



آنالیز رفتار خودرو در چرخه عمر مجموعه های خودرویی منتخب

پایان نامه یا رساله برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی خودرو گرایش نگاهداشت

نام دانشجو :

مهیار محمدزاده قصاب

استاد راهنما:

دکتر کاکایی

اساتید مشاور:

اردیبهشت ۱۴۰۴



تأییدیه‌ی هیأت داوران جلسه‌ی دفاع از پایان‌نامه/رساله

نام دانشکده: مهندسی خودرو

نام دانشجو: مهیار محمدزاده قصاب

عنوان پایان‌نامه یا رساله: آنالیز رفتار خودرو در چرخه عمر خودروی منتخب با قوای محرکه بنزینی

تاریخ دفاع:

رشته: مهندسی خودرو

گرایش: نگاهداشت

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبۀ دانشگاهی	دانشگاه یا مؤسسه	امضا
۱	استاد راهنما				
۲	استاد راهنما				
۳	استاد مشاور				
۴	استاد مشاور				
۵	استاد مدعو خارجی				
۶	استاد مدعو خارجی				
۷	استاد مدعو داخلی				
۸	استاد مدعو داخلی				

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

باسمه تعالی

اینجانب مهیار محمدزاده قصاب به شماره دانشجویی ۴۰۲۶۲۵۰۹۳ دانشجوی رشته مهندسی خودرو گرایش نگاهداشت مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه/رساله حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه برداری‌شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض در خصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسؤولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذیصلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسؤولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی: مهیار محمدزاده قصاب

امضا و تاریخ:

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

- بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.
- بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.
- بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما:

تاریخ:

امضا:

تقدیم به:

تقدیم به

آنان که با عشق و ایمان، مشعل راه زندگی ام شدند؛
به پدر و مادرم، که با صبر و محبت بی پایان،
راه سخت علم و تلاش را برایم هموار کردند؛
به استادانم، که چراغ دانایی را در وجودم برافروختند؛
و به همه عزیزانی که در این مسیر، الهام بخش من بودند.

با نهایت احترام و سپاس

تشکر و قدردانی:

از زحمات استاد ارجمند و گرامی ام ، جناب آقای دکتر کاکایی کمال قدردانی و تشکر را دارم که بدون هدایت و راهنمایی ایشان تحقیق پیش رو به سرانجام نمی رسید.

همینطور از خانواده عزیزم نهایت تشکر و قدردانی را دارم که در شرایط واقعا سخت اقتصادی با حمایت های مادی و غیرمادی زمینه را برای انجام این تحقیق فراهم کردند

چکیده

در دهه‌های اخیر، با افزایش جمعیت جهانی و توسعه سریع صنعت، مصرف انرژی به طور چشمگیری افزایش یافته است. این رشد بی‌سابقه به ویژه در کشورهای در حال توسعه، منجر به افزایش قابل توجه انتشار گازهای گلخانه‌ای، از جمله دی‌اکسید کربن، شده است. دی‌اکسید کربن، به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل آلودگی هوا، نه تنها بر سلامت انسان و محیط زیست تأثیر می‌گذارد، بلکه نقش کلیدی در تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی دارد. با توجه به اینکه انرژی‌های فسیلی همچنان منبع اصلی تأمین انرژی جهانی هستند، مسئله کاهش انتشار دی‌اکسید کربن به یکی از چالش‌های بزرگ قرن بیست و یکم تبدیل شده است.

در این پروژه نقش کیفیت سوخت و استهلاک روغن موتور و تأثیر خودرو بر روی مصرف سوخت در سیکل‌های ARTEMIS MOTORWAY و ARTEMIS URBAN، ARTEMIS ROAD، WLTC، NEDC مورد بررسی قرار خواهد گرفت و در نهایت تأثیر کیفیت سوخت و رفتار رانندگی با استفاده از روش چاه تا چرخ، ارائه خواهد شد. این پژوهش نشان می‌دهد که رفتار رانندگی بر روی مصرف سوخت تأثیر مستقیم داشته و افزایش کیفیت سوخت به نحوی که به جای بنزین بدون اتانول از بنزین E10 که حاوی ۱۰ درصد اتانول و ۹۰ درصد بنزین است در چرخه عمر خودروی تارا دستی با موتور TU5P که در این پژوهش ۲۰ سال در نظر گرفته شده می‌تواند تا یک تن میزان دی‌اکسید کربن تولیدی را کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: استهلاک خودرو، استهلاک روغن موتور، استهلاک تأثیر خودرو، کیفیت سوخت، رفتار رانندگی، چرخه عمر، ردپای کربنی

فهرست مطالب

۱	فصل ۱:
۲	مقدمه
۴	فصل ۲: مروری بر منابع
۵	مقدمه
۶	سیکل رانندگی
۱۳	روغن موتور
۲۷	تایر
۳۳	کیفیت سوخت
۴۳	نتیجه‌گیری
۴۵	فصل ۳: روش تحقیق
۴۶	مقدمه
۴۶	روش تحقیق و نرم افزار مورد استفاده
۴۷	شبیه سازی استهلاک روغن موتور
۵۰	شبیه سازی استهلاک تایر
۵۲	بررسی کیفیت سوخت روی مصرف سوخت
۵۳	شبیه سازی تاثیر رفتار رانندگی بر روی مصرف سوخت
۵۴	فصل ۴: نتایج و تفسیر آنها
۵۵	مقدمه
۵۵	مدل سازی در نرم افزار
۵۷	سیکل های رانندگی
۶۴	روند شبیه سازی در نرم افزار
۶۴	روغن موتور
۶۶	تایر
۶۸	کیفیت سوخت
۶۸	ردپای کربنی
۷۲	فصل ۵: جمع بندی و پیشنهادها
۷۳	مقدمه
۷۳	نتایج و پیشنهادها
۷۵	مراجع

فصل ۱ :
مقدمه

مقدمه

استهلاک خودرو فرآیندی اجتناب‌ناپذیر و طبیعی است که با گذشت زمان و استفاده مستمر از اجزا و سیستم‌های مختلف خودرو رخ می‌دهد. این پدیده تحت تأثیر عواملی مانند شرایط آب و هوایی، نوع و کیفیت جاده‌ها، سبک رانندگی، کیفیت مواد به کار رفته در ساخت قطعات و نگهداری منظم یا غیرمنظم خودرو قرار می‌گیرد. استهلاک قطعات مختلف خودرو می‌تواند به شکل کاهش عملکرد مکانیکی، افزایش اصطکاک، کاهش کارایی سیستم‌ها و در نهایت افزایش مصرف سوخت نمود پیدا کند. از میان تمامی اجزای خودرو، استهلاک تایرها و روغن موتور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ چرا که این دو عامل به طور مستقیم و مؤثر بر میزان مصرف سوخت خودرو تأثیرگذار هستند. علاوه بر این، کیفیت سوخت و الگوی رانندگی نیز از دیگر عواملی هستند که نقش مهمی در مصرف سوخت خودرو ایفا می‌کنند.

تایرها به عنوان تنها نقطه تماس خودرو با سطح جاده، نقشی حیاتی در انتقال قدرت موتور به سطح زمین، حفظ تعادل و کنترل خودرو دارند. استهلاک تایرها به مرور زمان به دلیل عواملی چون سایش سطح آج، کاهش عمق شیارها، تغییر شکل تایرها و کاهش فشار باد رخ می‌دهد. این استهلاک نه تنها عمر مفید تایرها را کاهش می‌دهد، بلکه مقاومت چرخشی (Rolling Resistance) را نیز دستخوش تغییر میکند.

روغن موتور به عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای سیستم روانکاری خودرو، نقش اساسی در کاهش اصطکاک بین قطعات متحرک، جلوگیری از سایش، خنک‌کنندگی، پاک‌سازی ذرات آلاینده و جلوگیری از زنگ‌زدگی دارد. استهلاک روغن موتور به دلایل مختلفی مانند اکسیداسیون، آلودگی با ذرات معلق، کاهش خاصیت روان‌کنندگی و تغییر در ویسکوزیته (گران‌روی) رخ می‌دهد. اکسیداسیون روغن موتور ناشی از قرارگیری در معرض دماهای بالا و تماس با هوا است که باعث تشکیل اسیدها و ترکیبات مضر می‌شود. این فرآیند موجب کاهش کیفیت روغن و افزایش اصطکاک بین قطعات موتور می‌گردد. علاوه بر این، ورود ذرات معلق به روغن موتور باعث تشکیل رسوبات و کاهش خاصیت روان‌کنندگی آن می‌شود. تغییر ویسکوزیته روغن به دلیل افزایش دما یا مخلوط شدن با مواد آلاینده نیز از دیگر عوامل مؤثر در کاهش کارایی آن است. روغن موتور کهنه یا بی‌کیفیت باعث افزایش اصطکاک داخلی موتور، کاهش بازدهی حرارتی و مکانیکی و در نهایت افزایش مصرف سوخت می‌شود. استفاده از روغن‌های موتور باکیفیت و دارای ویسکوزیته مناسب می‌تواند تا حد قابل توجهی مصرف سوخت را کاهش داده و عملکرد بهینه موتور را تضمین کند.

علاوه بر تأثیری که استهلاک روغن موتور و تایر خودرو بر روی مصرف سوخت دارند، کیفیت سوخت و نحوه رانندگی راننده نیز تأثیر قابل توجهی بر روی مصرف سوخت خودرو دارند. کیفیت سوخت مورد استفاده در

خودروها عامل مهمی در بهینه بودن مصرف سوخت و کاهش آلاینده‌ها محسوب می‌شود. سوخت‌هایی که دارای ناخالصی‌های بالا، رطوبت یا ترکیبات نامطلوب هستند، موجب کاهش بازدهی احتراق، تولید انرژی کمتر و افزایش مصرف سوخت می‌شوند. همچنین، عدد اکتان پایین در موتورهای بنزینی و عدد ستان پایین در موتورهای دیزلی باعث احتراق ناقص و تولید آلاینده‌های بیشتر می‌شود.

سوخت‌های با کیفیت پایین معمولاً دارای رسوبات و ذرات معلق هستند که می‌توانند موجب گرفتگی سیستم سوخت‌رسانی، کاهش کارایی انژکتورها و ایجاد رسوبات در محفظه احتراق شوند. استفاده از مواد افزودنی مناسب می‌تواند فرآیند احتراق را بهبود داده و اصطکاک داخلی موتور را کاهش دهد که این امر به کاهش مصرف سوخت منجر می‌شود.

الگوی رانندگی یا سیکل رانندگی نیز تأثیر مستقیم بر مصرف سوخت خودرو دارد. رانندگی پرشتاب، ترمزهای ناگهانی، رانندگی در سرعت‌های بالا و توقف‌های مکرر از جمله عواملی هستند که منجر به افزایش مصرف سوخت می‌شوند. به عنوان مثال، رانندگی در محیط‌های شهری با ترافیک سنگین معمولاً مصرف سوخت بیشتری نسبت به رانندگی در جاده‌های بین‌شهری با سرعت ثابت دارد.

استفاده نادرست از دنده‌ها، حرکت در مسیرهای پر شیب و عدم رعایت اصول صحیح رانندگی نیز می‌تواند بازدهی مصرف سوخت را کاهش دهد. بررسی‌ها نشان داده‌اند که اصلاح الگوهای رانندگی می‌تواند به طور قابل توجهی مصرف سوخت را کاهش داده و کارایی خودرو را بهبود بخشد.

ضرورت بررسی و پژوهش:

با توجه به تأثیرات چشمگیر استهلاک تایرها، روغن موتور، کیفیت سوخت و سیکل رانندگی بر مصرف سوخت، بررسی جامع این عوامل و ارائه راهکارهای عملی برای کاهش مصرف سوخت از اهمیت بالایی برخوردار است. نتایج این مطالعه می‌تواند به بهبود طراحی تایرها و روغن‌های موتور، ارتقاء استانداردهای نگهداری و سرویس خودروها و همچنین افزایش آگاهی رانندگان در زمینه استفاده صحیح از خودرو کمک کند.

فصل ۲ :
مروری بر منابع

مقدمه

در دهه‌های اخیر، با افزایش جمعیت جهانی و توسعه سریع صنعت، مصرف انرژی به طور چشمگیری افزایش یافته است. این رشد بی‌سابقه به ویژه در کشورهای در حال توسعه، منجر به افزایش قابل توجه انتشار گازهای گلخانه‌ای، از جمله دی‌اکسید کربن، شده است. دی‌اکسید کربن، به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل آلودگی هوا، نه تنها بر سلامت انسان و محیط زیست تأثیر می‌گذارد، بلکه نقش کلیدی در تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی دارد. با توجه به اینکه انرژی‌های فسیلی همچنان منبع اصلی تأمین انرژی جهانی هستند، مسئله کاهش انتشار دی‌اکسید کربن به یکی از چالش‌های بزرگ قرن بیست و یکم تبدیل شده است. از جمله مواردی که بر روی مصرف سوخت خودرو تأثیر مستقیم دارد، استهلاک اجزای مختلف خودرو است، با گذشت زمان شاخصه‌های مختلفی که در کیفیت و عملکرد این اجزا نقش دارند دچار تغییراتی میشوند که منجر به تغییرات معادل دز سیستم‌های دیگر مانند سیستم سوخت رسانی و در نهایت مصرف سوخت میشوند.

در این فصل به شرح تعدادی از مطالعات مهم در زمینه‌های زیر و نتایج حاصل از هر یک پرداخته خواهد شد:

1. تأثیر رفتار رانندگی بر روی مصرف سوخت
2. تغییر مشخصات روغن موتور در اثر فرسودگی و تأثیر بر روی مصرف سوخت
3. تأثیر فرسودگی تایر بر روی مصرف سوخت
4. تأثیر کیفیت سوخت بر مصرف سوخت
5. بررسی روش ردپای کربنی و بیان تأثیر استهلاک موارد مذکور به این روش

سیکل رانندگی

لاسوکی در سال ۲۰۲۱ [1] دو سیکل WLTC و NEDC که برای شبیه سازی رفتار رانندگی و برآورد مصرف سوخت و آلاینده‌های خودروهای احتراق داخلی معرفی شده اند مورد مقایسه قرار داد. در این مقاله دو خودرو با مشخصاتی که در جدول زیر داده شده است در سیکل های مذکور مورد بررسی قرار گرفته اند

Parameter	Chevrolet Cruze	Dodge Ram 1500 HFE
Body type	4-door sedan	Pick-up
Number of seats	5	3
Curb weight (kg)	1587	2074
Test weight (kg)	1727	2245
Drive type	Front-wheel drive	Rear-wheel drive
Engine trade name	GM 2.0L I4 LUZ	3.6L Pentastar V6
Engine type	CI, DOHC, turbocharged	SI, DOHC
Fuel	Diesel fuel	Gasoline
Cylinder configuration	4 in-line	V6 (60 deg)
Engine displacement (cm ³)	1956	3604
Bore/stroke (mm)	83.0/90.4	96.0/83.0
Compression ratio	16.5:1	10.2:1
Engine power (kW @ rpm)	112 @ 4000	227 @ 6400
Engine torque (Nm @ rpm)	358 @ 2600	365 @ 4175
Fuel supply system	Direct injection	Multi-port injection
Cooling system	Liquid-cooled	Liquid-cooled
Transmission	6-speed automatic	8-speed automatic
Additional features	DPF, cooled EGR, urea injection after-treatment	Variable valve timing, start-stop, active grille shutters

شکل ۱- مشخصات خودروی منتخب

در این مقاله به این سوال پاسخ داده شده که تاثیر دو سیکل رانندگی مختلف بر روی کارکرد خودروها چیست ، در نمودارهای زیر سرعت موتور و گشتاور نامفی در هر دو سیکل اندازه گیری شده است که نشان میدهد که در سرعت و شتاب بالا ، سرعت و گشتاور خودرو در سیکل WLTC بیشتر از سیکل NEDC می باشد که همین امر باعث شده که راندمان موتور در سیکل WLTC بیشتر از NEDC باشد در این مقاله همچنین این امر بیان شده است که میزان آلاینده‌های در سیکل WLTC کمتر از سیکل NEDC می باشد

برخی از نتایج مقاله مذکور به صورت زیر است

۱. مشخصه های سیکل رانندگی تاثیر مستقیم بر روی عملکرد موتور دارند
۲. سیکل WLTC در مقایسه با سیکل NEDC در پروفیل سرعت خودرو دینامیک تر است
۳. سیکل WLTC در مقایسه با سیکل NEDC به شرایط واقعی رانندگی نزدیک تر است و طیف وسیع تر از شرایط کاری موتور را شبیه سازی میکند
۴. مقدار زیاد شتاب منفی در سیکل WLTC موجب میشود که موتور در موقعیت fuel cut off کار کند که موجب کاهش مصرف سوخت میشود

۵. در خودروهایی که در این تست مورد آزمایش قرار گرفتند سرعت متوسط، گشتاور و نرخ جریان سوخت در سیکل WLTC نسبت به سیکل NEDC بیشتر بودند
۶. از لحاظ مصرف سوخت هنگام تعویض سیکل از WLTC به NEDC موتور بنزینی ۳ درصد افزایش پیدا کرده است که البته در این مقاله ذکر شده که این مقدار وابسته به تکنولوژی به کار رفته در خودرو میتواند متغیر باشد

در سال ۲۰۱۰ مایکل بری [2] تاثیر سیکل های مختلف بر روی مصرف سوخت خودروهای سبک در ایالات متحده را مورد بررسی قرار داد. این مقاله تحت عنوان «تأثیر سبک رانندگی و عملکرد خودرو بر مصرف سوخت واقعی خودروهای سبک در ایالات متحده» در مؤسسه فناوری ماساچوست (MIT) نوشته شده است. این پژوهش به دنبال بررسی این موضوع است که چگونه رفتارهای مختلف رانندگی (مثل سرعت، شتاب و الگوهای رانندگی تهاجمی) و همچنین ویژگی های عملکردی خودرو (مثل نسبت قدرت به وزن) بر مصرف سوخت واقعی خودروهای سبک تأثیر می گذارد. هدف این پژوهش شامل موارد زیر است

۱. بررسی حساسیت مصرف سوخت به تغییرات سبک رانندگی و شناسایی رفتارهای خاصی که بیشترین تأثیر را بر افزایش مصرف سوخت دارند.

۲. توسعه یک معیار برای سنجش میزان تهاجمی بودن رانندگی.

۳. ارزیابی سبک های رانندگی در دنیای واقعی و بررسی اینکه آیا خودروهای با عملکرد بالا به شکل تهاجمی تری رانده می شوند یا خیر.

به منظور آنالیز رفتار رانندگی و تاثیر آن بر روی مصرف سوخت سیکل های مختلف آمریکایی، اروپایی و ژاپنی در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته اند.

این پژوهش به طور کلی عنوان میکند که مصرف سوخت در سرعت های ثابت و متوسط پایین تر است و با افزایش سرعت یا کاهش سرعت مصرف سوخت افزایش می یابد. این پژوهش همچنین بیان میکند که تاثیر رفتار رانندگی بر روی مصرف سوخت در سه بازه رفتاری به شرح زیر روی مصرف سوخت اثر گذار است:

۱. رانندگی با سرعت پایین / Neighborhood cycles

در این نوع رفتار رانندگی، کاهش سرعت و شتاب هر دو مصرف سوخت را افزایش میدهند

۲. رانندگی شهری (سرعت متوسط) / urban cycles

در این نوع رفتار رانندگی، تغییر شتاب نقش غالب در مصرف سوخت دارد و سرعت تاثیر کمی دارد

۳. رانندگی بزرگراهی (سرعت بالا)/ Highway cycles

در این نوع رفتار رانندگی، افزایش هر دو مولفه شتاب و سرعت مصرف سوخت را افزایش میدهد اما سرعت های بالا تاثیر بیشتری دارند

بنابراین با توجه به موارد بالا برای کاهش مصرف سوخت باید به نکات زیر توجه کرد:

۱. رانندگی با سرعت پایین تر در بزرگراه ها

۲. کاهش شتاب در رانندگی شهری و محله ای

البته به منظور درک بهتر تاثیر سرعت و شتاب بر روی رفتار رانندگی باید اشاره کرد که کاهش شتاب و سرعت، هر دو به کاهش مصرف سوخت کمک میکنند اما از دو جنبه مختلف بر روی مصرف سوخت تاثیر میگذارند:

۱. کاهش شتاب

کاهش شتاب به معنای کاهش میزان نیرویی است که برای افزایش سرعت خودرو به کار میرود به عبارت دیگر راننده با ملایمت بیشتری گاز میدهد. این امر بدین علت حائز اهمیت است که در لحظه های شتاب گیری ف مصرف سوخت به شدت افزایش می یابد زیرا موتور نیاز به تولید توان بیشتری دارد، بنابراین کاهش شتاب به ویژه در رانندگی شهری که شتاب گیری های مکرر وجود دارد میتواند به طور چشمگیری مصرف سوخت را کاهش دهد. مؤثرترین روش کاهش شتابها، شروع حرکت آهسته از حالت توقف و شتاب گیری تدریجی است.

۲. کاهش سرعت

کاهش سرعت به معنای رانندگی با سرعت پایین تر از سرعت های بالا در بزرگراه ها و جاده هاست. رانندگی در محدوده سرعت بهینه که معمولاً بین ۵۰ تا ۷۰ کیلومتر بر ساعت است، باعث مصرف سوخت کمتر می شود.

در این پژوهش مورد بررسی نیز اشاره شده که کاهش سرعت در بزرگراه ها تقریباً به همان میزان سوخت را ذخیره می کند که کاهش شتابها در تمامی شرایط رانندگی. اما برای رانندگان تهاجمی، تمرکز بر کاهش شتابها مؤثرتر است و برای رانندگان معمولی، کاهش سرعت های بزرگراهی بیشتر تأثیر دارد.

Table 9: Comparison of U.S., European, and Japanese Driving Cycles

	Percent idle (%)	Distance (km)	Average speed (kph)	Maximum speed (kph)	Maximum acceleration (m/s ²)
U.S. "5-cycle" Cycles					
FTP	18.9	12.0	31.5	91.2	1.6
HWFET	0.9	16.5	77.5	96.4	1.4
US06	7.5	12.9	77.2	129.2	3.2
SC03	18.7	5.8	34.9	88.2	2.2
C-FTP	18.9	12.0	31.5	91.2	1.6
U.S. Other Drive Cycle					
LA92	15.1	15.7	39.4	107.5	2.8
REP05	3.4	32.1	82.4	128.5	3.1
ARB02	7.5	31.7	69.6	128.5	3.2
Japanese Cycles					
10/15 mode	2.6	0.4	25.4	70.0	0.3
10 mode	3.7	0.1	16.9	40.0	0.8
15 mode	1.7	0.2	41.8	70.0	0.4
European Regulatory Cycles					
ECE	34.5	1.0	18.2	50.1	1.1
EUDC	8.2	7.0	64.0	120.1	0.8
NEDC	24.9	11.0	33.6	120.1	1.1
Other European Cycles					
INRETS urban	24.6	3.5	22.3	57.2	2.1
INRETS urban1	26.9	4.2	20.9	59.0	2.2
INRETS urban3	21.3	2.9	18.0	61.6	2.1
INRETS road	10.4	11.2	47.9	103.4	2.2
INRETS road1	9.3	7.8	40.2	71.7	2.4
INRETS road2	3.2	27.3	65.8	125.8	2.2
INRETS hwy	3.4	46	92	138	2.6
INRETS hwy1	7.5	42.7	82.3	150.0	3.2

شکل ۲- مشخصات سیکل های مختلف

Table 24: Fuel consumption and aggressiveness factor for the Ford Focus for standard drive cycles organized by type of driving. The four drive cycles included in the new (2008+) U.S. EPA fuel economy labels are highlighted.

Drive Cycle	Fuel Consumption (L/100km)	Cycle Description	Aggressiveness Factor (m/s ²)
Neighborhood Cycles			
Japan10/15	9.36	Japanese Reg.	1.53
FTP	8.39	U.S. Reg.	1.54
Japan10	10.67	Japanese Reg.	1.76
ECE	10.52	European Reg.	1.77
INRETS urb	10.67	Other European	1.92
INRETS urb3	11.36	Other European	2.15
INRETS urb1	11.38	Other European	2.17
NY City	16.02	Other U.S.	4.29
City Cycles			
EUDC	6.76	European Reg.	0.41
Japan15	7.74	Japanese Reg.	0.44
INRETS road2	7.21	Other European	0.52
INRETS road1	7.83	Other European	0.56
NEDC	8.14	European Reg.	0.63
SC03	8.64	U.S. Reg.	0.67
INRETS road	7.91	Other European	0.72
ARB02	8.75	Other U.S.	0.77
LA92	8.95	Other U.S.	0.86
Highway Cycles			
HWFET	6.05	U.S. Reg.	0.22
Rep05	7.61	Other U.S.	0.61
INRETS hwy	8.03	Other European	0.76
INRETS hwy1	8.61	Other European	0.77
US06	8.92	U.S. Reg.	0.81

شکل ۳- مصرف سوخت در سیکل های مختلف

در سال‌های اخیر، مقررات مربوط به مصرف سوخت و آلاینده‌گی خودروها در سراسر جهان دستخوش تغییرات چشمگیری شده است. یکی از مهم‌ترین این تغییرات، جایگزینی روش آزمایشی سیکل رانندگی اروپایی جدید (NEDC) با روش آزمایشی جهانی خودروهای سبک (WLTP) است. این تغییر با هدف ارائه تخمین دقیق‌تر از مصرف سوخت و آلاینده‌گی خودروها تحت شرایط رانندگی واقعی انجام شده است. WLTP با لحاظ کردن فاکتورهایی مانند شتاب‌گیری‌های متنوع‌تر، افزایش جرم تست، شرایط دمایی جدید و زمان‌بندی پیچیده‌تر، چالش‌های جدیدی را برای خودروسازان و تنظیم‌کنندگان سیاست‌های مصرف سوخت ایجاد کرده است.

در همین راستا در سال ۲۰۲۱ چن و همکاران [3] به بررسی تأثیرات تغییر روش آزمایشی از NEDC به WLTP بر مقررات مصرف سوخت خودروهای سواری در چین پرداخته‌اند. آن‌ها با استفاده از چارچوبی مبتنی بر مدل‌سازی و تحلیل فناوری، نشان داده‌اند که این تغییر نه تنها بر میزان مصرف سوخت ناوگان تأثیر دارد، بلکه کارایی فناوری‌های مختلف کاهش مصرف سوخت را نیز دستخوش تغییر می‌کند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان می‌دهد که برخی فناوری‌ها مانند توربوشارژر و کاهش‌سازی حجم موتور که در NEDC عملکرد مناسبی داشتند، در شرایط WLTP کارایی کمتری دارند، درحالی‌که برخی دیگر مانند تزریق مستقیم سوخت و نسبت تراکم متغیر حتی بهبود جزئی را تجربه می‌کنند. این تحقیق اهمیت بررسی اثرات واقعی روش‌های آزمایشی بر فناوری‌های خودرو و تدوین مقررات مصرف سوخت را برجسته کرده و به سیاست‌گذاران و خودروسازان پیشنهاد می‌کند تا برای دستیابی به اهداف تعیین‌شده، راهبردهای فناورانه خود را با شرایط جدید آزمون WLTP تطبیق دهند.

Table 1. Phases of China's passenger vehicle fuel consumption regulations [16].

Phases	Time Frame	Standard	Test Cycle	Description
Phase I	2005.07-2008.01: New type approval vehicle 2006.07-2009.01: Vehicle under manufacturing	GB19578-2004	NEDC	Only the fuel consumption limit for a single vehicle is required; Only for domestic cars
Phase II	2008.01-2012.07: New type approval vehicle 2009.01-2012.07: Vehicle under manufacturing	GB19578-2004	NEDC	Only the fuel limit for a single vehicle is required; Only for domestic cars
Phase III	2012.07-2015.12	GB19578-2004 GB27999-2011	NEDC	The single limit and the ratio of CAFC are both required; Imported cars are included
Phase IV	2016.01-2020.12	GB19578-2014 GB27999-2014	NEDC	The single limit and the ratio of CAFC are both required; Imported cars are included
Phase V	2021.01-2025.12_	GB19578-2021 GB27999-2019	WLTC	The single limit and the ratio of CAFC are both required; Imported cars are included; The evaluation system changed from ladder-type to line-type

شکل ۴- سیکل‌های مرجع در گذر زمان

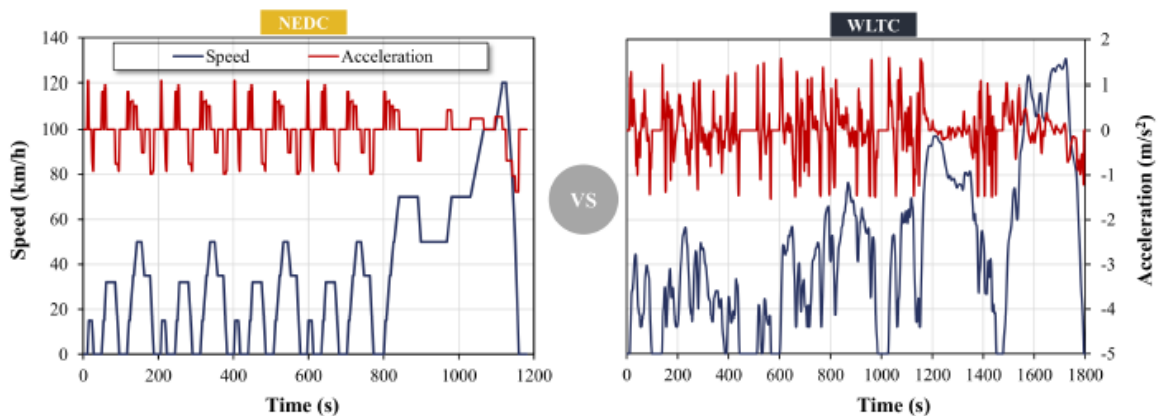


Figure 3. Comparisons of the NEDC and WLTC driving cycles [27].

شکل ۵- تفاوت سیکل های WLTC و NEDC

نتایج این مقاله نشان می دهد که تغییر روش آزمایشی از NEDC به WLTP تأثیرات قابل توجهی بر مصرف سوخت اندازه گیری شده، کارایی فناوری های کاهش مصرف سوخت و مقررات مربوط به خودروهای سواری در چین دارد. مهم ترین یافته های مقاله به شرح زیر است:

۱. افزایش مصرف سوخت در WLTP
تقریباً تمامی خودروها تحت آزمون WLTP مصرف سوخت بالاتری نسبت به NEDC دارند، زیرا این روش آزمایشی شرایط رانندگی واقعی تر و سخت گیرانه تری را شبیه سازی می کند. خودروهای دیزلی نسبت به خودروهای بنزینی تأثیرپذیری بیشتری دارند و افزایش مصرف سوخت بیشتری را تجربه می کنند. با افزایش سطح الکتریکی سازی، تأثیر WLTP بیشتر مشهود است؛ به عنوان مثال، خودروهای هیبریدی شارژی (PHEV) و هیبریدی با برد توسعه یافته (REEV) حدود ۶٪ افزایش مصرف سوخت را نشان می دهند.

۲. تأثیر بر کارایی فناوری های مختلف:
فناوری هایی که در شرایط بار کم موتور عملکرد بهتری داشتند (مانند توربوشارژر و کاهش حجم موتور، غیرفعال سازی سیلندر، تزریق لایه ای سوخت (FSI) و زمان بندی متغیر سوپاپ (VVT) در WLTP افت کارایی را تجربه کردند.

۳. پیامدها برای سیاست های مقرراتی چین:

میانگین مصرف سوخت ناوگان در WLTP در سال ۲۰۲۵ حدود ۷,۵٪ بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده در NEDC خواهد بود. بنابراین برای حفظ سخت‌گیری یکسان، هدف مصرف سوخت باید از ۴ لیتر ۱۰۰ کیلومتر در سیکل NEDC به ۴.۳ لیتر در ۱۰۰ کیلومتر در سیکل WLTC برسد. در صورت ادامه استفاده از WLTP در فاز ششم مقررات (۲۰۳۰)، هدف مصرف سوخت باید از ۳,۲ به ۳,۶ لیتر بر ۱۰۰ کیلومتر تعدیل شود.

دولت چین در فاز پنجم (۲۰۲۵) برای تطبیق با تغییر روش آزمایشی، استانداردها را اندکی (۰,۳ لیتر بر ۱۰۰ کیلومتر) تسهیل کرده است، اما در فاز ششم (۲۰۳۰)، سخت‌گیری بیشتر شده و هدف ۳,۲ لیتر بر ۱۰۰ کیلومتر معادل ۳۰,۴٪ کاهش نسبت به ۲۰۲۵ خواهد بود که چالش بزرگی برای خودروسازان ایجاد می‌کند.

در نهایت این مقاله تأکید می‌کند که تغییر روش آزمایشی از NEDC به WLTP، هم مقررات مصرف سوخت را سخت‌تر می‌کند و هم چالش‌های فناورانه جدیدی برای خودروسازان ایجاد می‌کند. برای مواجهه با این تغییرات، تولیدکنندگان خودرو باید استراتژی‌های توسعه فناوری خود را به‌روز کنند و از فناوری‌هایی استفاده کنند که در WLTP عملکرد بهتری دارند. همچنین، دولت باید پیش از اجرای مقررات جدید، امکان‌پذیری فنی آن‌ها را ارزیابی کند تا هم صنعت و هم سیاست‌های ملی مصرف سوخت بهینه شوند.

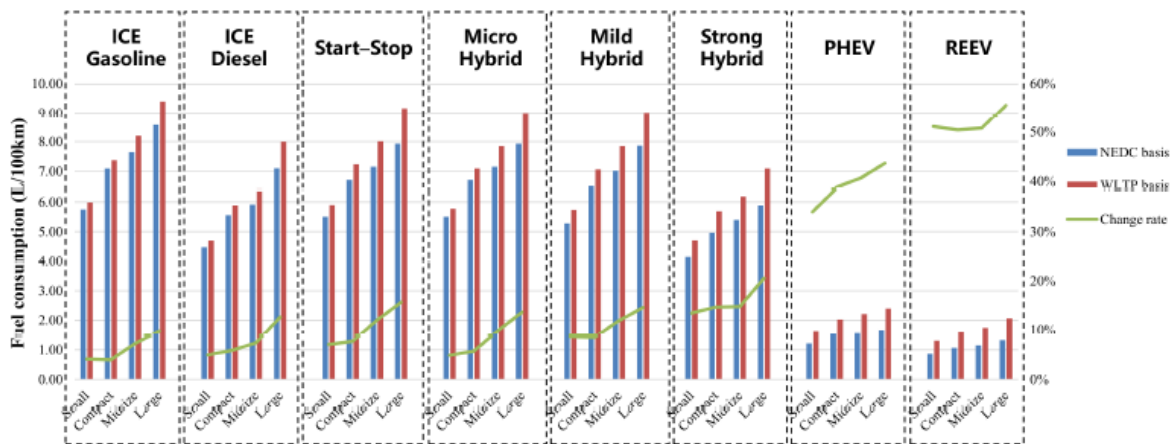


Figure 4. Fuel consumption of the baseline vehicles with different powertrains.

شکل ۶- تاثیر سیکل‌های مختلف بر روی مصرف سوخت

کاررا رودریگز در سال ۲۰۲۲ [4] تاثیر استهلاک روغن موتور بر روی مصرف سوخت خودرو مورد بررسی قرار داده است

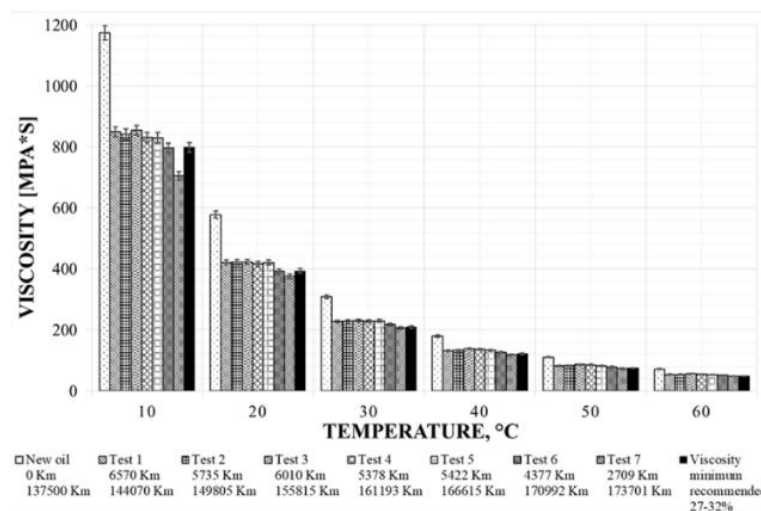


Fig. 9. Viscosity for each oil change: Tests 1–7, with respect to the minimum point.

شکل ۷- تاثیر دما در تست های مختلف بر روی ویسکوزیته روغن

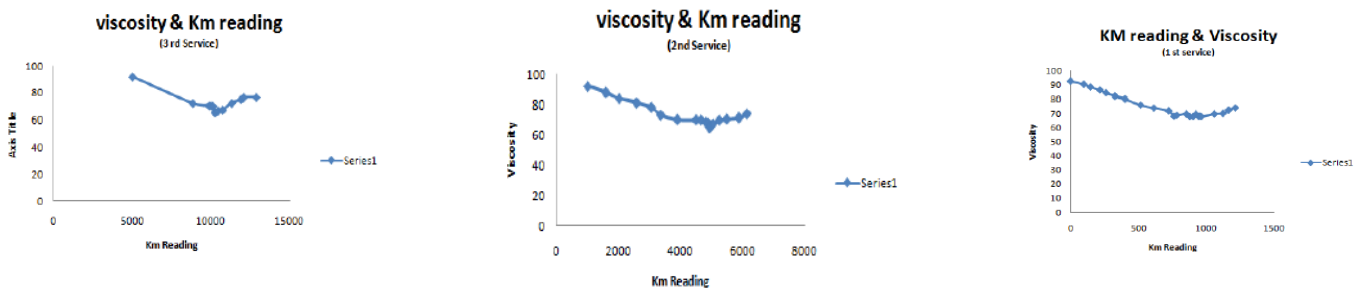
در این مقاله بیان شده که روغن موتور در صورتی که در فواصل زمانی معین عوض نشود میتواند منجر تولید اصطکاک و افزایش مصرف سوخت و آلاینده‌گی شود. بیشترین مقداری استهلاک روغن موتور در ۳ هفته اول رخ میدهد و در حدود ۲۲ درصد ویسکوزیته روغن کاهش می یابد و در هفته های بعدی به ۲۷ تا ۳۱ درصد میرسد و پس از این در بین هفته هفتم تا نهم ویسکوزیته روغن تا ۶ درصد افزایش می یابد در واقع این امر به دلیل افزوده شدن دوده و آلاینده‌گی ها در روغن است که جلوی جریان روغن را میگیرد که همین امر موجب افزایش اصطکاک و مصرف سوخت خواهد شد.

در سال ۲۰۱۳ کاردن همکاران [5]، به بررسی تاثیر کاهش ویسکوزیته روغن موتور بر روی مصرف سوخت خودرو و همچنین^۱Fmep موتور IVECO Cursor 13Euro V با سه نوع روغن با ویسکوزیته های مختلف پرداختند.

Fmep موتور، فشار موثر متوسط اصطکاکی است که به صورت اختلاف بین فشار موثر متوسط اندیکاتوری Imep و فشار موثر متوسط ترمزی Bmep تعریف میشود و نسبت مقدار کار بر حجمی است که برای غلبه بر اصطکاک وارد میشود. با بررسی نتایج در این پروژه مشاهده شد که با کاهش ۲۳ و ۳۶ درصدی ویسکوزیته روغن موتور، در طی این سیکل، میزان مصرف سوخت به ترتیب ۰,۶ و ۰,۹ کاهش یافت.

^۱ Friction mean effective pressure

بوسیل و همکارانش در سال ۲۰۱۳ [6]، از طریق آزمون خودرو با موتور دیزلی TATA Indica Vista و تعداد ۱۰۰ نمونه گیری در سه بازه کارکرد روغن موتور SAE15W40 را برای مطالعه تغییرات ویسکوزیته روغن موتور در اثر افزایش کیلومتر کارکرد، مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی، سه بازه مد نظر از ۰ تا ۱۰۰۰ کیلومتر، از ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ و از ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلومتر بود. نتایج این بررسی در شکل زیر قابل مشاهده است و همانطور که از نمودارهای زیر معلوم است این پژوهش هم تایید میکند که در انتهای عمر روغن موتور ویسکوزیته به دلیل افزوده شدن آلاینده‌گی‌ها در روغن کمی افزایش می‌یابد.



شکل ۸- تغییرات ویسکوزیته روغن در پژوهش بوسیل

ماسیان و همکارانش در سال ۲۰۱۴ [7] با تست موتور دیزل یورو ۵، ۴ سیلندر با حجم ۱,۶ لیتر به سه روش دینامومتر، حالت fired و سیکل رانندگی NEDC تاثیر تغییرات ویسکوزیته روغن موتور بر روی مصرف سوخت را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مطالعه میزان مصرف سوخت برای سه نوع روغن موتور SAE15W40, SAEW20, SAE5W30 مورد ارزیابی قرار گرفته است که نتایج آن به صورت زیر است:

۱. در حالت fired مصرف سوخت برای روغن موتور با ویسکوزیته پایین نسبت به روغن موتور با ویسکوزیته بالا ۱,۶۴ درصد کمتر بوده است

۲. در تست موتور با دینامومتر میزان مصرف سوخت برای روغن موتور با ویسکوزیته پایین، در حدود ۳ درصد کمتر از میزان مصرف سوخت برای روغن موتور با ویسکوزیته بالا بوده است

۳. در حالت رانندگی در سیکل NEDC مصرف سوخت برای روغن موتور با ویسکوزیته پایین در حدود ۱,۷ درصد کمتر است

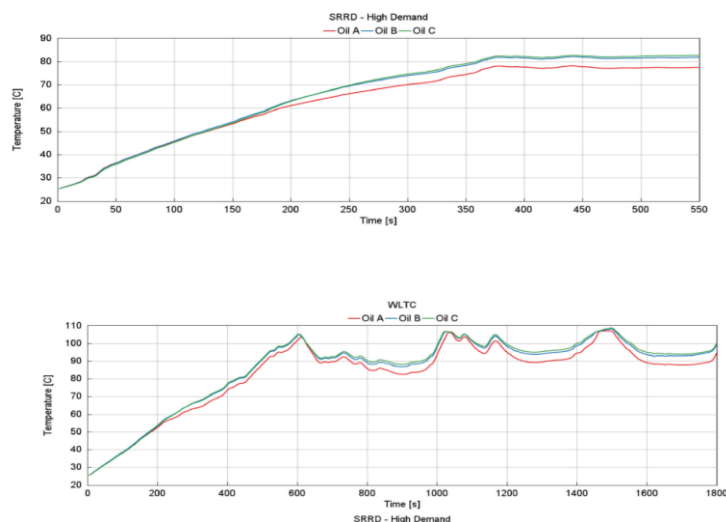
خاویر بلانکو رودریگز و همکاران [8] در سال در سال ۲۰۲۴ برای بررسی تاثیر کاهش ویسکوزیته روغن موتور بر روی مصرف سوخت خودروی منتخب، سه نوع روغن موتور را انتخاب کرده و اقدام به شبیه سازی مصرف سوخت خودرو در دو سیکل WLTC و SRRD-High Demand کردند، ویژگی های این روغن موتورها در جدول زیر آورده شده است

Table 1
Engine lubricants of the study.

Lubricant	SAE grade	ACEA Class & Category	Viscosity at 40 °C (cSt)	Viscosity at 100°C (cSt)
Oil A	0W-20	C5	40.78	8.26
Oil B	5W-30	C3	67.58	12.00
Oil C	5W-40	C3	81.68	14.23

شکل ۹- مشخصات روغن موتورهای بررسی شده در پژوهش خاویر بلانکو

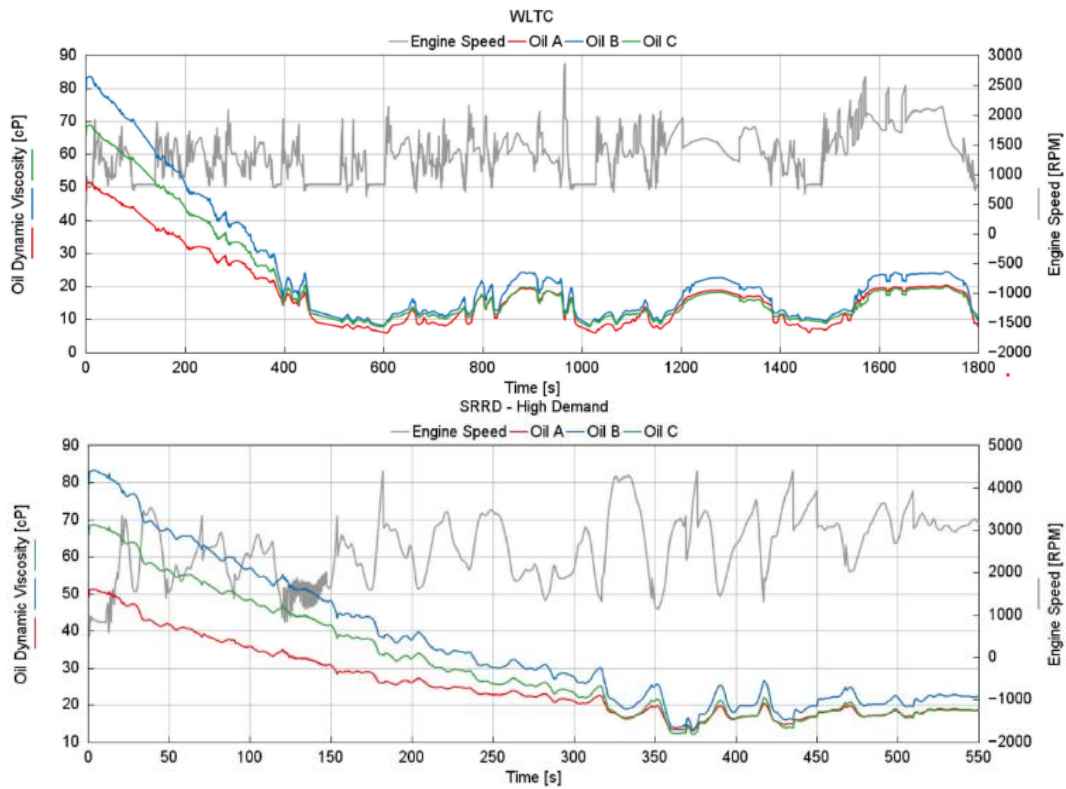
شکل زیر تغییر دمای روغن موتورها در دو سیکل WLTC و SRRD-High Demand را نشان میدهد. هرچقدر که اصطکاک بیشتر باشد روغن ها گرمای بیشتری را جذب کرده و دمای آنها بالاتر خواهد رفت و همانطور که در شکل معلوم است روغن A که ویسکوزیته کمتری دارد در دمای خنک تری کار میکند



شکل ۱۰- تاثیر دما بر روی روغن موتور

در شکل زیر ویسکوزیته دینامیکی روغن ها روی یاتاقان شاتون مورد مقایسه قرار گرفته است. در دمای نرمال روغن موتور از ثانیه ۶۰۰ در سیکل WLTC و ثانیه ۳۰۰ در سیکل SRRD-High Demand روان

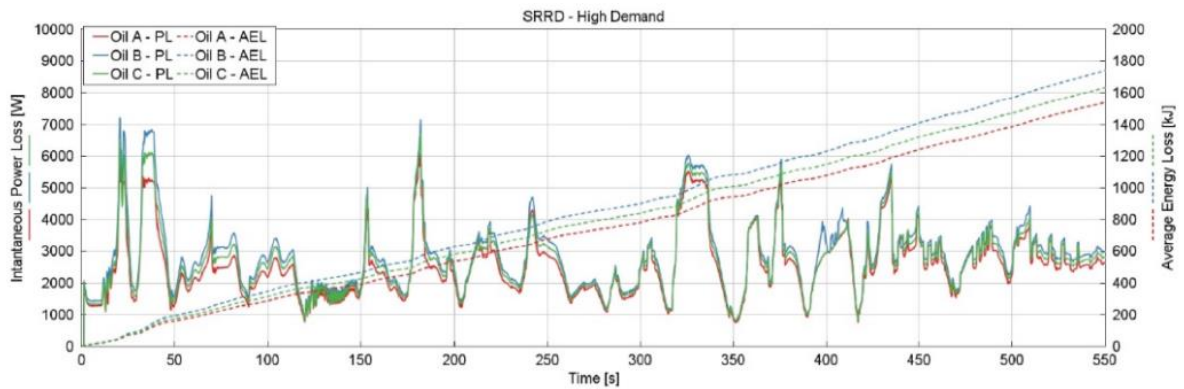
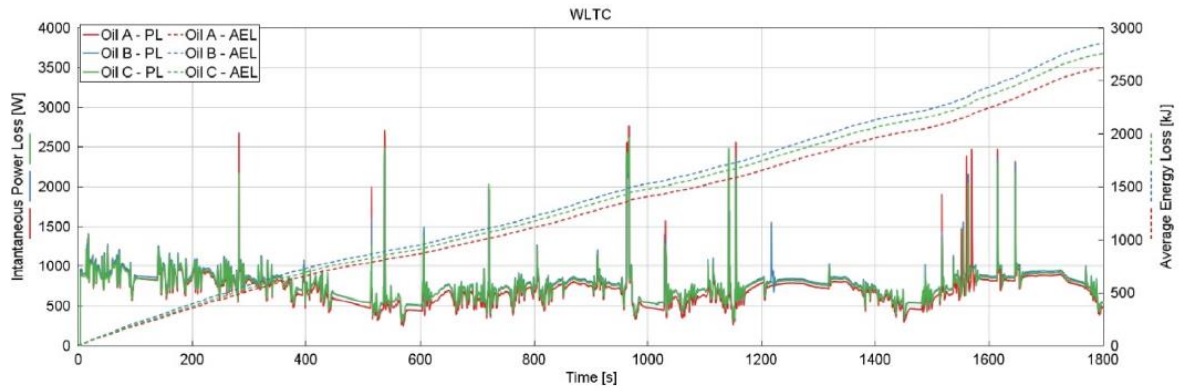
شوندگی برشی^۱ تاثیر زیادی روی ویسکوزیته روغن ها دارد که منجر به کاهش عملکرد روغن میشود و در سرعت های بالا و هنگامی که بار زیادی روی موتور است میتواند بر روی عملکرد موتور تاثیر منفی داشته باشد. در این قسمت نیز روغن موتور A کمترین مقادیر را به خود اختصاص داده است



شکل ۱۱- تغییر ویسکوزیته روغن موتور بر حسب زمان و دور موتور

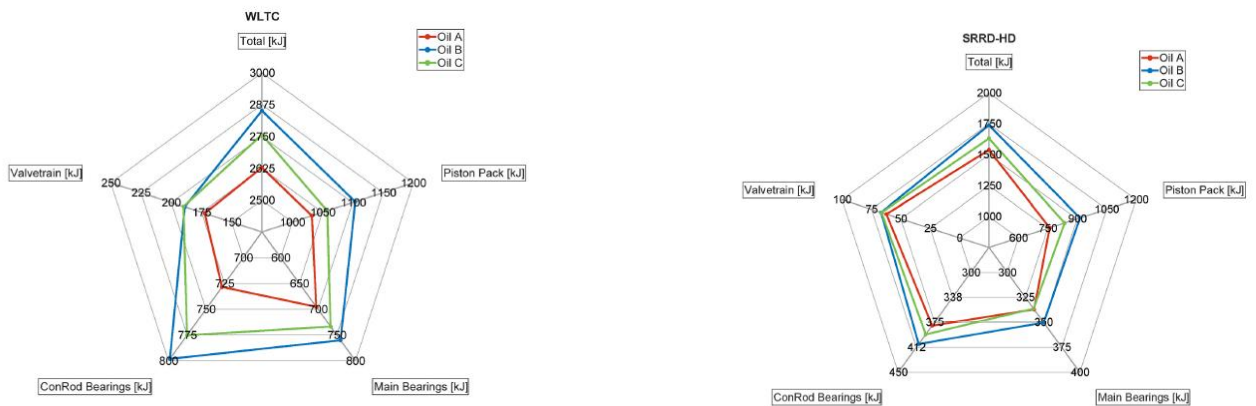
در شکل زیر اتلاف توان لحظه ای و اتلاف انرژی متوسط در دو سیکل مذکور نشان داده شده است. ملاحظه میشود که روغن A رفتار اصطکاکی کمتری نسب به بقیه روغن ها دارد که این امر به دلیل ویسکوزیته کمتر آن می باشد اما هر چقدر که مقدار توان به خصوص در سیکل SRRD-HD بالاتر میرود تفاوت بین رفتار روغن ها کمتر میشود. این رخداد به دلیل اثر تریبولوجیک و برهم کنش سطح و حرکت رخ میدهد به عبارت دیگر هر چقدر ویسکوزیته بیشتر باشد مقاومت در برابر تنش برشی بیشتر خواهد بود و در نتیجه اصطکاک و اتلاف بیشتری خواهیم داشت

^۱ Sheer thinning



شکل ۱۲- اتلاف انرژی و توان در ویسکوزیته های مختلف

در شکل زیر میزان اصطکاک به وجود آمده روی بخشهای منتخب موتور مورد بررسی قرار گرفته است و همانطور که قابل ملاحظه است روغن موتور A که ویسکوزیته کمتری نسبت به دو روغن موتور دیگر داشت ، اتلاف کمتری را به خود اختصاص داده است و همین امر در نهایت منجر به کاهش مصرف خودرو خواهد شد



شکل ۱۳- میزان اصطکاک در بخش های مختلف خودرو

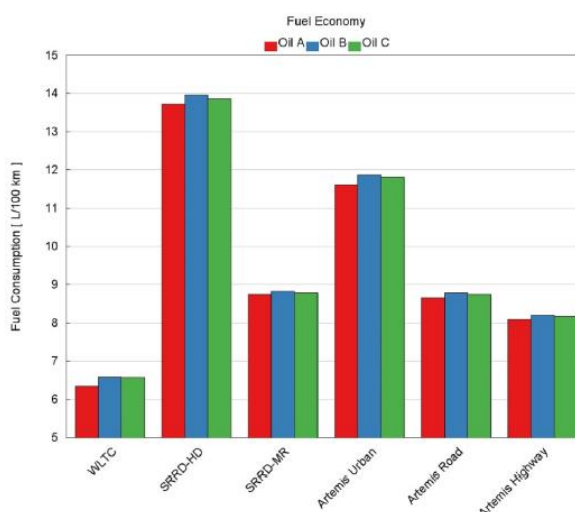
در شکل زیر مقدار مصرف سوخت با استفاده از روغن های مذکور و در سیکل های WLTC و SRRD-HD نشان داده شده و درصد تفاوت بر حسب روغن C نشان داده شده است که نشان میدهد اگر به جای روغن C از روغن A در خودرو استفاده شود ، مصرف سوخت 3.5 در صد کاهش پیدا میکند

Table 5
WLTC and SRRD-HD driving cycles fuel economy and friction energy loss results.

Results	Oil A		Oil B		Oil C	
	WLTC	SRRD-HD	WLTC	SRRD-HD	WLTC	SRRD-HD
Fuel Consumption (L/100 km)	6.34	13.72	6.58	13.96	6.57	13.86
Difference (%)	-3.5	-1.01	0.15	0.72	-	-
Friction energy loss (kJ)	2628.42	1539	2851.18	1740	2756.47	1631.4
Difference (%)	-4.65	-5.66	3.44	6.66	-	-

شکل ۱۴- تاثیر روغن موتورهای A و B و C بر روی مصرف سوخت

به منظور مقایسه تاثیر استفاده از این روغن ها بر روی مصرف سوخت در سیکل های متفاوت هیستوگرام زیر ارائه شده است



شکل ۱۵- تاثیر سیکل های رانندگی مختلف با ویسکوزیته های مختلف بر روی مصرف سوخت

لی وی و همکاران در سال ۲۰۲۱ [9]، استهلاک روغن موتور در سیکل شهری را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش از تعدادی خودرو با روغن موتورهای مشخص در سیکل شهری استفاده شد که مشخصات آنها در جدول زیر ذکر شده است

Table 1 Experimental vehicles and motor oils.

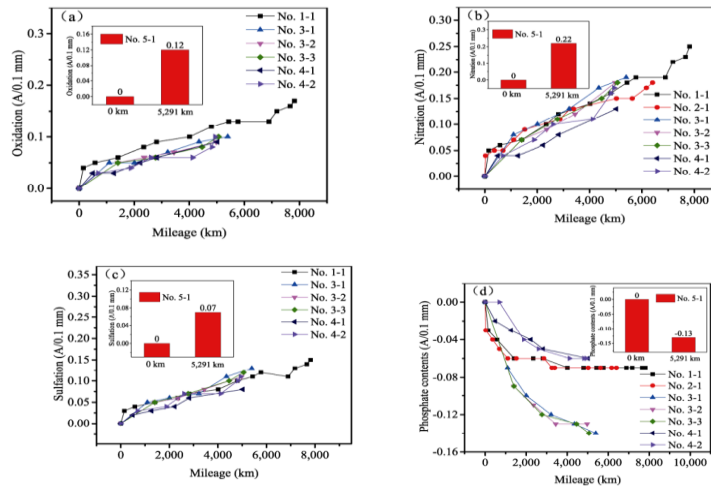
No.	Experimental vehicle	Engine capacity (L)	Vehicle age (years)	Motor oil	Oil drain mileage (km)
1-1	Nissan Teana	2.5	2	Shell Ultra API SL, SAE 5W-30 synthetic oil	7,816
2-1	Nissan Teana	2.5	2	Shell Ultra API SL, SAE 5W-30 synthetic oil	6,419
3-1	Hyundai Verna	1.4	5	API SL, SAE 5W-20 mineral oil, special for Hyundai	5,396
3-2	Hyundai Verna	1.4	5	API SL, SAE 5W-20 mineral oil, special for Hyundai	5,002
3-3	Hyundai Verna	1.4	5	API SL, SAE 5W-20 mineral oil, special for Hyundai	5,062
4-1	Buick Regal	2.0	0.5	API SN, SAE 5W-30 synthetic oil, special for GM	5,020
4-2	Buick Regal	2.0	0.5	API SN, SAE 5W-30 synthetic oil, special for GM	4,938
5-1	Fengshen AX7	2.0	New	API SN, SAE 5W-40 synthetic oil, special for Fengshen	5,291

شکل ۱۶- مشخصات روغن موتورهای مختلف در پژوهش لی وی

در این پژوهش خودروها مجهز به سیستم^۱ OBD بودند. این سیستم میتواند اطلاعات عملکردی خودرو مانند کیلومتر کارکرد، میزان مصرف سوخت سرعت متوسط، زمان عملکرد موتور و ... را به صورت لحظه ای گزارش کند. همچنین در این پژوهش در فواصل زمانی مشخص به مقدار ۱۵ میلی لیتر روغن موتور به منظور نمونه گیری و آزمایش جمع آوری میشد و در نهایت نتایج زیر ارائه شدند

روغن موتور در تماس با اکسیژن قرار دارد و در دمای بالا کار میکند بنابراین اکسیداسیون روغن موتور اجتناب ناپذیر است. سوخت خودرو و روغن موتور دارای سولفید، نیترات و دیگر مواد خورنده هستند و استهلاک روغن موتور در اثر اسیدی شدن آن که به دلیل محصولات احتراق که توسط روغن موتور جذب میشوند رخ میدهد و در نهایت منجر به خوردگی و آسیب به موتور و کاهش عمر روغن موتور خواهد شد. در نمودارهای زیر میزان تغییرات روغن به ازای کیلومتر کارکرد نشان داده شده است.

^۱ On-board diagnostic



شکل ۱۷- تغییرات ویسکوزیته بر حسب کارکرد

عامل دیگری که برای نشان دادن وضعیت روغن موتور به کار می‌رود شاخصه KV می باشد. اگر ویسکوزیته خیلی زیاد یا خیلی کم باشد می‌تواند عملکرد موتور را تحت تاثیر قرار دهد و به طور کلی بیان می‌شود که محدوده مجاز تغییرات ویسکوزیته روغن موتور در ۱۰۰ درجه سانتیگراد باید در محدوده 10% تا 20% ویسکوزیته اولیه باشد هرچند این مقدار در منابع و پژوهش‌های مختلف و همچنین در ناوگان کشورها می‌تواند متفاوت باشد.

شکل زیر میزان تغییر KV در این پژوهش را نشان می‌دهد و نتیجه آن حاکی از این است که پس از ۵۰۰۰ کیلومتر کارکرد میزان KV شروع به افزایش می‌کند و روغن موتور باید در این بازه تعویض شود

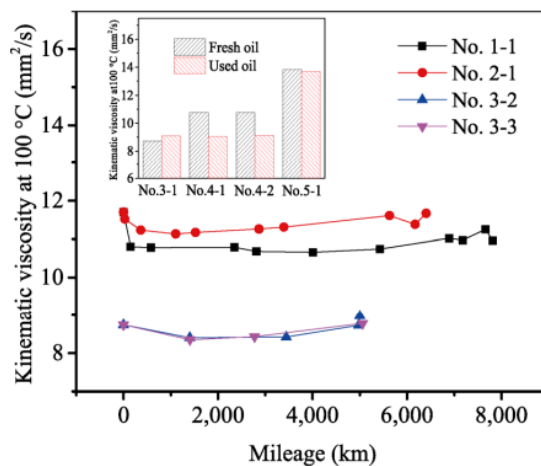


Fig. 5 KV at 100 °C of experimental oils.

شکل ۱۸- تغییرات ویسکوزیته سینماتیکی بر حسب کارکرد

در سال ۲۰۱۵ ماسیان و همکارانش [10] برای مطالعه تاثیر ویسکوزیته روغن موتور بر روی مصرف سوخت ، ۳۹ اتوبوس شهری با ۳ نوع موتور با سوخت های دیزلی و CNG (دو نوع موتور دیزلی و یک نوع موتور CNG) با تعدادی روغن موتور با SAE های مختلف را مورد مطالعه قرار دادند

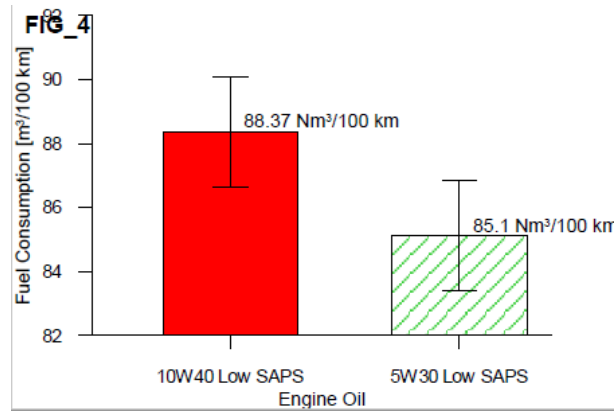
برای این کار ، اتوبوس ها سیکل زیر را به طول ۶۰۰۰۰ کیلومتر در شهر والنسیای اسپانیا طی کردند

میزان مصرف سوخت اتوبوس ها در این مطالعه استخراج و نتایج به صورت زیر ارائه شدند

۱. در طول ازمون، اتوبوس هایی که روغن موتور SAE5W30 در آنها استفاده شده است، میزان مصرف سوخت کمتری نسبت به اتوبوس های با روغن موتورهای SAE10W40 و SAE15W40 داشتند
۲. در اتوبوس های دیزلی نوع ۱ ، برای روغن موتور SAE5W30 در حدود ۱،۳ درصد ، مصرف سوخت کمتری نسبت به روغن موتور SAE15W40 مشاهده شد و همچنین برای این نوع موتور ، روغن موتور SAE75W90 نیز مصرف سوخت کمتری نسبت به روغن موتور SAE80W90 نشان داد.
۳. برای اتوبوس های دارای موتور دیزلی نوع ۲ ، حدود ۰،۹۸ درصد کاهش در مصرف سوخت برای استفاده از روغن موتور SAE5W30 نسبت به روغن موتور SAE10W40 مشاهده شد
۴. برای موتور CNG میزان مصرف سوخت ، کاهش بیشتری نسبت به موتورهای دیزلی (در حدود ۳،۲۷ درصد) در استفاده از روغن موتور SAE5W30 به جاب روغن موتور SAE10W40 مشاهده شد

پس از آن در سال ۲۰۱۷ تورموس و همکارانش [11] ، تعدادی از اتوبوس های شهری با موتور CNG 12L را برای مشاهده تفاوت در میزان مصرف سوخت ، برای دو نوع روغن موتور با ویسکوزیته های مختلف را مورد بررسی قرار دادند. در نیمی از اتوبوس ها ، روغن موتور SAE5W30 و در بقیه ، روغن موتور SAE10W40 استفاده شد، و به منظور مطالعه میزان تاثیر روغن موتورهای استفاده شده، اتوبوس ها حدود دو برابر مصافت لازم (میزان مسافت طی شده برای تعویض روغن موتور ۳۰۰۰۰ کیلومتر در نظر گرفته شد) برای تعویض روغن موتور را طی کرده و میزان مصرف سوخت آنها مورد بررسی قرار گرفت

نتایج نشان داد که استفاده از روغن موتور با ویسکوزیته پایین تر در حدود ۶،۷۲ درصد مصرف سوخت کمتری نسبت به روغن موتور با ویسکوزیته بالا دارد. نتایج این بررسی بر روی میزان مصرف سوخت برای دو نوع روغن موتور در شکل زیر نشان داده شده است



شکل ۱۹- تاثیر دو روغن موتور با ویسکوزیته متفاوت بر روی مصرف سوخت

رابرت یان تیلور و یان شرینگتون [12] در سال ۲۰۲۴ بیان میکنند که تلفات اصطکاکی در موتور اساساً به دلیل فیلم برشی در روغن کاری هیدرودینامیکی (در یاتاقان ها و اجزای پیستون) یا روانکاری الاستوهیدرودینامیکی^۱ (در ولوها) رخ میدهد. اگر مینیمم ضخامت فیلم که دو سطح را از هم جدا میکند برابر $h_{min}(m)$ و roughness هر سطح را $\sigma_1(m)$ و $\sigma_2(m)$ در نظر بگیریم در نهایت خواهیم داشت

$$\lambda = \frac{h_{min}}{\sigma} \quad \sigma = \sqrt{\sigma_2^2 + \sigma_1^2}$$

در tribology فرض بر این است که هنگامی که $\lambda > 3$ باشد، سطوح هیچ تماسی با هم ندارند. هنگامی که $1 < \lambda < 3$ است روانکاری در هم خواهیم داشت و هنگامیکه $\lambda < 1$ است روانکاری مرزی خواهیم داشت. با استفاده از معادله رینولد میتوان حداقل ضخامت فیلم روغن در تماس با سطح را بدست آورد به عنوان مثال رینگ های پیستون یک موتور احتراق داخلی را در نظر بگیرید حال اگر $F(N)$ را نیروی اصطکاکی رینگ و $h_{min}(m)$ حداقل ضخامت فیلم روغن زیر رینگ پیستون و $W(N)$ با روی رینگ پیستون و η (pa.s) ویسکوزیته روغن باشد بنابراین خواهیم داشت:

$$h_{min} \propto \sqrt{\frac{\eta U}{W}} \quad 2-1$$

$$F \propto \sqrt{\eta U W} \quad 2-2$$

^۱ elastohydrodynamics

همچنین تیلور نیز قبلا این بحث را مطرح کرده بود که اتلاف توان هیدرودینامیکی در یاتاقان های گرد متناسب است با $\eta^{0.75}$ بنابراین یکی از راه های واضح برای کاهش اتلاف اصطکاکی هیدرودینامیکی کاهش ویسکوزیته روغن می باشد. جدل زیر روند تغییر ویسکوزیته روغن موتور خودروهای سواری در ۳۰ سال گذشته را نشان میدهد که اثبات میکند که شرکت های خودروسازی به شدت در این سال ها علاقمند به کاهش ویسکوزیته روغن موتور داشته اند

هرچند کاهش ویسکوزیته روغن ها به منظور کاهش اتلاف اصطکاکی روشی مناسب به نظر میرسد اما باید توجه داشت که این کار همچنین موجب شده که حداقل ضخامت فیلم روغن که باعث میشود دو سطح با هم برخورد نکنند نیز کاهش پیدا کرده است و این امر میتواند منجر به وارد شدن به محدوده روانکاری درهم و مرزی شود و علنا شاهد تماس فلز به فلز در موتور خودرو باشیم

جانوی کیو در سال ۲۰۱۳ با کمک همکارانش [13]، به بررسی تغییرات فیزیکی و شیمیایی روغن موتور SAE5W30 استفاده شده در موتورهای شرکت نیسان مبادرت نمود. برای این منظور ۹ نمونه روغن موتور کارکرده در مسافت های مختلف بر حسب کیلومتر، از مرکز تعویض روغن موتورهای نیسان گرفته شد و میزان ویسکوزیته هر یک از نمونه ها دو بار اندازه گیری شده و میانگین آنها در ۳ دمای مختلف ۴۰ و ۷۰ و ۱۰۰ درجه سانتی گراد ثبت شد. با توجه به اینکه، نمونه ها برای اندازه گیری ویسکوزیته از مرکز روغن موتور گرفته شد، فواصل کارکردی بین نمونه ها یکسان نیست

در شکل زیر برای سه دمای مختلف میزان تغییرات ویسکوزیته سینماتیکی در این مقاله ارائه شده است که نشانگر افزایش ویسکوزیته روغن موتور در نتیجه افزایش میزان کارکرد بر حسب کیلومتر بوده است



شکل ۲۰- تغییرات ویسکوزیته روغن بر حسب کارکرد

در سال ۲۰۱۷ وولاک و همکار [14]، برای بررسی تغییرات ویسکوزیته روغن موتور بر حسب کارکرد موتور برای مسافت های مختلف، ۵ روغن موتور با SAE5W30 یکسان از برندهای مختلف را در ۲۵ خودرو با

موتور بنزینی که ۲۳ خودرو برای مسافت های کوتاه و ۲ خودرو برای سیکل شهری استفاده شده را مورد مطالعه قرار دادند. هدف از این کار بدست آوردن مدلی برای تعیین تغییرات ویسکوزیته روغن موتور SAEW30 بر حسب مسافت کارکرد بود که نتایج بدست آمده با فرض خطی بودن به صورت $Y=A+B*X$ ارائه شدند. در این بررسی، تغییرات ویسکوزیته برای ۱۵۰۰۰ کیلومتر کارکرد روغن موتور در طول ۱۲ ماه مورد مطالعه قرار گرفتند. و در نهایت نتایج بدست آمده را جمع اوری و برای ارائه مدل خطی $Y=A+B*X$ برای تغییر ویسکوزیته روغن موتور بر حسب کیلومتر کارکرد، مقادیر A و B از طریق رگرسیون برای هر گروه از روغن موتورها با برندهای مختلف محاسبه شد که در جدول زیر قابل مشاهده است (Se انحراف استاندارد باقیمانده و P ضرایب شیب برای فرضیه اعمال شده است)

A	B	p	Se
CE			
11,846	0,067	0,001	0,247
ME			
11,162	0,115	0,000	0,361
MS			
11,602	0,070	0,000	0,224
PE			
9,776	0,079	0,000	0,161
PS			
11,233	0,105	0,001	0,394

شکل ۲۱- ضرایب ثابت رگرسیون

همچنین در راستای ارائه مدلی برای مشاهده تغییرات ویسکوزیته روغن موتور، سیکورا و همکارانش [15]، با تست روغن موتور SAE5W30 به توسعه مدلی با فرم نمایی برای تغییرات ویسکوزیته بر حسب کیلومتر کارکرد روغن موتور پرداختند. آنها برای این هدف، موتور فولکس واگن با حجم ۲ لیتر، مجهز به توربوشارژر را که در خودروهای شخصی مورد استفاده قرار میگیرد انتخاب نموده و نمونه گیری از روغن موتور را برای تعیین ویسکوزیته آن در هر ۳۵۰۰ کیلومتر انجام دادند

با رفتار نمایی تغییرات با مسافت طی شده برای نرخ برش های مختلف، در سه دمای ۲۰ و ۴۰ و ۹۰ درجه سانتیگراد، ویسکوزیته روغن موتور تقریباً در تمام حالت ها حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد کاهش می یابد

در سال ۲۰۱۴ آدیبا و همکارانش [16]، یک مدل ریاضی برای تغییرات ویسکوزیته در دماها و زمان های مختلف بر حسب ساعت کارکرد روغن موتور ارائه کردند

این روش برای تغییرات ویسکوزیته ارائه شده است، به عنوان رابطه ی ریاضی-تجربی که ویژگی های نیوتونی و غیرنیوتونی روغن موتور را ترکیب میکند یاد میشود. این مدل که UKM نام دارد با دو فاکتور دما و زمان تعریف میشود که هر دو به ماهیت روغن مربوط میشوند و برای محاسبه آنها نتایج و داده های تجربی مورد نیاز است

مدل UKM به صورت زیر تعریف میشود:

$$\eta_{UKM} = \eta_0 e^{[k_s(k-k_0+k_m(\frac{t}{T}))]}$$

و فاکتور دمایی و زمانی عبارتند از

$$k_s = \frac{\ln \frac{\eta}{\eta_0}}{k - k_0} \quad 2-3$$

$$k_m = \left(\frac{T}{t}\right) \ln \frac{\eta}{\eta_0} \quad 2-4$$

که در این روابط η_0 ویسکوزیته روغن موتور نو ، k دمای روغن موتور ، k_0 دمای مرجعی است که ویسکوزیته روغن موتور نو در آن اندازه گرفته شده ، t میزان کارکرد روغن موتور بر حسب ساعت و T عمر مفید روغن موتور قبل از تعویض آن می باشد.

ویسکوزیته روغن موتور ، فاکتور دمایی پایین اما فاکتور زمانی بالایی دارد ، با این حال مدل ویسکوزیته UKM با توجه به اینکه تماما به داده های تجربی بستگی دارد با مشکلاتی همراه است. برای رفع مشکلات مدل UKM ، آدیبا و همکارانش مدل دیگری ارائه کردند که تخمین راحت تری از ویسکوزیته در مقایسه با مدل UKM ارائه میدهد که این مدل نظم عددی شاخص مدل ویسکوزیته نامیده میشود.

این مدل به صورت زیر تعریف شده است

$$\eta_{Vlno} = \eta_{15} e^{[k_{st}(k-15)+k_{mt}(\frac{t}{T})]} \quad 2-5$$

$$k_{st} = \frac{\ln\left(\frac{v_{100}}{v_{40}} * \frac{100}{VI}\right)}{60} \quad 2-6$$

2-7

$$k_{mt} = \ln\left(\frac{v_{min100}}{v_{100}} * \frac{100}{vI}\right)$$

که در این روابط η_{15} ویسکوزیته روغن موتور در دمای ۱۵ درجه سانتیگراد ، v_{100} ویسکوزیته سینماتیکی روغن در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد ، v_{40} ویسکوزیته سینماتیکی روغن موتور در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد ، v_{min100} ویسکوزیته سینماتیکی مینیمم روغن موتور در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد و VI شاخص ویسکوزیته است.

در ادامه با استفاده از ۱۰۰ ساعت ازمون موتورینگ در دور ۱۱۰۰ rpm ، برای موتور دیزلی Yanmar TF 90 diesel engine و اندازه گیری ویسکوزیته روغن موتور SAE40 در فاصله زمانی ۱۰ ساعت نتایج با رابطه ریاضی بدست آمده مقایسه شد که نتایج تفاوت زیادی با نتایج تجربی بدست آمده از ازمون نداشت و تغییرات در حدود ۳ درصد بود.

لئونگ و همکارانش در سال ۲۰۰۷ [17] با توجه به اینکه اصطکاک میتواند نقش قابل توجهی در افزایش مصرف سوخت داشته باشد ، میزان اصطکاک تولید شده در پیستون و مجموعه مرتبط با آن را مورد بررسی قرار دادند و به مطالعه تاثیر ویسکوزیته روغن موتور بر روی تلفات اصطکاکی پرداختند. همچنین تلفات اصطکاکی به عنوان سهمی از فشار موثر متوسط اصطکاکی F_{mep} است که مرتبط با کار خروجی در یک سیکل موتور است.

$$F_{mep} = \frac{4\pi T}{V_s} \quad 2-8$$

که T گشتاور خروجی از موتور و V_s حجم طی شده است.

لئونگ با استفاده از رابطه ووگل ، تغییرات ویسکوزیته با دما را با در نظر گرفتن $K_v = 0.078mPa.s$ ، $\theta_1 = 1180C$ و $\theta_2 = 133C$ محاسبه کرده است:

$$\mu = k_v \cdot \exp\left(\frac{\theta_1}{\theta_2 + T}\right) \quad 2-9$$

T دمای مدنظر برای محاسبه ویسکوزیته می باشد

در این مطالعه با قرار دادن ترموکوپل های مختلف در قسمت هایی از موتوری که با یک موتور الکتریکی DC ۲۴ کیلوواتی به کار انداخته میشود و در یک محفظه سرد برای ایجاد استارت سرد قرار دارد ، به بررسی میزان F_{mep} برای دورهای مختلف پرداخته شد. نتایج بررسی برای F_{mep} در ویسکوزیته های مختلف

برای سرعت ها و دماهای متفاوت استارت ، نشان داد که $Fmep$ مجموعه پیستون متناسب با μ^n تغییر می کند و به صورت زیر محاسبه می شود

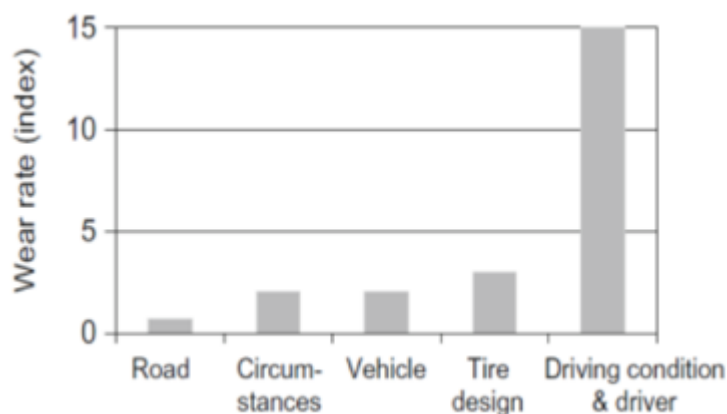
$$Fmep = Fmep_{f-w} \left(\frac{\mu}{\mu_{f-w}} \right)^n \quad 2-10$$

در رابطه فوق μ ویسکوزیته دینامیکی روغن بر حسب $mPa \cdot s$ ، $Fmep_{f-w}$ مقدار $Fmep$ در شرایط Fully warm و μ_{f-w} ویسکوزیته دینامیکی در شرایط Fully warm می باشد.

میزان شاخص n برای محاسبه $Fmep$ با دور موتور تغییر میکند و مقادیر آن بین ۰,۴۳ تا ۰,۵ است

تایر

عوامل بسیاری روی فرسودگی تایر تاثیر میگذارد ، بنابراین مایتره و همکارانش تاثیر فاکتورهای مختلف روی فرسودگی تایر را با استفاده از آزمون تایر در فضای باز ، مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج را مطابق نمودار زیر ارائه کردند [18] نتایج بدست آمده نشان داد شرایط رانندگی بیشترین تاثیر و شرایط جاده کمترین تاثیر را روی فرسودگی تایر دارد.



شکل ۲۲- تاثیر عوامل مختلف بر روی استهلاک تایر

در سال ۲۰۱۵ هوانگ و همکارانش مدل تئوری سه بعدی برای بررسی فرسودگی تایر ارائه نمودند. این مدل به صورت کیفی و کمی اجازه پیش بینی فرسودگی تایر خودرو را میدهد. در این بررسی با استفاده از انرژی اصطکاکی تایر میزان فرسودگی تایر محاسبه میشود که با تحلیل فرسودگی در شرایط متفاوت نتایج نشان داد که تغییرات شیب جاده تاثیر بسیار کمی روی فرسودگی تایر میگذارد [19]

در سال ۲۰۱۳ میچ و همکارش [20] میزان تاثیر دما، سرعت و میزان بار وارد بر تایر را بر فرسودگی آن برای ارائه تجربی، مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش ، برای تایر کامیون ، نتایج ارائه شده توسط شرکت میلر

در آزمون ۲۸ روزه با سرعت متوسط ۲۰ کیلومتر بر ساعت ، تاثیرات دما و سرعت روی نرخ فرسودگی در هر ۱۰۰۰۰ کیلومتر بررسی شده و رابطه تجربی زیر ارائه شد:

$$\text{Wear rate} = 21.699V^2 e^{-\frac{7.106}{RT}} + 11.931Ve^{-\frac{8.621}{RT}} \quad 2-11$$

که V سرعت متوسط ، R ثابت جهانی گازها و T دمای تایر است.

نتایج به دست آمده از مدل ارائه شده نشان میدهد که با افزایش دما و سرعت ، نرخ فرسودگی افزایش می یابد. نرخ فرسودگی به دست آمده از مدل ارائه شده ، در حدود ۶,۸۲ میلی متر در هر ۱۰۰۰۰ کیلومتر بود که حدود ۸۸ درصد مقدار واقعی فرسودگی یعنی ۷,۵ میلی متر در ۱۰۰۰۰ کیلومتر است.

در محاسبه عمر تایر ، انتخاب شاخصی برای تعریف انتهای عمر آن بسیار حائز اهمیت است. در اروپا، قانون برای مینیمم عمق آج تایر تعیین شده حدود ۱,۶ میلی متر در نظر گرفته شده است که ۷۵ درصد عرض گل تایر است. با این حال، خارج از این محدوده به طور کامل مشخص نیست .

در سال ۲۰۰۰ پروژه ای تحت عنوان TROWS که هدف آن ارزیابی فرسودگی و لغزش تایر و جاده بود انجام شد. یکی از اهداف این پروژه ، ارائه مدلی با قابلیت پیش بینی عددی تایر و تعیین کیفی توزیع فرسودگی و تعیین فرسودگی تایر به صورت تابعی از مشخصات جاده و خودرو بود . این روش با ترکیب یک مدل ریاضیاتی فرسودگی تایر ، قوانین فرسودگی و تعیین تجربی اصطکاک موضعی ارائه شد . در سال ۲۰۰۴ لوپکر و همکارانش نتایج تحقیقات TROWS که به مدت سه سال به طول انجامید را ارائه دادند [21]

برای ارزیابی مدل ، دو خودروی پژو ۴۰۶ در مسیر جاده ای در کشور ایتالیا مورد آزمایش قرار گرفتند . در هر دو خودرو ، تایری با سایز 195/65 R15 استفاده شد ، با این تفاوت که تایرهای خودروی A ، تایرهای چهار فصل و تایرهای خودروی B تایرهای مورد استفاده در فصل زمستان بودند.

در این پروژه ، یک مدل ریاضی با نتایج تجربی برای تعیین اصطکاک موضعی و فرسودگی تایر ارائه شد. اطلاعات بدست آمده از این روش برای ارزیابی مدل استفاده شد که نشان دهنده مطلوب بودن مدل پیش بینی شده با نتایج تجربی ارائه شده است. یکی از روابط تجربی ساده و با دقت بالا ، برای فرسودگی تایر ، رابطه ساوکور است که به شکل زیر تعریف شده است

$$\mu_{d_{ij}} = \left(\frac{P_{ij}}{P_0}\right)^{-k} [\mu_0 + (\mu_m - \mu_0) \exp\{-h^2 \log^2\left(\frac{v_{ij}}{v_m}\right)\}] \quad 2-12$$

در ادامه این پروژه و در سال ۲۰۰۶ براگین و همکارانش، مدل فرسودگی موضعی با استفاده از انرژی فرسودگی در واحد سطح تماس W_{ij} برای جرم فرسودگی M_{ij} که k_1 و k_2 ثابت های فرسودگی و تابعی از دما و سختی سطح است را به صورت زیر و با در نظر گرفتن المانی به العاد هندسی Δy_{ij} و Δx_{ij} و سرعت لغزش طولی v_{xij} تعریف کردند:

$$m_{ij} = k_1 + w_{ij}^{k_2} \quad 2-13$$

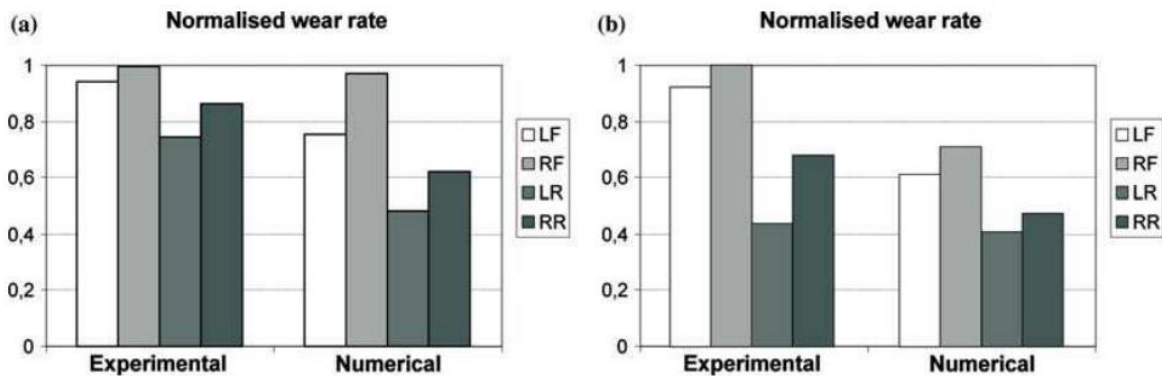
$$M_{ij} = \sum_K m_{ij}(K) \cdot \Delta y_{ij} \cdot v_{xij}(K) \cdot dt \quad 2-14$$

با استفاده از رابطه قبل و همچنین با آزمون جاده ای دو خودرو پژو ۴۰۶ در CISA ایتالیا به طول ۸۰۰۰ کیلومتر میزان کاهش عمق تایر به ازای هر کیلومتر به صورت زیر تعریف شد:

$$\Delta h = \frac{M/L_{CISA}}{\rho \cdot 2\pi R d} \quad 2-15$$

که L_{CISA} طول مسافت آزمون CISA بر حسب کیلومتر، M جرم فرسودگی، ρ چگالی اجزای تایر، R شعاع اسمی تایر و d عرض تایر است.

در نهایت برای ارزیابی مدل از نتایج تجربی استفاده شده که شکل زیر مقایسه نتایج بدست آمده از این دو روش را نشان میدهد [22]



شکل ۲۳- مقایسه ارزیابی عددی و تجربی استهلاک تایر

نتایج برای هر دو تایر نشان میدهد که فرسودگی در تایرهای جلو بیشتر از تایرهای عقب است. تفاوت در نتایج به این دلیل است که مشخصات و ویژگی ها در لحظه تغییر میکنند، همچنین با توجه به عدم محاسبه میزان فرسودگی تایر در هر لحظه نتایج به هم نزدیک نیست. در ادامه آنالیز حساسیت روی مشخصات تایر نشان داد که افزایش در چگالی، سختی و میرایی میزان فرسودگی تایر را به ترتیب ۲۰، ۳۰ و ۱۵ درصد با فرض ثابت ماندن اصطکاک و ویژگی های فرسودگی کاهش میدهند. در سال ۲۰۱۶، یانچیوسکی و همکارش با اندازه گیری عمق آج تایرها در دو قسمت هم راستا در تایر و محاسبه میانگین آج آنها برای تایرهای با کارکرد متفاوت در هر ۱۰۰۰ کیلومتر، برای بیان میزان کاهش عمق آج تایر بر حسب کیلومتر کارکرد رابطه زیر را ارائه کردند [23]

$$H_{\text{تایر آج}} = 18 - 0.54L^{0.69} \quad ۲-۱۶$$

در رابطه بالا L بر حسب کیلومتر است و H عمق آج تایر بر حسب میلی متر است. در سال ۱۳۹۸، رضا خاکی [24] در مقاله ای تحت عنوان "بررسی اثر فرسودگی پارامترهای کلیدی سیستم انتقال قدرت خودرو بر روی مصرف سوخت خودرو منتخب" با در نظر گرفتن ساختار تایر، اندازه و شرایط رانندگی و با استفاده از مدل ماشینا که برای فرسودگی یکنواخت تایر ارائه شده است، استهلاک تایر خودروی سمند و تاثیر آن بر روی مصرف سوخت را مورد بررسی قرار داد. در این مدل، با استفاده از فرسودگی تایر، عمق فرسودگی به صورت تابعی از کیلومتر کارکرد و به شکل رابطه نمایی زیر ارائه شد

$$h = \left(H_{\text{نوی}} + \frac{k_2}{k_1} \right) (1 - e^{-k_1 L}) \quad 2-17$$

$$k_1 = \frac{2kF_z^2}{bl^2} \left(\frac{S_x}{G_x} + \frac{S_y}{G_y} \right) \quad 2-18$$

$$k_2 = \frac{KlF_z^2 S_y}{12\sqrt{2}^4 \sqrt{(EL_z)^3 K_S}} \quad 2-19$$

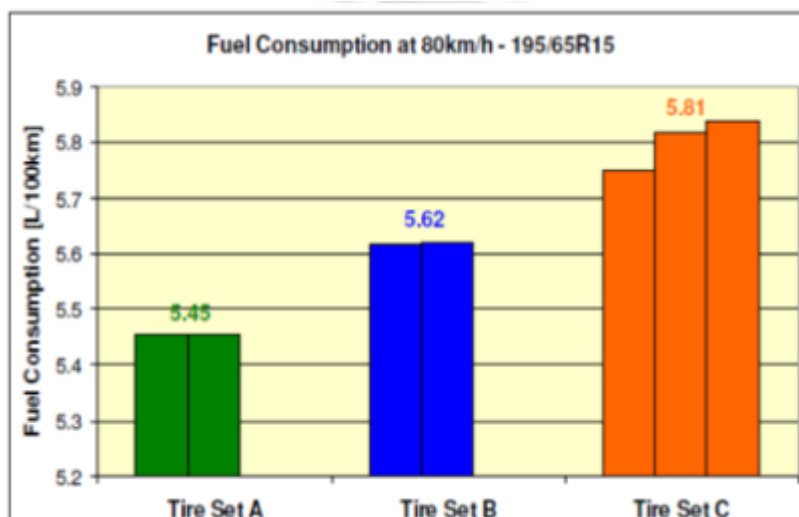
که $H_{\text{نوی}}$ عمق آج تایر نو، L کیلومتر کارکرد تایر، F_z با وارده بر تایر، K ثابت سایش که به صورت تجربی بدست می آید، S_x و S_y شدت نیروهای جانبی و وارد بر تایر در راستای x و y ، G_x و G_y مدول برشی در راستای x و y ، l و b طول و عرض تماس تایر با سطح، EL_z سختی و K_S نرخ ارتجاعی دیواره تایر در واحد طول چرخش است.

در ادامه بوسیک و همکارانش، تاثیر عمق آج تایر روی مقاومت غلتشی تایر در سه حالت نو (A)، فرسوده (C) و نیمه فرسوده (B) را به دو روش آزمایشگاهی و آزمون جاده ای تحت شرایط SAEJ-1379 و در سرعت ۸۰ کیلومتر بر ساعت در سه شرایط جاده ای مختلف مورد بررسی قرار دادند و نتایج بدست آمده را به روش رگرسیون حداقل مربعات به صورت تابعی از بار و فشار وارد بر تایر به صورت زیر ارائه کردند. نتایج در این پژوهش نشان داد که تایر کاملاً فرسوده ۱۴ تا ۱۸ درصد، مقاومت غلتشی کمتری نسبت به تایر نو در بازه فشار ۶۵۵ تا ۷۹۳ کیلوپاسکال و نیروی ۱۰۰ کیلونیوتن دارد. همچنین در فشار ۸۲۵ کیلوپاسکال و نیروی ۱۰۰ کیلونیوتن، تایر نیمه فرسوده ۱۹ درصد مقاومت غلتشی کمتری نسبت به تایر نو دارد.

بارراند و همکارش در سال ۲۰۰۸ [25] با مدل کردن ۳ تایر با مقاومت غلتشی های متفاوت در محیط AVL Cruise تاثیر کاهش مقاومت غلتشی تایر بر روی مصرف سوخت خودرو را بررسی کردند و رابطه زیر را برای تغییر میزان مصرف سوخت برای هر ۱۰۰ کیلومتر با تغییرات مقاومت غلتشی را ارائه کردند

$$\Delta FC = \alpha \cdot \Delta C_{RRM} \quad 2-20$$

رابطه بالا بیانگر تغییرات مصرف سوخت خودرو با تغییرات مقاومت غلتشی تایر است. همچنین با آزمون تجربی، میزان مصرف سوخت برای سه تایر مذکور در سرعت ۸۰ کیلومتر بر ساعت نشان داد که با افزایش مقاومت غلتشی میزان مصرف سوخت نیز افزایش می یابد



شکل ۲۴- تاثیر افزایش مقاومت غلتشی بر روی مصرف سوخت

در سال ۲۰۱۶ سیواک با تست بر روی ۴۹ تایر مختلف کار کرده و نو از سه گروه با اندازه (P)215/60R16 به بررسی تاثیر مقاومت غلتشی تایر بر روی مصرف سوخت خودرو پرداخت. برای هر سه گروه تایر در پنج حالت مینیمم مقاومت غلتشی، ۲۵ درصد، ۵۰ درصد و ۷۵ درصد مقاومت غلتشی ماکزیمم و ماکزیمم مقدار آن، میزان مصرف سوخت مورد مطالعه قرار گرفت. در این بررسی مشاهده شد که با کاهش عمق تایر از حالت نو تا حالت فرسودگی کامل، مقدار ضرایب مقاومت غلتشی به صورت خطی از ۲۰ تا ۲۶ درصد کاهش پیدا میکند و برای تغییر ضریب مقاومت غلتشی از مقدار مینیمم تا مقدار ماکزیمم، میزان مصرف سوخت در حدود ۶,۳ درصد افزایش می یابد.

در سال ۱۳۹۸ مهندس خاکی در پایان نامه خود با عنوان بررسی اثر فرسودگی پارامترهای کلیدی سیستم انتقال قدرت خودرو بر روی مصرف سوخت خودرو منتخب از روابط معرفی شده از پژوهش ماشیتا و فرض اینکه برای کاهش حدود ۱۸ تا ۲۰ درصدی عمق آج تایر میزان ضریب مقاومت غلتشی تایر در حدود ۱۰ درصد کاهش پیدا میکند برای شبیه سازی تاثیر استهلاک تایر بر روی مصرف سوخت موتور EF7 استفاده کرده اند.

کیفیت سوخت

اسفندیار سرابی و همکاران در سال ۱۳۸۸ [26] به این نکته اشاره کردند که کیفیت اولین اصل در تولیدات و فرایندها می باشد و سوخت یکی از فراورده های تولیدی است که می بایست از کیفیت بالایی برخوردار باشد تا ضمن کاهش مصرف از انتشار آلاینده های نیز جلوگیری نماید. برای این امر باید ببینیم که استاندارد درصد اکتان سوخت برای وضعیت نرمال چقدر باید باشد و باید بدانیم که در حال حاضر سوخت قابل عرضه با چه اکتانی به مصرف میرسد. باید توجه داشت که مصرف سوخت برای سوخت اکتان پایین به مراتب بیشتر از سوخت با اکتان بالاستلذا یکی از مهمترین معضله های عرضه فرآورده های نفتی برای مصارف حمل و نقل میزان کیفیت سوخت می باشد

ریچارد و همکاران در سال ۲۰۱۶ [27] تاثیر میزان اکتان بر روی مصرف سوخت خودرو را مورد بررسی قرار داده است. در این مقاله شاخص اکتان^۱ به منظور ایجاد رابطه بین RON^۲ و MON^۳ ارائه شد که به صورت زیر می باشد

$$\text{Octane Index} = (1-K) \cdot \text{RON} + K \cdot \text{MON} = \text{RON} - K \cdot S$$

در فرمول فوق S^۴ بیانگر حساسیت سوخت می باشد که از فرمول حاصل میشود

$$S = (\text{RON} - \text{MON})$$

و K که عدد ثابتی است و تا اوایل ده ۹۰ میلادی برابر 0.5 در نظر گرفته میشد در صورتی که توضیحات فوق را در فرمول اعمال کنیم ، فرمول به شکل زیر خواهد بود

$$(\text{RON} + \text{MON}) / 2$$

در این پژوهش دو خودرو با مشخصات زیر مورد پژوهش قرار گرفتند

^۱ Octane index

^۲ Research octane number

^۳ Motor octane number

^۴ Sensivity

Table 1. Vehicle data.

Vehicle No.	1	2
Vehicle Class	Upper Medium	Small
Emission standard	Euro 4	Euro 4
Engine displacement (litres)	2.5	1.24
Max Power (kW)	140	60
Inertia Class (kg)	1590	1020
Cylinders	6	4
Valves	24	16
Injection System	DI	PFI
After treatment device	TWC + lean NO _x	TWC
Drive	RWD	FWD
Transmission	Manual 6-speed	Manual 5-speed
E10 Compatible?	Yes	Yes
Registration date	2007	2009
Mileage at start of test (miles)	23,354	8,890

شکل ۲۵- مشخصات خودروی منتخب

خودروی شماره ۱ برای سوخت 98RON و خودروی شماره ۲ برای سوخت 95RON طراحی شده است
 مشخصات سوخت های مورد استفاده در این پژوهش نیز در جداول زیر نشان داده شده اند

		EtOH	ETBE	Oxygen	RON	MON	Sens
		vol %	vol %	% m/m			
Fuel 1	E0 ETBE0	0	0	0	95.2	91.4	4
Fuel 2	E0 ETBE0	0	0	0	95.6	85.5	10
Fuel 3	E0 ETBE0	0	0	0	97.4	83.6	14
Fuel 4	E0 ETBE0	0	0	0	99.0	88.9	10
Fuel 5	E0 ETBE0	0	0	0	99.5	85.0	15
Fuel 6	E10 ETBE0	10.0	0	3.63	95.6	84.6	11
Fuel 7	E10 ETBE0	9.4	0	3.46	97.9	84.4	14
Fuel 8	E10 ETBE0	9.3	0	3.49	99.2	89.4	10
Fuel 9	E10 ETBE0	10.2	0	3.70	99.6	85.3	14
Fuel 10	E0 ETBE22	0	22.4	3.78	95.4	85.6	10
Fuel 11	E0 ETBE22	0	23.3	3.77	98.3	85.7	13
Fuel 12	E0 ETBE22	0	23.1	3.88	99.1	88.6	11
Fuel 13	E0 ETBE22	0	22.9	3.84	100.0	86.8	13
Fuel 14	E20 ETBE0	19.2	0	6.84	102.5	87.0	16
Fuel 15	E0 ETBE44	0	40.2	7.58	103.3	88.6	15
Fuel 16	PRF86	0	0	PRF	86.0	85.8	0
Fuel 17	PRF91	0	0	PRF	90.8	90.8	0
Fuel 18	PRF95	0	0	PRF	95.0	94.6	0

Fig. 2. Test fuel Matrix.

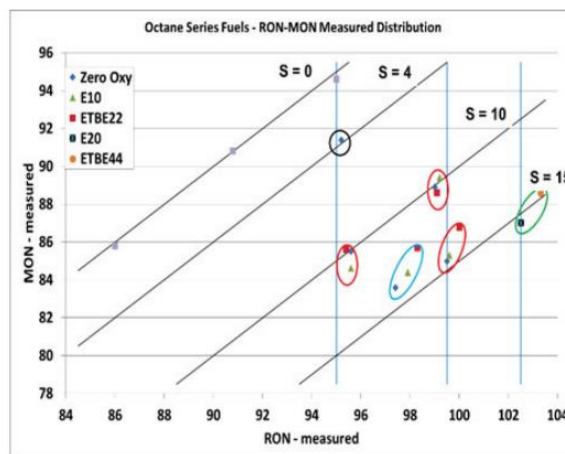
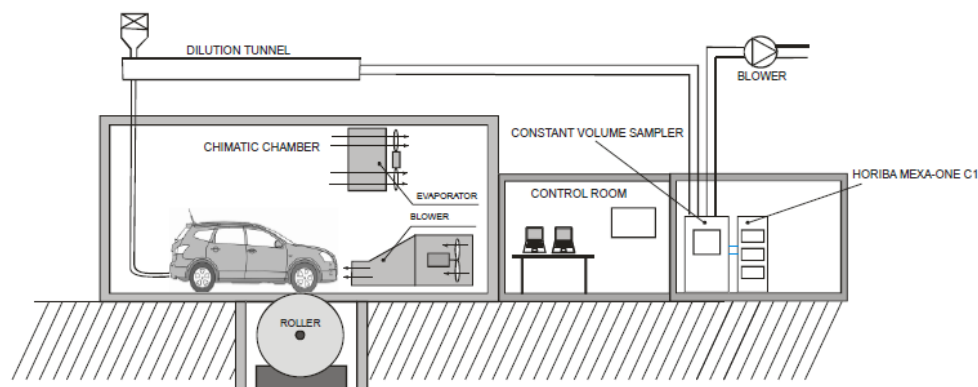


Fig. 3. RON, MON and Sensitivity of the 18 fuels.

شکل ۲۶- مشخصات سوخت های مورد استفاده در پژوهش ریچارد

شرایط رانندگی این پژوهش مطابق سیکل رانندگی NEDC و sawtooth acceleration test بوده است. در نهایت نتایج این پژوهش نشان میدهد که به طور واضح با کاهش عدد اکتان میزان مصرف سوخت افزایش می یابد و عملکرد خودرو در شتاب گیری نیز تحت تاثیر قرار میگیرد

رودریگز فرناندز و همکاران در سال ۲۰۲۰ [28] تاثیر افزایش عدد اکتان بر روی عملکرد و مصرف سوخت خودرو را مورد بررسی قرار دادند ، این پژوهش برای یک خودروی 2WD و در اتاقی مشابه شکل زیر که دارای یک رولر به منظور شبیه سازی شرایط ایرودینامیکی و مقاومت غلتشی می باشد انجام شد. این اتاق همچنین قابلیت اعمال شرایط محیطی و اب و هوایی خاص را نیز دارد و آلایندهی ها توسط آنالیزور Horiba MEXA-ONE C1 اندازه گیری میشود این آنالیزور دارای ماژول های مختلفی است که میتوانند آلایندهی های مختلف را اندازه گیری کنند . ماژول های Horiba MEXA-ONE C1 در جدول زیر نشان داده شده اند.



شکل ۲۷- اتاق آزمایش تست رودریگز فرناندز

Table 1. Specifications of Horiba MEXA-ONE C1.

Carbon Monoxide Module	
Measurement method	Non-dispersive infrared (NDIR)
Range	0-5000 ppm
Accuracy	3% (of measured value)
Carbon Dioxide Module	
Measurement method	Non-dispersive infrared (NDIR)
Range	0-1000 ppm
Accuracy	3.1% (of measured value)
Nitrogen Oxides Module	
Measurement method	Chemiluminescence (CLD), vacuum
Range	0-5000 ppm
Accuracy	2.7% (of measured value)
Total hydrocarbon module	
Measurement method	Flame ionization detector (FID)
Range	0-60,000 ppm
Accuracy	2.7% (of measured value)

شکل ۲۸- ماژول های تست فرناندو رودریگز

همچنین مقدار مصرف سوخت در این پژوهش به روش ذکر شده در Directive 1151/2017 انجام شده است. مشخصات خودروی تحت پژوهش در جدول زیر نمایش داده شده است

Table 2. Specifications of Opel Corsa OPC.

Emission Regulation	Euro 6b
Engine type	SI-IDI, turbocharged, intercooler
Compression ratio	8.8:1
Power @ 5800 rpm	152 kW
Torque @ 1.900-5.800 rpm	280 Nm
Displacement	1.598 cm ³
Bore	79 mm
Stroke	81.5 mm
Gearbox	Manual
Valves per cylinder	4
Octane number (RON) recommended ¹	100
Total gear ratio (km/h each 1000 rpm)	
1st	7.2
2nd	12.7
3rd	20.3
4th	28.6
5th	35.7
6th	44.6

¹ As specified by the vehicle manufacturer.

شکل ۲۹- مشخصات خودروی تست فرناندو رودریگز

مشخصات سوخت های که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند به شرح زیر است. همانطور که در جدول قابل مشاهده است

Test	Method	Units	95 RON	98 RON	100 RON
Research Octane Number	ASTM* D 2699-18a	-	96.1	98.1	99.7
Motor Octane Number	ASTM D 2700-18a	-	85.1	87.4	87.8
Density 15 °C	ASTM D 4052-18	kg/m ³	733	735	737
Vapor pressure (DVPE)	ASTM D 5191-15	kPa	67.1	72.5	71.9
Vapor Lock Index	EN 228	-	903	949	951
Sulphur	ASTM D 4294-16e1	mg/kg	9	10	10
Lead	EN 237:2005	mg/L	<5.0	<5.0	<5.0
Existent Gums	ASTM D 381-12 (2017)	mg/100 mL	<0.1	<0.1	<0.1
Distillation					
Evaporated 70 °C (E70)		% v/v	33.1	32.0	33.2
Evaporated 100 °C (E100)		% v/v	56.3	55.9	57.2
Evaporated 150 °C (E150)	ASTM D 86-17	% v/v	82.7	82.6	83.8
Final Boiling Point		°C	194.8	191	198.0
Residue		% v/v	1.0	1.1	1.0
Hydrocarbons					
Olefins		% v/v	13.0	11.1	11.1
Aromatics		% v/v	27.9	24.4	24.4
Benzene		% v/v	0.5	0.7	0.7
Oxygen		% m/m		2.4	2.4
Methanol	EN ISO 22854:2016	% v/v	<0.1	<0.1	<0.1
Ethanol		% v/v	1.2	0.7	0.7
Isopropyl alcohol		% v/v	<0.5	<0.5	<0.5
ETBE		% v/v	7.48	13.5	13.5
Other oxygenated compounds		% v/v	<0.1	<0.1	<0.1

شکل ۳۰- مشخصات سوخت های مورد استفاده در تست فرناندو رودریگز

نتایج این پژوهش نشان میدهد که میزان مصرف سوخت خودرو با افزایش عدد اکتان کاهش می یابد

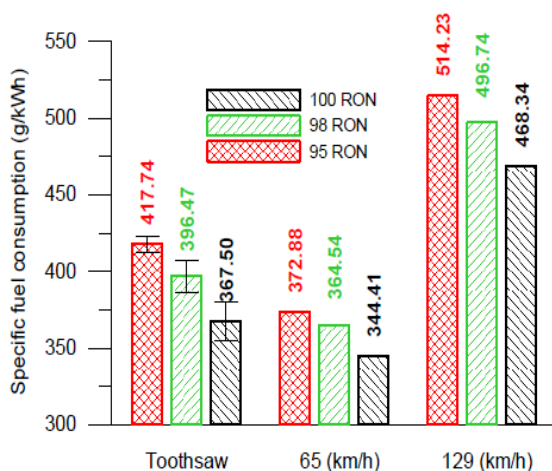


Figure 7. Average specific fuel consumption along toothsaw and steady-state modes.

شکل ۳۱- تاثیر عدد اکتان بر روی مصرف سوخت

پام هو و همکارانش [29] در سال ۲۰۱۵ تاثیر سوخت های *E10* و *E15* و *E20* را بر روی عملکرد و مصرف سوخت خودرو بررسی کردند. جداول زیر مشخصات خودروها و سوخت ها و سیکل رانندگی را که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته اند را نشان میدهد.

Property	RON 92	E10	E15	E20	
Distillation temperature (°C)	IBP	38.9	39.1	40.5	39.3
	t ₁₀	53.6	51	51.0	51
	t ₅₀	93.6	73.8	72.5	71
	t ₉₀	158.6	161.6	160.4	159.5
	EBP	180	185.5	182.7	178.5
Octane number	92.4	94.4	95.4	96.6	
RVP (kPa)	60.46	70.46	68.41	67.09	
S content (wt ppm)	215	215	203	190	
Aromatic hydrocarbons (vol%)	31.6	27.8	26.5	25.1	
O content (wt%)	0	3.93	5.12	8.03	
Density (kg/liter)	0.730	0.740	0.746	0.754	

شکل ۳۲- مشخصات سوخت های با درصد اتانول های مختلف

جدول زیر نیز مشخصات مربوط به سوخت های E0 ، E5 ، E10 ، E15 و E85 را نشان میدهد [30]

Property items	Test fuels				
	E0	E5	E10	E20	E85
Density (kg/dm ³ at 25 ⁰ C)	0.719	0.7225	0.729	0.733	0.7785
Stoichiometric air–fuel ratio (weight)	14.565	14.26	13.957	13.361	9.751
Lower heating value (kJ/kg)	43 500	42 665	41 830	40 160	29 305
RON (–)	92	92.8	93.6	95.2	105.6
MON (–)	82	82.4	82.7	83.4	87.9

شکل ۳۳- مشخصات سوخت های با درصد اتانول های مختلف

روش ردپای کربنی

مصرف سوخت در وسایل نقلیه موتوری یکی از عوامل کلیدی در تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی و انتشار گازهای گلخانه‌ای محسوب می‌شود. از آنجا که منابع سوخت‌های فسیلی محدود بوده و استفاده از آن‌ها تأثیرات قابل توجهی بر محیط زیست دارد، بررسی عوامل مؤثر بر مصرف سوخت از جنبه‌های مختلف، از جمله استهلاک تایر و روغن موتور، اهمیت بسیاری دارد. در این میان، رد پای کربنی به عنوان معیاری برای سنجش میزان انتشار دی‌اکسید کربن و سایر گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی، نقش مهمی در ارزیابی پیامدهای زیست‌محیطی مصرف سوخت ایفا می‌کند.

رد پای کربنی به طور کلی شامل مقدار کل گازهای گلخانه‌ای تولید شده در اثر یک فرآیند خاص، از تولید و مصرف سوخت گرفته تا سایش تایرها و عملکرد روغن موتور، است. این شاخص به واحد دی‌اکسید کربن معادل اندازه‌گیری می‌شود و در تحلیل پایداری محیط زیستی صنایع مختلف، از جمله حمل‌ونقل، کاربرد فراوانی دارد. کیفیت سوخت، سیکل رانندگی، شرایط جاده و میزان استهلاک اجزای مکانیکی خودرو از جمله عواملی هستند که می‌توانند میزان رد پای کربنی یک وسیله نقلیه را تحت تأثیر قرار دهند.

نوید کلانتری و همکاران در مقاله تجزیه و تحلیل چرخه عمر در بخش حمل و نقل ایران میزان انرژی مصرفی و دی‌اکسید کربن تولید شده در بخش حمل و نقل ایران را مورد پژوهش قرار دادند. در این پژوهش سوخت‌های بنزین، گازوییل، سی‌ان‌جی‌ف‌ال‌پی‌جی و بنزین مخلوط به اتانول مورد پژوهش قرار گرفته است. در این پژوهش مقادیر لازم برای محاسبه دی‌اکسید کربن منتشر شده در دو سیکل چاه تا مخزن و سیکل مخزن تا چرخ ارائه شده است و در نهایت از مجموع این دو سیکل میزان دی‌اکسید کربن در چرخه عمر چاه تا چرخ مورد آنالیز قرار گرفته است. منظور از چاه نخستین گام در تولید انواع سوخت که همان استخراج سوخت فسیلی از چاه است، می‌باشد و منظور از چرخ نیز آخرین گامی است که طی آن انرژی سوخت به انرژی مکانیکی در چرخ و سیله نقلیه تبدیل شده و منجر به حرکت و سیله نقلیه می‌شود و باید توجه داشت که در تجزیه و تحلیل چاه تا چرخ، چرخه تولید و بازیافت وسیله نقلیه معمولاً مورد بررسی قرار نمی‌گیرد. به عبارت دیگر تجزیه و تحلیل چاه تا چرخ تنها به چرخه سوخت و سیله نقلیه پرداخته و تمرکز آن بر روی آلاینده منتشر شده و انرژی مصرفی در فرآیند تولید و مصرف سوخت است.

مرحله چاه تا مخزن سوخت وسیله نقلیه

گاز گلخانه ای منتشر شده (gCO ₂ eq/MJf)			انرژی مصرف شده (MJ _x /MJf)			مرحله	
بیشینه	کمینه	بهترین تخمین	انرژی به صورت سوخت فسیلی	کل انرژی مصرف شده			
				بیشینه	کمینه		بهترین تخمین
						تبدیل نفت خام به بنزین	
		۳/۶		۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۳	استخراج و پروسس نفت خام
		۰/۹				۰/۰۱	حمل و نقل نفت خام
		۷/۰		۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۰۸	پالایش
		۱/۰				۰/۰۲	توزیع و پخش
۱۴/۶	۱۱/۱	۱۳/۸	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۱۴	کل مرحله

شکل ۳۴- مقادیر مرحله چاه تا مخزن بنزین

gN ₂ O/MJ	gCH ₄ /MJ	gCO ₂ /MJ	گاز گلخانه ای منتشر شده (gCO ₂ eq/MJf)			انرژی مصرف شده (MJ _x /MJf)	مرحله	
			بیشینه	کمینه	بهترین تخمین			کل
								بهترین تخمین
							اتانول (منبع: نیشکر، برزیل) کاشت	
۰/۰۲۰	۰/۱۵	۳/۷			۱۳/۰۹	۰/۰۶		
۰/۰۰۰	۰/۰۰	۰/۸			۰/۸۵	۰/۰۱	حمل و نقل جاده ای	
۰/۰۰۰	۰/۰۱	۱۰/۲			۱۰/۳۱	۱/۶۳	تولید اتانول	
۰/۰۰۰	۰/۰۰	۱/۰			۰/۹۹	۰/۰۸	حمل و نقل اتانول	
۰/۰۰۰	۰/۰۰	۵/۸			۵/۸۲	۰/۰۱	ایستگاه سوخت گیری دوباره	
۰/۰۲۰	۰/۱۵	۱/۱	۱۰/۷	۱۰/۲	۱۰/۴		کل گاز گلخانه ای از چاه تا جرخ	
		-۷۱/۴			-۷۱/۴		اعتبار کاهش نشر آلاینده دی اکسید کربن	
			-۶۰/۷	-۶۱/۲	-۶۰/۹	۱/۷۹	کل مسیر تولید	

شکل ۳۵- مقادیر مرحله چاه تا مخزن اتانول

رضا فیضی و همکاران در سال ۲۰۲۵ در مقاله "ارزیابی فنی و زیست‌محیطی استفاده از سوخت‌های زیستی در وسایل نقلیه سبک و سنگین پیامدها برای کاهش ردپای کربنی در بزرگراه‌های پرتراфик [31] تأثیر استفاده از سوخت‌های زیستی در خودروهای سبک و سنگین بر انتشار دی‌اکسید کربن و مصرف سوخت در بزرگراه‌های پرتردد را مورد بررسی قرار داده و به مقایسه مصرف سوخت و انتشار گازهای گلخانه‌ای بین سوخت‌های فسیلی و زیستی و تحلیل داده‌های مربوط به تراфик و مصرف انرژی در وسایل نقلیه جاده‌ای پرداخته‌اند.

در این مقاله برای بدست آوردن مقدار کربن دی‌اکسید معادل از روشی استفاده شده که با آن با داشتن مقدار سوخت مصرفی خودرو و یک ضریب ثابت تبدیل که برای هر نوع سوخت متفاوت است می‌توان کربن دی‌اکسید معادل را بدست آورد.

در این روش ابتدا به کمک رابطه زیر ابتدا کل میزان مصرف سوخت خودرو محاسبه میشود.

$$C_{tot} = S \times C_e$$

این رابطه میزان سوخت کل مصرفی را بر حسب لیتر بیان میکند و S مسافت طی شده و C_e سوخت مصرفی به ازای هر کیلومتر است. پس از بدست آوردن میزان کل سوخت مصرفی با استفاده از رابطه زیر انرژی مصرفی معادل سوخت مصرف شده را بدست می آوریم.

$$E_C = C_{tot} \times F$$

در معادله بالا E_C مقدار انرژی مصرف شده بر حسب (GJ) و F ضریب ظرفیت انرژی بر حسب (GJ/L) است که برای هر نوع سوخت متفاوت است.

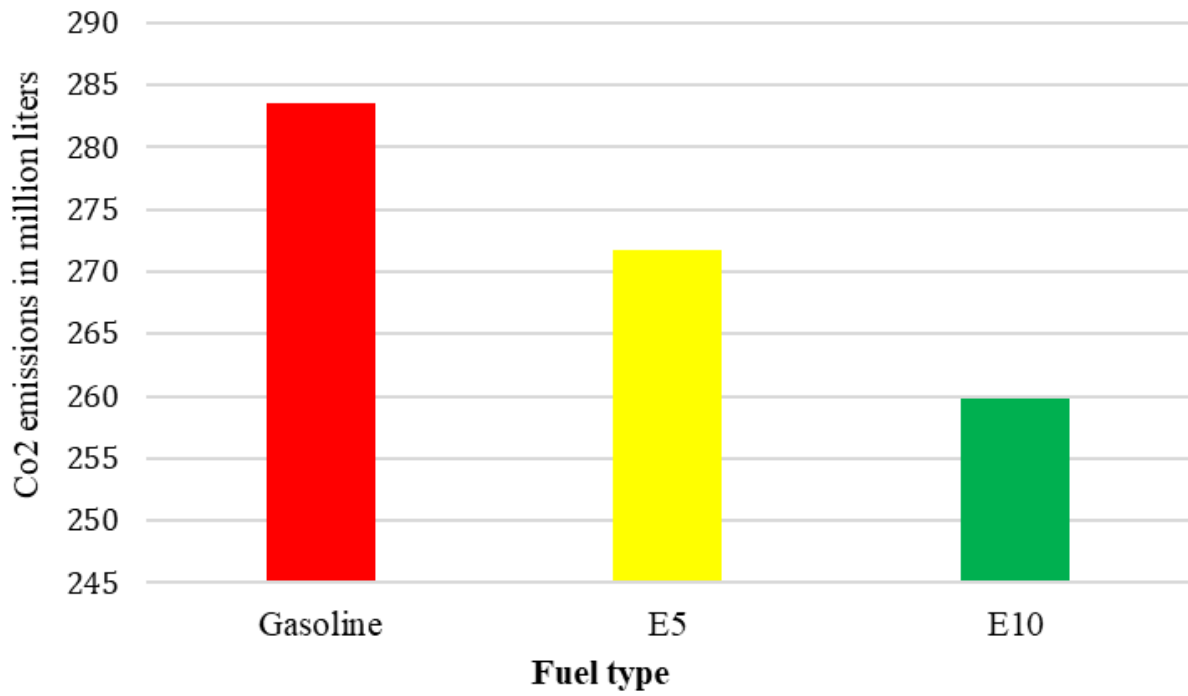
در گام بعد به کمک رابطه زیر میتوان مقدار آلاینده‌گی منتشر شده را حساب کرد

$$E_m = E_C \times FF$$

در رابطه فوق E_m کربن دی اکسید منتشر شده بر حسب (ton CO₂/TJ) و FF ضریب آلاینده‌گی بر حسب (ton CO₂/TJ) می باشد.

ضریب آلاینده‌گی	ضریب انرژی	نوع سوخت
74.1	0.03466	بنزین
66.76	0.03398	E5
64.22	0.03329	E10

به طور کلی در این پژوهش بیان شده که استفاده از سوخت‌های زیستی می‌تواند کاهش قابل توجهی در انتشار CO₂ ایجاد کند. میزان تأثیرگذاری این سوخت‌ها بستگی به نوع وسیله نقلیه و شرایط عملیاتی دارد. و در وسایل نقلیه سنگین، کاهش ردپای کربنی محسوس‌تر از خودروهای سبک است. بنابراین استفاده از سوخت‌های زیستی در ناوگان حمل‌ونقل می‌تواند یک راهکار مؤثر برای کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی و مصرف سوخت‌های فسیلی باشد، اما اجرای آن نیازمند سیاست‌گذاری مناسب و بهینه‌سازی زیرساخت‌های توزیع و مصرف است.



شکل ۳۶- تاثیر سوخت های E0 و E5 و E10 بر روی مصرف سوخت

نتیجه‌گیری

در این فصل تاثیر استهلاک تایر و روغن موتور ، کیفیت سوخت و سیکل رانندگی بر روی مصرف سوخت بررسی شد. به طور کلی از بخش مرور ادبیات نتایج زیر برای هر یک از مولفه ها برداشت میشود :

روغن موتور

عامل مهمی که در آنالیز استهلاک موتور نقش اساسی دارد ، ویسکوزیته روغن موتور است. طبق پژوه های بررسی شده در این فصل ویسکوزیته روغن موتور با افزایش کارکرد دستخوش تغییر میشود اما این تغییر به صورت همواره نزولی یا همواره صعودی نیست ، درواقع ویسکوزیته روغن موتور در بازه کارکردی مجاز کاهش می یابد و اثر استهلاک روغن موتور بر روی مصرف سوخت در هفته های انتهایی بازه مجاز استفاده از روغن موتور افزایش خواهد داشت.

تایر

تایر خودرو، یکی از اجزای حیاتی در سیستم حرکت و کنترل خودرو است که نقش‌های مهمی مانند انتقال نیرو، حفظ تعادل، ایجاد اصطکاک مناسب با سطح جاده، کاهش ضربات ناشی از ناهمواری‌ها و بهبود فرمان‌پذیری را بر عهده دارد. تایرها باید به گونه‌ای طراحی شوند که علاوه بر فراهم کردن راحتی و ایمنی، مصرف سوخت را نیز بهینه کنند. عامل اصلی که میتوان برای آنالیز استهلاک تایر مورد بررسی قرار داد تغییر مقدار مقاومت غلتشی تایر است که در ادامه این پژوهش مورد بررسی قرار خواهد گرفت

سیکل رانندگی

بدون شک رفتار راننده بر روی مصرف سوخت خودرو نتیجه مستقیم دارد. در این فصل پژوهش های مربوط به این حوزه مورد بررسی قرار گرفت و سیکل های رانندگی مختلف از جمله دو سیکل NEDC و WLTC مورد بررسی قرار گرفتند. نکته حائز اهمیت این است که سرعت و شتابگیری راننده در موقعیت های مختلف مانند رانندگی (سرعت بالا ، متوسط ، کم) نقش اساسی در مصرف سوخت خودرو دارد. پژوهش های مربوطه نشان داد که عموماً مصرف سوخت خودرو در سیکل WLTC بیشتر از سیکل NEDC می باشد

کیفیت سوخت

در این فصل کیفیت سوخت به صورت نسبت الکل اضافه شده به بنزین به منظور بهبود خواص الیئندگی و مصرفی خودرو مورد بررسی قرار گرفت و به صورت واضح این امر از پژوهش های انجام گرفته قابل استدلال است که یا افزایش کیفیت سوخت مصرف سوخت کاهش می یابد.

فصل ۳ :
روش تحقیق

مقدمه

در این فصل با توجه به نتایج حاصله از فصل مرور ادبیات پیشین به شبیه سازی تاثیر استهلاک روغن موتور و تاینر خودرو، کیفیت سوخت و سیکل رانندگی بر روی مصرف سوخت خواهیم پرداخت. در شبیه سازی استهلاک روغن موتور، ویسکوزیته و تاثیر آن بر روی F_{mep} عاملی است که برای بررسی تاثیر استهلاک بر روی مصرف سوخت مورد بررسی قرار میگیرد. همچنین در شبیه سازی استهلاک تاینر از کاهش عمق آج تاینر و تاثیر آن بر روی مقاومت غلتشی برای آنالیز استفاده میکنیم. تاثیر کیفیت سوخت بر روی مصرف سوخت خودرو نیز با استفاده از مشخصات سوخت مورد پژوهش قرار خواهد گرفت. لازم به ذکر است که برای آنالیز تاثیر سیکل رانندگی بر روی مصرف سوخت نیز سیکل های مشخصی در هر یک از شبیه سازی ها مورد نظر خواهند بود.

روش تحقیق و نرم افزار مورد استفاده

در این پروژه از روش تحلیلی و مدل سازی نرم افزاری برای مطالعه در مبحث تاثیر فرسودگی پارامترها روی مصرف سوخت خودرو استفاده می شود، که در آن با مدل سازی تغییر پارامترها در محدوده مجاز به صورت یک بعدی شبیه سازی و بررسی خواهند شد.

نرم افزار مورد استفاده در این پروژه، نرم افزار شبیه سازی یک بعدی GT-POWER است که یکی از ماژول های مجموعه نرم افزار GT-SUITE متعلق به شرکت Gamma Technologies است و در بسیاری از شرکت های معتبر خودروسازی برای تحقیق و مطالعه روی رفتار موتور و اجزای خودرو مورد استفاده قرار می گیرد. در دسترس بودن، کتابخانه وسیع و همچنین سرعت بالا در شبیه سازی، از مهم ترین دلایل انتخاب و انجام مدل سازی با نرم افزار GT_Power به شمار می رود.

در این پروژه با تغییر پارامترها بر روی خودروی تارا یا موتور TU5P در محیط نرم افزار، خروجی ها برای حالت های مختلف به دست آمد و نتایج به دست آمده با هم مقایسه خواهند شد تا تاثیر پدیده فرسودگی روی مصرف سوخت خودرو در سیکل رانندگی مورد نظر بررسی شود.

شبیه سازی استهلاک روغن موتور

مطابق آنچه در بخش ادبیات پیشین مورد بررسی قرار گرفت استهلاک روغن موتور متناسب با تغییر ویسکوزیته آن می باشد. طبق پژوهش کاررا رودریگز [3] بیشترین مقدار استهلاک روغن موتور در ۳ هفته اول رخ میدهد و در حدود ۲۲ درصد می باشد در هفته های بعدی به ۲۷ تا ۳۱ درصد می رشد و در هفته آخر کارکرد ویسکوزیته روغن ۶ درصد افزایش می یابد که این افزایش در اثر افزوده شدن دوده و آلاینده‌گی به روغن است کهه جلوی جریان روغن را میگیرد و سبب بروز اصطکاک و در نتیجه افزایش مصرف سوخت خواهد شد.

از طرفی برای اینکه تاثیر زمان و کارکرد موتور بر روی روغن موتور را مدل کنیم به روابطی نیاز داریم که این دو عامل را در ویسکوزیته روغن لحاظ کنند. این فرض در پژوهش آدیبا و همکارانش [15] مورد توجه قرار گرفته و روابط زیر ارائه شده اند :

۳-۱

$$\eta_{Vlno} = \eta_{15} e^{[k_{st}(k-15) + k_{mt}(\frac{t}{T})]}$$

$$k_{st} = \frac{\ln(\frac{v_{100}}{v_{40}} * \frac{100}{VI})}{60} \quad 3-2$$

$$k_{mt} = \ln(\frac{v_{min100}}{v_{100}} * \frac{100}{vI}) \quad 3-3$$

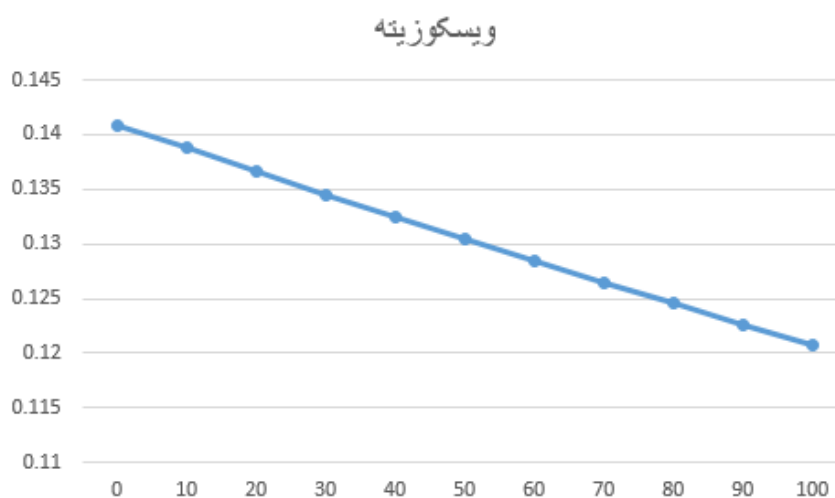
در رابطه فوق K دمای مدنظر برای تعیین ویسکوزیته روغن موتور (که در این پروژه ۱۰۰ درجه سانتیگراد فرض شده است) ، t میزان کاربرد روغن موتور در واحد ساعت v_{100} ویسکوزیته سینماتیکی روغن موتور در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد ، v_{40} ویسکوزیته سینماتیکی روغن موتور در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد ، v_{min100} ویسکوزیته سینماتیکی مینیمم روغن موتور در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد و VI شاخص ویسکوزیته است.

برای اعمال تغییرات ویسکوزیته در محیط نرم افزار GT-Power میزان تغییرات Fmep مورد نیاز است که

برای تغییرات $Fmep$ با ویسکوزیته رابطه ارائه شده توسط لئونگ و همکارانش برای حالت استارت سرد مورد استفاده قرار گرفته است و با رابطه زیر محاسبه میشود:

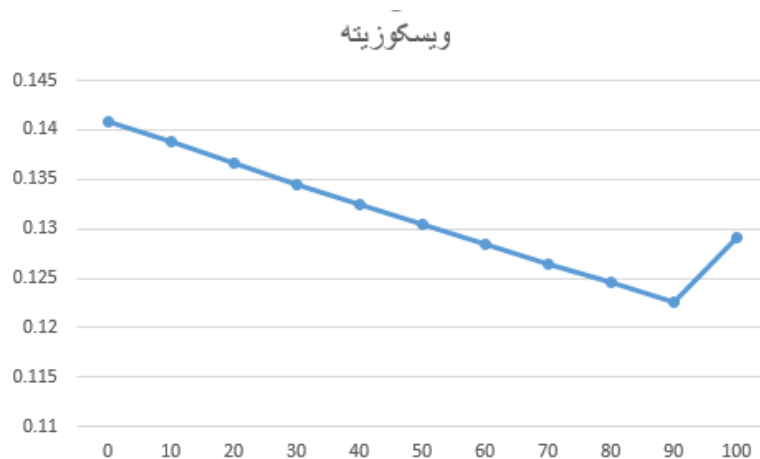
$$Fmep_{new} = Fmep \left(\frac{\mu_{new}}{\mu} \right)^n \quad ۳-۴$$

μ_{new} ویسکوزیته دینامیکی جدید ، μ و $Fmep$ به ترتیب ویسکوزیته دینامیکی و اصطکاک موتور در دور مشخص است و شاخص n یک مقدار تجربی است و معمولاً برابر 0.5 در نظر گرفته میشود. نکته ای که حائز اهمیت است ، این است که در رابطه ای ککه آدیبا و همکارانش ارائه کرده اند ویسکوزیته روغن همواره کاهش پیدا میکند و افزایش ویسکوزیته ای که کار را رودریگز [3] در هفته آخر کارکرد روغن موتور گزارش کرده است نادیده گرفته شده ، بنابراین برای رسیدن به نتیجه مطلوب باید پژوهش های مذکور را یکپارچه کنیم.



شکل ۳۷- تغییرات ویسکوزیته بر مطابق پژوهش آدیبا

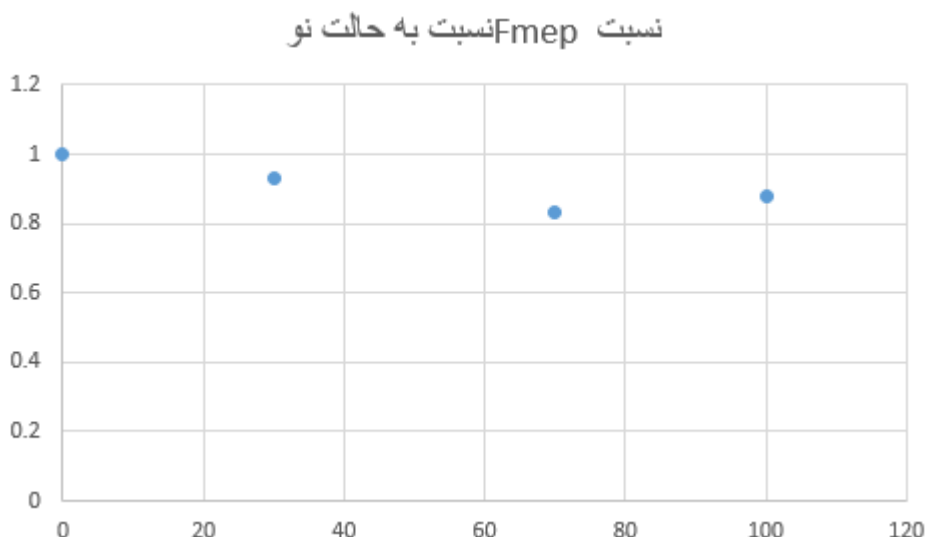
نمودار بالا تغییرات ویسکوزیته روغن موتور SAE 40 را با استفاده از روابط آدیبا نشان می دهد که همانطور که قبلاً ذکر شد افزایش ویسکوزیته در مراحل آخر کارکرد که به دلیل جذب شدن آلودگی توسط روغن رخ میدهد توسط این روابط به درستی پیش بینی نمیشود ، به همین دلیل مقدار افزایش ویسکوزیته در آخر سیکل کارکرد روغن موتور را متناسب با پژوهش رودریگز اصلاح میکنیم.



شکل ۳۸- تغییرات ویسکوزیته اصلاح شده

نمودار بالا تغییرات ویسکوزیته روغن موتور SAE 40 بر حسب زمان را بر حسب پژوهش های آدیبا و رودریگز را نشان میدهد.

در ادامه به منظور اینکه تغییرات ویسکوزیته بر روی مصرف سوخت خودرو را شبیه سازی کنیم باید تاثیر تغییرات ویسکوزیته روغن موتور بر روی F_{mep} آنالیز کنیم. تاثیر این تغییرات در جدول زیر قابل مشاهده است. در ادامه به منظور بررسی تاثیر استهلاک روغن موتور بر روی مصرف سوخت خودروی تارا با موتور TU5P ضرایب BDFC در نرم افزار را متناسب با تغییرات F_{mep} جایگذاری میکنیم.



شکل ۳۹- تغییرات F_{mep} متناسب با تغییرات ویسکوزیته روغن موتور

شبیه سازی استهلاک تایر

برای آنالیز و شبیه سازی تاثیر استهلاک تایر بر روی مصرف سوخت ، کاهش عمق آج تایر در اثر کارکرد و تاثیر آن بر روی مقاومت غلتشی تایر در نظر گرفته شده و در بخش Rolling resistance نرم افزار GT Suite وارد میشود.

به منظور به دست آوردن آنالیز تغییر عمق آج تایرها از فرمولی که ماشیتا ارائه کرده است ، استفاده میشود

$$h = \left(H_{\text{نو}} + \frac{k_2}{k_1} \right) (1 - e^{-k_1 L}) \quad 3-5$$

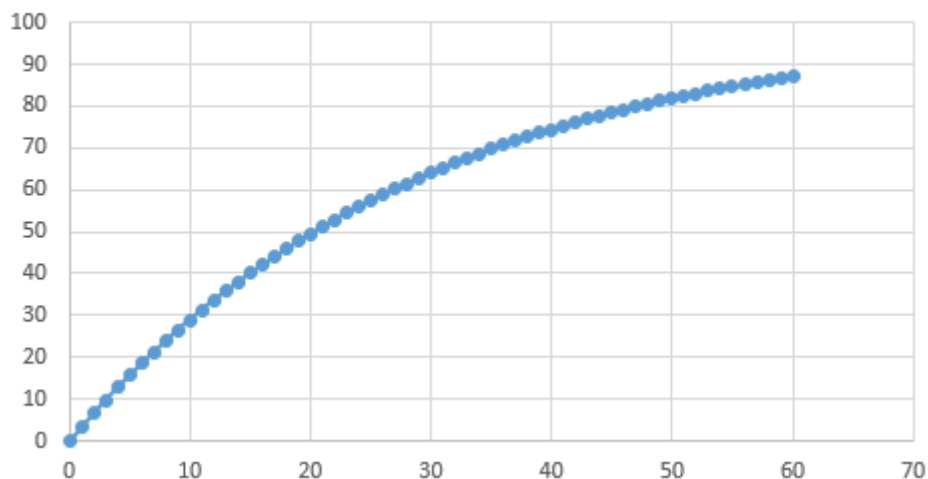
$$k_1 = \frac{2kF_z^2}{bl^2} \left(\frac{S_x}{G_x} + \frac{S_y}{G_y} \right) \quad 3-6$$

$$k_2 = \frac{KlF_z^2 S_y}{12\sqrt{2}^4 \sqrt{(EL_z)^3 K_s}} \quad 3-7$$

که $H_{\text{نو}}$ عمق آج تایر نو ، L کیلومتر کارکرد تایر ، F_z با وارده بر تایر ، K ثابت سایش که به صورت تجربی بدست می آید ، S_x و S_y شدت نیروهای جانبی و وارد بر تایر در راستای x و y ، G_x و G_y مدول برشی در راستای x و y ، l و b طول و عرض تماس تایر با سطح ، EL_z سختی و K_s نرخ ارتجاعی دیواره تایر در واحد طول چرخش است.

لازم به ذکر است که مقادیر ثابت K از پژوهش جناب آقای خاکی ورودی سال 1398 گرفته شده است.

درصد کاهش عمق آج تایر



شکل ۴۰- درصد کاهش عمق آج تایر متناسب با کارکرد

در نمودار فوق تغییرات عمق آج تایر بر حسب هزار کیلومتر برآورد شده است. در این پژوهش عمق آج تایر متناسب با تایر مناسب برای خودروی تارا یعنی تایر 185/70HR14 ، ۷,۸ میلی متر و عمر نهایی تایر ۶۰۰۰۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است.

با توجه به رابطه خطی بین میزان کاهش عمق آج تایر و ضریب مقاومت غلتشی تایر و این نکته که برای کاهش 18 درصدی عمق آج تایر ، ضریب مقاومت غلتشی تایر حدود ۱۰ درصد کاهش می یابد. نسبت ضریب مقاومت غلتشی تایر کارکرده نسبت به تایرهای کارکرده در کیلومترهای مختلف در جدول زیر ارائه شده است.

87.07	72.63	54.35	35.8	18.5	کارکرد بر حسب هزار کیلومتر
0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	ضریب مقاومت غلتشی نسبت به حالت نو

بررسی کیفیت سوخت روی مصرف سوخت

همانطور که در فصل ادبیات پیشین اشاره شد هر کدام از سوخت ها دارای مشخصات و ویژگی های خاص خود می باشند و مقادیر مربوط به چگالی و Fuel heating value (Calorific value) برای هر کدام از سوخت ها متفاوت است به همین دلیل از جدول زیر به منظور شبیه سازی سوخت های E5 , E0 , E85 , E20 , E10 در نرم افزار GT SUITE استفاده خواهد شد

Property items	Test fuels				
	E0	E5	E10	E20	E85
Density (kg/dm ³ at 25 ⁰ C)	0.719	0.7225	0.729	0.733	0.7785
Stoichiometric air-fuel ratio (weight)	14.565	14.26	13.957	13.361	9.751
Lower heating value (kJ/kg)	43 500	42 665	41 830	40 160	29 305
RON (-)	92	92.8	93.6	95.2	105.6
MON (-)	82	82.4	82.7	83.4	87.9

شکل ۴۱- نمودار منتخب شبیه سازی تاثیر کیفیت سوخت بر روی مصرف سوخت

شبیه سازی تاثیر رفتار رانندگی بر روی مصرف سوخت

در بخش مرور ادبیات پیشین مقاله مربوط به مایکل بری را مورد بررسی قرار دادیم که تاثیر هر کدام از سیکل ها و رفتارهای رانندگی بر روی مصرف سوخت را مورد آنالیز قرار داده بود. در جدول زیر که از پژوهش مایکل بری گرفته شده سیکل ها به سه دسته سیکل محلی ، سیکل شهری و سیکل اتوبانی تقسیم شده اند. در این بخش به منظور بررسی تاثیر رفتار رانندگی بر روی مصرف سوخت خودرو از هر دسته دو سیکل را انتخاب کرده و مصرف سوخت را آنالیز خواهیم کرد.

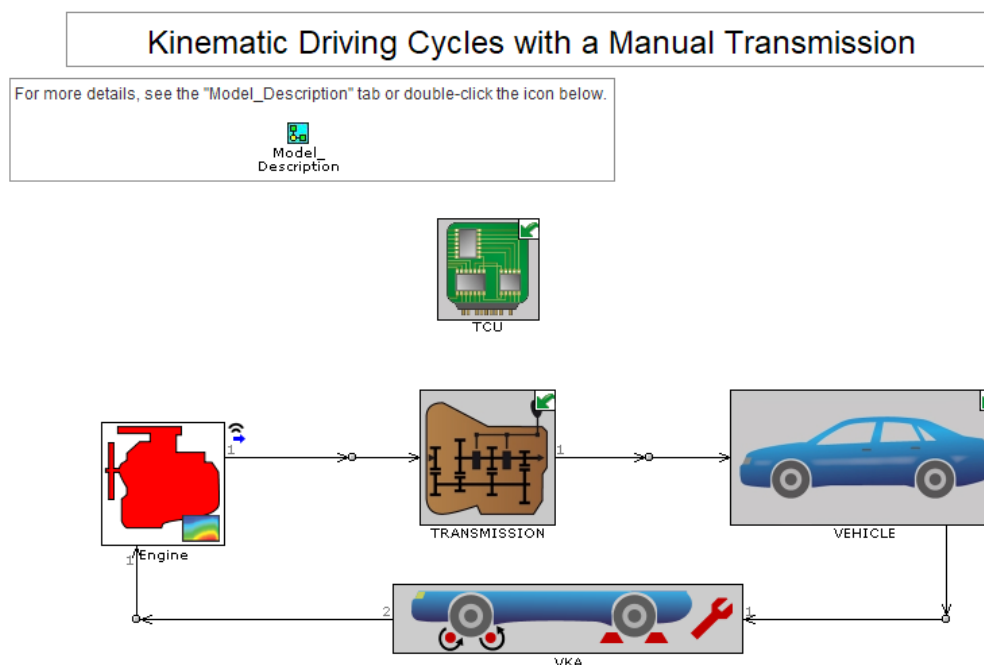
فصل ٤ :
نتایج و تفسیر آنها

مقدمه

در این فصل تاثیر کیفیت سوخت، استهلاک روغن موتور و تاثیر خودرو بر روی مصرف سوخت در سیکل های منتخب برای خودروی تارا دستی با موتور TU5P در نرم افزار GT SUITE مورد بررسی قرار خواهد گرفت

مدل سازی در نرم افزار

برای مدل سازی تاثیر پارامترها بر روی مصرف سوخت مشخصات قسمت های مختلف خودرو به شرح زیر در نرم افزار به عنوان ورودی قرار داده شده اند :

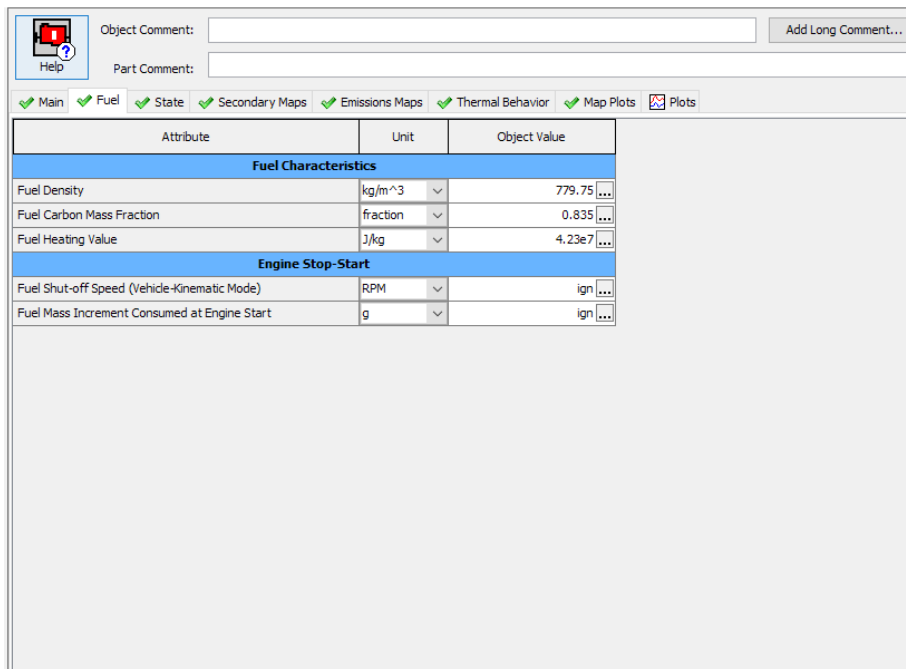


شکل ۴۲- محیط نرم افزار

مشخصات موتور خودرو : موتور 4 سیلندر با حجم موتور 1587 CC و دور آرام 750 RPM در نظر گرفته شده است

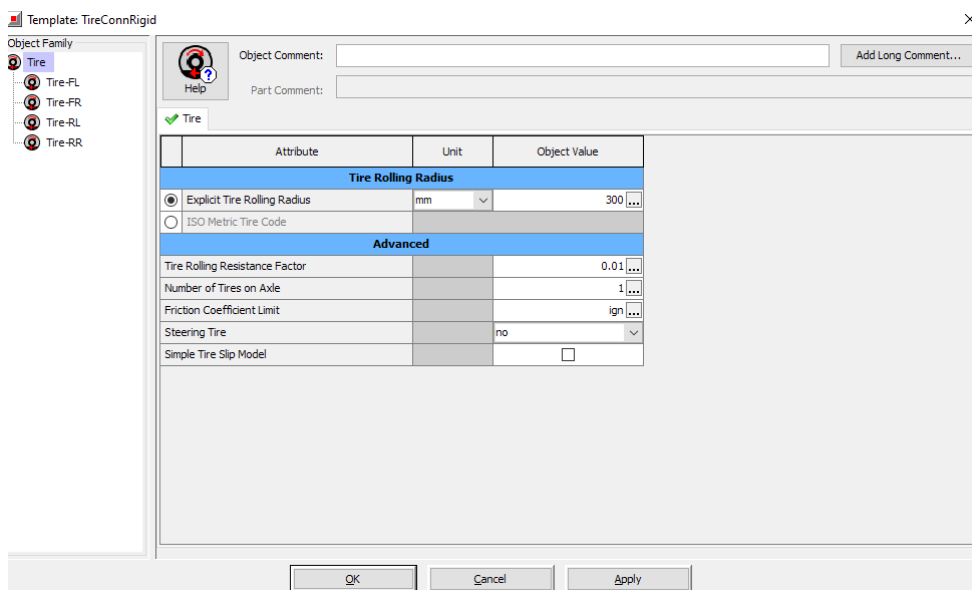
مشخصات تایر خودرو : تایر با قطر 15 اینچ و مقاومت غلتشی 0.02 برای حالت نو در نظر گرفته شد
مشخصات بدنه خودرو : وزن 1170 کیلوگرم با ضریب درگ 0.31 و فاصله محوری 2652 mm به عنوان ورودی در نظر گرفته شد.

برای شبیه سازی تاثیر کیفیت سوخت بر روی مصرف سوخت ویژگی های سوخت های با درصد اتانول مختلف در بخش سوخت موتور در نرم افزار gt suite قرار داده شدند



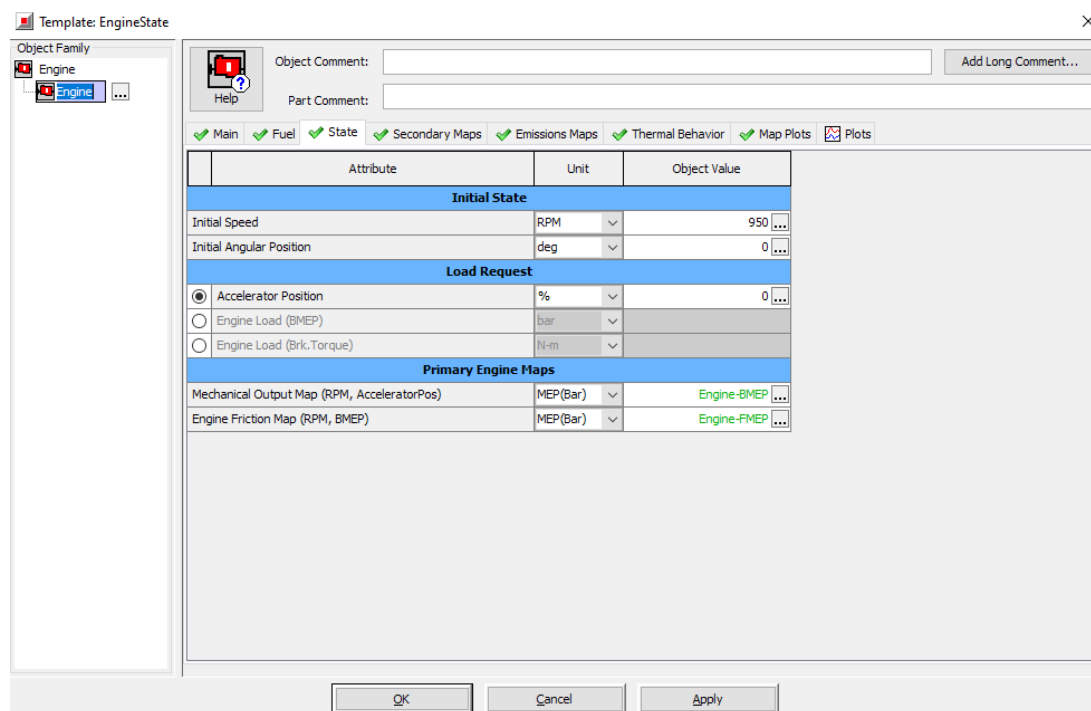
شکل ۴۳- محیط نرم افزار

برای شبیه سازی تاثیر استهلاک تایر بر روی مصرف سوخت ، اعداد بدست آمده به عنوان مقادیر مختلف مقاومت غلتشی در قسمت تایر و در زبانه متناظر جایگذاری شدند



شکل ۴۴- محیط نرم افزار

در ادامه و به منظور تحلیل تاثیر استهلاک روغن موتور بر روی کیفیت سوخت تاثیر تغییرات ویسکوزیته روغن موتور بر روی Fmep اندازه گیری شده و در زبانه متناظر جایگذاری شد

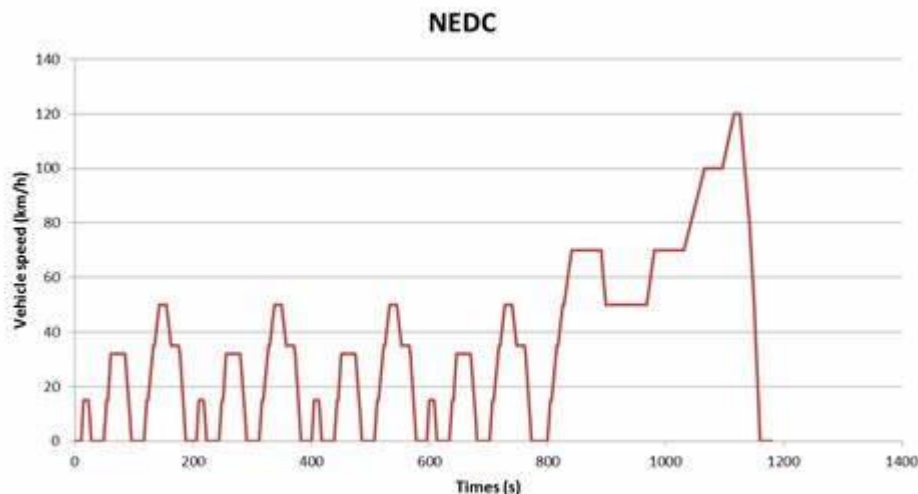


شکل ۴۴- محیط نرم افزار

سیکل های رانندگی

به منظور بررسی تاثیر پارامترهای مذکور بر روی مصرف سوخت ، سیکل های رانندگی NEDC، WLTC ، ARTEMIS و US06 در نرم افزار GT SUITE در نظر گرفته شده اند که در ادامه توضیح مختصری درباره هر یک از این سیکل ها خواهیم داد.

سیکل رانندگی NEDC (New European Driving Cycle)



شکل ۴۶- نمودار سرعت-زمان NEDC

سیکل NEDC یک استاندارد تست مصرف سوخت و آلاینده‌گی خودروها بود که در اتحادیه اروپا و برخی دیگر از کشورها تا سال ۲۰۱۷ مورد استفاده قرار می‌گرفت. این سیکل از دهه ۱۹۷۰ توسعه یافت و چندین بار اصلاح شد تا نسخه نهایی آن در سال ۱۹۹۷ به تصویب رسید. با این حال، به دلیل غیرواقعی بودن نتایج، این سیکل در نهایت با WLTP جایگزین شد. این سیکل شامل دو بخش اصلی است:

۱. سیکل شهری (ECE-15 (Urban Cycle)

شبیه‌سازی رانندگی در محیط شهری با سرعت‌های کم و دارای توقف‌های مکرر برای شبیه‌سازی ترافیک.

سرعت متوسط: ۱۹ km/h

حداکثر سرعت: ۵۰ km/h

مدت زمان: ۷۸۰ ثانیه (۱۳ دقیقه)

۲. سیکل غیر شهری (EUDC (Extra Urban Driving Cycle)

شبیه‌سازی رانندگی در جاده‌های برون شهری با سرعت‌های بالاتر و دارای شتاب‌گیری‌های ملایم‌تر نسبت به بخش شهری.

سرعت متوسط: ۶۲,۶ km/h

حداکثر سرعت: ۱۲۰ km/h

مدت زمان: ۴۰۰ ثانیه (۶,۷ دقیقه)

نحوه انجام تست سیکل NEDC

تست در شرایط آزمایشگاهی با استفاده از دینامومتر شاسی انجام می شود و دمای محیط باید حدود ۲۰- $^{\circ}\text{C}$ باشد. خودرو از حالت سرد (Cold start) شروع به حرکت می کند. هیچ وسیله جانبی مانند کولر یا بخاری روشن نیست. شتاب گیری و ترمز گیری ها طبق یک الگوی از پیش تعیین شده انجام می شوند.

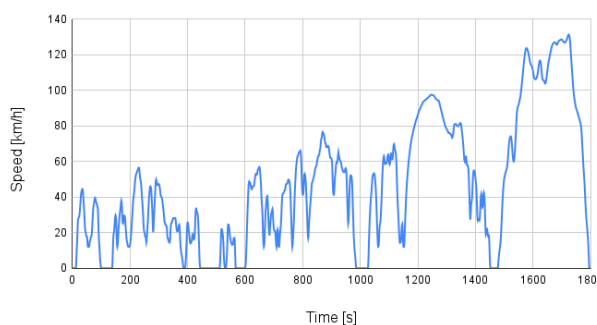
نقاط ضعف NEDC

- خیلی ایده آل و غیرواقعی: سرعت و شتابها کمتر از رانندگی واقعی هستند.
- عدم شبیه سازی تأثیر تجهیزات جانبی: کولر، بخاری و سیستم های الکتریکی روی مصرف سوخت تأثیری در این تست ندارند.
- توقف های غیرواقعی: در شرایط واقعی، توقف های ناگهانی و شتاب گیری های سریع تر اتفاق می افتد.
- نتایج بیش از حد خوش بینانه: میزان مصرف سوخت کمتر از واقعیت و آلاینده گی کمتر از مقدار واقعی گزارش می شد.

جایگزینی با WLTP

به دلیل ایرادات بالا، از سال ۲۰۱۷، اتحادیه اروپا سیکل WLTP را جایگزین NEDC کرد. WLTP شرایط رانندگی واقعی تری را شبیه سازی می کند و شامل تست های متنوع تر، شتاب گیری های شدیدتر و زمان طولانی تری است.

سیکل رانندگی WLTC (Worldwide harmonized Light-duty Test Cycle)



شکل ۴۷- نمودار سرعت-زمان سیکل WLTC

WLTC بخشی از روش تست جدید WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure) است که برای جایگزینی NEDC توسعه داده شد. این سیکل از سال ۲۰۱۷ در اروپا و بسیاری

از کشورهای دیگر به عنوان استاندارد اصلی برای تست مصرف سوخت و آلایندگی خودروها اجرا می شود. WLTC شرایط رانندگی واقعی تر را نسبت به NEDC شبیه سازی می کند و نتایج دقیق تری ارائه می دهد.

ویژگی های کلیدی WLTC

- واقع گرایانه تر از NEDC بر اساس داده های رانندگی واقعی از سراسر جهان توسعه یافته است
- سرعت های متنوع تر: شامل بخش های مختلف با سرعت کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد.
- مدت زمان طولانی تر: نسبت به NEDC مدت تست بیشتر است.
- تأثیر تجهیزات جانبی: مصرف سوخت و آلایندگی در شرایطی که کولر و سایر سیستم های الکتریکی روشن هستند، بررسی می شود.

ساختار سیکل WLTC

این سیکل شامل چهار فاز با سرعت های مختلف است که شرایط رانندگی شهری، جاده ای و بزرگراهی را شبیه سازی می کند:

مدت زمان کل سیکل: ۱۸۰۰ ثانیه (۳۰ دقیقه)

کل مسافت طی شده: ۲۳,۳ کیلومتر

نحوه انجام تست WLTC

خودرو در شرایط آزمایشگاهی روی دینامومتر شاسی تست می شود. تست با حالت سرد (Cold start) آغاز می شود. خودرو در طول تست از دنده های مختلف عبور می کند تا شرایط رانندگی واقعی تر باشد. مصرف سوخت و آلایندگی در شرایط مختلف بررسی می شود.

۶. نسخه های مختلف WLTC

WLTC برای انواع خودروها با وزن و قدرت متفاوت نسخه های مختلفی دارد:

WLTC Class 1: برای خودروهای کوچک (حداکثر سرعت تست 90 km/h)

WLTC Class 2: برای خودروهای متوسط (حداکثر سرعت تست 105 km/h)

WLTC Class 3: برای خودروهای قدرتمندتر (حداکثر سرعت تست 131.3 km/h)

۷. مزایای WLTC نسبت به NEDC

- شبیه سازی بهتر شرایط واقعی رانندگی.

- پیش‌بینی دقیق‌تر مصرف سوخت و آلایندگی.
- تست در سرعت‌های بالاتر و شرایط متنوع‌تر.
- کاهش فاصله بین داده‌های آزمایشگاهی و مصرف واقعی در جاده.

سیکل رانندگی ARTEMIS

سیکل رانندگی ARTEMIS یک مجموعه از سیکل‌های تست است که در پروژه ARTEMIS تحت حمایت اتحادیه اروپا توسعه داده شد. این سیکل‌ها برای اندازه‌گیری مصرف سوخت، آلایندگی و عملکرد خودروها در شرایط رانندگی واقعی طراحی شده‌اند. برخلاف سیکل‌های سنتی مانند NEDC، سیکل ARTEMIS بر اساس داده‌های واقعی رانندگی از خودروهای مختلف در سراسر اروپا توسعه داده شده است.

هدف از توسعه سیکل ARTEMIS

- شبیه‌سازی دقیق‌تر رفتار واقعی رانندگان.
- ارائه نتایج دقیق‌تر از میزان آلایندگی و مصرف سوخت.
- ایجاد یک استاندارد جامع برای مدل‌سازی انتشار آلاینده‌ها.
- استفاده در مدل‌سازی آلودگی هوا و تخمین دقیق آلایندگی ناوگان حمل‌ونقل.

۳. انواع سیکل‌های ARTEMIS

سیکل ARTEMIS شامل سه بخش اصلی است که شرایط مختلف رانندگی را پوشش می‌دهند:

نوع سیکل	سرعت متوسط (km/h)	حداکثر سرعت (km/h)	مدت زمان (ثانیه)	مسافت طی شده (km)
ARTEMIS Urban	17.6	56	993	4.5
ARTEMIS Road	58.3	110	1080	17.3
ARTEMIS Motorway	105.6	150	1065	31.3

جدول ۴-۱- سیکل‌های مختلف ARTEMIS

۴. ویژگی‌های سیکل ARTEMIS

- بر اساس داده‌های واقعی رانندگی: برخلاف NEDC که بر اساس الگوهای تئوری طراحی شده بود، ARTEMIS از داده‌های جمع‌آوری‌شده از خودروهای واقعی در جاده‌های اروپا استفاده می‌کند.

- شبیه‌سازی دقیق‌تر رانندگی شهری، جاده‌ای و بزرگراهی: این سیکل شامل توقف‌های بیشتر، تغییرات ناگهانی سرعت و شتاب‌گیری‌های واقعی‌تر نسبت به سیکل‌های قدیمی است.
- تست آلاینده‌گی در شرایط مختلف: ARTEMIS برای بررسی انتشار گازهای آلاینده (NO_x ، CO_2 ، PM، HC) تحت شرایط رانندگی واقعی طراحی شده است.
- پوشش سرعت‌های بالاتر: حداکثر سرعت در ARTEMIS 150 km/h است که بسیار بالاتر از ۱۲۰ km/h در NEDC است.
- امکان استفاده برای مدل‌سازی آلودگی هوا: از نتایج این سیکل در مدل‌های ریاضی برای پیش‌بینی آلودگی در شهرها و جاده‌ها استفاده می‌شود.

مقایسه ARTEMIS با NEDC و WLTC

ویژگی‌ها	ARTEMIS	NEDC	WLTC
مبنای طراحی	داده‌های واقعی رانندگی	داده‌های تئوری	داده‌های واقعی رانندگی
حداکثر سرعت	150 km/h	120 km/h	131 km/h
مدت زمان تست	17-18 min	20 min	31 min
شتاب‌گیری‌ها	شدید و متنوع	ملایم و یکنواخت	واقعی‌تر از NEDC
منطبق بر واقعیت	بسیار دقیق	خیر	بهبتر از NEDC
استفاده برای مدل‌سازی آلودگی	بله	خیر	بله

جدول ۲-۴- مقایسه سیکل‌ها

۶. کاربردهای سیکل ARTEMIS

- ارزیابی عملکرد خودروها در شرایط رانندگی واقعی.
- اندازه‌گیری انتشار گازهای آلاینده در شرایط متنوع.

- تحلیل و مدل‌سازی آلودگی هوا در مناطق شهری و بین‌شهری.
- بهبود طراحی استانداردهای آلاینده‌گی و تست‌های مصرف سوخت.
- استفاده در تحقیقات دانشگاهی و مراکز مهندسی خودروسازی.

۷. نقاط ضعف سیکل ARTEMIS

- پیچیدگی اجرای تست: نسبت به NEDC، اجرای این سیکل نیاز به ابزار دقیق‌تر و تست‌های پیشرفته‌تر دارد.
- مدت‌زمان طولانی‌تر تست‌ها: اجرای کامل تست‌های ARTEMIS زمان بیشتری نسبت به NEDC و WLTC می‌برد.
- عدم استانداردسازی جهانی: برخلاف WLTP/WLTC که استاندارد جهانی شده، ARTEMIS بیشتر در اروپا و برای مدل‌سازی آلودگی استفاده می‌شود.

روند شبیه سازی در نرم افزار

در فصل روش تحقیق روش هایی را که به کمک آنها قصد داریم تاثیر پارامترهای مذکور بر روی مصرف سوخت آنالیز کنیم را مورد بحث قرار دادیم . در این فصل ضرایب و اعدادی که به کمک این روابط در نرم افزار وارد خواهیم کرد را ارائه نموده و سپس نتایج را بررسی میکنیم.

روغن موتور

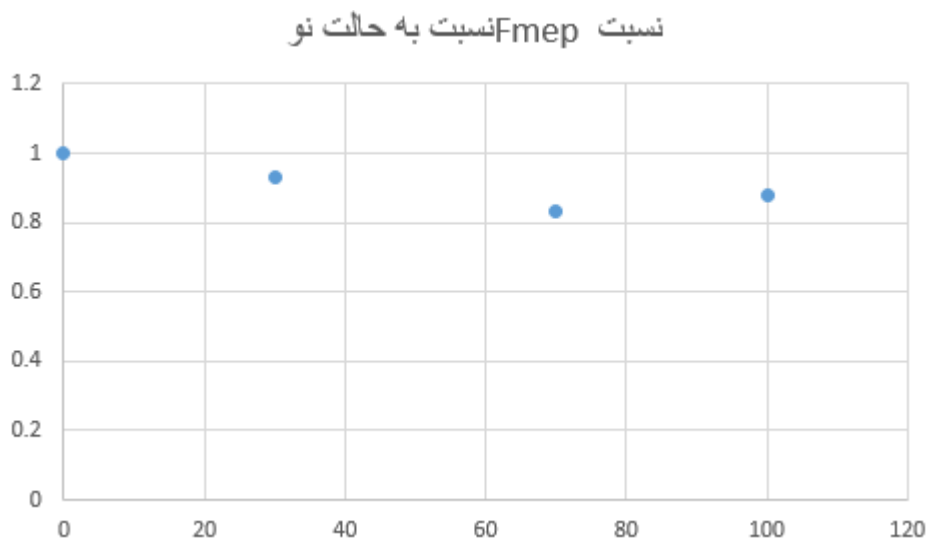
همانطور که در فصل ادبیات پیشین بحث شد برای مدلسازی تاثیر استهلاک روغن موتور خودرو بر روی مصرف سوخت از نتایج پژوهش های آدیبا و کاررا رودریگز استفاده خواهیم کرد . نتایج این دو پژوهش به ما کمک میکنند تا بتوانیم تغییرات ویسکوزیته روغن را در یک سیکل کاری آنالیز کنیم. شکل ۴۸ تغییرات ویسکوزیته در سیکل کاری روغن موتور را نشان میدهد.



شکل ۴۸- تغییرات ویسکوزیته روغن بر حسب کارکرد

برای اینکه تاثیر تغییرات ویسکوزیته را به زبان نرم افزار درآوریم باید تغییرات ویسکوزیته را بر حسب F_{mep} داشته باشیم . همانطور که در فصل ادبیات پیشین ذکر شد ، برای این کار از رابطه ارائه شده توسط لئونگ و همکاران استفاده میکنیم.

شکل ۴۹ زیر تغییرات F_{mep} متناسب با تغییرات ویسکوزیته روغن موتور را نشان میدهد.



شکل ۴۹- تغییرات Fmep بر حسب کارکرد

ساعت کارکرد	Fmep نسبت به حالت نو
0	1
30	0.93
70	0.83
100	0.88

جدول ۴-۳- Fmep بر حسب ساعت کارکرد

پس از اعمال ضرایب Fmep در نرم افزار برای سیکل های رانندگی زیر ، مصرف سوخت در هر به ازای هر 100 کیلومتر در جدول زیر نمایش داده شده است.

0.88	0.83	0.93	1	
5.81	5.43	6.14	6.61	NEDC
6.40	6.03	6.76	7.27	WLTC
4.90	4.63	5.18	5.57	ARTEMIS ROAD
11.31	10.67	11.95	12.85	ARTEMIS URBAN
6.09	5.74	6.43	6.92	ARTEMIS MOTORWAY

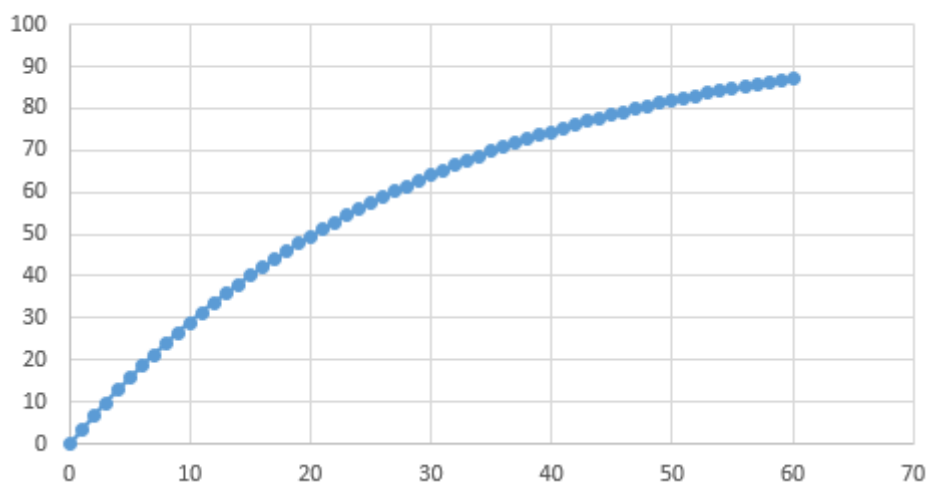
جدول ۴-۴- مصرف سوخت در Fmep های مختلف

همانطور که از جدول نتایج شبیه سازی فوق مشخص است رفتار رانندگی تاثیر مستقیم بر روی مصرف سوخت دارد به نحوی که در سیکل آرتیمیس شهری به دلیل شتاب ها و توقف های بیشتر مصرف سوخت به مراتب بیشتر است. همچنین نتایج فوق نشان میدهند که در صورتیکه روغن موتور خودرو در فواصل پیشنهادی تعویض شوند نه تنها موجب افزایش مصرف سوخت نمیشوند بلکه در قبل از هفته های پایانی اثر مطلوبی نیز بر روی مصرف سوخت خودرو دارند اما با نزدیک شدن به هفته های پایانی که روغن موتور باید تعویض شود مصرف سوخت خودرو افزایش خواهد یافت.

تایر

برای شبیه سازی تاثیر استهلاک تایر بر روی روغن موتور، تاثیر کاهش عمق آج تایر بر روی مقاومت غلتشی در این پژوهش مورد آنالیز قرار گرفته است. به منظور بررسی این تغییرات از روابط ارائه شده توسط ماشینتا که در فصل روش تحقیق ارائه شد، استفاده شده است.

درصد کاهش عمق آج تایر



شکل ۵۰- درصد کاهش عمق تایر بر حسب هزار کیلومتر

در شکل ۴۷ تغییرات عمق آج تایر بر حسب هزار کیلومتر برآورد شده است. در این پژوهش عمق آج تایر متناسب با تایر مناسب برای خودروی تارا یعنی تایر 185/70HR14 ، ۷,۸ میلی متر و عمر نهایی تیر ۶۰۰۰۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است.

با توجه به رابطه خطی بین میزان کاهش عمق آج تایر و ضریب مقاومت غلتشی تایر و این نکته که برای کاهش 18 درصدی عمق آج تایر ، ضریب مقاومت غلتشی تایر حدود ۱۰ درصد کاهش می یابد. نسبت ضریب مقاومت غلتشی تایر کار کرده نسبت به تایرهای کار کرده در کیلومترهای مختلف در جدول زیر ارائه شده است.

87.07	72.63	54.35	35.8	18.5	کارکرد بر حسب هزار کیلومتر
0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	ضریب مقاومت غلتشی نسبت به حالت نو

جدول ۴-۵- ضریب مقاومت غلتشی در طول کارکرد

پس از اعمال ضرایب مقاومت غلتشی در نرم افزار برای سیکل های رانندگی زیر ، مصرف سوخت در هر به ازای هر 100 کیلومتر در جدول ۴-۶ نمایش داده شده است.

87.07	72.63km	54.35km	35.5km	18.5 km	0km	
6.17	6.25	6.34	6.43	6.52	6.61	NEDC
6.92	6.99	7.06	7.13	7.20	7.27	WLTC
5.19	5.27	5.34	5.42	5.49	5.57	ARTEMIS ROAD
12.50	12.56	12.64	12.71	12.78	12.85	ARTEMIS URBAN
6.	6.54	6.64	6.74	6.83	6.92	ARTEMIS MOTORWAY

جدول ۴-۶- مصرف سوخت خودرو در کارکردهای متناسب با مقاومت غلتشی

نتایج فوق نشان میدهد که کاهش مقاومت غلتشی تایر که در اثر استهلاک تایر خودرو رخ میدهد موجب کاهش مصرف سوخت میشود و با در نظر گرفتن این موضوع که با ساییده شدن سطح تایر و کاهش مقاومت غلتشی نیروی ترمزی کمتری برای غلبه بر اصطکاک مورد نیاز خواهد بود نتایج فوق ملموس تر میشوند

کیفیت سوخت

به منظور بررسی تأثیر کیفیت سوخت بر مصرف سوخت موتور، ابتدا ویژگی‌های شیمیایی چند نوع سوخت با کیفیت‌های متفاوت (نظیر عدد اکتان، چگالی، محتوای انرژی و ...) در نرم‌افزار GT-Suite تعریف و اعمال شد. سپس با اجرای شبیه‌سازی‌های دقیق و کنترل شده، تغییرات مصرف سوخت در شرایط مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. این فرآیند امکان تحلیل دقیق‌تری از رابطه بین پارامترهای سوخت و عملکرد حرارتی موتور فراهم نمود. نتایج این مرحله در جدول ۴-۷ قابل مشاهده است

E85	E20	E10	E5	E0	
6.10	6.48	6.52	6.57	6.61	NEDC
6.71	7.13	7.17	7.23	7.27	WLTC
5.15	5.47	5.50	5.55	5.57	ARTEMIS ROAD
11.87	12.61	12.68	12.79	12.85	ARTEMIS URBAN
6.39	6.79	6.82	6.88	6.92	ARTEMIS MOTORWAY

جدول ۴-۷- تأثیر کیفیت سوخت بر مصرف سوخت

ردپای کربنی

در مرحله آخر این پژوهش قصد داریم میزان آلاینده‌گی تولید شده را برای رفتارهای رانندگی متفاوت و کیفیت سوخت‌های متفاوت آنالیز کنیم و برای انجام این کار ردپای کربنی موارد مذکور را در چرخه چاه تا چرخ مورد آنالیز قرار خواهیم داد.

جداول زیر میزان تولید گازهای گلخانه‌ای در مراحل چاه تا مخزن را نشان می‌دهد که در ادامه از مقادیر این

جداول برای بدست آوردن ردپای کربنی در چرخه عمر چاه تا چرخ استفاده خواهیم کرد.

گاز گلخانه ای منتشر شده (gCO ₂ eq/MJf)			انرژی مصرف شده (MJ _g /MJf)			مرحله	
بیشینه	کمینه	بهترین تخمین	انرژی به صورت سوخت فسیلی	کل انرژی مصرف شده			
				بیشینه	کمینه		بهترین تخمین
						تبدیل نفت خام به بنزین	
		۳/۶		۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۳	استخراج و پروسس نفت خام
		۰/۹				۰/۰۱	حمل و نقل نفت خام
		۷/۰		۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۰۸	پالایش
		۱/۰				۰/۰۲	توزیع و پخش
۱۴/۶	۱۱/۱	۱۳/۸	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۱۴	کل مرحله

شکل ۴۵- انرژی مورد مصرفی و کربن دی اکسیدی تولیدی به ازای تولید هر واحد بنزین

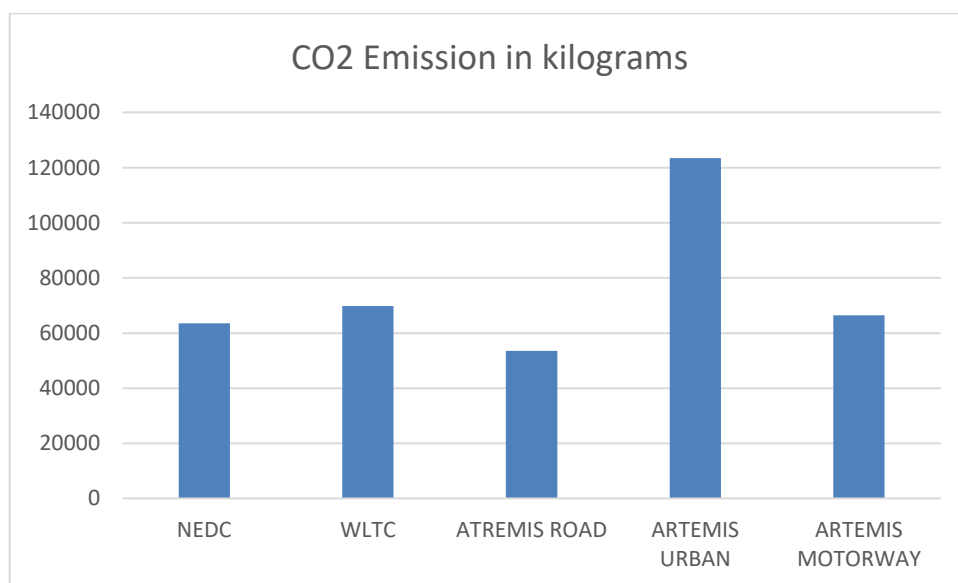
gN ₂ O/MJ	gCH ₄ /MJ	gCO ₂ /MJ	گاز گلخانه ای منتشر شده (gCO ₂ eq/MJ _f)			انرژی مصرف شده (MJ _g /MJ _f)	مرحله	
			بیشینه	کمینه	بهترین تخمین			کل
								بهترین تخمین
							اتانول (منبع: نیشکر، برزیل)	
۰/۰۲۰	۰/۱۵	۳/۷			۱۳/۰۹	۰/۰۶	کاشت	
۰/۰۰۰	۰/۰۰	۰/۸			۰/۸۵	۰/۰۱	حمل و نقل جاده ای	
۰/۰۰۰	۰/۰۱	-۱۰/۲			-۱۰/۳۱	۱/۶۳	تولید اتانول	
۰/۰۰۰	۰/۰۰	۱/۰			۰/۹۹	۰/۰۸	حمل و نقل اتانول	
۰/۰۰۰	۰/۰۰	۵/۸			۵/۸۲	۰/۰۱	ایستگاه سوخت گیری دوباره	
۰/۰۲۰	۰/۱۵	۱/۱	۱۰/۷	۱۰/۲	۱۰/۴		کل گاز گلخانه ای از چاه تا چرخ	
		-۷۱/۴			-۷۱/۴		اعتبار کاهش نشر آلاینده دی اکسید کربن	
			-۶۰/۷	-۶۱/۲	-۶۰/۹	۱/۷۹	کل مسیر تولید	

شکل ۴۶- انرژی مصرف شده و کربن دی اکسید تولید شده به ازای هر واحد اتانول

E15	E10	E5	E0	
2.595	6.33	10.065	13.8	میزان کربن دی اکسید تولید شده در چرخه چاه تا مخزن

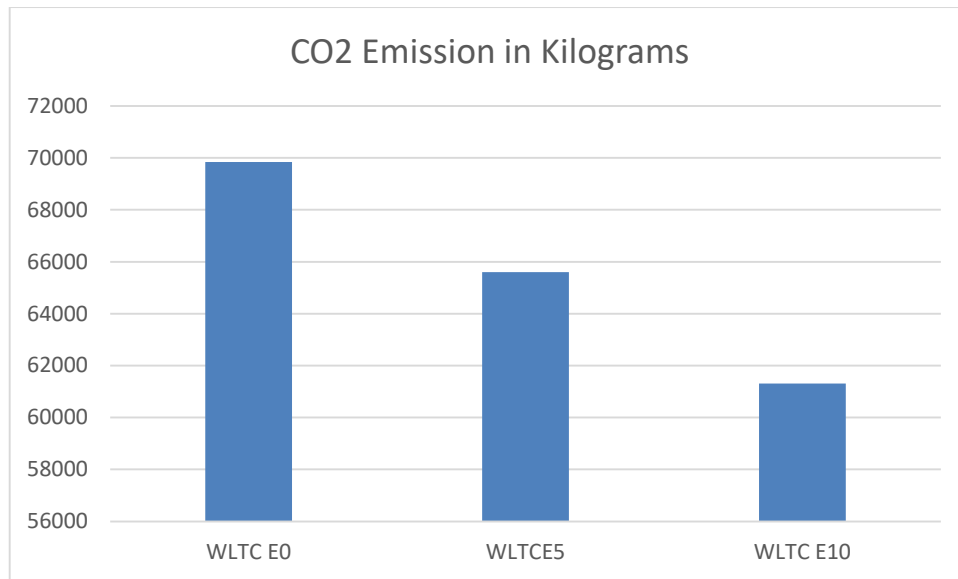
جدول ۸-۴- میزان انرژی مصرفی سوخت های منتخب در پروسه چاه تا مخزن (بر حسب مگاژول)

در جدول ۴-۸ مقدار کربن دی اکسید تولید شده برای سوخت های منتخب ارائه شده است . این جدول نشان میدهد که با افزایش مقدار اتانول در بنزین میزان کربن دی اکسید منتشر شده در مرحله چاه تا مخزن کاهش می یابد. لازم به ذکر است که در اکثر منابع در بررسی ردپای کربنی مرحله چاه تا مخزن در نظر گرفته نشده و صرفاً مرحله مخزن تا چرخ مورد مطالعه قرار گرفته است از این حیث در این پژوهش نیز همین قالب را در نظر خواهیم داشت . در ادامه مقدار کربن دی اکسید تولیدی در چرخه مخزن تا چرخ را مورد بررسی قرار خواهیم داد.



شکل ۴۷-تاثیر رفتار رانندگی در تولید کربن دی اکسید

با توجه به نتایج به دست آمده که در نمودار فوق قابل مشاهده است رفتار رانندگی درون شهری که با شتاب زیاد و توقف زیادی همراه است ردپای کربنی بیشتری از خود به جا میگذارد.



شکل ۴۸- تاثیر کیفیت سوخت بر روی میزان کربن دی اکسید تولید شده در چرخه چاه تا چرخ

نمودار فوق کربن دی اکسید تولید شده با سوخت های E0 ، E5 و E10 را نشان میدهد و همانطور که قابل مشاهده است با افزایش مقدار اتانول در سوخت کربن دی اکسید تولید شده کاهش می یابد به نحوی که اگر به جای E0 از E10 استفاده کنیم در طول چرخه عمر ۲۰ ساله خودروی تارا بیش از یک تن کربن دی اکسید کمتری تولید میشود.

فصل ۵ : جمع بندی و پیشنهادها

مقدمه

در این پژوهش، با هدف بررسی تأثیر مؤلفه‌های مهم و کلیدی همچون کیفیت سوخت، استهلاک روغن موتور، فرسایش تایر و رفتار رانندگی بر مصرف سوخت خودرو و ردپای کربنی آن در طول چرخه عمر، یک تحلیل جامع و چند بعدی انجام گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند راهنمای مناسبی برای طراحان خودرو، سیاست‌گذاران محیط زیستی، مهندسان نگهداشت و حتی مصرف‌کنندگان خودرو باشد تا بتوانند تصمیمات آگاهانه‌تری در راستای کاهش مصرف سوخت و بهینه‌سازی عملکرد خودرو اتخاذ کنند.

نتایج و پیشنهادها

۱. تأثیر کیفیت سوخت بر مصرف سوخت و عملکرد موتور

یکی از عوامل مهم بررسی‌شده در این تحقیق، کیفیت سوخت مورد استفاده در خودروهای احتراق داخلی بوده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که استفاده از سوخت‌هایی با عدد اکتان پایین، ناخالصی بالا، محتوای اتانول نامناسب یا فرمولاسیون ناپایدار منجر به افزایش تولید آلاینده‌ها، و در نهایت افزایش مصرف سوخت می‌شود. همچنین مشاهده شد که سوخت‌های باکیفیت نظیر بنزین E10 که دارای ۱۰٪ اتانول هستند، میتوانند در بازه ۲۰ ساله برای هر خودروی تازه‌تر از یک تن کربن دی‌اکسید کمتری نسبت به سوخت‌های بدون اتانول منتشر کنند. این امر در سیکل‌های WLTC و NEDC به‌صورت قابل توجهی نمایان بود و بر اهمیت به‌کارگیری سوخت‌های باکیفیت در برنامه‌های بهبود عملکرد خودرو تأکید دارد.

۲. استهلاک روغن موتور و تأثیر آن بر اصطکاک داخلی

تحقیقات و شبیه‌سازی‌های صورت‌گرفته نشان دادند با افزایش کارکرد روغن موتور در شرایط ایده‌آل ویسکوزیته روغن به طور کلی کاهش می‌یابد اما به دلیل افزوده شدن رسوبات و دوده در روغن موتور این شرایط عملی نیست و به طور کلی همین دوده‌ها و رسوبات در نهایت موجب افزایش ویسکوزیته روغن میشوند و مصرف سوخت را افزایش میدهند اما اگر روغن موتور در بازه‌های مشخص که توسط شرکت مشخص میشود عوض شود تأثیر افزایش ویسکوزیته روغن بر روی مصرف سوخت محسوس نخواهد بود.

۳. فرسایش تایر و تأثیر آن بر مقاومت چرخشی و مصرف سوخت

فرسودگی تایر یکی از عواملی است که در ظاهر ساده اما در عمل پیچیده و تأثیرگذار بر مصرف سوخت خودرو است. با گذشت زمان و استفاده مداوم از تایر، عمق عاج کاهش یافته، خواص دینامیکی تایر تغییر می‌کند و مقاومت چرخشی افزایش می‌یابد. نتیجتاً این پژوهش نشان داد که استهلاک تایر خودرو موجب کاهش مقاومت غلتشی خودرو میشود و به طور کلی با کاهش این مقدار میزان مصرف سوخت خودرو نیز کاهش می‌یابد اما به دلیل مسائل ایمنی و اینکه با کاهش مقاومت غلتشی تایر، سر خوردن تایر رخ میدهد

و عملاً فرمان‌پذیری خودرو دچار مشکل خواهد شد باید در بازه‌های مشخص اعلام شده اقدام به تعویض تایر خودرو کرد

۴. نقش رفتار رانندگی در کاهش یا افزایش مصرف سوخت
تحلیل رفتار رانندگان و ارتباط آن با مصرف سوخت نشان داد که الگوهای رانندگی نظیر رانندگی تهاجمی، استفاده مکرر از ترمز و گاز، تغییر ناگهانی سرعت و دنده تأثیر چشم‌گیری بر مصرف سوخت دارند. مطالعات انجام‌شده بر روی سیکل‌های رانندگی مختلف ARTEMIS نشان داد که رانندگی با شتاب‌گیری‌های شدید و توقف‌های مکرر که غالباً در شهر انجام می‌شوند، نسبت به رانندگی نرم و یکنواخت که بیشتر در بزرگراه‌ها انجام می‌شوند، مصرف سوخت را تا چندین درصد افزایش می‌دهد. آموزش رفتار رانندگی اقتصادی، استفاده از سیستم‌های کمکی مانند کروز کنترل و آگاهی از تأثیر سرعت بالا بر مصرف سوخت، می‌تواند به شکل معناداری در بهبود بازدهی انرژی خودرو مؤثر باشد.

۵. تحلیل چرخه عمر و کاهش ردپای کربنی
با بررسی خودرو در چارچوب چرخه عمر، از مرحله استخراج مواد اولیه، ساخت، استفاده تا انتهای عمر مفید، مشخص شد که فاز استفاده بیشترین سهم را در تولید دی‌اکسید کربن دارد. به همین دلیل تمرکز بر کاهش مصرف سوخت در این مرحله می‌تواند منجر به کاهش چشمگیر انتشار کربن شود. در این پایان‌نامه، با جایگزینی بنزین معمولی با E10 و بهینه‌سازی پارامترهای مرتبط با استهلاک، رفتار رانندگی و کیفیت سوخت، کاهش حدود یک تن CO₂ در سال برای یک خودروی متوسط با موتور TU5P محاسبه شد.

جمع‌بندی نهایی
این تحقیق نشان داد که کاهش مصرف سوخت و بهبود بازدهی خودرو تنها با اصلاح یک عامل امکان‌پذیر نیست، بلکه نیازمند رویکردی جامع، هم‌افزایی بین طراحی مهندسی، رفتار کاربر و کیفیت نگهداری خودرو است. کیفیت سوخت، نوع و زمان تعویض روغن موتور، شرایط تایر، و الگوی رانندگی، همگی به عنوان حلقه‌های یک زنجیره، عملکرد نهایی سیستم محرکه و ردپای زیست‌محیطی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در پایان، پیشنهاد می‌شود که در راستای سیاست‌های کاهش آلاینده‌ها و بهینه‌سازی مصرف سوخت، اقدامات زیر در اولویت قرار گیرند:

- تدوین استانداردهای سخت‌گیرانه‌تر برای کیفیت سوخت و روانکارهای مصرفی
- آموزش رانندگی اقتصادی و پایدار به رانندگان
- پایش مداوم وضعیت فنی تایرها و اجزای موتور
- تدوین برنامه‌های نگهداری پیشگیرانه در ناوگان‌های حمل‌ونقل عمومی و خصوصی

مراجع

- [1] J. Lasocki, 'The WLTC vs NEDC: A case study on the impacts of driving cycle on engine performance and fuel consumption', *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, vol. 18, no. 3, p. 9071, 2021.
- [2] I. M. Berry, 'The effects of driving style and vehicle performance on the real-world fuel consumption of US light-duty vehicles', Massachusetts Institute of Technology, 2010.
- [3] K. Chen, F. Zhao, X. Liu, H. Hao, and Z. Liu, 'Impacts of the new worldwide light-duty test procedure on technology effectiveness and China's passenger vehicle fuel consumption regulations', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 18, no. 6, p. 3199, 2021.
- [4] M. Carrera-Rodríguez *et al.*, 'Monitoring of oil lubrication limits, fuel consumption, and excess CO₂ production on civilian vehicles in Mexico', *Energy*, vol. 257, p. 124765, 2022.
- [5] P. Carden *et al.*, 'The effect of low viscosity oil on the wear, friction and fuel consumption of a heavy duty truck engine', *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, vol. 6, no. 2, pp. 311–319, 2013.
- [6] A. A. Bhosale, K. Joshi, T. Karadkar, K. Mangidkar, and P. Mundhe, 'Analysis of lubricating oil deterioration in four-wheeler', *Applied Mechanics and Materials*, vol. 446, pp. 558–561, 2014.
- [7] V. Macián, B. Tormos, V. Bermúdez, and L. Ramírez, 'Assessment of the effect of low viscosity oils usage on a light duty diesel engine fuel consumption in stationary and transient conditions', *Tribology International*, vol. 79, pp. 132–139, 2014.
- [8] J. Blanco-Rodríguez, X. Simón-Montero, M. Cortada-García, S. Maroto, and P. Jacobo, 'Modelling the Impact of Reducing Lubricant Viscosity on a Conventional Passenger Car Fuel Economy and Wear Protection', *Results in Engineering*, p. 103159, 2024.
- [9] L. Wei *et al.*, 'Motor oil degradation during urban cycle road tests', *Friction*, vol. 9, pp. 1002–1011, 2021.
- [10] V. Macián, B. Tormos, S. Ruíz, and L. Ramírez, 'Potential of low viscosity oils to reduce CO₂ emissions and fuel consumption of urban buses fleets', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 39, pp. 76–88, 2015.
- [11] B. Tormos, L. Ramírez, J. Johansson, M. Björling, and R. Larsson, 'Fuel consumption and friction benefits of low viscosity engine oils for heavy duty applications', *Tribology International*, vol. 110, pp. 23–34, 2017.
- [12] R. I. Taylor and I. Sherrington, 'The Environmental and Economic Importance of Mixed and Boundary Lubrication', 2024.

- [13] J. W. Qiu, H. L. Wang, T. Tang, J. W. Hou, T. Fu, and F. X. Li, 'Experimental Analysis on the Lubrication Performance Decay of the Using Internal Combustion Engine Oil', *Advanced Materials Research*, vol. 773, pp. 289–292, 2013.
- [14] A. WolAk and G. ZAJač, 'The kinetics of changes in kinematic viscosity of engine oils under similar operating conditions', *Eksploatacja i Niezawodność*, vol. 19, no. 2, pp. 260–267, 2017.
- [15] G. Sikora and A. Miszczak, 'Viscosity in exploitation time analysis of the lubricating oil used in the combustion engine of the personal car', *Solid State Phenomena*, vol. 220, pp. 271–276, 2015.
- [16] A. Adibah, O. Inayatullah, M. S. Ujila, A. A. Nuraini, S. B. Barkawi, and N. Jamaludin, 'Single-Grade Engine Lubricant: Introduce Viscosity Index Numerical Order (VI_{no})', *Applied Mechanics and Materials*, vol. 564, pp. 83–88, 2014.
- [17] D. K. W. Leong, P. J. Shayler, I. G. Pegg, and M. Murphy, 'Characterizing the effect of viscosity on friction in the piston assembly of internal combustion engines', *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, vol. 221, no. 4, pp. 469–478, 2007.
- [18] O. L. Maitre, M. Süssner, and C. Zarak, 'Evaluation of tire wear performance', *Society of Automotive Engineers, Tech. Rep. SAE*, vol. 980256, 1998.
- [19] H. Huang, Y. Chiu, C. Wang, and X. Jin, 'Three-dimensional global pattern prediction for tyre tread wear', *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of automobile engineering*, vol. 229, no. 2, pp. 197–213, 2015.
- [20] J. Meech and J. Parreira, 'Predicting wear and temperature of autonomous haulage truck tires', *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 46, no. 16, pp. 142–147, 2013.
- [21] H. Lupker, F. Cheli, F. Braghin, E. Gelosa, and A. Keckman, 'Numerical prediction of car tire wear', *Tire Science and Technology*, vol. 32, no. 3, pp. 164–186, 2004.
- [22] F. Braghin, F. Cheli, S. Melzi, and F. Resta, 'Tyre wear model: validation and sensitivity analysis', *Meccanica*, vol. 41, pp. 143–156, 2006.
- [23] V. Yanchevskiy and E. Yanchevskaya, 'Mathematical model of tire life calculation in real conditions', *Applied Mechanics and Materials*, vol. 838, pp. 78–84, 2016.
- [24] 'رضا خاکی ۱۳۹۸ ، بررسی اثر فرسودگی پارامترهای کلیدی سیستم انتقال قدرت خودرو بر روی مصرف سوخت خودرو منتخب.'
- [25] J. Barrand and J. Bokar, 'Reducing tire rolling resistance to save fuel and lower emissions', *SAE International Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems*, vol. 1, no. 2008-01-0154, pp. 9–17, 2008.

[26] ا. سرابی, م. اللهیاری, ح. داغ برصی, 'تأثیر کیفیت سوخت بر میزان مصرف و روشهای بهبود', *اولین همایش ملی راهکارهای نوین تامین، نگهداشت، انتقال و توزیع فرآورده های نفتی*, [Online]. Available: <https://civilica.com/doc/81332۱۳۸۸>.

[27] R. Stradling, J. Williams, H. Hamje, and D. Rickeard, 'Effect of Octane on Performance, Energy Consumption and Emissions of Two Euro 4 Passenger Cars', *Transportation Research Procedia*, vol. 14, pp. 3159–3168, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.256>.

[28] J. Rodríguez-Fernández, Á. Ramos, J. Barba, D. Cárdenas, and J. Delgado, 'Improving fuel economy and engine performance through gasoline fuel octane rating', *Energies*, vol. 13, no. 13, p. 3499, 2020.

[29] P. H. Truyen, P. H. Tuyen, P. M. Tuan, and L. A. Tuan, 'INFLUENCE OF E10, E15 AND E20 FUELS ON PERFORMANCE AND EMISSIONS OF IN-USE GASOLINE PASSENGER CARS OF E10, E15 AND E20 FUELS ON PERFORMANCE AND EMISSIONS OF IN-USE GASOLINE PASSENGER CARS', *ASEAN Engineering Journal*, vol. 4, no. 2, pp. 33–40, 2015.

[30] T. Le Anh, D.-K. Nguyen, P. minh tuan, and H. Pham, 'Investigation of motorcycle engine's characteristics fueled with ethanol-gasoline blends', Oct. 2011.

[31] R. Feizi, H. Yousefi, M. Abdoos, and F. R. Astarai, 'Technical and environmental assessment of biofuel utilization in light and heavy vehicles: implications for carbon footprint reduction on high-traffic freeway', *Future Sustainability*, vol. 3, no. 2, pp. 1–7, 2025.

Abstract:

With the rapid growth of the global population and industrial development, energy consumption has significantly increased, especially in developing countries. This rise has led to a notable increase in greenhouse gas emissions, with carbon dioxide being a major contributor. Fossil fuels remain the primary source of global energy, making the reduction of carbon emissions a critical challenge.

This study investigates the impact of fuel quality, engine oil degradation, and tire wear on vehicle fuel consumption and the overall carbon footprint throughout the vehicle life cycle. Standard driving cycles including WLTC, NEDC, and ARTEMIS were analyzed to assess variations in driving behavior, fuel consumption, and emissions.

Simulation results highlight that driving behavior has a direct and significant influence on fuel usage, and improvements in fuel quality, such as replacing conventional gasoline with E10 fuel (10% ethanol), can lead to substantial reductions in CO₂ emissions over the vehicle's lifespan. Additionally, the effects of tire and engine oil wear on increased fuel consumption were examined, emphasizing the importance of maintenance and fuel standards for achieving better vehicle efficiency and reducing environmental impact.

Keywords: Fuel quality, Engine oil degradation, Tire wear, Driving behavior, Fuel consumption, Carbon footprint, Vehicle life cycle



IU | ST

**Iran University of Science and Technology
Automotive Engineering Department**

Behavior analysis of specific vehicle based on LCA

By:

Mahyar Mohammadzade Ghassab

Supervisor:

Dr.Amirhassan Kakaee

April 2025