# مدل‌سازی سنجش اثرگذاری قابلیت پیاده‌مداری بر سیاست‌گذاری حمل‌ونقل پایدار شهری

**(مطالعه موردی: کلان‌شهر مشهد)**

**مهدی استادی جعفری[1]، مجتبی رفیعیان[2] و زهراسادات سعیده زرآبادی[3]**

تاریخ دریافت: 97/11/02
تاریخ پذیرش: 98/06/14

**چکیده:** رشد شهرنشینی و توسعه ناموزون فرم شهری، تشدید معضلات متعددی از جمله کاهش زیست‌پذیری ناشی از توسعه خودرومحور و به تبع آن کاهش قابلیت پیاده‌مداری را به همراه داشته است. در سالیان اخیر، توجه به حمل‌ونقل پایدار و قابلیت پیاده‌مداری به عنوان یکی از سیاست‌های آن، از سوی گردانندگان به جهت برون‌رفت از شرایط نامطلوب موجود مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به مواجه بودن اثرات بلندمدت سیاست‌ها بر کاربری زمین و تأثیر بلندمدت آن‌ها بر پندارها و رفتارهای شهروندان، انتخاب سیاست‌های بهینه و پایش میزان اثرگذاری برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌ها جهت دست‌یابی به پایداری، ضروری به نظر می‌رسد. در این مقاله تلاش شد با استفاده از مدل پویایی سیستم در محیط نرم‌افزار ونسیم، بخش حمل‌ونقل شهری و عوامل مؤثر بر آن در شهر مشهد به عنوان مورد مطالعاتی مدل‌سازی شود. به این ترتیب، پس از پرداخت و اعتبارسنجی مدل، نتایج 14 شاخص در بخش‌های اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و حمل‌ونقلی در 5 سناریو با هدف مقایسه میزان اثرگذاری بلندمدت سیاست قابلیت پیاده‌مداری نسبت به سایر سیاست‌های حمل‌ونقل پایدار شهری بررسی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که قیمت‌گذاری حمل‌ونقل همگانی و شخصی و پس از آن، افزایش مطلوبیت سفر با حمل‌ونقل همگانی با میزان بهبود شاخص‌های پایداری به ترتیب 28 و 20 درصد نسبت به سناریوی عدم انجام کار، در مقایسه با سایر سناریوها دارای بیشترین اولویت است. از سوی دیگر، سیاست‌های توسعه پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری به تنهایی و بدون تلفیق با سیستم یکپارچه حمل‌ونقلی، اثر کمتری در بهبود پایداری داشته و لازم است برنامه‌ریزی حمل‌ونقل پایدار به صورت توامان با در نظرگیری ملاحظات مربوط به سیاست‌های پیاده‌مداری و قیمت‌گذاری انجام گیرد.

**واژگان کلیدی:** قابلیت پیاده‌مداری، حمل‌ونقل پایدار، مدل پویایی سیستم، سیاستگذاری، مشهد.

[1] **دانشجوی دکتری**، دانشکده عمران، معماری و هنر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
[2] **دانشیار**، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. (نویسنده مسئول) mrafiyan@gmail.com
[3] **دانشیار**، دانشکده عمران، معماری و هنر، گروه شهرسازی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

## 1- مقدمه

با گسترش ابعاد مختلف ناپایداری شهری و در پی آن، لزوم نیل به توسعه پایدار در شهرهای دنیا، تلاش‌های فراوانی از سوی سازمان‌های متعدد جهت دست‌یابی به پایداری شده است (Wann-Ming, 2018). بررسی‌ها نشان می‌دهد که محوریت این تلاش‌ها مبتنی بر پیش برد همزمان اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌ها بوده است (Soltani, Fallah Mashhadi, 2013:52) در این میان، چالش اساسی مدیریت شهری در میزان تخصیص منابع و امکانات و جهت‌دهی برنامه‌های شهری به چشم می‌خورد؛ به‌گونه‌ای که عملیاتی نمودن راهبردهای توسعه پایدار در تمامی بخش‌های جامعه، نیازمند روشی کاربردی و کارآمد است (Ostadi Jafari, Rasafi, 2013). یکی از چالش برانگیزترین بخش‌های جامعه، بخش حمل‌ونقل است که به جهت ایجاد و تشدید ناپایداری‌های متعدد در ابعاد اقتصاد، اجتماع و محیط زیست از یک سو و چند بعدی بودن موضوع حمل‌ونقل (Robinson, Crittenden et al., 2018)، لازم است مورد تحلیل و بررسی جدی و دقیق قرار گیرد.

در بخش حمل‌ونقل شهری، گسترش معضلات ترافیکی در کلان‌شهرها و اثرات منفی بر محیط زیست، منجر به اصلاح روند سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی سامانه‌های حمل‌ونقل در جهت دست‌یابی به پایداری در حمل‌ونقل شده است (Sajjadi; M., Taghavai, 2016:2). بدون تردید، مهمترین سیاست در پیش گرفته شده طی سالیان اخیر، توسعه حمل‌ونقل همگانی و حمل‌ونقل غیر موتوری (شامل پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری) بوده است. لیکن، توسعه ناموزون فرم و ابعاد شهری و عدم توجه به سرمایه‌گذاری زیرساخت‌های حمل‌ونقل همگانی که به واسطه رویکرد خودرومحوری روی داده است، سبب شده تا پیاده‌سازی سیاست‌های انسان‌محور در شهرهای کشور با چالش‌های جدی مواجه شود. از سوی دیگر، با توجه به مواجه بودن اثرات بلندمدت سیاست‌ها بر کاربری زمین و تأثیر بلندمدت آن‌ها بر پندارها و رفتارهای شهروندان، لزوم ارزیابی‌های بلندمدت در این رویکرد ضروری به نظر می‌رسد (Habibian, Ostadi Jafari, 2013). در این خصوص، مطالعات نشان می‌دهد که اگرچه در راستای دست‌یابی به حمل‌ونقل پایدار تاکنون مطالعات متعددی صورت گرفته، لیکن بررسی اثر بلندمدت سیاست‌های مدیریتی و طرح‌های حمل‌ونقلی بر روی جامعه در افق زمانی بلندمدت، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. توسعه سریع و صنعتی شهرهای بزرگ دنیا (اعم از توسعه یافته و در حال توسعه) و گستردش و توسعه ناموزون بی‌رویه و پراکنده‌رویی آنها در دهه‌های اخیر، بر مشکلات و پیچیدگی‌های زندگی شهری افزوده است. این عوامل سبب شده تا تعداد قابل توجهی از شهرهای بزرگ دنیا و نقاط جمعیتی حومه‌ای آنها، به تدریج ویژگی زیست‌پذیری خود را از دست بدهند (Habibian and Ostadi Jafari, 2013).

در این میان، یکی از عمده‌ترین چالش‌ها و مسأله‌های شهرها، خودرومحوری و در مقابل، فقدان فضاهای قابل پیاده‌روی در آنهاست که این امر جدای از تشدید معضلاتی از قبیل مخاطرات زیست‌محیطی ناشی از ترافیک، برای سلامتی جسمی و روانی افراد مطلوب نیست. می‌توان این گونه بیان نمود، که شهرها درگذشته از قابلیت پیاده‌مداری بالایی برخوردار بوده، لیکن امروزه عدم حضور پیاده در فضاهای محله‌ای و کاهش قابلیت پیاده‌روی محلات، کاهش امنیت، ایمنی و روابط اجتماعی، مشکلات زیست‌محیطی، سلامت عمومی، بی-هویتی فضاهای شهری و افول کیفیت محله را در پی داشته که این موضوع بازگشت و رویکرد مجدد به سرزندگی فضاهای شهری را از دیدگاه عابر پیاده ضرورتی اجتناب‌ناپذیر می‌نمایاند. به بیان دیگر، یکی از ابعاد اصلی توسعه شهرهای پایدار، موضوع حمل‌ونقل پایدار از دیدگاه اجتماعی، زیست‌محیطی، اقتصادی و سلامت عمومی است (Ewing, 2001: 89). در این زمینه، تأثیر چشم‌گیر محیط انسان ساخت در ویژگی‌های سفرهای شهری و نحوه استفاده از گزینه‌های حمل‌ونقل امری اثبات شده است (Frank, 2005: 118). لذا تبیین مفاهیم حمل-ونقل پایدار شهری و پیاده‌مداری و شناسایی روابط میان آنها ضروری به نظر می‌رسد.

**1-1- حمل‌ونقل پایدار شهری**

اگرچه مفهوم حمل‌ونقل پایدار در مطالعات مربوط به برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، مفهومی جدید محسوب می‌شود، لیکن به علت توجه مطالعات متعدد به این موضوع، در سالیان اخیر با اقبال محققین مواجه شده است. از دیدگاه رینسترا[1]، هدف از حمل‌ونقل پایدار، در محدوده قابل قبول نگه داشتن کیفیت محیط زیست و ایمنی کاربران در زمان حال و آینده و بهبود عملکرد اقتصادی و اجتماعی در زمینه حمل‌ونقل است (Habibian and Ostadi Jafari, 2013). ریچاردسون[2] معتقد است که حمل‌ونقل پایدار سیستمی است که در مصرف سوخت، آلاینده‌های وسایل‌نقلیه، ایمنی، تراکم ترافیک و دست‌یابی به اهداف اقتصادی و اجتماعی بصورت چندسطحی عمل می‌نماید و در تمامی این موارد تأمین‌کننده اهداف پایداری در آینده بود، بدون آنکه آیندگان را در تأمین مایحتاجشان به خطر بیاندازد (Rasafi and Ostadi Jafari, 2013). طبق گزارش مرکز حمل‌ونقل پایدار[3]، سیستم حمل‌ونقل پایدار سیستمی است که: (VTPI, 2010)

الف: امکان دسترسی به نیازهای اساسی را برای افراد به‌صورت ایمن فراهم کند، به‌نحوی که این امکان با سلامتی انسان، حفظ محیط زیست و عدالت بین افراد جامعه و نسل‌های آتی سازگار باشد.

ب: عملی باشد؛ به طوری که انتخاب روش‌های بهره‌برداری حمل‌ونقلی را امکان‌پذیر سازد و در یک اقتصاد نامطمئن، به‌صورت کارآ عمل می‌نماید.

ج: خروجی و مواد زائد را محدود و مصرف منابع تجدیدناپذیر را به حداقل می‌رساند. همچنین استفاده مجدد و بازیافت را به‌کار گرفته و استفاده از منابع زمین و آلودگی صوتی را کاهش می‌دهد.

به طورکلی، حمل‌ونقل پایدار به‌صورت آرمان، هدف و ویژگی توصیف شده است. در این مقاله، حمل‌ونقل پایدار به صورت راهبردی متشکل از مجموعه‌ای از سیاست‌ها و برنامه‌های یکپارچه، پویا و همگرا معرفی شده است، به‌گونه‌ای که توزیع عادلانه و استفاده مؤثر از منابع جهت رفع نیازهای حمل‌ونقل جامعه و نسل‌های آتی را به همراه داشته باشد. بر اساس این تعریف، برنامه‌ریزی جهت دست‌یابی به حمل‌ونقل پایدار باید به‌گونه‌ای صورت گیرد تا کمترین مخاطره را برای نسل‌های آتی به همراه داشته باشد. تعریف این مقاله از پایداری دارای سه ویژگی یکپارچگی، پویایی و همگرایی سیاست‌ها و برنامه‌های حمل‌ونقلی است؛ به ترتیبی که توأمان بودن این ویژگی‌ها، مؤثر بودن و جهت‌دار بودن سیاست‌ها و برنامه‌های حمل‌ونقلی را در پی خواهد داشت. براساس تعریف فوق، توجه به پیاده‌روی و حمل‌ونقل همگانی به عنوان اصلی‌ترین راهکارهای حمل‌ونقل پایدار شهری تلقی می‌شود. در این خصوص، والتر هوک در کتاب«شهرهای ما متعلق به ماست»، 10 اصل را که لازمه حمل‌ونقل پایدار در زندگی شهری است را به صورت زیر بیان نموده است (VTPI, 2010):

- اصل اول: ایجاد فضاهای مناسب پیاده‌روی
- اصل دوم: ایجاد محیطی مناسب برای دوچرخه‌سواران و سایر وسایل‌نقلیه غیر موتوری
- اصل سوم: حمل‌ونقل همگانی کم‌هزینه و گسترده
- اصل چهارم: مدیریت سفرها با ایجاد دسترسی برای پیاده و کاهش سرعت وسایل نقلیه
- اصل پنجم: حمل‌ونقل بار و کالا در پاک‌ترین و ایمن‌ترین حالت
- اصل ششم: اختلاط کاربری‌ها یا یکپارچه‌سازی فعالیت‌ها، ساختمان‌ها و فضاها
- اصل هفتم: متراکم‌سازی ساختمان‌ها و پیاده‌محور و حمل‌ونقل همگانی‌محور کردن نواحی شهری
- اصل هشتم: توجه به امتیازات طبیعی، فرهنگی، اجتماعی و تاریخی شهرها
- اصل نهم: کوتاه کردن مسیرهای پیاده‌روی با کوچک کردن بلوک‌های شهری
- اصل دهم: بادوام ساختن و پایدارسازی

**2-1- قابلیت پیاده‌مداری**

به طور کلی، هر سفر با پیاده‌روی آغاز می‌شود و خاتمه می‌یابد و هر کس حداقل عابر پیاده برای بخشی از سفر خود است. پیاده‌روی اغلب تنها راهی است که بسیاری از مردم می‌توانند به فعالیت‌های روزمره دسترسی داشته

باشند، اما با گذر زمان، خیابان‌ها و فضاهای عمومی در اختیار وسایل‌نقلیه قرار گرفت، به‌گونه‌ای که زندگی اجتماعی را از عابران دورتر و دورتر نمود. پیاده‌روی "پایه و اساس شهر پایدار" است و از مزایای اجتماعی، محیطی و اقتصادی برخوردار است (Shamsuddin, Hassan et al., 2018: 166). طی سالیان اخیر، توجه به پیاده‌روی به‌عنوان کلید دست‌یابی به ایمنی جامعه، دسترسی و فراگیری اجتماعی به عنوان یک چالش جدی برای طراحی محیط شهری ظهور کرده است (Evans, 2009)، زیرا بررسی‌ها نشان می‌دهد که دسترسی عابران پیاده در اغلب شهرها به طور پیوسته کاهش یافته است (Forsyth and Southworth, 2008: 31).

بر اساس بررسی منابع علمی مختلف، قابلیت پیاده‌مداری و ابعاد و عوامل آن، در حال رشد و توسعه است، و به همین دلیل هنوز هم در تعریف آن سردرگمی وجود دارد (Mohamadi, M., Kholousi, 2013:14). همانند دیگر اصطلاحات در برنامه‌ریزی و طراحی شهری، مانند "قابلیت زیست‌پذیری" یا "پایداری"، معنای "پیاده-مداری" در حال تغییر است و ظاهرا با هر پیشنهاد جدیدی گسترش می‌یابد. از دیدگاه لسلی و همکارانش، قابلیت پیاده‌مداری "میزان مشخصی از محیط مصنوع ساخته شده و استفاده از زمین که امکان پیاده‌روی به ساکنان را در آن برای گذراندن اوقات فراغت، ورزش یا تفریح، دسترسی به خدمات یا سفر به کار فراهم می‌کند" (Leslie, Coffee et al., 2007: 115). مورا و همکاران، پیاده‌مداری را محیط شهری به صورت دوستانه می‌دانند. بر این اساس، متخصصان برنامه‌ریزی و طراحی شهری می‌بایست پاسخ‌گوی ارتقای کیفی محیط عابر پیاده باشند و از استراتژی و مداخلات راهبردی عینی، مؤثر و جامع در آن حمایت کنند (Moura, Cambra et al., 2017: 283). به منظور ارتقای مفهوم پیاده‌مداری، نظریه «D5» شامل تراکم جمعیت، طراحی، تنوع مقاصد سفر، دسترسی به مقصد و فاصله تا حمل‌ونقل همگانی[4] است، به عنوان معیارهای اساسی اندازه‌گیری فرم شهری پیشنهاد شده است (Frank, Schmid et al., 2005: 118).

از سوی دیگر، عوامل ایجاد تقاضای سفر شامل عوامل فردی، قیمت‌گذاری، شبکه حمل‌ونقل و کاربری زمین می‌شود. در جدول1 میزان ارتباط عوامل محیط مصنوع با عوامل تقاضای سفر نشان داده شده است. بر اساس جدول 1، تنها دسترس‌پذیری است که با تمامی عوامل تقاضای سفر ارتباط بیشینه دارد و عوامل طراحی و حمل‌ونقل همگانی مشخصا با شبکه و کاربری زمین ارتباط بیشینه دارد. همچنین، در جدول 1، ارتباط محیط پیاده‌مدار، پیاده‌مداری و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل سنتی و حمل‌ونقل پایدار شهری با عوامل ایجاد تقاضای سفر نشان داده شده است. نتیجه قابل توجه از این جدول توصیفی، ارتباط مستقیم و بیشینه تمامی موضوعات مذکور با بعد «شبکه حمل‌ونقل» از عوامل ایجاد تقاضای سفر است. بنابراین، در بررسی پیاده‌مداری در حمل‌ونقل پایدار شهری در بخش‌های آتی این مقاله، بعد شبکه حمل‌ونقل به عنوان اشتراک این دو مفهوم و بعد قیمت-گذاری به‌عنوان افتراق مورد توجه قرار گرفته است. ضمن اینکه از بررسی ابعاد عوامل فردی و کاربری زمین با توجه به محدودیت‌های تحقیق، صرف نظر شده است.

در بررسی مطالعات پیشین، روش‌های متعددی به تحلیل حمل‌ونقل پایدار شهری پرداخته‌اند. این روش‌ها به صورت مقایسه‌ای و مدل‌سازی به ارزیابی کیفی و کمی ابعاد آن در زمینه‌های مختلف بوده است. روش‌های مقایسه‌ای یا شاخص‌مبنا که دارای سابقه بیشتری نسبت به روش‌های مدل‌سازی هستند، تأکید بر انتخاب شاخص‌های مناسب و جمع‌آوری اطلاعات در مقیاس‌های مختلف دارند. این روش‌ها توانایی ارزیابی وضع موجود و روند تغییرات شاخص‌ها در گذشته را داشته، ولی امکان درنظرگیری سیاستگذاری‌ها و برنامه‌های آتی را در بهبود شاخص‌های مطالعه را ندارند. این موضوع در مدل‌های ریاضی حمل‌ونقل محقق شده و در سالیان اخیر مدل-سازی حمل‌ونقل پایدار با پیشرفت بیشتری مواجه شده است (Haghani, Lee et al., 2003).

در میان مدل‌های ریاضی، تاکنون دو رویکرد اساسی استاتیکی و دینامیکی در مدلسازی حمل‌ونقل شهری مورد استفاده قرار گرفته است.

**جدول 1- ارتباط عوامل ایجاد تقاضای سفر با محیط مصنوع، محیط پیاده‌مدار، پیاده‌مداری و حمل‌ونقل پایدار شهری**
**Tab. 1- The relationship between travel demand caused by the built environment, pedestrian-oriented environment, walkability and sustainable urban transportation**

| موضوع / مفهوم | | عوامل اصلی ایجاد تقاضای سفر | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | عوامل فردی | قیمت گذاری | شبکه حمل‌ونقل | کاربری زمین |
| محیط مصنوع (انسان‌ساخت) | تراکم | ○ | ○ | ◉ | ● |
| | تنوع | ○ | ○ | ◉ | ● |
| | طراحی | ◉ | ○ | ● | ● |
| | حمل‌ونقل همگانی | ◉ | ◉ | ● | ◉ |
| | دسترس‌پذیری | ● | ● | ● | ● |
| محیط پیاده‌مدار | | ◉ | ○ | ● | ● |
| برنامه‌ریزی سنتی حمل‌ونقل | | ○ | ● | ● | ◉ |
| برنامه‌ریزی یک‌پارچه حمل‌ونقل و کاربری زمین | | ○ | ● | ● | ● |
| قابلیت پیاده‌مداری | | ● | ○ | ● | ● |
| حمل‌ونقل پایدار شهری | | ● | ● | ● | ● |

○ اثر بیشینه بر عوامل مؤثر بر تقاضای سفر
◉ اثر متوسط بر عوامل مؤثر بر تقاضای سفر
● اثر کمینه بر عوامل مؤثر بر تقاضای سفر

مدل‌سازی استاتیکی یا سنتی مرسوم در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دارای چندین ضعف اساسی در مقایسه با روش دینامیکی است. ابتدا اینکه در زمان اجرای مدل، اثر متقابل میان عوامل مؤثر و هم راستای مدل بر یکدیگر در نظر گرفته نمی‌شود (Sterman, 2000: 75). نگاه دقیق‌تر به این مشکل، بیانگر عدم ارتباط‌دهی میان حمل‌ونقل و فرم شهری بوده، به گونه‌ای که در مدل‌های سنتی فرض بر تعادل این سیستم‌ها است، در حالی که فرض بهتر ارتباط میان زیر مجموعه‌های این سیستم‌ها به صورت بازخوردی است.

ضعف دیگر مدل‌های استاتیکی عدم قابلیت شبیه‌سازی تمامی عوامل مؤثر بر متغیرهای مدل به صورت همزمان است. این مشکل در مدل‌های پویا برطرف شده و به صورت نقطه به نقطه این پیش‌بینی‌ها برای آینده انجام می‌شود (Fontoura, Chaves et al.,2019). طی چندین دهه اخیر، مدل‌های متعددی با الگوی پویایی سیستم تلاش برای نمایش چگونگی رفتار و عملکرد سیستم‌های مختلف داشته‌اند (Chi-Chung TAO, Chia-Chi, 2003: 28). برحسب توفیق این مدل‌ها در میزان دقت خروجی‌ها، پیش‌بینی رویدادهای آینده و میزان جامع-نگری آنها در انتخاب متغیرهای مؤثر بر سیستم، توجه

به استفاده از آن در سطوح مختلف بیشتر بوده است. مدل‌های پویایی سیستم که تاکنون جهت ارزیابی حمل‌ونقل به‌کار رفته، بیشتر به ابعاد کلی پایداری ناشی از حمل‌ونقل پرداخته و موضوع ارزیابی پیاده‌مداری در این مدل‌ها به صورت مشخص مورد توجه قرار نگرفته است. از طرف دیگر، متغیرهای استفاده شده در این مدل‌ها محدود بوده، به‌طوری که بسیاری از عوامل مؤثر در حمل‌ونقل پایدار و پیاده‌مداری در نظر گرفته نشده است (Rasafi and Ostadi Jafari, 2014).

در این مقاله، تلاش شده تا ضمن بیان مفهوم قابلیت پیاده‌مداری و جایگاه آن در سیاست‌های حمل‌ونقل پایدار شهری، به ارزیابی اثرات بلندمدت اتخاذ این سیاست در ایجاد و استمرار پایداری کلان‌شهر بپردازد. با این وصف، این مقاله در چهار بخش تنظیم شده که ابتدا پس از بیان مقدمه و مرور منابع مرتبط با مفاهیم حمل-ونقل پایدار شهری، قابلیت پیاده‌مداری و ارتباط عوامل مؤثر در هر یک با یکدیگر و سایر موضوعات نزدیک به آنان مانند محیط مصنوع و برنامه‌ریزی یکپارچه حمل-ونقل و کاربری زمین مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در ادامه، در بخش روش تحقیق، به منظور مدل‌سازی حمل‌ونقل شهری و ارتباط آن با قابلیت پیاده‌مداری از نرم‌افزار ونسیم[5] استفاده شده است. مدل حمل‌ونقل شهری بر اساس اطلاعات سال‌های 1375 الی 1390 برای شهر مشهد پرداخت و پس از اعتبارسنجی، در تدوین افق 20 ساله برای برنامه‌ریزی بلندمدت مورد توجه قرار گرفته است. در ادامه، ضمن ارائه شاخص‌های ارزیابی سطح پایداری در حمل‌ونقل، سیاست‌های نافذی که می‌تواند سبب بهبود این شاخص‌ها در دوره بلندمدت گردد، ارائه شده است. در بخش نهایی مقاله، این سناریوها مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند و در نهایت، بهترین سناریوها به ترتیب اولویت برای دست‌یابی به سیاست-گذاری حمل‌ونقل پایدار شهری در سال 1410 ارائه شده است.

## 2- روش تحقیق

مطالعه و بررسی به منظور تبیین اثرگذاری قابلیت پیاده‌مداری بر سیاست‌گذاری حمل‌ونقل پایدار شهری نیازمند جامع‌نگری در برنامه‌ریزی و مطالعه است. با توجه به موضوع اصلی مبنای تحقیق که موضوعی چند وجهی است، روش‌شناسی تحقیق نیز باید با توجه کافی به این مهم انتخاب شود. از نظر «نوع پژوهش»، از آنجایی که این پژوهش در یک محیط زنده و پویا انجام می‌گیرد، و هدف نهایی تحقیق طراحی پویایی سیستم و شناسایی اثرگذاری قابلیت پیاده‌مداری بر سیاست گذاری حمل‌ونقل پایدار است، از نوع تحقیقات کاربردی[6] است؛ به‌گونه‌ای که یافته‌های تحقیق می‌تواند برای حل مسائل اجرایی راهگشا باشد. از نظر «شکل پژوهش»، از روش مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای به عنوان ابزار اصلی جمع‌آوری داده‌ها استفاده شده است. از نظر «اهداف پژوهش»، هدف این پژوهش توصیف و تحلیل و تبیین و پیش‌بینی[7] است. بنابراین این تحقیق از نوع تحقیقات توصیفی-تحلیلی است.

در این مطالعه شهر مشهد به عنوان یکی از کلان‌شهرهای ایران جهت سنجش مدل‌سازی ارتباط سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل پایدار شهری و سنجش ارتباط آن با توسعه قابلیت پیاده‌مداری انتخاب شده است. با توجه به روش مورد اشاره در این مقاله، مدل پویایی سیستم برای شهر مشهد توسعه داده شده است. عناصر تشکیل‌دهنده مدل پویایی سیستم شامل متغیرهای مستقل (علت)، متغیرهای وابسته (معلول) و پیکان‌های نشان‌دهنده جهت ارتباط میان علت و معلول است. ارتباط میان این متغیرها سبب تشکیل حلقه‌های بازخوری می‌شود. حلقه‌های بازخوری به دو دسته حلقه‌های بازخوری مثبت و منفی تقسیم می‌شوند.

به طور کلی مراحل ساخت مدل‌های پویایی سیستم شامل سه مرحله ایجاد مدل مفهومی، ترسیم نمودار جریان و بسط و توسعه مدل پویایی سیستم در یکی از نرم‌افزارهای پویایی سیستم است. در محیط نرم‌افزار پویایی سیستم متغیرها به پنج دسته متغیرهای حالت[8]، نرخ[9]، ثابت، کمکی و خارجی (برون‌زا) تقسیم‌بندی می-شود (Sterman, 2000: 110). متغیر حالت نشان دهنده مقدار سطح متغیر در طول زمان و تغییر افزایشی یا کاهشی توسط متغیر نرخ است که در نهایت رفتار پویایی سیستم را در طول زمان مشخص می‌کند. متغیر ثابت در

طول زمان تغییر پیدا نخواهند نمود و متغیر خارجی به صورت مستقل عمل کرده و تحت تأثیر تغییرات متغیرهای درون مدل نیست. مقادیر جدید متغیر حالت بر اساس افزایش یا کاهش تغییرات در دوره آینده به دست می‌آیند. این موضوع در رابطه (1) نمایش داده شده است (Sterman, 2000: 112):

رابطه (1)

$$Z.K = Z.J + (ZRJK - ARJK)(DT)$$

در این رابطه متغیرها به صورت زیر معرفی می‌شوند:

Z.K= مقدار جدید متغیر سطح Z در زمان K (واحد)

Z.J= متغیر سطح Z در زمان J (واحد)

Z.R= نرخ جریان ورودی (زمان/ واحد)

AR= نرخ جریان خروجی (زمان/واحد)

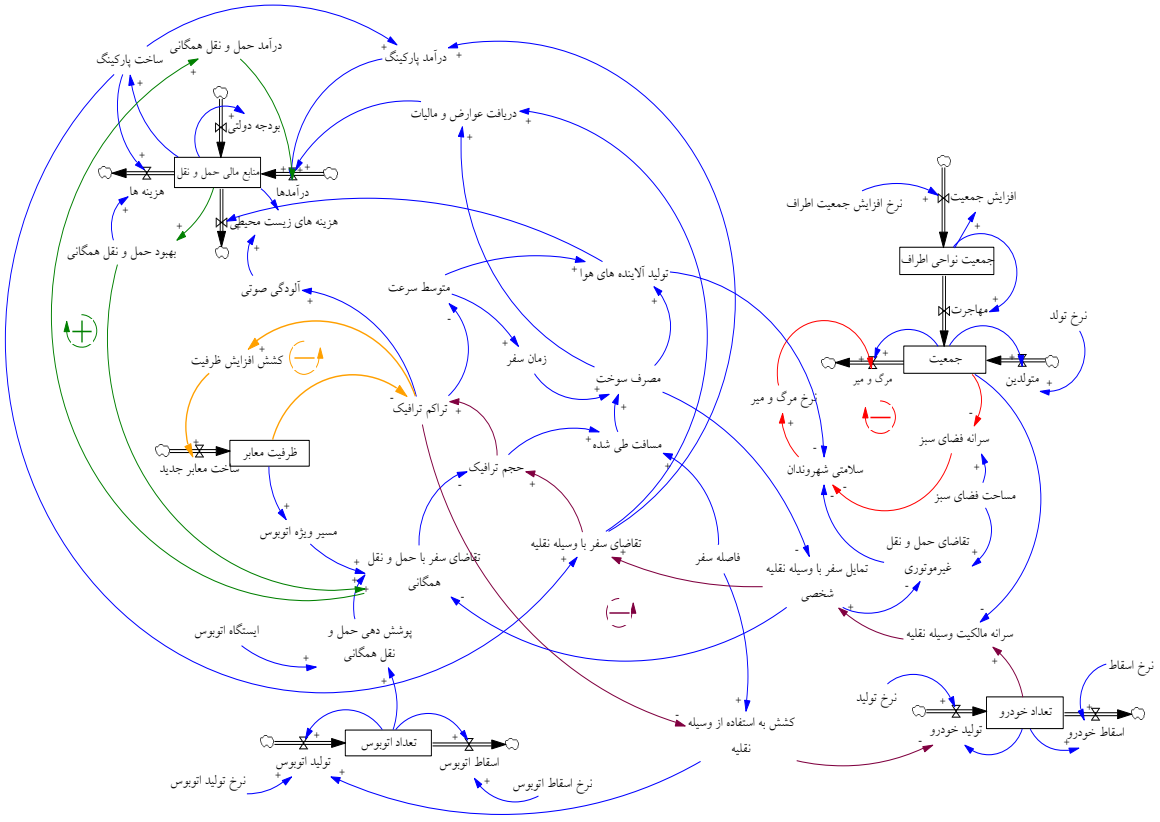
DT= فاصله زمانی میان J و K (زمان)

K و J= زمان حقیقی و قبلی

در ادامه، نمودار جریان (مطابق با شکل 2 برای حمل‌ونقل شهر مشهد طراحی شد. در این مدل، چندین حلقه مثبت و منفی لحاظ شده است. مطابق با شکل 2، حلقه‌های مثبت و منفی متعددی تشکیل‌دهنده ساختار مدل بود که در ادامه به بیان چند نمونه از آن پرداخته شد. حلقه‌های (1) و (4) با قطبیت مثبت و سایر حلقه‌ها دارای قطبیت منفی است.

1.جمعیت (+) ⟵ سرانه مالکیت وسیله‌نقلیه (−) ⟵ تمایل سفر با وسیله‌نقلیه شخصی (−) ⟵ تقاضای حمل‌ونقل غیرموتوری (+) ⟵ سلامتی شهروندان (+) ⟵ نرخ مرگ‌ومیر (−) ⟵ جمعیت (+)

2.جمعیت (+) ⟵ سرانه فضای سبز(−) ⟵ سلامتی شهروندان (−) ⟵ نرخ مرگ‌ومیر(+) ⟵ جمعیت (−)




**شکل 2- نمودار جریان از مدل پویایی سیستم در حمل‌ونقل پایدار شهری (Source: Rasafi and Ostadi Jafari, 2014)**

**Fig. 2- Flow chart of the system dynamics model in sustainable urban transportation**
**(Source: Rasafi and Ostadi Jafari, 2014)**

3.جمعیت (+) ⟵ سرانه مالکیت وسیله‌نقلیه (−) ⟵ تمایل سفر با وسیله نقلیه شخصی (−) ⟵ تقاضای حمل‌ونقل غیر موتوری (+) ⟵ حجم ترافیک (+) ⟵ تراکم ترافیک (+) ⟵ متوسط سرعت (−) زمان سفر (+) ⟵ مصرف سوخت (+) ⟵ تولید آلاینده‌های هوا (+) ⟵ سلامتی شهروندان (−) ⟵ نرخ مرگ‌ومیر (+) ⟵ جمعیت (−)

4.تقاضای سفر با حمل‌ونقل همگانی (+) ⟵ درآمد حمل‌ونقل همگانی (+) ⟵ درآمد حمل‌ونقل (+) ⟵ منابع مالی حمل‌ونقل (+) ⟵ بهبود حمل‌ونقل همگانی (+) ⟵ تقاضای سفر با حمل‌ونقل همگانی (+)

مدل پویایی سیستم حمل‌ونقل شهری در مطالعات پیشین نویسندگان کالیبره و اعتبارسنجی گردیده به گونه‌ای که سال 1390 به عنوان سال پایه و سال 1410 به عنوان افق مطالعه در نظرگرفته شده است (Rasafi and Ostadi Jafari, 2014). در پرداخت و اعتبارسنجی مدل پویایی سیستم متغیرهای جمعیت، تعداد خودرو، تعداد سفر و سهم وسایل نقلیه طی دوره 15 ساله (1375 الی 1390) مورد بررسی و اعتبارسنجی مدل قرار گرفته‌اند.

جهت ارزیابی مناسب سیاست‌های حمل‌ونقل پایدار و پیاده‌مداری، شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست-محیطی مطابق با جدول 2 مشخص شده است. خاطر نشان می‌شود، این شاخص‌ها براساس بررسی کتابخانه‌ای منابع پیشین و توجه به شاخص‌های پایداری در منابع علمی و تعیین فراوانی آنان انتخاب شد. در این خصوص، انتظار می‌رود شاخص‌های مطالعه بتوانند به‌عنوان ابزار عملیاتی مطالعه وضعیت سناریوهای تحقیق را در مدل نمایش دهد. بر اساس جدول 2، تعداد 3 شاخص اقتصادی، 2 شاخص اجتماعی، 5 شاخص زیست‌محیطی و 4 شاخص حمل‌ونقلی و در مجموع 14 شاخص جهت ارزیابی پیاده‌مداری و حمل‌ونقل پایدار پیشنهاد شد.

**جدول 2- شاخص‌های منتخب جهت ارزیابی حمل‌ونقل پایدار شهری**
**Tab. 2- Selected indicators for assessing sustainable urban transportation**

| رویکرد | شماره | شاخص | واحد | اثر شاخص |
|---|---|---|---|---|
| اقتصادی | 1 | ارزش ریالی زمان تلف شده مسافران ناشی از تأخیر وسایل‌نقلیه | ریال | − |
| | 2 | نسبت خسارت‌های زیست‌محیطی به درآمدهای سالیانه حمل‌ونقل | _ | − |
| | 3 | خسارت سالیانه جبران نشده در بخش حمل‌ونقل | ریال | − |
| اجتماعی | 4 | امکان دسترسی به حمل‌ونقل همگانی | دقیقه | + |
| | 5 | تعداد سوانح سالیانه منجر به مرگ‌ومیر به مجموع سفرها | تصادف به سفر | − |
| محیط زیست | 6 | سطح آلودگی صوتی در مناطق شهری | دسی بل | − |
| | 7 | مصرف سالیانه گازوئیل به تعداد خودروی گازوئیل سوز | لیتر به وسیله نقلیه | − |
| | 8 | مصرف سالیانه بنزین به تعداد خودروی بنزین سوز | لیتر به وسیله نقلیه | − |
| | 9 | تولید سالیانه آلاینده NOX به مساحت منطقه | کیلوگرم به هکتار | − |
| | 10 | تولید سالیانه آلاینده CO به مساحت منطقه | کیلوگرم به هکتار | − |
| حمل‌ونقلی | 11 | سهم حمل‌ونقل همگانی به حمل‌ونقل شخصی | درصد | + |
| | 12 | میانگین تراکم ترافیک در شهر | وسیله نقلیه بر کیلومتر | − |
| | 13 | متوسط زمان سفر روزانه | دقیقه | − |
| | 14 | تعداد مسافر جابه‌جا شده روزانه | نفر | + |

## 3- نتایج و بحث

به منظور ارزیابی مدل پویایی سیستم حمل‌ونقل پایدار در شهر مشهد، تعداد 5 سناریو بر اساس 3 گروه کلی (استراتژی) بررسی شده است. این استراتژی‌ها که در جدول 3 نشان داده شده است، شامل موارد زیر می‌شود:

- استراتژی یک: قیمت‌گذاری سامانه‌ها و تسهیلات حمل‌ونقل
  - سناریوی 1: قیمت‌گذاری حمل‌ونقل همگانی و حمل‌ونقل شخصی
  - سناریوی 2: استفاده بهینه از ظرفیت پارکینگ از طریق قیمت‌گذاری آن
- استراتژی دو: توسعه حمل‌ونقل غیر موتوری
  - سناریوی 3: توسعه شبکه پیاده‌رو و زیرساخت‌های پیاده‌روی
  - سناریوی 4: توسعه شبکه دوچرخه و زیرساخت‌های دوچرخه‌سواری
- استراتژی سه: توسعه حمل‌ونقل همگانی
  - سناریوی 5: بهبود مطلوبیت حمل‌ونقل همگانی نسبت به حمل‌ونقل شخصی

استراتژی‌ها و سناریوهای فوق، براساس بررسی منابع علمی انتخاب شده، به گونه‌ای که انتظار می‌رود این سناریوها بتوانند اثرات بلندمدت انتخاب سیاست‌ها و تصمیم‌گیری‌ها را در سیستم حمل‌ونقل پایدار و توجه به رویکرد پیاده‌مداری جهت بهبود شرایط پایداری را نشان دهند.

در ادامه، مقادیر در نظرگرفته شده برای هر سیاست و سناریو، در مدل پویایی سیستم و نرم‌افزار ونسیم به عنوان متغیر برون‌زا طی پنج حالت کمینه (کمترین مقدار عددی درنظرگرفته شده برای هر آیتم سیاستی)، انتقالی (تعداد سه مقدار عددی برای هر آیتم سیاستی) و بیشینه (بیشترین مقدار عددی درنظرگرفته شده برای هر آیتم سیاستی) وارد شده است. پس از تحلیل صورت گرفته توسط مدل پویایی سیستم در حمل‌ونقل پایدار شهری، مقادیر شاخص‌های 14 گانه در سال پایه و افق طرح محاسبه گردیده است. در جدول 4 مقادیر شاخص‌های مطالعه در سال 1410 در 5 سناریو و گزینه عدم انجام کار و حفظ وضع موجود ارائه شده است.

سیاست‌های مندرج در جدول 3، متغیرهای نرخ، ثابت و یا برونزا در مدل پویایی سیستم است که با در نظرگیری مقادیر مختلف مطابق با هر سناریو، سبب تغییر شاخص‌های مطالعه در افق‌های زمانی مختلف می‌شوند.

با توجه به تفاوت ابعاد مربوط به هر شاخص و لزوم تحلیل یکپارچه برای تمامی شاخص‌ها، تحلیل سناریوها و تعیین سناریوی برتر، بر اساس روش بی‌بعد نمودن شاخص‌های تصمیم‌گیری نسبت به مقدار همان شاخص در وضع موجود انجام شد. در این روش، توجه به مثبت یا منفی بودن هر شاخص شده، به گونه‌ای که در شاخص‌های مثبت، مقدار هر سناریو به مقدار متناظر در وضع موجود در سال 1410 تقسیم و در شاخص‌های منفی نسبت معکوس این موضوع لحاظ شد. در ادامه مقدار متوسط مربوط به شاخص‌ها در هر سناریو در جدول 4 گزارش شده است. بر اساس این جدول، سناریوی 1 با شاخص نسبی میزان بهبود پایداری به میزان 1.276 و سناریوی 5 با شاخص نسبی میزان بهبود پایداری به میزان 1.201 محاسبه شد. به این ترتیب، سناریوهای برتر مشخص شده که می‌توان آن را در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل پایدار به‌کارگیری نمود.

در نهایت، مطابق با جدول 4، با مقایسه نتایج شاخص‌های مطالعه در سناریوهای پیشنهادی، به ترتیب سناریوهای ذیل به عنوان سناریوهای برتر جهت الگوی بهینه سیاست‌گذاری در حمل‌ونقل پایدار است:

- اولویت اول: قیمت‌گذاری حمل‌ونقل همگانی و حمل‌ونقل شخصی (سناریوی 1)
- اولویت دوم: بهبود مطلوبیت حمل‌ونقل همگانی نسبت به حمل‌ونقل شخصی (سناریوی 5)
- اولویت سوم: استفاده بهینه از ظرفیت پارکینگ مناطق ازطریق قیمت‌گذاری (سناریوی 2)
- اولویت چهارم: توسعه شبکه پیاده‌رو و زیرساخت‌های پیاده‌روی (سناریوی 3)
- اولویت پنجم: توسعه شبکه دوچرخه و زیرساخت‌های دوچرخه‌سواری (سناریوی 4)

**جدول 3- سناریوهای مطالعه برای سنجش حمل‌ونقل پایدار و پیاده‌مداری در شهر مشهد**

**Tab. 3- scenarios for assessing sustainable transport and walkability in Mashhad**

| استراتژی | سناریو | سیاست(ها) | مقدار اولیه | واحد | بازه تغییرات | | سناریوها | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | max | min | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| قیمت گذاری سامانه‌ها و تسهیلات حمل‌ونقل | بالا بردن مطلوبیت هزینه سفر با حمل-ونقل همگانی نسبت به حمل‌ونقل شخصی | قیمت بلیط اتوبوس | 300 | ریال | 1000 | 200 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 |
| | | ضریب افزایش یا کاهش کرایه تاکسی | 1 | _ | 1.3 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 1.1 | 1.2 | 1.3 |
| | | هزینه مالیات و بیمه اتومبیل شخصی در یک کیلومتر | 600 | ریال | 1000 | 500 | 500 | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| | | هزینه مالیات و بیمه موتورسیکلت در یک کیلومتر | 100 | ریال | 500 | 50 | 50 | 200 | 300 | 400 | 500 |
| | | هزینه سوخت اتومبیل شخصی در یک کیلومتر | 320 | ریال | 600 | 200 | 200 | 250 | 400 | 500 | 600 |
| | | هزینه سوخت موتورسیکلت در یک کیلومتر | 200 | ریال | 350 | 100 | 100 | 150 | 250 | 300 | 350 |
| | | هزینه ساعتی پارک حاشیه‌ای | 2000 | ریال | 3000 | 500 | 500 | 1000 | 2000 | 2500 | 3000 |
| | | هزینه ساعتی پارک غیر حاشیه‌ای | 3000 | ریال | 6000 | 1000 | 1000 | 2000 | 4000 | 5000 | 6000 |
| | | شماره سناریو | | | | | 1_1 | 1_2 | 1_3 | 1_4 | 1_5 |
| | استفاده بهینه از ظرفیت پارکینگ مناطق از طریق قیمتگذاری آن | هزینه ساعتی پارک حاشیه‌ای | 2000 | ریال | 3000 | 500 | 500 | 1000 | 2000 | 2500 | 3000 |
| | | هزینه ساعتی پارک غیر حاشیه‌ای | 3000 | ریال | 6000 | 1000 | 1000 | 2000 | 4000 | 5000 | 6000 |
| | | امکان تأمین زمین به ساخت پارکینگ غیر حاشیه‌ای | 0.3 | _ | 0.45 | 0.2 | 0.2 | 0.25 | 0.35 | 0.4 | 0.45 |
| | | شماره سناریو | | | | | 2_1 | 2_2 | 2_3 | 2_4 | 2_5 |
| توسعه حمل‌ونقل غیرموتوری | توسعه شبکه پیاده‌رو و زیرساخت‌های پیاده‌روی | تغییر شیوه سفر به پیاده‌روی | 0.05 | _ | 0.3 | 0.05 | 0.1 | 0.15 | 0.2 | 0.25 | 0.3 |
| | | هزینه سوخت اتومبیل شخصی در یک کیلومتر | 320 | ریال | 600 | 200 | 200 | 250 | 400 | 500 | 600 |
| | | هزینه سوخت موتورسیکلت در یک کیلومتر | 200 | ریال | 350 | 100 | 100 | 150 | 250 | 300 | 350 |
| | | درصد تخصیص بودجه به توسعه حمل‌ونقل غیرموتوری | 0.3 | _ | 0.6 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 0.6 |
| | | شماره سناریو | | | | | 3_1 | 3_2 | 3_3 | 3_4 | 3_5 |
| | توسعه شبکه دوچرخه و زیرساخت‌های دوچرخه سواری | تغییر شیوه سفر به دوچرخه سواری | 0.05 | _ | 0.3 | 0.05 | 0.1 | 0.15 | 0.2 | 0.25 | 0.3 |
| | | هزینه سوخت اتومبیل شخصی در یک کیلومتر | 320 | ریال | 600 | 200 | 200 | 250 | 400 | 500 | 600 |
| | | هزینه سوخت موتورسیکلت در یک کیلومتر | 200 | ریال | 350 | 100 | 100 | 150 | 250 | 300 | 350 |
| | | درصد تخصیص بودجه به توسعه حمل‌ونقل غیر موتوری | 0.3 | درصد | 0.6 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 0.6 |
| | | شماره سناریو | | | | | 4_1 | 4_2 | 4_3 | 4_4 | 4_5 |
| توسعه حمل‌ونقل همگانی | بهبود مطلوبیت حمل‌ونقل همگانی نسبت به حمل‌ونقل شخصی | درصد تخصیص بودجه به ناوگان حمل‌ونقل همگانی | 0.3 | درصد | 0.6 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 0.6 |
| | | افزایش کیفیت اتوبوس | 5 | _ | 9 | 4 | 4 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| | | افزایش کیفیت تاکسی | 8 | _ | 10 | 7 | 7 | 8.5 | 9 | 9.5 | 10 |
| | | نرخ اسقاط خودرو | 0.002 | درصد | 0.006 | 0.001 | 0.001 | 0.003 | 0.004 | 0.005 | 0.006 |
| | | نرخ اسقاط اتوبوس | 0.005 | درصد | 0.01 | 0.001 | 0.001 | 0.003 | 0.006 | 0.008 | 0.01 |
| | | نرخ تولید خودرو | 0.06 | درصد | 0.12 | 0.03 | 0.03 | 0.045 | 0.075 | 0.095 | 0.12 |
| | | نرخ تولید تاکسی | 0.018 | درصد | 0.06 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 |
| | | نرخ اسقاط تاکسی | 0.002 | درصد | 0.006 | 0.001 | 0.001 | 0.003 | 0.004 | 0.005 | 0.006 |
| | | درصد تخصیص بودجه به توسعه سامانه‌های هوشمند حمل و نقل | 0.1 | درصد | 0.3 | 0.05 | 0.05 | 0.15 | 0.2 | 0.25 | 0.3 |
| | | درصد تخصیص بودجه به افزایش تعداد ایستگاه | 0.1 | درصد | 0.3 | 0.05 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.05 | 0.05 |
| | | درصد تخصیص بودجه به خرید اتوبوس | 0.8 | درصد | 0.9 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.85 | 0.9 |
| | | درصد تخصیص بودجه به توسعه مسیر ویژه اتوبوس | 0.1 | درصد | 0.3 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.05 |
| | | شماره سناریو | | | | | 5_1 | 5_2 | 5_3 | 5_4 | 5_5 |

**جدول 4- نتایج شاخص‌ها در هر سناریو و مقایسه با سناریوی حفظ وضع موجود در افق مطالعه (سال 1410)**

**Tab. 4- Indicators' Results in Each Scenario and Comparison with the do noting Scenario in the Horizon of the study (Year 1410)**

| ردیف | شاخص | حفظ روند | سناریوی 1 | سناریوی 2 | سناریوی 3 | سناریوی 4 | سناریوی 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ارزش ریالی زمان تلف شده مسافران ناشی از تأخیر وسایل نقلیه | 2.64E+10 | 2.22E+10 | 2.22E+10 | 2.52E+10 | 2.55E+10 | 2.22E+10 |
| 2 | نسبت خسارت‌های زیست‌محیطی به درآمدهای سالیانه حمل‌ونقل | 0.663 | 0.442 | 0.459 | 0.637 | 0.636 | 0.646 |
| 3 | خسارت سالیانه جبران نشده حمل- | 6.44E+12 | 5.02E+12 | 5.63E+12 | 6.17E+12 | 6.25E+12 | 4.67E+12 |
| 4 | دسترسی به حمل‌ونقل همگانی | 3.326 | 2.083 | 2.772 | 3.323 | 3.295 | 2.948 |
| 5 | تعداد سوانح منجر به مرگ‌ومیر به مجموع سفرهای با حمل‌ونقل موتوری | 1.15E-05 | 1.15E-05 | 1.15E-05 | 1.15E-05 | 1.15E-05 | 7.89E-06 |
| 6 | سطح آلودگی صوتی در مناطق | 99.871 | 95.559 | 93.098 | 95.946 | 97.29 | 71.108 |
| 7 | مصرف سالیانه گازوئیل به تعداد خودروی گازوئیل‌سوز | 187.5 | 64.93 | 98.399 | 173.808 | 174.43 | 139.111 |
| 8 | مصرف سالیانه بنزین به تعداد خودروی بنزین‌سوز | 176.252 | 167.943 | 168.556 | 174.453 | 174.434 | 166.2 |
| 9 | تولید سالیانه آلاینده NOX به مساحت منطقه | 0.016 | 0.013 | 0.014 | 0.016 | 0.016 | 0.012 |
| 10 | تولید سالیانه آلاینده CO به مساحت منطقه | 0.187 | 0.175 | 0.175 | 0.174 | 0.176 | 0.137 |
| 11 | سهم حمل‌ونقل همگانی به شخصی | 0.482 | 0.484 | 0.489 | 0.495 | 0.495 | 0.496 |
| 12 | میانگین تراکم ترافیک | 1.116 | 1.119 | 1.096 | 1.079 | 1.092 | 1.379 |
| 13 | متوسط زمان سفر | 10.065 | 9.52 | 9.651 | 10.065 | 10.057 | 9.419 |
| 14 | مسافر جابه‌جا شده روزانه | 4.82E+06 | 4.68E+06 | 4.90E+06 | 4.95E+06 | 5.02E+06 | 5.72E+06 |
| شاخص نسبی میزان بهبود سناریوها نسبت به سناریوی عدم اقدام یا حفظ روند موجود | | | 1.276 | 1.164 | 1.032 | 1.029 | 1.201 |

## 4- نتیجه‌گیری

نتایج بررسی شاخص‌های پایداری در افق 20 ساله نشان می‌دهد که اگرچه سیاست توسعه شبکه و زیرساخت‌های پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری در مقایسه با سناریوی حفظ وضع موجود بهبود نسبی داشته باشند، لیکن بنا به دلایلی از قبیل اثرگذاری بیشتر سیاست‌های محدودکننده و قیمت‌گذاری بر کاهش استفاده از خودروی شخصی در میان شهروندان، ضروری است توجه به مقوله حمل‌ونقل پایدار به صورت توأمان در نظرگیری سیاست‌های پیاده‌مداری و قیمت‌گذاری انجام گیرد.

یکی از نیازهای ضروری متولیان حمل‌ونقل، پایش میزان اثرگذاری برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های حمل‌ونقلی جهت دست‌یابی به حمل‌ونقل پایدار شهری محسوب می‌شود. از سوی دیگر، اهمیت این مسأله با درنظرگیری عدم شناخت کافی نسبت به وضعیت موجود و در پی آن پیچیده‌تر شدن گره پایداری در آینده کلان‌شهرها دوچندان است. بنابراین، شناخت صحیح و دقیق وضع موجود و پیش‌بینی آینده بسیار حایز اهمیت است. در این میان، در نظرگیری جایگاه سیاست‌های مختلف

پیاده‌مداری از جمله توسعه حمل‌ونقل غیر موتوری در میان سایر سیاست‌های حمل‌ونقل پایدار شهری حایز اهمیت است. در این مقاله تلاش شده با استفاده از روش پویایی سیستم، ابعاد مختلف موضوع حمل‌ونقل پایدار شامل اقتصاد، اجتماع، محیط زیست و حمل‌ونقل و ارتباط توامان آنان برای سال پایه و افق طرح (سال 1410) با استفاده از نرم‌افزار ونسیم مدل‌سازی شود. با توجه به روش مورد اشاره در این مقاله، مدل پویایی سیستم برای شهر مشهد به عنوان مطالعه موردی توسعه داده شده است. جهت ارزیابی مدل پویایی سیستم حمل‌ونقل پایدار در شهر مشهد، تعداد 5 سناریو بر اساس 3 گروه کلی (استراتژی) بررسی گردیده است. در ادامه، جهت ارزیابی سیاست‌های مطالعه از روش بی‌بعد نمودن شاخص‌های تصمیم‌گیری شامل 14 شاخص، استفاده شده است.

نتایج مطالعه نشان می‌دهد که قیمت‌گذاری حمل‌ونقل همگانی و شخصی با میزان اثر 28 درصد، بهبود مطلوبیت حمل‌ونقل همگانی نسبت به حمل‌ونقل شخصی با میزان اثر 20 درصد، استفاده بهینه از ظرفیت پارکینگ مناطق از طریق قیمت‌گذاری با میزان اثر 16 درصد و توسعه شبکه پیاده‌رو و زیرساخت‌های پیاده‌روی و دوچرخه-سواری با میزان اثر 3 درصد در مقایسه با سایر سناریوها دارای اولویت است. این موضوع بیانگر این است که میزان اثرگذاری سیاست‌های محدودکننده در مقایسه با سیاست‌های تشویقی در بهبود شاخص‌های پایداری با اولویت بیشتری همراه بود و به جهت کاهش سهم استفاده از خودروی شخصی در سفرهای روزانه مؤثرتر عمل می‌نماید. خاطر نشان می‌شود، در برخی منابع پیشین بررسی شده، بهبود اثر سیاست‌های محدودکننده نسبت به تشویقی، به طور مشخص ذکر شده است (Rasafi and Ostadi Jafari, 2014). به این معنا که در صورتی سیاست‌های تشویقی توسعه پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری می‌تواند بهبود قابل توجهی در شاخص-های پایداری را به همراه داشته باشد که به صورت توأمان با اتخاذ سیاست‌های محدودکننده و افزایش قیمت استفاده از خودروی شخصی پیاده شوند.

بدون تردید، نتایج حاصل از این مطالعه در شهر مشهد و با توجه به الگوهای رفتاری و عملکردی شهروندان و ویژگی زیارتی و توریستی مشهد بود و در صورت بررسی این موضوع در سایر شهرها ممکن است نتایج دیگری حاصل شود. نکته مهم روش انتخابی در این مقاله، بررسی بلند مدت نتایج سیاست‌ها و تصمیم‌گیری‌ها و انتخاب بسته‌های سیاستی بود که این موضوع می‌تواند با توجه به در دستور کار قرارگیری اقتصاد مقاومتی و صرف هزینه در بیشترین بازدهی و کارآیی، در سایر شهرها مورد استفاده قرار گیرد.

## پی‌نوشت

[1] Rienstra
[2] Richardson
[3] The Center for Sustainable Transportation (CST)
[4] Population Density, Design, Diversity of destinations, Destination accessibility, and Distance to transit
[5] Vensim
[6] Applied Research
[7] Forecasting
[8] State
[9] Rate

## منابع

Chi-Chung, T., Chia-Chi, H. (2003). A Comparative Approach of the Quantitative Models for Sustainable Transportation, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 5, October.

Ewing, R., Cervero, R. (2001). Travel and the built environment: a synthesis. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board (1780), 87-114. http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.710.1517andrep=rep1andtype=pdf

Fontoura, W. B., G. d. L. D. Chaves and G. M. Ribeiro (2019). The Brazilian urban mobility policy: The impact in São Paulo transport system using system dynamics. Transport Policy 73: 51-61. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967070X17302354.

Forsyth, A. Southworth, M. (2008). Cities afoot—Pedestrians, walkability and urban design, Taylor and Francis. https://www.researchgate.net/publication/248992187_Cities_Afoot-Pedestrians_Walkability_and_Urban_Design.

System Models (Case Study: Mashhad), Journal of Urban Management, 11 (31), Spring and Summer, 11 - 31.
https://www.sid.ir/fa/journal/JournalListPaper.aspx?ID=43335.

Ostadi Jafari, M., Rasafi, A. A., (2014), The Effectiveness of Long-Term Consequences of Transport Policies on Improving Sustainability Indices Using System Dynamics Models (Case Study: Mashhad), First International Conference on Technology, Environmental Science and Engineering, May, Tehran.

Robinson, C., J. Crittenden, Z. Lu and R. Fujimoto (2018). Toward a common object model for integrated transportation and land use models. Proceedings of the Annual Simulation Symposium, Society for Computer Simulation International.
https://dl.acm.org/citation.cfm?id=3213037.

Sajjadi; M., Taghavai, M,, (2016). Evaluation and Analysis of Urban Sustainable Transport Indicators, Journal of Sustainable Architecture and Urban Design, 4 (1), Spring and Summer, pp. 1-18.
http://jsaud.sru.ac.ir/article_656_b70b22837499142f1d4864afc333802c.pdf.

Shamsuddin, S., N. R. A. Hassan and S. F. I. Bilyamin (2018). Walkable in Order to be Liveable. Journal of Asian Behavioural Studies 3(7): 165-172.
https://pdfs.semanticscholar.org/9c7e/f7999614ee7fae83aa75984434ced2983588.pdf.

Soltani, A., Fallah Mashhadi, A., (2013). Integrating the Transport System Solution to Achieve Sustainable Transportation, Case Study of Shiraz Metropolis, Urban Studies, 2 (5), Winter, 47-60.

Sterman, J. D. (2000). Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world.
Victoria Transport Policy Institute (VTPI), (2010). Sustainable Transportation and TDM, Planning That Balances Economic, Social and Ecological Objectives, May.

Wann-Ming, W. (2018). Sustainable Urban Transportation Planning Strategies for Improving Quality of Life under Growth Management Principles. Sustainable Cities and Society 44.
http://www.projechi.com/wp-content/uploads/2018/10/10.1016@j.scs_.2018.10.015.pdf.

Frank, L. D., T. L. Schmid, J. F. Sallis, J. Chapman and B. E. Saelens (2005). Linking objectively measured physical activity with objectively measured urban form. American journal of preventive medicine 28(2): 117-125.

Habibian, M., Ostadi Jafari, M., 2013, Assessing The Role of Transportation Demand Management Policies on Urban Air Pollution: A Case Study of Mashhad, Iran", U.S.-Iran Symposium on Air Pollution in Megacities, National Academies of Sciences and Engineering, Beckman Center in Irvine, CA, 3-5th Sep, USA.

Haghani, A., S. Y. Lee and J. H. Byun (2003). A system dynamics approach to land use/transportation system performance modeling part I: Methodology. Journal of advanced transportation 37(1): 1-41.
https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/atr.5670370102.

Leslie, E., N. Coffee, L. Frank, N. Owen, A. Bauman and G. Hugo (2007). Walkability of local communities: using geographic information systems to objectively assess relevant environmental attributes. Health and place 13(1): 111-122.
http://www.ipenproject.org/documents/publications_docs/LESLIE%20Walkability%20HandP_2007.pdf.

Moura, F., P. Cambra and A. B. Gonçalves (2017). Measuring walkability for distinct pedestrian groups with a participatory assessment method: A case study in Lisbon. Landscape and Urban Planning 157: 282-296.
http://isiarticles.com/bundles/Article/pre/pdf/81722.pdf.

Mohamadi, M., Kholousi, A., H., (2013). Developing the Critical Criteria for Improving the Walkability for Promoting the Social Sustainability of Neighborhoods, the case of Chizar, journal of Sustainable Architecture and Urban Design, 1 (2), Fall and Winter, 13-27.
http://jsaud.sru.ac.ir/article_173_a35ff5858e3dba7e2609583763d0dbf4.pdf.

Ostadi Jafari, M., Rasafi, A. A., (2012). An Environmental Pattern for Sustainable Urban Transportation Planning Using a Dynamics System Model, Journal of Environmental Science and Technology (JEST), 14 (3), Fall, 11-28.
http://jest.srbiau.ac.ir/article_1699_d0e7deb6dca0a9694dfa4773f2927bf2.pdf.
Ostadi Jafari, M., Rasafi, A. A., (2013). Evaluation of Sustainable Development Policies in Urban Transport Sector Using Dynamics