

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۲۶

به کارگیری رویکرد سیستمی در شناخت عوامل مؤثر بر مصرف انرژی و انتشار CO₂ در بخش حمل و نقل شهری؛ مطالعه موردی: شهر تهران

فاطمه اکبری^{۱*}، علی ناظمی^۲، سیاب ممی پور^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

fatemeh.akbari659@yahoo.com

^۲ استادیار دانشکده اقتصاد، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

a_nazemi78@yahoo.com

^۳ دانشیار دانشکده اقتصاد، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

mamipours@gmail.com

چکیده: روند کنونی افزایش مصرف انرژی در جهان، بشر را با دو بحران بزرگ روبه‌رو کرده است: نخست، آلودگی محیط زیست و دیگری شتاب فزاینده در جهت به پایان بردن منابع انرژی. ذخیره انرژی و کاهش آلاینده‌ها در سطح شهر نقش حیاتی در فرایند حفظ انرژی موجود و کاهش انتشار آلاینده‌ها ایفا می‌کند. در این بین، بخش حمل و نقل به واسطه اهمیت و جایگاهی که در این موضوع دارد، توجه دوچندان را می‌طلبد و می‌تواند سالانه مقادیر قابل توجهی صرفه‌جویی اقتصادی برای مردم و دولت‌ها، به‌وسیله کاهش مصرف انرژی و اثرات نامطلوب زیست محیطی، کاهش زمان سفر و تأخیرهای ناخواسته به ارمغان آورد. به همین دلیل در پژوهش حاضر مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر انتشار آلاینده‌های زیست محیطی در بخش حمل و نقل شهری تعیین و مدل سیستم دینامیک حمل و نقل شهری تهران ایجاد شد و بر اساس آن با استفاده از تحلیل‌های کمی، شش سناریوی حفظ وضعیت فعلی، بهبود حمل و نقل عمومی، پیشرفت فناوری، مدیریت قوانین و مقررات، مدیریت تقاضای سفر و سناریوی جامع ارائه گردید. از نتایج مشاهده شد سناریوی CP بهترین عملکرد را داشته و با اجرای همزمان سناریوها باعث می‌شود هر کدام از آن‌ها نقش خود را در بهبود وضعیت ایفا کرده و میزان مصرف انرژی و انتشار CO₂ به میزان قابل توجهی کاهش یابد.

واژه‌های کلیدی: حمل و نقل شهری، مصرف انرژی، کاهش انتشار CO₂، سیستم دینامیک.

۱. مقدمه

زمین توسط یک پوشش گازی عمدتاً از نیتروژن و اکسیژن و تعداد زیادی گازهای دیگر با غلظت کم از جمله بخار آب و دی‌اکسیدکربن احاطه شده است. در صد سال گذشته ثابت شده که زمین بر اثر پدیده‌های به نام اثر گلخانه‌ای تدریجاً در حال گرم شدن است. تأثیرات گلخانه‌ای یا گرم شدن جهانی یکی از مهم‌ترین مسائل مطرح در دنیای امروز است و دی‌اکسیدکربن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای در طول صدها میلیون سال به گونه‌ای تنگاتنگ بر دمای زمین تأثیر داشته است. گازی که انسان‌ها به میزان زیادی در حال افزودن آن به جو هستند که برای ایجاد تغییر در وضعیت آب‌وهوایی کافی است. منابع تولید دی‌اکسیدکربن توسط انسان، در اکثر موارد، شامل احتراق سوخت‌های فسیلی مانند زغال سنگ، نفت و گازهای طبیعی جهت تولید انرژی است. در این میان بخش حمل‌ونقل در سال ۲۰۱۴ به‌عنوان دومین منتشرکننده دی‌اکسیدکربن ناشی از احتراق سوخت در جهان به‌شمار می‌رود. از سوی دیگر بررسی انتشار کربن و مصرف انرژی به‌خصوص فرآورده‌های نفتی نشان می‌دهد که بخش حمل‌ونقل با ۲۳۳۸۰۷۷ هزار تن در سال ۲۰۱۴ بزرگ‌ترین مصرف‌کننده فرآورده‌های نفتی در جهان بوده است [۱].

به‌رغم اهمیت و ضرورت ذخیره انرژی و کاهش آلاینده‌ها، در ایران مطالعه‌ای از دیدگاه مدیریت و با تمرکز خاص بر بخش حمل‌ونقل شهری به‌ویژه در کلان‌شهر تهران وجود ندارد و این مطالعه می‌تواند به‌عنوان گامی نو در بررسی مسئله موجود مورد استفاده قرار گیرد.

سیستم حمل‌ونقل شهری به‌طور معمول یک سیستم باز غول‌پیکر پیچیده شامل چندین زیرسیستم است. در چنین سیستمی یک تغییر کوچک در یکی از فاکتورهای اجتماعی، اقتصادی یا زیست‌محیطی می‌تواند منجر به تغییرات عظیمی در توسعه سیستم حمل‌ونقل شهری یا حفاظت انرژی و انتشار آلاینده‌ها شود. در تحقیقات گذشته فرض می‌شود که ساختار مصرف انرژی حمل‌ونقل شهری و انتشار آلاینده‌ها شناخته شده است، بنابراین رفتارهای نامشخص سیستم حمل‌ونقل شهری و فرایند پویای مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌ها را به‌صورت ضعیف منعکس می‌کند. در این پژوهش به تحلیل‌های کمی ویژگی‌های رفتاری و عملکرد پویای موجود در حمل‌ونقل شهری و تعیین پارامترهای کلیدی در کاهش تولید دی‌اکسیدکربن در بخش حمل‌ونقل پرداخته شده است.

۲. مرور ادبیات

موضوع انرژی به‌عنوان یکی از پایه‌های اقتصادی و صنعتی، کلیدی‌ترین چالش پیش روی بشر به‌شمار می‌رود. با رشد جمعیت، تقاضا برای

مصرف انرژی نیز افزایش می‌یابد. مطالعات مربوط به مسئله حفاظت از انرژی و انتشار آلاینده‌ها را می‌توان به سه نوع تقسیم کرد: ۱. کل به جزء؛^۲ ۲. جزء به کل؛^۳ ترکیبی [۲].

وانگ و همکاران همه سیاست‌های زیست‌محیطی مربوط به صنعت خودرو و به‌کارگیری سناریوها برای تخمین منابع انتشار به‌منظور ارائه راهبردهای توسعه‌ای مختلف را تحلیل کردند [۳]. وجه تمایز مطالعه آن‌ها تمرکز بر بخش حمل‌ونقل جاده‌ای با قیاس هزینه‌ها و اثرات بهبود بهره‌وری سوخت و ارائه چندین بسته کاهش‌ی خاص برای انتشار CO₂ است. آن‌ها در این مطالعه به این نتیجه رسیدند که تکنولوژی مربوط به خودرو، عاقلانه‌ترین راه برای کاهش انتشار آلاینده در چین است و تکنولوژی موتور از عوامل مهم است.

فنگ و همکاران مدل سیستم دینامیک مصرف انرژی و روند انتشار CO₂ شهری پکن برای سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۳۰ را توسعه و نشان دادند که در پکن تغییر ساختار انرژی از سوخت سرشار از کربن مانند زغال سنگ به سوخت کم کربن مانند گاز طبیعی نقش بسیار اساسی در فعالیت‌های کاهش انتشار کربن ایفا خواهد کرد [۴]. در این مقاله، رابطه ذاتی بین تقاضای انرژی و فاکتورهای اقتصادی و اجتماعی و محیط زیستی را که به پیش‌بینی تقاضای انرژی شهری و انتشار کربن در یک منطقه شهری در حال رشد کمک می‌کند، بررسی شده است. راس مورو و همکاران سناریوهای خاص بخش‌های مختلف برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و مصرف نفت در بخش حمل‌ونقل را با توجه به هزینه‌های حمل‌ونقل CO₂ بر کل اقتصاد بررسی کردند [۵]. مالیات سوخت، افزایش مستمر استانداردهای صرفه‌جویی سوخت و اعتبارهای مالیاتی خرید وسیله نقلیه جدید و همچنین اثرات ترکیب این سیاست‌ها را تحلیل می‌کند. این مطالعه به دنبال اثرات سیاست‌های خاص مختلف حمل‌ونقل جهان با در نظر گرفتن هزینه‌های حمل‌ونقل CO₂ بر کل اقتصاد است. نتایج نشان داد که افزایش هزینه‌های رانندگی برای دستیابی به کاهش چشمگیر انتشار GHG بخش حمل‌ونقل ضروری است. چنین افزایش هزینه‌های مصرف‌کنندگان را به تغییر خرید وسیله نقلیه جدید، رفتارهای رانندگی و انتخاب محل زندگی تحریک می‌کند.

وانگ و همکاران انتشار CO₂ و آلاینده‌های خودروهای مسافری از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ را بر اساس مرور ادبیات و داده‌ها اندازه‌گیری کردند؛ آن‌ها روند آینده تولید آلاینده‌های خودروهای مسافری را نیز تحت ۳ سناریو به‌منظور یافتن احتمال کاهش سیاست‌های ممکن پیش‌بینی نموده و به این نتیجه رسیدند که تکنولوژی مربوط به خودرو مؤثرترین روش برای کاهش تولید دی‌اکسیدکربن است [۶].

2. Top- down
3. Bottom- up

1. Sub-System

بود که برای کاهش روند مصرف سوخت و انتشار دی اکسیدکربن باید دو سناریو Marginal و Ambitious اجرا شود؛ مثلاً افزایش ۹ درصدی سهم حمل و نقل عمومی ۷۶۶۰۰۰ تن انتشار CO₂ را کاهش می دهد و با افزایش ۲۵ درصدی این سهم، ۶۱/۳ میلیون تن کاهش وجود دارد [۱۲].

راتانوارها و همکاران از ۵ متغیر مستقل جمعیت، تولید ناخالص داخلی (GDP) و تعداد وسایل نقلیه ثبت شده در اندازه های بزرگ، متوسط و کوچک برای پیش بینی میزان انتشار دی اکسیدکربن تایلند با استفاده از چهار رویکرد رگرسیون لگاریتم خطی، تحلیل مسیر، سری زمانی و برآورد منحنی استفاده کردند. نتایج حاکی از آن بود که تحلیل مسیر تأثیر قابل توجهی بر وسایل نقلیه ثبت شده در اندازه بزرگ، تولید ناخالص داخلی، جمعیت و میزان انتشار دی اکسیدکربن دارد [۱۳].

رحمان و همکاران انتشار گازهای گلخانه ای بخش حمل و نقل جاده ای در عربستان سعودی را بررسی کردند. مطالعه آن ها به مسائل زیر می پردازد: ۱. تجزیه و تحلیل روند مصرف انرژی سوخت های فسیلی؛ ۲. پیش بینی مصرف انرژی با استفاده از روش هموارسازی نمایی دوگانه؛ ۳. تخمین گازهای گلخانه ای؛ ۴. عوامل مؤثر بر انتشار گازهای گلخانه ای؛ ۵. طرح هایی برای کاهش انتشار [۱۴].

عوامل مختلفی نظیر توسعه عوامل اجتماعی اقتصادی، شکل شهر و حمل و نقل بر میزان انتشار سرانه دی اکسیدکربن در بخش حمل و نقل تأثیر مثبت دارند. افزایش درآمد و عوامل اجتماعی اقتصادی فاکتورهای اصلی در انتشار دی اکسیدکربن ناشی از حمل و نقل هستند. همچنین حمل و نقل عمومی تأثیر قابل توجهی بر میزان انتشار سرانه دی اکسیدکربن دارد؛ این در حالی است که تأثیر مالکیت خودرو قابل توجه نیست. همین امر نشان می دهد که ارائه حمل و نقل عمومی پیشرفته همراه با حمایت از تغییر رفتار سفر راه های مهمی برای کاهش انتشار دی اکسیدکربن سرانه در بخش حمل و نقل هستند [۱۵].

ایران نیز همانند کشورهای در حال توسعه، با مسئله افزایش مصرف انرژی و انتشار دی اکسیدکربن در بخش حمل و نقل روبه روست. با توجه به این موضوع و بررسی مطالعات پیشین به نظر می رسد شکاف مطالعاتی در شناسایی راه حل مشکلات مرتبط با حفاظت انرژی حمل و نقل شهری و کاهش آلاینده های شهرنشینی وجود دارد و این مطالعه می تواند به حل این مسئله کمک کند.

۳. روش شناسی پژوهش

۱.۳. سیستم دینامیک

سیستم دینامیک (SD) تجزیه و تحلیل کیفی و کمی را ترکیب می کند و

وفا آرائی و همکاران یک مدل سیستم دینامیک برای مقابله با مشکل آلودگی هوای شهر تهران شامل دو زیرسیستم حمل و نقل، و صنعتی ارائه کردند [۷]. زیرسیستم ها و متغیرها سازگار با شهر تهران هستند. چهار سیاست مورد بررسی ساخت جاده، توسعه تکنولوژی در صنعت خودرو، اجرای برنامه های کنترل ترافیک و بهبود زیرساخت های حمل و نقل عمومی است. با توجه به نتایج شبیه سازی، بهبود تکنولوژی در صنعت خودرو و سوخت علاوه بر بهبود زیرساخت های حمل و نقل عمومی سیاست بهتری برای اثرات بلندمدت پایدار بر کاهش آلودگی هوای تهران است.

هائو و همکاران حجم آلودگی تولید شده را تخمین زدند و سهم هریک از موارد تاکسی، دوچرخه، اتوبوس و... را مشخص کردند. در نهایت با استفاده از مدل GREET نتیجه گرفتند که فاکتور اساسی آلودگی ناشی از حمل و نقل مسافر شهری (گاز گلخانه ای)، نرخ موتوری شدن و ساختار حمل و نقل است [۸]. چپو و همکاران یک مدل یکپارچه در ارتباط با مالکیت، نوع و نحوه استفاده از اتومبیل و موتورسیکلت ارائه دادند و بر اساس برآورد و ارزیابی مدل غیرتجمعی پیشنهادی، کاهش مصرف انرژی و تولید گازهای گلخانه ای تحت راهبردهای مدیریتی مختلف طراحی شده برای کاهش مالکیت وسیله نقلیه، بیان کرد که افزایش ۱۰ تا ۳۰ درصدی قیمت گاز، بزرگ ترین اثر کاهش مصرف انرژی و تولید گاز گلخانه ای را در تایوان دارد [۹]. رانتزیو و همکاران با استفاده از معادلات همزمان در پیش بینی VMT (مایل طی شده خودرو) و با استفاده از داده های پانل در ۴۸ ایالت (نظیر آلاسکا و هاوایی) در طول سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸ تأثیر فاکتورهای مختلف نظیر جمعیت، مالیات بر سوخت و... را بر مایل طی شده خودرو در ایالات متحده بررسی و بیان کردند. اثر این عوامل در VMT و به تبع آن در کاهش مصرف انرژی و انتشار CO₂ برای گروه های مختلف یکسان نیست و مایل طی شده خودرو نسبت به تغییرات هزینه سوخت کثیف نیست [۱۰].

موستاپا و همکاران یک مدل بهینه سازی برای حمل و نقل جاده ای مالزی با رویکردی مینیمم سازی انتشار CO₂ با در نظر گرفتن محدودیت های هزینه سوخت و تقاضای سفر تشکیل داده و با به کارگیری چندین سیاست نشان دادند حذف یارانه سوخت، مصرف انرژی و انتشار دی اکسیدکربن را تا حد زیادی کم و البته سیاست های ترکیبی بهترین نتیجه را حاصل می کند [۱۱]. ارکان و همکاران رویکرد سیستم دینامیک را برای مدل سازی و شبیه سازی قابل اجرا و واقعی تر سناریوهای کاهش دی اکسیدکربن ایالات متحده به کار گرفتند و با استفاده از داده های گذشته و اعتبارسنجی مدل، انتخاب مد مسافران هر روزه^۱ و احتمال کاهش CO₂ تا سال ۲۰۵۰ را تحت چندین سناریو پیش بینی کردند. نتایج حاکی از آن

2. Gross Domestic Product
3. double exponential smoothing method

1. Commuter

برای توصیف ویژگی‌های رفتاری تعریف‌نشده از استدلال ساخت سیستم استفاده می‌کند. به همین دلیل سیستم دینامیک انتخاب بهتری در مواجهه با سیستم‌های پیچیده زمان متغیر خطی است [۲].

۲.۳. معرفی نمونه موردی

شهر تهران به‌عنوان شهر مورد مطالعه این پژوهش در نظر گرفته شده است. این شهر دارای موقعیت خاص جغرافیایی است (ارتفاع زیاد از سطح دریا و اختلاف ارتفاع در شمال و جنوب آن) و از شرایط نامناسب بافت شهری برخوردار است. وسایل نقلیه فراوانی در طول شبانه‌روز در آن به فعالیت مشغول‌اند و بادهای غربی در تمام طول سال دود کارخانجات و سایر عوامل آلوده‌کننده را به سطح شهر تهران وارد می‌سازد. در مجموع دارای شرایط بسیار بد و نامساعد زیست‌محیطی بوده و آلودگی هوای آن در سال‌های اخیر با محتوای گازهای سمی به‌صورت بسیار خطرناک عمل می‌کند که تغییرات بسیار چشمگیر محیطی و اقلیمی را در آن موجب شده است. در ماه‌های سرد سال به‌علت وجود پدیده وارونگی دما بر شدت آلودگی هوا در سطح شهر تهران افزوده شده و فقط تعداد روزهای کمی در وضعیت هوای پاک قرار دارد و مابقی روزهای سال وضعیت آن چندان مناسب نیست. این موضوع بر ضرورت حل مسئله مطرح‌شده در پژوهش می‌افزاید. این موضوع در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول (۱): وضعیت هوای شهر تهران [۱۶]

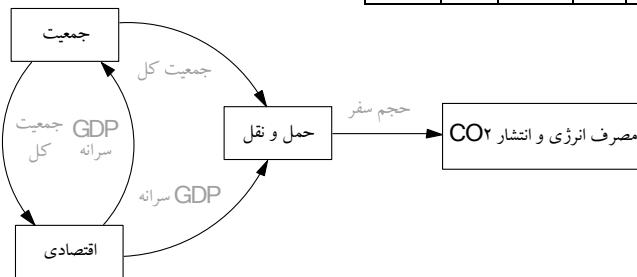
سال	وضعیت	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
۱۳۹۶	پاک	۱۰	۰	۳	۲
	سالم	۷۴	۸۸	۴۴	۴۳
	ناسالم برای گروه حساس	۹	۵	۳۹	۴۰
	ناسالم	۰	۰	۴	۴
	بسیار ناسالم	۰	۰	۰	۰
	خطرناک	۰	۰	۰	۰
۱۳۹۷	پاک	۸	۰	۷	۱۳
	سالم	۷۱	۸۰	۶۸	۵۹
	ناسالم برای گروه حساس	۱۴	۱۳	۱۵	۱۷
	ناسالم	۰	۰	۰	۰
	بسیار ناسالم	۰	۰	۰	۰
	خطرناک	۰	۰	۰	۰

۴. مدل‌سازی

۱.۴. مرز سیستم و نمودار زیرسیستم

مرز سیستم در حقیقت محدوده عوامل مؤثر در شناخت پارامترهای مؤثر بر مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن بخش حمل‌ونقل شهری است؛ متغیرهایی که در روند انتشار CO₂ حمل‌ونقل شهری ذهن را درگیر می‌کند، کدام‌اند؟ این مطالعه به چه جنبه‌هایی از سیستم مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن در بخش حمل‌ونقل شهری می‌پردازد؟ در این پژوهش از عواملی که بر فرایند مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن حمل‌ونقل شهری اثرگذارند بر تولید ناخالص داخلی به‌عنوان عامل اقتصادی و جمعیت شهری به‌عنوان عامل اجتماعی تمرکز کرده و از سایر عوامل صرف‌نظر شده است.

نمودارهای زیرسیستم خلاصه‌ای از سیستم هستند و نباید دربرگیرنده جزئیات زیادی باشند [۱۵]. مدل پویای این پژوهش بیان‌کننده ارتباطات بین متغیرهای اثرگذار بر مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن حمل‌ونقل یک شهر در سطح کلان است. این مدل شامل ۴ زیرسیستم جمعیت، اقتصادی، حمل‌ونقل و مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن است. شکل (۱) زیرسیستم‌های موجود و نحوه ارتباط بین آن‌ها را مشخص می‌کند. زیرسیستم حمل‌ونقل با ۳ زیرسیستم دیگر به‌صورتی که نشان داده شده، در ارتباط است. زیرسیستم‌های اقتصاد و جمعیت در ارتباط دوطرفه با یکدیگرند؛ جمعیت کل به‌عنوان متغیر خروجی زیرسیستم جمعیت، ورودی زیرسیستم اقتصادی و حمل‌ونقل و تولید ناخالص داخلی (GDP) سرانه که متغیر خروجی زیرسیستم اقتصادی است، ورودی دو زیرسیستم حمل‌ونقل و جمعیت است. همچنین حجم سفر هریک از مدهای حمل‌ونقل در نظر گرفته‌شده که خروجی زیرسیستم حمل‌ونقل است، به‌عنوان ورودی زیرسیستم مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن قرار می‌گیرد.

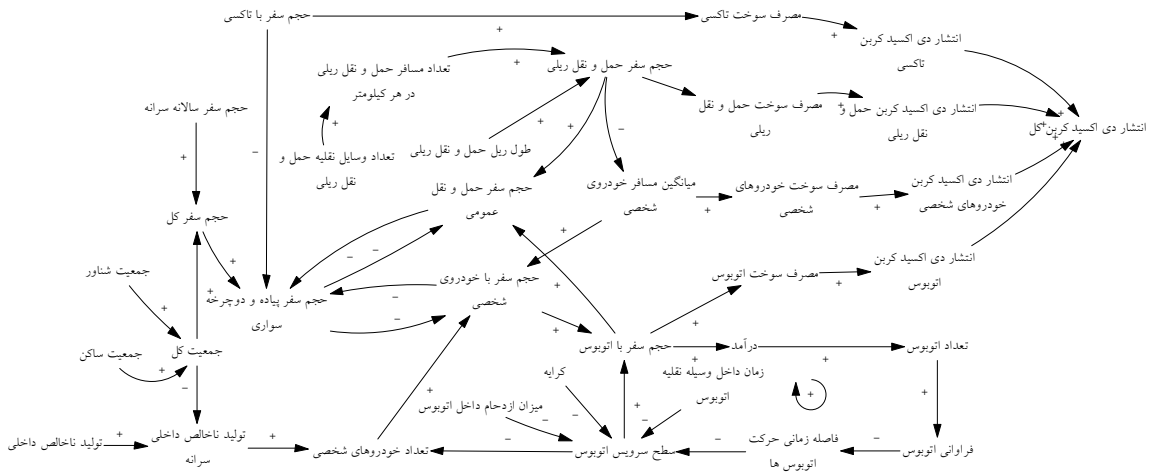


شکل (۱): نمودار زیرسیستم

۲.۴. نمودارهای علت و معلولی

عوامل مختلفی مانند میزان تأخیر و کرایه می تواند بر سطح سرویس استفاده از حمل و نقل عمومی نظیر اتوبوس تأثیر داشته باشد؛ سطح سرویس بر استفاده از این شیوه حمل و نقل و حجم استفاده از آن اثرگذار است؛ افزایش درآمد حاصل از آن می تواند میزان سرمایه گذاری در این زمینه و تعداد اتوبوس هایی را که وارد ناوگان می شود افزایش دهد؛ با افزایش تعداد اتوبوس ها عملیات هایی که انجام می گیرد افزایش یافته و فاصله زمانی تا رسیدن اتوبوس ها را می کاهش؛ این موضوع میزان تأخیر ایجاد شده را کاهش داده و بر سطح سرویس اتوبوس مؤثر است. نمودار علت و معلولی کاملی که در این پژوهش استفاده شده و نمایانگر ساختار بازخوردی و علل پویایی های موجود در سیستم مصرف انرژی و انتشار دی اکسید کربن حمل و نقل شهری است، در شکل (۲) آمده است [۲، ۱۸ و ۱۹].

در سیستم دینامیک یا پویایی شناسی سیستم ها از ابزارهای نموداری مختلفی برای درک ساختار سیستم استفاده می شود [۱۷]. نمودارهای علی معلولی ابزاری مهم برای نشان دادن ساختار بازخوردی سیستم هاست. ترسیم حلقه ها و ارتباط های مفهومی بین متغیرها از مهم ترین مراحل ساخت مدل های پویای سیستمی است. نمودارهای علت و معلولی مصرف انرژی و انتشار دی اکسید کربن در شکل (۲) ارائه شده است. در این شکل، بخش حمل و نقل شهری به چهار بخش عمده تقسیم شده است: ۱. تاکسی (شامل تاکسی خطی، تاکسی گردشی و ون)؛ ۲. اتوبوس (شامل ناوگان اتوبوس رانی، مینی بوس، خطوط تندرو (BRT)؛ ۳. ریلی (شامل مترو یا قطار درون شهری)؛ ۴. خودرو شخصی (شامل خودروهای شخصی).



شکل (۲): نمودار علت و معلولی سیستم مصرف انرژی و انتشار CO₂ حمل و نقل شهری

۳.۴. زیرسیستم جمعیت

افراد مانند سایر جابه جاشوندگان بر دو نقطه جمعیتی (مبدأ و مقصد) اثر می گذارند. در ایران، بحث جمعیت شناور عمدتاً برای شهر تهران به عنوان یکی از معضلات این شهر مطرح شده است. در مباحث اغلب غیر کارشناسی تفاوت ۳ میلیون نفری برای جمعیت شب و روز تهران بیان شده است [۲۰]. بالا بودن جمعیت شناور نقش مهمی در توسعه شهری ایفا می کند و همزمان فشار زیادی بر سیستم حمل و نقل شهری وارد می کند. در اینجا یک نمودار حالت- جریان برای جمعیت شهری ارائه شده است که در شکل (۳) مشاهده می شود [۲]. جمعیت شناور و جمعیت ساکن دو متغیر سطح در نظر گرفته شده که بر جمعیت کل شهر اثرگذارند. در این زیرسیستم، تغییرات جمعیت شناور به وسیله متغیر GDP سرانه تفسیر خواهد شد. به این معنی که جمعیت شناور را تابعی از GDP سرانه در نظر گرفته و میزان تأثیر این متغیر بر جمعیت شناور بررسی خواهد شد. شکل (۳) زیرسیستم جمعیت را نشان می دهد.

ساختار و مقیاس جمعیت فاکتورهای مهمی هستند که بر حمل و نقل شهری تأثیر می گذارند. شناوری جمعیت^۱ پدیده ای جدید در جابه جایی جمعیت است که با گسترش کلان شهرها ظاهر شده است. این پدیده ماهیت متفاوتی با سایر جابه جایی های جمعیت دارد. به لحاظ اینکه جابه جایی درون یک نقطه جمعیتی نیست، با جابه جایی داخلی متفاوت است و به دلیل آنکه این گونه افراد، محل سکونت خود را تغییر نمی دهند، با جابه جایی به مفهوم مهاجرت بین نقاط متفاوت است. در واقع جمعیت مذکور اغلب به اضطرار در یک نقطه جمعیتی (معمولاً حاشیه کلان شهر و شهرهای بزرگ) ساکن و در نقطه دیگر (معمولاً کلان شهرها و شهرهای بزرگ) به کار یا تحصیل اشتغال دارند. این گونه

1. Floating Population

حساسیت مورد ارزیابی قرار گرفت. معادلات (۱) تا (۵) معادلات استفاده‌شده در این زیرسیستم است.

$$(1) \text{ افزایش جمعیت ساکن} = \int \text{جمعیت ساکن}$$

$$(2) \text{ نرخ رشد جمعیت ساکن} = \text{جمعیت ساکن} \times \text{افزایش جمعیت ساکن}$$

$$(3) \text{ جمعیت شناور} + \text{جمعیت ساکن} = \text{جمعیت کل}$$

$$(4) \text{ افزایش جمعیت شناور} = \int \text{جمعیت شناور}$$

$$(5) \text{ نرخ رشد جمعیت شناور} = \text{جمعیت شناور} \times \text{افزایش جمعیت شناور}$$

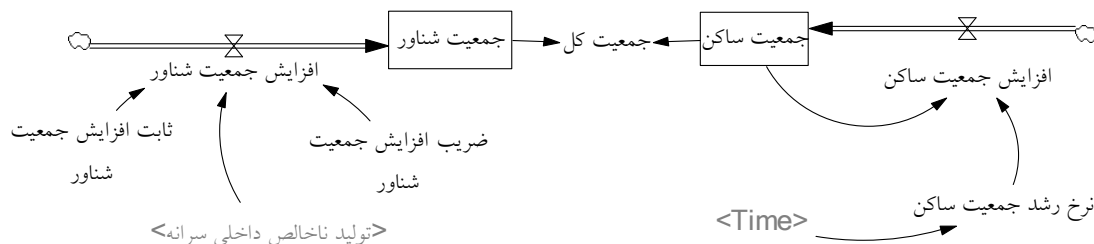
با توجه به مطالب بالا و عدم دسترسی به اطلاعات و داده‌های دقیقی از وضعیت جمعیت شناور برای شهر تهران سه سناریو به صورت زیر بررسی شد:

سناریوی MINFP: اگر جمعیت شناور ۵٪ جمعیت ساکن شهر باشد.

سناریوی MEDFP: اگر جمعیت شناور ۱۰٪ جمعیت ساکن شهر باشد.

سناریوی MAXFP: اگر جمعیت شناور ۱۵٪ جمعیت ساکن شهر باشد.

برای هر سه سناریو، رابطه جمعیت شناور و GDP سرانه با نرم‌افزار Eviwes برآورد شد و در ادامه، میزان تغییرات جمعیت شناور با بررسی مقادیر هر سه سناریوی ذکر شده تعیین شد و بازه تغییرات آن در تحلیل



شکل (۳): زیرسیستم جمعیت

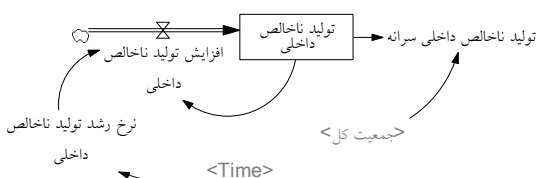
۴.۴. زیرسیستم اقتصادی

با رشد GDP سرانه مردم بیشتر خودرو خریداری می‌کنند؛ این پدیده باعث انتقال مد حمل و نقل از وسایل نقلیه غیرموتوری به وسایل نقلیه موتوری خواهد شد. به این ترتیب رشد GDP سرانه می‌تواند تا حد زیادی سیستم حمل و نقل را تحت تأثیر قرار دهد. نمودار جریان-حالت زیرسیستم اقتصادی در شکل (۴) آمده است. GDP متغیر سطح و رشد GDP متغیر جریان هستند [۲]. معادلات این زیرسیستم در ادامه بیان شده است.

(۶) تولید ناخالص داخلی

$$\int \text{افزایش تولید ناخالص داخلی}$$

(۷) جمعیت کل = GDP ÷ تولید ناخالص داخلی سرانه



شکل (۴): زیرسیستم اقتصادی

۵.۴. زیرسیستم حمل و نقل

زیرسیستم حمل و نقل برای پژوهش جاری در شکل (۵) ارائه شده است. عواملی همچون تعداد خودروها، متوسط مسافران هر خودرو و کاهش حجم سفر با خودرو تعیین‌کننده میزان حجم سفر با خودروی شخصی هستند [۲]. عوامل و ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خدمات مطلوب و مورد انتظار از سیستم اتوبوسرانی چهار ویژگی (عامل) تأثیرگذار شامل زمان سفر با اتوبوس، هزینه سفر با اتوبوس، ازدحام داخل اتوبوس و سرفاصله زمانی حرکت اتوبوس‌ها در نظر گرفته شده است [۱۸]

شکل (۶) سهم شیوه‌های مختلف حمل و نقل تهران را در سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود حمل و نقل شخصی که در سال ۱۳۸۳ حدود ۵۲٪ از حمل و نقل درون‌شهری تهران را شامل می‌شود با کاهش حدود ۱۰ درصدی در سال ۱۳۹۳ به ۴۱/۸٪ همچنان بیشترین سهم را داراست. این در حالی است که میزان حمل و نقل عمومی افزایش یافته و سهم مترو از ۴٪ در سال ۱۳۸۳ تا ۱۶/۴٪ در سال ۱۳۹۳ رشد داشته است. این در شرایطی است که حمل و نقل ریلی با طول ۷۹/۱ کیلومتر در سال ۱۳۸۳ به سرعت توسعه یافت و به ۱۵۲/۵ کیلومتر رسید؛ با این حال سفر با اتوبوس از ۳۰/۵٪ به

$$\text{افزایش حجم سفر با اتوبوس} = \int \text{حجم سفر با اتوبوس}$$

$$\text{حجم سفر حمل و نقل ریلی} = \int \text{افزایش حجم سفر ریلی}$$

$$\text{افزایش تعداد خودرو شخصی} = \int \text{تعداد خودرو شخصی}$$

(۷) ۲۰٪ کاهش یافته است. چهار ویژگی سفر با اتوبوس شامل زمان سفر،

(۸) هزینه سفر، ازدحام داخل وسیله و سرفاصله زمانی اتوبوس ها، به عنوان

عوامل مؤثر بر کیفیت خدمات آن در مطلوبیت اتوبوس از دیدگاه

مسافران تأثیر معنی داری دارند. اهمیت نسبی هر کدام از ویژگی های

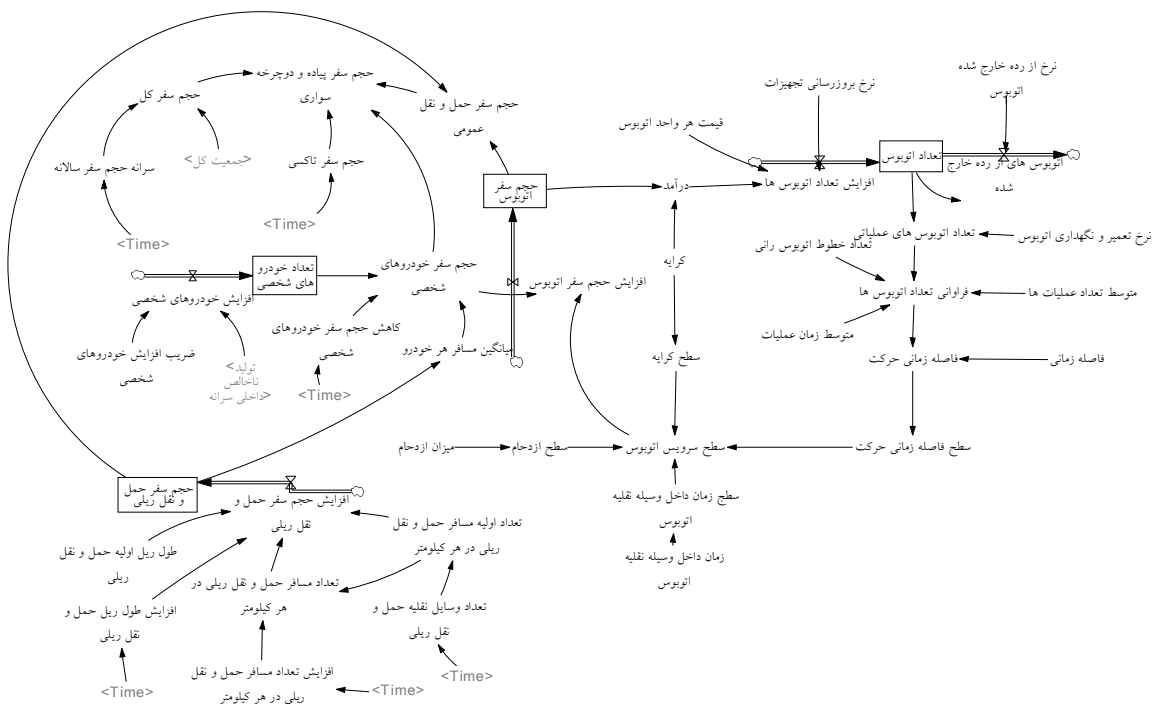
بیان شده برابر است با: زمان سفر (۳۱/۹۷)، هزینه سفر (۲۵/۹۸)، ازدحام

(۹) داخل وسیله (۳۶/۴)، سرفاصله زمانی اتوبوس ها (۵/۶۵) [۱۸]. شکل

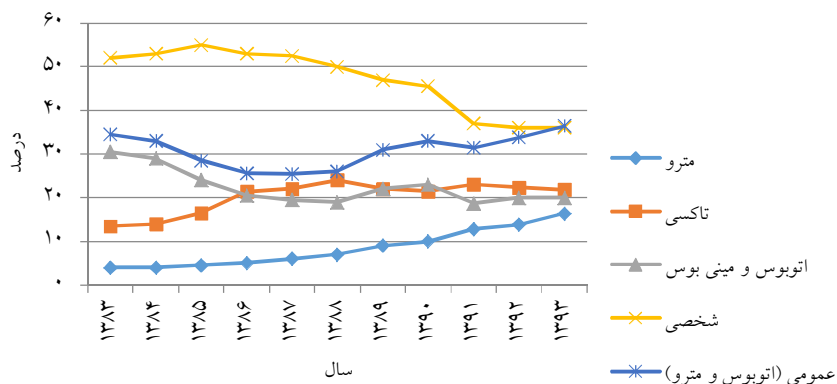
(۵) زیرسیستم حمل و نقل را نشان می دهد.

$$\text{افزایش اتوبوس} = \int \text{تعداد اتوبوس}$$

اتوبوس از رده خارج -



شکل (۵): زیرسیستم حمل و نقل



شکل (۶): سهم شیوه های مختلف حمل و نقل در تهران از ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ [۱۶]

۶.۴. زیرسیستم مصرف انرژی و انتشار CO₂

برای برآورد مصرف انرژی و انتشار CO₂، طوری که میان رفتارهای سفر و مصرف انرژی ارتباط برقرار شود، از زیرسیستم شکل (۷) و معادلات (۱۰) تا (۱۳) استفاده شده است [۲]:

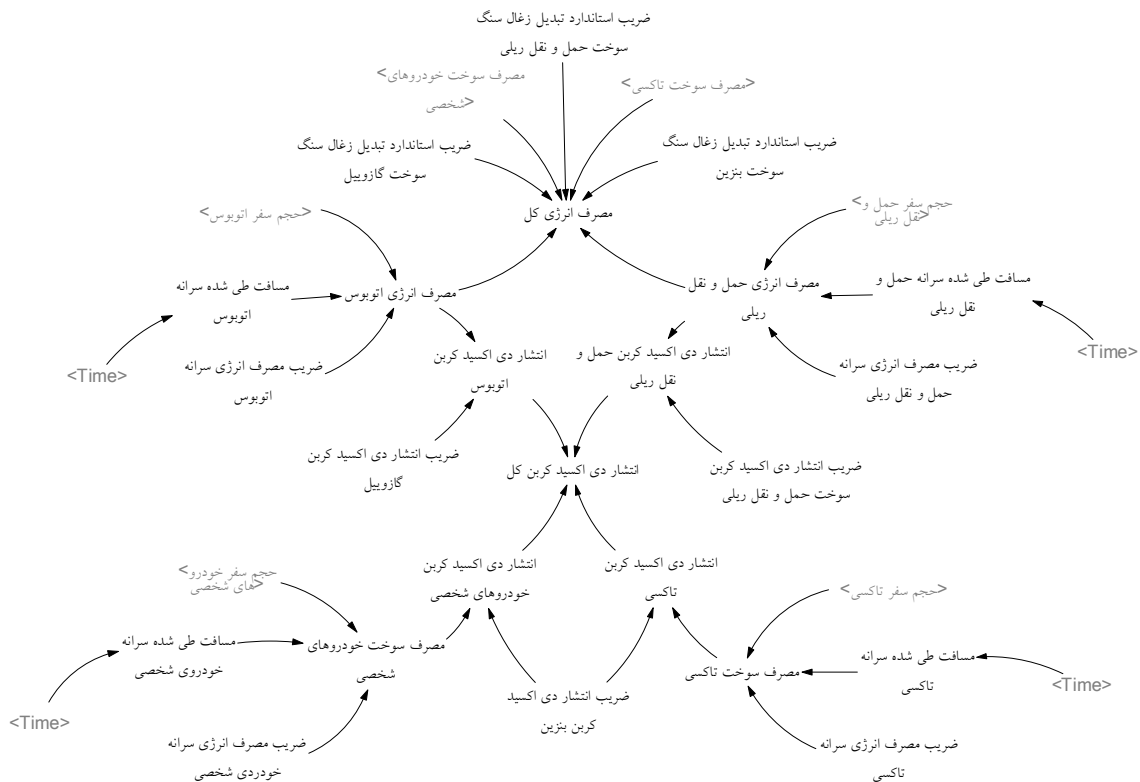
$$EC_{ij} = C_{ij} \times D_i \times T_i \quad (10)$$

$$CE_{ij} = EC_{ij} \times EF_j \quad (11)$$

$$TEF = \sum_{ij} EC_{ij} \times ECC_j \quad (12)$$

$$TCE = \sum_{ij} CE_{ij} \quad (13)$$

که در آن، مصرف انرژی نوع j برای شیوه حمل و نقل i ، C_{ij} ضریب مصرف انرژی سرانه نوع j توسط حمل و نقل i و D_i مسافت طی شده سرانه حمل و نقل نوع i و T_i حجم سفر سالانه برای حمل و نقل نوع i است. همچنین میزان انتشار CO₂ برای انرژی نوع j و حمل و نقل i و EF_j ضریب انتشار CO₂ برای انرژی نوع j است. TEF مصرف انرژی کل و ECC_j ضریب معادل زغال‌سنگ برای انرژی نوع j است. TCE میزان انتشار CO₂ کل است.



شکل (۷): زیرسیستم مصرف انرژی و انتشار آلاینده CO₂ (منبع: یافته‌های پژوهش)

۷.۴. ارزیابی مدل

یکی از موضوعات مهم در مدل سازی، ارزیابی میزان اعتبار مدل و تطابق آن با واقعیت است. ارزش مدل‌های پویا به بررسی پدیده‌ها در طول زمان است. تولید مجدد رفتار گذشته سیستم واقعی با کمک مدل و مقایسه آن با اطلاعات تاریخی باید مورد بررسی قرار گیرد. به همین منظور، مدل با داده‌های شهر تهران بهبود یافته و کالیبره شده است. در

جدول (۲) اعتبارسنجی بر روی متغیرهای سطح و کلیدی انجام و میزان خطای بین مقادیر اصلی و شبیه‌سازی شده بیان شده است. یکی از مهم‌ترین تست‌های موجود، تولید مجدد رفتار (مقایسه با داده‌های واقعی) است. در جدول (۲) خروجی‌های مدل با داده‌های واقعی گذشته مقایسه شد. وجود تطابق باعث اطمینان به نتایج مدل شده و روابی آن در پیش‌بینی آینده را تأیید می‌کند.

جدول (۲): نتایج اعتبارسنجی مدل

سال	جمعیت / نفر		GDP / ریال		حجم سفر کل (نفر)	
	واقعی (x ۱۰ ^۶)	شبیه‌سازی (x ۱۰ ^۶)	خطا	واقعی (x ۱۰ ^{۱۲})	شبیه‌سازی (x ۱۰ ^{۱۲})	خطا
۱۳۸۳	۸/۳۰	۸/۳۰	۰/۰۰	۲/۵۸	۲/۵۸	۰/۰۰
۱۳۸۴	۸/۵۰	۸/۳۷	۱/۵۱	۲/۵۸	۲/۷۵	۵/۹۴
۱۳۸۵	۸/۵۹	۸/۴۶	۱/۴۶	۲/۷۴	۲/۹۲	۶/۰۰
۱۳۸۶	۸/۷۰	۸/۵۵	۱/۷۱	۲/۷۷	۳/۱۴	۱۱/۶۲
۱۳۸۷	۹/۷۲	۸/۶۴	۱۱/۱۳	۲/۸۴	۳/۱۶	۱۰/۲۶
۱۳۸۸	۹/۰۳	۸/۸۳	۲/۳۱	۲/۹۰	۳/۲۰	۹/۴۳
۱۳۸۹	۹/۱۶	۸/۹۵	۲/۳۳	۲/۹۷	۳/۴۱	۱۲/۹۰
۱۳۹۰	۸/۹۶	۹/۰۸	۱/۲۸	۳/۰۶	۳/۵۶	۱۳/۸۲
۱۳۹۱	۹/۲۴	۹/۱۹	۰/۵۱	۳/۱۸	۳/۳۱	۴/۰۴
۱۳۹۲	۹/۴۶	۹/۳۲	۱/۴۷	۳/۲۷	۲/۲۵	۰/۵۹
۱۳۹۳	۹/۶۱	۹/۴۶	۱/۵۴	۳/۳۵	۳/۳۵	۰/۲۲

سال	تعداد اتوبوس		حجم سفر با اتوبوس (نفر)		حجم سفر حمل‌ونقل ریلی (نفر)	
	واقعی	شبیه‌سازی	خطا	واقعی (x ۱۰ ^۴)	شبیه‌سازی (x ۱۰ ^۴)	خطا
۱۳۸۳	۶۲۰۴	۶۲۰۴	۰/۰۰	۹/۳۳	۹/۳۳	۰/۰۰
۱۳۸۴	۶۶۳۰	۶۲۸۳	۵/۲۳	۹/۱۱	۹/۳۳	۲/۴۹
۱۳۸۵	۷۶۲۹	۶۳۶۳	۱۶/۵۹	۱۰/۵۰	۹/۳۴	۱۱/۰۰
۱۳۸۶	۷۹۶۸	۶۴۴۳	۱۹/۱۴	۱۱/۰۰	۹/۳۵	۱۴/۹۶
۱۳۸۷	۸۲۰۲	۶۵۲۲	۲۰/۴۸	۱۲/۰۰	۹/۳۶	۲۱/۹۶
۱۳۸۸	۷۷۵۰	۶۶۰۲	۱۴/۸۱	۱۱/۰۰	۹/۳۷	۱۴/۷۶
۱۳۸۹	۷۵۵۰	۶۶۸۲	۱۱/۵۰	۱۱/۰۰	۹/۳۸	۱۴/۶۴
۱۳۹۰	۷۴۷۲	۶۷۶۲	۹/۵۱	۱۱/۰۰	۹/۴۰	۱۴/۵۲
۱۳۹۱	۷۳۸۰	۶۸۴۲	۷/۲۹	۱۱/۷۰	۹/۴۱	۱۹/۵۰
۱۳۹۲	۶۳۲۱	۶۹۲۲	۹/۵۱	۱۲/۰۵	۹/۴۳	۲۱/۷۱
۱۳۹۳	۶۲۵۰	۷۰۰۲	۱۲/۰۴	۱۲/۴۱	۹/۴۵	۲۳/۸۵

منبع: یافته‌های پژوهش

۵. تحلیل حساسیت و سناریوسازی

تحلیل حساسیت بررسی این مسئله است که آیا با تغییر در پارامترها، مرزها و بازه‌های زمانی، تغییرات قابل توجهی در مقادیر عددی، رفتار و سیاست‌های حاصل مشاهده می‌شود یا خیر؟ تحلیل حساسیت انجام شده و با توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل حساسیت پارامترهای موجود، میزان مصرف انرژی و انتشار CO₂ تحت سناریوهای زیر بررسی می‌شود: ۱. حفظ وضعیت فعلی (BAU)؛ ۲. بهبود حمل‌ونقل عمومی (PDPT)؛ ۳. پیشرفت فناوری (TP)؛ ۴. مدیریت قوانین و مقررات (ARM)؛ ۵. مدیریت تقاضای سفر (TDM)؛ ۶. سناریوی جامع (CP).

سناریوی BAU -

در این سناریو فرض می‌شود روند مصرف انرژی و انتشار CO₂ مطابق با گذشته و بدون هیچ تغییری یا اتخاذ سیاست جدیدی دنبال می‌شود. در صورت ادامه دادن چنین روندی مصرف انرژی در بخش حمل‌ونقل شهری تهران در سال ۱۴۰۴ به ۱۳۸۰۴۵۰۰۰ و انتشار CO₂ به ۲۰۷۵۹۵۰۰۰ تن خواهد رسید. میزان مصرف انرژی هریک از شیوه‌های مختلف حمل‌ونقل در این سناریو در شکل (۸) نشان داده شده است.

4. Administrative Rules and Regulations Management
5. Travel Demand Management
6. Comprehensive Policy

1. Business As Usual
2. Priority to the Development of Public Transport
3. Technical Progress

خودروها در کانون توجه برنامه ریزان قرار گرفته است. اصلاح کیفیت خودروها و بهبود بهروری آنها می تواند تا حدود زیادی کاهش مصرف سوخت و انتشار CO₂ در کشور داشته باشد.

- سناریوی مدیریت قوانین و مقررات

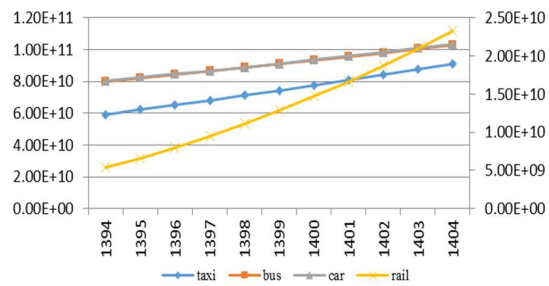
این سناریو نشان می دهد می توان با محدود کردن رشد جمعیت از یک سو و کنترل حجم سفر تاکسی از سوی دیگر برخی از مشکلات موجود را برطرف کرد. از آنجایی که از اهداف پنج ساله شهرداری تهران افزایش ۲۲ درصدی سهم سفر با تاکسی است، این امر می تواند به میزان زیادی مصرف انرژی و انتشار CO₂ را افزایش دهد. درحالی که می توان از راه های مختلف نظیر عدم صدور مجوز تاکسی جدید یا طبقه بندی تاکسی های موجود و صدور مجوز تردد مطابق با طبقه بندی های ایجاد شده و تنها با کاهش ۲ درصدی سهم سفر تاکسی میزان مصرف انرژی و انتشار CO₂ را تا حدود زیادی در بلندمدت کاهش داد. جزئیات بیشتر مربوط به این رویکرد در جدول (۳) آمده است.

- سناریوی مدیریت تقاضای سفر

به طور کلی سناریوهای مدیریت تقاضای سفر به لحاظ مفهومی بسیار گسترده و متنوع هستند. با این حال توسعه این سناریو بر کاهش استفاده از حمل و نقل شخصی و افزایش استفاده از حمل و نقل عمومی تمرکز دارد. با ایجاد این تغییرات در حجم و مسافت طی شده و وسایل نقلیه، از روش های مختلفی نظیر قیمت گذاری، طرح ترافیک، طرح زوج و فرد و... که در سال های اخیر نیز در تهران اجرا شده است، مصرف سوخت کاهش یا افزایش خواهد داشت.

- سناریوی جامع مدیریت

وجود مدیریت یکپارچه شهری است که می تواند تمام این سیاست ها را به صورت مناسب مدیریت کند و شامل همه سیاست های کنترل یا محدودکننده ذکر شده است.



شکل (۸): مصرف انرژی شیوه های مختلف حمل و نقل شهری در سناریوی BAU (لیتر - کیلووات ساعت) (منبع: یافته های پژوهش)

- سناریوی بهبود حمل و نقل عمومی

هدف این سناریو افزایش جذابیت حمل و نقل عمومی است به طوری که با توسعه کیفی و کمی، ساختار سفر حمل و نقل عمومی بهینه شود. حمل و نقل عمومی توانایی جایگزینی با حجم کل سفرهای درون شهری را ندارد، اما می تواند درصد درخور توجهی از آن را بر دوش کشد. به طور کلی در این سناریو افزایش ۳۰ درصدی سهم سفر حمل و نقل عمومی مطابق با اهداف پنج ساله شهرداری تهران و کاهش ۵ درصدی سهم سفر حمل و نقل شخصی در نظر گرفته شده است. جزئیات مربوط به هر سناریو در جدول (۳) آورده شده است.

- سناریوی پیشرفت فناوری

در شهرهای بزرگ نظیر تهران که معمولاً به علت تراکم جمعیت و کثرت خودروهای شخصی معمولاً با ترافیک سنگین مواجه بوده و به لحاظ شدت و غلظت آلاینده گی هوا مخاطرات بزرگی برای سلامت شهروندان وجود دارد، بهبود عملکرد موتور خودروها یک راهکار مطلوب برای جلوگیری از تشدید آلودگی هواست. از سوی دیگر بخش حمل و نقل تقاضاکننده عمده فرآورده های نفتی در کشور محسوب می شود و خودروهای سواری شخصی در کشور عمدتاً بنزین سوز هستند. اخیراً اجرای تدابیری نظیر سهمیه بندی سوخت و هدفمندی یارانه ها و خارج کردن خودروهای فرسوده و بهبود رانندمان سوخت

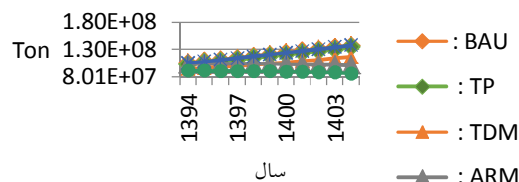
جدول (۳): مقادیر مربوط به سناریوهای مختلف

سناریوها	مقادیر مربوط
BAU	تعداد نیمراه های هر اتوبوس ۱۲، کرایه اتوبوس به صورت میانگین ۶۴۰۰ ریال، متوسط زمان داخل اتوبوس ۳۹/۳۸ دقیقه، میزان ازدحام داخل اتوبوس ۰/۶، فاصله زمانی اتوبوس ها ۷۴ دقیقه است. همچنین هر سال ۲۰ کیلومتر به طول و ۲۰ دستگاه قطار به ناوگان حمل و نقل ریلی اضافه می شود و افزایش تعداد مسافران ۲۰۰۰۰۰ نفر در هر کیلومتر است.
PDPT	از سال های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۹ افزایش طول ریل ۲۵ کیلومتر، تعداد قطارها ۳۰ و افزایش مسافران در هر کیلومتر ۳۰۰۰۰۰ نفر و برای سال های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۴ افزایش طول ریل ۳۰ کیلومتر، تعداد قطارها ۴۰ و افزایش مسافران در هر کیلومتر ۴۰۰۰۰۰، تعداد نیمراه ها ۱۸، سرفاصله زمانی ۶۶ دقیقه، نرخ تعمیر و نگهداری ۴ درصد، زمان عملیات ها ۵۳، زمان داخل وسیله نقلیه ۳۳ دقیقه، میزان ازدحام ۰/۴ بود.
TP	ضریب مصرف انرژی ۲٪ و ضریب و انتشار CO ₂ ۵٪ کاهش یافت.
TDM	افزایش سرانه مسافت طی شده حمل و نقل ریلی برای سال های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۹ برابر با ۲۰ و برای سال های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۴ برابر با ۳۰٪ بود. اتوبوس ۲۰٪ افزایش، تاکسی و خودروهای شخصی به ترتیب ۲۰ و ۳۰٪ کاهش یافت.
ARM	محدودیت جمعیت ساکن در هر سال ۱۰۰۰۰۰ نفر و کاهش حجم سفر تاکسی به میزان ۱/۲ ایجاد شد.
CP	شامل همه مقادیر مربوط به سناریوهای BAU, PDPT, TDM, TP, ARM و CP می باشد.

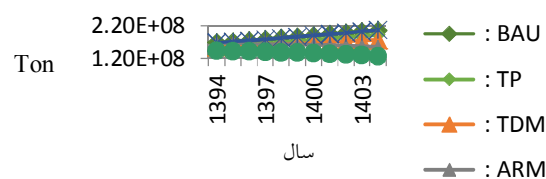
۱.۵. تحلیل سناریوها

تغییرات در مصرف انرژی و انتشار CO₂ در سناریوهای مختلف در شکل (۹) نشان داده شده است. در سناریوی TDM کاهش مصرف انرژی زودتر اتفاق می افتد و در ابتدا بیشتر است. مقدار کاهش انتشار معادل ۱۰۱۰۰۰۰۰ تن نسبت به وضعیت فعلی می باشد؛ با این حال با گذشت زمان مجدداً افزایش مشاهده می شود. در سناریوی PDPT مصرف انرژی کل نشان دهنده اندکی روند رو به بالاست، از میان سناریوهای موجود سناریوهای ARM و TDM هر دو روش های بسیار مؤثری برای کاهش مصرف انرژی و انتشار CO₂ در کوتاه مدت است. به این معنا که اگر در ابتدا اولویت با اجرای سناریوی TDM باشد، همان گونه که گفته شد، میزان مصرف انرژی به سرعت کاهش می یابد و چون در ادامه این سناریو روند رو به رشد دارد، سناریوی ARM برای کاهش این روند افزایشی به کار گرفته شود. در سناریوی CP مصرف انرژی کل در ابتدا در کمترین مقدار و معادل ۹۱۶۰۰۰۰۰ تن است که در مقایسه با مقدار معادل آن در سایر سناریوها کمترین و بهترین سناریو می باشد؛ این در حالی است که در ادامه نیز به طور مداوم کاهش می یابد و به طور کلی چه در کوتاه مدت و چه در بلندمدت، نتیجه کاهش انرژی و انتشار CO₂ در CP در بین همه سیاست ها بهترین است. در سناریوی TP کاهش نسبتاً بزرگ تری در انتشار نسبت به مصرف انرژی مشاهده می شود.

مصرف انرژی کل



انتشار دی اکسید کربن کل



شکل (۹): تغییرات مصرف انرژی و انتشار CO₂ در سناریوهای مختلف (منبع: یافته های پژوهش)

۶. بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه یک مدل سیستم دینامیک از وضعیت حمل و نقل شهری

تهران ایجاد و بر اساس تحلیل حساسیت مصرف انرژی و انتشار آلاینده های حمل و نقل شهری تهران را با سناریوهای PDPT, BAU, TP, TDM, ARM و CP شبیه سازی شد. نتایج به دست آمده از این شبیه سازی نشان می دهد که:

- با توجه به سناریوی PDPT در بخش حمل و نقل عمومی همچنان ظرفیت بالقوه وجود دارد و سناریوهای TDM و ARM نتایج بهتری را نشان می دهند.
- نتیجه سناریوی TDM به سرعت آشکار می شود و در کوتاه مدت اثر فوق العاده ای دارد. این سناریو می تواند با تأخیر زمانی همراه با سناریوی ARM به عنوان دو سیاست متوالی به کار رود.
- سهم سناریوی TP در زمینه کاهش آلاینده های نسبت به ذخیره انرژی بسیار بیشتر است. در زمینه پیشرفت فناوری مربوط به خودروها و سوخت باید از سوی دولت ابتدا استانداردهایی ارائه شده و به منظور بهبود وضعیت، انگیزه هایی برای تولیدکنندگان خودرو و تأمین کنندگان انرژی ایجاد شود.
- TDM سریع تر از همه سناریوها به بیشترین کاهش دست می یابد و برای برخورد آنی با مسئله مطرح شده رویکرد مناسب تری است.
- به طور مجزا اثر CP بهتر از هر تک سیاست دیگر است؛ اگر چه به طور قطع هزینه آن نیز از همه سناریوها بیشتر خواهد بود.
- با توجه به یافته ها و محدودیت های موجود، می توان پیشنهادها و جهت گیری های پژوهشی زیر را ارائه کرد که فراهم کننده زمینه های پژوهشی جدید هستند:

- پیشنهاد می شود که انجام پژوهش برای شهرهای دیگر انجام گیرد تا ادبیات مترجم و منسجمی در خصوص نحوه به کارگیری متغیرهای ذکر شده فراهم آید. هرچند بدون در نظر گرفتن ویژگی های شهرهای دیگر نمی توان اظهار کرد که این مدل فقط برای تهران مناسب است یا در دیگر شهرها نیز قابل استفاده است.
- در این مطالعه از ویژگی های اقتصادی و اجتماعی شهر تهران استفاده شده است که پیشنهاد می شود در پژوهش های آینده، عوامل اثرگذار دیگری نیز مورد بررسی قرار گیرد. این کار هم قابلیت تعمیم پذیری را افزایش می دهد و هم امکان مقایسه را فراهم می کند.
- بهتر است به منظور اجرای هر یک از سناریوهای ذکر شده در این پژوهش، هزینه های اجرای هر کدام از آنها نیز برآورد گردد.
- با توجه به تراکم جمعیت و کثرت خودروها معمولاً شهر تهران اغلب با ترافیک سنگینی مواجه است که همین امر غلظت آلاینده ها و مصرف انرژی را تشدید می کند. بهتر است مسئولین با حل معضل ترافیک از این مورد جلوگیری کنند.

تغییراتی ایجاد گردد، زمانی کارتر خواهد بود که درآمد حاصل از آن در بهبود حمل‌ونقل عمومی به کار گرفته شود.

- بهبود حمل‌ونقل عمومی می‌تواند انگیزه مسافر را در انتخاب استفاده از حمل‌ونقل عمومی به‌جای خودروی شخصی افزایش داده و با کاهش سهم استفاده از خودروهای شخصی، به مسئله کاهش مصرف سوخت و آلاینده‌ها کمک کند.
- با توجه به نتایج به‌دست‌آمده پیشنهاد می‌شود حجم سفر و مسافت‌های طی شده در بخش تاکسیرانی بازبینی شده و مورد بررسی دقیق‌تر قرار گیرد. این امر می‌تواند برنامه‌ریزی‌های صورت‌گرفته در این بخش را بهبود بخشد.

- از آنجا که بخش حمل‌ونقل تقاضاکننده عمده فرآورده‌های نفتی در کشور محسوب می‌شود و خودروهای سواری شخصی در کشور عمدتاً بنزین سوز هستند، پیشنهاد می‌شود خارج کردن خودروهای فرسوده و بهبود عملکرد موتور و راندمان سوخت خودروها در کانون توجه برنامه‌ریزان قرار گیرد. اصلاح کیفیت خودروها و بهبود بهره‌وری آن‌ها می‌تواند تا حدود زیادی کاهش مصرف سوخت و انتشار CO₂ در کشور داشته باشد.
- روش‌های مختلفی نظیر قیمت‌گذاری، طرح ترافیک، طرح زوج و فرد... که در سال‌های اخیر نیز در تهران اجرا شده و سعی شده است که به‌وسیله آن‌ها در حجم و مسافت طی‌شده وسایل نقلیه

مراجع

- [۱] ترازنامه انرژی کل کشور در سال‌های مختلف.
- [2] Liu, X., Ma, S., Tian, J., Jia, N. and Li, G., "A system dynamics approach to scenario analysis for urban passenger transport energy consumption and CO₂ emissions: A case study of Beijing", *Energy Policy*, 85, pp.253-270, 2015.
- [3] Wang, C., Cai, W., Lu, X. and Chen, J., "CO₂ mitigation scenarios in China's road transport sector", *Energy Conversion and Management*, 48(7), pp.2110-2118, 2007.
- [4] Feng, Y.Y., Chen, S.Q. and Zhang, L.X., "System dynamics modeling for urban energy consumption and CO₂ emissions: a case study of Beijing, China", *Ecological Modelling*, 252, pp.44-52, 2007.
- [5] Morrow, W.R., Gallagher, K.S., Collantes, G. and Lee, H., "Analysis of policies to reduce oil consumption and greenhouse-gas emissions from the US transportation sector", *Energy Policy*, 38(3), pp.1305-1320, 2010.
- [6] Wang, H., Fu, L. and Bi, J., "CO₂ and pollutant emissions from passenger cars in China", *Energy Policy*, 39(5), pp.3005-3011, 2011.
- [7] Vafa-Arani, H., Jahani, S., Dashti, H., Heydari, J. and Moazen, S., "A system dynamics modeling for urban air pollution: A case study of Tehran, Iran", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 31, pp.21-36, 2014.
- [8] Hao, H., Geng, Y., Wang, H. and Ouyang, M., "Regional disparity of urban passenger transport associated GHG (greenhouse gas) emissions in China: a review", *Energy*, 68, pp.783-793, 2014.
- [9] Chiou, Y.C., Wen, C.H., Tsai, S.H. and Wang, W.Y., "Integrated modeling of car/motorcycle ownership, type and usage for estimating energy consumption and emissions", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 43(7), pp.665-684, 2009.
- [10] Rentziou, A., Gkritza, K. and Souleyrette, R.R., "VMT, energy consumption, and GHG emissions forecasting for passenger transportation", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(3), pp.487-500, 2012.
- [11] Mustapa, S.I. and Bekhet, H.A., "Analysis of CO₂ emissions reduction in the Malaysian transportation sector: An optimisation approach", *Energy Policy*, 89, pp.171-183, 2016.
- [12] Ercan, T., Onat, N.C. and Tatari, O., Investigating carbon footprint reduction "potential of public transportation in United States: A system dynamics approach", *Journal of Cleaner Production*, 133, pp.1260-1276, 2016.
- [13] Ratanavaraha, V. and Jomnonkwo, S., "Trends in Thailand CO₂ emissions in the transportation sector and Policy Mitigation", *Transport Policy*, 41, pp.136-146, 2015.
- [14] Rahman, S.M., Khondaker, A.N., Hasan, M.A. and Reza, I., "Greenhouse gas emissions from road transportation in Saudi Arabia-a challenging frontier", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, pp.812-821, 2017.
- [15] Yang, W., Li, T. and Cao, X., "Examining the impacts of socio-economic factors, urban form and transportation development on CO₂ emissions from transportation in China: A panel data analysis of China's provinces", *Habitat International*, 49, pp.212-220, 2015.
- [۱۶] آمارنامه شهر تهران در سال‌های مختلف.
- [17] Sterman, J., "Instructor's manual to accompany business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world", McGraw-Hill, 2000.
- [18] Gholi, H. and Kermanshah, M., "Evaluation of effective factors on service quality of urban bus", The 15Th International Conference on Traffic and Transportation Engineering: Tehran, Iran, 2016.
- [19] Ponrahono, Z., Bachok, S., Ibrahim, M. and Osman, M.M., "Assessing passengers' satisfaction level on bus services in selected urban and rural centres of peninsular malaysia", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 222, pp, 2016.
- [۲۰] ناصحی، محمداسماعیل، «شناوری جمعیت در ایران»، گروه پژوهشی آمارهای اقتصادی پژوهشکده آمار، ۱۳۸۷.