



## Monitoring the Ecological Security of Esfahan with an Ecosystem Service Approach

Mostafa Keshtkar<sup>1</sup>, Romina Sayahnia<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Planning and Designing the Environment, Environmental Science Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

### ARTICLE INFO

Article Type: Research article

*Article history:*

Received 12 December 2020

Accepted 18 April 2021

Available online 18 April 2021

*Keywords:*

Biological Capacity,  
Consumption Footprint  
Pressure, Production  
Footprint Pressure, Esfahan,  
Sustainable Development.

*Citation:* Keshtkar, M., Sayahnia, R. (2021). Monitoring the Ecological Security of Esfahan with an Ecosystem Service Approach. *Geography and Sustainability of Environment*, 10 (4), 1-107. doi: [10.22126/GES.2021.5975.2329](https://doi.org/10.22126/GES.2021.5975.2329)

### ABSTRACT

Arid and semi-arid regions of the world have been severely degraded by human and natural factors. These regions play an important role in reducing natural disasters and improving human well-being due to their unique ecosystems, rich resources and economically suitable areas. In this regards, in order to estimate the effects of man-made pressures on biological capacity of Esfahan city, consumption footprint pressure index (CFPI) and production footprint pressure index (PFPI) were used based on the concept of ecological footprint during 2000-2019. Besides, the ecological footprint distribution index (EFCI) was evaluated to investigate the pressures created by CFPI and PFPI. In this study, carbon storage service was integrated with ecological footprint index to evaluate the level of ecological security index (ESI) for consideration of the performance of the ecosystem as a criterion in the evaluations. The results showed that despite the different fluctuations in the trend of CFPI and PFPI variations during the study timespan, these indices have approximately a decreasing trend. In addition, the negative values of EFCI illustrates the higher effectiveness of the consumption footprint in determining the ecological safety index than the production footprint, and according to the decision-making model, this index in the 'high risk' class. Comparison of the biological capacity and the ecological footprint highlighted a severe ecological deficit and weak ecological security in Esfahan city during the studied timespan. The outcomes to this study could help policy makers and decision makers to adopt strategies such as the scenario of reducing the ecological footprint or increasing the biological capacity considering the land management criteria.



## پایش امنیت اکولوژیک شهرستان اصفهان با رهیافت خدمات اکوسیستمی

مصطفی کشتکار<sup>۱</sup>، رومینا سیاح‌نیا<sup>۱\*</sup>

<sup>۱</sup>گروه برنامه‌ریزی و طراحی محیط، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

### چکیده

مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان بر اثر عوامل انسانی و طبیعی، دچار تغییر و تخریب شدید شده است. این مناطق به‌علت دارا بودن اکوسیستم‌های منحصربه‌فرد و منابع غنی، نیز مناطق مستعد از نظر توسعه اقتصادی، نقش مهمی در کاهش بلاهای طبیعی و رفاه بشر دارند. در این راستا به‌منظور برآورد تأثیر فشارهای انسانی بر ظرفیت زیستی در شهرستان اصفهان در طول سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۸، شاخص فشار رد پای مصرف و شاخص فشار رد پای تولید با تکیه بر مفهوم رد پای اکولوژیک استفاده شد؛ همچنین به‌منظور برآورد فشارهای ایجادشده حاصل از رد پای مصرف و تولید پسماند (ورودی و خروجی) شاخص توزیع رد پای اکولوژیک ارزیابی شد. در پژوهش حاضر برای بررسی سطح امنیت اکولوژیک خدمت ذخیره کربن با شاخص رد پای اکولوژیک ادغام شد تا عملکرد اکوسیستم نیز به‌عنوان معیاری در ارزیابی‌ها لحاظ شود. نتایج نشان داد که باوجود نوسانات متفاوت در روند تغییرات شاخص فشار رد پای مصرف و شاخص فشار رد پای تولید در طول دوره مطالعاتی، به‌طور عمده این شاخص‌ها روند کاهشی داشته‌اند؛ افزون بر این، منفی‌بودن مقدار شاخص توزیع رد پای اکولوژیک نشان‌دهنده اثرگذاری بالاتر رد پای مصرف در تعیین شاخص امنیت اکولوژیک نسبت به رد پای تولید بوده است و با توجه به مدل تصمیم‌گیری، این شاخص در کلاس «ریسک بالا» قرار گرفته است. مقایسه ظرفیت زیستی با رد پای اکولوژیک نمایانگر کسری شدید اکولوژیک و امنیت اکولوژیک پایین در شهرستان اصفهان در طول مدت‌زمان مورد نظر است. نتایج به‌دست‌آمده از نوشتار پیش رو به سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران کمک خواهد کرد تا با توجه به ضوابط آمایش سرزمین، راهبردهایی همچون سناریوی کاهش رد پای اکولوژیک یا افزایش ظرفیت زیستی را اتخاذ نمایند.

### مشخصات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت ۲۲ آذر ۱۳۹۹

پذیرش ۲۹ فروردین ۱۴۰۰

دسترسی آنلاین ۲۹ فروردین ۱۴۰۰

کلیدواژه‌ها:

ظرفیت زیستی، فشار رد پای مصرف، فشار رد پای تولید، اصفهان، توسعه پایدار.

استناد: کشتکار، مصطفی؛ سیاح‌نیا، رومینا (۱۳۹۹). پایش امنیت اکولوژیک شهرستان اصفهان با رهیافت خدمات اکوسیستمی. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۰ (۴)، ۹۱-۱۰۷. doi: [10.22126/GES.2021.5975.2329](https://doi.org/10.22126/GES.2021.5975.2329)

## مقدمه

با افزایش جمعیت و فراوانی نیازهای جوامع از ابعاد اقتصادی، اجتماعی و اکولوژیکی، مصرف انرژی و منابع زیستی بیش از حد افزایش یافته که منجر به تخریب و تغییر محیط‌زیست و اکوسیستم‌های مختلف در مقیاس زمانی و مکانی وسیع شده است (ارزیابی اکوسیستم هزاره<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵). این موضوع باعث پدیدارشدن مفاهیم ظرفیت برد و امنیت اکولوژیک شده است (لی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۴). امنیت اکولوژیک به‌عنوان موضوع مهم استراتژیک از بُعد اجتماعی، اقتصادی و سیاسی شناخته می‌شود (شو<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۸؛ لی و همکاران، ۲۰۱۹). در واقع حفظ امنیت اکولوژیک یک منطقه کوچک، باعث حفظ امنیت اکولوژیک جهانی و منطقه‌ای و در نتیجه اجازه رشد اقتصادی و توسعه پایدار خواهد شد (فو<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۵).

از اصلی‌ترین روش‌هایی که برای ارزیابی امنیت اکولوژی استفاده می‌شود، می‌توان به روش پاسخ-وضعیت-فشار (شوآن<sup>۵</sup>، ۲۰۰۰)، روش خوشه‌بندی سیستم (لوندکوئیست و سامرفلد<sup>۶</sup>، ۲۰۰۲)، رد پای اکولوژیک و ریسک اکولوژیک (جمعه‌پور و حاتمی‌نژاد<sup>۷</sup>، ۱۳۹۲؛ محمدی<sup>۸</sup> و همکاران، ۱۳۹۵؛ هوانگ<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۰۷؛ لی و هی<sup>۱۰</sup>، ۲۰۱۱؛ لی و همکاران، ۲۰۱۴؛ ژانگ<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۸؛ لی و همکاران، ۲۰۱۹؛ ژائو<sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۸)، روش شاخص جامع (بارتل<sup>۱۳</sup>، ۲۰۰۰) و روش ارزیابی جامع فازی (هان<sup>۱۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۵) اشاره کرد. رویکرد امنیت اکولوژیک می‌تواند به ابزاری برای اندازه‌گیری آسان برای پایداری اکولوژیک تبدیل شود (ژانگ و ژو<sup>۱۵</sup>، ۲۰۱۷) و برای مقایسه در مورد توسعه یا مقایسه میزان مصرف و تولید منابع موجود طی بازه‌های زمانی مختلف وضعیت امنیت اکولوژیک و پتانسیل توسعه پایدار به کار گرفته شود (فو و همکاران، ۲۰۱۵). کمی‌سازی خدمات اکوسیستم یکی از راهکارهای رسیدن به مدیریت در راستای توسعه پایدار و نیز ایجاد ابزار پشتیبان در تصمیم‌گیری‌ها است (میرقی<sup>۱۶</sup> و همکاران، ۱۳۸۸). با استفاده از روش رد پای اکولوژیک و ترکیب آن با خدمات اکوسیستمی، می‌توان به ارزیابی دقیق‌تری از پایداری و یا ناپایداری یا به عبارت دیگر امنیت اکولوژیکی منطقه دست یافت (مانچینی<sup>۱۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۸؛ پنگ<sup>۱۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۸).

شهرستان اصفهان به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین مناطق تمرکز جمعیت در مرکز کشور در سال‌های اخیر رشد شتابانی به خود گرفته که منجر به تخریب بسیاری از مناطق بکر محیط‌زیست پیرامونش شده است و در صورت ادامه روند فعلی و بهره‌وری ساکنان منجر به زوال منابع شهرستان اصفهان خواهد گردید (منصورفر و حق‌شناس<sup>۱۹</sup>،

1- Millennium Ecosystem Assessment (MEA)

2- Li

3- Qiu

4- Fu

5- Chuan

6- Lundquist &amp; Sommerfeld

7- Jomepour &amp; Hataminejad

8- Mohmadai

9- Huang

10- HE

11- Zhang

12- Zhao

13- Bartel

14- Han

15- Xu

16- Mobarghai

17- Mancini

18- Peng

19- Mansourianfar &amp; Haghshenas

۲۰۱۸؛ کریمزاده مطلق<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۳۹۹). در پژوهش حاضر به ارائه روش محاسبه رد پای اکولوژیک<sup>۲</sup> و شاخص‌های امنیت اکولوژیک<sup>۳</sup> از جمله شاخص فشار رد پای تولید<sup>۴</sup>، شاخص فشار رد پای مصرف<sup>۵</sup> و شاخص توزیع رد پای اکولوژیک<sup>۶</sup> و توسعه آن پرداخته خواهد شد. رویکرد این پژوهش توسعه مدل امنیت اکولوژیک با واردسازی عملکرد اکوسیستم، استفاده از روش جدید محاسبه انتشار کربن و طبقه‌بندی نوین کاربری اراضی<sup>۷</sup> یا طبقه‌بندی اقلیمی در افزایش دقت برآوردهای ظرفیت زیستی<sup>۸</sup> است. هدف از نوشتار پیش رو ارزیابی تغییرات فشار وارده بر اکوسیستم بر اثر مصرف منابع در بازه زمانی بیست‌ساله (۱۳۷۹ تا ۱۳۹۸) در شهرستان اصفهان است تا برنامه‌ریزی‌های آتی منطقه با توجه به ملاحظات اکولوژیکی، مد نظر تصمیم‌گیران قرار گیرد.

### معرفی منطقه مورد بررسی

استان اصفهان در بخش مرکزی ایران قرار گرفته. شهرستان اصفهان دارای طول جغرافیایی "۵۱° ۳۹' ۴۰" شرقی و عرض جغرافیایی "۳۲° ۳۸' ۳۰" شمالی و مساحت ۵۵۱ کیلومتر مربع است (شکل ۱) (بی‌همتا<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). از بُعد اقلیمی، آب‌وهوای اصفهان به‌طور کلی معتدل و خشک است و مقدار بارش باران و برف به نسبت متوسطی دارد. حداکثر درجه حرارت در تابستان ۳۹ درجه سانتی‌گراد است که تابستان‌هایی گرم و خشک را می‌سازد و در زمستان تا حداکثر ۱۸- درجه می‌رسد. مجموع میانگین بارش سالانه شهر اصفهان ۱۲۷ میلی‌متر است. متوسط تبخیر سالانه در شهر اصفهان ۳۲۱۹ میلی‌متر است (سازمان هواشناسی<sup>۱۰</sup>، ۱۳۹۸).

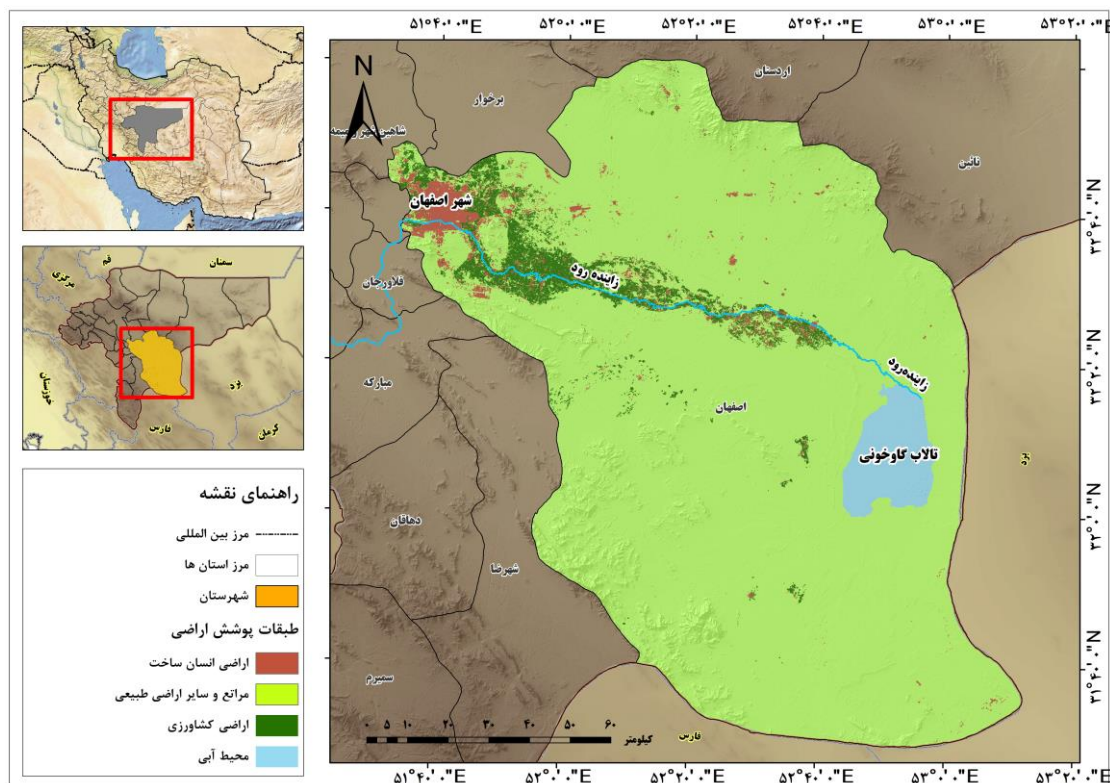
پوشش گیاهی غالب، شامل گون و درمنه کوهی همراه با گونه‌های غالب گندمیان چندساله و دافنه و پوشش غالب درختی این شهرستان شامل انواع درختچه‌های بادام، افرا، زالزالک و زرشک است (فیضی و شیرانی<sup>۱۱</sup>، ۱۳۹۶). از بعد جمعیت‌شناختی در منطقه مورد مطالعه رشد تدریجی جمعیت از ۱۳۷۱۸۷۰ نفر در سال ۱۳۷۵ به ۲۰۹۴۸۶۷ نفر در سال ۱۳۹۵ رسیده است (سالنامه آماری استان اصفهان<sup>۱۲</sup>، ۱۳۹۷). از بعد اقتصادی استان اصفهان با ۷۰/۲ هزار میلیارد تومان تولید ناخالص داخلی در رتبه سوم کشور قرار گرفته است. سرانه محصول ناخالص داخلی در استان اصفهان از ۹۲۹۲ هزار ریال در سال ۱۳۷۹ به ۱۵۳۱۰۳ هزار ریال در سال ۱۳۹۳ رسیده است (سالنامه آماری استان اصفهان، ۱۳۹۷).

### مواد و روش‌ها

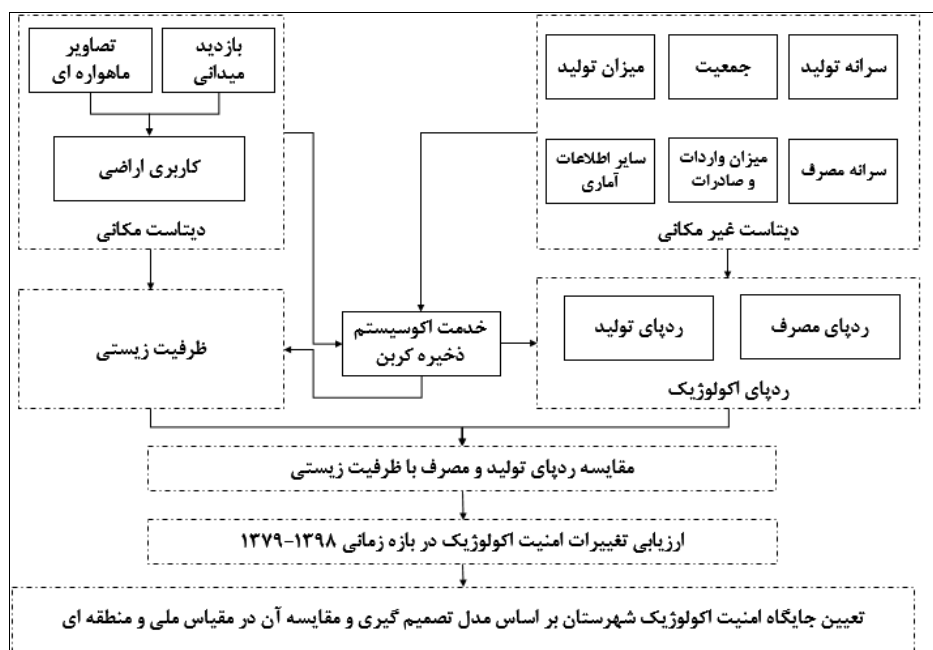
در پژوهش پیش رو از رد پای اکولوژیک برای ارزیابی امنیت اکولوژیک استفاده شده است. رد پای اکولوژیکی به‌عنوان ابزار حسابداری منابع و انتشار شناخته می‌شود و تقاضای مستقیم و غیر مستقیم انسان برای ظرفیت قابل زیست را برآورد و آن را با ظرفیت بیولوژیکی موجود در کره زمین مقایسه می‌کند (واکرناگل<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۴؛

- 1- Karimzadeh Motlagh
- 2- Ecological Footprint (EF)
- 3- Ecological Security Index (ESI)
- 4- Production Footprint Pressure Index (PFPI)
- 5- Consumption Footprint Pressure Index (CFPI)
- 6- Ecological Footprint Contribution Index (EFCI)
- 7- Local Climate Zone (LCZ)
- 8- Biocapacity(BC)
- 9- Bihamta
- 10- Meteorological Organization
- 11- Feyzi and Shirani
- 12- Statistical Yearbook of Isfahan Province
- 13- Wackernagel

مونفردا<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۴؛ گالی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۲). در روش‌شناسی ابتدا چگونگی محاسبه رد پای اکولوژیکی و سپس رد پای تولید و مصرف بیان می‌شود و سپس روش محاسبه ظرفیت زیستی و فشار تولید و مصرف و در انتها شاخص امنیت اکولوژیک بررسی می‌شود (شکل ۲).



شکل ۱. نقشه محدوده مورد مطالعه



شکل ۲. چارت کلی انجام پژوهش

رد پای اکولوژیکی را می‌توان از راه یک فرایند چندمرحله‌ای (رابطه ۱) در واحد هکتار جهانی بیان کرد (موفردا و همکاران، ۲۰۰۴؛ باستیانونی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۲ و بابو<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۷): که در آن D: تقاضای سالانه یک محصول و Y: بازده سالانه همان محصول است ولی ارزیابی رد پای اکولوژیک به هکتار جهانی با دو عامل دیگر محاسبه می‌شود (رابطه ۲).

$$EF = D_{\text{ANNUAL}} / Y_{\text{ANNUAL}} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$EF = P/Y_N * YF * EQF = P/Y_N * Y_N/Y_W * EQF = P/Y_W * EQF \quad \text{رابطه ۲}$$

جایی که P: مقدار محصول برداشت شده یا کربن ساطع شده است؛  $Y_N$ : متوسط عملکرد ملی محصول P است و  $YF^3$  و  $EQF^4$ : به ترتیب ضریب بازده و ضریب تعادل، برای نوع کاربری اراضی مختلف هستند. Y: (تولید) سالانه به‌عنوان نسبت عملکرد محلی برای تولید محصولات ( $Y_N$ ) به عملکرد تولید همان محصول در جهان ( $Y_W$ ) به‌عنوان یک کل ارزیابی می‌شود (مانچینی و همکاران، ۲۰۱۶). به‌منظور تخصیص مناسب رد پایهای برآورد شده به‌وسیله جریان‌های انتقال ماده و انرژی و ارزیابی ظرفیت بیولوژیکی، میزان مصرف اکولوژیکی<sup>۵</sup> با افزودن رد پای عرضه محصولات<sup>۶</sup> و محصولات وارداتی یا ورودی<sup>۷</sup> و کم کردن رد پای محصولات صادراتی یا خروجی<sup>۸</sup> (گالی و همکاران، ۲۰۱۲؛ بوروکه<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۳) براساس رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$EFC = EFP + EFI - EFE \quad \text{رابطه ۳}$$

برای محاسبه رد پایهای مختلف میزان تولید یا مصرف هر منبع یا کاربری مورد استفاده قرار می‌گیرد که متناسب با هر کاربری با استفاده از داده‌های موجود تولید یا مصرف رد پای بازده تولید محاسبه می‌شود؛ اما از میان شش نوع کاربری زمین در مفهوم رد پای اکولوژیک، زمین انرژی (جذب کربن) تنها برای ردیابی یک ماده زائد اختصاص داده شده است (واکرناگل و ریز<sup>۱۰</sup>، ۱۹۹۶). مدل اکولوژیک مربوط به انتشار کربن ناشی از مصرف انرژی و با هدف محاسبه انتشارات سالیانه کربن ناشی از مصرف انرژی در شهرستان اصفهان را می‌توان براساس رابطه ۴ در نظر گرفت (ژائو و همکاران، ۲۰۱۴).

$$C_t = \sum(C_h + C_b) \quad \text{رابطه ۴}$$

$$C_h = CFC (E * WCO_2 + E * WCH_4 + E * WN_2O) \quad \text{رابطه ۵}$$

$$CFC = Ac * Ecf \quad \text{رابطه ۶}$$

در رابطه ۴،  $C_t$ : کربن کل،  $C_h$ : نیز انتشار کربن ناشی از مصرف انرژی است و  $C_b$ : نیز انتشار کربن ناشی از مصرف زیست‌توده شهری است (لیا<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۴). در رابطه ۵،  $C_h$ : میزان انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از

- 1- Bastianoni
- 2- Baabou
- 3- Yield Factor (YF)
- 4- Equivalence Factor (EF)
- 5- consumption Ecological Footprint (EFC)
- 6- Production Ecological Footprint (EFP)
- 7- Imported products Ecological Footprint (EFI)
- 8- Export products Ecological Footprint (EFE)
- 9- Borucke
- 10- Rees
- 11- Lei

مصرف انرژی را نشان می‌دهد. در رابطه ۶،  $C_n$ : میزان انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی و  $Ac$ : مقدار سوخت مصرفی را نشان می‌دهد و  $Ecf$ : مقدار گرمایی سوخت مصرفی است (کردنیس<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۰).  $E$ : نشان‌دهنده فاکتور انتشار مربوط به هریک از گازهای یادشده همچون اکسیدنیترژن<sup>۲</sup>، دی‌اکسیدکربن<sup>۳</sup>، متان<sup>۴</sup> است و  $W$ : پتانسیل گرمایش جهانی هریک از گازها می‌شود (هوئل<sup>۵</sup>، ۲۰۲۰؛ محیط‌زیست کانادا<sup>۶</sup>، ۲۰۱۴). به‌منظور محاسبه کربن ذخیره‌شده و ترسیب‌شده به‌وسیله اکوسیستم‌ها از بسته نرم‌افزار اینوست<sup>۷</sup> ۳,۸,۰ استفاده شده است (ژائو و همکاران، ۲۰۱۹؛ شارپ<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۴). در این مدل، ذخیره و ترسیب کربن خشکی از رابطه ۷ به‌دست می‌آید (شارپ، ۲۰۱۴). برای محاسبه متوسط بازده منطقه برای جذب یا تولید پسماند از رابطه ۸ استفاده شده است (واکرناگل و همکاران، ۲۰۰۴).

$$C_{xt} = C_{ptx} + \sum_{j=1}^n A_{xjt} (C_{ai} + C_{bj} + C_{sj} + C_{oj}) \quad \text{رابطه ۷}$$

$$YN_{CO_2} = (\text{TON C Sequestration}) / (\text{Total Hec}) \quad \text{رابطه ۸}$$

که در رابطه ۸،  $C_{xt}$ : کربن ذخیره‌شده در پیکسل مورد بررسی در زمان  $t$  است که برابر با مجموع کربن ذخیره‌شده در منابع ذخیره کربن شامل ماده آلی مرده  $C_{sj}$ ، بیومس روی زمین  $C_{bj}$ ، بیومس زیر زمین  $C_{aj}$  و خاک  $C_{oj}$  است.  $A_{xjt}$ : نشان‌دهنده کاربری زمین و  $A_{xjt}$ : مساحت کاربری اراضی در پیکسل  $x$  در اراضی  $t$  در زمان  $t$  است. در رابطه بالا،  $C_{pxt}$ : برابر با تولیدات چوبی برداشت‌شده است. ظرفیت زیستی، نواحی حاصل‌خیزی است که برای تولید منابع و جذب پسماند وجود دارد که همتای رد پای اکولوژیک است (دنگ<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۸؛ استیگلنر<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۳). ظرفیت زیستی یک منطقه برای هر نوع پهنه زمین را می‌توان از رابطه ۹ (مونفردا و همکاران، ۲۰۰۴؛ واکرناگل و ریز، ۱۹۹۶) محاسبه کرد:

$$BC = (1-12\%) \sum_{i=1}^n A_i * Y_{Fi} * EQF_i \quad \text{رابطه ۹}$$

جایی که  $A_i$ : مساحت واقعی زمین نواحی موجود برای یک‌نوع مصرف زمین معین (gha) باشد،  $Y_{Fi}$ : ضریب بازده و  $EQF$ : ضریب تعادل است (مونفردا و همکاران، ۲۰۰۴). برای محاسبه کسری موازنه اکولوژیکی (EC) و بررسی میزان پایداری و ناپایداری، تفاضل ظرفیت زیستی (BC) و رد پای اکولوژیک (EF) منطقه از رابطه ۱۰ استفاده می‌شود (کیتز<sup>۱۱</sup> و واکرناگل، ۲۰۰۹؛ مونفردا و همکاران، ۲۰۰۴؛ گریگوریوا<sup>۱۲</sup>، ۲۰۱۰):

$$EC = BC - EF \quad \text{رابطه ۱۰}$$

شاخص فشار رد پای مصرف (CFPI) و شاخص فشار رد پای تولید (PFPI) مطابق رابطه ۱۱ و ۱۲ محاسبه می‌شود

- 1- Cardenes
- 2- N<sub>2</sub>O
- 3- CO<sub>2</sub>
- 4- CH<sub>4</sub>
- 5- Hoyle
- 6- Environment Canada
- 7- InVEST3.8.0
- 8- Sharp
- 9- Deng
- 10- Stöglehner
- 11- Kitzes
- 12- Grigoryeva

(مونفردا و همکاران، ۲۰۰۴؛ هان و همکاران، ۲۰۱۵):

$$CFPI = EFC/BC$$

رابطه ۱۱

$$PFPI = EFP/BC$$

رابطه ۱۲

به منظور محاسبه تعداد بین فشار تولید و مصرف از شاخص توزیع رد پای اکولوژیک (EFCI) براساس رابطه ۱۳ بهره گرفته شد (لی و همکاران، ۲۰۱۴):

$$EFCI = (EFP - EFC) / EFC$$

رابطه ۱۳

برای توصیف امنیت اکولوژیک یک منطقه، شاخص امنیت اکولوژیک ESI تعریف شده است که مقدار آن نشان دهنده پارامتر غالب (تولید یا مصرف) برای آن منطقه است (لی و همکاران، ۲۰۱۴). جدول ۱ مدل تصمیم گیری را براساس امنیت اکولوژیک تشریح می کند و نشان می دهد که منطقه تحت تأثیر کدام شاخص و نوع استفاده از سرزمین است (لیو و چانگ<sup>۱</sup>، ۲۰۱۵).

جدول ۱. مدل تصمیم گیری امنیت اکولوژی (لیو و چانگ، ۲۰۱۵؛ لی و همکاران، ۲۰۱۴)

تشریح	تعیین وضعیت امنیت اکولوژیک	شاخص رد پای اکولوژیک	سناریوها	
			شاخص توزیع رد پای اکولوژیک	شاخص امنیت اکولوژیک
رد پای اکولوژیک تولید و رد پای اکولوژیک مصرف فراتر از ظرفیت زیستی است، به طوری که فشار اکولوژیک منتقل شده از خارج از منطقه افزایش یافته است و موجب افزایش تهدید برای امنیت اکولوژیک شده است و امنیت اکولوژیک با فشار مصرف و فشار تولید شده تصمیم گیری می شود.	ریسک بالا	$PFPI > CFPI > 1$	ESI = PFPI	$EFCI \geq 0 (EFP \geq EFC)$
رد پای تولید و رد پای مصرف هردو بین ظرفیت زیستی قرار دارند؛ بنابراین منطقه مورد مطالعه توان بالقوه ای برای توسعه دارند.	امنیت بالا ایمن امنیت پایین	$ESI < 0.5$ $ESI < 0.8 \leq 0.5$ $1 \geq PFPI > CFPI$ $1 \leq ESI \leq 0.8$		
رد پای مصرف در حد ظرفیت زیستی؛ اما رد پای تولید بیش از ظرفیت زیستی است. بنابراین تهدید امنیت اکولوژیک باید بر اساس شاخص فشار تولید تعیین شود.	دارای ریسک	$PFPI > 1, CFPI < 1$	ESI = CFPI	$EFCI < 0 (EFP < EFC)$
رد پای اکولوژیک تولید و مصرف، بیش از ظرفیت زیستی است؛ بنابراین تهدید امنیت اکولوژیک با هردو شاخص فشار تولید و شاخص فشار مصرف تعیین می شود.	ریسک بالا	$CFPI > PFPI > 1$		
رد پای تولید و مصرف هردو بین ظرفیت زیستی قرار دارند؛ بنابراین منطقه مورد مطالعه توان بالقوه ای برای توسعه دارد.	امنیت بالا ایمن امنیت پایین	$ESI < 0.5$ $ESI < 0.8 \leq 0.5$ $1 \geq CFPI > PFPI$ $1 \leq ESI \leq 0.8$		
رد پای تولید در حد ظرفیت زیستی؛ اما رد پای مصرف بیش از ظرفیت زیستی است که باید بر اساس شاخص رد پای مصرف تصمیم گیری صورت پذیرد.	دارای ریسک	$CFPI > 1, PFPI < 1$		



## جمع‌آوری اطلاعات

با توجه به اهمیت کاربری و پوشش اراضی در نوشتار پیش رو، نقشه کاربری اراضی شهرستان اصفهان با روش طبقه‌بندی اقلیمی تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد. در روش طبقه‌بندی اقلیمی، کاربری اراضی با استفاده از روش‌های مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای و اطلاعات جغرافیایی استخراج می‌شود. لازم به ذکر است که تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده در پژوهش حاضر تصویر سنجنده ماهواره لندست ۷ و ۸<sup>۱</sup> می‌باشد. برای طبقه‌بندی اقلیمی از باندهای مادون قرمز حرارتی تصاویر ماهواره‌ای و نمونه‌گیری دقیق برای استخراج بازتاب‌های مختلف دمای سطح زمین استفاده می‌شود. بنابراین، جستار پیش رو با در نظر گرفتن تغییرات دمای سطح زمین در طبقات کاربری اراضی و پوشش زمین در ۱۷ کلاس در دو دوره ده‌ساله ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ استخراج شد؛ سپس، با در نظر گرفتن جمعیت منطقه، سهم هر شهروند از هریک از کاربری‌ها و مصرف و تولید محاسبه شد. میزان ذخیره، جذب و ترسیب کربن از گزارش ارزیابی چهارم<sup>۲</sup> هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم سازمان ملل متحد (کنوانسیون بین‌الدول تغییر اقلیم<sup>۳</sup>، ۲۰۰۷) و سایر مطالعات (کشتکار<sup>۴</sup>، ۱۳۹۶: ۹۸؛ اسدالهی<sup>۵</sup> و سلمان‌ماهینی، ۱۳۹۶) بهره گرفته شد. سایر اطلاعات مورد نیاز از سالنامه‌های آماری مربوط به شهرستان اصفهان (سالنامه آماری استان اصفهان، ۱۳۹۷) مستخرج از آمارنامه‌های اداره جهاد کشاورزی استان اصفهان<sup>۶</sup> (۱۳۹۷)، اداره کل شیلات استان اصفهان<sup>۷</sup> (۱۳۹۵) و سالنامه مرکز آمار در بازه زمانی بیست‌ساله جمع‌آوری شده است.

## نتایج

برای محاسبات رد پای اکولوژیک حساب‌های دقیق ملی و منطقه‌ای لازم است (واکرناگل و ریز، ۱۹۹۶). رد پای اکولوژیک به تفکیک رد پای مصرف و رد پای تولید و ظرفیت زیستی در بخش‌های غذا، حمل و نقل، کالا خدمات، تجارت و صنعت و مسکن مطابق فرمول‌های معرفی شده محاسبات رد پای اکولوژیک، ظرفیت زیستی به تفکیک تولید و مصرف در طبقات زمین انرژی، زمین کشاورزی، زمین مرتع، زمین جنگل، زمین دریا و زمین ساخته شده در بازه زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۸ بررسی شد.

با توجه به نتایج حاصل از محاسبه شاخص رد پای اکولوژیک شهرستان در بخش‌های مصرفی و تولیدی؛ غذا، حمل و نقل، کالا و خدمات و مسکن می‌توان بیان کرد که بخش‌های کالا و خدمات و مسکن بالاترین شاخص رد پای اکولوژیک را دارد (شکل ۳ و ۴). چنانچه رد پای مصرف در بخش زمین مسکن و سپس غذا دارای بیشترین مقدار بوده و کمترین میزان رد پای مصرفی در بخش کالا و خدمات است. همچنین نتایج محاسبه رد پای تولید زمین کشاورزی در دو گروه محصولات زراعی شامل غلات، سبزیجات و محصولات جالیزی و پروتئینی شامل شیر، گوشت قرمز (گاو و دام) و گوشت مرغ برآورد شد که میزان تولید و عملکرد رشد ۴۸ درصدی را داشته است که این مهم از ۴۷۸۸۶۵ هکتار جهانی در سال ۱۳۷۹ به ۷۰۲۶۹۳ هکتار جهانی در سال ۱۳۹۸ افزایش یافته است. نتایج حاصل از محاسبه شاخص جای پای اکولوژیکی شهرستان اصفهان در بخش کشاورزی نیز نشان داد که تولیدات کشاورزی کمتر از مصرف آن در این شهرستان بوده است.

1- Landsat 7 (ETM+) and Landsat 8 (OLI)

2- AR4

3- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

4- Keshtkar

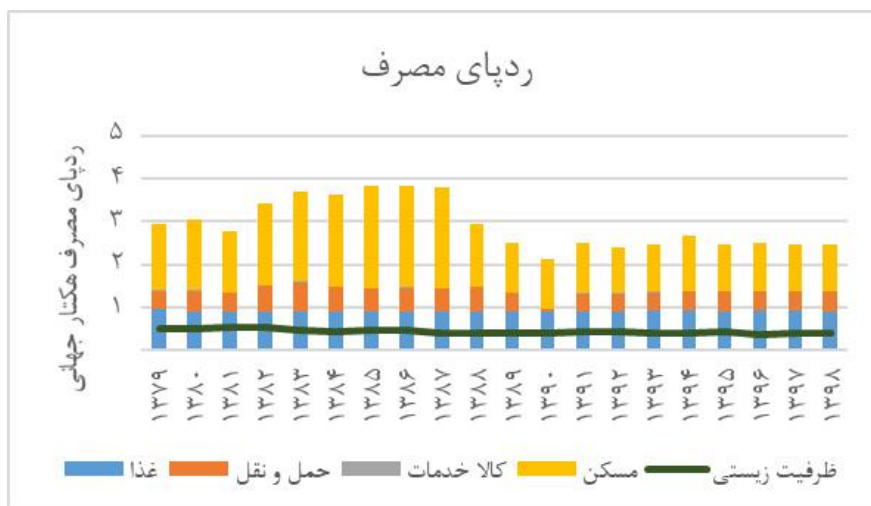
5- Asadolahi and Salman mahini

6- Isfahan Agricultural Jihad Office

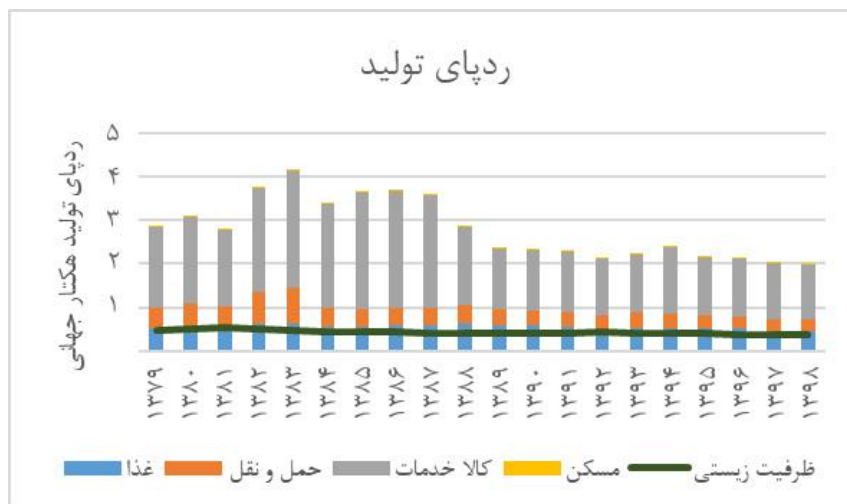
7- General Department of Fisheries of Isfahan Province

رد پای اکولوژیک تولید برای هر کدام از سکنة شهرستان اصفهان، تغییراتی را داشته است که سرانه آن از ۳/۱ به ۲/۲ هکتار جهانی کاهش یافته است؛ از این رو برای سال ۱۳۹۸ با توجه به جمعیت ۲۲۰۹۶۰۶ نفری شهرستان (سالنامه آماری مرکز آمار، ۱۳۹۸)، برای برطرف کردن نیازهای کل افراد، زمینی معادل ۴/۹ میلیون هکتار جهانی لازم است که این مهم در سال ۱۳۷۹ برابر با ۴/۸ میلیون هکتار جهانی بوده است. لازم به ذکر است تغییرات این شاخص طی بازه زمانی نوسانات مختلفی داشته است؛ چنانچه در حد فاصل سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۷ این نرخ افزایشی بوده که بیشترین میزان آن به ۷/۴ میلیون هکتار جهانی در سال ۱۳۸۳ به سرانه ۴/۴ هکتار جهانی رسیده است. این روند برای رد پای مصرف نیز صدق می‌کند که ۵/۴ میلیون هکتار در سال ۱۳۷۹ به ۷/۶۵ میلیون هکتار جهانی در سال ۱۳۹۸ افزایش یافته است؛ اما بیشترین میزان آن در سال ۱۳۸۷ به میزان ۸/۶ میلیون هکتار جهانی بوده است (شکل ۳ و ۴).

در بررسی ظرفیت زیستی با توجه به نبود کاربری دقیق که مطابق طبقه‌بندی دستورالعمل ارزیابی ظرفیت برد باشد؛ از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. از همین رو ظرفیت زیستی شهرستان اصفهان براساس زمین‌های مولد و میزان عملکرد آن‌ها، مقادیر ظرفیت زیستی در هر نوع از کاربری‌های از جمله جنگل، زمین کشاورزی، مرتع، مناطق ساخته شده و زمین‌های ماهی‌گیری (تالاب) به دست آمد.



شکل ۳. تغییرات بخش‌های مختلف رد پای مصرف و ظرفیت زیستی در شهرستان اصفهان از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۸

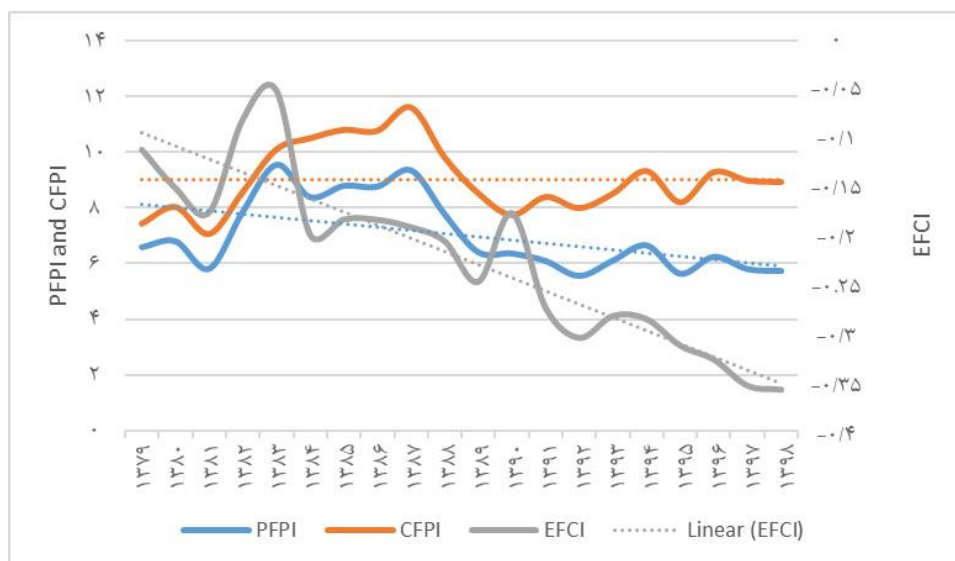


شکل ۴. تغییرات بخش‌های مختلف رد پای تولید و ظرفیت زیستی در شهرستان اصفهان از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۸

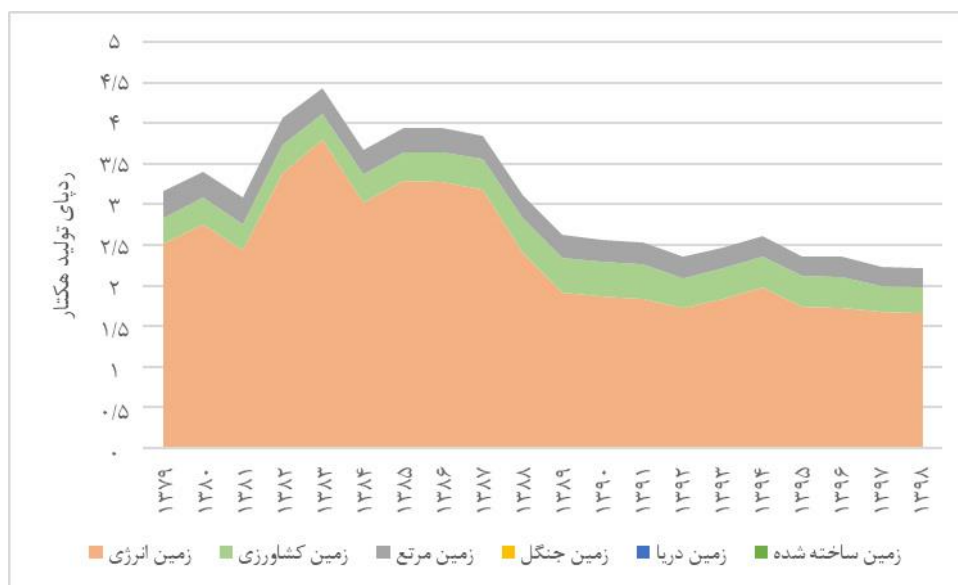
ظرفیت زیستی این شهرستان معادل  $۰/۸۶$  میلیون هکتار جهانی در سال ۱۳۹۸ برآورد شده است. این مطلب گواه این است که برای تأمین نیاز سکنه این شهرستان بیش از سه برابر مقدار مساحت فعلی، زمین لازم است. در راستای محاسبه کسری اکولوژیک، ظرفیت زیستی به عنوان بستری برای توسعه در نظر گرفته شد و در مقابل رد پای اکولوژیک قرار داده و کسری موازنه اکولوژیک یا کمبود آن از  $۱۳/۷$  - میلیون هکتاری جهانی آن در سال ۱۳۷۹ به  $۱۶/۸۷$  - میلیون هکتار جهانی در سال ۱۳۹۸ محاسبه شد که این مقدار کسری نشان می‌دهد برای رفع نیاز سکنه شهرستان، حمایت مناطق پشتیبان لازم است.

در ادامه امنیت اکولوژیک شهرستان اصفهان با استفاده از مدل تصمیم‌گیری طبق جدول ۱ محاسبه شد. نتایج پژوهش نشان داد که کل منطقه مورد مطالعه از ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۸ در طبقه با ریسک بالا بوده است (شکل ۵). با توجه به تجزیه و تحلیل تغییرات رد پای مصرفی و رد پای تولیدی انواع مختلف کاربری اراضی از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۸ می‌توان دریافت که این ریسک از نظر رد پای مصرفی به‌طور عمده از زمین انرژی و سپس زمین کشاورزی است (شکل ۶). بر این اساس، شاخص فشار تولید از  $۳/۱۷$  در سال ۱۳۷۹ به  $۲/۲۲$  کاهش یافته است؛ اما شاخص فشار تولید در همین بازه زمانی کاهش اندکی داشته است. این موضوع به دلیل نیاز به مصرف انرژی که منجر به انتشار دی‌اکسید کربن می‌شود، سه برابر افزایش یافته است.

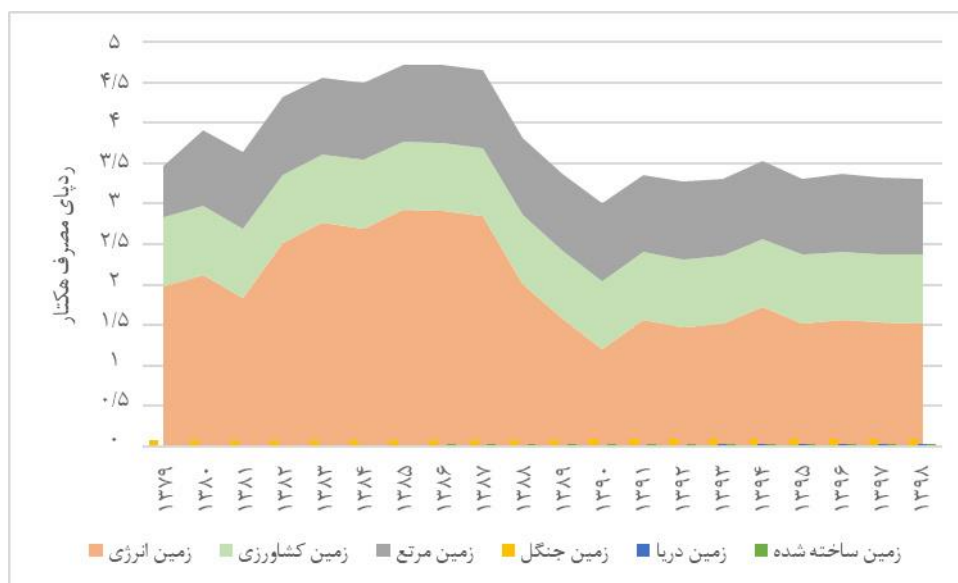
در پژوهش حاضر مصرف انرژی هم برای مصارف مسکونی و هم بخش صنعت محاسبه شده است که این قسمت با توجه به صنعتی بودن شهرستان اصفهان اضافه شد. در طبقه زمین انرژی، رد پای کالا و خدمات دارای بیشترین میزان و بخش مناطق ساخته شده کمترین میزان رد پا را در بخش رد پای تولید داشته است (شکل ۶). در شهرستان اصفهان مقدار رد پای انرژی مصرفی برای مسکن طی زمان کاهش یافته است که مهم‌ترین عامل را تغییر نوع سوخت می‌توان عنوان کرد. در بخش رد پای مصرف غذا بیشترین میزان رد پا مربوط به مصرف گندم و سپس انواع سبزیجات است (شکل ۷)؛ اما رد پای تولید به بخش سبزیجات تعلق می‌گیرد که بیشترین میزان رد پای طی زمان را داشته است. مطالعات نشان می‌دهد که هرچند فشار تولید و مصرف هر دو نرخ بالا و طی بازه زمانی رفتار مختلفی داشته‌اند؛ اما فشار تولید کاهش یافته است؛ ولی شاخص فشار مصرف به‌طور کلی افزایشی است. این موضع از سال ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۷ رشد مثبت و از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸ رشد کاهش را نشان می‌دهد.



شکل ۵. تغییرات شاخص فشار رد پای مصرف (CFPI) و شاخص فشار رد پای تولید (PPFI) و شاخص توزیع رد پای اکولوژیک (EFCI) در شهرستان اصفهان از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۸



شکل ۶. تغییرات سرانه رد پای اکولوژیک تولید در طبقات مختلف کاربری در شهرستان اصفهان از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۸



شکل ۷. تغییرات سرانه رد پای اکولوژیک مصرف در طبقات مختلف کاربری در شهرستان اصفهان از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۸

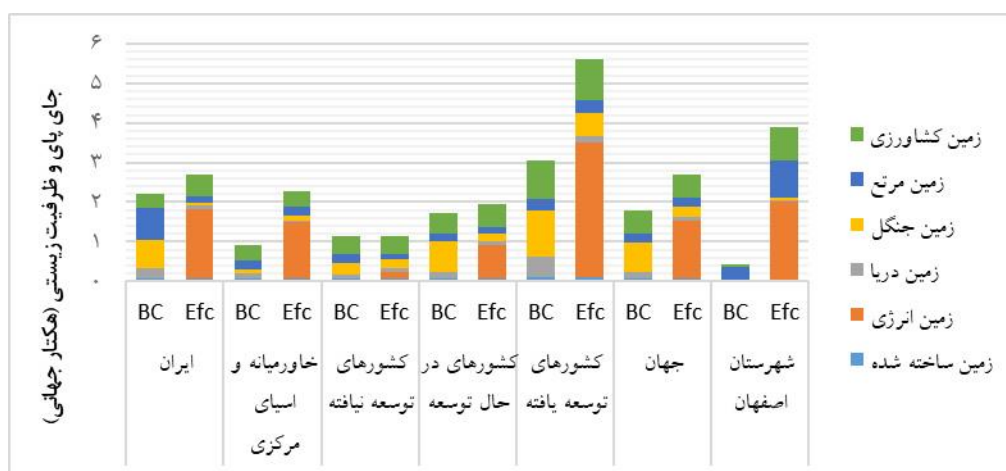
یافته‌های پژوهش نشان داد که رد پای مصرفی در شهرستان بیشتر از رد پای تولیدی است که فراتر از ظرفیت است و سرریز اکولوژیک را به همراه دارد. رد پای تولید تنها در بخش مسکن و غذا در سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۱ و سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ کمتر یا برابر با ظرفیت زیستی بوده است، این بدان معنا است که منابع مورد استفاده و پسماندهای تولیدشده را می‌توان در محدوده ظرفیت بیولوژیکی تأمین کرد و منطقه از نظر اکولوژیک و برای تأمین این موارد ایمن است و امکان توسعه اضافی وجود ندارد. با این حال، رد پای مصرفی در همه موارد به‌جز کالا و خدمات بالاتر از ظرفیت زیستی بود که نشان می‌دهد بستر طبیعی در حال تجربه کسری اکولوژیک است؛ زیرا تقاضای آن‌ها برای منابع با یک منبع محلی کافی، مطابق ظرفیت زیستی تأمین نمی‌شود. مقادیر شاخص توزیع رد پای اکولوژیک کمتر از مصرف بوده است، این بدان معنا است که امنیت اکولوژیک در درجه اول با شاخص فشار مصرف تعیین شده است، در نتیجه افزایش این شاخص، فشار اکولوژیکی ایجادشده در داخل منطقه افزایش یافته و امنیت اکولوژیک را به‌طور فزاینده‌ای تهدید می‌کند.

## بحث

استفاده از روش رد پای اکولوژیک به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی اثرات اکولوژیک توسعه معرفی شده است. این رهیافت جهت اثبات آثار مصرف‌گرایی فزاینده که توسعه را به ناپایداری و ناتوانی اکولوژیک روزافزون سوق داده است، مورد استفاده قرار می‌گیرد (فو و همکاران، ۲۰۱۵؛ ژائو و همکاران، ۲۰۱۸)؛ به‌عبارت دیگر، رد پای اکولوژیک ابزاری است که می‌تواند چشم‌اندازها را برای زندگی انسان در درازمدت در کره زمین نمایان کند. روش رد پای اکولوژیک برای ارزیابی پایداری در سطح جهانی، ملی و منطقه‌ای استفاده می‌شود (فو و همکاران، ۲۰۱۵، وو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۹؛ آمکودزی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). طی سال‌های مورد بررسی، اثرات سیاست‌ها و پروژه‌های مختلف بر وضعیت و فشار واردشده بر بدنه اکوسیستم به‌خوبی دیده می‌شود (شکل ۵). درواقع می‌توان بیان کرد توسعه اقتصادی - اجتماعی با توجه به سیاست‌های کلان، رشد رد پا را شتاب داده است (شکل ۴).

به‌دلیل یکسان‌نبودن زمان مورد محاسبه، امکان مقایسه دقیق نتایج نوشتار پیش رو با سایر پژوهش‌های داخلی امکان‌پذیر نیست؛ بنابراین نتایج متوسط رد پای اکولوژیک و ظرفیت زیستی با متوسط ایران و برخی از مناطق جهان مقایسه شد. براساس مقایسه سرانه رد پای اکولوژیک مصرف در منطقه مورد مطالعه، به‌صورت میانگین بیست‌ساله ۳/۸۹ حاصل شده است که در مقایسه با رد پای اکولوژیک ایران که برابر با ۲/۷ هکتار جهانی است، میزان بسیار بالاتری است. این درحالی است که در برخی از سال‌ها این میزان متغیر بوده و در برخی از سال‌های به‌حدود دوبرابر آن نیز می‌رسد و نشان‌دهنده وخامت مصرف در این شهرستان است؛ اما در مقایسه با رد پای اکولوژیک جهانی براساس شکل ۸، رد پای اکولوژیک شهرستان اصفهان نزدیک به کشورهای درحال توسعه (۵ هکتار جهانی) بوده؛ اما این مقدار کمتر از رد پای اکولوژیک جهان (۲/۶۹ هکتار جهانی) است.

مقایسه ظرفیت زیستی شهرستان اصفهان با ظرفیت زیستی ایران (۲/۲ هکتار جهانی) و میانگین جهانی (۱/۷۸ هکتار جهانی) و ظرفیت زیستی برای شهرستان (۰/۴۴ هکتار جهانی) نشان می‌دهد که این شهرستان از ظرفیت زیستی پایینی برخوردار است که میزان استفاده از منابع نگرانی‌های بالقوه‌ای را در این سطح ایجاد می‌کند. سرانه کسری اکولوژیک در شهرستان اصفهان برابر با ۳/۵- بوده که این میزان در ایران ۰/۴۸- هکتار و میانگین آن در جهان ۰/۹۱- هکتار جهانی است.



شکل ۸. سرانه رد پای اکولوژیک مصرف و ظرفیت زیستی شهرستان اصفهان در مقایسه با مناطق مختلف (بارت<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۸)

1- Wu

2- Amekudzi

3- Barrett

منفی بودن این میزان، بیانگر کمبود زمین‌های عرضه‌کننده نیازهای انسانی درمقابل تقاضای انسانی است. مقایسه ظرفیت زیستی و رد پای اکولوژیک شهرستان اصفهان با سایر مناطق نشان از مصرف‌گرایی و تولید زیاد این شهرستان نسبت به کشور و در حد کشورهای توسعه‌یافته است. این درحالی است که کشورهای در حال توسعه از ذخایر زیادی برای تأمین منابع پایه و حذف پسماندها برخوردارند؛ از طرفی کم بودن ظرفیت زیستی شهرستان اصفهان نسبت به کشور (چهار برابر) نشان می‌دهد که توسعه در مناطقی اتفاق افتاده است که از نظر اکولوژیکی از توان و ظرفیت خوبی برخوردار نبوده است و این موضوع به‌عنوان هشدار برای توسعه به‌شمار می‌رود؛ از سویی باید در نظر داشت که رد پای اکولوژیک محاسبه‌شده تنها برآوردی از برخی از محصولات و مصارف عمده و تولیدات آن‌هاست که با این وجود رد پای تولیدی و مصرفی در طی چند سال تغییرات زیادی کرده است؛ ولی هنوز بیش از ظرفیت زیستی منطقه است.

در سایر پژوهش‌ها می‌توان این‌گونه بیان کرد که ساسان‌پور<sup>۱</sup> و همکاران (۱۳۹۶) توسعه پایدار شهرستان اصفهان را با استفاده از رد پای اکولوژیک را تنها در یک بازه زمانی بررسی کردند؛ چنان‌چه نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که شهرستان اصفهان دارای ظرفیت زیستی ۰/۴۲۷ هکتار جهانی است و رد پای اکولوژیک ۲/۴ هکتار جهانی را دارد. نتایج این پژوهش با پژوهش ساسان‌پور و همکاران (۱۳۹۶) که به ناپایدار بودن منطقه تأکید دارد هم‌خوانی دارد؛ اما پژوهش مذکور به ارزیابی تغییرات رد پای اکولوژیک و امنیت اکولوژیک نپرداخته است. در مطالعه‌ای دیگر شایسته<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۵) رد پای اکولوژیک شهر اصفهان را ۳/۹ هکتار جهانی اعلام کرده‌اند. تفاوت در میزان محاسبه رد پای اکولوژیک را می‌توان در روش محاسبه کربن منتشرشده حاصل از سوخت‌ها ذکر کرد. محمدی و همکاران (۱۳۹۵) نیز با روش رد پای اکولوژیک فشار تولید و فشار مصرف را برای اندازه‌گیری امنیت اکولوژیک محاسبه کردند. آن‌ها نتایج خود را این‌گونه بیان می‌کنند که سرانه رد پای اکولوژیک شهر سنندج برابر با ۱/۴۳ بوده و ظرفیت زیستی را ۰/۳۸ برآورد کرده‌اند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که فشار تولید در این شهر بیش از شاخص فشار مصرف بوده و امنیت اکولوژیک با توجه به شاخص توزیع رد پای (۳/۰۳) در گروه خطرناک قرار می‌گیرد.

### نتیجه‌گیری

پژوهش انجام‌شده نشان می‌دهد که با تخمین ظرفیت برد از راه شاخص‌های پایداری منابع، افزون بر اینکه به‌طور کمی به برنامه‌ریزان سرزمین درمورد بالا یا پایین بودن ظرفیت برد منابع هشدار می‌دهد، به برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران این امکان را می‌دهد تا به نسبت شرایط و منطقه مورد مطالعه از شاخص‌های متفاوت استفاده کنند. مدل تصمیم‌گیری ارزیابی امنیت اکولوژیک رابطه بین امنیت اکولوژیک و فشارهای تولید داخلی و مصرف را در نظر می‌گیرد و بدین ترتیب منعکس‌کننده فشار بر بستر زیست‌پذیر ایجادشده بر اثر تولید منابع و همچنین مصرف آن‌ها است. بر همین اساس استفاده از پژوهش حاضر را می‌توان در قالب طرح‌های توسعه‌ای همچون برنامه‌های توسعه یا حتی طرح‌های مکان‌یابی دانست. طرح آمایش سرزمین را می‌توان به‌عنوان مهم‌ترین استفاده‌کننده از نتایج این پژوهش دانست که از آن در دو سطح استفاده می‌کند. سطح اول مقایسه توان اکولوژیک و ظرفیت برد برای بارگذاری جمعیت و فعالیت و در دیگر سطح، بررسی اثرات سیاست‌ها و طرح‌ها طی بازه زمانی و مشاهده اثرات آن بر سرزمین و ارائه سناریوهای مکانی و زمانی است.

1- Sasanpour

2- Shayesteh

از دیدگاه ردّ پای اکولوژیک عواملی که می‌تواند به‌طور چشم‌گیری کاهش ردّ پا را در پی داشته باشد، کاهش یا تعدیل تقاضا و افزایش بهره‌وری در تولید در شهرستان است. استفاده از فناوری و تجهیزات پیشرفته در صنعت، به‌کارگیری روش‌های آبیاری مؤثر یا کاهش زائدات تولید از راه تعیین الگوی کشت تقاضامحور، از عوامل افزایش بهره‌وری به‌شمار می‌آیند؛ که در این خصوص می‌توان به تغییر و تصحیح الگوی مصرف سوخت و نیز تغییر جایگاه صنایع آلاینده اشاره کرد. دسته دوم، بررسی سناریوهای مربوط به افزایش ظرفیت زیستی منطقه با استفاده از افزایش سطوح سبز به‌منظور افزایش ترسیب کربن است.

## سیاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر و قدردانی خود را از همکاری سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان اصفهان اعلام نمایند.

## منابع

- اداره جهاد کشاورزی استان اصفهان (۱۳۹۷). *سرانه مصرف مواد غذایی و عملکرد محصولات کشاورزی*. اداره کل شیلات استان اصفهان (۱۳۹۵). *سرانه مصرف آبزیان*.
- اسدالهی، زهرا؛ سلمان ماهینی، عبدالرسول (۱۳۹۶). بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر عرضه خدمات اکوسیستم (ذخیره و ترسیب کربن). *پژوهش‌های محیط‌زیست*، ۸ (۱۵)، ۲۰۳-۲۱۳.
- جمعه‌پور، محمود؛ حاتمی‌نژاد، حسین (۱۳۹۲). بررسی وضعیت توسعه پایدار شهرستان رشت با استفاده از روش چپای اکولوژیک. *پژوهش‌های جغرافیای انسانی*، ۳ (۴۵)، ۱۹۱-۲۰۸.
- سازمان هواشناسی (۱۳۹۸). *داده‌های هواشناسی استان اصفهان*.
- ساسان‌پور، فرزانه؛ شمعی‌زاده، علی؛ عصار، سحر (۱۳۹۶). بررسی توسعه پایدار شهرستان اصفهان با استفاده از روش ردّ پای بوم‌شناختی. *پژوهش‌های دانش زمین*، ۸ (۳۱)، ۲۹-۱۸.
- سالنامه آماری استان اصفهان (۱۳۹۷). *معاونت آمار و اطلاعات*.
- فیضی، محمدتقی؛ شیرانی، کورش (۱۳۹۶). تهیه نقشه سازندهای پوشش گیاهی براساس مطالعات بوم‌شناسی - گیاه‌شناسی (مطالعه موردی: استان اصفهان). *بوم‌شناسی کاربردی*، ۶ (۲)، ۶۳-۹۷.
- کریم‌زاده مطلق، زینب؛ لطفی، علی؛ پورمنافی، سعید (۱۳۹۹). مدل‌سازی تخصیص کاربری اراضی پایدار در اصفهان بزرگ با استفاده از ارزیابی چندمعیاره در محیط GIS. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۲۵ (۱۰)، ۳۵-۲۱.
- کشتکار، مصطفی (۱۳۹۶). *برنامه‌ریزی پایداری سیمای سرزمین مبتنی بر ارکان ارزیابی راهبردی خدمات اکوسیستمی* (مطالعه موردی: بیوم زاگرس ایران). پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی.
- میرقی دینان، نغمه؛ شرزهای، غلام‌علی؛ مخدوم فرخنده، مجید؛ باوری، احمدرضا؛ جعفری، حمیدرضا (۱۳۸۸). ارائه الگوی ارزش‌گذاری مکانی کارکرد جذب گاز دی‌اکسید کربن، در جنگل‌های خزری ایران. *محیط‌شناسی*، ۵۱ (۳۵)، ۵۷-۶۸.
- محمدی، نرگس؛ شایسته، کامران؛ ایلدرمی، علیرضا و مل حسینی دارانی، کبری. (۱۳۹۵). ارزیابی ظرفیت برد و امنیت اکولوژیکی شهر سنندج به روش ردّ پای بوم‌شناختی. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۲۱ (۶)، ۶۷-۷۹.

## References

- Amekudzi, A., Khayesi, M. & Khisty, C. J. (2015). Sustainable development footprint: A framework for assessing sustainable development risks and opportunities in time and space. *International Journal of Sustainable Development*, 18 (1-2), 9-40.
- Asadolahi, Z. & Salman mahini, A. (2017). Assessing the Impact of Land Use Change on Ecosystem Services Supply (Carbon Storage and Sequestration). *Environmental Researches*, 8 (15), 203-214 (In Persian).

- Baabou, W., Grunewald, N., Ouellet-Plamondon, C., Gressot, M. & Galli, A. (2017). The Ecological Footprint of Mediterranean cities: Awareness creation and policy implications. *Environmental Science & Policy*, 69, 94-104.
- Barrett, M., Belward, A., Bladen, S., Breeze, T., Burgess, N., Butchart, S., Clewlow, H., Cornell, S., et al. (2018). *Living Planet Report 2018: Aiming Higher*. Switzerland. available at <http://pure.iiasa.ac.at/15549>.
- Bartel, A. (2000). Analysis of landscape pattern: towards a 'top down' indicator for evaluation of landuse. *Ecological Modelling*, 130 (1-3), 87-94.
- Bastianoni, S., Niccolucci, V., Pulselli, R. M. & Marchettini, N. (2012). Indicator and indicandum: "Sustainable way" vs "prevailing conditions" in the Ecological Footprint. *Ecological Indicators*, 16, 47-50.
- Bihamta, N., Soffianian, A., Fakheran, S. & Gholamalifard, M. (2015). Using the SLEUTH urban growth model to simulate future urban expansion of the Isfahan metropolitan area, Iran. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 43 (2), 407-414.
- Borucke, M., Moore, D., Cranston, G., Gracey, K., Iha, K., Larson, J., ... & 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, 518-533.
- Cardenes, I., Hall, J. W., Eyre, N., Majid, A. & Jarvis, S. (2020). *Quantifying the energy consumption and greenhouse gas emissions of changing wastewater quality standards*. Water Science and Technology.
- Chuan, T. O. N. G. (2000). Review on environmental indicator research. *Research of environmental sciences*, 13(4).53-55.
- Deng, C., Liu, Z., Li, R. & Li, K. (2018). Sustainability evaluation based on a three-dimensional ecological footprint model: a case study in Hunan, China. *Sustainability*, 10 (12), 4498.
- Environment Canada (2014). *National Inventory Report: Greenhouse Gas Sources and Sinks in Canada*. available at: <http://www.ec.gc.ca/ges-ghg/>.
- Feyzi M. T. & Shirani, K. (2017). Preparing Botanic Formation Map based on Ecological-botanic Studies (Case Study: Isfahan Province). *Iranian Journal of Applied Ecology*. 6 (2), 83-97 (In Persian).
- Fu, W., Turner, J. C., 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.
- 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.
- General Department of Fisheries of Isfahan Province (2015). *Per capita consumption of aquatic animals* (In Persian).
- Grigoryeva, V. V. (2010). Research of Parameters of a Personal Ecological Footprint as an Effective Tool of Education for Sustainable Development, In: Simone Bastianoni. *The State of the Art in Ecological Footprint Theory and Applications Academic Conference Short Communications*, (pp. 51-53). Italy: FOOTPRINT FORUM.
- Han, B., Liu, H. & Wang, R. (2015). Urban ecological security assessment for cities in the Beijing–Tianjin–Hebei metropolitan region based on fuzzy and entropy methods. *Ecological Modelling*, 318, 217-225.
- Hoyle, A. (2020). *Modelling the effect of Canada's clean fuel standard on greenhouse gas emissions*. Master Degree of Resource Management. Faculty of Environment, Simon Fraser University. Canada.
- Huang, Q., Wang, R., Ren, Z., Li, J. & Zhang, H. (2007). Regional ecological security assessment based on long periods of ecological footprint analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 51 (1), 24-41.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press, UK. available at <https://www.ipcc.ch/report>.



- Isfahan Agricultural Jihad Office (2018). *Per capita food consumption and yield of agricultural products* (In Persian).
- Jomepour, M. & Hataminejad, H. (2013). An Investigation on Sustainable Development in Rasht County Using Ecological Footprint. *Human Geography Research Quarterly*, 45 (3), 191-208 (In Persian).
- Karimzadeh, Z., Lotfi, A. & Pourmanafi, S. (2020). Modeling the Sustainable Land-Use Allocation in the Great Isfahan Using Multi-Criteria Evaluation in GIS Environment. *Geography and Sustainability of Environment*, 35 (10), 21-35 (In Persian).
- Keshkar, M. (2017). *Land Sustainable Planning Base On Strategic Assessment of Ecosystem Services (Case Study: Zagros Biom's in Iran)*. master thesis, Shahid Beheshti University (In Persian).
- Kitzes, J. & Wackernagel, M. (2009). Answers to common questions in Ecological Footprint accounting. *Ecological Indicator*, 9, 812-817.
- Lei, Y. A. O. (2014). Carbon footprint evaluation on raw materials stage of textile and garment carbon emission reduction measures: In case of cotton. *Journal of the Tianjin Polytechnic University/Tianjin Gongye Daxue Xuebao*, 33 (1), 70-76.
- Li, J. X., Chen, Y. N., Xu, C. C. & Li, Z. (2019). Evaluation and analysis of ecological security in arid areas of Central Asia based on the emergy ecological footprint (EEF) model. *Journal of Cleaner Production*, 235, 664-677.
- Li, X., 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 China. *Ecological Indicators*, 39, 153-159.
- Li, Z. & HE, J. (2011). Regional Ecological Security Assessment Based on Improved Method of Ecological Footprint (the Case of Shandong Chang Dao County). *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 3, 8-14.
- Liu, D. & Chang, Q. (2015). Ecological security research progress in China. *Acta Ecologica Sinica*, 35 (5), 111-121.
- Lundquist, J. E. & Sommerfeld, R. A. (2002). Use of fourier transforms to define landscape scales of analysis for disturbances: a case study of thinned and unthinned forest stands. *Landscape Ecology*, 17 (5), 445-454.
- Mancini, M. S., Galli, A., Coscieme, L., Niccolucci, V., Lin, D., Pulselli, F. M. ... & Marchettini, N. (2018). Exploring ecosystem services assessment through Ecological Footprint accounting. *Ecosystem Services*, 30, 228-235.
- Mancini, M. S., Galli, A., Niccolucci, V., Lin, D., Bastianoni, S., Wackernagel, M. & Marchettini, N. (2016). Ecological footprint: refining the carbon footprint calculation. *Ecological indicators*, 61, 390-403.
- Mansourianfar, M. H. & Haghshenas, H. (2018). Micro-scale sustainability assessment of infrastructure projects on urban transportation systems: Case study of Azadi district, Isfahan, Iran. *Cities*, 72, 149-159.
- MEA, M. E. A. (2005). *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island, Washington, DC
- Meteorological Organization (2019). *Meteorological data of Isfahan province* (In Persian).
- Mobarghai, N., Sharzehie, G., Makhdom, M., Yavari, A. & Jafari, H. (2009). The spatial valuation pattern of Co2 absorption function in Caspian forests of Iran. *Journal of Environmental Studies*, 35 (50), 57-68 (In Persian).
- Mohmadai, N., Shaesteh, K., Eldrami, A. & Melhossainidarani, K. (2017). Assessment of Urban Carrying Capacity and Ecological Security of Sanandaj Using Ecological Footprint Method. *Geography and Sustainability of Environment*, 6 (4), 67-79 (In Persian).
- 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 (3), 231-246.
- Peng, J., Yang, Y., Liu, Y., Du, Y., Meersmans, J. & Qiu, S. (2018). Linking ecosystem services and circuit theory to identify ecological security patterns. *Science of the total environment*, 644, 781-790.

- Qiu, W., Zhao, Q. L., Zhao, Z. W. & Li, S. (2008). Ecological Security Analysis: A Case Study in Heilongjiang Province of China. *2nd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering* .4421-4425.
- Sasanpour, F., Shamaezadeh, A. & Asar, S. (2017). Investigation on Sustainable Development in Esfahan County whit Ecological Footprint method. *Researches in Earth Sciences*, 8 (1), 18-31 (In Persian).
- Sharp, R., Chaplin-Kramer, R., Wood, S., Guerry, A., Tallis, H. & Taylor, R. (2014). InVEST user's guide: integrated valuation of environmental services and tradeoffs. *The Natural Capital Project. In Stanford Woods Institute for the Environment. University of Minnesota's Institute on the Environment, the Nature Conservancy & WW Foundation Stanford*. 305.
- Shayesteh, K., Darani, K. M. & 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), 430-438.
- Statistical Yearbook of Isfahan Province (2018). *Deputy of Statistics and Information* (In Persian).
- Stögllehner, G. (2003). Ecological footprint—a tool for assessing sustainable energy supplies. *Journal of cleaner production*, 11 (3), 267-277.
- Wackernagel, M. & Rees, W. (1996). our Ecological footprint, educing human Impact on the earth.
- Wackernagel, M., Monfreda, C., Schulz, N. B., Erb, K. H., Haberl, H. & Krausmann, F. (2004). Calculating national and global ecological footprint time series: resolving conceptual challenges. *Land use policy*, 21 (3), 271-278.
- 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, 117795.
- Zhang, H. & Xu, E. (2017). An evaluation of the ecological and environmental security on China's terrestrial ecosystems. *Scientific Reports*, 7 (1), 1-12.
- Zhang, K., Lin, N., Xu, D., Yu, D. & Zou, C. (2018). Research advance on ecological security in China: Assessment models and management measures. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 34 (12), 1057-1063.
- Zhao, J., Ma, C., Zhao, X. & Wang, X. (2018). Spatio-temporal dynamic analysis of sustainable development in China based on the footprint family. *International journal of environmental research and public health*, 15 (2), 246.
- Zhao, M., He, Z., Du, J., Chen, L., Lin, P. & Fang, S. (2019). Assessing the effects of ecological engineering on carbon storage by linking the CA-Markov and InVEST models. *Ecological Indicators*, 98, 29-38.
- Zhao, R., Chuai, X., Huang, X., Lai, L. & Peng, J. (2014). Carbon Emission and Carbon Footprint of Different Industrial Spaces in Different Regions of China, Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors, Vol. 1, Edited by Subramanian Senthilkannan Muthu, Springer.

