

## ارزیابی سناریوهای حمل و نقل کم کربن شهر مشهد با استفاده از رویکرد جاپای بوم‌شناختی<sup>۱</sup>

فهیمة 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  
محمد رحیم رهنما<sup>۲</sup>- 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 حمل و نقل شهر مشهد تلاش دارد با تدوین سناریوهایی تا سال ۱۴۰۴ و مقایسه آنها، بهترین سناریو را به منظور کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی آلاینده‌های بخش حمل و نقل در کلان‌شهر مشهد تعیین کند. روش مورد استفاده در این پژوهش، «جاپای بوم‌شناختی» است که رابطه بین «میزان مصرف و تولید ضایعات به وسیله انسان‌ها» و «جذب ضایعات به وسیله طبیعت» را مشخص می‌کند. در حال حاضر ساکنین مشهد با مصرف انرژی حدود ۳۵ میلیون گیگاژول در بخش حمل و نقل جاپای بوم‌شناختی معادل ۰/۱۱ هکتار برای هر فرد تولید می‌کنند؛ در حالی که سرانه زمین اختصاص یافته به حمل و نقل ۰/۰۲۹ می‌باشد و این نشان می‌دهد مشهد به اراضی پشتیبانی تا ۱۰ برابر بزرگ‌تر از وسعت کنونی شهر برای مصارف حمل و نقل و تصفیه کربن ناشی از آن وابسته است. مقایسه اثرات اکولوژیک حمل و نقل در سه سناریو ارائه شده، نشان می‌دهد که سناریوی سوم با ردپای بوم‌شناختی معادل ۰/۰۰۴ هکتار به ازای هر فرد، مطلوب‌ترین سناریو برای کاهش جاپای بوم‌شناختی تا ۱۰ سال آینده است. ولی برای دستیابی به سطح مطلوبی از حمل و نقل 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 حمل و نقل کم کربن، شهر مشهد.

این مقاله مستخرج از رساله دکتری با عنوان "بررسی تأثیر فرم شهر مشهد در توسعه حمل و نقل کم کربن با رویکرد استراتژیک" می‌باشد.

Email: rahnama@um.ac.ir

۲ نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۱۱۵۲۵۸۴

## ۱. مقدمه

جامعه بشری با تهدیدهای جدی زیست محیطی ناشی از خسارات وارده بر طبیعت در نتیجه 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 زیست محیطی بیشتر در آنها است. در شهرهای کم کربن، سیستم حمل و نقل همواره نقش بسیار کلیدی دارد (بنیستر<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸). آمارها نشان می‌دهد حدود ۱۹ درصد از مصرف انرژی و بیش از یک چهارم دی‌اکسید کربن انتشار یافته در جهان، ناشی از حمل و نقل می‌باشد. این میزان در بخش حمل و نقل بیش از سایر بخش‌ها در حال افزایش است (نوور و رویتر<sup>۲</sup>، ۲۰۱۱: ۴). بر اساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته مصرف سوخت در بخش حمل و نقل 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) نشان می‌دهد بخش حمل و نقل تا سال ۲۰۲۰ بزرگ‌ترین مصرف کننده انرژی خواهد بود و در آن زمان مصرف انرژی جهان به بیش از ۶۰ درصد مصرف امروز خواهد رسید. ایران نیز در این بخش سهم قابل توجهی دارد. سهم سالانه ایران در انتشار دی‌اکسید کربن و سهم بخش حمل و نقل به‌ویژه حمل و نقل زمینی نشان می‌دهد، کل دی‌اکسید کربن منتشر شده در سال ۲۰۱۲ در ایران ۵۶۰ 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 حمل و نقل در انتشار CO<sub>2</sub> در ایران، نسبت به سایر بخش‌ها ۲۳٪ و در انتشار گاز گلخانه‌ای CO ۹۶٪ بوده است که ۹۵٪ آن مربوط به حمل و نقل زمینی است (ITF, 2010:88).

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

سال	۱۹۹۰	۱۹۹۵	۲۰۰۰	۲۰۰۱	۲۰۰۲	۲۰۰۳	۲۰۰۴	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۱۲
دی‌اکسید کربن	۱۸۳	۲۵۷	۳۱۵	۳۲۸	۳۴۹	۳۷۰	۴۰۶	۴۱۴	۴۵۶	۴۸۸	۵۱۰	۵۶۰
حمل و نقل	۴۱	۵۹	۷۶	۸۱	۷۸	۹۱	۹۶	۱۰۵	۱۱۱	۱۰۹	۱۱۶	۱۲۸
حمل و نقل زمینی	۳۸	۵۵	۷۱	۷۶	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 حمل و نقل نیز نشان می‌دهد که سوخت‌های فسیلی نزدیک به نصف (۴۷٪) جاپای بوم‌شناختی مجموع کشورهای جهان را شامل می‌شود که خود حاکی از تأثیر بخش حمل و نقل در انتشار کربن، در روند رو به گسترش آن در کشورها دارد. با توجه به آنچه گفته شد، بدون شک نیاز به برنامه‌ریزی حمل و نقل کم کربن نه فقط 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 حمل و نقل، برنامه‌ریزی سناریو-مبنا است. بر اساس تعریف ارائه شده از سناریو توسط کان و وینر در سال ۱۹۶۷ و بعدها توسط پیرمن<sup>۱</sup>، 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<sup>۱</sup>، رایج‌ترین نوع سناریوسازی در تحقیقات است (پیرمن<sup>۲</sup>، ۱۹۸۸) که نمونه‌های استفاده از آن در برنامه‌ریزی حمل و نقل، توسط نیجکمپ<sup>۳</sup> (۱۹۹۹)، ماسر<sup>۴</sup> و همکاران (۱۹۹۳) و استید و بنیستر<sup>۵</sup> (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 از جمله: براون<sup>۶</sup> 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 ۶ سناریو است که بر اساس تجزیه و تحلیل آمارهای مربوط به الگوهای سفر ساکنین بین سال‌های ۱۹۹۶ 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<sub>2</sub> بر کیلومتر می‌باشد. کمترین مقدار جاپای بوم‌شناختی را برای سال ۲۰۱۰ تولید خواهد کرد. کی و استون<sup>۷</sup> در سال ۲۰۰۵، جاپای بوم‌شناختی شبکه حمل و نقل را برای بخش هاتون از ایالت میشیگان امریکا محاسبه کردند. آن‌ها وضعیت کنونی و آینده حمل و نقل 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 علی‌رغم بهبود متوسط کارایی سوخت وسایل نقلیه، اما جایای بوم‌شناختی حمل‌ونقل در سال‌های آتی افزایش خواهد یافت، که دلیل اصلی آن افزایش مقدار سالیانه مسافت سفرها در شبکه حمل‌ونقل است. شیفتان<sup>۱</sup> و دیگران در سال ۲۰۰۳ با استفاده از روش سناریوسازی، توسعه پایدار حمل‌ونقل آینده کلان‌شهر تلوویو 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 تلوویو 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 برگزیده نتایج مثبتی است. در همین رابطه، در این مقاله حاضر نیز به ارائه سه سناریو تا سال ۱۴۰۴ و مقایسه اثرات هر یک از آن‌ها بر جایای 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 جایای 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: ۱۴). تعیین دقیق مساحت محدوده و سرانه‌های اراضی مربوط به حمل‌ونقل از اطلاعات اولیه و اساس در رویکرد جایای بوم‌شناختی است. بر این اساس جمعیت زائر نیز در جمعیت ثابت سرشکن شده است، که با توجه به مطالعات مهندسیین مشاوران، تعداد مسافران و زائران مشهد در سال ۱۳۹۵ حدود ۲۵ میلیون<sup>۲</sup> نفر برآورد می‌شود. (فرزاد، ۱۳۸۷: ۷). تعداد سفرهای درون شهری ساکنین شهر مشهد در یک شبانه روز از ۳۸۹۳۹۳۲ سفر در سال ۱۳۸۵ به ۵۸۷۳۳۱۳ 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 ۱۰/۹۴٪ یعنی بیش از دو برابر شده است. (هشتمین آمار نامه حمل‌ونقل شهر مشهد، ۱۳۹۰: ۱۴) و فقط در هشت ماه اول سال ۹۲ این مقدار ۱۹/۶ درصد رشد داشته

1 Shiftan

۲ با در نظر گرفتن میانگین ۴ روز اقامت برای هر مسافر در سال ۱۳۹۵، ۲۸۶۰۰۰ 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 و سلامتی شهروندان می باشد (مهندسين مشاور طرح هفتم، ۱۳۸۴: ۴۷).

### ۳. مواد و روش ها

جایای بوم شناختی روشی است که مستقیماً مفهوم اکولوژیک از ظرفیت کشش<sup>۱</sup> را در بر می گیرد (کی و استون<sup>۲</sup>، ۲۰۱۱: ۱۷۱). در حقیقت «ظرفیت حامل مصادره شده»<sup>۳</sup> در دیگر نواحی کره زمین به وسیله «واحد سطح» مورد تحلیل قرار می گیرد و هر چه این سطح بزرگتر باشد، تحمیل بیشتری بر محیط وارد می شود که این خود از امکان پایداری دیگر جهانیان می کاهد (چمبرز و لویس<sup>۴</sup>، ۲۰۰۱: ۱۵). این رویکرد از دو دهه پیش توسط ویلیام ریز، زیست شناس و برنامه ریز منطقه ای 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 بوم شناختی) که با فناوری های موجود، تمامی نیازهای آنها را به طور همیشگی تأمین کند، محاسبه می شود (واکرناگل و ریس<sup>۵</sup>، ۱۹۹۶: ۲۵-۲۶) با توجه به اینکه در این مقاله تدوین سناریوها و معیار ارزیابی آنها با استفاده از جایای بوم شناختی حمل و نقل صورت گرفته است، از این رو تعیین جایای حاصل از مصرف سوخت های فسیلی و محاسبه توان بوم شناختی طبیعت برای جذب و دفع کربن نیز حائز اهمیت است. بر این اساس هر یک هکتار جنگل توان جذب ۱۰۰ گیگاژول انرژی برابر با ۱,۴۲ تن دی اکسید کربن در سال را دارد (واکرناگل و ریس، ۱۹۹۶). برای محاسبه جایای بوم شناختی در حمل و نقل مجموعه ای از فعالیت های مختلف در نظر گرفته می شود که بر روی محیط تأثیر می گذارد که شامل: دی اکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن و متان حاصل از سوخت های فسیلی و کربن حاصل از حفظ و نگهداری از وسائط نقلیه، جاده ها و زیرساخت های حمل و نقل می باشد (برت<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۱: ۷). مراحل محاسبه جایای بوم شناختی در این تحقیق به شرح زیر است:

$$EF \times FE + UF / CS$$

مرحله اول- رد پای کربن در سفرهای روزانه هر فرد برابر است با :

FE میزان انتشار کربن از هر وسیله نقلیه (CO<sub>2</sub>) در هر کیلومتر

UF انرژی لازم برای ساخت و حفظ هر یک از وسایل نقلیه (CO<sub>2</sub>) 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 ۱,۴۲ تن کربن قابل جذب در هر هکتار

$$EF \times LF = ARI$$

مرحله دوم - زمین انرژی مورد نیاز یا (جاپای زمین) برابر است با:

ARI زمین لازم برای حمل و نقل (زیرساخت حمل و نقل) به هکتار

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

$$EF = CF + LF$$

مرحله سوم - جاپای بوم‌شناختی برابر است با:

CF عدد به دست آمده از جاپای کربن در مرحله اول

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

#### ۴. 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 ۴۵ درصد کربن تولید شده از هر وسیله نقلیه است که ۳۰ درصد آن برای زیر ساخت جاده‌ای و حمل و نقل و ۱۵ درصد آن برای حفظ یا تولید وسایل نقلیه است (بیرچ<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۴) در ابتدا مجموع انرژی مصرفی در بخش حمل و نقل 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 حمل و نقل (۱۳۹۱)

انواع حامل‌های انرژی	بنزین (هزارلیتر)	نفت گاز (هزارلیتر)	$LPG^2$ (تن)	$CNG^3$ (متر مکعب)	برق (کیلووات ساعت)
میزان انرژی مصرفی	۷۶۶۲۹۲	۷۳۰۰۰	۸۱۲۵	۲۷۴۴۸۳۳۷	۱۱۹۳۹۱۵۰
انرژی به گیگاژول	۲۴۴۶۰۹۶۴,۷	۲۵۸۲,۱	۶۳۷۷۴۵,۹	۹۳۲۵۴۵۲,۷	۴۲۹۳۹,۳
مجموع انرژی مصرفی (گیگاژول)					
۳۴۴۶۹۶۸۵					

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 ۱/۴۲ 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 حمل و نقل، رقمی معادل ۴۹۷۵۵۴ تن کربن تولید می‌کند. کربن به دست آمده از ضریب افزایش دهنده (UF) که معادل ۴۵ درصد کربن تولید شده از هر وسیله نقلیه است نیز برابر با ۲۲۳۸۹۹ تن کربن (۱۵,۷) میلیون گیگاژول در سال می‌باشد که روی هم رفته رقمی برابر با ۷۲۱۴۵۳ تن کربن (۵۰,۷) میلیون گیگاژول) در سال در بخش حمل و نقل تولید می‌شود. که زمین لازم برای تصفیه این مقدار کربن معادل ۵۰۸۰۶۵ 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 حمل و نقل ۸۷۷۸۵۶۱۶ متر مربع از کل کاربری اراضی شهر مشهد و سرانه‌ای معادل ۰/۰۰۲۹ هکتار را به خود اختصاص داده است که در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۳. سهم حمل و نقل از کاربری اراضی شهر مشهد

کاربری	کاربری به هکتار	سرانه زمین
حمل و نقل زمینی	۸۰۵۰	۰,۰۰۲۶۷۵
شبکه ریلی	۱۸,۲	۰,۰۰۰۰۰۶۰۷
زیر ساخت	۱۷۰,۳۶۱۶	۰,۰۰۰۰۵۶۶۱
مجموع	۸۷۷۸,۵۶۱۶	۰,۰۰۲۹۱۷

منبع: تلفیق داده‌های آماری مأخوذ از سازمان حمل و نقل 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 و نقل 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 ۴. مقادیر بخش آلاینده‌ها در حمل و نقل درون شهری بر حسب تن در سال ۱۳۹۱

آلاینده و سوخت	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	ذرات	سرب
بنزین	۲۷۱۰۴۶	۱۰۴۵۵	۱۱۶۲	۱۰۰۷	۳۲۵
گازوئیل	۵۲۶	۱۹۷۱	۱۲۲۶	۹۷۱	-

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

$$\begin{aligned} \text{کل انرژی مصرفی ساکنان (واحد ژول)} \\ \text{سرانه انرژی مصرفی} = \frac{\text{جمعیت کل}}{\text{سرانه انرژی مصرفی}} \\ \frac{35000000}{3135618} = 11/17 \\ \text{مجموع انتشار کربن} = \frac{1/42 \text{ تن} \times \text{کل انرژی مصرفی (ژول)}}{100 \text{ (گیگاژول)}} \\ \frac{35000000 \times 1/42}{100} = 897554 \\ \text{یک هکتار} \times \text{سرانه انرژی مصرفی} = \text{سرانه جابجایی بوم شناختی} \\ 11/17 \times 10000 = 0/11 \end{aligned}$$

با توجه به عدد به دست آمده از جابجایی بوم‌شناختی شهر مشهد سه سناریو برای آینده حمل‌ونقل شهر مشهد و میزان اثر گذاری آن بر وضعیت بوم‌شناختی و آینده جابجایی 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 جابجایی 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 جابجایی بوم‌شناختی حمل‌ونقل 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 تا سال ۱۴۰۴ به ۱۶ برابر مساحت فعلی شهر افزایش پیدا می‌کند.

جدول ۶. مقادیر پخش آلودگی در حمل و نقل درون شهری بر حسب تن در سال بر اساس ادامه روند موجود تا سال

۱۴۰۴

آلاینده و سوخت	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	ذرات	سرب
بنزین	۴۱۸۱۸۵	۱۶۱۳۰	۱۷۹۲	۱۵۵۳	۵۰۲
گازوئیل	۸۱۱	۳۰۴۱	۱۸۹۲	۱۴۹۸	-

منبع: مطابق با جدول ۵

سناریو دوم: جایگزین کردن سوخت یورو ۴ به جای یورو ۲ برای تمامی خودروها تا سال ۱۴۰۴

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 ۴ و یورو ۵ در بازه زمانی ۳ تا ۵ سال آینده در دستور کار قرار گرفته است. از آنجا که این تحقیق در تمام سناریوها افق سال ۱۴۰۴ را مبنا قرار داده است، مسلماً محتمل پذیری سناریوها افزایش می‌یابد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد با ارتقاء استاندارد یورو ۲ به یورو ۴، میزان کاهش آلاینده‌گی هر خودروی تولیدی از ۲/۷ گرم گاز آلاینده به ۱/۱۸ گرم گاز آلاینده کاهش می‌یابد. با توجه به تردد یک میلیون و ۴۰۰ هزار خودرو<sup>۱</sup> در مشهد تا سال ۱۴۰۴ در صورتی که سطح استاندارد سوخت تمامی خودروها از یورو ۲ به یورو ۴ ارتقا پیدا کند رقمی معادل ۱۹۸۲۴ تن کاهش آلاینده خواهیم داشت. طبق این سناریو میزان مصرف انرژی در سال به ۳۲ میلیون گیگاژول برابر با ۸/۲۵ 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 حمل و نقل 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

$(2/7) \times$  کل مسافت طی شده به کیلومتر در سال  $\times$  تعداد کل وسایط نقلیه موتوری = کل کربن حاصل از سوخت یورو  
(تن) $^2$

$$14000000 \times (12000 \times 2/7) = 453600$$

$(1/18) \times$  کل مسافت طی شده به کیلومتر در سال  $\times$  تعداد کل وسایط نقلیه موتوری = کل کربن حاصل از سوخت یورو

$$100 \times (\text{مابه تفاوت آلاینده ها} - \text{کل کربن سال پایه}) = \frac{\text{کل انرژی مصرفی (گیگاژول)}}{14000000 \times (12000 \times 1/18)} = 19824$$

$$\frac{(497554 - 43776) \times 100}{1/42} = 31956197$$

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

آلاینده و سوخت	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	ذرات	سرب
بنزین	۲۵۴۰۰۹	۹۷۹۷	۱۰۸۸	۹۴۳	۳۰۴
گازوئیل	۴۹۲	۱۸۴۷	۱۱۴۹	۹۱۰	-

منبع: مطابق با جدول ۵

سناریو سوم: نوسازی ناوگان حمل و نقل عمومی و حذف ۶۰ درصد خودروهای فرسوده شخصی تا سال ۱۴۰۴

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 ۶,۵ سال (در وضعیت جاری) به ۵ سال کاهش یابد و اگر این روند ادامه پیدا کند، هیچ‌گونه اتوبوس و مینی‌بوس فرسوده تا سال ۱۴۰۴ 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 حمل و نقل و ترافیک به نظر می‌رسد حتی در ده سال آینده، حذف کامل خودروهای فرسوده میسر نخواهد بود و با روند فعلی فقط می‌توان ۶۰ درصد آن‌ها را جایگزین ساخت.

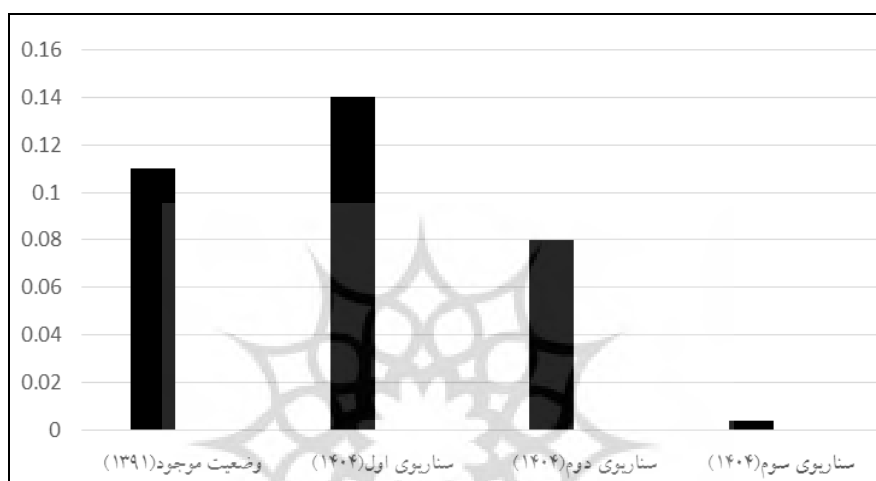
در حال حاضر مشهد، به جز ایام حضور زائران چیزی نزدیک به ۹۰۰ هزار خودرو را در دل خود جای داده است که از این میزان ۲۰۰ هزار خودرو فرسوده است، ضمن اینکه در مشهد ۵۵۰۰ تاکسی و ۴۰۰۰ مینی‌بوس و نزدیک به ۱۰۰۰ اتوبوس فرسوده در حال تردد هستند. اطلاعات مربوط به خودروهای فرسوده حاکی از این است که این خودروها ۴۴ درصد 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 آلاینده‌گی تولید می‌کند<sup>۲</sup> و این میزان با احتساب ۱۲ هزار کیلومتر در سال باعث ایجاد ۷۰۸ کیلوگرم آلاینده‌گی 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 ۱,۴۲ 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 ۶ میلیون خودرو با سوخت یورو ۲ آلاینده‌گی ایجاد می‌کنند. این در حالی است که با سطح استاندارد سوخت یورو ۴ این رقم معادل ۱۰ میلیون خودرو می‌باشد. محاسبات ما نشان می‌دهد که اگر این سناریو محقق شود جاپای بوم‌شناختی حمل و نقل مشهد کاهش بسیار چشمگیری خواهد داشت و به ۰,۰۰۴ هکتار برای هر فرد خواهد رسید. که معادل ۱۶۰۰۰ 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 ۴۲۴۸۰۰۰ تن آلاینده‌گی در سال تولید می‌کنند. که بر اساس این سناریو یعنی با حذف کامل خودروهای فرسوده از ناوگان حمل و نقل عمومی و حذف ۶۰ درصد خودروهای فرسوده شخصی ۲۵۴۸۸۰۰ تن آلاینده در سال کاهش خواهد یافت. بنابراین تاثیرگذارترین و با اهمیت‌ترین سناریو در کاهش جاپای بوم‌شناختی حمل و نقل شهر مشهد مربوط به کاهش و حذف خودروهای فرسوده است.

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

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

آلاینده و سوخت	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	ذرات	سرب
بنزین	۸۹۶۱۱	۳۴۵۶	۳۸۴	۳۳۳	۱۰۷
گازوئیل	۱۷۴	۶۵۱	۴۰۵	۳۲۱	-

منبع: مطابق با جدول ۵



نمودار ۱. سناریوهای سه گانه جای پای بوم‌شناختی حمل و نقل مشهد تا سال ۱۴۰۴ (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 حمل و نقل 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 بی‌رویه تولید خودرو، عدم کفایت و بهیچ‌گونه شبکه معابر، عدم استفاده از انرژی‌های پاک و غیر فسیلی، تمایل روزافزون 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 حمل و نقل به مساحتی بیش از ۱۰ برابر وسعت موجود شهر نیاز است. با ادامه روند موجود جای پای بوم‌شناختی شهر از مرز ۰/۱۱ هکتار برای هر فرد در حال حاضر (۱۳۹۱) گذشته و تا سال ۱۴۰۴ به ۰/۱۴ هکتار می‌رسد (۱۶ برابر وسعت کنونی شهر). از این رو بهبود فضای

سرمایه گذاری در بخش انرژی و توسعه زیر ساخت‌های انرژی، بهبود راندمان انرژی و صرفه جویی انرژی و تنوع منابع انرژی از ضروریات محسوب می‌شود. طبق نتایج موجود تاثیرگذارترین سناریو تا سال ۱۴۰۴ سناریو سوم است که قادر است جایای بوم‌شناختی حمل و نقل را با اختلاف بسیار زیاد نسبت به دیگر سناریوها کاهش دهد. این سناریو کوچکترین عدد را برای جایای بوم‌شناختی شهر در افق ۱۴۰۴ ارائه می‌دهد که برابر با ۰,۰۰۴ هکتار برای هر فرد است. در این سناریو نیاز به ۱۶۰۰۰ هکتار اراضی پشتیبان برای جذب و دفع کربن است، یعنی کمتر از نیمی از مساحت فعلی شهر مشهد. بنابراین می‌توان آن را به عنوان سناریوی برگزیده و مطلوب در نظر گرفت. در عین حال باید در نظر داشت که حدود ۴۳ درصد از سفرهای روزانه ساکنین با اتومبیل شخصی انجام می‌شود؛ بنابراین بهبود کیفیت سوخت و ارتقاء آن از یورو ۲ به یورو ۴ و بالاتر، نیز به عنوان یک هدف مهم باید مد نظر قرار گیرد. با ارزیابی نتایج سناریوها، به این نتیجه کلی می‌رسیم که علاوه بر تأکید فراوان بر تحقق سناریو سوم، باید برنامه‌ریزی‌های هدف دار و مستمری برای اجرا کردن دیگر سناریوها نیز انجام شود چرا که "هدف اصلی برای دستیابی به حمل و نقل کم کربن باید تغییر الگوی جایجایی از حمل و نقل شخصی به عمومی باشد که در رأس آن در حال حاضر سیستم اتوبوسرانی و در آینده شبکه ریلی درون شهری خواهد بود". اگر چه در حال حاضر تأثیر شبکه ریلی مشهد در کاهش انتشار کربن با توجه به سهم اندک آن در جایجایی مسافر نسبت به دیگر انواع حمل و نقل عمومی بسیار ناچیز است به طوری که می‌تواند در بهترین حالت تنها رقم جایای فعلی را تا سال ۱۴۰۴ ثابت نگاه دارد (شکوهی و دیگران، ۱۳۹۳: ۱۱۷)، اما برای کلان شهرهایی مانند مشهد که با حجم بزرگی از تقاضای سفر روبرو هستند توسعه شبکه ریلی یکی از بهترین گزینه‌هاست؛ از این رو رویکرد و نگاه ما برای کاهش جایای بوم‌شناختی حمل و نقل مشهد و باید رویکردی تلفیقی از سناریوها و راه‌حلی باشد که تاکنون بر روی آن‌ها تحقیقات ارزشمندی انجام شده است و هر راهکاری برای کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی ماشینی شدن شهر مشهد باید تلفیقی از راه‌حلی 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 جایای بوم‌شناختی وسایل حمل و نقل شهری؛ رویکردی نوین به منظور برنامه‌ریزی حمل و نقل پایدار، نمونه موردی شهر ارومیه. مجله آمایش جغرافیایی فضا. شماره پنجم. صص ۹۹-۱۱۶.

- رهنما، محمدرحیم؛ عبادی‌نیا، فهیمه.، ۱۳۹۳. تحلیل پایداری حمل و نقل شهر مشهد با استفاده از روش جابجایی بوم‌شناختی. جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره ۱۱، ۱۰۵-۹۳، مشهد.
- سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری مشهد.، ۱۳۸۴. دومین آمارنامه حمل و نقل شهر مشهد، پاییز ۱۳۸۴
- سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری مشهد.، ۱۳۹۱. هشتمین آمارنامه حمل و نقل 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 فرهاد.، ۱۳۸۷. طرح توسعه و عمران (جامع) کلان‌شهر مشهد، مطالعات پایه حمل‌ونقل. مشهد.
- مهندسين مشاور طرح هفتم.، ۱۳۸۷. ساخت، پرداخت و اعتبار سنجی مدل‌های برآورد میزان مالکیت خودرو بر اساس سال پایه، ص ۵۲-۴۷

- 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.merseyside.org/pdf/EFofPassengerTransport.pdf](http://www.merseyside.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<sub>2</sub>- Moving toward International Transport Forum(ITF). 2010. Reducing transport greenhouse gas emissions. Retrieved from [www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/10ghgtrends.pdf](http://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 Impact 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, NECTAR conference, Delft, October 1999
- sustainability. Retrieved from [www.iea.org/workshop/cop/cop15/Fulton\\_IEA\\_Day.pdf](http://www.iea.org/workshop/cop/cop15/Fulton_IEA_Day.pdf).
- Thomas, L. & Cousins, W., 1996. The Compact City: 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.