



### شناسایی عوامل تاثیرگذار بر جذابیت مترو در حمل و نقل عمومی از سفرهای درون شهری و افزایش سهم آن با استفاده از پویایی شناسی سیستمها (مورد مطالعه: سازمان حمل و نقل ریلی درون شهری مشهد)

پروانه افتخاری<sup>۱</sup>

دانشجوی ارشد مدیریت صنعتی دانشگاه فردوسی

دکتر مصطفی کاظمی<sup>۲</sup>

هیئت علمی دانشکده علوم اداری و اقتصاد دانشگاه فردوسی

دکتر علیرضا پویا<sup>۳</sup>

هیئت علمی دانشکده علوم اداری و اقتصاد دانشگاه فردوسی

#### چکیده

هدف پژوهش حاضر بهبود سیستم حمل و نقل ریلی (مترو) مشهد می‌باشد. در این پژوهش، برای اولین بار، سیستم حمل و نقل ریلی (مترو) به صورت جداگانه با رویکرد پویایی شناسی سیستمها مورد بررسی قرار گرفته‌است. با توجه به این که تغییرات متغیرهای مربوط به سیستم حمل و نقل ریلی (مترو) با زمان معنا پیدا می‌کند بنابراین استفاده از پویایی شناسی سیستمها برای رسیدن به هدف پژوهش، بهترین روش موجود می‌باشد. در پژوهش حاضر متغیرها پس از تایید خبرگان در طراحی مدل علی-حلقوی به کار گرفته شد و پس از آن مدل انباشت به کمک مدل علی-حلقوی ارائه و فرموله شد. مدل سازی در افق زمانی ۷ سال، از سال ۱۳۹۳ الی ۱۳۹۹، در دوره‌های فصلی (۲۷ دوره) انجام گرفت و بر اساس مدل طراحی شده شبیه سازی از سال ۱۳۹۹ الی ۱۴۰۸ انجام و دو سناریو افزایش بودجه کل بهبود و کاهش بودجه بهبود کل و دو سیاست بودجه‌ای تعریف شد. نتیجه گیری و تحلیل سیاستها نشان داد که سیاست برتر، افزایش ۰٫۱ درصدی ضریب بودجه کیفیت فیزیکی و فنی در ازای کاهش ۰٫۱ درصدی ضریب بودجه هوشمندسازی می‌باشد و اجرای همزمان این سیاست با سناریوها موجب افزایش استفاده از مترو (در حالت خوش بینانه و بدبینانه) می‌شود.

کلمات کلیدی: پویایی شناسی سیستمها، حمل و نقل عمومی، تقاضای سفر با مترو، استفاده از مترو

<sup>۱</sup>)Parvaneh\_eftekhari@yahoo.com

<sup>۲</sup>)Kazemi@um.ac.ir

<sup>۳</sup>)Alirezapooya@gmail.com



### مقدمه

در پی افزایش چشمگیر جمعیت و افزایش فاصله بین فعالیت‌ها و محل زندگی (این فعالیت‌ها با هدف کار، خرید، آموزش، تفریح و غیره هستند که برای انجام این امور، مسافران از وسایل سفر مختلف و گاهی از چند وسیله سفر در یک سفر از مبدا تا مقصد استفاده می‌کنند (گریزی و وان دن برت<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸)) افزایش تقاضا برای استفاده از وسایل حمل و نقل ایجاد می‌شود (نجفی و معاونی، ۱۳۹۴). وسایل حمل و نقل شامل وسیله نقلیه شخصی، که به عنوان ابزاری برای دستیابی سریع‌تر به کاربری‌ها و فعالیت‌های اجتماعی مطرح است و ضمن آن که از مشکلات جدی در شهرهای بزرگ نیز به شمار می‌رود (انجمن منابع جهانی<sup>۲</sup>، ۱۹۹۶) و حمل و نقل عمومی که شامل اتوبوس، ون، مترو و تاکسی می‌باشد. در واقع ترویج استفاده از مترو به جای بهره‌گیری از خودرو شخصی، عملی‌ترین و مؤثرترین راه‌حل برای کاهش معضلات ترافیکی درون شهری است (تزار و صفارزاده، ۱۳۸۷).

سامانه‌های حمل و نقل ریلی (مترو) یکی از الگوهای حمل و نقل پایدار در شهرها هستند که در مقایسه با خودروهای شخصی، دارای مزیت‌هایی می‌باشند که عبارت‌اند از: ایمنی بسیار بالا، راحتی و آسایش مسافران، عدم وجود ترافیک، کاهش مصرف انرژی، سرعت مناسب، عدم استفاده از سوخت‌های فسیلی، هزینه‌های پایین حمل مسافر، کاهش هزینه رفت و آمد و نداشتن دغدغه یافتن پارکینگ برای اتومبیل، کمک به پاکسازی هوای شهر و زیبا سازی ظاهر شهر (که در جوامع مدرن و امروزی بیشتر از گذشته مورد توجه قرار گرفته است).

حمل و نقل ریلی شهر مشهد با وجود این که نسبت به شهر تهران پوشش‌دهی کمتری داشته‌است و بسیار جای پیشرفت دارد، اما باز هم کاربرد و اهمیت فراوانی برای شهروندان داشته و می‌توان گفت سهولت در جابجایی را برای افراد به ارمغان آورده است. با وجود مزایایی که مترو (نسبت به حمل و نقل شخصی و نسبت به سایر مدهای حمل و نقل عمومی) دارد، سهم و میزان استفاده از آن درصد پایینی داشته و هنوز افراد بسیاری هستند که اهمیت استفاده از مترو را درک نکرده و یا نسبت به آن بی توجه می‌باشند.

بنابراین یافتن راه‌کارهایی که نتیجه آن ترغیب هر چه بیشتر افراد به سمت استفاده از حمل و نقل ریلی (مترو) باشد، حائز اهمیت است، در نتیجه ضروری است که به حمل و نقل ریلی، بیشتر توجه شود. در تحقیق حاضر به بررسی عوامل مؤثر بر ارتباط بین متغیرها و ارائه سیاست‌هایی برای افزایش تقاضای استفاده از مترو پرداخته شده‌است.

### اهداف انجام پژوهش

اهداف پژوهش طراحی مدل دینامیکی به منظور شناسایی عوامل تأثیرگذار بر سهم حمل و نقل همگانی (مترو) از سفرهای درون شهری، شناسایی عوامل مؤثر بر استفاده از مترو در شهر مشهد، طراحی مدل علی-حلقوی (ارتباط بین عوامل و متغیرها) و مدل انباشت و جریان سیستم استفاده از مترو (شهر مشهد)، شبیه‌سازی مدل رفتاری در افق زمانی، شناسایی و ارائه سیاست‌هایی برای بهبود رفتار "استفاده از مترو شهر مشهد"، می‌باشد.

<sup>1</sup>) Grazi & Van den Bergh

<sup>2</sup>) World Resources Institute



### تعاریف واژه‌های تخصصی و عملیاتی تحقیق

سیستم حمل و نقل عمومی: سیستم‌های حمل و نقل عمومی به سیستم‌هایی گفته می‌شود که افراد غیر مرتبط را در وسایل نقلیه یکسان جابجا می‌کنند و شامل اتوبوس، مینی بوس، ون، قطار شهری و تاکسی می‌شود. (ووکان، ۲۰۰۲)

پویایی شناسی سیستم: رویکرد پویایی شناسی سیستم نوع خاصی از مدل‌های شبیه‌سازی کامپیوتری است. این رویکرد روشی از مدل‌سازی است که با سیستم‌هایی سروکار دارد که دارای چندین حلقه بازخورد غیر خطی، یا ارتباط‌های پیچیده با یکدیگر هستند (استرمن، ۲۰۰۰).  
تقاضای سفر: تعداد کل سفر شهری که از یک مبدا به یک مقصد شهری با انواع وسایل حمل و نقل موتوری بیش از دو چرخ انجام می‌شود (ارمنیا و همکاران، ۲۰۱۶).

### مبانی نظری و پیشینه تحقیق

در این بخش تعدادی از مهم‌ترین پژوهش‌های مطالعه شده به طور خلاصه در جدول ۱ آورده شده‌است.

جدول ۱. خلاصه پیشینه و ادبیات تحقیق

ردیف	نام نویسنده	عنوان پژوهش	روش پژوهش	متغیرهای کلیدی	حوزه مطالعه	سال
۱	داوودی و همکاران	تحلیل انتظارات شهروندان از قطار شهری با استفاده از مدل کانو و تصمیم‌گیری چند معیاره فازی	تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی	_____	قطار شهری	۱۳۹۸
۲	استادی جعفری و همکاران	مدل‌سازی سنجش اثرگذاری قابلیت پیاده‌مداری بر سیاست‌گذاری حمل و نقل پایدار شهری	پویایی شناسی سیستم‌ها	کاهش سهم استفاده از خودروی شخصی	حمل نقل عمومی	۱۳۹۸
۳	جانجانی و همکاران	تحلیل عوامل مؤثر بر انتخاب سفر (اجباری و اختیاری) با مترو	روشهای آماری	_____	قطار شهری	۱۳۹۵
۴	باغیانی	شناسایی شبیه‌سازی و تحلیل عوامل مؤثر بر استفاده حداکثری از سیستم حمل و نقل عمومی با استفاده از رویکرد پویایی سیستم مورد مطالعه سازمان اتوبوسرانی یزد	پویایی شناسی سیستم‌ها	تقاضای حمل و نقل عمومی - رضایت مسافر	حمل و نقل عمومی (اتوبوس)	۱۳۹۴
۵	حبیبیان و کرمانشاه	مدل‌سازی دلایل استفاده شهروندان از سواری شخصی در سفرهای کاری به محدوده مرکزی کلانشهر تهران	مدل لوجیت چندگانه مدل لوجیت دوگانه	_____	حمل و نقل شخصی	۱۳۹۲
۶	میرکتولی و همکاران	بررسی رضایت مردم از کیفیت خدمات‌رسانی حمل و نقل عمومی (مطالعه موردی: منطقه ۲ شهرگران)	روش های آماری در نرم افزار SPSS	_____	حمل و نقل عمومی	۱۳۹۲



سال	حوزه مطالعه	متغیرهای کلیدی	روش پژوهش	عنوان پژوهش	نام نویسنده	ردیف
۱۳۹۱	حمل و نقل عمومی (اتوبوس)	_____	رگرسیون	ارزیابی رضایتمندی مسافران از کیفیت سیستم اتوبوسرانی با استفاده از مدل رگرسیون رتبه‌ای	سلطانی	7
۲۰۱۴	حمل و نقل عمومی	_____	تصمیم‌گیری چند معیاره	شناسایی ترجیحات عمومی با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره برای ارزیابی تغییر رفت و آمد مسافران شهری از حمل و نقل شخصی به حمل و نقل عمومی: مطالعه موردی دهلی	جین	8
۲۰۰۶	حمل و نقل عمومی	_____	رگرسیون	تقاضا برای حمل و نقل عمومی: تأثیر کرایه‌ها"، کیفیت خدمات، درآمد و مالکیت خودرو	پائولی	9

### جمع‌بندی پیشینه تحقیق

تاکنون تحقیقات زیادی در رابطه با حمل و نقل عمومی و معضل ترافیک انجام شده‌است که اکثر این پژوهش‌ها مانند پژوهش‌های داوودی و همکاران (۱۳۹۸)، حبیبیان و کرمانشاه (۱۳۹۲) و پائولی (۲۰۰۶) از روش‌های آماری مانند انواع رگرسیون، لوجیت چندگانه و غیره استفاده نموده‌اند اما استفاده از روش‌های آماری که نگاهی خطی و ایستا دارد برای بررسی سیستم حمل و نقل عمومی که جزو سیستم‌های پیچیده با متغیرهایی وابسته به زمان و حلقه‌های بازخوردی می‌باشند، روش مناسبی نیست، بنابراین در این تحقیق از روش سیستم دینامیک استفاده شده است.

در خصوص پژوهش‌های انجام شده در حوزه حمل و نقل عمومی با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها می‌توان گفت که این پژوهش‌ها یا مانند پژوهش‌های استادی جعفری و همکاران (۱۳۹۸)، میرکتولی و همکاران (۱۳۹۲) و جین (۲۰۱۴)، در ارتباط با حمل و نقل عمومی و یا مانند پژوهش‌های باغیانی (۱۳۹۴) و سلطانی (۱۳۹۱)، در ارتباط با سیستم حمل و نقل اتوبوس می‌باشد، اما در این پژوهش به طور خاص به سیستم حمل و نقل ریلی (قطار شهری) با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها پرداخته شده‌است که متغیر "افزایش جذابیت استفاده از سیستم حمل و نقل ریلی (قطار شهری)" به عنوان متغیر کلیدی اثرگذار در افزایش استفاده از حمل و نقل ریلی مورد توجه بوده و عوامل جذابیت استفاده از مترو به صورت کامل‌تر در نظر گرفته شده است؛ در این راستا متغیرهایی همچون کیفیت فیزیکی و فنی و هوشمندسازی، کرایه حمل و نقل ریلی و ... مورد بررسی واقع شده‌اند.

از حیث بررسی مجزای سیستم حمل و نقل ریلی از حمل و نقل عمومی و استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم برای شناسایی و تحلیل عوامل موثر بر قطار شهری و شبیه‌سازی آن‌ها و هم‌چنین توجه به روابط و پیچیدگی‌های بین عوامل موثر می‌توان ادعا نمود که این پژوهش، دارای نوآوری می‌باشد.

### روش شناسی تحقیق

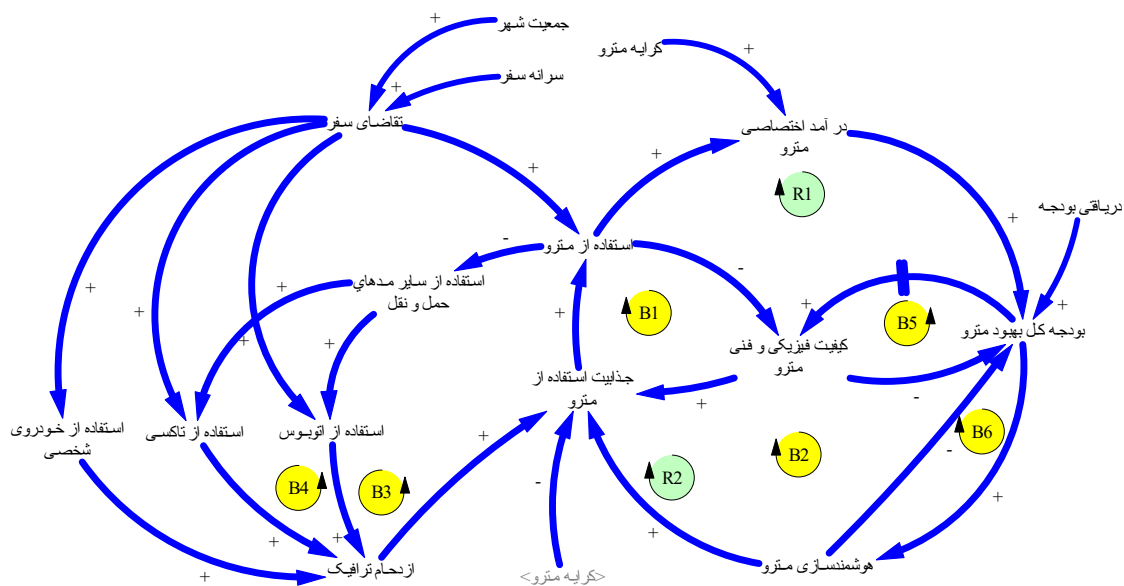
سیستم حمل و نقل ریلی، یک سیستم پیچیده و پویا است. در این سیستم متغیرها در طول زمان تغییر می‌کنند و بر هم کنش دارند. برای مثال در این سیستم سیاست افزایش کیفیت فیزیکی و فنی مترو منجر به افزایش استفاده از مترو و در نتیجه منجر به افزایش درآمد و افزایش بودجه بهبود مترو می‌شود. این سیاست بر سایر اجزای سیستم نیز



تاثیر دارد به طوری که با افزایش کیفیت فیزیکی و فنی مترو و افزایش استفاده از مترو، استفاده از سایر مدهای حمل و نقل و به دنبال آن ازدحام ترافیک کاهش پیدا می‌کند و با کاهش ازدحام ترافیک، شهروندان مجدد به استفاده از خودرو شخصی و سایر مدهای حمل و نقل تمایل پیدا می‌کنند و استفاده از مترو کاهش می‌یابد. لذا سیستم حمل و نقل ریلی یک سیستم پیچیده و پویا است. بنابراین در پژوهش حاضر از روش پویایی شناسی سیستم‌ها جهت شناسایی و بررسی عوامل موثر بر جذابیت مترو و استفاده از مترو، استفاده شده‌است. در واقع در این پژوهش سعی شده تا با شناسایی عوامل تاثیر گذار بر جذابیت مترو، بررسی تاثیرات متغیرهای موجود در حلقه‌های بازخوردی و با استفاده از پویایی شناسی سیستم‌ها مدل‌سازی انجام گیرد.

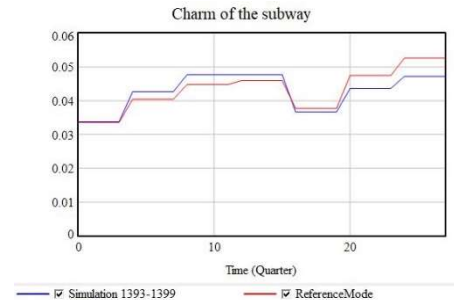
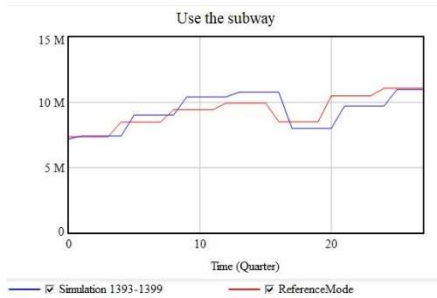
### مدل‌سازی

در این بخش، برای مدل‌سازی به تحلیل عوامل موثر بر افزایش استفاده از سیستم حمل و نقل عمومی، به طور خاص سیستم حمل و نقل ریلی درون شهری، با استفاده از رویکرد پویایی شناسی سیستم‌ها، پرداخته شده‌است. مدل‌سازی مسئله با داده‌های موجود در افق زمانی ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۹ انجام شده‌است. جهت ارائه مدل پویایی شناسی سیستم، متغیرهای مربوط به مدل بررسی و سپس نمودار علی-حلقوی ارائه شده‌است که در شکل‌های ۱ قابل مشاهده‌است.



شکل ۱. نمودار جامع علی-حلقوی

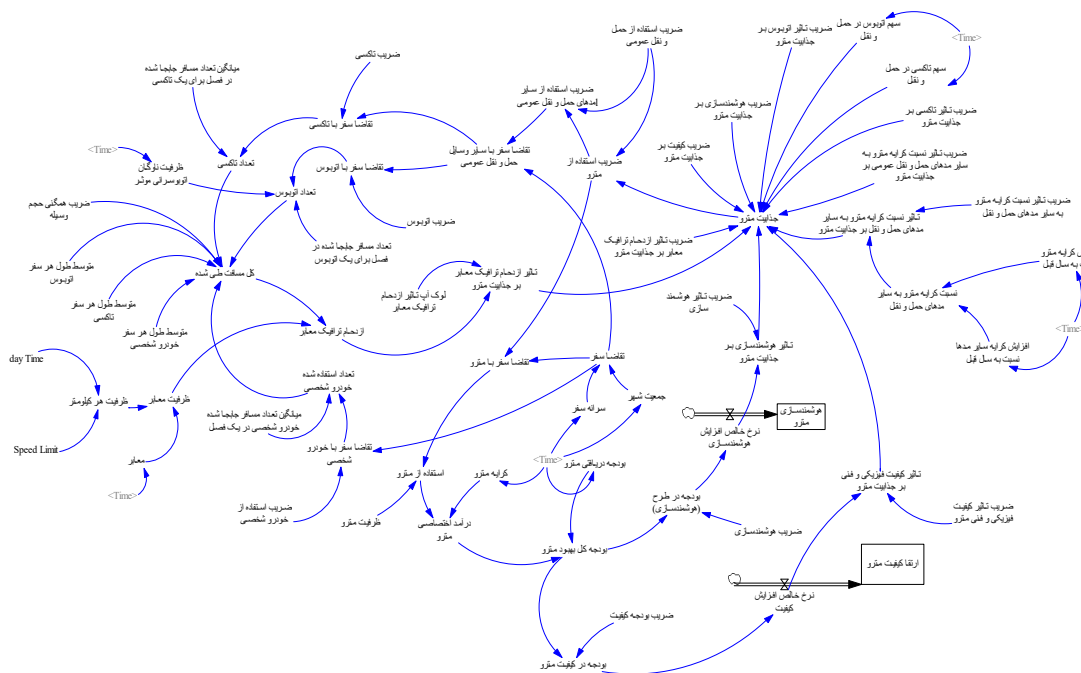
مدل پژوهش در نرم افزار ونسیم با داده‌های موجود مربوط به سال جاری و سال‌های گذشته (در افق زمانی ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۹)، اجرا شده و نتایج آن شامل نمودارها و خروجی‌ها، توسط خبرگان به تایید رسیده‌است. رفتار دو متغیر جذابیت مترو و استفاده از مترو که متغیرهای کلیدی این پژوهش می‌باشند، با رفتار الگوی مرجع مقایسه شده‌است که نتایج آن در شکل‌های ۲ و ۳ قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۲. مقایسه رفتار شبیه‌سازی شده متغیر جذابیت مترو با فرانس مد

شکل ۳. مقایسه رفتار شبیه‌سازی شده متغیر استفاده از مترو با فرانس مد

شکل ۴ نشان‌دهنده نمودار انباشت-جریان است که با توجه به آن می‌توان روابط میان متغیرها را درک نمود.



شکل ۴) نمودار انباشت-جریان

مدل انباشت-جریان فرموله شده و برای پیش‌بینی مقادیر آینده مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل در دو حالت سناریو خوشبینانه (افزایش بودجه مترو) و بدبینانه (کاهش بودجه مترو) شبیه‌سازی می‌شود. و دوسپاست بودجه‌ای نیز تعریف می‌شود.

### سناریو پردازی و طراحی سیاست‌ها

در این پژوهش با تکیه بر نظر خبرگان، بودجه دریافت شده از شهرداری در مسیر تامین و ارتقا کیفیت فیزیکی و فنی مترو و ایجاد برنامه‌هایی در راستای هوشمندسازی حمل و نقل ریلی، صرف می‌شود. در ادامه دو سناریو بودجه

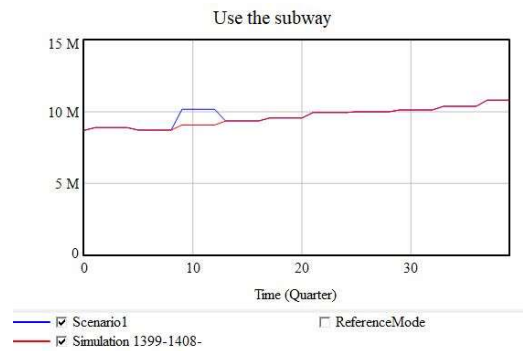


مبنی بر افزایش و کاهش بودجه دریافتی از شهرداری، در نظر و تاثیرات آن بر متغیر استفاده از مترو مورد بررسی قرار گرفته شده است.

### سناریو اول: افزایش بودجه دریافتی (خوشبینانه)

مقدار بودجه دریافتی بهبود مترو برای مجموع بودجه کیفیت فیزیکی و فنی و بودجه هوشمندسازی، برای سال ۱۴۰۱ برابر با 1,040,178 میلیون ریال برآورد شده است، به دلیل این که بودجه دریافتی بهبود مترو متغیر برونزا است، مقدار آن با روش میانگین سه دوره آخر پیش‌بینی شده است. مطابق نظر خبرگان سازمان حمل و نقل ریلی درون شهری مشهد، هر سال به طور برابر، بودجه بین چهار فصل تقسیم می‌شود بنابراین مقدار بودجه در هر فصل از سال ۱۴۰۱ برابر با ۲۶۰,۰۴۴ میلیون ریال می‌باشد.

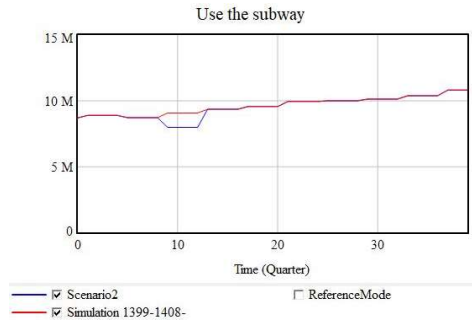
در سناریو افزایش بودجه دریافتی فرض بر این است که در سال ۱۴۰۱ مبلغ بودجه دریافتی ۲۰ درصد (بر طبق صلاح دید خبرگان) افزایش پیدا کرده است در واقع میزان بودجه دریافتی در هر فصل از سال ۱۴۰۱، مبلغ ۳۱۲,۰۵۳ میلیون ریال می‌باشد. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، افزایش بودجه دریافتی منجر به افزایش استفاده از مترو می‌شود.



شکل ۵. تاثیر سناریو افزایش بودجه دریافتی بر استفاده از مترو

### سناریو دوم: کاهش بودجه دریافتی (بدبینانه)

در این سناریو فرض می‌شود که در سال ۱۴۰۱ (دوره ۸ تا ۱۱) میزان بودجه دریافتی ۲۰ درصد کمتر از میزان پیش‌بینی شده باشد. همانطور که پیش از این عنوان شد، میزان بودجه دریافتی در هر دوره از سال ۱۴۰۱، مبلغ ۲۶۰,۰۴۴ میلیون ریال پیش‌بینی شده است و اگر با ۲۰ درصد کاهش مواجه شود به مبلغ 208,036 میلیون ریال تغییر می‌کند. در شکل ۶ تاثیر سناریو کاهش بودجه دریافتی بر استفاده از مترو مشاهده می‌شود.

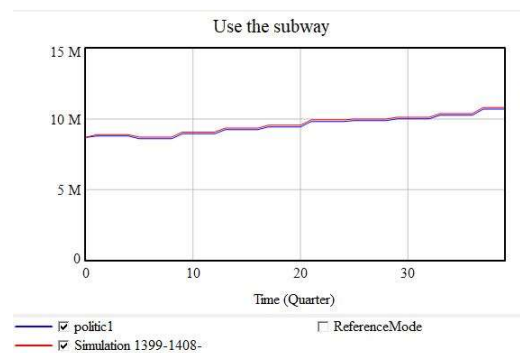


شکل ۶. تاثیر سناریو کاهش بودجه دریافتی بر استفاده از مترو

پس از تایید مدل طراحی شده، سیاست‌ها تعریف و ساختار آن‌ها مشخص شده‌است. در ادامه اعمال سیاست‌ها بر مدل، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. سیاست‌های تعریف شده در این پژوهش، سیاست‌های بودجه می‌باشند، در واقع سهم بودجه تعریف شده برای کیفیت فیزیکی و فنی و هوشمندسازی مشخص می‌شود و تأثیر آن بر روی متغیر کلیدی عملکرد استفاده از مترو نشان داده می‌شود (بودجه کیفیت فیزیکی و فنی در واقع به میزان هزینه‌ای اشاره دارد که سالانه صرف عیب‌یابی و تعمیرات قطار چه به لحاظ ظاهری و چه به لحاظ فنی، می‌شود و بودجه هوشمندسازی به میزان هزینه‌ای اشاره دارد که جهت ارتقا تکنولوژی برای راحتی در استفاده (مانند تکنولوژی من‌کارت، تابلو برآورد زمانی رسیدن قطار به ایستگاه و ...) صرف می‌شود).

### سیاست اول

در سیاست اول فرض می‌شود که به مقدار ۰,۱ درصد ضریب بودجه کیفیت فیزیکی و فنی کاهش یافته و ۰,۱ به ضریب بودجه هوشمندسازی اضافه شود. در این صورت تغییرات نمودار متغیر استفاده از مترو به صورت شکل ۷ می‌باشد.

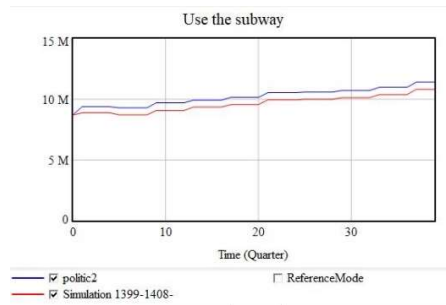


شکل ۷. تاثیر سیاست اول بر متغیر استفاده از مترو

### سیاست دوم

در سیاست دوم تغییرات متغیر استفاده از مترو در حالتی که ضریب بودجه هوشمندسازی ۰,۱ درصد کاهش و ضریب بودجه کیفیت فیزیکی و فنی ۰,۱ درصد افزایش یابد، بررسی می‌شود. میزان این تغییرات در شکل ۸ قابل مشاهده است.



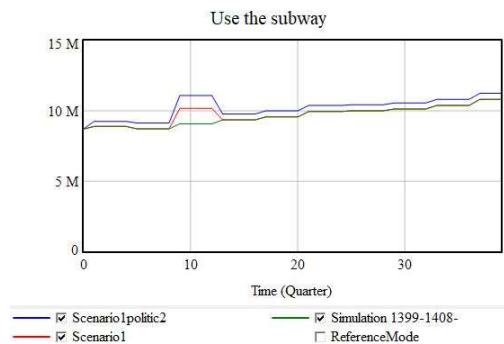


شکل ۸. تاثیر سیاست دوم بر متغیر استفاده از مترو

همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود تاثیر سیاست اول بر متغیر استفاده از مترو نتیجه مثبتی برای این پژوهش به همراه ندارد و موجب کاهش استفاده از مترو (به صورت ناچیز) می‌شود. در سیاست دوم از ضریب بودجه هوشمندسازی کم و به ضریب بودجه کیفیت فیزیکی و فنی اضافه شد و با توجه به شکل ۸ می‌توان گفت اعمال این سیاست در مدل به طور محسوسی موجب افزایش میزان استفاده از مترو می‌شود بنابراین با توجه به بررسی‌های انجام شده سیاست دوم، به عنوان سیاست برتر انتخاب می‌شود.

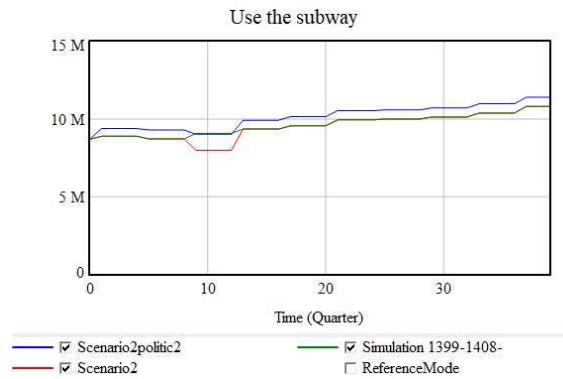
### تاثیر سیاست برتر در سناریوها

با توجه به شکل ۹ می‌توان دریافت که اجرای همزمان سناریو خوش‌بینانه و سیاست انتخاب شده موجب می‌گردد تا افزایش استفاده از مترو، از حالت اعمال افزایش ۲۰ درصدی بودجه به تنهایی، بیشتر شود و این به معنی استفاده بهینه و درست از میزان افزایش یافته بودجه می‌باشد.



شکل ۹. تاثیر ترکیب سناریو اول و سیاست انتخاب شده بر متغیر استفاده از مترو

در سناریو دوم (بدبینانه) شرایطی مورد بررسی قرار گرفت که در آن فرض شد بودجه دریافتی در سال ۱۴۰۱ (دوره ۸ تا ۱۱) ۲۰ درصد کاهش یافته‌است و به موجب آن استفاده از مترو نیز کاهش پیدا کرد. در سیاست انتخاب شده، ضریب بودجه کیفیت فیزیکی و فنی ۰,۱ درصد افزایش و ضریب بودجه هوشمندسازی ۰,۱ کاهش یافت. شکل ۱۰ اجرای همزمان سناریو کاهش بودجه و سیاست انتخاب شده را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰. تاثیر ترکیب سناریو دوم و سیاست انتخاب شده بر متغیر استفاده از مترو

### بحث و نتیجه گیری

امروزه افراد برای جابجایی در سطح شهر و انجام فعالیت‌های روزمره خود (فعالیت‌هایی نظیر؛ کار، خرید، آموزش، تفریح و ...) نیازمند وسایل حمل و نقل درون شهری می‌باشند. وسایل حمل و نقل را می‌توان به دو دسته حمل و نقل شخصی و حمل و نقل همگانی تقسیم نمود. برای ادامه حیات و حفظ سلامتی افراد، لازم است که استفاده از خودروهای شخصی به حداقل برسد و حمل و نقل عمومی جایگزین حمل و نقل شخصی شود. در بین وسایل حمل و نقل عمومی نیز (شامل اتوبوس، ون، مترو، تاکسی، تاکسی هوشمند) تفاوت‌هایی وجود دارد، در واقع با استفاده از تاکسی و تاکسی هوشمند و تا حدودی استفاده از اتوبوس، هم‌چنان ترافیک شهری و آلودگی محیطی و مصرف سوخت از معضله‌های حمل و نقل، پابرجا می‌مانند. با توجه به این که مترو از تکنولوژی به روز تری نسبت به سایر وسایل حمل و نقل عمومی بهره‌می‌گیرد و خطوط آن از معابر شهری مجزا می‌باشد به حل معضل ترافیک می‌تواند کمک شایانی کند.

هدف از انجام این پژوهش، دستیابی به راه‌کارهایی برای افزایش جذابیت مترو است که افزایش جذابیت مترو، افزایش استفاده از سیستم حمل و نقل ریلی (مترو) را به دنبال دارد. بنابراین جهت ترغیب افراد به استفاده از حمل و نقل ریلی (مترو)، باید میزان جذابیت مترو را با استفاده از متغیرهای تاثیرگذار بر جذابیت مترو، افزایش داد تا استفاده از مترو نیز افزایش پیدا کند.

با توجه به این که متغیرهای تاثیرگذار بر مترو، وابسته به زمان هستند و با تغییر زمان، دچار تغییر می‌شوند، نمی‌توان آن‌ها را ایستا در نظر گرفت و لازم است که برای بررسی دقیق‌تر سیستم مترو از روش پویایی‌شناسی سیستم‌ها استفاده کرد. در تحقیق حاضر با به کارگیری روش پویایی‌شناسی سیستم‌ها، با توجه به مرز سیستم و هدف پژوهش و مصاحبه با خبرگان (متخصصین حوزه حمل و نقل عمومی و سازمان ترافیک شهر مشهد) متغیرهای تاثیرگذار بر جذابیت و استفاده از مترو، (متغیرهایی چون؛ تقاضا سفر با مترو، ازدحام ترافیک معابر، تاثیر هوشمندسازی مترو بر جذابیت مترو، ظرفیت مترو، ضریب استفاده از مترو، جمعیت شهر، سرانه سفر، ضریب بودجه کیفیت، سهم اتوبوس در حمل و نقل عمومی، سهم تاکسی و تاکسی هوشمند در حمل و نقل عمومی و ...) شناسایی و سپس نمودارهای علی-حلقوی و انباشت-جریان ارائه شدند و شبیه‌سازی مدل در افق زمانی ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۸ انجام شد.

در مدل تحقیق، سناریوهای افزایش و کاهش بودجه اعمال شدند و مشاهده شد که با کاهش بودجه، استفاده از مترو کاهش و با افزایش بودجه استفاده از مترو افزایش پیدا می‌کند. دو سیاست بودجه‌ای نیز به طور مجزا در مدل اعمال شد. در سیاست اول، بودجه کیفیت فیزیکی و فنی مترو کاهش داده شد و به همان میزان بودجه هوشمندسازی



افزایش داده‌شد، نتایج نشان داد که این سیاست به مقدار کمی استفاده از مترو را دچار کاهش می‌کند پس سیاست نامناسبی می‌باشد و در سیاست دوم فرض شد که به ضریب بودجه کیفیت فیزیکی و فنی مترو اضافه شود در حالی که از ضریب بودجه هوشمندسازی کسر گردد و این سیاست موجب افزایش استفاده از مترو شد و با اعمال همزمان سیاست دوم (سیاست انتخاب شده) با سناریو افزایش بودجه، افزایش بیشتری در استفاده از مترو دیده شد و هم‌چنین با اعمال همزمان سیاست انتخاب شده و سناریو کاهش بودجه از کاهش بیش از حد استفاده از مترو در همان سال (در سال ۱۴۰۲ که بودجه کاهش یافته‌است) جلوگیری شده و در مابقی سال‌ها افزایش استفاده از مترو مشاهده شد.

### پیشنهادات

در این پژوهش، بودجه بهبود مترو به دو بخش کیفیت فیزیکی و فنی مترو و هوشمندسازی مترو، تخصیص داده می‌شود. مسئولین سازمان مترو می‌توانند در خصوص تخصیص بهتر بودجه در سازمان مترو، از این مدل استفاده کنند و نتایج این تخصیص را پیش از اجرا مشاهده کنند.

یکی از محدودیت‌های مهم این تحقیق، در دسترس نبودن یکسری از اطلاعات و داده‌های اولیه و عدم تعریف برخی از ساختارها در حمل و نقل بود که به همین دلیل امکان تعریف بعضی از حلقه‌های بازخوردی وجود نداشت. با توجه به مرز تعیین شده و محدودیت‌های موجود در این پژوهش می‌توان جهت تحقیقات آتی پیشنهاداتی ارائه داد.

۱) در روش پویایی سیستم، لازم است که برای مدل مرز مشخصی تعیین گردد و تنها متغیرهایی که در داخل مرز سیستم می‌باشند، بررسی و در نمودارها مورد استفاده قرار می‌گیرند و این امر از گستردگی بیش از حد مسئله، پیچیدگی زیاد و ناکارآمد شدن مدل جلوگیری می‌کند. در این پژوهش با توجه به هدف که افزایش تقاضا مترو می‌باشد، مرز مورد نظر برای مسئله تعیین گردیده‌است لذا پیشنهاد می‌شود که با تغییر در مرز مسئله، بخش‌ها و متغیرهای دیگری که در این پژوهش در نظر گرفته نشده‌اند، در مسئله وارد شوند و تاثیرات آن‌ها نیز بر سیستم مترو مشخص شده و با مدل این پژوهش مقایسه گردد. به طور مثال در پژوهش‌های آتی می‌توان از متغیر شبکه دسترسی استفاده کرد که به اضافه نمودن واگن و ایستگاه جدید مربوط می‌شود در این پژوهش به دلیل این که افق زمانی برای پیش بینی مقادیر آینده ۱۰ سال در نظر گرفته شد امکان بررسی خطوط جدید وجود نداشت.

۲) در این پژوهش به دلیل جلوگیری از پیچیدگی زیاد که موجب غیر واقعی شدن نتایج می‌شود، متغیرهایی که مرتبط با سایر وسایل حمل و نقل عمومی می‌باشند به صورت برونزا مورد بررسی قرار گرفتند بنابراین پیشنهاد می‌شود که برخی از متغیرهایی مانند عوامل موثر بر استفاده از سایر وسایل حمل و نقل عمومی (تاکسی و تاکسی هوشمند و اتوبوس) که در این مدل به صورت برونزا در نظر گرفته شده‌اند، در مدل‌های آینده وارد مدل شده و درونزا در نظر گرفته شوند و نتایج حاصل از آن با مدل این پژوهش مورد مقایسه قرار گیرد.

۳) در پژوهش حاضر با توجه به مرز سیستم و تمرکز پژوهش بر جنبه بودجه‌ای، سیاست‌های بودجه‌ای اعمال شد، پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آینده برای بخش‌های دیگر سازمان مترو، سیاست‌هایی ارائه گردد تا بتوان نتایج این پژوهش را با آن‌ها مقایسه کرد. (در این پژوهش به دلیل در دسترس نبودن برخی از داده‌ها، فقط بر سیاست‌های بودجه‌ای تمرکز شد.)



### منابع

- استادی جعفری، مهدی، رفیعیان، مجتبی و سعیده زرآبادی، زهرالسادات، (۱۳۹۸). مدل سازی سنجش اثرگذاری قابلیت پیاده مداری بر سیاست گذاری حمل و نقل پایدار شهری. مجله معماری شهر پایدار.
- باغیانی، نجمه، (۱۳۹۴). شناسایی، شبیه سازی و تحلیل عوامل مؤثر بر استفاده حداکثری از سیستم حمل و نقل عمومی با استفاده از رویکرد پویایی شناسی سیستم‌ها، (مورد مطالعه : سازمان اتوبوسرانی یزد). پایان نامه ارشد مدیریت صنعتی. دانشگاه یزد.
- تزار، هویدا؛ صفارزاده، محمود، (۱۳۸۷) نقش آسایش و راحتی سفر در افزایش تعداد مسافران سیستم حمل و نقل عمومی (مطالعه موردی شهر خرم آباد)، مجله مطالعات مدیریت ترافیک، سال سوم، شماره ۹، تابستان ۱۳۸۷
- جانجانی، امیر و ممدوحی، امیررضا، (۱۳۹۵). تحلیل عوامل مؤثر بر انتخاب سفر (اجباری و اختیاری) با مترو، فصلنامه علمی - پژوهشی، ۲۱(۲)، ص. ۱۱۷-۱۳۲
- حبیبان، میقات، کرمانشاه، محمد، (۱۳۹۱). مدل سازی دلایل استفاده شهروندان از سواری شخصی در سفرهای کاری به محدوده کلانشهر تهران. فصلنامه مهندسی حمل و نقل، ۴(۲)
- داوودی، سید محمدرضا، عطائی قراچه، مسعود، مختاری گرچکانی، مسعود و جوانمرد، فرهاد، (۱۳۹۸). تحلیل انتظارات شهروندان از قطار شهری با استفاده از مدل کانو و تصمیم گیری چند معیاره فازی. مجله مطالعات شهری، (۲۲) ص. ۱۹-۳۲
- سلطانی، علی، (۱۳۹۱). ارزیابی رضایتمندی مسافران از کیفیت سیستم اتوبوسرانی با استفاده از مدل رگرسیون رتبه‌ای. مطالعات شهری ۲۱(۲). بهار ۱۳۹۱. ص. ۱۰۱-۱۱۲
- میرکتولی، جعفر، محمدی، فاطمه، نگاری، اعظم و شکری، اعظم، (۱۳۹۲). بررسی رضایت مردم از کیفیت خدمات رسانی حمل و نقل عمومی (مطالعه موردی: منطقه ۲ شهر گرگان). فصلنامه مطالعات برنامه ریزی شهری، شماره اول، بهار ۱۳۹۲. ص. ۱۵۱-۱۳۳
- نجفی، سیما، معاونی، بیژن، (۱۳۹۴). مدل سازی و تنظیم بلادرنگ ترافیک خطوط مترو با استفاده از کنترل کننده پیش بین غیر خطی. مجله کنترل، جلد ۹، شماره ۲.

- Armenia, S., Carlini, C., Tsaples, G., & Volpetti, C. A System Dynamics approach to public transportation strikes and travelers' behavior in the city of Rome
- Grazi, F. & Van den Bergh, J. C. (2008). Spatial Organization, Transport and Climate Change: Comparing Instruments of Spatial Planning and Policy. *Ecological Economics*, 4(67), (630-639)
- Jain, S., Aggarwal, P., Kumar, P., Singhal, S., & Sharma, P. (2014). Identifying public preferences using multi-criteria decision making for assessing the shift of urban commuters from private to public transport: A case study of Delhi. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 24, 60-70.
- Pauley N. et al. (2006) "The demand for public transport: the effect of fares", *Quality of service, income and car ownership*, *Transport policy* 13, pp. 295-306.
- Vukan R. Vuchic, *Urban Public Transportation Systems*, Encyclopedia of Life Support Systems, UNESCO, 2002
- World Resources Institute(1996)'World resources 1996-97; the urban environment'. New York; Basic Books.



### Identifying Factors Affecting the Attractiveness of Metro in Public Transportation from Intra-City Trips and Increasing Its Share Using Systems Dynamics (Case Study: Mashhad Intra-Urban Rail Transportation Organization)

**Parvaneh Eftekhari**

Master student of industrial management at Ferdowsi University

**Mostafa Kazemi**

Professor, University of Administrative Sciences and Economics, Ferdowsi University of Mashhad

**Alireza Pooya**

Professor, University of Administrative Sciences and Economics, Ferdowsi University of Mashhad

#### Abstract

One of the most important economic sectors is the transportation sector, and considering that the city of Mashhad is one of the metropolises of the country and a pilgrimage city, there are many daily trips in the city. The purpose of this study is to improve the subway of Mashhad to provide the best proposal to cause more use, effectively and efficiently. Given that changes in subway-related variables make sense over time, using systems dynamics to achieve the research goal is the best method available. In this study, the variables were approved by experts and the causal and flow model was presented with expert approval. Modeling was performed in 7-year time horizon, from 2014 to 2020, in seasonal periods (27 periods).

The simulation process was performed from 2020 to 2029 and two scenarios of increasing the total improvement budget and decreasing the total improvement budget as well as two budget policies were defined. Conclusion and policy analysis showed that in the superior policy, the budget coefficient of physical and technical quality of the subway increased by 0.1% And the subway smart budget fell 0.1 percent.

**key words:** System dynamics, public transport, demand for subway travel, increasing subway use