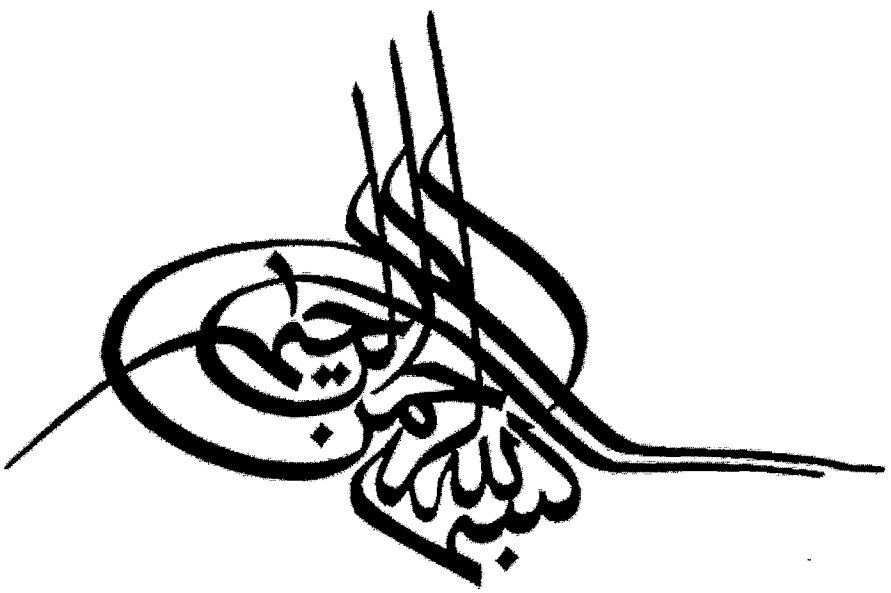


٩٢٠٧٠

دانشکدهٔ فنی مهندسی مکانیک
گروه مهندسی مکانیک

رساله

برای دریافت درجهٔ دکتری در رشتهٔ مهندسی مکانیک (طراحی کاربردی)

عنوان

کنترل دینامیک غیرخطی خودرو مبتنی بر بهینه سازی

استادان راهنما

دکتر مصطفی اسلامیان دکتر قاسم علیزاده

استاد مشاور

دکتر شهرام آزادی

پژوهشگر

مهدی میرزائی

۱۳۸۷ /۵/ ۱

بهمن ۱۳۸٦

۹۶۰۷۵

تقدیم به

روان پاک و بلند دائی عزیزم شهید علیرضا حلالی و

تمامی بزرگوارانی که برای اعتلای ایران عزیز از جان و دل گذشتند

یادشان گرامی و راهشان پاینده

تقدیر و تشکر

بدینوسیله بر خود لازم می‌دانم تا از زحمات

اساتید محترم راهنما جناب آقایان دکتر مصطفی اسلامیان و دکتر قاسم علیزاده به خاطر رهنمودهای ارزندهٔ علمی و اخلاقیشان در طول مدت تحصیل،

استاد مشاور گرامی جناب آقای دکتر شهرام آزادی به خاطر مشاوره‌های ارزشمندشان،

خانوادهٔ عزیز و همسر مهربانم به خاطر حمایتهای بی‌دریغشان،

دوستان و دانشجویان عزیز دکترای دانشکدهٔ مکانیک به خاطر دلگرمی و مساعدتهای صمیمی‌شان،

تشکر و قدردانی نموده و از خداوند متعال آرزوی سلامتی و سعادت برایشان مسئلت می‌نمایم.

مهدی میرزائی

نام خانوادگی دانشجو: میرزائی **نام :** مهدی

عنوان پایان نامه: کنترل دینامیک غیرخطی خودرو مبتنی بر بهینه‌سازی

استادان راهنما: دکتر مصطفی اسلامیان- دکتر قاسم علیزاده

استاد مشاور: دکتر شهرام آزادی

مقطع تحصیلی: دکتری **رشته:** مهندسی مکانیک **گرایش:** طراحی کاربردی **دانشگاه:** تبریز

دانشکده: فنی مهندسی مکانیک **تاریخ فارغ التحصیلی:** ۱۳۸۶/۱۱/۲۵ **تعداد صفحه:** ۱۲۲

کلید واژه ها: دینامیک خودرو، کنترل مستقیم گشتاور چرخشی، کنترل بهینه، کنترل غیرخطی، بهینه سازی، نرخ یاو، زاویهٔ لغزش

چکیده:

بیشتر تصادفات شدید رانندگی، ناشی از حرکتهای نامطلوبی است که در نتیجهٔ از دست رفتن کنترل حرکت خودرو و ناتوانی راننده در هدایت صحیح آن بوجود می‌آیند. بررسی این مسئله از دیدگاه دینامیک خودرو همراه با توسعهٔ سیستم های کنترلی لازم جهت پایدارسازی و بهبود رفتار دینامیکی خودرو تحت شرایط مختلف رانندگی، موضوع مهمی است که به ویژه در دههٔ اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته است.

مشخصه‌های غیرخطی دینامیک خودرو و نیروهای تایر اصلی‌ترین عامل حرکتهای نامطلوب خودرو بوده و کنترل مستقیم گشتاور چرخشی (DYC) جدیدترین و مؤثرترین روش برای پایداری و بهبود خوشفرمانی خودرو به‌ویژه در شرایط بحرانی می‌باشد. گشتاور چرخشی خارجی با منشأ نیروهای ترمزی تفاضلی به عنوان یک ورودی کنترلی مهم برای سیستم کنترلی به شمار می‌آید که به دلیل برخی اثرات نامطلوبش بایستی در کمترین مقدار ممکن خود قرار گیرد. در واقع استفاده حتی‌الامکان کم از گشتاور خارجی برای پایدارسازی خودرو در رژیم‌های غیرخطی یک مزیت مهم برای سیستم DYC محسوب می‌شود.

در این پایاننامه یک دیدگاه اساسی برای استفادهٔ حداقل از گشتاور خارجی که همان ورودی کنترلی سیستم DYC است مطرح می‌شود. ابتدا یک مدل مرجع دقیق و عملی متناسب با شرایط فیزیکی جاده برای خوشفرمانی خودرو پیشنهاد شده و سپس قوانین کنترلی بهینه به شکل تحلیلی برای محاسبهٔ گشتاور خارجی جهت ردیابی رفتار مدل مطلوب توسعه داده می‌شود. به‌کارگیری ترکیب وزنداری از خطای ردیابی و انرژی کنترلی در تعریف تابع هزینهٔ یک مسئلهٔ کنترل بهینه، این امکان را فراهم می‌کند تا ردیابی کافی رفتار مدل مرجع به واسطهٔ استفادهٔ حداقل انرژی کنترلی برای پایدارسازی خودرو انجام

گیرد. در این راستا انتخاب مدل مرجع دقیق و مناسب که با ساختار قانون کنترلی نیز سازگار است باعث می‌شود تا مقداری خطای مجاز ردیابی در نظر گرفت که با وجود آن سیستم کنترلی می‌تواند با حداقل انرژی کنترلی، مسیر تعیین شده از سوی راننده را با موفقیت طی کند. از طرف دیگر، با توجه به اثرات غیرخطی شدید در دینامیک خودرو که عمدتاً مربوط به خاصیت اشباع نیروهای تایر می‌باشد، استفاده از مدل غیرخطی خودرو برای طراحی کنترل کننده جهت افزایش کارائی سیستم کنترلی به عنوان یک ضرورت مهم مورد تأکید است.

در تحقیق حاضر، برای توسعهٔ یک روش کنترل بهینهٔ غیرخطی به شکل تحلیلی از روشی که اساس آن کنترل پیش‌بین است استفاده می‌گردد. ابتدا پاسخ غیرخطی سیستم خودرو توسط بسط سری تیلور پیش‌بینی شده و سپس قانون کنترلی از طریق حداقل کردن اختلاف پاسخهای مطلوب و پیش‌بینی شده بدست می‌آید. از ویژگیهای روش پیشنهاد شده این است که با انتخاب حداقل جملات بسط که متناسب با درجهٔ نسبی سیستم غیرخطی می‌باشد و به واسطهٔ انتخاب ساختاری مناسب و دقیق برای مدل مرجع، اثر خطای قطع بسط تیلور در خطای ردیابی به حداقل رسیده و حتی در شرایط ایده‌ال صفر می‌گردد. ضمناً با اضافه کردن جملهٔ وزنداری از سیگنال کنترلی به خطای ردیابی در تعریف تابع هزینه، اثر کاهش انرژی کنترلی در خطای ردیابی ایجاد شده، مورد تحلیل و ارزیابی قرار می‌گیرد. همچنین مقاومت کنترل‌کننده در مقابل نامعینی‌های مدل نیز تحلیل و بررسی می‌گردد.

به همراه تحلیل ریاضی عملکرد کنترل‌کننده‌های طراحی شده، شبیه‌سازهای لازم نیز بر روی مدل نسبتاً کاملتری که اعتبار آن با کارهای قبلی و نتایج تجربی ارزیابی شده است انجام می‌گیرد. نتایج تحلیل و شبیه‌سازیها نشان می‌دهد که با اضافه کردن کنترل‌کنندهٔ بهینهٔ غیرخطی طراحی شده به مدل کاملتر خودرو، بهبود قابل توجهی در رفتار دینامیکی خودرو با استفاده از یک انرژی کنترلی کاهش یافته فراهم می‌شود. بررسی و مقایسهٔ عملکرد کنترل کننده‌های طراحی شده در این پایان‌نامه با کنترل کننده‌های موجود در مراجع معتبر قبلی حاکی از این واقعیت مهم است که برای سیستم DYC، استراتژی کنترل بهینهٔ غیرخطی به شکل تحلیلی نسبت به دیگر قوانین کنترلی مناسبتر و کارسازتر می‌باشد.

فهرست علائم

A_f	مساحت تصویر شدهٔ جلو
a	فاصلهٔ مرکز ثقل از محور جلو
b	فاصلهٔ مرکز ثقل از محور عقب
a_x	شتاب طولی
a_y	شتاب جانبی
C_d	ضریب پسا
C_{sl}	ثابت تأخیر نیروی جانبی
C_ϕ	میرائی رل
F_z	نیروی قائم تایر
F_s	نیروی عرضی تایر
F_t	نیروی طولی تایر
g	شتاب جاذبه
h_{cg}	ارتفاع مرکز ثقل
h'	فاصلهٔ مرکز ثقل از محور رل
I_z	ممان اینرسی حول محور قائم
I_x	ممان اینرسی حول محور طولی
I_w	ممان اینرسی دورانی چرخ
K_R	نسبت سفتی رل چرخهای جلو
K_{rsf}	ضریب فرمان رل چرخهای جلو
K_{rsr}	ضریب فرمان رل چرخهای عقب
K_ϕ	سفتی رل
K_γ	ضریب کمبر رل
m	جرم خودرو
m_s	جرم فنربندی شده
p	نرخ رل
r	نرخ یاو
i_s	لغزش طولی چرخ
T_w	فاصلهٔ عرضی دو چرخ
u	سرعت طولی
v_y	سرعت جانبی
β	زاویهٔ لغزش بدنه
α	زاویهٔ لغزش چرخ
δ_f	زاویهٔ فرمان جلو
ϕ	زاویهٔ رل
ρ_a	چگالی هوا
ψ	زاویهٔ یاو (چرخش)
γ	زاویهٔ کمبر
ω	سرعت زاویه‌ای چرخ
R	شعاع غلتش مؤثر تایر
d	ضریب مقاومت غلتشی
T	گشتاور محرک
T_b	گشتاور ترمزی
K_{bf}	ثابت تناسبی ترمز جلو
⬇	***اندیس‌ها***
f	تایر جلو
r	تایر عقب
R	تایر راست
L	تایر چپ

فهرست اختصارات انگلیسی

ASC	Active steering control
DYC	Direct yaw-moment control
ESP	Electronic Stability Program
4WS	Four wheel steering
4WD	Four wheel drive
HJB	Hamilton-Jacobi-Belman
LQR	Linear quadratic regulator
LTD	Load transfer distribution
MPC	Model-based predictive control
PD	Proportional-derivative
PID	Proportional-integral-derivative
TPBV	Two Point Boundary Value
VDC	Vehicle Dynamics Control
VSC	Vehicle Stability Control

فهرست مطالب

عنوان *صفحه*

۱- فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- بیان مسئله و ضرورت آن ۱

۱-۲- اهداف کلی تحقیق حاضر ٤

۱-۳- ساختار پایان‌نامه ٤

۲- فصل دوم: مفاهیم اولیه و بررسی منابع ٦

۲-۱- دینامیک خودرو و مشخصه‌های رفتاری آن ٦

۲-۲- کنترل شاسی و انواع آن ۹

۲-۳- پارامترهای دینامیکی مؤثر در مدلسازی و پایداری جهتی خودرو ۱۰

۲-۳-۱- مشخصه‌های نیروهای تایر ۱٦

۲-٤- روشهای کنترل خوشفرمانی و ایمنی فعال ۱۷

۲-٤-۱- کنترل فعال ورودی فرمان ۱۹

۲-٤-۲- کنترل مستقیم گشتاور چرخشی(DYC) ۲۲

۲-٤-۲-۱- مشخصه‌های لازم برای قانون کنترلی DYC ۲۵

۲-٤-۲-۲- مروری بر قوانین کنترلی توسعه داده شده برای DYC ۲۷

۲-۵- روشهای کنترل بهینه ۳۲

۲-٦- جمع‌بندی کارهای انجام شده و نوآوریهای تحقیق حاضر ۳۷

۳- فصل سوم: شبیه‌سازی دینامیکی خودرو ٤٢

۳-۱- توصیف مدل شبیه‌ساز خودرو و ساختار آن ٤٤

۳-۲- بیان ریاضی مدل شبیه‌ساز و استخراج معادلات حرکت ٤٦

۳-۲-۱- زیرمدل حرکتهای خودرو ٤٦

۳-۲-۲- زیرمدل نیروهای تایر ٥٠

۳-۲-۳- زیرمدل دینامیک چرخ ٥٣

۳-۳- نتایج شبیه‌سازی مدل ۸ درجهٔ آزادی و ارزیابی آن ٥٤

۳-٤- مدل دو درجهٔ آزادی خودرو (مدل دوچرخه ای) ٥٩

۳-٥- تحلیلی ریاضی بر اثر مشخصه‌های غیرخطی دینامیک جانبی خودرو ٦٠

٤- فصل چهارم: طراحی کنترل‌کننده ٦٥

٤-۱- ارائهٔ مدلی مطلوب برای خوشفرمانی جهت ردیابی توسط کنترل‌کننده ٦٥

٤-۲- طراحی کنترل‌کنندهٔ بهینهٔ غیرخطی ٧٠

٤-۲-۱- کنترل‌کنندهٔ بهینهٔ غیرخطی بر مبنای تعقیب نرخ یاو ٧١

٤-۲-۱-۱- ارزیابی و تحلیل کنترل کنندهٔ نرخ یاو ٧٦

٤-۲-۱-۲- نتایج شبیه‌سازی ٨٥

٤-۲-۱-۲- مقایسه با دیگر قوانین کنترلی ٨٩

٤-۲-۲- کنترل‌کنندهٔ بهینهٔ غیرخطی بر مبنای تعقیب زاویهٔ لغزش ٩٣

٤-۲-۲-۱- ارزیابی کنترل‌کنندهٔ زاویهٔ لغزش ٩٤

٤-۲-۲-۲- نتایج شبیه‌سازی ٩٧

٥- فصل پنجم: نتیجه‌گیری کلی و پیشنهاد برای کارهای آینده ١٠١

مراجع : ١٠٥

ضمائم :..... ۱۱۰
ضمیمهٔ الف– طراحی کنترل‌کنندهٔ بهینهٔ خطی..... ۱۱۰
ضمیمهٔ ب- طراحی کنترل‌کنندهٔ غیرخطی با روش مدلغزشی..... ۱۲۰
ضمیمهٔ ج- لیست مقالات مستخرج از پایان‌نامه..... ۱۲۱
چکیدهٔ انگلیسی :..... ۱۲۲

فهرست اشکال

شکل ۱-۱- حرکتهای نامطلوب خودرو در موقع گردش و مانوردهی ۱

شکل ۲-۱- حرکتهای اصلی خودرو..... ۷

شکل ۲-۲- سیستم های کنترل شاسی خودرو ۹

شکل ۳-۱: ساختار سیستم حلقه بستهٔ خودرو..... ٤۳

شکل ۳-۲: ساختار کلی مدل خودرو همراه با سیستم کنترلی..... ٤٥

شکل ۳-۳: مدل ۸ درجهٔ آزادی خودرو..... ٤۷

شکل ۳-٤: دینامیک چرخ ٥٤

شکل ۳-٥: مقایسهٔ نتایج شبیه‌سازی با نتایج مرجع و صحه‌گذاری مدل الف- ورودی فرمان ب- مسیر حرکت ج- پاسخ نرخ یاو د- پاسخ شتاب جانبی..... ٥٥

شکل ۳-٦: مقایسهٔ نتایج شبیه‌سازی مدل با نتایج مرجع [19] در یک مانور گردشی الف- ورودی فرمان ب- مسیر حرکت ج- پاسخ نرخ یاو د- پاسخ شتاب جانبی ٥٦

شکل ۳-۷: شتابهای طولی و جانبی خودرو برای مانور گردشی همراه با ترمزگیری ٥۷

شکل ۳-۸: مدل ۲ درجهٔ آزادی خودرو..... ٦۰

شکل ٤-١: مقایسهٔ پاسخ مدلهای خطی و مطلوب در طول یک مانور J-turn الف) زاویهٔ فرمان ب) شتاب جانبی ج) نرخ یاو د) زاویهٔ لغزش جانبی ٧٠

شکل ٤-٢- نتایج شبیه‌سازی یک مانور گردش ثابت الف- نرخ یاو ب- زاویهٔ لغزش ج- خطای ردیابی نرخ یاو د- گشتاور چرخشی ٨٤

شکل ٤-٣- اثر زمان پیش‌بین h بر خطای ردیابی نرخ یاو در حضور نامعینی‌های ناشی از الف) کاهش مرتبهٔ مدل ب) کاهش مرتبهٔ مدل و تغییر شرایط جاده ٨٦

شکل ٤-٤- نتایج شبیه‌سازی مانور تغییر باند الف-زاویهٔ فرمان ب- نرخ یاو ج- زاویهٔ لغزش د- شتاب جانبی و- مسیر حرکت ه- گشتاور چرخشی ٨٨

شکل ٤-٥- اثر نسبت وزنی ($w.r.$) در الف- پاسخ نرخ یاو ب- گشتاور یاو خارجی ٨٩

شکل ٤-٦- مقایسهٔ عملکرد دینامیکی کنترل کننده‌های غیرخطی بهینه و مد لغزشی الف- نرخ یاو ب- خطای ردیابی نرخ یاو ج- گشتاور یاو خارجی د- زاویهٔ لغزش ٩١

شکل ٤-٧: مقایسهٔ عملکردهای دینامیکی دو نوع کنترل‌کنندهٔ پیشنهاد شده مبتنی بر تعقیب زاویهٔ لغزش الف- ورودی فرمان ب-زاویهٔ لغزش ج- نرخ یاو د- گشتاور چرخشی. ٩٦

شکل ٤-٨: بهرهٔ نرخ یاو در مقابل سرعت برای خودروهای کنترل‌شده و کنترل‌نشده ٩٧

شکل ٤-٩- نتایج شبیه‌سازی مانور تغییر باند در یک جادهٔ خشک الف-زاویهٔ فرمان ب-مسیر حرکت ج- زاویهٔ لغزش د- نرخ یاو و-شتاب جانبی ه- گشتاور چرخشی ٩٩

شکل ٤-١٠- اثر ضریب وزنی در الف-پاسخ زاویهٔ لغزش ب-گشتاور چرخشی ١٠٠

فهرست جداول

جدول ۳-۱- مشخصات خودروی مورد مطالعه ۵۸

جدول ٤-۱- عمکرد کنترل‌کننده برای مقادیر مختلف λ ($h = 0.2\sec$) ۸۵

جدول ٤-۲- عمکرد کنترل‌کننده برای مقادیر مختلف h ($\lambda = 5\times10^{-9}$) ۸۵

جدول ٤-۳- مقایسهٔ عملکرد دینامیکی دو کنترل‌کننده ۹۱

فصل اول

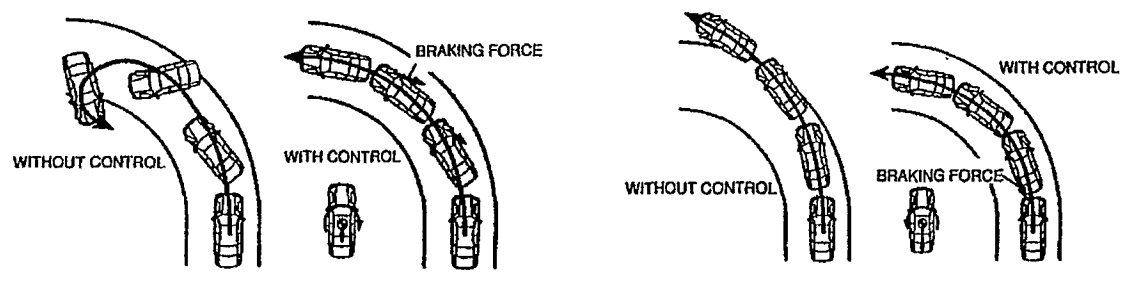
مقدمه

۱- مقدمه

۱-۱- بیان مسئله و ضرورت آن

بیشتر تصادفاتی که منجر به تلفات جانی و خسارتهای مالی شدید می‌شوند ناشی از حرکتهای نامطلوبی است که در نتیجهٔ از دست رفتن کنترل حرکت خودرو و ناتوانی راننده در هدایت صحیح آن بوجود می آیند. بررسی این مسئله از دیدگاه دینامیک خودرو همراه با توسعهٔ سیستم های کنترلی لازم جهت ایمنی فعال، حفظ پایداری، افزایش فرمانپذیری و در حالت کلی بهبود رفتار دینامیکی خودرو متناسب با شرایط رانندگی، موضوع مهمی است که به ویژه در دههٔ اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته است.

مطالعات نشان می دهد که لغزش یک طرفهٔ خودرو به بیرون مسیر حرکت در سر پیچها و یا چرخش شدید خودرو حول محور عمودی در هنگام گردش و مانورهای سریع، از جمله حرکات نامطلوبی هستند که ناشی از ناپایداری دینامیک جانبی خودرو می‌باشند (شکل ۱-۱). در این میان رفتار نیروهای جانبی تایرها نقش اساسی در تعیین رفتار جهتی خودرو دارد و حرکت چرخشی خودرو نیز متأثر از گشتاور چرخشی ایجاد شده توسط نیروهای جانبی تایرهای جلو و عقب حول مرکز ثقل خودرو می باشد.



شکل ۱-۱- حرکتهای نامطلوب خودرو در موقع گردش و مانوردهی [1]

اساساً نیروهای جانبی تایرها توسط ورودی فرمان کنترل می شوند. تا زمانی که خودرو در حال انجام مانورهایی با شتاب جانبی پایین و کمتر از ظرفیت اصطکاکی جاده است رفتاری نسبتاً خطی بین ورودی فرمان و نیروی جانبی و در نتیجه گشتاور چرخشی وجود دارد. این ارتباط بین ورودی فرمان و کمیتهای مرتبط با دینامیک جانبی، اساس کار سیستم های کنترل فعال فرمان[1] و یا کنترل فرمان چهارچرخ[2] می باشد که در آنها با کنترل و تصحیح زوایای فرمان می توان دینامیک جانبی را به طور مستقیم کنترل کرده و رفتار جهتی آن را بهبود بخشید. برای توسعهٔ قوانین کنترلی این سیستمها که بیشتر در محدودهٔ خطی دینامیک خودرو کارائی دارند می توان از مدلهای خطی ساده خودرو استفاده کرد.

اما در وضعیت های بحرانی که خودرو در حال انجام مانورهایی با شتاب جانبی بالا و در حد ظرفیت اصطکاکی جاده است نیروی جانبی تایرها به حد چسبندگی جاده نزدیک شده و با افزایش زاویهٔ لغزش[3] به اشباع می رسند. در این حالت، رفتار دینامیکی خودرو به دلیل اشباع نیروهای تایر وارد ناحیهٔ غیرخطی شده و بدین ترتیب تاثیر مستقیم ورودی فرمان بر نیروهای جانبی تایرها و در نتیجه گشتاور چرخشی به شدت کاهش یافته و خودرو فاقد کنترل از سوی راننده می شود. در چنین وضعیت های بحرانی، سیستم های کنترل فرمان به دلیل کاهش حساسیت زاویهٔ فرمان در کنترل پارامترهای مرتبط با دینامیک جانبی مثل نرخ یاو و زاویهٔ لغزش (یا سرعت جانبی)، دیگر کارائی لازم برای پایدارسازی و بهبود حرکتهای خودرو را ندارند.

[1] Active steering control (ASC)
[2] Four wheel steering (4WS)
[3] Slip angle

اصولاً کاهش شدید در گشتاور چرخشی داخلی ایجاد شده بوسیلهٔ نیروهای جانبی تایرها، اصلی‌ترین عامل حرکت ناپایدار خودرو موسوم به حرکت چرخشی شدید[1] بوده و فراهم کردن گشتاور چرخشی خارجی مورد نیاز سبب پایدار سازی خودرو در شرایط بحرانی می‌گردد. اخیراً کنترل مستقیم گشتاور چرخشی[2] به عنوان یک روش بسیار مؤثر برای پایدارسازی دینامیک جانبی و ایمنی فعال خودرو در وضعیتهای بحرانی معرفی شده است. روش عملی برای تولید گشتاور خارجی مورد نیاز با منشایی غیر از نیروهای جانبی، توزیع نامتقارن نیروهای طولی بین چرخهای چپ و راست خودرو می باشد. این استراتژی موسوم به ترمزگیری تفاضلی[3] با استفاده از یک سیستم متداول ترمز ضد قفل[4] در ساختار سیستم کنترلی قابل انجام است. سیستم ABS ضمن انجام وظیفهٔ اصلی خود در جلوگیری از قفل شدن چرخها و کنترل مستقیم دینامیک طولی، با کنترل لغزش طولی هر چرخ به طور مجزا، نیروهای ترمزی غیریکسان را به چرخهای طرفین خودرو اعمال و باعث ایجاد گشتاور چرخشی مورد نیاز می گردد.

بدین ترتیب یک سسیتم کنترل دینامیک خودرو با هدف کنترل مستقیم دینامیک جانبی در شرایط بحرانی، از یک سیستم دو لایه‌ای تشکیل می‌شود. در لایهٔ بالایی یک کنترل کنندهٔ گشتاور چرخشی قرار دارد که مقدار گشتاور خارجی مورد نیاز برای پایدارسازی و بهبود رفتار دینامیکی خودرو را تعیین می‌کند و در لایهٔ پایینی از طریق یک عملگر شناخته شدهٔ ABS و به روش ترمزگیری تفاضلی، گشتاور محاسبه شده در لایهٔ بالائی به خودرو اعمال می‌گردد.

[1] Spin motion
[2] Direct yaw moment control (DYC)
[3] Differential braking
[4] Anti-lock braking system (ABS)

۱-۲- اهداف کلی تحقیق حاضر

در پایان نامه حاضر تلاش می گردد تا با مطالعهٔ دقیق و درک عمیقی از دینامیک خودرو و عوامل مؤثر بر رفتار نامطلوب آن همراه با بررسی محدودیتهای فیزیکی و اثرات جانبی سیستم کنترلی، یک کنترل کنندهٔ مناسب برای گشتاور چرخشی جهت کنترل و پایدارسازی خودرو در شرایط بحرانی، طراحی و توسعه داده شود. در این راستا با توجه به مشخصه‌های دینامیک خودرو و ملزومات سیستم کنترلی که در فصل بعد بیشتر تشریح خواهد شد، توسعهٔ قوانین کنترلی غیرخطی برای گشتاور چرخشی مبتنی بر بهینه‌سازی، محور اصلی این پایان نامه می‌باشد. برای اجتناب از روشهای عددی در حل مسائل بهینه سازی به ویژه برای مدل غیرخطی خودرو، استفاده از روشهای تحلیلی در پیدا کردن قوانین کنترلی مورد تأکید می‌باشد. در این خصوص روش جدیدی برای کنترل بهینهٔ غیرخطی بر اساس پیش‌بینی پاسخ‌های سیستم خودرو، توسعه داده شده و مورد تحلیل و ارزیابی قرار می‌گیرد. ضمناً با توجه به رفتار دینامیکی خودرو، محدودیتهای فیزیکی جاده و ساختار قوانین کنترلی توسعه داده شده، یک مدل مرجع و مطلوب مناسب برای دینامیک جانبی خودرو جهت ردیابی توسط کنترل کننده های پیشنهادی معرفی می‌گردد.

۱-۳- ساختار پایان نامه

در راستای تبیین اهداف تحقیق حاضر و ارائهٔ راهکارهای مناسب برای رسیدن به این اهداف، این پایان نامه در پنج فصل تهیه و تنظیم شده است. بعد از بیان مقدمه ای در ارتباط با اهمیت موضوع مورد تحقیق و اهداف کلی آن در *فصل اول*، در *فصل دوم* مفاهیم اولیه و پایه‌های نظری مربوط به دینامیک خودرو و سیستم های کنترل حرکتهای خودرو مطرح شده و با بررسی سوابق و منابع موجود در ارتباط با موضوع مورد پژوهش، نحوهٔ تشخیص مسئله و چنبه‌های مهم آن تشریح می‌گردد. در

بخش آخر این فصل، با جمع‌بندی کارهای انجام شده، اهداف و نوآوریهای تحقیق حاضر بیان می‌شود. در *فصل سوم* نحوهٔ شبیه‌سازی دینامیکی خودرو مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. ابتدا یک مدل ۸ درجهٔ آزادی که اعتبار آن با نتایج تجربی و کارهای قبلی ارزیابی شده است به عنوان مدلی جامع برای انجام شبیه‌سازیهای نهایی خودروی با و بدون کنترل ایجاد می‌گردد. سپس مدلهای ساده شده‌ای از مدل فوق جهت طراحی کنترل کننده‌ها استخراج می‌شوند. در *فصل چهارم* که هدف اصلی پایان‌نامه می‌باشد به طراحی و تحلیل سیستم کنترلی پرداخته می‌شود. ابتدا یک مدل مطلوب جدید برای دینامیک جانبی خودرو که مبتنی بر مدل خطی پایدار بوده و با شرایط جاده نیز سازگاری دارد جهت تعقیب و ردیابی از سوی کنترل کننده‌ها پیشنهاد می‌گردد و سپس قوانین کنترل بهینهٔ غیرخطی برای گشتاور چرخشی توسعه داده می‌شوند. در این خصوص یک روش جدید جهت ارائهٔ قوانین کنترل بهینهٔ غیرخطی مبتنی بر کنترل پیش‌بین، برای کاربرد مورد نظر توسعه داده شده و مورد تحلیل و ارزیابی قرار می‌گیرد. از ویژگیهای قوانین کنترلی ارائه شده در این فصل شکل تحلیلی بودن آنهاست که باعث سادگی محاسبات و حجم کم آنها می‌شود و پیاده‌سازی عملی آنها به آسانی قابل انجام است. در طول این فصل نتایج مربوط به عملکرد کنترل‌کننده‌های ارائه شده با برخی کنترل‌کننده‌های پیشنهاد شده در مراجع معتبر مقایسه شده تا بدین ترتیب مناسب‌ترین قانون کنترلی برای گشتاور چرخشی و در کل بهترین استراتژی برای بهبود رفتار دینامیکی خودرو در شرایط بحرانی معرفی گردد. در *فصل پنجم*، نتیجه گیری کلی و پیشنهاد برای کارهای آینده مطرح خواهد شد.