



ارزیابی پایداری محیط‌زیستی الگوهای حمل‌ونقل درون‌شهری بجنورد با استفاده از شاخص ردپای بوم‌شناختی

محمد رضا ویسی^۱، پوریا پیرمرادی^{۲*}، دلارام گرشاسبی^۲

۱- دانشجوی دکتری شهرسازی، گروه برنامه ریزی و طراحی شهری و منطقه ای، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۲* - گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران.

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۳۰

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۷

کلمات کلیدی:

توسعه پایدار

محیط‌زیست

حمل و نقل شهری

تولید کربن

گازهای گلخانه‌ای

پیشینه و هدف: در دهه‌های اخیر با گسترش روزافزون شهرها، افزایش جمعیت و توسعه حمل‌ونقل شهری، موضوع توسعه پایدار محیط‌زیستی به یکی از مباحث بسیار مهم در علوم مختلف بدل گشته است. توسعه پایدار محیط‌زیستی به‌عنوان رویکردی مؤثر در مقابله با گرمایش زمین و تغییرات آب‌وهوایی مطرح است. از اصلی‌ترین علل گرمایش زمین و ناپایداری محیط‌زیستی، تولید بیش از حد گازهای گلخانه‌ای است. بیشترین حجم و تأثیر در بین گازهای گلخانه‌ای مربوط به کربن دی‌اکسید است. حمل‌ونقل شهری به‌عنوان بخش جداناپذیر و بسیار مهم از شهر و زندگی شهری به‌طور فزاینده‌ای در حال انتشار کربن دی‌اکسید است. تولید کربن دی‌اکسید اگر بیشتر از ظرفیت تحمل شهر باشد، پایداری محیط‌زیستی را در بلندمدت به خطر می‌اندازد. شاخص ردپای بوم‌شناختی به‌عنوان روشی یکپارچه برای محاسبه ظرفیت تحمل منطقه بر اساس تولید کربن و ارزیابی پایداری محیط‌زیستی در بسیاری از کشورهای جهان در سطوح مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. ردپای بوم‌شناختی به‌طور کلی معیاری برای محاسبه میزان زمین مورد نیاز برای جذب کربن تولیدشده توسط انسان است و پایداری یا عدم پایداری محیط‌زیستی محدوده تعیین شده را بر اساس حجم کربن تولید شده نشان می‌دهد. از این‌رو محاسبه ردپای بوم‌شناختی الگوهای مختلف حمل‌ونقل شهری امری ضروری است. از آنجایی که شهر بجنورد در سال‌های اخیر و پس از تبدیل شدن به مرکز استان افزایش چشمگیر جمعیت و گسترش ناگهانی را تجربه نموده است و حجم سفرهای درون‌شهری در این شهر چند برابر افزایش پیدا کرده است، این تحقیق به ارزیابی پایداری محیط‌زیستی الگوهای حمل‌ونقل درون‌شهری بجنورد با استفاده از شاخص ردپای بوم‌شناختی می‌پردازد.

مواد و روش‌ها: پژوهش کاربردی حاضر با روش توصیفی-تحلیلی به ارزیابی پایداری محیط‌زیستی حمل‌ونقل درون‌شهری بجنورد می‌پردازد. به این منظور داده‌های مورد نیاز از جمله تعداد سفرها و جابه‌جایی‌های روزانه و متوسط مسافت طی شده در هر سفر برای هر الگو سفر را با مراجعه به اسناد و گزارش‌ها و نیز مراجعه حضوری به ارگان‌های مربوطه گردآوری نموده و سرانه ردپای بوم‌شناختی حمل‌ونقل درون‌شهری بجنورد را محاسبه کرده است. در نهایت با استاندارد جهانی سرانه ردپای بوم‌شناختی حمل‌ونقل درون‌شهری مقایسه می‌نماید.

نتایج: در پژوهش حاضر مشخص شد از پنج الگوی حمل‌ونقلی خودرو شخصی، تاکسی، اتوبوس، مینی‌بوس و موتورسیکلت، فقط دو الگو اتوبوس و مینی‌بوس از نظر محیط‌زیستی پایدار هستند و خودرو شخصی نیز ناپایدارترین الگو است که سرانه ردپای بوم‌شناختی آن ۹ برابر سرانه استاندارد جهانی است. این پژوهش نشان می‌دهد که به‌طور کلی سیستم حمل‌ونقل شهر بجنورد از نظر زیست‌محیطی ناپایدار است زیرا حجم دی‌اکسید کربن تولیدشده توسط این سیستم بسیار بیشتر از ظرفیت جذب کربن دی‌اکسید توسط زمین‌های شهر است.

بحث: با توجه به افزایش تمایل به استفاده بیشتر از خودرو شخصی و روند مهاجرت به شهر در آینده این معضلات بیشتر از پیش خواهد شد و روند تأثیرات سوء اکولوژیکی بر شهر بجنورد سرعت می‌گیرند که این امر اقدامات فوری و برنامه‌ریزی دقیق را می‌طلبد.

مقدمه

یکی از مهم‌ترین معضلاتی که کلان‌شهرها در دهه‌های اخیر با آن دست‌وپنجه نرم می‌کنند، موضوع حمل‌ونقل است. حمل‌ونقل به‌عنوان یکی از جنبه‌های مهم شهری انرژی قابل توجه مصرف می‌کند و از اصلی‌ترین منابع آلودگی در شهرها به‌شمار می‌رود (Alvarez-Risco, 2020). حمل‌ونقل شهری الگوهای مختلفی دارد و تعداد بسیار زیادی از وسایل نقلیه را شامل می‌شود (Martins *et al.*, 2019). اگر قبول کنیم کلان‌شهرها محرک اقتصاد جهانی هستند، پس سیستم حمل‌ونقل است که این محرک‌ها را کارآمد نگاه می‌دارد. در طرف مقابل، عدم کارآمدی سیستم حمل‌ونقل شهری عواقب محیط‌زیستی و پیامدهای منفی اقتصادی و اجتماعی را در بر خواهد داشت و در نهایت باعث عدم کارآمدی عملکرد شهر می‌شود (Hutchison, 2010). حمل‌ونقل پایدار امروز در تحقیقات بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد. رشد اقتصادی و روابط تجاری جهانی منجر به افزایش چشمگیر فعالیت‌های حمل‌ونقل می‌شود. حمل‌ونقل بسیاری از اثرات منفی و معضلات مانند صدا، آلودگی هوا، حوادث غیرمترقبه را به دنبال دارد. هم‌چنین تأثیر عمده‌ای بر تغییرات اقلیمی ناشی از فعالیت انسان دارد (Faulin *et al.*, 2019). از نظر کمیته تحقیقات حمل‌ونقل^۱، حمل‌ونقل پایدار باید ارزیابی پدیده‌های مرتبط به یکدیگر یا تأثیرگذار بر حمل‌ونقل را مورد توجه قرار دهد: تأثیرات جوی در جهان، کاهش ذخایر بنزین، تأثیرات کیفی بر هوای منطقه، تلفات و

جراحات، ازدحام، تأثیرات بیولوژیک، سروصدا و عدالت (Zhou, 2012). حمل‌ونقل پایدار از طریق بهبود کیفیت هوا، امنیت و ایمنی، بهره‌وری را در سایر بخش‌ها افزایش می‌دهد (Davis & Whyte, 2020). از این‌رو شاخص‌های مربوط به حمل‌ونقل پایدار در شهرها باید شناسایی و ارزیابی شوند تا از پایداری سیستم حمل‌ونقل اطمینان حاصل شود و در صورت لزوم از ابزار کنترل صحیح استفاده شود (Alvarez-Risco, 2020).

برای ارزیابی پایداری، مجموعه‌ای وسیعی از تعریف‌ها، اصطلاحات، رویکردها، مفاهیم، روش‌ها و ابزارها، وجود دارد که بسیاری از آن‌ها فقط برای زمینه‌های خاص طراحی شده‌اند (Missimer *et al.*, 2017). یکی از پرکاربردترین این ابزارها که پایداری محیط‌زیستی را ارزیابی می‌کند، شاخص ردپای بوم‌شناختی است. ردپای بوم‌شناختی تقاضای انسان از طبیعت را اندازه‌گیری می‌کند (Meena & Yadav, 2019) و آن را با توانایی کره زمین در پاسخگویی به این خواسته‌ها مقایسه می‌کند (Wackernagel *et al.*, 2019). این شاخص راهی برای سنجش تأثیرات فعالیت‌های انسانی بر روی زمین است (Daferera *et al.*, 2019) و سعی بر تعیین کمی میزان فشار انسان بر محیط‌زیست دارد (Syrovátka, 2020). ردپای بوم‌شناختی مقدار ناحیه مورد نیاز برای جذب ضایعات و آلودگی تولیدشده توسط انسان را مشخص می‌کند (Yang *et al.*, 2020) و به این سؤال پاسخ می‌دهد که چه مقدار از ظرفیت بازسازی زیست‌کره توسط فعالیت‌های انسانی اشغال شده است (Wackernagel & Rees, 1996; Wackernagel, 2014; Wackernagel *et al.*, 2017). این شاخص بیان می‌کند که می‌توان مصرف

^۱ Transport Research Board

سو حمل‌ونقلی توسط مسؤولین ذی‌ربط صورت پذیرد. از این‌رو پژوهش حاضر در راستای ارزیابی وضعیت پایداری محیط‌زیستی هریک از الگوهای حمل‌ونقل درون‌شهری بجنورد با روش ردپای اکولوژیکی بر اساس میزان سرانه تولید کربن و این‌که تا چه میزان با استانداردهای جهانی منطبق است، گام برمی‌دارد.

از جمله جدیدترین تحقیقات در زمینه ارزیابی پایداری محیط‌زیستی از طریق روش ردپای بوم‌شناختی پژوهش Szigeti و همکاران (۲۰۲۳) است که یک الگوی محاسبه استاندارد و در دسترس برای اندازه‌گیری ردپای بوم‌شناختی کربن مواد مورد استفاده در پروژه‌های ساختمانی در مجارستان ارائه نمودند. نتایج این پژوهش در تصمیم‌گیری‌ها و سیاست‌گذاران در تعیین مسیرهای توسعه شهری کمک خواهد کرد. در پژوهش دیگری Gill و همکاران (۲۰۲۲) تأثیر توسعه اقتصادی پاکستان را بین سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۸ بر شاخص ردپای بوم‌شناختی محاسبه و بررسی نمودند و نتیجه می‌گیرند که توسعه اقتصادی پاکستان در بین این سال‌ها منجر به افزایش مصرف انرژی و در نتیجه افزایش ردپای بوم‌شناختی در این کشور گشته است. در تحقیقی مشابه Temitope و همکاران (۲۰۲۲) تأثیر توسعه اقتصادی بین سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۷ بر شاخص ردپای بوم‌شناختی را برای کشورهای آفریقایی محاسبه کردند و نتیجه می‌گیرند که بین توسعه اقتصادی رسمی و غیررسمی و افزایش رد پای بوم‌شناختی در کشورهای آفریقایی رابطه مستقیم وجود دارد. در پژوهشی دیگر Nan و همکاران (۲۰۲۲) شاخص ردپای اکولوژیکی انرژی کشور چین را بر اساس چرخه کربن محاسبه و تجزیه‌وتحلیل کردند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که سرانه ردپای اکولوژیکی انرژی در حال افزایش و سرانه ظرفیت زیستی انرژی نیز رو به کاهش است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، روش ردپای بوم‌شناختی یک روش کمی با سازوکاری مشخص است و پژوهش‌هایی که از این تکنیک جهت ارزیابی پایداری محیط‌زیستی استفاده نموده‌اند کاملاً کاربردی و قائم به قلمرو مکانی و زمانی پژوهش می‌باشند.

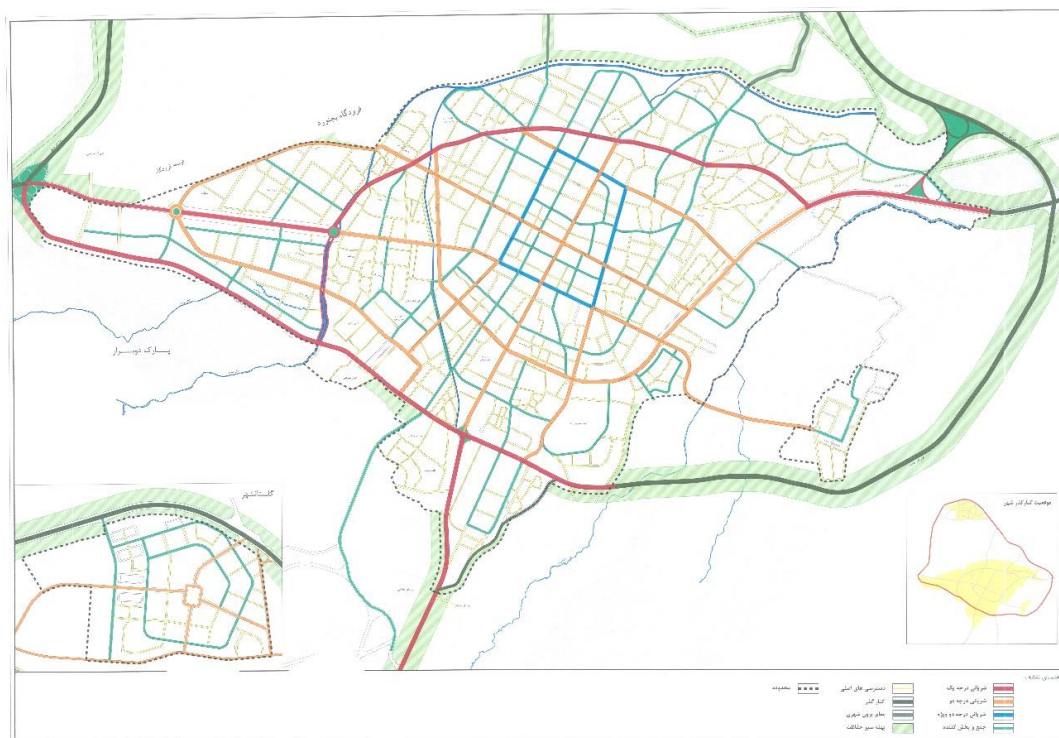
انرژی و بهره‌برداری از منابع را به شکل مستقیم با زمین‌های اختصاص داده‌شده به هر یک از کاربری‌ها در شهر، منطقه و یا کشور، مرتبط ساخت (Gottlib *et al.*, 2012). تجزیه‌وتحلیل ردپای بوم‌شناختی را می‌توان برای محصول، فرد، مؤسسه، شهر، کشور یا تمام جهان محاسبه نمود (Ortega-Montoya & Johari, 2019). نسخه‌های مختلفی از ردپای بوم‌شناختی وجود دارد که یکی از مهم‌ترین آن‌ها محاسبه ردپای بوم‌شناختی به‌صورت سرانه تولید و جذب کربن روزانه برای یک شهر است. در این نسخه ردپای بوم‌شناختی بزرگ‌تر به معنای میزان مصرف بیشتری از منابع است که تأثیر منفی بیشتری بر محیط‌زیست دارد (Morse & Vogiatzakis, 2014).

کربن یکی از مهم‌ترین عناصر آلوده‌کننده محیط‌زیست و برهم‌زننده پایداری محیط‌زیستی است. انتشار کربن دی‌اکسید یکی از مهم‌ترین آثار مخرب حمل‌ونقل شهری است که در نهایت موجب گرمایش کره زمین و تغییرات آب‌وهوا می‌شود که همه‌ساله میزان بسیار زیادی کربن توسط سیستم حمل‌ونقل وارد محیط‌زیست می‌گردد. تولید کربن دی‌اکسید اگر بیشتر از ظرفیت تحمل شهر باشد، پایداری محیط‌زیستی را در بلندمدت به خطر می‌اندازد؛ بنابراین استاندارد بودن میزان تولید کربن سیستم‌های حمل‌ونقلی یک مسأله جدی بین‌المللی است که یکی از ارکان اصلی تحقق پایداری محیط‌زیستی به شمار می‌رود. گسترش افقی، افزایش تراکم و افزایش جمعیت شهر بجنورد در سالیان اخیر و پس از تبدیل شدن به مرکز استان خراسان شمالی به دلیل افزایش مهاجرت به این شهر به شکل فزاینده‌ای سرعت گرفته است و به‌تبع آن با افزایش تعداد سفرها، شبکه حمل‌ونقل درون‌شهری گسترش‌یافته است. مسأله اصلی تحقیق اینجاست که این توسعه و گسترش شبکه حمل‌ونقل چه میزان با استانداردهای پایداری محیط‌زیستی منطبق است. به این منظور به محاسبه میزان تولید کربن توسط سیستم حمل‌ونقل درون‌شهری بجنورد با استفاده از روش ردپای بوم‌شناختی می‌پردازیم؛ زیرا این ضرورت احساس می‌شود تا پایداری محیط‌زیستی سیستم حمل‌ونقل درون‌شهری این شهر ارزیابی گردد تا پیش از وارد شدن خسارات جبران‌ناپذیر به محیط‌زیست شهر و به مخاطره افتادن سلامت شهروندان، اقدامات لازم جهت مقابله با آثار

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر با روش توصیفی-تحلیلی به ارزیابی پایداری محیط‌زیستی حمل‌ونقل شهری در شهر بجنورد می‌پردازد. شهر بجنورد (مرکز استان خراسان شمالی) در مختصات جغرافیایی ۵۷ درجه و ۱۹ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی در ارتفاع ۱۰۷۰ متر از سطح آب‌های آزاد در قسمت جنوب شهرستان بجنورد

واقع شده است. مساحت شهر در حدود ۲۵ کیلومترمربع (۲۵۰۰ هکتار) بوده و در فاصله ۲۵۰ کیلومتری شمال غرب شهر مشهد (مرکز استان خراسان رضوی) قرار گرفته است. هم‌چنین بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵ جمعیت شهر معادل با ۲۲۸۹۳۱ نفر است (Pirmoradi & Mostofian, 2016).



شکل ۱- نقشه شبکه معابر درون‌شهری بجنورد (Pirmoradi, 2014)

ابتدا برای محاسبه سرانه مصرف سوخت هرکدام از شیوه‌های حمل‌ونقل در شهر بجنورد از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$s = m \times l \times e = E \text{ (litre)}. \text{ (Habibi et al., 2013)}$$

- تعداد سفر روزانه s
- تعداد جابه‌جایی روزانه m
- متوسط مسافت طی شده در هر سفر l
- متوسط سوخت مصرفی در هر کیلومتر به ازای هر نفر e
- سرانه مصرف روزانه سوخت برای یک مسافر به لیتر E

داده‌های مورد نیاز از جمله تعداد سفرها و جابه‌جایی‌های روزانه و متوسط مسافت طی شده در هر سفر برای هر الگو سفر را با دو روش کتابخانه‌ای و میدانی از طریق مراجعه به اسناد و گزارش‌های موجود و نیز مراجعه حضوری به ارگان‌های مربوطه گردآوری نموده و با استفاده از روش تلفیقی ردپای بوم‌شناختی که از ترکیب دو روش استقرایی (تفصیلی) و قیاسی (ترکیبی) تشکیل شده است، از طریق محاسبات کمی به تجزیه و تحلیل پایداری محیط‌زیستی حمل‌ونقل شهری بجنورد می‌پردازد.

موتورسیکلت به ترتیب بیشترین سهم را در جابه‌جایی روزانه مسافران درون‌شهری دارا می‌باشند.

به‌منظور ارزیابی و سنجش میزان پایداری محیط‌زیستی هرکدام از شیوه‌های حمل‌ونقلی از روش جدید ردپای بوم‌شناختی استفاده شده است. مقدار ردپا به‌عنوان شاخص، بیان‌کننده سطح پایداری محیط‌زیستی هر الگو است.

میزان مصرف سوخت به ازای هر جابه‌جایی برای هرکدام از وسایل حمل‌ونقل در جدول ۳ ارائه شده است. از این مقادیر برای محاسبه میزان ردپای بوم‌شناختی هر یک از وسایل استفاده شده است.

محاسبه ردپای بوم‌شناختی خودرو شخصی: بر مبنای داده‌های بیان‌شده در جدول ۲ روزانه ۴۰۶۶۴ نفر مسافر توسط خودرو شخصی در بجنورد جابه‌جا شده است. در جدول مذکور بیان‌شده است که میزان سفرهای روزانه برابر با ۴۰۶۶۴ سفر است و به دلیل این‌که اغلب در طول یک سفر، چند جابجایی صورت می‌پذیرد، پس سهم یک مسافر از هر سفر، از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$40664 \div 40664 = 1$$

توجه به این امر که مقدار پیمایش سفر در شهر بجنورد برای خودرو شخصی ۵/۱۵ کیلومتر است در نتیجه:

$$1 \times 5/15 = 5/15$$

میزان مصرف سوخت برای هر مسافر در یک کیلومتر برای خودرو شخصی ۰/۰۹۷ لیتر است؛ در نتیجه، ۰/۴۹۹ لیتر سرانه مصرف روزانه بنزین، برای یک مسافر در شهر بجنورد است. با توجه به این‌که سوخت بنزین در یک لیتر، حدوداً ۳۳۰۲۳ واحد گرمایی بریتانیا (BTU) تولید می‌کند که در نتیجه ۱۹/۹۵ تن کربن در هر میلیارد واحد گرمایی بریتانیا آزاد می‌شود. در نتیجه:

$$0/499 \times 33023 = 16496/63$$

$$16496/63 \times 10^{-9} \times 19/95 = 3/29107 \times 10^{-4}$$

با توجه به این نکته که سالیانه برای دفع هر ۱/۸ تن کربن، یک هکتار زمین مورد نیاز است، بنابراین:

$$3/29107 \times 10^{-4} \div 1/8 = 1/82837 \times 10^{-4}$$

مقدار زمینی نیاز داریم به‌منظور تأمین سرانه روزانه مصرف بنزین خودرو شخصی در شهر بجنورد، برابر با ۱/۸۲ مترمربع برای هر نفر است.

سپس بایستی سرانه تولید روزانه کربن برای یک مسافر محاسبه شود:

$$C = E \times BTU \times c \quad (\text{Gottlieb et al, 2012})$$

▪ سرانه مصرف روزانه سوخت برای یک مسافر به لیتر E

▪ واحد گرمایی بریتانیا BTU (سوخت بنزین در یک لیتر، حدوداً ۳۳۰۲۳ واحد گرمایی بریتانیا تولید می‌کند و گازوییل در هر لیتر، تقریباً برابر با ۳۶۶۴۲ واحد گرمایی بریتانیا تولید می‌کند).

▪ $10^{-10} \times 19/95$ کربن آزاد شده در هر میلیارد واحد گرمایی بریتانیا به تن c

▪ سرانه تولید روزانه کربن برای یک مسافر به تن C

هم‌چنین سالانه برای جذب ۱/۸ تن کربن، یک هکتار زمین نیاز است (Pirmoradi et al., 2022)؛ بنابراین برای محاسبه سرانه ردپای بوم‌شناختی برای یک مسافر:

$$EF = C \div 1/8 \quad (\text{Habibi et al., 2013})$$

▪ سرانه تولید روزانه کربن برای یک مسافر به تن C

▪ سرانه یا متوسط ردپای بوم‌شناختی برای یک مسافر EF

در انتها نیز به‌منظور ارزیابی میزان پایداری محیط‌زیستی هر یک از الگوهای حمل‌ونقل، میزان ردپای هر الگو حمل‌ونقل با میزان استاندارد جهانی آن که توسط سازمان جهانی محیط‌زیست و سازمان جهانی رد پا^۲ (GFN) ارائه‌شده، مقایسه می‌شود.

نتایج

حمل‌ونقل و جابه‌جایی در شهر بجنورد با استفاده از وسایل مختلف حمل‌ونقل درون‌شهری مانند اتوبوس، مینی‌بوس، تاکسی، خودروهای شخصی و غیره صورت می‌گیرد. سهم هر یک از وسایل نقلیه عمومی در کل سیستم حمل‌ونقل برحسب درصد در جدول ۱ ارائه شده است.

توزیع سفرهای روزانه و عملکرد و سهم هر یک از وسایل نقلیه در جابجایی مسافر در شهر بجنورد در جدول ۲ نشان داده‌شده است. بر اساس این جدول خودروی شخصی، تاکسی و آژانس، مینی‌بوس، اتوبوس و

^۲ Global Footprint Network

جدول ۱- سهم هر یک از وسایل نقلیه از سفرهای روزانه سیستم حمل‌ونقل شهر بجنورد در سال ۹۹ به درصد (نگارنده بر اساس اطلاعات شهرداری بجنورد، ۱۳۹۹)

خصوصی (۳۹/۷)	عمومی (۳۴/۸)	نیمه عمومی	سایر
اتومبیل شخصی (۳۱/۳)	اتوبوس (۳۰/۵)	تاکسی (۱۶/۱)	سایر (۹/۴)
موتورسیکلت (۸/۴)	مینی‌بوس (۴/۳)		

جدول ۲- توزیع سفرهای روزانه سیستم حمل‌ونقل شهر بجنورد در سال ۹۹ (نگارنده بر اساس اطلاعات شهرداری بجنورد، ۱۳۹۹)

سیستم	وسیله	تعداد سفر	ضریب جابه‌جایی	تعداد جابه‌جایی	متوسط مسافت سفر به کیلومتر
خصوصی	شخصی	۴۰۶۶۴	۱	۴۰۶۶۴	۵/۱۵
	موتورسیکلت	۱۰۱۷۵	۱	۱۰۱۷۵	۵/۸۱
عمومی	اتوبوس	۳۹۴۵۳	۱/۵	۵۹۱۷۹	۶/۷۲
	مینی‌بوس	۵۲۶۹	۱/۸	۹۴۸۴	۵/۳۳
نیمه عمومی	تاکسی	۱۸۸۹۱	۱/۶	۳۰۲۲۵	۳/۶
سایر	سایر	۱۲۱۶۲	۱	۱۲۱۶۲	۵/۱۵

جدول ۳- مصرف سوخت به ازای هر سفر با انواع وسایل نقلیه بر حسب لیتر (Barari et al., 2017)

شرح	شخصی	موتورسیکلت	تاکسی	اتوبوس	مینی‌بوس
مصرف سوخت به ازای یک سفر در هر کیلومتر	۰/۰۹۷	۰/۰۴۶	۰/۰۸۳	۰/۰۱۱	۰/۰۲۴

$۰/۲۶۷۲۶ \times ۳۳۰۲۳ = ۸۸۲۵/۷۲$
 $۸۸۲۵/۷۲ \times ۱۰^{-۴} \times ۱۹/۹۵ = ۱/۷۶۰۷۳ \times ۱۰^{-۴}$
 با توجه به این نکته که سالیانه برای دفع هر ۱/۸ تن کربن، یک هکتار زمین مورد نیاز است، بنابراین:
 $۱/۷۶۰۷۳ \times ۱۰^{-۴} \div ۱/۸ = ۰/۹۷۸۱۸ \times ۱۰^{-۴}$
 مقدار زمینی نیاز داریم به منظور تأمین سرانه روزانه مصرف بنزین موتورسیکلت در شهر بجنورد، برابر با ۰/۹۷ مترمربع برای هر نفر است.

محاسبه ردپای بوم‌شناختی تاکسی: بر مبنای داده‌های بیان‌شده در جدول ۲ روزانه ۳۰۲۲۵ نفر مسافر توسط تاکسی در بجنورد جابه‌جا شده است. در جدول مذکور بیان‌شده است که میزان سفرهای روزانه برابر با ۱۸۸۹۱ سفر است و به دلیل این‌که اغلب در طول یک سفر، چند جابجایی صورت می‌پذیرد، پس سهم یک مسافر از هر سفر، از فرمول زیر به دست می‌آید:
 $۱۸۸۹۱ \div ۳۰۲۲۵ = ۰/۶۲۵$
 توجه به این امر که مقدار پیمایش سفر در شهر بجنورد برای تاکسی ۳/۶ کیلومتر است در نتیجه:

محاسبه ردپای بوم‌شناختی موتورسیکلت: بر مبنای داده‌های بیان‌شده در جدول ۲ روزانه ۱۰۱۷۵ نفر مسافر توسط موتورسیکلت در بجنورد جابه‌جا شده است. در جدول مذکور بیان‌شده است که میزان سفرهای روزانه برابر با ۱۰۱۷۵ سفر است و به دلیل این‌که اغلب در طول یک سفر، چند جابجایی صورت می‌پذیرد، پس سهم یک مسافر از هر سفر، از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$۱۰۱۷۵ \div ۱۰۱۷۵ = ۱$$

توجه به این امر که مقدار پیمایش سفر در شهر بجنورد برای موتورسیکلت ۵/۸۱ کیلومتر است در نتیجه:

$$۱ \times ۵/۸۱ = ۵/۸۱$$

میزان مصرف سوخت برای هر مسافر در یک کیلومتر برای موتورسیکلت ۰/۰۴۶ لیتر است؛ در نتیجه، ۰/۲۶۷۲۶ لیتر سرانه مصرف روزانه بنزین، برای یک مسافر در شهر بجنورد است. با توجه به این‌که سوخت بنزین در یک لیتر، حدوداً ۳۳۰۲۳ واحد گرمایی بریتانیا (BTU) تولید می‌کند که در نتیجه ۱۹/۹۵ تن کربن در هر میلیارد واحد گرمایی بریتانیا آزاد می‌شود. در نتیجه:

$0.36024 \times 10^{-4} \div 1/8 = 0.20013 \times 10^{-4}$
مقدار زمینی نیاز داریم به منظور تأمین سرانه روزانه مصرف گازوییل اتوبوس در شهر بجنورد، برابر با 0.2 مترمربع برای هر نفر است.

محاسبه ردپای بوم‌شناختی مینی‌بوس: بر مبنای داده‌های بیان‌شده در جدول ۲ روزانه 59179 نفر مسافر توسط مینی‌بوس در بجنورد جابه‌جا شده است. در جدول مذکور بیان‌شده است که میزان سفرهای روزانه برابر با 5269 سفر است و به دلیل این‌که اغلب در طول یک سفر، چند جابجایی صورت می‌پذیرد، پس سهم یک مسافر از هر سفر، از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$0.5555 = 9484 \div 5269$$

توجه به این امر که مقدار پیمایش سفر در شهر بجنورد برای مینی‌بوس $5/33$ کیلومتر است در نتیجه:

$$0.5555 \times 5/33 = 2/96$$

میزان مصرف سوخت برای هر مسافر در یک کیلومتر برای مینی‌بوس 0.24 لیتر است؛ در نتیجه، 0.0710 لیتر سرانه مصرف روزانه گازوییل، برای یک مسافر در شهر بجنورد است. با توجه به این‌که سوخت گازوییل در یک لیتر، حدوداً 36642 واحد گرمایی بریتانیا (BTU) تولید می‌کند که در نتیجه $19/95$ تن کربن در هر میلیارد واحد گرمایی بریتانیا آزاد می‌شود. در نتیجه:

$$0.0710 \times 36642 = 2604/07$$

$$2604/07 \times 10^{-9} \times 19/95 = 0.51951 \times 10^{-4}$$

با توجه به این نکته که سالیانه برای دفع هر $1/8$ تن کربن، یک هکتار زمین مورد نیاز است، بنابراین:

$$0.51951 \times 10^{-4} \div 1/8 = 0.28861 \times 10^{-4}$$

مقدار زمینی نیاز داریم به منظور تأمین سرانه روزانه مصرف گازوییل مینی‌بوس در شهر بجنورد، برابر با 0.28 مترمربع برای هر نفر است.

مجموع نتایج محاسبات میزان زمین مورد نیاز برای تأمین مصرف روزانه سوخت به ازای هر سفر در ارتباط با هر یک از وسایل نقلیه درون‌شهری در بجنورد در جدول ۴ به همراه مقادیر استاندارد مربوط به ردپای بوم‌شناختی برای هر کدام از وسایل حمل‌ونقل شهری مقایسه شده است. استانداردها و مقادیر استاندارد مربوط به ردپای بوم‌شناختی در مورد هر کدام از وسایل حمل‌ونقل شهری مربوط به سازمان جهانی ردپای بوم‌شناختی است.

$$0.625 \times 3/6 = 2/25$$

میزان مصرف سوخت برای هر مسافر در یک کیلومتر برای تاکسی 0.083 لیتر است؛ در نتیجه، 0.1867 لیتر سرانه مصرف روزانه بنزین، برای یک مسافر در شهر بجنورد است. با توجه به این‌که سوخت بنزین در یک لیتر، حدوداً 33023 واحد گرمایی بریتانیا (BTU) تولید می‌کند که در نتیجه $19/95$ تن کربن در هر میلیارد واحد گرمایی بریتانیا آزاد می‌شود. در نتیجه:

$$0.1867 \times 33023 = 6176/16$$

$$6176/16 \times 10^{-9} \times 19/95 = 1/230.34 \times 10^{-4}$$

با توجه به این نکته که سالیانه برای دفع هر $1/8$ تن کربن، یک هکتار زمین مورد نیاز است، بنابراین:

$$1/230.34 \times 10^{-4} \div 1/8 = 0.68352 \times 10^{-4}$$

مقدار زمینی نیاز داریم به منظور تأمین سرانه روزانه مصرف بنزین تاکسی در شهر بجنورد، برابر با 0.68 مترمربع برای هر نفر است.

محاسبه ردپای بوم‌شناختی اتوبوس: بر مبنای داده‌های بیان‌شده در جدول ۲ روزانه 59179 نفر مسافر توسط اتوبوس در بجنورد جابه‌جا شده است. در جدول مذکور بیان‌شده است که میزان سفرهای روزانه برابر با 39453 سفر است و به دلیل این‌که اغلب در طول یک سفر، چند جابجایی صورت می‌پذیرد، پس سهم یک مسافر از هر سفر، از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$39453 \div 59179 = 0.666$$

توجه به این امر که مقدار پیمایش سفر در شهر بجنورد برای اتوبوس $6/72$ کیلومتر است در نتیجه:

$$0.666 \times 6/72 = 4/48$$

میزان مصرف سوخت برای هر مسافر در یک کیلومتر برای اتوبوس 0.11 لیتر است؛ در نتیجه، 0.492 لیتر سرانه مصرف روزانه گازوییل، برای یک مسافر در شهر بجنورد است. با توجه به این‌که سوخت گازوییل در یک لیتر، حدوداً 36642 واحد گرمایی بریتانیا (BTU) تولید می‌کند که در نتیجه $19/95$ تن کربن در هر میلیارد واحد گرمایی بریتانیا آزاد می‌شود. در نتیجه:

$$0.492 \times 36642 = 1805/73$$

$$1805/73 \times 10^{-9} \times 19/95 = 0.36024 \times 10^{-4}$$

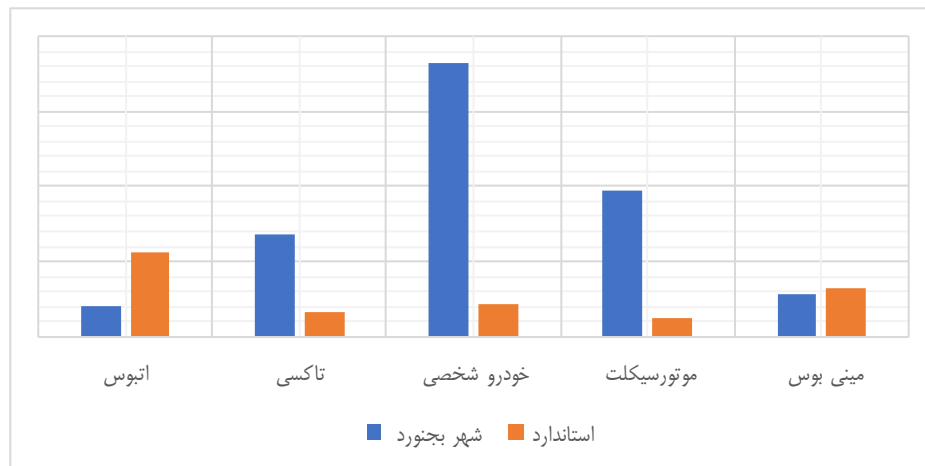
با توجه به این نکته که سالیانه برای دفع هر $1/8$ تن کربن، یک هکتار زمین مورد نیاز است، بنابراین:

جدول ۴- مقایسه سرانه ردپای بوم‌شناختی وسایل نقلیه بجنورد با استاندارد جهانی (Barari et al., 2017) به نقل از سازمان جهانی ردپای بوم‌شناختی)

نوع وسیله	سرانه ردپای بوم‌شناختی وسایل نقلیه در شهر بجنورد (مترمربع)	سرانه ردپای بوم‌شناختی استاندارد (مترمربع)
اتوبوس	۰/۲۰۰۱۳	۰/۵۶
تاکسی	۰/۶۸۳۵۲	۰/۱۶
خودرو شخصی	۱/۸۲۸۳۷	۰/۲۱
موتورسیکلت	۰/۹۷۸۱۸	۰/۱۲
مینی‌بوس	۰/۲۸۸۶۱	۰/۳۲

مینی‌بوس و اتوبوس دیگر بخش‌های حمل‌ونقلی در شهر بجنورد با اختلاف زیادی ناپایدار هستند به شکلی که در سال‌های آتی با بالا رفتن جمعیت شهر و افزایش حجم سفرها و تعداد اتومبیل‌ها در صورت عدم برنامه‌ریزی برای بهبود وضعیت مربوط به وسایل حمل‌ونقلی، شهر بجنورد با چالش‌های محیط‌زیستی جدی و عمیقی روبه‌رو خواهد شد.

مقایسه میزان سرانه ردپای بوم‌شناختی وسایل حمل‌ونقل شهری در شهر بجنورد با مقادیر استاندارد که سازمان جهانی رد پای بوم‌شناختی ارائه داده است، نشان می‌دهد که به جز مینی‌بوس و اتوبوس دیگر وسایل حمل‌ونقلی دارای رد پای بالاتری در مقایسه با مقدار استاندارد جهانی آن می‌باشند. ردپای تاکسی، خودرو شخصی و موتورسیکلت بسیار بالاتر از استاندارد جهانی است. در نتیجه باید گفت که از نظر محیط‌زیستی به‌غیراز



شکل ۲- مقایسه سرانه ردپای بوم‌شناختی وسایل نقلیه بجنورد با استاندارد جهانی

به‌ویژه در نواحی شهری در جهت ارتقاء کیفیت زندگی انسان‌ها، ضرورت می‌یابد. ابزار متنوعی برای اندازه‌گیری میزان پایداری محیط‌زیستی شهرها بیان شده که یکی از پرکاربردترین آن‌ها، شاخص ردپای بوم‌شناختی است. این شاخص به ما امکان می‌دهد تا اقدامات مناسب را به‌منظور رسیدن به پایداری محیط‌زیستی در شهرها صورت دهیم و ضمن سنجش و ارزیابی میزان پایداری محیط‌زیستی شهرها، راهکارها و راه‌حل‌های مناسب را در راستای تداوم

بحث

گرمایش زمین، تغییرات آب‌وهوایی، آلودگی هوا، تولید گازهای گلخانه‌ای، آلودگی آب، آلودگی صوتی، جزایر حرارتی و ترافیک سنگین تنها بخشی از عوامل محیط‌زیستی هستند که کیفیت زندگی بشر را دستخوش تغییر می‌کنند. بسیاری از آن‌ها به‌واسطه شیوه‌های غلط حمل‌ونقلی پدید می‌آیند. بنابراین، پایداری زیست‌محیطی

- و یا بهبود پایداری زیست‌محیطی شهر پیشنهاد دهیم.
 - نتایج استفاده از مدل ردپای بوم‌شناختی در میزان پایداری محیط‌زیستی شیوه‌های حمل‌ونقل درون‌شهری در شهر بجنورد مشخص کرد که بالاترین مقدار ردپای بوم‌شناختی در سیستم حمل‌ونقل درون‌شهری بجنورد مربوط به خودرو شخصی و پایین‌ترین میزان نیز مربوط به اتوبوس است. مقایسه ردپای بوم‌شناختی وسایل حمل‌ونقل درون‌شهری بجنورد با استانداردهای جهانی نشان داد که میزان ردپای اتوبوس و مینی‌بوس کمتر از استاندارد و میزان ردپای سایر وسایل بیشتر از استانداردهای جهانی است، به همین دلیل سه الگوی حمل‌ونقلی خودرو شخصی، تاکسی و موتورسیکلت در این شهر پایدار نمی‌باشند و در صورت نبود برنامه‌ریزی مناسب و هوشمندانه در سال‌های آینده، اثرات منفی بسیار بیشتری بر محیط‌زیست شهر و سلامت ساکنین خواهند داشت. مشکلات اصلی حمل‌ونقل درون‌شهری بجنورد را می‌توان، مدیریت ناکارآمد تقاضا، رواج استفاده از خودروهای تک‌سرنشین در شهر، نبود برنامه‌ریزی هم‌زمان کاربری زمین و حمل‌ونقل، توسعه محدود شبکه حمل‌ونقل عمومی، نبود سیستم حمل‌ونقل یکپارچه، فرسودگی سیستم حمل‌ونقل، استاندارد نبودن سیستم حمل‌ونقل، عدم رعایت سلسله‌مراتب دسترسی و تک مرکزی بودن شهر دانست. با توجه به افزایش تمایل به استفاده بیشتر از خودرو شخصی و روند مهاجرت به شهر در آینده این معضلات بیشتر از پیش خواهد شد و روند تأثیرات سوء اکولوژیکی بر شهر بجنورد سرعت می‌گیرند که این امر اقدام فوری مسؤولین شهر و استان را می‌طلبد؛ بنابراین توصیه می‌شود در شهر بجنورد به‌منظور کاهش چالش‌ها و صدمات ناشی از ناپایداری محیط‌زیستی سیستم‌های حمل‌ونقل درون‌شهری موارد زیر در برنامه‌های آینده مدنظر قرار گیرد:
 - استفاده از استانداردهای به‌روز جهانی مانند RED، EPA، WLTP و Euro 6 در خودروهای سبک
 - استفاده از استانداردهای به‌روز جهانی مانند Euro V برای خودروهای سنگین
 - تجهیز خودروهای بنزینی به فیلتر ذره‌ای جدید (PF)
 - استفاده از نسل جدید حسگر اکسیژن برای کنترل دقیق‌تر ترکیب سوخت و هوا در سیلندر
 - استفاده از متریاک جدید و مقام‌تر حرارتی در سیستم‌های اگزوز و فناوری جدید کاتالیست
 - خارج کردن خودروهای پرمصرف از چرخه تولید
 - خارج کردن خودروهای فرسوده از چرخه حمل‌ونقل
- ۲- توجه بیشتر به الگوهای حمل‌ونقل غیر موتوری و پاک**
- فراهم نمودن تجهیزات و زیرساخت‌های لازم و اختصاص مسیری برای دوچرخه
 - ایجاد محدودیت برای خودروهای شخصی با کاهش ظرفیت اختصاص‌یافته خیابان‌ها به اتومبیل‌های شخصی و اختصاص بیشتر ظرفیت آن‌ها به انواع سیستم حمل‌ونقل پاک و عمومی
 - الویت بخشی به پیاده و دوچرخه با اختصاص فضای بیشتر به آن‌ها و ایمن‌سازی مسیر پیاده و دوچرخه
 - استفاده از ون‌های برقی برای مسیرهای کوتاه در راستای توسعه حمل‌ونقل عمومی پاک
- ۳- توجه بیشتر به حمل‌ونقل عمومی و جایگزینی الگوهای حمل‌ونقل ناکارآمد**
- افزایش تعداد اتوبوس‌ها و نیز ایجاد خطوط ویژه اتوبوس
 - اعطای یارانه به‌منظور کاهش قیمت و تشویق استفاده از حمل‌ونقل عمومی
 - افزایش آسایش سفر با کاهش زمان انتظار در ایستگاه‌ها و زمان سفر
 - جایگزینی خطوط تاکسی با اتوبوس
 - ایجاد محدودیت در تولید و استفاده از موتورسیکلت و خودروهای شخصی
 - راه‌اندازی خطوط قطار سبک شهری

منابع

1. Alvarez-Risco, A., Del-Aguila-Arcentales, S. and Rosen, M.A., 2020. "Sustainable Transportation in Cities", In: Alvarez-Risco A., Rosen M., Del-Aguila-Arcentales S., Marinova D. (eds) Building Sustainable Cities. Springer, Cham, 149-165.
2. Barari, M., Razavian, M.T. and Tavakoli Nia, J., 2017. "Evaluation of the Ecological Footprint to Achieve Urban Green Transport with the Introduction of ASI Strategy (Case

۱- استانداردهای خودروها

- استفاده از استانداردهای به‌روز جهانی مانند RED، EPA، WLTP و Euro 6 در خودروهای سبک
- استفاده از استانداردهای به‌روز جهانی مانند Euro V برای خودروهای سنگین
- تجهیز خودروهای بنزینی به فیلتر ذره‌ای جدید (PF)

15. **Nan, Y., Sun, R., Jing, L. et al., 2022.** "Calculation and prediction of China's energy ecological footprint based on the carbon cycle". *Int. J. Environ. Sci. Technol.*
16. **Ortega-Montoya, C.Y. and Johari, A., 2019.** "Urban Ecological Footprints", In: Leal Filho W., Azul A., Brandli L., Özuyar P., Wall T. (eds) *Sustainable Cities and Communities. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals.* Springer, Cham.
17. **Pirmoradi, P., 2014.** "Organization the city entrance route (The southern entrance of Bojnord)", Bachelor of Urban Planning final project, University of Eshragh (In Persian with English abstract).
18. **Pirmoradi, P., Garshasbi, D. and Aghilimehr, L., 2022.** "Urban Design Toolkit", Academic Center for Education, Culture and Research, Alborz (In Persian with English abstract).
19. **Pirmoradi, P. and Mosofian, A., 2016.** "The green field of lost identity", Tehran, author's publisher (In Persian with English abstract).
20. **Syrovátka, M., 2020.** "On sustainability interpretations of the Ecological Footprint", *Ecological Economics*, Volume 169, 106543.
21. **Szigeti, C., Major, Z., Szabó, D.R. and Szennay, Á., 2023.** "The Ecological Footprint of Construction Materials—A Standardized Approach from Hungary". *Resources*. 12(1):15.
22. **Wackernagel, M., 2014.** "Ecological footprint policy? Land use as an environmental Indicator", *Journal of Industrial Ecology* 18 (1), 20–23.
23. **Wackernagel, M., Hanscom, L. and Lin, D., 2017.** "Making sustainable development goals (SDGs) consistent with sustainability", *Frontiers in Energy Research* 5, 18.
24. **Wackernagel, M., Lin, D., Hanscom, L., Galli, A. and Iha, K., 2019.** "Ecological Footprint", *Encyclopedia of Ecology (Second Edition)*, Volume 4, Pages 270-282.
25. **Wackernagel, M. and Rees, W.E., 1996.** "Our ecological footprint: Reducing human impact on the Earth", Gabriola Island: New Society Publishers.
26. **Yang, H., Gong, Z., Chen, C. and Zhao, T., 2020.** "Ecological Footprint of Residential Buildingin Xining", 4th International Conference on Environmental and Energy Engineering.
27. **Zhou, J., 2012.** "Sustainable transportation in the US: A review of proposals, policies, and programs since 2000", *Frontiers of Architectural Research*, 1(2), 150-165.
- study: City of Sari)", *Journal of geography and urban-regional planning*, year 7, spring 2016, number 22 (In Persian with English abstract).
3. **Dada, J.T., Olaniyi, C.O., Ajide, F.M. et al., 2022.** "Informal economy and ecological footprint: the case of Africa". *Environ Sci Pollut Res* 29, 74756–74771.
4. **Daferera, M., Abaskharoun, M. and Theodoratou, E. 2019.** "The Ecological Footprint Nowadays", *Open Schools Journal for Open Science*, Volume 1, 1(3), 60-69.
5. **Davis, A. and Whyte, B., 2020.** "Making the shift to sustainable transport in Scotland", *Cities & Health*, 1-8.
6. **Faulin, J., Grasman, S.E., Juan, A.A. and Hirsch, P., 2019.** "Sustainable Transportation: Concepts and Current Practices", *Sustainable Transportation and Smart Logistics, Decision-Making Models and Solutions*, 3-23.
7. **Gill, A.R., Riaz, R. and Ali, M., 2022.** "The asymmetric impact of financial development on ecological footprint in Pakistan". *Environ Sci Pollut Res*.
8. **Gottlib, 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, 91–97.
9. **Habibi, K., Rahimi Kake, Joob, A. and Abdi, M.H., 2013.** "Ecological Footprint Assessment of Urban Transportation; New Approach for Sustainability of Urban Transportation Planning", *Journal of Geographical Survey of Space*, 2(5), 117-99 (In Persian with English abstract.)
10. **Hutchison, R., 2010.** "Encyclopedia of Urban Studies", SAGE Publications.
11. **Martins, V.W.B., Anholon, R. and Quelhas, O.L.G., 2019.** "Sustainable Transportation Methods", In: Leal Filho W. (eds) *Encyclopedia of Sustainability in Higher Education.* Springer, Cham, 1-7.
12. **Meena, A.K. and Yadav, T.K., 2019.** "What is Ecological Footprint and Why is it Important?" *Agrobios Newsletter*, Vol. NO. XVIII, Issue. NO. 01.
13. **Missimer, M., Robe`rt, K.H. and Broman, G., 2017.** "A strategic approach to social sustainability -Part 1: exploring the social system", *Journal of Cleaner Production* 140, 32-41.
14. **Morse, S. and Vogiatzakis, I.N., 2014.** "Resource Use and Deprivation: Geographical Analysis of the Ecological Footprint and Townsend Index for England", *Sustainability*, 6, 4749-4771.



Evaluation of Environmental Sustainability for Urban Transportation Patterns of Bojnurd by Ecological Footprint Technique

Mohammad Reza Veysi¹, Porya Pirmoradi^{2*}, Delaram Garshasbi²

1*- PhD Student of Urban Planning, Department of Urban and Regional Design and Planning, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

2- Department of Urban Planning, Faculty of Architecture and Urban Planning, Islamic Azad University of Central Tehran Branch, Tehran, Iran.

Original Article

Received:
2023.02.19

Accepted:
2023.05.07

Keywords:

Sustainable
Development,
Environment,
Urban
Transportation,
Carbon
Production,
Greenhouse Gases

Abstract

Introduction: In recent years, sustainable environmental development has become one of the most important topics in various sciences. One of the primary causes of global warming and environmental instability is the excessive production of greenhouse gases. Carbon dioxide has the greatest amount and effect among greenhouse gases. Urban transportation is increasingly emitting carbon dioxide. In recent decades, urban transportation has also been an indispensable part of the city and urban life with the increasing expansion of cities and population growth. In many cities, especially less developed cities, urban transportation as well as traffic have currently become a constant challenge and left many environmental effects. The increasing number of city trips has resulted in air pollution, noise pollution, and weather phenomena. The emission of greenhouse gases, particularly carbon dioxide, is one of the most important destructive effects of urban transportation, which ultimately causes global warming and climate change. Therefore, if the production of carbon dioxide is more than the city's carrying capacity, it will endanger environmental sustainability in the long term. The ecological footprint index is used as an integrated method to calculate the absorption capacity of the city based on carbon production and to evaluate environmental sustainability in many countries of the world at different levels. The ecological footprint is generally a measure of how much land is needed to absorb the carbon produced by humans. The ecological footprint shows the environmental sustainability or unsustainability of the range determined based on the volume of carbon produced. Therefore, it is necessary to calculate the ecological footprint of activities that pollute the environment. Since the city of Bojnurd has experienced a significant increase in population and sudden expansion in recent years, particularly after becoming the capital of the province and considering the multifold increase of urban trips in this city, the purpose of

this research is evaluation of environmental sustainability for urban transportation patterns of Bojnurd by ecological footprint technique.

Materials and Methods: The present research with the descriptive-analytical method evaluates the environmental sustainability of intra-city transportation in Bojnurd. To this end, the required data, including the number of trips, daily movements, and the average distance traveled per trip for each travel pattern by referring to documents, reports, as well as the relevant organizations, has been collected. Then, the ecological footprint of Bojnurd urban transportation is calculated.

Results: Finally, by comparing the per ecological footprint capita of Bojnurd urban transportation with the world standard, it is found that out of the five modes of transportation, private cars, taxis, buses, minibuses, and motorcycles, only two models of buses and minibuses are environmentally sustainable. The private car is the most unstable model whose per ecological footprint capita is nine times larger than that of the global standard per capita. This research shows that the transportation system of Bojnurd is environmentally unstable because the volume of carbon dioxide produced by this system is much higher than the capacity of absorbing carbon dioxide by the city's lands.

Discussion: Due to the increasing demand for using private cars and the trend of migration to the city, these problems will increase in the future and the process of bad ecological effects on the city of Bojnurd will accelerate, which requires urgent measures and careful planning.
