نتایج بررسی تاثیر پارامترهای طراحی یک خودرو SUV، بر پایداری آن در مانورهای بیش غلتی (Rollover)

کاوه سلطانی[۱] ، رضا کاظمی[۲]

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی – دانشکده مهندسی مکانیک

تهران – فلکه چهارم تهرانپارس – دوراهی رهبر

soltani_kaveh@yahoo.com

چکیده

هدف این مقاله بررسی تاثیر پارامترهای طراحی یک خودرو SUV بر پایداری خودرو در شرایط بروز بیش غلتی با توجه به تغییرات هر کدام از این پارامترها می باشد. به این منظور با استفاده از یک مدل دینامیکی کامل ۱۴ درجه آزادی خودرو، در حین مانورهای استاندارد بیش غلتی، با تغییر پارامترهای مهم طراحی خودرو، تاثیر آنها بر حد پایداری بیش غلتی مورد بررسی قرار می گیرد.

واژه های کلیدی : خودرو - بیش غلتی (Rollover) - شبیه سازی - پایداری

مقدمه

خودرو به عنوان یک سیستم دینامیکی به دلیل دارا بودن تعداد قطعات و زیر سیستمهای زیاد و تاثیرات متفاوتی که هر کدام از آنها بر دیگری و بر کل خودرو می گذارند، دارای دینامیک پیچیده ای می باشد. این پیچیدگی وقتی نمایان می شود که تیم طراحی خودرو می خواهند خصوصیات دینامیکی خودرو و از جمله پایداری بیش غلتی آنرا، به سمت اهداف طراحی از پیش تعیین شده سوق دهند. در فرآیند طراحی پارامترهای خودرو به نحوی انتخاب می شوند که نیازهای سواری و خوش فرمانی خودرو را برآورده کنند. در این میان عدم توجه به تاثیر این پارامترها بر رفتار بیش غلتی خودرو می تواند باعث شود که خودرو در مواجهه با شرایط حد پایداری، به راحتی دچار بیش غلتی گردد. رفتار خودرو در مانورهای بیش غلتی پیچیده و غیر قابل پیش بینی است. علی رغم تحقیقات ارزشمند به صورت آزمایشهای عملی و شبیه سازیهای کامپیوتری [1,2,3]، تاثیر پارامترهای طراحی خودرو بر بیش غلتی خودروها کاملاً مشخص نشده است. عموماً شاخص های پایداری استاتیکی از قبیل SSF و TTR برای بیان پایداری بیش غلتی خودروها استفاده می شوند. اخیراً برخی شاخصهای دیکر از قبیل سرعت لغزش بحرانی (CSV) [4]، اندیس پایداری دینامیکی (DSI) [5] و توزیع انتقال نیرو (LTD) [6] معرفی شده اند ولی به علت پیچیدگی دینامیک بیش غلتی خودرو و تاثیر عوامل مختلف از جمله شرایط محیطی و محدود بودن این شاخصها به تعداد اندکی از متغیرهای دینامیکی خودرو، این شاخصها هم معیار مناسبی برای ارزیابی پایداری بیش غلتی خودروها نمی باشند. به هر حال تا وقتی که شتاب جانبی خودرو چه به صورت ناگهانی و چه به صورت یکنواخت از حد مشخصی فراتر نرود، بیش غلتی اتفاق نمی افتد. بنابر این حد پایداری بیش غلتی (شتاب جانبی که منجر به واژگونی خودرو می شود) به عنوان شاخص پایداری بیش غلتی خودرو انتخاب شد تا تاثیر برخی پارامترهای مهم طراحی بر آن برای پیش بینی وضعیت بیش غلتی خودرو و بهبود آن در حین فرایند

۱- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک

۲- استادیار – دکترای مهندسی مکانیک

طراحی مورد بررسی قرار گیرد. به این منظور در این پژوهش از یک مدل ۱۴ درجه آزادی برای بررسی تاثیر پارامترهای مهم طراحی خودرو بر حد پایداری بیش غلتی استفاده شده است[۷].

مدل دینامیکی

یک مدل ۱۴ درجه آزادی که شامل درجات آزادی زیر می باشد برای انجام مدلسازی تهیه شده است[۸] :

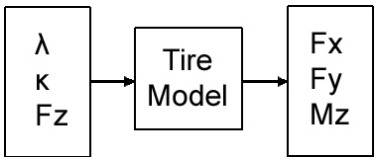
۶ درجه انتقال و دوران بدنه

۴ درجه جابجایی سیستم تعلیق

۴ درجه دوران چرخها

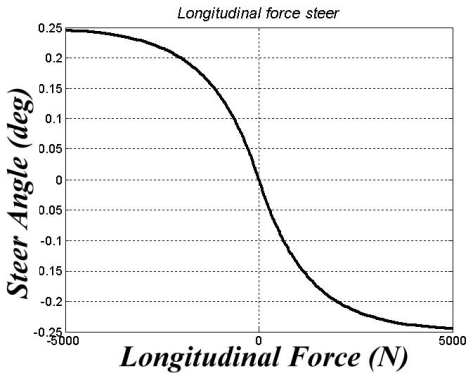
سایر زیر سیستمهای ضروری برای شبیه سازی مانورهای بیش غلتی، از جمله تایر، فرمان و سیستم تعلیق هر یک با مدلهایی که برای شرایط حدی مناسب باشد مدلسازی شده اند. مدلسازی تایر بر اساس رابطه جادویی و با استفاده از مدل تایر پچکا [9] انجام شده است.

البته طی مراحل صحه گذاری، تغییراتی در روابط مربوط به نیروهای جانبی در این مدل اعمال شده است تا در شرایط مرز پایداری که نیروهای عمودی و زوایای لغزش تایر زیاد می باشند، نتایج بهتری حاصل شود. پارامترهای ورودی مدل تایر (زاویه لغزش، لغزش طولی و بار عمودی) و کمیتهای خروجی این مدل که در جریان شبیه سازی محاسبه می شوند، در شکل ۱ دیده می شوند.

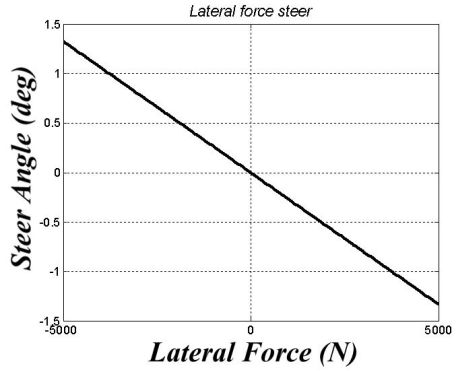


شکل ۱- ورودیها و خروجیهای مدل تایر

در مدلسازی فرمان علاوه بر در نظر گرفتن هندسه سیستم فرمان، اثرات نرمی سیستم که در حضور نیروها و گشتاورها موجب فرمانگیری خودرو می شود نیز در مدل فرمان اعمال شده اند. تاثیر نیروهای طولی و جانبی را در فرمانگیری خودرو می توان در شکلهای ۲ و ۳ مشاهده کرد.



شکل ۲- فرمانگیری در اثر نیروهای طولی

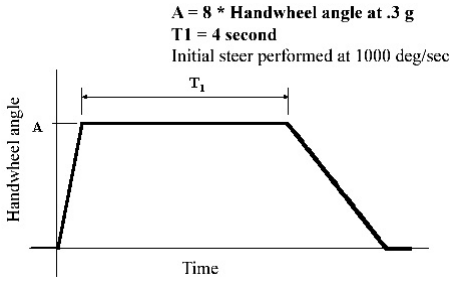


شکل ۳- فرمانگیری در اثر نیروهای جانبی

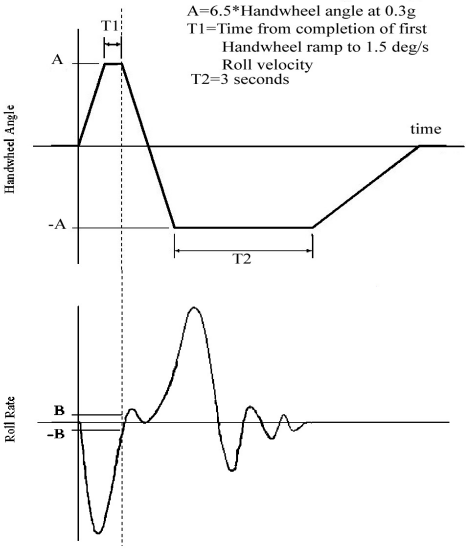
مانورها

اگرچه تاکنون روند تست استانداردی برای تعیین پایداری خودروها در بیش غلتی ارائه نشده است ولی مانورهای مختلفی از سوی سازمانها و مراکز تحقیقاتی ارائه شده اند که تعدادی از معتبرترین مانورهای این زمینه، در جدول شماره ۲ ضمیمه این مقاله آمده اند. این مانورها در فاز چهارم برنامه تحقیقاتی بیش غلتی خودروهای سبک در سازمان ملی ایمنی و ترافیک بزرگراههای امریکا (NHTSA) مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند تا از میان آنها مناسبترین مانور برای بررسی بیش غلتی انتخاب شود [10]. معیار مقایسه این مانورها، هدفگرایی، تکرارپذیری، قابلیت اجرا، قابلیت تمایز و میزان تطابق با واقعیت بوده است.

همانطور که از جدول دیده می شود بهترین مانورها برای بررسی بیش غلتی، مانور "آزمایش-ل" (J-Turn) و آزمایش قلاب ماهی (Fishhook) می باشند که بالاترین امتیاز را در این مجموعه کسب کرده اند. نحوه اعمال ورودی فرمان این مانورها در شکلهای ۴ و ۵ به ترتیب برای مانور آزمایش-ل و قلاب ماهی مشاهده می شود.



شکل ۴- ورودی فرمان در مانور آزمایش-ل[۳]



شکل ۵- ورودی فرمان در مانور قلاب ماهی[۳]

بنابراین مانورهای یاد شده برای بررسی اثر پارامترهای خودرو بر پدیده بیش غلتی انتخاب شدند. البته از آنجا که مانور آزمایش-ل حالتی شبیه به اعمال ورودی پله را به یک سیستم دینامیکی به وجود می آورد، در نشان دادن پاسخ دینامیکی سیستم مناسبتر می باشد. ولی در مانور قلاب ماهی اثرات فرکانس طبیعی غلتشی خودرو بهتر نمایان می شود.

خودروی مرجع

خودروی تویوتا 4 Runner مدل سال ۲۰۰۱ که مقادیر پارامترهای آن و نتایج آزمایشهای آن در دسترس بوده است به عنوان خودروی مرجع برای انجام شبیه سازی به ترتیب در مانور J-Turn و Fishhook مورد استفاده قرار گرفته است.

پارامترهای خودروی مذکور در جدول ۱ دیده می شود.

جدول ۱- مقادیر پارامترهای خودرو[۴]

خودروی آزمایش	تویوتا 4 Runner 2001
M	1948*
hcg	688
Wheel base	2674
track	1524
Steering ratio	21.1
Roll inertia	615
Pitch inertia	3383
Yaw inertia	3241

*اعداد آمده در جدول بر اساس سیستم واحدهای SI می باشند

پارامترهای مورد ارزیابی

پارامترهای طراحی خودرو بسیارند ولی تعدادی از آنها از پارامترهای اساسی و کلیدی طراحی هستند که عموماً نشان دهنده نوع و کلاس خودرو می باشند، به طوریکه طراح فقط در محدوده کوچکی از هر کدام از این پارامترها امکان اعمال تغییر در مقادیر آنها را دارد. بنابراین شناخت اثر این پارامترها می تواند برای اصلاح طراحی و دستیابی به محدوده پایداری بالاتر، اطلاعات مفیدی در اختیار طراح قرار دهد.

بر این اساس تاثیر پارامترهای زیر بر حد پایداری خودرو، مورد بررسی قرار می گیرد. (حد پایداری خودرو مقدار شتاب جانبی است که در آن بیش غلتی آغاز می شود).

- ارتفاع مرکز جرم
- ارتفاع محور غلت
- جرم خودرو
- درصد توزیع وزن
- ممان غلتشی
- سفتی پیچشی
- فاصله عرضی چرخها
- فاصله طولی محورها

شبیه سازی و تاثیر پارامترها

همانطور که انتظار می رفت، با استفاده از یک مدل غیر خطی پیچیده مطابق آنچه در این مقاله استفاده شده است، ارتباط پارامترهای طراحی با "شتاب جانبی در لحظه شروع بیش غلتی" که به عنوان پارامتر پایداری خودرو در

نظر گرفته شده است، به دلیل وابستگی زیاد معادلات دینامیکی خودرو به یکدیگر و غیر خطی بودن معادلات، یک ارتباط ساده نمی باشد. در بررسی اثر پارامترها، فرض شده است که با تغییر یک پارامتر، سایر پارامترهای طراحی بدون تغییر می مانند.

با انجام شبیه سازی مانورهای آزمایش-ل و قلاب ماهی تاثیر پارامترهای مذکور به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته است که در این قسمت نتایج شبیه سازیها ارائه می گردد:

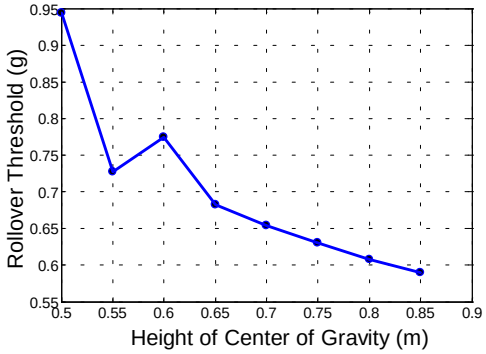
۱- تاثیر ارتفاع مرکز جرم

ارتفاع مرکز جرم به عنوان یکی از مهمترین و موثر ترین پارامترهای طراحی خودرو در پایداری آن می باشد که با پارامتر پایداری ایستایی خودرو ارتباط معکوس دارد. بر اساس مدلهای ایستایی خودرو پارامتر پایداری ایستایی (SSF) به صورت رابطه زیر تعریف می شود :

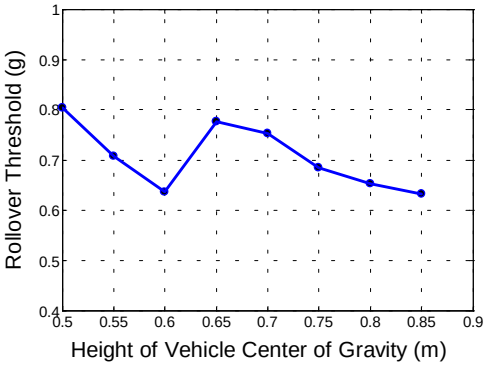
$$SSF=t/2h \qquad (۱)$$

که در این رابطه t فاصله عرضی چرخها و h ارتفاع مرکز جرم خودرو می باشد.

همانطور که در شکلهای ۶ و ۷ دیده می شود در مانورهای آزمایش-ل و قلاب ماهی، به طور کلی با افزایش ارتفاع مرکز جرم خودرو، حد تحمل شتاب جانبی خودرو کاهش می یابد. یعنی اگر در یک خودرو به دلیل تغییر در طراحی یا افزایش بار خودرو، ارتفاع مرکز جرم افزایش یابد در حالیکه سایر پارامترهای آن ثابت باقی بماند، نگرانی شدیدی نسبت به وضعیت پایداری خودرو به وجود می آید. همانطور که در شکل ۶ دیده می شود، افزایش ارتفاع مرکز جرم از ۰/۵ متر به ۰/۸۵ متر باعث کاهش حد تحمل شتاب جانبی از ۰/۹۵ به ۰/۶ می شود. در مانور قلاب ماهی هم البته با شدت کمتری وضعیت به همین صورت می باشد.



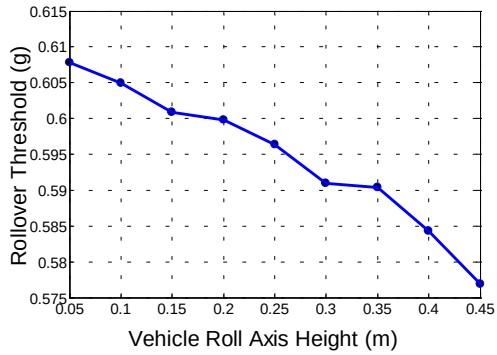
شکل ۶- تاثیر ارتفاع مرکز جرم در مانور آزمایش-ل



شکل ۷- تاثیر ارتفاع مرکز جرم در مانور قلاب ماهی

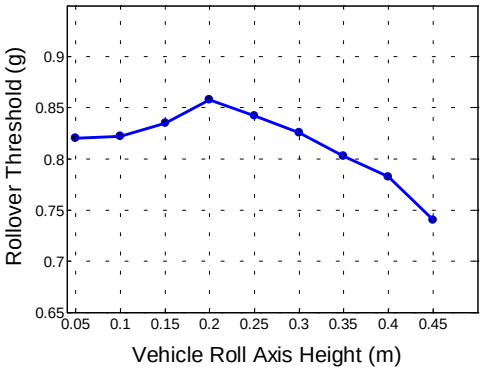
۲- تاثیر ارتفاع محور غلت

ارتفاع محور غلت (hRA) که ناشی از مکانیزم سیستم تعلیق می باشد تاثیر زیادی در شتاب غلتشی خودرو دارد. در شکل ۸ مشاهده می شود که با تغییر ارتفاع محور غلت اگرچه حد تحمل شتاب جانبی کاهش می یابد، ولی مقدار کاهش آن زیاد نیست. ولی در مانور قلاب ماهی که مد ارتعاشی غلتش خودرو را بهتر تحریک می کند، وضعیت کمی فرق می کند. به طوریکه در مقادیر کم ارتفاع محور



شکل ۸ تاثیر ارتفاع محورغلت در مانور آزمایش-ل

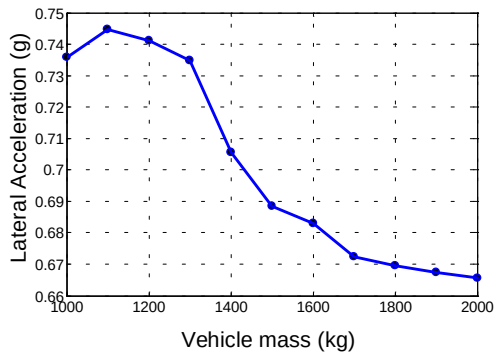
غلت، حد پایداری پایین می باشد و با افزایش محور غلت در مقدار ۰/۲ متر حد پایداری به بیشترین حد خود می رسد و با افزایش hRA مجدداً حد پایداری کاهش می یابد.



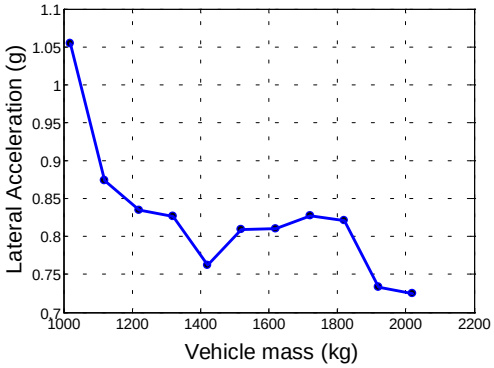
شکل ۹- تاثیر ارتفاع محور غلت در مانور قلاب ماهی

۳- تاثیر جرم خودرو

جرم خودرو به دو صورت افزایش می یابد : افزایش بار ناشی از تعداد سرنشین بیشتر و یا تغییر در طراحی خودرو. در شکلهای ۱۰ و ۱۱ مشاهده می شود که افزایش جرم خودرو که به طور کلی ناشی از افزایش جرم فنربندی شده (Sprung Mass) می باشد، تاثیر منفی بر حد پایداری خودرو دارد. اثر تغییر جرم بر پایداری بیش غلتی خودرو در مانور قلاب ماهی بسیار شدید و محسوس می باشد. علت این امر می تواند ناشی از ارتباط جرم فنربندی شده و فرکانس طبیعی غلتشی خودرو باشد. زیرا با افزایش جرم، فرکانس طبیعی غلتشی کاهش می یابد و تاثیر پدیده تشدید در بروز بیش غلتی خودرو بیشتر می شود. شکل ۱۱ نشان می دهد که با افزایش جرم از ۱۰۰۰ کیلوگرم تا ۲۰۰۰ کیلوگرم حد پایداری حدود ۰/۳۲ کاهش می یابد.



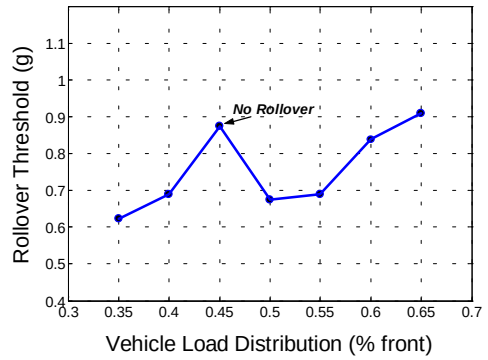
شکل ۱۰- تاثیر ارتفاع جرم خودرو در مانور آزمایش-ل



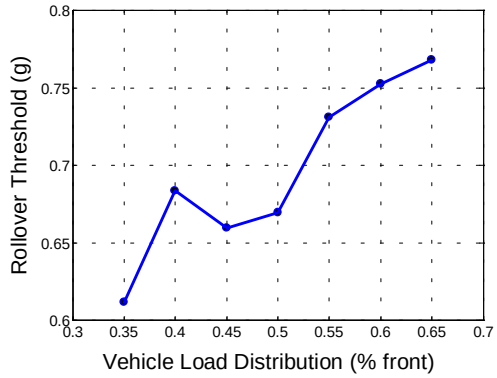
شکل ۱۱- تاثیر جرم خودرو در مانور قلاب ماهی

۴- تاثیر توزیع وزن خودرو

نحوه توزیع وزن که باعث تغییر نیروی عمودی تایرها می شود، تاثیر زیادی بر رفتار خودرو دارد زیرا تغییر بار عمودی چرخها مستقیماً بر پاسخ گردش (Yaw) خودرو و خواص بیش فرمانی و کم فرمانی آن تاثیر می گذارد که این خود باعث بروز تغییر در پایداری بیش غلتی خودرو می شود. در شکلهای ۱۲ و ۱۳ دیده می شود که به طور کلی با افزایش بار محور جلو حد پایداری خودرو افزایش می یابد.



شکل ۱۲- تاثیر درصد توزیع وزن در مانور آزمایش-ل

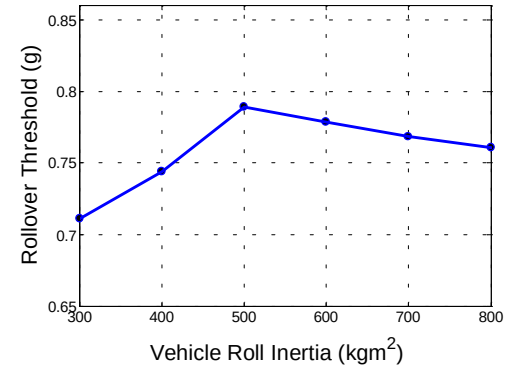


شکل ۱۳- تاثیر درصد توزیع وزن در مانور قلاب ماهی

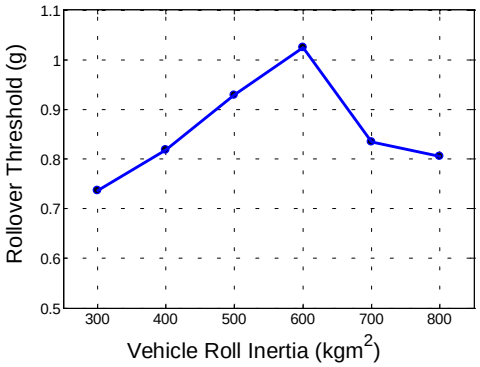
در شکل ۱۲ مشاهده می شود که در شرایط توزیع وزن به صورت ۴۵ درصد در محور جلو و ۵۵ درصد در محور عقب، بیش غلتی اتفاق نمی افتد.

۵- تاثیر ممان اینرسی غلتشی

ممان اینرسی غلتشی که با تغییر طراحی بدنه و سایر اجزای خودرو و همچنین با تغییر بار و سرنشین خودرو تغییر می کند، باعث تغییر در حد پایداری خودرو می گردد. مطابق شکلهای ۱۴ و ۱۵ ، با افزایش ممان اینرسی حد پایداری افزایش می یابد تا اینکه پس یک نقطه بیشینه مجدداً کم می شود. شکل ۱۵ نشان می دهد که در مقدار $Ixx=600$ (kgm^2) در مانور قلاب ماهی بیش غلتی اتفاق نمی افتد. در مانور آزمایش-ل هم در مقدار ممان اینرسی 500 (kgm^2) بیشترین مقدار حد پایداری بدست می آید. با افزایش ممان اینرسی از این مقدار تا مقدار (800 kgm^2) حد پایداری کاهش می یابد ولی کاهش در حد پایداری با کاهش ممان اینرسی بیشتر می شود.



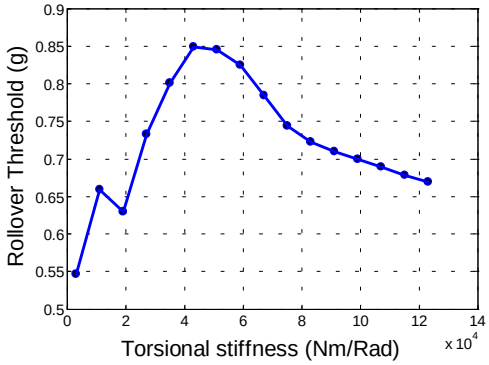
شکل ۱۴- تاثیر ممان اینرسی غلتشی در مانور آزمایش-ل



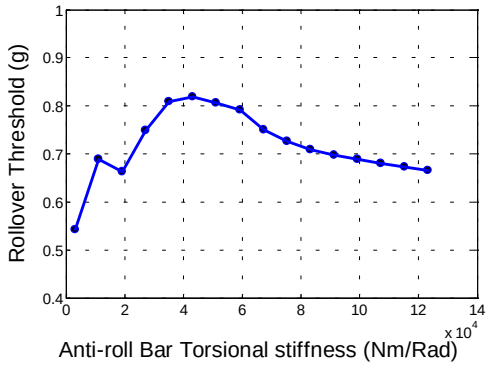
شکل ۱۵- تاثیر ممان اینرسی غلتشی در مانور قلاب ماهی

۶- تاثیر سفتی پیچشی

سفتی پیچشی (Torsional Stiffness) اثری مشابه ممان اینرسی غلتشی دارد. البته تاثیر تغییرات سفتی پیچشی بیشتر می باشد. در شکلهای ۱۶ و ۱۷ دیده می شود که در مقادیر حدود 40000 (Nm/rad) بیشترین حد پایداری حاصل می شود و با افزایش یا کاهش این پارامتر، حد پایداری کاهش می یابد. در مانور آزمایش-ل (شکل ۱۶) از مقادیر سفتی پیچشی کم تا مقدار 40000 (Nm/rad) حد پایداری در حدود 0.3 g تغییر می کند.



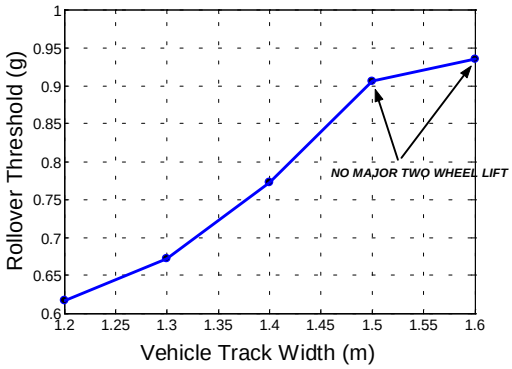
شکل ۱۶- تاثیر سفتی پیچشی در مانور آزمایش-ل



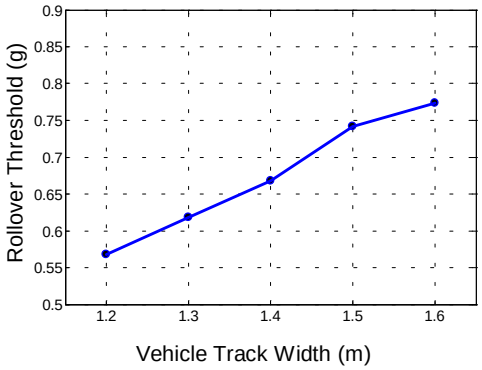
شکل ۱۷- تاثیر سفتی پیچشی در مانور قلاب ماهی

۷- تاثیر فاصله عرضی چرخها

همانطور که از شکلهای ۱۸ و ۱۹ پیدا است، تغییر فاصله عرضی چرخها (Track Width) تقریباً با حد پایداری خودرو رابطه خطی دارد و با افزایش فاصله عرضی حد پایداری بیش غلتی افزایش می یابد به طوریکه در مقادیر ۱/۵ و ۱/۶ متر فاصله عرضی چرخها در مانور آزمایش-ل (شکل ۱۸) بیش غلتی اتفاق نیفتاده است.



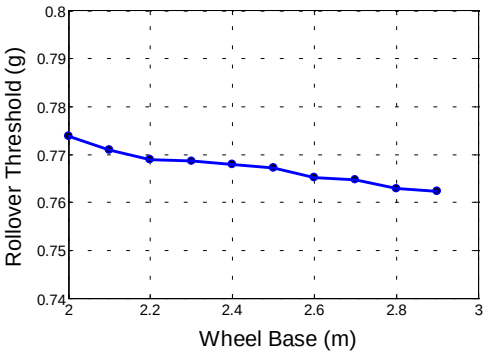
شکل ۱۸- تاثیر فاصله عرضی چرخها در مانور آزمایش-ل



شکل ۱۹- تاثیر فاصله عرضی چرخها در مانور قلاب ماهی

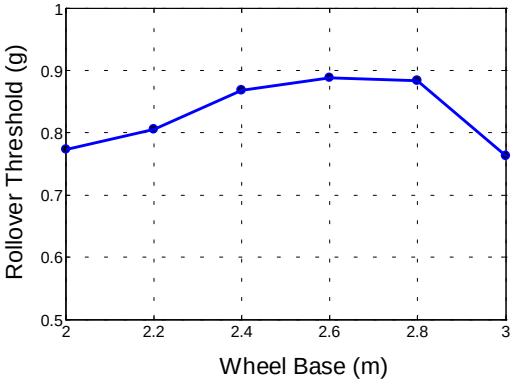
۸- تاثیر فاصله طولی محورهای خودرو

در مانور آزمایش-ل تاثیر تغییر فاصله طولی محورها (Wheel Base) بر حد پایداری خودرو اندک می باشد (شکل ۲۰). تاثیر این پارامتر در مانور قلاب ماهی بهتر دیده می شود. همانطور که بر اساس مدلهای ساده گردش-غلتش (Yaw-Roll Models) خودرو انتظار می رفت با افزایش فاصله طولی محورها حد تحمل شتابهای جانبی افزایش می یابد. در شکل ۲۱ دیده می شود که در مقدار فاصله طولی ۳ متر مجدداً حد پایداری کاهش یافته است



شکل ۲۰- تاثیر فاصله طولی محورها در مانور آزمایش-ل

که احتمالاً علت آن ناشی از زیاد شدن طول بازوی گشتاور نیروهای جانبی تایرها در جهت افزایش پاسخ لحظه ای گردش خودرو به سمت بیش فرمانی و تغییر در اختلاف فاز نیروهای جانبی به سمت افزایش پاسخ غلتش خودرو می باشد.



شکل ۲۱- تاثیر فاصله طولی محورها در مانور قلاب ماهی

نتیجه گیری

از مدل ساخته شده برای بررسی بیش غلتی که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است می توان در مراحل طراحی خودرو برای کنترل وضعیت پایداری بیش غلتی خودرو استفاده کرد. علاوه بر آن، پس از طی مراحل اولیه طراحی وساخته شدن نمونه آزمایشی خودرو (Prototype)، اجباراً خودروها باید آزمایشهای استانداردی را پشت سر بگذارند. در خلال این آزمایشها اگر وضعیت پایداری بیش غلتی خودرو در وضعیت مطلوب نباشد، اعمال تغییراتی (Modification) در پارامترهای خودرو برای دستیابی به حد پایداری مطلوب لازم می باشد. نتایج ارائه شده در این مقاله که در ادامه می آیند، تاثیر هر یک از پارامترهای مورد بررسی را بر پایداری خودرو مرجع مورد استفاده در مانورهای مذکور بیان می کنند و در مورد نحوه رفتار کلی خودرو در شرایط بروز بیش غلتی اطلاعات مفیدی در اختیار طراح قرار می دهند :

۱) حساسیت خودرو به ارتفاع مرکز جرم، فاصله عرضی چرخها و سفتی پیچشی از سایر پارامترها بیشتر می باشد و با تغییر این پارامترها می توان بیشترین تغییر را در حد پایداری بیش غلتی خودرو ایجاد کرد.

۲) با افزایش ارتفاع مرکز جرم و افزایش جرم فنربندی شده به طور کلی حد پایداری کاهش می یابد. بنابر این حداکثر بار مجاز خودرو و اثر اضافه بار در ارتفاع مرکز جرم، باید به دقت بررسی شود.

۳) با تغییر سفتی پیچشی سیستم تعلیق می توان تغییر قابل توجهی در حد پایداری بیش غلتی خودرو ایجاد کرد.

۴) با افزایش فاصله عرضی چرخها عموماً حد پایداری افزایش می یابد.

۵) توزیع بار عمودی محورها باید با دقت زیاد انجام شود زیرا تغییر در مقدار توزیع بار، پاسخ دینامیکی خودرو را دچار تغییر می کند.

۶) ارتفاع محور غلت و ممان اینرسی غلتشی خودرو نسبت به سایر پارامترهای بررسی شده در این مقاله، تاثیر کمتری بر پایداری بیش غلتی خودرو دارند.

ادامه تحقیقات در مورد موضوع این مقاله در زمینه های زیر پیشنهاد می شود :

- انجام شبیه سازی ها برای خودروها در کلاسهای مختلف برای امکان دستیابی به نتایج آماری قابل تعمیم به سایر خودروهای مشابه.
- ادامه شبیه سازیها جهت شناخت بهتر پدیده بیش غلتی و دستیابی به معیارهای مناسبتر برای حد پایداری بیش غلتی.

مراجع

1. Marine,M.C.,Wirth,J.L.,Thomas,T.M.,"Characteristics of on-road rollover", SAE 1999-01-0122, 1999
2. Nalecz,A.G., Lu,Z., "Methodology for tripped vehicle rpllover testing and analysis of experimental results ", SAE 940225, 1994
3. Larson,R.E.,Smith,J.W.,Werner,S.M.,Fowler, G.F.,"vehicle rollover testing, methodologies in recreating rollover collisions ", SAE 2000-01-1641, 2000
4. Yvonne,I.L.,Bernard,J.E., "analysis of simple rollover metrics", SAE 950306, 1995
5. Heydinger,G.J.,Howe,J.G.,"Analysis of vehicle response data measured during severe maneuvers", SAE 2000-01-1644, 2000
6. Allen,R.W.,Szostak,H.T.,Rosenthal,T.J.,Klyde,D.H.,and Owens,K.J.,"Characteristics influencing ground vehicle Lateral/directional dynamic stability", SAE 910234, 1991

۷. کاوه سلطانی، "مدلسازی دینامیکی به منظور تحلیل حساسیت پارامترهای طراحی در پدیده بیش غلتی خودرو "، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، ۱۳۸۱

۸. رضا کاظمی، کاوه سلطانی، " بررسی رفتار دینامیکی خودرو در مانورهای بیش غلتی (Rollover)" ، یازدهمین کنفرانس سالانه مهندسی مکانیک، جلد چهارم ص۱۷۳۴، ۱۳۸۲

9. ADAMS Tire, ADAMS, 2000
10. National Highway Traffic and Safety Administration, Department of Transportation, "A Comprehensive Experimental Evaluation of Test Maneuver That May Include On-Road, Untripped, Light Vehicle Rollover, Phase IV of NHTSA's Light Vehicle Rollover Research Program, Garrick J. Forkenbrook, W. Riley Garrot, Mark Heitz and Bryan C. O'Harra, October 2002

ضمیمه

جدول شماره ۲- مقایسه مانورهای استاندارد بیش غلتی [۳]

Assessment Criterion	NHTSA J-Turn	Fishhook 1a	Fishhook 1b	Nissan Fishhook	Ford Path-Corrected Limit Lane Change	ISO 3888 Part 2 Double Lane Change	Consumers Union Short Course Double Lane Change	Open-Loop Pseudo-Double Lane Change
Objectivity and Repeatability	Excellent	Excellent	Excellent	Good	Bad	Bad	Bad	Satisfactory
Performability	Excellent	Good	Excellent	Satisfactory	Satisfactory	Good	Satisfactory	Satisfactory
Discriminatory Capability	Excellent*	Excellent	Excellent	Excellent	Good	Very Bad	Very Bad	Very Bad
Appearance of Reality	Good	Excellent	Excellent	Good	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent