



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی



## ارزیابی زیست محیطی روانکارهای خودرو با رویکرد چرخه حیات

ناهید درستکار احمدی<sup>۱</sup>، محسن شفیعی نیک آبادی<sup>۱\*</sup>، سامان بابایی کفاکی<sup>۲</sup>

۱- گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اداری، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۲- گروه ریاضی، دانشکده ریاضی، آمار و علوم کامپیوتر، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

### چکیده

**زمینه و هدف:** امروزه آلاینده‌های مرتبط با پالایشگاه‌ها و محصولات وابسته به نفت نگرانی‌های زیادی را در رابطه با محیط زیست به وجود آورده اند. در این بین سهم روانکارهای خودرو به‌عنوان یکی از محصولات وابسته به نفت در رابطه با مسائل زیست‌محیطی، آلودگی‌های مضر بشر و تشدید گرمایش جهانی غیرقابل اغماض است. اخیراً روش ارزیابی چرخه حیات به‌عنوان ابزاری سودمند جهت یافتن راه‌حلهایی برای مشکلات زیست محیطی ارائه شده است. هدف از این پژوهش، بررسی و مقایسه اثرات زیست محیطی روانکارهای خودرو و مواد تشکیل‌دهنده آن (روغن پایه و مواد افزودنی) و در نهایت شناسایی مواد آلاینده جهت جایگزینی آن با مواد دوستدار محیط زیست است.

**روش بررسی:** در این مطالعه ابتدا مرز سیستم مشخص گردید و سپس مراحل ارزیابی چرخه حیات برای روانکارهای خودرو پیگیری شد. نهایتاً نتایج در نرم افزار SimaPro براساس شاخص‌های روش Eco Indicator 95 ارائه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج پژوهش نشان داد علی‌رغم این‌که مواد افزودنی تقریباً ۲۰ درصد روانکارها را تشکیل داده‌اند، اما بیش از ۸۰ درصد آلاینده‌های زیست‌محیطی به آنها مربوط می‌شود. این مواد تأثیر چشمگیری در انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی دارند به طوری که ۹۱ درصد از انتشارات CO<sub>2</sub> (۷/۸۱ kg) مربوط به روانکارهای خودرو ناشی از مواد افزودنی است. همچنین این مواد باعث انتشار ۰/۰۹۱۳ kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> و ۰/۰۳۶۸ kg SPM شده و در نتیجه از عوامل مؤثر در تشکیل غلظت‌های تابستانی و زمستانی هستند. همچنین، روانکارهای خودرو باعث ورود فلزات سنگین (۳/۹۵×۱۰<sup>-۵</sup> kg Pb) به آب و انتشار مواد سرطان‌زا (۴/۲۲×۱۰<sup>-۶</sup> kg B(a)P) می‌شوند که روغن‌های پایه درصد بسیار کمی از ورود این مواد را به خود اختصاص داده است.

**نتیجه‌گیری:** مهم‌ترین عامل آلاینده‌ی زیست محیطی روغن‌های روانکار خودرو، مواد افزودنی به آن تعیین گردید. با توجه به اینکه درصد آلاینده‌ی هر یک از مواد افزودنی به روانکارها به ترتیب شامل مواد ضد زنگ (۴۰ درصد)، مواد ضد سایش (۲۳ درصد)، پاک‌کننده‌ها (۲۰ درصد) و اصلاح‌کننده‌های چسبندگی (۱۷ درصد) است، شرکت می‌بایست به دنبال تغییر مواد ضد زنگ و جایگزینی آن با آنتی‌اکسیدان‌هایی با آلاینده‌ی زیست‌محیطی پایین‌تر در چرخه تولید محصولات روانکار خود باشد.

### اطلاعات مقاله:

۹۷/۰۷/۱۵

تاریخ دریافت:

۹۷/۱۰/۰۵

تاریخ ویرایش:

۹۷/۱۰/۱۲

تاریخ پذیرش:

۹۷/۱۲/۲۱

تاریخ انتشار:

**واژگان کلیدی:** ارزیابی چرخه حیات،

روانکارهای خودرو، مواد افزودنی، نرم افزار  
سیما پرو

**پست الکترونیکی نویسنده مسئول:**

shafiei@semnan.ac.ir

## مقدمه

امروزه محدودیت‌های منابع طبیعی از یک سو و جاه‌طلبی‌های بشر از سوی دیگر، اکوسیستم جهانی را با بحران‌های جدیدی روبرو ساخته است (۱). به طوری که توسعه جمعیت جهانی و افزایش آلودگی‌های مرتبط با آن و همچنین گسترش فعالیت‌های اقتصادی و استفاده بیش از حد مجاز از ظرفیت اکوسیستم و قطع درختان جنگلی توسط بشر مشکلاتی از قبیل گرمایش جهانی، باران‌های اسیدی، تغییرات آب و هوا، ذوب شدن یخچال‌های طبیعی، تقلیل لایه ازن، کاهش منابع غیرقابل تجدید و آلودگی آب را به همراه داشته است (۲، ۳). در عین حال، مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی و نفتی، پیشرفت تکنولوژی، رها کردن زباله‌های صنعتی و خانگی و استفاده از مصنوعات بشری از جمله وسایل نقلیه منجر به تخریب و نابودی روزافزون محیط زیست شده است (۴). بنابراین درک چرایی و چگونگی به وجود آمدن این آلودگی‌ها و استفاده از نتایج آن برای ایجاد سیستم‌های اقتصادی و اجتماعی پاک، به یک الزام برای تمامی سازمان‌ها و افراد در سالیان اخیر تبدیل شده است (۵).

این در حالی است که در گذشته صنایع تنها ملزم به پاسخگویی به مسائلی از جمله تقاضای مشتریان در حوزه کیفیت، قیمت و تنوع محصولات بودند، اما امروزه توجه به اثرات زیست محیطی و مصرف انرژی در تولید محصولات به یک الزام اجتماعی تبدیل شده است (۲). در حقیقت، افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان در مورد مسائل زیست محیطی باعث شده است که علاقه آنان به مصرف محصولات با نشان سبز بالا رود، و در پی آن تولیدکنندگان در راستای دستیابی به پایداری محیطی، ناگزیر به تولید محصولات دوستدار محیط زیست باشند (۴). بر این اساس در سالیان اخیر تولیدکنندگان تلاش خود را بر ارزیابی اثرات زیست محیطی محصولات متمرکز ساخته و مطالعات گسترده‌ای برای ارائه محصولات سبز در واحدهای تحقیق و توسعه بنانهاده‌اند (۳).

در این راستا، یکی از ابزارهای مطالعه اثر محصول بر روی محیط، ارزیابی چرخه عمر محصول (LCA) است (۶). LCA

دید گسترده‌ای در مورد موضوعات محیطی ارائه می‌دهد (۷، ۸) و کمک شایانی به صنایع و شرکت‌ها در راستای تعیین جایگزین‌های مختلف و گرفتن تصمیم درست برای انتخاب محصولات دوستدار محیط زیست می‌نماید (۹). در عین حال یکی از مهمترین صنایع که نقش بسزایی در ایجاد آلاینده‌ها از جمله دی اکسید کربن و منوکسید کربن در محیط دارا است، صنعت پتروشیمی است (۱۰). انتشارات ناشی از سوزاندن مستقیم سوخت‌های فسیلی در فرایند تولید و مصرف بنزین و نفت به یکی از مهمترین مسائل در حوزه محیط زیست تبدیل شده است (۵). از این رو در یک دهه گذشته، بررسی اثرات محیطی محصولات پتروشیمی از جمله روانکارها بیش از گذشته در کانون توجه سازمان‌های حفاظت از محیط زیست قرار گرفته و باعث شده است تا شرکت‌های نفت سرمایه‌گذاری بیشتری را بر روی فناوری‌های پاک و ارائه محصولات دوستدار محیط زیست انجام دهند (۶).

به طور کلی روانکارها یکی از مهمترین محصولات ارائه شده در صنایع پالایش نفت هستند (۶) که نقش قابل توجهی در کاهش اصطکاک، کاهش ساییدگی و جلوگیری از دمای بیش از حد در قطعات محرکه موتور دارد (۱۱، ۱۲). در فرمولاسیون روانکارها علاوه بر روغن پایه که از تصفیه نفت خام حاصل می‌شود، از تعدادی مواد افزودنی از جمله پاک‌کننده‌ها (اسید آلکیل بنزن سولفات)، اصلاح‌کننده چسبندگی روغن (اولفین‌ها)، آنتی‌اکسیدان‌ها (فنول‌ها) و مواد ضدسایش (فسفر کلرید) برای افزایش و بهبود عملکرد روانکارها استفاده می‌شود (۱۳). همان‌گونه که در بالا اشاره گردید، در راستای ارزیابی اثرات زیست محیطی در حوزه پالایش و تصفیه روغن و نفت خام تحقیقات متفاوتی در دو دهه گذشته انجام شده است که می‌توان به پژوهش McManus و همکاران اشاره نمود که به ارزیابی چرخه عمر روغن‌های معدنی و روغن گیاه کلزا در سیستم‌های هیدرولیک پرداختند (۱۴). Bahmanni نیز در پژوهش خود به ارزیابی چرخه عمر کارخانه گاز طبیعی سارخون پرداخته است (۱۵). در عین حال Cuevas در پژوهش خود به ارزیابی مقایسه چرخه عمر روانکارهای معدنی و روانکارهای زیستی پرداخته

درصد تغییرات آب و هوایی مربوط به مواد افزودنی موجود در روانکارها است (۶). Boroon در پژوهش خود به ارزیابی زیست محیطی فرایند مدیریت پسماند با استفاده از LCA در منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی پرداخت. نتایج پژوهش وی نشان داد که بار زیست محیطی بخش انتقال پسماند بیشترین اثر را بر روی طبقه آسیب سلامت انسان و طبقه انرژی غیرقابل تجدید داشته است (۱۸). Korepaz در پژوهش خود به ارزیابی فنی و زیست محیطی مصرف روغن موتور تراکتورهای کشاورزی پرداخت. وی در پژوهش خود نشان داد که روغن موتور تراکتور منجر به ایجاد مسمومیت‌های انسانی، آبی و مسمومیت در خاک می‌شود (۱۹).

نگاهی کوتاه به پیشینه‌های نظری ارائه شده در بالا، نوآوری پژوهش پیش‌رو را در دو حوزه روشن می‌سازد. اول، علیرغم اینکه سابقه استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات روانکارها و روغن‌های پایه در جهان به بیش از سه دهه قبل برمی‌گردد، با این حال در ایران مزایای استفاده از این روش آن‌طور که باید شناخته شده نیست و از این روش به دلیل محدودیت در زمینه دسترسی به حجم وسیعی از اطلاعات و داده‌های مورد نیاز، کمتر در حل مسائل واقعی استفاده شده است. دوم، ارزیابی چرخه حیات مواد افزودنی جهت عملکرد بهتر روانکارها، زیرا همان‌طور که در پژوهش‌های پیشین مشاهده می‌شود در ارزیابی اثرات زیست محیطی روانکارها، اثرات مربوط به مواد افزودنی به دلیل میزان درصد پایین در روانکارها نادیده گرفته شده و فقط به بررسی اثرات زیست محیطی مربوط به پالایش و تصفیه نفت پرداخته شده است. درحالی که ممکن است علی‌رغم میزان درصد بسیار کم مواد افزودنی در تشکیل روانکارها، درصد آلاینده‌های آنان بسیار بالا باشد.

بنابراین از آنجا که محصولات نفتی از جمله روانکارهای خودرو باعث ورود مقدار زیادی دی‌اکسید کربن، منوکسید کربن، دی‌اکسید سولفور، اکسیدهای نیتروژن، سرب و سایر مواد خطرناک به جو می‌شود و مشکلات جبران‌ناپذیری را برای سلامت انسان و طبیعت به همراه دارند و باعث کاهش کیفیت هوا، کاهش کیفیت آب و افزایش باران‌های اسیدی می‌شوند.

است. نتایج ارزیابی چرخه عمر وی نشان داد که روانکارهای معدنی نقش پررنگی در افزایش گرمای جهانی و تقلیل لایه ازن داشته است. در حالی که روانکارهای کلزا مهمترین عامل در دسته‌های اثر سرطان‌زا، (با اثرات تنفسی و بخارهای شیمیایی) در مقایسه با روانکارهای معدنی هستند (۱۱). Raimondi و همکاران نیز در پژوهش خود به ارزیابی چرخه عمر روانکارهای مبتنی بر نفت پرداختند. نتایج تحقیق آنها حاکی از آن بود که روغن‌های پایه مبتنی بر روانکارهای ترکیبی، اثرات زیستی بزرگتری در مقایسه با روغن‌های پایه معدنی سنتی دارا بودند (۱۶). همچنین Figueiredo و همکاران در پژوهش خود به تحلیل سیاهه چرخه عمر روغن‌های پایه برای تولید روانکارهای اتومبیل پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که روغن‌های بازیافت شده جهت روانکاری نسبت به روغن‌های پایه، اثرات زیست محیطی کمتری دارند ولی در رابطه با افزایش گرمای جهانی دارای نقش پررنگ‌تری بودند. با این حال این پژوهش نشان داد که بازیافت روغن‌های استفاده شده جهت روانکاری اتومبیل از نظر اقتصادی و محیطی مزیت‌های بیشتری به دنبال دارد (۱۰). Boonet و همکار نیز در پژوهش خود به ارزیابی اثرات زیست محیطی و مزایای روغن موتور از دید چرخه عمر پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که اثرات زیست محیطی روغن موتور در طول ۲۰ سال گذشته به دلیل مدیریت صحیح ضایعات روانکارها، کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و استفاده بهتر و مفیدتر از روانکارها کاهش یافته است (۱۷). از سوی دیگر Botas و همکاران نیز در پژوهش خود به ارزیابی چرخه عمر روغن‌های روانکار استفاده شده بازیافتی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که کل فرایند حدود ۳۶۳ kg دی‌اکسید کربن تولید می‌کند و ۶۱۴۴ MJ انرژی مصرف می‌نماید. نتایج مقایسه‌ای نیز نشان داد که روغن‌های موتور بازیافتی در مقابل با سایر روغن‌های موتور اثرات زیست محیطی کمتری به دنبال داشته‌اند (۱). Girotti و همکاران در پژوهش خود به ارزیابی چرخه حیات (Life Cycle Assessment (LCA)) روانکارهای مبتنی بر نفت پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که بیش از ۵۰ درصد نقصان فلزات و ۳۰

### ارزیابی چرخه حیات (LCA)

مطالعه ارزیابی چرخه حیات حاضر براساس استاندارد ISO14040 توسعه داده شده است. براساس این استاندارد روند ارزیابی چرخه زندگی از چهار مرحله تشکیل شده است: تعیین هدف و دامنه، تحلیل سیاهه چرخه زندگی (تعیین ورودی‌ها و خروجی‌ها یا انتشار آلاینده‌ها)، ارزیابی اثرات چرخه زندگی و تفسیر نتایج (۲۰).

#### مرحله اول: تعیین هدف و دامنه

در مرحله تعیین هدف و دامنه، چهار چوب کلی مطالعه، شامل نتایج حاصل از پژوهش، توصیف واحد عملکردی، سامانه تولید و مرزهای آن، تخصیص منابع و انتخاب بخش‌های اثر مشخص می‌شود. انتخاب مرز سامانه به دلیل اینکه تاثیر زیادی بر روی نتایج حاصل از ارزیابی چرخه زندگی می‌گذارد، از جمله اقدامات بسیار مهم و ضروری در این مرحله است (۲۰). در این مطالعه تمامی مراحل زنجیره تولید روغن روانکار خودرو شرکت مورد مطالعه از استخراج مواد خام، پردازش و ساخت، مصرف روانکارها در دوره عمر مفید آن و بازگشت جهت بازیافت و یا انهدام ترسیم شده است. مرز سیستم در این پژوهش مربوط به مراحل پردازش و ساخت روغن‌های روانکار بوده که شامل جریان‌های ورودی و خروجی به هر یک از این فرایندها است که در شکل ۱ نشان داده شده است. جریان‌های ورودی شامل مواد خام و انرژی مصرفی و جریان خروجی شامل انتشارات ناشی از فرایند است. اطلاعات مربوط به این مرحله در جدول ۱ نشان داده شده است.

#### مرحله دوم: تحلیل سیاهه چرخه زندگی

در این مرحله تمام منابع استفاده شده و انتشار آلاینده‌ها در کل یا بخشی از دوره زندگی محصول یا فرایند که با توجه به واحد عملکردی و مرز سامانه تعیین می‌شوند، در نظر گرفته می‌شود. به عبارت دیگر سیاهه چرخه زندگی شامل جمع‌آوری و سازماندهی داده‌های ورودی و خروجی به منظور برآورد اهداف از پیش تعیین شده مطالعه است (۲۱). در این مطالعه میزان مصرف مواد اولیه از جمله نفت خام و همچنین مواد شیمیایی موردنیاز جهت افزودنی‌ها و میزان انرژی مصرفی به عنوان

لزوم بکارگیری روشی جهت تعیین میزان اثرات زیست محیطی این محصول در بخش‌های مختلف را آشکار می‌سازد. برآورد و تعیین میزان آلاینده‌گی روغن‌های پایه و مواد افزودنی تشکیل‌دهنده روانکارهای خودرو، می‌تواند توجه بیشتر برای کم کردن میزان مصرف این مواد و تلاش برای جایگزین کردن با موادی که دارای اثرات زیست محیطی کمتری دارند و آسیب کمتری به سلامت انسان، حیوانات و طبیعت وارد می‌کنند را به همراه داشته باشد.

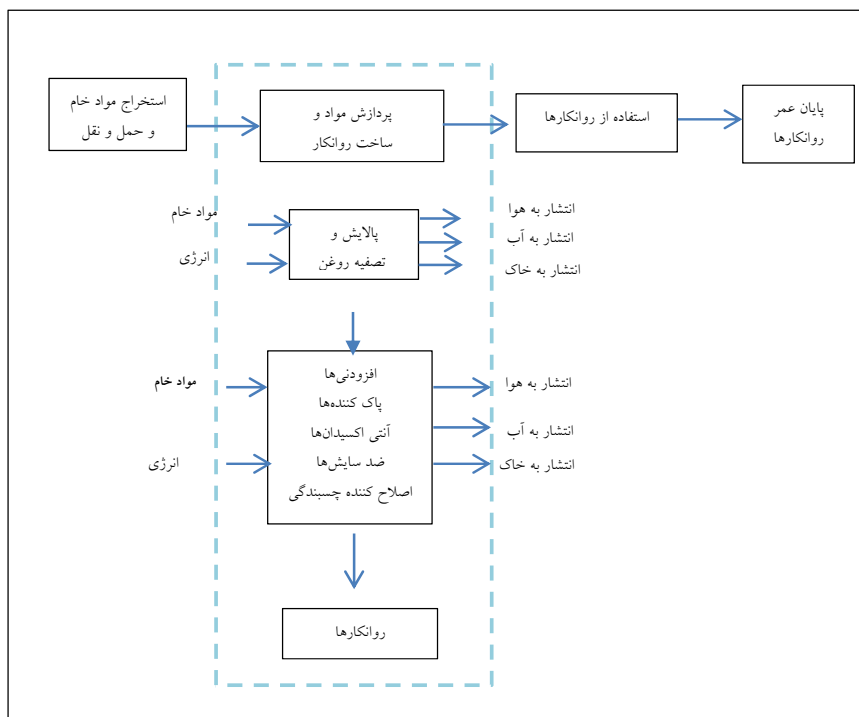
این پژوهش در راستای بررسی میزان آلاینده‌های تولیدی ناشی از مصرف روانکارهای خودرو انجام شده است. هدف از این پژوهش، ابتدا سیاهه‌برداری از چرخه زندگی مواد تشکیل‌دهنده روانکارهای خودرو شامل روغن‌های پایه و مواد افزودنی به آن و سپس مقایسه اثرات زیست محیطی آنها است. بکارگیری چنین مطالعاتی فرصتی را فراهم می‌کند تا مدیران شرکت مورد مطالعه در راستای توسعه پایدار محیط زیست، سعی در کاهش و جایگزینی آن دسته از موادی که دارای آلاینده‌گی بالایی هستند، داشته باشند.

#### مواد و روش‌ها

در این پژوهش، جامعه مورد مطالعه شرکت های نفتی تولیدکننده روانکارهای خودرو هستند و نمونه مورد مطالعه یکی از شرکتهای نفتی تولیدکننده و عرضه‌کننده روانکارها و فرآورده‌های نفتی و غیرنفتی، سیالات خنک‌کننده است. جهت تولید هر کیلوگرم از روانکارهای خودرو، روغن‌های پایه از پالایشگاه به شرکت حمل شده و درصدی از مواد افزودنی (شامل آنتی‌اکسیدان‌ها، پاک‌کننده‌ها، اصلاح‌کننده چسبندگی روغن و مواد ضد سایش) به آن اضافه می‌گردد. جهت ارزیابی شاخص‌های زیست محیطی روانکارهای خودرو از روش ارزیابی چرخه حیات استفاده شده است که در ادامه به تشریح آن پرداخته شده است. داده‌های مربوط به ورودی و خروجی‌ها از پایگاه‌های داده استاندارد (Ecoinvent Data based) در نرم افزار ارزیابی چرخه حیات SimaPro 8.3.0 و همچنین شرکت مورد مطالعه جمع‌آوری شده است.

و تولید روغن‌های روانکار در شرکت نفت مورد مطالعه وجود ندارد.

داده‌های ورودی و میزان انتشارات آلاینده‌ها به آب، خاک و هوا به‌عنوان جریان خروجی در نظر گرفته شده است. در این مطالعه فرض شده است که بعد مسافتی میان مراحل پردازش



شکل ۱- مرز سیستم شرکت نفت مورد مطالعه

جدول ۱- خلاصه مراحل چرخه حیات شرکت نفت مورد مطالعه

ویژگی‌های LCA	موارد استفاده شده در این پژوهش
واحد عملکردی	۱ kg از روانکار
منابع داده	اطلاعات شرکت نفت مورد مطالعه Bousted model (2005), Ecoinvent (2007) پایگاه‌های داده استاندارد
مرز سامانه	روغن‌های پایه از تصفیه نفت خام تا مصرف در روانکارها مواد افزودنی از تولید تا مصرف در روانکارها
روش ارزیابی	Eco Indicator 95
اثرات محیطی در نظر گرفته شده	اثرات گازهای گلخانه‌ای، لایه ازن، اسیدی شدن، اختناق دریاچه‌ای، فلزات سنگین، مواد سرطان‌زا، مواد کشنده، غلظت (مه) تابستانی، غلظت (مه) زمستانی، منابع انرژی، ضایعات جامد

## مرحله سوم: ارزیابی اثرات چرخه زندگی

در این مرحله اثرات بالقوه ناشی از مصرف منابع محیطی و تولید آلاینده‌ها بر انسان و طبیعت ارزیابی می‌گردد. در واقع هدف از ارزیابی اثر چرخه زندگی تفسیر بیشتر داده‌های سیاهه چرخه زندگی است (۲۱). براساس دستورالعمل ISO 14042، ارزیابی اثرات چرخه زندگی از چهار مرحله تشکیل شده است: انتخاب دسته اثر و طبقه‌بندی، ویژگی سازی، نرمال سازی و وزن دهی. مرحله نرمال سازی و وزن دهی جهت یکسان سازی واحدها با این هدف انجام می‌گیرد که عموماً در یک مطالعه ارزیابی چرخه حیات، هر یک از بخش‌های اثر، دارای واحد

اندازه‌گیری متفاوتی هستند، برای همین منظور معمولاً از روش نرمال سازی استفاده می‌شود. نرمال سازی بخش‌های اثر، واحدهای اندازه‌گیری این بخش‌ها را یکسان می‌سازد و در نتیجه مقایسه بین آنها و کاربردشان به‌عنوان مقادیر هم واحد راحت‌تر می‌شود. در این مطالعه جهت ارزیابی اثرات زیست محیطی در مرحله سوم، از روش Eco Indicator 95 استفاده شده است. مرور منابع نشان داده است که اغلب این روش در ارزیابی چرخه زندگی نفت خام و روغن‌های پایه مورد استفاده قرار گرفته است (۱۲، ۱۴). شاخص‌های مورد استفاده در جدول ۲ شرح داده شده است.

جدول ۲- بخش‌های اثر، واحد اندازه‌گیری و تعریف آن

بخش‌های اثر	واحد اندازه‌گیری	تعریف
greenhouse	kg CO <sub>2</sub>	سهم گازهای گلخانه‌ای منتشر شده از سامانه‌های تولیدی که سبب ایجاد آلودگی زیست محیطی می‌شوند را بیان می‌کند.
Ozone Layer	kg CFC-11	باعث رسیدن بخش بزرگ‌تری از اشعه ماوراء بنفش به سطح زمین می‌شوند. که اثرات بالقوه مضر بر سلامت انسان، سلامت حیوانات، اکو سامانه‌های زمینی و آبی، چرخه‌های بیوشیمیایی و مواد می‌گذارد.
Acidification	kg SO <sub>2</sub>	تاثیر بسیار گسترده‌ای روی خاک، آب‌های سطحی و زیرزمینی، آرگانیسم‌ها و مواد دارد.
Eutrophication	kg PO <sub>4</sub>	واکنش اکو سامانه به افزایش مواد طبیعی یا مصنوعی مانند نیترات و فسفر است که به واسطه کودهای شیمیایی و یا پساب فاضلاب‌ها به محیط اضافه می‌شود.
Heavy Metal	kg Pb	فلزات سنگین عموماً شامل عناصری با وزن و چگالی بالا تقریباً ۵ برابر بیشتر از آب هستند. این عناصر به دلیل وجود موادی از جمله سرب، کادمیوم، آرسنیک و رادیوم منجر به آسیب به سلامت انسان می‌شوند.
Carcinogens	kg B(a)P	هر ماده و انتشاری که منجر به سرطان می‌شود. بعضی از مواد سرطانی اثر مستقیمی بر روی DNA ندارند اما منجر به سرطان می‌شود.
Pesticides	kg act.subst	تاثیر بسیاری بر به وجود آمدن مشکلات بیولوژیکی در خاک و نمو گیاهی و آلودگی‌های آب‌های زیرزمینی دارد.
Summer smog	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	این نوع از آلودگی منجر به افزایش غلظت لایه ازن شده و اثرات منفی بر روی سلامت انسان، ساختمان‌ها، مواد و جو دارد.
Winter Smog	kg SPM	این نوع از آلودگی منجر به آسیب سلامت انسانی، ایجاد سرطان‌های ریه، مشکلات بینایی و ... می‌شود.
Solid Waste	kg	ضایعات جامد به معنی هرگونه فضولات، آشغال و لجن و مراکز کنترل آلودگی هوا هستند که شامل مواد جامد، مایع و یا نیمه جامد هستند.

### مرحله چهارم: تفسیر نتایج

در این مرحله نتایج مراحل صورت‌برداری و ارزیابی اثرات مورد ارزشیابی قرار می‌گیرد تا مراحل یا نقاطی که در مسیر تولید و مصرف محصول بیشترین و کمترین اثر سوء برای محیط زیست را داشته‌اند، مشخص گردند و در نهایت راهکارهای اجرایی ارائه گردند (۲۰). در مرحله تفسیر داده‌ها، نتایج مراحل صورت‌برداری و ارزیابی اثرات مورد ارزشیابی قرار گرفته است. در این راستا جهت ارزیابی اثرات چرخه عمر سامانه تحت مطالعه، داده‌های به‌دست آمده از مرحله سیاهه چرخه زندگی وارد نرم افزار SimaPro V.8.3.0 شده است. این نرم افزار یکی از پرکاربردترین و محبوب‌ترین نرم‌افزارهای ارزیابی چرخه زندگی است (۳، ۲۰).

### یافته‌ها

#### - ارزیابی چرخه حیات روانکارهای خودرو

از آنجا که روانکارهای خودرو ترکیبی از روغن پایه و مواد افزودنی به آن شامل مواد ضدزنگ، مواد ضدسایش، پاک‌کننده‌ها و اصلاح‌کننده‌های چسبندگی هستند، بررسی اثرات

زیست محیطی آن و میزان تاثیر آلاینده‌گی آن بر محیط زیست نتیجه محاسبه بارهای زیست محیطی هر یک از مواد تشکیل دهنده آن است.

- تعیین میزان انتشار آلاینده‌های زیست محیطی روغن پایه - جدول ۳ میزان انتشار آلاینده‌های زیستی به‌دست آمده از ارزیابی اثرات چرخه حیات روغن پایه بر مبنای شاخص‌های روش Ecoindicator 95 را نشان می‌دهد. براساس جدول ۳، روغن پایه موجود در روانکارهای خودرو باعث  $0.715 \text{ kg}$  انتشار گاز دی اکسید کربن می‌شود. سایر انتشارات مربوط به روغن پایه و واحد اندازه‌گیری آن در هر بخش اثر در جدول ۳ قابل مشاهده است.

مقادیر نرمال شده هر کدام از بخش‌های اثر مربوط به روغن پایه در نمودار ۱ نشان داده شده است. مطابق شکل، مصرف منابع انرژی تجدید ناپذیر، مه تابستانی، گازهای گلخانه‌ای، اسیدی سازی، اختناق دریاچه‌ای، فلزات سنگین، مواد سرطان‌زا، غلظت زمستانی و تقلیل لایه ازن به ترتیب دارای بیشترین سهم در افزایش بار زیست محیطی روغن پایه هستند.

جدول ۳- میزان انتشار آلاینده‌های روغن پایه

بخش‌های اثر	واحد	روغن پایه
اثرات گازهای گلخانه‌ای	kg CO <sub>2</sub>	۰/۷۱۵
لایه ازن	kg CFC11	$1/12 \times 10^{-9}$
اسیدی شدن	kg PO <sub>4</sub>	۰/۰۰۲۸۷
اختناق دریاچه‌ای	kg Pb	۰/۰۰۰۵۰۷
فلزات سنگین	kg B(a)P	$6/47 \times 10^{-7}$
مواد سرطان‌زا	kg act.subst	$5/53 \times 10^{-8}$
مواد کشنده	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	$4/92 \times 10^{-16}$
غلظت (مه) تابستانی	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	۰/۰۰۱۲۴
غلظت (مه) زمستانی	kg SPM	۰/۰۰۰۳۳۴
منابع انرژی	MJ LHV	۵۲
ضایعات جامد	kg	۰/۰۰۵۳۶

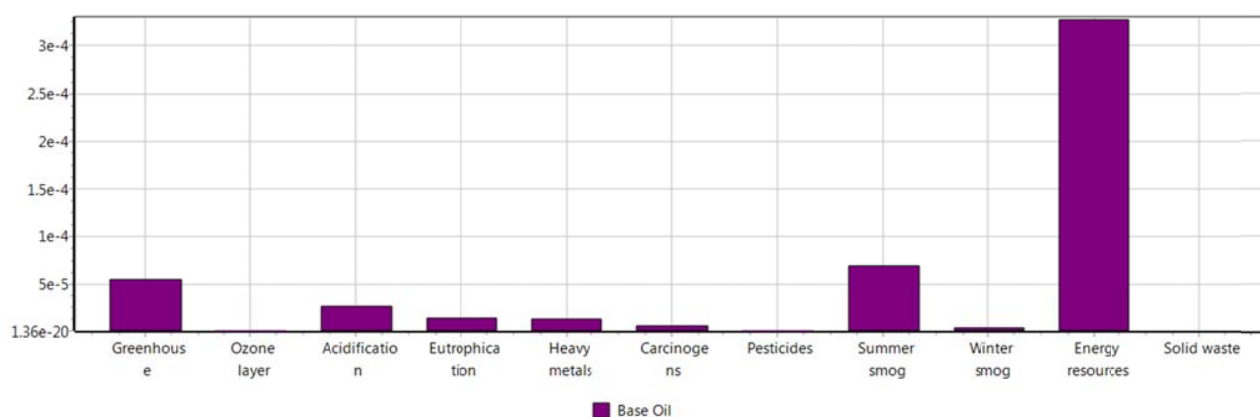
### - تعیین میزان انتشار آلاینده‌های زیست محیطی مواد افزودنی

جدول ۴ میزان انتشارات زیست محیطی مربوط به مواد افزودنی را نشان می‌دهد. براساس جدول ۴ مواد افزودنی موجود در روانکارها باعث انتشار ۷/۸۱ kg گاز دی اکسید کربن می‌شود. سایر انتشارات مربوط به مواد افزودنی و واحد اندازه‌گیری آن در هر بخش اثر در جدول ۴ قابل مشاهده است.

مقادیر نرمال شده هر کدام از بخش‌های اثر مربوط به مواد افزودنی در نمودار ۲ نشان داده شده است. مطابق شکل، مصرف منابع انرژی تجدید ناپذیر، فلزات سنگین، گازهای گلخانه‌ای، مه تابستانی، مه زمستانی، مواد سرطان‌زا، اسیدی سازی و اختناق دریاچه‌ای به ترتیب دارای بیشترین سهم در افزایش بار زیست محیطی مواد افزودنی هستند.

### - مقایسه اثرات زیست محیطی چرخه حیات مواد تشکیل دهنده روانکارهای خودرو

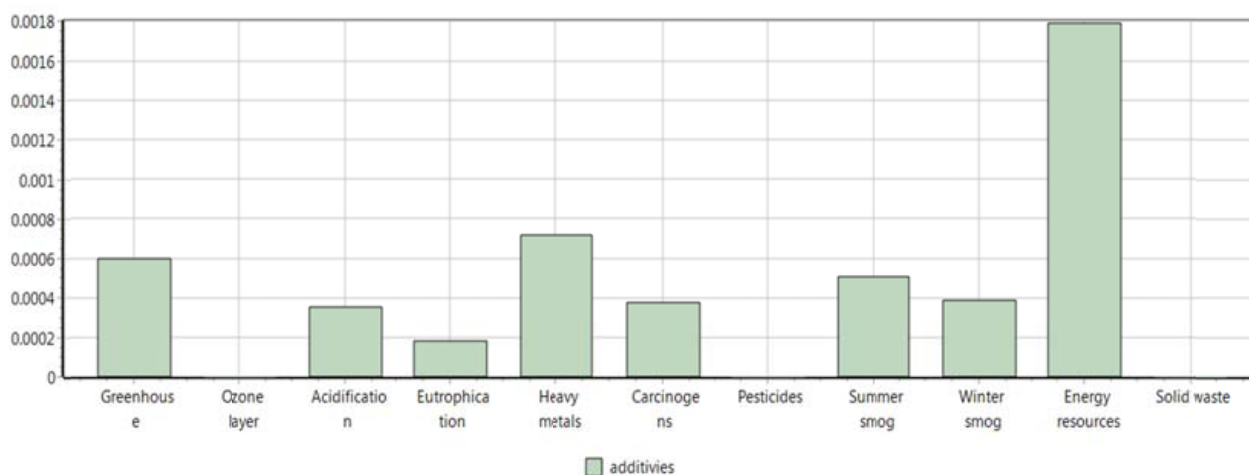
همان‌طور که قبلاً گفته شد، روانکارهای خودرو ترکیبی از روغن پایه و مواد افزودنی هستند. بر مبنای اطلاعات مربوط به مرز سامانه و همچنین داده‌های جمع‌آوری شده در سیاهه چرخه حیات، چرخه حیات روانکارها مورد ارزیابی قرار گرفت و بر مبنای مواد تشکیل‌دهنده آن، میزان انتشارات زیست محیطی آن مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. جدول ۵ میزان انتشارات مربوط به روغن پایه و مواد افزودنی را جهت تولید و ساخت روانکارها نشان می‌دهد. براساس جدول ۵ مواد افزودنی بیشترین میزان آلاینده‌گی را در انتشارات گلخانه‌ای به خود اختصاص داده‌اند. سایر انتشارات مربوط به مواد تشکیل‌دهنده روانکارهای خودرو و واحدهای اندازه‌گیری آن در هر بخش اثر در جدول ۵ قابل مشاهده است.



نمودار ۱- بخش‌های اثر نرمال شده در روغن پایه

جدول ۴- میزان انتشار آلاینده‌های مواد افزودنی

بخش‌های اثر	واحد	مواد افزودنی
اثرات گازهای گلخانه‌ای	kg CO <sub>2</sub>	۷/۸۱
لایه ازن	kg CFC11	$۱/۳۴ \times ۱۰^{-۶}$
اسیدی شدن	kg PO <sub>4</sub>	۰/۰۴۰۲
اختناق دریاچه‌ای	kg Pb	۰/۰۰۶۹
فلزات سنگین	kg B(a)P	$۳/۹۱ \times ۱۰^{-۵}$
مواد سرطان‌زا	kg act.subst	$۴/۱۴ \times ۱۰^{-۶}$
مواد کشنده	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	$۳/۰۸ \times ۱۰^{-۱۰}$
غلظت (مه) تابستانی	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	۰/۰۰۹۱۳
غلظت (مه) زمستانی	kg SPM	۰/۰۳۶۸
منابع انرژی	MJ LHV	۲۸۵
ضایعات جامد	kg	۰/۰۰۰۲۳۸



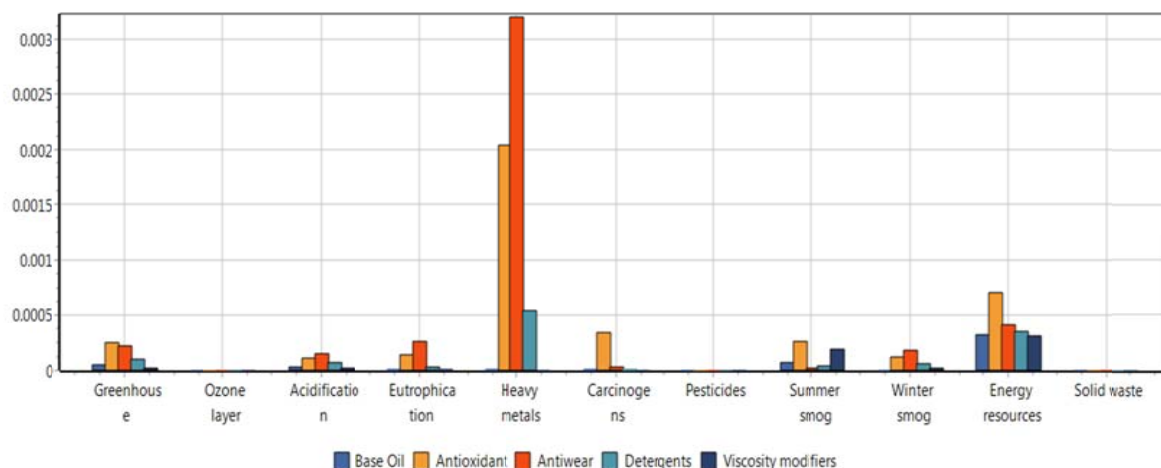
نمودار ۲- بخش‌های اثر نرمال شده در مواد افزودنی

جدول ۵- میزان انتشار آلاینده‌های روانکارها

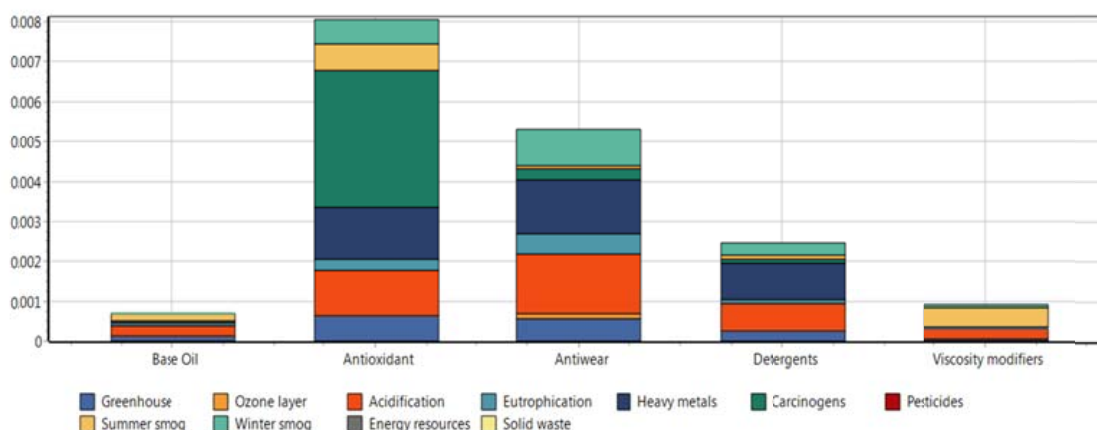
اصلاح کننده چسبندگی	مواد افزودنی			روغن پایه	واحد سنجش	بخش‌های اثر
	پاک کننده‌ها	ضد سایش	ضد زنگ			
۰/۳۱۱	۱/۲۹	۵/۹۴	۳/۲۶	۰/۷۱۵	kg CO <sub>2</sub>	اثرات گازهای گلخانه‌ای
-	$1/43 \times 10^{-7}$	$1/05 \times 10^{-6}$	$1/52 \times 10^{-7}$	$1/12 \times 10^{-9}$	kg CFC11	لایه ازن
۰/۰۰۲۷۸	۰/۰۰۷۶۴	۰/۰۱۷۱	۰/۰۱۲۸	۰/۰۰۲۸۷	kg PO <sub>4</sub>	اسیدی شدن
۰/۰۰۰۲۲۸	۰/۰۰۱۱۴	۰/۰۰۹۸۳	۰/۰۰۵۲۶	۰/۰۰۰۵۰۷	kg Pb	اختناق دریاچه‌ای
$1/62 \times 10^{-7}$	$2/95 \times 10^{-5}$	۰/۰۰۰۱۷۴	۰/۰۰۰۱۱۱	$6/47 \times 10^{-7}$	kg B(a)P	فلزات سنگین
-	$1/89 \times 10^{-8}$	$3/18 \times 10^{-7}$	$3/37 \times 10^{-6}$	$5/53 \times 10^{-8}$	kg act.subst	مواد سرطان‌زا
-	$6/04 \times 10^{-12}$	$2/33 \times 10^{-10}$	$6/88 \times 10^{-11}$	$4/92 \times 10^{-16}$	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	مواد کشنده
۰/۰۰۳۴۱	۰/۰۰۰۶۸	۰/۰۰۰۴۱	۰/۰۰۴۶۲	۰/۰۰۱۲۴	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	غلظت (مه) تابستانی
۰/۰۰۱۷۲	۰/۰۰۵۹۸	۰/۰۱۷۴	۰/۰۱۱۷	۰/۰۰۰۳۳۴	kg SPM	غلظت (مه) زمستانی
۴۹/۵	۵۶/۴	۶۵/۸	۱۱۳	۵۲	MJ LHV	منابع انرژی
-	۰/۰۰۰۲۳۸	-	-	۰/۰۰۵۳۶	kg	ضایعات جامد

mPt (millipoints) که به‌عنوان یک واحد یکسان برای کلیه بخش‌ها محسوب می‌شود، نشان داده است. براساس نمودار ۴ مواد ضد زنگ با میزان آلاینده‌گی (۸/۰۵ mPt)، مواد ضد سایش با میزان آلاینده‌گی (۵/۳۱ mPt)، پاک‌کننده‌ها با میزان آلاینده‌گی (۲/۴۶ mPt)، اصلاح‌کننده‌های چسبندگی با میزان آلاینده‌گی (۰/۹۱۹ mPt) و روغن پایه با میزان آلاینده‌گی (۰/۷۰۹ mPt) به‌ترتیب بیشترین میزان آلاینده‌گی محیط زیست را در روانکارهای خودرو به خود اختصاص داده‌اند.

مقادیر نرمال شده هر کدام از بخش‌های اثر مربوط به مواد تشکیل‌دهنده روانکارهای خودرو در نمودار ۳ نشان می‌دهد که فلزات سنگین بیشترین سهم را در افزایش بار زیست محیطی به ترتیب توسط مواد ضد زنگ، مواد ضد فرسایش، پاک‌کننده‌ها، اصلاح‌کننده چسبندگی و روغن پایه دارند. سهم سایر بخش‌ها توسط هر یک از مواد تشکیل‌دهنده روانکارهای خودرو در نمودار ۳ قابل مشاهده است. این در حالی است که نمودار ۴ اثرات مربوط به هر یک از بخش‌ها را براساس مرحله وزن‌دهی و بر مبنای واحد



نمودار ۳- بخش‌های اثر نرمال شده در روانکارها



نمودار ۴- بخش‌های اثر وزن داده شده در روانکارها

مه تابستانی و گازهای گلخانه‌ای است که به ترتیب برابر با  $0.715 \text{ kg CO}_2$ ،  $0.0124 \text{ kg C}_2\text{H}_4$ ،  $52 \text{ MJLHV}$  برآورد شده است. استفاده از سوخت‌های فسیلی، انتشار بنزن، اکسیدهای بتون، گازهای متان و اکسیدهای کربن جزء مؤثرترین عوامل بر روی این شاخص‌های زیست محیطی بودند. بررسی‌ها نشان داده است که استفاده از سوخت‌های فسیلی و انرژی برق جهت تصفیه و پالایش روغن عامل اصلی بالا بودن

### بحث

در این پژوهش جهت برآورد میزان آلاینده‌های ناشی از روانکارهای خودرو، اثرات زیست محیطی روغن پایه و مواد افزودنی با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات مورد بررسی قرار گرفته است. تحلیل چرخه حیات روغن پایه در شرکت نفتی مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین بار آلاینده‌گی زیست محیطی مربوط به مصرف منابع انرژی، ایجاد غلظت و

این بخش‌های اثر است. به‌منظور کاهش نشر این آلاینده‌ها می‌توان از انواع دیگر روغن‌های پایه از جمله روغن‌های ترکیبی و استفاده از سایر سوخت‌های تجدیدپذیر بهره گرفت.

این در حالی است که ارزیابی چرخه حیات مواد افزودنی در شرکت مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین بار آلاینده‌ی زیست محیطی مربوط به مصرف منابع انرژی و گازهای گلخانه‌ای است که به ترتیب برابر با ۲۸۵ MJLHV و  $7/81 \text{ kgCO}_2$  برآورد شده است. از سوی دیگر، در بین مواد افزودنی تشکیل‌دهنده روانکارهای خودرو، مواد ضد زنگ (آنتی اکسیدان‌ها) و مواد ضدسایش به‌دلیل ورود فلزاتی از جمله کادمیوم، سرب، منگنز، آرسنیک و باریوم به آب و هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای از جمله کلروفرم‌ها، دی اکسید کربن و متان، عامل اصلی در انتشارات زیست محیطی مواد افزودنی هستند. در راستای مطالعه حاضر، تحقیقات انجام شده توسط Miller و همکاران نشان داد که روغن پایه دارای بیشترین میزان آلاینده‌ی در انتشار گازهای گلخانه‌ای است، دلیل این تفاوت در یافته‌ها این است که در پژوهش حاضر فاصله حمل و نقل تا پالایشگاه در نظر گرفته نشده است (۲۲). همچنین Figueiredo و همکاران، مصرف منابع انرژی را در پژوهش مقایسه‌ای خود بین روغن‌های پایه معدنی و روغن‌های پایه طبیعی، به‌عنوان بخش اثرگذار روانکارهای خودرو بر محیط زیست شناسایی کردند (۱۰). Cuevas در پژوهش خود سمیت زیستی و افزایش گازهای گلخانه‌ای را به‌عنوان مهمترین اثرات زیستی روغن‌های پایه در پژوهش مقایسه‌ای خود برآورد نموده است (۱۱).

از سوی دیگر تحلیل مقایسه‌ای بین روغن پایه و مواد افزودنی روانکارهای خودرو مبتنی بر نمودار ۳ در شرکت مورد مطالعه روشن ساخت که در تمامی بخش‌های اثر انتشارات گازهای گلخانه‌ای، تخریب لایه ازن، اختناق دریاچه‌ای، اسیدی شدن، فلزات سنگین، مواد سرطان‌زا، مواد کشنده، غلظت (مه) تابستانی، غلظت (مه) زمستانی، منابع انرژی و ضایعات جامد، هر چهار ماده افزودنی شامل مواد ضدزنگ، مواد ضدسایش، پاک‌کننده‌ها و اصلاح‌کننده چسبندگی روغن دارای بار زیست محیطی بیشتری نسبت به روغن پایه بوده‌اند. به‌عبارت دیگر

با وجود اینکه ۸۰ درصد یک روانکار خودرو را روغن پایه تشکیل می‌دهد و تنها ۲۰ درصد آن مربوط به مواد افزودنی است، با این حال مواد افزودنی بیش از ۸۰ درصد سهم انتشارات آلاینده‌های زیست‌محیطی را به خود اختصاص داده‌اند. این مطلب تاییدکننده نوآوری پژوهش در راستای در نظر گرفتن مواد افزودنی در چرخه عمر روانکارها و ارزیابی آن است. این در حالی است که Girrotti و همکاران و Raimondi و همکاران در پژوهش‌های خود، نشر انرژی‌های غیر قابل تجدید را به‌عنوان مهمترین اثر زیست‌محیطی روانکارها مطرح کرده و اصلاح‌کننده‌های چسبندگی روغن را به‌عنوان بیشترین آلاینده‌ی ماده افزودنی به روانکارها شناسایی کردند (۱۶، ۶). دلیل تفاوت در این یافته‌ها می‌تواند ناشی از انتخاب نوع مواد افزودنی، شرکت مورد مطالعه و نوع پایگاه داده جهت ارزیابی چرخه حیات باشد. Ekman و همکاران نیز در تحقیق خود به این نتیجه دست یافتند که علی‌رغم درصد کم مواد افزودنی در روانکارها (حداکثر ۳۰ درصد)، این مواد بایستی در ارزیابی چرخه عمر روانکارها لحاظ شوند (۲۳).

در نهایت باید متذکر شد در یک مطالعه ارزیابی چرخه حیات، بایستی از پایگاه داده‌های مربوط به منطقه مورد مطالعه جهت وارد کردن داده‌های مربوطه استفاده شود که متأسفانه به‌دلیل نوبت بودن مطالعه ارزیابی چرخه حیات و توجه کمتر شرکت‌ها به مسائل زیست محیطی در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، تحقق چنین امری دشوار است. به همین دلیل در پژوهش حاضر برخی موارد مربوط به داده‌های پس‌زمینه از استانداردهای جهانی اخذ شده است.

### نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف برآورد آلاینده‌های زیست محیطی روانکارهای خودرو در یک شرکت فعال نفتی انجام شده است. در این راستا تلاش شده است با بکارگیری رویکرد LCA و در طی چهار گام، میزان آلاینده‌ی هر یک از مواد تشکیل‌دهنده روانکارهای خودرو شامل روغن پایه و مواد افزودنی برآورد گردد و سپس با رویکردی مقایسه‌ای مبتنی

پی کاهش اثرات زیست محیطی این مواد و جایگزینی آنان با مواد آنتی اکسیدان دیگر با آلاینده‌گی کمتر باشند. لازم به ذکر است که در این پژوهش اثرات زیست محیطی فنول‌ها به‌عنوان مواد آنتی اکسیدان مورد بررسی قرار گرفت پیشنهاد می‌گردد از سایر مواد آنتی‌اکسیدان از جمله اکسید زینک، ایزو بوتانول و سولفید هیدروژن با توجه به فرمولاسیون روانکارها در شرکت نفت مورد مطالعه بهره گرفت و با بررسی تحلیل چرخه حیات هر یک از این مواد، آنتی اکسیدانی با بار زیست محیطی کمتر را در روغن‌های روانکار انتخاب نمود.

همچنین در راستای کاهش اثرات زیست محیطی محصولات شرکت مذکور توصیه می‌گردد، تا موضوعات زیست محیطی در استراتژی‌های کلان و عملیاتی شرکت گنجانده شود، حمایت و تعهد مدیران ارشد سازمان در راستای پیاده‌سازی استراتژی‌های زیست‌محیطی احصاء گردد، از فناوری‌های جدید دوستدار محیط زیست برای تولید محصولات بهره گرفته شود، برنامه‌های عملیاتی تولید در راستای کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی طرح‌ریزی گردد و ممیزی‌های محیطی به‌صورت دوره‌ای مبتنی بر استانداردهای روز جهانی انجام گیرد. همچنین می‌توان کاهش فاصله حمل و نقل مواد اولیه از تامین‌کننده تا تولید و ارائه کارگاه‌ها و سمینارهایی در مورد اثرات زیست محیطی روغن‌های موتور را به‌عنوان پیشنهادی کاربردی دیگر مطرح نمود.

در نهایت به پژوهشگران پیشنهاد می‌گردد که در مطالعات آتی، به بررسی کل چرخه عمر و سناریوهای پایان چرخه عمر روانکارها پرداخته و میزان آلاینده‌گی زیست‌محیطی روانکارها را در هر یک از این مراحل با یکدیگر مقایسه نمایند. همچنین به‌دلیل اهمیت میزان آلاینده‌گی کربن، بررسی ردپای کربن در هر یک از مراحل چرخه عمر روانکارها به‌عنوان یکی دیگر از موضوعات مهم در پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌گردد. درعین حال پیشنهاد می‌گردد در بررسی‌های آینده، با تغییر مواد افزودنی و مقایسه اثرات زیست‌محیطی آن، به انتخاب بهترین مواد افزودنی با کمترین اثرات زیستی در روانکارها پرداخته شود.

بر روش Eco Indicator 95، بیشترین آلاینده‌گی مواد تشکیل‌دهنده تعیین شود. به برخی از نتایج به‌دست آمده در زیر اشاره شده است:

- روغن‌های پایه از طریق ورود گاز متان، اکسیدهای بتون، اکسیدهای کربن و بنزن به هوا، آلاینده‌گی محیط زیست را به دنبال دارند.

- مصرف منابع انرژی، ایجاد غلظت و مه تابستانی و انتشار گازهای گلخانه‌ای بیشترین سهم را در بخش‌های اثر مربوط به روغن پایه به خود اختصاص دادند.

- مواد افزودنی دارای بیشترین میزان بار آلاینده‌گی در بین مواد تشکیل‌دهنده روانکارها خودرو بودند و مصرف منابع انرژی، فلزات سنگین و انتشار گازهای گلخانه‌ای بیشترین سهم را در بخش‌های اثر مربوط به مواد افزودنی به خود اختصاص دادند.

- مواد افزودنی از طریق ورود فلزات سنگینی از جمله آرسنیک، کادمیوم، باریوم و منگنز به آب و انتشار گازهای گلخانه‌ای کلروفورم‌ها، دی اکسید کربن و متان به هوا، آلاینده‌گی محیط زیست را به دنبال دارند.

- گروه مواد ضدسایش از مواد افزودنی دارای بیشترین بار زیست محیطی بوده است و انتشار فلزات سنگین و مصرف منابع انرژی بیشترین سهم را در بخش‌های اثر این ماده به خود اختصاص داده است.

- نتایج مقایسه‌ای بین مواد تشکیل‌دهنده روانکارهای خودرو نشان می‌دهد که مواد ضد زنگ (آنتی‌اکسیدان‌ها)، مواد ضد سایش، پاک‌کننده‌ها، اصلاح‌کننده‌های چربی و روغن‌های پایه به ترتیب با میزان ۸/۰۵، ۵/۳۱، ۲/۴۶، ۰/۹۱۹ و ۰/۷۰۹ mPt و بیشترین میزان آلاینده‌گی محیط زیست را به خود اختصاص دادند.

بنابراین با توجه به درصد تشکیل‌دهندگی کم این مواد در روانکارها (حداکثر ۲۰-۳۰ درصد) و اثرات زیست محیطی بالای آنها (تقریباً ۹۰ درصد) تمرکز بر روی استفاده از مواد افزودنی دوستدار محیط زیست، نتایج چشمگیری بر روی کاهش اثرات زیست محیطی روانکارهای خودرو به دنبال خواهد داشت. از این‌رو، پیشنهاد می‌گردد مدیران شرکت در

## ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده سازی را در این مقاله رعایت کرده اند.

## تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل از بخشی از پایان نامه با عنوان "طراحی مدل بهینه برای سبد محصول سبب- دانش محور با تاکید بر جنبه‌های فنی و مهندسی سبد محصول" در مقطع دکترا است که با حمایت دانشگاه سمنان اجرا شده است.

## References

1. Botas JA, Moreno J, Espada JJ, Serrano DP, Dufour J. Recycling of used lubricating oil: Evaluation of environmental and energy performance by LCA. Resources, Conservation and Recycling. 2017;125:315-23.
2. Thannimalay L, Yusoff S. Comparative analysis of environmental evaluation of LAS and MES in detergent—A Malaysian case study. World Applied Sciences Journal. 2014;31(9):1635-47.
3. Ruban A. Life cycle assessment of plastic bag production [dissertation]. Uppsala, Sweden: Uppsala University; 2012.
4. Umair S. Environmental impacts of fiber composite materials: Study on life cycle assessment of materials used for ship superstructure [dissertation]. Stockholm, Sweden: Royal Institute of Technology; 2006.
5. OBoorn R. From ground to gate: A lifecycle assessment of petroleum processing activities in the United Kingdom [dissertation]. Norway: Norwegian University of Science and Technology; 2012.
6. Girotti G, Raimondi A, Blengini GA, Fino D. The contribution of lube additives to the life cycle impacts of fully formulated petroleum-based lubricants. American Journal of Applied Sciences. 2011;8(11):1232-40.
7. Keesom W, Blieszner J, Unnasch S. EU pathway study: life cycle assessment of crude oils in a european context. Alberta, Canada: Alberta Petroleum Marketing Commission; 2011.
8. Guinée JB. Handbook on life cycle assessment operational guide to the ISO standards. The International Journal of Life Cycle Assessment. 2002;7(5):311.
9. Bart J, Gucciardi E, Cavallaro S. Environmental life-cycle assessment (LCA) of lubricants. In: Bart J, Gucciardi E, Cavallaro S, editors. Biolubricants: science and technology. Cambridge: Woodhead Publishing; 2013. p. 527-64.
10. Figueiredo GJ, Qualharini EL, Haddad AN, Vazquez EG. Life cycle inventory analysis of basic oils for manufacturing of automotive lubricants. International Conference on Artificial Intelligence and Industrial Engineering; 2015. Paris: Atlantis Press; 2015.
11. Cuevas P. Comparative life cycle assessment of biolubricants and mineral based lubricants [dissertation]. Pittsburgh: University of Pittsburgh; 2010.
12. Pires A, Martinho G. Life cycle assessment of a waste lubricant oil management system. The International Journal of Life Cycle Assessment. 2013;18(1):102-12.
13. Riera MR, Hidalgo C, Fuentes N, Escamilla M, Janer G, Josa J, et al. Revision of the european ecolabel criteria for lubricants. Brussels: European Union; 2017.
14. McManus MC, Hammond GP, Burrows CR. Life-cycle assessment of mineral and rapeseed oil in mobile hydraulic systems. Journal of Industrial Ecology. 2003;7(3-4):163-77.
15. Bahmannia G. Life cycle assessment (LCA) in oil and gas industries as an effective sustainability development measure: Case study. sarkhoon gas treating plant. 19th World Petroleum Congress; 2008; Madrid, Spain.
16. Raimondi A, Girotti G, Blengini GA, Fino D. LCA of petroleum-based lubricants: state of art and inclusion of additives. The International Journal of Life Cycle Assessment. 2012;17(8):987-96.
17. Boonen K, Vanderreydt I. Evolution of environmental impact and benefits of motor oil from a life

- cycle perspective. Benelux Technical Lubricants Seminar; 2017; Belgium.
18. Boroon Z. Environmental assessment of waste management process in the petrochemical special economic zone using life cycle assessment approach [dissertation]. Isfahan: Isfahan University of Technology; 2015 (in Persian).
  19. Korepaz H. Technical and environmental assessment of the oil consumption management of the tractor and its agricultural waste [dissertation]. Ahvaz: Agricultural and Natural Resources University of Ramin Khuzestan; 2015 (in Persian).
  20. Nasrollahi-Sarvaghaji S, Alimardani R, Sharifi M, Taghizadeh Yazdi M. Comparison of the environmental impacts of different municipal solid waste treatments using life cycle assessment (LCA) (Case study: Tehran). Iranian Journal of Health and Environment. 2016;9(2):273-88 (in Persian).
  21. Pré Consultants B. SimaPro life-cycle assessment software package. The Netherlands: PRé Sustainability; 2015.
  22. Miller SA, Landis AE, Theis TL, Reich RA. A comparative life cycle assessment of petroleum and soybean-based lubricants. Environmental Science & Technology. 2007;41(11):4143-49.
  23. Ekman A, Börjesson P. Life cycle assessment of mineral oil-based and vegetable oil-based hydraulic fluids including comparison of biocatalytic and conventional production methods. The International Journal of Life Cycle Assessment. 2011;16(4):297-305.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



## Environmental assessment of vehicle lubricants by life cycle assessment approach

N Dorostkar Ahmadi<sup>1</sup>, M Shafie-Nikabadi<sup>1,\*</sup>, S Babaie Kafaki<sup>2</sup>

1- Department of Industrial Management, Faculty of Economics, Management and Administrative Sciences, Semnan University, Semnan, Iran

2- Department of Mathematics, Faculty of Mathematics, Statistics and Computer Science, Semnan University, Semnan, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 7 October 2018

**Revised:** 26 December 2018

**Accepted:** 2 January 2019

**Published:** 12 March 2019

**Keywords:** Life cycle assessment, Lubricants, Additives, SimaPro software

### \*Corresponding Author:

shafiei@semnan.ac.ir

### ABSTRACT

**Background and Objective:** Today pollutants related to refineries and base oil products have caused many concerns about environment. Among these, the share of lubricants as one of the oil products is undeniable for causing environmental problems, harmful pollutants for men and global warming. Recently LCA as a beneficial tool is provided for finding solution to the environmental problems. The aim of this study was to evaluate and compare environmental impacts of lubricants and its ingredients (oil based and additives). Additionally, it was attempted to identify the pollutants caused by the lubricants in order to replace them by environmentally friendly components.

**Materials and Methods:** In this study, the system boundary was first identified and then the life cycle assessment steps were carried out for vehicle lubricants. Finally, the results were analyzed using SimaPro software based on the Eco Indicator 95.

**Results:** Results showed that although additives made up about 20 percent of the lubricants, more than 80 percent of the environmental pollutants were related to them. These materials have a significant impact on greenhouse gas emission and global warming as 91% of CO<sub>2</sub> emission (7.81kg) of lubricants is related to the additives. Also, these materials emit 0.00913 kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> and 0.0368 kg SPM, which can make summer and winter smog. The car lubricants cause heavy metals (3.95×10<sup>-5</sup> kg Pb) to be released into water and release of carcinogenic substances (4.2×10<sup>-6</sup> kg B(a)P), which a very low percentage of it is allocated to base oil.

**Conclusion:** The most important environmental pollution of vehicle lubricants was caused by the additives. Since the percentage of each additive to lubricants includes antioxidant (40%), antiwear (23%), detergents (20%) and viscosity modifier (17%), thus, the company must seek to change these types of additives and replace them with the components with lower environmental impact in their production cycles.

Please cite this article as: Dorostkar Ahmadi N, Shafie-Nikabadi M, Babaie Kafaki S. Environmental assessment of vehicle lubricants by life cycle assessment approach. Iranian Journal of Health and Environment. 2019;11(4):547-62.