جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره نوزدهم، پاییز ۱۳۹۵

صص ۱۲۹- ۱۱۵

DOI: 10.22067/geo.v5i3.54820

ارزیابی سناریوهای حمل‌ونقل کم کربن شهر مشهد با استفاده از رویکرد جاپای بوم‌شناختی[۱]

فهیمه عبادی نیا- دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

محمد اجزاء شکوهی- دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

محمدرحیم رهنما[۲]- استاد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

امید علی خوارزمی- استادیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱/۱۵ تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۶/۹

چکیده

این مقاله با هدف ارزیابی وضعیت انتشار کربن حمل‌ونقل شهر مشهد تلاش دارد با تدوین سناریوهایی تا سال ۱٤۰٤ و مقایسه آن‌ها، بهترین سناریو را به‌منظور کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی آلاینده‌های بخش حمل‌ونقل در کلان‌شهر مشهد تعیین کند. روش مورد استفاده در این پژوهش، «جاپای بوم‌شناختی» است که رابطه بین «میزان مصرف و تولید ضایعات به‌وسیله انسان‌ها» و «جذب ضایعات به‌وسیله طبیعت» را مشخص می‌کند. در حال حاضر ساکنین مشهد با مصرف انرژی حدود ۳۵ میلیون گیگاژول در بخش حمل‌ونقل جاپای بوم‌شناختی معادل ۰/۱۱ هکتار برای هر فرد تولید می‌کنند؛ درحالی‌که سرانه زمین اختصاص یافته به حمل‌ونقل ۰/۰۰۲۹ می‌باشد و این نشان می‌دهد مشهد به اراضی پشتیبانی تا ۱۰ برابر بزرگ‌تر از وسعت کنونی شهر برای مصارف حمل‌ونقل و تصفیه کربن ناشی از آن وابسته است. مقایسه اثرات اکولوژیک حمل‌ونقل در سه سناریو ارائه شده، نشان می‌دهد که سناریوی سوم با ردپای بوم‌شناختی معادل ۰/۰۰٤ هکتار به ازای هر فرد، مطلوب‌ترین سناریو برای کاهش جاپای بوم‌شناختی تا ۱۰ سال آینده است. ولی برای دستیابی به سطح مطلوبی از حمل‌ونقل کم کربن و پیشگیری از عواقب زیست‌محیطی ناشی از افزایش تقاضای سفر در چشم‌انداز کلان‌شهر مشهد، نباید از تأثیرات دیگر سناریوها چشم‌پوشی کرد.

کلیدواژه‌ها: جاپای بوم‌شناختی، سناریوهای حمل‌ونقل کم کربن، شهر مشهد.

---

۱ این مقاله مستخرج از رساله دکتری با عنوان "بررسی تاثیر فرم شهر مشهد در توسعه حمل و نقل کم کربن با رویکرد استراتژیک" می باشد.

۲ نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۱۱۵۲۵۸٤ Email:rahnama@um.ac.ir

۱. مقدمه

جامعه بشری با تهدیدهای جدی زیست‌محیطی ناشی از خسارات وارده بر طبیعت درنتیجه انتشار کربن روبه‌روست که بسیاری از کشورها برای بر طرف کردن آن، اهدافی را طبق معاهده بین‌المللی UNFCCC دنبال می‌کنند. یکی از مهم‌ترین استراتژی‌های کلیدی در این معاهده کم کربن ساختن شهرها و پایداری زیست‌محیطی بیشتر در آن‌ها است. در شهرهای کم کربن، سیستم حمل‌ونقل همواره نقش بسیار کلیدی دارد(بنیستر[1]، ۲۰۰۸). آمارها نشان می‌دهد حدود ۱۹ درصد از مصرف انرژی و بیش از یک‌چهارم دی‌اکسید کربن انتشار یافته در جهان، ناشی از حمل‌ونقل می‌باشد. این میزان در بخش حمل‌ونقل بیش از سایر بخش‌ها در حال افزایش است(نوور و رویتر[2]، ۲۰۱۱: ٤). بر اساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته مصرف سوخت در بخش حمل‌ونقل از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۳۰ به میزان ۵۰ درصد و تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۸۰ درصد افزایش خواهد یافت (IEA,2011:113). مطالعات آژانس بین‌المللی انرژی (IEA[3]) نشان می‌دهد بخش حمل‌ونقل تا سال ۲۰۲۰ بزرگ‌ترین مصرف کننده انرژی خواهد بود و در آن زمان مصرف انرژی جهان به بیش از ٦۰ درصد مصرف امروز خواهد رسید. ایران نیز در این بخش سهم قابل توجهی دارد. سهم سالانه ایران در انتشار دی‌اکسید کربن و سهم بخش حمل‌ونقل به‌ویژه حمل‌ونقل زمینی نشان می‌دهد، کل دی‌اکسید کربن منتشر شده در سال ۲۰۱۲ در ایران ٥٦۰ میلیون متریک تن(mt) می‌باشد که بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۸ به میزان ۱۷۹٪ افزایش داشته است و روند رو به رشد آن تا سال ۲۰۱۲ تشدید شده است. سهم حمل‌ونقل در انتشار CO_2 در ایران، نسبت به سایر بخش‌ها ۲۳٪ و در انتشار گاز گلخانه‌ای CO ۹٦٪ بوده است که ۹۵٪ آن مربوط به حمل‌ونقل زمینی است (ITF, 2010:88[4]).

جدول ۱. انتشار سالیانه دی‌اکسید کربن در ایران با توجه به سهم بخش حمل‌ونقل بر اساس واحد متریک تن

سال	۱۹۹۰	۱۹۹۵	۲۰۰۰	۲۰۰۱	۲۰۰۲	۲۰۰۳	۲۰۰٤	۲۰۰٥	۲۰۰٦	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۱۲
دی‌اکسید کربن	۱۸۳	۲٥۷	۳۱٥	۳۲۸	۳٤۹	۳۷۰	٤۰٦	٤۱٤	٤٥٦	٤۸۸	٥۱۰	٥٦۰
حمل‌ونقل	٤۱	٥۹	۷٦	۸۱	۷۸	۹۱	۹٦	۱۰٥	۱۱۱	۱۰۹	۱۱٦	۱۲۸
حمل‌ونقل زمینی	۳۸	٥٥	۷۱	۷٦	۸۲	۸۷	۹۲	۱۰۱	۱۰۷	۱۰۳	۱۱۰	۱۲۲

منبع: (international transport forum,2010:88)

1 Banister
2 Knörr and Reuter
3 International Energy Agency
4 International Transport Forum

تحقیقات بر روی جاپای بوم‌شناختی بخش حمل‌ونقل نیز نشان می‌دهد که سوخت‌های فسیلی نزدیک به نصف (٤٧٪) جاپای بوم‌شناختی مجموع کشورهای جهان را شامل می‌شود که خود حاکی از تأثیر بخش حمل‌ونقل در انتشار کربن، در روند رو به گسترش آن در کشورها دارد. با توجه به آنچه گفته شد، بدون شک نیاز به برنامه‌ریزی حمل‌ونقل کم کربن نه‌فقط برای بهبود وضعیت کنونی بلکه در یک چشم‌انداز بلندمدت، امری ضروری است. در سال‌های اخیر تحقیقات علمی متعددی با روش‌شناسی‌های متفاوت انجام گردیده که یکی از رایج‌ترین روش‌های برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، برنامه‌ریزی سناریو– مبنا است. بر اساس تعریف ارائه شده از سناریو توسط کان و وینر در سال ١٩٦٧ و بعدها توسط پیرمن ۱۹۸۸، سناریو فرضیه‌ای است که در پی رویدادهای منطقی و محتمل(و نه صرفاً ضروری) ساخته شده و هدف آن، توجه و تمرکز بر فرایندهای علی و اقدامات صحیح است. برنامه‌ریزی سناریو–مبنا بر پایه روش پیش‌بینی[1]، رایج‌ترین نوع سناریوسازی در تحقیقات است(پیرمن[2]،۱۹۸۸) که نمونه‌های استفاده از آن در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، توسط نیجکمپ[3] (۱۹۹۹)، ماسر[4] و همکاران (۱۹۹۳) و استید و بنیستر[5] (۱۹۹۹) ارائه شده است. جاپای بوم‌شناختی یکی از بهترین روش‌های ارزیابی زیست‌محیطی شهرها است و تلفیق آن با روش‌های سناریوسازی و استراتژیک–مبنا می‌تواند کارایی و اثر بخشی آن را در یک بازه زمانی مشخص افزایش دهد. برای نمونه می‌توان به مواردی اشاره کرد ازجمله: براون[6] و دیگران در سال ۲۰۰۸، روش سناریوسازی را بر پایه ارزیابی جاپای بوم‌شناختی ناحیه شهری لیمریک (ایرلند) و پیش‌بینی آن تا ۲۰۱۰ استفاده کردند. تحقیق آن‌ها شامل ٦ سناریو است که بر اساس تجزیه‌وتحلیل آمارهای مربوط به الگوهای سفر ساکنین بین سال‌های ١٩٩٦ تا ۲۰۰۲، و با روش پیش‌بینی ساخته شده است. نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد سناریو اول که بر پایه ادامه روند موجود دارای بیشترین مقدار هکتار جهانی از جاپای بوم‌شناختی و سناریو پنجم که شامل کاهش ۱۰ درصد از سرانه مسافت طی شده با ماشین شخصی و افزایش کارایی موتور خودروها به میزان ۱۲۰ گرم Co_2 بر کیلومتر می‌باشد. کمترین مقدار جاپای بوم‌شناختی را برای سال ۲۰۱۰ تولید خواهد کرد. کی و استون[7] در سال ۲۰۰۵، جاپای بوم‌شناختی شبکه حمل‌ونقل را برای بخش هاتون از ایالت میشیگان امریکا محاسبه کردند. آن‌ها وضعیت کنونی و آینده حمل‌ونقل را در نظر گرفتند و با استفاده از آمار تعدادی از آژانس‌های بخشی و فدرالی، الگوهای

1 Forecasting Method
2 Pearman
3 Nijkamp
4 Masser
5 Staed and Banister
6 Brown
7 Chi and Stone

سفر و شاخص‌های حرکتی ساکنین را برای تدوین سناریو مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌داد که علی رقم بهبود متوسط کارایی سوخت وسایل نقلیه، اما جاپای بوم‌شناختی حمل‌ونقل در سال‌های آتی افزایش خواهد یافت، که دلیل اصلی آن افزایش مقدار سالیانه مسافت سفرها در شبکه حمل‌ونقل است. شیفتان[1] و دیگران در سال ۲۰۰۳ با استفاده از روش سناریوسازی، توسعه پایدار حمل‌ونقل آینده کلان‌شهر تلاویو را برای سال ۲۰۳۰ ارزیابی کردند. آن‌ها دو سناریوی مورد انتظار و مطلوب را تدوین کرده و با استفاده از روش دلفی دو مرحله‌ای، سیاست‌های بالقوه را برای آینده سیستم حمل‌ونقل تلاویو بررسی نمودند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد که رسیدن به سطح بالای توسعه حمل‌ونقل عمومی، هماهنگی و همکاری بهتر بین توسعه فضایی و سیستم حمل‌ونقل، افزایش هزینه‌های پارکینگ، افزایش تراکم و حفظ نقش‌های عملکردی بخش مرکزی شهر، عناصر کلیدی در سناریو مطلوب به شمار می‌آید. سناریو مورد انتظار نیز عناصر مشترک فراوانی با سناریو مطلوب دارد که در برگیرنده نتایج مثبتی است. در همین رابطه، در این مقاله حاضر نیز به ارائه سه سناریو تا سال ۱٤۰٤ و مقایسه اثرات هر یک از آن‌ها بر جاپای بوم‌شناختی حمل‌ونقل شهر پرداخته شده است. هدف از تدوین سناریوها یافتن بهترین راه حل برای رسیدن به دورنمایی مطلوب در حمل‌ونقل کم‌کربن در مشهد و ارائه سناریویی است که بیشترین تأثیر را در کاهش جاپای بوم‌شناختی داشته باشد.

۲. منطقه مورد مطالعه

با توجه به رویکرد این مقاله تلاش شده است تا بیشتر آمارهای مرتبط با حمل‌ونقل شهر مورد تأکید قرار گیرد. شهر مشهد دومین کلان‌شهر ایران دارای مساحتی معادل ۳۵۰ کیلومترمربع یا ۳۵۰۰۰ هکتار و جمعیتی برابر با ۳۰۰۹۲۹۵ نفر در سال ۱۳۹۱ می‌باشد (آمارنامه شهر مشهد،۱۳۹۱ :۱٤). تعیین دقیق مساحت محدوده و سرانه‌های اراضی مربوط به حمل‌ونقل از اطلاعات اولیه و اساس در رویکرد جاپای بوم‌شناختی است. بر این اساس جمعیت زائر نیز در جمعیت ثابت سرشکن شده است، که با توجه به مطالعات مهندسین مشاور مهرازان، تعداد مسافران و زائران مشهد در سال ۱۳۹۵ حدود ۲۵ میلیون[2] نفر برآورد می‌شود. (فرنهاد،۱۳۸۷: ۷). تعداد سفرهای درون شهری ساکنین شهر مشهد در یک شبانه روز از ۳۸۹۳۹۳۲ سفر در سال ۱۳۸۵ به ۵۸۷٦۳۱۳ سفر در سال ۱۳۹۰ افزایش پیدا کرده است، یعنی رشدی معادل ۳۳/۷ درصد داشته است. همچنین ضریب ساعات اوج سفرهای روزانه از ۵/۱۱٪ به ۱۰/۹٤٪ یعنی بیش از دو برابر شده است. (هشتمین آمار نامه حمل‌ونقل شهر مشهد،۱۳۹۰: ۱٤) و فقط در هشت ماه اول سال ۹۲ این مقدار ۱۹/٦ درصد رشد داشته

1 Shiftan

۲ با در نظر گرفتن میانگین ٤ روز اقامت برای هر مسافردر سال ۱۳۹۵، ۲۸٦۰۰۰ مسافر در هر روز از سال در مشهد خواهند بود

است. این اعداد و ارقام بیانگر اثرات مخرب ماشینی شدن شهر و خسارات جبران ناپذیر بر محیط زیست شهری وسلامتی شهروندان می‌باشد (مهندسین مشاور طرح هفتم، ۱۳۸٤: ٤٧).

۳. مواد و روش‌ها

جاپای بوم‌شناختی روشی است که مستقیماً مفهوم اکولوژیک از ظرفیت کشش[1] را در بر می‌گیرد(کی و استون[2]، ۲۰۱۱: ۱۷۱). در حقیقت «ظرفیت حامل مصادره شده»[3] در دیگر نواحی کره زمین به‌وسیله «واحد سطح» مورد تحلیل قرار می‌گیرد و هر چه این سطح بزرگ‌تر باشد، تحمیل بیشتری بر محیط وارد می‌شود که این خود از امکان پایداری دیگر جهانیان می‌کاهد(چمبرز و لوییس[4]،۲۰۰۱: ۱۵). این رویکرد از دو دهه پیش توسط ویلیام ریز، زیست شناس و برنامه ریز منطقه‌ای در دانشگاه بریتیش کلمبیا کانادا(UBC)، ابداع شده است که در آن میزان نیاز سالیانه یک کشور، یک شهر، یک محله یا یک خانواده بر اساس مقدار زمین یا دریای مولد (از نظر بوم‌شناختی) که با فناوری‌های موجود، تمامی نیازهای آن‌ها را به طور همیشگی تأمین کند، محاسبه می‌شود (واکرناگل و ریس[5]،۱۹۹٦: ۲۵-۲٦) با توجه به اینکه در این مقاله تدوین سناریوها و معیار ارزیابی آن‌ها با استفاده از جاپای بوم‌شناختی حمل‌ونقل صورت گرفته است، از این رو تعیین جاپای حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی و محاسبه توان بوم‌شناختی طبیعت برای جذب و دفع کربن نیز حائز اهمیت است. بر این اساس هر یک هکتار جنگل توان جذب ۱۰۰ گیگاژول انرژی برابر با ۱,٤۲ تن دی‌اکسید کربن در سال را دارد (واکرناگل و ریس، ۱۹۹٦). برای محاسبه جاپای بوم‌شناختی در حمل‌ونقل مجموعه‌ای از فعالیت‌های مختلف در نظر گرفته می‌شود که بر روی محیط تأثیر می‌گذارد که شامل: دی‌اکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن و متان حاصل از سوخت‌های فسیلی وکربن حاصل از حفظ و نگهداری از وسائط نقلیه، جاده‌ها و زیرساخت‌های حمل ونقل می‌باشد (برت[6] و همکاران ،۲۰۰۱: ۷). مراحل محاسبه جاپای بوم‌شناختی در این تحقیق به شرح زیر است:

مرحله اول- ردپای کربن در سفرهای روزانه هر فرد برابر است با : $EF \times FE + UF/CS$

FE میزان انتشار کربن از هر وسیله نقلیه (CO_2) در هر کیلومتر

UF انرژی لازم برای ساخت و حفظ هر یک از وسایل نقلیه (CO_2) در هر کیلومتر

1 Carrying capacity
2 Chi and Stone
3 Appropriated Carrying Capacity
4 Chambers and Lewis
5 Wackenagel & Rees
6 Barrett

CS زمین لازم برای تجزیه کربن به هکتار

EF عدد ثابت ۱,٤۲ تن کربن قابل جذب در هر هکتار

مرحله دوم – زمین انرژی مورد نیاز یا (جاپای زمین) برابر است با: $EF \times LF = ARI$

ARI زمین لازم برای حمل‌ونقل (زیرساخت حمل‌ونقل) به هکتار

EF ضریب ثابت ۲,۱۹ برای زمین ساخته شده و زیر ساخت حمل‌ونقل به هکتار

مرحله سوم- جاپای بوم‌شناختی برابر است با: $EF = CF + LF$

CF عدد به دست آمده از جاپای کربن در مرحله اول

LF عدد به دست آمده از زمین انرژی مورد نیاز در مرحله دوم

٤. بحث و نتایج

به دلیل فقدان داده‌های آماری موجود در رابطه با میزان انتشار کربن به تفکیک هر وسیله نقلیه در هر کیلومتر (شاخص EF) اقدام به محاسبه کربن انتشار یافته از مجموع انرژی مصرفی وسایل نقلیه در مشهد به صورت کلی و در یک سال نمودیم. همچنین انرژی لازم برای ساخت و حفظ هر یک از وسایل نقلیه در هر کیلومتر(شاخص UF) معادل ٤۵ درصد کربن تولید شده از هر وسیله نقلیه است که ۳۰ درصد آن برای زیر ساخت جاده‌ای و حمل‌ونقل و ۱۵ درصد آن برای حفظ یا تولید وسایل نقلیه است (بیرچ[1] و همکاران، ۲۰۰٤)در ابتدا مجموع انرژی مصرفی در بخش حمل‌ونقل به واحد ژول تبدیل گردید که در جدول زیر نشان داده شده است. و پس محاسبات تبدیل انرژی مصرفی به کربن بر روی آن انجام گردید.

جدول ۲. میزان انرژی مصرفی در بخش حمل‌ونقل(۱۳۹۱)

انواع حامل‌های انرژی	بنزین (هزارلیتر)	نفت گاز (هزارلیتر)	***LPG***[2] (تن)	***CNG***[3] (متر مکعب)	برق (کیلووات ساعت)
میزان انرژی مصرفی	۷٦٦۲۹۲	۷۳۰۰۰	۸۱۲۵	۲۷٤٤۸۳۳۳۷	۱۱۹۳۹۱۵۰
انرژی به گیگاژول	۲٤٤٦۰۹٦٤,۷	۲۵۸۲,۱	٦۳۷۷٤۵,۹	۹۳۲۵٤۵۲,۷	٤۲۹۳۹,۳
مجموع انرژی مصرفی(گیگاژول)				۳٤٤٦۹٦۸۵	

منبع: محاسبات نگارندگان با استفاده از داده‌های شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران- منطقه مشهد مقدس و شرکت بهره برداری قطار شهری مشهد

1 Birch
2 Liquefied Petroleum Gas
3 Compressed Natural Gas

از آنجا که طبق روش جاپای بوم‌شناختی هر ۱۰۰ گیگاژول معادل ۱/٤۲ تن کربن است. بنابراین مشهد (در سال ۱۳۹۱) با مصرف تقریباً ۳۵ میلیون گیگاژول انرژی در سال برای برطرف ساختن نیاز به سوخت مصرفی در حمل‌ونقل، رقمی معادل ٤۹۷۵٥٤ تن کربن تولید می‌کند. کربن به دست آمده از ضریب افزایش دهنده (UF) که معادل ٤٥ درصد کربن تولید شده از هر وسیله نقلیه است نیز برابر با ۲۲۳۸۹۹ تن کربن(۱٥,۷) میلیون گیگاژول در سال می‌باشد که روی هم رفته رقمی برابر با ۷۲۱٤٥۳ تن کربن(٥۰/۷ میلیون گیگاژول) در سال در بخش حمل‌ونقل تولید می‌شود. که زمین لازم برای تصفیه این مقدار کربن معادل ٥۰۸۰٦٥ هکتار جهانی است. که با توجه به ضریب ثابت EF و نیز جمعیت شهر مشهد سرانه رد پای کربن هر فرد برابر با ۰/۱۱ هکتار برای هر فرد است.

در مرحله دوم با توجه به شاخص ARI جا به جایی و حمل‌ونقل ۸۷۷۸٥٦۱٦ متر مربع از کل کاربری اراضی شهر مشهد و سرانه‌ای معادل ۰/۰۰۲۹ هکتار را به خود اختصاص داده است که در جدول زیرنشان داده شده است.

جدول ۳. سهم حمل‌ونقل از کاربری اراضی شهر مشهد

کاربری	کاربری به هکتار	سرانه زمین
حمل‌ونقل زمینی	۸۰٥۰	۰,۰۰۲٦۷٥
شبکه ریلی	۱۸,۲	۰,۰۰۰۰۰٦۰۷
زیر ساخت	۱۷۰,۳٦۱٦	۰,۰۰۰۰٥٦٦۱
مجموع	۸۷۷۸,٥٦۱٦	۰,۰۰۲۹۱۷

منبع: تلفیق داده‌های آماری مأخوذ از سازمان حمل‌ونقل و ترافیک ۱۳۸۹ و محاسبات نگارندگان

در مرحله سوم با در دست داشتن جاپای کربن از یک سو و معادل زمین بوم‌شناختی از سوی دیگر جاپای بوم‌شناختی انرژی ساکنان شهر مشهد به دست می‌آید. که از مجموع ۰/۱۱ هکتار جاپای کربن و ۰,۰۰۲۹ هکتار زمین انرژی مورد نیاز مشخص شد که سرانه بوم‌شناختی مصرف انرژی در بخش حمل ونقل برای هر شهروند مشهدی ۱۱/۲۹ گیگاژول و معادل سرانه بوم‌شناختی آن به ازای هر ۱۰۰ گیگاژول در یک هکتار ۰/۱۱ هکتار برای هر فرد است.

جدول ٤. مقادیر پخش آلاینده‌ها در حمل‌ونقل درون شهری بر حسب تن در سال ۱۳۹۱

آلاینده وسوخت	*CO*	*NOx*	*SOx*	ذرات	سرب
بنزین	۲۷۱۰٤٦	۱۰٤٥٥	۱۱٦۲	۱۰۰۷	۳۲٥
گازوئیل	٥۲٦	۱۹۷۱	۱۲۲٦	۹۷۱	–

منبع: محاسبات نگارندگان با استفاده از آمار سازمان حفاظت محیط زیست استان خراسان رضوی

$$\text{سرانه انرژی مصرفی} = \frac{\text{کل انرژی مصرفی ساکنان (واحد ژول)}}{\text{جمعیت کل}}$$

$$\frac{۳۵۰۰۰۰۰۰}{۳۱۳۵۶۱۸} = ۱۱/۱۷$$

$$\text{مجموع انتشار کربن} = \frac{\text{۱/۴۲ تن × کل انرژی مصرفی (ژول)}}{\text{۱۰۰ (گیگاژول)}}$$

$$\frac{۳۵۰۰۰۰۰۰\times ۱/۴۲}{۱۰۰} = ۴۹۷۵۵۴$$

یک هکتار× سرانه انرژی مصرفی = سرانه جاپای بوم شناختی

۱۱/۱۷×۱۰۰۰۰=۰/۱۱

با توجه به عدد به دست آمده از جاپای بوم‌شناختی شهر مشهد سه سناریو برای آینده حمل‌ونقل شهر مشهد و میزان اثر گذاری آن بر وضعیت بوم‌شناختی و آینده جاپای بوم‌شناختی شهر تا سال ۱۴۰۴ به شرح زیر تدوین شده است.

سناریو اول: ادامه روند موجود و کسب و کار طبق معمول

در این سناریو با توجه به رقم به دست آمده برای جاپای بوم‌شناختی حمل‌ونقل شهر مشهد که طبق محاسبات نگارندگان عدد ۰/۱۱ هکتار به دست آمده است، به تدوین سناریویی در صورت ادامه روند موجود تا سال ۱۴۰۴ اقدام کردیم. محاسبات نشان می‌دهد که با ادامه روند موجود و افزایش سالیانه ۴۰ هزار خودرو به شهر تا سال ۱۴۰۴ بیش از یک میلیون و ۴۰۰ هزار خودرو در شهر تردد خواهد کرد و مجموع انرژی مصرفی در حمل‌ونقل به ۵۴ میلیون گیگاژول افزایش می‌یابد و میزان تولید کربن به ۷۷۳۹۷۳ تن خواهد رسید. بر اساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته، جمعیت مشهد تا سال ۱۴۰۴ بالغ بر ۴ میلیون نفر خواهد بود. بنابراین جاپای بوم‌شناختی حمل ونقل شهر مشهد در سال ۱۴۰۴ برابر با ۰/۱۴ هکتار برای هر فرد افزایش خواهد یافت. یعنی هر فرد ساکن مشهد به ۰/۱۴ هکتار زمین نیاز دارد تا بتوان کل کربن تولید شده در بخش حمل‌ونقل در یک سال را به سطح صفر رساند و طبیعت قادر باشد آن را تصفیه کند. این رقم در

حال حاضر معادل مساحتی حدود ۱۰ برابر شهر است و با ادامه روند موجود تـا سـال ۱٤۰٤ بـه ۱٦ برابـر مسـاحت فعلـی شهر افزایش پیدا می‌کند.

جدول ٦. مقادیر پخش آلودگی در حمل‌ونقل درون شهری بر حسب تن در سال بر اساس ادامه روند موجود تا سال ۱٤۰٤

آلاینده وسوخت	*CO*	*NOx*	*SOx*	ذرات	سرب
بنزین	٤۱۸۱۸٥	۱٦۱۳۰	۱۷۹۲	۱٥٥۳	٥۰۲
گازوئیل	۸۱۱	۳۰٤۱	۱۸۹۲	۱٤۹۸	–

منبع: مطابق با جدول ٥

سناریو دوم: جایگزین کردن سوخت یورو ٤ به جای یورو ۲ برای تمامی خودروها تا سال ۱٤۰٤

این سناریو با استناد به طرح جامع آلودگی هوا برای ۸ کلان‌شهر ایران و طرح جامع آلودگی هوای مشهد، تدوین شده است. در این طرح‌ها تغییر نوع بنزین از یورو ۲ به یورو ٤ و یورو ٥ در بازه زمانی ۳ تا ٥ سال آینده در دستور کار قرار گرفته است. از آنجا که این تحقیق در تمام سناریوها افق سال ۱٤۰٤ را مبنا قرار داده است، مسلماً محتمل پذیری سناریوها افزایش می‌یابد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد با ارتقاء استاندارد یورو ۲ به یورو ٤، میزان کاهش آلایندگی هر خودروی تولیدی از ۲/۷ گرم گاز آلاینده به ۱/۱۸ گرم گاز آلاینده کاهش می‌یابد. با توجه به تردد یک میلیون و ٤۰۰ هزار خوردرو[1] در مشهد تا سال ۱٤۰٤ در صورتی که سطح استاندارد سوخت تمامی خودروها از یورو ۲ به یورو ٤ ارتقا پیدا کند رقمی معادل ۱۹۸۲٤ تن کاهش آلاینده خواهیم داشت. طبق این سناریو میزان مصرف انرژی در سال به ۳۲ میلیون گیگاژول برابر با ۸/۲٥ گیگاژول برای هر فرد و جاپای بوم‌شناختی به ازای هر ۱۰۰ گیگاژول در یک هکتار برابر با ۰/۰۸ هکتار می‌باشد. این بدان معناست که مشهد به ۷ برابر مساحت فعلی خود برای تصفیه کربن انتشار یافته از بخش حمل‌ونقل در یک سال و رساندن آن به سطح خنثی نیاز دارد.

۱ با فرض ۱۲ هزار کیلومتر پیمایش سالانه هر خودرو ضرب در ۱/۱۸ گرم

(۲/۷×کل مسافت طی شده به کیلومتر در سال)× تعداد کل وسایط نقلیه موتوری =کل کربن حاصل از سوخت یورو ۲(تن)

$$۱٤۰۰۰۰۰\times(۱۲۰۰۰\times۲/۷) =٤٥۳٦۰۰$$

(۱/۱۸×کل مسافت طی شده به کیلومتر در سال× تعداد کل وسایط نقلیه موتوری =کل کربن حاصل از سوخت یورو ٤(تن)

$$\frac{۱۰۰\times(\text{مابه تفاوت آلاینده ها-کل کربن سال پایه})}{۱٤۰۰۰۰۰\times(۱۲۰۰۰\times۱/۱۸)} =۱۹۸۲٤ \text{ =کل انرژی مصرفی(گیگاژول)}$$

$$\frac{(٤۹۷٥٥٤-٤۳۷۷٦)\times۱۰۰}{۱/۴۲} =۳۱۹٥٦۱۹۷$$

جدول ۷. مقادیر پخش آلودگی در حمل‌ونقل درون شهری بر حسب تن در سال بر اساس سناریو دوم

آلاینده وسوخت	CO	NO_X	SO_X	ذرات	سرب
بنزین	۲٥٤۰۰۹	۹۷۹۷	۱۰۸۸	۹٤۳	۳۰٤
گازوئیل	٤۹۲	۱۸٤۷	۱۱٤۹	۹۱۰	–

منبع: مطابق با جدول ٥

سناریو سوم: نوسازی ناوگان حمل‌ونقل عمومی و حذف ٦۰ درصد خودروهای فرسوده شخصی تا سال ۱٤۰٤

این سناریو با استناد به اطلاعات اخذ شده از واحد آمار سازمان اتوبوسرانی و تاکسیرانی شهر مشهد و طرح جامع آلودگی هوا تدوین شده است. سازمان اتوبوسرانی پیش‌بینی کرده که تا سال ۹۸ عمر ناوگان از ٦,٥ سال (در وضعیت جاری) به ٥ سال کاهش یابد و اگر این روند ادامه پیدا کند، هیچ‌گونه اتوبوس و مینی‌بوس فرسوده تا سال ۱٤۰٤ وجود نخواهد داشت. این هدف برای سازمان تاکسی رانی کندتر و کمتر قابل پیش‌بینی است، چراکه وضعیت اسقاط تاکسی‌های فرسوده به شدت دستخوش نابسامانی وضعیت ارزی و کاهش بودجه کشور به خصوص بعد از تحریم‌های اخیر است. لکن بر اساس پیش‌بینی‌های موجود در طرح جامع آلودگی هوا در سال ۱۳۹۰، باید در مدت سه سال آینده خودروهای فرسوده به طور کامل در هشت کلان‌شهر کشور حذف شده و خودروهای استاندارد جایگزین آن‌ها شود، که این شامل کلیه خودروهای فرسوده، اعم از تاکسی، شخصی و خودروهای سبک و سنگین است. البته این پیش‌بینی هنوز محقق

نشده و با توجه به نظر سنجی از متخصصین سازمان حمل‌ونقل و ترافیک به نظر می‌رسد حتی در ده سال آینده، حذف کامل خودروهای فرسوده میسر نخواهد بود و با روند فعلی فقط می‌توان ٦٠ درصد آن‌ها را جایگزین ساخت.

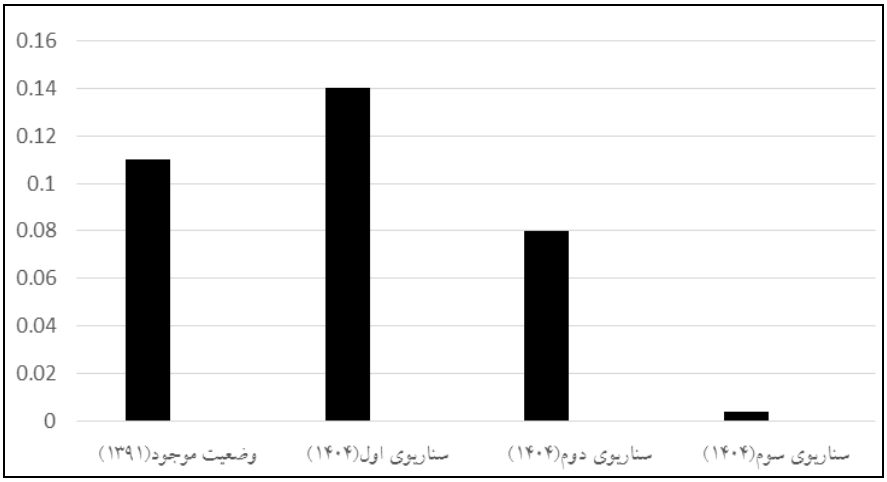
در حال حاضر مشهد، به جز ایام حضور زائران چیزی نزدیک به ۹۰۰ هزار خودرو را در دل خود جای داده است که از این میزان ۲۰۰ هزار خودرو فرسوده است، ضمن اینکه در مشهد ۵۵۰۰ تاکسی و ٤٠٠٠ مینی‌بوس و نزدیک به ۱۰۰۰ اتوبوس فرسوده در حال تردد هستند. اطلاعات مربوط به خودروهای فرسوده حاکی از این است که این خودروها ٤٤ درصد مصرف سالانه بنزین را در شهر مشهد شامل می‌شوند. با تحقق این سناریو میزان ۲۷۲ میلیون لیتر در سال صرفه جویی خواهد شد. باید توجه داشت که خودروهای فرسوده ۳۰ تا ۵۰ برابر بیش از حالت استاندارد آلاینده تولید می‌کنند هر خودروی فرسوده در کشور به ازای هر کیلومتر از پیمایش ۵۹ گرم آلایندگی تولید می‌کند[۲] و این میزان با احتساب ۱۲ هزار کیلومتر در سال باعث ایجاد ۷۰۸ کیلوگرم آلایندگی خواهد شد، در این حالت، دی‌اکسید کربن بسیار بیشتر از حالت عادی تولید می‌شود. این نشان می‌دهد ما برای محاسبه جاپای بوم‌شناختی و زمین انرژی مورد نیاز برای جذب و دفع کربن نه تنها باید تبدیل هر لیتر بنزین و گازوئیل به واحد ژول را محاسبه کنیم (هر هکتار زمین بارور می‌تواند ۱۰۰ گیگاژول انرژی یا ۱,٤۲ تن کربن را جذب و دفع کند) بلکه باید تولید چندین برابر آلاینده‌هایی را که به دلیل احتراق ناقص در این خودروها تولید می‌شود نیز محاسبه کنیم. ۲۰۰ هزار خودروی فرسوده موجود در مشهد، به تنهایی به اندازه ٦ میلیون خودرو با سوخت یورو ۲ آلایندگی ایجاد می‌کنند. این در حالی است که با سطح استاندارد سوخت یورو ٤ این رقم معادل ۱۰ میلیون خودرو می‌باشد. محاسبات ما نشان می‌دهد که اگر این سناریو محقق شود جاپای بوم‌شناختی حمل‌ونقل مشهد کاهش بسیار چشمگیری خواهد داشت و به ۰,۰۰٤ هکتار برای هر فرد خواهد رسید. که معادل ١٦٠٠٠ هکتار اراضی پشتیبان برای جذب و دفع کربن است. که این رقم معادل نصف مساحت شهر مشهد است. هم اکنون خودروهای فرسوده مشهد با توجه به نوع سوخت مصرفی(یورو ۲) به میزان ٤٢٤٨٠٠٠ تن آلایندگی در سال تولید می‌کنند. که بر اساس این سناریو یعنی با حذف کامل خودروهای فرسوده از ناوگان حمل‌ونقل عمومی و حذف ٦٠ درصد خودروهای فرسوده شخصی ٢٥٤٨٨٠٠ تن آلاینده در سال کاهش خواهد یافت. بنابراین تاثیرگذارترین و با اهمیت‌ترین سناریو در کاهش جاپای بوم‌شناختی حمل‌ونقل شهر مشهد مربوط به کاهش و حذف خودروهای فرسوده است.

۲ یک خودرو با استاندارد یورو ۲ تنها ۱/۱۸ گرم الایندگی در هر کیلومتر پیمایش تولید می‌کند.

جدول ۷. مقادیر پخش آلودگی در حمل‌ونقل درون شهری بر حسب تن در سال بر اساس سناریو سوم

آلاینده و سوخت	CO	NO_X	SO_X	ذرات	سرب
بنزین	۸۹٦۱۱	۳٤٥٦	۳۸٤	۳۳۳	۱۰۷
گازوئیل	۱۷٤	٦٥۱	٤۰٥	۳۲۱	–

منبع: مطابق با جدول ۵



نمودار ۱. سناریوهای سه گانه جاپای بوم‌شناختی حمل‌ونقل مشهد تا سال ۱٤۰٤(یافته‌ها و ترسیم از نگارندگان)

۵. نتیجه‌گیری

در کلان‌شهر مشهد که علاوه بر جمعیت بیش از ۳ میلیون شهروند، هر ساله حجم عظیمی از مسافر به شهر وارد می‌شوند، توجه به حمل‌ونقل به مثابه کلید اصلی رسیدن به پایداری و از ضرورت‌های بسیار مهم برنامه‌ریزی شهری است. در حال حاضر مشهد با مشکلات متعددی در این زمینه مواجه است که از جمله آن‌ها می‌توان به افزایش بی رویه تولید خودرو، عدم کفایت و بهینگی شبکه معابر، عدم استفاده از انرژی‌های پاک و غیر فسیلی، تمایل روز افرون شهروندان به استفاده از خودرو شخصی، ماهیت زیارتی– سیاحتی شهر مشهد و مصرف مقادیر قابل توجه سوخت برای تردد مسافران اشاره کرد. پرواضح است که در شرایط فعلی رابطه منطقی بین توان اکولوژیک شهر و مصرف انرژی وجود ندارد. به گونه‌ای که برای تصفیه کربن حاصل از مصرف اقلام مختلف سوخت فسیلی در حمل‌ونقل به مساحتی بیش از ۱۰ برابر وسعت موجود شهر نیاز است. با ادامه روند موجود جاپای بوم‌شناختی شهر از مرز ۰/۱۱ هکتار برای هر فرد در حال حاضر(۱۳۹۱) گذشته و تا سال ۱٤۰٤ به ۰/۱٤ هکتار می‌رسد (۱٦ برابر وسعت کنونی شهر). از این‌رو بهبود فضای

سرمایه گذاری در بخش انرژی و توسعه زیر ساخت‌های انرژی، بهبود راندمان انرژی و صرفه جویی انـرژی و تنـوع منـابع انرژی از ضروریات محسوب می‌شود. طبق نتایج موجود تاثیرگذارترین سناریو تا سال ۱٤۰٤ سناریو سوم است کـه قـادر است جاپای بوم‌شناختی حمل‌ونقل را با اختلاف بسیار زیاد نسبت به دیگر سناریوها کاهش دهد. ایـن سـناریو کـوچکترین عدد را برای جاپای بوم‌شناختی شهر در افق ۱٤۰٤ ارائه می‌دهد که برابـر بـا ۰,۰۰٤ هکتـار بـرای هـر فـرد اسـت. در ایـن سناریو نیاز به ۱٦۰۰۰ هکتار اراضی پشتیبان برای جذب و دفع کربن است، یعنـی کمتـر از نیمـی از مسـاحت فعلـی شـهر مشهد. بنابراین می‌توان آن را به عنوان سناریوی برگزیده و مطلوب در نظر گرفت. در عـین حـال بایـد در نظـر داشـت کـه حدود ٤۳ درصد از سفرهای روزانه ساکنین با اتومبیل شخصی انجام می‌شود؛ بنابراین بهبود کیفیت سـوخت و ارتقـاء آن از یورو ۲ به یورو ٤ و بالاتر، نیز به عنوان یک هدف مهم باید مد نظر قرار گیرد. با ارزیابی نتایج سناریوها، به این نتیجـه کلـی می‌رسیم که علاوه بر تأکید فراوان بر تحقق سناریو سوم، باید برنامه‌ریزی‌های هدف دار و مستمری برای اجرا کـردن دیگـر سناریوها نیز انجام شود چرا کـه **"هدف اصلی برای دستیابی به حمل‌ونقل کم کـربن بایـد تغییـر الگـوی جابجـایی از حمل‌ونقل شخصی به عمومی باشد که در رأس آن در حال حاضر سیستم اتوبوسرانی و در آینده شـبکه ریلـی درون شهری خواهد بود"**. اگر چه در حال حاضر تأثیر شبکه ریلی مشهد در کاهش انتشار کربن با توجـه بـه سـهم انـدک آن در جابجایی مسافر نسبت به دیگر انواع حمل‌ونقل عمومی بسیار ناچیز است به طوری که می‌تواند در بهترین حالت تنهـا رقـم جاپای فعلی را تا سال ۱٤۰٤ ثابت نگاه دارد (شکوهی و دیگران، ۱۳۹۳: ۱۱۷)، اما برای کلان شهرهایی مانند مشـهد کـه بـا حجم بزرگی از تقاضای سفر روبرو هستند توسعه شبکه ریلی یکی از بهترین گزینه‌هاسـت؛ ازایـن رو رویکـرد و نگـاه مـا برای کاهش جاپای بوم‌شناختی حمل‌ونقل مشهد و باید رویکردی تلفیقی از سناریوها و راه حل‌هایی باشـد کـه تـاکنون بـر روی آن‌ها تحقیقات ارزشمندی انجام شده است و هر راهکاری برای کاهش اثـرات مخـرب زیسـت‌محیطـی، اجتمـاعی و اقتصادی ماشینی شدن شهر مشهد باید تلفیقی از راه حل‌های موجود را در برگیرد.

کتابنامه

اجزاء شکوهی، محمد؛ مافی، عزت الله؛ و عبادی نیا، فهیمه.، ۱۳۹۳. نقش شبکه ریلی درون شهری در چشم‌انداز بوم‌شناختی و اقتصادی شهر مشهد. جغرافیا و توسعه فضای شهری. شماره ۱، ۱۲۸-۱۱۸، مشهد.

حبیبی، کیومرث؛ رحیمی، آرمان؛ و عبدی، محمد حامد.، ۱۳۹۱. ارزیابی جاپای بوم‌شناختی وسایل حمل‌ونقل شهری؛ رویکردی نوین به‌منظور برنامه‌ریزی حمل‌ونقل پایدار، نمونه موردی شهر ارومیه. مجله آمایش جغرافیایی فضا. شماره پنجم. صص ۱۱٦-۹۹.

رهنما، محمدرحیم؛ عبادی‌نیا، فهیمه.، ۱۳۹۳. تحلیل پایداری حمل‌و نقل شهر مشهد با استفاده از روش جاپای بوم‌شناختی. جغرافیا و مخاطرات محیطی. شمارهٔ ۱۱،۱۰۵-۹۳، مشهد.

سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری مشهد.، ۱۳۸٤. دومین آمارنامه حمل ونقل شهر مشهد، پاییز ۱۳۸٤

سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری مشهد.، ۱۳۹۱. هشتمین آمارنامه حمل ونقل شهر مشهد، پاییز ۱۳۹۱

شهرداری مشهد.، ۱۳۹۱. آمار نامه شهر مشهد، معاونت برنامه‌ریزی و توسعه. ص ۲۵

فروزنده، کاظم.، ۱۳۸۵. مقایسه آلودگی زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت در دو بخش حمل‌ونقل جاده‌ای و ریلی، راه آهن جمهوری اسلامی ایران، مرکز تحقیقات، گروه مطالعات اقتصادی. تهران.

قاسمی، حمید؛ شاهی، هادی.، ۱۳۹۰. شهرهای در حرکت مروری بر استراتژی حمل‌ونقل شهری. نیکو نشر.

مهندسان مشاور فرنهاد.، ۱۳۸۷. طرح توسعه و عمران(جامع) کلان‌شهر مشهد، مطالعات پایه حمل‌ونقل. مشهد.

مهندسین مشاور طرح هفتم.، ۱۳۸۷. ساخت، پرداخت و اعتبار سنجی مدل‌های برآورد میزان مالکیت خودرو بر اساس سال پایه، ص ۵۲-٤۷

Banister, D., 2008. The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, 15, 73–80.

Barrett, J., Scott, A., Vallack, H., 2001. The Ecological Footprint of Passenger Transport in Merseyside. Stockholm Environmental Institute, York. available from www. mersyeside. org/pdf/EFofPassengerTransport. pdf.

Birch, R., Barrett, J., Wiedmann, T., 2004. Ecological Footprint of Inverness. Stockholm Environmental Institute, (ESI), York.

Brown, D; O'Regan, B. and Moles, R., 2008. Use of ecological footprinting to explore alternative transport policy scenarios in an Irish city-region. Transport Research part D.13: 315-322.

Chambers, N., & Lewis, K., 2001. Ecological footprint analysis: Towards a sustainability indicator for business. London: Association of Chartered Certified Accountants.

Chi, G., & Stone, B., 2005. Sustainable transport planning: Estimating the ecological footprint of vehicle travel in future years. *Journal of Urban Planning and Development*, 131(3), 170-180

International Energy Agency (IEA). 2011. Transport energy and CO_2- Moving toward

International Transport Forum(ITF). 2010. Reducing transport greenhouse gas emissinons. Retrieved from*www*.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/10ghgtrends.pdf

Knörr, W., & Reuter, C., 2011. EcoTransIT: Ecological transport information tool for worldwide transport. Environmental Methodology and Data. Berlin – Hannover Heidelberg, July 31th 2011.

Masser, I., Sviden, O., Wegener, M., 1993. Transport planning for equity and sustainability. *Transportation Planning and Technology* 17, 319–330.

Nijkamp, P., 1999. Sustainable transport: new research and policy challenge for the next millennium. *European Review*.7 (4), 551–677.

Pearman, A.D., 1988. Scenario construction for transportation planning. *Transportation Planning and Technology* 1988/07, 73–85.

Rees, W.E., Wackernagel, M., 1996. Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable – and why they are the key to sustainability.*journal of Environmental Impct Assessment Review*. 16(4-6). 223-248

Shiftan, Y.,Kaplan, S.,Hakkert, S., 2003. Scenario building as a tool for planning a sustainable transport system. Transport Research Part D.8, 323-342.

Stead, D., Banister, D., 1999. Transport Policy Scenario Building: Findings from the POSSUM Project, NECTARconference, Delft, October 1999

sustainability. Retrieved from www.iea.org /workshop/ cop/ cop15/ Fulton_ IEA_Day.pdf.

Thomas, L. & Cousins, W., 1996. The Compact Ctity: A Successful, Desirable and Achievable Urban Form? In Jenks, M., Burton, E., & Williams, K.(Eds) The Compact City: A Sustainable Urban Form? London, Spon Press, 56-65

Wackernagel, M., & Rees, W., 1998. Our ecological footprint: reducing human impact on the earth (No. 9). New Society Publishers.

WWF, G. F. N., & GFN, E., 2012. Living planet report 2012: biodiversity, biocapacity and better choices. WWF, Switzerland.