

جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۲۴، پاییز ۱۳۹۶

وصول مقاله: ۱۳۹۵/۹/۹

تأیید نهایی: ۱۳۹۶/۴/۱۲

صفحات: ۱۲۴ - ۱۱۱

ارزیابی جای پای اکولوژیک سیستم‌های حمل‌ونقل شهری در کلان‌شهرها مورد شناسی: شهر مشهد

دکتر یونس غلامی بيمرغ^۱، مسعود نقابی^۲، مهدی عبدالله زاده^۳، محمد قنبری^۴

چکیده

حمل‌ونقل درون‌شهری یکی از عناصر اصلی و مهم سیستم شهری است که از یک طرف، زمینه تحرک و پویایی شهر را فراهم کرده و دسترسی مردم و شهروندان را به نقاط و کاربری‌های مختلف شهری ممکن می‌سازد؛ از طرف دیگر، گسترش حمل‌ونقل شهری پیامدهایی از قبیل نرخ فزاینده تصادفات رانندگی، مصرف بی‌رویه انرژی‌های فسیلی، تولید آلاینده‌های مخرب سلامت انسان و محیط زیست و هزینه‌های کلان ناشی از این موارد را به دنبال دارد. پژوهش حاضر در تلاش است تا با استفاده از روش جای پای اکولوژیک، نحوه استفاده و بهره‌برداری سیستم‌های حمل‌ونقل شهری مشهد از سوخت‌های فسیلی و پیامدهای زیست‌محیطی آن را بسنجد؛ بنابراین پژوهش حاضر، از نظر ماهیت و روش دارای رویکرد تحلیلی و کاربردی است که ابتدا با استفاده از مطالعات میدانی، اسنادی و کتابخانه‌ای به بررسی و استخراج اطلاعات مورد نیاز پرداخته و سپس میزان مصرف و مقدار زمین مورد نیاز این میزان مصرف را با استفاده از شاخص جای پای اکولوژیک محاسبه کرده و پیشنهادهایی برای کاهش مصرف سوخت و بهبود کیفیت محیط زیست شهر مشهد ارائه کرده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که در شهر مشهد، سیستم اتوبوس‌رانی بیشترین سازگاری را با محیط زیست دارد و تنها سیستم حمل‌ونقل درون‌شهری مشهد است که سرانه جای پای اکولوژیک آن کمتر از سرانه جهانی آن است. همچنین نتایج محاسبات نشان می‌دهد که هر یک از سیستم‌های حمل‌ونقل؛ یعنی مینی‌بوس، تاکسی و مسافرخش‌ها، سواری‌های شخصی و موتورسیکلت‌ها، به ترتیب ۲، ۶، ۱۲ و ۵/۵ برابر بیشتر از سیستم اتوبوس‌رانی از منابع زیست‌محیطی استفاده می‌کنند و به محیط زیست شهر مشهد خسارت می‌زنند. کلید واژگان: ارزیابی، جای پای اکولوژیک، حمل‌ونقل، اثرات زیست‌محیطی، مشهد.

1- yonesgholami@ymail.com

2- beimorgh@yahoo.com

3- mahdi3249@yahoo.com

4- m.ghanbari233@hotmail.com

۱- استادیار گروه جغرافیا و اکوتوریسم دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه کاشان (نویسنده مسؤل)

۲- کارشناس ارشد برنامه ریزی شهری و عضو هیئت مدیره شرکت عمران شهر جدید بینالود

۳- دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه فردوسی مشهد و عضو گروه مشاوران جوان شهرداری مشهد

۴- دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه فردوسی مشهد و شهردار گروه مشاوران جوان شهرداری مشهد

مقدمه

حمل‌ونقل شهری به‌عنوان یکی از عوامل مهم حیات و رشد اقتصادی شهر و یکی از مؤثرترین اجزای حمل‌ونقل محسوب می‌باشد؛ به طوری که در شهرهای کشورهای در حال توسعه، اغلب بین ۱۵ تا ۲۵ درصد از بودجه، بین ۸ تا ۱۶ درصد از درآمد خانوارها و بیش از ۳۳ درصد از سرمایه‌گذاری‌ها در زیرساخت‌های شهری، در بخش حمل‌ونقل مصرف می‌شود (UNEP, 2011)؛ اما با وجود اهمیت این سیستم‌ها در زندگی روزمره شهروندان، الگوهای رایج حمل‌ونقل هزینه‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی سنگینی متحمل می‌شود. در این رابطه، برخی مشکلات مستندشده دیده می‌شود؛ از جمله، افزایش سطح مصرف انرژی، ترافیک جاده‌ای، انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی و همچنین ایمنی جاده‌ای و اثرات بهداشت جاده‌ای. تاجایی که در برخی مطالعات، هزینه‌های اجتماعی و زیست‌محیطی بخش حمل‌ونقل شامل آلودگی محیط زیست، تصادفات و ترافیک حدود ۱۰ درصد یا بیشتر بودجه GDP برآورد شده است (UNEP, 2011). آژانس بین‌المللی انرژی نیز پیش‌بینی کرده است که انتشار گاز دی‌اکسید کربن در بخش حمل‌ونقل به رشدی ۱۲۰ درصدی تا سال ۲۰۵۰ در مقایسه با سال ۲۰۰۰ و ناوگان خودروی جهانی به سه برابر خواهد رسید (UNEP, 2008). طبق میانگین سالانه، حدود ۵۰۰ هزار نفر در کشورهای در حال توسعه دچار مرگ زودرس ناشی از آلودگی هوای ناشی از حمل‌ونقل می‌شوند (استادی جعفری و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۸۱). در سال‌های اخیر، بروز و یا تشدید این اثرات منفی و زیان‌بار حمل‌ونقل، به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین بخش‌ها مورد توجه اکثر کارشناسان و برنامه‌ریزان قرار گرفته است (استادی جعفری و رصافی، ۱۳۹۲: ۲۸۱). به طوری که با افزایش اثرات زیست‌محیطی و برهم‌ریختگی طبیعت، همچنین پیدایی طلیعه ویرانی محیط زیست جهانی، پیامدهای شوم و غم‌انگیز آن بر زندگی انسان و گسترش مفهوم توسعه پایدار در سطح بین‌المللی، دانشمندان مدل‌های کمی و کیفی متعددی برای

اندازه‌گیری اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌های انسانی و توسعه پایدار جوامع و شهرها ارائه کرده‌اند. یکی از این شاخص‌ها که توجه بیشتری را در سطوح آکادمیک، سیاسی و آموزشی به خود جلب کرده، ارزیابی جای پای بوم‌شناختی^۱ است. این شاخص نشان می‌دهد که مصرف انرژی و بهره‌برداری از منابع را می‌توان به‌طور مستقیم با زمین‌های اختصاص داده شده به هر کدام از کاربری‌ها در شهر، منطقه و یا کشور مرتبط کرد و مورد ارزیابی قرار داد (Gottlieb et al, 2012: 13). نوآوری روش جای پای اکولوژیک این است که برخلاف روش‌های رایج ارزیابی آثار زیست‌محیطی که تعیین معیارهای ارزیابی کاملاً کیفی بوده و در نهایت تصمیم‌گیری کیفی در دامنه +۱۰ تا -۱۰ کمی می‌شوند. در این روش، حداقل مبنای واقعی برای تصمیم‌گیری وجود دارد و آن تبدیل «میزان مصرف» به «زمین» است (فریادی و صمدپور، ۱۳۸۹: ۹۸). کلان‌شهر مشهد در گذر زمان به‌عنوان دومین کلان‌شهر ایران، در ابعاد مختلف اقتصادی - اجتماعی به مصادره ظرفیت‌های منطقه پستی‌پشته خود، متشکل از دیگر شهرها و سکونتگاه‌های تحت‌سلطه‌اش، پرداخته است و این امر باعث رشد روزافزون جمعیت شهر مشهد و در پی آن ازدیاد تعداد وسایل نقلیه درون‌شهری شده و مشکل حمل‌ونقل و ترافیک را به یکی از اصلی‌ترین مشکلات این شهر تبدیل کرده است. هرچند در سال‌های اخیر در قالب طرح‌های توسعه شهری و نیز طرح جامع ترافیک، تدابیری به‌منظور کاهش اثرات این مشکل صورت گرفته است؛ اما تاکنون نتوانسته موفقیت‌چندانی در این امر ایجاد کند و بسیاری از مشکلات همچنان به قوت خود باقی است. شایان ذکر است که این مشکلات، مسبب پیامدهای زیست‌محیطی بسیاری از جمله: افزایش مصرف سوخت، هدررفت سرمایه‌های طبیعی، بروز آلودگی هوا و کاهش کیفیت محیط زیست شهری نیز بوده است. روشن است که در آینده‌ای نزدیک با افزایش جمعیت شهر مشهد، این مشکلات نیز افزایش خواهد یافت. با

1. Ecological footprint (EFA)

معکوس کردن وابستگی به خودرو و ارتقاء جایگزین‌ها و حالت‌های پویای حمل‌ونقل باشیم، به رسمیت شناخته است (صرافی و محمدیان، ۱۳۹۱: ۱۱۶).

نظریه تبخیر ترافیک: براساس این نظریه، چنانچه فضای جاده کم شود، ترافیک کاهش یافته و سطح کلی زیرساخت‌ها ثابت می‌ماند (صرافی و محمدیان، ۱۳۹۱: ۱۱۷).

در مجموع، تمامی انگاره‌هایی که گفته شد یک منظور دارند؛ بهتر زیستن انسان در شهر که برای رسیدن به آن نیازمند سنجش و ارزیابی می‌باشیم.

در دهه‌های اخیر، شاخص‌ها و مفاهیم گوناگونی برای ارزیابی این اثرات و سنجش پایداری در سطوح مختلف از جمله مناطق شهری ارائه شده است. یکی از این شاخص‌ها که توجه بیشتری را به خود جلب کرده، ارزیابی جای پای اکولوژیک است. این روش، ابزاری برای تعیین اثرات زیست‌محیطی با یک شاخص واحد، ساده و قابل فهم است (رضوانی، ۱۳۸۷: ۱۴۷) و میزان مصرف انسان و اثر این مصرف را بر محیط زیست ارزیابی می‌کند (جمعه‌پور و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۹۲) و تعیین می‌کند که میزان بار و فشار وارده بر طبیعت چقدر است (حسین‌زاده دلیر و ساسان‌پور، ۱۳۸۵: ۹۰). در واقع، تحلیل جای پای اکولوژیک، یک ابزار محاسبه محیطی است که ما را قادر می‌کند تا براساس مناطق زمینی و آبی که انسان‌ها صرف تولید می‌کنند، میزان مصرف منابع و جذب پسماندهای آنان را برآورد کنیم (Wackernagel & Rees, 1996: 9). جای پای اکولوژیک می‌تواند به‌عنوان یک روش کمی و درعین‌حال جامع، برای تعیین اندازه کیفیت محیط زیست شهری مورد استفاده قرار گیرد (فریادی و صمدپور، ۱۳۸۹: ۹۸) و ابزاری برای تشخیص فرصت‌ها به‌منظور کاهش هزینه‌ها محسوب می‌شود (رضوانی، ۱۳۸۷: ۱۴۷). این مدل درصد محاسبه و مقایسه تقاضای انسان برای منابع اکولوژیکی و توانایی زمین برای تأمین و بازتولید است. روش‌شناسی آن محاسبه را درگیر می‌کند، «نواحی حاصلخیز و دریا در زمین معین، مقدار مشخصی انرژی، غذا و مواد را برای

توجه به این مسائل، ارزیابی کلی از اثرات زیست‌محیطی و پایداری سیستم‌های حمل‌ونقل شهری مشهود ضروری است.

چهارچوب نظری و پیشینه پژوهش

بعد از شکل‌گیری مفهوم توسعه پایدار و همچنین روشن‌شدن نقش چشمگیر شهرهای جهان در دامن‌زدن به ناپایداری‌های فعلی به‌ویژه در زمینه انتشار گازهای گلخانه‌ای و تضييع منابع طبیعی و همچنین روشن‌شدن پیامدهای ناگوار وابستگی به خودرو، در برنامه‌ریزی، انگاره‌های نوین برنامه‌ریزی شهری شکل گرفتند که با تأکید بر پایداری، خواهان تحدید حرکت سواره و افزایش گزینه‌های حمل‌ونقل پایدارتر به‌عنوان اولویتی بین‌المللی بودند؛ اهم این انگاره‌ها عبارت‌اند از:

نظریه توسعه پایدار شهری: پایداری زمانی می‌تواند در شهرها به‌کار بسته شود که شهرها ورودی‌های منابع (زمین، انرژی، آب و مواد) و خروجی‌های خود را (تضييع هوا، مایع و جامد) کاهش دهد (صرافی و محمدیان، ۱۳۹۱: ۱۱۴).

یوم‌شهر: در این نظریه نیز باید شهر منطبق با طبیعت باشد و حمل‌ونقلی پایدار داشته باشد.

شهر زیست‌پذیر: یک اجتماع زیست‌پذیر، اجتماعی امن، قابل اطمینان با گزینه‌های مختلف حمل‌ونقل، عدالت‌محور، دارای مسکن قابل استطاعت و اقتصاد رقابتی است (بندرآباد و احمدی‌نژاد، ۱۳۹۳: ۷-۹).

نوشهرگرایی و شهر هوشمند: در شهرگرایی جدید توجه و تمرکز، بیشتر بر ابعاد فیزیکی و کالبدی است و در رشد هوشمند علاوه بر ابعاد کالبدی، به جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی و هم‌پیوندی با نواحی پیرامون نیز تأکید فراوان می‌شود (نیک‌پور، ۱۳۹۰: ۱۲۶).

منشور آتن: در این منشور، شهر را به چهار منطقه مجزای «فعالیت، سکونت، تفریح و شبکه ارتباطی» تقسیم می‌کند (مهدی‌زاده، ۱۳۷۹: ۷۳).

جنبش شهر سالم: حمل‌ونقل، یکی از مؤلفه‌های کلیدی برنامه‌ریزی شهری سالم است. این منشور اساساً این امر را که ما باید به‌دنبال شیوه‌هایی برای

روند کنونی مصرف در شهر کرمانشاه، این شهر برای تأمین غذا، انرژی و زمین مورد نیاز برای جذب دی‌اکسید کربن، به فضایی حدود ۱۸۰ برابر مساحت کنونی خود نیازمند است. جمعه‌پور و همکارانش (۱۳۹۲)، وضعیت پایداری شهرستان رشت را با استفاده از شاخص جای پای اکولوژیک بررسی کرده و معتقدند که این شهرستان از کسری اکولوژیک رنج می‌برد و از دیدگاه اکولوژیک ناپایدار است؛ اما در سال‌های اخیر، مطالعاتی هرچند اندک در زمینه اثرات زیست‌محیطی سیستم‌های حمل‌ونقل شهری با استفاده از روش جای پای اکولوژیک صورت گرفته است؛ به‌عنوان نمونه، جی و استون در پژوهش خود میزان جای پای اکولوژیک ناشی از ساخت بزرگراه‌ها و مسیرهای شهری را مورد سنجش قرار داده و سعی دارند تا با استفاده از این روش، تأثیرات ساخت مسیرهای جدید را مشخص کنند. ایشان بر این عقیده‌اند که با افزایش تعداد خودروهای دیزلی علاوه بر افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی، مسیرهای شهری نیز تخریب می‌شوند (Chi & Stone, 2005: 4). فریادی و صمدپور (۱۳۸۹)، به‌منظور کاهش جای پای اکولوژیک در شهر تهران، به بررسی تناسب استفاده از شیوه‌های مختلف حمل‌ونقل پرداخته‌اند و معتقدند که ناکارآمدی سیستم‌های حمل‌ونقل شهری در تهران، علاوه بر ایجاد مسائل خاص ترافیکی، مسائل زیست‌محیطی مهمی نیز به‌وجود می‌آورد و این مسئله خود از مهم‌ترین علت‌های کاهش منابع محیط زیست کشور است و پیشنهاد می‌کنند که سیستم حمل‌ونقل مترو در شهر تهران با اختصاص ۰/۰۳ مترمربع زمین به‌ازای هر نفر مسافر برای تأمین نیاز سوخت مصرفی، سازگارترین وسیله با محیط زیست می‌باشد. همچنین، حبیبی و همکارانش (۱۳۹۱)، به ارزیابی جای پای بوم‌شناختی وسایل حمل‌ونقل شهر ارومیه پرداخته و معتقدند به‌غیر از سیستم حمل‌ونقل اتوبوس، سایر سیستم‌های حمل‌ونقل از جای پای بیشتری نسبت به استانداردهای جهانی برخوردار هستند. نوآوری تحقیق نسبت به تحقیقات پیشین این است که علاوه بر شناخت

جمعیت معینی فراهم می‌کند». به عبارت دیگر، باید به توانایی طبیعت در فراهم‌آوری مواد مورد نیاز خود توجه کرد (چی‌ونگ و یوئن، ۱۳۹۲: ۴۳). پیام اصلی جای پای اکولوژیک، توسعه پایدار و فراتر از اصلاحات ساده است (صرافی، ۱۳۷۹: ۳۱)؛ به همین دلیل شاخص جای پای اکولوژیک، مدل کمی مناسبی برای اندازه‌گیری توسعه پایدار جوامع و شهرها به‌شمار می‌رود و به‌عنوان شاخصی برای سنجش پایداری اجتماعات و مقایسه آن با میانگین‌های جهانی معرفی می‌شود (فریادی و صمدپور، ۱۳۸۹: ۹۸).

درک آسیب‌های انسانی وارده بر اکوسیستم‌های طبیعی در مقیاس شهرها در کانون مطالعات پیشین بوده است؛ اما از چندسال پیش این مطالعات در سطوح جهانی، ملی، شهرداری‌ها، مؤسسات و ... نیز انجام گرفته است (سرایبی و زارعی فرشاد، ۱۳۸۹: ۴۲).

تاکنون تحقیقات متعددی در داخل و خارج از ایران، در ارتباط با محاسبه ردپای اکولوژیک صورت گرفته است؛ اما در این مطالعات، موضوع حمل‌ونقل به‌طور کلی و به‌عنوان یکی از عوامل محاسبه جای پای اکولوژیک، مورد توجه قرار گرفته است؛ از جمله در ایران، حسین‌زاده دلیر و ساسان‌پور (۱۳۸۵)، در مطالعه خود به ارزیابی پایداری کلان‌شهر تهران با استفاده از روش جای پای اکولوژیک پرداخته و معتقدند که با توجه به جای پای بزرگ شهروندان تهرانی و جمعیتی حدود ۸ میلیون نفر (با حوزه پیرامون حدود ۱۲ میلیون نفر) این شهر به فضایی حدود ۳۷۹ برابر از ۷۳۳ کیلومتر مربع مساحت کنونی خود برای ادامه حیات نیاز دارد تا از لحاظ اکولوژیکی بتواند پاسخگوی نیاز و تقاضای ساکنان خود باشد. در مطالعه‌ای دیگر، قرخلو و همکارانش (۱۳۹۲)، با استفاده از روش جای پای اکولوژیک، پایداری شهر کرمانشاه را بررسی کرده و معتقدند که در شهر کرمانشاه، سیستم حمل‌ونقل شهری با مقدار جای پای اکولوژیک (۰/۳۲۲ هکتار/نفر)، پس از مصرف مواد غذایی (۱/۲۲ هکتار/نفر)، بیشترین جای پای اکولوژیک را دارد و ایشان اظهار می‌دارند که با ادامه

• به‌دست آوردن رد پای اکولوژیک (Efp) برای جمعیت منطقه برنامه‌ریزی شده (N) با محاسبه حاصل ضرب متوسط رد پای هر نفر در اندازه جمعیت (Wackernagel & Rees, 1996: 12) $(Efp=N*EF)$. واحد این شاخص، هکتار (متوسط جهانی) به‌ازای هر نفر است. درواقع جای پای اکولوژیک، گستره‌ای از خشکی (و آب) کره زمین یا ناحیه‌ای ویژه، موردنیاز برای حمایت از شیوه زندگی کنونی بشر یا الگوی مصرف یک جمعیت به‌خصوص است.

قلمرو پژوهش

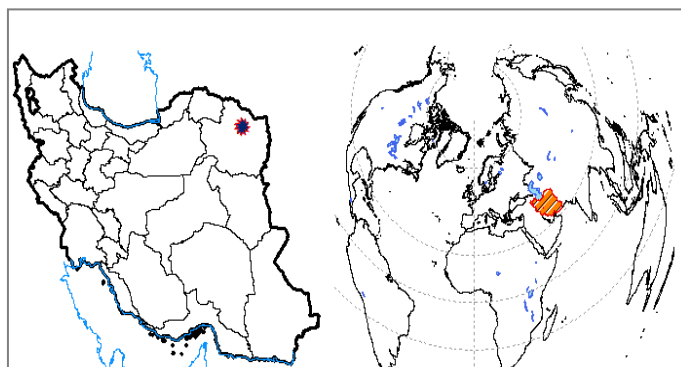
در پژوهش حاضر، شهر مشهد را به‌عنوان مطالعه موردی درجهت استفاده از شاخص جای پای اکولوژیک و ارزیابی پایداری سیستم‌های حمل‌ونقل شهری انتخاب کردیم. براساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰، شهر مشهد با ۲۷۶۶۲۵۸ نفر جمعیت، با مساحت ۲۸۸۶۶۴۴۵۷ متر مربع است (سالنامه آماری شهر مشهد، ۱۳۹۱: ۲۰). شهر مشهد به‌دلیل قرار گرفتن حرم مطهر رضوی در آن، همواره در طول تاریخ دارای اهمیت فرهنگی، مذهبی، اقتصادی و اجتماعی بوده است (مؤمنی و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۵) و سالانه پذیرای بیش از ۳۲ میلیون زائر از داخل و بیش از یک میلیون زائر از خارج از کشور است.

جای پای اکولوژیک حمل‌ونقل شهر مشهد، به‌صورت کلی هرکدام از بخش‌های ذی‌نفع در حمل‌ونقل شهری را به‌طور جداگانه بررسی و به مقایسه آن با شهر تهران و سطح استاندارد جهانی نیز پرداخته است.

روش پژوهش

این پژوهش براساس هدف، کاربردی و از نظر شیوه انجام، توصیفی - تحلیلی است. عمده اطلاعات موردنیاز از طریق اسنادی، کتابخانه‌ای جمع‌آوری شده و همچنین برای تکمیل این موارد، از روش پیمایشی یا میدانی استفاده شده است. داده‌ها و اطلاعات موردنیاز از داده‌ها و بانک‌های اطلاعاتی سازمان‌های مختلف، مانند سالنامه‌های آماری کشور، استان و شهر، اطلس جهانی جای پای اکولوژیک، سازمان حمل‌ونقل و دیگر مراکز جمع‌آوری شده و سپس داده‌ها، در مرحله بعدی، با استفاده از روش جای پای اکولوژیک که از ترکیب کاربرد دو روش استقرایی (تفصیلی) و قیاسی (ترکیبی) تشکیل شده است، برای محاسبه رد پای اکولوژیک (EF)، سیستم‌های حمل‌ونقل شهری در سطح شهر مشهد اقدام شده است. با استفاده از این مدل، درصد محاسبه و مقایسه تقاضای انسان برای منابع اکولوژیکی و توانایی زمین برای تأمین و بازتولید آن در شهر مشهد هستیم. براساس روش کلی ابداعی واکرناگل و ویلیام ریز^۱ (۱۹۹۶م)، محاسبات مربوط به این مدل به شرح زیر است:

- برآورد سرانه مصرف سالانه مواد مصرفی اصلی، براساس مجموع داده‌های منطقه‌ای و تقسیم مصرف کل به میزان جمعیت؛
- برآورد زمین اختصاص داده‌شده به هر نفر برای تولید هر مورد مصرفی، از راه تقسیم متوسط مصرف سالانه هر مورد بر متوسط سالانه تولید یا بازده زمینی؛
- محاسبه متوسط کل رد پای اکولوژیک هر نفر (EF)، از طریق جمع‌زدن تمامی مناطق اکوسیستم که به هر نفر اختصاص یافته است؛



شکل ۱. موقعیت سیاسی شهر مشهد

(منبع: حیاتی، ۱۳۹۱: ۱۱۶)

حمل و نقل عمومی (مانند اتوبوس واحد، مینی‌بوس و ون) ۲۵/۲۴ درصد از این سفرها با استفاده از سیستم‌های نیمه‌عمومی (مانند انواع تاکسی و مسافرخش‌ها، سرویس‌ها) و همچنین، ۴۰/۹۲ درصد از سفرهای روزانه در شهر مشهد، با استفاده از سیستم‌های حمل و نقل شخصی (مانند سواری، وانت و موتورسیکلت) صورت می‌گیرد (شهرداری مشهد، ۱۳۸۹: ۲۳).

حمل و نقل و جابه‌جایی در شهر مشهد با استفاده از وسایل مختلف حمل و نقل درون شهری مانند اتوبوس، مینی‌بوس، تاکسی، خودروهای شخصی و ون صورت می‌گیرد و چندسالی است که مترو نیز به این سیستم اضافه شده است. سهم هریک از وسایل حمل و نقل در جدول (۲) ارائه شده است. همان‌طور که از اطلاعات جدول نیز نمایان است، ۳۳/۵ درصد از کل سفرهای روزانه در شهر مشهد، با استفاده از سیستم‌های

جدول ۱. توزیع سفرهای روزانه سیستم‌های حمل و نقل ۱۳۸۹ در شهر مشهد

سیستم‌های حمل و نقل شهری		
شخصی (۴۰/۹۲)	عمومی (۳۳/۵)	نیمه‌عمومی (۲۵/۲۴)
سواری (۲۹/۵۱) وانت (۲/۰۹) موتورسیکلت (۹/۳۲)	اتوبوس واحد (۳۱/۰۸) مینی‌بوس (۲/۲۲) ون (۰/۲)	انواع تاکسی و مسافرخش (۱۹/۴۰) سرویس از هر نوع (۵/۸۴)

(منبع: شهرداری مشهد، ۱۳۸۹: ۳۸۷) (محاسبات نگارنده)

و موتورسیکلت به ترتیب بیشترین سهم را در جابه‌جایی روزانه مسافران درون شهری در مشهد دارد.

توزیع سفرهای روزانه، عملکرد و سهم هریک از وسایل نقلیه در جابه‌جایی مسافر شهر مشهد در جدول (۲) ارائه شده است. اتوبوس واحد، تاکسی، سواری شخصی

جدول ۲. توزیع سفرهای روزانه و عملکرد وسایل نقلیه در سال ۱۳۸۹ در شهر مشهد

نوع سیستم	نوع وسیله	تعداد سفر روزانه	درصد	ضریب جابه‌جایی	جابه‌جایی روزانه	درصد
شخصی	موتورسیکلت	۳۵۸۵۹۹	۹/۳۲	۱	۳۵۸۵۹۹	۷/۲۲
	سواری	۱۱۳۵۳۲۳	۲۹/۵۱	۱	۱۱۳۵۳۲۳	۲۲/۸۶

۱/۶۲	۸۰۳۵۹	۱	۲/۰۹	۸۰۳۵۹	وانت	
۳۶/۱۰	۱۷۹۳۱۵۸/۵	۱/۵	۳۱/۰۸	۱۱۹۵۴۳۹	اتوبوس واحد	
۳/۱۰	۱۵۳۵۱۳	۱/۸	۲/۲۲	۸۵۲۸۵	مینی‌بوس	
۰/۲۹	۱۴۲۵۷/۸	۱/۸	۰/۲۰	۷۹۲۱	ون	
۲۴/۰۳	۱۱۹۳۶۷۵/۲	۱/۶	۱۹/۴۰	۷۴۶۰۴۷	تاکسی و مسافرکش	
۳/۳۵	۱۶۶۲۰۷	۱	۴/۳۲	۱۶۶۲۰۷	سواری	نیمه‌عمومی
۱/۱۸	۵۸۴۱۷	۱	۱/۵۲	۵۸۴۱۷	مینی	
۰/۲۵	۱۲۷۴۵	۱	۰/۳۴	۱۲۷۴۵	سایر	
۱۰۰	۴۹۶۶۲۵۴/۵	-	۱۰۰	۳۸۴۶۳۴۲	جمع	

(منبع: شهرداری مشهد، ۱۳۸۹:۲۳)، (فریادی و صمدپور، ۱۳۸۹:۱۰۰)، (محاسبات نگارنده)

یافته‌های پژوهش

همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، هدف از این پژوهش تعیین آثار زیست‌محیطی انواع شیوه‌های حمل‌ونقل در شهر مشهد و تعیین سطح پایداری در هر کدام از این شیوه‌هاست. برای انجام این ارزیابی‌ها، از روش جای پای اکولوژیک که بیان‌کننده کیفیت محیط زیست می‌باشد، استفاده کردیم. بر مبنای این روش و با توجه

به مصرف روزانه سوخت (جدول ۳)، تعداد سفرهای روزانه، تعداد افراد جابه‌جاشده روزانه و متوسط مسافت سفر (جدول ۴)، در هر کدام از انواع وسایل حمل‌ونقل درون‌شهری مشهد، میزان زمین‌تأمین‌کننده سرانه مصرف روزانه در هر وسیله بر حسب هکتار به شرح زیر محاسبه شده است.

جدول ۳. مصرف سوخت به‌ازای جابه‌جایی مسافر با انواع وسایل نقلیه

همگانی			شخصی		شرح	
اتوبوس واحد	اتوبوس سرویس	مینی‌بوس	تاکسی و مسافرکش بنزینی	موتورسیکلت		سواری
۰/۰۱۱	۰/۰۲۴	۰/۰۲۵	۰/۰۸۳	۰/۰۴۶	۰/۰۹۷	مصرف سوخت به‌ازای یک مسافر - کیلومتر (لیتر)

(منبع: فریادی و صمدپور، ۱۳۸۹:۱۰۰)، (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۱:۱۰۷).

جدول ۴. متوسط مسافت سفر برای تمامی سیستم‌های حمل‌ونقل در شهر مشهد

شرح	شخصی			عمومی			نیمه‌عمومی		
	سواری	موتورسیکلت	وانت	اتوبوس واحد	مینی‌بوس	ون	تاکسی و مسافرکش	سرویس سواری	سایر
متوسط مسافت سفر (بر حسب کیلومتر)	۷/۱۷	۶/۹۹	۷/۵۱	۶/۷۲	۷/۱۰	۷/۰۰	۶/۹۰	۷/۴۵	۶/۸۳

(منبع: شهرداری مشهد، ۱۳۸۹:۶۵).

با توجه به این نکته که سالانه برای جذب ۱/۸ تن کربن، یک هکتار زمین نیاز است (شکور و $0/18 m^2 = 0/00018$ هکتار $= 0/00018$ تن کربن $1/8 \div$ هکتار \times ۱ تن کربن $0/00033$).

همکاران، ۱۳۹۰: ۶۴؛ بنابراین، خواهیم داشت:

درواقع، میزان زمین مورد نیاز برای تأمین سرانه روزانه مصرف گازوئیل اتوبوس در شهر مشهد، برابر با $0/00018$ هکتار ($0/18$ مترمربع) است.

۲- محاسبه جای پای اکولوژیک مینی‌بوس

براساس اطلاعات ارائه شده در جدول (۳)، در سال ۱۳۸۹ در شهر مشهد، روزانه ۱۵۳۵۱۳ نفر با مینی‌بوس جابه‌جا شده است. همچنین، تعداد سفرهای روزانه در سال ۱۳۸۹ با مینی‌بوس، برابر با ۸۵۲۸۵ سفر می‌باشد و چون معمولاً طی یک سفر، چندین جابه‌جایی صورت می‌گیرد؛ پس سهم هر مسافر از یک سفر، از تابع زیر محاسبه می‌شود:

$$85285 \div 153513 = 0/55$$

همچنین، با توجه به اطلاعات ارائه شده در جدول (۵)، متوسط پیمایش سفر در شهر مشهد با استفاده از مینی‌بوس، $7/10$ کیلومتر است. مقدار مسافت طی شده یک مسافر در یک روز با مینی‌بوس در شهر مشهد برابر است با:

مقدار مسافت طی شده یک مسافر در روز = تعداد سفرهای روزانه * پیمایش سفر در شهر مشهد

$$7/10 * 0/55 = 3/905$$

با توجه به اینکه مقدار مصرف سوخت به‌ازای یک مسافر در هر کیلومتر برای مینی‌بوس در شهر مشهد، برابر با $0/025$ لیتر است؛ در نتیجه $0/097$ = $3/905 * 0/025$ ؛ در واقع، $0/097$ لیتر سرانه مصرف روزانه گازوئیل، برای یک مسافر در شهر مشهد است و این برابر با $0/025$ گالن سرانه مصرف روزانه گازوئیل به‌ازای یک مسافر در شهر مشهد است. همان‌طور که در محاسبه جای پای سیستم اتوبوس‌رانی نیز اشاره شد، سوخت گازوئیل در هر گالن، تقریباً برابر با 138700 واحد گرمایی بریتانیا تولید می‌کند که در نهایت $19/95$ تن کربن در هر میلیارد واحد گرمایی

۱- محاسبه جای پای اکولوژیک اتوبوس

براساس اطلاعات ارائه شده در جدول (۲)، در سال ۱۳۸۹ روزانه $1793158/5$ نفر مسافر توسط خطوط اتوبوس شهری مشهد جابه‌جا شده است. در همان جدول مشخص شده است که تعداد سفرهای روزانه در سال ۱۳۸۹ برابر با 1195439 سفر می‌باشد و چون معمولاً طی یک سفر، چندین جابه‌جایی صورت می‌گیرد، پس سهم هر مسافر از یک سفر، از تابع زیر محاسبه می‌شود:

$$1195439 \div 1793158/5 = 0/66$$

همچنین، با توجه به اطلاعات ارائه شده در جدول (۴)، متوسط پیمایش سفر در شهر مشهد با استفاده از اتوبوس، $6/72$ کیلومتر است. مقدار مسافت طی شده یک مسافر در یک روز با اتوبوس در شهر مشهد برابر است با:

مقدار مسافت طی شده یک مسافر در روز = تعداد سفرهای روزانه *

پیمایش سفر در شهر مشهد

$$6/72 * 0/66 = 4/435$$

با توجه به اینکه مقدار مصرف سوخت به‌ازای یک مسافر در هر کیلومتر برای اتوبوس برابر با $0/011$ لیتر می‌باشد؛ در نتیجه $0/048$ = $4/435 * 0/011$ ؛ در واقع، $0/048$ لیتر سرانه مصرف روزانه گازوئیل، برای یک مسافر در شهر مشهد است و این برابر با $0/012$ گالن^۱ سرانه مصرف روزانه گازوئیل به‌ازای یک مسافر در شهر مشهد. از آنجایی که سوخت گازوئیل در هر گالن، تقریباً برابر با 138700 واحد گرمایی بریتانیا (BTU)^۲ تولید می‌کند که در نهایت $19/95$ تن کربن در هر میلیارد واحد گرمایی بریتانیا آزاد می‌شود (Pezzetta & Drossman, 2005: 25)؛ در نتیجه:

$$BTU / 4 = 1664 / 4 = 416 \text{ گالن} / 138700 \text{ BTU} \times 0/012 \text{ گالن}$$

$$0/00033 \text{ tonnes Carbon} = 19/95 \text{ tonnes Carbon} / \text{billion BTU} \times 416 \text{ Billion BTU} \times 0/00016$$

۱. یک گالن آمریکایی برابر با $3/7853$ لیتر است؛ در نتیجه:

$$0/048 \div 3/7853 = 0/012$$

(بی.تی.یو، واحد گرمایی انگلستان). BTU. British thermal unit. 2.

$$11750 \text{ BTU} = \text{گالن} / 125000 \text{ BTU} \times 0.094$$

$$0.00011 \text{ Billion BTU} \times 19/35 \text{ tonnes Carbon/billion BTU} = 0.00021 \text{ tonnes Carbon}$$

با توجه به این که سالانه برای جذب ۱/۸ تن کربن، یک هکتار زمین نیاز است؛ بنابراین خواهیم داشت:

$$1/m^2 = 1/1 \text{ هکتار} = 0.00011 \text{ تن کربن} \div 1/8 \text{ هکتار} \times 1 \text{ تن کربن} / 0.00021$$

۴- محاسبه جای پای اکولوژیک سواری شخصی

براساس اطلاعات ارائه‌شده در جدول (۳)، در سال ۱۳۸۹، روزانه ۱۱۳۵۳۲۳ سفر و نیز ۱۱۳۵۳۲۳ جابه‌جایی در شهر مشهد با خودروهای سواری شخصی صورت گرفته است؛ در نتیجه، سهم هر مسافر از سفرهای روزانه برابر ۱ می‌باشد (۱=۱۱۳۵۳۲۳÷۱۱۳۵۳۲۳). با توجه به اینکه مقدار پیمایش سفر در شهر مشهد برای خودروهای شخصی ۷/۱۷ کیلومتر است؛ بنابراین، مقدار مسافت طی‌شده یک مسافر در یک روز با سواری شخصی، برابر با ۷/۱۷ کیلومتر است. مقدار مصرف سوخت در هر کیلومتر برای هر مسافر با سواری شخصی، برابر با ۰/۰۹۷ لیتر می‌باشد؛ بنابراین، مقدار سرانه مصرف روزانه بنزین سواری شخصی در شهر مشهد، برابر با ۰/۶۹۵ = ۰/۰۹۷ * ۷/۱۷ است که این مقدار برابر با ۰/۱۸۳ = ۰/۶۹۵ ÷ ۳/۷۸۵۳ گالن سرانه مصرف روزانه بنزین می‌باشد. از آنجایی که بنزین بدون سرب، برابر با ۱۲۵۰۰۰ واحد گرمایی بریتانیا در هر گالن است که برابر با نرخ ۱۹/۳۵ تن کربن آزادشده در هر بیلیون واحد گرمایی بریتانیا است؛ بنابراین، برای محاسبه جای پای اکولوژیک سواری شخصی در شهر مشهد خواهیم داشت:

$$22875 \text{ BTU} = \text{گالن} / 125000 \text{ BTU} \times 0.183$$

$$0.00022 \text{ Billion BTU} \times 19/35 \text{ tonnes Carbon/billion BTU} = 0.00042 \text{ tonnes Carbon}$$

با توجه به این نکته که سالانه برای جذب ۱/۸ تن کربن، یک هکتار زمین نیاز است؛ بنابراین خواهیم داشت:

$$2/3 m^2 = 2/3 \text{ هکتار} = 0.00022 \text{ تن کربن} \div 1/8 \text{ هکتار} \times 1 \text{ تن کربن} / 0.00042$$

۵- محاسبه جای پای اکولوژیک موتورسیکلت

تعداد سفر انجام‌شده با موتورسیکلت در شهر مشهد برای سال ۱۳۸۹، ۳۵۸۵۹۹ سفر می‌باشد و تعداد مسافر جابه‌جا شده با استفاده از موتورسیکلت در همان سال ۳۵۸۵۹۹ است (جدول ۳)؛ در نتیجه، سهم هر مسافر از سفرهای روزانه، برابر ۱ است (۱=۳۵۸۵۹۹÷۳۵۸۵۹۹). با توجه به اینکه مقدار پیمایش سفر در

بریتانیا آزاد می‌شود؛ در نتیجه، برای محاسبه جای پای

مینی‌بوس‌های شهر مشهد، خواهیم داشت:

$$3467/5 \text{ BTU} = \text{گالن} / 138700 \text{ BTU} \times 0.25$$

$$0.0034 \text{ Billion BTU} \times 19/95 \text{ tonnes Carbon/billion BTU} = 0.00067 \text{ tonnes Carbon}$$

$$0/37 m^2 = 0/37 \text{ هکتار} = 0.00067 \text{ تن کربن} \div 1/8 \text{ هکتار} \times 1 \text{ تن کربن} / 0.00067$$

درواقع، میزان زمین موردنیاز برای تأمین سرانه روزانه مصرف گازوئیل مینی‌بوس در شهر مشهد، برابر با ۰/۰۰۰۰۳۷ هکتار (۰/۳۷ متر مربع) است.

۳- محاسبه جای پای اکولوژیک انواع تاکسی

در سال ۱۳۸۹، در کل شهر مشهد با انواع تاکسی (شامل تاکسی‌ها، مسافرخش‌ها، آژانس‌ها)، در مجموع ۷۴۶۰۴۷ سفر انجام شده که برابر با ۱۱۹۳۶۷۵/۲ مسافر جابه‌جا شده است. با توجه به اینکه در هر سفر، چندین جابه‌جایی صورت می‌گیرد؛ پس سهم یک مسافر از سفرهای انجام‌شده ۰/۶۲۵ = ۱۱۹۳۶۷۵/۲ ÷ ۷۴۶۰۴۷ است. با توجه به اینکه مقدار پیمایش در شهر مشهد برای تاکسی‌ها ۶/۹۰ کیلومتر می‌باشد؛ بنابراین، مقدار مسافت طی‌شده یک مسافر در یک روز با انواع تاکسی در شهر مشهد برابر است با:

مقدار مسافت طی‌شده یک مسافر در روز = تعداد سفرهای روزانه * پیمایش سفر در شهر مشهد

$$690 * 0.625 = 4312$$

با توجه به داده‌های ارائه‌شده در جدول (۴)، مقدار مصرف سوخت به‌ازای یک مسافر در هر کیلومتر برای تاکسی‌ها و مسافرخش‌ها، برابر با ۰/۰۸۳ لیتر است؛ در نتیجه ۰/۳۵۷ = ۰/۰۸۳ * ۴/۳۱۲ لیتر سرانه مصرف روزانه بنزین تاکسی‌ها در شهر مشهد است. این مقدار برابر با ۰/۰۹۴ گالن سرانه مصرف روزانه بنزین به‌ازای یک مسافر می‌باشد. از آنجایی که بنزین بدون سرب برابر با ۱۲۵۰۰۰ واحد گرمایی بریتانیا در هر گالن است که برابر با نرخ ۱۹/۳۵ تن کربن آزادشده در هر بیلیون واحد گرمایی بریتانیا است (Pezzetta & Drossman, 2005)؛ بنابراین، برای محاسبه جای پای اکولوژیک انواع تاکسی در شهر مشهد، خواهیم داشت:

$$\text{BTU} = 10500 \text{ BTU/gallon} = 125000 \text{ BTU} \times \text{gallon} / 0.84$$

$$\text{tonnes Carbon} = 0.00019 \text{ tonnes Carbon} \times 19/25 \text{ Billion BTU} \times 1000000$$

با توجه به این نکته که سالانه برای جذب ۱۸ تن کربن، یک هکتار زمین نیاز است؛ در نتیجه خواهیم داشت:

$$1/0 \text{ m}^2 = 1/0 \text{ هکتار} = 0.00010 \text{ تن کربن} \div 1/8 \text{ هکتار} \times 1 \text{ تن کربن} / 0.00019$$

مجموع نتایج محاسبات میزان زمین مورد نیاز برای تأمین مصرف روزانه سوخت به‌ازای هر مسافر در ارتباط با هریک از وسایل نقلیه درون‌شهری در شهر مشهد، در جدول (۵) ارائه شده است. همچنین در این جدول، مقادیر استاندارد جهانی و مقادیر مربوطه جای پای اکولوژیک شهر تهران برای هر کدام از وسایل حمل‌ونقل شهری به‌منظور مقایسه و ارزیابی این مقادیر با مقادیر موجود در شهر ارومیه ارائه شده است.

شهر مشهد برای موتورسیکلت برابر با ۶/۹۹ کیلومتر است؛ بنابراین، مقدار مسافت طی‌شده یک مسافر در یک روز با موتورسیکلت، برابر با ۶/۹۹ * ۱ = ۶/۹۹ کیلومتر است. مقدار مصرف سوخت در هر کیلومتر برای هر مسافر با موتورسیکلت، برابر با ۰/۰۴۶ لیتر است؛ در نتیجه سرانه مصرف روزانه بنزین برابر است با ۰/۳۲۱ = ۰/۰۴۶ * ۶/۹۹ و این مقدار برابر با ۰/۰۸۴ گالن مصرف سرانه روزانه بنزین است. همان‌طور که در محاسبه جای پای انواع تاکسی و سواری‌های شخصی نیز گفته شد، بنزین بدون سرب برابر با ۱۲۵۰۰۰ واحد گرمایی بریتانیا در هر گالن است که برابر با نرخ ۱۹/۳۵ تن کربن آزادشده در هر بیلیون واحد گرمایی بریتانیا است؛ بنابراین، برای محاسبه جای پای اکولوژیک موتورسیکلت در شهر مشهد خواهیم داشت:

جدول ۵. مقایسه جای پای اکولوژیک وسایل حمل‌ونقل شهری مشهد با استانداردهای جهانی و تهران (به هکتار)

وسایل نقلیه	سرانه جای پای اکولوژیک هر وسیله نقلیه در شهر مشهد	سرانه استاندارد جای پای اکولوژیک	اختلاف سرانه جای پای اکولوژیک مشهد با استاندارد جهانی (هکتار)	سرانه جای پای اکولوژیک در تهران (هکتار)
اتوبوس	۰/۰۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۰۵۶	۰/۰۰۰۰۳۸	۰/۰۰۰۰۳۹
مینی‌بوس	۰/۰۰۰۰۳۷	۰/۰۰۰۰۳۲	-۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۶۷
تاکسی	۰/۰۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۰۱۶	-۰/۰۰۰۰۰۹۴	۰/۰۰۰۰۲۲
سواری شخصی	۰/۰۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۰۲۱	-۰/۰۰۰۰۰۲۹	۰/۰۰۰۰۴۲
موتورسیکلت	۰/۰۰۰۰۱۰	۰/۰۰۰۰۱۲	-۰/۰۰۰۰۰۸۸	۰/۰۰۰۰۱۹

(منبع: فریادی و صمدپور، ۱۳۸۹: ۱۰۰)، (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۰۷)، (GFN, 2012)، (محاسبات نگارنده).

شخصی (۰/۰۰۰۰۲۳ هکتار) است و کمترین مقدار جای پای اکولوژیک محاسبه‌شده، مربوط به اتوبوس با مقدار عددی (۰/۰۰۰۰۱۸ هکتار)، می‌باشد. در واقع در استفاده از سواری شخصی، به‌ازای یک مسافر ۰/۶۹ لیتر بنزین مصرف می‌شود که برای تأمین آن ۲/۳ مترمربع منبع زیست‌محیطی (در اینجا زمین به‌عنوان منبع زیست‌محیطی مدنظر است)، مورد نیاز است؛ اما در صورت استفاده از اتوبوس به‌عنوان وسیله حمل‌ونقل درون‌شهری، به‌ازای هر مسافر ۰/۰۴۸ لیتر گازوئیل مصرف می‌شود که برای تأمین آن ۰/۱۸ مترمربع منبع

همان‌طور که از داده‌های ارائه‌شده در جدول (۵) نیز نمایان است، به‌غیر از سیستم اتوبوس‌رانی کلان‌شهر مشهد، مابقی سیستم‌های حمل‌ونقل درون‌شهری در این شهر، سرانه جای پای اکولوژیک‌ای فراتر از سرانه استاندارد اعلام‌شده توسط سازمان جهانی جای پای بوم‌شناختی (GFN) دارند. به عبارتی دیگر، سیستم‌های حمل‌ونقل کلان‌شهر مشهد حالت ناپایداری دارند. داده‌های جدول فوق نشان می‌دهد که بیشترین میزان جای پای اکولوژیک در میان وسایل حمل‌ونقل درون‌شهری در شهر مشهد، مربوط به سواری

برنامه‌ریزی و مدیریت شهری در اوایل قرن بیست‌ویکم به‌عنوان قرن شهری‌شدن کره زمین است؛ بنابراین، نیاز به راه‌حلهایی برای حل این معضلات و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی آن بیشتر احساس می‌شود. امروزه، روش‌های گوناگونی برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی ارائه شده است. یکی از معروف‌ترین آن‌ها، روش جای پای اکولوژیک است. این مدل در صدد محاسبه و مقایسه تقاضای انسان برای منابع اکولوژیکی و توانایی زمین برای تأمین و بازتولید است. در این پژوهش، سعی شده با استفاده از روش جای پای اکولوژیک، میزان تخریب منابع زیست‌محیطی شهر مشهد، ناشی از سیستم‌های مختلف حمل‌ونقل درون‌شهری براساس آمار سال ۱۳۸۹ محاسبه شود و مقادیر محاسبه‌شده با استانداردهای جهانی مقایسه شود؛ زیرا یکی از ویژگی‌های بارز شاخص جای پای بوم‌شناختی، قابلیت اندازه‌گیری کمی و مقایسه‌ای آن از یک فرد گرفته تا یک خانواده، شهر، کشور، منطقه و بالاخره کل کره زمین است. برای انجام این امر، ابتدا وضعیت جمعیت و ترافیک شهر مشهد بررسی شد. تعداد سفرها در شهر مشهد، میزان روزانه افراد جابه‌جاشده با هر وسیله و میزان مصرف سوخت هر وسیله برآورد شد؛ سپس سرانه مصرف روزانه و همچنین مقادیر زمین تأمین‌کننده نیاز مصرفی روزانه در هریک از وسایل نقلیه با استفاده از روش جای پای اکولوژیک محاسبه شده است. نتایج استفاده از مدل جای پای اکولوژیک در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و همچنین تعیین میزان پایداری سیستم‌های حمل‌ونقل درون‌شهری در شهر مشهد مشخص کرد که بیشترین میزان جای پای محاسبه شده در شهر مشهد، مربوط به سواری‌های شخصی (۰/۰۰۰۲ هکتار) است و تاکسی (۰/۰۰۰۱ هکتار) و موتورسیکلت (۰/۰۰۰۱ هکتار) در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارند. در سمتی دیگر، سیستم اتوبوس‌رانی در شهر مشهد (۰/۰۰۰۰۱۸ هکتار) کمترین میزان جای پای اکولوژیک را دارد. همچنین، مقایسه نتایج به‌دست آمده با مقادیر استاندارد اعلام‌شده توسط سازمان جهانی جای پای اکولوژیک در

زیست‌محیطی احتیاج داریم. این تفاوت نشان می‌دهد که در صورت استفاده از سواری‌های شخصی به‌عنوان وسیله جابه‌جایی درون‌شهری، منابع زیست‌محیطی مشهد در نتیجه زوال ناشی از مصرف سوخت، سریع‌تر دچار آسیب و تخریب می‌شوند.

برای تعیین نسبت‌های اثرات زیست‌محیطی سیستم‌های حمل‌ونقل، می‌توان با یک در نظر گرفتن اثرات سیستم اتوبوس‌رانی به‌عنوان پایدارترین سیستم حمل‌ونقل درون‌شهری، مقادیر آسیب‌رسانی سایر سیستم‌ها را نسبت به این سیستم برآورد کرد. در این صورت، با توجه به مقادیر جای پای محاسبه‌شده برای هریک از سیستم‌های حمل‌ونقل درون‌شهری در شهر مشهد، مینی‌بوس، تاکسی، سواری شخصی و موتورسیکلت، به ترتیب ۲، ۶، ۱۲ و ۵/۵ برابر اتوبوس اثرات زیست‌محیطی دارند. به عبارت دیگر، وقتی یک نفر سوار بر مینی‌بوس، تاکسی، سواری شخصی و موتورسیکلت می‌شود، به ترتیب ۲، ۶، ۱۲ و ۵/۵ برابر فردی که سوار اتوبوس است، باعث کاهش و یا تخریب منابع محیط زیست می‌شود.

نتیجه‌گیری

افزایش سریع وسایل حمل‌ونقل موتوری، به‌ویژه اتومبیل و استفاده زیاد از آن در شهرها به‌ویژه در کلان‌شهرها، همراه با رشد جمعیت و گسترش بی‌رویه آن و نیز نبود برنامه‌ریزی‌های علمی و جامع و مشکلات عدیده سیستم حمل‌ونقل، باعث بروز مشکلاتی نظیر آلودگی‌های شدید زیست‌محیطی، تراکم‌های ترافیکی زیاد و خسته‌کننده، اتلاف زیاد وقت شهروندان، مصرف بیش‌از حد انرژی، ناامنی مسیرها و تصادفات شده است؛ بنابراین، انسان متمدن امروزی باید بدانند در روند تکامل شهرها، توسعه سیستم‌های حمل‌ونقل به کجا می‌رود و چنانچه در به‌کارگیری و استفاده از اصول منطقی کمی غفلت کند، ناگزیر وضعیت نسل کنونی و آینده را با خطرات بسیاری مواجه می‌سازد. این معضل به‌دلیل تأثیرگذاری آن بر تمامی عناصر سیستم‌های شهری، یکی از چالش‌ها و دغدغه‌های اساسی فراروی

داخلی و ظاهری ناوگان، کاهش فاصله زمانی حرکت از ایستگاه‌ها، مکان‌یابی دقیق و مناسب ایستگاه‌ها و ...؛

- حذف و جایگزینی ناوگان مینی‌بوس و اتوبوس فرسوده از سیستم حمل‌ونقل درون‌شهری از طریق یک برنامه زمانی مدون و همراه با ضمانت اجرایی کافی.

منابع

استادی‌جعفری، مهدی کرم‌رودی، مهدی؛ امینی، محمود و شیرازی، حامد (۱۳۸۹). «ارائه مدل ارزیابی شاخص مبنا جهت اندازه‌گیری سطح پایداری حمل‌ونقل در برنامه‌ریزی و مدیریت یکپارچه شهری». اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت شهری با رویکرد توسعه پایدار، مرکز مطالعات تکنولوژی دانشگاه صنعتی شریف، خرداد ۱۳۸۹، تهران.

استادی‌جعفری، مهدی؛ امیرعباس، رصافی. (۱۳۹۲). ارزیابی سیاست‌های توسعه پایدار در بخش حمل‌ونقل شهری با استفاده از مدل‌های سیستم پویایی (مطالعه موردی: شهر مشهد). فصلنامه مدیریت شهری، سازمان شهرداریها و دهیاریهای کشور، شماره ۳۱، صص ۲۹۴-۲۸۱.

بندرآباد، علیرضا؛ احمدی نژاد، فرشته. (۱۳۹۳). ارزیابی شاخص‌های کیفیت زندگی با تاکید بر اصول شهر زیست پذیر در منطقه ۲۲ تهران، مجله پژوهش و برنامه ریزی شهری، تهران، شماره ۱۶، صص ۷۴-۵۵.

جمعه‌پور، محمود و همکاران. (۱۳۹۲). بررسی وضعیت توسعه پایدار شهرستان رشت با استفاده از روش جای پای اکولوژیک. پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، دوره ۴۵، شماره ۳، صص ۲۰۸-۱۹۱.

چی‌ونگ، تای؛ بلیندا، یوئن. (۱۳۹۲). برنامه‌ریزی شهر اکولوژیک (سیاست‌ها، تجارب و طراحی). ترجمه محمدرحیم رهنما و الهه کریمی. مشهد: انتشارات جهاد دانشگاهی.

حبیبی، کیومرث؛ رحیمی کاکه‌جوب، آرمان و عبدی، محمد حامد (۱۳۹۱). ارزیابی جای پای بوم‌شناختی وسایل حمل‌ونقل شهری؛ رویکردی نوین به‌منظور برنامه‌ریزی حمل‌ونقل پایدار (نمونه موردی: شهر ارومیه). مجله آمایش جغرافیایی فضا، دانشگاه گلستان، سال دوم، شماره پنجم، صص ۹۹-۱۱۶.

حسین‌زاده دلیر، کریم؛ ساسان‌پور، فرزانه. (۱۳۸۵). روش جای پای اکولوژیک (بوم‌شناختی) در پایداری کلان‌شهرها با نگرشی بر کلان‌شهر تهران. مجله تحقیقات جغرافیایی، محمد حسین پاپلی یزدی، شماره ۸۲، صص ۱۰۱-۸۳.

سال ۲۰۱۱ میلادی، بیانگر این نکته مهم است که به‌غیراز سیستم اتوبوس‌رانی شهر مشهد (۱۸/۰۰۰۰۰/۰ هکتار)، بقیه سیستم‌های حمل‌ونقل سرانه جای پای اکولوژیکی‌ای بیشتر از سرانه‌های استاندارد جهانی دارند؛ بنابراین، سطح پایداری آن‌ها پایین است و در صورت ادامه روند فعلی و نبود برنامه‌ریزی‌های منطقی و علمی، در سالیان آتی می‌توانند اثرات منفی بر محیط زیست شهر مشهد و سلامت و رفاه شهروندان مشهدی داشته باشند.

علت اصلی بالابودن میزان جای پای محاسبه‌شده برای سواری‌های شخصی و تاکسی (براساس شاخص‌بندی‌های جای پای اکولوژیک حمل‌ونقل) به‌خصوص در مرکز شهر به‌خاطر ورود گردشگر زیاد به شهر مشهد و استفاده از این وسیله نقلیه است که اثر آن را می‌توان در آلودگی بیش‌ازحد هوای منطقه اطراف حرم مطهر امام رضا علیه‌السلام به‌خصوص در ایام گردشگری شهر مشهد مشاهده کرد.

بنابراین، توصیه می‌شود در این شهر برای کاهش چالش‌ها و صدمات ناشی از ناپایداری سیستم‌های حمل‌ونقل درون‌شهری، موارد زیر در برنامه‌های آینده مدنظر قرار گیرد:

- استفاده از شیوه‌های حمل‌ونقل سبز و پایدار از قبیل تشویق و فرهنگ‌سازی تردد با دوچرخه و پیاده‌روی؛
- برنامه‌ریزی برای توسعه سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی مانند مترو، BRT و ...؛
- ایجاد محدودیت‌هایی برای تردد خودروهای سواری شخصی از طریق ایجاد طرح‌های ترافیکی خاص، افزایش هزینه پارکینگ و یا افزایش نرخ سوخت و ...؛
- افزایش نظارت و کنترل سازمان تاکسی‌رانی و اتوبوس‌رانی بر ناوگان حمل‌ونقلی خود از نظر میزان مصرف سوخت و میزان تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی؛
- افزایش رضایتمندی شهروندان از سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی درون‌شهری برای افزایش میزان سرانه استفاده از این وسایل (از طریق بهبود شرایط

قرخلو، مهدی؛ حاتمی نژاد، حسن؛ باغوند اکبر و بلوه، مصطفی. (۱۳۹۲). ارزیابی پایداری توسعه شهری با روش جای پای اکولوژیکی (مورد مطالعه: شهر کرمانشاه). پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دانشگاه تهران، دوره ۴۵، شماره ۲، صص ۱۲۰-۱۰۵.

مهدی‌زاده، جواد. (۱۳۷۹). برنامه‌ریزی کاربری زمین؛ تحول دیدگاه‌ها و روش‌ها. فصلنامه مدیریت شهری، سازمان شهرداریها و دهیاریهای کشور جلد ۱، شماره ۴، صص ۷۹-۷۰.

مؤمنی، مصطفی؛ صرافی، مظفر؛ قاسمی خوزانی، محمد. (۱۳۸۷). ساختار و کارکرد گردشگری مذهبی- فرهنگی و ضرورت مدیریت یکپارچه در کلان‌شهر مشهد. مجله جغرافیا و توسعه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، شماره ۱۱، صص ۳۸-۱۳.

نیک‌پور، عامر. (۱۳۹۰). «شهر فشرده، تئوری در مقابل عمل (مورد مطالعه: شهر آمل)». رساله دکتری رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی، تهران: دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران.

Chi, G; Stone, B. (2005). Sustainable Transport Planning: Estimating the Ecological Footprint of Vehicle Travel in Future Years, journal of urban planning and development, Vol. 131, No. 3.

Gottlieb, D; Kissinger, M; Vigoda-Gadot, E; and Haim, A. (2012). Analyzing the Ecological Footprint at the Institutional Scale – The Case of an Israeli high school, journal of Ecological Indicators 18.

Pezzetta, W.E; Drossman. H. (2005). The Ecological Footprint of the Colorado College: An Examination of Sustainability. [http://www2. Colorado College. edu/ Sustainability/ EcoFootrint.pdf](http://www2.Colorado College. edu/ Sustainability/ EcoFootrint.pdf).

UNEP (2008). Green jobs: Towards decent work in a sustainable, low-carbon world, www.unep.org/civil_society/Publications/index.asp.

UNEP (2011). Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication - A Synthesis for Policy Makers, www.unep.org/green_economy, France.

Wackernagel, M; Rees, W. (1996). Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth, New Society Publishers, Gabriola Island, Canada.

ارزیابی جای پای اکولوژیک سیستم‌های حمل‌ونقل شهری در کلان‌شهرها

حیاتی، سلمان. (۱۳۹۱). «تحلیل شاخص‌های رشد هوشمند شهری در مشهد». پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه فردوسی مشهد.

رضوانی، محمدرضا. (۱۳۸۷). توسعه گردشگری روستایی با رویکرد گردشگری پایدار. تهران: انتشارات دانشگاه. چاپ اول.

سالنامه آماری شهر مشهد. (۱۳۹۱). معاونت برنامه‌ریزی و توسعه شهرداری مشهد با نظارت مدیریت آمار و تحلیل اطلاعات.

سرابی، محمدحسین؛ عبدالحمید، زارعی‌فرشاد. (۱۳۸۹). ارزیابی توسعه پایدار شهر بوشهر از منظر عوامل اجتماعی- اقتصادی با استفاده از شاخص EF. فصلنامه علوم اجتماعی، دانشگاه علامه طباطبایی، شماره ۵۰، صص ۶۱-۳۷.

شکور، علی و همکاران. (۱۳۹۰). ارزیابی و سنجش چگونگی پایداری گردشگری در بهشت گمشده بوان ممسنی با استفاده از مدل رد پای اکولوژیک. نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرمسار، سال سوم، شماره سوم، صص ۶۷-۵۷.

شهرداری مشهد. (۱۳۹۱). آمار حمل و نقل و ترافیک مشهد، سازمان حمل و نقل شهرداری مشهد

صرافی، مظفر. (۱۳۷۹). شهر پایدار چیست؟، فصلنامه مدیریت شهری، سازمان شهرداریها و دهیاریهای کشور، شماره ۳۱، صص ۲۹۴-۲۸۱ شماره ۴، ص ۶.

صرافی، مظفر؛ محمدیان، حسن. (۱۳۹۱). امکان‌سنجی پیاده‌راه‌سازی خیابان‌های هم‌مدان. فصلنامه آمایش محیط، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرمسار، شماره ۲۱ دوره ۷، صص ۱۱۱-۱۳۸.

عمران‌زاده، بهزاد. (۱۳۸۹). «ارزیابی عملکرد سیستم حمل‌ونقل در کلان‌شهر تهران». پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تهران.

فریادی، شهرزاد؛ پریماه، صمدپور. (۱۳۸۹). تعیین تناسب بهینه استفاده از انواع شیوه‌های حمل‌ونقل با هدف کاهش جای پای اکولوژیک در شهر تهران. محیط‌شناسی، دانشگاه تهران، سال ۳۶، شماره ۵۴، صص ۱۰۸-۹۷.

