چکیده

انتشار آلاینده‌های هوا از سیستم حمل و نقل عمومی، به‌ویژه ناوگان اتوبوس‌رانی با سوخت دیزلی از جمله مهمترین عوامل موثر در آلودگی هوا و کاهش سلامت و کیفیت زندگی شهروندان در کلانشهرها در سال‌های اخیر بوده است که اقداماتی برای کاهش انتشار مواد آلاینده صورت گرفته است؛ یکی از این اقدامات جایگزینی ناوگان فرسوده حال حاضر با سوخت و تکنولوژی‌های جدید است که باید با در نظر گرفتن تمامی جوانب مثبت و منفی اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و غیره اجرا شود. بر همین اساس، این پژوهش برای رسیدن به بهترین شرایط زیست‌محیطی در عملکرد ناوگان حمل‌ونقل عمومی شهر کرج، به ارزیابی وضعیت حال حاضر اتوبوس‌رانی شهر کرج و سه سناریو جایگزینی مبنی بر جایگزینی سوخت گاز طبیعی به جای دیزل و همچنین استفاده از اتوبوس‌های الکتریکی و هیبرید دیزلی-الکتریکی در دو خط مهم از ناوگان اتوبوس‌رانی شهر کرج می‌پردازد. برای این هدف از روش LC-IMPACT به عنوان یکی از روش‌های ارزیابی چرخه عمر (LCA) برای ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی استفاده می‌شود. این روش به‌روزترین روش ارزیابی اثرات در نرم افزار سیماپرو می‌باشد. LC-IMPACT، یک روش ارزیابی آسیب چرخه حیات چند منطقه‌ای و یک زمینه تحقیقاتی است که داده به طور مداوم از نظر مسیرهای تأثیر تحت پوشش، قابلیت اطمینان و جزئیات فضایی بهبود می‌یابند. در این روش، بر اساس اطلاعاتی که از محاسبه ضرایب انتشار، شرایط محیطی منطقه و پرسشنامه‌ای که توسط رانندگان ناوگان تکمیل شد به‌دست آمد، سناریوها از نظر پیامدهای زیست‌محیطی باهم مقایسه شدند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که انتشارات مستقیم و به خصوص سوخت دیزل بیشترین سهم را در میزان تأثیرگذاری بر پیامدهای زیست‌محیطی در سطح میانی و نهایی (حفاظت) دارند. با توجه به تحلیل وزنی سناریوها، به ترتیب استفاده از اتوبوس‌های هیبرید دیزلی- الکتریکی، اتوبوس الکتریکی و اتوبوس با سوخت گاز طبیعی بهترین سناریوها برای سیستم حمل و نقل عمومی اتوبوس‌رانی شهر کرج می‌باشند.

کلمات کلیدی:

ارزیابی چرخه عمر، ناوگان حمل و نقل عمومی، اتوبوس‌رانی، نرم افزار سیماپرو، پیامدهای زیست‌محیطی، LC-IMPACT

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه ۳

۱-۲- اهمیت موضوع و ضرورت تحقیق ۵

۱-۳- اهداف تحقیق ۶

۱-۴- سؤالات و فرضیات تحقیق ۶

۱-۵- کلیات و تعاریف ۷

۱-۵-۱- انواع انتشارات ۷

۱-۵-۲- مدل IVE ۸

۱-۵-۳- ارزیابی چرخه عمر ۱۰

۱-۵-۴- مراحل ارزیابی چرخه عمر ۱۰

۱-۵-۵- واحد عملکردی ۱۰

۱-۵-۶- نرم‌افزار سیماپرو ۱۱

فصل دوم: پیشینه تحقیق

۲-۱- مطالعات داخل کشور ۱۴

۲-۲- مطالعات خارج از کشور ۱۷

۲-۳- جمع‌بندی ۲۳

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-مواد و روش‌ها ۲۵

۳-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه ۲۶

۳-۲- ارزیابی چرخه عمر ۳۱
۳-۲-۱- تعیین هدف و دامنه تحقیق ۳۱
۳-۲-۲- ارزیابی اثرات چرخه عمر ۳۲
۳-۳- تشریح سناریوها ۳۴

فصل چهارم: نتایج

۴-۱- نتایج ارزیابی اثرات چرخه‌حیات ۳۸
۴-۲- ارزیابی اثرات زیست‌محیطی سناریوها ۴۰
۴-۲-۱- تجزیه و تحلیل پیامدهای زیست‌محیطی در سطح میانی ۴۰
۴-۲-۲- تجزیه و تحلیل پیامدهای زیست‌محیطی در سطح نهایی ۵۷
۴-۳- معرفی بهترین سناریو ۵۸
۴-۳-۱- وزن‌دهی پیامدهای سطح نهایی ۵۸
۴-۳-۲- تجزیه و تحلیل و معرفی بهترین سناریو ۵۹

فصل پنجم: بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱- نتیجه‌گیری ۶۴
۵-۱-۱- مقایسه با اهداف ۶۴
۵-۱-۲- مقایسه با تحقیقات گذشته ۶۵
۵-۲- پیشنهادها ۶۵
۵-۲-۱- پیشنهادهای کاربردی ۶۵
۵-۲-۲- پیشنهادهای پژوهشی ۶۶
۵-۳- پاسخ به فرضیات تحقیق ۶۶
فهرست منابع و مأخذ ۶۸

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱- شرح مدل IVE ۹
شکل ۱-۲- مراحل ارزیابی چرخه زندگی ۱۲
شکل ۳-۱- شماتیک مراحل انجام پژوهش ۲۶
شکل ۳-۲- نقشه تقسیمات شهرستان های استان البرز ۲۷
شکل ۳-۳- شبکه خطوط اتوبوس رانی شهرکرج ۲۹
شکل ۳-۴- طبقه بندی بخش های اثر در روش LC-IMPACT ۳۳
شکل ۳-۵- اتوبوس الکتریکی ولوو ۷۹۰۰ ..... ۳۵
شکل ۳-۶- اتوبوس هیبرید کینگ لاین چین ۳۵
شکل ۴-۱- مقدار تغییرات اقلیمی در شرایط وضع موجود و سه سناریوی جایگزینی ۴۲
شکل ۴-۲- مقادیر تخلیه ازن استراتوسفری در شرایط وضع موجود و سه سناریوی جایگزینی ۴۳
شکل ۴-۳- مقادیر تابش یونیزه کننده در شرایط وضع موجود و سه سناریوی جایگزینی ۴۴
شکل ۴-۴- مقادیر سمیت انسانی ازن تروپوسفری در شرایط وضع موجود و سه سناریوی جایگزینی ۴۵
شکل ۴-۵- مقادیر تولید ذرات معلق در شرایط وضع موجود و سه سناریوی جایگزینی ۴۵
شکل ۴-۶- مقادیر سمیت اکوسیستمی ازن تروپوسفری در شرایط وضع موجود و سه سناریوی جایگزینی ۴۶
شکل ۴-۷- مقادیر اسیدی شدن خشکی در شرلیط وضع موجود و سه سناریو جایگزینی ۴۷

شکل ۴-۸- مقادیر پرغذایی آب شیرین درشرایط وضع موجود و سه سناریو جایگزینی ۴۸
شکل ۴-۹- مقادیر پرعذایی آب دریا در شرایط وضع موجود و سه سناریو جایگزینی ۴۹
شکل ۴-۱۰- مقادیر سمیت در خشکی در شرایط وضع موجود و سه سناریو جایگزینی ۵۰
شکل ۴-۱۱- مقادیر سمیت در آب شیرین در شرایط وضع موجود و سه سناریو جایگزینی ۵۱
شکل ۴-۱۲- مقادیر سمیت در دریا در شرایط وضع موجود و سه سناریو جایگزینی ۵۲
شکل ۴-۱۳- مقادیر سمیت سرطان زا برای انسان در شرایط وضع موجود و سه سناریو جایگزینی ۵۳
شکل ۴-۱۴- مقادیر سمیت غیر سرطان زا برای انسان در شرایط وضع موجود و سه سناریو جایگزینی ۵۴
شکل ۴-۱۵- مقادیر استفاده و تغییر کاربری اراضی در شرایط موجود و سه سناریو جایگزینی ۵۵
شکل ۴-۱۶- مقادیر مصرف آب در شرایط وضع موجود و سه سناریو جایگزینی ۵۶
شکل ۴-۱۷- مقادیر کاهش منابع معدنی در شرایط وضع مجود و سه سناری جایگزینی ۵۷
شکل ۴-۱۸- میزان اهمیت پیامدهای سطح نهایی ۵۸
شکل ۴-۱۹- مقادیر وزن‌دهی شده پیامدهای سطوح نهایی حفاظت زیست محیطی برای وضع موجود و سه سناریوی جایگزینی ۶۰
شکل ۲-۲۰- میزان تأثیر سناریوها در آسیب به سلامت انسان پس از وزن‌دهی ۶۱
شکل ۴-۲۱- میزان تأثیر سناریوها در آسیب به اکوسیستم پس از وزن‌دهی ۶۱
شکل ۴-۲۲- میزان تأثیر سناریوها در آسیب به منابع پس از وزن‌دهی ۶۲
شکل ۴-۲۳- میزان تأثیر سناریوها در سمیت سازگار با محیط‌زیست پس از وزن‌دهی ۶۲

فهرست جدول‌ها

جدول ۳-۱- اطلاعات ناوگان اتوبوس‌رانی در خطوط مورد مطالعه ۳۰

جدول ۳-۲- مشخصات اتوبوس های موجود در خطوط اتوبوس‌رانی شهر کرج ۳۰

جدول ۳-۳- اطلاعات اتوبوس‌های برقی و هیبرید مورد استفاده در این تحقیق (شرکت ولوو، ۲۰۱۷ و کینگ لاین ۳۶

جدول ۴-۱- سیاهه چرخه زندگی برای وضع موجود و چهار سناریوی جایگزینی بر مبنای واحد عملکردی ۳۹

جدول ۴-۲- مقادیر تأثیر بر پیامدهای سطح میانی برای وضع موجود و چهار سناریوی جایگزینی بر مبنای واحد عملکردی ۴۰

جدول ۴-۳- پیامدهای سطح نهایی (سطوح نهایی حفاظت) برای وضع موجود و سه سناریوی جایگزینی بر مبنای واحد عملکردی ۵۸

فصل اول : مقدمه و کلیات

۱– مقدمه و کلیات

۱–۱– مقدمه

یکی از مهم‌ترین مشکلاتی که امروزه بشر با آن روبرو می‌باشد، آلودگی هواست که یکی از نشانه‌های رشد شهرنشینی، استفاده بیش از حد از منابع سوخت‌های فسیلی، عدم به کارگیری فناوری‌های سازگار با محیط‌زیست و از همه مهم‌تر عدم وجود مدیریت صحیح محیط زیستی است (معین الدینی و همکاران، ۱۳۹۵). و همواره تهدیدی جدی، مستمر و فراگیر علیه سلامت موجودات زنده و محیط‌زیست است که علاوه بر آن، دارای تبعات سوء اقتصادی و اجتماعی نیز است که به صورت آرام و تدریجی و گاهی غیر قابل جبران نمایان می‌شود (اکبری و همکاران، ۱۳۹۸). انتشارات وسایل نقلیه منبع اصلی آلودگی هوا در مناطق شهری محسوب می‌شوند (معین الدینی و همکاران، ۱۳۹۵). مهم‌ترین منابع انتشار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای به ترتیب مربوط به بخش‌های منابع متحرک، مصارف خانگی و صنایع نیروگاهی است که سیستم حمل و نقل عمومی و کاهش استفاده از خودروی شخصی می‌تواند به کاهش انتشارات کمک کند (شهبازی و همکاران، ۱۳۹۳). در کشورهای توسعه یافته و شهرهای صنعتی، وجود یک سیستم حمل و نقل عمومی مناسب برای مردم با حداقل اثرات منفی زیست‌محیطی، مسئله بسیار مهمی است و به یک برنامه‌ریزی جامع و فراگیر و با در نظر گرفتن همه جوانب نیاز دارد (کورازا [1] و همکاران، ۲۰۲۰). به همین منظور و در راستای کنترل آلاینده‌های ترافیکی و کاهش مخاطرات سلامتی سیاهه انتشار دقیق و کامل آلاینده‌های هوا از منابع متحرک مورد نیاز می‌باشد (معین الدینی و همکاران، ۱۳۹۵). کیفیت و هزینه سفر دو عامل مؤثر بر میزان تقاضا مردم به حمل و نقل عمومی می‌باشد. از جمله عوامل مؤثر بر کیفیت سفر می‌توان به فاصله فرد تا نزدیک‌ترین ایستگاه، مدت زمان رسیدن به مقصد، رفتار رانندگان اتوبوس، فضا کافی برای نشستن یا ایستادن در طول مسیر و تمیزی فضای داخلی ناوگان اتوبوس اشاره کرد (جلتی [2] و همکاران، ۲۰۲۱). از طرفی مسیر حرکت اتوبوس‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که پاسخگوی تقاضای مسافران در نواحی مختلف شهر باشد و همچنین کمترین مسافت را داشته باشند که زمان رسیدن به مقصد کاهش یابد تا هزینه و مصرف سوخت مورد نیاز ناوگان به حداقل برسد (کورازا و همکاران، ۲۰۲۰). بسیاری از مردم برای انجام کارهای روزانه خود مانند رفتن به محل کار، دانشگاه و یا مدرسه از وسایل حمل و نقل عمومی به ویژه اتوبوس‌ها استفاده می‌کنند و به همین دلیل باید سر وقت به مقصد برسند. این‌گونه مسافران به طور معمول روزانه مسیر مشخصی را می‌پیمایند، بنابراین مدت زمانی که در اتوبوس سپری می‌کنند مشخص است اما مدت زمان رسیدن آن‌ها به

1 Corazza et al
2 Jelti et al

ایستگاه ممکن است با توجه به شرایط مسیر و وجود وسایل نقلیه متفاوت باشد. یکی از راه‌حل‌های عملی و مناسب برای بهینه‌سازی استفاده از ناوگان و کاهش مدت زمان رسیدن به مقصد، حذف ایستگاه‌های با تعداد مسافر بسیار پایین و نزدیک به صفر و اضافه کردن ایستگاه‌های با تعداد مسافر بیشتر است به‌گونه‌ای مدت زمان رسیدن به مقصد و مدت زمان رسیدن افراد به ایستگاه موردنظر برای استفاده از اتوبوس کاهش یابد (آلروکایبی و آل کیدر[1]، ۲۰۱۹).

ارائه هر خدمتی می‌تواند مشکلاتی ایجاد کند. به همین دلیل، علیرغم کاهش ترافیک توسط حمل و نقل عمومی، تولید و استفاده از ناوگان اتوبوس‌رانی، اثراتی را به محیط‌زیست وارد می‌کند که از جمله مهم‌ترین مشکلات استفاده از این وسایل نقلیه می‌توان به افزایش گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های هوا اشاره کرد (گارسیا [2]و همکاران، ۲۰۲۱). از ظرفی سیستم حمل و نقل عمومی به ویژه اتوبوس با کاهش استفاده از خودروهای شخصی و تاکسی‌ها موجب کاهش ترافیک به دنبال آن کاهش انتشارات آلاینده‌ها می‌شود (شهبازی و همکاران، ۱۳۹۳). کشور ایران تقریباً یک درصد از جمعیت جهان را دارد ولی سهم تولید گازهای گلخانه‌ای آن بیش از دو درصد از تولید جهانی آن است و علت آن مصرف بالای انرژی و نوع انرژی مصرفی است (پیوسته گر و همکاران، ۱۳۹۹). انتشار ذرات معلق و اکسیدهای گوگرد با فعالیت وسایل نقلیه عمومی و سنگین مانند اتوبوس در شهر کرج رابطه مستقیم داشته و ضرایب انتشار اکسیدهای گوگرد نیز برای این وسایل بیشتر است (معین الدینی و طالشی، ۱۳۹۸). از طرفی از سال ۱۳۹۴ غلظت ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM^3 42.5$) در شهرستان کرج افزایش یافته و به دلیل نزدیکی شهر کرج به تهران کنترل آلودگی هوا در شهر کرج، بسیار ضروری است (اکبری و همکاران، ۱۳۹۸). ناوگان دیزلی اتوبوس‌رانی، سهم عمده‌ای از انتشارات آلاینده‌های هوا در بخش حمل و نقل را دارد (معین الدینی و طالشی، ۱۳۹۸) و به دلیل گازها و ذرات خروجی از اگزوز موتورهای دیزلی، جز دسته ترکیبات سرطان‌زا محسوب می‌شوند (نجف و الهی، ۱۳۹۱). با توجه به کلان‌شهر بودن کرج و نزدیکی این شهر به پایتخت هزینه‌های مختلف از جمله هزینه‌های بهداشتی بسیار بالاست، از این رو تلاش برای بهبود کیفیت هوای شهر کرج بسیار مهم است و باید اقدامات مؤثری در این زمینه صورت بگیرد، که از جمله این اقدامات در حوزه حمل و نقل عمومی و به ویژه ناوگان اتوبوس‌رانی دیزلی است (شهرداری کرج، ۱۳۹۹).

1 AlRukaibi and AlKheder,
2 Garcia et al
3 Particulate Matter

۱-۲- اهمیت موضوع و ضرورت تحقیق

حمل و نقل عمومی کشور و به ویژه ناوگان دیزلی اتوبوس‌رانی به‌دلیل سوخت بی‌کیفیت و نبود کاتالیست‌های مفید و سایر مشکلات فنی تأثیر زیادی در انتشار آلاینده‌ها در شهرها دارد (اشرفی و همکاران، ۱۳۹۷). در بحث کاهش آلودگی هوا طرح‌هایی مانند جایگزینی سوخت و تکنولوژی‌های جدید با استفاده از فناوری‌های جدید و فیلترهای دوده در نظر گرفته می‌شود. باید با استفاده از معیارها و ابزارهای مختلف در جهت تعیین اینکه اقدامات ذکر شده باعث کاهش انتشار آلاینده‌های هوا می‌شود یا خیر بررسی‌های لازم را انجام داد (پوربا [1]و همکاران، ۲۰۲۲). هر یک از این اقدامات می‌تواند هم موجب کاهش انتشار آلاینده‌های هوا شود و هم باعث کاهش یا افزایش پیامدهای زیست‌محیطی شود. از سوی دیگر تصمیم‌گیری در زمینه اقدامات با یک معیار معمولاً کارایی لازم را ندارد. بنابراین باید با استفاده از بیش از یک معیار (معیارهای مختلف) و ابزارهای مناسب میزان اثربخشی تصمیم‌ها را در زمینه زیست‌محیطی بررسی کرد (جانووک [2]و همکاران، ۲۰۲۱). در طرح‌های کاهش آلودگی هوای ناشی از سیستم حمل و نقل عمومی به ویژه ناوگان اتوبوس‌رانی، باید همه زمینه‌های زیست‌محیطی در تصمیم‌گیری‌ها و ارائه سناریوها در نظر گرفته شود؛ به طوریکه که با در نظر گرفتن مجموع اثرات مثبت و منفی در زمینه‌های مختلف زیست‌محیطی، برنامه ارائه شده ارزش و قابلیت اجرایی شدن داشته باشد (هاشیلد [3]و همکاران، ۲۰۱۸).

طبق آمار حدود ۵۰ درصد از اتوبوس‌های ناوگان اتوبوس‌رانی کرج فرسوده بوده و نیازمند جایگزینی هستند که همین فرسوده بودن مشکلات زیست‌محیطی را افزایش می‌دهد (شهرداری کرج، ۱۳۹۴). گران بودن موتور دیزل و قطعات آن، حساس بودن سیستم سوخت‌رسانی، بزرگ بودن ساختمان موتور دیزل، لرزش و کوبیدن زیاد آن و از همه مهم‌تر آلودگی‌های زیست‌محیطی آن باعث شده در اکثر کشورهای جهان به فکر جایگزین کردن سوخت و تکنولوژی‌های جدید باشند (قدمیان و همکاران، ۱۳۹۱). پیشرفت تکنولوژی در مسیر صد ساله تاریخ صنعت خودروسازی، باعث شده هر ساله اتومبیل‌هایی با کیفیت بهتر و مصرف سوخت پایین‌تر تولید شود، اما در عین حال دغدغه تأمین سوخت و انرژی‌های جایگزین برای اتومبیل‌ها همواره شرکت‌های معتبر خودروسازی را به خود مشغول کرده است (پوربا و همکاران، ۲۰۲۲). هیدروژن به عنوان یکی از سوخت‌های پاک و ناوگان الکتریکی در مناطق مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (ژانگ [4]و همکاران، ۲۰۲۱). از طرفی ایران به لحاظ دارا بودن منابع غنی گاز طبیعی در رتبه دوم جهان قرار دارد که استفاده صحیح از این منابع گاز طبیعی، کمک بسیاری به محیط‌زیست و همچنین رشد و شکوفایی اقتصادی می‌کند (عجمین و حقیقی، ۱۳۹۱).

1 Purba et al
2 Janovec et al
3 Hauschild
4 Zhang et al

اکثر مطالعات انجام شده در زمینه حمل و نقل و ترافیک، بیشتر بر روی اثرات انتشار آلاینده‌ها به هوا متمرکز بوده‌اند (نجف و الهی، ۱۳۹۱) اما یک طرح کاربردی باید اثرات و انتشارات به سایر محیط‌های پذیرنده را نیز در برگیرد که ارزیابی چرخه عمر، به دلیل در نظر گرفتن همه پیامدهای طرح، بهترین روش برای ارائه سناریوها می‌باشد (ارکان [1] و همکاران، ۲۱۰۵).

در داخل کشور تاکنون مطالعات بسیار کمی در مورد جایگزینی سوخت و فناوری‌های جدید در حوزه حمل و نقل صورت گرفته و اکثر مطالعات گذشته در مورد محاسبه سیاهه انتشار آلاینده‌ها و خیلی کم در مورد جایگزینی ناوگان جدید با قدیمی با همان سوخت بوده است. در این مطالعه سناریوهای مختلف درباره جایگزینی سوخت‌های جدید با سوخت دیزل و هم‌چنین جایگزینی ناوگان‌هایی با فناوری جدید به جای ناوگان موجود ارزیابی می‌شود و بهترین سناریو با در نظر گرفتن تمام شرایط اقتصادی، اجتماعی و غیره در داخل کشور ارائه می‌شود. در واقع ارزیابی چرخه عمر، تمام اثرات را مدنظر قرار می‌دهد و با توجه به نتایج آن، می‌توان تأثیر راهکارها را پیش‌بینی نمود.

۱–۳– اهداف تحقیق

۱- برآورد پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از فعالیت ناوگان اتوبوس‌رانی موجود در شهر کرج.

۲- ارزیابی تأثیر استفاده از سوخت‌های جایگزین در کاهش پیامدهای زیست‌محیطی شهر کرج.

۳- ارزیابی تأثیر استفاده از تکنولوژی‌های جایگزین در کاهش پیامدهای زیست‌محیطی شهر کرج.

۴- معرفی بهترین سناریو در استفاده از ناوگان اتوبوس‌رانی در شهر کرج.

۱–۴– سؤالات و فرضیات تحقیق

۱- با توجه به پیامدهای زیست‌محیطی و بر اساس دیدگاه چرخه زندگی، ناوگان موجود در شهر کرج اثرات زیست‌محیطی قابل‌ملاحظه‌ای دارد.

۲- استفاده از سوخت‌های جایگزین می‌تواند تأثیر زیادی –در کاهش پیامدهای زیست‌محیطی شهر کرج داشته باشد.

1 Ercan et al

۳- استفاده از تکنولوژی‌های جایگزین مانند اتوبوس برقی، در کاهش پیامدهای زیست‌محیطی تأثیر بسیار زیادی دارد و از نظر اقتصادی، اجتماعی و غیره می‌تواند در تمام یا قسمتی از ناوگان در شهر کرج مورد استفاده قرار گیرد.

۴- بهترین سناریو در استفاده از ناوگان اتوبوس‌رانی شهر کرج جایگزینی سوخت‌هایی با کیفیت بالاتر و اثرات زیست‌محیطی کمتر و اتوبوس‌های با تکنولوژی جدید در خطوط پرتردد و پرترافیک می‌باشد.

۱-۵- کلیات و تعاریف

۱-۵-۱- انواع انتشارات

به‌طور کلی، در هر سیستم، دو نوع از انتشارات وجود دارد. ۱) انتشارات مستقیم ۲) انتشارات غیرمستقیم- و به دنبال این انتشارات آسیب به محیط‌زیست اتفاق می‌افتد. انتشارات مستقیم به آن دسته از اثراتی می‌گویند که در مرحله استفاده از یک محصول و یا خدمت به محیط‌زیست وارد می‌شود که در این مطالعه شامل انتشارات اگزوزی می‌شود و انتشارات غیرمستقیم، به اثراتی گفته می‌شود که در مرحله تولید یک محصول و یا خدمت به محیط‌زیست وارد می‌شود؛ این دسته از انتشارات، به موجب بهره‌برداری از محیط‌زیست و فعالیت‌هایی که در مرحله ساخت انجام می‌شود، بر محیط‌زیست اثر می‌گذارند (گابریل [1] و همکاران ۲۰۲۱).

بررسی انتشارات آلاینده‌های هوای ناشی از منابع متحرک همچون حمل و نقل عمومی به دلیل اینکه در دسته منابع خطی انتشار قرار می‌گیرند، پیچیده‌تر از پایش شرایط محیطی است (آدامز و همکاران، ۲۰۰۱). به همین دلیل نیازمند به کارگیری یک مدل مخصوص است مثل مدل‌های AVE [2]، AREMOD و BREEZE (شفیع پور و همکاران، ۱۳۹۴). این آلاینده‌ها در تمام مراحل از ساخت تا استفاده و نگهداری از ناوگان اندازه‌گیری می‌شوند (لن یوزی [3] و همکاران، ۲۰۲۱). از عوامل مؤثر بر میزان انتشارات از ناوگان حمل و نقل عمومی و به خصوص اتوبوس‌رانی عبارت‌اند از: نوع سوخت مصرفی، سال تولید اتوبوس، میزان کارکرد آن، رفتار رانندگان اتوبوس و اطلاعاتی درباره منطقه‌ی مورد مطالعه (کورازا و همکاران، ۲۰۲۰). با توجه به موارد فوق، می‌توان از سناریوهایی که منجر به تغییر در این عوامل می‌شوند، در جهت اجرای برنامه‌های کاهش آلودگی هوا استفاده کرد که باعث کاهش ضرایب انتشار مربوط به ناوگان مورد نظر می‌شود (هریس [4] و همکاران ۲۰۱۸).

1 Gabriel et al
2 International Vehicle Emission
3 Lannuzzi et al
4 Harris et al

۱-۵-۲- مدل IVE

برای محاسبه مقادیر انتشار آلاینده‌ها از منابع متحرک، مدل‌های بسیاری مانند مدل‌های MOVES، MOBILE، COPERT و IVE[1] وجود دارد (شفیع پور و همکاران، ۱۳۹۴). مدل IVE که مدل بین المللی انتشار وسایل نقلیه متحرک است نسبت به سایر مدل‌ها دارای مزیت‌های بسیاری است. این مدل در سال ۲۰۰۷ با حمایت آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا[2]، طراحی شده است. هدف اصلی این مدل تخمین مقادیر انتشار آلاینده‌ها، متناسب با وضعیت کشورهای در حال توسعه بوده است. ضرایب انتشار این مدل برای وسایل نقلیه مختلف، برمبنای مدل‌های MOVES، MOBILE، COPERT به‌دست آمده است. از مزایای این مدل می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- این مدل مشخصات انواع بیشتری از خودروهای سواری را در پایگاه‌های خود دارد.
- محاسبه ضرایب انتشار در این مدل بر اساس سرعت لحظه‌ای است نه سرعت متوسط که این خود از مزایای بزرگ این مدل به شمار می‌رود (نجفی‌پور و همکاران، ۱۳۹۷)

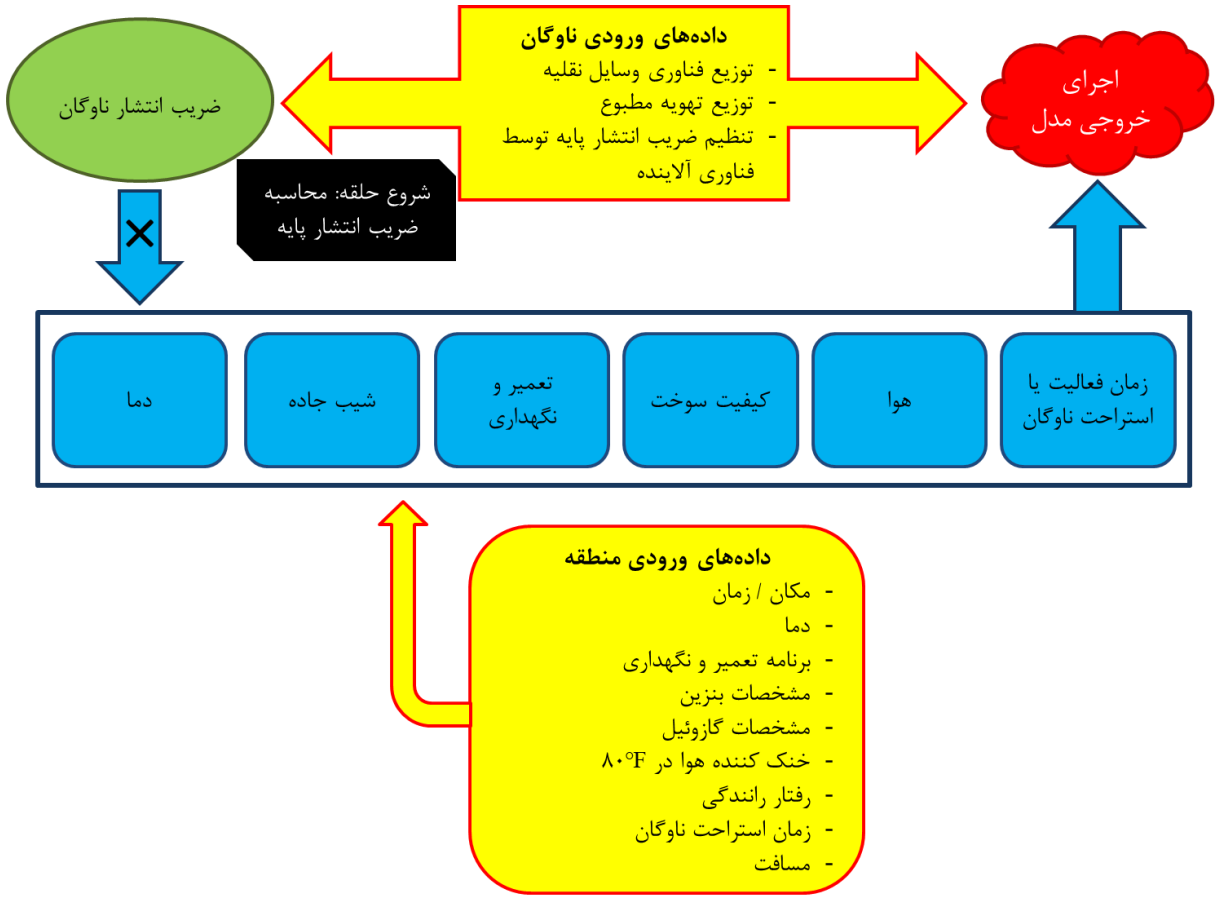
مدل COPERT: برای محاسبه ذرات معلق سایشی و غیر احتراقی استفاده می‌شود که آن هم در مدل IVE گنجانده شده است (شریعتی و همکاران، ۱۴۰۰).

مدل MOVES: نرم افزار MOVES با دریافت اطلاعات مربوط به تعداد، تنوع و توزیع سنی وسایل نقلیه موتوری، داده‌های هواشناسی و شرایط رانندگی، میزان انتشار آلاینده‌ها را محاسبه می‌کند که قابلیت تخمین میزان انتشار آلاینده‌ها را در سه مقیاس کشوری[3]، مقیاس شهری [4]و ایالتی و مقیاس پروژه‌ای [5]دارد (احمدی ارکمی، ۱۳۹۸).

عوامل مؤثر بر میزان انتشارات از ناوگان حمل و نقل عمومی و به خصوص اتوبوس‌رانی عبارت‌اند از: نوع سوخت مصرفی، سال تولید اتوبوس، میزان کارکرد آن، رفتار رانندگان اتوبوس و اطلاعاتی درباره منطقه‌ی مورد مطالعه. به همین دلیل مدل IVE که همه‌ی این موارد را در بر می‌گیرد، ضرایب انتشار ناوگان را به‌خوبی محاسبه می‌کند (کورازا و همکاران، ۲۰۲۰). استفاده از مدل IVE به چهار گروه اطلاعات نیاز دارد. نرخ انتشار خودروها در شرایط پایه، عملکرد خودروها (سرعت، شتاب و مسافت طی شده)، ترکیب ناوگان خودروها و شرایط محیطی (دما، رطوبت و نوع سوخت مصرفی). در این مدل با استفاده از این چهار گروه اطلاعات نرخ انتشار آلاینده‌های مختلف برای یک

1 International vehicle emissions
2 EPA: United States Environmental Protection Agency
3 National Scale
4 County Scale
5 Project Scale

منطقه خاص به دست می‌آید (صمدزاده و همکاران، ۱۳۹۶). مراحل محاسبات در مدل IVE در شکل ۱-۱ آمده است.



شکل ۱-۱- شرح مدل IVE (نجفی‌پور و همکاران، ۱۳۹۷)

از ویژگی‌های این روش می‌توان به در بر گرفتن دامنه گسترده‌ای از مسائل زیست‌محیطی، دارا بودن اساس علمی و کمی بودن آن اشاره کرد که در طبقه‌بندی انتشارات و محاسبه سیاهه آن‌ها به ما کمک می‌کند (گابریل و همکاران، ۲۰۲۱)؛ و مشخص شدن طبقه‌بندی انتشارات و به خصوص آن دسته که انتشار بالایی دارد به کارشناسان زیست‌محیطی کمک می‌کند تا راهکارهای کاربردی را برای کاهش این انتشارات با توجه به شرایط اقتصادی، اجتماعی و غیره ارائه دهند (لارسن[1] و همکاران، ۲۰۱۱).

1 Larsson

۱–۵–۳– ارزیابی چرخه عمر

ارزیابی چرخه حیات (LCA) به عنوان یک ابزار مدیریت زیست‌محیطی، از دهه ۱۹۶۰ میلادی شروع شده است و با رویکرد "گهواره تا گور" برای ارزیابی سامانه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد و قادر است اثرات زیست‌محیطی را در کل مجموعه چرخه حیات یک فرآیند مورد ارزیابی قرار دهد. این روش به‌دلیل قابلیت ارزیابی کل چرخه حیات یک فرآیند، تفاوت زیادی با سایر ابزارهای مدیریتی دارد.

۱–۵–۴– مراحل ارزیابی چرخه عمر

چهار مرحله ارزیابی چرخه عمر شامل: ۱) تعریف مرز سیستم مورد مطالعه با توجه به مقیاس واحد عملیاتی مورد نظر، واحد کارکردی، یک مرجع را برای ورودی‌ها و خروجی‌ها فراهم می‌کند (ایزو[1]، ۲۰۰۶). ۲) سیاهه نویسی که مهم‌ترین مرحله محسوب می‌شود ۳) ارزیابی اثرات احتمالی سیستم روی انسان، محیط‌زیست و غیره ۴) تفسیر نتایج و ارائه سناریوهای جایگزین (نوردلوف[2] و همکاران، ۲۰۱۹).

بین هر چهار مرحله ارتباط متقابل وجود دارد و این بدان معناست که می‌توان از هر مرحله به مرحله قبل بازگشت و هر مرحله را نیز می‌توان جدا از بقیه تفسیر کرد (شاه محمدی و همکاران، ۱۳۹۵). با استفاده از روش‌های ارزیابی چرخه عمر می‌توان سناریوهای مختلف را باهم مقایسه کرده و در نهایت یک سناریو جامع و کاربردی ارائه کرد که تمام جنبه‌های زیست‌محیطی را در بر داشته باشد تا شرایط برای بهینه‌ترین وضعیت یک سیستم مهیا شود و این بدان معناست که باید دیدگاهی چند جانبه در تصمیم‌گیری‌ها وجود داشته باشد تا طرح ارائه شده بیشترین تأثیر را داشته باشد (ارکان و همکاران، ۲۰۱۵).

۱–۵–۵– واحد عملکردی

معرفی واحد عملکردی برای جمع‌آوری اطلاعات و محاسبه نتایج در هر تحقیقی که یک سیستم را از دیدگاه LCA[3] بررسی کند ضروری است. واحد عملکردی مجموعه‌ای از الزامات مشترک را برای هدایت ارزیابی عملکرد سناریوهای مختلف ارائه می‌کند (گیراردی[4] و همکاران، ۲۰۱۵).

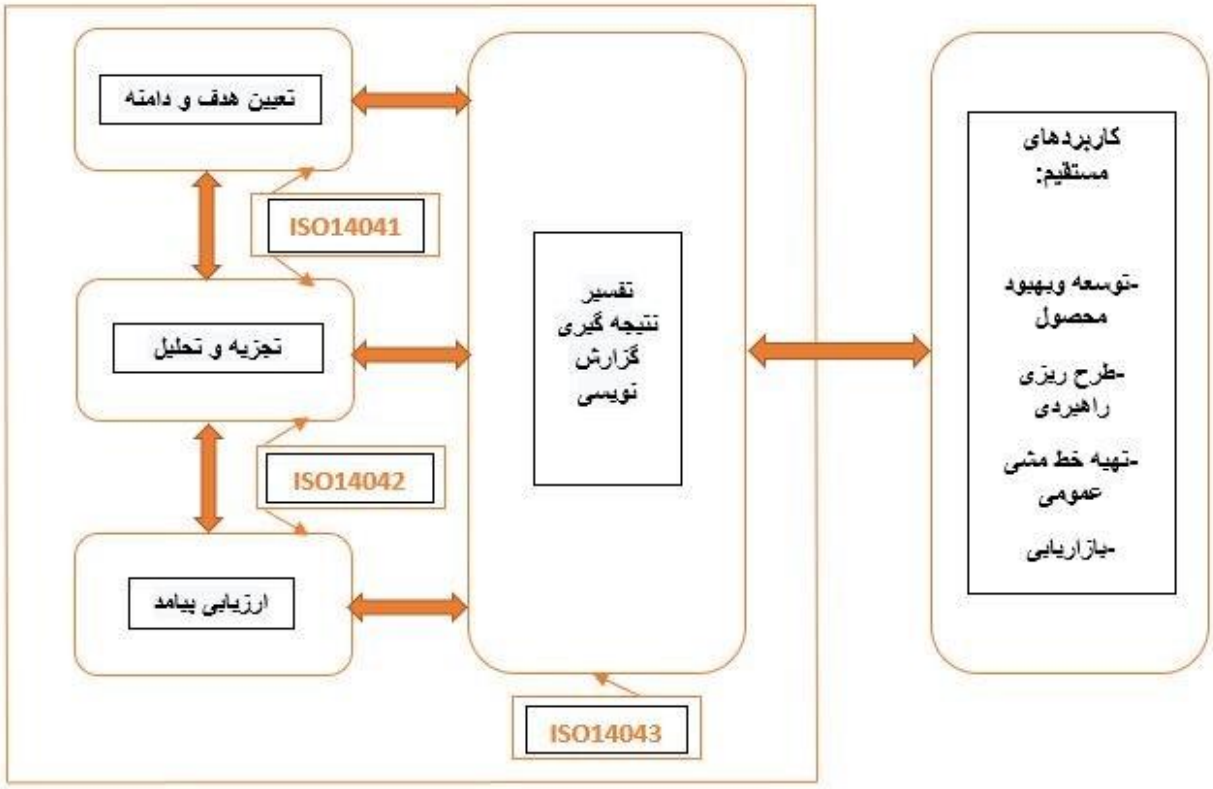
1 International Organization for Standardization
2 Nordelöf et al
3 Life Cycle Assessment
4 Girardi et al

۱-۵-۶- نرم‌افزار سیماپرو

برای دسترسی به برخی از اطلاعات مورد نیاز و ضروری مانند میزان انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی در فرآیند مورد مطالعه، از پایگاه‌های داده که در نرم‌افزار سیما پرو (Sima Pro V.8) وجود دارد، استفاده می‌شود. یکی از مهم‌ترین پایگاه‌های داده که در اکثر مطالعات ارزیابی چرخه عمر مورد استفاده قرار می‌گیرد، پایگاه داده اکواینونت[1] است.

شکل ۱-۲ ارزیابی چرخه زندگی را در چهار مرحله نشان می‌دهد.

1 EcoInvent



شکل۱-۲- مراحل ارزیابی چرخه زندگی (ایزو، ۲۰۰۶)

فصل دوم: پیشینه تحقیق

۲– پیشینه تحقیق

۲–۱– مطالعات داخل کشور

شفیع پور مطلق و همکاران، (۱۳۸۶) پژوهشی را به منظور محاسبه میزان آلودگی هوای ناشی از تردد ناوگان حمل و نقل عمومی در تهران انجام دادند. در این مطالعه ناوگان حمل و نقل به سه دسته خودروهای سبک، وسایل نقلیه یا سوخت دیزل و موتورسیکلت تقسیم شد و سپس ضرایب انتشار آلاینده‌های هر دسته با استفاده از داده‌های سال گذشته به دست آمد. بر همین اساس سهم منابع متحرک در آلودگی هوا شهر تهران در سال ۱۳۸۱، ۹۵٪ بود که سهم خودروهای سبک ۷۴٪، موتورسیکلت‌ها ۲۲٪ و وسایل نقلیه با سوخت دیزل ۳٪ بود.

نجفی و همکاران، (۱۳۸۸) پژوهشی درباره استفاده از بیودیزل به عنوان سوخت آتشزا در موتور دیزل دوگانه سوز جهت کاهش میزان انتشار آلاینده‌ها انجام دادند. در این تحقیق امکان استفاده از بیودیزل به جای گازوئیل بررسی شد. بیودیزل مورد استفاده در این تحقیق، اتیل استر روغن پسماند (آفتاب‌گردان) می‌باشد که مخلوط‌های مختلفی از آنان با گازوئیل (بر مبنای حجمی B10، B20، B30، B40) در یک موتور دیزل کم دور (لیستر M8/1) تبدیل یافته دوگانه سوز، مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آزمون‌ها که بر اساس تست کوتاه‌مدت موتور و بر مبنای استاندارد ECR-49 انجام پذیرفت نشان داد: با افزایش سهم بیودیزل در مخلوط سوخت (آتشزا) احتراق نامناسب انجام پذیرفته در نتیجه پارامترهای عملکردی موتور کاهش می‌یابد و همچنین انتشار آلاینده‌های CO و NO_X ویژه ترمزی به ترتیب تا ۶۷٪ و ۶٪ نسبت به استفاده از گازوئیل کاهش یافت.

نجف و الهی، (۱۳۹۱) در خصوص خطوط اتوبوس‌رانی مطالعه‌ای انجام دادند. در این مطالعه تأثیرگذاری زیست‌محیطی ناشی از انتشارات آلاینده‌های خطوط اتوبوس‌رانی تندرو با استفاده از یکی از نرم‌افزارهای مدل‌سازی آلودگی هوا به نام OSPM [1]بررسی شده است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که حجم خودروهای عبوری بعد از تأسیس خطوط تندرو ناوگان اتوبوس‌رانی ۱۵٪ کاهش داشته است که در نتیجه آن آلاینده‌های هوا هم در ساعات پرترافیک کاهش یافته است.

ماهوتچی و همکاران، (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای به بررسی فنی و زیست‌محیطی بهبود مصرف سوخت در یک اتوبوس شهری هیبرید الکتریکی پرداختند. در این مطالعه یکی از اتوبوس‌های شهری ایران‌خودرو، ۰۴۵۷، در نرم‌افزار مدل‌سازی CRUISE مدل شده و میزان مصرف سوخت این اتوبوس به‌دست آمده و با مصرف سوخت اتوبوس

1 a design Methodology for Open Strategic Planning

هیبرید الکتریکی سری برای چرخه‌های ذکر شده، مقایسه شده‌اند. نتایج نشان دهنده بهبود بیش از ۳۰٪ مصرف سوخت در هر دو چرخه می‌باشد. و در ادامه، میزان اثرات زیست‌محیطی به‌کارگیری اتوبوس هیبرید شهری مورد مطالعه قرار گرفته است.

شهبازی و همکاران، (۱۳۹۳) مطالعه‌ای در رابطه با سیاهه انتشار منابع متحرک آلایندگی در شهر تهران انجام دادند. در این مطالعه ابتدا منابع انسانی تولید آلاینده‌های اتمسفری شناسایی و سهم نسبی هرکدام از این منابع در ایجاد آلودگی در زمان‌ها و مکان‌های مختلف تهران تعیین شده است. در این مطالعه میزان آلاینده‌های SO_X، NO_X، CO، VOC[1]ها و ذرات‌معلق ناشی از تردد خودروهای سواری، تاکسی‌ها، وانت‌ها، موتورسیکلت‌ها و غیره بر اساس ترکیب ناوگان هرکدام محاسبه شده است. نتایج این مطالعه نشان دهنده این است که خودروهای سنگین با توجه به نوع سوخت مصرفی، از منابع عمده تولید و انتشارات ذرات معلق می‌باشند.

شفیع پور مطلق و همکاران، (۱۳۹۴): مطالعه‌ای را به منظور ارزیابی ریسک آلاینده‌های هوای منتشره در پایانه مسافربری بیهقی تهران با روش مدل‌سازی انجام دادند. در ابتدا با جمع‌آوری آمار و اطلاعات پایه مربوط به خودروها، میزان انتشار آلاینده‌های هوا با استفاده از مدل IVE به‌دست آمد و سپس با استفاده از مدل‌های BREEZE AERMOD غلظت آلاینده‌ها تخمین زده شد. در آخر با استفاده از روش RAIS [2]ریسک استنشاق آلاینده‌های هوا برای چهار گروه مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن نشان داد که خطر بیماری سرطان در کارکنان آن پایانه اعم از رانندگان و کارکنان محوطه و همچنین مسافران بیشتر است.

معین الدینی و همکاران، (۱۳۹۵) مطالعه‌ای را جهت برآورد سیاهه انتشار آلاینده‌های هوا از منابع متحرک در استان البرز انجام دادند. هدف از این مطالعه کمی سازی مقادیر انتشار آلاینده‌ها از منابع متحرک، شناسایی منابع متحرک مختلف برای آلاینده‌ها و مقایسه‌ی آن‌ها در استان البرز بوده است. در این پژوهش میزان انتشار آلاینده‌های ناشی از تردد وسایل نقلیه با استفاده از ضرایب انتشار آلایندگی محاسبه شده با مدل جهانی (IVE) تعیین شد. با توجه به این سیاهه انتشار، اتوبوس، مینی‌بوس و کامیون مهم‌ترین منابع انتشار آلاینده‌های PM و NO_X و سواری منبع اصلی آلاینده‌های CO_2، CO، VOC و SO_X مشخص شد.

ابراهیمی و همکاران، (۱۳۹۶) در رابطه با بررسی روش‌های کاهش انتشار آلاینده‌ها در موتور دوگانه سوز مطالعاتی انجام دادند. یکی از معمول‌ترین این موتورهای درون‌سوز که از گاز طبیعی به عنوان سوخت اصلی استفاده می‌کند، موتور دوگانه سوز است که فرصت جایگزینی سوخت‌های مایع را با گاز طبیعی یا دیگر سوخت‌های

1 Volatile Organic Compound
2 Risk Assessment Information System

گازی، به دلیل ماهیت احتراقی تمیزتر و کاهش مقدار آلاینده‌هایی نظیر اکسید نیتروژن و ذرات معلق فراهم آورده است. چون موتور پایه دیزل با تبدیل شدن به دوگانه سوز با افت توان، احتمال وقوع کوبش و همچنین افزایش آلاینده‌هایی مثل هیدروکربن‌های نسوخته و مونوکسیدکربن مواجه می‌شود، راهکارهایی را بررسی کردند که به افزایش توان و بازده موتور دوگانه سوز، جلوگیری از کوبش و تابش آلاینده‌ها منجر می‌شود که این راهکارها عبارت‌اند از: ۱) توسعه سامانه سوخت‌رسانی با فشار قوی پاشش و مرحله‌ای نمودن پاشش ۲) استفاده از پیش محفظه احتراق ۳) تنظیم مقدار سوخت آتشزنه ۴) تنظیم زمان‌بندی سوخت آتشزنه و حرکت گردبادی مخلوط

عمرانیان خراسانی و همکاران، (۱۳۹۸) مطالعه‌ای را در مورد سهم منابع آلاینده در انتشار گاز گلخانه‌ای CO_2 در شهر کرج انجام دادند. در این مطالعه تلاش شد تا میزان انتشار کربن دی‌اکسید مربوط به بخش‌های مختلف شهر کرج در سال ۹۶ با کمک استانداردهایی مانند AP42 و ICAO محاسبه شود و با مقیاس‌های جهانی مقایسه شود. با انجام این مطالعه مشخص شد که نیمی از کربن دی‌اکسید خروجی در شهر کرج مربوط به بخش حمل و نقل و پس از آن نیروگاه‌ها و سپس منابع خانگی و تجاری می‌باشد و برنامه‌ریزی‌ها باید مبتنی بر کاهش میزان انتشار CO_2 از حمل و نقل و نیروگاه باشد که بیش‌ترین میزان انتشار گاز کربن دی‌اکسید را دارند.

نصراللهی و همکاران، (۱۳۹۹) مطالعه‌ای را برای برآورد آلودگی هوای ناشی از تردد وسایل نقلیه عمومی درون‌شهری در شهر یزد انجام دادند. در این مطالعه داده‌های مورد نیاز را از طریق مراجعه به سازمان تاکسیرانی و اتوبوس‌رانی شهرستان یزد و همچنین مراجعه میدانی در بین رانندگان جمع‌آوری کردند. بر اساس نتایجی که به‌دست آمد وسایل نقلیه عمومی در یزد باعث انتشار سالانه ۳۰۶ تن ذرات معلق، ۷۳۰ تن هیدروکربن، ۱۴۲۴ تن مونوکسیدکربن، ۶۸هزار و ۹۳۴تن دی‌اکسیدکربن، ۳۸۹ تن دی‌اکسیدگوگرد، ۴ تن تری‌اکسیدگوگرد و ۶۶۶ تن مونوکسید نیتروژن می‌شود. همچنین گازوئیل عمده‌ترین سوخت مصرفی است که آلودگی قابل‌توجهی به دنبال دارد و در آخر حمل و نقل ریلی به دلیل کاهش مصرف سوخت و بهبود ترافیک و راندمان بالای سرعت جابه‌جایی پیشنهاد شد.

حاجی سید میرزا حسینی و همکاران، (۱۳۹۹) مطالعه‌ای درباره بررسی میزان آلاینده‌های گازی و ذرات‌معلق در پایانه‌های درون‌شهری انجام دادند. در این مطالعه میزان گازها و ذرات‌معلق با استفاده از دستگاه‌های مخصوص به مدت یک سال مورد ارزیابی قرار گرفت. ذرات‌معلق کوچک‌تر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) و گاز CO به ترتیب با ۹۵/۶ ppm[1] و ۲۰/۱ میکروگرم بر مترمکعب بیشترین غلظت را داشتند که همین میزان در فصل زمستان به دلیل

1 Parts-per notation

پایین بودن دما، وارونگی هوا، عدم وزش باد، منابع آلاینده اطراف، نوع سوخت و تکنولوژی و قرار نگرفتن پایانه‌ها در موقعیت مناسب به حداکثر می‌رسد.

هاشمی و همکاران، (۱۳۹۹) در رابطه با به کارگیری روش ارزیابی چرخه حیات در موتورهای دیزل با سوخت بیودیزل مطالعه‌ای انجام دادند و بر اساس نتایج آن تولید بیودیزل اثرات بالقوه زیست‌محیطی کمتری از تولید سوخت‌های فسیلی نشان داد که عمدتاً به دلیل نیاز به انرژی قابل‌توجه پایین در پالایشگاه و استفاده از منابع تجدیدپذیر است.

صفرپور، (۱۳۹۹) مطالعه‌ای را تحت عنوان بررسی و شناسایی سامانه حمل‌ونقل بر سطح کیفیت محیط‌زیست شهری انجام داد که در آن همه پیامدهای محیط‌زیستی را در نظر گرفته و وضعیت آن‌ها را به صورت کیفی بیان کرده است. از اهداف این مطالعه ارزیابی برنامه‌های جلوگیری از آلودگی هوای شهری ناشی از ناوگان حمل‌ونقل گسترده است به طوریکه باعث اثرات مخرب در سایر پیامدهای زیست‌محیطی نشود. با توجه به نتایج این مطالعه، روش‌های تک محوره را باید کنار گذاشت و اثرات زیست‌محیطی را به‌طور جامع بررسی کرد و در واقع برنامه‌های توسعه در زمینه حمل‌ونقل با محیط‌زیست سازگار باشد.

۲-۲- مطالعات خارج از کشور

الی و پرایور[1]، (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای به مقایسه اثرات زیست‌محیطی سوخت‌های دیزل، گاز طبیعی و هیدروژن برای استفاده در ناوگان اتوبوس‌رانی در استرالیا پرداختند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که در مقایسه ناوگان دیزلی و ناوگان با سوخت گاز طبیعی در برابر ناوگان با سوخت هیدروژنی، از نظر تأثیر بر گرمایش جهانی و پرغذایی، وضعیت رقابتی است. انتشار گازهای گلخانه‌ای که به اسیدی شدن و ازن تروپوسفری کمک می‌کنند در اتوبوس‌های با سوخت هیدروژنی بیشتر است. تجزیه و تحلیل سناریوها نشان دهنده‌ی این است که می‌توان به کاهش بیش از ۵۰٪ در زمینه اثرات گازهای گلخانه‌ای، ایجاد ازن تروپوسفری و تقاضای انرژی اولیه دست یافت.

کنت[2] و همکاران، (۲۰۰۸) در رابطه با توسعه موتور دیزل با توجه به استانداردهای کاهش آلایندگی پژوهشی انجام دادند. توسعه موتور دیزل برای استفاده در وسایل نقلیه سبک، متوسط و سنگین به طور عمده با استانداردهای آلایندگی دقیق‌تر هدایت می‌شود. برنامه توسعه فناوری موتورهای دیزلی بر پایه چند اصل استوار است: ۱) بهبود فرایند احتراق ۲) سیستم تزریق سوخت با فشار بالا ۳) استفاده از سیستم توربوشارژ ۴) نرخ بالای گردش دوباره

1 Ally and Pryor
2 Knecht et al

گازهای خروجی ۵) بهبود سیستم کنترل موتور با استفاده از گردش بسته ۶) نرخ فشرده‌سازی متفاوت ۷) کنترل سردکننده دمای هوا ۸) اصطکاک کمتر با استفاده از سیستم با گردش کمتر روغن ۹) غنی‌سازی احتراق با اکسیژن یا نیتروژن.

سیمون[1] و همکاران، (۲۰۱۰) مطالعه‌ای در رابطه با اثرات زیست‌محیطی جهانی و محلی حمل و نقل عمومی و اتوبوس‌رانی با روش‌های ارزیابی چرخه حیات انجام دادند. به دلیل افزایش تحرک جهانی توسط موتورهای احتراق داخلی که عموماً از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند و مردم هم باید روزانه از یک مکان به مکان دیگر حرکت کنند، سیستم‌های حمل و نقل عمومی از جمله اتوبوس یک مسئله مهم تلقی می‌شود. کل مطالعه شامل مدل‌های آلایندگی اتوبوس‌های قبل از یورو و یورو یک تا پنج، اتوبوس‌های CNG [2]و بیودیزل است. علاوه بر این هفت سناریو برای مدل‌های موقعیت‌های ترافیکی نیز گنجانده شده است. ۱) بر اساس نتایج به دست آمده از این مطالعه، اثرات زیست‌محیطی اتوبوس‌های قدیمی بیشتر از اتوبوس‌های جایگزین بود. ۲) GWP[3] اتوبوس‌های قدیمی بین دو تا سه کیلوگرم CO_2 در هر کیلومتر بود اما برای اتوبوس‌های جایگزین کمتر از دو کیلوگرم در هر کیلومتر بود. ۳) یورو چهار تا پنج عملکرد زیست‌محیطی بهتری نسبت به گزینه‌های جایگزین داشت.

روکوپولوس [4]و همکاران، (۲۰۱۱) مطالعه‌ای در رابطه با استفاده از سوخت ترکیبی بوتانول/دیزل در وسایل نقلیه دیزلی انجام دادند.در این مطالعه با توجه به دمای بالای محفظه احتراق وسایل نقلیه دیزلی که باعث انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای می‌شود استفاده ترکیبی از بوتانول و گازوئیل مورد بررسی قرارگرفته است که می‌تواند ورود هوا به محفظه احتراق را کاهش داده و در نتیجه باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای شود. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که بوتانول علاوه بر قیمت کمابیش منطقی، با تأخیر در احتراق و در نتیجه احتراق کامل سوخت، برای تضمین آینده‌ی محیط‌زیست بسیار مؤثر است.

ناناکی و کورونئوس[5]، (۲۰۱۲) استفاده از بیودیزل، گازوئیل و بنزین در وسایل نقلیه را از دیدگاه ارزیابی چرخه عمر مقایسه کردند. سوخت‌های نفتی هیدروکربن‌هایی هستند که باعث انتشار مقادیر زیادی CO_2 می‌شوند که همین امر باعث تشدید پدیده گرمایش جهانی می‌شود. از نظر زیست‌محیطی، بیودیزل خوب به نظر می‌رسد زیرا استفاده از آن باعث کاهش قابل‌توجه انتشار گازهای گلخانه‌ای در مقایسه با بنزین و گازوئیل می‌شود. در عین

1 Simon et al
2 Compressed natural gas
3 Global Warming Potential
4 Rakopoulos et al
5 Nanaki and Koroneos

حال، نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از بیودیزل به عنوان سوخت در حمل و نقل، انتشار ذرات معلق (PM_{10})، اکسیدهای نیتروژن و همچنین مواد مغذی مانند نیتروژن و فسفر را افزایش می‌دهد.

مک کنزی [1] و همکاران، (۲۰۱۲) در رابطه با ارزیابی چرخه عمر هزینه‌ها و انتشار گازهای گلخانه‌ای برای اتوبوس‌های ترانزیت مطالعه‌ای انجام دادند که در آن یک مدل ورودی-خروجی هیبریدی را برای مقایسه دیزل با سولفور بسیار کم با دیزل-الکتریک، گاز طبیعی فشرده و سلول سوخت هیدروژنی هیبریدی ارائه کردند.. نتایج حاصل نشان داد که اتوبوس‌های سوخت جایگزین هزینه‌های عملیاتی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهند، اما هزینه‌های چرخه عمر را افزایش می‌دهند. الزامات زیرساختی برای استقرار و راه‌اندازی اتوبوس‌های سوخت جایگزین در مقایسه انتشار گازهای گلخانه‌ای در چرخه حیات حیاتی است. علاوه بر این، انتخاب اتوبوس کارآمد نسبت به تقاضای مسافر حساس است، اما فقط نسبت به ویژگی‌های تکنولوژیک حساس است و راندمان نسبی اتوبوس‌های گاز طبیعی فشرده نسبت به سایر انواع اتوبوس نسبت به تغییرات قیمت سوخت حساس‌تر است.

رز [2] و همکاران، (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای به مقایسه استفاده از گازوئیل و گاز طبیعی به عنوان سوخت در ناوگان حمل و نقل عمومی از دیدگاه ارزیابی چرخه عمر پرداختند. در این مطالعه سیاهه انتشار مربوط به هر دو تکنولوژی در مرحله تولید و مصرف آن گردآوری و با استفاده از روش‌های LCA، بررسی شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد انتشارات کل موتورهای دیزلی نسبت به موتورهایی که از گاز طبیعی به عنوان سوخت استفاده می‌کردند بیشتر است.

اسلان [3] و همکاران، (۲۰۱۵) مطالعه‌ای تحت عنوان انتشار آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیه موتور دیزلی و سیستم‌های تصفیه اگزوز انجام دادند. در این مطالعه، انتشار گازهای گلخانه‌ای از موتورهای دیزل و سیستم‌های کنترل آن‌ها بررسی شد. چهار انتشار آلاینده اصلی از موتورهای دیزل (مونوکسید کربن-CO، هیدروکربن-HC، ذرات ذرات-PM و اکسیدهای نیتروژن- NOx و سیستم‌های کنترل برای این انتشار (کاتالیزور اکسیداسیون دیزل، فیلتر ذرات دیزل و کاهش کاتالیزوری انتخابی) مورد بحث قرار گرفتند. هر نوع از انتشار و سیستم‌های کنترل به طور جامع مورد بررسی قرار گرفت. در عین حال، محدودیت‌های قانونی انتشار گازهای خروجی در سراسر جهان و اثرات انتشار گازهای خروجی بر سلامت انسان و محیط‌زیست در این مطالعه توضیح داده شد. سیستم‌های تصفیه اگزوز دیزل شامل DOC، DPF و SCR می‌باشد. این سیستم‌ها بیشترین درخواست را به‌خصوص برای موتورهای

1 McKenzie et al
2 Rose et al
3 Aslan et al

دیزلی سنگین دارند و معمولاً ترکیبی از DOC، DPF و SCR به ترتیب برای حذف همزمان آلاینده‌های اصلی از اگزوز موتور دیزل استفاده می‌شود. بنا بر نتایج این مطالعه، سیستم‌های SCR برای کاهش انتشار NOx بسیار مؤثر هستند. NH3 به عنوان یک کاهنده استفاده می‌شود و روی گاز اگزوز تزریق می‌کند تا انتشار NOx را به شکل N2 تبدیل کند. دمای گاز خروجی گازوئیل تأثیر مهمی در کاهش انتشار آلاینده‌ها دارد. علاوه بر نوع کاتالیزور، سرعت فضایی گاز خروجی و شکل انتشار پارامترهای دیگری هستند که بر راندمان تأثیر می‌گذارند.

با سیستم‌های کنترل انتشار پس از تصفیه، می‌توان آسیب انتشار آلاینده‌ها را در آلودگی هوا کاهش داد، استانداردها و الزامات انتشار را برآورده کرد و از اثرات مضر انتشار آلاینده‌ها بر محیط‌زیست و سلامت انسان جلوگیری کرد.

گیراردی و همکاران، (۲۰۱۵): مطالعه‌ای در مورد ارزیابی چرخه زندگی برای وسایل نقلیه الکتریکی و مقایسه آن با یک وسیله نقلیه با موتور احتراق داخلی در کشور ایتالیا انجام دادند. در این مطالعه مراحل تولید و مصرف این وسایل بررسی شد. ارزیابی چرخه زندگی سیاهه انتشار این دو وسیله نقلیه الکتریکی و بنزینی را محاسبه کرده و سناریوهای کوتاه‌مدت و بلندمدت برای تولید باتری‌هایی با اثرات زیست‌محیطی کمتر ارائه می‌کند. واحد عملیاتی مسافت پیموده شده توسط رانندگان در واحد کیلومتر است که برای برآورد اثرات بالقوه این دو وسیله نقلیه در مسافت بیشتر از ۱۵۰هزار کیلومتر مورد بررسی قرار گرفته و چرخه زندگی تمامی قطعات خودروهای جایگزین اعم از باتری و... که در مرز سیستم قبل نبودند، در نظر گرفته شده است.

هویجبرگتس[1] و همکاران، (۲۰۱۷): پژوهشی تحت عنوان Recipe:2016: یک روش هماهنگ ارزیابی تأثیر چرخه عمر در سطح میانی و نقطه پایانی انجام دادند. ارزیابی تأثیر چرخه حیات (LCIA) انتشارات و استخراج منابع را به تعداد محدودی از نمرات اثرات زیست‌محیطی با استفاده از عوامل به اصطلاح مشخصه تبدیل می‌کند. دو روش اصلی برای استخراج عوامل مشخصه وجود دارد، یعنی در سطح نقطه میانی و در سطح نقطه پایانی. برای پیشرفت بیشتر در توسعه روش LCIA، روش ReCiPe2008 را به نسخه ۲۰۱۶ آن به روز کردند. این مطالعه یک نمای کلی از عناصر کلیدی روش ReCiPe2016 ارائه می‌دهد. در این مطالعه سلامت انسان، کیفیت اکوسیستم و کمبود منابع را به عنوان سه حوزه حفاظتی اجرا کرده‌اند. بنا بر نتایج این مطالعه ارزیابی تأثیر چرخه زندگی یک زمینه تحقیقاتی است که به سرعت در حال توسعه است. ReCiPe2016 روشی پیشرفته برای تبدیل موجودی‌های چرخه عمر به تعداد محدودی از امتیازات تأثیر چرخه عمر در سطح میانی و نقطه پایانی ارائه می‌دهد.

1 Huijbregts et al

جیوا و لیم[1]، (۲۰۱۸) مطالعه‌ای در زمینه مقایسه اتوبوس‌های الکتریکی و دیزلی از نظر تأثیر بر پیامدهای زیست‌محیطی انجام دادند. در این مطالعه چرخه انرژی و انتشار گازهای خروجی به عنوان شاخصی برای تأثیر بر پیامدهای زیست‌محیطی انتخاب شدند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که اتوبوس‌های الکتریکی در چرخه زندگی خود، نسبت به اتوبوس‌های دیزلی مصرف انرژی و انتشارات کمتری دارند اما با توجه به شرایط موجود در کلان‌شهرها، محدودیت‌هایی برای استفاده غالب از اتوبوس‌های الکتریکی در شهرها وجود دارد.

وی[2] **و همکاران**، (۲۰۱۹) مطالعه‌ای را در رابطه با محاسبه انتشار خودرو از طریق شبیه‌سازی ترافیک میکروسکوپی کالیبره شده با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام دادند. محاسبه انتشار وسایل نقلیه برای ارزیابی سیاست‌های حفاظت از محیط‌زیست مرتبط با وسایل نقلیه مهم است. در حال حاضر، بسیاری از مطالعات، تشعشعات وسایل نقلیه را از ترکیب مدل شبیه‌سازی ترافیک میکروسکوپی و مدل انتشار خودرو محاسبه می‌کنند. در این مطالعه یک سیستم محاسبه انتشار وسیله نقلیه یکپارچه حول یک مدل شبیه‌سازی ترافیک میکروسکوپی پیشنهاد کردند و در انجام این کار، از تکنیک پایگاه‌داده رابطه‌ای برای ذخیره داده‌های فعالیت ترافیک شبیه‌سازی‌شده استفاده شد. و از این داده‌ها در محاسبه انتشار با استفاده از ماژول محاسبه انتشار آلاینده‌ها که بر اساس مدل IVE توسعه یافته‌اند، استفاده شد. به منظور حصول اطمینان از صحت داده‌های شبیه‌سازی شده خودرو، مدل شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک تنظیم شد. سیستم پیشنهادی برای یک منطقه شهری در شهر نانجینگ به اجرا درآمد. تشعشعات خودرو از سه نوع خودرو با استفاده از سیستم پیشنهادی برای دوره اوج بعد از ظهر محاسبه شد و نتایج با نتایج به‌دست‌آمده از نرم‌افزار IVE با تفاوت جزیی در نتایج حاصل از سیستم پیشنهادی و نرم‌افزار IVE مقایسه شد که نشان‌دهنده اعتبار سیستم پیشنهادی بود. علاوه بر این، برای منطقه مطالعاتی مشخص شد که خودروهای سواری برای کنترل CO حیاتی هستند، اتوبوس‌ها برای کنترل CO و VOC مهم هستند و کامیون‌ها برای کنترل اکسیدهای نیتروژن و CO_2 بسیار حیاتی هستند.

نوردلوف و همکاران، (۲۰۱۹) مطالعه‌ای تحت عنوان ارزیابی چرخه زندگی اتوبوس‌های شهری با برق، روغن نباتی هیدروژنه یا گازوئیل انجام دادند. این مطالعه اثرات زیست‌محیطی چرخه زندگی اتوبوس‌های شهری را بسته به موارد زیر بررسی می‌کند: ۱) درجه برق‌رسانی ۲) ترکیب تأمین برق، برای گزینه‌های قابل شارژ؛ و ۳) انتخاب دیزل یا روغن گیاهی هیدروژنه (HVO)، یک بیودیزل، برای گزینه‌های با موتور احتراقی. این یک مطالعه موردی است که از داده‌های صنعت برای بررسی تأثیر بر تغییرات آب و هوا، یک محرک کلیدی برای برق‌رسانی، و مجموعه

1 Jwa and Lim
2 Wei et al

گسترده‌تری از تأثیرات، در سوئد، اتحادیه اروپا و ایالات‌متحده آمریکا استفاده می‌کند. بر اساس نتایج به دست آمده از این مطالعه وسایل نقلیه الکتریکی هیبریدی غیرقابل شارژ، پتانسیل کاهش تغییرات آب و هوا را در مقایسه با اتوبوس‌های معمولی، بدون توجه به سوخت موجود که دیزل یا HVO باشد، ارائه می‌کنند. هنگام سوخت‌گیری با HVO، اتوبوس‌های پلاگین هیبریدی و تمام الکتریکی مزایای بیشتری برای شدت شبکه کمتر از ۲۰۰ گرم CO_2 معادل/کیلووات ساعت ارائه می‌کنند. برای دیزل، گزینه تمام الکتریکی تا ۷۵۰ گرم CO_2 معادل در هر کیلووات ساعت ترجیح داده می‌شود. پردازش مواد برای ساخت قطعات مشترک، یعنی شاسی، قاب و بدنه، بر بار تولید برای همه مدل‌ها غالب است. در نتیجه، اتوبوس‌های شهری با خودروهای سواری متفاوت هستند، جایی که بسته‌های باتری نقش بزرگ‌تری دارند. با توجه به سایر آلاینده‌های موجود در هوا، اتوبوس تمام الکتریکی بهترین پتانسیل را برای کاهش اثرات به طور کلی دارد، اما نتایج به میزان سوخت‌های فسیلی و فرآیندهای احتراق در تولید برق بستگی دارد.

کاواموتو[1] و همکاران، (۲۰۱۹) از ارزیابی چرخه زندگی (LCA) برای ارائه سناریوهای پایدار برای جایگزینی سوخت‌های فسیلی به وسیله باتری‌های الکتریکی استفاده کرد. در این مطالعه اثرات ناشی از انتشار CO2 در هر سه سناریو (استفاده از بنزین به عنوان سوخت، استفاده از خودروهای دیزلی و استفاده از خودروهای الکتریکی) مورد ارزیابی قرار گرفت. انتشارات در فازهای مختلف ساخت وسایل نقلیه، ساخت باتری‌ها، استفاده از وسایل و پایان استفاده از آن‌ها محاسبه شد. با توجه به قابلیت‌های LCA سناریوهایی نیز برای مصرف بهینه انرژی و رسیدن به بازده بیشتر ارائه شده است.

جلتی و همکاران، (۲۰۲۱) مطالعه‌ای درباره ارزیابی چرخه حیات زیست‌محیطی سوخت‌های جایگزین برای اتوبوس‌های شهری در شهر اوجدا مراکش انجام دادند. در این مطالعه یک ارزیابی چرخه زندگی اتوبوس‌های جایگزین، از جمله اتوبوس‌های هیبریدی (دی الکتریک)، الکتریکی و سوختی، در سطح شهر اوجدا مراکش انجام شده است. این مطالعه با توجه به سه خروجی اصلی: مصرف کل انرژی بر اساس نوع سوخت، انتشار گازهای گلخانه‌ای و معیارهای آلاینده‌های هوا انجام شده است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که اتوبوس‌های الکتریکی و پیل سوختی، جایگزین‌های کارآمد و پایداری برای حمل و نقل عمومی در مرحله عملیاتی هستند و استقرار آن‌ها در شهر می‌تواند به طور بالقوه باعث کاهش اثرات زیست‌محیطی از نظر انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های هوا در هر دو فاز WTT [2] و TTW [3] داشته باشد.

1 Kawamoto et al
2 Well to tank
3 Tank to wheel

سان[1] و همکاران، (۲۰۲۱) در رابطه با پیش‌بینی مصرف سوخت اتوبوس‌های الکتریکی هیبریدی مطالعه‌ای انجام دادند که بر مبنای داده‌های رانندگی در دنیای واقعی انجام شده است. تخمین مصرف سوخت توسط اتوبوس‌های دیزلی هیبریدی به دلیل عملکردها و چرخه‌های رانندگی متنوع آن چالش برانگیز است. در این مطالعه، داده‌های نظارت بلندمدت اتوبوس ترانزیت برای مقایسه تجربی مصرف سوخت اتوبوس‌های دیزلی و هیبریدی تحت شرایط مختلف رانندگی مورد استفاده قرار گرفته است. مدل‌های مصرف سوخت میکروسکوپی با پایداری بالا (۱Hz) و مزوسکوپی (۵-۶۰ دقیقه) مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای اتوبوس‌های هیبریدی توسعه داده شده است. مدل میکروسکوپی شامل متغیرهای رانندگی، درجه و محیط با فرکانس یک هرتز بود. مدل مزوسکوپی داده‌های یک هرتز را در فاکتورهای الگوی ترافیکی پنج تا ۶۰ دقیقه‌ای جمع‌آوری کرد و میانگین مصرف سوخت را در طول مدت آن پیش‌بینی کرد. نتایج پیش‌بینی میانگین درصد خطای مطلق ۱-۲٪ برای مدل‌های میکروسکوپی و ۵-۸٪ برای مدل‌های مزوسکوپی را نشان می‌دهد. داده‌ها بر اساس سرعت‌های مختلف رانندگی، تقاضای موتور وسیله نقلیه و درجه جاده تقسیم شدند تا تأثیر آن‌ها بر عملکرد پیش‌بینی بررسی شود.

دو و کومالاپاتی[2]، (۲۰۲۱) مطالعه‌ای در خصوص تخمین اثرات جایگزینی اتوبوس‌های شهری حال حاضر منطقه بزرگ هیوستون با اتوبوس‌های برقی با استفاده از روش‌های ارزیابی چرخه عمر انجام دادند. در این منطقه، منابع متحرک بیشترین سهم را در انتشار NO_X و دومین سهم را در انتشار VOCها دارند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که انتشار چرخه زندگی گازهای گلخانه‌ای، NOX، VOCها و کربن سیاه مرتبط با اتوبوس‌های الکتریکی کمتر از اتوبوس‌های هیبریدی-دیزلی و دیزلی معمولی است. در عین حال، سایر انتشارات مانند PM_{10}، $PM_{2.5}$، SO_X، N_2O و کربن آلی اولیه در اتوبوس‌های برقی بیشتر است و همین امر سبب افزایش هزینه زیست‌محیطی این اتوبوس‌ها نسبت به اتوبوس‌های دیزلی می‌شود. با این حال، تجزیه و تحلیل هزینه‌های زیست‌محیطی تخمین می‌زند که صرفه‌جویی در هزینه‌های سالانه اتوبوس‌های برقی در سال ۲۰۴۰ از هدف بلندمدت پایداری زیست‌محیطی در منطقه هیوستون حمایت می‌کند.

۲-۳- جمع‌بندی

به طور کلی، مطالعات داخل کشور بیشتر در رابطه با تعیین سیاهه انتشارات مستقیم ناوگان حمل و نقل عمومی و تعیین سهم این ناوگان در انتشار گازهای مرتبط با گرمایش جهانی، آلاینده‌های معیار انجام شده‌اند؛ از طرف دیگر، در مطالعات خارج از کشور به بررسی سوخت‌های جایگزین از نظر میزان انتشار آلاینده‌ها به هوا و مقایسه

1 Sun
2 Du and Kommalapati

این سوخت‌ها با هم، بررسی سیاهه انتشار به هوا در ناوگان‌های با سوخت متفاوت برای رسیدن به ترکیب ناوگان بهینه، بررسی چرخه زندگی استفاده از سوخت‌های ترکیبی، ارزیابی جایگزینی ناوگان الکتریکی و ناوگان هیبرید الکتریکی به جای ناوگان با سوخت‌های فسیلی پرداخته شده است. با توجه به مطالعات انجام شده و با توجه به شرایط کشور در زمینه آلودگی هوا و مطالعات بسیار کمی که در رابطه با جایگزینی بخشی از ناوگان حمل و نقل با سوخت و تکنولوژی‌های جایگزین صورت گرفته در این مطالعه به بررسی و پیش‌بینی اثرات این جایگزینی ناوگان در انتشارات آلاینده‌ها از منابع متحرک پرداخته شده است.

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳–مواد و روش‌ها

شکل ۳-۱-شکل شماتیک مراحل انجام پژوهش

شکل۳-۱ نحوه و مراحل انجام پژوهش از جمع‌آوری اطلاعات، تعریف مرز سیستم، روش تحلیل داده‌ها و نتیجه‌گیری را به‌طور کلی شرح می‌دهد. در مرحله اول، با توجه به اهداف تحقیق، مرز سیستم تعریف شده و سپس از روش‌های نامبرده برای جمع‌آوری اطلاعات موردنیاز پژوهش استفاده می‌شود. در نهایت اطلاعات جمع‌آوری شده با استفاده از روش‌های ارزیابی چرخه عمر پردازش شده و با نتایج حاصل از آن می‌توان میزان تأثیر سناریوها را برآورد و بهترین سناریو را با توجه به آن تعیین نمود.

۳-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

استان البرز، ۶ شهرستان به نام‌های کرج، ساوجبلاغ، نظرآباد، طالقان، اشتهارد و فردیس را شامل می‌شود و شهر کرج در شرق این استان به‌عنوان مرکز استان محسوب می‌شود (استانداری البرز، ۱۳۹۲). بر اساس آخرین سرشماری جمعیت در ایران، در سال ۱۳۹۵، جمعیت این استان، ۲۷۱۲۴۰۰ نفر و جمعیت شهرستان کرج، ۱۷۵۹۳۹۴ نفر است (مرکز آمار ایران ۱۳۹۵).

شکل ۳-۲- نقشه تقسیمات شهرستان‌های استان البرز (مرکز آمار ایران ۱۳۹۵)

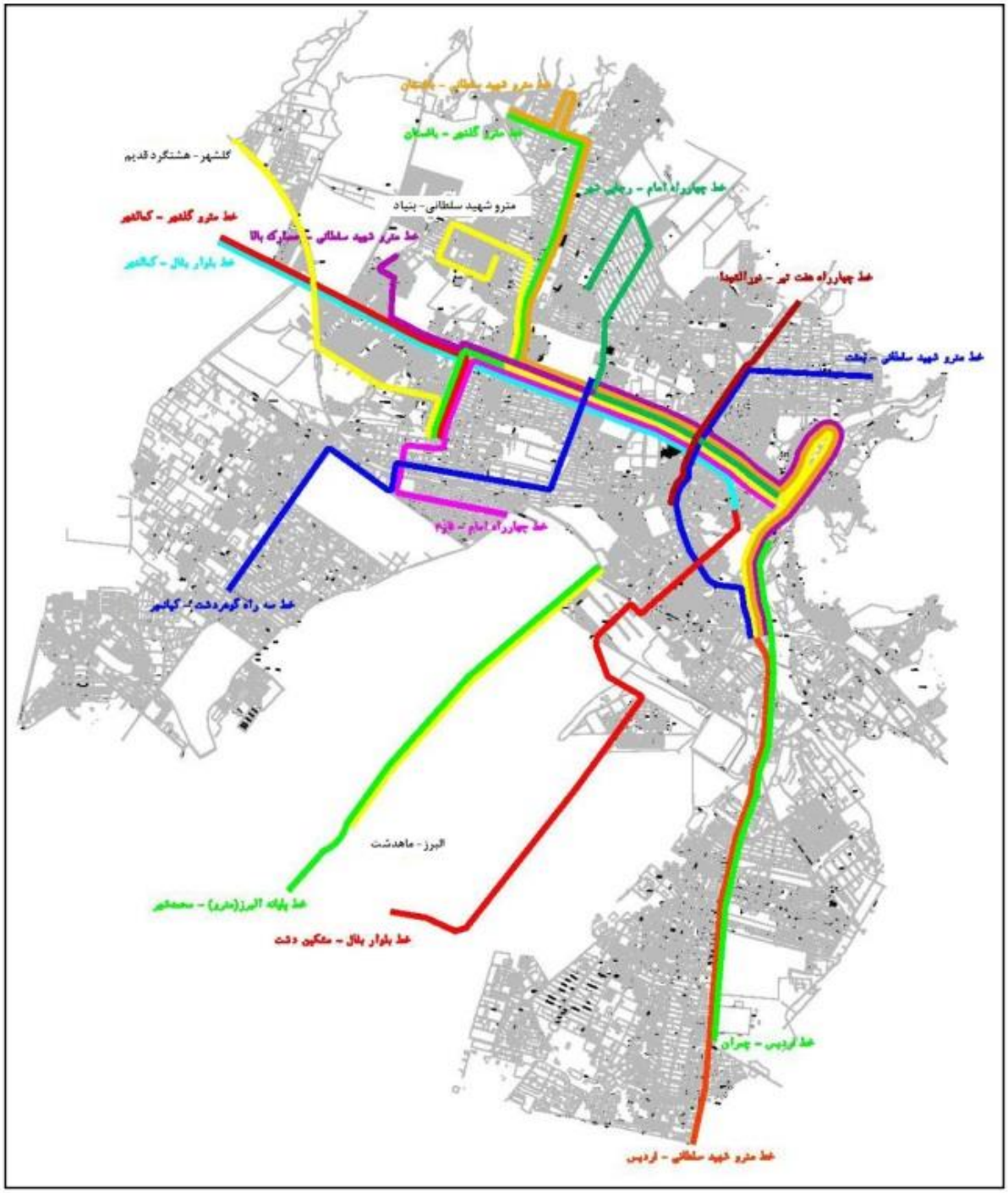
براساس آمار بلند مدت ایستگاه هواشناسی کرج، بارندگی سالیانه شهرستان کرج ۲۴۷/۳ میلی‌متر و میانگین سالیانه دمای هوا ۱۴/۴ درجه سانتی‌گراد است. شهر کرج دارای اقلیم نیمه خشک با میانگین رطوبت نسبی ۵۳درصد و تبخیر سالانه ۲۱۸۴ میلی‌متر است (اداره کل هواشناسی استان البرز، ۱۳۹۱).

تعداد کل خطوط اتوبوس‌رانی شهرستان کرج، ۶۴ خط است. پایانه بلال و پایانه شهید سلطانی (مترو کرج)، با ۱۱ خط، بیش‌ترین تعداد خط را دارند. بر اساس اطلاعات سال ۱۳۹۳، در سیستم اتوبوس‌رانی شهر کرج، ۲۰ پایانه و ایستگاه وجود داشته و تعداد کل ناوگان، ۸۲۸ دستگاه است که خط پایانه حصارک-آزادی با ۶۴ دستگاه، بیش‌ترین ناوگان را دارد (شهرداری کرج، ۱۳۹۴).

جهت امکان پذیر شدن ارزیابی چرخه عمر، در نظر گرفتن یک واحد عملیاتی مشخص لازم است. در این مطالعه، مسافر جابه‌جا شده در یک روز، واحد عملیاتی برای سامانه اتوبوس‌رانی کرج محسوب می‌شود. با توجه به واحد عملیاتی مشخص شده، دو خط از مجموعه خطوط اتوبوس‌رانی شهر کرج مورد ارزیابی قرار حواهدگرفت و معیارهای مورد نظر برای انتخاب خطوط، تعداد مسافران و ترافیک و اهمیت مسیرهای خطوط می باشد.

خط اول: چهارراه حضرت امام – حصارک

خط دوم: پایانه شهید سلطانی (مترو کرج) – باغستان



شکل ۳-۳- شبکه خطوط اتوبوس‌رانی شهر کرج (شهرداری کرج، ۱۳۹۴)

وسایل نقلیه موجود در مناطق پرترافیک شهری به دلیل رانندگی با سرعت پایین و دور موتور بالا به سوخت بیشتری نیز نیاز دارند. در (جدول ۳-۱) اطلاعاتی درباره خطوط موردنظر ناوگان در این مطالعه آمده است.

جدول ۳-۱- اطلاعات ناوگان اتوبوس‌رانی در خطوط مورد مطالعه

شماره خط	۱	۲
تعداد ناوگان	۱۵	۱۱
مسافت یک سفر کامل (km)	۲۱/۶	۴۲/۸
فاصله روزانه تا آشیانه اتوبوس (km)	۱۵/۴	۱۲
تعداد سفر در روز	۱۱	۵
مسافت طی‌شده توسط یک اتوبوس در روز (km)	۲۵۳	۲۲۶
تعداد مسافر در روز در ازای یک اتوبوس	۸۵۰	۷۰۰

در دو خط اتوبوس مورد مطالعه در این پژوهش از دو نوع اتوبوس MEGATRANS-K و MERCESED-BENZ 0457 استفاده شده‌است (جدول ۳-۲).

جدول ۳-۲- مشخصات اتوبوس های موجود در خطوط اتوبوس‌رانی شهر کرج

مدل	MEGATRANS-K	MERCESED-BENZ
طول (میلی‌متر)	۱۴۵۵۰	۱۱۹۷۵
عرض (میلی‌متر)	۲۵۰۰	۲۵۰۰
ارتفاع (میلی‌متر)	۲۷۸۰	۲۹۸۰
وزن خالص (کیلوگرم)	۱۴۰۰۰	۹۸۲۰
وزن ناخالص مجاز (کیلوگرم)	۲۴۵۰۰	۱۸۰۰۰
ظرفیت مسافر نشسته	۱+۳۶	۱+۳۵
نوع سوخت	دیزل	دیزل
نوع موتور	یورو ۲	یورو ۲

مصرف سوخت (Lit/100Km)	۳۸	۳۵

۳-۲- ارزیابی چرخه عمر

وقتی در یک مطالعه، صحبت از ارزیابی چرخه زندگی می‌شود، باید تمام چرخه زندگی محصول یا فرآیند مورد نظر از زمان تولید تا پایان به‌کارگیری آن در ارزیابی در نظر گرفته شود (ISO, 2006). بنابراین برای دسترسی به برخی از اطلاعات مورد نیاز و ضروری مانند میزان انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی در فرآیند مورد مطالعه، از پایگاه‌های داده که در نرم افزار سیماپرو (Sima Pro V.8) وجود دارد، استفاده می‌شود. یکی از مهم‌ترین پایگاه‌های داده که در اکثر مطالعات ارزیابی چرخه عمر مورد استفاده قرار می‌گیرد، پایگاه داده اکواینونت است. در این مطالعه اطلاعات مربوط به انتشارات فرسایش جاده‌ای، با بهره‌گیری از این پایگاه داده فراهم می‌شود.

۳-۲-۱- تعیین هدف و دامنه تحقیق

در این مطالعه برای دو خط از ناوگان اتوبوس‌رانی شهر کرج، ارزیابی چرخه‌حیات انجام خواهدشد تا وضعیت پیامدهای زیست‌محیطی در زمان حال مشخص‌شود و در مرحله بعد با استفاده از امکانات روش ارزیابی چرخه‌حیات (LCA)، وضعیت ناوگان بعد از جایگزینی سوخت گاز طبیعی و ناوگان الکتریکی و هیبرید برای دو خط ذکر شده مشخص خواهدشد. واحد عملکردی در این تحقیق مسافر جابجا شده در یک روز می‌باشد.

در این تحقیق چهار سناریو مطرح شده است که سناریو اول در این تحقیق به‌عنوان سناریو پایه مطرح می‌شود که نشان‌دهنده شرایط حال حاضر ناوگان اتوبوس‌رانی شهر کرج می‌باشد و سه سناریوی دیگر، سناریوهای جایگزینی برای ارزیابی چرخه‌عمر ناوگان اتوبوس‌رانی در منطقه مورد مطالعه تعریف شده‌است. هدف از انجام این تحقیق، برآورد پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از فعالیت ناوگان حال‌حاضر اتوبوس‌رانی موجود در شهر کرج و سپس ارزیابی تأثیر سناریوهای جایگزین در کاهش پیامدهای زیست‌محیطی و در نهایت معرفی بهترین سناریو در استفاده از ناوگان اتوبوس‌رانی شهر کرج می‌باشد به‌طوریکه بیشترین کارایی و در عین حال کمترین پیامدهای زیست‌محیطی را به‌دنبال داشته باشد.

۳-۲-۲- ارزیابی اثرات چرخه عمر

یک سیستم شامل ورودی و خروجی می‌باشد: ورودی‌ها انرژی‌ها و مواد خام و خروجی‌ها انتشارات به هوا، آب و خاک را شامل می‌شوند؛ به همین دلیل، ورودی‌ها و خروجی‌ها در داخل مرزهای یک سیستم مورد مطالعه محاسبه می‌شوند (جلتی و همکاران، ۲۰۲۱). اطلاعات موردنیاز در این تحقیق به صورت گردآوری اطلاعات از رانندگان ناوگان با استفاده از پرسشنامه، محاسبات مدل IVE با بهره‌گیری از اطلاعات جمع‌آوری‌شده از پرسشنامه و تهیه اطلاعات مسیر روزانه ناوگان با استفاده از برنامه Androsensor تهیه می‌شود.

برای ثبت اطلاعاتی مانند سرعت، شتاب و شیب جاده‌ای در این مطالعه برنامه اندرویدی Androsensor مورد استفاده قرار گرفت. این برنامه از سنسورهای حساس در گوشی‌های هوشمند استفاده می‌کند تا کارشناسان را برای بررسی محیط یاری کند (پرایس و همکاران، ۲۰۱۸). در ادامه نتایج حاصل از مدل IVE در دو مرحله قبل و بعد از جایگزینی سوخت و ناوگان الکتریکی بررسی می‌شود که میزان استفاده از ناوگان در این بخش باهم تفاوت دارد.

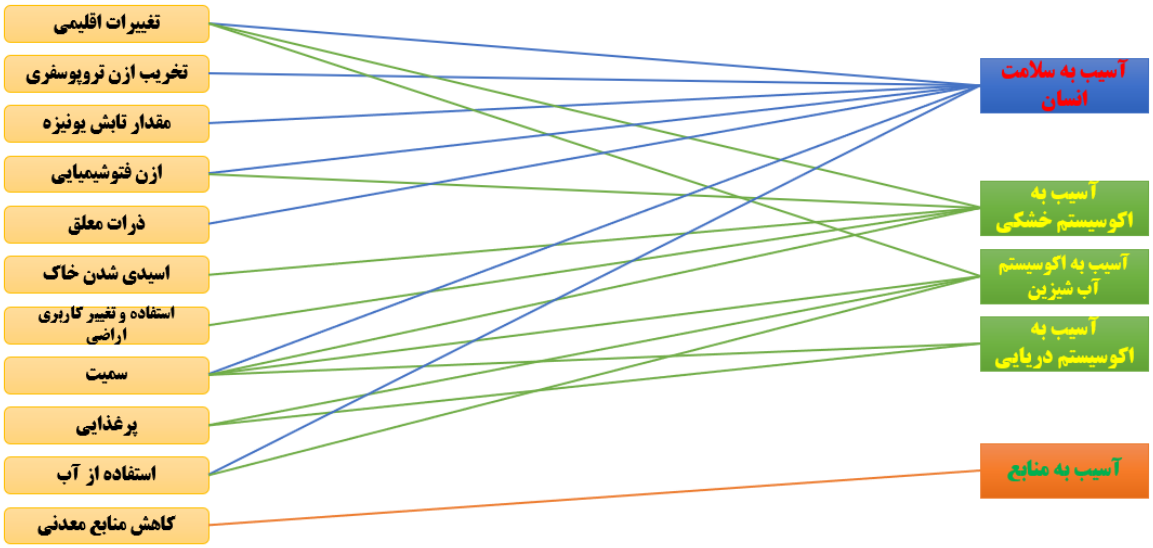
جهت امکان پذیر شدن ارزیابی چرخه عمر، در نظر گرفتن یک واحد عملیاتی مشخص لازم است. در این مطالعه، مسافر جابه‌جا شده در یک روز، واحد عملیاتی برای سامانه اتوبوس‌رانی کرج محسوب می‌شود. با توجه به واحد عملیاتی مشخص شده، دو خط از مجموعه خطوط اتوبوس‌رانی شهر کرج مورد ارزیابی قرار حواهدگرفت و معیارهای مورد نظر برای انتخاب خطوط، تعداد مسافران و ترافیک و اهمیت مسیرهای خطوط می‌باشد.

در این مطالعه برای دو خط از ناوگان اتوبوس‌رانی شهر کرج، ارزیابی چرخه‌حیات انجام خواهد شد تا وضعیت پیامدهای زیست‌محیطی در زمان حال مشخص شود و در مرحله بعد با استفاده از امکانات روش ارزیابی چرخه‌حیات (LCA)، وضعیت ناوگان بعد از جایگزینی سوخت گاز طبیعی و ناوگان الکتریکی و هیبرید برای دو خط ذکر شده مشخص خواهد شد. نتایج حاصل از ارزیابی چرخه‌حیات توسط نرم افزار سیماپرو، بر اساس اطلاعات حاصل از مدل IVE برای دو مرحله قبل و بعد از جایگزینی سوخت و ناوگان تغییر می‌کند و جایگزینی‌های موردنظر، ضرایب انتشار را در مدل IVE تغییر خواهدداد و در نهایت بر اساس نتایج ارزیابی‌های چرخه‌حیات انجام شده، وضعیت پیامدهای زیست‌محیطی در دو بخش قبل و بعد از انجام جایگزینی مقایسه خواهدشد.

با توجه به مطالعات صورت گرفته، روش LC-IMPACT می‌تواند یک روش بسیار موثر برای استفاده دراین مطالعه باشد. این روش به‌روزترین روش ارزیابی اثرات در نرم‌افزار سیماپرو می‌باشد. LC-

IMPACT، یک روش ارزیابی آسیب چرخه‌حیات منطقه‌ای است و یک زمینه تحقیقاتی استه که داده به‌طور مداوم از نظر مسیرهای تأثیر تحت پوشش، قابلیت اطمینان و جزئیات فضایی بهبود می‌یابند. در این روش سطح آسیب برای ۱۱ دسته تأثیر مرتبط با چهار حوزه حفاظتی (سلامت انسان، کیفیت اکوسیستم، منابع طبیعی و سمیت سازگار با محیط‌زیست) ارائه می‌کند که سمیت سازگار با محیط‌زیست از اهمیت و وزن بسیار پایینی برخوردار می‌باشد. نوآوری‌های این روش عبارت‌اند از: ۱) تفکیک فضایی عوامل شناسایی باتوجه به ماهیت تأثیر ۲) رویکردی جدید برای ارزیابی اثرات بر اکوسیستم‌ها ۳) مستندات صریح قضاوت‌های ارزشی ۴) مستندات صریح نوع رویکرد (حاشیه‌ای، متوسط، خطی) ۵) ارزیابی‌های کمی عدم قطعیت برای دسته‌های تأثیر انتخاب شده و بحث کیفی عدم قطعیت‌ها برای همه دسته‌های تأثیر

برای ارزیابی چرخه‌زندگی سامانه اتوبوس‌رانی شهر کرج از نرم افزار سیماپرو استفاده خواهدشد که یکی از بهترین و پرکاربردترین نرم‌افزارها در این زمینه به حساب می‌آید (هایبرگتز و همکاران، ۲۰۱۷). در ادامه با توجه به پیامدهای زیست‌محیطی که توسط نرم‌افزار محاسبه شده و تفسیر نتایج آن، می‌توان در سناریوهای مختلف این پیامدها را باهم مقایسه کرده و راهکارهایی را در صورت کاهش آلودگی هوا ارائه کرد که سبب افزایش آلایندگی در سایر محیط‌های اثر نشود.



شکل ۳-۴- طبقه بندی بخش‌های اثر در روش LC-IMPACT (ورونس و همکاران ۲۰۱۰)

محیط‌هایی که از اثرات ناشی از یک خدمت یا تولید یک محصول، تأثیر می‌پذیرند در سه دسته مهم سلامت انسان، اکوسیستم‌ها، منابع و یک دسته با اهمیت بسیار پایین تحت عنوان سمیت سازگار با محیط‌زیست، طبقه‌بندی می‌شوند که این مورد آخر در سایر روش های قدیمی‌تر LCA وجود ندارد. از جمله اثراتی که هر فعالیتی به واسطه آن به محیط‌زیست فشار وارد میکند، عبارتند از: انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط با تغییرات اقلیمی (گرمایش جهانی)، انتشار گازهای سمی سرطان‌زا و غیر سرطان‌زا، انتشار ذرات معلق، افزایش تابش یونیزه، افزایش سمیت انسانی و اکوسیستمی ازن تروپوسفری، استفاده یا ایجاد سمیت در آب، تغییر کاربری اراضی، ایجاد سمیت در خشکی و دریا، استفاده از منابع معدنی (هویجبرگتس و همکاران، ۲۰۱۷).

۳-۳- تشریح سناریوها

وضعیت حال‌حاضر ناوگان و سه سناریو جایگزینی به شرح زیر می‌باشد:

سناریو اول: وضعیت حال‌حاضر ناوگان اتوبوس‌رانی شهر کرج از نظر فرسودگی و نوع سوخت‌که دیزل می‌باشد که سناریو پایه در این تحقیق محسوب و به‌عنوان سناریو اول مطرح می‌شود.

سناریو دوم: استفاده از سوخت گاز طبیعی به‌جای دیزل

سناریو سوم: استفاده از اتوبوس هیبرید الکتریکی (ترکیب دیزل-برقی) به‌جای کل یا بخشی از خطوط ناوگان مورد مطالعه (شرکت کینگ لانگ، ۲۰۰۸).

سناریو چهارم: استفاده از اتوبوس برقی به‌جای کل یا بخشی از خطوط ناوگان مورد مطالعه (شرکت ولوو، ۲۰۱۹)

اتوبوس برقی مورد استفاده در این تحقیق، اتوبوس الکتریکی ولوو ۷۹۰۰ است که در سال ۲۰۱۷ توسط شرکت ولوو تولید شده‌است که نسبت به اتوبوس‌های الکتریکی قبلی از پکیج باتری قوی‌تر و پرظرفیت‌تری (۲۵۰-۲۰۰-۱۵۰ کیلووات ساعت) برخوردار بوده و امکان طی‌کردن مسافت بیشتری را با یک بار شارژ کامل دارد (شکل۳-۵)، (کوزلوفسکا[1]، ۲۰۱۹) و اتوبوس هیبرید الکتریکی مورد استفاده، اتوبوس دیزل-الکتریکی هیبرید ده‌متری متعلق به شرکت کینگ لانگ چین می‌باشد که از زمان شروع ساخت آن در بین مصرف کنندگان داخلی وخارجی محبوبیت زیادی کسب کرده‌است (شکل۳-۶) (گروندیتز[2]، ۲۰۲۱).

1 Kozłowska
2 GRUNDITZ

شکل ۳-۵- اتوبوس الکتریکی ولوو ۷۹۰۰ (شرکت ولوو ۲۰۱۹)

شکل ۳-۶- اتوبوس هیبرید کینگ لاین چین (شرکت کینگ لانگ ۲۰۰۸)

در ادامه اطلاعات مربوط به دو مدل اتوبوس بالا آورده شده است (جدول ۳-۳):

جدول ۳-۳- اطلاعات اتوبوس های برقی و هیبرید مورد استفاده در این تحقیق (شرکت ولوو، ۲۰۱۷ و کینگ لاین ۲۰۲۰)

نوع اتوبوس / مدل	برقی / Volvo 7900 Electric شرکت ولوو	هیبرید / XMQ6106G شرکت چینی کینگ لانگ
طول (میلی‌متر)	۱۲۰۰۰	۱۰۵۰
عرض (میلی‌متر)	۲۵۵۰	۲۵۰۰
ارتفاع (میلی‌متر)	۳۳۰۰	۳۰۷۰
وزن خالص (کیلوگرم)	۷۵۰۰	۱۲۰۰۰
ظرفیت مسافر نشسته	۲۳	۲۶
نوع سوخت	-	دیزل-الکتریکی هیبرید
نوع موتور	الکتریکی R85 max 200 (kW)	YC6J210N-52/WP6NG210E50
مصرف سوخت (لیتر)	-	۲۰۰

فصل چهارم: نتایج

۴– نتایج

۴–۱– نتایج ارزیابی اثرات چرخه‌حیات

ورودی‌های در نظر گرفته شده در ارزیابی چرخه‌عمر (LCA) برای استفاده از سیستم اتوبوس‌رانی در شهر کرج در جدول ۴-۱ آمده است. نتایج حاصل از ارزیابی سناریوهای مختلف استفاده در سیستم اتوبوس‌رانی شهر کرج، نشان می‌دهد که وضعیت حال‌حاضر ناوگان به ورودی‌های بیشتری نسبت به سناریوهای جایگزینی نیاز دارد. انتشارات مستقیم و غیر مستقیم ناشی از سیستم اتوبوس‌رانی شهر کرج به ازای ۲۴۰۰ مسافر در روز، در جدول ۱-۴ ارائه شده است. با توجه به اطلاعات انتشارات مستقیم، بیشترین میزان انتشار در هوا مربوط به سناریو اول یا وضعیت حال‌حاضر ناوگان است. به جزمونوکسیدکربن، آمونیاک و متان که در سناریو دو جایگزینی ناوگان بیشتر است، مقادیر باقی نهاده‌ها کمتر است و مقدار بوتادین در سناریو دو و مقدار متان در سناریو سه بسیار کمتر از وضع موجود ناوگان می‌باشد و صفر در نظرگرفته شده‌است؛ زیرا برخی موارد ارزش کمتری نسبت به مقادیر قابل محاسبه در مدل IVE دارند و به همین دلیل صفر در نظر گرفته می‌شوند. در سناریو چهار هم به دلیل تکنولوژی برقی هیچگونه انتشارات به هوا وجود ندارد.

جدول ۴-۱- سیاهه چرخه زندگی برای وضع موجود و چهار سناریوی جایگزینی بر مبنای واحد عملکردی

نهاده	مقدار (گرم)			
	وضع موجود	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ۴
الف) انتشارات غیر مستقیم				
شیشه	۱/۷۷۱	۲/۸۷	۲/۲۴۵	-
روغن موتور	۳/۲۴۲	۳۳/۸۷۱	۲۴/۴۶	-
گازوئیل	۲۶۸۰/۰۵۳	-	۱۹۴۹/۸۲۳	-
کربن سیاه	۱/۰۰۸	۱/۰۰۸۶	۱/۰۰۸۶	۰/۷۵۶۵
کتان (نخ لاستیک)	۰/۲۵۲	۰/۲۵۲۲	۰/۲۵۲۲	۰/۱۸۹۲
لاستیک	۱/۷۳	۱/۷۲۹۱	۱/۷۲۹۱	۱/۲۹۶۸
آهن	۷۷/۴۴	۷۱/۵۳	۵۸/۰۷۶	۴۸/۴۰۵
آب مقطر	۴/۱۴	۴/۱۴	۳/۳۱۴۱	-
ضدیخ	۳/۶۰	۳/۶۰۲۲	۲/۸۸۱۸	-
پلاستیک صندلی	۲/۰۰۶	۷۵۶۰	۱/۹۷	۱/۲۴۵
باتری	-	-	۲/۷۶	۵/۱۸
برق	-	-	-	۱۲/۴۲
ب) انتشارات مستقیم				
انتشارات به هوا				
CO	۸۴/۹۴	۱۰۱۲۲/۳۳	۶/۳۶	۰
VOC	۱۱/۵۹	۳/۶۱	۰/۹۵	۰
NO_X	۲۵۴/۸۵	۱۲۲/۴۵	۱۱/۰۰۰۷	۰
SO_X	۱/۹۱	۰/۰۳	۰/۶۷	۰
PM	۶۴/۷۳	۰/۲۰	۰/۸۸	۰
Butadiene	۰/۰۴	۰	-۰/۰۰۳	۰
Acetaldehydes	۰/۲۲	۰/۰۱	-۰/۰۱۵	۰
Formaldehydes	۰/۶۱	۰/۱۱	۰/۰۴۲	۰
NH_3	۰/۴۱	۳/۴۳	۰/۲۱	۰
Benzene	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۰۱۱	۰
CO_2	۱۸۷۴۸/۵۵	۱۰۵۹۹/۲۸	۵۳۴۱/۷۴	۰
N_2O	۰/۱۹	۰/۰۲	۰/۱۸	۰
CH_4	۰	۲۳۷/۲۸	۰	

۴-۲- ارزیابی اثرات زیست‌محیطی سناریوها

در این قسمت، نتایج ارزیابی اثرات زیست‌محیطی ناوگان اتوبوس‌رانی شهر کرج بر اساس نتایج به‌دست آمده از تحلیل‌های چرخه عمر در نرم‌افزار سیماپرو به روش LC-IMPACT ارائه شده‌است.

۴-۲-۱- تجزیه و تحلیل پیامدهای زیست‌محیطی در سطح میانی

مقادیر پیامدهای سطح میانی برای سناریوهای سیستم اتوبوس‌رانی شهر کرج در جدول ۴-۲ نشان داده شده‌است. براساس نتایج حاصل، در پیامد تغییرات اقلیمی، سناریو دو با ۰/۰۰۰۰۸ gr CO_2 eq[1] دارای کم‌ترین مقدار و وضع موجود با ۰/۰۰۰۳ gr CO_2 eq بیش‌ترین مقدار را دارد. مقادیر ذرات معلق برای سناریو دو کم‌ترین مقدار و برای سناریو یک بیش‌ترین مقدار است. مقادیر ازن تروپوسفری-سمیت اکوسیستمی در سناریو دو با ۱/۶۱E-17 کیلوگرم کم‌ترین و برای وضع موجود در سناریو یک با ۲/۶۱E-16کیلوگرم بیش‌ترین مقدار را دارد. مقادیر سمیت انسانی ازن تروپوسفری برای سناریو سه با مقدار ۱/۴۸E-08 کیلوگرم کم‌ترین و برای سناریو یک یا وضعیت موجود با ۲/۳۷E-07 کیلوگرم بیش‌ترین است. کم‌ترین و بالاترین مقادیر تابش یونیزه معادل ۲/۴۵E-10 و ۲/۴۳E-08 کیلوگرم است که به ترتیب مربوط به سناریو دو و چهار است. کم‌ترین مقدار سمیت سرطان‌زا برای انسان با E-۱/۱۸۰۷ کیلوگرم مربوط به سناریو دو و بیش‌ترین مقدار آن مربوط به سناریو چهار با ۸/۴۵E-06 کیلوگرم است.

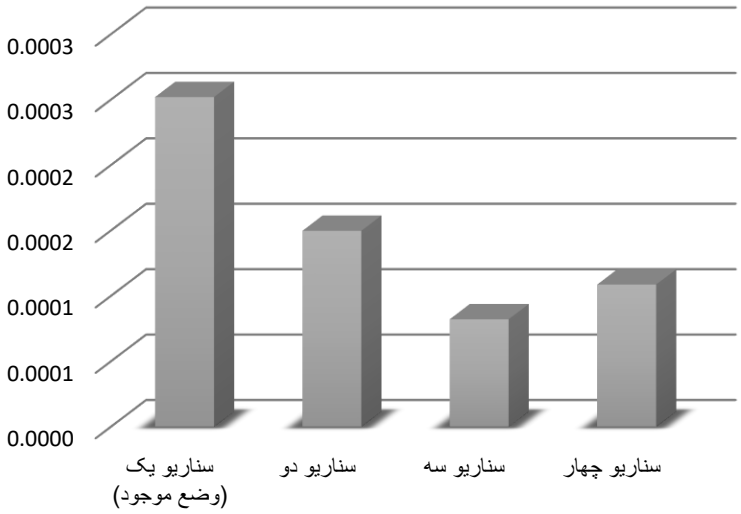
جدول ۴-۲- مقادیر تأثیر بر پیامدهای سطح میانی برای وضع موجود و چهار سناریوی جایگزینی بر مبنای واحد عملکردی

پیامد سطح میانی	واحد	مقدار			
		وضع موجود	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ۴
تغییرات اقلیمی	kg CO_2 eq	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۱۴۹	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۱۰۸
کاهش ازن استراتوسفری	kg CFC11 eq	۸/۳۸E-09	۷/۹۸E-10	۷/۴۸E-09	۸/۱۲E-09
مقدار تابش یونیزه کننده	kBqCo-60 eq	۱/۰۹E-08	۲/۴۵E-10	۸/۴۵E-09	۲/۴۳E-08
ازن تروپوسفری-سمیت انسانی	kg NOx eq	۲/۳۷E-07	۱/۱۱E-07	۱/۴۸E-08	۱/۹۴E-08

[1] Equivalent

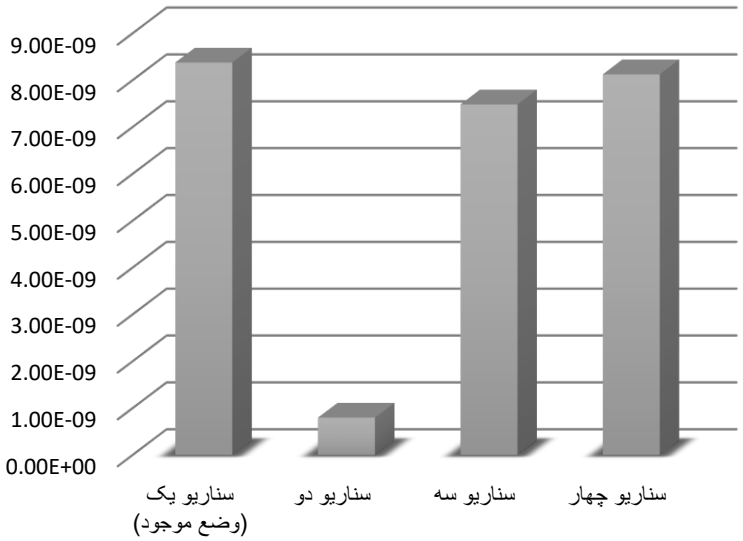
تولید ذرات معلق	$kg\ PM_{2.5}\ eq$	۲/۲۴E-05	۱/۰۱E-05	۳/۳۳E-06	۱/۳۵E-05
ازن تروپوسفری-سمیت اکوسیستمی	kg NOx eq	۲/۶۱E-16	۱/۲۳E-16	۱/۶۹E-17	۲/۱۷E-17
اسیدی شدن خاک	$kg\ SO_2\ eq$	۸/۷۵E-15	۳/۸۹E-15	۱/۰۷E-15	۲/۳۶E-15
پرغذایی آب شیرین	kg P eq	۹/۶۱E-16	۱/۳۰E-16	۱/۲۴E-15	۹/۰۰۸E-15
پرغذایی آب دریا	kg N eq	۸/۷۷E-20	۴/۵۹E-20	۱/۱۱E-19	۱/۱۳E-18
سمیت در خشکی	kg 1,4-DCB	۵/۴۱	۰/۸۵	۱۱/۰۵	۴۶/۴۷
سمیت آب شیرین	kg 1,4-DCB	۳۰۸/۹۸	۶۷/۷۴	۳۶۹۰/۳۸	۱۴۰۷۰/۷۱
سمیت آب دریا	kg 1,4-DCB	۱/۶۰E+05	۳/۲۹E+04	۱/۷۳E+06	۶/۲۷E+06
سمیت برای انسان (سرطان‌زا)	kg 1,4-DCB	۹/۷۶E-07	۱/۱۸E-07	۱/۵۶E-06	۸/۴۵E-06
سمیت برای انسان (غیر سرطان‌زا)	kg 1,4-DCB	۱/۰۲E-06	۲/۱۰E-07	۲/۵۳E-06	۱/۱۹E-05
استفاده و تغییر کاربری اراضی	$m^2a\ crop\ eq$	۲/۶۴E-17	۵/۷۴E-18	۳/۲۳E-17	۱/۷۰E-16
کاهش منابع معدنی	kg Cu eq	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۲۹	۰/۵۷
استفاده از آب	m^3	۱/۰۲E-08	۳/۱۷E-09	۶/۹۰E-09	۲/۹۴E-08

شکل ۴-۱- مقادیر پیامد تغییرات اقلیمی را در حالت تأثیرپذیری از وضعیت حال‌حاضر و سه سناریوی جایگزینی را نشان می‌دهد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که ناوگان دیزلی حال حاضر بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش مقدار این پیامد داشته که این مقدار حدود ۰/۰۰۰۳ $kg\ CO_2\ eq$ است، همچنین کم‌ترین مقدار تأثیر براین پیامد با حدود ۰/۰۰۰۰۸ $kg\ CO_2\ eq$ متعلق به سناریو سه یعنی اتوبوس هیبریدی می‌باشد و بعد از آن سناریو چهار با حدود ۰/۰۰۰۱۰۸ $kg\ CO_2\ eq$ بیش‌ترین تأثیر را در کاهش مقدار تغییرات اقلیمی (گرمایش جهانی) نسبت به وضع موجود دارد. سناریو سه نسبت به وضع موجود در ناوگان اتوبوس‌رانی شهر کرج، اثربخشی حدود ۷۴ درصدی را در کاهش تغییرات اقلیمی دارد.



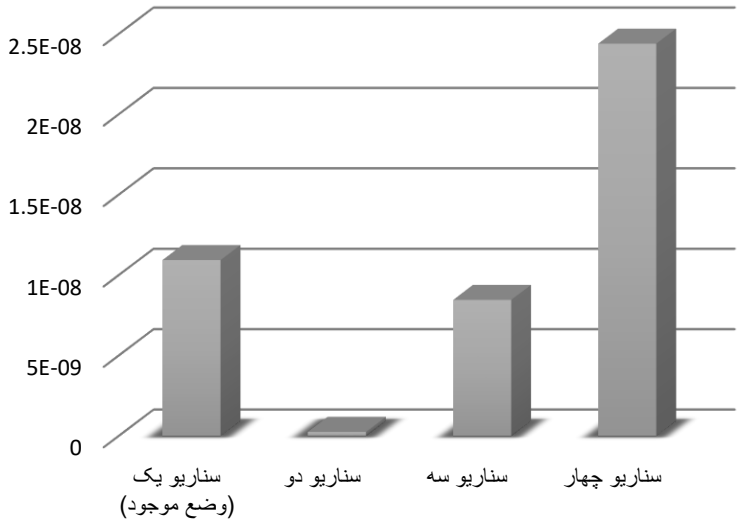
شکل ۴-۱- مقدار تغییرات اقلیمی در شرایط وضع موجود و سه سناریوی جایگزینی

شکل ۴-۲- مقادیر پیامد کاهش ازن استراتوسفری را در حالت تأثیرپذیری از وضعیت حال‌حاضر و سه سناریوی جایگزینی را نشان می‌دهد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که ناوگان دیزلی حال‌حاضر بیش‌ترین تأثیر را بر این پیامد دارد و سناریو چهار در رتبه بعدی قرار دارد و سناریو دو کم‌ترین میزان تأثیر بر این پیامد را دارد و نسبت به وضع موجود اثربخشی حدود ۹۵ درصدی دارد.



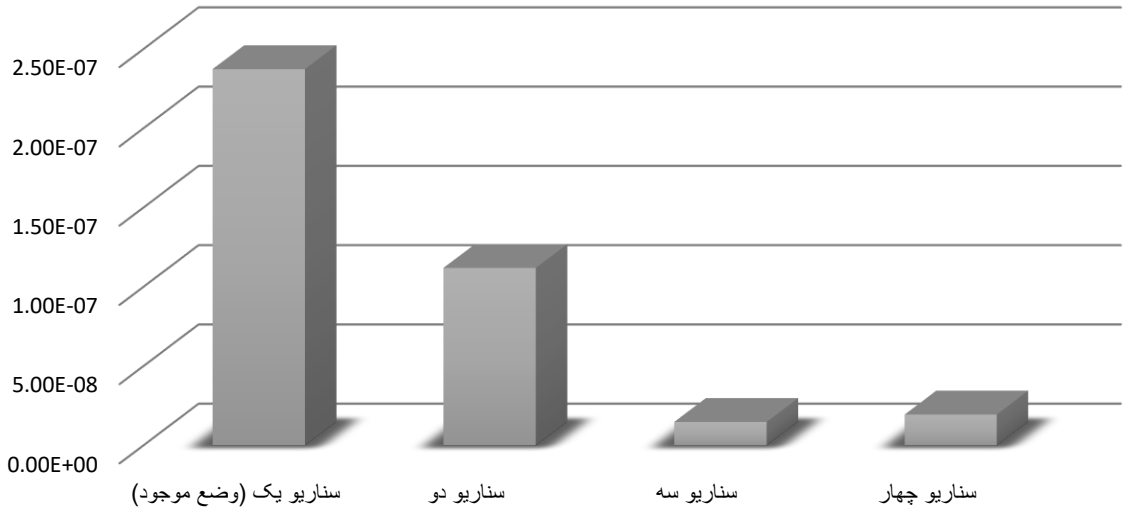
شکل ۴-۲- مقادیر تخلیه ازن استراتوسفری در شرایط وضع موجود و سه سناریوی جایگزینی

شکل ۴-۳- مقادیر تابش یونیزه کننده را در حالت تأثیرپذیری از وضعیت حال‌حاضر و سه سناریوی جایگزینی را نشان می‌دهد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که سناریو دو دارای اثربخشی ۹۸ درصدی نسبت به وضع موجوداست. همچنین سناریو چهار با مقدار ۲/۴۴E-08 kBq Co-60 eq نسبت به ناوگان دیزلی حال‌حاضر تأثیر بیش‌تری بر این پیامد دارد. در این پیامد، برخلاف بیشتر پیامدهای سطح میانی که وضع موجود بیش‌ترین تأثیر را بر آن‌ها دارد، سناریو چهار یعنی ناوگان الکتریکی بدترین حالت ممکن را دارد.



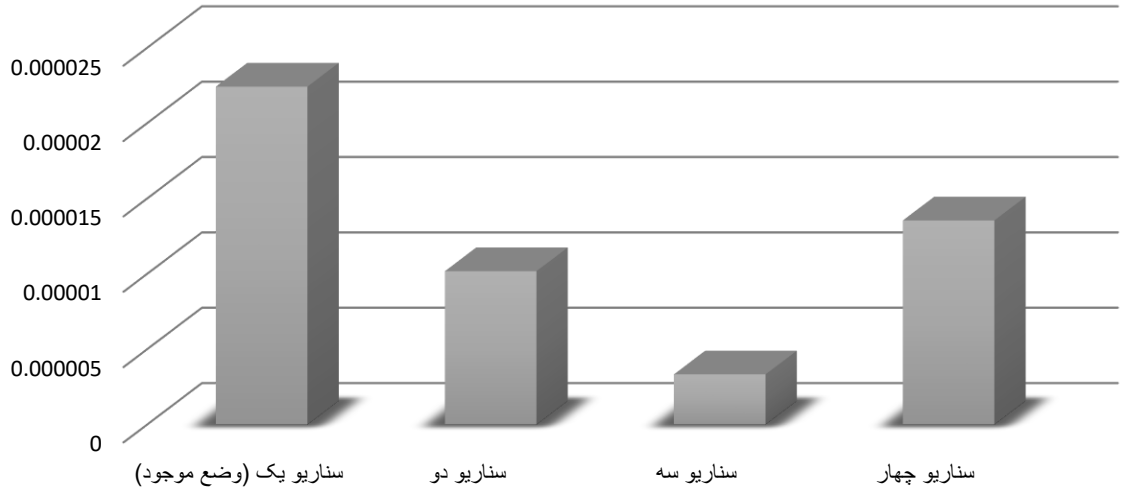
شکل ۴-۳- مقادیر تابش یونیزه کننده در شرایط وضع موجود و سه سناریوی جایگزینی

شکل ۴-۴- مقادیر پیامد سمیت انسانی ازن تروپوسفری را در حالت تأثیرپذیری از وضعیت حال‌حاضر و سه سناریوی جایگزینی نشان می‌دهد. ناوگان دیزلی حال‌حاضر با ۲/۳۷E-07 kg NOx eq بیش‌ترین تأثیر را بر این پیامد داشته و کم‌ترین تأثیر با ۱/۴۸E-08 kg NOx eq مربوط به سناریو سه می‌باشد؛ بعد از آن سناریوهای چهار و دو به ترتیب در رتبه‌های بعدی کم‌ترین اثربخشی جای می‌گیرند. سناریو سه در این پیامد نسبت به وضع موجود اثربخشی ۹۴ درصدی دارد.



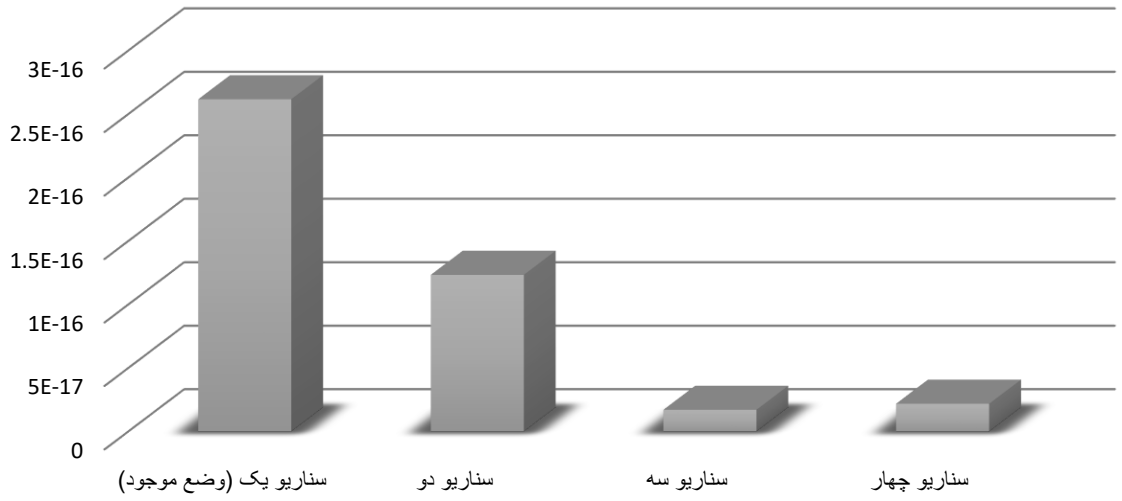
شکل ۴-۴- مقادیر سمیت انسانی ازن تروپوسفری در شرایط وضع موجود و سه سناریوی جایگزینی

شکل ۴-۵ مقادیر پیامد تولید ذرات معلق را در حالت تأثیرپذیری از وضعیت حال‌حاضر و سه سناریوی جایگزینی نشان می‌دهد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که در این پیامد نیز همانند مورد بالا، ناوگان دیزلی حال‌حاضر بدترین حالت را دارد و سناریو سه ایده‌آل‌ترین شرایط را از نظر تأثیر بر این پیامد دارد. سناریو سه با E- kg $PM_{2.5}$ eq ۳/۳۳۰۶ اثربخشی ۸۶ درصدی نسبت به وضع موجود در کاهش تأثیر بر تولید ذرات معلق دارد.



شکل ۴-۵- مقادیر تولید ذرات معلق در شرایط وضع موجود و سه سناریوی جایگزینی

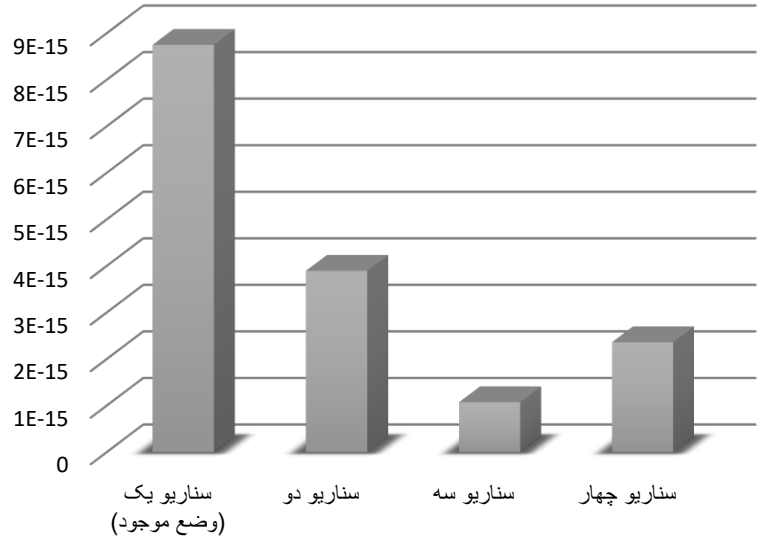
شکل ۴-۶ مقادیر پیامد سمیت اکوسیستمی ازن تروپوسفری را در حالت تأثیرپذیری از وضعیت حال‌حاضر و سه سناریوی جایگزینی را نشان می‌دهد. در این پیامد نیز سناریو سه بهترین شرایط را داشته و بعد از آن سناریوهای چهار و دو به ترتیب کم‌ترین تأثیر را بر مقدار این پیامد سطح میانی دارند. از طرفی، ناوگان دیزلی حال‌حاضر با ۲/۶۱E-16 kg NOx eq بدترین حالت ممکن را دارد. سناریو سه با ۱/۶۹E-17 kg NOx eq نسبت به وضع موجود می‌تواند تا ۹۴ درصد در کاهش تأثیر بر این پیامد اثربخشی داشته باشد.



شکل ۴-۶- مقادیر سمیت اکوسیستمی ازن تروپوسفری در شرایط وضع موجود و سه سناریوی جایگزینی

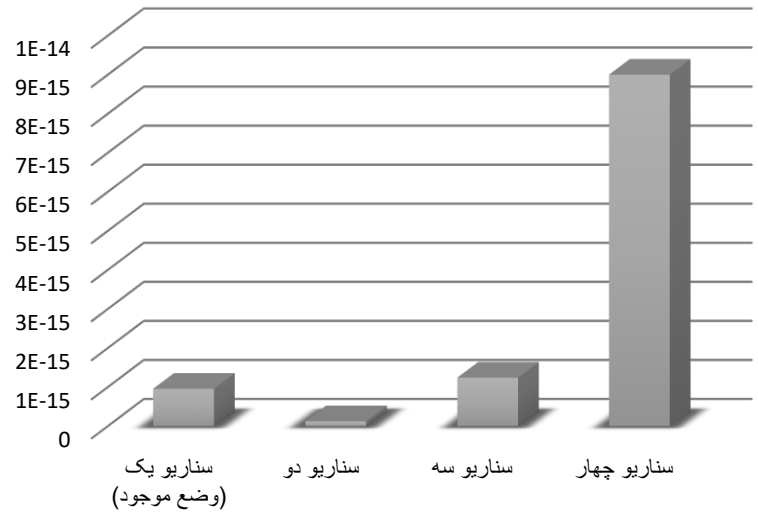
شکل ۴-۷ مقادیر پیامد اسیدی شدن خاک را در حالت تأثیرپذیری از وضعیت حال‌حاضر و سه سناریوی جایگزینی نشان می‌دهد. سناریو سه در این پیامد نیز به عنوان بهترین سناریو معرفی می‌شود و وضع موجود با kg SO_2 eq

۸/۷۵E-15 بدترین حالت ممکن را دارد؛ بعد از آن سناریوهای دو و چهار به ترتیب بیش‌ترین تأثیررا بر این پیامد دارند. اثربخشی سناریو سه نسبت به وضع موجود در این پیامد ۸۸٪ است.



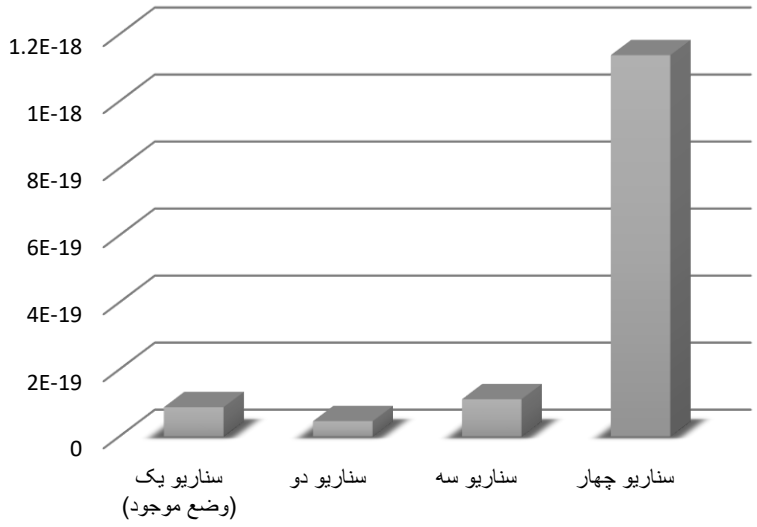
شکل ۴-۷- مقادیر اسیدی شدن خشکی در شرلیط وضع موجود و سه سناریو جایگزینی

شکل ۴-۸ مقادیر پیامد پرغذایی آب شیرین را در حالت تأثیرپذیری از وضعیت حال‌حاضر و سه سناریوی جایگزینی نشان می‌دهد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که در این بخش سناریوهای جایگزینی نسبت به وضع موجود دارای اثربخشی کم یا بدون اثر بخشی مثبت می‌باشند. سناریو دو با ۱/۳۰E-16 kg P eq بهترین سناریو بوده و اثربخشی ۸۷ درصدی را نسبت به وضع موجود دارد. سناریو چهار در این پیامد با مقدار ۹/۰۰۸ E-15 kg P eq بدترین وضعیت را دارد و در واقع نسبت به وضع موجود پرغذایی آب شیرین را تا ۹۰٪ افزایش می‌دهد.



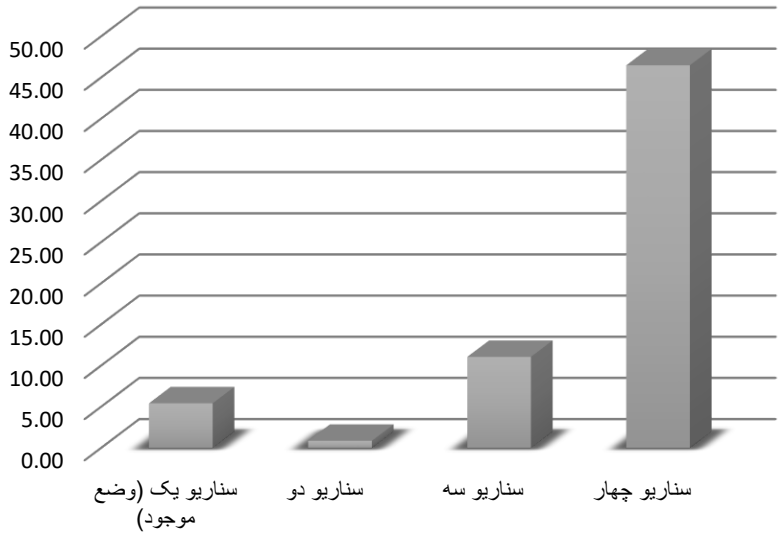
شکل ۴-۸- مقادیر پرغذایی آب شیرین درشرایط وضع موجود و سه سناریو جایگزینی

شکل ۴-۹ مقادیر پیامد پرغذایی آب دریا را در حالت تأثیرپذیری از وضعیت حال‌حاضر و سه سناریوی جایگزینی نشان می‌دهد. در این پیامد هم مشابه مورد فوق فقط سناریو دو نسبت به وضع موجود پرغذایی را کاهش می‌دهد و دارای اثربخشی ۵۲ درصدی می باشد. سناریوهای سه و چهار تأثیر منفی داشته و باعث افزیش پرغذایی می‌شوند.



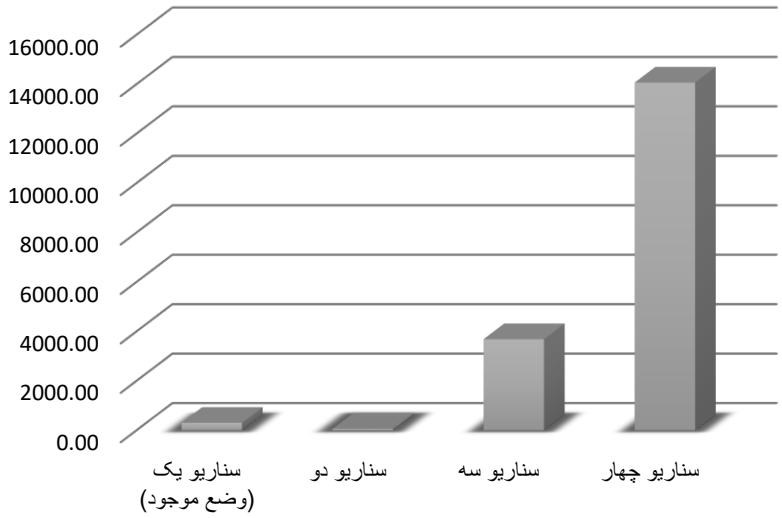
شکل ۴-۹- مقادیر پرعذایی آب دریا در شرایط وضع موجود و سه سناریو جایگزینی

شکل ۴-۱۰ مقادیر پیامد سمیت در خشکی را در حالت تأثیرپذیری ازوضعیت حال‌حاضر و سه سناریوی جایگزینی نشان می‌دهد. سناریو چهار در این پیامد با ۴۶/۴۷ kg 1,4-DCB به عنوان بدترین و سناریو دو با kg 1,4-DCB ۰/۸۵ به عنوان بهترین سناریو برای کاهش تأثیر بر این پیامد شناخته شده است. سناریو دو نسبت به وضع موجود ٪۸۵ و نسبت به سناریو چهار که بدترین سناریو است ۹۸٪ اثربخشی دارد.



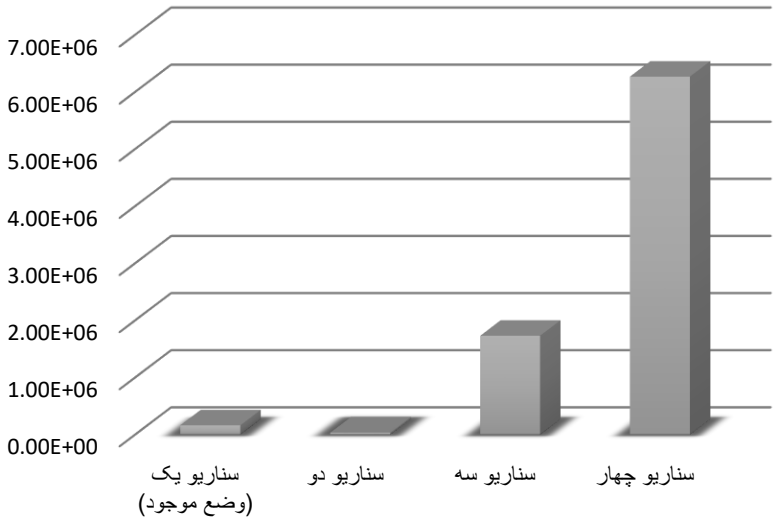
شکل ۴-۱۰- مقادیر سمیت در خشکی در شرایط وضع موجود و سه سناریو جایگزینی

شکل ۴-۱۱ مقادیر پیامد سمیت آب شیرین را در حالت تأثیرپذیری از وضعیت حال‌حاضر و سه سناریوی جایگزینی نشان می‌دهد. در این پیامد هم مشابه مورد فوق سناریو چهار به عنوان بدترین سناریو و سناریو دو با اختلاف بسیارکمی نسبت به وضع موجود به‌عنوان بهترین سناریو در کاهش این پیامد سطح میانی معرفی می‌شود.



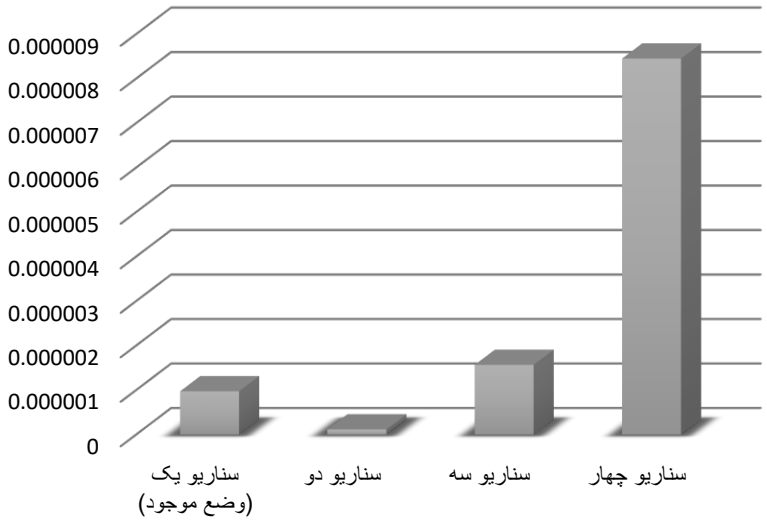
شکل ۴-۱۱- مقادیر سمیت در آب شیرین در شرایط وضع موجود و سه سناریو جایگزینی

شکل ۴-۱۲ مقادیر پیامد سمیت آب دریا را در حالت تأثیرپذیری از وضعیت حال‌حاضر و سه سناریوی جایگزینی نشان می‌دهد. در این پیامد هم مشابه مورد فوق سناریو چهار به عنوان بدترین سناریو و سناریو دو با اختلاف بسیارکمی نسبت به وضع موجود به‌عنوان بهترین سناریو در کاهش این پیامد سطح میانی معرفی می‌شود. به طورکلی می‌توان گفت که سناریوهای جایگزینی در پیامدهای مربوط به سمیت اثربخشی مثبت ندارند.



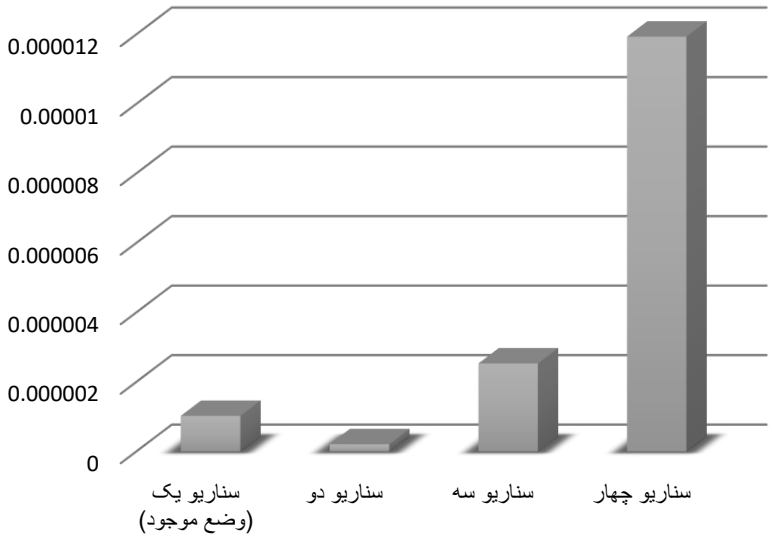
شکل ۴-۱۲- مقادیر سمیت در دریا در شرایط وضع موجود و سه سناریو جایگزینی

شکل ۴-۱۳ مقادیر پیامد سمیت سرطانزا برای انسان را در حالت تأثیرپذیری از وضعیت حال‌حاضر و سه سناریوی جایگزینی نشان می‌دهد. بازخورد این پیامد سطح میانی نسبت به سناریوهای موجود مانند بخش قبل در مورد سمیت‌های خشکی، آب شیرین و دریا است با این تفاوت که اثربخشی سناریو دو نسبت به وضع موجود ۸۷٪ است.



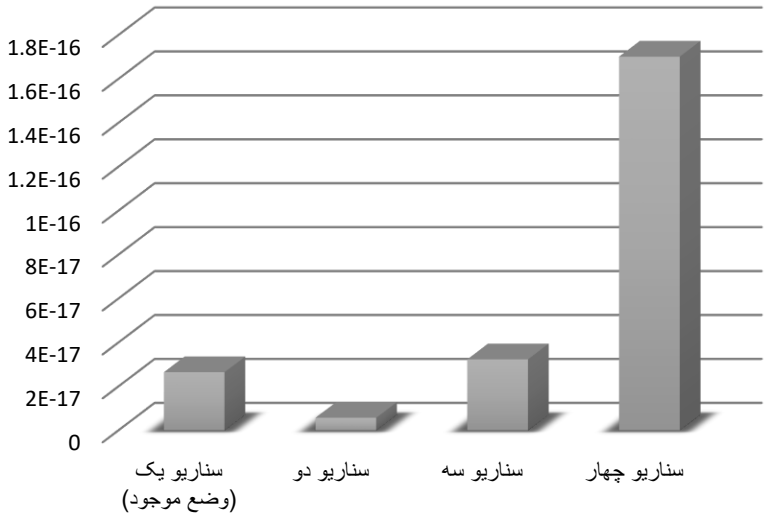
شکل۴-۱۳- مقادیر سمیت سرطان زا برای انسان در شرایط وضع موجود و سه سناریو جایگزینی

شکل ۴-۱۴ مقادیر پیامد سمیت غیر سرطان‌زا برای انسان را در حالت تأثیرپذیری از وضعیت حال‌حاضر و سه سناریوی جایگزینی نشان می‌دهد. نتایج حاصل مانند پیامد سمیت سرطان‌زا می‌باشد و اثربخشی سناریو دو به‌عنوان بهترین سناریو نسبت به وضع موجود در این پیامد ۷۹٪ است.



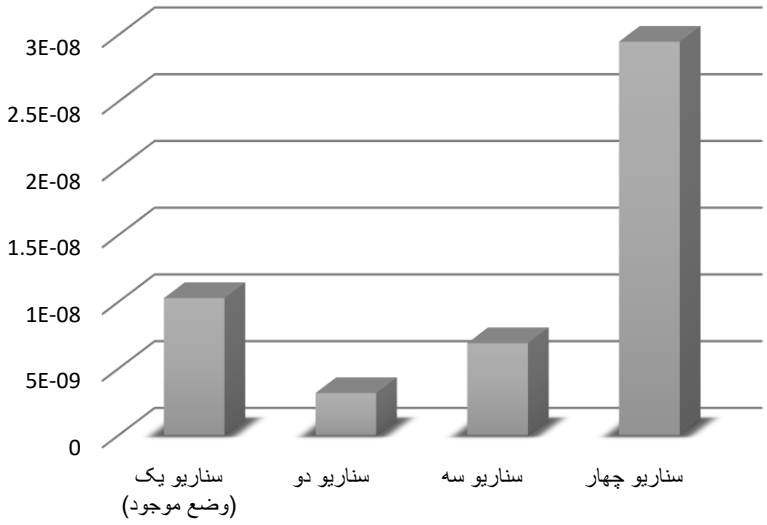
شکل ۴-۱۴- مقادیر سمیت غیر سرطان زا برای انسان در شرایط وضع موجود و سه سناریو جایگزینی

شکل ۴-۱۵ مقادیر پیامد استفاده و تغییرکاربری اراضی را درحالت تأثیرپذیری از وضعیت حال‌حاضر و سه سناریوی جایگزینی نشان می‌دهد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که سناریو چهار با ۱/۷۰E-17 m^2a crop eq بدترین سناریو بوده و نسبت به وضع موجود، تأثیر بیشتری بر این پیامد سطح میانی می‌گذارد. سناریو دو به‌عنوان بهترین سناریو شناخته شده و نسبت به وضع موجود ۷۸٪ اثربخشی دارد.



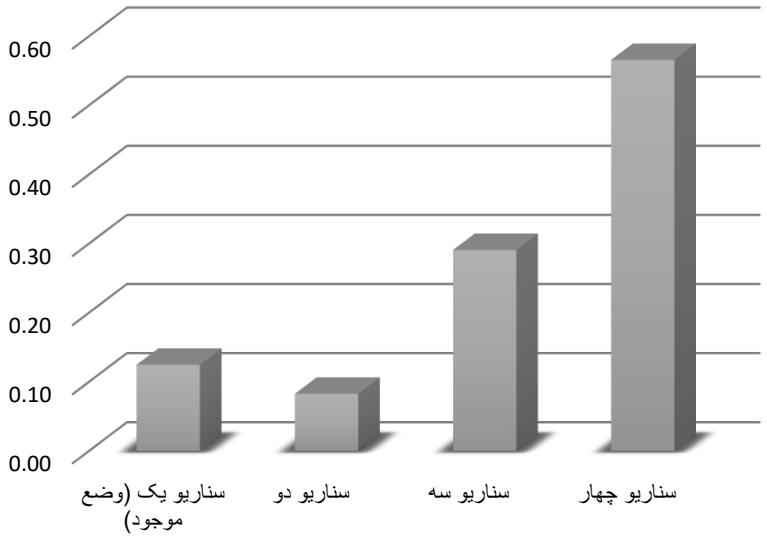
شکل ۴-۱۵- مقادیر استفاده و تغییر کاربری اراضی در شرایط موجود و سه سناریو جایگزینی

شکل ۴-۱۶ مقادیر پیامد مصرف آب را در حالت تأثیرپذیری از وضعیت حال‌حاضر و سه سناریوی جایگزینی نشان می‌دهد. در این پیامد، سناریو دو بهترین سناریو بوده و نسبت به وضع موجود ۶۹٪ اثربخشی دارد. ازطرفی، سناریو چهار نسبت به وضع موجود ۶۵٪ تأثیر بیشتری بر این پیامد گذاشته و به عنوان بدترین سناریو شناخته می‌شود.



شکل ۴-۱۶- مقادیر مصرف آب در شرایط وضع موجود و سه سناریو جایگزینی

شکل ۴-۱۷ مقادیر پیامد کاهش منابع معدنی را در حالت تأثیرپذیری از وضعیت حال‌حاضر و سه سناریوی جایگزینی نشان می‌دهد. براساس نتایج به‌دست آمده در این قسمت، سناریوهای چهار و سه به ترتیب با مقادیر ۰/۵۹ و ۰/۲۹ بدترین سناریوها بوده و سناریو دو با اثربخشی ۳۳ درصدی نسبت به وضع موجود به‌عنوان بهترین سناریو شناخته می‌شود.



شکل ۴-۱۷- مقادیر کاهش منابع معدنی در شرایط وضع مجود و سه سناری جایگزینی

۴-۲-۲- تجزیه و تحلیل پیامدهای زیست‌محیطی در سطح نهایی

جدول ۴-۳ اثرات ناوگان اتوبوس‌رانی شهر کرج را بر دسته‌های مختلف و مهم زیست‌محیطی نشان می‌دهد. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان آسیب به سلامت انسان به ترتیب متعلق به وضع موجود و سناریو سه می‌باشد که برای دو حالت ۰/۰۰۰۳E-04DALY[1] و ۰/۰۰۰۰۹E-04DALY محاسبه می‌شود. مقادیر محاسبه شده در رده آسیب به اکوسیستم برای وضع موجود نشان می‌دهد که بازهم وضع موجود بدترین و سناریو سه بهترین حالت را دارا می‌باشد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان آسیب به منابع مربوط به سناریو چهار با ۰/۰۷USD2013[2] و پس از آن به ترتیب مربوط به سناریو سه، سناریو یک (وضع موجود) و سناریو دو می‌باشد. در بخش مربوط به سمیت سازگار با محیط زیست سناریو چهار بدترین سناریو معرفی می‌شود.

[1] Disability adjusted life years

[2] United states dollar in 2013

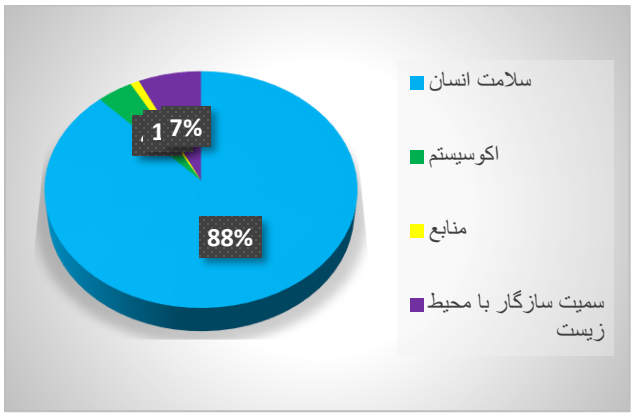
جدول ۴-۳- پیامدهای سطح نهایی (سطوح نهایی حفاظت) برای وضع موجود و سه سناریوی جایگزینی بر مبنای واحد عملکردی

سطح نهایی حفاظت	واحد	مقدار			
		وضع موجود	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ۴
سلامت انسان	DALY	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۱
اکوسیستم‌ها	Species.year	E-13۴/۲۷۵	E-13۲/۴۹۹	E-13۵۱/۳۷۶	E-13۲/۰۰۸۶
منابع	USD2013	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۲۹	۰/۰۷
سمیت سازگار با محیط زیست	PDF.m3.d	۱۶۰۴۶۳/۴۶	۳۲۹۴۴/۲۰	۱۷۳۲۵۰۴/۹۷	۶۲۷۹۸۹۱/۸۵

۴-۳- معرفی بهترین سناریو

۴-۳-۱- وزن‌دهی پیامدهای سطح نهایی

شکل ۴-۱۸ درصد اهمیت پیامدهای سطح نهایی (حفاظت) را پس از انجام عمل وزن‌دهی و نرمال‌سازی نشان می‌دهد.



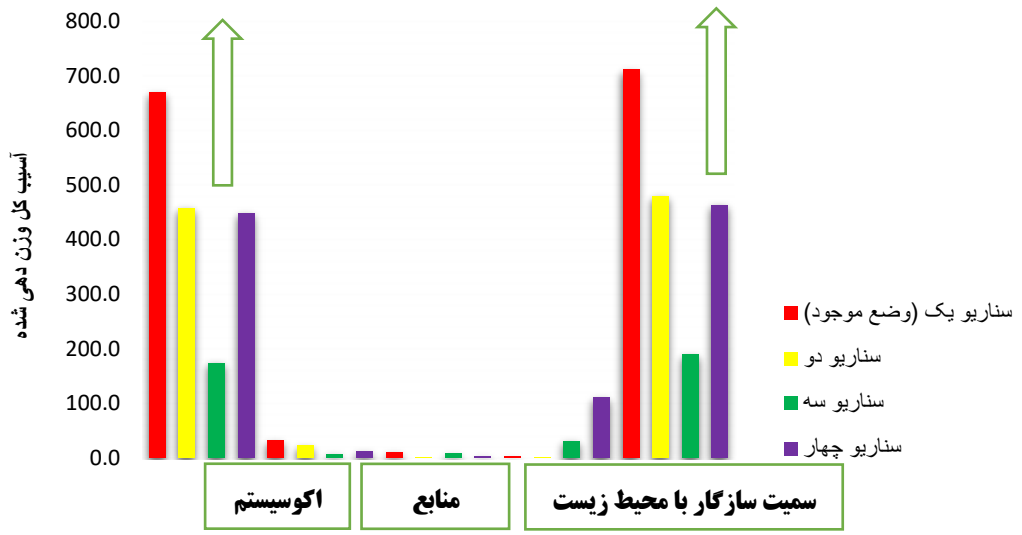
شکل ۴-۱۸- میزان اهمیت پیامدهای سطح نهایی

۴-۳-۲- تجزیه و تحلیل و معرفی بهترین سناریو

نتایج آسیب به سطوح زیست‌محیطی که با روش LCA وضع موجود و سه سناریوی جایگزینی وزن‌دهی شده‌است، در شکل ۴-۱۹ نمایش داده می‌شود. بر اساس نتایج به دست آمده، در سطح سلامت انسان که از اهمیت بسیارزیادی نسبت به‌موارد دیگر در تأثیر بر محیط‌زیست برخوردار است، سناریو ۳ یعنی اتوبوس هیبریدی با ۱۷۴ کمترین تأثیر را بر این سطح داشته و با اثربخشی ۹۰ درصدی نسبت به وضع موجود، به عنوان بهترین سناریو شناخته می‌شود. در سطح اکوسیستم‌ها، وضع موجود با ۳۱/۳ به عنوان بدترین حالت شناخته شده و بعد از آن سناریوهای دو با ۲۲ و چهار با ۱۱/۸ در رتبه‌های بعدی قرار دارند و بهترین سناریو در این بخش با اختلاف کم نسبت به سناریو چهار جایگزینی مربوط به سناریو سه می‌باشد. در سطح منابع، اثربخشی سناریوی دو جایگزینی نسبت به وضع موجود و سناریوهای دیگر با اختلاف زیادی بیشتر بوده و به عنوان بهترین سناریو در این بخش معرفی می‌شود. در بخش سمیت سازگار با محیط‌زیست سناریوهای جایگزینی نسبت به وضع موجود اثربخشی مثبتی نداشته و سناریو چهار و سه به ترتیب به عنوان بدترین سناریوها در این حالت معرفی می‌شوند.

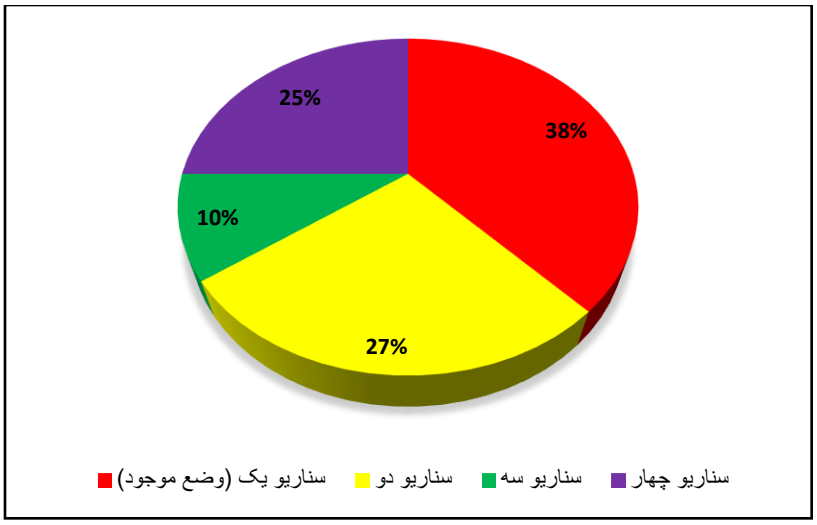
مجموع

سلامت انسان

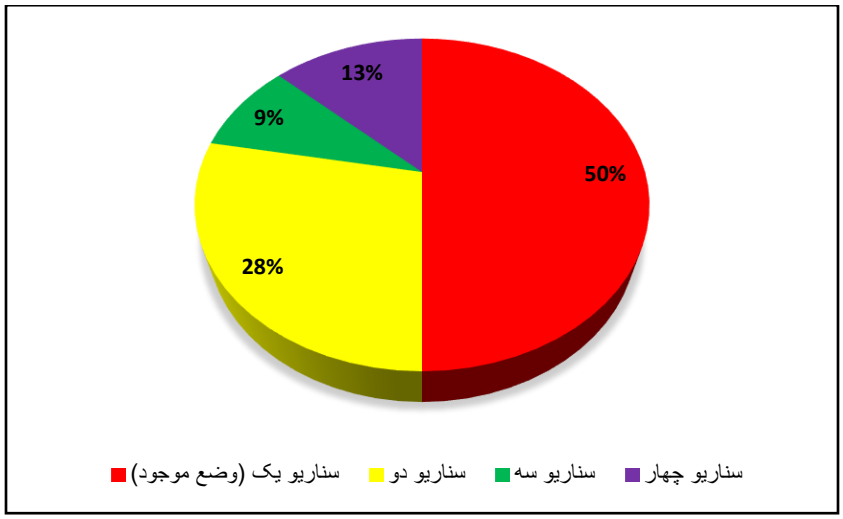


شکل ۴-۱۹- مقادیر وزن‌دهی شده پیامدهای سطوح نهایی حفاظت زیست محیطی برای وضع موجود و سه سناریوی جایگزینی

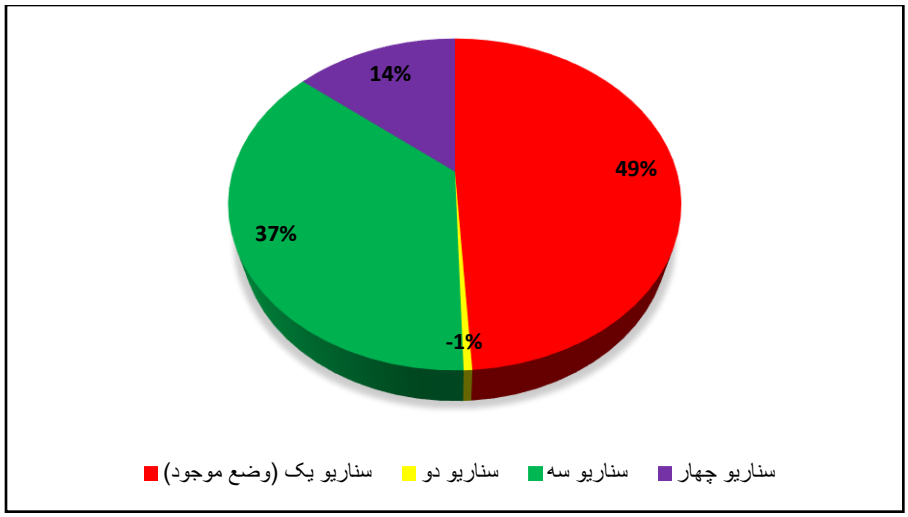
شکل ۴- ۲۰ تا ۴-۲۳ میزان تأثیر سناریوها در سطوح نهایی حفاظت بر اساس اهمیت هر سطح پس از وزن‌دهی را نشان می‌دهد. در سطح سلامت انسان که بیشترین وزن را به‌خود اختصاص می‌دهد سناریو سه جایگزینی یعنی استفاده از ناوگان هیبرید الکتریکی-دیزلی به عنوان بهترین سناریو معرفی می‌شود. در سطح اکوسیستم هم سناریو سه جایگزینی بهترین و مؤثرترین سناریو معرفی می‌شود و در دو سطح بعدی که دارای وزن و اهمیت کمتری می باشند سناریو دو جایگزینی که استفاده از سوخت گاز طبیعی به‌جای دیزل می‌باشد، به‌عنوان بهترین سناریو معرفی می‌شود.



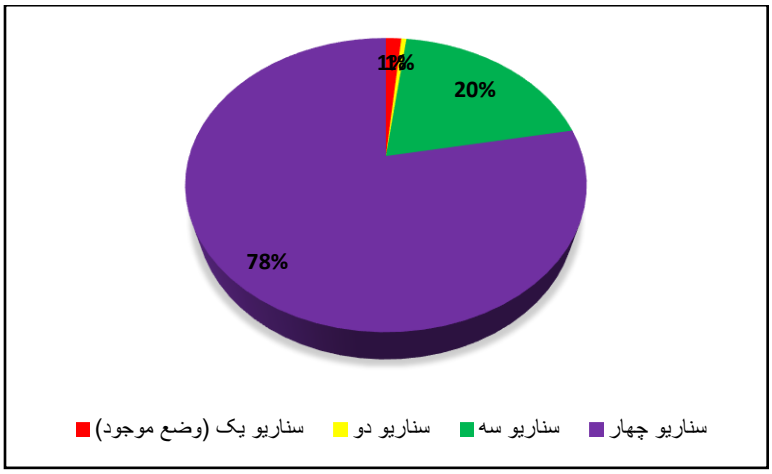
شکل ۴-۲۰- میزان تأثیر سناریوها در آسیب به سلامت انسان پس از وزن‌دهی



شکل ۴-۲۱- میزان تأثیر سناریوها در آسیب به اکوسیستم پس از وزن‌دهی



شکل ۴-۲۲- میزان تأثیر سناریوها در آسیب به منابع پس از وزن‌دهی



شکل ۴-۲۳- میزان تأثیر سناریوها در سمیت سازگار با محیط‌زیست پس از وزن‌دهی

فصل پنجم: بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵– بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵–۱– نتیجه‌گیری

هدف اصلی از انجام این پژوهش تعیین آسیب‌های زیست‌محیطی در پیامدهای سطح میانی و نهایی وضع موجود سیستم حمل و نقل عمومی در ناوگان اتوبوس‌رانی شهر کرج و ارزیابی تأثیر سه سناریو جایگزینی در دو خط مهم و پرتردد سامانه اتوبوس‌رانی است که این اثربخشی براساس نوع ناوگان و نوع مسیر ارزیابی شده است.

نتایج اصلی ارزیابی چرخه زندگی (LCA) که توسط نرم افزار سیماپرو انجام شده است به شرح زیر می باشد:

- انتشارات مستقیم به هوا و سوخت دیزل عامل اصلی مؤثر بر پیامدهای زیست‌محیطی در دو سطح میانی و نهایی حفاظت درروش LC-IMPACT است.
- ناوگان موجود با سوخت دیزل، بیشترین سهم را در بخش انتشارات مستقیم آلاینده‌ها به هوا در ارزیابی زیست‌محیطی سامانه حمل و نقل اتوبوس‌رانی درون شهری کرج دارد.
- بهترین وضعیت ازنظر زیست‌محیطی مربوط به سناریو سه جایگزینی و استفاده از ناوگان اتوبوس هیبریدالکتریکی با آسیب وزنی ۱۷۴ در سطح نهایی حفاظت و اثربخشی ۹۰ درصدی نسبت به وضع موجود می‌باشد و بعد از آن سناریوهای چهار و دو جایگزینی به ترتیب بهترین وضعیت را دارند.

بنابراین با توجه به موارد بالا، می‌توان اینگونه نتیجه گیری‌کرد که مسیریابی مناسب برای داشتن مسیر کوتاه‌تر، نصب و تعویض به موقع فیلترهای دوده، رفتار صحیح رانندگی، استفاده از فناوری پیشرفته برای بهینه‌سازی موتور و استفاده از سوخت‌های جایگزین، استفاده از اتوبوس‌های با تکنولوژی پیشرفته مانند اتوبوس‌الکتریکی و هیبریدالکتریکی و به‌طور کلی استفاده بهینه از ناوگان با تکنولوژی به‌روز، می‌تواند باعث بهبود سیستم‌های حمل و نقل اتوبوس درون شهری درشهرهای بزرگ و صنعتی برای رسیدن به حداکثر پایداری شود.

۵–۱–۱– مقایسه با اهداف

با توجه به اهداف مطرح شده در این تحقیق، وضعیت حال حاضر خطوط پرتردد سامانه اتوبوس‌رانی شهرکرج مورد ارزیابی قرار گرفت؛ ناوگان اتوبوس‌رانی با سوخت دیزل در شهر کرج در شرایط حال حاضر، با بیشترین تأثیر در واردکردن آسیب به پیامدهای زیست محیطی در دو سطح میانی و نهایی، بدترین حالت را نسبت به تمام سناریوهای جایگزینی دارد.

با وجود مصرف سوخت و انتشار کمتر CO_2 در ناوگان اتوبوس‌رانی دیزلی حال حاضر با فناوری یورو دو، جایگزینی این ناوگان فرسوده با ناوگان با سوخت جدید گاز طبیعی، می‌تواند تا ۷۳٪ در کاهش آسیب به پیامدهای سطح نهایی حفاظت به‌خصوص سلامت انسان مؤثر باشد. از سوی دیگر، استفاده از ناوگان هیبریدی و الکتریکی، به‌ترتیب ۹۰٪ و ۷۵٪ در این کاهش آسیب ها مؤثر است.

۵-۱-۲- مقایسه با تحقیقات گذشته

انتخاب سناریوها در این مطالعه، با درنظر گرفتن مواردی اعم از شرایط اقتصادی، اجتماعی، منابع موجود، زیرساخت‌ها و ... انجام شده است. با توجه به وجود زیرساخت‌ها و شرایط اقتصادی، استفاده از ناوگان تمام الکتریکی، ناوگان هیبرید الکتریکی و ناوگان با سوخت جایگزین که به دلیل ذخایر عظیم گازی موجود در ایران سوخت گاز طبیعی در این تحقیق انتخاب شده است، می‌توانند سناریوهای جایگزینی مناسبی برای رسیدن به حداکثر پایداری و راندمان در خطوط پرتردد اتوبوس‌رانی شهر کرج باشند.

در مطالعات قبلی انجام شده در خارج از کشور در این زمینه، جایگزینی ناوگان موجود با سوخت‌ها یا تکنولوژی‌های جایگزین مورد ارزیابی قرار گرفته است؛ از این رو، نتایج به دست آمده در این مطالعات نشان دهنده کاهش آلاینده‌های هوا در ناوگان الکتریکی و ناوگان با سوخت های جایگزین مانند سوخت هیدروژنی و گاز طبیعی است. اما در مطالعات داخلی انجام شده کمتر به این موضوع پرداخته شده است. از سوی دیگر، با توجه به شرایط موجود در کشور، در مطالعات گذشته بیشتر تحقیق بر روی جایگزینی ناوگان موجود با با ناوگان جدبد اما با همان نوع سوخت انجام شده است. نتایج این مطالعات نشان دهنده کاهش آلاینده‌های هوا در صورت استفاده از ناوگان یورو چهار به جای ناوگان یورو دو است. همچنین ایجاد مسیر ویژه اتوبوس‌رانی (BRT) نیز می‌تواند تا حد زیادی بر کاهش آلاینده‌ها مؤثر باشد.

۵-۲- پیشنهادها

۵-۲-۱- پیشنهادهای کاربردی

- با وجود آغاز روند جایگزینی ناوگان فرسوده در ایران، اما در سیستم مدیریتی و بهینه‌سازی ناوگان اقدامات چندانی انجام نشده و این فرآیند جایگزینی سرعت چندانی نداشته است. به همین دلیل مطالعات بعدی می‌تواند با توجه به آگاهی از شرایط موجود در کشور، و مطالعات انجام شده در خصوص راهکارهای کاربردی برای جایگزینی ناوگان جدید در فاز عملیاتی انجام شود.

- رفتار رانندگی یکی از عوامل مهم و مؤثر بر عملکرد ناوگان است و به طور غیرمستقیم بر میزان مصرف سوخت و غیره، تأثیر دارد و می‌تواند باعث تغییر در انتشارات خروجی شود. با توجه به اینکه رفتار رانندگی یکی از ارکان اصلی در ناوگان اتوبوس‌رانی می باشد، بهتر است مطالعات بعدی در راستای فرهنگ سازی رفتار رانندگی در جامعه صورت پذیرد.

۵-۲-۲- پیشنهادهای پژوهشی

با توجه به اهمیت استفاده از سوخت‌ها و تکنولوژی‌های جایگزین در کشورهای توسعه‌یافته و در حال‌توسعه و نیز اهمیت مسائل اقلیمی و بحث گرمایش جهانی، شرایط اینگونه طلب می‌کند تا در آینده ناوگان‌های حمل و نقل در ایران نیز به سمت تکنولوژی های جدید و الکتریکی شدن و استفاده از سوخت‌های جایگزین برود. با این وجود، مطالعات جامع در این زمینه و به خصوص در فاز عملیاتی می‌تواند به مدیران اجرایی مربوطه کمک‌کند تا با آگاهی کامل از اثربخشی راهکارهای پیشنهادی، بهترین تصمیم‌ها را در رابطه با آینده ناوگان حمل و نقل در ایران اخذ کنند.

۵-۳- پاسخ به فرضیات تحقیق

- با توجه به پیامدهای زیست‌محیطی و بر اساس دیدگاه چرخه زندگی، ناوگان موجود در شهر کرج اثرات زیست‌محیطی قابل‌ملاحظه‌ای دارد.

بله، ناوگان دیزلی موجود در شهر کرج عامل اصلی و مؤثر بر انتشارات مستقیم آلاینده‌ها به هوا و پیامدهای زیست‌محیطی در دو سطح میانی و نهایی حفاظت است.

- استفاده از سوخت‌های جایگزین می‌تواند تأثیر زیادی -در کاهش پیامدهای زیست‌محیطی شهر کرج داشته باشد.

بله، استفاده از سوخت گاز طبیعی به‌عنوان سوخت جایگزین دیزل می‌تواند تا ۷۳٪ پیامدهای زیست‌محیطی سطح نهایی به خصوص سلامت انسان را نسبت به وضعیت حال‌حاضر کاهش دهد.

- استفاده از تکنولوژی‌های جایگزین مانند اتوبوس برقی، در کاهش پیامدهای زیست‌محیطی تأثیر بسیار زیادی دارد و از نظر اقتصادی، اجتماعی و غیره می‌تواند در تمام یا قسمتی از ناوگان در شهر کرج مورد استفاده قرار گیرد.

بله، استفاده از اتوبوس هیبرید الکتریکی در خطوط پرتردد سامانه اتوبوس‌رانی شهر کرج تا ۹۰٪ اثربخشی نسبت به وضع موجود در سطح نهایی حفاظت در بخش سلامت انسان و اکوسیستم دارد.

- بهترین سناریو در استفاده از ناوگان اتوبوس‌رانی شهر کرج جایگزینی سوخت‌هایی با کیفیت بالاتر و اثرات زیست‌محیطی کمتر و اتوبوس‌های با تکنولوژی جدید در خطوط پرتردد و پرترافیک می‌باشد. بله، سناریوهای جایگزین در سطوح با اهمیت و وزن بسیار بالای حفاظت، اثربخشی زیادی نسبت به وضعیت حال‌حاضر ناوگان دارند و بهترین سناریو با توجه به سلامت انسان و اکوسیستم سناریو سه جایگزینی می‌باشد.

فهرست منابع و مأخذ

۱. استانداری البرز. ۱۳۹۲. تقسیم بندی شهرستان های استان. www.alborz.ir

۲. اداره کل هواشناسی استان البرز. ۱۳۹۱. www.alborz-met.ir

۳. اشرفی، خ.؛ فاتحی، م.، پوته‌ریگی، م. ۱۳۹۷. بررسی اثرات گسترش اتوبوس‌های تندرو شهری بر ترافیک و آلودگی هوا با استفاده از مدل EMME/2 و IVE (مطالعه موردی: خط شماره ۱۰ مسیر برگشت دانشگاه آزاد به سمت میدان آزادی). مجله پژوهش در بهداشت محیط. صفحه ۱۸۴-۱۶۵.

۴. ابراهیمی، ق.؛ مسعود و ابراهیمی، م.،۱۳۹۶، بررسی روش های کاهش انتشار آلاینده ها در موتور دوگانه سوز،کنفرانس بین المللی ایده های نو در کشاورزی،محیط زیست و گردشگری،اردبیل

۵. اکبری، م.؛ و کرم، ا.؛ و عظیم زاده، ن.۱۳۹۸. مدل سازی پراکنش آلاینده pm2.5 در سطح شهرستان کرج،چهاردهمین کنگره انجمن جغرافیایی ایران،تهران

۶. احمدی ارکمی، ع و کامکار، آ و آقاجانی، ز،۱۳۹۸،بررسی تغییرات مکانی و زمانی انتشار آلاینده های CO و NOx ناشی ازوسایل نقلیه موتوری با استفاده از نرم افزار MOVES: مطالعه موردی بلوار بهشتی و مدرس شهر رشت.

۷. پیوسته‌گر، ح.ر.؛ دیوسالار، ع.، چیت‌ساز، م.، پایدار، م.م. ۱۳۹۹. مسئله دو هدفه مسیریابی تولید با توجه به انتشار گازهای گلخانه‌ای و شرایط ناوگان حمل ناهمگن. ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع و سیستم‌ها. مشهد.

۸. حاجی سید میرزا حسینی، ع.ر؛ محمدی، ع.، یکپایی نجف آبادی، ع. ۱۳۹۹. ارزیابی میزان آلاینده‌های گازی و ذرات معلق هوا در پایانه‌های درون شهری شرکت واحد اتوبوس‌رانی تهران. تهران.

۹. شهرداری کرج. ۱۳۹۴. مطالعات سازماندهی اتوبوس‌رانی کلانشهر کرج. مرحله چهارم: راهکارها و پیشنهادات، ارائه راهکار و پیشنهاد جهت تخصیص بهینه ناوگان بین خطوط، صفحه ۷۱-۶۵.

۱۰. شهرداری کرج. ۱۳۹۹. طرح کاهش آلودگی هوای کلانشهر کرج.

۱۱. شاه محمدی، ع.؛ ویسی، ه.؛ خوشبخت، ک.؛ مهدوی دامغانی، ع.؛ ,و سلطانی، ا. ارزیابی چرخه حیات تولید سیب زمینی به روش نیمه مکانیزه در ایران: مطالعه موردی، استان مرکزی.

۱۲. شفیع‌پور مطلق، م؛ پرداختی، ع.ر.، معجری، م. ۱۳۹۴. ارزیابی ریسک آلاینده‌های هوای منتشره در پایانه مسافری بیهقی با روش مدل‌سازی. فصلنامه محیط‌شناسی، دوره ۴۱، شماره ۱، صفحه ۱۰۵-۹۷.

۱۳. شفیع‌پور مطلق، م.، کمالان، ح.ر. ۱۳۸۶. بررسی میزان انتشار انواع آلاینده‌های ناشی از ناوگان حمل‌ونقل شهر تهران (یادداشت فنی). ویژه‌نامه مهندسی عمران، شماره ۲۹، صفحه ۷۸-۷۱.
۱۴. شهبازی، ح.؛ بابایی، م. و حسینی، و. و افشین، ح. ۱۳۹۳. سیاهه انتشار مقدماتی منابع متحرک آلایندگی شهر تهران. سومین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا. تهران.
۱۵. شریعتی، س و رمضانیان، ن و فنایی، س.ا،۱۴۰۰،بررسی میزان تولید سالانه آلاینده های ذرات ریزمقیاس خودرویی در کلانشهر کرمانشاه با استفاده از نرم افزارIVE،نهمین همایش مدیریت آلودگی هوا و صدا،تهران.
۱۶. صمدزاده، پ.؛ و نجفی پور، س.؛ و معین الدینی، م.۱۳۹۶. روش استفاده از مدل IVE در تخمین میزان انتشار آلاینده از منابع متحرک،کنگره بین المللی عمران،معماری و علوم محیطی،تهران
۱۷. صفرپور، م.۱۳۹۹. بررسی و شناسایی تاثیرات سامانه حمل و نقل بر سطح کیفیت محیط زیست شهری،کنفرانس بین المللی عمران، معماری، توسعه و بازآفرینی زیرساخت های شهری در ایران،تهران
۱۸. عمرانیان خراسانی، ا.ر.؛ و دبیری نژاد، ش.؛ و ک.؛ ز.؛ و خورسندی، ب.؛ و حبیبیان، م،۱۳۹۸. سهم منابع آلاینده در انتشار گاز گلخانه ای CO_2 در شهر کرج،هشتمین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا،تهران
۱۹. عجمین، ح.؛ و حقیقی، م.۱۳۹۱. ارزیابی منابع گاز طبیعی ایران و مقایسه روشهای بهره برداری از آن درصنایع نفت گاز وپتروشیمی،اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی،تهران
۲۰. قدمیان، ح.؛ و عتابی، ف.؛ و قاهری، ش.۱۳۹۱. محاسبه و مقایسه متغیرهای احتراق و شاخص های عملکرد موتورهای دیزل با سوخت جایگزین بیودیزل
۲۱. مرکز آمار ایران. ۱۳۹۵. www.amar.org.ir
۲۲. معین الدینی، م.؛ طالشی، ع.؛ و صالح، م. ۱۳۹۸. سیاهه انتشار GIS پایه آلاینده‌های هوای ناشی از منابع متحرک در ساعات اوج ترافیک صبح؛ مطالعه موردی: شهر کرج .مجله مهندسی بهداشت محیط , 6(4), 430-442.
۲۳. معین الدینی، م.؛ و طالشی، ع.؛ صالح، م.؛ و عظیمی یانچشمه، ر.۱۳۹۵. سیاهه انتشار آلاینده های هوا از منابع متحرک: مطالعه موردی استان البرز،شانزدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک،تهران.
۲۴. ماهوتچی س، کامران و اصفهانیان، وحید و نهضتی، حسن و قزل عاشقی، محمدرضا،۱۳۹۱،بررسی فنی و زیست محیطی بهبود مصرف سوخت در یک اتوبوس شهری هیبرید الکتریکی،یازدهمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران،تهران.

۲۵. نجفی پور، س و صمدزاده، پ و معین الدینی، م و بداق جمالی، ج و طلائیان عراقی، م و خراسانی، ن،۱۳۹۷،مقایسه مدل هایIVE ، COPERT، MOBILE، MOVESدر تخمین مقادیر انتشار آلاینده ها از منابع متحرک،کنفرانس بین المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران،تهران.

۲۶. نصراللهی، ز.؛ و پوش دوزباشی، ه.۱۳۹۹. برآورد آلودگی هوای ناشی از تردد وسایل نقلیه عمومی درون شهری شهرستان یزد

۲۷. نجف، پ.، الهی، ح. ۱۳۹۱. بررسی اثر احداث خطوط ویژه اتوبوس‌رانی (BRT) بر میزان انتشار آلاینده‌ها. دوازدهمین کنفرانس مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک ایران.

۲۸. نجفی، ب.؛ ۱۳۸۸. استفاده از بیودیزل به عنوان سوخت آتشزا درموتور دیزل دوگانه سوز جهت کاهش میزان انتشار آلاینده ها،سومین کنفرانس احتراق ایران،تهران

۲۹. هاشمی، ف.؛ و پوردربانی، ر.؛ و فیض اله زاده اردبیلی، س.۱۳۹۹. به کارگیری روش ارزیابی چرخه حیات در موتورهای دیزل با سوخت بیودیزل،پنجمین کنفرانس ملی کاربرد فناوری های نوین در علوم مهندسی،تربت حیدریه

30. Adams, H. S., Nieuwenhuijsen, M. J., Colvile, R. N., McMullen, M. A. S., & Khandelwal, P. (2001). Fine particle (PM2. 5) personal exposure levels in transport microenvironments, London, UK. Science of the Total Environment, 279(1-3), 29-44.
31. AlRukaibi, F., & AlKheder, S. (2019). Optimization of bus stop stations in Kuwait. *Sustainable Cities and Society*, *44*, 726-738.
32. Ally, J., & Pryor, T. (2007). Life-cycle assessment of diesel, natural gas and hydrogen fuel cell bus transportation systems. *Journal of Power Sources*, *170*(2), 401-411.
33. Harris, A., Soban, D., Smyth, B. M., & Best, R. (2018). Assessing life cycle impacts and the risk and uncertainty of alternative bus technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *97*, 569-579.
34. Corazza, M. V., Vasari, D., Petracci, E., Lizana, P. C., & Pascucci, M. (2020, June). Facilitating Bus Fleets Emissions Assessment. In 2020 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe) (pp. 1-6). IEEE.
35. Du, H., & Kommalapati, R. R. (2021). Environmental sustainability of public transportation fleet replacement with electric buses in Houston, a megacity in the USA. *International Journal of Sustainable Engineering*, *14*(6), 1858-1870.
36. Ercan, T., Zhao, Y., Tatari, O., & Pazour, J. A. (2015). Optimization of transit bus fleet's life cycle assessment impacts with alternative fuel options. Energy, 93, 323-334.
37. Gabriel, N. R., Martin, K. K., Haslam, S. J., Faile, J. C., Kamens, R. M., & Gheewala, S. H. (2021). A comparative life cycle assessment of electric, compressed natural gas, and diesel buses in Thailand. Journal of Cleaner Production, 314, 128013.

38. Girardi, P., Gargiulo, A., & Brambilla, P. C. (2015). A comparative LCA of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle using the appropriate power mix: the Italian case study. The International Journal of Life Cycle Assessment, 20(8), 1127-1142.
39. GRUNDITZ, E. A. (2021). Traction Motor for a Battery Electric City Bus.
40. García-Cerrud, C., De La Mota, I. F., & Anguiano, F. I. S. (2021). Proposal for greenhouse gas emissions reduction in public passenger transportation. *Case Studies on Transport Policy*, *9*(3), 1358-1366.
41. Huijbregts, M. A., Steinmann, Z. J., Elshout, P. M., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., ... & van Zelm, R. (2017). ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. The International Journal of Life Cycle Assessment, 22(2), 138-147.
42. Hauschild, M. Z. (2018). Introduction to LCA methodology. *Life cycle assessment: Theory and practice*, 59-66.
43. ISO 2006. Environmental Management – Life Cycle Assessment: Principle and Framework – ISO 14040.
44. Janovec, M., & Kohani, M. (2021). Grouping Genetic Algorithm (GGA) for Electric Bus Fleet Scheduling. Transportation Research Procedia, 55, 1304-1311.
45. Jelti, F., Allouhi, A., Al-Ghamdi, S. G., Saadani, R., Jamil, A., & Rahmoune, M. (2021). Environmental life cycle assessment of alternative fuels for city buses: A case study in Oujda city, Morocco. *International Journal of Hydrogen Energy*, *46*(49), 25308-25319.
46. Jwa, K., & Lim, O. (2018). Comparative life cycle assessment of lithium-ion battery electric bus and Diesel bus from well to wheel. *Energy Procedia*, *145*, 223-227.
47. Kozłowska, M. (2019). Rola zelektryfikowanej komunikacji zbiorowej w tworzeniu aglomeracji przyszłości. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, *20*.
48. King long Company,2008 www.king-long.com
49. Knecht, W. (2008). Diesel engine development in view of reduced emission standards. Energy, 33(2), 264-271.
50. Kawamoto, R., Mochizuki, H., Moriguchi, Y., Nakano, T., Motohashi, M., Sakai, Y., & Inaba, A. (2019). Estimation of CO2 emissions of internal combustion engine vehicle and battery electric vehicle using LCA. Sustainability, 11(9), 2690.
51. Larsson, G., & Hansson, P. A. (2011). Environmental impact of catalytic converters and particle filters for agricultural tractors determined by life cycle assessment. Biosystems engineering, 109(1), 15-21.
52. Iannuzzi, L., Hilbert, J. A., & Lora, E. E. S. (2021). Life Cycle Assessment (LCA) for use on renewable sourced hydrogen fuel cell buses vs diesel engines buses in the city of Rosario, Argentina. *International Journal of Hydrogen Energy*, *46*(57), 29694-29705.
53. McKenzie, E. C., & Durango-Cohen, P. L. (2012). Environmental life-cycle assessment of transit buses with alternative fuel technology. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *17*(1), 39-47.

54. Nordelöf, A., Romare, M., & Tivander, J. (2019). Life cycle assessment of city buses powered by electricity, hydrogenated vegetable oil or diesel. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 75, 211-222.
55. Nanaki, E. A., & Koroneos, C. J. (2012). Comparative LCA of the use of biodiesel, diesel and gasoline for transportation. *Journal of Cleaner Production*, *20*(1), 14-19.
56.
57. Purba, D. S. D., Kontou, E., & Vogiatzis, C. (2022). Evacuation route planning for alternative fuel vehicles. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 143, 103837.
58. Reşitoğlu, İ. A., Altinişik, K., & Keskin, A. (2015). The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. Clean Technologies and Environmental Policy, 17(1), 15-27.
59. Rakopoulos, C. D., Rakopoulos, D. C., Giakoumis, E. G., & Kyritsis, D. C. (2011). The combustion of n-butanol/diesel fuel blends and its cyclic variability in a direct injection diesel engine. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, *225*(3), 289-308.
60. Rose, L., Hussain, M., Ahmed, S., Malek, K., Costanzo, R., & Kjeang, E. (2013). A comparative life cycle assessment of diesel and compressed natural gas powered refuse collection vehicles in a Canadian city. *Energy Policy*, *52*, 453-461.
61. Sun, R., Chen, Y., Dubey, A., & Pugliese, P. (2021). Hybrid electric buses fuel consumption prediction based on real-world driving data. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *91*, 102637.
62. Simon, B., Tamaska, L., & Kováts, N. (2010). Analysis of global and local environmental impacts of bus transport by LCA methodologies. Hungarian Journal of Industry and Chemistry, 38(2), 155-158.
63. Verones, F., Hellweg, S., & Huijbregts, M. A. (2010). 1. Overall framework.
64. Volvo Company 2019 www.volvobuses.com
65. Wei, Y., Yu, Y., Xu, L., Huang, W., Guo, J., Wan, Y., & Cao, J. (2019). Vehicle emission computation through microscopic traffic simulation calibrated using genetic algorithm. Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing Research, 9.

Abstract

Air pollution from public transportation systems, particularly diesel-powered bus fleets, has been one of the most significant factors contributing to declining health and quality of life for residents in urban areas in recent years. Measures have been taken to reduce the release of pollutants, including the replacement of aging fleets with new fuels and technologies, which must be implemented while considering all positive and negative economic, social, environmental, and other aspects. Therefore, this study evaluates the current state of public transportation in Karaj city and three alternative scenarios involving the replacement of diesel fuel with natural gas and the use of electric and diesel-electric hybrid buses on two major routes of the bus fleet to achieve the best environmental conditions in the performance of public transportation in Karaj city. For this purpose, the LC-IMPACT method is used as one of the life cycle assessment (LCA) methods to assess environmental impacts. This method is the most up-to-date impact assessment method in the SimaPro software. LC-IMPACT is a multi-regional life cycle impact assessment method and a research field that continuously improves data from covered impact pathways, reliability, and spatial details. In this method, the scenarios were compared in terms of environmental impacts based on information obtained from emission factors, regional environmental conditions, and a questionnaire completed by fleet drivers. The results of this study show that direct emissions, particularly from diesel fuel, have the greatest impact on environmental impacts at the midpoint and endpoint levels (protection). According to the scenario weighting analysis, the use of diesel-electric hybrid buses, electric buses, and natural gas buses are the best scenarios for the Karaj city bus fleet public transportation system.

Keywords: Life cycle assessment, Public transportation fleet, Bus driving, Simapro software, Enviromental impacts, LC-IMPACT