



۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک—خودرو

طراحی کنترلر پایداری جانبی خودرو با استفاده از کنترلر فازی

توسط:

محمد اسدی

استاد راهنما:

دکتر شهرام آزادی

دکتر رضا کاظمی

زمستان ۱۳۹۰

چکیده

در یک مانور چرخشی با شتاب عرضی بالا زاویه لغزش جانبی خودرو رشد می کند و اثر بخشی زاویه فرمان خودرو به صورت زیاد کاهش می یابد. به این منظور سیستم های کنترل پایداری حرکت گردشی که خودرو را از چرخش و بیش فرمانی جلوگیری می کنند، توسعه داده شده اند. اگر بخواهیم کنترلی با تغییرات شرایط محلی خودرو طراحی نماییم باید کنترلر درک کاملی از این شرایط داشته باشد تا بتواند ورودی کنترلی متناسب با این شرایط به سیستم واقعی ارسال نماید. سه پارامتر ضریب اصطکاک، جرم و ممان اینرسی حول محور عمودی جزء پارامترهای متغیر با زمان می باشند که در کنترل پایداری حرکت گردشی خودرو موثر می باشند. با توجه به اینکه سفتی جانبی تایر جلو و عقب در مدل خطی دوچرخ تابعی از ضریب اصطکاک و بار عمودی روی تایر می باشند در این پژوهش برای طراحی کنترلر خطی پایداری جانبی یک سیستم کنترل تطبیقی پایداری جانبی با شناسایی سفتی های جانبی تایرها با استفاده از یک تخمینگر کمترین مربعات بازگشتی و یک کنترلر بهینه طراحی گردیده است، همچنین در ادامه برای امکان شناسایی جرم خودرو به همراه سفتی های جانبی تایر از ظرفیت بی نیازی یک کنترلر منطق فازی به مدل خودرو استفاده شده است. نتایج کنترلر بهینه بدون تخمین پارامترها، نشان دهنده این نکته است که کنترلر در اصطکاک های پایین قادر به ردیابی سرعت گردشی مطلوب نمی باشد و سرعت گردشی مطلوب در این حالت نیز شرایط حد بالای سرعت گردشی مطلوب را که تابعی از ضریب اصطکاک جاده می باشد برآورده نمی سازد. نتایج کنترلر تطبیقی و کنترلر فازی با شناسایی پارامترهای موثر بر پایداری جانبی نشان دهنده مقاوم بودن کنترلر نسبت به شرایط محلی خودرو می باشد.

کلید واژه: سفتی جانبی تایر، شناسایی پارامتر، کنترل تطبیقی، کنترل منطق فازی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
أ.....	فهرست شکل‌ها.....
و.....	فهرست علائم و نشانه‌ها.....
۱.....	فصل ۱- مقدمه.....
۲.....	۱-۱- سیستم‌های کنترل پایداری.....
۴.....	۱-۱-۱- انواع سیستم‌های کنترل پایداری حرکت گردشی.....
۵.....	۲-۲- شناسایی سیستم.....
۵.....	۱-۲-۱- شناسایی سیستم در سیستم‌های کنترل پایداری جانبی.....
۶.....	۲-۲-۱- مروری بر کارهای انجام گرفته.....
۷.....	۳-۱- هدف پژوهش.....
۹.....	فصل ۲- مدلسازی دینامیکی تایلر و خودرو.....
۱۰.....	۱-۲- مقدمه.....
۱۰.....	۲-۲- مدل دینامیکی تایلر.....
۱۱.....	۱-۲-۲- پارامترهای دینامیکی تایلر.....
۱۳.....	۲-۲-۲- مدل تایلر پسچکا.....
۱۵.....	۳-۲- مدل دینامیکی خودرو.....
۱۵.....	۱-۳-۲- مدل سینماتیکی جانبی.....
۱۷.....	۲-۳-۲- مدل دوچرخ جانبی.....
۲۰.....	۳-۳-۲- مدل هفت درجه آزادی خودرو.....
۲۵.....	فصل ۳- معرفی تئوری‌های کنترلی.....

۲۶	۱-۳- کنترل تطبیقی.....
۲۶	۱-۱-۳- مقدمه.....
۲۷	۲-۱-۳- تاریخچه.....
۲۸	۲-۳- روشهای تطبیقی.....
۲۸	۱-۲-۳- جدولبندی بهره.....
۲۹	۲-۲-۳- سیستم تطبیقی مدل - مرجع (MRAS).....
۳۱	۳-۲-۳- رگولاتورهای خود تنظیم (STR).....
۳۲	۴-۲-۳- کنترل دوگان.....
۳۳	۵-۲-۳- رگولاتورهای خودتنظیم.....
۴۰	۳-۳- معرفی کنترل بهینه.....
۴۰	۱-۳-۳- مقدمه.....
۴۱	۲-۳-۳- مسأله رگولاتورهای مربعی خطی.....
۴۱	۴-۳- کنترل فازی.....
۴۸	۱-۴-۳- مقدمه.....
۴۹	۲-۴-۳- کنترل کننده فازی.....
۵۵	فصل ۴- طراحی سیستم کنترلی.....
۵۶	۱-۴- مقدمه.....
۵۸	۲-۴- طرح کلی یک سیستم کنترل پایداری گردشی.....
۶۰	۱-۲-۴- محاسبه سرعت گردشی مطلوب.....
۶۱	۳-۴- تخمین سفتی جانبی تأیر.....
۶۱	۱-۳-۴- تخمین نیروهای جانبی به روش تخمین کمترین مربعات.....
۶۳	۲-۳-۴- تخمین مستقیم سفتی جانبی تأیر جلو و عقب به روش تخمین کمترین مربعات.....
۶۴	۴-۴- طراحی کنترلر تطبیقی کلاسیک با استفاده از کنترلر بهینه خطی.....
۶۴	۱-۴-۴- مقدمه.....

۶۵	۲-۴-۴- مدل خودرو برای طراحی کنترلر در هر ثابت زمانی
۶۷	۳-۴-۴- شاخص عملکرد بهینه
۶۸	۴-۴-۴- ساختار قانون کنترلی برای طراحی کنترل بالایی پایداری گردشی
۶۹	۵-۴-۴- طراحی کنترلر بهینه و استخراج ورودی کنترلی
۷۱	۶-۴-۴- طراحی سطح پایینی کنترلر
۷۲	۵-۴- طراحی سیستم کنترل فازی
۷۲	۱-۵-۴- مقدمه
۷۲	۲-۵-۴- شناسایی جرم و سفتی های جانبی تاثیر بر مبنای استفاده از کنترل فازی
۷۴	۳-۵-۴- فازی ساز
۷۵	۴-۵-۴- پایگاه داده ها
۷۵	۵-۵-۴- پایگاه قواعد
۷۶	۶-۵-۴- پایگاه استنتاج
۷۶	۷-۵-۴- غیر فازی ساز
۷۷	فصل ۵- شبیه سازی و تحلیل
۷۸	۱-۵- مقدمه
۷۸	۲-۵- شبیه سازی دینامیکی خودرو
۸۹	۳-۵- شناسایی پارامترها
۹۹	۴-۵- کنترلر بهینه پایداری جانبی بدون تخمین پارامتر
۱۰۶	۵-۵- کنترلر تطبیقی
۱۱۶	۶-۵- کنترلر فازی
۱۲۹	فصل ۶- نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۳۲	پیوست ۱
۱۳۲	۱-۱- مدل تاثیر خطی

۱-۲- مدخل تایر الیس ۱۳۲

۱-۳- مدخل تایر دوگاف ۱۳۲

۱-۴- مدخل تایر فیالا ۱۳۳

پیوست ۲ ۱۳۶

۱-۲- تعریف مجموعه های فازی و توابع عضویت ۱۳۶

۲-۲- تعریف رابطه فازی ۱۳۷

۲-۳- متغیرهای کلامی ۱۳۸

۲-۴- قواعد اگر آنگاه فازی ۱۳۹

مراجع ۱۴۰

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: نحوه عملکرد سیستم کنترل پایداری جانبی.....	۳
شکل ۱-۲: دستگاه مختصات استاندارد SAE.....	۱۱
شکل ۲-۲: دستگاه مختصات استاندارد SAE.....	۱۵
شکل ۳-۲: مدل دوچرخه سینماتیکی.....	۱۶
شکل ۴-۲: دیاگرام آزاد مدل دوچرخه.....	۱۷
شکل ۵-۲: گرادیان کم فرمانی.....	۱۹
شکل ۶-۲: دیاگرام آزاد بدنه برای مدل هفت درجه آزادی.....	۲۱
شکل ۱-۳: نمودار بلوکی سیستم تطبیقی.....	۲۶
شکل ۲-۳: نمودار بلوکی سیستم با جدولبندی بهره.....	۲۹
شکل ۳-۳: نمودار بلوکی سیستم تطبیقی مدل - مرجع MRAS.....	۳۰
شکل ۴-۳: نمودار بلوکی رگولاتور خود تنظیم (STR).....	۳۱
شکل ۵-۳: نمودار بلوکی کنترلگر دوگان.....	۳۲
شکل ۶-۳: کنترل کننده فازی کلاسیک.....	۴۹
شکل ۱-۴: نیروی عرضی تایر بر حسب لغزش جانبی تایر.....	۵۷
شکل ۲-۴: ویژگی های نیروی عرضی تایر تقسیم بندی شده به چهار بخش مطابق با دینامیک محلی.....	۵۷
شکل ۳-۴: ساختار کلی سیستم کنترل پایداری حرکت گردشی.....	۵۹
شکل ۴-۴: ساختار کلی کنترلر تطبیقی.....	۶۴
شکل ۵-۴: مدل دو درجه آزادی خودرو برای تحلیل شرایط گذرا.....	۶۵
شکل ۶-۴: ساختار کلی سیستم کنترلی فازی.....	۷۴
شکل ۷-۴: توابع عضویت e_r ، \dot{e}_r و ΔT	۷۵
شکل ۱-۵: زاویه فرمان ورودی JTURN.....	۷۹
شکل ۲-۵: زاویه فرمان ورودی سینوسی برای تعویض خط.....	۷۹
شکل ۳-۵: سرعت چرخشی در مانور تعویض خط و جاده خشک.....	۸۰

- شکل ۴-۵: سرعت طولی و عرضی در مانور تعویض خط و جاده خشک ۸۱
- شکل ۵-۵: مسیر حرکت خودرو در مانور تعویض خط و جاده خشک ۸۱
- شکل ۶-۵: سرعت چرخشی در مانور تعویض خط و جاده خیس ۸۲
- شکل ۷-۵: سرعت طولی و عرضی در مانور تعویض خط و جاده خیس ۸۲
- شکل ۸-۵: مسیر حرکت خودرو در مانور تعویض خط و جاده خیس ۸۳
- شکل ۹-۵: سرعت چرخشی در مانور تعویض خط و جاده یخ زده ۸۳
- شکل ۱۰-۵: سرعت طولی و عرضی در مانور تعویض خط و جاده یخ زده ۸۴
- شکل ۱۱-۵: مسیر حرکت خودرو در مانور تعویض خط و جاده یخ زده ۸۴
- شکل ۱۲-۵: سرعت چرخشی در مانور JTURN و جاده خشک ۸۵
- شکل ۱۳-۵: سرعت طولی و عرضی در مانور JTURN و جاده خشک ۸۵
- شکل ۱۴-۵: مسیر حرکت خودرو در مانور JTURN و جاده خشک ۸۶
- شکل ۱۵-۵: سرعت چرخشی در مانور JTURN و جاده خیس ۸۶
- شکل ۱۶-۵: سرعت طولی و عرضی در مانور JTURN و جاده خیس ۸۷
- شکل ۱۷-۵: مسیر حرکت خودرو در مانور JTURN و جاده خیس ۸۷
- شکل ۱۸-۵: سرعت چرخشی در مانور JTURN و جاده یخ زده ۸۸
- شکل ۱۹-۵: سرعت طولی و عرضی در مانور JTURN و جاده یخ زده ۸۸
- شکل ۲۰-۵: مسیر حرکت خودرو در مانور JTURN و جاده یخ زده ۸۹
- شکل ۲۱-۵: تخمین سفتی جانبی تایر جلو (C_f) و تایر عقب (C_r) با ورودی فرمان JTURN و جاده خشک ۹۰
- شکل ۲۲-۵: تخمین سفتی جانبی تایر جلو (C_f) و تایر عقب (C_r) با ورودی فرمان JTURN و جاده خیس ۹۱
- شکل ۲۳-۵: تخمین سفتی جانبی تایر جلو (C_f) و تایر عقب (C_r) با ورودی فرمان JTURN و جاده یخ زده ۹۲
- شکل ۲۴-۵: پاسخ متغیرهای وضعیت مشخص شده با ورودی JTURN و جاده خشک ۹۳
- شکل ۲۵-۵: پاسخ متغیرهای وضعیت مشخص شده با ورودی JTURN در جاده خیس ۹۴
- شکل ۲۶-۵: پاسخ متغیرهای وضعیت مشخص شده با ورودی JTURN در جاده یخ زده ۹۵
- شکل ۲۷-۵: پاسخ متغیرهای وضعیت مشخص شده با ورودی سینوسی در جاده خشک ۹۶
- شکل ۲۸-۵: پاسخ متغیرهای وضعیت مشخص شده با ورودی سینوسی در جاده خیس ۹۷
- شکل ۲۹-۵: پاسخ متغیرهای وضعیت مشخص شده با ورودی سینوسی در جاده یخ زده ۹۸

- شکل ۵-۳۰: ردیابی سرعت چرخشی مطلوب و محدود شدن زاویه لغزش جانبی خودرو بوسیله کنترل بهینه ۱۰۰
- شکل ۵-۳۱: مسیر حرکت خودرو به همراه کنترلر بهینه و بدون کنترلر بهینه ۱۰۰
- شکل ۵-۳۲: ردیابی سرعت چرخشی مطلوب و محدود شدن زاویه لغزش جانبی خودرو بوسیله کنترل بهینه ۱۰۱
- شکل ۵-۳۳: مسیر حرکت خودرو به همراه کنترلر بهینه و بدون کنترلر بهینه ۱۰۱
- شکل ۵-۳۴: ناتوانی کنترلر بهینه بدون تخمین در ردیابی سرعت چرخشی مطلوب و محدود کردن زاویه لغزش جانبی خودرو ۱۰۲
- شکل ۵-۳۵: مسیر حرکت خودرو به همراه کنترلر بهینه و بدون کنترلر بهینه ۱۰۲
- شکل ۵-۳۶: ردیابی سرعت چرخشی مطلوب و محدود شدن زاویه لغزش جانبی خودرو بوسیله کنترل بهینه ۱۰۳
- شکل ۵-۳۷: مسیر حرکت خودرو به همراه کنترلر بهینه و بدون کنترلر بهینه ۱۰۳
- شکل ۵-۳۸: ردیابی سرعت چرخشی مطلوب و محدود شدن زاویه لغزش جانبی خودرو بوسیله کنترل بهینه ۱۰۴
- شکل ۵-۳۹: مسیر حرکت خودرو به همراه کنترلر بهینه و بدون کنترلر بهینه ۱۰۴
- شکل ۵-۴۰: ناتوانی کنترلر بهینه بدون تخمین در ردیابی سرعت چرخشی مطلوب و محدود کردن زاویه لغزش جانبی خودرو ۱۰۵
- شکل ۵-۴۱: مسیر حرکت خودرو به همراه کنترلر بهینه و بدون کنترلر بهینه ۱۰۵
- شکل ۵-۴۲: زاویه فرمان ورودی SLALOM ۱۰۶
- شکل ۵-۴۳: ردیابی سرعت چرخشی مطلوب و محدود شدن زاویه لغزش جانبی خودرو بوسیله کنترل تطبیقی ۱۰۷
- شکل ۵-۴۴: مسیر حرکت خودرو به همراه کنترلر تطبیقی و بدون کنترلر تطبیقی ۱۰۷
- شکل ۵-۴۵: ردیابی سرعت چرخشی مطلوب و محدود شدن زاویه لغزش جانبی خودرو بوسیله کنترل تطبیقی ۱۰۸
- شکل ۵-۴۶: مسیر حرکت خودرو به همراه کنترلر تطبیقی و بدون کنترلر تطبیقی ۱۰۸
- شکل ۵-۴۷: ردیابی سرعت چرخشی مطلوب و محدود شدن زاویه لغزش جانبی خودرو بوسیله کنترل تطبیقی ۱۰۹
- شکل ۵-۴۸: مسیر حرکت خودرو به همراه کنترلر تطبیقی و بدون کنترلر تطبیقی ۱۰۹
- شکل ۵-۴۹: ردیابی سرعت چرخشی مطلوب و محدود شدن زاویه لغزش جانبی خودرو بوسیله کنترل تطبیقی ۱۱۰
- شکل ۵-۵۰: مسیر حرکت خودرو به همراه کنترلر تطبیقی و بدون کنترلر تطبیقی ۱۱۰
- شکل ۵-۵۱: ردیابی سرعت چرخشی مطلوب و محدود شدن زاویه لغزش جانبی خودرو بوسیله کنترل تطبیقی ۱۱۱
- شکل ۵-۵۲: مسیر حرکت خودرو به همراه کنترلر تطبیقی و بدون کنترلر تطبیقی ۱۱۱
- شکل ۵-۵۳: ردیابی سرعت چرخشی مطلوب و محدود شدن زاویه لغزش جانبی خودرو بوسیله کنترل تطبیقی ۱۱۲

- شکل ۵-۵۴: مسیر حرکت خودرو به همراه کنترلر تطبیقی و بدون کنترلر تطبیقی..... ۱۱۲
- شکل ۵-۵۵: ردیابی سرعت چرخشی مطلوب و محدود شدن زاویه لغزش جانبی خودرو بوسیله کنترلر تطبیقی..... ۱۱۳
- شکل ۵-۵۶: مسیر حرکت خودرو به همراه کنترلر تطبیقی و بدون کنترلر تطبیقی..... ۱۱۳
- شکل ۵-۵۷: ردیابی سرعت چرخشی مطلوب و محدود شدن زاویه لغزش جانبی خودرو بوسیله کنترلر تطبیقی..... ۱۱۴
- شکل ۵-۵۸: مسیر حرکت خودرو به همراه کنترلر تطبیقی و بدون کنترلر تطبیقی..... ۱۱۴
- شکل ۵-۵۹: ردیابی سرعت چرخشی مطلوب و محدود شدن زاویه لغزش جانبی خودرو بوسیله کنترلر تطبیقی..... ۱۱۵
- شکل ۵-۶۰: مسیر حرکت خودرو به همراه کنترلر تطبیقی و بدون کنترلر تطبیقی..... ۱۱۵
- شکل ۵-۶۱: تخمین نسبت های $\frac{C_{aR}}{M}$ و $\frac{C_{aF}}{M}$ با ورودی فرمان JTURN و جاده خشک..... ۱۱۷
- شکل ۵-۶۲: تخمین نسبت های $\frac{C_{aR}}{M}$ و $\frac{C_{aF}}{M}$ با ورودی فرمان JTURN و جاده خشک..... ۱۱۸
- شکل ۵-۶۳: تخمین نسبت های $\frac{C_{aR}}{M}$ و $\frac{C_{aF}}{M}$ با ورودی فرمان JTURN و جاده خشک..... ۱۱۹
- شکل ۵-۶۴: ردیابی سرعت چرخشی مطلوب و محدود شدن زاویه لغزش جانبی خودرو بوسیله کنترلر فازی..... ۱۲۰
- شکل ۵-۶۵: مسیر حرکت خودرو به همراه کنترلر فازی و بدون کنترلر فازی..... ۱۲۰
- شکل ۵-۶۶: ردیابی سرعت چرخشی مطلوب و محدود شدن زاویه لغزش جانبی خودرو بوسیله کنترلر فازی..... ۱۲۱
- شکل ۵-۶۷: مسیر حرکت خودرو به همراه کنترلر فازی و بدون کنترلر فازی..... ۱۲۱
- شکل ۵-۶۸: ردیابی سرعت چرخشی مطلوب و محدود شدن زاویه لغزش جانبی خودرو بوسیله کنترلر فازی..... ۱۲۲
- شکل ۵-۶۹: مسیر حرکت خودرو به همراه کنترلر فازی و بدون کنترلر فازی..... ۱۲۲
- شکل ۵-۷۰: ردیابی سرعت چرخشی مطلوب و محدود شدن زاویه لغزش جانبی خودرو بوسیله کنترلر فازی..... ۱۲۳
- شکل ۵-۷۱: مسیر حرکت خودرو به همراه کنترلر فازی و بدون کنترلر فازی..... ۱۲۳
- شکل ۵-۷۲: ردیابی سرعت چرخشی مطلوب و محدود شدن زاویه لغزش جانبی خودرو بوسیله کنترلر فازی..... ۱۲۴
- شکل ۵-۷۳: مسیر حرکت خودرو به همراه کنترلر فازی و بدون کنترلر فازی..... ۱۲۴
- شکل ۵-۷۴: ردیابی سرعت چرخشی مطلوب و محدود شدن زاویه لغزش جانبی خودرو بوسیله کنترلر فازی..... ۱۲۵
- شکل ۵-۷۵: مسیر حرکت خودرو به همراه کنترلر فازی و بدون کنترلر فازی..... ۱۲۵
- شکل ۵-۷۶: ردیابی سرعت چرخشی مطلوب و محدود شدن زاویه لغزش جانبی خودرو بوسیله کنترلر فازی..... ۱۲۶
- شکل ۵-۷۷: مسیر حرکت خودرو به همراه کنترلر فازی و بدون کنترلر فازی..... ۱۲۶
- شکل ۵-۷۸: ردیابی سرعت چرخشی مطلوب و محدود شدن زاویه لغزش جانبی خودرو بوسیله کنترلر فازی..... ۱۲۷

شکل ۷-۷۹: مسیر حرکت خودرو به همراه کنترلر فازی و بدون کنترلر فازی..... ۱۲۷

شکل ۷-۸۰: ردیابی سرعت چرخشی مطلوب و محدود شدن زاویه لغزش جانبی خودرو بوسیله کنترلر فازی..... ۱۲۸

شکل ۷-۸۱: مسیر حرکت خودرو به همراه کنترلر فازی و بدون کنترلر فازی..... ۱۲۸

فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
شتاب طولی مرکز جرم	a_x
شتاب عرضی مرکز جرم	a_y
سفتی جانبی تایر	C_α
نیروی طولی تایر	F_x
نیروی عرضی تایر	F_y
نیروی عمودی تایر	F_z
ثابت گرانشی	g
ارتفاع مرکز جرم خودرو	h_{cog}
ممان اینرسی حول محور عمودی	I_{zz}
فاصله از مرکز ثقل تا محور جلو	a
فاصله از مرکز ثقل تا محور عقب	b
جرم	m
نرخ سرعت گردشی	r
نرخ سرعت گردشی مطلوب	r_d
فاصله بین چرخ‌ها روی محور جلو	T_f
فاصله بین چرخ‌ها روی محور عقب	T_r
زاویه لغزش جانبی تایر	α
زاویه لغزش جانبی خودرو	β

فصل اول: مقدمه

۱-۱ - سیستم های کنترل پایداری

در یک مانور چرخشی با شتاب عرضی بالا زاویه لغزش جانبی خودرو رشد می کند و اثر بخشی زاویه فرمان خودرو به صورت زیاد کاهش می یابد. بنابراین کاهش گشتاور در جهت حرکت گردشی تولید شده بوسیله نیروی عرضی هنگامی که زاویه لغزش جانبی خودرو افزایش می یابد علت اساسی حرکت ناپایدار خودرو می باشد و گشتاور یاو خارجی پایداری خودرو را برخواهد گرداند [۱].

به این منظور سیستم های کنترل پایداری جانبی که از چرخش و بیش فرمانی خودرو جلوگیری می کنند، توسعه یافتند و در سال های اخیر بوسیله کارخانه های سازنده خودرو تجاری سازی شده اند. چنین سیستم هایی کنترل پایداری حرکت گردشی و یا کنترل پایداری الکتریکی^۱ نیز نامیده می شوند. وظیفه اصلی این سیستم، بهبود حرکت خودرو در حین دور زدن و افزایش پایداری آن در مانورهای مختلف می باشد. این سیستم با اندازه گیری زاویه فرمان، سرعت چرخشی و سرعت طولی خودرو قادر به تشخیص اختلاف بین مسیر حرکت واقعی خودرو و مسیر مطلوب راننده می باشد و در نهایت با اعمال ورودی کنترلی (عمدتاً نیروهای ترمزی غیریکسان) به طرفین خودرو، منجر به تصحیح حرکت خودرو می گردد. این رویکرد اولین بار در سال ۱۹۹۲ توسط ماتسوموتو مطرح گردید [۲] و در سال ۱۹۹۵ با عنوان ESP در خودرو مرسدس بنز به کار گرفته شد [۳].

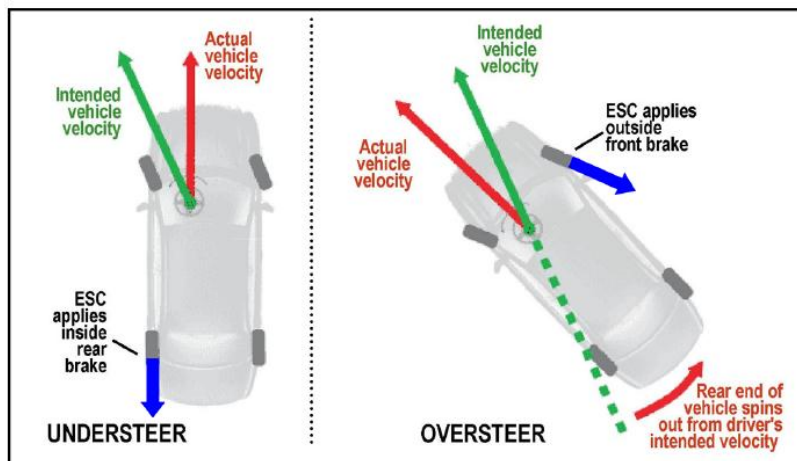
این سیستم ها که به عنوان کنترل گشتاور گردشی نیز معروفند، نرخ حرکت گردشی و لغزش جانبی خودرو را از طریق توزیع نامتقارن نیروهای طولی چرخ ها مطابق شکل (۱-۱) کنترل می کند. در شکل (۱-۱)، نحوه عملکرد این سیستم کنترلی، در دو حالت کند فرمان^۲ و بیش فرمان^۳ نشان داده شده است. بعنوان مثال، هنگامی که خودرو در حالت بیش فرمان قرار دارد، به منظور ایجاد گشتاور گردشی مطلوب در

^۱ - Electronic Stability Program

^۲ - Understeer

^۳ - Oversteer

خودرو، گشتاور ترمزی در چرخهای خارجی خودرو اعمال می شود تا با ایجاد نیروی طولی منفی، حرکت خودرو اصلاح شود.



شکل ۱-۱: نحوه عملکرد سیستم کنترل پایداری جانبی [۴]

به طور کلی مزایای سیستم کنترل پایداری جانبی را می توان در مقابل با انواع دیگر سیستمهای ایمنی

فعال، به صورت زیر بیان کرد [۵]:

- تصحیح حرکت واقعی خودرو با توجه به مسیر دلخواه راننده
- توانایی کنترل حرکت خودرو در ناحیه غیرخطی تایر
- بهبود فرمان پذیری خودرو در شرایط بحرانی
- کاهش خطر لغزش جانبی و طولی
- افزایش قابل توجه پایداری در مانورهای شدید و حرکت بر روی جاده های لغزنده
- امکان تبدیل آسان سیستم ABS به سیستم ESP

در یک بیان کلی هدف سیستم کنترل پایداری جانبی، حداقل کردن فاصله مابین حرکت موجود و حرکت مطلوب خودرو است. در این میان نکته مهم این است که مفهوم حرکت مطلوب خودرو معادل با یک مسیر مطلوب برای حرکت خودرو نیست. زیرا مسیر حرکت خودرو یک کمیت از قبل مشخص نمی باشد. در واقع تحقق حرکت مطلوب متضمن بهبود رفتار دینامیکی و خوش فرمانی خودرو است و بر اساس کمیت

های دینامیکی قابل اندازه گیری خودرو و ورودیهای راننده و با در نظر گرفتن برخی ملاحظات ایمنی تعریف خواهد شد. براین اساس، در سیستم های کنترل پایداری حرکت گردشی، سرعت چرخشی^۱ و زاویه لغزش جانبی خودرو^۲، به عنوان متغیرهای اصلی حرکتی مطرح شده اند. اما نکته بسیار مهم این است که از نقطه نظر تئوری برای کنترل دو کمیت حرکتی، دو ورودی کنترلی نیاز می باشد. بنابراین در هنگامی که تنها یک ورودی کنترلی در دسترس است، یکی از متغیرهای سرعت گردشی و یا زاویه لغزش جانبی خودرو به عنوان متغیر کنترلی انتخاب می گردد [۶]. که در پژوهش حاضر فقط به بررسی متغیر سرعت گردشی بسنده شده است.

با توجه به اینکه تبدیل یک سیستم ABS به ESP، هزینه چندانی ندارد، پیش بینی متخصصان خودرو این است که در آینده ای نزدیک، بکارگیری این سیستم در تولیدات جدید با استقبال بیشتری روبرو گردد.

۱-۱-۱ انواع سیستم های کنترل پایداری حرکت گردشی

دو نوع از سیستم های کنترل حرکت گردشی بکار گرفته می شود که عملاً سطح پایین کنترل را شامل می شود [۷]:

۱. ترمزگیری نامتقارن:

سیستم هایی هستند که از سیستم ABS استفاده می کنند تا سیستم ترمزگیری نامتقارن را بین چرخ های چپ و راست به کار بندد و حرکت گردشی خودرو را کنترل کنند. مهمترین مقاله مورد استفاده از این روش مربوط به [۸] می باشد که در آن از یک کنترلر بهینه برای سطح بالایی کنترل حرکت گردشی خودرو استفاده می کند و در سطح پایین کنترلر پایداری گردشی، از روش ترمزگیری نامتقارن استفاده می کند.

^۱ - Vehicle yaw rate

^۲ - Vehicle side slip angle

۲. سیستم های فرمان با سیم^۱ :

سیستم هایی که ورودی زاویه فرمان راننده را اصلاح می سازند و یک زاویه فرمان تصحیحی را به چرخ ها اضافه می کنند. در [۹] با استفاده از یک کنترل ترکیبی زاویه فرمان جلو و یک کنترل گشتاور گردشی اقدام به کنترل پایداری جانبی خودرو نموده است.

۱-۲- شناسایی سیستم^۲

از نقطه نظر عملی برای اعمال یک ورودی کنترلی به سیستم های واقعی، مدل های فیزیکی سیستم وجود ندارند و آنچه که ما از مدل می شناسیم تنها برای شبیه سازی در محیط مجازی می باشد .

آنچه که سیستم های کنترلی برای اعمال ورودی های کنترلی بدان نیازمند می باشند متغیر های وضعیت و پارامترهای سیستم می باشند . بنابراین روش های متعددی برای شناسایی متغیر های وضعیت و نیز پارامترهای سیستم ها توسعه یافته اند . گروهی از متغیرهای وضعیت به صورت مستقیم از طریق حسگرها قابل اندازه گیری می باشند و گروهی دیگر از طریق مشاهده گر^۳ ها قابل شناسایی می گردند . در مورد شناسایی پارامترها نیز روش های بسیاری توسعه یافته اند اما مهمترین این روش ها تخمین کمترین مربعات^۴ می باشد.

۱-۲-۱- شناسایی سیستم در سیستم های کنترل پایداری جانبی

آنچه که در این پژوهش از شناسایی سیستم صحبت می شود شناسایی پارامترهای موثر بر پایداری جانبی خودرو می باشد . از پارامترهای مهم در این پایداری می توان به ضریب اصطکاک تایر ، جرم و ممان اینرسی خودرو حول محور عمودی اشاره نمود . این پارامترها در طول زمان تغییر می کنند و این، بیشترین عامل غیر خطی شدن رفتار یک خودرو می باشد .

^۱ Steer by Wire

^۲ - System Identification

^۳ - Observation

^۴ - Least square Estimation

اگر بخواهیم از یک کنترلر خطی برای کنترل پایداری جانبی استفاده نماییم ناگزیریم که خودرو را به صورت یک مدل خطی همانند مدل دو چرخ فرض نماییم که پارامترهای این مدل سفتی های جانبی تایلر^۱ جلو و عقب و نیز جرم و ممان اینرسی خودرو حول محور عمودی می باشد که اصولاً در یک مدل دوچرخ سفتی جانبی تایلر مقادیر ثابتی را دارند. این مدل با مقادیر ثابت قادر خواهد بود دینامیک خودرو را تنها در یک مانور شبه دائم توصیف کند که معادل با شرایط رانندگی در یک جاده خشک می باشد [۱۰]. طبق تعریف در یک مدل غیر خطی سفتی جانبی تایلر برابر شیب منحنی نیروی جانبی تایلر بر حسب زاویه لغزش جانبی تایلر در نقطه ای که زاویه لغزش جانبی تایلر در آن صفر است می باشد که این مقدار برابر شیب منحنی نیروی جانبی تایلر بر حسب لغزش جانبی تایلر در یک مدل خطی می باشد که در طول زمان در این مدل خطی ثابت قلمداد می شود اما در یک مدل غیر خطی این شیب متغیر می باشد و تابعی از شرایط محلی خودرو همانند ضریب اصطکاک جاده می باشد که این مساله در مدل خطی وجود ندارد و بنابراین یک مدل خطی هیچ گونه درکی از شرایط محلی خودرو ندارد و به تبع آن کنترلر خطی بر مبنای این مدل خطی نمی تواند ورودی کنترلی مناسبی به سیستم واقعی ارسال نماید.

۱-۲-۲- مروری بر کارهای انجام گرفته

از پژوهش ها و مقالاتی که در زمینه شناسایی سفتی های جانبی تایلر در یک سیستم حلقه باز موجود است، می توان به [۱۰] که یک روش شناسایی این پارامتر توسط تخمینگر حداقل مربعات در یک مدل دوچرخ می باشد اشاره کرد که تخمین در آن به صورت لحظه ای نمی باشد. در [۱۱] روشی بر مبنای یک مدل سه درجه آزادی ارائه گشته است که علاوه بر سفتی های جانبی تایلر ها دیگر پارامترهای موجود در این مدل خودرو با استفاده از الگوریتم ژنتیک شناسایی گشته اند که در این مقاله نیز تمامی پارامترها به صورت ثابت با زمان تخمین زده شده اند.

^۱ - Cornering Stiffness

مقاله مهمی که از شناسایی سفتی های جانبی تایر به منظور کنترل تطبیقی پایداری جانبی استفاده می کند، مرجع [۱۲] می باشد که برای شناسایی پارامترها از یک مدل سازی فازی سوگینو استفاده می کند و یک مشاهده گر زاویه لغزش جانبی خودرو طراحی نموده است و همچنین یک کنترلر بهینه را برای کنترل گشتاور حرکت گردشی به کار بسته است. در [۱۳] نیز یک کنترلر تطبیقی با شناسایی سفتی های جانبی تایر با استفاده از تخمینگر حداقل مربعات بازگشتی ارائه گردیده است که بر اساس خصوصیات فرمان مطلوب و با استفاده از فرمان با سیم یک کنترلر تطبیقی اعمال می کند.

در هیچ یک از پژوهش های ذکر شده راه حل جامعی از شناسایی تمامی پارامترهای موثر بر پایداری جانبی خودرو بیان نشده است .

۱-۳- هدف پژوهش

هدف اصلی در این پژوهش شناسایی تمامی پارامترهای موثر بر پایداری جانبی خودرو می باشد .

بنابراین در مرحله اول از یک تخمینگر سفتی جانبی تایر و یک کنترلر تطبیقی بر مبنای استفاده از یک کنترلر بهینه برای کنترل پایداری جانبی خودرو استفاده می گردد .

در فصل طراحی سیستم کنترلی بیان خواهد شد که به دلیل محدودیت مدل خطی دوچرخ امکان شناسایی جرم و ممان اینرسی حول محور عمودی خودرو وجود ندارد . اگر این پارامترها ثابت بودند می توانستند به صورت پیش فرض در کنترلر قرار می گرفتند اما با توجه به این که این پارامترها در طول زمان تغییر خواهند کرد، بنابراین ضرورت شناسایی تمامی این پارامترها وجود دارد. لازم به ذکر است که در میان چهار پارامتر مذکور ، سه پارامتر جرم و سفتی جانبی تایر جلو و عقب در مسیر گردشی مطلوب موثر می باشند اما کنترلر بهینه برای محاسبه ورودی کنترلی علاوه بر سه پارامتر مذکور به شناسایی ممان اینرسی حول محور عمودی نیز نیازمند می باشد .

در مرحله دوم طراحی سیستم کنترلی برای شناسایی تمامی پارامترهای موثر بر پایداری جانبی خودرو از یک کنترلر منطق فازی استفاده گردیده است . به دلیل آنکه کنترلر فازی برای اعمال ورودی کنترلی به

مدل و به تبع آن به پارامترهای سیستم نیازمند نمی باشد تنها شناسایی سه پارامتر جرم و سفتی های جانبی تایر جلو و عقب که در محاسبه مسیر گردشی مطلوب وارد می شوند لازم می باشد.

با استفاده از روشی که نسبت میان سفتی جانبی تایر و جرم خودرو را تخمین می زند، خواهیم دید که کنترلر فازی خواهد توانست بی نیاز از روش اندازه گیری برای جرم خودرو سیستم پایداری جانبی خودرو را کنترل نماید .

به این منظور ساختار این پژوهش به صورت زیر می باشد:

پس از آشنایی با انواع سیستم های کنترل پایداری حرکت گردشی و شناسایی سیستم در فصل اول، در فصل دوم مدل های دینامیکی تایر و خودرو ارائه شده است و مدل دینامیکی تایر و خودروی اصلی برای طراحی کنترلر تحلیل شده است.

در فصل سوم به معرفی تئوری های کنترلی که شامل کنترل تطبیقی و انواع روش های موجود در آن، کنترل بهینه و همچنین در ادامه به معرفی کنترل منطق فازی پرداخته شده است.

در فصل چهارم سیستم کنترل تطبیقی برای کنترل پایداری جانبی خودرو طراحی شده است، همچنین یک کنترلر منطق فازی برای شناسایی بیشتر پارامترهای موثر بر پایداری جانبی خودرو طراحی شده است.

در فصل پنجم شبیه سازی دینامیکی تایر و خودرو و همچنین کنترلر های طراحی شده در فصل چهارم انجام گرفته است. نتایج این شبیه سازی ها به همراه تحلیل های انواع کنترلرها مطرح شده است و تاثیر وجود کنترلر بررسی شده است.