

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک - طراحی سیستم های تعلیق خودرو

اندرکنش خودرو و سیال

مدلسازی و بررسی پایداری خودروهای حمل سیالات

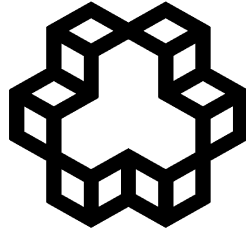
استاد راهنما:

دکتر شهرام آزادی

نگارش:

ایمان حضرتی آشتیانی

تابستان ۱۳۸۸



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی مکانیک

تأییدیه هیات داوران

هئیت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان: اندرکنش خودرو و سیال-مدلسازی و بررسی پایداری خودروهای حمل سیالات توسط آقای ایمان حضرتی آشتیانی صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه دکتر/ کارشناسی ارشد در رشته: مهندسی مکانیک گرایش طراحی سیستم های تعلیق خودرو مورد تأیید قرار می دهند.

- | | | |
|---------------------------|-------------------|-------|
| ۱- استاد راهنما | آقای دکتر آزادی | امضاء |
| ۲- استاد مشاور | آقای دکتر..... | امضاء |
| ۳- استاد مشاور | آقای دکتر..... | امضاء |
| ۴- استاد ممتحن خارجی | آقای دکتر..... | امضاء |
| ۵- استاد ممتحن خارجی | آقای دکتر..... | امضاء |
| ۶- استاد ممتحن داخلی | آقای دکتر کاظمی | امضاء |
| ۷- استاد ممتحن داخلی | آقای دکتر موسویان | امضاء |
| ۸- نماینده تحصیلات تکمیلی | آقای دکتر..... | امضاء |

اظهارنامه دانشجو

موضوع پایان نامه: اندرکنش خودرو و سیال-مدلسازی و بررسی پایداری خودروهای حمل سیالات
استاد راهنما: دکتر شهرام آزادی
نام دانشجو: ایمان حضرتی آشتیانی
شماره دانشجویی: ۸۵۰۱۷۷۴

اینجانب ایمان حضرتی آشتیانی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش طراحی سیستم های تعلیق خودرو دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگاشته شده مورد تأیید می‌باشد و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چهارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو

تاریخ:

فرم حق طبع نشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر پایان نامه متعلق به نویسنده آن می‌باشد. هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان نامه و یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مکانیک دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد.

ضمناً متن این صفحه بایستی در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالثی قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

تشکر و قدردانی

وقتی بخواهی از کسی که کاری برای تو انجام داده تشکر کنی می‌شود چیزی پیشکش او کرد و چیزهایی که میشود تقدیمشان کرد زیادند. بخصوص به کسانی که دوستشان داری. از کتاب یا یک شاخه گل گرفته تا طلا و جواهر و کلید ماشین یا آپارتمان البته اگر وضع خوبی داشته باشی. تمام اینها را می‌توانی تا وقتی که می‌میری چندین بار تکرار کنی. اما امکان تقدیم بعضی چیزها در زندگی تنها یک بار ممکن است مثل خود زندگی و یا پایان نامه کارشناسی ارشد! با راهنمایی‌های استاد بزرگوارم، دکتر آزادی و به لطف اساتید ممتحن دکتر کاظمی و دکتر موسویان این پایان نامه با نمره کامل به سرانجام رسید. از ایشان بخاطر لطفی که در حقم داشتند سپاسگزارم. این پایان نامه را به اساتیدم در دانشکده مکانیک دانشگاه خواجه نصیر که دروازه‌های جدیدی به روی من گشودند، به پدرم که هر وقت فرصتی پیدا می‌کرد از نصیحت دریغ نمی‌کرد، به مادرم که این اواخر برای فارغ از تحصیل شدن من به نذر و نیاز رو آورده بود، به برادرم که چند روز دیگر پسر دار می‌شود و به خواهرم که به درد هیچ چیزی نمی‌خورد تقدیم می‌کنم. در آخر این ناقابل را به همسرم تقدیم می‌کنم. او که کاستی‌های زندگی‌مان را تحمل کرد، به زندگی‌مان هدف داده، تکیه‌گاه و امید من است و در زندگی‌مان شاخه همخونی است که پاسخ پرسشهایم را دارد.

ایمان حضرتی آشتیانی تابستان ۱۳۸۸

ارغوان!

شاخه همخون جدا مانده من آسمان تو چه رنگ است امروز؟
آفتابی است هوا؟ یا گرفتست هنوز؟
من در این گوشه که از دنیا بیرون است آفتابی به سرم نیست از بهاران خبرم نیست
آنچه می‌بینم دیوار است آه این سخت سیاه آنچنان نزدیک است
که چو بر می‌کشم از سینه نفس نفسم را بر می‌گرداند
ره چنان بسته که پرواز نکه در همین یک قدمی می‌ماند
کور سویی ز چراغی رنجور قصه پرداز شب ظلمانی ست
نفسم می‌گیرد که هوا هم اینجا زندانیست
هر چه با من اینجاست رنگ رخ باخته است
آفتابی هرگز گوشه چشمی هم بر فراموشی این دخمه نینداخته است
اندر این گوشه خاموش فراموش شده کز دم سردش هر شمعی خاموش شده
یاد رنگینی در خاطر من گریه می‌انگیزد
ارغوانم آنجاست ارغوانم تنهاست ارغوانم دارد می‌گرید
چون دل من که چنین خون آلود هر دم از دیده فرو می‌ریزد
ارغوان!

این چه رازیست که هر بار بهار با عزای دل ما می‌آید
که زمین هر سال از خون پرستوها رنگین است وین چنین بر جگر سوختگان داغ بر داغ می‌افزاید؟
ارغوان پنجه خونین زمین دامن صبح بگیر وز سواران خرامنده خورشید پیرس کی بر این دره غم می‌گذرند؟
ارغوان! خوشه خون! بامدادان که کبوترها بر لب پنجره باز سحر غلغله می‌آغازند
جان گل رنگ مرا بر سر دست بگیر به تماشاگه پرواز ببر
آه بشتاب که هم پروازان نگران غم هم پروازند
ارغوان بیرق گلگون بهار تو برافراشته باش
شعر خون بار منی یاد رنگین رفیقانم را بر زبان داشته باش
تو بخوان، نغمه نا خواننده من
ارغوان! شاخه هم خون جدا مانده من

شعر از ه. ا. سایه- فروردین ۱۳۶۳

چکیده

یک تانکر حمل سیال در معرض نیروها و گشتاورهایی اضافی است که ناشی از نیروی اینرسی سیال در مانورهای دور زدن، شتابگیری یا ترمزگیری و یا ترکیبی از این موارد می باشند. میزان این نیروها و گشتاورهای اینرسی در فرکانسی نزدیک به فرکانس طبیعی سیال، می تواند بسیار شدید گردیده و بر دینامیک طولی و کنترل پذیری تانکر تاثیر گذار باشد. میزان این نیروها و گشتاورهای اینرسی در فرکانسی نزدیک به فرکانس طبیعی سیال، می تواند بسیار شدید گردیده و بر دینامیک طولی و کنترل پذیری تانکر تاثیرگذار باشد. این تاثیر می تواند بصورت سوانحی مانند چپ شدگی که خود وسیله در آن درگیر است و یا انحراف از مسیر که می تواند باعث بروز تصادف با دیگر خودروها گردد، بروز کند.

تانکرهای حمل سیال در راه آهن و جاده ها بدلیل تغییرات وزن و بار محوری و مقررات حرکت در مناطق مختلف با توجه به دانسیته سیال معمولا به صورت نیمه پر حرکت می کنند. با توجه به این موضوع، بررسی تاثیر تلاطم سیال بر کنترل و تغییرات پایداری خودرو از اهمیت ویژه ای برخوردار است. با توجه به این موضوع، بررسی تاثیر تلاطم سیال بر کنترل و تغییرات پایداری خودرو از اهمیت ویژه ای برخوردار است. معمولا در طراحی این قبیل خودروها، رفتار ماده حمل شده در حالتی که بار قابلیت تحروک دارد چندان مورد توجه قرار داده نمی شود.

بخش اعظم آنالیزهای دو بخشی سیال - خودرو از نیروها و گشتاورهای سیال به صورت شبه استاتیکی یا مدل معادل مکانیکی برای سهولت در بررسی استفاده می شود. با توجه به این موضوع، بخشی از پایان نامه فوق به بررسی راه حل های ارائه شده برای مدلسازی سیال اختصاص یافته است. روند توسعه ارائه مدل های فوق و دستاوردهای جدید آن در فصل های ۲، ۳ و ۴ ارائه شده است. در انتهای این بخش مدل جدیدی جهت بررسی رفتار سیال در مانورها دور زدن و شتاب جانبی ارائه گردیده است.

از ترکیب مدل فوق با مدل ایجاد شده از یک کامیون حمل سیال در نرم افزار ADAMS مدلی حاصل می شود که امکان اعمال مجموعه ای از آنالیزها با توجه به سیال حمل شده توسط خودرو در آن امکان پذیر است. مدل ایجاد شده از خودرو به دلیل سه محوره بودن خودرو، نوع تایر و ابعاد و مشخصات آن و نوع سیستم تعلیق و خواص مختلف آن از نکات و روشهای جدیدی استفاده کرده است. مدل فوق قابلیت فرمان دهی، مدلسازی فرایندهای ترمز و شتاب و عبور از مسیر های ناهموار را دارا می باشد که در صورت نیاز به ترکیب با سیال نیازمند مدل مناسبی از تلاطم می باشد. از آنجایی که خودروی حمل سیال شبیه سازی شده دارای المانهایی نظیر فنرهای لایه ای و میله موج گیر می باشد، جهت مدلسازی آنها از تکنیک های جدیدی استفاده شده که توضیحات آن در بخش مدلسازی آمده است.

از مدل فوق برای محاسبه فرکانس ها طبیعی خودرو و سیال استفاده می شود. در فصل تحلیل دینامیکی اثر مدلسازی سیال در مقایسه با در نظر گرفتن آن به صورت صلب و همچنین اثر ارتفاع سیال یا میزان پر بودن آن در فرمان پذیری و پایداری مورد بحث قرار می گیرد. علاوه بر بررسی رفتار تانکر دایروی، رفتار تانکر استوانه ای نیز در این پایان نامه مورد بررسی قرار داده می شود. از شبیه سازیها این نتیجه گیری بدست آمده است که احتمال بروز ناپایداری و سانحه با شبیه سازی سیال محتمل تر است. در ادامه تاثیر سرعت حرکت و میزان زاویه فرمان به نوسانات بوجود آمده در سیال و احتمال بروز چپ شدگی و انحراف از مسیر در مدل بررسی گردیده است.

کلمات کلیدی: خودروی سنگین، فنرهای تخت، پایداری دینامیکی، تلاطم سیال، تانکرهای دایره ای و بیضوی

فهرست مطالب

ب	فهرست مطالب
ه	فهرست اشکال
ی	فهرست جداول
فصل اول: مقدمه و تعریف مسئله	
۲	۱-۱- مقدمه و تعریف مسئله
فصل دوم: مروری بر تحقیقات صورت گرفته	
۴	۱-۲- حرکت سیال در محفظه های متحرک
۴	۲-۲- مدل‌های هیدرولیکی و روش‌های حل
۶	۳-۲- دیدگاه مدل مکانیکی معادل
۷	۴-۲- مدلسازی و آنالیزهای مربوط به تانکرها
۷	۵-۲- تحلیل دینامیک طولی
۸	۶-۲- پایداری خودروهای سنگین
فصل سوم: مدل‌های مکانیکی تلامطم	
۱۳	۱-۳- مقدمه
۱۳	۲-۳- استخراج پارامترهای مدل
۱۳	۱-۲-۳- مقدمه
۱۴	۲-۲-۳- معادله های حرکت مدل مکانیکی
۱۴	۳-۲-۳- ویژگی های استاتیکی
۱۵	۴-۲-۳- ویژگی های دینامیکی
۱۶	۵-۲-۳- تانک مستطیلی
۱۷	۶-۲-۳- خلاصه
۱۷	۷-۲-۳- تانک استوانه ای
۱۸	۳-۳- به کارگیری عامل میراکننده
۱۹	۳-۴- مدل جدید
۲۱	۱-۴-۳- صحنه گذاری
۲۳	۲-۴-۳- نتایج تست
فصل چهارم: تشریح مدل	
۲۶	۱-۴- مقدمه
۲۶	۲-۴- تشریح مدل
۲۶	۱-۲-۴- شرح خودرو
۲۷	۲-۲-۴- مدلسازی خودرو در نرم افزار ADAMS
۲۷	۱-۲-۲-۴- شناخت اجزا اصلی در تحلیل
۲۸	۲-۲-۲-۴- مشخصات سیستم تعلیق جلو و عقب
۲۹	۳-۲-۲-۴- مدلسازی میله های ضدغلت
۳۰	۴-۲-۲-۴- میله ضد غلت عقب
۳۲	۵-۲-۲-۴- اهرم بندی محور های عقب و میانی
۳۲	۳-۴- مشخصات تایر
۳۳	۴-۴- مدلسازی فنرهای تخت
۳۳	۱-۴-۴- مقدمه
۳۴	۲-۴-۴- انواع فنرهای تخت

۳۴	۳-۴-۴-۳- فنرهای با سختی متغیر
۳۵	۴-۴-۴-۴- روش تقریبی محاسبه سختی فنر
۳۶	۵-۴-۴-۵- مدلسازی فنر در نرم افزار ADAMS
۳۶	۶-۴-۴-۶- مشخصات فنر جلو
۳۸	۷-۴-۴-۷- مشخصات فنر عقب
۳۸	۸-۴-۴-۸- مدلسازی تغییر شکل فنر
۳۹	۹-۴-۴-۹- مدلسازی اندر کنش لایه ها
۴۱	۱۰-۴-۴-۱۰- مدلسازی تماس انتهای آزاد فنر با تکیه گاه در فنر عقب
۴۱	۱۱-۴-۴-۱۱- نتایج حاصل از شبیه سازی
۴۲	۱۲-۴-۴-۱۲- بررسی تاثیر پارامترها
۴۳	۱۳-۴-۴-۱۳- جمع بندی و نتیجه گیری
۴۴	۵-۴-۵-۵- تانکر
۴۴	۶-۴-۶-۶- مدل سازی سیال
۴۷	۷-۴-۷-۷- روش رانگاناتان
۴۸	۸-۴-۸-۸- درجات آزادی کلی مجموعه
فصل پنجم: تحلیل فرکانسی	
۵۰	۱-۵-۱-۱- مقدمه
۵۰	۲-۵-۲-۲- فرکانس طبیعی در پرشدگی های مختلف
۵۱	۳-۵-۳-۳- نتیجه گیری
فصل ششم: تحلیل دینامیکی	
۵۳	۱-۶-۱-۱- مقدمه
۵۳	۲-۶-۲-۲- مروری بر دینامیک و پایداری خودرو های سنگین
۵۳	۱-۲-۶-۱-۲-۶- دینامیک خودرو
۵۳	۱-۱-۲-۶-۱-۱-۲-۶- نیروی جانبی باد
۵۴	۲-۱-۲-۶-۲-۱-۲-۶- سرعت
۵۴	۳-۱-۲-۶-۳-۱-۲-۶- نیروی سانتریفوژ
۵۵	۳-۶-۳-۳-۳-۶- پایداری
۵۶	۱-۳-۶-۱-۳-۶- واژگونی در هنگام پیچیدن
۵۶	۵-۶-۵-۵-۶- مانورهای استاندارد
۵۶	۱-۵-۶-۱-۵-۶- استفاده از مانورهای استاندارد در شبیه سازی رفتار خودرو حین حرکت
۵۷	۲-۵-۶-۲-۵-۶- معرفی اجمالی مانورهای استاندارد
۵۷	۱-۲-۵-۶-۱-۲-۵-۶- آزمایش- ل (J-Turn)
۵۸	۲-۲-۵-۶-۲-۲-۵-۶- مانور قلاب ماهی (Fish Hook)
۵۹	۳-۲-۵-۶-۳-۲-۵-۶- مانور چرخش با شعاع ثابت (step steer)
۶۰	۴-۲-۵-۶-۴-۲-۵-۶- مانور تغییر خط (Lane Change)
۶۱	۶-۶-۶-۶-۶-۶- نتایج شبیه سازی دینامیکی
۶۱	۱-۶-۶-۱-۶-۶- بار گذاری استاتیکی در مدل خالی
۶۱	۲-۶-۶-۲-۶-۶- رفتار وسیله در شرایط شتاب گیری
۶۲	۳-۶-۶-۳-۶-۶- محاسبه سرعت بحرانی خودروی خالی
۶۵	۷-۶-۷-۶-۷-۶- رفتار خودرو در شرایط حمل سیال در سطح پرشدگی مختلف مخزن تحت مانورهای مختلف
۶۵	۱-۷-۶-۱-۷-۶- محاسبه بار استاتیکی زیر چرخ ها در نسبت های پر شدگی مختلف
۶۶	۲-۷-۶-۲-۷-۶- تاثیر نحوه مدلسازی سیال در پاسخ خودرو

۶۶	۳-۷-۶- تاثیر افزایش سرعت بر پاسخ خودرو
۷۱	۶-۷-۴- تاثیر زاویه فرمان بر پاسخ خودرو
۷۳	۶-۷-۵- پاسخ خودرو به ورودی ضربه در فرمان
۷۸	۶-۷-۷- پاسخ خودرو در طی مسیر مستقیم بعد از فرمان دهی
۷۹	۶-۷-۸- تاثیر سطح پرشدگی سیال در سرعت های پایین
۸۲	۶-۷-۹- تاثیر تغییرات سرعت در نسبت پر شدگی زیر ۵۰٪
۸۴	۶-۷-۱۰- تاثیر نوع سیال در وزن مشابه بر دینامیک خودرو
۸۷	۶-۷-۱۱- تاثیر نوع سیال در نسبت پر شدگی مشابه بر دینامیک خودرو
۹۱	۶-۷-۱۲- محاسبه سرعت بحرانی از دو روش شبیه سازی سیال در حالت پرشدگی ۶۰٪
۹۲	۶-۷-۱۳- محاسبه سرعت بحرانی در دو مدل در حالت پرشدگی ۴۰٪
۹۶	۶-۸- محاسبه سرعت بحرانی خودرو در شرایط پر شدگی و حمل سیالات مختلف
۹۶	۶-۹- محاسبه سرعت بحرانی خودرو در حالت ده چرخ
۹۸	۶-۹-۱- تاثیر سیال در مدل ۱۰ چرخ خودرو
۹۹	۶-۹-۲- تفاوت دو روش مدل سازی صلب و سیال در پاسخ خودروی اصلاح شده
۱۰۲	۶-۹-۳- بررسی تاثیر سطح پرشدگی سیال در مدل بهبود یافته خودرو
۱۰۶	۶-۱۰-۱- بررسی رفتار خودرو ده چرخ با تانکرهای بیضوی
۱۰۶	۶-۱۰-۱-۱- مدل تانکر بیضوی
۱۰۷	۶-۱۰-۲- مدل معادل سیال در تانکر بیضوی
۱۰۹	۶-۱۱- محاسبه پایداری وسیله در نسبت پر شدگی یکسان تانکر بیضوی
۱۱۰	۶-۱۱-۱- تفاوت های تانکر بیضوی با تانکر دایروی
فصل هفتم: جمع بندی	
۱۱۴	۷- جمع بندی
مراجع	
۱۱۷	مراجع
پیوست	
۱۲۱	۱- پیوست ۱- مشخصات کلی خودرو
۱۳۵	۲- پیوست ۲- مشخصات موتور
۱۳۸	۳- پیوست ۳- مشخصات محور جلو
۱۴۳	۴- پیوست ۴- مشخصات محور عقب
۱۵۰	۵- پیوست ۵- مشخصات گیربکس
۱۵۳	۶- پیوست ۶- مشخصات تایر
۱۶۰	۷- پیوست ۷- مشخصات فنر جلو
۱۶۹	۸- پیوست ۸- مشخصات فنر عقب
۱۸۱	۹- پیوست ۹- لیست مقالات

لیست اشکال

۱۳	شکل ۱-۳- مدل های مکانیکی تلاطم
۱۴	شکل ۲-۳- مدل مکانیکی معادل برای تلاطم عرضی
۱۸	شکل ۳-۳- ممان اینرسی I_0 برای تانک استوانه ای
۱۹	شکل ۴-۳- مدل مکانیکی دارای دمپینگ
۲۰	شکل ۵-۳- نمای شماتیک جانبی آونگ معادل در صفحه رول
۲۰	شکل ۶-۳- زاویه پر شدگی α و طول پاندول معادل h
۲۱	شکل ۷-۳- نمای شماتیک دستگاه اندازه گیری
۲۲	شکل ۸-۳- نمای ۴ نوار ناشی از تابش لیزر به سطح سیال و آرایش تریپلر
۲۲	شکل ۹-۳- یک فریم از فیلم ثبت شده که نشانگر نوارهای لیزر و تغییر زاویه سیال می باشد
۲۳	شکل ۱۰-۳- مقایسه بین نتایج اندازه گیری شده و شبیه سازی شتاب جانبی تریپلر
۲۳	شکل ۱۱-۳- مقایسه مشتق یابو در اندازه گیری و شبیه سازی
۲۴	شکل ۱۲-۳- زاویه یابو در مدل مکانیکی و اندازه گیری
۲۴	شکل ۱۳-۳- زاویه سطح سیال
۲۴	شکل ۱۴-۳- شدت چگالی طیفی نوسانات سیال حول محور طولی تانکر
۲۷	شکل ۱-۴- شکل کلی و کاربری خودرو
۲۹	شکل ۲-۴- الف- میله ضد غلت جلو، ب- میله ضد غلت عقب
۳۰	شکل ۳-۴- مختصات نقاط اتصال میله ضد غلت
۳۰	شکل ۴-۴- آرایش اهرم بندی میله های ضد غلت جلو
۳۱	شکل ۶-۴- مختصات میله موج گیر عقب
۳۱	شکل ۷-۴- نحوه مدل سازی میله موج گیر عقب
۳۱	شکل ۸-۴- نمای جانبی و مختصات اهرم بندی محور عقب و محور میانی
۳۲	شکل ۹-۴- نمای جسم U در نمونه واقعی
۳۲	شکل ۱۰-۴- نمای از بالای اهرم بندی محور عقب و محور میانی
۳۳	شکل ۱۱-۴- مشخصات حک شده روی تایر
۳۵	شکل ۱۲-۴- فنرهای با سختی متغیر
۳۷	شکل ۱۳-۴- هندسه آزاد فنر تخت جلو
۳۷	شکل ۱۴-۴- مدل ایجاد شده از فنر جلو در نرم افزار ADAMS
۳۸	شکل ۱۵-۴- نمودار سختی فنر جلو
۳۸	شکل ۱۶-۴- نمای کلی فنر عقب
۴۰	شکل ۱۷-۴- الف- مدل سازی اندر کنش لایه ها، ب- مدل سازی حرکت سر آزاد فنر روی تکیه گاه
۴۱	شکل ۱۸-۴- جهت نیروی اصطکاک با توجه به مقدار سرعت
۴۱	شکل ۱۹-۴- فشردگی فنر بر حسب افزایش بار و میزان سختی فنر
۴۲	شکل ۲۰-۴- رفتار فنر تحت جابجایی کنترل شده
۴۳	شکل ۲۱-۴- رفتار فنر تحت پیش بار ۱۰۰ کیلو نیوتن و تغییرات دامنه نوسات
۴۳	شکل ۲۲-۴- مد شکل اول ارتعاشی مجموعه
۴۳	شکل ۲۳-۴- الف- تغییرات فرکانس طبیعی، ب- تغییرات نسبت میرایی
۴۵	شکل ۲۴-۴- مدل ایجاد شده از تانکر در نرم افزار SOLID WORKS
۴۵	شکل ۲۵-۴- شمای کلی محاسبه مشخصات جرمی سیال در نرم افزار SOLID WORKS

۴۷	شکل ۴-۲۶- نمودار ارائه شده از رانگاناتان
۴۷	شکل ۴-۲۷- پارامترهای روش پاندول رانگاناتان
۴۸	شکل ۴-۲۸- مدل کلی وسیله
۵۳	شکل ۶-۱- تاثیر نیروی باد بر خودرو
۵۴	شکل ۶-۲- تاثیر سرعت بر نیروی جانبی مرکز ثقل
۵۴	شکل ۶-۳- مرکز ثقل
۵۵	شکل ۶-۴- نیروی سانتیفریژ در هنگام چرخش خودرو
۵۶	شکل ۶-۴- چرخش و واژگونی خودروی حامل بار در گذر از میدان
۵۸	شکل ۶-۵- نحوه اعمال ورودی فرمان در مانور آزمایش-ل
۵۸	شکل ۶-۶- نوع ورودی فرمان برای مانور J Turn برای یک تست تجربی
۵۸	شکل ۶-۷- مسیر حرکت خودرو برای مدل ساخته شده در محیط ADAMS برای مانور J Turn
۵۹	شکل ۶-۸- نحوه اعمال ورودی فرمان در مانور آزمایش قلاب ماهی
۵۹	شکل ۸-۹- نوع ورودی فرمان برای مانور Fish Hook برای یک تست تجربی
۵۹	شکل ۶-۱۰- مسیر حرکت خودرو برای مدل ساده خودرو در مانور Fish Hook
۶۰	شکل ۶-۱۱- نوع ورودی فرمان برای مانور step steer برای یک تست تجربی
۶۰	شکل ۶-۱۲- نوع ورودی فرمان برای مانور تغییر خط برای یک تست تجربی
۶۰	شکل ۶-۱۳- مسیر حرکت خودرو برای مدل ساخته شده در محیط ADAMS برای مانور تغییر خط
۶۱	شکل ۶-۱۴- بار قائم در چرخ ها در سرعت صفر
۶۱	شکل ۶-۱۵- نمودار نیروی قائم در محور ها در شتاب ۲ متر بر مجذور ثانیه
۶۲	شکل ۶-۱۶- نمودار نیروی قائم در محور ها در شتاب ۴ متر بر مجذور ثانیه
۶۲	شکل ۶-۱۷- نمودار نیروی قائم در محور ها در شتاب ۵ متر بر مجذور ثانیه
۶۳	شکل ۶-۱۸- نمودار تغییرات (الف) زاویه غلتش (ب) سرعت جانبی (ج) شتاب جانبی (د) مشتق زاویه یاو در سرعت های ۱۰، ۱۵، ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ متر بر ثانیه
۶۴	شکل ۶-۱۹- نمودار تغییرات حالت ناپایدار (الف) نیروهای قائم (ب) زاویه غلت (ج) سرعت جانبی (د) شتاب جانبی
۶۴	شکل ۶-۲۰- نمودار تغییرات نیروی قائم در چرخ ها در سرعت ۲۵ متر بر ثانیه و زاویه فرمان ۵ درجه
۶۴	شکل ۶-۲۱- نمودار تغییرات نیروی قائم در چرخ ها در سرعت ۲۵ متر بر ثانیه و زاویه فرمان ۱۰ درجه
۶۷	شکل ۶-۲۲- تغییرات بار قائم زیر چرخ با افزایش سرعت (الف) ۱۰ متر بر ثانیه (ب) ۱۵ متر بر ثانیه و (ج) ۲۰ متر بر ثانیه در حالت مدلسازی سیال در ۶۰٪ پر شدگی و ورودی فرمان ۵ درجه
۶۸	شکل ۶-۲۳- نمودار تغییرات بار زیر چرخ در (الف) سرعت ۱۰ (ب) سرعت ۱۵ (ج) سرعت ۲۰ متر بر ثانیه در حالت مدلسازی سیال به صورت صلب در ۶۰٪ پر شدگی و ورودی فرمان ۵ درجه
۶۹	شکل ۶-۲۴- نمودار تغییرات نیروی جانبی ناشی از سیال
۶۹	شکل ۶-۲۵- نمودار تغییرات زاویه غلت (الف) مدلسازی سیال (ب) مدلسازی صلب تحت ورودی فرمان ۵ درجه در حالت پر شدگی ۶۰٪ - نمودار قرمز سرعت ۱۰، ۱۵ و نمودار بنفش ۲۰ متر بر ثانیه
۶۹	شکل ۶-۲۶- نمودار تغییرات زاویه غلت (الف) مدلسازی سیال (ب) مدلسازی صلب تحت ورودی فرمان ۵ درجه در حالت پر شدگی ۶۰٪ - نمودار قرمز سرعت ۱۰، ۱۵ و نمودار بنفش ۲۰ متر بر ثانیه
۷۰	شکل ۶-۲۷- نمودار تغییرات زاویه غلت (الف) مدلسازی سیال (ب) مدلسازی صلب تحت ورودی فرمان ۵ درجه در حالت پر شدگی ۶۰٪ - نمودار قرمز سرعت ۱۰، ۱۵ و نمودار بنفش ۲۰ متر بر ثانیه
۷۰	شکل ۶-۲۸- نمودار تغییرات زاویه غلت (الف) مدلسازی سیال (ب) مدلسازی صلب تحت ورودی فرمان ۵ درجه در حالت پر شدگی ۶۰٪ - نمودار قرمز سرعت ۱۰، ۱۵ و نمودار بنفش ۲۰ متر بر ثانیه
۷۱	شکل ۶-۲۹- نمودار تغییرات بار قائم زیر چرخ در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه و ورودی فرمان مختلف، نسبت پر شدگی ۶۰٪
۷۲	شکل ۶-۳۰- نمودار تغییرات زاویه غلتش (الف) - (ب)، سرعت جانبی (ج) - (د)، شتاب جانبی (ه) - (و) و مشتق زاویه یاو (ز) - (ح) در سرعت ۱۰ متر بر

	ثانیه و زوایای فرمان ۵، ۱۰ و ۱۵ درجه در حالت پر شدگی ۶۰٪ از آب
۷۳	شکل ۶-۳۱- نمودار زاویه فرمان اعمالی
۷۳	شکل ۶-۳۲- نمودار نوسانات سطح آب
۷۳	شکل ۶-۳۳- نمودار نوسانات نیروی جانبی ناشی از آب
۷۴	شکل ۶-۳۴- نمودار تغییرات زاویه غلت
۷۴	شکل ۶-۳۵- نمودار تغییرات شتاب جانبی
۷۴	شکل ۶-۳۶- نمودار تغییرات سرعت جانبی
۷۴	شکل ۶-۳۷- نمودار تغییرات مشتق زاویه یاو
۷۵	شکل ۶-۳۸- بار روی چرخ های مختلف
۷۵	شکل ۶-۳۹- نمودار جابجایی جانبی وسیله
۷۵	شکل ۶-۴۰- نمودار تغییرات زاویه غلت
۷۵	شکل ۶-۴۱- نمودار تغییرات شتاب جانبی
۷۶	شکل ۶-۴۲- نمودار تغییرات سرعت جانبی
۷۶	شکل ۶-۴۳- نمودار تغییرات مشتق زاویه یاو
۷۶	شکل ۶-۴۴- بار روی چرخ های مختلف
۷۶	شکل ۶-۴۵- نمودار جابجایی جانبی وسیله
۷۷	شکل ۶-۴۶- تفاوت پاسخ سرعت جانبی در حالت مدل کردن سیال (نمودار قرمز) و مدلسازی صلب سیال (نمودار آبی)
۷۷	شکل ۶-۴۷- تفاوت پاسخ شتاب جانبی خودرو در حالت مدل کردن سیال (نمودار قرمز) با مدلسازی صلب سیال (نمودار آبی)
۷۷	شکل ۶-۴۸- تفاوت پاسخ زاویه غلت خودرو در حالت مدل کردن سیال (نمودار قرمز) و مدلسازی صلب سیال (نمودار آبی)
۷۸	شکل ۶-۴۹- تفاوت پاسخ مشتق یاو خودرو در حالت مدل کردن سیال (نمودار قرمز) و مدلسازی صلب سیال (نمودار آبی)
۷۸	شکل ۶-۵۰- تفاوت پاسخ خودرو در طی مسیر حالت مدل کردن سیال (نمودار قرمز) با مدلسازی صلب سیال (نمودار آبی)
۷۹	شکل ۶-۵۱- نمودار زاویه فرمان اعمال
۷۹	شکل ۶-۵۲- تفاوت های مسیر طی شده سیال در دو مدل صلب و سیال نسبت به ورودی فرمان
۷۹	شکل ۶-۵۳- نمودار تغییرات زاویه غلت در پرشدگی های ۴۰٪ (نمودار قرمز) - ۶۰٪ (نمودار آبی) - ۸۰٪ (نمودار بنفش)
۸۰	شکل ۶-۵۴- نمودار تغییرات الف-سرعت جانبی، ب-شتاب جانبی و وسیله
۸۰	شکل ۶-۵۵- نمودار تغییرات بار قائم در سطح پر شدگی ۴۰٪، سرعت ۱۲ متر بر ثانیه و زاویه فرمان ۵ درجه
۸۰	شکل ۶-۵۶- نمودار تغییرات بار قائم در سطح پر شدگی ۶۰٪، سرعت ۱۲ متر بر ثانیه و زاویه فرمان ۵ درجه
۸۱	شکل ۶-۵۷- نمودار تغییرات بار قائم در سطح پر شدگی ۸۰٪، سرعت ۱۲ متر بر ثانیه و زاویه فرمان ۵ درج
۸۱	شکل ۶-۵۸- نمودار تغییرات زاویه سطح سیال در پرشدگی های مختلف
۸۲	شکل ۶-۵۹- نیروی جانبی سیال در پر شدگی های مختلف
۸۲	شکل ۶-۶۰- نیروی قائم چرخ ها در سرعت ۱۲ متر بر ثانیه تحت ورودی فرمان ۵ درجه
۸۳	شکل ۶-۶۱- نیروی قائم چرخ ها در سرعت ۱۵ متر بر ثانیه تحت ورودی فرمان ۵ درجه
۸۳	شکل ۶-۶۲- نیروی قائم چرخ ها در سرعت ۲۳ متر بر ثانیه تحت ورودی فرمان ۵ درجه
۸۳	شکل ۶-۶۳- نمودار تغییرات زاویه غلت در ورودی فرمان ۵ درجه، سرعت ۱۲ متر بر ثانیه (نمودار قرمز) - سرعت ۱۸ متر بر ثانیه (نمودار آبی) - سرعت ۲۳ متر بر ثانیه (نمودار بنفش)
۸۴	شکل ۶-۶۴- نمودار تغییرات سرعت جانبی در ورودی فرمان ۵ درجه، سرعت ۱۲ متر بر ثانیه (نمودار قرمز) - سرعت ۱۸ متر بر ثانیه (نمودار آبی) - سرعت ۲۳ متر بر ثانیه (نمودار بنفش)
۸۴	شکل ۶-۶۵- نمودار تغییرات مشتق زاویه یاو در ورودی فرمان ۵ درجه، سرعت ۱۲ متر بر ثانیه (نمودار قرمز) - سرعت ۱۸ متر بر ثانیه (نمودار آبی) - سرعت ۲۳ متر بر ثانیه (نمودار بنفش)
۸۵	شکل ۶-۶۶- نیروی قائم در زیر چرخ ها در حالت حمل بنزین با پرشدگی ۸۰٪
۸۵	شکل ۶-۶۷- نیروی قائم در زیر چرخ ها در حالت حمل آب با پرشدگی ۶۰٪
۸۵	شکل ۶-۶۸- نیروی قائم در زیر چرخ ها در حالت حمل اسید با پرشدگی ۴۰٪

۸۵	شکل ۶-۶۹- نمودار تغییرات زاویه غلتش در حالات مختلف حمل بنزین، آب و اسید در حالت بار حمل شده مشابه
۸۶	شکل ۶-۷۰- نمودار تغییرات سرعت جانبی در حالات مختلف حمل بنزین، آب و اسید در حالت بار حمل شده مشابه
۸۶	شکل ۶-۷۱- نمودار تغییرات شتاب جانبی در حالات مختلف حمل بنزین، آب و اسید در حالت بار حمل شده مشابه
۸۶	شکل ۶-۷۲- نمودار تغییرات مشتق زاویه یاو در حالات مختلف حمل بنزین، آب و اسید در حالت بار حمل شده مشابه
۸۶	شکل ۶-۷۳- نمودار تغییرات زاویه سطح سیال در حالات مختلف حمل بنزین، آب و اسید در حالت بار حمل شده مشابه
۸۷	شکل ۶-۷۴- نمودار تغییرات نیروی جانبی سیال در حالات مختلف حمل بنزین، آب و اسید در حالت بار حمل شده مشابه
۸۸	شکل ۶-۷۵- تاثیر چگالی سیال بر نیروهای زیر چرخ ها در نسبت پر شدگی مشابه ۴۰٪ در سرعت ۱۶ متر بر ثانیه
۸۹	شکل ۶-۷۶- تغییرات زاویه غلتش در سرعت ۱۶ متر بر ثانیه و زاویه فرمان ۵ درجه و نسبت پر شدگی ۴۰٪
۸۹	شکل ۶-۷۷- تغییرات سرعت جانبی در سرعت ۱۶ متر بر ثانیه و زاویه فرمان ۵ درجه و نسبت پر شدگی ۴۰٪
۸۹	شکل ۶-۷۸- تغییرات شتاب جانبی در سرعت ۱۶ متر بر ثانیه و زاویه فرمان ۵ درجه و نسبت پر شدگی ۴۰٪
۸۹	شکل ۶-۷۹- تغییرات مشتق زاویه یاو در سرعت ۱۶ متر بر ثانیه و زاویه فرمان ۵ درجه و نسبت پر شدگی ۴۰٪
۹۰	شکل ۶-۸۰- تغییرات نیروی جانبی ناشی از سیال در حالات مختلف سیال حمل شده در سرعت ۱۶ و زاویه فرمان ۵ درجه در نسبت پر شدگی ۴۰٪
۹۰	شکل ۶-۸۱- نوسانات سیال در سرعت ۱۶ و زاویه فرمان ۵ درجه در نسبت پر شدگی ۴۰٪ در حمل سیالات مختلف
۹۱	شکل ۶-۸۲- نمودار تغییرات بار قائم زیر چرخ در حالت ۶۰٪ در سرعت ۱۵.۵ متر بر ثانیه و زاویه فرمان ۵ درجه الف- مدلسازی سیال ب- مدلسازی صلب
۹۱	شکل ۶-۸۳- نمودار تغییرات الف- زاویه غلتش ب- سرعت جانبی ج- شتاب جانبی د- مشتق زاویه یاو در ۶۰٪ پر شدگی با سرعت ۱۵.۵ متر بر ثانیه و زاویه فرمان ۵ درجه
۹۲	شکل ۶-۸۴- نیروی در چرخ ها
۹۲	شکل ۶-۸۵- نمودار تغییرات بار قائم در مدل سیال با نسبت پر شدگی ۴۰٪ سرعت ۱۸ متر بر ثانیه و وردی فرمان ۱۰ درجه
۹۳	شکل ۶-۸۶- نمودار تغییرات بار قائم در مدل صلب با نسبت پر شدگی ۴۰٪ سرعت ۱۸ متر بر ثانیه و وردی فرمان ۱۰ درجه
۹۳	شکل ۶-۸۷- نمودار تغییرات سرعت جانبی خودرو با نسبت پر شدگی ۴۰٪ در سرعت ۱۸ متر بر ثانیه و زاویه فرمان ۱۰ درجه، مدلسازی سیال (قرمز)-مدلسازی صلب (آبی)
۹۳	شکل ۶-۸۸- نمودار تغییرات زاویه غلت خودرو با نسبت پر شدگی ۴۰٪ در سرعت ۱۸ متر بر ثانیه و زاویه فرمان ۱۰ درجه، مدلسازی سیال (قرمز)-مدلسازی صلب (آبی)
۹۴	شکل ۶-۸۹- نمودار تغییرات مشتق زاویه یاو خودرو با نسبت پر شدگی ۴۰٪ در سرعت ۱۸ متر بر ثانیه و زاویه فرمان ۱۰ درجه، مدلسازی سیال (قرمز)-مدلسازی صلب (آبی)
۹۴	شکل ۶-۹۰- نمودار تغییرات نیروی سیال در سرعت ۱۸ متر بر ثانیه، پر شدگی ۴۰٪ زاویه فرمان ۱۰ درجه
۹۴	شکل ۶-۹۱- تغییرات سطح سیال در سرعت ۱۸ متر بر ثانیه، ورودی فرمان ۱۰ درجه و سطح پر شدگی ۴۰٪
۹۵	شکل ۶-۹۲- حد شتاب جانبی قابل تحمل در دو مدل صلب و متحرک تانکهای بیضوی در نسبت پر شدگی مختلف (مرجع ۸۶)
۹۵	شکل ۶-۹۳- نمودار تغییرات شتاب جانبی خودرو با نسبت پر شدگی ۴۰٪ در سرعت ۱۸ متر بر ثانیه و زاویه فرمان ۱۰ درجه، مدلسازی سیال (قرمز)-مدلسازی صلب (آبی)
۹۶	شکل ۶-۹۴- مدل خودرو ۱۰ چرخ
۹۶	شکل ۶-۹۵- تغییرات بار قائم در چرخ ها در سرعت ۳۲ متر بر ثانیه در حالت خالی
۹۷	شکل ۶-۹۶- نمودار تغییرات الف) زاویه غلت ب) مشتق زاویه یاو در سرعت ۳۲ متر بر ثانیه مدل خالی ۱۰ چرخ
۹۷	شکل ۶-۹۷- نمودار تغییرات الف) شتاب جانبی ب) سرعت جانبی در سرعت ۳۲ متر بر ثانیه مدل خالی ۱۰ چرخ
۹۸	شکل ۶-۹۸- نمودار تغییرات بار قائم زیر چرخ در پر شدگی ۴۰٪ اسید در سرعت ۲۲ متر بر ثانیه و زاویه فرمان ۵ درجه و در دو حالت الف) شبیه سازی سیال و ب) صلب
۹۸	شکل ۶-۹۹- نمودار تغییرات زاویه غلتش در دو حالت مدلسازی صلب و سیال در پر شدگی ۴۰٪ اسید تحت زاویه فرمان ۵ درجه و سرعت ۲۲ متر بر ساعت
۹۹	شکل ۶-۱۰۰- نمودار تغییرات سرعت جانبی در دو حالت مدلسازی صلب و سیال در پر شدگی ۴۰٪ اسید تحت زاویه فرمان ۵ درجه و سرعت ۲۲ متر بر ساعت

۹۹	شکل ۶-۱۰۱- نمودار تغییرات شتاب جانبی در دو حالت مدلسازی صلب و سیال در پر شدگی ۴۰٪ اسید تحت زاویه فرمان ۵ درجه و سرعت ۲۲ متر بر ساعت
۹۹	شکل ۶-۱۰۲- نمودار تغییرات مشتق زاویه یاو در دو حالت مدلسازی صلب و سیال در پر شدگی ۴۰٪ اسید تحت زاویه فرمان ۵ درجه و سرعت ۲۲ متر بر ساعت
۱۰۰	شکل ۶-۱۰۳- نیرویهای قائم زیر چرخ مدل ده چرخ در دو حالت پرشدگی الف) ۴۰ وب) ۸۰ در صدی بنزین در دو روش شبیه سازی صلب و متحرک سیال
۱۰۰	شکل ۶-۱۰۴- زاویه غلتش مدل ده چرخ در دو حالت پرشدگی الف) ۴۰ وب) ۸۰ در صدی بنزین در دو روش شبیه سازی صلب و متحرک سیال
۱۰۱	شکل ۶-۱۰۵- شتاب جانبی مدل ده چرخ در دو حالت پرشدگی الف) ۴۰ وب) ۸۰ در صدی بنزین در دو روش شبیه سازی صلب و متحرک سیال
۱۰۱	شکل ۶-۱۰۶- سرعت جانبی مدل ده چرخ در دو حالت پرشدگی الف) ۴۰ وب) ۸۰ در صدی بنزین در دو روش شبیه سازی صلب و متحرک سیال
۱۰۱	شکل ۶-۱۰۷- مشتق زاویه یاو در مدل ده چرخ در دو حالت پرشدگی الف) ۴۰ وب) ۸۰ در صدی بنزین در دو روش شبیه سازی صلب و متحرک سیال
۱۰۲	شکل ۶-۱۰۸- نیروی قائم زیر چرخ در حالت پرشدگی ۴۰٪ بنزین در سرعت ۲۱ متر بر ثانیه و زاویه فرمان ۵ درجه
۱۰۲	شکل ۶-۱۰۹- نیروی قائم زیر چرخ در حالت پرشدگی ۶۰٪ بنزین در سرعت ۲۱ متر بر ثانیه و زاویه فرمان ۵ درجه
۱۰۲	شکل ۶-۱۱۰- نیروی قائم زیر چرخ در حالت پرشدگی ۸۰٪ بنزین در سرعت ۲۱ متر بر ثانیه و زاویه فرمان ۵ درجه
۱۰۳	شکل ۶-۱۱۱- نمودار تغییرات زاویه غلتش در سرعت ۲۱ متر بر ثانیه و زاویه فرمان ۵ درجه، در پرشدگی های مختلف بنزین
۱۰۳	شکل ۶-۱۱۲- نمودار تغییرات سرعت جانبی در سرعت ۲۱ متر بر ثانیه و زاویه فرمان ۵ درجه، در پرشدگی های مختلف بنزین
۱۰۴	شکل ۶-۱۱۳- نمودار تغییرات شتاب جانبی در سرعت ۲۱ متر بر ثانیه و زاویه فرمان ۵ درجه، در پرشدگی های مختلف بنزین
۱۰۴	شکل ۶-۱۱۴- نمودار تغییرات مشتق زاویه یاو در سرعت ۲۱ متر بر ثانیه و زاویه فرمان ۵ درجه، در پرشدگی های مختلف بنزین
۱۰۴	شکل ۶-۱۱۵- نمودار تغییرات نیروی جانبی سیال در سرعت ۲۱ و زاویه فرمان ۸ درجه در مدل ۱۰ چرخ
۱۰۵	شکل ۶-۱۱۶- نمودار تغییرات زاویه سطح سیال در سرعت ۲۱ و زاویه فرمان ۸ درجه در مدل ۱۰ چرخ
۱۰۶	شکل ۶-۱۱۷- تانکر بیضوی ایجاد شده در نرم افزار Solid works
۱۰۷	شکل ۶-۱۱۸- هندسه تغییرات مرکز جرم سیال در تانکر بیضوی
۱۰۷	شکل ۶-۱۱۹- هندسه پاندول بیضی ساز
۱۰۷	شکل ۶-۱۲۰- ترم های مورد نیاز برای محاسبه مدل معادل سیال در تانکر بیضوی
۱۰۸	شکل ۶-۱۲۱- نسبت \bar{b}/b در پر شدگی های مختلف و نسبت قطرهای بزرگ به کوچک تانکر
۱۰۸	شکل ۶-۱۲۲- نسبت M_p/M_t در پر شدگی های مختلف و نسبت قطرهای بزرگ به کوچک تانکر
۱۰۸	شکل ۶-۱۲۳- نسبت h_0/b در پر شدگی های مختلف و نسبت قطرهای بزرگ به کوچک تانکر
۱۰۹	شکل ۶-۱۲۴- مدل ارائه شده برای پاندول بیضی ساز در نرم افزار Adams
۱۱۰	شکل ۶-۱۲۵- تفاوت شتاب جانبی قابل تحمل در دو تانکر دایره ای و بیضوی تحت زاویه فرمان ۵ درجه
۱۱۱	شکل ۶-۱۲۶- نمودار بی باری چرخ ها در دو حالت الف) تانکر دایره ای ب) تانکر استوانه ای در پر شدگی ۸۰ درصدی بنزین
۱۱۲	شکل ۶-۱۲۷- نمودار بی باری در چرخهای خودرو در حالت الف) تانکر دایره ای ب) تانکر بیضوی ج) تانکر بیضوی تراز شده از پایین

لیست جداول

۱۷	جدول ۱-۳- پارامترهای مدل برای تانک مستطیلی [۴۸]
۱۷	جدول ۲-۳- پارامترهای مدل برای تانک استوانه ای [۴۸]
۲۲	جدول ۳-۳- مشخصات تانکر تست شده
۲۸	جدول ۱-۴- موقعیت محورها
۲۹	جدول ۲-۴- مشخصات هندسی کامیون خالی
۳۶	جدول ۳-۴- محاسبه سختی در فنر های مختلف
۳۷	جدول ۴-۴- مشخصات اتصال فنر تخت جلو به گوشواره و شاسی
۳۹	جدول ۵-۴- اندازه گیربهای لایه ها فنر
۳۹	جدول ۶-۴- مشخصات لایه الاستیک بین لایه ها
۳۹	جدول ۷-۴- مشخصات المان تیر
۴۵	جدول ۸-۴- مشخصات جرمی تانکر
۴۶	جدول ۹-۴- مشخصات وزن کل، مرکز جرم و ممان اینرسی در آرایش اول
۴۶	جدول ۱۰-۴- مشخصات وزن کل، مرکز جرم و ممان اینرسی در آرایش دوم
۴۸	جدول ۱۱-۴- مقادیر محاسبه شده سیال از روش رانگانانان
۵۰	جدول ۱-۵- فرکانس طبیعی سیال معادل در پر شدگی های مختلف
۵۰	جدول ۲-۵- فرکانس های طبیعی مختلف سیستم
۶۶	جدول ۱-۶- بار استاتیکی در چرخ ها
۶۹	جدول ۲-۶- بار قائم در زیر چرخ داخلی قوس، جلو در دو حالت مدلسازی سیال و صلب
۸۸	جدول ۳-۶- مقادیر بار قائم در زیر چرخ در شرایط حمل سیال مختلف
۹۰	جدول ۴-۶- مقادیر زاویه غلت
۹۶	شکل ۵-۶- سرعت بحرانی در شرایط مختلف سیال حمل شده
۱۰۶	جدول ۶-۶- مشخصات جرمی تانکر
۱۰۶	جدول ۷-۶- مشخصات جرمی سیال در تانکر بیضوی
۱۰۹	جدول ۷-۶- پارامترهای محاسبه شده برای نسبت های پرشدگی مختلف
۱۰۹	جدول ۸-۶- محاسبه سرعت بحرانی خودرو در نسبت پرشدگی یکسان در تانکر بیضوی در حالیکه یکی از چرخ های داخل پیچ بلند می شود
۱۰۹	جدول ۹-۶- محاسبه سرعت بحرانی خودرو در نسبت پرشدگی یکسان در تانکر بیضوی در حالتی که جفت چرخ های داخل پیچ بلند می شوند
۱۱۰	جدول ۱۰-۶- مقادیر بیشینه و کمینه شتاب جانبی در مانور تغییر مسیر حرکت در تانکر دایروی
۱۱۰	جدول ۱۱-۶- مقادیر بیشینه و کمینه شتاب جانبی در مانور تغییر مسیر حرکت در تانکر بیضوی
۱۱۱	جدول ۱۲-۶- مقادیر شتاب جانبی قابل تحمل در تانکر بیضوی تراز شده از لبه پایینی تانکر دایره ای

فصل اول

مقدمه و تعريف مسأله

۱-۱- مقدمه و تعریف مسئله

یک تانکر حمل سیال در معرض نیروها و گشتاورهایی اضافی است که ناشی از نیروی اینرسی سیال در مانورهای دور زدن، شتابگیری یا ترمزگیری و یا ترکیبی از این موارد می باشند. میزان این نیروها و گشتاورهای اینرسی در فرکانسی نزدیک به فرکانس طبیعی سیال، می تواند بسیار شدید گردیده و بر دینامیک طولی و کنترل پذیری تانکر تاثیر گذار باشد.

تانکرهای حمل سیال در راه آهن و جاده ها بدلیل تغییرات وزن و بار محوری و مقررات حرکت در مناطق مختلف با توجه به دانسیته سیال معمولا به صورت نیمه پر حرکت می کنند. با توجه به این موضوع، بررسی تاثیر تلاطم سیال بر کنترل و تغییرات پایداری خودرو از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

بخش اعظم آنالیزهای دو بخشی سیال- خودرو از نیروها و گشتاورهای سیال به صورت شبه استاتیکی یا مدل معادل مکانیکی برای سهولت در بررسی استفاده می شود. با توجه به این موضوع، بخشی از پایان نامه فوق به بررسی راه حل های ارائه شده برای مدلسازی سیال اختصاص یافته است. روند توسعه ارائه مدل های فوق و دستاوردهای جدید آن در فصلهای ۲، ۳ و ۴ ارائه شده است. در انتهای این بخش مدل جدیدی جهت بررسی رفتار سیال در مانورها دور زدن و شتاب جانبی ارائه گردیده است.

از ترکیب مدل فوق با مدل ایجاد شده از یک کامیون حمل سیال در نرم افزار ADAMS مدلی حاصل می شود که امکان اعمال مجموعه ای از آنالیزها با توجه به سیال حمل شده توسط خودرو در آن امکان پذیر است. مدل ایجاد شده از خودرو به دلیل سه محوره بودن خودرو، نوع تایر و ابعاد و مشخصات آن و نوع سیستم تعلیق و خواص مختلف آن از نکات و روشهای جدیدی استفاده کرده است. مدل فوق قابلیت فرمان دهی، مدلسازی فرایندهای ترمز و شتاب و عبور از مسیر های ناهموار را دارا می باشد که در صورت نیاز به ترکیب با سیال نیازمند مدل مناسبی از تلاطم می باشد.

از مدل فوق برای محاسبه فرکانس ها طبیعی خودرو و سیال استفاده می شود. در فصل تحلیل دینامیکی اثر مدلسازی سیال در مقایسه با در نظر گرفتن آن به صورت صلب و همچنین اثر ارتفاع سیال یا میزان پر بودن آن در فرمان پذیری و پایداری مورد بحث قرار می گیرد.

فصل دوم

مروری بر تحقیقات صورت گرفته

۲-۱- حرکت سیال در محفظه های متحرک

موج وار شدن سیالات و اندرکنش جامد و سیال ناشی از آن، یکی از موارد مهم در مهندسی مسائل مرتبط با حمل و نقل و بسیاری از بخش‌های دیگر از دهه ۵۰ شناخته شده است.

این مسئله ناشی از حرکت سوخت‌های مایع در باک و سائل نقلیه، حرکت سیالات در تانکرهای حمل سیال نظیر تانکرهای راه آهن، کشتی‌ها و تانکرهای جاده‌ای، مخزن سوخت هواپیماها، فضاپیماها و حرکت سیالات در تجهیزات فراساحل و موارد متعدد دیگری می‌باشد.

حرکت سیالات در محفظه‌های نیمه پر بر اثر تحریک بیرونی سازه می‌تواند با دینامیک خود سازه ترکیب گردد. مسئله ترکیبی اندرکنش سیال موج با خودروی در حال حرکت یکی از موارد مهم و تاثیرگذار در دینامیک طولی وسایل مختلف شناخته شده است [۱].

این اندرکنش‌های دینامیکی می‌تواند بصورت مخربی بر دینامیک و پایداری وسیله تاثیرگذار بوده و نیز باعث ایجاد خرابی در سازه نگهدارنده سیال (تانکر) گردد. هنگامی که فرکانس پایه نوسانات سیال نزدیک به فرکانس‌های طبیعی سیستم و یا کنترل باشد خودرو و سازه تانکر تحت تأثیر نیروها و ممانهای بسیار زیادی قرار می‌گیرد.

حرکت موج سیالات با مسئله پایداری ماهواره‌ها در دهه ۵۰ و شروع عصر فضا مورد توجه قرار گرفت. کوپر^۱ [۲] و آبرامسون^۲ [۳] هدایت بسیاری از تحقیقات را تحت عنوان حرکت موج سیال بعهدده داشتند. این تحقیقات اولیه منجر به تعدادی راه حل‌های تئوری و تائید برخی مدل‌های تئوری با نتایج تجربی گردید. گزارش آبرامسون [۳] یکی از دقیق ترین بررسی‌ها روی این مسئله بوده که نزدیک به ۵۰۰ مقاله گزارش منتشر شده تا سال ۱۹۶۶ را که بویژه مربوط به رفتار سوخت در تانک هواپیماها و یا ماهواره‌ها و فضاپیماها می‌پرداخته اند شامل می‌شده است. از دهه ۶۰ بسیاری از تحقیقات روی مسئله سیال موج در بسیاری از موارد کاربرد مورد توجه قرار گرفته شد. تئوری‌های و دیدگاه‌های زیادی روی آرایش هندسه های مختلف تانکرها بر اثر ورودی‌های متفاوت انجام و پیاده سازی گردیده است، برخی از این تحقیقات که بررسی رفتار سیال در تانکرها می‌پردازد بصورت خلاصه در این زیر مرور می‌گردد.

۲-۲- مدل‌های هیدرولیکی و روش‌های حل

مسئله حرکت سیال در مخازن متحرک شامل تعداد زیادی از تحلیل‌های تئوری، عددی و مطالعات آزمایشگاهی است که بخش‌های مختلف این مسئله را مورد بررسی قرار داده اند. بخش اول این بررسی‌ها شامل آرایش جریان در محفظه‌ها و توسعه مودهای ارتعاشی سیال است و بخش دوم شامل نوشتن معادلات و تشخیص شرایط مرزی و نیز روش‌های حل این مسئله است.

یکی از متداولترین روش‌های مورد استفاده در شبیه سازی حرکت سیال استفاده از معادلات ناویر - استوکس و معادلات پیوستگی با تعریف مناسب شرایط مرزی است. با این حال روش فوق غیرخطی و مقداری پیچیده است بخصوص هنگامی که با حرکت خودرو مدنظر قرار داده می‌شود. اثر غیر خطی بودن بیشتر به دلیل شکل سطح آزاد سیال و اندرکنش سیال در محل تماس با هندسه تانکر و اثر ویسکوز بوجود می‌آید.

تفاوت‌های موجود در شکل سطح سیال در طی زمان منجر به یک پیچیدگی اضافی در معادلات دیفرانسیل سیستم می‌گردد. بررسی مسئله حرکت سیال در بسیاری از معادلات و گزارش‌ها با انواع ساده سازیها همراه است که یکی از متداولترین آنها در نظر گرفتن سیال بصورت سیال غیر ویسکوز و جریان غیرچرخشی می‌باشد که در اینصورت می‌توان از تئوری‌های جریان پتانسیل استفاده نمود [۳ و ۴]. بسیاری تئوری‌های موجود در تلاطم سیال براساس فرض سیال تراکم ناپذیر غیر لزج برای حالاتی که جریان پتانسیل وجود دارد و در نتیجه مدل تلاطم سیال بصورت معادلات رتبه

1 Copper

2 Abramson