علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره چهاردهم، شماره سه، پاییز ۹۱

الگوی زیست‌محیطی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری با استفاده از مدل‌های سیستم پویایی

مهدی استادی جعفری[۱] *

Mahdi.OstadiJafari@yahoo.com

امیر عباس رصافی[۲]

تاریخ دریافت:۹۰/۱/۱۶ **تاریخ پذیرش:۹۰/۵/۱۷**

چکیده

پذیرش راهبرد توسعه پایدار در ابعاد جهانی و تمایل به بهره‌گیری از آن در بخش‌های مختلف، لزوم تدوین و طراحی روشی جامع و فراگیر را در دستیابی به این راهبرد تقویت می‌نماید. از سوی دیگر پیچیدگی ذاتی در اندرکنش بین اقتصاد، اجتماع و محیط زیست و تاثیر اساسی آن بر جامعه، نیازمند به‌کارگیری مدلی کارآ در سیستم‌های شهری شده است.

این مقاله با استفاده از مدل‌های سیستم پویایی روشی را برای یافتن ارتباط علی- سببی میان حمل‌ونقل و سایر بخش‌های توسعه پایدار ارایه داده است.

با درنظرگیری مطالعه موردی برای کلان‌شهر مشهد، نتایج شاخص‌ها در فاصله سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۴۰۸ مشخص شده است. در ادامه، ۱۵ سناریو مورد ارزیابی قرار گرفته و الگوی مدیریتی مناسبی بر اساس بهبود شاخص‌های زیست‌محیطی در این شهر پیشنهاد شده است.

در این ارزیابی، سناریوی افزایش قیمت حامل‌های انرژی و اعمال محدودیت برای تردد خودروهای تک‌سرنشین، بیشترین تاثیر را بر روی شاخص‌ها گذاشته و توانسته است رشد شاخص‌های زیست‌محیطی را طی ۲۰ سال آینده بهینه نماید.

واژه های کلیدی: حمل‌ونقل پایدار شهری، مدل سیستم پویایی، سیاست و شاخص زیست‌محیطی.

۱- کارشناس ارشد برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران * (مسئول مکاتبات)

۲- استادیار، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، دانشکده فنی مهندسی، قزوین، ایران

مقدمه

با گذشت بیش از ۲۳ سال از مطرح شدن مفهوم توسعه پایدار در کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه، تحت عنوان گزارش برانتلند (۱۹۸۷) و پس از آن دستور کار ۲۱ در کنفرانس ریو (۱۹۹۲)، تا کنون تعاریف متعددی در این خصوص مطرح گردیده است (۱و۲). اگرچه این تعاریف به موارد تقریباً متفاوتی اشاره می‌نمایند، لیکن محور این تعاریف موضوع تامین نیازهای نسل امروز بدون به خطر انداختن تامین نیاز نسل فردا بوده است. این مقاله، توسعه پایدار را راهبردی جامع‌نگر در تأمین نیازهای کنونی و اساسی مردم دنیا می‌داند، به طوری که در این فرآیند، با در نظرگیری همه‌جانبه الگوهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، تأمین نیازهای نسل‌های آتی تضمین می‌گردد (۳). حمل‌ونقل به‌عنوان یکی از بخش‌های توسعه پایدار، به صورت همزمان زمینه‌ساز توسعه و اثرپذیر از توسعه بوده و این موضوع سبب توجه بیشتر برنامه‌ریزان به مقوله حمل‌ونقل گردیده است. بر این اساس، پیگیری و حساسیت در چالش‌ها و پیش‌بینی پیامدهای منفی حمل‌ونقل بر روی اقتصاد، محیط زیست و اجتماع بسیار ضروری به‌نظر می‌رسد.

اگرچه طرح راهبرد توسعه پایدار در کشورهای مختلف با هدف آشناسازی و پیدا شدن ساز و کار مشترک برای افزایش روند پایداری جهانی بوده است، لیکن توجه به روش‌های مناسب و جامعی که قادر به اندازه‌گیری و ارزیابی تلاش برنامه‌ریزان و متولیان جوامع در جهت بهبود شاخص‌های پایداری باشد، دارای اهمیت دو چندان خواهد بود. در سال‌های اخیر، به‌منظور پیش‌بینی اثرات ناپایداری‌ها و برنامه‌ریزی‌های بلندمدت از روش‌های مختلفی از جمله روش سیستم پویایی استفاده شده است. این روش با قابلیت درنظرگیری همزمان بازخوردهای میان متغیرهای مدل و نمایش تغییرات مقادیر در سال‌های آتی، زمینه مناسبی برای دستیابی به توسعه پایدار محسوب می‌شود.

تاکنون مطالعات متعددی با هدف ارزیابی زیست محیطی حمل‌ونقل صورت گرفته است (۴). در این مطالعات بیشتر تاکید بر روی ارایه مدل و نمایش تغییرات شاخص‌ها طی سال‌های اخیر بوده است (۵ و ۶). در مطالعاتی که از روش سیستم پویایی به منظور مدل‌سازی حمل‌ونقل پایدار استفاده کرده‌اند، ارزیابی سناریوهای متعدد کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است (۷ و ۸). همچنین، بررسی‌ها نشان می‌دهد، توجه مستقیم به الگوی زیست‌محیطی در حمل‌ونقل پایدار با استفاده از این مدل‌ها به طور خاص صورت نگرفته است (۴). هدف این مقاله ارایه الگوی زیست‌محیطی در حمل‌ونقل پایدار شهری بوده است. به این منظور، تلاش گردیده با به‌کارگیری مدل‌های سیستم پویایی، حمل‌ونقل شهر مشهد (به عنوان یکی از کلان‌شهرهای ایران) شبیه‌سازی شده و بخش پایداری زیست‌محیطی به صورت دقیق‌تری مورد بررسی قرار گیرد. ساختار این مقاله شامل پنج بخش بوده و طی آن در ابتدا مرور منابع مرتبط با حمل‌ونقل پایدار شهری انجام یافته است. با توجه به رویکرد زیست‌محیطی مقاله، شاخص‌های اندازه‌گیری مستقیم در این بخش و همچنین شاخص‌های مرتبط با آن در سایر بخش‌ها آورده شده است. پس از آن، در بخش روش‌شناسی تحقیق، اصول و عناصر مدل‌های سیستم پویایی تشریح و مدل پویای حمل‌ونقل پایدار شهری و زیرمجموعه‌های آن تشریح گردیده است. در ادامه، ضمن معرفی ۱۵ سناریو جهت سنجش زیست‌محیطی حمل‌ونقل درون‌شهری مشهد، الگوی برنامه‌ریزی این شهر با هدف بهینه کردن شاخص‌های زیست‌محیطی تا سال ۱۴۰۸ ارایه شده است.

۲- مفهوم حمل‌ونقل پایدار

طبق بررسی‌های صورت گرفته، تاکنون تعاریف متعددی درخصوص حمل‌ونقل پایدار ارایه شده که طی آن تمامی یا بخشی از ابعاد پایداری مورد توجه قرار گرفته است (۹). با توجه به رویکرد این مقاله مفهوم حمل‌ونقل پایدار به‌صورت زیر تعریف می‌گردد(۴): حمل‌و نقل پایدار مجموعه‌ای از سیاست‌ها و دستورالعمل‌های یکپارچه، پویا، پیوسته و

دربردارنده اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است که توزیع عادلانه و استفاده موثر از منابع جهت رفع نیازهای حمل‌ونقل جامعه و نسل‌های آتی را به همراه دارد. مطابق با این تعریف اگرچه ارزیابی حمل‌ونقل پایدار باید به‌صورت همزمان ابعاد اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و حمل‌ونقلی را لحاظ نماید، لیکن با توجه به هدف این مقاله جهت الگودهی زیست‌محیطی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، سایر ابعاد به صورت جانبی مورد توجه قرار گرفته است.

جهت شناخت میزان دستیابی برنامه‌ها و سیاست‌گذاری‌ها جهت دستیابی به حمل‌ونقل پایدار، استفاده از شاخص‌های استاندارد، جامع و کاربردی می‌تواند بسیار راهگشا باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد از سوی مراکز و سازمان‌های مختلف، تاکنون شاخص‌های فراوانی ارایه شده است (۵ و ۶). در این مطالعه، تعداد ۷ شاخص جهت سنجش زیست‌محیطی مدل حمل‌ونقل پایدار شهری انتخاب و معرفی شده است. اساس این انتخاب، دسترسی به اطلاعات، کارآیی در اندازه‌گیری و مقبولیت جهانی شاخص‌ها با محوریت پایش محیط زیست بوده است. در جدول ۱ این شاخص‌ها نمایش داده شده است.

جدول ۱- شاخص‌های زیست‌محیطی جهت سنجش سطح پایداری مدل حمل‌ونقل پایدار شهری

ردیف	شاخص (منطقه i)	واحد	علامت
۱	میزان آلودگی صوتی ناشی از وسایل‌نقلیه	دسی بل	-
۲	هزینه آلودگی محیط ناشی از حمل‌ونقل	ریال	-
۳	مصرف سالیانه گازوئیل به تعداد خودروی گازوئیل‌سوز	لیتر به وسیله نقلیه	-
۴	مصرف سالیانه بنزین به تعداد خودروی بنزین‌سوز	لیتر به وسیله نقلیه	-
۵	تولید سالیانه آلاینده NOX به مساحت منطقه	کیلوگرم بر متر مربع	-
۶	تولید سالیانه آلاینده HC به مساحت منطقه	کیلوگرم بر متر مربع	-
۷	تولید سالیانه آلاینده CO به مساحت منطقه	کیلوگرم بر متر مربع	-

۳- روش شناسی تحقیق

با تشریح مفهوم حمل‌ونقل پایدار و شاخص‌های اندازه‌گیری آن در بخش محیط زیست، در ادامه به معرفی روشی مناسب و جامع جهت سنجش و ارزیابی سطح پایداری زیست محیطی در سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری پرداخته خواهد شد. طی چندین دهه اخیر، روش‌های متعددی تلاش برای نمایش چگونگی رفتار و عملکرد سیستم حمل‌ونقل شهری داشته‌اند (۱۰). برحسب توفیق هر کدام از این روش‌ها در میزان دقت در خروجی‌ها، پیش‌بینی رویدادهای آینده و میزان جامع‌نگری آن‌ها در انتخاب متغیرهای مؤثر بر سیستم، توجه به استفاده از آن بیشتر بوده است. در میان این روش‌ها، مدل‌های سیستم پویایی در قیاس با سایر مدل‌ها به واسطه در نظر گیری روابط علی – معلولی و بازخورد میان متغیرها و لحاظ نمودن تأخیر و یا اثرات غیریکسان پارامترها در طول زمان، روش مناسبی برای ارزیابی‌های بلندمدت قلمداد می‌شود)۱۱ و ۱۲).

بنابراین، در یک جمع‌بندی از روش پیشنهادی این پژوهش، به طور خلاصه می‌توان چنین بیان کرد که به منظور بررسی رفتار حمل‌ونقل شهری، پیش‌بینی روند تغییرات شاخص‌ها و ارزیابی سناریوها در سال‌های آتی و پس از آن، ارایه الگوی زیست محیطی در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری از مدل‌های سیستم پویایی استفاده شده است. این مدل‌ها تاثیر متغیرها را بر روی یکدیگر در نظر گرفته و روند تغییرات

شاخص‌ها را در سال‌های آتی نمایش و به این ترتیب سناریوهای برتر را در اختیار متولیان حمل‌ونقل قرار می‌دهد. مدل‌های سیستم پویایی اشاره شده و عناصر و اجزای آن در ادامه معرفی شده‌اند.

معرفی مدل‌های سیستم پویایی

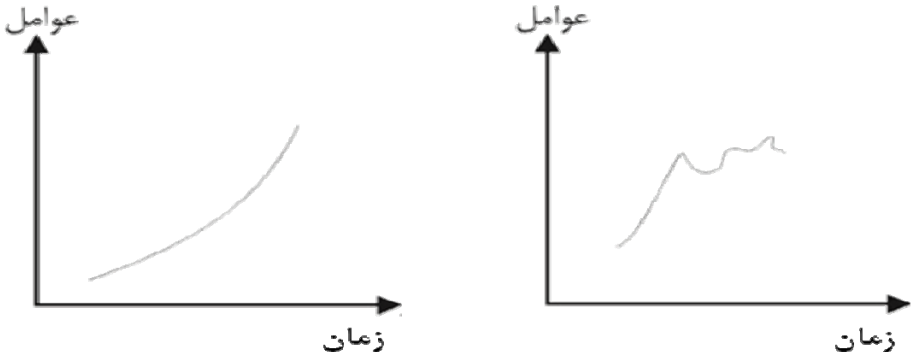
عناصر تشکیل‌دهنده مدل‌های سیستم پویایی شامل متغیرهای مستقل (علت)، متغیرهای وابسته (معلول) و پیکان‌های نشان‌دهنده جهت ارتباط میان علت و معلول است. ارتباط میان این متغیرها سبب تشکیل حلقه‌های بازخوردی می‌شود. حلقه‌های بازخوردی به دو دسته حلقه‌های بازخوردی مثبت و منفی تقسیم می‌شوند (۱۳):

- حلقه‌های بازخوردی مثبت: در این حلقه‌ها، اگر تغییری در اجزای سیستم اتفاق افتد، تغییرات به‌صورت مستقیم به سایر مؤلفه‌ها هدایت می‌شود. حلقه‌های بازخورددی مثبت به معنای یک فرآیند رشد یا زوالی است که در آن سیستم تمایل به انفجار از خارج یا داخل را دارد، مانند چرخه مربوط به اجرت و قیمت‌ها؛ به طوری‌که با افزایش اجرت، تورم زیاد شده که سبب افزایش قیمت‌ها می‌شود. در ادامه، افزایش قیمت سبب بالا رفتن اجرت می‌شود.
- حلقه‌های بازخوردی منفی: حلقه‌های بازخوردی منفی تمایل به بی‌اثر کردن (عمل متقابل) با هدایت سیستم به حالت ثابت دارند. مانند کنترل دمای اتاق با یک ترموستات، به این معنا که دمای اتاق تا زمانی که به درجه ثابت و مطلوب برسد افزایش پیدا می‌کند. در این هنگام، افزایش دما متوقف شده و این روند با هدف تثبیت دما ادامه پیدا می‌کند.

با ساخته شدن دیاگرام‌های حلقه سببی، مفهومی به‌نام قطبیت چرخه بروز پیدا می‌کند. زمانی که چرخه بازخوردی مخالف منشأ اولیه خودش است، حلقه منفی یا رو به هدف است و زمانی که چرخه بازخوردی در جهت تقویت منشأ اولیه خودش عمل می‌نماید، چرخه مثبت یا تقویتی نام‌گذاری می‌شود. این موضوع در شکل ۱ نمایش داده شده است. نکته مهم این است که چرخه‌های مثبت همیشه به‌معنای توسعه خوب و پایدار نیست و با توجه به شاخص مورد نظر، ممکن است چرخه‌های منفی در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌ها مطلوب باشد.

به طور کلی مراحل ساخت مدل‌های سیستم پویایی شامل سه مرحله ایجاد مدل مفهومی، ترسیم نمودار جریان[1] و بسط و توسعه مدل سیستم پویایی در یکی از نرم‌افزارهای سیستم پویایی است؛ که در ادامه به آن اشاره شده است.

1. Flow Diagram



شکل ۱- نمودارهای عمومی در چرخه منفی (سمت راست) و چرخه مثبت (سمت چپ) (۱۰)

- **ایجاد مدل مفهومی**

این مرحله به عنوان ابتدایی‌ترین بخش مدلسازی، به دلیل نحوه جهت‌گیری و میزان اولویت‌دهی به عوامل درونی و بیرونی مدل، دارای اهمیت فراوانی می‌باشد. جهت ایجاد مدل مفهومی، ابتدا لازم است ابعاد مسئله در واقعیت روشن گردد. در این مرحله، با توجه به اهداف مورد توجه در مدل، مرزهای سیستم و دیاگرام های تأثیر و علی – معلولی طراحی می‌شوند.

- **ترسیم نمودار جریان**

براساس ساختار روابط علی – معلولی و استفاده از حلقه‌های بازخوردی، نمودار جریان در زیر مدل‌های مختلف ترسیم می‌گردند. در این مرحله رفتار و عملکرد متغیرها بر پایه ماهیت و تاثیر مثبت و یا منفی بر روی یکدیگر مشخص می‌شود.

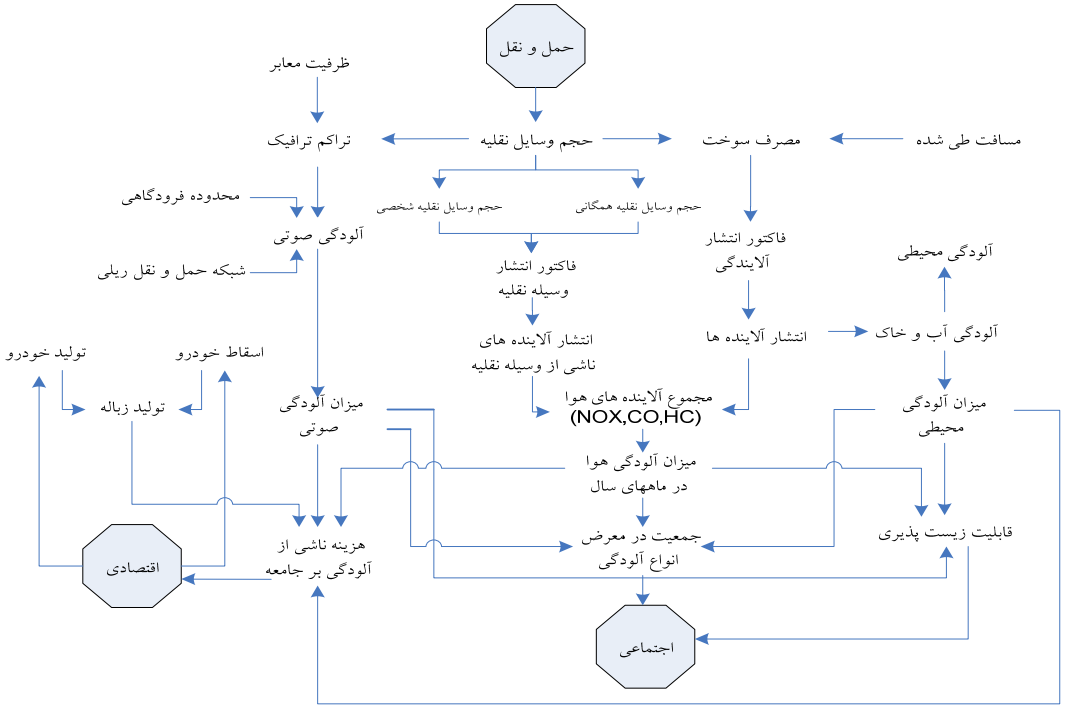
- **بسط و توسعه مدل سیستم پویایی**

در این مرحله، باید ابعاد و واحدهای اندازه‌گیری تمامی متغیرها مشخص شود. سپس، توابع میان این روابط به‌صورت معادلات ریاضی معین و داده‌های مورد نیاز در مطالعه موردی جمع‌آوری می‌گردد. در انتها متغیرها و روابط ریاضی میان آنان در یکی از نرم‌افزارهای سیستم پویایی شبیه‌سازی می‌شوند.

بر این اساس، در ادامه هر یک از این مراحل جهت ایجاد مدل حمل‌ونقل پایدار شهری به تفکیک آورده شده است.

۳-۱- مدل مفهومی حمل‌ونقل پایدار شهری

جهت تشکیل مدل مفهومی حمل‌ونقل پایدار شهری، از دیاگرام‌های علی - معلولی به منظور نمایش ارتباط میان مولفه‌های مدل استفاده شده است. این موضوع که در شکل ۲ نمایش داده شده است، بیانگر پیچیدگی درنظرگیری همزمان متغیرهای اقتصادی، اجتماعی در حیطه حمل‌ونقل و محیط زیست است. به عنوان نمونه در شکل ۲، مصرف سوخت وسایل-نقلیه سبب تولید آلاینده‌ها و ایجاد و افزایش هزینه‌های زیست-محیطی بر جامعه شده که این موضوع در بخش اقتصادی بر روی منابع مالی حمل‌ونقل موثر خواهد بود. در ادامه، تغییر در شرایط اقتصادی و میزان جابه‌جایی افراد و مبادله کالا و در پی آن تغییر حجم ترافیک وسایل‌نقلیه و مسافت طی شده، مصرف سوخت کاهش و یا افزایش خواهد داشت. با توجه به دخیل بودن متغیرهای فراوان در حیطه حمل‌ونقل و محیط زیست و محدودیت درنظرگیری ارتباط این متغیرها به صورت کمی با موضوع حمل‌ونقل پایدار، در مدل ایجاد شده این مقاله صرفاً مهم‌ترین متغیرهای مرتبط با موضوع شناسایی و در مدل‌های مفهومی و نمودار جریان ارایه گردیده است.



شکل ۲- مدل مفهومی زیست‌محیطی حمل‌ونقل پایدار شهری

۳-۲- نمودار جریان مدل حمل‌ونقل پایدار شهری

با ترسیم مدل مفهومی حمل‌ونقل پایدار شهری، در واقع مهمترین متغیرهای اثرگذار و اثرپذیر از حمل‌ونقل بر بخش‌های اقتصاد، محیط زیست و اجتماع انتخاب گردیده است. بر این اساس، نمودار جریان بر مبنای ساختار علی سببی ترسیم شده است. مطابق با شکل ۳، حلقه‌های مثبت و منفی متعددی تشکیل دهنده ساختار مدل بوده که در ادامه به بیان چند نمونه از آن پرداخته شده است.

حلقه ۱: مصرف سالانه سوخت (+) ← تولید سالانه آلاینده‌های هوا (+) ← سلامتی شهروندان (-) ← نرخ مرگ‌ومیر (+) ← جمعیت (-) ← سرانه مالکیت وسیله‌نقلیه (+)

حلقه ۲: تقاضای سفر با وسیله‌نقلیه (+) ← حجم ترافیک (+) ← متوسط سرعت (-) ← زمان سفر (+) ← تقاضای سفر با وسیله‌نقلیه (-)

در میان موارد فوق، حلقه ۱ دارای قطبیت مثبت و حلقه ۲ دارای قطبیت منفی است. همچنین، تاثیر تولید آلاینده‌ها بر روی تقاضای سفر با وسیله‌نقلیه به‌صورت تاخیری بوده که این موضوع در این شکل مشخص شده است.

۳-۳- بسط و توسعه مدل سیستم پویایی

در این مرحله، روابط ریاضی میان متغیرها در نمودار جریان مشخص شده است. به این منظور، با به‌کارگیری نرم‌افزار سیستم پویایی ونسیم[1]، زیرمدل‌های اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و حمل‌ونقلی مدل گردیده است. در محیط نرم-افزار سیستم پویایی ونسیم متغیرها به ۵ دسته متغیرهای حالت، نرخ، ثابت، کمکی و خارجی (برون‌زا) تقسیم‌بندی می-شود. متغیر حالت نشان دهنده مقدار سطح متغیر در طول زمان و تغییر افزایشی یا کاهشی توسط متغیر نرخ است که در نهایت رفتار سیستم پویایی را در طول زمان مشخص می‌کند. متغیر ثابت در طول زمان تغییر پیدا نخواهند نمود و متغیر خروجی به

[1] Vensim PLE, vergen 5.9d

صورت مستقل عمل نموده و تحت تأثیر تغییرات متغیرهای درون مدل نمی‌باشد. مقادیر جدید متغیر حالت بر اساس افزایش یا کاهش تغییرات در دوره آینده به‌دست می‌آید. این موضوع در رابطه ۱ به‌صورت انتگرالی و پس از آن، مشتق گیری مطابق با رابطه ۲ نمایش داده شده است)۱۴(:

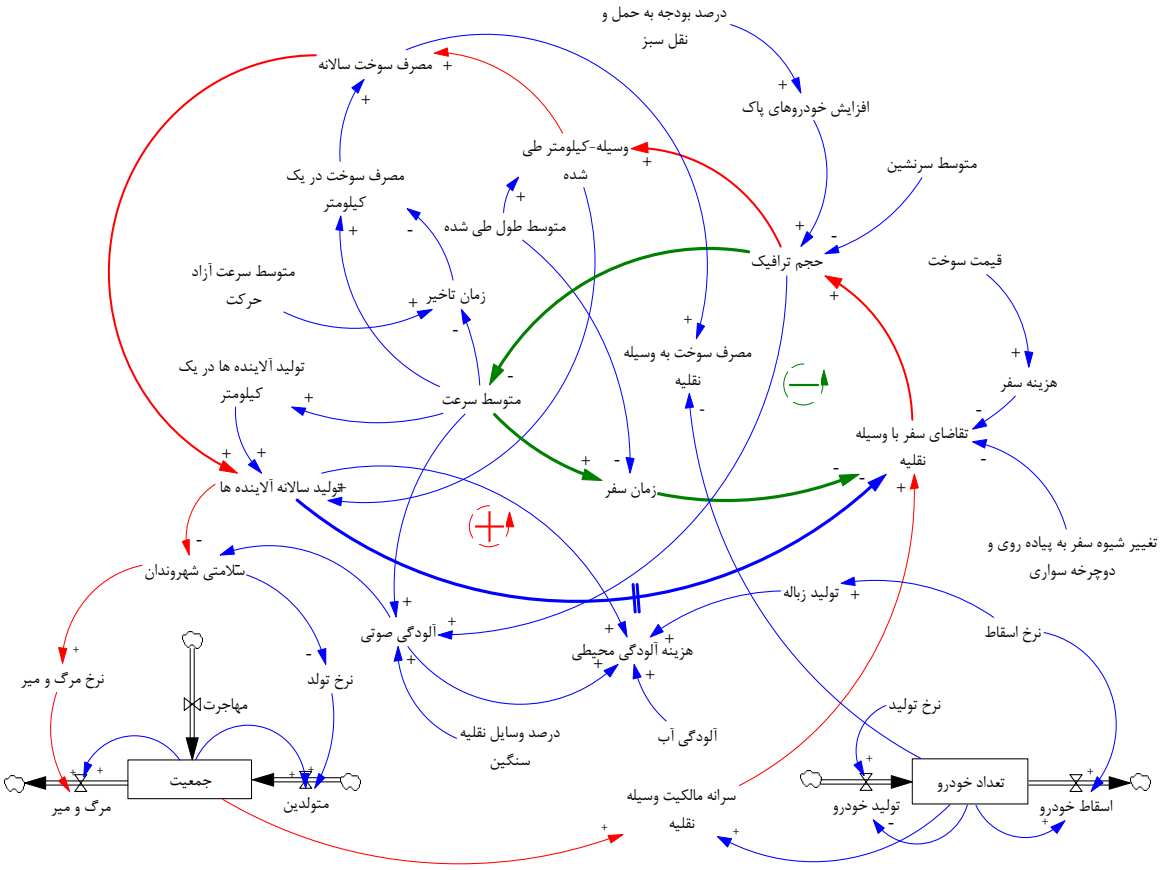
$$Stock(t) = \int_{t_0}^{t} [Inflow(s) - Outflow(s)]\, ds + Stock(t_0)$$ رابطه ۱

$$\frac{d(Stock(t))}{dt} = Inflow(t) - Outflow(t)$$ رابطه ۲

در این رابطه متغیرها به‌صورت زیر معرفی شده است:

Stock (t): متغیر حالت در زمان t

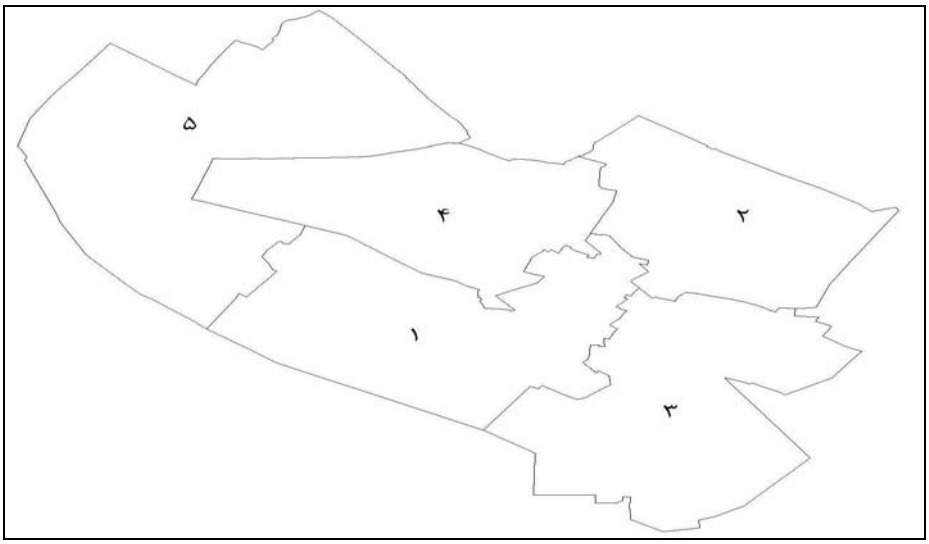
Inflow (t) و *Outflow (t)*: نرخ ورودی و خروجی در زمان t



شکل ۳- زیرمدل زیست‌محیطی از مدل سیستم پویایی حمل‌ونقل پایدار شهری

۴- مطالعه موردی

در این مطالعه شهر مشهد به عنوان یکی از کلان شهرهای ایران جهت ارایه الگوی زیست‌محیطی حمل‌و نقل پایدار شهری انتخاب و مطابق با شکل ۴ به پنج منطقه ترافیکی تقسیم‌بندی شده است. در این تقسیم‌بندی، تلاش شده است ضمن امکان دسترسی به اطلاعات متغیرهای مورد استفاده در وضع موجود، برخی از مهم‌ترین عوامل نظیر مساحت منطقه و پراکندگی جمعیت در آن تقریباً یکسان باشد.



شکل۴- تقسیم‌بندی مناطق ترافیکی شهر مشهد

در این بخش روابط و نحوه محاسبه برخی از مهم‌ترین متغیرهای به‌کاررفته در مدل زیست‌محیطی حمل‌ونقل پایدار شهری آورده شده است. این متغیرها شامل هزینه‌های محیطی به تفکیک وسایل‌نقلیه، میزان مصرف سوخت، انتشار آلاینده‌های هوا و سطح آلودگی صوتی می‌شود.

هزینه آلودگی محیطی مجموعه‌ای از هزینه انتشار آلاینده‌های هوا (HC، CO و NOX) ، صوت، آب و تولید زباله در هر یک از وسایل‌نقلیه بوده که در جدول ۲ هزینه هر کدام به ازای یک کیلومتر– وسیله‌نقلیه در سال ۱۳۸۸ آورده شده است.

جدول ۲- هزینه آلاینده‌های زیست‌محیطی به ازای یک کیلومتر– وسیله‌نقلیه در سال ۱۳۸۸

ردیف	متغیر	مرجع	هزینه (ریال)	
۱	آلودگی صوتی	(۱۵)	وسیله‌نقلیه شخصی	۱۱۹/۷۸
			اتوبوس	۶۰۴/۱
			موتورسیکلت	۱۲۱۱/۴
۲	آلودگی آب	(۱۵)	وسیله‌نقلیه شخصی	۱۲۸/۱
			اتوبوس	۱۲۸/۱
			موتورسیکلت	۱۲۸/۱
۳	آلودگی ناشی از تولید زباله	(۱۵)	وسیله‌نقلیه شخصی	۳/۷
			اتوبوس	۳/۷
			موتور سیکلت	۳/۷
۴	آلاینده NO_2	(۱۶)	۴۸۰۰	
۵	آلاینده CO	(۱۶)	۱۵۰۰	
۶	آلاینده HC	(۱۶)	۱۷۰۰	

جدول ۳- میزان مصرف سوخت وسایل‌نقلیه سبک و سنگین بر اساس سرعت و تراکم ترافیک (۱۸)

سرعت (کیلومتر بر ساعت)	وسیله‌نقلیه سبک			وسیله‌نقلیه سنگین		
	مصرف بنزین (لیتر بر کیلومتر)	مصرف اضافی به علت تاخیر		مصرف گازوئیل (لیتر بر کیلومتر)	مصرف اضافی به علت تاخیر	
		مصرف مبنا	مازاد مصرف به ازای هر ۳۰ ثانیه		مصرف مبنا	مازاد مصرف به ازای هر ۳۰ ثانیه
۱۶/۰۹	۰/۱۶۹	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۲۵۲	۰/۰۲۰	۰/۰۲۰
۳۲/۱۸	۰/۱۱۸	۰/۰۲۵		۰/۲۰۱	۰/۰۵۳	
۴۸/۲۷	۰/۱۰۳	۰/۰۳۷		۰/۲۲۸	۰/۰۹۵	
۶۴/۳۶	۰/۱۰۸	۰/۰۴۸		۰/۲۷۹	۰/۱۳۳	
۸۰/۴۵	۰/۱۲۲	۰/۰۶۴		۰/۳۴۴	۰/۱۴۸	
۹۶/۵۴	۰/۱۳۶	۰/۰۷۹		۰/۴۱۵	۰/۱۴۸	
۱۱۲/۶۳	۰/۱۵۸	۰/۰۹۲		–	–	

میزان مصرف سوخت و انتشار آلاینده‌ها توسط وسایل‌نقلیه، تابعی از تکنولوژی، نوع سوخت، سرعت، تراکم ترافیک و شرایط فیزیکی معبر از قبیل شیب طولی و روسازی راه است. در این مطالعه، مصرف سوخت وسایل‌نقلیه سبک و سنگین بر اساس سرعت و تراکم ترافیک بر اساس جدول ۳ محاسبه شده است. در جدول ۳، با توجه به سرعت وسایل‌نقلیه و میزان تاخیر ناشی از تراکم ترافیک، مصرف سوخت مبنا و مازاد تخمین زده شده است.

به منظور محاسبه آلودگی صوتی در مناطق شهری، تا کنون روش‌های متعددی ارایه شده است. برخی از این روش-ها، با ارایه نمودار خطی یا غیرخطی به‌دست آمده از آزمایش‌های متعدد، میزان تولید آلودگی صوتی را به طور متوسط به تفکیک وسایل‌نقلیه ارزیابی نموده‌اند (۱۷). اگرچه این روش قابلیت محاسبه میزان آلودگی صوتی را دارد، لیکن عدم ارتباط‌دهی میان متغیرهای مستقل و تولید آلودگی صوتی و همچنین دقت پایین آن‌ها، به‌کارگیری روابط ریاضی را در این موضوع ضروری می‌نماید.

این مقاله، مدل تولید آلودگی صوتی در کشور انگلستان را مبنای محاسبه قرار داده است. در این مدل، متغیرهای حجم ترافیک (Q)، سرعت (V) و درصد وسایل‌نقلیه سنگین (P)، آلودگی صوتی در فاصله ۱۰ متری (L_{10}) را مطابق با رابطه ۳ نتیجه می‌دهد)۱۷(:

$$L_{10} = 10Log_{10}Q + 33Log_{10}(V + 40 + \frac{500}{V}) + Log_{10}(1 + \frac{5p}{V}) - 27.6$$ رابطه ۳

در ادامه لازم است رابطه ۳ برای شهر مشهد کالیبره شود. به این منظور، از نتایج برداشت آلودگی صوتی در مناطق شهر مشهد استفاده شده (۱۹) و با توجه به برآورد سایر متغیرهای به‌کار رفته در مدل در هر منطقه، این فرمول مطابق با رابطه 4 کالیبره شده است:

$$L_{10} = 10\,Log_{10}Q + 33\,Log_{10}(V + 40 + \frac{500}{V}) + Log_{10}(1 + \frac{5\,p}{V}) - 22.6$$ رابطه 4

میزان نشر آلاینده‌های مختلف (NO_X, HC, CO) توسط وسایل‌نقلیه مختلف تابعی از تکنولوژی وسیله نقلیه، نوع سوخت و سرعت وسیله نقلیه است. جهت برآورد میزان انتشار برخی آلاینده‌های هوا از مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران (۲۰) استفاده شده است. این توابع میزان نشر آلاینده‌ها را طی یک کیلومتر طول راه با سرعت V و بر حسب گرم ساخته و مطابق با روابط ۵ الی ۱۱ نمایش داده شده است:

رابطه ۵ موتور $CO = 76.7601/61v + 0.0095v^2 + (95.91)/v$

رابطه ۶ موتور $HC = 25.47 - 0.43v + 0.0024v^2 + (178.48)/v$

رابطه ۷ سواری، تاکسی و وانت $CO = 127.64 - 2.68v + 0.016v^2 + (160.12)/v$

رابطه ۸ سواری، تاکسی و وانت $HC = 6.06 - 0.10v + 0.00056v^2 + (42.57)/v$

رابطه ۹ سواری، تاکسی و وانت $NOX = 0.7 + 1.92/[1 + 93.54e^{-0.049v}]$

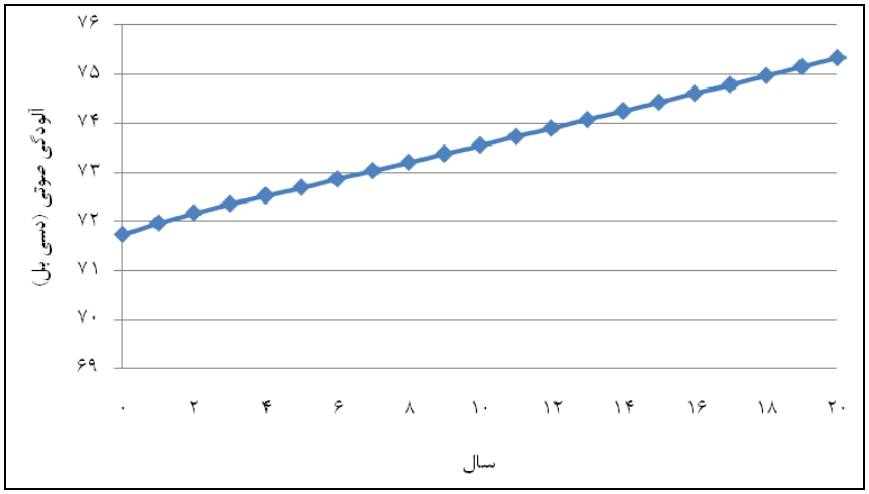
رابطه ۱۰ اتوبوس و کامیون $NOX = 19.63 - 0.32v + 0.0037v^2 + (21.13)/v$

رابطه ۱۱ مینی‌بوس $NOX = 0.64(NOX$ اتوبوس$)$

۵- یافته‌ها

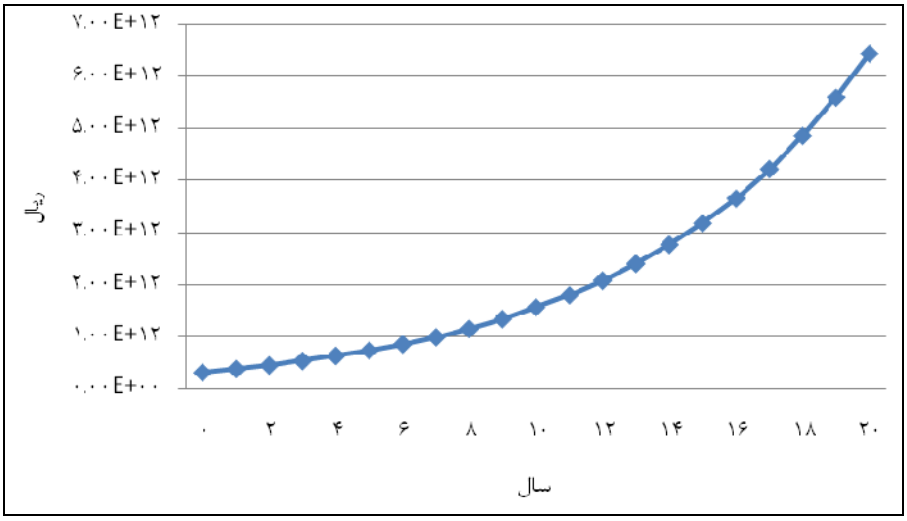
با ساخته شدن مدل و ورود اطلاعات سال مبنا در نرم‌افزار ونسیم، نتایج مدل حمل‌ونقل پایدار بر اساس شاخص‌های انتخابی در بخش زیست‌محیطی شهر مشهد بدست آمده است. این نتایج در شکل‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ نمایش داده شده است. در این شکل‌ها، محور افقی مربوط به سال آتی و محور عمودی بیانگر تغییرات شاخص‌ها است. در محور افقی، سال مبنا (۱۳۸۸) با عدد صفر و سال پایان طرح (۱۴۰۸) با عدد ۲۰ مشخص گردیده است. نکته قابل ذکر در خصوص مقادیر مولفه‌ها و شاخص‌ها این است که مدل سیستم پویایی ساخته شده در نرم‌افزار، با توجه به منطق ارایه شده در روابط ۱ و ۲ قادر به برآورد تمامی مقادیر به‌کار رفته در مدل می‌باشد. به این ترتیب، تاثیرات افزاینده و کاهنده سایر متغیرها با نرخ‌های رشد متفاوت، سبب برآورد هر شاخص و یا مولفه در سال‌های آتی می‌گردد.

همان‌گونه که در شکل ۵ نمایش داده شده است، شاخص مربوط به آلودگی صوتی در سال مبنا برابر با ۷۱/۸ دسی‌بل بوده که با تغییر تقریباً خطی، در سال ۱۴۰۸ به ۷۵/۲ دسی‌بل رسیده است. این موضوع بیانگر این مطلب است که روند پیش‌رو در شهر مشهد (عدم تغییر در سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی)، سبب افزایش آلودگی صوتی به میزان ۳/۴ دسی‌بل طی ۲۰ سال آینده خواهد شد.



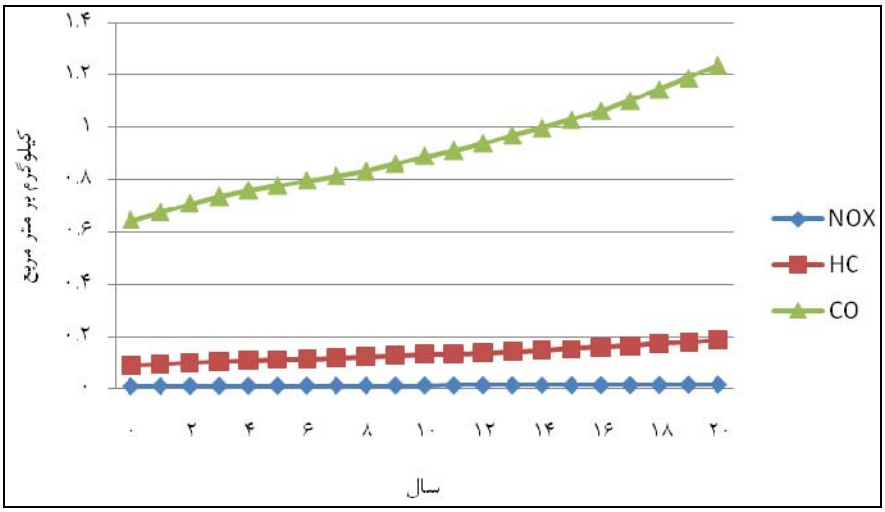
شکل ۵- تغییرات شاخص آلودگی صوتی در دوره ۲۰ ساله (دسی‌بل)

روند رشد هزینه آلودگی محیط ناشی از حمل‌ونقل (شامل مواردی که در بخش جدول ۲ به آن اشاره گردید) در دوره ۲۰ ساله به صورت سهمی مثبت افزایش پیدا کرده است (شکل ۶). در سال مبنا این هزینه در حدود ۳۰۰ میلیارد ریال و در سال طرح در حدود ۶۰۰۰ میلیارد ریال برآورد شده است. این موضوع بیانگر افزایش حدود ۲۰ برابری هزینه آلودگی محیط در این دوره بوده که چالشی مهم قلمداد می‌شود.



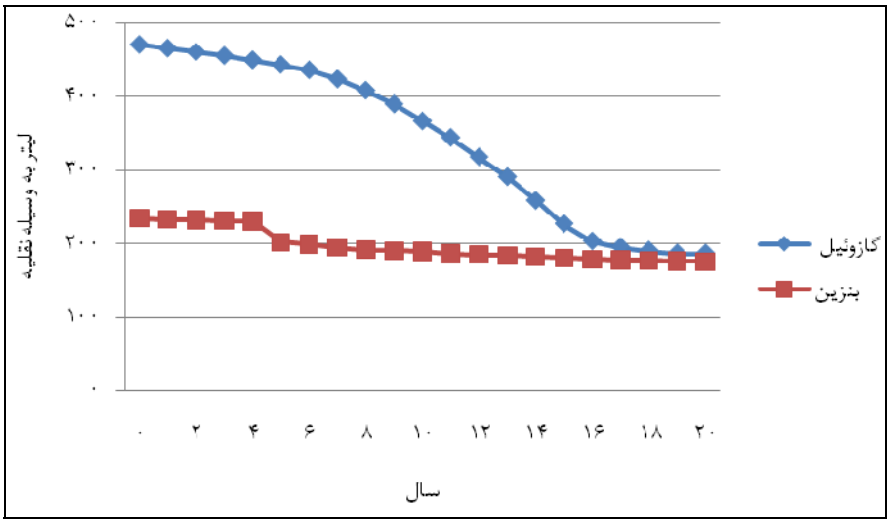
شکل ۶- تغییرات شاخص هزینه آلودگی محیط ناشی از حمل‌ونقل در دوره ۲۰ ساله (ریال)

در شکل ۷ میزان تغییرات شاخص‌های تولید سالیانه آلاینده NOX، HC و CO به مساحت منطقه نشان داده شده است. نکته قابل ذکر در این خصوص این است که تولید سالیانه آلاینده‌ها مطابق با مدل ارایه شده در شکل ۳، با توجه به حاصل ضرب مقادیر تولید هر آلاینده (که مطابق با روابط ۵ تا ۱۱ تحت تاثیر متغیر سرعت وسایل‌نقلیه می‌باشد) در متغیر وسیله‌نقلیه-کیلومتر طی شده به‌دست آمده است. نتایج مدل بیانگر این مطلب است که مقدار سرعت وسایل‌نقلیه تاثیر بیشتری بر روی تولید آلاینده CO در مقایسه با سایر آلاینده‌ها داشته است. بر این اساس، تولید سالیانه آلاینده‌های NOX و HC تقریباً روندی ثابت و تولید سالیانه آلاینده CO دارای رشد بیشتری بوده است. این آلاینده در سال مبنا برابر ۰/۶۴۴ و در سال طرح به میزان ۱/۲۳۹ کیلوگرم بر متر مربع پیش‌بینی گردیده است.



شکل ۷- تغییرات شاخص تولید سالیانه آلاینده NOX، HC و CO به مساحت منطقه در دوره ۲۰ ساله (کیلوگرم بر متر مربع)

شاخص دیگر بررسی شده در این مقاله، مصرف سالیانه گازوئیل و بنزین به تعداد خودروی گازوئیل‌سوز و بنزین‌سوز است. در شکل ۸ تغییرات این شاخص در بازه ۳ ماهه و در دوره ۲۰ ساله نشان داده شده است. در سال ۱۳۸۸ مصرف سالیانه گازوئیل و بنزین به تعداد خودروی گازوئیل‌سوز و بنزین‌سوز به ترتیب برابر با ۴۲۷/۲ و ۲۳۵/۵ لیتر به وسیله‌نقلیه بوده که این مقادیر در سال ۱۴۰۸ به ۱۸۷/۵ و ۱۷۶/۳ لیتر به وسیله نقلیه رسیده است. بررسی در نتایج مدل نشان می‌دهد اگرچه مقادیر مصرف سوخت و تعداد وسایل‌نقلیه به‌صورت تابع اکیداً صعودی هستند، لیکن نسبت این دو در طول زمان نزولی است.



شکل ۸- تغییرات شاخص تولید مصرف سالیانه گازوئیل و بنزین به تعداد خودروی گازوئیل‌سوز و بنزین‌سوز (لیتر به وسیله‌نقلیه)

۶- بحث

جهت ارزیابی سطح پایداری زیست‌محیطی حمل-ونقل شهر مشهد، سناریوهای متعددی به‌صورت ترکیبی معرفی شده است. سنجش سناریوها به این صورت است که نتایج مدل در فاصله سال ۱۳۸۸ (سال مبنا) و سال ۱۴۰۸ (سال پایان طرح) بررسی شده است. سناریوهای ترکیبی با توجه به اهداف و راهبردهای حمل‌ونقل پایدار مطابق با جدول ۴ تعریف شده است. این راهبردها شامل کاهش خودروهای تک‌سرنشین، جمع‌آوری و بازیافت خودروهای فرسوده و توسعه فرهنگ پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری است. در جدول ۴، سیاست‌ها، مقادیر اولیه، واحدها، بازه تغییرات هر سیاست و سناریوهای ترکیبی با درنظرگیری مقادیر مختلف چند سیاست مشخص گردیده است. در هر راهبرد ۵ سناریوی ترکیبی مشخص شده که در مجموع ۱۵ سناریو بررسی شده است. در این جدول، سناریوهای هر راهبرد به‌صورت افزایشی تنظیم شده به این معنا که در ابتدا سناریوی کمینه، در ادامه سناریوهای انتقالی و در نهایت سناریوی بیشینه آورده شده است. با وارد کردن مقادیر سناریوها در نرم‌افزار سیستم پویایی ونسیم، نتایج هر سناریو طی ۲۰ سال آینده (۱۳۸۸ تا ۱۴۰۸) به‌دست آمده است.

به‌منظور مقایسه میان نتایج سناریوها در شهر مشهد، مقادیر شاخص‌های مورد نظر که در فاصله سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۴۰۸ در نرم‌افزار ونسیم محاسبه شده و به صورت نسبی در آمده است. این اطلاعات با استفاده از نمودار ریدار[1] به تصویر کشیده شده است (شکل ۹). در این شکل، تمامی ۱۵ سناریو طی ۳ راهبرد موردنظر در سال‌های مبنا و طرح آورده شده است. نحوه ترسیم این نمودار به این صورت بوده که مقادیر شاخص‌ها در هر سناریو بر مقدار همان شاخص در گزینه عدم انجام کار تقسیم و به این ترتیب مقادیر نسبی هر سناریو محاسبه شده است. در هر نمودار ریدار، ۷ محور وجود داشته که مربوط به شاخص‌های مطالعه حاضر در جدول ۱ می‌باشد. همچنین، جهت مقایسه مقادیر هر سناریو، گزینه عدم انجام کار با عدد ۰ مشخص گردیده است.

1- Radar Diagram

جدول ۴- سناریوهای ترکیبی جهت سنجش سطح پایداری مدل حمل‌ونقل پایدار در شهر مشهد

راهبرد	سیاست (ها)	مقدار اولیه	واحد	بازه تغییرات		سناریوها				
				max	min	۱	۲	۳	۴	۵
						کمینه		انتقالی		بیشینه
کاهش خودروهای تک سرنشین	هزینه سوخت اتومبیل شخصی در یک کیلومتر	۳۲۰	ریال	۶۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۵۰	۴۰۰	۵۰۰	۶۰۰
	هزینه سوخت موتورسیکلت در یک کیلومتر	۲۰۰	ریال	۳۵۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۵۰	۳۰۰	۳۵۰
	اعمال محدودیت قانونی تردد خودروهای تک‌سرنشین	۱	-	۲/۳۵	۱	۱/۱	۱/۳	۱/۶	۲	۲/۳۵
	شماره سناریو					۱_۱	۱_۲	۱_۳	۱_۴	۱_۵
جمع آوری و بازیافت خودروهای فرسوده	نرخ اسقاط خودرو	۰/۰۰۲	درصد	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶
	نرخ اسقاط اتوبوس	۰/۰۰۱	درصد	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۸	۰/۰۰۱
	نرخ اسقاط تاکسی	۰/۰۰۲	درصد	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶
	نرخ اسقاط دوچرخه	۰/۰۰۲	درصد	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶
	شماره سناریو					۲_۱	۲_۲	۲_۳	۲_۴	۲_۵
توسعه فرهنگ پیاده روی و دوچرخه‌سواری	تغییر شیوه سفر به پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری	۰/۰۵	-	۰/۳	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۲۵	۰/۳۰
	هزینه سوخت اتومبیل شخصی در یک کیلومتر	۳۲۰	ریال	۶۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۵۰	۴۰۰	۵۰۰	۶۰۰
	هزینه سوخت موتورسیکلت در یک کیلومتر	۲۰۰	ریال	۳۵۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۵۰	۳۰۰	۳۵۰
	درصد بودجه به توسعه حمل‌ونقل سبز	۰/۳	-	۰/۶	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۶
	شماره سناریو					۳_۱	۳_۲	۳_۳	۳_۴	۳_۵

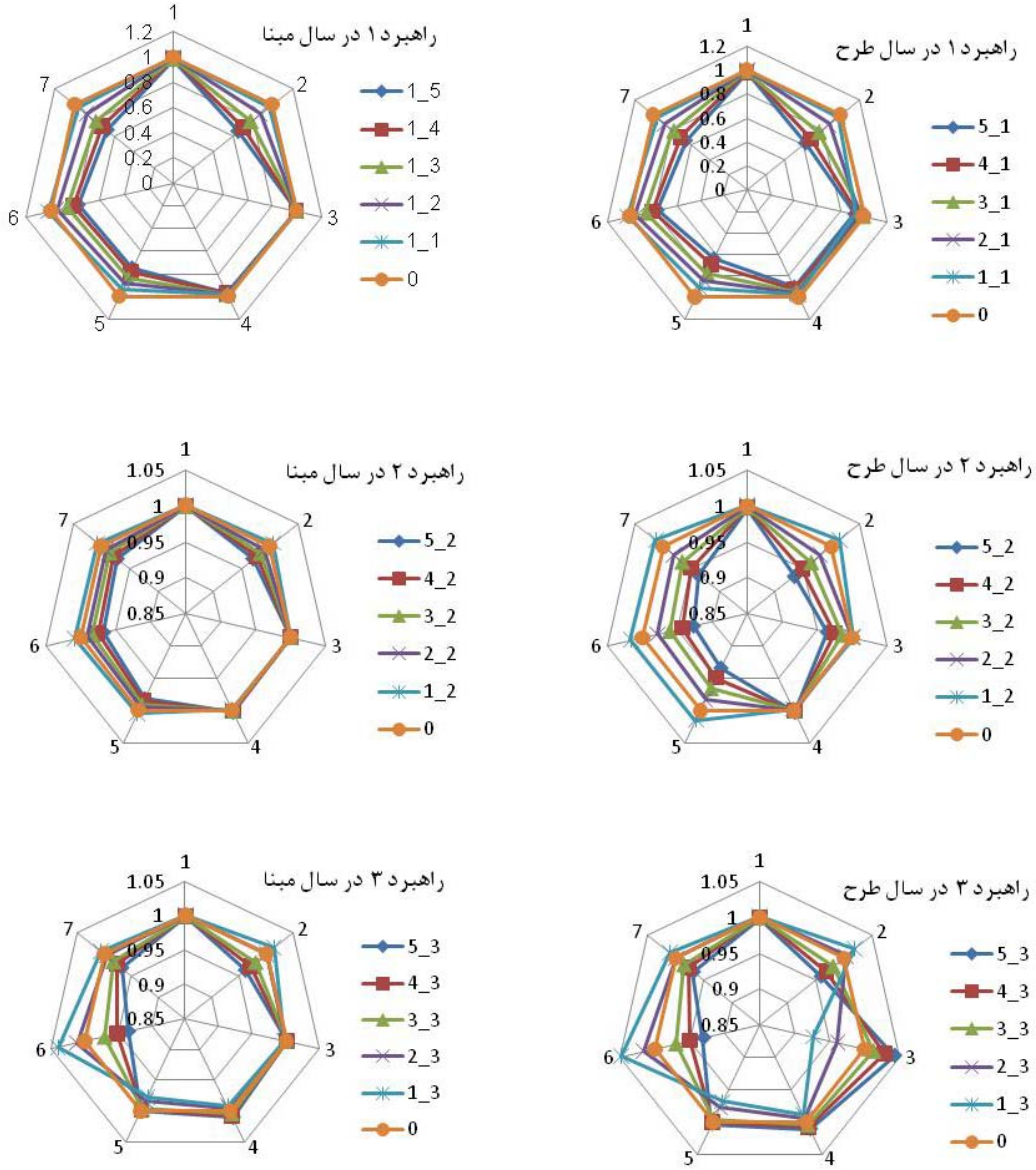
در شکل ۹ مقادیر نسبی شاخص‌های ۱، ۳ و ۴ در سال مبنا در هر سه راهبرد یکسان است. شاخص هزینه آلودگی محیط ناشی از حمل‌ونقل (شاخص ۲) در سناریوهای ۵-۳، ۵-۲ و ۵-۱ کم‌تر از گزینه عدم انجام کار محاسبه گردیده است. در این راهبردها شاخص‌های مربوط به تولید آلاینده‌های هوا در سناریوهای پیش‌بینی شده دارای نوسان بوده و کاهش یافته است.

در سال پایان طرح (۱۴۰۸)، شاخص آلودگی صوتی در تمامی راهبردها به یک میزان برآورد شده است. شاخص هزینه آلودگی محیط ناشی از حمل‌ونقل، با بیشینه شدن مقادیر سیاست‌ها به‌طور نامنظم کاهش یافته است. همان‌گونه که در شکل ۹ مشخص است، مصرف سالیانه گازوئیل به تعداد خودروی گازوئیل‌سوز در مقایسه با مصرف بنزین، بیشتر دچار تغییر شده است. این موضوع می‌تواند به دلیل افزایش هزینه سفر با وسیله‌نقلیه شخصی و بالا رفتن مطلوبیت حمل‌ونقل همگانی و به همان میزان افزایش تعداد اتوبوس در شهر مشهد باشد.

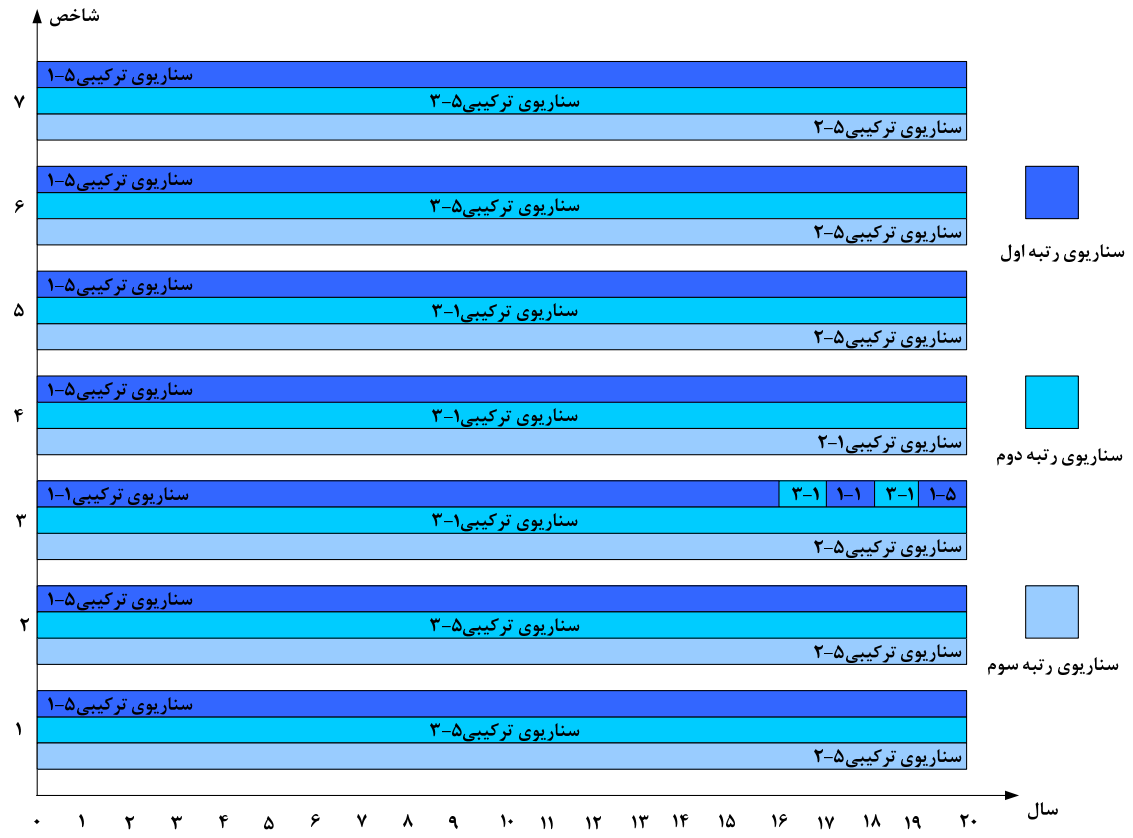
در نهایت، جهت مقایسه و انتخاب بهترین سناریو در راهبردهای حمل‌ونقل پایدار، مقادیر تمامی شاخص‌ها با یکدیگر مقایسه شده و با توجه به علامت منفی این شاخص‌ها، کم‌ترین مقدار در هر کدام انتخاب شده است. در شکل ۱۰ این نتایج به‌صورت تصویری بیان گردیده است. همان‌گونه که در شکل ۱۰ مشخص شده است، هر شاخص دارای سه نوار مستطیلی است که به ترتیب اولویت مقادیر شاخص‌ها در هر

سه راهبرد رتبه‌بندی گردیده است. در این شکل، رتبه‌بندی صورت گرفته با رنگ‌های متمایز و از بالا به پایین در هر شاخص نشان داده شده است. به‌عنوان نمونه در شاخص مصرف سالیانه بنزین به تعداد خودروی بنزین‌سوز (شاخص ۴)، به‌ترتیب سناریوهای ۵-۱، ۵-۳ و ۱-۲ در هر راهبرد دارای مقادیر بهینه می‌باشند.

به‌عنوان جمع‌بندی، الگوی مناسب جهت کاهش پیامدهای منفی زیست‌محیطی حمل‌ونقل به‌ترتیب اتخاذ راهبردهای ۵-۱، ۵-۳ و ۵-۲ در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهر مشهد پیشنهاد می‌شود. بنابراین، با پذیرش رابطه مستقیم قیمت‌گذاری و شاخص‌های زیست‌محیطی، لازم است توجه بیشتری به مقوله قیمت‌گذاری در برنامه‌ریزی انجام گیرد. اهمیت این موضوع با توجه به وجود چالش‌های اساسی در زمینه قیمت‌گذاری، بسیار اساسی به‌نظر می‌رسد.



شکل ۹- مقادیر نسبی شاخص‌های مطالعه در راهبردهای زیست‌محیطی حمل‌ونقل پایدار در شهر مشهد در سال طرح (سمت راست) و سال مبنا (سمت چپ)



شکل ۱۰- مقایسه و الگودهی بهترین سناریو در راهبردهای حمل‌ونقل پایدار در شهر مشهد

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله، بخش زیست‌محیطی حمل‌ونقل پایدار شهری با استفاده از تئوری مدل سیستم پویایی شبیه‌سازی شده است. این مدل برای ۲۰ سال آتی شهر مشهد (سال ۱۴۰۸) تحلیل و ۷ شاخص زیست‌محیطی مرتبط با حمل‌ونقل شهری مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه، سه راهبرد اساسی بررسی و در هر کدام، ۵ سناریو به مدل ارایه گردیده است. ارزیابی این سناریوها به روش مقایسه میان شاخص‌ها در نمودارهای ریدار و نتایج شاخص‌ها انجام یافته است. در این ارزیابی مشخص گردیده سناریوی ۵-۱ که مربوط به افزایش قیمت حامل‌های انرژی و اعمال محدودیت برای تردد خودروهای تک‌سرنشین است، بیشترین تاثیر را بر روی شاخص‌ها گذاشته و توانسته است رشد شاخص‌های زیست-محیطی را طی ۲۰ سال آینده کمینه نماید.

مطالعاتی که تاکنون در شهر مشهد انجام یافته، از مدل‌های استاتیکی حمل‌ونقل بهره گرفته بودند. در این مقاله، برای نخستین بار از مدل سیستم پویایی جهت ارزیابی شاخص-های زیست‌محیطی حمل‌ونقل شهر مشهد استفاده گردیده است. جهت انجام مطالعات آتی پیشنهاد می‌گردد ضمن انتخاب شاخص‌ها و سیاست‌های جامع‌تر، از روش‌های تحلیل دیگری جهت مقایسه مقادیر شاخص‌ها در هر سناریو استفاده شود. اگرچه در این مطالعه به مقوله زیست‌محیطی حمل‌ونقل پایدار شهری پرداخته شده است، لیکن توجه بیشتر به شاخص‌های حمل‌ونقلی و ارزیابی همزمان این موارد با یکدیگر، می‌تواند در ارایه الگوی پایداری راه‌گشاتر باشد. به نظر می‌رسد نتایج حاصل از این مطالعه، الگوی مناسبی را جهت پایداری در حمل‌ونقل شهر مشهد در اختیار متولیان و برنامه‌ریزان شهری قرار دهد.

منابع

۱. زاهدی، شمس‌السادات.، «توسعه پایدار». چاپ اول، تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت)؛ ۱۳۸۶، صفحات ۱۶ تا ۴۶.

2. Brondtland, H. G., "Sustainable Development: An Orerview", Development (Journal of SID), vol. 2, No, 3. 1993.

۳. استادی جعفری، مهدی.، حدیقه جوانی، محسن.، «جایگاه حمل‌ونقل همگانی در دستیابی به حمل‌ونقل پایدار». نهمین کنفرانس حمل‌ونقل و ترافیک، اردیبهشت ۱۳۸۸، تهران، ایران.

۴. استادی جعفری، مهدی، « ارزیابی و مدلسازی حمل‌ونقل پایدار شهری». پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی عمران- برنامه‌ریزی حمل‌ونقل (M.Sc)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، ۱۳۸۹، فصل‌های ۲ و ۳.

5. Transportation Research Board (TRB) Sustainable Transportation Indicators (STI) Subcommittee (TRB Subcommittee ADD40; "Sustainable Transportation Indicators, A Recommended Program To Define A Standard Set of Indicators F Sustainable Transportation Planning"; 2008.

6. Litman, T. “Sustainable transportation indicators.” Victoria Transport Policy Institute (VTPI), Victoria, Canada; 2003, http://www.vtpi.org/sus-indx.pdf

7. Chi-Chung TAO, Chia-Chi HUNG, "A Comparative Approach of the Quantitative Models for Sustainable Transportation ", Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.5, October, 2003

8. Angelo Martino et al, "Refinement and Test of Sustainability Indicators and Tools with Regard to European Transport policies, Deliverable 2-2: The REFIT Framework for Strategic Sustainability Assessment of European Transport policies", European commission-DG TREN; sixth Framework Programme, July 2008, pp 53-57

۹. استادی جعفری، مهدی.، کرمرودی، محمود.، امینی شیرازی، حامد.، «ارایه مدل ارزیابی شاخص مبنا جهت اندازه‌گیری سطح پایداری حمل‌ونقل در برنامه‌ریزی و مدیریت یکپارچه شهری». اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت شهری با رویکرد توسعه پایدار، مرکز مطالعات تکنولوژی دانشگاه صنعتی شریف، خرداد ۱۳۸۹، تهران، ایران.

10. Paul Pfaffenbichler, "The strategic, dynamic and integrated urban land use and transport model MARS (Metropolitan Activity Relocation Simulator) Development, testing and application", 2003, DISSERTATION Doctoral Thesis.

11. Marcello Contestabile, "Analysis of the Demand for Hydrogen as a Transportation Fuel in London", A Report Submitted in Partial of the Requirements for the MSc and the DIC, 2003.

12. Guzmán, Luis Ángel, Hoz, Daniel de la, Pfaffenbichler, Paul, Shepherd, Simon, "IMPACTS OF FUEL CONSUMPTION TAXES ON MOBILITY PATTERNS AND CO2 EMISSIONS USING A SYSTEM DYNAMIC APPROACH", 10th International Conference on Application of Advanced Technologies in Transportation, 2008, Athens.

13. K. Kuchenbecker, W. Schade, "Design and Specification of a system dynamics model", ASTRA, Project No: ST-97-SC.1049,1998.

14. Ruutu, Sampsa, “National sea transport demand and capacity forecasting with system dynamics”, Master’s Thesis submitted in partial fulfillment of the

requirements for the degree of Master of Science in Technology., HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Espoo, 2008, pp 9-19

15. Litman, T., "Transportation Cost and Benefit Analysis II – Vehicle Costs", Victoria Transport Policy Institute, 2009, (www.vtpi.org)

۱۶. مهندسین مشاور آتیه‌ساز شرق، «مطالعات بازنگری و توسعه محدوده ممنوعه تردد شهر مشهد». سازمان حمل‌و نقل و ترافیک شهرداری مشهد، ۱۳۸۹.

۱۷. صفارزاده، محمود.، رحیمی، فرزاد.، «آلودگی صوتی در سیستم‌های حمل و نقل». چاپ اول، تهران: سازمان محیط‌زیست؛ ۱۳۸۲، فصل چهارم.

۱۸. بهبهانی، حمید.، قهرمانی، حسین.، امینی، بهنام و احمدی نژاد، محمود.، «مهندسی ترافیک – تئوری و کاربرد». چاپ اول، تهران: سازمان حمل‌ونقل ترافیک تهران؛ ۱۳۷۳، صفحات ۸۱ تا ۱۲۴.

۱۹. سازگارنیا، آمنه و همکاران، "آلودگی صوتی و شاخص صدای ترافیک در چند خیابان اصلی شهر مشهد در ساعات پرترافیک تابستان"، نشریه فیزیک پزشکی ایران، دوره ۲، شماره ۸، پاییز ۱۳۸۴، صفحات ۲۱ تا ۳۰.

۲۰. شرکت مطالعات حمل‌و نقل و ترافیک تهران، «ساختار نهایی مدل حمل‌ونقل شهر تهران در محیط نرم‌افزار EMME/2». مطالعات جامع حمل‌ونقل ترافیک تهران، گزارش شماره ۱۱۷، ۱۳۷۵، تهران.