تعیین تناسب بهینه انواع شیوه‌های حمل‌ونقل با استفاده از مدل جاپای بوم‌شناختی در شهر سنندج

مقاله پژوهشی

وریا لطفی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه کردستان، ایران
هوشمند علیزاده*، دانشیار، گروه شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه کردستان، ایران
صلاح ویسی، استادیار، گروه مهندسی معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه کردستان، ایران
آرمان رحیمی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه کردستان، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول:h.alizadeh@uok.ac.ir

دریافت: ۹۸/۰۱/۲۷- پذیرش: ۹۸/۰۵/۰۲
صفحه ۲۲۱-۲۰۹

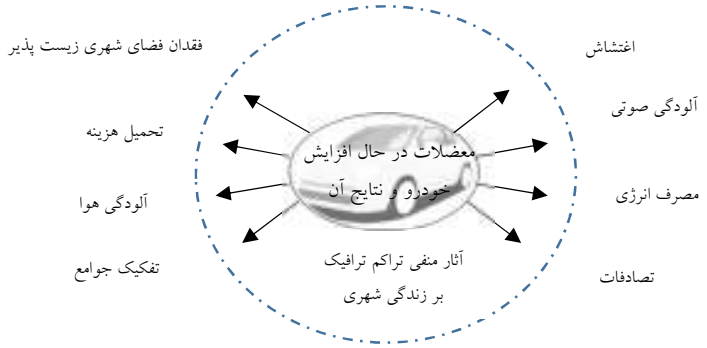
چکیده

یکی از موثرترین مدل‌های کمی و کیفی ارزیابی توسعه پایدار، مفهوم جاپای بوم‌شناختی است. افزایش تعداد وسایل نقلیه موتوری در شهر سنندج، ترافیک را به یکی از اصلی‌ترین معضلات این شهر از نظر پایین آمدن کیفیت محیط زیست تبدیل کرده است. در این تحقیق با بهره‌گیری از مدل جاپای بوم‌شناختی، میزان پایداری هرکدام از سیستم‌های حمل و نقل شهر سنندج در سال ۱۳۹۵ مورد سنجش قرار گرفته و سپس مدل بهینه شبکه حمل و نقل برای سال ۱۴۰۵ ارائه شده است. مقایسه میزان جاپای سیستم‌های حمل و نقل شهر سنندج با مقادیر استاندارد جهانی، حاکی از آن است که به‌جز اتوبوس، سایر وسایل حمل و نقل شهر از میزان جاپای اکولوژیکی بیشتری نسبت به استاندارد برخوردار هستند. با توجه به تخمین جمعیتی حدود ۴۵۷,۳۹۰ نفر در سال ۱۴۰۵ و بر اساس محاسبات صورت گرفته درصد سهم وسایل نقلیه موتوری، شامل مینی‌بوس، اتوبوس، تاکسی، خودروهای شخصی و موتورسیکلت از جابه‌جایی مسافرین در سال ۱۴۰۵ با کمترین میزان جاپای بوم‌شناختی، به ترتیب برابر با ۶/۷۱، ۵۷/۰۲، ۱۶/۳۱، ۱۹/۰۸ و ۰/۸۸ درصد است. مزیت طرح پیشنهادی صرفه جویی در مصرف سوختهای فسیلی به میزان ۱۶,۱۳۲ لیتر و همچنین کاهش میزان تولید دی اکسید کربن به میزان ۱۱ تن در سال است.

واژه‌های کلیدی: توسعه پایدار، جاپای بوم‌شناختی، حمل و نقل بهینه، شهر سنندج، کاهش دی اکسید کربن

۱- مقدمه

رشد سریع مناطق شهری و ورود وسایل نقلیه‌ی موتوری به شهرها به‌ویژه بعد از انقلاب صنعتی باعث پدید آمدن مشکلات فراوانی برای محیط‌زیست و اکوسیستم‌های طبیعی شده است (شکل ۱). این امر باعث شد تا بسیاری از کشورها به‌صورت جدی به فکر حل این مشکل باشند. در این راستا، ایده‌های جدیدی برای مواجه با مشکلات مطرح شده‌اند که یکی از مهم‌ترین آن‌ها، رویکرد توسعه پایدار[1] است. این مفهوم به طور رسمی در چارچوب مجموعه‌ای از پیشنهادها و اصول قانونی در کنفرانس برانتلند سال ۱۹۸۷ (Keeble, 1988) تجلی یافت و در اجلاس زمین در ریو در سال ۱۹۹۲ (Lafferty and Eckerberg, 2013) به‌طور گسترده‌ای پیگیری و عملیاتی شد.



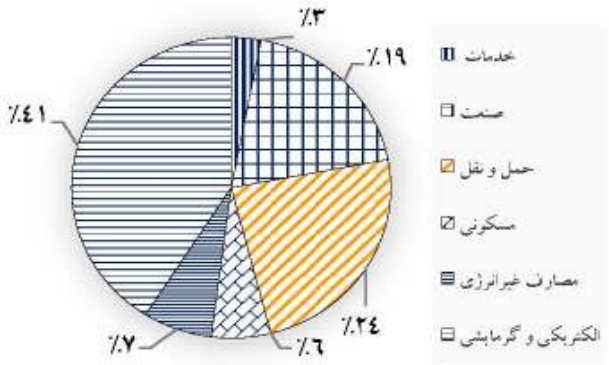
شکل ۱. آثار منفی تراکم ترافیک بر زندگی شهری

(Wallström, 2007: 11)

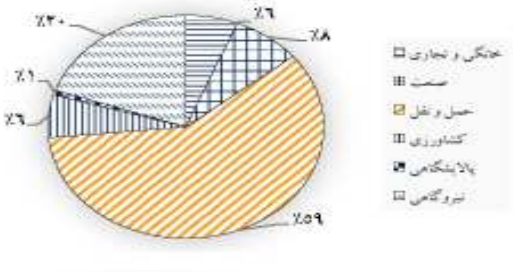
یکی از شاخص‌های زیربنایی درحوزه پایداری، اندازه‌گیری و سنجش آن است. ازاین‌رو در دهه‌های اخیر، شاخص‌ها و مفاهیم گوناگونی برای اندازه‌گیری و ارزیابی پایداری در مقیاس‌های کلان ارائه شده است. یکی از شاخص‌های نوینی که موفقیت بیشتری را در سطوح آکادمیک و تجربی کسب کرده، ارزیابی جاپای بوم‌شناختی[۲] است. جاپای بوم‌شناختی شاخصی است که با ارزیابی مصرف انرژی و منابع طبیعی مورد استفاده در یک شهر، منطقه و یا کشور، تاثیر جمعیت و فرایندهای صنعتی و مصرف منابع را بر اکوسیستم تعیین می‌کند (Rees,1992: 34; Wackernagel and Rees,1998: 25). بر اساس این شاخص می‌توان مصرف انرژی و بهره‌برداری از منابع را به‌طور مستقیم با زمین‌های اختصاص داده شده به هرکدام از کاربری‌ها در مقیاس شهر، منطقه و یا کشور مرتبط کرده و مورد ارزیابی قرار داد (Gottlieb et al, 2012: 13). تمرکز خدمات و امکانات در شهر سنندج باعث شده است تا این شهر به عنوان مرکز استان کردستان و یکی از شهرهای مهم این استان به تمامی ساکنین استان سرویس‌دهی کند. این امر به رشد روزافزون جمعیت در شهر سنندج منجر شده و مشکل حمل و نقل و ترافیک را به یکی از اصلی‌ترین مشکلات این شهر تبدیل کرده است. هرچند در سال‌های اخیر در قالب طرح‌های توسعه شهری تدابیری به‌منظور کاهش این مشکل با تکیه بر استفاده از وسایل حمل و نقل عمومی صورت گرفته، اما افزایش معضلات ترافیک باعث افزایش چالش‌های حمل و نقل شهری در سنندج شده است. این مشکل، پیامدهای زیست‌محیطی زیادی مانند افزایش مصرف سوخت، هدر رفتن سرمایه‌های طبیعی، بروز آلودگی‌های مختلف به‌ویژه آلودگی شدید هوا، آلودگی صوتی، کاهش کیفیت محیط زیست شهری و درنهایت تهدید سلامتی و آسایش شهروندان را باعث شده است. بدیهی است که با افزایش و رشد جمعیت در سال‌های آینده، دامنه این مشکلات افزوده خواهد شد. قابل‌توجه اینکه در طرح‌ها و برنامه‌های توسعه شهری توجه چندانی به سهم و کیفیت هرکدام از شیوه‌های حمل و نقل (شخصی، نیمه عمومی، و عمومی)، نوع وسیله نقلیه (اتوبوس، تاکسی، شخصی، ون و ...) و میزان پایداری آن‌ها صورت نگرفته است. بنابراین هدف اصلی این پژوهش تعیین تناسب بهینه استفاده از شیوه‌های مختلف حمل و نقل شهری به منظور کاهش اثرات زیست محیطی آنها و تعیین میزان استاندارد جاپای بوم‌شناختی شهر سنندج در سال ۱۴۰۵ می‌باشد.

۲- پیشینه تحقیق

حمل و نقل به عنوان یکی از اثرگذارترین بخش‌های مصرف انرژی و تولید آلودگی از جمله گازهای گلخانه‌ای و فشار بر محیط زیست شناخته می‌شود به گونه‌ای که بر اساس آخرین آمار و ارقام، این بخش، هم در ایران و هم در جهان درصد زیادی از انتشار گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص داده است. همان‌طور که در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده سهم حمل و نقل از انتشار گازهای آلاینده در جهان (۲۰۱۷) و ایران (۱۳۹۳) به ترتیب ۲۴ درصد (IEA, 2017: 13) و ۵۹ درصد است (دفتر برنامه ریزی و اقتصاد کلان برق و انرژی وزارت نیرو).



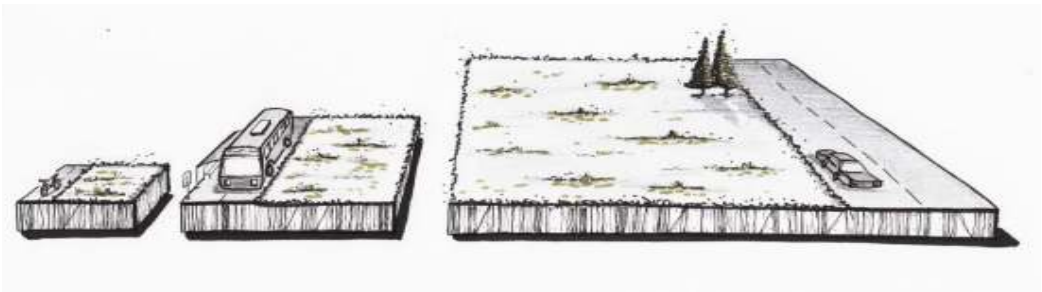
شکل ۲. درصد هریک از بخش‌های مصرف‌کننده انرژی در انتشار گازهای آلاینده در سال ۲۰۱۷ در جهان
(IEA, 2017: 13)



شکل ۳. درصد هریک از بخش‌های مصرف کننده انرژی در انتشار گازهای آلاینده در سال ۱۳۹۳ در ایران
(Amini, Ghahramani, Saberfattahi, Soleimanpour & Tavanpour, 2014: 89)

مفهوم جاپای بوم‌شناختی برای نخستین بار توسط ریس[۳] و واکرناگل[۴] در اوایل دهه ۱۹۹۰ و در دانشگاه بریتیش کلمبیا در ونکوور کانادا مطرح شد (Bagliani et al, 2008: 32). این محققان در تحقیقی با عنوان "جاپای بوم‌شناختی ما: کاهش اثر انسان بر زمین" در سال ۱۹۹۶ به بسط و گسترش این مفهوم پرداخته و آن را به عنوان یک شاخص مهم در زمینه سنجش پایداری در سطوح مختلف بین‌المللی، ملی، منطقه‌ای و شهری مطرح کردند (Ress, 2000: 10). ازجمله دانشمندانی که جاپای بوم‌شناختی را مورد توجه قرار داده‌اند، می‌توان به ویلسون[۵] اشاره نمود. وی به جاپا (Footprint) به‌عنوان ابتکاری برجسته توجه دارد چرا که می‌تواند بین اطلاعات علمی پیچیده به‌آسانی ارتباط برقرار کند (Wilson and Anielski, 2005: 8). جاپای بوم‌شناختی، رویکردی است که میزان مداخله انسان در طبیعت را نشان می‌دهد. این روش، به ارزیابی و میزان تأثیر انسان بر محیط می‌پردازد و میزان فشار (Impact) وارده بر طبیعت را محاسبه می‌کند. این مدل ارزیابی نشان می‌دهد که چه مقدار از سطح زمین مولد برای پاسخ به نیازهای حیاتی و سبک زندگی ساکنان آن منطقه نیاز است. در واقع مفهوم سطح مولد[۶] (Biological Capacity) برای تکامل مفهوم ردپای اکولوژیکی به کار می‌رود و مقدار زمینی را که برای جبران مصارف انسانی در اختیار است را مشخص می‌کند (Ferng, 2014: 108). این روش در مقیاس‌های مختلف می‌تواند محاسبه و ارزیابی شود: در مقیاس کره زمین (Wackernagel et al, 2002: 29; GFN, 2011)، در مقیاس کشوری (kitzes et al, 2007; Wackernagel et al, 1999; Moran et al, 2008)، در مقیاس شهر و یا یک منطقه (Barrett et al, 2002; Collins et al,

2006) و همچنین برای یک صنعت یا فرایند تولیدی خاص یعنی مقیاس سایت (Kissinger et al, 2007; Kissinger and Gottlieb, 2010). در سال‌های اخیر این شاخص در مقیاس سایت به طور دقیق مورد محاسبه و ارزیابی قرار گرفته که می‌توان به ارزیابی جاپای بوم‌شناختی مربوط به دانشگاه‌ها و نهادهای آموزشی (Venetoulis, 2001؛ Bell et al, 2008؛ Flint, 2001) و یا حتی مدارس شهری (Gottlieb et al, 2012) اشاره نمود. اخیراً مطالعاتی هرچند اندک در زمینه ارزیابی و سنجش اثرات استفاده از شیوه‌های حمل و نقل بر محیط‌زیست شهری با استفاده از مدل جاپای بوم‌شناختی صورت گرفته است. یان ژنگ[۷] در تحقیقی با عنوان "مزایای حمل و نقل عمومی: فعالیت‌های فیزیکی به منظور کاهش چاقی و جاپای بوم‌شناختی" به بررسی ارتباط بین استفاده از حمل و نقل عمومی، کاهش جاپای بوم‌شناختی و در نتیجه افزایش سلامتی بین شهروندان پرداخته و به این نتیجه رسیده که حمل و نقل عمومی ۲ تا ٤ برابر کمتر از وسایل نقلیه شخصی انرژی مصرف می‌کند و در نتیجه به همین نسبت جاپای بوم شناختی کمتری دارد. چی[۸] و استون[۹] در پژوهش خود میزان جاپای بوم‌شناختی ناشی از ساخت بزرگراه‌ها و مسیرهای شهری را مورد سنجش و ارزیابی قرار داده و سعی کرده‌اند تا با استفاده از این مدل تأثیرات ساخت مسیرهای جدید در شهرستان هوتن[۱۰] در ایالت میشیگان آمریکا را مشخص نمایند. نکته جالب‌توجه در این تحقیق تعیین همبستگی بین حجم تردد وسایل نقلیه در هرکدام از مسیرهای شهری با افزایش میزان جاپای بوم‌شناختی است. نتایج پژوهش نشان داد که با افزایش تعداد خودروهای دیزلی در هرکدام از مسیرها، میزان جاپای مربوط به آن مسیر افزایش یافته است، زیرا وسایل نقلیه دیزلی علاوه بر آلودگی زیادی که بر محیط تحمیل می‌کنند، باعث تخریب مسیرهای شهری نیز می‌شوند (Chi and Stone, 2005: 4). آمکدوزی[۱۱] و همکارانش در پژوهش خود با استفاده از مدل جاپای بوم‌شناختی به بررسی میزان پایداری شیوه‌های حمل و نقل بین‌شهری در شهرهای آتلانتا و شیکاگو پرداخته‌اند. آنها با استفاده از رویکردی جدید، ابتدا میزان جاپای بوم‌شناختی وارده بر هرکدام از مسیرهای بین دو شهر آتلانتا و شیکاگو را محاسبه نموده و سپس با سنجش میزان جاپای مربوط به هرکدام از وسایل حمل و نقل بین‌شهری (تاکسی، اتوبوس و قطار ...) رابطه بین این دو (مسیرها و وسایل نقلیه) را بررسی نموده و با استفاده از رابطه موجود بین آنها، تناسبی بهینه در شیوه‌های حمل و نقل برای سال ۲۰۲۰ برآورد کرده‌اند (Amekudzi et al, 2009: 10). در ایران نیز حبیبی و همکاران (۱۳۹۱) به ارزیابی جاپای بوم‌شناختی وسایل حمل و نقل شهری در شهر ارومیه پرداخته‌اند اما در این تحقیق تنها به ارزیابی جاپای بوم‌شناختی وسایل حمل و نقل پرداخته شده است و برای سال‌های آتی تناسب بهینه بین این سیستم‌ها برای شهر ارومیه پیش‌بینی نشده است. فریادی و همکاران (۱۳۸۹) نیز این مدل را در شهر تهران به کار گرفته و با استفاده از آن تناسب بهینه‌ای را برای انواع وسایل حمل و نقل در شهر تهران مشخص کرده اند. در تحقیق دیگر در سال ۲۰۰٦ مقدار زمین لازم برای طی کردن یک مسیر به وسیله حالت‌های مختلف حمل و نقل اشاره شده که بر اساس شکل ٤ مقدار بدست آمده برای سواری شخصی به ترتیب ۵ و ۱۲ برابر حالت‌های اتوبوس و دوچرخه است (Burgess & Lai, 2006: 2).



شکل٤. ردپای اکولوژیکی جابجایی یک فرد با توجه به حالت‌های مختلف حمل و نقل در یک مسیر مشخص
۱- سواری شخصی ۲- اتوبوس ۳- دوچرخه (همان)

۳- مواد و روش‌ها

۳- ۱- روش‌های اندازه‌گیری ردپای اکولوژیکی

ردپای اکولوژیکی به دو روش ترکیبی و مؤلفه‌ای یا ترکیبی از این دو روش محاسبه می‌شود که انتخاب روش به مقیاس مطالعات بستگی دارد (Gottlieb et al., 2012: 95). در این قسمت به خلاصه‌ای از این دو روش اشاره می‌شود (Simmons et al, 2000: 377):

روش ترکیبی: روش ترکیبی یک روش از بالا به پایین (Top – Down) است. در این روش، نیازی به داده‌های جزیی نیست بلکه داده‌های کلان در مقیاس ملی ارزیابی می‌شود زیرا جریان صادرات و واردات را مشخص می‌کند. در این روش می‌توان مصرف نهایی را با تفاضل واردات و تولیدات با صادرات مقایسه نمود. در سطوح کلان با استفاده از این روش، تحلیل ردپای اکولوژیکی ساده‌تر انجام می‌شود چون محدودیت دسترسی به اطلاعات در این روش کمتر از روش مؤلفه‌ای است و داده‌های لازم را می‌توان به آسانی جمع‌آوری کرد.

روش مؤلفه‌ای: روش مؤلفه‌ای یک روش از پایین به بالا (Bottom – up) است که داده‌های جزیی نظیر مصارف آب، برق، گاز، مصرف سوخت در بخش حمل و نقل و ... در مقیاس سایت جمع‌آوری شده و تحلیل‌ها نیز بر اساس همین داده‌ها صورت می‌گیرد. این روش نسبت به متدولوژی ترکیبی بسیار دقیق‌تر است اما سختی دسترسی به داده‌های جزیی می‌تواند یک محدودیت برای این روش تلقی شود. در پژوهش حاضر، با توجه به ماهیت آن از روش مؤلفه‌ای استفاده شده است.

۳-۲- جمع آوری داده‌ها و فرآیند تحقیق

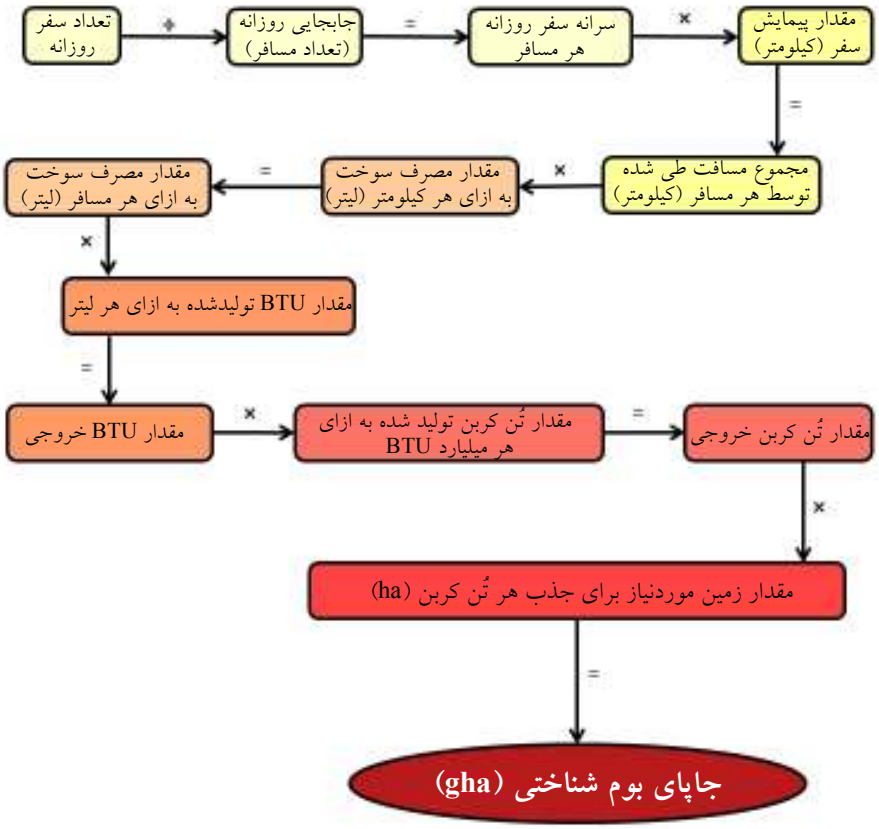
برای تعیین داده‌های مورد نیاز ابتدا با بهره‌گیری از مبانی و پیشینه مطالعه، پارامترها و روش مناسب برای ارزیابی جاپای بوم‌شناختی استخراج شده و بر اساس آن داده های مورد نیاز از آمارهای رسمی سال ۱۳۹۵ شهرداری سنندج (Statistical data of Sanandaj Municipality, 2016) جمع‌آوری شده است. مطابق داده‌های جمع‌آوری شده، ابتدا میزان مصرف بنزین و گازوئیل روزانه برای هرکدام از شیوه‌های حمل و نقل محاسبه شده و سپس با استفاده از روش‌ها و متدهای جاپای بوم‌شناختی (Guzmán et al, 2013 & Gottlieb, Kissinger et al, 2012)، این مقادیر به هکتار زمین موردنیاز هر کدام از شیوه‌های حمل و نقل تبدیل شده است. سپس به‌منظور مشخص کردن میزان پایداری هرکدام از شیوه‌های حمل و نقل در سال ۱۳۹۵، میزان جاپای هر شیوه حمل و نقل با میزان استاندارد جهانی آن که توسط سازمان جهانی جاپا[۱۲] (Global Footprint Network, 2011) ارائه شده، مقایسه گردیده و درنهایت با توجه به مقایسه‌های صورت گرفته و نیز پیش‌بینی جمعیت شهر سنندج برای سال ۱۴۰۵، تناسبی بهینه از شیوه‌های حمل و نقل به‌منظور کاهش جاپای بوم‌شناختی ارائه شده است. برای بدست آوردن جاپای بوم‌شناختی انواع وسایل نقلیه در شهر سنندج از مصرف روزانه سوخت، تعداد سفرهای روزانه افراد و تعداد افراد جابجا شده استفاده گردیده که فرآیند ۶ مرحله‌ای محاسبه آن در شکل ۵ نشان داده شده است.

۳-۳- محدوده مطالعاتی

محدوده مورد مطالعه این تحقیق، شهر سنندج، مرکز استان کردستان می‌باشد که در مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۹ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. در سال ۱۳۹۵، جمعیت شهر سنندج ۴۱۴۰۶۹ نفر و مساحت آن نیز ۴۰۶۵ هکتار بوده (General population and housing Census, 2016) که تراکم جمعیتی آن ۱۰۲ نفر در هکتار بوده است.

۳-۴- سازماندهی و نحوه تحلیل داده‌ها

وسایل غالب حمل و نقل و جابه‌جایی در شهر سنندج شامل اتوبوس، مینی‌بوس، تاکسی، خودروهای شخصی و موتورسیکلت است. از کل سفرهای روزانه سامانه حمل و نقل شهر سنندج، ٪۱۷/۲ مربوط به وسایل نقلیه نیمه عمومی از قبیل تاکسی‌ها و آژانس‌ها، ٪۴/۹ مربوط به وسایل نقلیه عمومی از قبیل اتوبوس شهری و مینی‌بوس و درنهایت ٪۷۷/۹ نیز مربوط به وسایل نقلیه شخصی از قبیل سواری‌ها، موتورسیکلت می‌باشد. بر این اساس، خودروی شخصی، تاکسی و آژانس، مینی‌بوس، اتوبوس و سایر سرویس‌ها به ترتیب بیشترین سهم را در جابه‌جایی روزانه مسافران درون‌شهری سنندج در سال ۱۳۹۵ بر عهده داشته‌اند (جدول ۱).



شکل ۵. فرایند محاسبه جاپای بوم‌شناختی برای شیوه‌های مختلف حمل و نقل در شهر سنندج

جدول ۱. توزیع سفرهای روزانه و میزان جابه‌جایی مسافر توسط وسایل نقلیه در سنندج در سال ۱۳۹۵

سیستم	وسیله	سفر ساکنان		سفر غیر ساکنان		جمع سفرهای روزانه		ضریب جابه‌جایی	جابه‌جایی روزانه		مصرف سوخت به ازای یک مسافر – کیلومتر/لیتر
		تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد		تعداد	درصد	
شخصی	موتورسیکلت	۷۳۸	۰/۵	۸۵۲	۱/۵	۱۵۹۰	۰/۹	۱	۱۵۹۰	۰/۸٤	۰/۰٤۲
	سواری	۹۸۷٦۳	۷٦	٤۵۱۸۸	۸۰	۱٤۳۹۵۱	۷۷	۱	۱٤۳۹۵۱	۷۰	۰/۰۸۹
عمومی	اتوبوس	۲٦۷٤	۲	۱۸٤٦	۳/٤	٤۵۲۰	۲/٤	۱/۵	٦۷۸۰	۳/٤	۰/۰۳۸
	مینی‌بوس	۱۱٦۸	۰/۹	۳٤۵۱	٦/٤	٤٦۱۹	۲/۵	۱/۸	۸۳۱٤	٤/۱٦	۰/۰۲۷
نیمه عمومی	تاکسی، آژانس و مسافربرها	۲۱۵۷۸	۱٦/٦	۲۳٤۷	٤/۳	۲۳۹۲۵	۱۲/۹	۱/٦	۳٦۲۸۰	۱۷/۸	۰/۰۷۸
	سرویس	۳٤۲۰	۲/۵	۱۱۸۹	۲/۱	٤٦۰۹	۲/۵	۱	٤٦۰۹	۲/۳	
	سایر	۱۸۹۷	۱/۵	۱۲۷۵	۲/۳	۳۱۷۲	۱/۸	۱	۳۱۷۲	۱/۵	
	جمع	۱۳۰۲۳۸	۱۰۰	۵٦۱٤۸	۱۰۰	۱۸٦۳۸٦	۱۰۰	–	۲۰٤٦۹٦	۱۰۰	۰/۲۷٤

(Statistical data of Sanandaj Municipality, 2016)

٤-۳- ۱- محاسبه جاپای بوم‌شناختی

بر اساس اطلاعات و داده‌های گردآوری شده از بخش ترافیک شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت در سال ۱۳۹۵ (IFCO, 2017)، مقدار پیمایش سفر برای همه وسایل نقلیه از جمله سواری، اتوبوس، مینی‌بوس و ... ۱۰ کیلومتر است. بنابراین، با توجه به داده‌های موجود و متناسب با روش‌های جهانی ارایه شده، مقدار سرانه‌ی مصرف سوخت و هکتار زمین تأمین‌کننده آن با استفاده از فرمول‌های شماره ٦ و ۱۲ محاسبه گردیده است که به دو بخش خودروهای گازوئیلی (اتوبوس و مینی‌بوس) و خودروهای بنزینی (شخصی، تاکسی و موتورسیکلت) تقسیم می‌شود.

$$X = \text{سهم هر مسافر از سفرهای انجام شده به وسیله اتوبوس} = \frac{\text{تعداد سفرهای روزانه به وسیله اتوبوس}}{\text{نفر مسافر جابجاشده به وسیله اتوبوس}} \quad (۱)$$

$$\text{پیمایش سفر برای اتوبوس} = X \times \text{کیلومتر مسیر طی شده توسط هر مسافر به وسیله اتوبوس} = X_1\ km \quad (۲)$$

$$\text{مصرف سوخت به ازای یک مسافر در کیلومتر برای اتوبوس} \times X_1\ km = \text{لیتر مصرف روزانه گازوئیل به ازای یک مسافر} = X_2\ lit \quad (۳)$$

با توجه به اینکه سوخت گازوئیل در هر لیتر تقریباً ۳٦٦٤۲ واحد گرمای بریتانیا[۱۳] (BTU) تولید می‌کند و در هر میلیارد BTU، ۱۹/۹۵ تُن کربن آزاد می‌شود (Gottlieb et al, 2012: 5)، درنتیجه:

$$X_2\ lit \times 36642\ BTU/lit = X_3\ BTU \quad (٤)$$

$$X_3\ BTU \times 19.95\ Tons\ Carbon / billion = X_4\ TC\ (Tons\ Carbon) \quad (٥)$$

اکنون با توجه به اینکه هر هکتار زمین توانایی جذب ۱/۸ تن کربن را دارد:

$$X_4\ TC \times 1ha / 1.8\ TC = Y\ ha \quad (٦)$$

بنابراین میزان زمین مورد نیاز برای تأمین $X_2\ lit$ سرانه مصرف روزانه گازوئیل برای استفاده از اتوبوس و مینی بوس، برابر با Y هکتار است.

جاپای بوم‌شناختی خودروهای بنزینی نیز به صورت زیر است:

$$X = \text{سهم هر مسافر از سفرهای انجام شده به وسیله خودروی شخصی} = \frac{\text{تعداد سفرهای روزانه به وسیله خودروی شخصی}}{\text{نفر مسافر جابجاشده به وسیله خودروی شخصی}} \quad (۷)$$

$$\text{پیمایش سفر برای خودروی شخصی} = X \times \text{کیلومتر مسیر طی شده توسط هر مسافر به وسیله خودروی شخصی} = X_1\ km \quad (۸)$$

$$\text{مصرف سوخت به ازای یک مسافر در کیلومتر برای خودرو شخصی} \times X_1\ km = \text{لیتر مصرف روزانه بنزین به ازای یک مسافر} = X_2\ lit \quad (۹)$$

با توجه به اینکه بنزین بدون سرب در هر لیتر تقریباً ۳۳۰۲۳ واحد گرمای بریتانیا (BTU) تولید می‌کند و در هر میلیارد BTU، ۱۹/۹۵ تُن کربن آزاد می‌شود (Gottlieb et al, 2012: 5)، درنتیجه:

$$X_2\ lit \times 33023\ BTU/lit = X_3\ BTU \quad (۱۰)$$

$$X_3\ BTU \times 19.95\ Tons\ Carbon / billion = X_4\ TC\ (Tons\ Carbon) \quad (۱۱)$$

اکنون با توجه به اینکه هر هکتار زمین توانایی جذب ۱/۸ تن کربن را دارد:

$$X_4\ TC \times 1ha / 1.8\ TC = Y_1\ ha \quad (۱۲)$$

در نهایت میزان زمین مورد نیاز برای تأمین $X_2\ lit$ سرانه مصرف روزانه بنزین برای استفاده از خودروهای بنزینی، برابر با Y_1 هکتار است.

۳- ٤- ۲- بهینه‌سازی مدل سفر برای شیوه‌های مختلف حمل و نقل

به منظور محاسبه بهینه استفاده از سیستم‌های حمل و نقل شهری در آینده، ابتدا لازم است که جمعیت شهر سنندج در افق طرح (۱٤۰۵) محاسبه گردد. برای این منظور، تغییرات جمعیتی دوره آماری ۱۳۹۵-۱۳۹۰ مبنای محاسبه قرار گرفته است. در این دوره، جمعیت شهر سنندج دارای نرخ رشدی معادل ۱ درصد بوده است. با فرض ثبات این نرخ رشد، جمعیت شهر سنندج در سال ۱٤۰۵ بر اساس فرمول شماره (۱۳) برآورد شده است.

$$P_n = P_0 (1+r)^n => P_{1405} = P_{1395} (1+0.01)^{10} => P_{1405} = 414069 (1.01)^{10} => P_{1405} = 457390 \quad (۱۳)$$

طبق محاسبات انجام گرفته جمعیت شهر سنندج در افق طرح برابر ۴۵۷,۳۹۰ نفر خواهد بود.

اکنون شیوه بهینه استفاده از سیستم‌های حمل و نقل شهر سنندج برای سال ۱۴۰۵ را می‌توان با توجه به چارچوب فرمول شماره ۱۴ محاسبه کرد.

$$Tn = [\frac{Pn}{\sqrt{\frac{1}{FCi}}} [|i - EFei| + MCi] + T0] \times \left|\frac{EFsi}{EFei}\right| \quad (۱۴)$$

در این فرمول Tn تعداد سفرهایی است که در سال n با هر یک از شیوه‌های حمل و نقل صورت می‌گیرد. Pn جمعیت سال n (افق طرح)، FCi میزان مصرف سوخت برای هرکدام از شیوه‌های حمل و نقل به ازای هر کیلومتر، EFsi جاپای بوم‌شناختی استاندارد برای هر شیوه حمل و نقل، EFei جاپای هر شیوه در سال پایه، MCi ضریب جابه‌جایی برای هرکدام از شیوه‌های حمل و نقل در شهر سنندج و T0 نیز تعداد سفرهای روزانه انجام شده در سال پایه توسط شیوه‌های حمل و نقل می‌باشد.

۴- محاسبه جاپای بوم‌شناختی وسایل نقلیه شهر سنندج و مقایسه آن با استاندارد جهانی

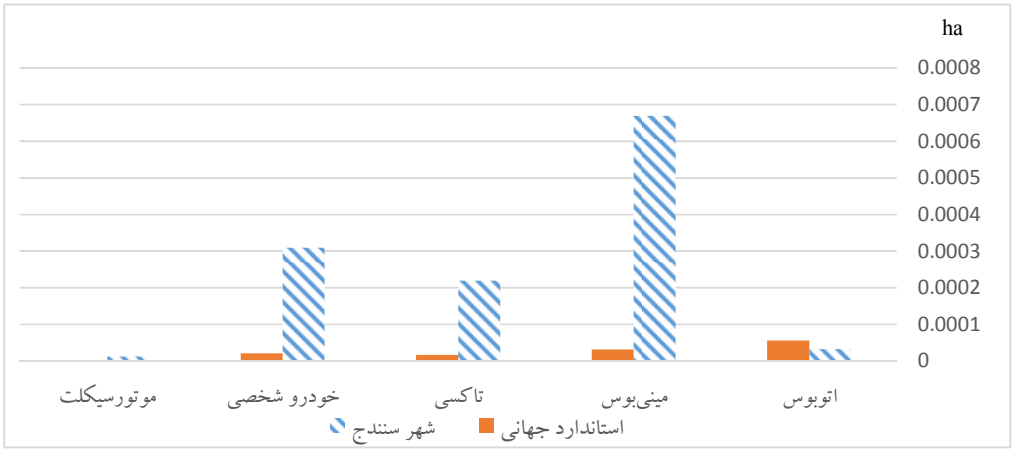
با توجه به داده‌های حمل و نقل و روشهای مذکور در بخش ۳؛ جاپای بوم‌شناختی برای انواع وسایل نقلیه شهر سنندج محاسبه شده و نتایج محاسبات با میزان استاندارد جهانی مقایسه گردیده است. طبق محاسبات ارایه شده برای هر کدام از وسایل مختلف حمل و نقل و مقایسه به عمل آمده با مقادیر استاندارد جهانی مربوط به جاپای بوم‌شناختی (GFN, 2011)، بیشترین میزان جاپای بوم‌شناختی در میان وسایل حمل و نقل درون‌شهری سنندج مربوط به مینی‌بوس (۶۷×۱۰^{-۵} هکتار جهانی) و کمترین مقدار نیز مربوط به موتورسیکلت (۱۳×۱۰^{-۶} هکتار جهانی) است (جدول ۲ و شکل۶). سنندج به دلیل مجاورت با روستاهای فراوانی که غالباً نیازهای اصلی و عمده خود را از شهر تأمین می‌کنند، روزانه پذیرای تعداد زیادی مینی‌بوس است که از روستاهای مجاور وارد شهر می‌شوند.

ازاین‌رو، بخش قابل‌توجهی از جاپای بوم‌شناختی حمل و نقل شهر سنندج را مینی‌بوس‌های درون‌شهری و روستایی به خود اختصاص می‌دهند. از طرفی میزان استفاده از خودروی شخصی در میان شهروندان سنندجی رقم بالایی را نشان می‌دهد، بنابراین، جاپای خودروهای شخصی (۳۱×۱۰^{-۵} هکتار جهانی) بخش قابل‌توجهی از جاپای بوم‌شناختی سیستم حمل و نقل شهر سنندج را به خود اختصاص داده است. در این میان، میزان جاپای اتوبوس بسیار کم است که دلیل آن را می توان به ضعف سیستم اتوبوس‌رانی شهر و فرهنگ استفاده از آن نسبت داد.

مقایسه میزان جاپای بوم‌شناختی مربوط به وسایل حمل و نقل شهری با مقادیر استاندارد ارائه‌شده توسط سازمان جهانی جاپا نشان می‌دهد که به غیر از اتوبوس، سایر وسایل حمل و نقل دارای جاپای بیشتری نسبت به میزان استاندارد جهانی می‌باشند (شکل شماره ۶). بنابراین، چنین می‌توان انتظار داشت که سیستم حمل و نقل شهر سنندج از شرایط پایداری برخوردار نیست به‌گونه‌ای که در سال‌های آینده با افزایش جمعیت شهر و افزایش تعداد سفرها و تعداد خودروها در صورت عدم برنامه‌ریزی دقیق و علمی به منظور بهبود شرایط مربوط به وسایل حمل و نقل، شهر سنندج با بحران‌های زیست محیطی فراوانی در زمینه آلودگی‌های مربوط به وسایل حمل و نقل درون‌شهری روبه‌رو خواهد شد.

جدول ۲. مقایسه جاپای بوم‌شناختی وسایل حمل و نقل شهر سنندج با استانداردهای جهانی

وسایل نقلیه	سرانه جاپای بوم‌شناختی برای انواع وسیله نقلیه در شهر سنندج (هکتار)	سرانه استاندارد برای انواع وسایل نقلیه درون‌شهری (GFN, 2011) (هکتار)	نسبت سرانه جاپای شهر سنندج وسیله نقلیه با استانداردهای جهانی (هکتار)
اتوبوس	۳۳ × ۱۰$^{-۶}$	۵۶ × ۱۰$^{-۶}$	۰/۵۹
مینی‌بوس	۶۷ × ۱۰$^{-۵}$	۳۲ × ۱۰$^{-۶}$	۲۰/۹۴
تاکسی	۲۲ × ۱۰$^{-۵}$	۱۶ × ۱۰$^{-۶}$	۱۳/۷۵
خودرو شخصی	۳۱ × ۱۰$^{-۵}$	۲۱ × ۱۰$^{-۶}$	۱۴/۷۶
موتورسیکلت	۱۳ × ۱۰$^{-۶}$	۱۲ × ۱۰$^{-۸}$	۱۰۸/۳۳



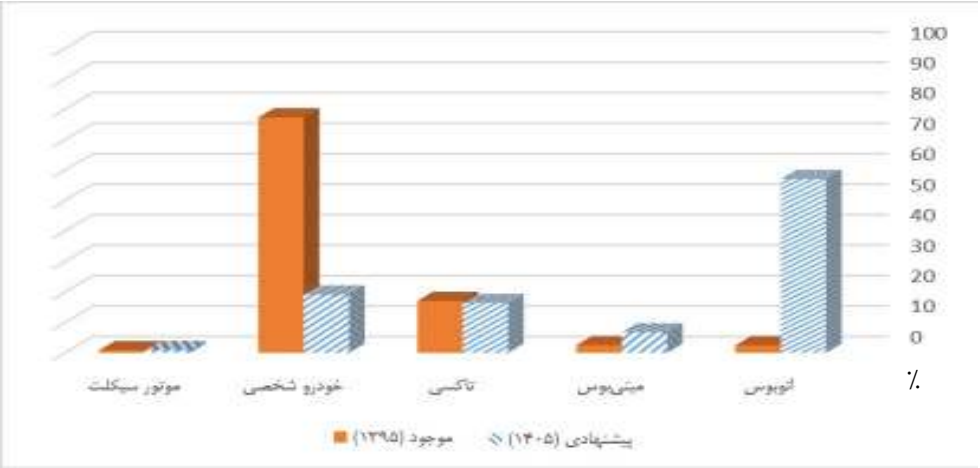
شکل ٦. مقایسه سرانه جاپای بوم‌شناختی برای انواع وسایل نقلیه شهر سنندج با استانداردهای جهانی

تعیین تناسب بهینه استفاده از سیستم‌های حمل و نقل در شهر سنندج باید به‌گونه‌ای صورت گیرد که تا حد امکان میزان جاپای بوم‌شناختی هرکدام از شیوه‌های حمل و نقل به میزان استاندارد آن نزدیک شده و در عین حال نیازهای جمعیت شهر را نیز پاسخگو باشد. بدین منظور با استفاده از فرمول شماره ١٤، تناسب بهینه استفاده از وسایل مختلف حمل و نقل برای سال ١٤٠٥ در شهر محاسبه شده و نتایج در جدول شماره ۳ ارائه گردیده است (جدول ۳ و شکل ۷).

جدول ۳. تناسب بهینه استفاده از هرکدام از وسایل نقلیه در سال ١٤٠٥

نوع وسیله	تعداد سفر	سهم هر وسیله از تعداد سفر (درصد)
اتوبوس	٥٦٧٨٧	٥٧/٠٢
مینی‌بوس	٦٦٨٤	٦/٧١
تاکسی	١٦٢٤٣	١٦/٣١
خودرو شخصی	١٨٩٩٨	١٩/٠٨
موتورسیکلت	٨٨٠	٠/٨٨
جمع	٩٩٥٩٢	١٠٠

با توجه به مطرح شدن دولت الکترونیک و تشویق جوامع به استفاده از حمل و نقل عمومی، بدیهی است که تعداد سفر توسط وسایل نقلیه کاهش پیدا می‌کند و در بین سیستم‌های مختلف حمل و نقل، بخش عمومی و بخصوص اتوبوس بیشترین سهم را در جابجایی مسافران خواهد داشت. بنابراین در ارائه مدل پیشنهادی در افق طرح (۱٤۰۵) تعداد کل سفر نسبت به سال پایه (۱۳۹۵) کمتر شده و نسبت استفاده از اتوبوس در بین وسایل نقلیه بیشتر می‌شود (جدول ۱ و ۳). در مدل پیشنهادی مذکور سهم وسایل نقلیه شخصی از جابجایی مسافران در سال افق طرح (۱٤۰۵)، برعکس اتوبوس، کاهش چشمگیری را دارا بوده به گونه‌ای که از ۱٤٥,٥٤۱ سفر در سال ۱۳۹۵ به ۹۹,٥۹۲ سفر در سال افق طرح (۱٤۰۵) رسیده است (شکل ۷).



شکل ۷. پیشنهاد تناسب بهینه شیوه‌های حمل و نقل شهر سنندج در سال ۱٤۰۵

۵- نتیجه‌گیری

تمرکز امکانات، خدمات و تسهیلات کار و زندگی، سنندج را به شهری مهاجرپذیر تبدیل کرده است. با توجه به افزایش روز افزون جمعیت شهر و با افزایش حجم سفرهای درون‌شهری، هرسال شرایط حمل و نقل و دسترسی در سنندج سخت‌تر و پیچیده‌تر شده و مسایل و مشکلات ترافیکی آن فزونی می‌یابد و مردم برای جابجایی متحمل اتلاف وقت و فشارهای عصبی زیادی می‌شوند. درنتیجه، در صورت فقدان یک سیستم حمل و نقل کارآمد درون‌شهری، میزان آثار نامطلوب ناشی از ترافیک و مصرف سوخت نیز در آینده افزایش خواهد یافت. با ایجاد یک سیستم کارآمد حمل و نقل شهری می‌توان علاوه بر کاهش ترافیک و آثار نامطلوب ناشی از آن از میزان مصرف سوخت و تولید دی اکسید کربن نیز تا حد زیادی کاست (بخش ٤) و درنتیجه از آلودگی هوا و مصرف منابع سوخت فسیلی جلوگیری نمود. از این‌رو، در این تحقیق با استفاده از مدل جاپای بوم‌شناختی میزان پایداری شیوه‌های حمل و نقل شهری سنندج مورد ارزیابی قرار گرفته و سطح پایداری هر یک از سیستم‌های نقلیه در این شهر اندازه گیری شده است. هدف از ارائه و کاربرد روش جاپای بوم‌شناختی در این تحقیق، ایجاد یک شاخص کمی به‌منظور نشان دادن اهمیت تخریب‌های ناشی از شیوه های مختلف حمل و نقل شهری بر محیط‌زیست است. مقدار جاپای بوم‌شناختی به‌عنوان یک شاخص، بیان‌کننده کیفیت محیط‌زیست است و می‌تواند برنامه‌ریزی و مدیریت مناطق شهری را بهبود بخشد. یافته‌های تحقیق دال بر آن است که بیشترین میزان جاپای بوم‌شناختی در سیستم حمل و نقل شهر سنندج در سال ۱۳۹۵ مربوط به مینی‌بوس و کمترین مقدار نیز مربوط به موتورسیکلت بوده است. البته خودروهای شخصی و تاکسی‌ها نیز بعد از مینی‌بوس در رتبه‌های دوم و سوم مقدار جاپای بوم‌شناختی قرار گرفتند. مقایسه مقادیر جاپای وسایل حمل و نقل شهری در سنندج با میزان استانداردهای جهانی نشان داد که غیر از اتوبوس، سایر وسایل موجود در سیستم حمل و نقل شهری سنندج از میزان

جاپای بیشتری نسبت به استانداردهای جهانی برخوردارند. در تحقیق سعی شده با استفاده از مدل جاپای بوم شناختی شیوه بهینه حمل و نقل برای شهر سنندج در سال ۱۴۰۵ ارائه شود. بنابراین، با توجه به تخمین جمعیتی حدود ۴۵۷,۳۹۰ نفر برای شهر سنندج در سال ۱۴۰۵ و بر اساس محاسبات صورت گرفته، میزان سهم وسایل نقلیه مینی‌بوس، اتوبوس، تاکسی، خودروهای شخصی و موتورسیکلت از جابه‌جایی مسافرین در سال ۱۴۰۵ با کمترین اثر تخریبی بر محیط‌زیست و کمترین میزان جاپای بوم‌شناختی، به ترتیب برابر با ۶/۷۱، ۵۷/۰۲، ۱۶/۳۱، ۱۹/۰۸ و ۰/۸۸ درصد بوده، به عبارتی دیگر تعداد سفرهای پیش‌بینی شده به وسیله هرکدام از وسایل حمل و نقل به ترتیب معادل ۶,۶۸۴، ۵۶,۷۸۷، ۱۶,۲۴۳، ۱۸,۹۹۸ و ۸۸۰ سفر خواهد بود. همچنین با توجه به داده‌ها و محاسبات بخش ۳ و ۴ و بر اساس پیشنهاد شیوه بهینه سیستم‌های حمل و نقل برای شهر سنندج مقدار سوخت مصرفی در بخش حمل و نقل در شهر سنندج از ۰/۱۲ لیتر به ازای هر نفر در سال ۱۳۹۵ به ۰/۰۶ لیتر به ازای هر نفر در افق طرح کاهش خواهد یافت. در صورت اجرای طرح پیشنهادی سوخت مصرفی از ۲۱,۹۲۵ لیتر به ۵,۷۹۲ لیتر کاهش خواهد یافت که میزان صرفه‌جویی سوخت مصرفی برابر ۱۶,۱۳۲ لیتر در سال خواهد بود. در نتیجه مقدار کل کربن آزاد شده به ازای هر مسافر ناشی از مصرف سوخت در بخش حمل و نقل در شهر سنندج از ۰/۰۷ کیلوگرم کربن در سال ۱۳۹۵ به ۰/۰۳ کیلوگرم کربن در افق طرح کاهش پیدا می‌کند. در مقیاس کل شهر، میزان تولید کربن از ۱۵ تن به حدود ۴ تن در سال کاهش پیدا خواهد کرد. مقایسه نتایج تحقیق با نتایج پژوهش‌های مشابه حاکی از آن است که برخلاف نتایج پژوهش چی و استون (۲۰۰۵) که بیشترین میزان جاپا مربوط به خودروهای دیزلی می‌باشد در این پژوهش کمترین میزان جاپا مربوط به خودروهای دیزلی (اتوبوس‌ها) بوده است. در پژوهش‌های مربوط به شهرهای تهران (۱۳۸۹) و ارومیه (۱۳۹۱) به ترتیب بیشترین سهم از ردپای اکولوژیکی به خودروی شخصی و مینی‌بوس مربوط می‌شود و کمترین آن نیز برای این دو شهر به مترو و موتورسیکلت برمی‌گردد. در پژوهش حاضر نتایجی مشابه با شهر ارومیه بدست آمد. از طرف دیگر در شهر تهران برای سال ۱۴۰۵ بیشترین سهم را از جابجایی مسافران برای مترو و اتوبوس و کمترین آن را نیز برای خودروی شخصی پیش‌بینی کرده‌اند در این تحقیق نیز پیش‌بینی انجام گرفته اولویت استفاده از اتوبوس را نشان می‌دهد؛ بنابراین برای تحقق این امر پیشنهاد می‌شود که موارد زیر در برنامه‌های آتی شهر سنندج در نظر گرفته شود:

- یکپارچگی سیستم حمل و نقل همگانی به گونه‌ای که علاوه بر اینکه کل شهر پوشش داده شود بلکه جذب مسافر به حداکثر برسد.
- قیمت‌گذاری بر پارکینگ: پارکینگ‌هایی که در محدوده مرکزی شهر قرار گرفته است باید با قیمت بسیار بالاتر عرضه گردند تا سهم خودروهای شخصی کاهش یابد.
- تعویض خودروهای فرسوده بخصوص در ناوگان حمل و نقل عمومی.
- تشویق به استفاده از شیوه‌های حمل و نقل پایدار همچون دوچرخه‌سورای و پیاده‌مداری در بافت مرکزی شهر.
- استفاده از سیستم‌های حمل و نقل همگانی سبز که از سوختهای برقی حاصل از منابع تجدید پذیر تولید می‌شود.

در نهایت با توجه به اینکه فرایند تهیه طرح جامع ترافیک شهر سنندج از اواسط سال ۱۳۹۱ شروع شده است و هدف اصلی این طرح تا حدود زیادی در راستای استفاده بیشتر از وسایل حمل و نقل عمومی و کاهش استفاده از خودروهای شخصی و فرسوده است، طبیعی است که به‌کارگیری نتایج تحقیق حاضر در فرایند تهیه طرح می‌تواند نقش مهم و مؤثری در بهبود شرایط حمل و نقل شهر سنندج درزمینه کاهش آثار زیست محیطی و درنتیجه افزایش کیفیت زندگی شهروندان داشته باشد.

۶- پی‌نوشت‌ها

1. Sustainable Development
2. Ecological Footprint Analysis (EFA)
3. Rees
4. Wackernagel
5. Wilson
6. Biological Capacity (BC)
7. Yan Zheng
8. Chi
9. Stone
10. Houghton
11. Amekudzi
12. Global Footprint Network (GFN)
13. British Thermal Unit (BTU)

۷- مراجع

-امینی، ف.، توانپورپاوه، م.، سلیمانپور، پ.، صابر فتاحی، ل. و گل قهرمانی، ن.، (۱۳۹٦)، "آمارها و نمودارهای انرژی ایران و جهان (۲۰۱٤-۱۳۹۳)"، وزارت نیرو، معاونت امور برق و انرژی – دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی.

-"آمارنامه شهرداری سنندج"، (۱۳۹۵)، شهرداری سنندج.

-حبیبی، ک.، رحیمی، آ. و عبدی، ح. (۱۳۹۱)، "ارزیابی جاپای بوم‌شناختی وسایل حمل و نقل شهری"؛ رویکردی نوین به منظور برنامه‌ریزی حمل و نقل پایدار، نمونه موردی: شهر ارومیه. مجله آمایش جغرافیایی فضا، فصلنامه علمی – پژوهشی دانشگاه گلستان، سال دوم، مسلسل پنجم، ص. ۱۱٦-۹۹.

-سازمان آمار ایران، (۱۳۹۰)، "سرشماری عمومی نفوس و مسکن".

-سازمان آمار ایران، (۱۳۹۵)، "سرشماری عمومی نفوس و مسکن".

-فریادی، ش. و صمدپور، پ. (۱۳۸۹)، "تعیین تناسب بهینه استفاده از انواع شیوه‌های حمل و نقل با هدف کاهش جاپای اکولوژیک در شهر تهران"، محیط‌شناسی، سال سی و ششم، شماره ٥٤، ص. ۱۰۸-۹۷.

-Amekudzi, A. A., Khisty, C. J., & Khayesi, M., (2009), "Using the sustainability footprint model to assess development impacts of transportation systems". Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume43, Issue 4, pp. 339-348.

-Bagliani, M., Galli, A., Niccolucci, V., & Marchettini, N., (2008), "Ecological footprint analysis applied to a sub-national area: the case of the Province of Siena (Italy)". Journal of Environmental management, Volume 86, Issue 2, pp. 354-364.

Barrett, J., Vallack, H., Jones, A., & Haq, G., (2002), "A material flow analysis and ecological footprint of York". Stockholm, Stockholm Environment Institute.

Bell, I., Curry, V., Kuperus, S., Myers, L., Walsh, A., & Walton, S., (2008), "An Ecological Footprint Analysis of the Department of Zoology, University of Otago". Otago Management Graduate, Volume 6, pp. 1-20.

-Burgess, B., & Lai, J., (2006), "Ecological footprint analysis and review: Kwantlen University College". Kwantlen University College, Canada.

-Chi, G., & Stone Jr, B., (2005), "Sustainable transport planning: estimating the ecological footprint of vehicle travel in future years". Journal of urban planning and development, Volume 131, Issue 3, pp. 170-180.

-Collins, A., Flynn, A., Wiedmann, T., & Barrett, J. (2006), "The environmental impacts of consumption at a subnational level". Journal of Industrial Ecology, Volume 10, Issue 3, pp. 9-24.

-Ferng, J. J., (2014), "Nested open systems: An important concept for applying ecological footprint analysis to sustainable development assessment". Ecological economics, Volume 106, pp. 105-111.

-Flint, K., (2001). Institutional ecological footprint analysis-A case study of the University of Newcastle, Australia. International Journal of Sustainability in Higher Education, Volume 2, Issue 1, pp. 48-62.

-GFN, Global Footprint Network. (2011), Http//Footprint network.org/en/index.php.

-Gottlieb, D., Kissinger, M., Vigoda-Gadot, E., & Haim, A., (2012), "Analyzing the ecological footprint at the institutional scale– The case of an Israeli high-school. Ecological Indicators, Vol. 18, pp. 91-97.

-IFOC, Iranian Fuel Conservation Company. (2017), Http://ifco.ir.

-Keeble, B. R., (1988), "The Brundtland report:'Our common future". Medicine and War, Volume 4, Issue 1.

-Kissinger, M., Fix, J., & Rees, W. E., (2007), "Wood and non-wood pulp production: Comparative ecological footprinting on the Canadian prairies". Ecological economics, Volume 62, Issue 3, pp. 552-558.

-IEA., (2017), "CO2 emissions from fuel combustion-highlights". Paris http://www. iea. org/co2highlights/co2highlights. pdf. Cited July .

-URL1: http://pep.moe.gov.ir.

-Venetoulis, J., (2001), "Assessing the ecological impact of a university: the ecological footprint for the University of Redlands. International Journal of Sustainability in Higher Education, Volume 2, Issue 2, pp. 180-197.

Wackernagel, M., Onisto, L., Bello, P., Linares, A. C., Falfán, I. S. L., Garcıa, J. M. Guerrero, M. G. S., (1999), "National natural capital accounting with the ecological footprint concept". Ecological economics, Volume 29, Issue 3, pp. 375-390.

Wackernagel, M., & Rees, W., (1998), "Our ecological footprint: reducing human impact on the earth: New Society Publishers."

Wackernagel, M., Schulz, N. B., Deumling, D., Linares, A. C., Jenkins, M., Kapos, V., Norgaard, R., (2002), "Tracking the ecological overshoot of the human economy. Proceedings of the national Academy of Sciences", Volume 99, Issue 14, pp. 9266-9271.

-Wallström, M., (2007), "Reclaiming city streets for people: chaos or quality of life: Luxembourg: Directorate-General for the Environment", European Commission, downloaded May.

-Wilson, J., & Anielski, M., (2005), "Ecological footprints of Canadian municipalities and regions: Canadin Federation of Canadian Municipalities".

-Zheng, Y., (2008), "The benefit of public transportation: physical activity to reduce obesity and ecological footprint". Preventive medicine, 46(1), pp.4-5.

-Kissinger, M., & Gottlieb, D., (2010), "Place oriented ecological footprint analysis—the case of Israel's grain supply". Ecological economics, Volume 69, Issue 8, pp. 1639-1645.

-Kitzes, J., Peller, A., Goldfinger, S., & Wackernagel, M., (2007), "Current Methods for Calculating National Ecological Footprint Accounts".

-Lafferty, W. M., & Eckerberg, K., (2013), "From the Earth Summit to Local Agenda 21: working towards sustainable development", Volume 12: Routledge.

-Moran, D. D., Wackernagel, M., Kitzes, J. A., Goldfinger, S. H., & Boutaud, A., (2008), Measuring sustainable development—Nation by nation. Ecological economics, Volume 64, Issue 3, pp. 470-474.

-Rees, W. E., (1992), Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. Environment and urbanization, Volume 4, Issue 2, pp. 121-130.

-Rees, W. E., (2000), "Eco-footprint analysis: merits and brickbats". Ecological economics, Volume 32, Issue 3, pp. 371-374.

-Simmons, C., Lewis, K., & Barrett, J., (2000), "Two feet-two approaches: a component-based model of ecological footprinting". Ecological economics, Vol. 32(3), pp. 375-380.

-Solís-Guzmán, J., Marrero, M., & Ramírez-de-Arellano, A., (2013), "Methodology for determining the ecological footprint of the construction of residential buildings in Andalusia (Spain)". Ecological Indicators, Volume 25, pp. 239-249.