محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره۷۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰
صفحه ۴۳۵ تا ۴۵۰

ارزیابی پایداری توسعه شهری و محاسبه ظرفیت زیستی شهر بیرجند با روش ردپای اکولوژیک

سمیه مودی*[۱]؛ سیدسعیدرضا احمدی زاده[۲]؛ الهام یوسفی[۳]

۱- کارشناسی ارشد گروه محیط زیست، ارزیابی و آمایش سرزمین، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، ایران

۲- دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، ایران

۳- استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، ایران

(تاریخ دریافت ۰۰/۰۴/۰۶-تاریخ پذیرش ۰۰/۰۷/۱۰)

چکیده:

در چند دهه گذشته مصرف بی‌رویه منابع طبیعی، رشد شتابان شهرنشینی و گسترش فعالیت‌های صنعتی سبب تخریب محیط‌زیست و ناپایداری جوامع شهری شده است. پدیده توسعه پایدار برای حفاظت از منابع طبیعی به عنوان میراث جمعی بشریت معرفی می‌شود. شاخص ردپای اکولوژیکی مبنایی برای ارتباط بین انسان و طبیعت است. وقتی که ردپای جمعیت منطقه‌ای از مقدار توان طبیعی محیطش برای تامین منابع مورد نیاز بیشتر گردد، جامعه به سمت ناپایداری پیش می‌رود. بنابراین ردپای اکولوژیکی یک ابزار ارزیابی مناسب، جهت حفظ محیط زیست و توسعه پایدار می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از شاخص ردپای اکولوژیکی به پایداری توسعه شهر بیرجند در سال ۱۳۹۷ پرداخته شده است. ردپای اکولوژیکی در بخش مصرف در پنج بخش شامل: مسکن، حمل‌ونقل، خدمات و کالا مورد ارزیابی قرار گرفت و سپس بعد از محاسبه‌ی ردپا، ظرفیت زیستی برای شهر بیرجند محاسبه شد. برای پی‌بردن به پایداری یا ناپایداری در شهر بیرجند، ظرفیت زیستی و ردپای اکولوژیک با یکدیگر مقایسه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که سرانه‌ی ردپای اکولوژیکی شهر بیرجند، برای بخش‌های مسکن، حمل‌ونقل، خدمات، کالا و غذا ۰/۵۶ هکتار جهانی است که کمتر از سرانه‌ی ردپای ملی (۲/۷ هکتار جهانی) می‌باشد. سرانه‌ی ظرفیت زیستی برای شهر بیرجند ۰/۷۷ هکتار جهانی به‌دست آمد که با مقایسه ردپای اکولوژیکی و تفاوت بین این دو نشان‌دهنده‌ی مازاد اکولوژیکی شهر بیرجند است و شهر در حالت پایداری به سر می‌برد.

کلید واژگان: ردپای اکولوژیک، ظرفیت زیستی، پایداری، توسعه شهری، بیرجند

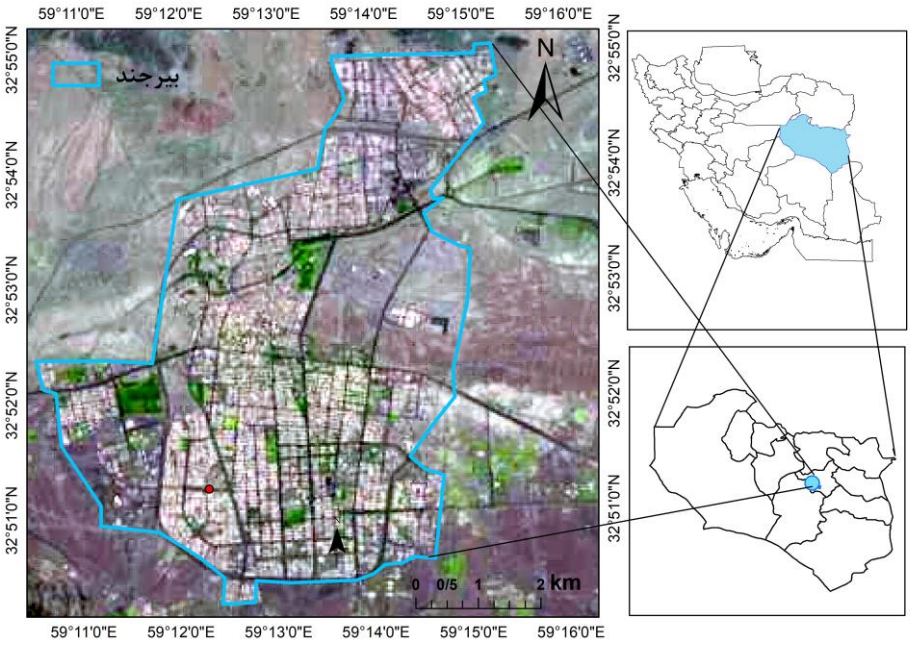
* نویسنده مسئول؛ تلفن: ۰۵۶۳۲۶۸۳۵۱۱ ایمیل: somayehmoodi35@gmail.com

۱. مقدمه

توسعه شهرها معمولاً با افزایش جمعیت شهری همراه است، جمعیت شهری جهانی از جمعیت روستایی جهانی بیشتر است (UNPD, 2018). افـزایش بـی‌سـابقه جمعیت به همراه نسبت روز افزون شهرنشینی کـه در واقـع تمرکـز و فشـار نقطـه‌ای را در پی دارد، پیامدهای زیان‌بـاری برای زیست‌کره داشته است. به طوری که شهرهای جهـان حدود سه چهارم منابع طبیعی مورد نیـاز جهانیـان را بـه مصرف می‌رسانند (Zhang, 2005). شهرها با افزایش تراکم بهره‌وری از توسعه اجتماعی و اقتصادی شهری بهره‌مند شده‌اند و با این حال با توجه به کمبود انرژی، تخریب محیط زیست و ازدحام در طول توسعه شهری (Wolf *et al*., 2013; Hong *et al*., 2017)، در میان عوامل دیگر تعارض بین توسعه شهری و حفاظت از محیط زیست شدت یافته است (Zhang *et al*., 2015). سناریوی آینده شهری واقعاً نگران کننده است. تخریب محیط زیست، افزایش نابرابری، کمبود در امکانات اولیه، همراه با افزایش خشونت‌های گروهی و فردی مشکلات زیادی را ایجاد می‌کند (Kundu, 2012). شهرها برای پیشبرد توسعه پایدار با چالش‌های قابل توجهی روبرو هستند؛ نمونه‌هایی از این چالش‌ها تعارض بین رشد اقتصادی و کمبود منابع طبیعی، کاهش انرژی و کاهش شدید ظرفیت حمل محیط است (wu *et al*., 2019). امروزه انسان با چـالش‌های بـی سـابقه‌ای در عرصـه‌هـای زیست محیطی روبروست و منابع طبیعی در سـطح موجـود در عرصه‌های مادی و فعالیـت‌هـای اقتصادی دیگر قادر به پایداری نیستند؛ زیرا فشارهای اقتصادی بر بوم‌سازگان زمـین بیش از پیش رو بـه افـزایش اسـت (Arjamandnia, 2001).

پایداری از نظر اکولوژیکی، بر سه اصل اساسی: سازگاری اقدامات انسانی با ظرفیت برد اکوسیستم ها، حفظ سیستم‌های زیست محیطی پایدار زندگی و تنوع زیستی و استفاده از منابع تجدیدپذیر استوار است. توسعه پایدار اکولوژیک بهترین و ایده‌آل ترین نوع توسعه محسوب می‌شود. توسعه‌ای که کیفیت کلی زندگی را در حال و آینده بهبود می‌بخشد؛ به طوری که فرآینـدهای اکولوژیک ضروری را برای ادامه زندگی حفظ نماید. چنین توسـعه پایـداری از زمـین، آب، گیاهـان و منـابع ژنتیکـی حفاظت می‌کند و از لحاظ زیست محیطی مخـرب نبـوده، از نظر تکنولوژیک مناسب و از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر است. توسعه پایدار الگویی است که باعث تغییر بعد اجتماعی و اقتصادی و هماهنگی بین سه بعد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی می‌شود (Lu & Liu, 2018; Silva *et al*., 2020). مدیریت پایدار منابع طبیعی و محیط زیست پیش شرط دستیابی به توسعه پایدار است (Fuso *et al*., 2018). توسعه پایدار بر پایداری منابع طبیعی و محیط زیست و هم‌چنین توسعه رفاه اجتماعی تأکید دارد و پایداری زیست محیطی بهبود کیفیت زندگی و حفظ تعادل مناسب برای زندگی شهرنشینی و کیفیت محیط را تضمین می‌کند (Yu *et al*., 2020).

ردپای اکولوژیکی یک ابزار محیطی کارآمد برای ارزیابی پایداری محیط است و در تجزیه‌وتحلیل محیط زیست و عواقب مصرف خانوار برای توسعه پایدار شهری استفاده می‌شود (Holden, 2004; Swartz *et al*., 2010). ردپای اکولوژیک (EF) و ظرفیت زیستی (BC) به عنوان مجموعه‌ای از



شکل۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان خراسان جنوبی و ایران.

شاخص‌های پایداری اکولوژیکی در کنار هم قرار گرفته‌اند که می‌توانند با مقایسه مقادیر آن برای قضاوت در مورد وضعیت پایداری استفاده شوند. ردپای و ظرفیت زیستی هر ساله با تعداد افراد، میزان مصرف هر نفر، کارایی تولید و بهره‌وری اکوسیستم‌ها تغییر می‌کند و در مقیاس فردی، منطقه‌ای، ملی یا جهانی متفاوت است. با این حال، EF در واقع نقش مهمی در ارزیابی پایداری داشته است (Holden, 2004; Swartz *et al*., 2010) و به یک ابزار برنامه‌ریزی سیاست برای ایجاد سیاست‌های زیست محیطی تبدیل شده است(Baabou *et al*., 2017). ردپا بر اساس نوع زمین طبقه بندی می‌شود و شش نوع ردپای زیست محیطی شامل زمین‌های قابل کشت، مناطق جنگل، زمین‌های چرا، زمین‌های ماهی‌گیری، زمین‌های ساخته شده و زمین‌های جذب کننده کربن وجود دارد. ردپای اکولوژیکی را می‌توان برای اندازه‌گیری و مدیریت استفاده از منابع در کل اقتصاد و کشف پایداری سبک زندگی فردی، کالاها و خدمات، سازمان‌ها، بخش‌های صنعت، محله‌ها، شهرها، مناطق و کشورها استفاده کرد و یکی از پرکاربردترین معیارهای اندازه-گیری تأثیر بشریت بر محیط زیست است و برای برجسته نمودن هر دو امر بدیهی عدم پایداری، شیوه‌های فعلی و نابرابری در مصرف منابع بین و درون کشورها مورد استفاده قرار گرفته است (Borucke *et al*., 2013).

یک شهر با محیط زیست پایدار، شهری سالم از نظر اکولوژیکی است که با حداقل رساندن ردپای اکولوژیکی طراحی شده است (Rose, 2013).

در ارتباط با محاسبه ردپای اکولوژیک تحقیقات متعدد در خارج و داخل کشور صورت گرفته است: Shayestehو همکاران در سال ۲۰۱۳ در مقاله‌ای با عنوان تحلیل روش‌های برآورد ردپای اکولوژیکی در مقیاس شهری به بررسی انواع روش‌ها برای محاسبه ردپای اکولوژیکی پرداختند. از نظر آن‌ها سه روش برای محاسبه ردپای اکولوژیکی شهرها وجود دارد که شامل: مستقیم، ترکیب و جزء می‌باشد (Shayesteh *et al*., 2013). Mohammadi در سال ۲۰۱۶ با استفاده از شاخص ردپای اکولوژیکی، ظرفیت برد

شهر سنندج مورد بررسی قرارداد. نتایج این پژوهش نشان داد که سرانه‌ی ردپای اکولوژیکی این شهر، برای بخش‌های غذا، مسکن و حمل‌ونقل ۱/۴۳ هکتار جهانی است. با محاسبه ظرفیت زیستی برای شهر سنندج در این پژوهش ۰/۳۸ هکتار جهانی بدست آمد که نشان دهنده‌ی کمبود اکولوژیکی در شهر سنندج می‌باشد و شهر ناپایداری است (Mohammadi, 2016). Fu و همکاران در سال ۲۰۱۵، ردپای کل منابع انسان ساخت و بیولوژیکی را در طی دوره ۱۵ ساله (۱۹۹۷ تا ۲۰۱۱)، در چین مورد بررسی قرار دادند. در طی این دوره ی ۱۵ ساله، ردپای منابع بیولوژیکی ۵۴ درصد افزایش یافته است. نرخ ردپای اکولوژیکی، ردپای انرژی و مناطق ساخته شده طی این دوره افزایش یافته است. نتایج نشان می‌دهد منطقه چین دچار کسری اکولوژیکی شده است (Fu *et al.*, 2015). Li و همکاران در سال ۲۰۱۴ ردپای اکولوژیکی را در ۳ ناحیه‌ی استپی در چین در طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که ردپای تولید ۱/۸۱ برابر ردپای تولید ۲۰۰۱ است و ردپای مصرف در سال ۲۰۱۰ به ۴/۵۱ برابر ردپای مصرف در ۲۰۰۱ رسیده است. ظرفیت زیستی از ۱/۶۱ هکتار جهانی در ۲۰۰۱ به ۱/۳۱ هکتار جهانی در ۲۰۱۰ رسیده است (Li *et al.*, 2014). Scotti در سال ۲۰۱۰ در مقاله‌ای با نام ردپای اکولوژیکی به مثابه ابزاری برای پایداری محلی در شمال ایتالیا نشان دادند که ساکنان این منطقـه ۹ برابر بیشـتر از ظرفیت زیستی منطقه خود استفاده می‌کنند و باید سیاست‌های جدیدی برای کاهش مصرف اتخاذ و به اجرا در آید (Scotti, 2010). دراین پژوهش به بررسی ردپای اکولوژیکی به از تمام ابعاد پرداخته شده است و علاوه بر اندازه‌گیری ردپا، ظرفیت زیستی شهر بیرجند نیز برآورد شده است. میزان ردپا در بخش‌های مختلف مصرفی به صورت مکانی تهیه و میزان آن با توجه به استانداردهای ملی و جهانی و امنیت اکولوژیکی شهر بیرجند مورد بررسی قرار گرفت. بنابراین مهم‌ترین هدف این پژوهش، به صورت خلاصه عبارت از: ارزیابی پایداری شهر بیرجند، ارائه الگو و راهبردهای مناسب پایداری با محاسبه ردپای اکولوژیکی (میزان مصرف) و بررسی ظرفیت زیستی شهر بیرجند (میزان ظرفیت‌زیستی توسط فعالیت‌های انسانی و میزان منابع در درسترس).

۲. مواد و روش ها

۲-۱. معرفی محدوده موردمطالعه

شکل ۱، موقعیت محدوده مورد مطالعه شهر بیرجند را نشان می‌دهد؛ که مساحت آن (۴۰۰۴ کیلومترمربع) است. ارتفاع شهر بیرجند از سطح دریا ۱۴۹۱ متر است. شهرستان بیرجند از شمال به شهرستان قاینات، از شرق به شهرستان درمیان، از جنوب به شهرستان سربیشه و از غرب به شهرستان خوسف محدود شده است. شهر بیرجند مرکز استان خراسان جنوبی است، این استان در شرق ایران و در حاشیه‌ی شمال شرقی دشت لوت واقع‌شده است. موقعیت جغرافیایی شهرستان بیرجند بین ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۷ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی واقع شده است. میانگین سالیانه بیشترین و کمترین درجه حرارت شهر بیرجند به ترتیب برابر با ۲۴ و ۸ درجه سانتیگراد و بارش سالیانه به‌طور میانگین برابر با ۱۷۱ میلی‌متر در سال است. همچنین بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵ جمعیت این شهر ۲۰۳۶۳۶

جدول ۱- ردپای بخش مسکن و خدمات

	پارامترهای مورد بررسی	فرمول مورد استفاده برای محاسبه
ردپای بخش‌های مسکن و خدمات	مناطق ساخته شده (Geng et al., 2014)	$EF = A \times EQF$
	انرژی برق و گاز	$\text{هکتار سالانه} = \text{برق مصرف شده} \; tonsCO_2 \div \left(3.996 \; tons_{CO_2} / ha / year \right)$
		$EF = EQF \times \text{هکتار سالانه}$
	فاکتور معادل (فاکتورمعادل برای زمین‌های ساخته‌شده، برابر فاکتور معادل زمین‌های کشاورزی و برای گاز و برق برابر با فاکتور معادل زمین‌های جنگلی است).	

جدول۲- ردپای بخش کالا و حمل‌ونقل

	پارامترهای مورد بررسی	فرمول مورد استفاده برای محاسبه
ردپای بخش‌های کالا و حمل و نقل (Moore et al., 2013)	برق و سوخت‌های مصرفی	$\text{هکتار سالانه} = tons\,CO_2 \div \left(3.996 \; tons\,CO_2 / ha / year \right)$
		$EF = EQF \times \text{هکتار سالانه}$
	مناطق ساخته شده	$EF = A \times EQF$
	فاکتور معادل (برای سوخت و برق، برابر با فاکتور معادل زمین‌های جنگلی است).	

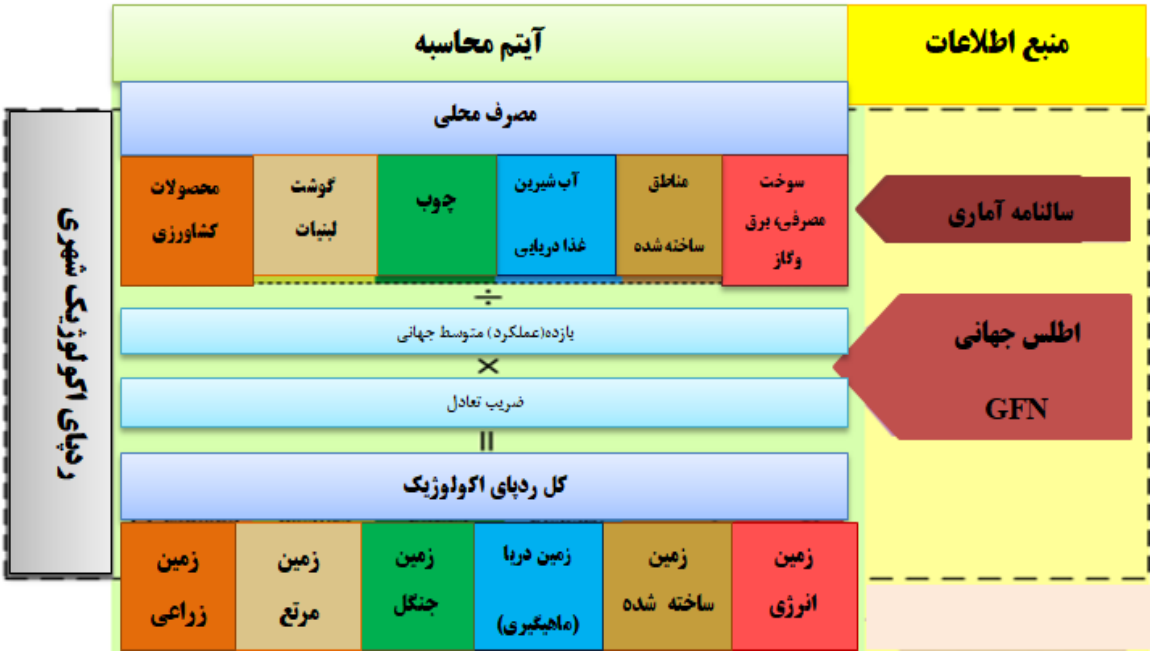
نفر بوده است (Hosseinzade, 2006).

۲-۲. روش

این پژوهش یک مطالعه نظری-کاربردی است که در چند مرحله انجام شد. اطلاعات و داده‌های موردنیاز از طریق مراجعه به سازمان‌ها و ادارات مربوطه، مطالعه-ی کتابخانه‌ای شهر بیرجند گردآوری شده است و بخشی از داده‌ها که امکان جمع آوری آن‌ها با روش اسنادی امکان‌پذیر نبود، از طریق پخش ۳۸۴ پرسش‌نامه تدوین شده توسط پژوهشگر به دست آمد. شهروندان بیرجندی، جامعه آماری مورد نظر بودند و بر اساس فرمول کوکران طبق رابطه زیر حجم نمونه تعیین شد. نمونه‌ها به روش نمونه‌گیری تصادفی ساده انتخاب و توزیع شد. در مرحله تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، اطلاعات حاصل از پرسش‌نامه در محیط نرم افزار اکسل، تجزیه‌وتحلیل و نتایج حاصل گردید.

$$n = \frac{\frac{z^2 pq}{d^2}}{1 + \frac{1}{N}\left[\frac{z^2 pq}{d^2} - 1\right]}$$

n: نسبت برخورداری از p: مقدار متغیر نرمال، z: اشتباه مجاز،d: حجم جامعه آماری، N : حجم نمونه، n در این رابطه، :نسبت عدم برخورداری از صفت مورد نظر. q=(1-p) ویژگی مورد نظر، در مرحله بعد، با استفاده از شاخص‌های ردپای اکولوژیکی مصرف، ردپای مسکن، ردپای حمل‌ونقل، ردپای خدمات، ردپای کالا، ردپای غذا، ظرفیت زیستی، کمبود اکولوژیکی شهر بیرجند با استفاده از روش ردپای اکولوژیکی مورد بررسی و محاسبه قرار



شکل ۲- دیاگرام محاسبه ردپای اکولوژیکی شهری

گرفت (Ewing *et al.*, 2010). با محاسبه ردپای اکولوژیکی شهر بیرجند در بخش‌های فوق ردپای اکولوژیکی مصرف برآورد گردید؛ زیرا مصرف به انواع منابع مختلف مصرفی روزانه یک جمعیت خاص و مناطق مولد این میزان منابع و زمین‌های مورد نیاز برای دفن زباله‌های حاصل از این مصرف اشاره دارد (She *et al.*, 2011; Ferng, 2014; Rudu *et al.*, 2013; Wackerngel *et al.*, 1997). برای محاسبه ی ردپای اکولوژیک، زمین به پهنه‌های مختلف (مرتع، کشاورزی، دریا، ساخته شده و زمین انرژی) تقسیم می‌شود. در محاسبه‌ی میزان استفاده، هر یک از دسته‌های مصرفی در پهنه‌های مختلف زمین محاسبه می‌شوند و بخش‌های مصرف نیز به پنج بخش اصلی حمل‌ونقل، مسکن، غذا و کالا و خدمات تقسیم می‌شود. برای محاسبه زمین انرژی اقلام انرژی اعم از گاز، نفت گاز، برق، نفت و نفت کوره استفاده شده است و به واحد مشترک مگاژول تبدیل می‌شود. سپس با احتساب ضرایب مورد نظر، این مقدار را به زمین تبدیل می‌کنیم.

سپس بعد از محاسبه‌ی ردپا، ظرفیت زیستی برای شهر بیرجند محاسبه می‌شود. برای محاسبه‌ی ظرفیت زیستی به ضریب تعادل و ضریب بازده نیاز داریم. ضریب تعادل، ضریبی است که در یک سال برای کشور ثابت است. مقدار این ضریب را از اطلس جهانی استخراج کرده و ضریب بازده را نیز بر اساس نسبت بازده پهنه‌های زمین در شهر بیرجند بر بازده پهنه‌ها در جهان به‌دست می‌آوریم. جهت برآورد ردپای بخش مسکن از پارامترهای انرژی گاز و برق، مناطق ساخته شده استفاده شده است و همچنین جهت برآورد ردپای بخش خدمات از ردپای زمین ساخته شده و ردپای زمین انرژی در کاربری‌های خدمات دراین بخش صورت گرفت که روش محاسبه هر یک در جدول۱، آورده شده است. ردپای بخش کالا از ردپای زمین ساخته شده و ردپای زمین انرژی در کاربری‌های کالا در این بخش محاسبه شد و جهت برآورد ردپای بخش حمل‌ونقل از دو بخش محاسبه ردپای سوخت‌های مصرفی در بخش حمل ونقل و ردپای مربوط به زمین‌های استفاده شده در

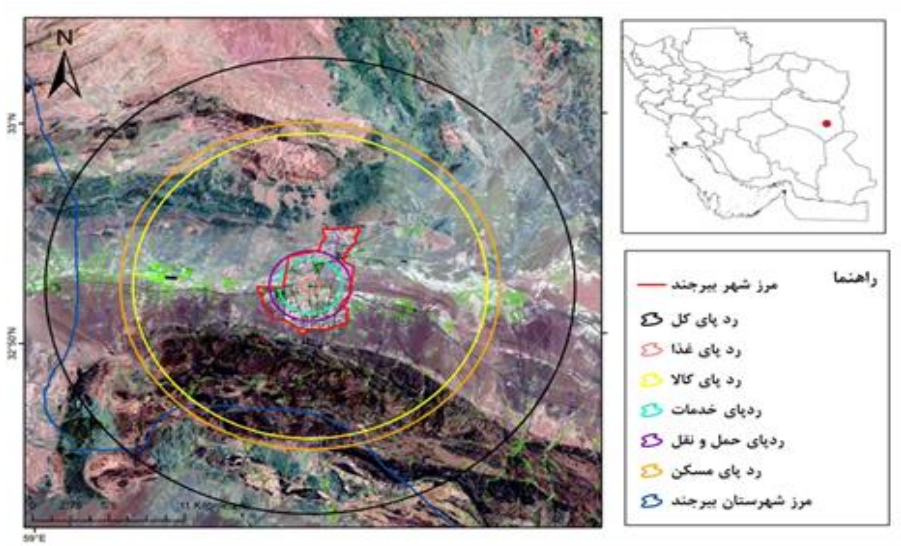
جدول۳- میزان ردپای اکولوژیکی بخش مصرفی شهر بیرجند

نوع ردپا	بخش	مقدار(هکتار جهانی)
مسکن	زمین ساخته‌شده	۲۴۵۳/۸۷
	برق	۵۵۶۵۹/۲
	گاز	۸۸۰/۵
حمل‌ونقل	زمین ساخته‌شده	۲۴۲۹/۸۸
	بنزین	۶۰
	گازوئیل	۹۲/۵۷
	گاز	۱۵۶/۵۴
خدمات	زمین ساخته‌شده	۱۴۱۵/۱۳
	برق	۲۶۶/۰۷
	گاز	۲۱۱/۲۲
کالا	زمین ساخته‌شده	۱۱۵/۷۳
	برق	۵۱۰۱۶/۳۴
	گاز	۳۹۹/۸۳
	گازوئیل	۳/۰۶
غذا	برنج	۱۵/۴۶
	پیاز	۹/۴۱
	حبوبات	۴/۰۲
	میوه و سبزی	۸/۰۶
	سیب‌زمینی	۶/۷۲
	شیر	۶/۷۲
	گندم	۵۳/۱۳
	گوشت قرمز	۶/۷۲
	ماهی	۰/۱۲
	مرغ	۸/۷۳
	تخم مرغ	۸/۰۶
مجموع	۱۱۵۲۸۷/۸۳	
سرانه ردپا	۰/۵۶	

این بخش صورت گرفت که روش محاسبه هر یک در جدول۲، آورده شده است.

برای محاسبه ردپای اکولوژیکی در بخش غذا نیز با استفاده از مقادیر مربوط به کالاهای مصرفی موجود در سبد غذایی خانوارهای بیرجندی (پخش پرسشنامه در سطح شهر بیرجند) و اطلاعات مربوط به زمین‌های قابل کشت و میزان محصولات تولیدی آن‌ها (اداره جهاد کشاورزی شهرستان بیرجند) و تحلیل این اطلاعات در فضای اکسل، ردپای اکولوژیکی مربوط به این بخش محاسبه گردید (Kennedy *et al.*, 2010). در نهایت، ردپا شهر از مجموع ردپاهای محاسبه شده بالا به ازای جمعیت ساکن در شهر بیرجند به دست آمد (Geng *et al.*, 2014).

همچنین برای محاسبه ظرفیت زیستی که معیاری از تولید بیولوژیکی زمین و نواحی دریایی در دسترس



شکل۳- نقشه انواع رد پای در شهر بیرجند.

برای تأمین خدمات بوم سازگان، بر اساس موجودیت اکولوژیکی مصرف انسانی با ظرفیت احیای طبیعت است (Juma Pour & Hatami Nejad, 2014; Wei *et al*., 2013; Galli *et al*., 2015; Galli *et al*., 2012).

$$BC = A \times YF \times EQF$$

در این رابطه، BC، ظرفیت زیستی؛ A مساحت؛ YF ، فاکتور عملکرد وEQF، فاکتور معادل است.

برای بررسی کمبود اکولوژیکی منطقه نیز با مقایسه دو عامل ظرفیت زیستی و ردپای اکولوژیکی صورت می‌گیرد و بررسی می‌کند که آیا فعالیت‌های موجود در حد ظرفیت برد منطقه است (Budihardjo *et al*., 2013). از رابطه زیر استفاده شده است.

$$Ed = BC - EF$$

در نهایت برای ارزیابی امنیت و پایداری اکولوژیکی، از دو شاخص ردپای اکولوژیکی (تقاضای انسانی) و ظرفیت زیستی (عرضه طبیعت) که می‌توانند به طور مستقیم با هم مقایسه شوند، چنان‌چه ردپای اکولوژیک بیشتر از ظرفیت زیستی باشد، می‌توان نتیجه گرفت منطقه‌ی مورد بررسی ناپایدار است (Liu *et al*., 2014; Dai *et al*., 2010).

۳. نتایج

در این بخش با استفاده از داده‌های موجود در سال ۱۳۹۷ برای شهر بیرجند، میزان ردپای اکولوژیکی را محاسبه خواهیم کرد و در ادامه در مورد روش محاسبه در هر بخش توضیحاتی ارائه خواهد شد. با توجه به فرمول‌های معرفی شده، ردپای اکولوژیکی و امنیت اکولوژیکی شهر بیرجند در سال ۱۳۹۷ مورد محاسبه و بررسی قرار گرفت که نتایج به دست آمده به تفکیک ردپای مصرف، کمبود اکولوژیکی و ظرفیت زیستی نشان داده شده است. در بررسی ردپای مصرف بخش‌های مسکن، حمل‌ونقل، کالا، خدمات و غذا مورد بررسی قرار گرفت که نتایج هر یک در جدول ۳، بیان شده است. با توجه به جمعیت ۲۰۳۶۳۶ نفری شهر بیرجند، کل ردپای اکولوژیکی شهر بیرجند برابر با ۱۱۵۲۸۷/۸۳ هکتار می‌باشد. سرانه ردپای اکولوژیکی براساس محاسبات انجام شده، شهر بیرجند برابر با ۰/۵۶ هکتار به ازای هرنفر است.

برای محاسبه جای پای بنزین، مصرف سرانه روزانه بنزین (لیتر) برحسب گالن برابراست با:

جدول۴- سرانه و میزان ردپای اکولوژیکی مصرف در بخش‌های مختلف مصرفی در شهر بیرجند

نوع ردپا	مسکن	حمل‌ونقل	خدمات	کالا	غذا	کل
میزان (هکتار جهانی)	۵۸۹۹۳/۵۷	۲۷۳۹	۱۸۹۲/۴۲	۵۱۵۳۴/۹۶	۱۲۷/۱۵	۱۱۵۲۸۷/۸۳
سرانه ردپا	۰/۲۸	۰/۰۱۳	۰/۰۰۹	۰/۲۵	۰/۰۰۰۶۲	۰/۵۶

(BUT / گالن) = ۴۴۳۱۸۸۰۰۰۰BUT

۱۲۵۰۰۰× (گالن) ۳۵۴۵۵/۰۴ گالن

۱۳۴۲۰۸ ÷۳/۷۸۵۳ = ۳۵۴۵۵/۰۴

تن کربن۸۵/۷۲ = (میلیارد BTU / تن

کربن)۱۹/۵۳ × (میلیاردBTU) ۴/۴۳

سالانه برای جذب ۱/۸ تن کربن یک هکتار زمین نیاز است. بنابراین:

هکتار جهانی ۶۰ =۱/۲۶ × ۴۷/۶۲

هکتار۴۷/۶۲=۱/۸÷۸۵/۷۲

برای محاسبه جای پای مصرف گازوئیل، سرانه روزانه گازوئیل(لیتر) برحسب گالن برابراست با:

(گالن/ = ۶۶۳۹۹۹۶۱۹۶BUT

(BUT)۱۳۸۷۰۰ × (گالن)۴۷۸۷۳/۰۸ گالن

۱۸۱۲۱۴ ÷۳/۷۸۵۳ = ۴۷۸۷۳/۰۸

تن کربن۱۳۲/۲۶ = (میلیارد BTU / تن

کربن)۱۹/۹۵ × (میلیاردBTU) ۶/۶۳

هکتارجهانی ۹۲/۵۷= ۱/۲۶ ×۷۳/۴۷

هکتار۷۳/۴۷=۱/۸÷۱۳۲/۲۶

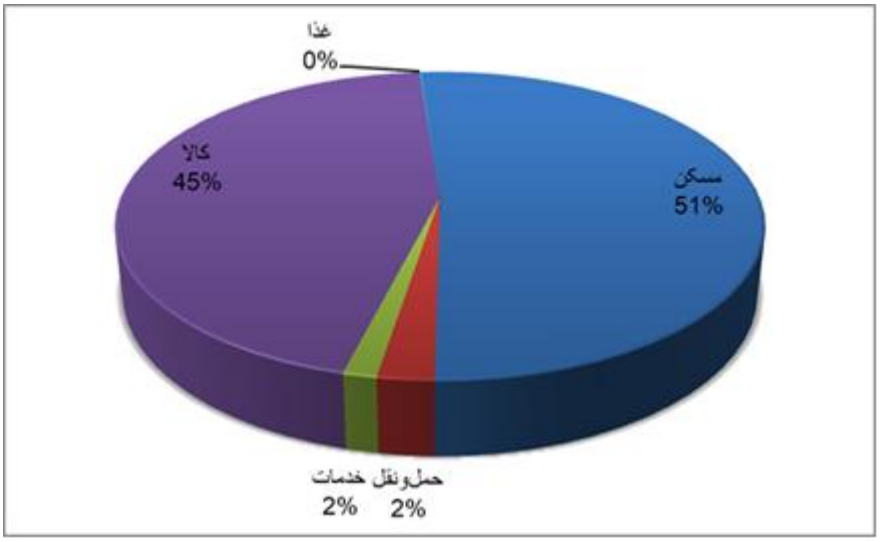
در شکل ۳، انواع ردپاها در بخش‌های غذا، کالا خدمات، حمل و نقل، مسکن و ردپای کل شهر بیرجند، نمایش داده شده است. براساس اطلاعات این نقشه، ردپای ساکنین شهر بیرجند در بخش حمل‌و-نقل، خدمات و غذا فقط در محدوده این شهر واقع شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بخش مسکن و کالا مساحت بیشتری را نسبت به بخش‌های دیگر به خود اختصاص داده است.

بر اساس جدول ۴، میزان ردپای مصرف در بخش مسکن دارای بیشترین مقدار بوده و کمترین میزان مربوط به ردپای غذا با مقدار ۱۲۷/۱۵ هکتار جهانی است.

برای پاسخ به این پرسش که آیا براساس شاخص رد-پای اکولوژیک، شهر بیرجند دارای پایداری اکولوژیک است یا خیـر نیاز به محاسبه‌ی ظرفیت زیستی بوده است، تا با مقایسه‌ی ظرفیت زیستی به‌دست آمده برای منطقـه بـا روش ردپای اکولوژیک، بتوانیم مقادیرکسری یا مازاد اکولوژیک را اندازه‌گیری کرده و براساس آن پایداری یا ناپایداری منطقـه را تشخیص دهیم. برای محاسبه‌ی ظرفیت زیستی، ضریب بازده و ضریب تعادل برای هر نوع پهنه‌ی زمـین را در مقـدار مساحت زمین مورد نظر ضرب می‌کنیم. حاصـل بیـان‌گر مقـدار ظرفیت زیستی خواهد بود. در بررسی ظرفیت زیستی شهر بیرجند بر اساس زمین‌های مولد و میزان عملکرد این زمین‌ها، مقادیر ظرفیت زیستی در هر نوع از زمین‌های مولد از جمله جنگل، زمین-های کشاورزی، مرتع، مناطق ساخته شده و زمین-های ماهی‌گیری به دست آمد (جدول۵).

۴. بحث و نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش در بخش مسکن، بیشترین ردپا مربوط به ردپای برق با

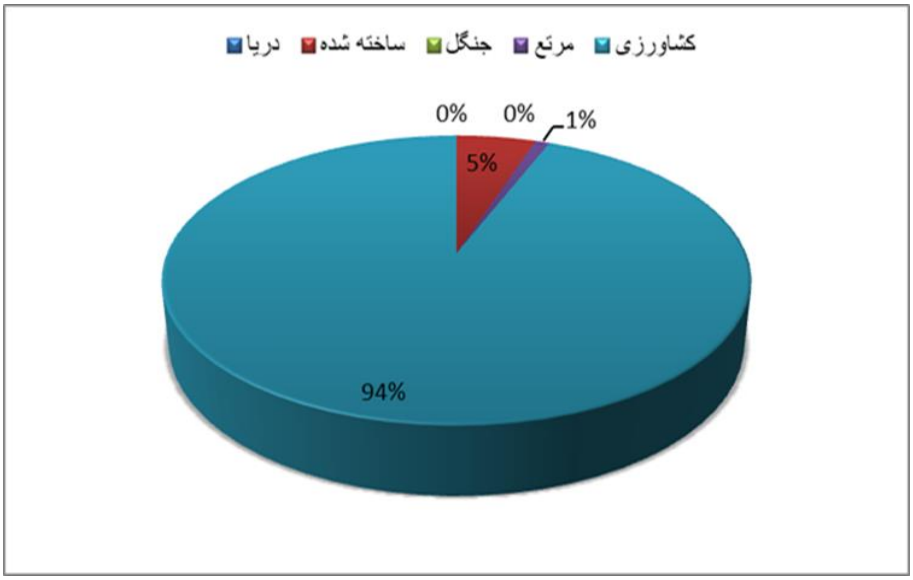


شکل۴- ردپای اکولوژیک شهر بیرجند به تفکیک بخش‌های مصرف

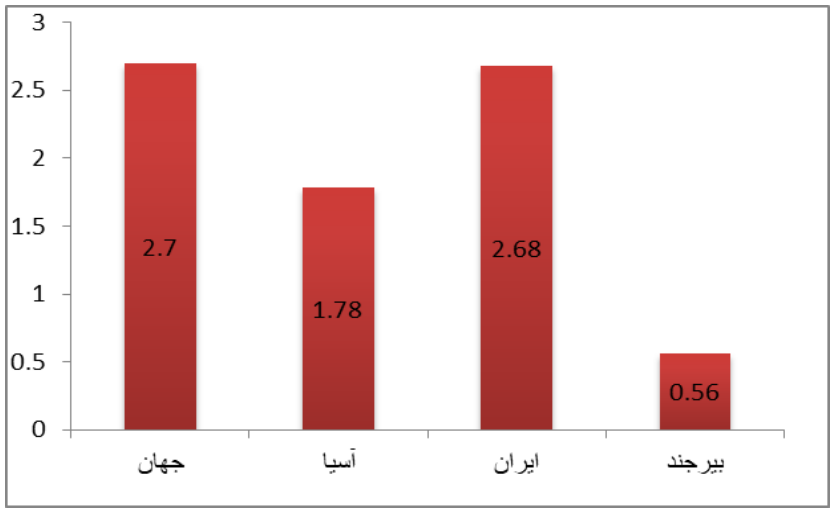
جدول۵- سرانه و کل ظرفیت زیستی به تفکیک پهنه‌های زمین (هکتار)

پهنه‌های زمین	کشاورزی	مرتع	جنگل	ساخته شده	دریا	کل
ظرفیت زیستی	۱۴۸۳۸۹/۸	۱۴۷۴/۵۷	۵/۶۸	۸۲۵۲/۷۲	۰/۰۴۹	۱۵۸۱۲۲/۸
سرانه	۰/۷	۰/۰۰۷	۲/۷	۰/۰۴	۲/۴	۰/۷۷

مقدار ۵۵۶۵۹/۲ هکتار جهانی است و کم‌ترین ردپا مربوط به بخش گاز ۸۸۰/۵ هکتار جهانی است. در بخش حمل‌ونقل، بیشترین تقاضا و عامل مصرف مربوط به مناطق ساخته شده است، زیرا بیشترین ردپا را با مقدار ۲۴۲۹/۸۸ هکتار جهانی را تشکیل می‌دهد و کم‌ترین ردپا مربوط به بنزین با مقدار ۶۰ هکتار جهانی است. در بررسی ردپای اکولوژیکی بخش خدمات بیشترین ردپای مربوط به مناطق ساخته‌شده برابر با ۱۴۱۵/۱۳ هکتار جهانی است و کم‌ترین ردپای مربوط به گاز با مقدار ۲۱۱/۲۲ هکتار جهانی است. در بخش کالا بیشترین ردپای به ترتیب مربوط به بخش‌های برق، گاز و زمین ساخته‌شده با مقدار ۵۱۰۱۶/۳۴، ۳۹۹/۸۳، ۱۱۵/۷۳ هکتار جهانی است و کم‌ترین ردپا مربوط به بخش گازوئیل با مقدار ۳/۰۶ هکتار جهانی است. در بررسی ردپای اکولوژیکی غذا مشخص شد که گندم با ۵۳/۱۳ هکتار جهانی بیشترین میزان ردپا و ماهی با ۰/۱۲ هکتار جهانی، کمترین میزان ردپا در سبد غذایی شهروندان شهر بیرجند را دارا هستند. ردپای بالای گندم، تولید و مصرف بیشتر گندم و به دنبال آن بهره‌برداری بیشتر از زمین‌های کشاورزی را به همراه دارد. بر اساس محاسبات انجام شده، سرانه‌ی ظرفیت زیستی در شهر بیرجند برابر ۰/۷۷ هکتار است. با مقایسه‌ی ردپای اکولوژیک محاسبه شده (۰/۵۶) با ظرفیت زیستی (۰/۷۷)، پی می‌بریم که ردپای اکولوژیک در منطقه کمتر از ظرفیت زیستی است که این به معنای وجود پایداری در سیستم اکولوژیک منطقه است، البه مقدار عددی ردپای شهری و ظرفیت زیستی بسیار به یکدیگر نزدیک هستند و پایداری شهری در حالت شکننده به سر می‌برد. در



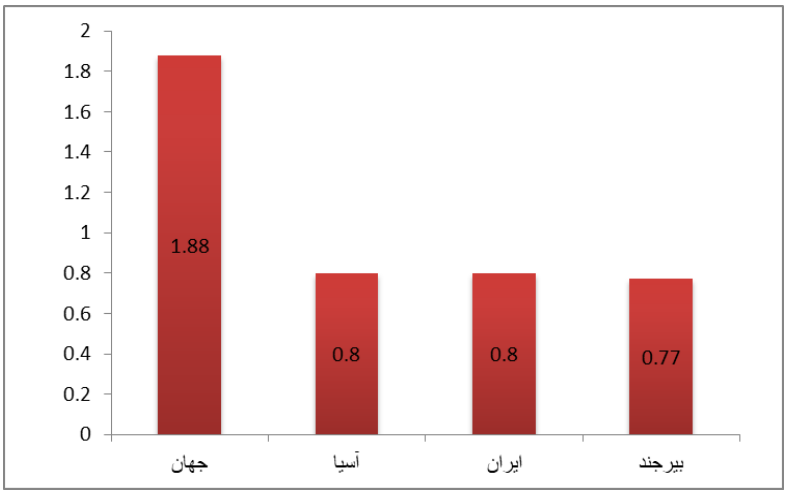
شکل۵- ظرفیت زیستی شهر بیرجند به تفکیک پهنه‌های زمین



نمودار۱ – مقایسه‌ی ردپای اکولوژیک در میان مناطق مختلف جغرافیایی (هکتار به ازای هر نفر)

ادامه با توجه به نمودار۱، با مقایسه‌ی ردپای اکولوژیک در شهر بیرجند با ردپای ایران که مقدار آن برابر با ۲/۶۸ هکتار به ازای هر نفر است، می‌توان نتیجه گرفت که در مقیاس ملّی، شهر بیرجند دارای ردپای اکولوژیک مصرفی کمتری از متوسط ایران است. ردپای اکولوژیک در آسیا برابر با ۱/۷۸ هکتار به‌ازای هر نفر است که در مقایسه با شهر بیرجند، می‌توان نتیجه گرفت شهر بیرجند در مقایسه با متوسط آسیا، دارای ردپای اکولوژیک مصرف کمتری دارد. هم‌چنین در مقایسه با ردپای اکولوژیک متوسط جهان که ۲/۷ هکتار به ازای هر نفر مقرر شده است، شهر بیرجند دارای ردپای اکولوژیک کمتری از متوسط ردپای دنیا است.

با توجه به نمودار۲، همچنین مقایسه‌ی ظرفیت زیستی بین ایران، آسیا، جهان و شهر بیرجند نشان می‌دهد که ایران و آسیا کمابیش از لحاظ ظرفیت زیستی برابر هستند. اما بیرجند با مقدار ۰/۷۷ هکتار به ازای هر نفر، از ظرفیت زیستی نزدیک به نصف سرانه‌ی جهان برخوردار است. این آمار نشان دهنده این است که ظرفیت زیستی اکوسیستم



نمودار ۲- مقایسه‌ی ظرفیت زیستی میان مناطق مختلف جغرافیایی (هکتار به ازای هر نفر)

جدول۶- سرانه ردپای اکولژیکی مصرف – ظرفیت زیستی – کمبود اکولوژیکی در شهر بیرجند

پارامتر	ردپای مصرف	ظرفیت زیستی	کمبود اکولوژیکی
سرانه (هکتار جهانی)	۰/۵۶	۰/۷۷	۰/۲۱

جدول ۷- سرانه‌ی ردپای اکولوژیکی مصرف- ظرفیت زیستی- کمبود اکولوژیکی در کشور ایران

پارامتر	ردپای مصرف	ظرفیت زیستی	کمبود اکولوژیکی
سرانه (هکتار جهانی)	۲/۷	۰/۸	۱/۹

شهری بیرجند جواب‌گوی تأمین نیازهای شهروندان در بخش مصرف می‌باشد و در واقع به طور کلی می‌توان گفت که بین عرضه و تقاضا در بخش مصرف تعادل وجود دارد.

بر اساس نتایج، میزان ردپای مصرف در بخش مسکن دارای بیشترین مقدار بوده و کم‌ترین میزان مربوط به ردپای غذا با مقدار ۱۲۷/۱۵ هکتار جهانی است. درکل نتایج این پژوهش را می‌توان این‌گونه بیان کرد: با مقایسه‌ی ظرفیت زیستی و جای‌پای اکولوژیک محاسبه شده برای شهر بیرجند و بالاتر بودن ظرفیت زیستی از ردپای اکولوژیک شهر، می‌توان گفت که شهر بیرجند دارای پایداری اکولوژیک و مازاد اکولوژیکی است. در بین ردپاهای محاسبه شده به تفکیک بخش‌های مصرفی بیشترین آن مربوط به بخش مسکن، که در رده اول قرار گرفته است و رده دوم نیز بخش کالا بیشترین ردپا را برخوردار است. بخش های حمل‌ونقل و خدمات ردپای نسبتا برابری با یکدیگر دارند و در نهایت در بخش مصرفی غذا کمترین ردپا را به خود اختصاص داده است. در بررسی ظرفیت زیستی به تفکیک پهنه‌های شهر بیرجند، کشاورزی بیشترین ظرفیت زیستی را به خود اختصاص داده است و بعد از آن نیز زمین‌های ساخته شده بیشترین ظرفیت را دارا است. کمترین آن مربوط به پهنه‌های آبی است که بسیار ناچیز است و رده دوم جنگل قرار دارد. از آن‌جا که ظرفیت زیستی، نقطه مقابل ردپای اکولوژیکی است و تفاوت بین این دو کمبود اکولوژیکی منطقه مورد نظر را نشان می‌دهد، با توجه به ردپای محاسبه شده و ظرفیت زیستی به دست آمده برای بیرجند، کمبود اکولوژیکی این شهر برابر با ۴۲۸۳۵,۶۹ هکتار جهانی محاسبه

گردید. هم‌چنین در جدول (۶)، سرانه ردپای مصرف - ظرفیت زیستی - کمبود اکولوژیکی در شهر بیرجند به دست آمده است که نسبت به سرانه آن در ایران جهت مقایسه نشان داده شده است، جدول (۷).

بر اساس مقایسه سرانه ردپای اکولوژیکی مصرف شهروندان بیرجند، ۰,۵۶ هکتار جهانی بیان شده است که در مقایسه با ردپای اکولوژیکی ایران که برابر با ۲/۷ هکتار جهانی است، این میزان از متوسط سرانه ایران هم کمتر است که در چنین مقایسه‌ای، این وضع ایده‌آل و مطلوب به نظر می‌رسد. مقایسه ردپای مصرف شهر بیرجند با ظرفیت زیستی ایران (۰/۸ هکتار جهانی) و ظرفیت زیستی محاسبه شده برای بیرجند (۰/۷۷ هکتار جهانی) نشان می‌دهد که وضعیت شهر بیرجند پایدار است. ولی در حالت نگران کننده به سر می‌برد و در سال‌های آتی نیاز به مناطق پشتیبان برای رفع نیازهای نسل آینده دارد. میزان ردپای شهری در محدوه ی مرزی قرار گرفته است و نیاز به مدیریت و برنامه ریزی در جهت کاهش ردپای اکولوژیکی قبل از اینکه از ظرفیت زیستی شهر عبور کند، دارد. ظرفیت زیستی، میزان زمین در دسترس برای تأمین همه نیازهای مصرفی شهروندان است، از بررسی اختلاف بین ظرفیت زیستی و ردپای اکولوژیکی شهر بیرجند، عددی برابر با ۴۲۸۳۵/۹۷ هکتار جهانی به دست آمد، مثبت بودن این عدد، نشانگر مازاد اکولوژیکی است که زمین‌های مولد در مقابل تقاضای شهروندان دارای تعادل هستند، اگرچه سرانه کمبود اکولوژیکی در ایران ۱/۹ هکتار جهانی است و کسری اکولوژیک را در کشور نشان می‌دهد، شهر بیرجند با ردپای اکولوژیکی در بخش مصرف برابر با ۱۱۵۲۸۷/۸۳ هکتار جهانی و ظرفیت زیستی برابر با ۱۵۸۱۲۲/۸ هکتار جهانی است. بنابراین، نتایج نشان می‌دهد ظرفیت زیستی زمین‌های مولد از ردپای شهر بیشتر است و شهر نیز در حالت پایداری قراردارد. در واقع زمین‌های مولد و ظرفیت زیستی پاسخ‌گو نیازهای شهروندان در حال حاضر است ولی برای سال‌های آینده چون ردپا و ظرفیت زیستی فاصله زیادی با یکدیگر ندارند، احتمال عبور میزان ردپا از مرز ظرفیت زیستی وجود خواهد داشت. ردپای شهر بیرجند نسبت به برخی شهرهای محاسبه شده ایران مقدار کمتری را نشان می‌دهد و ظرفیت زیستی تقریبا برابر با ظرفیت زیستی کل ایران است و بنابراین توسعه آن تاکنون پایدار بوده است. به عنوان مثال، محمدی (۱۳۹۴)، ردپای اکولوژیکی شهر سنندج را مورد ارزیابی قرار داد که سرانه‌ی ردپای اکولوژیکی ۱/۴۳ هکتار جهانی برآورد شده است و ظرفیت برد برای شهر سنندج ۰/۳۸ هکتار جهانی می‌باشد. در مقایسه با سرانه ردپای مصرف در شهر بیرجند کمتر از شهر سنندج است، این در حالی است که ظرفیت برد شهر بیرجند بیشتر از سنندج است. مطالعه جمعه پور و همکاران (۱۳۹۱)، با ارزیابی ردپای اکولوژیکی شهر رشت، سرانه‌ی ردپای اکولوژیکی این شهر با مقایسه شهر بیرجند سرانه‌ی ردپای اکولوژیکی مصرف رشت بیشتر و ظرفیت برد این شهر از بیرجند کمتر است و در مطالعه‌ی، Moorو همکاران(۲۰۱۳)، در ارزیابی ردپای اکولوژیکی شهر ونکور، سرانه‌ی ردپای اکولوژیکی این شهر ۴/۷۵ هکتار جهانی می‌باشد. بیشترین درصد ردپای اکولوژیکی شهری مربوط به غذا است. در اکوسیستم شهری بیرجند بیشترین ردپا در بخش مصرف مربوط به بخش مسکن است و سرانه‌ی ردپای اکولوژیکی شهر بیرجند ۰/۵۶ هکتار جهانی است و کمتر از سرانه ردپای شهر ونکور است.

References

Arjmandnia, A., 2001. Ecology traces a new approach to assessing human impact on the environment. Urban Management Quarterly 6(2), 92-96. (In Persian)

Baabou, W., Grunewald, N., Ouellet, C., Gressot, M., Galli, A., 2017. The Ecological Footprint of Mediterranean cities: Awareness creation and policy implications. Environ Sci Policy 69, 94-104.

Borucke, M., Moore, D., Cranstonb, G., Graceya, K., Ihaa, K., Larsona, J., 2013. Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: The National Footprint Accounts' underlying methodology and framework. Ecological Indicators: Integrating Sciences for Monitoring. Assessment and Management, 518-533.

Budihardjo, S., Hadi, S., Sutikno, S., Purwanto, P., 2013. The Ecological Footprint Analysis for Assessing Carrying Capacity of Industrial Zone in Semarang. Human Resource and Sustainability Studies 1(2), 14-20.

Dai, F., Nan, L., Liu, G., 2010. Assessment of Regional Ecological Security Based on Ecological Footprint and Influential Factors Analysis: A Case Study of Chongqing Municipality China. *I*nternational Journal of Sustainable Development & World Ecology 17(5), 390-400.

Ewing, B., Reed, A., Galli, A., Kitzes, J., Wackernagel, M., 2010. Calculation Methodology for the National Footprint Accounts. Global Footprint Network 1-19.

Ferng, J., 2014. Nested Open Systems: An Important Concept for Applying Ecological Footprint Analysis to Sustainable Development Assessment. Ecological Economics 106, 105-111.

Friday poor, M., 2013. Environmental planning and urban and regional sustainability. Tehran Side Publications.

Fu, W., Turner, J., Zhao, J., Du, G., 2015. *Ecological Footprint* (EF): An Expanded Role in Calculating Resource Productivity (RP) Using China and the G20 Member Countries as Examples. Ecological Indicators 48, 464-471.

Fuso, F., Tomei, J., To, L.S., Bisaga, I., Parikh, P., Black, M., Borrion, A., Spataru, C., Castn an Broto, V., Anandarajah, G., Milligan, B., Mulugetta, Y., 2018. Mapping synergies and trade- offs between energy and the sustainable development goals. Nat Energy 3, 10-15.

Galli, A., Kitzes, J., Niccolucci, V., Wackernagel, M., Wada, Y., Marchettini, N., 2012. Assessing the Global Environmental Consequences of Economic Growth Through the Ecological Footprint: A Focus on China and India. Ecological Indicators 17, 99-107.

Galli, A., Mancini, M., Niccolucci, V., Lin, D., Bastianoni, S., Wackernagel, M., Marchettini, N., 2015. Ecological Footprint: Refining the Carbon Footprint Calculation. Ecological Indicators 6(12), 390-403.

Geng, Y., Liming Zhang, L., Chen, X., Xue, B., Fujita, T., Dong, H., 2014. Urban Ecological Footprint Analysis: A Comparative Study between Shenyang in China and Kawasaki in Japan. Cleaner Production 75, 130-142.

Holden, E., 2004. Ecological footprints and sustainable urban form. Journal of Housing and the Built Environment. 19(1), 91-109.

Hong, W., Yang, C., Chen, L., Zhang, F., Shen, S., Guo, R., 2017. Ecological control line: a decade of exploration and an innovative path of ecological land management for megacities in China. Environ Manag 191, 116-125.

Hosseinzadeh, M., 2005. Geomorphological capabilities of Birjand urban development. University of Tehran, Faculty of Geography, Department of Natural Geography. (In Persian)

Jumapour, M., Hatami Nejad, H., 2013. Investigating the sustainable development of Rasht city using ecological Japa method. Human Geography Research, 45(3), 191-208. (In Persian)

Kennedy, C., Pincet, S., Bunje, P., 2010. The Study of Urban Metabolism and its Applications to Urban Planning and Design. Environmental Pollution 159(8-9), 1965-1973.

Kundu, A., 2012. Globalization and Exclusionary Urban Growth in Asian Countries. In Urbanization and Development in Asia. Multidimensional Perspectives, edited by Beall, J., Guha Khasnobis, B., Kanbur, R. 336: 19-48.

Li, A., Tian, M., Wang, H., Wang, H., Yu, J., 2014. Development of an ecological security evaluation methodbased on the ecological footprint and applicationto a typical steppe region in Chin. Ecological Indicators 39(7), 153-159.

Liu, M., Zhang, D., Min, Q., Xie, G., Su, N., 2014. The Calculation of Productivity Factor for Ecological Footprints in China: A Methodological Note. Ecological Indicators 38, 124-129.

Lu, S., & Liu, Y., 2018. Evaluation system for the sustainable development of urban transportation and ecological environment based on SVM. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems 34, 831-838.

Mohammadi, N., 2015. Evaluation of range capacity and ecological security of Sanandaj city by ecological footprint method. Dr. Kamran Shayesteh. Master Thesis. Natural Resources and Environmental Engineering. Malir University. (In Persian)

Mohammadi, N., Shayesteh, K., Ildermi, A., Mel Hosseini Darani, K., 2017. Evaluation of range capacity and ecological security of Sanandaj city by ecological footprint method. Quarterly Journal of Geography and Environmental Sustainability 6, 67-79.

Moore, J., Kissinger, M., Rees, W.E., 2013. An Urban Metabolism and Ecological Footprint Assessment of Metro Vancouver. Environmental Management, 124(5), 51-61.

Radu, A. L., Scrieciu, M. A., Caracota, D., 2013. Carbon Footprint Analysis: Towards a Projects Evaluation Model for Promoting Sustainable Development. Procedia Economics and Finance 6, 353-363.

Rose, K., 2013. Adopting Industrial Organizational Psychology for Eco Sustainibility. The 4th International Conference on Sustainable Future for Human Security.

Scotti, M., 2010. Ecological Footprint as a tool for local sustainability: The municipality of Piacenza (Italy) as a case study.Environmental Impact Assessment Review 29.

Shayesteh, K., Ildermi, A.S., Mel Hosseini, K., 2012. Analysis of ecological footprint estimation methods at urban scale. Sixth National Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering, Tehran. (In Persian)

She, J.Y., Shen, J.M., Guo, X., Zhou, D.H., Li, J., 2011. Sustainable Development Assessment of Ecological Economic System for Nandu River Basin: Based on Ecological Footprint Analysis Method. Central South University of Forestry & Technology 31(12), 49-53.

Silva, J., Fernandes, V., Limont, M., Rauen, W. B., 2020. Sustainable development assessment from a capitals perspective: analytical structure and indicator selection criteria. Environmental Management 260, 11-147.

Swartz, W., Sala, E., Tracey, S., Watson, R., Pauly, D., 2010. The spatial expansion and ecological footprint of fisheries. PLoS ONE 5, 15-143

UNPD, 2018. World Urbanization Prospects 2018. Accessed date: 12 March 2019.

Wackernagel, M., Rees, W.E., Jin, W., 1997. Perceptual and Structural Barriers to Investing in Natural Capital: Economics from an Ecological Footprint Perspective. Ecological Economics, 20(1), 3-24.

Wei, J., Zeng, W., Wu, B., 2013. Dynamic Analysis of the Virtual Ecological Footprint for Sustainable Development of the Boao Special Planning Area. Sustainability Science 8(4), 595-605.

Wolf, K. L., Blahna, D. J., Brinkley, W., Romolini, M., 2013. Environmental stewardship footprint research: linking human agency and ecosystem health in the Puget Sound region. Urban Ecosyst 16, 13-32.

Wu, M., Wei, Y., Lam, P.T., Liu, F., Li, Y., 2019. Is urban development ecologically sustainable? Ecological footprint analysis and prediction based on a modified artificial neural network model: a case study of Tianjin in China. Journal of Cleaner Production 237, 117-795.

Yu, X., Sun, H., Wang, M., Klemeš, X., Xie, J.J., Wang, W., 2020. Sustainability evaluation based on the three-dimensional ecological footprint and human development index: a case study on the four island regions in China. Journal of Environmental Management 265, 110509.

Zhang, H., Cheng, J.H., Feng, Y., Chen, D., Ni, L., Sun, H., 2015. An evaluation index system for ecological civilization construction in megacities and its research applications: the case of Wuhan City. Acta Ecologica Sinica 35, 547-556.

Zhang, Y., 2005. The Change of Ecological Footprint and Its Effect on Sustainable Development in Beijing of China. Chinese Business Review 4(10), 1-13.