مدیریت شهری
شماره ۳۱ بهار و تابستان ۹۲
No.31 Spring & Summer
۲۸۱-۲۹۴
زمان دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۱/۱۶ زمان پذیرش نهایی: ۱۳۹۱/۴/۳۱

ارزیابی سیاست‌های توسعه پایدار در بخش حمل و نقل شهری با استفاده از مدل‌های سیستم پویایی؛ مطالعه موردی: شهر مشهد

مهدی استادی جعفری* – مربی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد پرند، دانشکده فنی و مهندسی، تهران، ایران.
امیر عباس رصافی – استادیار دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، دانشکده فنی و مهندسی، قزوین، ایران.

چکیده

گسترش حمل ونقل شهری پیامدهایی از قبیل نرخ فزاینده تصادفات رانندگی، مصرف بی رویه انرژی های فسیلی، تولید آلاینده های مخرب سلامت انسان و محیط زیست و هزینه های کلان ناشی از این موارد را به دنبال دارد. ازاینرو، افزایش نیاز روزافزون به توسعه بخش حمل ونقل به عنوان یکی از ارکان اساسی توسعه یافتگی ضرورت دستیابی به حمل ونقل پایدار را تقویت می نماید. در این راستا، شناسایی و اولویت دهی به سیاست های توسعه پایدار حمل ونقل بسیار حایز اهمیت است. در مقاله حاضر تلاش گردیده با استفاده از مدل‌های سیستم پویایی وضعیت حمل ونقل شهر مشهد مدلسازی شود. در ادامه، تعداد ۲۰ سناریو در پنج گروه سیاستی جهت ارزیابی توسعه پایدار حمل‌ونقل شهری برای افق ۲۰ ساله درنظرگرفته شده و بر مبنای نتایج آن، سیاست های موردنظر در سال طرح اولویت دهی شده است. در این ارزیابی مشخص گردیده سیاست های هم پیمایی، کاهش خودروهای فرسوده و افزایش کیفیت وسایل نقلیه همگانی، بیشترین تاثیر را بر روی شاخص های پایداری گذاشته و توانسته معضلات ناشی از حمل ونقل را طی ۲۰ سال آینده کمینه نماید. به نظر می رسد، پیشنهادات ارائه گردیده در این مقاله در تصمیم گیری گردانندگان حمل ونقل شهری جهت دستیابی به حمل ونقل پایدار موثر واقع شود.

واژگان کلیدی: حمل‌ونقل پایدار شهری، مدل‌های سیستم پویایی، سیاست.

Evaluation of Sustainable Development Policies in Urban Transportation by Using a System Dynamics Model (Case Study: Mashhad, Iran)

Urban transport development has resulted in a massive increase in rate of accidents, more consumption of fuels and emission of dangerous pollutants, and consequently considerable costs. These issues alongside the increasing needs to transportation services a rise the necessity for gaining sustainable transportation as one of the principle solutions for development. However, recognition and prioritization of sustainable transportation policies are very important. In this article we tried to model Mashhad transportation by using a system dynamics framework. Then, 20 scenarios have been introduced for sustainable urban transportation appraisal in 5 policy groups for 20 years. In this evaluation scheme, carpooling, reducing old vehicles and improvement of public transportation have identified as the most effective factors on sustainability indicators and is able to minimize the negative consequences of transportation in the study horizon. It seems that suggestions of the current paper may be useful for decision-makers in achieving sustainable urban transportation.

Keywords: sustainable urban transport, system dynamics model, policy.

* نویسنده مسئول مکاتبات، شماره تماس: ۰۹۱۲۲۸۵۸۲۸۹، رایانامه: mahdi.ostadijafari@yahoo.com

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2024-12-22]

۱- مقدمه

بروز و یا تشدید برخی اثرات منفی و زیانبار حمل و نقل به عنوان یکی از اساسی ترین بخش‌های کشور در سالیان اخیر، مورد توجه اکثر کارشناسان و برنامه ریزان قرار گرفته است. به عنوان نمونه، تراکم فراوان وسایل نقلیه در معابر شهری و مصرف بالای سوخت های فسیلی، معضل نزدیک شدن به آستانه اتمام این منابع غیر جایگزین و انتشار آلاینده های مخرب محیط زیست ناشی از آنها را گوشتزد می کند. در این خصوص، آمارها نشان می دهد که تا سال ۲۰۲۵، مصرف انرژی در بخش حمل‌ونقل و انتشار گازهای گلخانه‌ای نسبت به سال ۲۰۰۰ تا دو برابر افزایش یابد (استادی جعفری و جوانی، ۱۳۸۸). علاوه بر این به طور میانگین سالانه حدود ۵۰۰ هزار نفر در کشورهای در حال توسعه دچار مرگ زودرس ناشی از آلودگی هوا ناشی از حمل‌ونقل می‌شوند (استادی جعفری و همکاران، ۱۳۸۹).

اگرچه تاکنون مطالعات متعددی در سایر کشورهای دنیا در خصوص ابعاد مختلف حمل ونقل پایدار انجام گردیده است، لیکن بررسی این موضوع در کشور ما به تازگی مورد توجه قرار گرفته است. در این مطالعه بیشتر تاکید بر روی ارائه مدل سیستم پویایی حمل ونقل، نمایش تغییرات شاخص‌ها طی سال‌های آتی و ارزیابی سناریوهای متعدد در این خصوص بوده است. به این منظور، تلاش شده تا با به‌کارگیری مدل‌های سیستم پویایی، حمل ونقل شهر مشهد (به عنوان یکی از کلان‌شهرهای ایران) شبیه‌سازی شود. ساختار این مقاله شامل هفت بخش بوده و طی آن در ابتدا مرور منابع مرتبط با حمل‌ونقل پایدار شهری صورت گرفته است.

با توجه به رویکرد مقاله، شاخص‌های اندازه‌گیری در این بخش آورده شده است. پس از آن، در بخش روش‌شناسی تحقیق، اصول و عناصر مدل‌های سیستم پویایی تبیین و مدل پویای حمل‌ونقل پایدار شهری و زیرمجموعه‌های آن تشریح گردیده است. پس از آن، نتایج مربوط به شاخص های مطالعه در فاصله سال های ۱۳۸۸ و ۱۴۰۸ که بیانگر تشدید چالش ها و معضلات ناشی از حمل ونقل می باشد، نمایش داده شده است. در ادامه، ضمن معرفی سیاست های توسعه پایدار در بخش حمل ونقل، ۲۰ سناریو جهت سنجش حمل‌ونقل درون‌شهری مشهد طی ۲۰ سال آتی مورد ارزیابی با استفاده از نمودارهای ریدار قرار گرفته است. در نهایت، الگوی برنامه‌ریزی این شهر با هدف بهینه کردن شاخص‌های حمل ونقل پایدار ارائه شده است.

۲- مفهوم و شاخص های حمل‌ونقل پایدار

مطابق با بررسی‌های انجام شده، تعاریف متعددی درخصوص حمل‌ونقل پایدار انجام گرفته است (استادی جعفری، ۱۳۸۹). با توجه به رویکرد این مقاله و درنظرگیری سایر تعاریف و انتظارات از حمل ونقل پایدار، مفهوم حمل‌ونقل پایدار بصورت زیر تعریف می‌گردد (استادی جعفری و حیدری، ۱۳۹۰): حمل ونقل پایدار مجموعه ای از سیاست ها و دستورالعمل های یکپارچه، پویا، پیوسته و دربردارنده اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی است که توزیع عادلانه و استفاده موثر از منابع جهت رفع نیازهای حمل ونقل جامعه و نسل های آتی را به همراه دارد. مطابق با این تعریف ارزیابی حمل‌ونقل پایدار می بایست به‌صورت توامان در ابعاد زیست محیطی، اقتصادی، اجتماعی و حمل‌ونقلی لحاظ شود.

به طور کلی تعیین پایداری مربوط به مواردی از قبیل محدودیت و پایان پذیری منابع و امکانات، میزان بهره–برداری و استفاده از منابع، تداخل انسان با صنعت و رفع نیازهای زندگی، اقتصاد، اجتماع، محیط زیست و تغییرات و تحولات در یک دوره زمانی طولانی می باشد. در این موارد، تعیین اینکه چه چیز، کجا، کی و چگونه باید اندازه گیری شود، حایز اهمیت می باشد. برنامه پایداری برای اهداف حمل ونقل پایدار با اندازه گیری اصول کلی مدیریتی و حمایت از تصمیم گیری ها، برنامه ریزی و بهره برداری از سیستم های حمل ونقل قابل دستیابی است. ارائه

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2024-12-22]

برنامه های پایداری در تمامی حیطه ها لازم است بصورت بلندمدت، فراگیر، همه جانبه و حداکثری، وضع مطلوب را مورد هدف قرار دهند. در این میان، ممکن است بخشی از سیاستگذاری ها و اولویت دهی ها در بازه زمانی کوتاه مدت مورد توجه قرار گرفته و یا روند رشد در برخی بخش ها تعدیل پیدا کند.

جهت شناخت میزان دستیابی برنامه‌ها و سیاستگذاری‌ها به حمل ونقل پایدار، استفاده از شاخص‌های استاندارد، جامع و کاربردی می‌تواند بسیار راهگشا باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد از سوی مراکز و سازمان‌های مختلف، تاکنون شاخص‌های فراوانی ارائه شده است (TRB 2008, و Litman2003). در این مطالعه، تعداد ۹ شاخص جهت سنجش مدل حمل ونقل پایدار شهری انتخاب و معرفی شده است. اساس این انتخاب، دسترسی به اطلاعات، کارآیی در اندازه گیری و مقبولیت جهانی شاخص ها بوده است. در جدول شماره ۱ این شاخص‌ها نمایش داده شده است.

۳- روش شناسی تحقیق

پس از تشریح مفهوم حمل‌ونقل پایدار و شاخص‌های اندازه‌گیری آن، در ادامه به معرفی روشی جامع، کارآ و فراگیر جهت سنجش و ارزیابی سطح پایداری حمل‌ونقل پرداخته می شود. طی چندین دهه اخیر، مدل‌های متعددی تلاش جهت نمایش چگونگی رفتار و عملکرد سیستم‌های مختلف داشته‌اند. برحسب توفیق این مدل‌ها در میزان دقت نتایج حاصل شده، 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. در میان این مدل‌ها، مدل‌های سیستم پویایی در مقایسه با سایر مدل‌ها به دلیل در نظرگیری روابط علی معلولی و بازخور میان متغیرها و لحاظ کردن تأخیر و یا اثرات غیریکسان پارامترها در طول زمان، روش مناسبی برای ارزیابی‌های بلندمدت قلمداد می‌شوند (Con-testabile,2003 و Guzman,2008).

عناصر تشکیل‌دهنده دیاگرام‌های حلقه سببی شامل متغیرهای مستقل (علت)، متغیرهای وابسته (معلول) و پیکان‌های نشان‌دهنده جهت ارتباطی میان علت و معلول است که به‌صورت شکل (۵) نمایش داده می‌شود (Pfaffenbichler, 2003). در شکل (۱) متغیر X به عنوان متغیر مستقل و متغیر Yبه صورت وابسته معرفی می شود.

شکل ۱. ارتباط میان متغیرهای مستقل و وابسته؛
ماخذ: Pfaffenbichler, 2003

جدول ۱. شاخص های مطالعه جهت سنجش سطح پایداری حمل ونقل پایدار شهری؛ ماخذ: نگارندگان.

ردیف	شاخص	واحد
۱	خسارت سالیانه جبران نشده حمل و نقل	ریال
۲	برابری قرارگیری شهروندان در معرض آلودگی هوا	کیلوگرم به نفر
۳	مصرف سالیانه گازوئیل به تعداد خودروی گازوئیل سوز	لیتر به وسیله نقلیه
۴	مصرف سالیانه بنزین به تعداد خودروی بنزین سوز	لیتر به وسیله نقلیه
۵	تولید سالیانه آلاینده NOX به مساحت منطقه	کیلوگرم
۶	تولید سالیانه آلاینده CO به مساحت منطقه	کیلوگرم
۷	سطح آلودگی صوتی در مناطق شهری	دسی بل
۸	مسافت طی شده وسایل نقلیه	وسیله نقلیه کیلومتر
۹	میانگین تراکم ترافیک	وسیله نقلیه بر کیلومتر

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2024-12-22]

ارتباط میان این متغیرها سبب تشکیل حلقه‌های بازخوری می شود. حلقه‌های بازخوری به دو گروه حلقه‌های بازخوری مثبت و منفی تقسیم می‌شوند (Kuchenbecker & Schade 1998).

– **حلقه‌های بازخوری مثبت:** در این حلقه‌ها، درصورتی که تغییری در اجزای سیستم بوجود بیاید، تغییرات بصورت مستقیم به سایر مؤلفه‌ها منتقل می‌شود. حلقه‌های بازخوردی مثبت به معنای یک فرآیند رشد یا زوالی است که در آن سیستم قابلیت انفجار از خارج یا داخل را دارد، مانند چرخه مربوط به اجرت و قیمت‌ها؛ به طوری‌که با افزایش اجرت، تورم بیشتر شده که سبب افرایش قیمت‌ها می‌شود. در ادامه، افزایش قیمت باعث بالا رفتن اجرت می‌گردد.

– **حلقه‌های بازخوری منفی:** حلقه‌های بازخودی منفی تمایل به بی‌اثر کردن (عمل متقابل) سیستم به حالت ثابت دارند. مانند کنترل دمای اتاق با یک ترموستات، به این معنا که دمای اتاق تا زمانی که به درجه ثابت و مطلوب برسد افزایش پیدا می‌کند. در این هنگام، افزایش دما متوقف گردیده و این روند به منظور تثبیت دما ادامه می‌یابد.

نکته مهم این است که چرخه‌های مثبت همیشه به‌معنای توسعه خوب و پایدار نیست و با توجه به شاخص مورد نظر، ممکن است چرخه‌های منفی در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌ها مطلوب باشد. با توجه به تعریف مدل‌های سیستم و پویایی، در ادامه به مراحل مدلسازی به روش سیستم پویایی پرداخته شده است. مرحله اول اختصاص به تشریح مدل–های مفهومی به صورت تصویری پیدا می‌نماید. این مرحله از مدلسازی دارای اهمیت فراوانی بوده، زیرا هرگونه انتخاب پارامترها و روابط میان آنها، بیانگر قابلیت مدل جهت سنجش سیاست های مورد نظر مطالعه خواهد بود. در ادامه، نمودار جریان[1] بر مبنای مدل مفهومی توسعه یافته و مکانیزم ارتباط میان متغیرها با استفاده از روابط علی ـ معلولی معرفی می شوند. به‌منظور نمایش روابط علی ـ معلولی میان عناصر مختلف یک سیستم که بصورت حلقه‌های بازخوری تشکیل می‌شوند، از دیاگرام‌های حلقه سببی [2] استفاده می‌شود (Kim,۱۹۹۸). این دیاگرام‌ها می‌توانند ارتباط میان یک سیستم را با سایر عناصر در سیستم‌های دیگر را توضیح داده و با بررسی فرضیه‌های متعدد به حل معضلات پیچیده و متعدد بپردازد (Haghani et al, 2004).

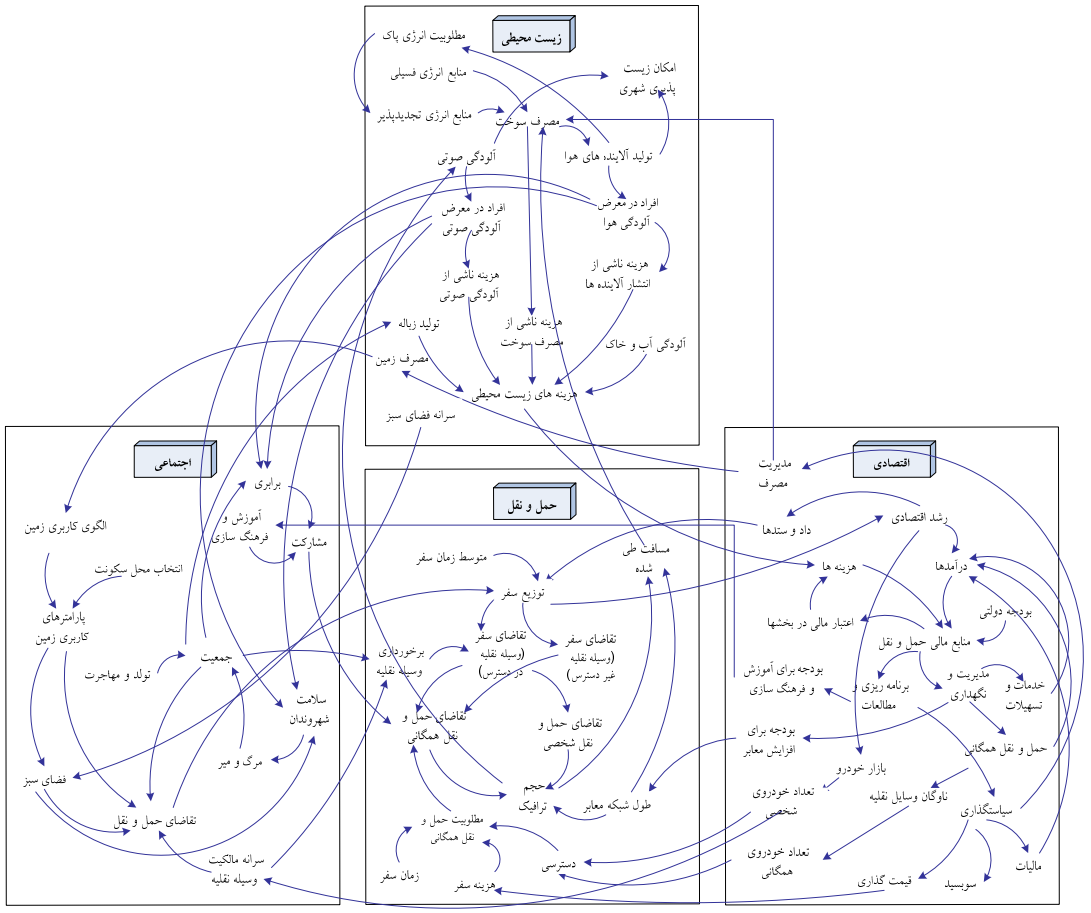
در مرحله نهایی، که بسط و توسعه مدل سیستم پویایی نامگذاری می‌شود، باید ابعاد و واحدهای اندازه‌گیری تمامی متغیرها مشخص شود. سپس، توابع میان این روابط بصورت معادلات ریاضی معین شده و داده‌های مورد نیاز در مطالعه موردی جمع‌آوری می‌گردد. در صورت عدم امکان دسترسی به برخی متغیرها، لازم است معادلات ریاضی مورد استفاده در مدل ساده‌سازی شده و در انتها متغیرها و روابط ریاضی میان آنان در یکی از نرم‌افزارهای سیستم پویایی شبیه‌سازی می‌شوند. با توجه به توضیح مراحل تشکیل مدل سیستم پویایی، در ادامه هر یک از این مراحل به تفکیک آورده شده است.

۳-۱- مدل مفهومی حمل ونقل پایدار شهری

جهت تشکیل مدل مفهومی حمل ونقل پایدار شهری، از دیاگرام های علی – معلولی به منظور نمایش ارتباط میان مولفه های مدل استفاده شده است. این موضوع که در شکل شماره ۲ نمایش داده شده است، بیانگر پیچیدگی درنظرگیری همزمان متغیرهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی در حیطه حمل ونقل است. به عنوان نمونه از حلقه های مفهومی شکل شماره ۲، مصرف سوخت وسایل نقلیه سبب تولید آلاینده ها می شود. تولید آلاینده های هوا منجر به ایجاد و افزایش هزینه های زیست محیطی شده که این موضوع در حوزه اقتصادی بر روی منابع مالی حمل ونقل موثر خواهد بود. به منظور کاهش هزینه ها و پیامدهای منفی حمل ونقل، برنامه ریزی و مطالعات متعددی صورت می گیرد که یکی از خروجی های

1- Flow Diagram
2- Causal Loop Diagram (CLD)

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2024-12-22]



شکل ۲. مدل مفهومی حمل و نقل پایدار شهری؛ ماخذ: نگارنده.

آن در سیاستگذاری های انجام شده، قیمت گذاری تسهیلات و سامانه های حمل ونقل می باشد. بدون تردید، قیمت گذاری و در پی آن میزان هزینه سفر، می تواند بر روی سطح استفاده از حمل–ونقل همگانی در مقایسه با وسایل نقلیه شخصی موثر باشد. در ادامه، با تغییر حجم ترافیک وسایل نقلیه و مسافت طی شده، مصرف سوخت کاهش و یا افزایش خواهد داشت.

۳-۲- نمودار جریان مدل حمل‌ونقل پایدار شهری

با ترسیم مدل مفهومی حمل ونقل پایدار شهری، در واقع مهمترین متغیرهای اثرگذار و اثرپذیر از حمل ونقل بر بخش–های اقتصاد، محیط زیست و اجتماع

- جمعیت (+) ⟵ سرانه مالکیت وسیله‌نقلیه (-) ⟵ تمایل سفر با وسیله‌نقلیه شخصی (-) ⟵
تقاضای حمل‌ونقل غیرموتوری (+) ⟵ سلامتی شهروندان (+) ⟵ نرخ مرگ‌ومیر (-) ⟵ جمعیت (+)
- جمعیت (+) ⟵ سرانه فضای سبز(-) ⟵ سلامتی شهروندان (-) ⟵ نرخ مرگ‌ومیر(+) ⟵ جمعیت (-)
- جمعیت (+) ⟵ سرانه مالکیت وسیله‌نقلیه (-) ⟵ تمایل سفر با وسیله‌نقلیه شخصی (-) ⟵
تقاضای حمل‌ونقل غیرموتوری (+) ⟵ حجم ترافیک (+) ⟵ تراکم ترافیک (+) ⟵ متوسط سرعت (-) ⟵
زمان سفر (+) ⟵ مصرف سوخت (+) ⟵ تولید آلاینده‌های هوا (+) ⟵ سلامتی شهروندان (-) ⟵
نرخ مرگ‌ومیر (+) ⟵ جمعیت (-)
- تقاضای سفر با حمل‌ونقل همگانی (+) ⟵ درآمد حمل‌ونقل همگانی (+) ⟵ درآمد حمل‌ونقل (+) ⟵
منابع مالی حمل‌ونقل (+) ⟵ بهبود حمل‌ونقل همگانی (+) ⟵ تقاضای سفر با حمل‌ونقل همگانی (+)

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2024-12-22]

انتخاب گردیده است. بر این اساس، نمودار جریان بر مبنای ساختار علی سببی ترسیم شده است. مطابق با شکل شماره ۳، حلقه های مثبت و منفی متعددی تشکیل دهنده ساختار مدل بوده که در ادامه به بیان چند نمونه از آن پرداخته شده است. حلقه های (۱) و (۴) حلقه های با قطبیت مثبت و سایر حلقه ها دارای قطبیت منفی می باشند.

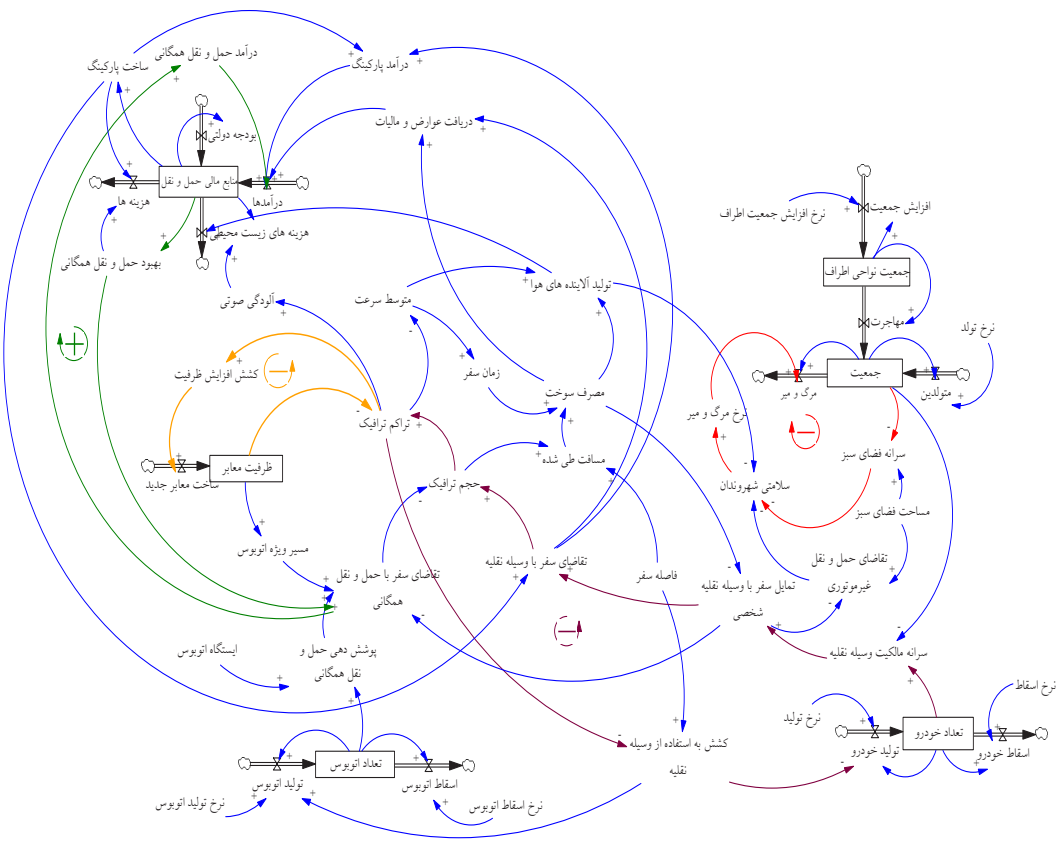
۳-۳- بسط و توسعه مدل سیستم پویایی

پس از ترسیم نمودار جریان مدل حمل ونقل پایدار شهری در این مرحله، روابط ریاضی میان متغیرها در نمودار جریان مشخص شده است. به این منظور، با به‌کارگیری نرم افزار سیستم پویایی و نسیم[۳] ، زیر مدل های اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و حمل ونقلی مدل گردیده است. در محیط نرم افزار سیستم پویایی ونسیم متغیرها به ۵ دسته متغیرهای حالت، نرخ، ثابت، کمکی و خارجی (برونزا) تقسیم بندی می شود. متغیر حالت نشان دهنده مقدار سطح متغیر در طول زمان و تغییر افزایشی یا کاهشی توسط متغیر نرخ است که در نهایت رفتار سیستم پویایی را در طول زمان مشخص می‌کند. متغیر ثابت در طول زمان تغییر پیدا نخواهند نمود و متغیر خروجی به صورت مستقل عمل نموده و تحت تأثیر تغییرات متغیرهای درون مدل نمی‌باشد. مقادیر جدید متغیر حالت بر اساس افزایش یا کاهش تغییرات در دوره آینده بدست می‌آیند.

رابطه (۱)

$$Z.K = Z.J + (R.K - R.K)(D)$$

در این رابطه متغیر 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



شکل ۳. مدل سیستم پویایی حمل ونقل پایدار شهری به همراه حلقه های بازخوری مثبت و منفی؛ ماخذ: نگارندگان.

3-Vensim PLE, vergen 5.9d

مدیریت شهری
دوفصلنامه مدیریت شهری
Urban Management
شماره ۳۱ بهار و تابستان ۹۲
No.31 Spring & Summer

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2024-12-22]

میان J و K (زمان) و K و J زمان حقیقی و قبلی معرفی می‌شوند.

۴- مطالعه موردی و نتایج آن

در این مقاله، شهر مشهد به عنوان یکی از کلانشهرهای ایران جهت ارزیابی حمل‌ونقل پایدار شهری انتخاب گردیده است. به این منظور از نرم‌افزار و نسیم جهت مدلسازی استفاده شده و طی آن زیرمدل‌های اقتصادی، زیست‌محیطی، تولید و جذب سفر (با احتساب خصوصیات اجتماعی و کاربری زمین)، توزیع سفر و تفکیک سفر مدل شده است. مدل حمل ونقل پایدار شهری بر اساس اطلاعات سال‌های ۱۳۷۳ الی ۱۳۸۵ برای شهر مشهد پرداخت و اعتبارسنجی شده و پس از آن، سال ۱۳۸۸ به عنوان سال مبنای برنامه‌ریزی قرار گرفته است. در این مقاله، هزینه آلودگی محیطی مجموعه‌ای از هزینه انتشار آلاینده‌های هوا (CO، HC و NOX)، صوت، آب و تولید زباله در هر یک از وسایل‌نقلیه درنظرگرفته شده که در جدول (۲) هزینه هر کدام به ازای یک کیلومتر- وسیله‌نقلیه در سال پایه مطالعه (۱۳۸۸) آورده شده است.

مصرف سوخت و انتشار آلاینده ها توسط وسایل نقلیه مختلف، تابعی از فناوری، نوع سوخت، سرعت وسایل نقلیه، تراکم ترافیک و شرایط فیزیکی معبر از قبیل شیب طولی و روسازی راه است. در این مطالعه، مصرف سوخت وسایل نقلیه سبک و سنگین بر اساس سرعت و تراکم ترافیک محاسبه شده است (بهبهانی و همکاران، ۱۳۷۳). در جدول شماره ۳، با توجه به سرعت وسایل نقلیه و میزان تاخیر ناشی از تراکم ترافیک، مصرف سوخت مبنا و مازاد تخمین زده شده است.

به جهت محاسبه آلودگی صوتی در مناطق شهری، تا کنون روش های متعددی ارائه شده است. برخی از این روش ها، با ارائه نمودار خطی یا غیرخطی بدست آمده از آزمایشات متعدد، میزان تولید آلودگی صوتی را به طور متوسط به تفکیک وسایل نقلیه ارزیابی

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

ردیف	متغیر	مرجع	هزینه (ریال)	
۱	آلودگی صوتی	(Litman, 2003)	وسیله‌نقلیه شخصی	۱۱۹,۷۸
			اتوبوس	۶۰۴,۱
			موتورسیکلت	۱۲۱۱,۴
۲	آلودگی آب		وسیله‌نقلیه شخصی	۱۲۸,۱
			اتوبوس	۱۲۸,۱
			موتورسیکلت	۱۲۸,۱
۳	آلودگی ناشی از تولید زباله		وسیله‌نقلیه شخصی	۳,۷
			اتوبوس	۳,۷
			موتور سیکلت	۳,۷
۴	آلاینده NO_2	(مهندسین مشاور آتیه‌ساز شرق، ۱۳۸۹)	۴۸۰۰	
۵	آلاینده CO		۱۵۰۰	
۶	آلاینده HC		۱۷۰۰	

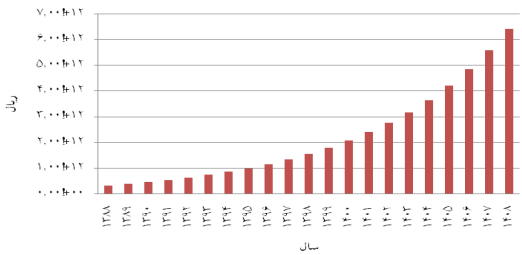
[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2024-12-22]

نموده اند (صفارزاده و رحیمی، ۱۳۸۲). اگرچه این روش ها قابلیت محاسبه میزان آلودگی صوتی را دارد، لیکن عدم ارتباط دهی میان متغیرهای مستقل و تولید آلودگی صوتی و همچنین دقت پایین آنها، به‌کارگیری روابط ریاضی را در این موضوع ضروری می نماید. در مطالعه حاضر، مدل تولید آلودگی صوتی در کشور انگلستان را مبنای محاسبه قرار داده است. در این مدل، متغیرهای حجم ترافیک (Q)، سرعت (V) و درصد وسایل‌نقلیه سنگین (P)، سطح آلودگی صوتی در فاصله ۱۰ متری (L۱۰) نتیجه می شوند (صفارزاده و رحیمی، ۱۳۸۲). لازم به ذکر است که روابط ریاضی ارائه شده در کشور انگلستان با توجه به مقادیر بدست آمده بصورت میدانی در نقاط مختلف در شهر مشهد کالیبره شده است (سازگارنیا و همکاران، ۱۳۸۴).

همچنین، میزان نشر آلاینده های مختلف (NOX, HC, CO) توسط وسایل‌نقلیه مختلف تابعی از فناوری وسیله‌نقلیه، نوع سوخت و سرعت وسیله‌نقلیه است. جهت برآورد میزان انتشار برخی آلاینده های هوا از مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران (شرکت مطالعات حمل‌ونقل و ترافیک تهران، ۱۳۷۵) استفاده شده است.

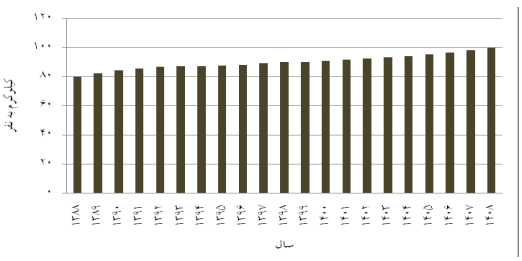
با ساخته شدن مدل و اعتبارسنجی نتایج آن در سال پایه [۳]، نتایج مدل حمل‌ونقل پایدار بر اساس شاخص‌های انتخابی در شهر مشهد بدست آمده است. این نتایج در شکل‌های (۴)، (۵)، (۶)، (۷)، (۸)، (۹)، (۱۰) و (۱۱) نمایش داده شده است. در این شکل‌ها، محور افقی مربوط به سال آتی و محور عمودی نمایشگر تغییرات شاخص‌ها می باشد. در محور افقی، سال مبنا (۱۳۸۸) تا سال طرح (۱۴۰۸) مشخص شده است.

شاخص اول مربوط به خسارت سالیانه جبران نشده حمل و نقل براساس آلودگی محیط ناشی از حمل‌ونقل در دوره ۲۰ ساله تقریباً به صورت سهمی مثبت افزایش پیدا کرده است (شکل شماره ۴). در سال مبنا این هزینه برابر با ۳,۰۴E+۱۱ ریال و در سال طرح برابر با ۶,۴۴E+۱۲ریال برآورد شده است. این موضوع بیانگر افزایش حدود ۲۰ برابری هزینه آلودگی محیط در این دوره بوده که می تواند به‌عنوان چالشی مهم قلمداد شود.



شکل ۴. تغییرات شاخص هزینه آلودگی محیط ناشی از حمل و نقل در دوره ۲۰ ساله (ریال)؛ ماخذ: نگارندگان

وضعیت تغییر در شاخص برابری در معرض قرارگیری آلودگی هوا ناشی از حمل‌ونقل در دوره ۲۰ ساله در شکل (۵) نشان داده شده است. این شاخص که یک شاخصی ترکیبی از افزایش همزمان تولید آلاینده های هوا و جمعیت شهر مشهد تا سال ۱۴۰۸ می باشد، بیانگر این مطلب است که رشد استفاده از وسایل نقلیه می تواند تا سال افق طرح این شاخص را تا حدود ۲۵ درصد افزایش روبرو نماید. این موضوع می تواند مخاطره ای جدی برای شهر مشهد ایجاد نماید.

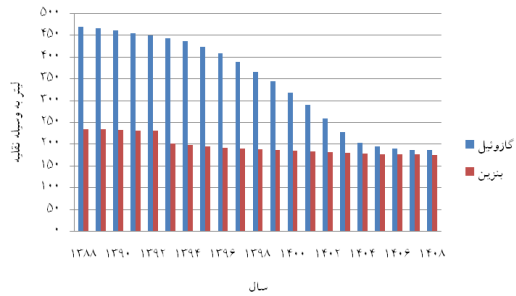


شکل ۵. تغییرات شاخص برابری در معرض قرارگیری آلودگی هوا ناشی از حمل‌ونقل در دوره ۲۰ ساله (کیلوگرم به نفر)؛ ماخذ: نگارندگان.

شاخص دیگر بررسی شده در این مقاله، مصرف سالیانه گازوئیل و بنزین به تعداد خودروی گازوئیل‌سوز و بنزینسوز است. در شکل شماره ۶ تغییرات این شاخص

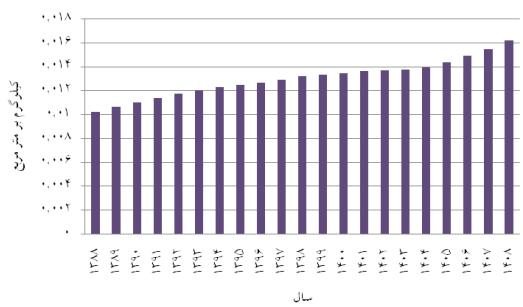
[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2024-12-22]

در بازه ۲ ماهه و در دوره ۲۰ ساله نشان داده شده است. در سال ۱۳۸۸ مصرف سالیانه گازوئیل و بنزین به تعداد خودروی گازوئیل‌سوز و بنزینسوز به ترتیب برابر با ۴۲۷/۲ و ۲۳۵/۵ لیتر به وسیله‌نقلیه در دو ماه بوده که این مقادیر در سال ۱۴۰۸ به ۱۸۷/۵ و ۱۷۶/۳ لیتر به وسیله نقلیه رسیده است. بررسی در نتایج مدل نشان می‌دهد اگرچه مقادیر مصرف سوخت و تعداد وسایل‌نقلیه به‌صورت تابع اکیداً صعودی هستند، لیکن نسبت این دو به دلیل کاهش مطلوبیت استفاده از وسایل نقلیه (ازقبیل افزایش قیمت سوخت و توسعه سیستم های حمل ونقل همگانی در شهر مشهد تا سال ۱۴۰۸) در طول زمان نزولی است.



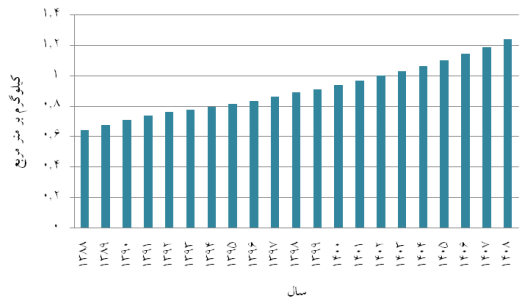
شکل ۶. تغییرات شاخص تولید مصرف سالیانه گازوئیل و بنزین به تعداد خودروی گازوئیل‌سوز و بنزینسوز (لیتر به وسیله‌نقلیه)؛ ماخذ: نگارندگان.

در شکل های (۷) و (۸) به ترتیب شاخص میزان تغییرات شاخص‌های تولید سالیانه آلاینده NOX و CO به مساحت منطقه نشان داده شده است. براساس این شکل ها، تولید سالیانه آلاینده NOX تقریباً ثابت



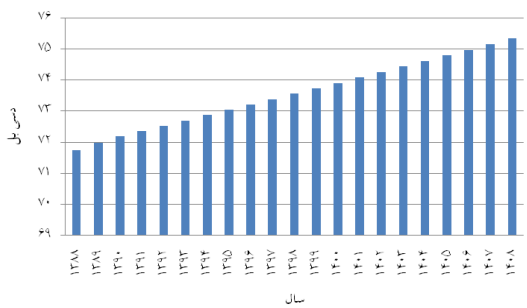
شکل ۷. تغییرات شاخص تولید سالیانه آلاینده XON به مساحت منطقه در دوره ۰۲ ساله (کیلوگرم بر متر مربع) ماخذ: نگارندگان.

و تولید سالیانه آلاینده CO دارای رشد بیشتری بوده است. این آلاینده در سال مبنا برابر ۰٫۶۴۴۱۳۹ و در سال طرح به میزان ۱٫۲۳۹۴۷ کیلوگرم بر متر مربع پیش‌بینی گردیده است.



شکل ۸. تغییرات شاخص تولید سالیانه آلاینده CO به مساحت منطقه در دوره ۲۰ ساله (کیلوگرم بر متر مربع) ماخذ: نگارندگان.

همان‌گونه که در شکل (۹) نمایش داده شده است، شاخص مربوط به آلودگی صوتی در سال مبنا برابر با ۷۱/۸ دسی‌بل بوده که با تغییر تقریباً خطی، در سال ۱۴۰۸ به ۷۵/۲ دسی‌بل رسیده است. این موضوع بیانگر این است که روند پیش‌رو در شهر مشهد، سبب افزایش آلودگی صوتی به میزان ۳/۴ دسی‌بل طی ۲۰ سال آتی خواهد شد.

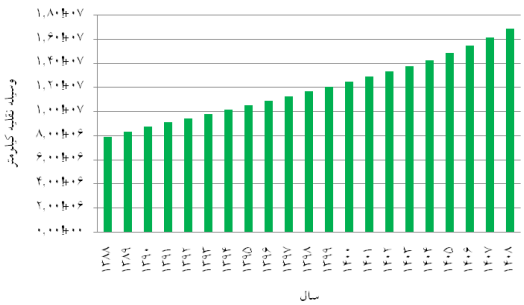


شکل ۹. تغییرات شاخص آلودگی صوتی در دوره ۲۰ ساله (دسی‌بل) ماخذ: نگارندگان.

شاخص دیگر مورد بررسی در این مطالعه، مسافت طی شده وسایل نقلیه در دوره ۲۰ ساله بوده که میزان تغییرات این شاخص در شکل شماره ۱۰ مشخص

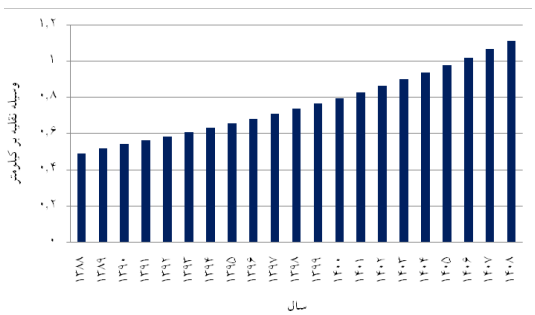
[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2024-12-22]

گردیده است. رشد این شاخص تقریباً بصورت خطی بوده، به گونه ای که برآورد می شود مسافت طی شده وسایل نقلیه تا سال ۱۴۰۸ تا حدود ۱۰۰ درصد افزایش یابد. این موضوع که عمدتاً به دلیل افزایش بی رویه جمعیت شهری و رشد سفرهای روزانه اتفاق می افتد، معضلات ترافیکی درون شهری را پیچیده تر و گسترده تر خواهد نمود.



شکل ۱۰. تغییرات شاخص مسافت طی شده وسایل نقلیه در دوره ۲۰ ساله (وسیله نقلیه-کیلومتر)؛ ماخذ: نگارندگان.

همچنین، در شکل شماره ۱۱ شاخص متوسط تراکم وسایل نقلیه در دوره ۲۰ ساله نمایش داده شده است. مطابق با شکل شماره ۱۱، این شاخص که در سال پایه در حدود ۰/۵ می باشد، با رشد وسایل نقلیه تا سال افق طرح به عدد ۱/۵ (شرایط فوق اشباع) می رسد.



شکل ۱۱. تغییرات شاخص متوسط تراکم وسایل نقلیه در دوره ۲۰ ساله (وسیله نقلیه بر کیلومتر)؛ ماخذ: نگارندگان.

نتایج حاصل از مدل های سیستم پویایی در شاخص های به کارگیری شده بیانگر افزایش مخاطرات زیست محیطی، اجتماعی، اقتصادی و حمل ونقلی در شهر مشهد می باشد. رویکرد دستیابی به توسعه پایدار در بخش حمل ونقل، استفاده از سیاست های پایدار کننده حمل ونقلی بوده که لازم است میزان اثرگذاری این سیاست ها مورد ارزیابی قرار گیرد.

۵- بحث و تحلیل

جهت ارزیابی سطح پایداری حمل ونقل شهر مشهد، پنج سیاست با توجه به اهداف و راهبردهای حمل ونقل پایدار معرفی شده است. سنجش سناریوها به این صورت است که نتایج مدلهای سیستم پویایی طی ۹ شاخص و در فاصله سال ۱۳۸۸ (سال مبنا) و سال ۱۴۰۸ (سال طرح) بررسی شده است. این سیاست ها شامل افزایش مطلوبیت پیاده روی، توسعه هم پیمایی، کاهش خودروهای فرسوده، کاهش خودروهای فرسوده، دورکاری و افزایش کیفیت وسایل نقلیه همگانی است. در جدول شماره ۳ این سیاست ها معرفی شده است. در این جدول، سیاست‌ها، متغیر قابل استفاده در مدل، مقادیر اولیه، واحدها و مقادیر مختلف سیاست ها مشخص گردیده است. برای هر سیاست ۴ مقدار مشخص شده و به این ترتیب مطالعه حاضر در مجموع ۲۰ سناریو (سناریوهای الف-۱ الی ه -۵) را بررسی نموده است. با وارد کردن مقادیر سناریوها در نرم افزار سیستم پویایی ونسیم، نتایج هر سناریو طی ۲۰ سال آتی (۱۳۸۸ الی ۱۴۰۸) بدست آمده است.

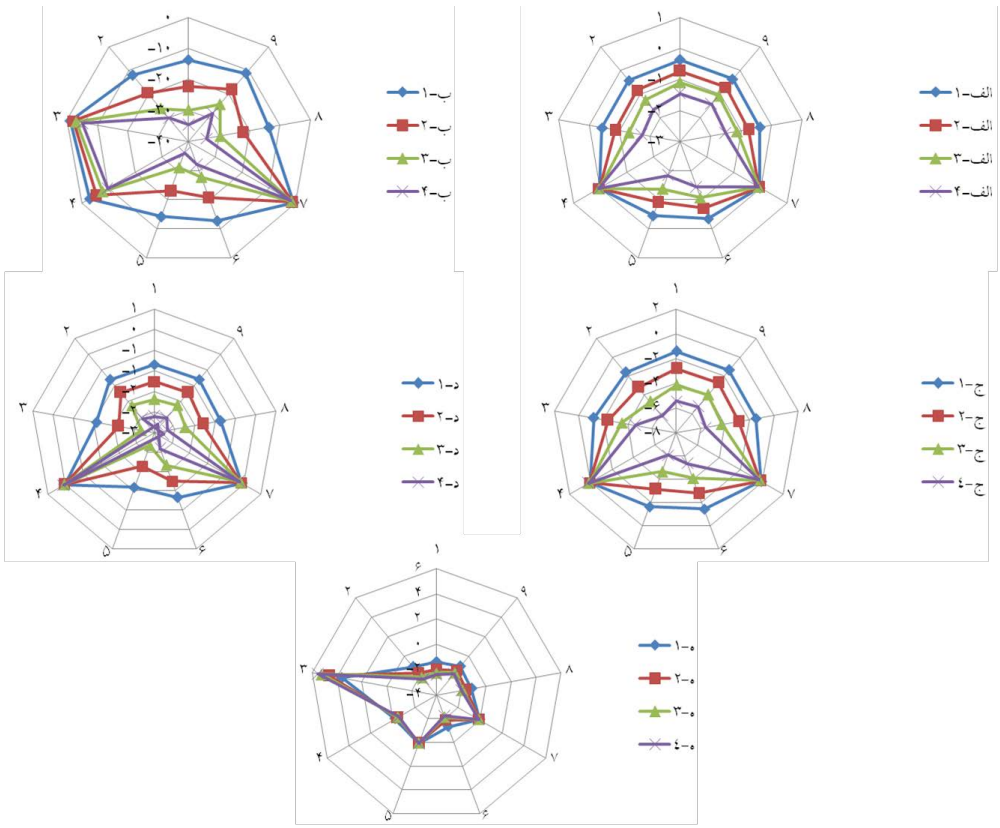
به‌منظور مقایسه سناریوها در شهر مشهد، مقادیر شاخص‌ها (براساس تعریف جدول ۱) در سال ۱۳۸۸ و ۱۴۰۸ درنظر گرفته شده است. این اطلاعات با استفاده از نمودار ریدار[4] مطابق با شکل شماره ۱۲ به تصویر کشیده شده است. در این شکل، تمامی ۲۰ سناریو طی ۵ سیاست موردنظر در سال طرح آورده شده است. نحوه ترسیم این نمودار به این صورت بوده که مقادیر شاخص‌ها در هر سناریو بر مقدار همان

4-Radar Diagram

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2024-12-22]

جدول ۴. سیاست ها و سناریوهای به کارگیری شده جهت سنجش حمل ونقل پایدار در شهر مشهد؛ ماخذ: نگارندگان.

سیاست	متغیر	واحد	مقدار اولیه	مقدار	سناریو	مقدار	سناریو	مقدار	سناریو	مقدار	سناریو	مقدار	سناریو
افزایش مطلوبیت پیاده روی	تغییر شیوه سفر به پیاده روی	درصد	۰,۰۵	۰,۱	الف-۱	۰,۱۵	الف-۲	۰,۲	الف-۳	۰,۲۵	الف-۴
توسعه سیاست های هم پیمایی	متوسط سرنشین وسایل نقلیه	نفر	۱	۱,۳	ب-۱	۱,۶	ب-۲	۲	ب-۳	۲,۳۵	ب-۴
کاهش خودروهای فرسوده	نرخ اسقاط خودرو	درصد	۰,۰۰۲	۰,۰۰۳	ج-۱	۰,۰۰۴	ج-۲	۰,۰۰۵	ج-۳	۰,۰۰۶	ج-۴
سیاست دورکاری	کاهش سفرهای با هدف شغلی	درصد	۰	۰,۱	د-۱	۰,۱۵	د-۲	۰,۲	د-۳	۰,۲۵	د-۴
افزایش کیفیت وسایل نقلیه همگانی	افزایش کیفیت سفر با اتوبوس	_	۵	۶	ه-۱	۷	ه-۲	۸	ه-۳	۹	ه-۴



شکل ۱۲. مقایسه مقادیر نسبی (برحسب درصد) شاخص های ۱ الی ۹ در ۲۰ سناریوی مطالعه (سناریوهای الف-۱ الی ه-۵)؛ ماخذ: نگارندگان.

شاخص در گزینه عدم انجام کار تقسیم و به این ترتیب مقادیر نسبی هر شاخص در سناریوی مورد نظر محاسبه شده است. در هر نمودار، ۹ محور وجود داشته که مربوط به شاخص‌های مطالعه می‌باشد.

همان گونه که در شکل شماره ۱۲ مشخص گردیده است، مقادیر نسبی شاخص‌های مطالعه در سناریوهای الف-۴، ب-۴، ج-۴، د-۴ و ه-۴ دارای بیشترین تغییر در شاخص ها در مقایسه با سایر سناریوهای متناظر

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2024-12-22]

در هر سیاست می باشند. به طور کلی، بیشترین تغییر در مقادیر شاخص ها مربوط به سناریوهای ب-۱ الی ب-۴ بوده و پس از آن، سناریوهای ج-۱ الی ج-۴ بیشترین تغییر را در شاخص ها مطالعه بوجود آورده اند. به عنوان نمونه، در سناریوهای ب-۱ الی ب-۴ که مرتبط با توسعه سیاست های هم پیمایی می باشند، شاخص ۳ (مصرف سالیانه گازوئیل به تعداد خودروی گازوئیل سوز) و شاخص ۷ (سطح آلودگی صوتی در مناطق شهری) دارای کمترین نوسان در مقایسه با گزینه عدم انجام کار بوده و سایر شاخص ها دارای نوسان بیشتری بوده اند.

در نهایت، جهت مقایسه و انتخاب بهترین سناریو در راهبردهای حمل‌ونقل پایدار، مقادیر تمامی شاخص ها در سناریوها با یکدیگر مقایسه شده و با توجه به علامت منفی این شاخص ها، کمترین مقدار در هر کدام انتخاب شده است. در شکل شماره ۱۳ این نتایج به صورت تصویری بیان گردیده است. همان گونه که در شکل شماره ۱۳ مشخص گردیده، در محور عمودی شاخص های مطالعه و در محور افقی مقادیر نسبی مربوط به موثرترین سناریو در هر گروه سیاستی نمایش داده شده است. در این شکل، مقادیر نسبی شاخص ها با رنگ‌های متمایز و از بالا به پایین در هر شاخص نشان داده شده است. به عنوان نمونه در شاخص تولید سالیانه آلاینده CO به مساحت منطقه (شاخص ۶)، به ترتیب سناریوهای ب-۴، ج-۴، ه-۴، د-۴ و الف-۴ بیشترین تاثیر را در کاهش این شاخص داشته اند.

به عنوان جمعبندی، الگوی مناسب جهت کاهش پیامدهای منفی حمل ونقل به ترتیب اتخاذ سناریوهای توسعه سیاست هم پیمایی (ب-۴)، کاهش خودروهای فرسوده (ج-۴) و افزایش کیفیت وسایل نقلیه همگانی (ه-۴) در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهرمشهدپیشنهادمی‌شود.

۶- نتیجه گیری و جمعبندی

به جهت کاستی های مورد اشاره درخصوص مدل های استاتیکی در برنامه ریزی حمل ونقل، در این مقاله، حمل ونقل پایدار شهری با به کارگیری مدل های سیستم پویایی شبیه سازی شده است. در این مدل سال ۱۳۸۸ به عنوان سال پایه و سال ۱۴۰۸ به عنوان سال طرح درنظرگرفته شده است. نتایج مدل برای دوره ۲۰ ساله طی ۹ شاخص مرتبط

شکل ۱۲. مقایسه مقادیر نسبی (برحسب درصد) شاخصهای ۱ الی ۹ در ۲۰ سناریوی مطالعه (سناریوهای الف-۱ الی ه-۵)؛ ماخذ: نگارندگان.

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2024-12-22]

با حمل ونقل شهر مشهد محاسبه گردیده است. در ادامه، پنج سیاست اساسی و در هر کدام چهار سناریو (در مجموع ۲۰ سناریو) در مدل ارائه گردیده است. ارزیابی این سناریوها به روش مقایسه میان شاخص ها در نمودارهای ریدار و نتایج شاخص ها انجام شده است. در این ارزیابی مشخص گردیده سناریوهای توسعه سیاست هم پیمایی (ب-۴)، کاهش خودروهای فرسوده (ج-۴) و افزایش کیفیت وسایل نقلیه همگانی (ه-۴)، بیشترین تاثیر را بر روی شاخص ها گذاشته و توانسته است رشد شاخص های مطالعه را طی ۲۰ سال آینده کمینه نماید.

مطالعاتی که تاکنون در شهر مشهد انجام شده، از مدل های استاتیکی حمل‌ونقل بهره گرفته بودند. در این مقاله، برای نخستین بار از مدل های سیستم پویایی جهت ارزیابی توسعه پایدار حمل ونقل شهر مشهد استفاده نموده است. جهت انجام مطالعات آتی پیشنهاد می گردد ضمن انتخاب شاخص ها و سیاست های جامع تر از قبیل توسعه سیستم های حمل-ونقل ریلی، از روش های تحلیل دیگری نیز جهت مقایسه میان شاخص ها در هر سناریو استفاده شود. به نظر می رسد نتایج حاصل از این مطالعه، الگوی مناسبی را جهت دستیابی به حمل ونقل پایدار در اختیار متولیان و برنامه ریزان شهر مشهد قرار دهد.

منابع و ماخذ

استادی جعفری، مهدی و حدیقه جوانی، محسن (۱۳۸۸) جایگاه حمل ونقل همگانی در دستیابی به حمل‌ونقل پایدار؛ نهمین کنفرانس حمل‌ونقل و ترافیک، معاونت حمل ونقل و ترافیک، اردیبهشت، تهران، ایران.

استادی جعفری، مهدی، کرمرودی، محمود و امینی شیرازی، حامد (۱۳۸۹) ارائه مدل ارزیابی شاخص مبنا جهت اندازه گیری سطح پایداری حمل ونقل در برنامه ریزی و مدیریت یکپارچه شهری؛ اولین کنفرانس بین-المللی مدیریت شهری با رویکرد توسعه پایدار، مرکز مطالعات تکنولوژی دانشگاه صنعتی شریف، خرداد، تهران، ایران.

استادی جعفری، مهدی (۱۳۸۹) ارزیابی و مدلسازی حمل ونقل پایدار شهری، پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی عمران- گرایش برنامه ریزی حمل ونقل (M.Sc)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، فصل‌های ۲ و ۳.

استادی جعفری، مهدی و حیدری می آبادی، حامد رضا (۱۳۹۰) ارزیابی حمل و نقل پایدار ملی با استفاده از مدل شاخص مبنا؛ یازدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل ونقل و ترافیک، معاونت حمل ونقل و ترافیک، اسفند، تهران، ایران.

مهندسین مشاور آتیه‌ساز شرق (۱۳۸۹) مطالعات بازنگری و توسعه محدوده ممنوعه تردد شهر مشهد؛ سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری مشهد، مشهد، جلد چهارم و پنجم.

بهبهانی، حمید، قهرمانی، حسین، امینی، بهنام و احمدی نژاد، محمود (۱۳۷۳) مهندسی ترافیک - تئوری و کاربرد؛ چاپ اول، سازمان حمل‌ونقل ترافیک تهران؛ ص ص ۸۱ الی ۱۲۴.

صفارزاده، محمود و رحیمی، فرزاد (۱۳۸۲) آلودگی صوتی در سیستم‌های حمل‌ونقل؛ چاپ اول، سازمان محیط زیست، تهران، ص ص ۱۱۲ الی ۱۱۸.

سازگارنیا، آمنه و همکاران (۱۳۸۴) آلودگی صوتی و شاخص صدای ترافیک در چند خیابان اصلی شهر مشهد در ساعات پرترافیک تابستان؛ نشریه فیزیک پزشکی ایران، دوره ۲، شماره ۸، پاییز، ص ص ۲۱ الی ۳۰.

شرکت مطالعات حمل‌ونقل و ترافیک تهران (۱۳۷۵) ساختار نهایی مدل حمل‌ونقل شهر تهران در محیط نرم‌افزار EMME/۲؛ شرکت مطالعات جامع حمل‌ونقل ترافیک تهران، گزارش شماره ۱۱۷، تهران، ایران.

Transportation Research Board (TRB), Sustainable Transportation Indicators (STI), Subcommittee (TRB) Subcom-

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2024-12-22]

mittee ADD40 (2008) Sustainable Transportation Indicators, A Recommended Program To Define A Standard Set of Indicators F Sustainable Transportation Planning.
Litman, Tod (2003) Sustainable transportation indicators, Victoria Transport Policy Institute (VTPI), Victoria, Canada, http://www.vtpi.org/sus-indx.pdf
Pfaffenbichler, Paul (2003) the strategic, dynamic and integrated urban land use and transport model MARS (Metropolitan Activity Relocation Simulator) Development, testing and application, DISSERTATION Doctoral Thesis.
Contestabile, Marcello (2003) Analysis of the Demand for Hydrogen as a Transportation Fuel in London, A Report Submitted in Partial of the Requirements for the MSc and the DIC.
Guzmán, Luis Ángel, et al (2008) Impacts of Fuel Consumption Taxes on Mobility Patterns and CO2 Emissions Using a System Dynamics Approach, 10th International Conference on Application of Advanced Technologies in Transportation, Athens.
Pfaffenbichler, Paul (2003) The strategic, dynamic and integrated urban land use and transport model MARS (Metropolitan Activity Relocation Simulator) Development, testing and application, DISSERTATION Doctoral Thesis, September.
Kuchenbecker, K. and Schade, W. (1998) Design and Specification of a system dynamics model, ASTRA, Project No: ST-97-SC.1049.
Kim, Kyeil (1998) A Transportation Planning Model for State Highway Management: A Decision Support System Methodology to Achieve Sustainable Development, Dissertation submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Civil Engineering, February.
Haghani, Ali, et al, (2004) A System Dynamics Approach to Land Use / Transportation System Performance Modeling, Part I: Methodology, Journal of Advanced Transportation, Vol. 37, No. I, pp. 1-41.
Litman, Tod (2009) Transportation Cost and Benefit Analysis II – Vehicle Costs, Victoria Transport Policy Institute, (www.vtpi.org)

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2024-12-22]