

جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۲۱، زمستان ۱۳۹۵  
صص. ۶۷-۷۹

## ارزیابی ظرفیت برد و امنیت اکولوژیکی شهر سنندج به روش ردپای بوم‌شناختی

نرگس محمدی - کارشناس ارشد محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران  
کامران شایسته\* - استادیار محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران  
علیرضا ایلدرمی - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران  
کبری مل حسینی دارانی - دانشجوی دکتری محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

وصول: ۱۳۹۵/۰۵/۲۷ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۱۹

### چکیده

امروزه حرکت به سمت پایداری در جوامع با سطوح مختلف مدیریت و تکنولوژی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. داشتن شهری پایدار و سالم، برنامه‌ریزان، تصمیم‌گیرندگان و متخصصین را واداشته است تا به دنبال یافتن شاخص‌هایی باشند که بتوان با استفاده از آنها ظرفیت جوامع شهری را به منظور سوق دادن آنها به سمت پایداری مورد بررسی قرار داد. شاخص ردپای بوم‌شناختی در زمینه ارزیابی جوامع شهری در سطح آموزشی و اجتماعی توجه زیادی را به خود جلب کرده است. در این پژوهش سعی بر آن شد تا با استفاده از شاخص ردپای بوم‌شناختی، ظرفیت برد شهر سنندج در سال ۱۳۹۳ مورد بررسی قرار گیرد. نتایج نشان داد که سرانه ردپای بوم‌شناختی این شهر، برای بخش‌های مسکن، حمل‌ونقل و غذا، ۱/۴۳ هکتار جهانی است که کمتر از سرانه ردپای ملی (۲/۷ هکتار جهانی) می‌باشد. بیشترین میزان ردپای بوم‌شناختی مربوط به بخش مسکن با ۳۷۱۹۲۳/۵ هکتار جهانی (سرانه ۰/۹۹) و کمترین میزان مربوط به ردپای بوم‌شناختی غذا با ۳۸۲/۹۱۷ هکتار جهانی (سرانه ۰/۰۱) است. ظرفیت زیستی برای شهر سنندج، ۰/۳۸ هکتار جهانی به دست آمد که نشان‌دهنده کمبود اکولوژیکی در این شهر است و شهر را به سمت ناپایداری پیش می‌برد؛ همچنین تلاش شد تا امنیت اکولوژیکی شهر با استفاده از شاخص‌های فشار تولید، فشار مصرف و شاخص توزیع ردپای بوم‌شناختی مورد بررسی قرار گیرد که در نهایت نتایج حاکی از آن است که به دلیل بیشتر بودن فشار تولید (۱۴/۹۶) نسبت به فشار مصرف (۳/۷۱)، شاخص توزیع ردپای بوم‌شناختی (۳/۰۳)، مثبت بوده و شهر سنندج را از نظر امنیت اکولوژیکی در دسته بسیار خطرناک قرار داده و آینده شهر نگران‌کننده است.

واژگان کلیدی: ردپای بوم‌شناختی، پایداری، ظرفیت زیستی، هکتار جهانی.

## مقدمه

فرایند شهری شدن با سرعت روزافزون در سراسر جهان، تبدیل به مسئله قابل توجهی شده است که در آن فرض می شود بوم‌سازگان‌های شهری می‌توانند فشارهای ناشی از فعالیت‌های انسانی را تحمل کنند و اثر توسعه اقتصادی - اجتماعی را حذف نمایند؛ بنابراین، ارزیابی ظرفیت برد بوم‌سازگان‌های شهری می‌تواند به عنوان قابلیت تعیین شود که می‌تواند تمایل به توسعه پایدار را از طریق مقایسه بین فشار و توانایی حمایت نشان دهد (خو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۸). این فشار، شامل فعالیت‌های انسانی، جمعیت، استفاده از سرزمین و توسعه فیزیکی است. ظرفیت برد شهری توانایی توسعه را پوشش می‌دهد و چارچوبی برای ادغام سیستم‌های فیزیکی، اقتصادی - اجتماعی و زیست‌محیطی، در برنامه‌ریزی برای محیط پایدار را تأمین می‌کند (برنات<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۹). شهرها اثرات خاصی بر بوم‌سازگان‌های طبیعی دارند و این اثرات، می‌توانند به صورت قابل مشاهده‌ای افزایش یابند؛ چراکه اندازه و تعداد شهرها در حال رشد است و اثرات منفی هم در حال افزایش هستند؛ بنابراین، این بحث وجود دارد که شهرها در حذف آلودگی‌ها و تأمین منابع دارای محدودیت هستند؛ به عبارت دیگر، باید ظرفیت برد بوم‌سازگان‌های شهری را برای حمایت از توسعه پایدار شهری در نظر گرفت (خو و همکاران، ۲۰۱۰).

در تجزیه و تحلیل متابولیسم‌های شهری با افزایش تقاضا، میزان استفاده از منابع، از توان تولید منابع پیشی گرفته (براون<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۱؛ ریس<sup>۴</sup>، ۲۰۱۲) و ناپایداری شهری و به دنبال آن ناامنی اکولوژیکی را به همراه دارد (لیو و چنگ<sup>۵</sup>، ۲۰۱۵)؛ لذا تصمیم‌گیرندگان سیاست‌های محیط‌زیستی (ناکاجیما و اورتگا<sup>۶</sup>، ۲۰۱۶)، در تضمین پایداری شهری، باید اثر متقابل فعالیت‌های مختلف بر محیط‌زیست و ظرفیت محیط‌زیست برای توسعه جوامع را در راستای توسعه پایدار از طریق مقایسه بین فشار تولید و مصرف (برنات<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۹؛ ووی<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۵؛ کالینز<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۰۶) و توانایی حمایت سرزمین، مشخص نمایند (میا<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۶؛ رینگاسمی<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۹؛ خو و همکاران، ۲۰۰۸). مطالعات نشان می‌دهد که تقاضای بشر، از حد توان کره زمین فراتر رفته است و به همین دلیل، توانایی آینده‌زیست‌کره برای فراهم کردن نیازهای بشریت در معرض خطر است (تام<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). این امر نتیجه بسیاری از فشارهای انسانی است و لازمه آن، ابزاری است که برای پیش‌بینی عواقب چنین فشارهایی بر بوم‌سازگان که بتوان به کمک آن با یک مدیریت دقیق، تعامل انسان با زیست‌کره را برای اطمینان از رفاه آینده بررسی کرد (بروک<sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۳).

روش‌های مختلفی برای بررسی ظرفیت برد و امنیت اکولوژیکی شهری وجود دارد که به چند مورد آن به

- 1- Xu
- 2- Bernadette
- 3- Browne
- 4- Rees
- 5- Liu & Chang
- 6- Nakajima & Ortega
- 7- Wei
- 8- Collins
- 9- Miao
- 10- Rengasamy
- 11- Tam
- 12- Boruckea

طور خلاصه اشاره می‌شود؛ فو و همکاران (۲۰۱۵)، ردپای منابع بیولوژیکی و کل منابع بیولوژیکی و انسان ساخت را در طی سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۱ در چین مورد بررسی قرار دادند که نتایج نشان داد ردپای بوم‌شناختی چین از ۲۰۵۶/۲ میلیون هکتار در ۱۹۹۷ به ۳۸۸۲/۷ میلیون هکتار در ۲۰۱۱ رسیده است؛ لی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۴)، ردپای بوم‌شناختی را در سه ناحیه استپی در چین در دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ بررسی کردند. در نهایت به این نتیجه رسیدند که ردپای تولید از میزان ۱/۶۵ هکتار جهانی در ۲۰۰۱ به ۳ هکتار جهانی در ۲۰۱۰ رسیده است. مور<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۳)، متابولیسم شهری و ردپای بوم‌شناختی شهر ونکوور را مورد بررسی قرار دادند و در نهایت اعلام کردند که ردپای کل شهر ونکوور برابر ۴/۷۵ است. در این پژوهش، با توجه به اطلاعات در دسترس و با در نظر گرفتن توان محیط طبیعی، فرهنگی و اجتماعی، و همین‌طور الگو و وسعت استفاده از سرزمین، از مدل ردپای بوم‌شناختی برای ارزیابی ظرفیت برد شهر سنندج و بررسی امنیت اکولوژیکی و ظرفیت زیستی این شهر استفاده شد (بروکه<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۳؛ سارما<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۲؛ گریمر<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۰؛ شی<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۳؛ لی و همکاران، ۲۰۱۴؛ سان<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۲؛ خو و همکاران، ۲۰۱۰). ظرفیت زیستی و ردپای بوم‌شناختی، هر دو پارامترهای تعیین کمیّت سالانه عرضه و تقاضا برای خدمات کلیدی بوم‌سازگان‌ها هستند (سنبل<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۰۳). در تعریف ظرفیت زیستی می‌توان گفت: ظرفیت زیستی، معیاری از تولید بیولوژیکی زمین و نواحی دریایی در دسترس، برای تأمین خدمات بوم‌سازگان، بر اساس موجودیت اکولوژیکی مصرف انسانی یا ظرفیت احیای طبیعت است (بروکه و همکاران، ۲۰۱۳).

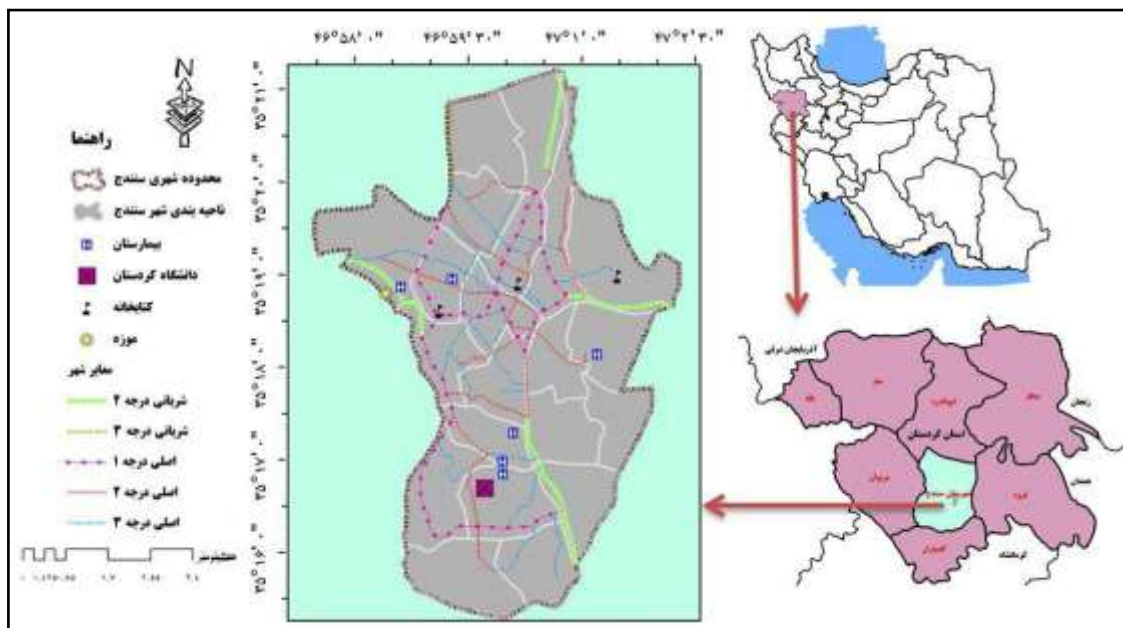
### معرفی منطقه مورد بررسی

شهر سنندج، مرکز استان کردستان در ارتفاعات غربی ایران (شکل ۱) و در منطقه کوهستانی رشته‌کوه زاگرس قرار گرفته است. متوسط ارتفاع شهر سنندج از سطح دریا ۱۵۳۵ متر و در پست‌ترین نقطه ۶۰۰ است. این شهر، با جمعیت ۳۷۵۲۸۰ نفر در موقعیت جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. در بین سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۲ شهر سنندج ۳۰٪ از سهم مهاجران وارد شده به استان را دارا بوده است. این شهر، در حال حاضر نقش منطقه‌ای محدود در زمینه صنعت و نقش غالبی در زمینه ارائه خدمات در سطوح مختلف اقتصادی و اجتماعی در سطح ناحیه‌ای و منطقه‌ای دارد.

### مواد و روش‌ها

این مطالعه نوعی پژوهش نظری - کاربردی است، جمع‌آوری اطلاعات در چند مرحله انجام شد. داده‌های این روش از طریق اسنادی و میدانی گردآوری شده است. در روش اسنادی، داده‌های مورد نیاز با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای، فیش‌برداری، مراجعه به تارنماهای اینترنتی، پایگاه‌های علمی و همچنین سازمان‌های

- 1- Li
- 2- Moore
- 3- Boruck
- 4- Sarma
- 5- Graymore
- 6- Shi
- 7- Sun
- 8- Senbel



شکل ۱. موقعیت شهر سنندج

مربوطه جمع‌آوری گردید و بخشی از داده‌ها که امکان جمع‌آوری آنها با روش اسنادی امکان‌پذیر نبود، از طریق پخش ۴۰۰ پرسشنامه تدوین‌شده پژوهشگر به دست آمد. جامعه آماری مورد نظر، شهروندان سنندجی بودند و حجم نمونه بر اساس فرمول کوکران تعیین شد. نمونه‌ها به روش نمونه‌گیری تصادفی ساده انتخاب و توزیع شد. در مرحله تجزیه و تحلیل داده‌ها، اطلاعات حاصل از پرسشنامه در محیط نرم‌افزار اسپ‌اس‌اس<sup>۱</sup> و اکسل<sup>۲</sup>، تجزیه و تحلیل و نتایج حاصل گردید.

در مرحله بعد، با استفاده از شاخص‌های ردپای بوم‌شناختی مصرف، ردپای حمل‌ونقل، ردپای غذا، ردپای بوم‌شناختی تولید، ظرفیت زیستی، کمبود اکولوژیکی و امنیت اکولوژیکی، ظرفیت برد و امنیت اکولوژیکی شهر سنندج با استفاده از روش ردپای بوم‌شناختی مورد بررسی و محاسبه قرار گرفت (اوینگ<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۰). در این پژوهش، با محاسبه ردپای بوم‌شناختی شهر سنندج در چند بخش مسکن، حمل‌ونقل و غذا، ردپای بوم‌شناختی 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 (شی و همکاران، ۲۰۱۱؛ فرنگ<sup>۴</sup>، ۲۰۱۴؛ واکرناگل<sup>۵</sup> و همکاران، ۱۹۹۷؛ رادو<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۳). جهت برآورد ردپای ردپای بخش مسکن از پارامترهای مناطق ساخته‌شده، انرژی برق، آب و انرژی گاز استفاده شده است که روش محاسبه هر یک در جدول ۱ نشان داده شده است.

جهت برآورد ردپای بخش حمل‌ونقل از دو بخش محاسبه ردپای سوخت‌های مصرفی در بخش حمل‌ونقل و ردپای مربوط به زمین‌های استفاده‌شده در این بخش صورت گرفت که روش محاسبه هر یک در جدول ۲ آورده شده است.

- 1- SPSS
- 2- EXCEL
- 3- Ewing
- 4- Ferng
- 5- Wackernagel
- 6- Radu

جدول ۱. ردپای بخش مسکن

فرمول مورد استفاده برای محاسبه	پارامتر مورد بررسی	ردپای بخش مسکن
$EF_H = A \times EQF$	مناطق ساخته شده (گنگ <sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۴؛ شایسته و همکاران، ۲۰۱۵)	
$EF = EQF \div \left( \frac{3/996 \text{ tons } CO_2}{\text{ha/year}} \right)$ هکتار سالانه = مصرف شده برق	انرژی برق (شایسته و همکاران، ۲۰۱۵)	
$EF_W = EQF^* \times \text{هکتار سالانه}$ میزان آب مصرفی (برحسب میلیون لیتر) $\times (0.08 \text{ ha}) =$ هکتار سالانه مصرف	آب (ویسی، ۱۳۹۳؛ گزمین <sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۳).	
$EF_g = EQF \div \left( \frac{3/996 \text{ tons } CO_2}{\text{ha/year}} \right)$ هکتار سالانه = مصرف شده گاز	انرژی گاز (شایسته و همکاران، ۲۰۱۵)	
$EF_g = EQF \times \text{هکتار سالانه}$		
* فاکتور معادل (فاکتور معادل برای زمین‌های ساخته شده، برابر فاکتور معادل زمین‌های کشاورزی و برای آب، گاز و برق برابر با فاکتور معادل زمین‌های جنگلی است).		

جدول ۲. ردپای بخش حمل‌ونقل

فرمول مورد استفاده برای محاسبه	پارامتر مورد بررسی	ردپای بخش حمل‌ونقل (مور و همکاران، ۲۰۱۳؛ شایسته و همکاران، ۲۰۱۴)
$EF_f = EQF^* \times \text{هکتار سالانه}$ هکتار سالانه = $\left( \frac{3/996 \text{ tons } CO_2}{\text{ha/year}} \right) \div \text{tons } CO_2$	سوخت‌های مصرفی	
$EF_H = A \times EQF$	زمین‌های استفاده شده	
• فاکتور معادل (برای سوخت، برابر با فاکتور معادل زمین‌های جنگلی است).		

برای محاسبه ردپای بوم‌شناختی در بخش غذا نیز با استفاده از مقادیر مربوط به کالاهای مصرفی موجود در سبد غذایی خانوارهای سنندجی (پخش پرسشنامه در سطح شهر سنندج) و اطلاعات مربوط به زمین‌های قابل کشت و میزان محصولات تولیدی آنها (اداره جهاد کشاورزی شهرستان سنندج) و تحلیل این اطلاعات در فضای اکسل، ردپای بوم‌شناختی مربوط به این بخش محاسبه گردید (شایسته و همکاران، ۲۰۱۵؛ کندی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۰). در نهایت،  $EF_C$  از مجموع ردپاهای محاسبه شده بالا به ازای جمعیت ساکن در شهر سنندج به دست آمد (جنگ و همکاران، ۲۰۱۴). جهت برآورد ردپای بوم‌شناختی تولید اولیه منطقه نیز از مجموع ردپاها برای همه منابع برداشت شده و تمام زباله‌های تولید شده در داخل مرز جغرافیایی منطقه (رابطه ۱) استفاده شده است (بروک و همکاران، ۲۰۱۳؛ فو<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۵).

$$EF_p = \frac{P}{Y_N} \times YF \times EQF \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه،  $EF_p$  ردپای تولید،  $F$  مقدار محصول استخراج شده یا مقدار زباله تولید شده،  $Y_N$  عملکرد متوسط ملی برای تولید محصول یا تولید زباله،  $YF$  فاکتور عملکرد و  $EQF$  فاکتور معادل است. همچنین برای محاسبه ظرفیت زیستی<sup>۵</sup> که معیاری از تولید بیولوژیکی زمین و نواحی دریایی در دسترس،

- 1- Geng
- 2- Guzman
- 3- Kennedy
- 4- Fu
- 5- Biological capacity (BC)

برای تأمین خدمات بوم‌سازگان، بر اساس موجودیت اکولوژیکی مصرف انسانی یا ظرفیت احیای طبیعت است (بروکه و همکاران، ۲۰۱۳؛ جمعه‌پور و حاتمی‌نژاد، ۱۳۹۲؛ ویسی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۳؛ گالی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۲؛ گالی و همکاران، ۲۰۱۵) از رابطه ۲ استفاده گردید.

$$BC = A \times YF \times EQF \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه، BC، ظرفیت زیستی؛ A، مساحت؛ YF، فاکتور عملکرد و EQF، فاکتور معادل است. برای بررسی کمبود اکولوژیکی منطقه نیز که شامل تفاوت بین ظرفیت زیستی و ردپای بوم‌شناختی است و بررسی می‌کند که آیا فعالیت‌های موجود در منطقه در حد ظرفیت بردباری منطقه است (جنگ و همکاران، ۲۰۱۴؛ بودیهاردو<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۳) از رابطه ۳ استفاده شده است.

$$Ed = BC - EF \quad \text{رابطه ۳}$$

در نهایت برای ارزیابی امنیت اکولوژیکی، از دو شاخص مجموع تقاضای انسانی (ردپای بوم‌شناختی) و عرضه طبیعت (ظرفیت زیستی) که می‌توانند به طور مستقیم با هم مقایسه شوند، با محاسبه فشار اکولوژیکی وارده بر منطقه از لحاظ تولید و مصرف بر اساس روابط جدول ۳ امنیت اکولوژیکی منطقه مورد بررسی قرار گرفت (لیو<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۴؛ دای<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۴).

همچنین برای تشریح امنیت اکولوژیکی در منطقه مورد مطالعه، پارامتر T تعریف شده می‌تواند نشان‌دهنده ارزش پارامتر غالب (تولید یا مصرف) در منطقه مورد مطالعه باشد و جدول ۴ نشان می‌دهد که امنیت اکولوژیکی منطقه تحت تأثیر کدام شاخص است (لی و همکاران، ۲۰۱۴؛ مانفردا<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۴؛ هودسون و ماروین<sup>۷</sup>، ۲۰۰۹).

## نتایج

با توجه به فرمول‌های معرفی شده، ردپای بوم‌شناختی و امنیت اکولوژیکی شهر سنندج در سال ۱۳۹۳ مورد محاسبه و بررسی قرار گرفت که نتایج به دست آمده به تفکیک ردپای مصرف، امنیت اکولوژیکی، کمبود اکولوژیکی، ردپای تولید و ظرفیت زیستی نشان داده شده است. در بررسی ردپای مصرف، بخش‌های مسکن، حمل‌ونقل و غذا مورد بررسی قرار گرفت که نتایج هر یک در جدول ۵ بیان شده است.

جدول ۳. محاسبه امنیت اکولوژیکی

فرمول مورد استفاده برای محاسبه	پارامتر مورد بررسی	امنیت اکولوژیکی
$PFPI = \frac{EF_p}{BC}$	شاخص فشار تولید (لی و همکاران، ۲۰۱۴)	
$CFPI = \frac{EF_c}{BC}$	شاخص فشار مصرف (دای <sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۰)	
$EFCI = \frac{EF_p - EF_c}{EF_c}$	شاخص توزیع ردپای بوم‌شناختی (لی و همکاران، ۲۰۱۴؛ دای و همکاران، ۲۰۱۰)	

- 1- Wei
- 2- Galli
- 3- Budihardjo
- 4- Liu
- 5- Dai
- 6- Monfreda
- 7- Hodson & Marvin

جدول ۴. بررسی امنیت اکولوژیکی

رابطه	شاخص	وضع امنیت اکولوژیکی	تفسیر
EFPI ≥ 0 (EFP ≥ EFC)	T=PFPI	PFPI > CFPI > 1	بسیار خطرناک
		1 ≥ PFPI > CFPI	T < 0.5 بسیار ایمن 0.5 ≤ T < 0.8 ایمن 0.8 ≤ T ≤ 1 نسبتاً ایمن
		PFPI > 1, CFPI < 1	خطرناک
EFPI < 0 (EFP < EFC)	T=CFPI	CFPI > PFPI > 1	بسیار خطرناک
		1 ≥ FPI > PFPI	T < 0.5 بسیار ایمن 0.5 ≤ T < 0.8 ایمن 0.8 ≤ T ≤ 1 نسبتاً ایمن
		CFPI > 1, PFPI < 1	خطرناک

جدول ۵. میزان ردپای بوم‌شناختی مصرف شهر سنندج در بخش مسکن، حمل‌ونقل و غذا

مقدار (هکتار جهانی)	بخش	نوع ردپا
۱۸۸۱/۶۳	زمین‌های ساخته‌شده	مسکن
۵۵۱۳۱/۲۴	الکتروسیته	
۳۴۶۵/۹۸	آب	
۳۱۱۴۴/۶۵	گاز	
<b>۳۷۱۹۲۳/۵</b>	<b>میزان کل</b>	
۱۶۳۸۸۴/۴۵	انرژی مصرف‌شده	حمل‌ونقل
۱۹۰۸/۳۰	زمین‌های به کاررفته	
<b>۱۶۵۷۹۲/۷۵</b>	<b>میزان کل</b>	
۴۰/۴۶	برنج	غذا
۳/۹۴	پیاز	
۸۲/۱۶	حبوبات	
۱۸/۹۱	میوه و سبزی	
۸/۹	سیب‌زمینی	
۱۶/۱۵	شیر	
۱۲۲/۱۱	گندم	
۴۲/۸۲	گوشت قرمز	
۵/۴۸	ماهی	
۴۰/۵۴	مرغ	
۱/۸۰	تخم‌مرغ	
<b>۳۸۲/۹۱۷</b>	<b>مجموع</b>	
<b>۵۳۸۰۹۹/۱۶</b>		<b>جمع کل</b>
<b>۱/۴۳</b>		<b>سرانه ردپا</b>

بر اساس نتایج، میزان ردپای مصرف در بخش مسکن دارای بیشترین مقدار بوده و کمترین میزان مربوط به ردپای غذا با مقدار ۳۸۲/۹۱۷ هکتار جهانی است؛ همچنین نتایج مربوط به محاسبه ردپای تولید نشان داد که از جمع‌آوری داده‌های مربوط به میزان تولید و عملکرد زمین‌های مولد ۱۶ ماده غذایی در سنندج تولید می‌شود که شامل میوه‌ها، گوشت، سیفی جات، شیر و لبنیات، تخم‌مرغ و گندم است، ردپای مربوط به این بخش برابر با ۲۱۷۰۷۲۷/۲۱ هکتار جهانی به دست آمده است. در بررسی ظرفیت زیستی شهر سنندج بر اساس زمین‌های مولد و میزان عملکرد این زمین‌ها، مقادیر ظرفیت زیستی در هر نوع از زمین‌های مولد از جمله جنگل، زمین‌های کشاورزی، مرتع، مناطق ساخته‌شده و زمین‌های ماهیگیری به دست آمد (جدول ۶). 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 محاسبه‌شده و ظرفیت زیستی به دست آمده برای سنندج، کمبود اکولوژیکی این شهر برابر با ۳۹۳۰۸۳/۲۱ هکتار جهانی محاسبه گردید. جهت بررسی امنیت اکولوژیکی شهر سنندج نیز با در نظر گرفتن ردپاهای مصرف و ردپای تولید و ظرفیت زیستی، فاکتورهای فشار مصرف، فشار تولید، شاخص توزیع ردپای اکولوژیکی محاسبه گردید که میزان هر کدام در جدول ۷ نشان داده شده است؛ همچنین در جدول ۸ سرانه ردپای مصرف - ظرفیت زیستی - کمبود اکولوژیکی در شهر سنندج به دست آمده است که نسبت به سرانه آن در ایران جهت مقایسه نشان داده شده است.

### بحث

در بخش مسکن، ردپای گاز با ۳۱۱۴۴۴/۶۵ هکتار جهانی (سرانه ۰/۸۲) بیشترین میزان را دارا بوده و بخش مناطق ساخته شده با ۱۸۸۱/۶۳ هکتار جهانی (سرانه ۰/۰۰۵) کمترین میزان ردپا را شامل می‌شود. در شهر سنندج، مقدار زمینی که برای سکونت استفاده می‌شود بسیار کمتر از مقدار زمینی است که برای تأمین انرژی‌های مورد نیاز در هر مسکن به کار می‌رود؛ لذا می‌توان بیان کرد که مهم‌ترین عامل مصرف و پارامتر تقاضا در این شهر، انرژی است. در بخش ردپای بوم‌شناختی نیز، سوخت‌های مصرفی با میزان ۱۶۳۸۸۴/۴۵ هکتار جهانی بیشتر از زمین‌های مورد استفاده این بخش است. در بررسی ردپای بوم‌شناختی غذا مشخص شد که گندم با ۱۲۲/۱۱ هکتار جهانی بیشترین میزان ردپا و تخم‌مرغ با ۱/۸۰ هکتار جهانی، کمترین میزان ردپا در سبد غذایی شهروندان شهر سنندج را دارا هستند. ردپای بالای گندم، تولید و مصرف بیشتر گندم و به‌دنبال آن بهره‌برداری بیشتر از زمین‌های کشاورزی را به همراه دارد.

جدول ۶. ظرفیت زیستی زمین‌های مولد سنندج

نوع زمین	جنگل	کشاورزی	مرتع	مناطق ساخته‌شده	زمینه‌های ماهیگیری	جمع کل
ظرفیت زیستی (gha)	۶۸/۷۹	۱۳۵۹۷۲/۳۷	۸۸۳/۲	۸۰۹۱/۹	۰/۶۹	۱۴۵۰۱۵/۹۵

جدول ۷. میزان شاخص‌های امنیت اکولوژیکی

نوع شاخص	فشار مصرف	فشار تولید	توزیع ردپای بوم‌شناختی
میزان شاخص	۳/۷۱	۱۴/۹۶	۳/۰۳

جدول ۸. سرانه ردپای مصرف - ظرفیت زیستی - کمبود اکولوژیکی در شهر سنندج در مقایسه با کل کشور

پارامترها	ردپای مصرف (EF <sub>C</sub> )	ظرفیت زیستی (BC)	کمبود اکولوژیکی (Ed)
سنندج سرانه (gha)	۱/۴۳	۰/۳۸	۱/۰۴
ایران سرانه (gha)	۲/۷	۰/۸	۱/۹



بر اساس مقایسه سرانه ردپای بوم‌شناختی مصرف شهروندان سنندج، ۱/۴۳ هکتار جهانی بیان شده است که در مقایسه با ردپای بوم‌شناختی ایران که برابر با ۲/۷ هکتار جهانی است، این میزان کمتر است که در چنین مقایسه‌ای، این وضع ایده‌آل و مطلوب به نظر می‌رسد. مقایسه ردپای مصرف شهر سنندج با ظرفیت زیستی ایران (۰/۸ هکتار جهانی) و ظرفیت زیستی محاسبه‌شده برای سنندج (۰/۳۸ هکتار جهانی) نشان می‌دهد که وضع آن نگران‌کننده است. ردپای بوم‌شناختی در سه بخش غذا، حمل‌ونقل و مسکن برآورد شد، در حالی که ظرفیت زیستی، میزان زمین در دسترس برای تأمین همه نیازهای مصرفی شهروندان است. از بررسی اختلاف بین ظرفیت زیستی و ردپای بوم‌شناختی شهر سنندج، عددی برابر با ۳۹۳۰۸۳/۲۱- هکتار جهانی به دست آمد. منفی بودن این عدد، نشانگر کمبودی است که زمین‌های مولد در مقابل تقاضای شهروندان دارند و این کمبود اکولوژیکی هشدار برای تغییر نگرش درباره میزان، نوع و مدیریت مصرف است. اگرچه سرانه کمبود اکولوژیکی در ایران ۱/۹ و در سنندج ۱/۰۴ هکتار جهانی است و کمتر بودن این کمبود را در سطح شهر سنندج نسبت به کشور نشان می‌دهد؛ اما باید این را لحاظ کرد که ظرفیت زیستی شهر سنندج حدود نصف ظرفیت زیستی کشور بوده و همین میزان کمبود اکولوژیکی برای توان تولیدی این شهر هشداردهنده است. نکته حائز اهمیت آنست که در بررسی ظرفیت زیستی شهر سنندج وجود دارد این است که ظرفیت زیستی این شهر از ردپای تولید آن که برابر با ۲۱۷۰۷۲۷/۲۱ هکتار جهانی است، کمتر بوده و این تفاوت در توان تولید با میزان تولید بیانگر واردآمدن فشار به محیط است و باید این را نیز در نظر داشت که ردپای تولید برای تمامی محصولات تولیدی محاسبه نشده است و فقط ۱۶ محصول مورد بررسی قرار گرفته است؛ با این وجود، ردپای تولید همین مقدار محصولات هم بسیار بیشتر از ظرفیت زیستی شهر است. با مقایسه پژوهش انجام‌شده با سایر کارهای مشابه می‌توان وضعیت پایداری شهر سنندج را مورد بررسی قرار داد. شایسته و همکاران (۲۰۱۵)، ردپای بوم‌شناختی شهر اصفهان را با سرانه ۳/۹ هکتار جهانی اعلام کرده‌اند. فو و همکاران (۲۰۱۵)، ردپای منابع بیولوژیکی و ردپای کل منابع بیولوژیکی و انسان ساخت را در طی سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۱ در چین مورد بررسی قرار دادند که نتایج نشان داد ردپای بوم‌شناختی چین از ۲۰۵۶/۲ میلیون هکتار در ۱۹۹۷ به ۳۸۸۲/۷ میلیون هکتار در ۲۰۱۱ رسیده است؛ لی و همکاران (۲۰۱۴)، ردپای بوم‌شناختی را در ۳ ناحیه استپی در چین در دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ بررسی کردند که در نهایت به این نتیجه رسیدند که ردپای تولید از میزان ۱/۶۵ هکتار جهانی در ۲۰۰۱ به ۳ هکتار جهانی در ۲۰۱۰ رسیده است. مور و همکاران (۲۰۱۳)، متابولیسم شهری و ردپای بوم‌شناختی شهر ونکوور را مورد بررسی قرار دادند و اعلام کردند که ردپای کل شهر ونکوور برابر ۴/۷۵ است که در مقایسه شاهد هستیم که ردپای بوم‌شناختی شهر سنندج (۱/۴۳ هکتار جهانی) کمتر از میزان ردپای بوم‌شناختی شهرهای اصفهان، ونکوور و چین است که دلیل این امر را باید در شاخص کمتر توسعه‌یافتگی شهر سنندج و میزان مصرف کمتر از منابع زیستی در این شهر نسبت به شهرهای مورد مقایسه دانست؛ چراکه در شهر سنندج، اگرچه ظرفیت زیستی کمتر از ردپای بوم‌شناختی است اما با این حال، میزان بهره‌برداری از زمین‌های مولد زیستی کمتر از شهری مانند اصفهان است و همین امر سبب شده تا ردپای بوم‌شناختی سنندج، از میزان ردپای ایران (۲/۷ هکتار جهانی) کمتر باشد.

باید در نظر داشت که صنعت، خود عاملی بر بالا رفتن میزان مصرف است که نبود صنایع بزرگ و مختلف در شهر سنندج خود سبب شده ردپای این شهر کمتر از شهرهای مقایسه‌شده باشد که در آنها صنعت عامل

اصلی توسعه است. در ارتباط با امنیت اکولوژیکی از آنجا که در ایران بحث امنیت اکولوژیکی برای شهرهای کشور هنوز مورد بررسی قرار نگرفته است، امکان مقایسه وجود ندارد. در مقایسه با امنیت اکولوژیکی چین (لی و همکاران، ۲۰۱۴) شاخص فشار تولید ۴/۵۷، شاخص فشار مصرف ۵ و شاخص توزیع ردپای بوم‌شناسی ۰/۵ بیان شده است که مثبت بودن این اعداد، نشان از وضعیت بسیار خطرناک امنیت اکولوژیکی این ناحیه دارد. با مقایسه درمی‌یابیم که شهر سنندج با توجه به مثبت بودن شاخص‌های فشار تولید (۱۴/۹۶)، فشار مصرف (۳/۷۱) و شاخص توزیع ردپای بوم‌شناختی (۳/۰۳)، مانند ناحیه مورد بررسی در چین در وضعیت بسیار خطرناک قرار دارد.

با توجه به اختلاف بین ظرفیت زیستی و ردپای مصرف و نیز بارز بودن کمبود اکولوژیکی که وجود دارد، می‌توانیم به صراحت اعلام کنیم که شهر سنندج با در نظر گرفتن جمعیت کنونی آن و روند رو به رشد توسعه و تقاضا در آن، در ناپایداری به سر برده و نیازمند توجهی بیش از پیش در بحث میزان مصرف و کنترل عرضه و تقاضا است. در بخشی از این پژوهش، سعی بر آن شد تا امنیت اکولوژیکی شهر سنندج با استفاده از فاکتورهای فشار تولید، فشار مصرف و شاخص توزیع ردپای بوم‌شناختی مورد بررسی قرار گیرد. نتایج نشان داد که شاخص فشار تولید ۱۴/۹۶ و شاخص فشار مصرف ۳/۷۱ است که هر دو از یک بزرگتر هستند. اگر شاخص فشار مصرف از یک بزرگتر باشد؛ ردپای مصرف بزرگتر از ظرفیت زیستی است و نشان می‌دهد منطقه در وضعیت امنیت اکولوژیکی بسیار خطرناک به سر می‌برد و در نتیجه، کمبود اکولوژیکی فقط می‌تواند به وسیله وارد کردن منابع از بیرون یا به وسیله استفاده بیش از حد از منابع محلی، جبران شود.

### نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که ردپای تولید در شهر سنندج بیشتر از ردپای مصرف است که فرارفت اکولوژیکی را به همراه دارد. فشار تولید بالا ناشی از بهره‌کشی از زمین‌های مولد، مصرف زیاد یا صادرات بیش از حد محصولات و منابع طبیعی است. شاخص توزیع ردپای بوم‌شناختی مثبت، بیانگر این است که منطقه مورد مطالعه به عنوان ناحیه صادرات تعریف می‌شود و امنیت اکولوژیکی محلی تحت تأثیر تولیدات داخلی و خارجی و مصرف است. زمانی که  $T = PFPI$  باشد و فشار تولید از فشار مصرف بزرگتر بوده و هر دو بزرگتر از یک باشند؛ وضعیت امنیت اکولوژیکی منطقه مورد مطالعه بسیار خطرناک تلقی می‌شود؛ بر این اساس، مشخص شد که شهر سنندج با توجه به فشار وارده ناشی از تولید، از نظر امنیت اکولوژیکی در وضع بسیار خطرناکی قرار دارد و چون هر دو ردپای تولید و ردپای مصرف، بیشتر از ظرفیت زیستی شهر هستند؛ می‌توان گفت: علاوه بر فشار اکولوژیکی داخلی ناشی از مصرف، فشار اکولوژیکی خارج از منطقه (برای تأمین صادرات) هم وارد می‌شود که سبب می‌شود زمین‌های مولد علاوه بر اینکه نیاز داخلی را تأمین می‌کنند به تولید مازاد بر توان خود برای صادرات هم پردازند که موجب افزایش تهدید بر امنیت اکولوژیکی شهر می‌شود. در این حالت، برای نظارت و مدیریت بر امنیت اکولوژیکی شهر، بر اساس شاخص‌های فشار تولید و فشار مصرف تصمیم‌گیری می‌شود و این دو شاخص، تعیین‌کننده وضع مطلوب خواهند بود. انتخاب روش ردپای بوم‌شناختی، برای ارزیابی ظرفیت برد شهر سنندج، به خوبی نشان داد که ظرفیت و توان اکولوژیکی زمین‌های این شهر کمتر از میزان تقاضایی است که از این زمین‌ها دارند و این عدم همپایی و تعادل بین این دو، باعث به وجود آمدن شهری ناپایدار شده است. این در حالی است که هر روز بر میزان جمعیت و به تبع آن میزان تقاضا، افزوده می‌شود و این خود مشکلات بیشتری را به بار می‌آورد. این وضعیت ناپایدار، باعث به

خطر انداختن امنیت اکولوژیکی شهر می‌شود و آینده آن را نامطمئن می‌سازد.

### منابع

- جمعه پور، محمود؛ حاتمی‌نژاد، حسین (۱۳۹۲) بررسی وضعیت توسعه پایدار شهرستان رشت با استفاده از روش چاپی اکولوژیکی، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، ۴۵ (۳)، صص. ۲۰۸-۱۹۱.
- ویسی، زهرا (۱۳۹۳) برآورد ردپای بوم‌شناختی منطقه تاریخی بیستون کرمانشاه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: کامران شایسته، دانشگاه ملایر.
- Bernadette, O. R., John, M., Walter, F. (2009) The Relationship between Settlement Population Size and Sustainable Development Measured by Two Sustainability Metrics, **Environmental Impact Assessment Review**, 29 (3), pp. 169-178.
- Boruckea, M., Mooreb, D., Cranston, G., Graceya, K., Ihaa, K., Larsona, J., Lazarusa, E., Moralesa, J., Wackernagela, M., Galli, A. (2013) Accounting for Demand and Supply of the Biosphere's Regenerative Capacity, The National Footprint Accounts' Underlying Methodology and Framework, **Ecological Indicators**, 24, pp. 518-533.
- Browne, D., O'Regan, B., Moles, R. (2011) Material Flow Accounting in an Irish City-Region 1992-2002, **Cleaner Production**, 19 (9-10), pp. 967-976.
- Budihardjo, S., Hadi, S., Sutikno, S., Purwanto Purwanto, P. (2013) The Ecological Footprint Analysis for Assessing Carrying Capacity of Industrial Zone in Semarang, **Human Resource and Sustainability Studies**, 1 (2), pp. 14-20.
- Collins, A., Flynn, A., Wiedmann, T., Barrett, J. (2006) The Environmental Impacts of Consumption at a Subnational Level, **Journal of Industrial Ecology**, 10 (3), pp. 9-24.
- Dai, F. Q., Nan, L., Liu, G. C. (2010) Assessment of Regional Ecological Security Based on Ecological Footprint and Influential Factors Analysis: A Case Study of Chongqing Municipality, China, **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, 17 (5), pp. 390-400.
- Ewing, B., Reed, A., Galli, A., Kitzes, J., Wackernagel, M. (2010) Calculation Methodology for the National Footprint Accounts, **Global Footprint Network**, pp. 1-19.
- Ferng, J. J. (2014) Nested Open Systems: An Important Concept for Applying Ecological Footprint Analysis to Sustainable Development Assessment, **Ecological Economics**, 106, pp. 105-111.
- 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, pp. 464-471.
- 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, pp. 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), pp. 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, pp. 130-142.
- Graymore, M. L. M., Sipe, N. G., Rickson, R. E. (2010) Sustaining Human Carrying Capacity: A Tool for Regional Sustainability Assessment, **Ecological Economics**, 69 (3), pp. 459-468.
- Guzman, J., Marrero, M., Arellano, A. (2013) Methodology for Determining the Ecological Footprint of the Construction of Residential Buildings in Andalusia (Spain), **Ecological Indicators**, 25, pp. 239-249.
- Hodson, M., Marvin, S. (2009) Urban Ecological Security: A New Urban Paradigm?,

- International Journal of Urban and Regional Research**, 33 (1), pp. 193-215.
- 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), pp. 1965-1973.
- Li, A., Tian, M., Wang, H., Wang, H., Yu, J. (2014) Development of an Ecological Security Evaluation Method Based on the Ecological Footprint and Application to a Typical Steppe Region in Chin, **Ecological Indicators**, 39 (7), pp. 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, pp. 124-129.
- Liu, D., Chang, Q. (2015) Ecological Security Research Progress in China, **Acta Ecologica Sinica**, 35 (5), pp. 111-121.
- Miao, C. L., Sun, L. y., Li, Y. (2016) The Studies of Ecological Environmental Quality Assessment in Anhui Province Based on Ecological Footprint, **Ecological Indicators**, 60, pp. 879-883.
- Monfreda, C., Wackernagel, M., Deumling, D. (2004) Establishing National Natural Capital Accounts Based on Detailed Ecological Footprint and Biological Capacity Assessments, **Land Use Policy**, 21, pp. 231-246.
- Moore, J., Kissinger, M., Rees, W. E. (2013) An Urban Metabolism and Ecological Footprint Assessment of Metro Vancouver, **Environmental Management**, 124 (5), pp. 51-61.
- Nakajima, E. S., Ortega, E. (2016) Carrying Capacity Using Emergy and a New Calculation of Theecological Footprint, **Ecological Indicators**, 60, pp. 1200-1207.
- Radu, A. L., Scriciu, M. A., Caracota, D. (2013) Carbon Footprint Analysis: Towards a Projects Evaluation Model for Promoting Sustainable Development, **Procedia Economics and Finance**, 6, pp. 353-363.
- Rees, W. E. (2012) Cities as Dissipative Structure: Global Change and the Vulnerability of Urban Civilization, **Sustainability Science**, the Emerging Paradigm and the Urban Environment, pp. 247-273.
- Rengasamy, S. (2009) Understanding Urbanization and Urban Community Development, **Environment and Urban Systems**, 31, pp. 24-37.
- Sarma, A. K., Borthwick, L., Moralesa, J. (2012) Urban Carrying Capacity: Concept and Calculation, **Department of Civil Engineering**, IIT Guwahati, Guwahati, Assam, India. pp. 3-23.
- Senbel, M., McDaniels, T., Dowlatabadi, H. (2003) The Ecological Footprint: A Non-Monetary Metric of Human Consumption Applied to North America, **Global Environment Change**, 13 (2), pp. 83-100.
- Shayesteh, K., Melhosseini Darani, K., Ildoromi, A. (2015) Ecological Impact Assessment of the Citizens of Isfahan's Life Using the Ecological Footprint Index, **International Journal of Advanced Life Sciences**, 8 (4), pp. 430-438.
- Shayesteh, K., Melhosseini Darani, K., Ildoromi, A. (2014) Estimating the Ecological Footprint of Transportation in the City of Isphahan (Iran), **Current World Environment**, 9 (3), pp. 760-767.
- 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), pp. 49-53.
- Shi, Y., Wang, H., Yin, C. (2013) Evaluation Method of Urban Land Population Carrying Capacity Based on GIS, a Case of Shanghai, China, Computers, **Environment and Urban Systems**, 39, pp. 27-38.
- Sun, Y., Chen, M., Zhao, W. (2012) Evaluating Beijing Human Carring Capacity, **Procedia, Environmental Sciences**, 2, pp. 1873-1880.
- Tam, T., Tway, T., Iha, K., Thompson, P., Mooe, D. (2011) Ecological Footprint analysis San Francisco-Oakland-Fremont, CA, Urban Research Association, **Ecological Footprint Network**, pp. 1-15.

- 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), pp. 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), pp. 595-605.
- Wei, Y., Huang, C., Lam, P. T. I., Yuan, Z. (2015) Sustainable Urban Development: A Review on Urban Carrying Capacity Assessment, **Habitat International**, 46 (2), pp. 64-71.
- Xu L. Y., Yang Z. F., Li, W. (2008) Modelling the Carrying Capacity of Urban Ecosystem, **International Conference of Bioinformatics Biomed**, pp. 4400-4404.
- Xu, L. Y., Peng Kang, P., Wei, J. (2010) Evaluation of Urban Ecological Carrying Capacity: A Case Study of Beijing, China, **Procedia Environmental Sciences**, 2, pp. 1873-1880.