ارزیابی بلندمدت اثر ترکیبی سیاست‌های مدیریت تقاضای حمل‌ونقل با استفاده از مدل پویایی سیستم (مطالعه موردی: کلانشهر مشهد)

مهدی استادی جعفری (مسئول مکاتبات)، کارشناس ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

میقات حبیبیان، استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

E-mail:mahdi.ostadiJafari@yahoo.com

دریافت: ۱۳۹۲/۰۳/۱۳ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۳/۲۰

چکیده:

گسترش معضلات حمل‌ونقلی و هزینه‌های هنگفت اقتصادی-اجتماعی آن، استفاده از رویکرد مدیریت تقاضای حمل‌ونقل را با هدف استفاده کارآتر از منابع حمل‌ونقلی جامعه به‌دنبال داشته است. از آنجاکه به دلایلی چون فقدان فناوری و هزینه زیاد بهنگام‌سازی آن، هزینه زیاد تغییر عادات حمل‌ونقلی شهروندان و ملاحظات سیاسی، به‌طور معمول سیاست‌های مدیریتی حمل‌ونقل در بازه‌های بلندمدتی پابرجا می‌مانند، لزوم اتخاذ سیاست‌های کارآ تر براساس مدل‌های دقیق به چشم می‌خورد. در این مقاله بررسی اثر بلندمدت سیاست‌های مدیریتی حمل‌ونقل بر جامعه و محیط زیست به صورت ترکیبات دوتایی سیاست‌ها مورد توجه قرار گرفته است. جهت بررسی اثر سیاست‌های ترکیبی بر وضعیت حمل‌ونقل و بررسی روند اثرات متقابل متغیرهای مختلف در طول زمان، از مدل پویایی سیستم حمل‌ونقل در کلانشهر مشهد استفاده شده است. در این مطالعه سه سیاست افزایش بهای سوخت اتومبیل شخصی، قیمت‌گذاری ساعتی پارکینگ و قیمت‌گذاری ورود به محدوده طرح ترافیک، هر کدام در قالب چهار سطح مختلف مورد بررسی قرارگرفته است. جهت ارزیابی اثر سیاست‌های مورد مطالعه، شاخص هزینه‌های تحمیل شده به جامعه و محیط‌زیست طی دوره ۲۰ ساله ارائه و محاسبه شده است. نتایج حاصل از ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که ترکیب سیاست قیمت‌گذاری پارکینگ و دیگر سیاست‌ها، اثر قابل توجهی در کاهش هزینه‌های تحمیل شده بر جامعه دارد.

واژه های کلیدی: مدیریت تقاضای حمل‌ونقل، مدل پویایی سیستم، چندسیاستی، ارزیابی بلندمدت.

۱. مقدمه

افزایش فشارهای ناشی از پیامدهای منفی حمل‌ونقل بر جامعه و محیط‌زیست و گسترش معضلات ترافیکی در کلانشهرها، منجر به اصلاح روند سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی سامانه‌های حمل‌ونقل در جهت دستیابی به حمل‌ونقل پایدار شده است. بر این اساس، تلاش در جهت دستیابی به پایداری درحمل‌ونقل به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین نیازهای گردانندگان سیستم‌های حمل‌ونقل شهری به شمار میرود [Ostadi Jafari and Rassafi, 2012]. امروزه رویکرد مدیریت تقاضای حمل‌ونقل به عنوان ابزار حرکت به سمت حمل‌ونقل پایداری شهری مورد توجه است، که هدف از آن استفاده کارآتر از منابع حمل‌ونقلی جامعه است [Litman, 2013].

در توسعه رویکرد مدیریت تقاضای حمل‌ونقل، اگرچه غالباً سیاست‌های مدیریتی حمل‌ونقل با هدف اثرگذاری کوتاه و میان مدت در جوامع مطرح شده‌اند، در بسیاری از شهرها به علت عدم ظهور رویکردهای جایگزین به صورت بلندمدت مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به عنوان مثال، طرح محدوده اخذ عوارض تردد در شهرهای لندن، سنگاپور و تهران نشان‌دهنده بکارگیری بلندمدت این سیاست‌هاست. از سوی دیگر اثرات بلندمدت سیاست‌ها بر کاربری زمین و تأثیر بلندمدت آنها بر پندارها و رفتارهای شهروندان، لزوم ارزیابی‌های بلندمدت در این رویکرد را ضروری می‌سازد. مطالعات نشان می‌دهد که اگرچه در راستای دستیابی به حمل‌ونقل پایدار تاکنون مطالعات متعددی صورت گرفته است، بررسی اثر بلندمدت سیاست‌های مدیریتی و طرح‌های حمل‌ونقلی بر روی جامعه در افق زمانی بلندمدت، کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

در این مقاله، به طور مشخص بررسی اثر بلندمدت ترکیب سیاست‌های مدیریتی حمل‌ونقل بر جامعه، با استفاده از تعریف شاخص ترکیبی هزینه‌های تحمیل شده به جامعه و محیط زیست مورد نظر است. همچنین، استفاده از مدل‌های پویایی سیستم که تاکنون در بررسی ترکیب سیاست‌های مدیریتی حمل‌ونقل بکار گرفته نشده‌اند، امکان توصیف اثرپذیری بلندمدت وضعیت حمل‌ونقل از سیاست‌ها و اثرات متقابل آنها را در این مطالعه فراهم آورده‌اند. بر این اساس، در بخش دوم مطالعات پیشین معرفی شده و در بخش سوم روش انجام این مطالعه ارایه شده است. در ادامه، در بخش چهارم، شهر مشهد به عنوان مطالعه موردی بررسی شده و در بخش پنجم نتایج حاصل از مطالعه، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

۲. زمینه تحقیق

سیاست‌های مدیریت تقاضای حمل‌ونقل به دلیل گستردگی مفهوم، بسیار متنوع بوده و از این‌رو در مراجع مختلف با رویکردهای متفاوتی به معرفی و تبیین هدف از بکارگیری آنها پرداخته شده است [Marshall, Banister and McLellan, 1997; Litman, 2013]. اگرچه توسعه سیاست‌های مدیریتی حمل‌ونقل با تمرکز بر مدیریت تقاضا در دو دهه آخر قرن گذشته منجر به پدید آمدن مطالعات گسترده‌ای در زمینه‌های متدولوژی تا کاربرد این سیاست‌ها شده است، در دهه گذشته چگونگی ترکیب مؤثر سیاست‌ها از طریق بکارگیری همزمان آنها به عنوان چالش این رویکرد گزارش شده است [Vieira, Moura and Viegas, 2007]. به طوری که علیرغم اشاره به سیاست‌های ترکیبی به عنوان راهبرد واقع‌گرایانه و مؤثرتر برای حل مشکلات حمل‌ونقل شهری نسبت به بکارگیری سیاست‌های منفرد، مشکلات شناسایی اثرات ترکیبی سیاست‌ها به عنوان مانع اصلی مطالعه این‌گونه راهبردها قلمداد می‌شد [May and Tight, 2006]. در این راستا، برخی مطالعات مانند [O'Fallon, Sullivan and Hensher, 2004] و [Washbrook, Haider and Jaccard, 2006] با بررسی اثرات جداگانه تعدادی سیاست مدیریتی حمل‌ونقل بر

لزوم بررسی سیاست‌های ترکیبی مدیریت تقاضای حمل‌ونقل تأکید کرده‌اند.

در زمینه بررسی ترکیب سیاست‌های مدیریتی حمل‌ونقل، پندایالا و همکاران، با شبیه‌سازی وضعیت حمل‌ونقل جامعه ترکیبات مشخصی از پنج سیاست مدیریتی حمل‌ونقل را در قالب دو سیاست منفرد و چهار سناریوی ترکیبی مورد بررسی قرار دادند [Pendyala et al., 1997]. اریکسون و همکاران، در مطالعه‌ای میزان کاهش قابل انتظار در استفاده از سواری شخصی را در شرایط اجرای دو سیاست بهبود حمل‌ونقل همگانی و اخذ مالیات سوخت، و نیز ترکیب این دو سیاست بررسی کردند [Eriks-son, Nordlund and Garvill, 2010]. به منظور تعمیم نحوه ترکیب سیاست‌ها، وییرا و همکاران با تأکید بر مفهوم چند سیاستی، ساختاری را برای ترکیب سیاست‌های مدیریتی حمل‌ونقل در قالب گروهی مطرح کردند [Vieira, Moura and Viegas, 2007]. می و همکاران مکانیزم‌های ترکیب اثرات تجمیع شده سیاست‌ها را در سه مورد اجرا شده در شهرهای اروپایی از طریق مدل‌های ایستا مورد بررسی قرار دادند [May, Kelly and Shepherd, 2006]. حبیبیان و کرمانشاه با تاکید بر اثرات ترکیبی سیاست‌ها، علاوه بر درنظر گرفتن اثرات اصلی آنها، به بررسی سهم پنج سیاست مدیریتی حمل‌ونقل بر تغییر وسیله استفاده کنندگان از سواری شخصی در شهر تهران پرداخته [Habibian and Kermanshah, 2012] و در مطالعهای دیگر اهمیت درنظرگیری اثرات متقابل این سیاست‌ها را بر انتخاب طریقه‌های مختلف سفر نشان دادند [Habibian and Kerman-shah, 2011]. هرچند مطالعات اخیر نشانگر توجه به رویکرد چند سیاستی و امکان‌پذیری بررسی مجموعه‌هایی از سیاست‌های مدیریتی حمل‌ونقل بر نحوه انتخاب وسیله‌نقلیه شهروندان در مقاطع مورد مطالعه بوده است [Habibian and Kerman-shah,2013]، هم اینک، بررسی اثر ترکیبی سیاست‌ها بر وضعیت حمل‌ونقل جامعه در بلندمدت، با توجه به اثرات ثانویه سیاست‌ها بر مواردی چون خصوصیات اقتصادی-اجتماعی، ایجاد و توزیع سفر به عنوان مقوله‌ای جدید قابل طرح است. بکارگیری مدل‌های ایستا در برنامه‌ریزی مرسوم حمل‌ونقل، براساس فرض ثبات روند رشد متغیرهای مورد مطالعه انجام می‌شود، حال آنکه این متغیرها عملا ثابت نبوده [Pfaffenbichler, 2003; Guzman et al., 2008]، و در شرایط اعمال سیاست‌های مدیریتی حمل‌ونقل منجر به بروز خطا در پیش‌بینی‌های درازمدت می‌شوند. به عنوان نمونه، ناکارآمدی طرح تردد زوج و فرد خودروها که در برخی کلانشهرهای دنیا گزارش شده است، به نادرستی، به فرض ثبات رشد مالکیت وسیله نقلیه نسبت داده می‌شود [Habibian and Kermanshah, 2013].

به منظور در نظر گرفتن تغییرات پویای وضعیت حمل‌ونقل جامعه، رویکرد استفاده از مدل‌های پویایی سیستم، مورد نظر قرار گرفته است. مدل‌های پویایی سیستم می‌توانند وضعیت متغیرها را در مقاطع زمانی مورد نظر بررسی کرده و تأخیرهای زمانی آنی و طولانی را برای تغییر سایر پارامترها در نظر بگیرند [Kuchen-becker and Schade, 1998]. مطالعات نشان می‌دهند که این خصوصیت مدل‌های سیستم پویایی باعث شده تا به عنوان روشی قابل اتکا برای ارزیابی‌های درازمدت قلمداد شود [Guz-man et al., 2008]. به عنوان نمونه، در مطالعه‌ای در شهر تهران، سه سیاست قیمت‌گذاری پارکینگ، توسعه خطوط قطار شهری و توسعه خدمات الکترونیک و بهبود طراحی شهری، به‌صورت جداگانه، از طریق مدل پویایی سیستم بررسی شده است [Fartookzadeh and Rajabi, 2012]. همچنین، در مطالعه‌ای اثر سه سیاست مدیریتی حمل‌ونقل به طور جداگانه بر کاهش انتشار مونوکسید کربن (CO)، اکسیدهای نیتروژن (NO_X) و هیدروکربن‌های سوخته نشده (HC) به عنوان سه مورد از آلاینده‌های هوا ناشی از حمل‌ونقل بررسی شده است

[Habibian and Ostadi Jafari, 2013].

بر این اساس، در این مطالعه بررسی درازمدت اثر همزمان چند سیاست مدیریت تقاضای حمل‌ونقل با استفاده از مدل‌های پویایی سیستم مورد نظر است. در این مطالعه، علاوه بر شاخص‌های متمرکز بر وضعیت آلودگی هوا، تغییرات درازمدت سایر شاخص‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و حمل‌ونقلی در اثر اتخاذ سیاست‌های ترکیب‌یافته مدیریت تقاضای حمل‌ونقل، مورد توجه قرار گرفته است.

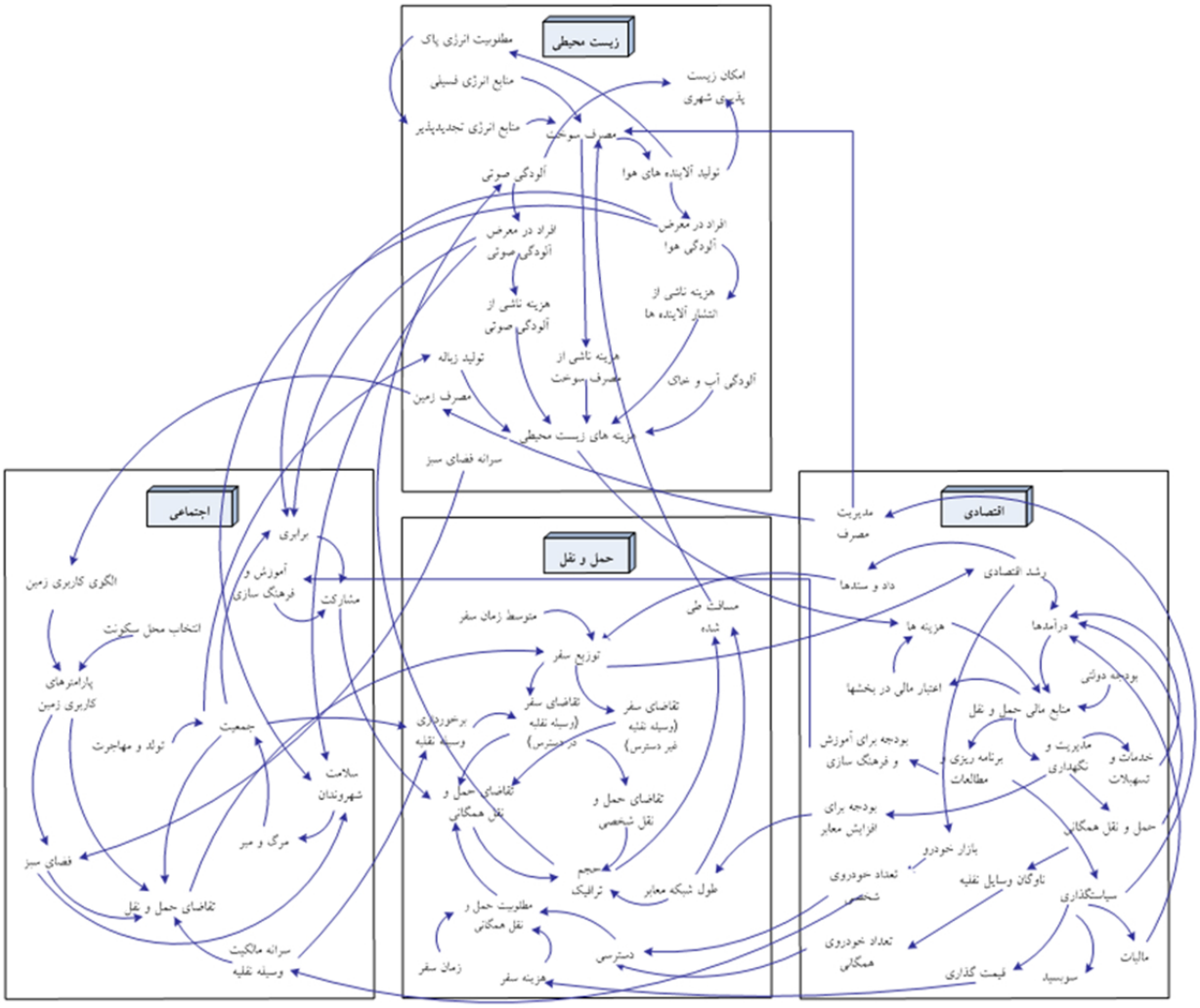
۳. روش‌شناسی تحقیق

روش بکار گرفته شده در این مقاله، برآورد اثر سیاست‌های مدیریتی حمل‌ونقل شهری با استفاده از مدل‌های پویایی سیستم است. مدل‌های پویایی سیستم، روشی برای فهم انواع مشکلات حمل‌ونقلی است که بر ساختار پویا و رفتار سیستم‌های ترکیبی از حلقه‌های بازخور درونی متمرکز شده است. مدل‌های پویایی سیستم بر اساس این اصل که "همه چیز به هم وابسته است و همه چیز در حال تغییر است"، بنیان‌گذاری شده‌اند [Kuchen-becker and Schade, 1998]. به طور کلی، مدل‌های پویایی سیستم تأثیرات متقابل متغیرهای مختلف را در طول زمان در نظر می‌گیرند و در مقایسه با مدل‌های استاتیکی، دارای قابلیت بهتری جهت نمایش اثرات درازمدت هستند [Ostadi Jafari and Rassafi, 2013].

به طور کلی، مدل‌سازی به روش پویایی شامل سه مرحله است. مرحله اول به تشریح مدل‌های مفهومی اختصاص می‌یابد. این مرحله از مدل‌سازی دارای اهمیت فراوانی است، زیرا هرگونه انتخاب پارامترها و روابط میان آنها، بیانگر جهت‌گیری مدل و قابلیت مدل جهت سنجش سیاست‌های موردنظر مطالعه خواهد بود. در شکل (۱) مدل مفهومی حمل‌ونقل پایدار شهری نشان داده شده است. به عنوان نمونه از حلقه‌های مفهومی شکل (۱)، مصرف سوخت وسایل‌نقلیه سبب تولید آلاینده‌ها می‌شود. تولید آلاینده‌های هوا منجر به ایجاد و افزایش هزینه‌های زیست‌محیطی شده که این موضوع در حوزه اقتصادی بر روی منابع مالی حمل‌ونقل مؤثر خواهد بود. به منظور کاهش هزینه‌ها و پیامدهای منفی حمل‌ونقل، برنامه‌ریزی و مطالعات متعددی صورت می‌گیرد که یکی از خروجی‌های آن در سیاست‌گذاریهای انجام شده، قیمت‌گذاری تسهیلات و سامانه‌های حمل‌ونقل است. بدون تردید، قیمت‌گذاری و در پی آن میزان هزینه سفر، می‌تواند بر روی سطح استفاده از حمل‌ونقل همگانی در مقایسه با وسایل‌نقلیه شخصی مؤثر باشد. در ادامه، با تغییر حجم ترافیک وسایل‌نقلیه و مسافت طی شده، مصرف سوخت کاهش و یا افزایش خواهد داشت.

در ادامه، نمودار جریان بر مبنای مدل مفهومی توسعه یافته و سازوکار ارتباط میان متغیرها با استفاده از روابط علت و معلولی معرفی می‌شوند. به‌منظور نمایش روابط علت و معلولی میان عناصر مختلف یک سیستم که به‌صورت حلقه‌های بازخوری تشکیل می‌شوند، از دیاگرام‌های حلقه سببی استفاده می‌شود. این دیاگرام‌ها می‌توانند ارتباط میان یک سیستم را با سایر عناصر در سیستم‌های دیگر توضیح داده و با بررسی فرضیه‌های متعدد به‌صورت پویا به حل معضلات پیچیده و متعدد بپردازد [Ostadi Jafari and Rassafi, 2013]. در مرحله نهایی، که بسط و توسعه مدل پویایی سیستم نام‌گذاری می‌شود، باید ابعاد و واحدهای اندازه‌گیری تمامی متغیرها مشخص شود. سپس، توابع میان این روابط بصورت معادلات ریاضی معین شده و داده‌های مورد نیاز در مطالعه موردی جمع‌آوری می‌گردد.

در شکل (۲) فرم عمومی مدل پویایی سیستم حمل‌ونقل پایدار شهری مورد استفاده در این مطالعه ارائه شده است. همان‌گونه که در شکل (۲) نمایش داده شده است، مدل از حلقه‌های متعددی تشکیل شده که قطبیت مثبت و منفی آنها نشان دهنده اثرگذاری



شکل ۱. مدل مفهومی حمل‌ونقل پایدار شهری [Ostadi Jafari and Rassafi, 2013]

افزایشی یا کاهشی آنها است. به عنوان نمونه، افزایش تقاضای سفر با وسیله‌نقلیه، منجر به افزایش حجم ترافیک، کاهش متوسط سرعت و پس از آن افزایش زمان سفر می‌شود. این موضوع منجر به کاهش تقاضای سفر با وسیله‌نقلیه می‌شود. این حلقه دارای قطبیت منفی بوده و در شکل (۲) با رنگ سبز نشان داده شده است.

شاخص‌های انتخابی اولیه در این مقاله شامل هزینه انتشار آلاینده NO_X، انتشار آلاینده CO ، انتشار آلاینده HC، تولید زباله، آلودگی آب، آلودگی صوتی و زمان تلف شده شهروندان در ترافیک بوده است. این شاخصها در چهار طریقه سفر سواری شخصی، تاکسی، موتورسیکلت و اتوبوس محاسبه شده‌اند. جهت ارزیابی سیاست‌های مطالعه، معادل ریالی هر یک از شاخص‌ها محاسبه شده و جمع جبری مقادیر شاخص‌های فوق طی دوره مورد مطالعه تحت عنوان شاخص ترکیبی "هزینه‌های تحمیل شده به جامعه و محیط زیست (I_c)" مطابق با رابطه (۱) ایجاد شده است.

$$I_c = \sum_{n=1}^{20} \sum_{i=1}^{3} (C_{NO_X,n,i} + C_{CO,n,i} + C_{HC,n,i} + C_{waste,n,i} + C_{water,n,i} + C_{noise,n,i} + C_{DT,n,i}) \quad (۱)$$

در این رابطه متغیرها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$C_{NOx,n,i}$: هزینه تولید آلاینده No_x در سال n توسط وسیله‌نقلیه نوعi

$C_{CO,n,i}$: هزینه تولید آلاینده CO در سال n توسط وسیله‌نقلیه نوعi

$C_{HC,n,i}$: هزینه تولید آلاینده HC در سال n توسط وسیله‌نقلیه نوعi

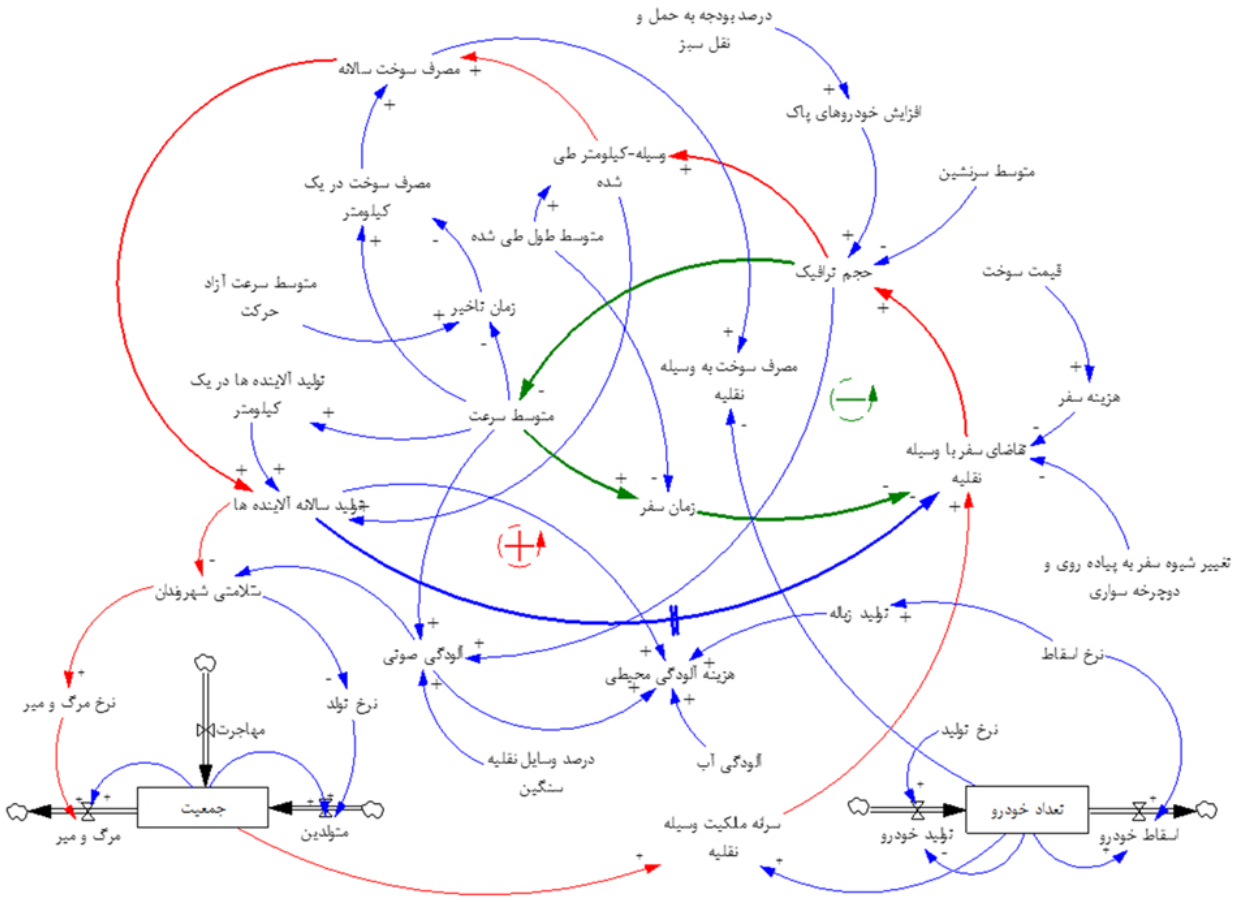
$C_{waste,n,i}$: هزینه تولید زباله در سال n توسط وسیله‌نقلیه نوعi

$C_{water,n,i}$: هزینه مربوط به آلودگی آب در سال n توسط وسیله‌نقلیه نوعi

$C_{noise,n,i}$: هزینه مربوط به آلودگی صوتی در سال n توسط وسیله‌نقلیه نوعi

$C_{DT,n,i}$: هزینه ناشی از زمان تلف شده کاربران در سال n توسط وسیله‌نقلیه نوعi

به این ترتیب، شاخص ترکیبی هزینه‌های تحمیل شده به جامعه و محیط زیست می‌تواند به طور مناسبی اثر اغلب شاخص‌های ترافیکی را به صورت غیرمستقیم در نظرگیرد. در جدول (۱) هزینه های مربوط به شاخص‌های اولیه به ازای یک کیلومتر–وسیله‌نقلیه پیموده شده در سال پایه (۱۳۸۸) بر اساس مرجع [Atiesaz Shargh, 2011] نشان داده شده است. شاخصهای میزان تولید آلاینده NO_X، تولید آلاینده CO ، تولید آلاینده HC و زمان تلف شده شهروندان در ترافیک به‌صورت مشترک برای تمامی شیوه‌های سفر و شاخصهای تولید زباله، آلودگی آب، آلودگی صوتی به تفکیک خودروی سواری، اتوبوس و تاکسی محاسبه می‌شود.



شکل ۲. فرم عمومی مدل پویایی سیستم حمل‌ونقل پایدار شهری [Ostadi Jafari and Rassafi, 2012]

۴. مطالعه موردی

در این مطالعه شهر مشهد به عنوان یکی از کلانشهرهای ایران جهت ارزیابی اثرات بلندمدت سیاست‌های ترکیبی در مدیریت تقاضای حمل‌ونقل شهری انتخاب شده است. شهر مشهد با جمعیتی در حدود ۲/۶ میلیون نفر از جمله کلانشهرهای کشور محسوب می‌شود. وجود حرم مطهر امام رضا (ع) باعث شده که سالیانه در حدود ۱۵ میلیون نفر زائر به این شهر سفر کنند [Atiesaz Shargh, 2011]. در سالهای اخیر، رشد جمعیت، تقاضای قابل توجه سفرهای زیارتی، رشد اقتصاد شهر و افزایش مالکیت خودروها، منجر به توجه جدی به مساله مدیریت تقاضای حمل‌ونقل در این شهر شده است. یکی از سیاست‌های بکار گرفته شده در سالیان اخیر، اعمال محدودیت تردد وسایل‌نقلیه در بخش مرکزی شهر و به شعاع حدود ۱۷ کیلومتر مربع در ایام خاص[1] سال بوده است [Atiesaz Shargh, 2011].

به این منظور از مدلی که پیش از این برای شهر مشهد پرداخته و اعتبارسنجی شده، استفاده شده که جزییات آن در مرجع [Ostadi Jafari, 2010] قابل دستیابی است. در این مدل ارتباط میان متغیرهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی با متغیرهای حمل‌ونقل شهری، با استفاده از نمودارهای جریان و حلقه‌های علی- معلولی درنظرگرفته شده است. نحوه پرداخت مدل به این ترتیب بوده که از تابع DELAY3I[2] نرم‌افزار ونسیم استفاده شده است. این تابع، به صورت تأخیری می‌تواند تغییر مطلوب را در مدل در نظر بگیرد [Ostadi Jafari, 2010]. رابطه (۲) بیانگر تابع DELAY3I است.

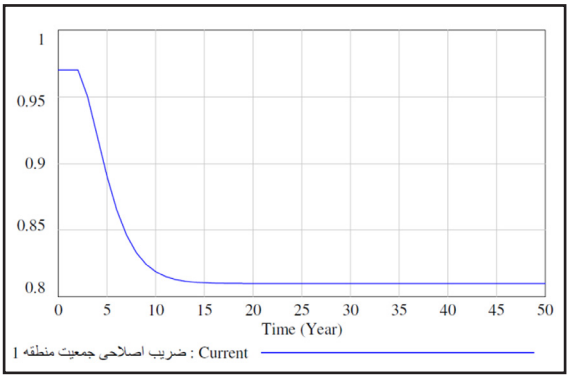
جدول ۱. هزینه آلاینده‌ها و زمان تلف شده کاربران به ازای یک کیلومتر- وسیله‌نقلیه در سال ۱۳۸۸

ردیف	شاخص	مرجع	هزینه (ریال)	
۱	آلاینده NO_2	[Atiesaz Shargh, 2011]	۴۸۰۰	
۲	آلاینده CO		۱۵۰۰	
۳	آلاینده HC		۱۷۰۰	
۴	آلودگی ناشی از تولید زباله	[Litman, 2009]	وسیله‌نقلیه شخصی	۳/۷
			اتوبوس	۳/۷
			موتور سیکلت	۳/۷
۵	آلودگی آب		وسیله‌نقلیه شخصی	۱۲۸/۱
			اتوبوس	۱۲۸/۱
			موتورسیکلت	۱۲۸/۱
۶	آلودگی صوتی		وسیله‌نقلیه شخصی	۱۱۹/۷۸
			اتوبوس	۶۰۴/۱
			موتورسیکلت	۱۲۱۱/۴
۷	زمان تلف شده کاربران	[Atiesaz Shargh, 2011]	۱۶۵۰۰	

DELAY3I({in} , {dtime} , {init}) (۲)

در این رابطه، in ورودی، dtime سرفاصله زمانی و init مقدار اولیه است.

پرداخت مدل برای تمامی متغیرهایی که در تولید و جذب سفر مؤثر بوده‌اند، صورت گرفته است. به عنوان نمونه، در شکل (۳)، در سال صفر مدل (۱۳۷۳)، مقدار اولیه برابر ۰/۹۷ و با حفظ شیب یکسان در سال ۱۵ام (۱۳۸۸)، این مقدار ۰/۸۱ در نظر گرفته شده است. در ادامه و تا پایان دوره مدل‌سازی، این روند حفظ شده است.



شکل ۳. ضریب اصلاحی جمعیت با استفاده از تابع DELAY3I

با فرض افق ۲۰ ساله برای ارزیابی نتایج درازمدت، از مدل پویایی سیستم ساخته شده برای شهر مشهد استفاده شده است. به این ترتیب، با در نظر گرفتن سال ۱۳۸۸ به عنوان سال پایه مطالعه، اثر سیاست‌های مدیریتی حمل‌ونقل تا سال ۱۴۰۸ بر روی شاخص‌های انتخابی محاسبه شد. سه سیاست افزایش بهای سوخت خودروهای شخصی (F)، قیمت‌گذاری ساعتی پارکینگ (P) و قیمت‌گذاری ورود به محدوده طرح ترافیک (C) برای مدیریت تقاضای حمل‌ونقل شهر مشهد درنظر گرفته شد. این سیاست‌ها از نوع قیمت‌گذاری بوده و برای هر کدام از آنها چهار سطح شامل وضع موجود (در قالب گزینه عدم انجام کار) و سه مقدار دیگر که به‌صورت خطی افزایش یافته‌اند، به شرح جدول (۲) برای سال پایه (سال ۱۳۸۸) در نظر گرفته شده است.

لازم به ذکر است، مقادیر سطوح سیاست‌های مطالعه به طور مستقیم در هزینه سفر با طریقه سواری شخصی اثرگذار بوده و پیش‌بینی می‌شود که با افزایش مقادیر سیاست‌ها، سهم استفاده از سواری شخصی کاهش یابد. همان گونه که در شکل (۲) نشان داده شده است، هزینه سفر در تقاضای سفر با استفاده از طریقه سواری شخصی، و علاوه بر آن در سایر متغیرهای مدل پویایی سیستم بکار رفته و بر متغیرهایی چون مقادیر میزان انتشار آلاینده‌های مختلف و زمان تلف شده کاربران اثر می‌گذارد.

هر چند مدل مورد استفاده قابلیت درنظرگیری اثر ترکیب هر سه سیاست مورد مطالعه با یکدیگر را دارد، به علت اجتناب از پیچیده شدن مساله، در این مطالعه، علاوه بر بررسی اثرات اصلی سیاست‌ها، صرفاً به بررسی اثرات ترکیبات دو سیاست به‌صورت همزمان پرداخته شده است. این اثرات به صورت ترکیبهای دوتایی

جدول ۲. سیاست‌های انتخابی جهت مدیریت تقاضای حمل‌ونقل شهری و سطوح آنها

موضوع	سیاست	عدم انجام کار (۱)	سطح (۲)	سطح (۳)	سطح (۴)
افزایش بهای سوخت سواری شخصی در یک کیلومتر	F	۳۲۰	۹۶۰	۱۶۰۰	۲۲۴۰
		F-1	F-2	F-3	F-4
قیمت‌گذاری ساعتی پارکینگ	P	۳۰۰۰	۹۰۰۰	۱۵۰۰۰	۲۱۰۰۰
		P-1	P-2	P-3	P-4
قیمت‌گذاری ورود به محدوده طرح ترافیک	C	۲۵۰۰۰	۵۰۰۰۰	۷۵۰۰۰	۱۰۰۰۰۰
		C-1	C-2	C-3	C-4

سیاست‌های F، P و C شامل ۴۵ ترکیب ممکن مورد نظر قرار گرفته است. لازم به ذکر است که نحوه تأثیر سیاست‌ها بر میزان تغییر در شاخص I_c براساس میزان کاهش استفاده از وسایل‌نقلیه شخصی و در پی آن کاهش هزینه‌های تحمیل شده به جامعه و محیط زیست است.

در این مقاله، به جهت هدف‌گذاری اثر سیاست‌های مدیریت تقاضای حمل‌ونقل بر روی شاخص مورد مطالعه، فرض شده پارامترهایی نظیر کاربری زمین، وضعیت اجتماعی و اقتصادی وتغییرات فنآوری در طول زمان ثابت باقی بماند و سایر متغیرهایی که در مدل به آن اشاره شده در طول زمان به‌صورت پویا تغییر کند. در ادامه، سناریوهای ارائه شده بر مبنای جدول (۲) در مدل پویایی سیستم حمل‌ونقلی در نرم‌افزار ونسیم[۳] وارد شده است. بر اساس ورود سناریوهای مختلف در نرم‌افزار، مقادیر شاخص هزینه‌های تحمیل شده به جامعه و محیط زیست (بر حسب ریال) محاسبه می‌شود. به عنوان نمونه، در شکل (۴) مقایسه‌ای میان شاخص هزینه‌های تحمیل شده به جامعه و محیط زیست در چهار سناریوی درنظرگرفته شده با باقی ماندن هزینه سوخت وسایل‌نقلیه (F-1) و افزایش بهای ساعتی پارکینگ (P-1 تا P-4) در فاصله سالهای ۱۳۸۸ الی ۱۴۰۸ صورت گرفته است.

۵. نتایج مطالعه

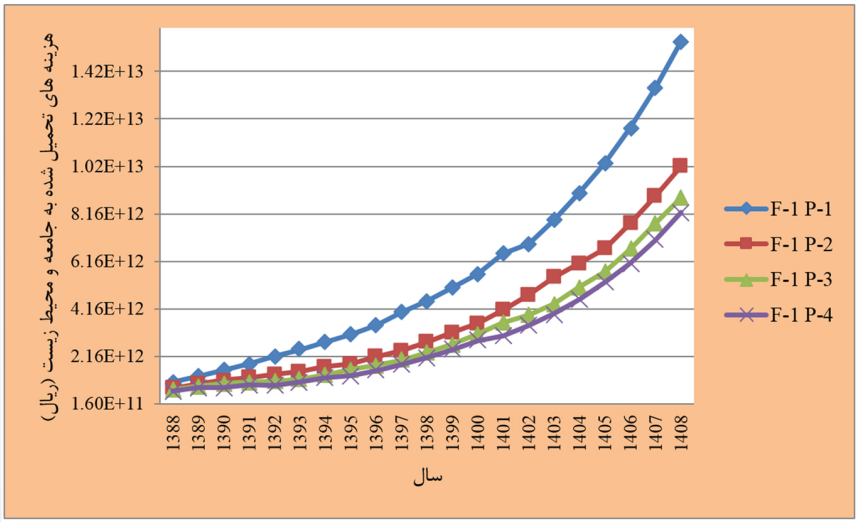
در این بخش، نتایج ارزیابی صورت گرفته در میزان شاخص مجموع هزینه‌های تحمیل شده به جامعه در دوره ۲۰ ساله با اجرای سناریوهای F و P، سناریوهای F و C و سناریوهای P و C نشان داده می‌شود.

۵-۱ بررسی ترکیب سیاست‌های افزایش بهای سوخت و قیمت‌گذاری پارکینگ

همان‌گونه که در شکل (۵) نشان داده شده است، افزایش قیمت پارکینگ منجر به کاهش محسوس شاخص I_c شده است.

روند حساسیت شهروندان نسبت به این متغیر به صورتی است که با افزایش هزینه ساعتی پارکینگ از ۳۰۰۰ ریال به ۹۰۰۰ ریال، کاهش هزینه‌های تحمیل شده به جامعه در اثر کاهش استفاده از وسایل‌نقلیه چشمگیر بوده درحالی‌که افزایش هزینه ساعتی پارکینگ با مقادیر بالاتر، کاهش کمتری در شاخص I_c را ایجاد کرده است.

اثر ترکیبی استفاده همزمان دو سیاست با یکدیگر در حالت بیشترین تغییر در دو سیاست، بیانگر کاهش ۴۹/۹ درصدی شاخص I_c شده است.



شکل ۴. شاخص هزینه‌های تحمیل شده به جامعه و محیط زیست در چهار سناریوی با شرایط ثبات هزینه سوخت وسایل‌نقلیه (F-1) و افزایش بهای ساعتی پارکینگ (P-1 تا P-4)

۵-۲ بررسی ترکیب سیاست‌های افزایش بهای سوخت و قیمت‌گذاری طرح ترافیک

نتایج ارزیابی سیاست‌های افزایش بهای بنزین و قیمت‌گذاری ورودی به محدوده مرکزی شهر نشان می‌دهد که حساسیت شهروندان مشهد نسبت به سیاست هزینه ورود به محدوده طرح ترافیک قابل توجه است.

مطابق شکل (۶) به نظر می‌رسد اعمال سیاست هزینه ورود به محدوده طرح ترافیک، می‌تواند در مقایسه با قیمت‌گذاری بهای سوخت وسایل‌نقلیه شخصی، گزینه مؤثرتری در مدیریت تقاضای حمل‌ونقل در شهر مشهد باشد.

شکل (۶) نشان می‌دهد که اثر بکارگیری همزمان دو سیاست با یکدیگر، در بیشترین سطوح آنها، می‌تواند منجر به کاهش ۲/۷ درصدی شاخص I_c نسبت به وضع موجود شود که نسبت به حالت پیشین (ترکیب سیاست‌های افزایش بهای سوخت و قیمت‌گذاری پارکینگ) چشمگیر نیست.

۵-۳ بررسی ترکیب سیاست‌های قیمت‌گذاری پارکینگ و محدوده طرح ترافیک

شکل (۷)، نتیجه اجرای سیاست‌های افزایش هزینه ورود به محدوده طرح ترافیک و هزینه پارکینگ را نشان می‌دهد. چنانکه دیده می‌شود، تغییرات شاخص ترکیبی مورد مطالعه عمدتاً وابسته به سیاست هزینه ساعتی پارکینگ است و افزایش هزینه ورود به محدوده طرح ترافیک در مقایسه با هزینه پارکینگ، اثر کمتری بر کاهش I_c دارد.

با این وصف، اثر ترکیبی سیاست‌های هزینه ساعتی پارکینگ و هزینه ورود به محدوده طرح ترافیک در مقایسه با سایر سیاست‌های ترکیبی بیشتر بوده است. چنان که در این شکل ملاحظه می‌شود، بکارگیری همزمان این دو سیاست در بیشترین سطوح آنها، می‌تواند منجر به کاهش ۵۰/۱ درصدی شاخص I_c نسبت به گزینه عدم انجام کار شود.

۶. نتیجه‌گیری

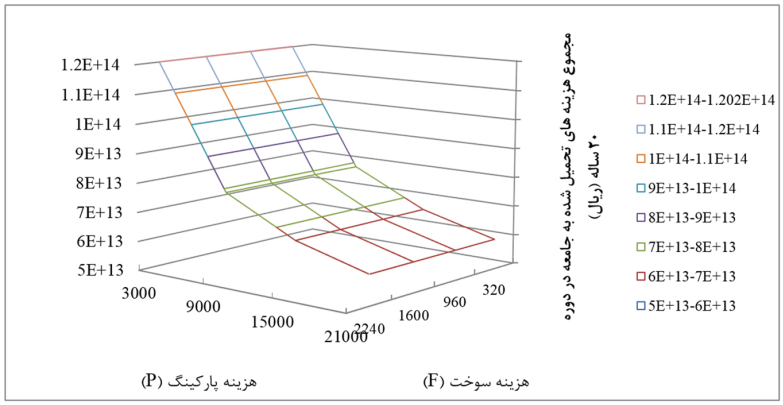
در این مقاله با تمرکز بر مدیریت تقاضای حمل‌ونقل جهت دستیابی به پایداری در حمل‌ونقل شهری، بررسی اثر درازمدت ترکیب سیاست‌های مدیریتی حمل‌ونقل بر جامعه مورد توجه قرار گرفت. به این منظور، جهت بررسی اثرپذیری حمل‌ونقل، از سه سیاست افزایش بهای سوخت سواری شخصی (F)، قیمت‌گذاری ساعتی پارکینگ (P) و قیمت‌گذاری ورود به محدوده طرح ترافیک (C) در دوره درازمدت، از مدل پویایی سیستم استفاده شد. در این مطالعه جهت ارزیابی اثر سیاست‌های مورد مطالعه، شاخص ترکیبی هزینه‌های تحمیل شده به جامعه و محیط زیست طی دوره ۲۰ ساله تعریف و محاسبه شده است. نتایج حاصل از ارزیابی‌ها بیانگر این مطلب است که به علت اثر چشمگیر سیاست قیمت گذاری پارکینگ، اثر ترکیبی این سیاست با هریک از سیاست‌های هزینه ورود به محدوده طرح ترافیک و سیاست افزایش بهای سوخت تأثیر معناداری بر شاخص هزینه‌های تحمیل شده بر جامعه و محیط زیست دارد، حال آنکه ترکیب دو سیاست دیگر (سیاست‌های قیمت‌گذاری ورودی و افزایش بهای سوخت) تأثیر چندانی بر این شاخص نداشته است.

سیاست افزایش هزینه سوخت در مقایسه با سایر سیاست‌های مطالعه به تنهایی منجر به کاهش قابل ملاحظه‌ای در هزینه‌های تحمیل شده به جامعه در دوره ۲۰ ساله، از طریق کاهش استفاده از وسایل‌نقلیه شخصی نشده و این مقدار با رشد نزولی ضعیف، تقریباً ثابت باقی می‌ماند. به نظر می‌رسد، بهای سوخت و سطوح آن نسبت به سایر سیاست‌های این مطالعه قابل ملاحظه نبوده و این سیاست در تغییر شیوه سفر شهروندان به استفاده از وسایل‌نقلیه همگانی مؤثر نبوده است.

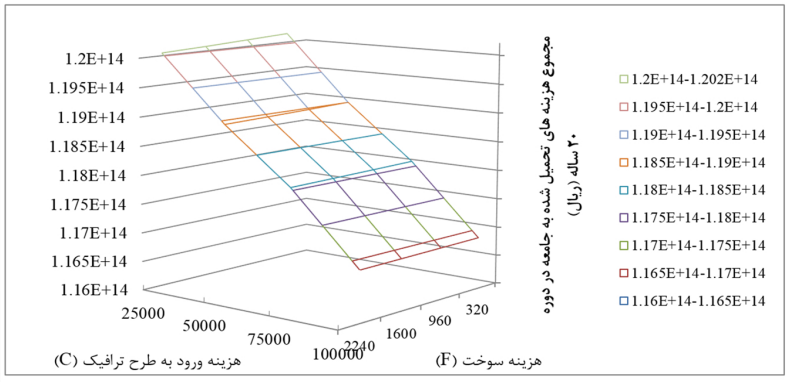
اگرچه سیاست‌های در نظر گرفته شده در این مقاله، از متداول‌ترین سیاست‌های مورد استفاده در مدیریت تقاضای حمل‌ونقل انتخاب شده است، اما با توجه به پیچیدگیهای محاسباتی از بررسی

سیاست‌های بیشتر در مدل و در نظرگیری ترکیبهای مختلف آنها، صرف‌نظر شده است. در مطالعات آتی، پیشنهاد می‌شود سیاست‌های متنوع‌تری بررسی شود. این سیاست‌ها می‌توانند از نوع سایر سیاست‌های قیمت‌گذاری، اعمال محدودیت و یا سیاست‌های جذبی باشند. در این زمینه، میزان اثر سیاست‌های ترکیبی در جوامع دیگر به جهت تفاوت الگوی سفر شهروندان در جوامع مختلف، جهت بررسی بهتر می‌تواند مورد توجه قرارگیرد.

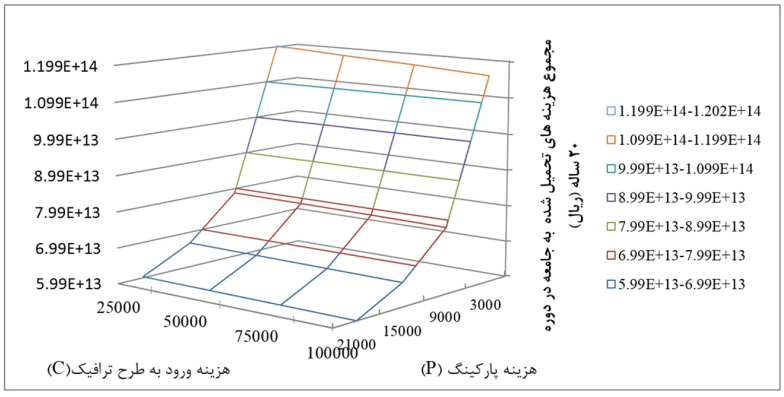
روش بکار گرفته شده در این مقاله جهت ارزیابی درازمدت اثر ترکیب سیاست‌های مدیریت تقاضای حمل‌ونقل با استفاده از شاخص ترکیبی هزینه‌های تحمیل شده به جامعه و محیط‌زیست می‌تواند توسط گردانندگان حمل‌ونقل در انتخاب سیاست‌های ترکیبی مورد استفاده قرارگیرد. با این وصف، پیشنهاد می‌شود



شکل ۵. تأثیر مشترک سیاست‌های F و P بر شاخص مجموع هزینه‌های تحمیل شده طی دوره ۲۰ ساله



شکل ۶. تأثیر مشترک سیاست‌های F و Cبر شاخص مجموع هزینه‌های تحمیل شده به جامعه طی دوره ۲۰ ساله



شکل ۷. تأثیر مشترک سیاست‌های P و Cبر شاخص مجموع هزینه‌های تحمیل شده به جامعه طی دوره ۲۰ ساله

در مطالعات آتی، اثر ترکیب سیاست‌ها با درنظرگرفتن مجموعه جامع‌تری از شاخصهای حمل‌ونقل پایدار نیز بررسی شود. به نظر می‌رسد، با توجه به نیاز اساسی گردانندگان حمل‌ونقل کلانشهرها در بکارگیری مدیریت تقاضای حمل‌ونقل، استفاده از روش استفاده شده در این مقاله بتواند جهت کاهش پیامدهای منفی حمل‌ونقل بر جامعه و محیط زیست در دوره زمانی بلندمدت و جلوگیری از اتلاف منابع جامعه راهگشا باشد.

۷. پی نوشتها

۱- منظور از ایام خاص سال، ایام تابستان، عید نوروز، اعیاد مذهبی و مناسبتهای خاص سال است.

2. 3rd order exponential DELAY with Initial

3. Vensim

۸. مراجع

- استادی جعفری، مهدی (۱۳۸۹) "ارزیابی و مدل‌سازی حمل‌ونقل پایدار شهری"، پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران- برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، ص ۳۱-۷۹.

- استادی جعفری، مهدی و رصافی، امیرعباس (۱۳۹۱) "الگوی زیست‌محیطی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری با استفاده از مدل‌های سیستم پویایی"، فصلنامه علمی – پژوهشی علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره چهاردهم، شماره ۵۴، پاییز، ص ۱۱ – ۲۸.

- استادی جعفری، مهدی و رصافی، امیرعباس (۱۳۹۲) "ارزیابی سیاست‌های توسعه پایدار در بخش حمل‌ونقل شهری با استفاده از مدل‌های سیستم‌پویایی؛ مطالعه‌موردی: شهر مشهد"، فصلنامه علمی–پژوهشی مدیریت شهری، شماره ۳۱، بهار و تابستان، ص۲۸۱-۲۹۴.

- حبیبیان، میقات و کرمانشاه، محمد (۱۳۹۱) "بررسی سهم سیاست‌های مدیریتی حمل‌ونقل بر انتخاب طریقههای جایگزین سواری شخصی در سفرهای کاری روزانه"، فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل، سال سوم، شماره سوم، بهار، ص ۱۸۱ – ۱۹۸.

- حبیبیان، میقات و کرمانشاه، محمد (۱۳۹۲) "سیاست‌های کاهش استفاده از سواری شخصی در سفرهای کاری به مرکز شهر تهران"، همایش ابعاد حمل‌ونقل شهری، دانشگاه صنعتی شریف، آبان، تهران.

- فرتوک زاده، حمیدرضا و رجبی نهوجی، میثم (۱۳۹۱) "مدل‌سازی پویای ترافیک کلانشهرها به منظور ارایه بهبود حمل‌ونقل (نمونه موردی کلانشهر تهران)" پژوهشنامه حمل‌ونقل، سال نهم، شماره اول، بهار، ص ۶۳ – ۸۱.

- مهندسین مشاور آتیه‌ساز شرق (۱۳۹۰) "مطالعات بازنگری و توسعه محدوده ممنوعه تردد شهر مشهد، جلد سیزدهم، برآورد اقتصادی هزینه‌ها و منافع طرح و تحلیل تبعات اجتماعی"، سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری مشهد، مشهد.

- Eriksson, L., Nordlund, A. and Garvill, J. (2010) "Expected car use reduction in response to structural travel demand management measures", Transportation Research, Part F, 13, pp. 329–342.

- Guzman, L., Hoz, D., Pfaffenbichler, P. and Shepherd, S. (2008) "Impacts of fuel consumption taxes

- Litman, T. (2009) "Transportation cost and benefit analysis II – vehicle costs", www.vtpi.org.

- Marshall, S., Banister, D. and McLellan, A. (1997) "A strategic assessment of travel trends and travel reduction strategies", The European Journal of the Social Sciences, Innovation: 10, pp. 289-304.

- May, A., Kelly, C. and Shepherd, S. (2006) "The principles of integration in urban transport strategies", Transport Policy, 13, pp. 319–327.

- May, A. D. and Tight, M. (2006) "Innovation and integration in urban transport policy", Transport Policy, 13, pp. 281–282.

- O'Fallon, C., Sullivan, C. and Hensher, D. A. (2004) "Constraints affecting mode choices by morning car commuters, Transport Policy, 11, pp. 17–29.

- Pendyala, R., Kitamura, R., Chen, C. and Pas, E. I. (1997) "An activity based micro-simulation analysis of transportation control measures", Transport Policy, 4, pp. 183-192.

- Pfaffenbichler, P. (2003) "The strategic, dynamic and integrated urban land use and transport model MARS (Metropolitan Activity Relocation Simulator) on mobility patterns and CO_2 emission using a system dynamic approach", 10th International Conference on Application of Advanced Technologies in Transportation, Athens.

- Habibian, M. and Kermanshah, M. (2011) "Exploring the role of transportation demand management policies' interactions", Scientia Iranica, 18(5), pp. 1037-1044.

- Habibian, M. and Kermanshah, M. (2013) "Coping with congestion: Understanding the role of simultaneous transportation demand management policies on commuters", Transport Policy, 30, pp. 229-237.

- Habibian, M. and Ostadi Jafari, M. (2013) "Assessing the role of transportation demand management policies on urban air pollution: A case study of Mashhad, Iran", Symposium on Air Pollution in Megacities, Irvine, CA, 3-5th. Sep, CA, USA.

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

- Litman, T. (2013) "Online TDM encyclopedia", Victoria Transport Policy Institute, Website: http:\\ www.vtpi.org

Development, testing and application", Dissertation Doctoral Thesis.

- Vieira, J., Moura, F. and Viegas, J. (2007) "Transport policy and environmental impacts: The importance of multi-instrumentality in policy integration", Transport Policy, 14, pp. 421–432.

- Washbrook, K., Haider, W. and Jaccard, M. (2006) "Estimating commuter mode choice: A discrete choice analysis of the impact of road pricing and parking charges", Transportation, 33, pp. 621-639.