



University of Tehran Press

Journal of Environmental Studies

Vol. 50, No. 4, Winter 2025

Print ISSN: 1025-8620

Online ISSN 2345-6922

Homepage: www.Jes.ut.ac.ir

Assessment of Ecological Security of Fars Province Based on Ecological Footprint

Maryam Kanani ¹ , Azar Sheikhzeinoddin ² 

1. Department of Agricultural Economics, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran, Email: kn.fariba@yahoo.com
2. Corresponding Author, Department of Agricultural Economics, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran, Email: azeinoddin@shirazu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 2 November 2024
Received 30 December 2024
Accepted 23 January 2025
Available online
28 February 2025

Keywords:

Ecological security,
Ecological footprint,
Sustainable development,

ABSTRACT

Objective: Global and regional environmental issues have become increasingly significant because of rapid population growth and socioeconomic development. Problems such as soil erosion, ecological pollution, land degradation, loss of biodiversity, and diminished ecosystem services pose serious threats to human living conditions and sustainable development of economies and societies. Consequently, as the population increases and economic activities expand, leading to greater consumption of ecological resources, assessing environmental security becomes crucial. This study aims to develop a comprehensive, multi-faceted approach to evaluate the environmental security of Fars Province by utilizing an ecological footprint method.

Method: Typically, this evaluation employs two fundamental concepts: ecological footprint and ecological capacity. In this context, the per capita ecological footprint and ecological capacity of Fars province were analyzed for the years 2011 to 2021. After determining the per capita ecological footprint and capacity, four indices were calculated: ecological deficit (ED), ecological footprint diversity index (EFDI), ecological pressure index (EPI), and ecological coordination coefficient (ECC).

Results: The results of this study showed that the per capita ecological footprint of Fars province increased by more than 17% during the study period, which, along with the population growth of the province, indicates an increase in pressure on the natural resources. Additionally, pollution levels and agricultural production contributed significantly to this strain. On the other hand, the per capita ecological capacity of the province, dropping from 1.23 gha in 2011 to 1.11 gha in 2021 has increased by 10%. It was also concluded that the per capita ecological capacity of Fars province is significantly lower (less than one-fourth) than its per capita ecological footprint, underscoring the region's vulnerability in terms of its capacity to absorb and regenerate natural resources. The findings indicated that throughout the study period, Fars Province consistently experienced an ecological deficit, which has been rising over time. Furthermore, the assessment of four environmental security indicators all indicate the province's environmental insecurity and the lack of coordination between development and the environment.

Conclusions: According to the results obtained using the investigated indicators in this study, the environmental condition of the province is not suitable and it has worsened over time. Therefore, if the policymakers are looking for sustainable economic development, it is necessary to pay more attention to the province's environment. In other words, it is imperative to implement dynamic and periodic environmental monitoring and to evaluate management strategies to enhance environmental health.

Cite this article: Kanani, M., & Sheikhzeinoddin, A. (2025). Assessment of Ecological Security of Fars Province Based on Ecological Footprint. *Journal of Environmental Studies*, 50 (4), 539- 561.
<http://doi.org/10.22059/jes.2025.384447.1008546>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.



DOI: <http://doi.org/10.22059/jes.2025.384447.1008546>

Introduction

Global and regional environmental problems have become increasingly prominent due to significant population growth and rapid socio-economic development. These problems such as soil erosion, ecological pollution, land degradation, loss of biodiversity and reduction of ecosystem services seriously threaten human living environment and sustainable development of economies and societies (Liu, Wu, and Wang, 2019; Salvati & Carlicci, 2014; Tsou et al., 2017). Urbanization has become a common trend in the development of countries around the world, resulting in the destruction of the ecosystem. Its most obvious feature is the massive increase in the urban population, which leads to the expansion of urban areas, increased energy consumption, and a series of changes in the lifestyle of residents (Zhou, Tian, and Jiang, 2018). Therefore, the rapid population growth and the continuous urbanization growth have increasingly exacerbated the inefficient human use of natural resources, which has led to various ecological and environmental problems (Niu *et al.*, 2018; Yin et al., 2021). Environmental security is considered a basic need for economic development and social progress. This requires studying the relationship between human activities and ecological changes, optimizing the structure of resource use, and minimizing the impact of human behavior on the environment with the assumption of maintaining sustainable economic growth and protecting human well-being. Therefore, the study of environmental security in the process of urbanization and its coordinated development is of particular importance to promote healthy and sustainable urban development (Zhang et al., 2022). In this research, in order to create multi-faceted, multi-level, and multi-structural perspectives to evaluate the environmental security of Fars province, ecological footprint index and environmental security indicators were used.

Method

In order to better evaluate the environmental security situation of Fars province, the per capita ecological capacity and ecological footprint and finally, the relevant indicators were calculated. For this purpose, per capita ecological footprint and per capita ecological capacity were calculated for Fars province during the period of 2011-2021. After determining the per capita ecological footprint and capacity, four indices were calculated: ecological deficit (ED), ecological footprint diversity index (EFDI), ecological pressure index (EPI), and ecological coordination coefficient (ECC). The per capita ecological surplus/deficit is calculated using the equation (1):

$$ED = EC_{per\ capita} - EF_{per\ capita} \quad (1)$$

When $ED < 0$ it indicates ecological deficits, which indicates ecological overload. When $ED > 0$ it indicates ecological surplus, meaning that the environment is not overloaded.

Equation (2) was used to calculate the Ecological Footprint Diversity Index (EFDI) (Dong et al., 2021):

$$EFDI = - \sum_{i=1}^6 (p_i \times \ln p_i) \quad (2)$$

The Ecological Pressure Index (EPI) reflects the stress-bearing capacity of ecosystems in a region. The larger the EPI indicates the higher the ecological pressure (Krajacic et al., 2016). The EPI is calculated as equation (3):

$$EPI = \frac{EF}{EC} \quad (3)$$

The Ecological Coordination Coefficient indicates the degree of harmony between the region's environment and socio-economic development. The ECC is calculated as equation (4):

$$ECC = \frac{(EPI + 1)}{\sqrt{(EPI^2 + 1)}} \quad (4)$$

Finally, based on the results of this analysis, ecological security was evaluated.

Results

The results showed that the per capita ecological footprint of Fars province increased from 2011 to 2021, so that the equivalent of 0.7 gha increased during these years, which was mainly due to the increase in carbon dioxide emissions. Also, the results indicated that nearly 80% and about 19% of the per capita ecological footprint of Fars province was related to carbon dioxide emission and agricultural production, respectively. In general, the per capita ecological footprint of Fars province has increased by more than 17% during the period of investigation, which, along with the population growth of the province, indicates an increase in pressure on the natural resources in the province. Meanwhile, pollution emissions and agricultural production played a greater role in increasing this pressure on resources. Therefore, it is necessary to promote the use of clean energy in different sectors of the economy in order to reduce the pressure caused by carbon dioxide emissions. The results of the per capita evaluation of the province's ecological capacity showed that the value of this index decreased from 1.23 gha in 2011 to 1.11 gha in 2021, which shows a 10% decrease. The significant part of this reduction is also related to the loss of capacity and area of existing forests in the province. The findings indicated that throughout the study period, Fars Province consistently experienced an ecological deficit, which has been rising over time. Finally, by comparing the per capita ecological capacity of the province with the per capita ecological footprint, it is clear that the per capita ecological capacity of the province is less than a quarter of the per capita ecological footprint, which shows the ability to absorb and recover natural and environmental resources. The province is very vulnerable in this regard.

Conclusions

According to the results obtained using the investigated indicators in this study, it was found that the environmental condition of the province was not suitable and it had worsened over time. Therefore, if the policymakers are looking for sustainable economic development, it is necessary to pay more attention to the province's environment. In this regard, the following suggestions are presented:

- According to the indicators of environmental security, it can be concluded that the environmental condition of the province is in a poor condition. Therefore, it is recommended to use natural resources such as agricultural lands, pastures and forests more efficiently and based on their capacity.
- It is necessary for the beneficiaries to take the social responsibilities of environmental destruction while benefiting from the environmental resources (Nepal *et al.*, 2019).
- Based on the results of the ecological footprint in Fars province, it is recommended that the use of clean energy be strongly developed. The requirement for this suggestion is to promote the development of clean energy sources and reduce dependence on fossil energy sources.
- Considering that a significant part of the reduction in carrying capacity is due to the loss of the capacity and area of the existing forests in the province, it is suggested that natural forest protection projects and bio-compensation policies should be implemented.

Author Contributions

M. Kanani: Data preparation, calculations, statistical analysis of data, analysis and interpretation of information and results, writing- original draft.

A. Sheikhzeinoddin: Conceptualization, Investigation, Writing - review & editing, Supervision.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants of the present study.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ارزیابی امنیت اکولوژیکی استان فارس بر مبنای ردپای اکولوژیکی

مریم کنعانی^۱ ID، آذر شیخ زین‌الدین^۲ ID ✉

۱. گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران، رایانامه: kn.fariba@yahoo.com
۲. گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران، رایانامه: azeinoddin@shirazu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف: مشکلات زیست‌محیطی جهانی و منطقه‌ای به دلیل رشد قابل توجه جمعیت و توسعه سریع اجتماعی-اقتصادی به طور فزاینده‌ای برجسته شده‌اند. این مشکلات مانند فرسایش خاک، آلودگی اکولوژیکی، تخریب زمین، از بین رفتن تنوع زیستی و کاهش خدمات اکوسیستمی، محیط زندگی انسان‌ها و توسعه پایدار اقتصادها و جوامع را به طور جدی تهدید می‌کنند. بنابراین با توجه به رشد جمعیت و توسعه فعالیت‌های اقتصادی و در نتیجه استفاده بیشتر از منابع اکولوژیکی، ارزیابی امنیت اکولوژیکی حائز اهمیت می‌باشد. ارزیابی امنیت اکولوژیکی یکی از ابزارهای مهم برای سنجش تأثیرات فعالیت‌های انسانی بر محیط‌زیست و منابع طبیعی است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۲	روش پژوهش: این ارزیابی معمولاً با استفاده از دو مفهوم کلیدی ردپای اکولوژیکی و ظرفیت اکولوژیکی، انجام می‌شود. برای این منظور ابتدا سرانه ردپای اکولوژیکی و ظرفیت اکولوژیکی استان فارس طی دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۰ محاسبه شد. در نهایت با توجه به نتایج به دست آمده در این زمینه شاخص‌های کسری اکولوژیکی (ED)، شاخص تنوع ردپای اکولوژیکی (EFDI)، شاخص فشار اکولوژیکی (EPI) و ضریب هماهنگی اکولوژیکی (ECC) جهت ارزیابی امنیت اکولوژیکی محاسبه شدند.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۱۰	یافته‌ها: نتایج این مطالعه نشان داد که سرانه ردپای اکولوژیکی استان فارس در طی دوره مورد مطالعه، بیش از ۱۷ درصد افزایش یافته که در کنار رشد جمعیت استان، نشان‌دهنده افزایش فشار بر منابع طبیعی موجود در استان است. از سوی دیگر سرانه ظرفیت اکولوژیکی استان با کاهش ۱۰ درصدی مواجه شده است. همچنین این نتیجه به دست آمد که سرانه ظرفیت اکولوژیکی استان فارس کمتر از یک چهارم سرانه ردپای اکولوژیکی این استان می‌باشد که نشانگر آسیب‌پذیری توانایی جذب و بازیابی منابع طبیعی و محیط‌زیست استان است. به علاوه محاسبه چهار شاخص امنیت اکولوژیکی همگی بیانگر ناامنی اکولوژیکی استان و عدم هماهنگی بین جریان توسعه و محیط‌زیست می‌باشد.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۴	نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به دست آمده با استفاده از شاخص‌های مورد بررسی در این تحقیق، مشخص شد که وضعیت محیطی استان مناسب نبوده و به مرور زمان بدتر شده است. بنابراین اگر سیاستگذاران به دنبال توسعه اقتصادی پایدار هستند، توجه بیشتر به محیط‌زیست استان ضروری است. در نتیجه، اجرای پایش محیطی پویا و دوره‌ای و ارزیابی استراتژی‌های مدیریتی برای ارتقای سلامت محیط ضروری است.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۱۰	
کلیدواژه‌ها: امنیت اکولوژیکی، توسعه پایدار، ردپای اکولوژیکی.	

استناد: کنعانی، مریم؛ و شیخ زین‌الدین، آذر. (۱۴۰۳). ارزیابی امنیت اکولوژیکی استان فارس بر مبنای ردپای اکولوژیکی. *نشریه محیط‌شناسی*، ۵۰ (۴)، ۵۳۹-۵۶۱.
<http://doi.org/10.22059/jes.2025.384447.1008546>

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

©نویسندگان.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jes.2025.384447.1008546>



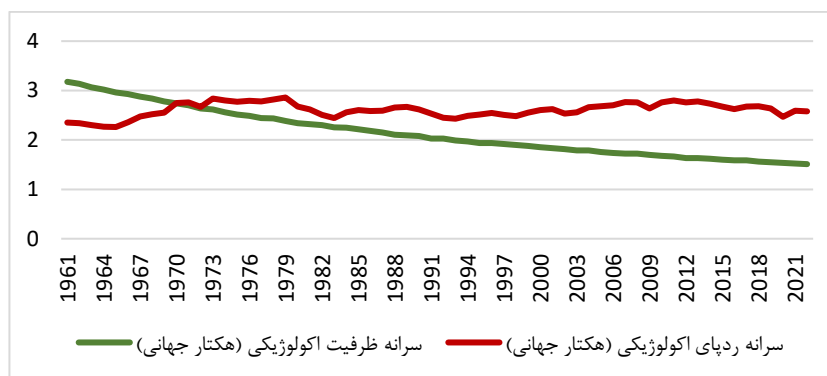
DOR: 20.1001.1.10258620.1403.50.4.7.0

۱. مقدمه

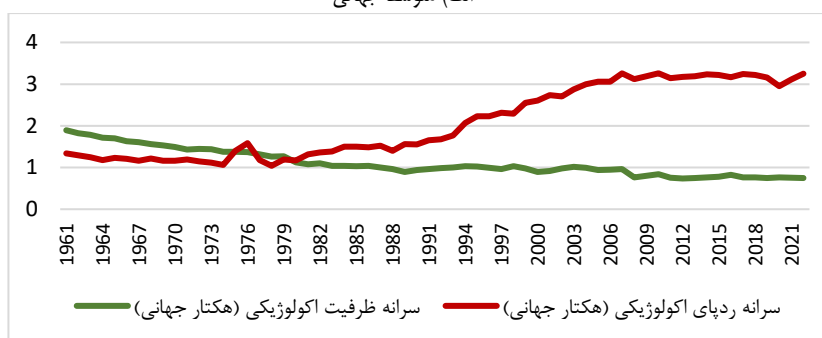
مشکلات محیط‌زیستی جهانی و منطقه‌ای به دلیل رشد قابل توجه جمعیت و توسعه سریع اجتماعی - اقتصادی به طور فزاینده‌ای برجسته شده است. این مشکلات مانند فرسایش خاک، آلودگی اکولوژیک، تخریب زمین، از بین رفتن تنوع‌زیستی و کاهش خدمات اکوسیستمی، محیط زندگی انسان‌ها و توسعه پایدار اقتصادها و جوامع را به طور جدی تهدید می‌کنند (Liu, Wu, & Wang, 2019; Salvati & Carlicci, 2014; Tsou et al., 2017). از سوی دیگر شهرنشینی به یک روند رایج در توسعه کشورهای سراسر جهان و در نتیجه تخریب و از بین رفتن اکوسیستم تبدیل شده است. بارزترین ویژگی آن افزایش گسترده جمعیت شهری است که منجر به گسترش مناطق شهری، افزایش مصرف انرژی و مجموعه‌ای از تغییرات در سبک زندگی ساکنان می‌شود (Zhou, Tian, & Jiang, 2018). تمرکز بالای جمعیت شهری و گسترش مستمر ساخت و ساز به مناطق اطراف، منجر به مواجهه با بسیاری از مشکلات اجتماعی، اقتصادی و اکولوژیکی بالقوه شده است. شهرنشینی نیروی محرک اصلی ایجاد تغییرات فضایی در اکولوژی شهری است (Leite et al., 2018)، که عمدتاً به دلیل تشدید تغییر کاربری اراضی می‌باشد (Koopman et al., 2018). به علاوه بخش کشاورزی به عنوان تامین کننده غذای جمعیت رو به رشد، به دلیل افزایش فشار بر منابع آب، خاک و سایر منابع (اعم از تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر)، تأثیر زیادی بر محیط‌زیست گذاشته و یکی دیگر از عوامل تشدیدکننده تغییر کاربری اراضی است (Elferink, Nonhebel, & Moll, 2008; Pelletier & Tyedmers, 2010; Van Zanten et al., 2018). بنابراین مجموعه‌ای از این عوامل در مناطق شهری و روستایی، واکنش‌های اکولوژیکی مختلفی از جمله تهدیدات برای تنوع‌زیستی (Seto, Güneralp & Hutrya, 2012)، تغییرات در سیستم‌های اقلیمی و فرآیندهای هیدرولوژیکی (Chu et al., 2017) و آلودگی‌های محیط‌زیستی را، تسریع می‌کند. اثرات منفی استفاده بیش از حد از منابع اکولوژیکی و اضافه‌بار اکولوژیکی ناشی از تسریع گسترش شهرنشینی در کشورهای در حال توسعه، امنیت اکولوژیکی و توسعه پایدار تراکم شهری را تهدید می‌کند. امنیت اکولوژیکی به سلامت و یکپارچگی اکوسیستم اشاره دارد (Costes et al., 2017) و درجه حفاظت از تولید، زندگی و سلامت انسان در برابر آسیب‌های اکولوژیکی و آلودگی‌های اکولوژیکی را نشان می‌دهد (Wen & Hou, 2021). به بیان دیگر، امنیت اکولوژیکی زمین به سلامتی اکولوژیک و پایداری منابع زمین و اکوسیستم اشاره دارد که می‌تواند خدمات اکولوژیکی پایدار و نیازهای اکولوژیکی را برای نسل‌های آینده مهیا کند. در حال حاضر فعالیت‌های انسانی و توسعه اکوسیستم به شدت نامتعادل بوده که این امر امنیت اکولوژیکی را با مخاطره همراه ساخته است (Steffen et al., 2015). بنابراین ساخت الگوهای امنیت اکولوژیکی محلی، منطقه‌ای و یا کشوری ابزاری حیاتی برای حل مشکلات اکولوژیکی و ترویج توسعه سلامت محیط‌زیست است (Peng et al., 2017).

یکی از روش‌های ارزیابی امنیت اکولوژیکی، بررسی ردپای اکولوژیکی است (Belluco et al., 2013; Zhang et al., 2022). ردپای اکولوژیکی به مکانی اطلاق می‌شود که می‌تواند به طور مداوم مصرف یک فرد، منطقه و کشور را در یک زمان خاص حفظ کند. این شاخص ابزاری برای اندازه‌گیری تقاضای بشر از محیط‌زیست و مقایسه این تقاضا با ظرفیت حمل زمین برای بازتولید منابع است. این روش یک روش کمی قابل شناسایی است که با سطح بهره‌وری بیولوژیکی زمین^۱ بیان می‌شود. مفهوم ردپای اکولوژیکی برای اولین بار توسط Rees (1992) ارائه شد و پس از آن بیشتر مورد بررسی قرار گرفت (Wackernagel & Rees, 1996). در دهه‌های اخیر، مدل‌های ردپای اکولوژیکی، از نظر مقیاس در حال توسعه و تغییر هستند. برای مثال، Moore et al., (2012) از «هکتارهای جهانی» برای پیش‌بینی ردپای اکولوژیکی جهانی برای ۴۰ سال آینده استفاده کردند، و نشان دادند که تا سال ۲۰۵۰ از منابع ۲/۶ برابر، سریع‌تر استفاده خواهد شد. Zhang et al., (2009) ردپای اکولوژیکی را در سطح استان و با استفاده از «هکتارهای استانی» برای بیان عرضه و تقاضای سرمایه طبیعی بررسی کردند. همچنین در مطالعه‌ای دیگر Luo et al., (2018) از «پارامترهای محلی» برای اندازه‌گیری ردپای اکولوژیکی استفاده کردند و نشان دادند که فشار اکولوژیکی در حال افزایش است و در آینده نیز افزایش خواهد یافت.

هر ساله شاخص ردپای اکولوژیکی توسط شبکه جهانی ردپا^۱ برای کشورهای جهان محاسبه و گزارش می‌شود. بر این اساس متوسط جهانی سرانه ردپای اکولوژیکی از ۲/۳۵ در سال ۱۹۶۱ به ۲/۵۸ در سال ۲۰۲۲ افزایش یافته است که مقدار آن از سال ۱۹۷۰ از ظرفیت اکولوژیکی کره زمین پیشی گرفته است (نمودار ۱- الف). بنابراین می‌توان مشاهده نمود که فشار بر محیط‌زیست در طول زمان و همراه با توسعه اقتصادی رو به افزایش بوده است. این در حالی است که به دلایل مختلف از جمله فقر، عدم آموزش، نبود قوانین و مقررات و ... این مسئله در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران بحرانی‌تر است به گونه‌ای که در این کشور سرانه ردپای اکولوژیکی از ۱/۳۴ در سال ۱۹۶۱ (۱۳۳۹ شمسی) به ۳/۲۵ در سال ۲۰۲۲ (۱۴۰۰ شمسی) افزایش یافته است (نمودار ۱- ب). لازم به ذکر است که اگرچه سرانه ظرفیت اکولوژیکی ایران کمتر از متوسط جهانی است اما سرانه ردپای اکولوژیکی این کشور بیش از متوسط جهانی می‌باشد و شکاف بین این دو شاخص در طول زمان در حال افزایش است. به گونه‌ای که از سال ۱۹۸۰ (۱۳۵۵ شمسی) به بعد سرانه ردپای اکولوژیکی بیش از سرانه ظرفیت اکولوژیکی شده که این خود زنگ خطری برای ضرورت توجه به محیط‌زیست در ایران است. همین مسئله اهمیت مطالعه حاضر را بیش از پیش مشخص می‌سازد. ارزیابی امنیت اکولوژیکی یک منطقه یا استان، به سیاست‌گذاران این امکان را می‌دهد تا توان پشتیبانی محیط‌زیست از جمعیت را تعیین کنند.



الف) متوسط جهانی



ب) ایران

نمودار ۱. سرانه ردپای اکولوژیکی و ظرفیت اکولوژیکی (هکتار جهانی) (منبع: شبکه جهانی ردپا)

۲. پیشینه پژوهش

در مطالعات مختلفی در سطح جهان به بررسی وضعیت محیط‌زیست پرداخته شده است. از جمله (Velentoulis & Talberth, 2010) عوامل هم‌ارزی و بازده را بر اساس بهره‌وری خالص اولیه^۲ (NPP) محاسبه کردند. نتایج این مطالعه افزایش قابل توجهی در ردپای جهانی

1. <https://data.footprintnetwork.org/#/>

2. Net primary product

و کسری اکولوژیکی را نشان می‌دهد. در این مسیر، پارامترهای مدل ردپای اکولوژیکی^۱ به‌طور مداوم در جهت بومی‌سازی و استانداردسازی تنظیم می‌شود. (Li et al., 2014) با ایجاد یک مدل امنیت محیط‌زیستی در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ به توسعه یک روش ارزیابی امنیت محیط‌زیستی بر پایه‌ی ردپای اکولوژی و کاربرد آن در چین پرداختند. در این مطالعه ارزیابی فشار ایجاد شده توسط انتقال منابع و محصولات از مناطق خروجی به مناطق ورودی با استفاده از شاخص فشار ردپای مصرف و شاخص فشار تولید صورت گرفت. (Han, Liu & Wang, 2015) با استفاده از روش آنتروپی و فازی به این نتیجه رسیدند در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۲ امنیت منطقه شهری پکن، تیانبین-هی افزایش یافته است. (Shi, Li & Xie, 2018) حساسیت و امنیت محیط‌زیستی را به وسیله یکپارچه‌سازی بیولوژیکی، فرایندهای اکولوژیکی و حساسیت‌های توسعه را در جلگه‌های جذر و مدار شنگ‌های ارزیابی کردند. (Tang, Zhao & Jiao, 2020) امنیت محیط‌زیستی دریاچه چائو را بر اساس مدل PSR^2 ارزیابی کردند و به این نتیجه رسید که توسعه صنعتی و شهرنشینی از عوامل اصلی مؤثر بر امنیت محیط‌زیستی دریاچه چائو می‌باشد. (Ma et al., 2019) تغییرات مکانی-زمانی در امنیت محیط‌زیستی و الگوی چشم‌انداز را در بخش میانی و پایین دست حوضه رودخانه شول از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۵ بر اساس مدل PSR ارزیابی کردند. (Wang, Qin & Zhang, 2019) به شناسایی امنیت محیط‌زیستی گوانگژو چین با شبیه‌سازی مناطق خطرپذیر پرداختند که در واقع بررسی یک مدل فضایی برای امنیت اکولوژی شهری می‌باشد. همچنین در مطالعه‌ای دیگر (Peng, Li & Nan, 2021) تعامل بین شهرنشینی و امنیت محیط‌زیستی را بررسی کردند. (Zhang et al., 2020) مکانیسم تعامل بین شهرنشینی و امنیت محیط‌زیستی را ایجاد کردند. (Biyase et al., 2023) به بررسی رابطه بین ردپای اکولوژیکی و پیامدهای سلامت در کشورهای E7 از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۷ پرداختند. در این مطالعه با استفاده از مدل‌های حداقل مربعات معمولی اصلاح شده پانل (FMOLS)^۳ و حداقل مربعات معمولی پویای پانل (DOLS)^۴، نشان دادند که در حالی که ردپای اکولوژیکی به طور مثبت بر امید به زندگی تأثیر می‌گذارد، بی‌توجهی به مدیریت بلندمدت آن می‌تواند به اثرات منفی بر سلامتی منجر شود.

(Pourebrahim et al., 2023) به بررسی چالش‌های محیط‌زیستی پیش روی استان البرز ایران به دلیل توسعه سریع صنعتی، کشاورزی و گردشگری پرداختند. برای این منظور با استفاده از مدل ظرفیت حمل محیط‌زیست، پایداری اکولوژیکی را از طریق معیارهای ردپای اکولوژیکی و ظرفیت اکولوژیکی ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که این استان از سال ۱۹۹۲ در کسری اکولوژیکی قرار دارد و پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که در صورت تداوم روند فعلی، کسری اکولوژیکی معادل ۳۴۹۷۳۶۸ هکتار، تا سال ۲۰۳۰ به وجود خواهد آمد. عوامل اصلی این کسری مصرف منابع در صنایع، استفاده از آب کشاورزی و آلودگی ناشی از خانوارها و صنایع است. این تحقیق بر ضرورت مدیریت فضایی پایدار و مصرف مؤثر منابع برای کاهش اثرات محیط‌زیستی در ایران اشاره دارد. (Mir, Sobhani & Sayahnia, 2022) به بررسی تأثیر اکولوژیکی شهرنشینی در استان سیستان و بلوچستان ایران پرداختند و نشان دادند که چگونه صنعتی شدن گسترده و توسعه شهری منجر به کمبود منابع، آلودگی محیط‌زیستی و تخریب قلمرو شده است. با استفاده از مدل ردپای اکولوژیکی، این مطالعه نشان داد که شهرنشینی تقاضای منابع را افزایش داده و منجر به مصرف بیشتر مواد غذایی و زباله و همچنین افزایش انتشار کربن، که عمدتاً ناشی از تولید زغال‌سنگ می‌باشد، شده است. یافته‌ها نشان داد که مصرف آب دارای بالاترین سرانه ردپای اکولوژیکی است که انتظار می‌رود با توجه به رشد جمعیت افزایش یابد. این مطالعه به این نتیجه رسید که جمعیت و رشد اقتصادی، محرک‌های مهمی برای کاهش منابع و ناپایداری در منطقه هستند از این‌رو، کنترل جمعیت و سیاست‌هایی را برای بهینه‌سازی ساختارهای صنعتی و احیای اکولوژیکی برای دستیابی به استفاده پایدار از منابع و رشد اقتصادی توصیه می‌کنند. (Keshtkar & Sayahnia, 2020) همچنین به پیش‌بینی امنیت اکولوژیکی شهرستان اصفهان پرداختند. برای این منظور شاخص فشار ردپای مصرف و تولید با تکیه بر ردپای اکولوژیکی استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد امنیت اکولوژیکی در این شهرستان پایین است. درویشی، سیاح‌نیا و مبرقعی (۱۴۰۲) با هدف تحلیل امنیت

1. Ecological Footprint
 2. Pressure-State-Response
 3. Panel fully modified ordinary least square
 4. Panel dynamic ordinary least square

اکولوژیک شهرستان اصفهان به مقایسه عرضه و تقاضای خدمت اکوسیستمی ذخیره کربن در بخش مرکزی این شهرستان پرداخته شد. نتایج نشان داد که در دو دهه گذشته منطقه مطالعاتی با تغییرات زیادی در کاربری و پوشش اراضی روبه‌رو بوده و از طرفی با افزایش تقاضا برای خدمت ذخیره کربن که از افزایش انتشار دی‌اکسید کربن نشأت گرفته است، مناطق بیشتری از بخش مرکزی اصفهان دچار عدم تعادل در عرضه و تقاضای خدمت ذخیره کربن شده است. براساس یافته‌ها و نتایج این مطالعه، افزایش انتشار کربن تأثیر بیشتری بر کاهش امنیت اکولوژیکی داشته است و حفظ و ارتقای کیفیت اکوسیستم شهری ممکن نیست مگر با استفاده از دانش اکولوژیک با رویکردی همچون حفظ عرضه، تقاضا و جریان خدمات اکوسیستم که از ارکان مهم توسعه پایدار است (Sadeghi et al., 2022). با هدف ایجاد امنیت بهداشتی و اکولوژیکی برای حوضه آبخیز پیشکوه در استان یزد، مرکز ایران انجام شد. برای تهیه اطلس سلامت حوضه آبخیز پیشکوه از چارچوب مفهومی فشار-وضعیت-پاسخ (PSR) استفاده شد. شاخص فشار با تجزیه و تحلیل نیروهای محرکه عوامل طبیعی و انسانی مورد بررسی قرار گرفت. سپس شرایط موجود محیط طبیعی و عملکرد حوضه با استفاده از شاخص وضعیت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. علاوه بر این، شاخص پاسخ نیز به عنوان معیاری برای بیان میزان پاسخ جامعه یا پیامدهای مختلف حوضه به نیروهای محرک تحمیل شده بر سیستم حوضه محاسبه شد. نتایج مطالعه نشان داد که حدود ۹۱ و ۹ درصد از حوضه به عنوان نسبتاً سالم و نسبتاً ناسالم طبقه‌بندی شدند. همچنین نتایج شاخص امنیت اکولوژیکی نشان داد که حدود ۴۱ درصد از منطقه به عنوان وضعیت نسبتاً ضعیف طبقه‌بندی شده است (Sadeghi et al., 2023). در مطالعه خود به ارزیابی وضعیت سلامت ۳۰ حوضه آبخیز بزرگ درجه دوم ایران با رویکرد (PSR)¹ پرداختند. در این راستا، ۴۴ متغیر مسئله‌محور، تأثیرگذار و در عین حال قابل دسترس با مقیاس‌های سازگار در سطح ملی، عمدتاً در بخش‌های اقلیمی، هیدرولوژیکی، انسان‌زایی و طبیعی تعیین شدند. در نهایت، شاخص‌های P، S و R با استفاده از میانگین حسابی ۲۵ متغیر نرمال شده محاسبه شدند که بر اساس آن شاخص‌های سلامت و امنیت مبتنی بر PSR نیز در سطح کشور محاسبه شد. نتایج نشان داد شاخص‌های سلامت و امنیت به ترتیب از ۰/۴۶ تا ۰/۶۹ و ۰/۳ تا ۰/۸۹ متغیر است. همچنین نتایج نشان داد که حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه دارای شرایط بهداشتی و امنیتی متفاوتی نسبت به عوامل خاص حوضه هستند. بنابراین نتایج حاکی از ضرورت وجود راهبردهای مدیریتی منحصر به فرد برای مقابله با شرایط نامطلوب موجود در سطح کشور است. (Keshtkar et al., 2023). در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر رشد شهری بر امنیت اکولوژیکی منظره LES² در استان کهگیلویه و بویراحمد (KBP) ایران پرداختند. نتایج نشان داد که شدت رشد شهری در شهرستان‌های کهگیلویه و بویراحمد روند صعودی داشته است که در آن رشد پراکندگی ۶۷ درصد، کاهش و میانگین شاخص امنیت اکولوژیکی منظر (LESI) سطح زمین، ۳/۳ درصد کاهش یافته است. همچنین ۸۰ درصد شهرستان‌های استان از نظر LESI به آستانه ناامن رسیده یا از آن عبور کرده‌اند، در حالی که تنها شهرستان‌های باشت و لنده کمتر تخریب شده‌اند. ارزیابی الگوهای فضایی و شاخص‌های تحلیلی رابطه منفی بین رشد شهری و LESI را نشان داد.

Akpanke et al., (2024) در مطالعه خود به بررسی ردپای اکولوژیکی (EFP) در کشورهای OECD، با تمرکز بر تأثیر انرژی‌های تجدیدپذیر (RE) و کارایی انرژی بر تخریب محیط‌زیست پرداختند. برای این منظور EFP منطقه خشکی و دریایی مورد نیاز برای جذب زباله و حمایت از تولید منابع را اندازه‌گیری کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که RE به طور قابل توجهی هم انتشار EFP و هم کربن را کاهش می‌دهد، در حالی که رشد اقتصادی تمایل به تشدید آنها دارد. اگرچه بهره‌وری انرژی باعث کاهش انتشار کربن می‌شود، اما تأثیر قابل توجهی بر EFP ندارد. علاوه بر این، انرژی‌های تجدیدنشده و تحقیق و توسعه، با یک اثر مثبت جزئی بر EFP، انتشار کربن را افزایش می‌دهد. این تحقیق بر اهمیت درک چگونگی تأثیر عوامل مختلف بر EFP برای رسیدگی موثر به تخریب محیط‌زیست تأکید می‌کند.

بنابراین با توجه به رشد جمعیت و توسعه فعالیت‌های اقتصادی و در نتیجه استفاده بیشتر از منابع اکولوژیکی، ارزیابی امنیت اکولوژیکی

1. Pressure-State-Response
2. Landscape Ecological Security

حائز اهمیت می‌باشد. اما همان‌طور که مطالعات انجام شده نشان دادند لازم است این مطالعات به صورت منطقه‌ای صورت گیرد. از این رو، از آنجایی که مطالعه‌ای در این زمینه در استان فارس صورت نگرفته است این مطالعه به بررسی امنیت اکولوژیکی استان فارس پرداخته است.

۳. روش‌شناسی پژوهش

روش‌های مختلفی برای ارزیابی امنیت اکولوژیکی وجود دارد که این روش‌ها شامل، روش شاخص (Dai, Liu & Luo, 2021; Bai & Adriaenssens et al., 2010)، روش خوشه‌بندی سیستماتیک (Allen, Evrard & Mantz, 2011)، روش ارزیابی جامع فازی (Tang, 2010)، مدل شبکه عصبی (Guo et al., 2020) و روش ردپای اکولوژیکی (Belluco et al., 2013) می‌باشد. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد هدف این مطالعه ایجاد دیدگاهی چند زاویه‌ای، چند سطحی و چند ساختاری برای ارزیابی امنیت اکولوژیکی با استفاده از شاخص ردپای اکولوژیکی می‌باشد. به‌منظور محاسبه ردپای اکولوژیکی (EF)، ابتدا مناطق با تولیدات زیستی را مشخص و سپس مساحت آنها بدون وزن و استاندارد می‌شود که این امر با استفاده از فاکتور برابری و فاکتور بازدهی انجام می‌شود. لازم به ذکر است که واحد ردپای اکولوژیکی و ظرفیت اکولوژیکی، هکتار جهانی (gha) می‌باشد (Monfreda, Wackernagel & Deumling, 2004). در شکل‌های (۱ و ۲) اجزای سازنده شاخص ردپای اکولوژیکی (EF) و ظرفیت اکولوژیکی (EC) ارائه شده است. این شکل‌ها نشان می‌دهند که چگونه خالص مصرف به ردپای اکولوژیکی و زمین‌های با تولیدات زیستی به ظرفیت اکولوژیکی تبدیل می‌شوند.



شکل ۱. اجزای سازنده شاخص ردپای اکولوژیکی (منبع: Monfreda, Wackernagel and Deumling, 2004)



شکل ۲. اجزای سازنده شاخص ظرفیت اکولوژیکی (منبع: Monfreda, Wackernagel and Deumling, 2004)

با این حال، هنگام محاسبه ردپای اکولوژیکی و ظرفیت اکولوژیکی، تنها عرضه و تقاضای اکولوژیکی در نظر گرفته می‌شود و عوامل دیگر در منطقه مانند جمعیت، سطح توسعه اقتصادی، تخصیص منابع طبیعی و درجه فشار اکوسیستم در نظر گرفته نمی‌شوند (Bello, Solarin & Yen, 2018). بنابراین، اندازه‌گیری توسعه اکوسیستم منطقه از زوایا، سطوح و عوامل متعدد ضروری است. از این‌رو، چهار شاخص سرانه کسری اکولوژیکی^۱، شاخص تنوع ردپای اکولوژیکی^۲، شاخص فشار اکولوژیکی^۳ و ضریب هماهنگی اکولوژیکی^۴ برای ارزیابی امنیت اکولوژیکی منطقه مورد مطالعه استفاده شد. سرانه مازاد/کسری اکولوژیکی با استفاده از معادله (۱) محاسبه گردید:

$$ED = EC_{per\ capita} - EF_{per\ capita} \quad \text{رابطه (۱)}$$

لازم به ذکر است که با تقسیم شاخص‌های EF و EC بر جمعیت مقدار این شاخص‌ها به صورت سرانه محاسبه شده و سپس سرانه مازاد/کسری اکولوژیکی محاسبه می‌شود. زمانی که $ED < 0$ باشد نشان‌دهنده کسری اکولوژیکی است، که نشان‌دهنده اضافه بار اکولوژیکی است. هنگامی که $ED > 0$ باشد نشان‌دهنده مازاد اکولوژیکی است و نشان می‌دهد که محیط‌زیست بیش از حد بارگذاری نشده است.

شاخص تنوع ردپای اکولوژیکی (EFDI) فراوانی انواع مختلف زمین و عادلانه بودن توزیع ردپای اکولوژیکی در یک منطقه را نشان می‌دهد (Yang et al., 2018). هرچه توزیع ردپای اکولوژیکی در یک سیستم اکولوژیکی - اقتصادی برابرتر باشد، تنوع اکولوژیکی برای

1. Ecological Deficit (ED)
2. Ecological Footprint Diversity Index (EFDI)
3. Ecological Pressure Index (EPI)
4. Ecological Coordination Coefficient (ECC)

اقتصاد اکولوژیکی اجزای سیستم داده شده، بیشتر است. به طور کلی، در مرحله اولیه توسعه منطقه‌ای، EFDI نسبتاً پایین است. با این حال، با توسعه اقتصاد اجتماعی، شاخص تنوع به تدریج افزایش می‌یابد که می‌تواند باعث ارتقای بهره‌وری مصرف انرژی شود. به منظور محاسبه شاخص تنوع ردپای اکولوژیکی (EFDI) از معادله (۲) استفاده شد (Dong et al., 2021):

$$EFDI = - \sum_{i=1}^6 (p_i \times \ln p_i) \quad \text{رابطه (۲)}$$

EFDI شاخص تنوع ردپای اکولوژیکی، p_i نسبت EF برای نوع زمین دسته نام در کل EF است. شاخص فشار اکولوژیکی (EPI) منعکس‌کننده ظرفیت تحمل فشار اکوسیستم‌های منطقه است. هرچه EPI بزرگتر باشد، فشار اکولوژیکی بالاتر است (Krajačić et al., 2016). محاسبه EPI به صورت معادله (۳) است:

$$EPI = \frac{EF}{EC} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در نهایت با توجه به مقدار محاسبه شده برای شاخص EPI، منطقه مورد مطالعه از نظر فشار اکولوژیکی دسته‌بندی می‌شود. معیارهای رتبه‌بندی EPI در جدول (۱) نشان داده شده است (Chu et al., 2017).

جدول ۱. معیارهای رتبه‌بندی شاخص EPI و ارزیابی امنیت اکولوژیکی (منبع: Chu et al., 2017)

سطح امنیت محیط‌زیستی	طبقه‌بندی	وضعیت امنیت محیط‌زیستی
۱	$EPI < 0.5$	بسیار امن
۲	$0.5 \leq EPI \leq 0.80$	امن‌تر
۳	$0.80 < EPI \leq 1$	کمی ناامن
۴	$1 < EPI \leq 1.50$	کمتر امن
۵	$1.50 < EPI \leq 2$	نا امن
۶	$EPI > 2$	به شدت ناامن

کسری اکولوژیکی یک ارزش مطلق است و نمی‌تواند رابطه آن را با شرایط موجودی منابع طبیعی (دارایی‌های طبیعی) منعکس کند. بنابراین لازم است مفهوم ضریب هماهنگی اکولوژیکی (ECC) برای جبران این کمبود در کسری اکولوژیکی معرفی شود (Wang et al., 2018). ضریب هماهنگی اکولوژیکی نشان‌دهنده درجه هماهنگی بین محیط‌زیست منطقه و توسعه اجتماعی-اقتصادی است. فرمول محاسبه این شاخص به صورت معادله (۴) است:

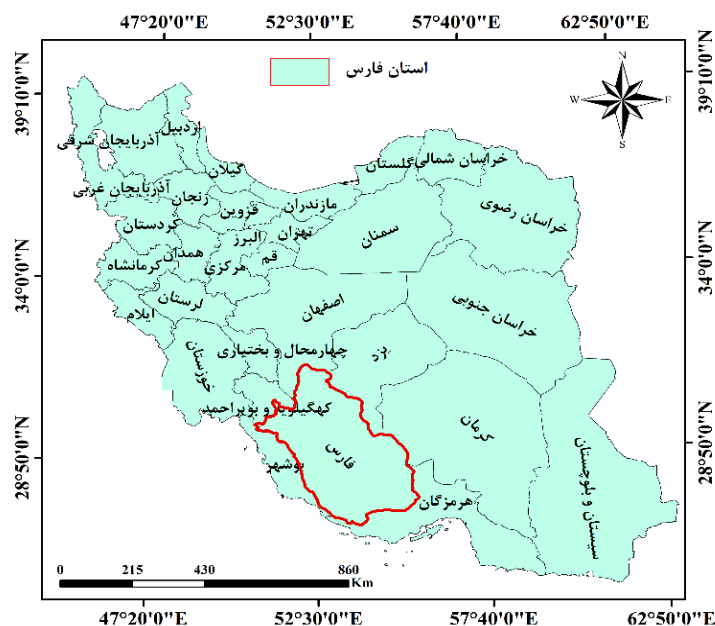
$$ECC = \frac{(EPI + 1)}{\sqrt{(EPI^2 + 1)}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

از آنجایی که ردپای اکولوژیکی و ظرفیت اکولوژیکی بزرگتر از صفر هستند، مقدار ECC بین ۱ تا ۱/۴۱۴ می‌باشد. هر چه مقدار به ۱/۴۱۴ نزدیک‌تر باشد هماهنگی بهتری وجود خواهد داشت. برعکس هرچه مقدار به ۱ نزدیک‌تر باشد هماهنگی بدتر است. زمانی که $ECC=1.414$ باشد، تقاضا و عرضه منابع محیط‌زیستی نزدیک به هم هستند.

۴. منطقه مورد مطالعه

استان فارس یکی از استان‌های ایران است که در بخش جنوب این کشور واقع شده است. این استان با مساحتی بالغ بر ۱۲۲۶۰۸ کیلومتر مربع، ۷/۴ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است که چهارمین استان کشور از نظر وسعت می‌باشد. بر اساس تقسیمات

کشوری سال ۱۴۰۰ شمسی، استان فارس به ۳۷ شهرستان، ۹۷ بخش و ۱۲۴ شهر تقسیم شده است (سرشماری عمومی نفوس و مسکن، ۱۴۰۰). همچنین کل جمعیت استان بر اساس سرشماری سال ۱۴۰۰ معادل ۵۰۵۴۷۰۰ نفر می‌باشد که ۶۹ درصد از جمعیت استان شهرنشین هستند. به علاوه استان فارس با توجه به مساحت و تنوع زیستگاهی، از مناطق دارای اهمیت در کشور می‌باشد. این استان جایگاه بسیار خوبی در بخش کشاورزی دارد به نحوی که ۱۲ درصد امنیت غذایی کشور در اختیار این استان است و قطب باغبانی کشور به شمار می‌رود. اما امروزه شاهد افزایش فشار بر منابع دارای ارزش طبیعی واقع در این استان می‌باشیم که این فشارها عموماً در اثر فعالیت‌های شهرسازی و تغییر کاربری اراضی می‌باشد (جوانمردی، ۱۳۹۲). این استان عمدتاً با مشکل بیابان منفی آب زیرزمینی دشت‌ها، روبه‌رو است و بسیاری از عرصه‌های کشاورزی و منابع طبیعی در اثر نبود مدیریت صحیح، تخریب و به بیابان تبدیل شده است (مسعودی و برزگر، ۱۳۹۴). از این رو، با توجه به اهمیت استان فارس در بین استان‌های کشور (از نظر وسعت، جمعیت و محیط‌زیستی) بررسی وضعیت محیط‌زیست استان برای رسیدن به اهداف برنامه‌ریزی شده در راستای توسعه پایدار حائز اهمیت است (شکل ۳). بنابراین در این مطالعه به محاسبه شاخص سرانه ردپای اکولوژیکی و ظرفیت اکولوژیکی این استان پرداخته شده است. محاسبه سرانه ردپای اکولوژیکی و ظرفیت اکولوژیکی، امکان محاسبه چهار شاخص کسری اکولوژیکی سرانه^۱، شاخص تنوع ردپای اکولوژیکی^۲، شاخص فشار اکولوژیکی^۳، ضریب هماهنگی اکولوژیکی را جهت ارزیابی امنیت اکولوژیکی استان فراهم می‌کند.



شکل ۳. منطقه مورد مطالعه (استان فارس)

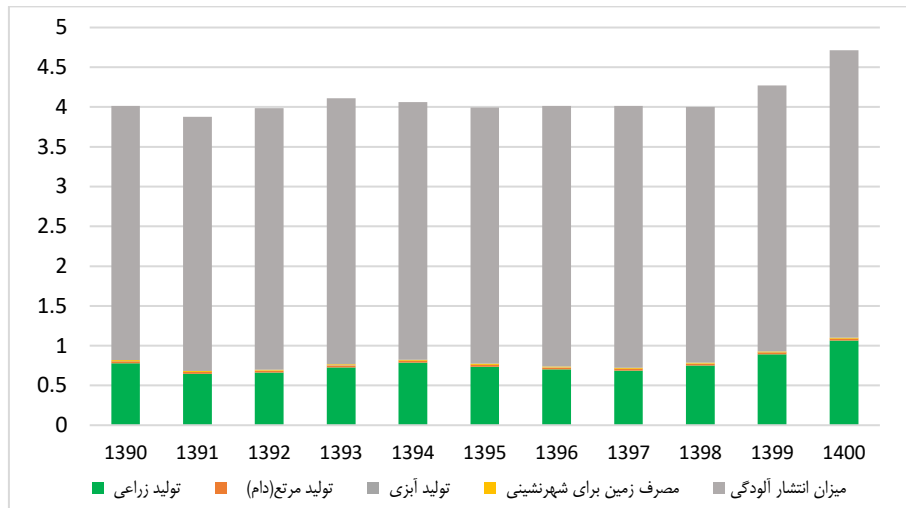
۵. یافته‌های پژوهش

در این بخش ابتدا اجزای سرانه ردپای اکولوژیکی در استان فارس ارائه شده است (نمودار ۲). سپس مقادیر محاسبه شده این شاخص مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (جدول ۲).

همان‌طور که در نمودار (۲) مشخص است سرانه ردپای اکولوژیکی استان فارس از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ رشد داشته به طوری که طی

1. Per capita ecological deficit
2. Ecological footprint diversity index
3. Ecological footprint diversity index

این سال‌ها معادل ۰/۷ gha افزایش یافته است. مشاهده اجزای ردپای اکولوژیکی نشان می‌دهد که این افزایش عمدتاً ناشی از افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن بوده است.



نمودار ۲. مقادیر محاسبه شده سرانه ردپای اکولوژیکی و اجزای آن (gha) طی دوره ۱۴۰۰-۱۳۹۰ (منبع: یافته‌های تحقیق)

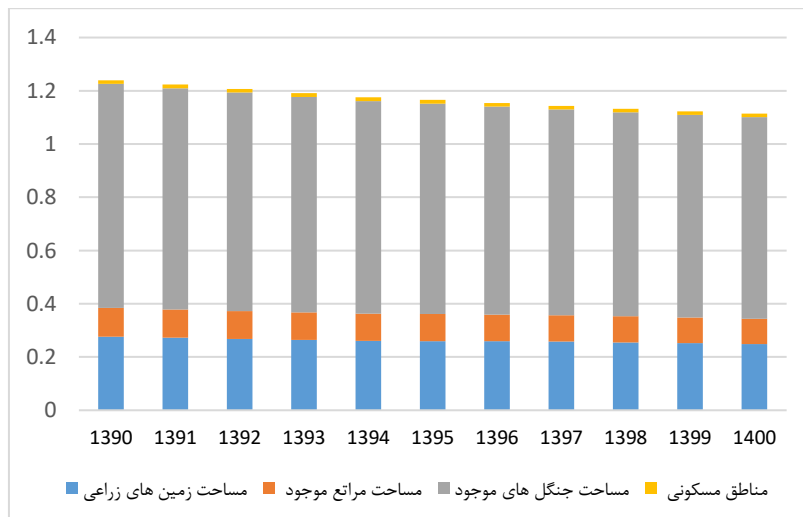
اطلاعات جدول (۲) نیز نشان می‌دهد که میزان انتشار آلودگی از ۳/۱۹ gha در سال ۱۳۹۰ به ۳/۶۱ gha در سال ۱۴۰۰ رسیده است. به عبارت دیگر ۰/۴۲ gha از ۰/۷ gha افزایش ردپای اکولوژیکی، طی دوره مطالعه مربوط به افزایش انتشار آلودگی در این استان بوده است. میزان انتشار آلودگی نه تنها افزایش شدیدی داشته بلکه بخش عمده سرانه ردپای اکولوژیکی را به خود اختصاص داده است (نمودار ۲) و نزدیک به ۸۰ درصد سرانه ردپای اکولوژیکی استان فارس بوده است. در ایران نیز سهم انتشار آلودگی از ردپای اکولوژیکی بیش از ۷۵ درصد است (پایگاه ردپای اکولوژیکی^۱). پس از انتشار آلودگی، تولیدات زراعی بیشترین سهم را از سرانه ردپای اکولوژیکی دارند. همان‌طور که در جدول (۲) نیز مشخص است بیش از ۲۰ درصد از سرانه ردپای اکولوژیکی استان فارس مربوط به تولیدات زراعی است. افزایش این جز نیز در طول دوره بررسی شده شدید است. ردپای تولیدات زراعی از ۰/۷۸ gha در ابتدای دوره به ۱/۰۶ gha در انتهای دوره رسیده است که نشان‌دهنده افزایش ۰/۲۸ gha در این شاخص است. بنابراین می‌توان گفت کل افزایش سرانه ردپای اکولوژیکی استان فارس در سال‌های اخیر مربوط به افزایش میزان انتشار آلودگی و تولیدات زراعی است. مجموع سه جز دیگر ردپای اکولوژیکی که شامل ردپای تولید مرتع، آبیان و مصرف زمین شهرنشینی است کمتر ۰/۱ gha است و نقش کمتری در تغییرات سرانه ردپای اکولوژیکی استان فارس داشته‌اند. اما نکته قابل توجه در خصوص این اجزا، کاهش سرانه ردپای اکولوژیکی مصرف شهرنشینی است به طوری که در سال ۱۳۹۰، مقدار زمین مصرف شهرنشینی معادل ۰/۰۱۴ gha بوده است که تا سال ۱۴۰۰ به ۰/۰۱۳ gha می‌رسد. این امر نشان می‌دهد همراه با افزایش جمعیت استان فارس در این سال‌ها، سهم هر فرد از مصرف زمین شهرنشینی کاهش یافته است. در خصوص تولیدات آبی نیز، سرانه ردپای اکولوژیکی رشدی نزدیک به ۱۰۰ درصدی داشته است که نشان می‌دهد تولید آبیان در استان فارس افزایش قابل توجهی داشته هر چند که در مقایسه با سایر اجزا بسیار کوچک است. از سوی دیگر، ردپای مرتع از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ تغییر چندانی نداشته و در بازه ۰/۰۲۰ gha تا ۰/۰۲۳ gha در نوسان بوده است. آخرین جز سرانه ردپای اکولوژیکی که در این مطالعه قرار ندارد مساحت تولیدات جنگل است که با توجه به عدم تولید چوب و الوار در استان فارس مقادیر این جز در جدول قرار نگرفته است. در مجموع سرانه ردپای اکولوژیکی استان فارس در طول ۱۱ سال مورد بررسی، بیش از ۱۷ درصد افزایش یافته که در کنار رشد جمعیت

1. <https://data.footprintnetwork.org/#/countryTrends?cn=102&type=BCpc,EFCpc>

استان نشان‌دهنده افزایش فشار بر منابع طبیعی موجود در استان است. در این میان میزان انتشار آلودگی و تولیدات زراعی نقش بیشتری در افزایش این فشار بر منابع دارند. لازم به ذکر است که سرانه ردپای اکولوژیکی به تنهایی برای ارزیابی وضعیت منابع طبیعی کافی نیست. بنابراین برای این منظور لازم است سرانه ظرفیت اکولوژیکی نیز محاسبه و در کنار سرانه ردپای اکولوژیکی دیدگاه جامعی در خصوص وضعیت اکولوژیکی استان ارائه شود. ظرفیت اکولوژیکی نشان‌دهنده توانایی محیط‌زیست در بازسازی خود و پاسخگویی به تقاضای بشر است. نمودار (۳) و جدول (۳) تغییرات سرانه ظرفیت اکولوژیکی و اجزای آن را که در این مطالعه محاسبه شده است، را نشان می‌دهد.

جدول ۲. مقادیر محاسبه شده سرانه ردپای اکولوژیکی و اجزای آن (gha) طی دوره ۱۳۹۰-۱۴۰۰ (منبع: یافته‌های تحقیق)

سال	تولید زراعی	تولید مرتع	تولید آبی	مصرف زمین برای شهرنشینی	میزان انتشار آلودگی	سرانه ردپای اکولوژیکی
۱۳۹۰	۰/۷۷۹	۰/۰۲۲	۰/۰۰۰۹	۰/۰۱۴۲	۳/۱۹	۴/۰۱۲
۱۳۹۱	۰/۶۴۵	۰/۰۲۲	۰/۰۰۱۴	۰/۰۱۴۰	۳/۱۹	۳/۸۷۸
۱۳۹۲	۰/۶۶۰	۰/۰۲۳	۰/۰۰۱۴	۰/۰۱۳۹	۳/۲۸	۳/۹۸۶
۱۳۹۳	۰/۷۲۷	۰/۰۲۳	۰/۰۰۱۴	۰/۰۱۳۷	۳/۳۴	۴/۱۱۱
۱۳۹۴	۰/۷۸۶	۰/۰۲۳	۰/۰۰۱۵	۰/۰۱۳۵	۳/۲۳	۴/۰۶۱
۱۳۹۵	۰/۷۳۵	۰/۰۲۳	۰/۰۰۱۴	۰/۰۱۳۳	۳/۲۲	۳/۹۹۴
۱۳۹۶	۰/۷۰۰	۰/۰۲۳	۰/۰۰۱۵	۰/۰۱۳۲	۳/۲۷	۴/۰۱۴
۱۳۹۷	۰/۶۸۶	۰/۰۲۲	۰/۰۰۱۴	۰/۰۱۳۱	۳/۲۸	۴/۰۱۲
۱۳۹۸	۰/۷۴۹	۰/۰۲۲	۰/۰۰۱۵	۰/۰۱۲۹	۳/۲۱	۴/۰۰۲
۱۳۹۹	۰/۸۹۲	۰/۰۲۰	۰/۰۰۱۶	۰/۰۱۲۸	۳/۳۴	۴/۲۷۱
۱۴۰۰	۱/۰۶۵	۰/۰۲۱	۰/۰۰۱۷	۰/۰۱۲۸	۳/۶۱	۴/۷۱۳



نمودار ۳. مقادیر محاسبه شده سرانه ظرفیت اکولوژیکی و اجزای آن (gha) طی دوره ۱۳۹۰-۱۴۰۰ (منبع: یافته‌های تحقیق)

برای محاسبه ظرفیت اکولوژیکی مساحت زمین‌های زراعی، مراتع، جنگل‌ها، مناطق مسکونی، مناطق تجمع انرژی طبیعی یا مناطق جذب آلودگی موجود (جنگل‌ها) بر حسب هکتار محاسبه شده و سپس با استفاده از فاکتور برابری و فاکتور بازدهی به مساحت‌های استاندارد شده بر حسب شاخص هکتار جهانی تبدیل می‌شوند. مجموع هکتار جهانی به‌دست آمده از مساحت‌های استاندارد شده، ظرفیت اکولوژیکی

آن منطقه است. سرانه ظرفیت اکولوژیکی استان فارس از ۱/۲۳ gha در سال ۱۳۹۰ به ۱/۱۱ gha در سال ۱۴۰۰ کاهش یافته است. با توجه به اجزای ظرفیت اکولوژیکی می‌توان گفت که کاهش ظرفیت جنگل‌های استان به میزان ۰/۰۹ gha طی دوره مورد مطالعه، باعث کاهش ظرفیت اکولوژیکی شده است. به عبارت دیگر، بخش قابل توجه کاهش سرانه ظرفیت اکولوژیکی، مربوط به از بین رفتن توانایی و مساحت جنگل‌های موجود در استان است. جنگل‌های استان فارس هر چند که در تولید نقشی ندارند اما در بالا نگه‌داشتن ظرفیت اکولوژیکی سرانه استان نقش اساسی را ایفا می‌کنند چرا که از مهم‌ترین منابع جذب آلودگی در استان به شمار می‌روند. نکته حائز اهمیت دیگر در خصوص مقادیر محاسبه شده سرانه ظرفیت اکولوژیکی، کاهش ۱۰ درصدی سرانه ظرفیت اکولوژیکی استان فارس در این بازه ۱۱ ساله است که این امر عمدتاً ناشی از کاهش مساحت جنگل‌ها و مراتع استان فارس می‌باشد.

در نهایت با مقایسه سرانه ظرفیت اکولوژیکی استان فارس با سرانه ردپای اکولوژیکی این استان مشخص شد که سرانه ظرفیت اکولوژیکی استان فارس کمتر از یک چهارم سرانه ردپای اکولوژیکی استان فارس می‌باشد که نشان می‌دهد توانایی جذب و بازیابی منابع طبیعی و محیط‌زیست استان بسیار آسیب‌پذیر است.

جدول ۳. مقادیر محاسبه شده سرانه ظرفیت اکولوژیکی و اجزای آن (gha) طی دوره ۱۴۰۰-۱۳۹۰ (منبع: یافته‌های تحقیق)

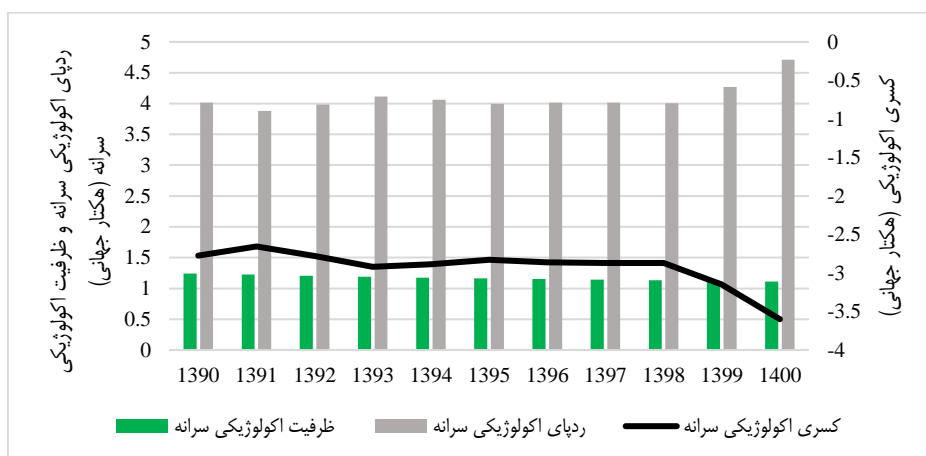
سال	مساحت زمین‌های زراعی	مساحت مراتع موجود	مساحت جنگل‌های موجود	مناطق مسکونی	ظرفیت اکولوژیکی
۱۳۹۰	۰/۲۷۶	۰/۱۰۷	۰/۸۴۱	۰/۰۱۴۲	۱/۲۳
۱۳۹۱	۰/۲۷۲	۰/۱۰۶	۰/۸۳۱	۰/۰۱۴۰	۱/۲۲
۱۳۹۲	۰/۲۶۷	۰/۱۰۴	۰/۸۲۰	۰/۰۱۳۸	۱/۲۰
۱۳۹۳	۰/۲۶۳	۰/۱۰۳	۰/۸۰۹	۰/۰۱۳۷	۱/۱۹
۱۳۹۴	۰/۲۶۰	۰/۱۰۲	۰/۷۹۸	۰/۰۱۳۵	۱/۱۷
۱۳۹۵	۰/۲۵۹	۰/۱۰۱	۰/۷۹۰	۰/۰۱۳۳	۱/۱۶
۱۳۹۶	۰/۲۵۹	۰/۱۰۰	۰/۷۸۰	۰/۰۱۳۲	۱/۱۵
۱۳۹۷	۰/۲۵۸	۰/۰۹۹	۰/۷۷۳	۰/۰۱۳۰	۱/۱۴
۱۳۹۸	۰/۲۵۵	۰/۰۹۷	۰/۷۶۵	۰/۰۱۲۹	۱/۱۳
۱۳۹۹	۰/۲۵۱	۰/۰۹۶	۰/۷۶۱	۰/۰۱۲۸۹	۱/۱۳
۱۴۰۰	۰/۲۴۸	۰/۰۹۵	۰/۷۵۶	۰/۰۱۲۸۲	۱/۱۱

در انتها به منظور ارزیابی وضعیت امنیت اکولوژیکی استان فارس، به محاسبه چهار شاخص سرانه کسری اکولوژیکی (ED)، شاخص تنوع ردپای اکولوژیکی (EFDI)، شاخص فشار اکولوژیکی (EPI) و ضریب هماهنگی اکولوژیکی (ECC) با استفاده از معادله‌های ۱ تا ۴، پرداخته شد. نتایج حاصل از محاسبه این شاخص‌ها در جدول (۴) گزارش شده است.

به منظور ارزیابی بهتر نتایج، در نمودار (۴) تغییرات سرانه ردپای اکولوژیکی، سرانه ظرفیت اکولوژیکی و سرانه مازاد یا کسری اکولوژیکی مقایسه شده است. در طول دوره مورد مطالعه، استان فارس همواره با کسری اکولوژیکی مواجه بوده است و در طول زمان این کسری رو به افزایش بوده است. به گونه‌ای که از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ کسری اکولوژیکی از ۲/۷۷۲- به ۳/۵۹۹- رسیده است که رشدی معادل ۳۰ درصد داشته است. سرانه ردپای اکولوژیکی با سرانه کسری اکولوژیکی همبستگی مثبت و معنی‌دار و با سرانه ظرفیت اکولوژیکی همبستگی منفی دارد. نتایج این بخش نشان می‌دهد که رابطه بین تقاضا و عرضه در وضعیت نامتعادلی قرار دارد و گرایش ناپایدار به طور فزاینده‌ای در استان قابل مشاهده است. بنابراین محیط‌زیست استان فارس در وضعیت ناپایداری قرار دارد و از نظر اکولوژیکی وضعیت ناامنی دارد.

جدول ۴. ارزیابی امنیت محیط‌زیستی استان فارس (منبع: یافته‌های تحقیق)

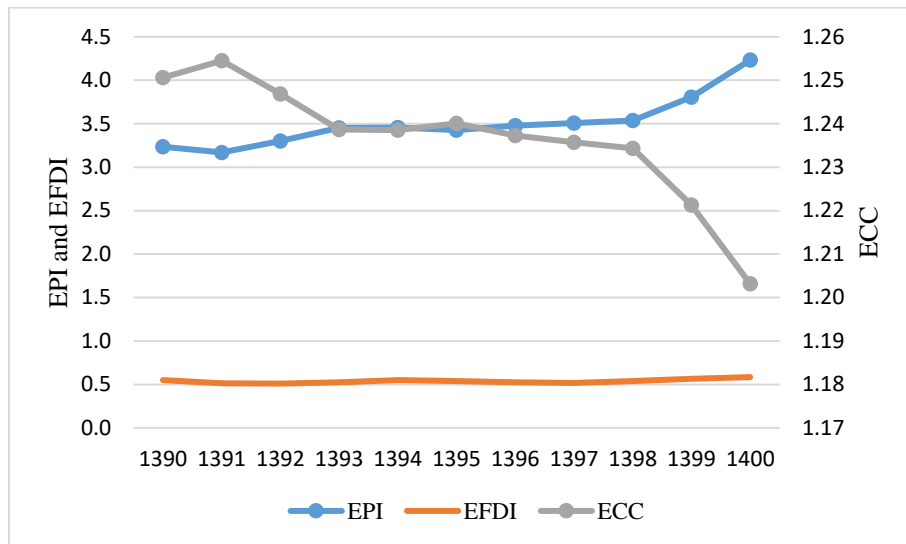
سال	مازاد/ کسری اکولوژیکی (ED)	شاخص تنوع ردپای اکولوژیکی (EFDI)	شاخص فشار اکولوژیکی (EPI)	ضریب هماهنگی اکولوژیکی (ECC)
۱۳۹۰	-۲/۷۷۲	۰/۵۵۰	۳/۲۳۶	۱/۲۵۱
۱۳۹۱	-۲/۶۵۵	۰/۵۱۱	۳/۱۶۹	۱/۲۵۵
۱۳۹۲	-۲/۷۷۹	۰/۵۰۹	۳/۳۰۲	۱/۲۴۷
۱۳۹۳	-۲/۹۲۰	۰/۵۲۵	۳/۴۵۳	۱/۲۳۹
۱۳۹۴	-۲/۸۸۶	۰/۵۵۰	۳/۴۵۶	۱/۲۳۹
۱۳۹۵	-۲/۸۲۹	۰/۵۳۷	۳/۴۲۷	۱/۲۴۰
۱۳۹۶	-۲/۸۶۰	۰/۵۲۲	۳/۴۷۹	۱/۲۳۷
۱۳۹۷	-۲/۸۶۹	۰/۵۱۵	۳/۵۰۹	۱/۲۳۶
۱۳۹۸	-۲/۸۷۰	۰/۵۴۰	۳/۵۳۶	۱/۲۳۴
۱۳۹۹	-۳/۱۴۹	۰/۵۶۵	۳/۸۰۵	۱/۲۲۱
۱۴۰۰	-۳/۵۹۹	۰/۵۸۴	۴/۲۳۴	۱/۲۰۳



نمودار ۴. تغییرات سرانه کسری اکولوژیکی استان فارس طی دوره زمانی ۱۳۹۰-۱۴۰۰ (منبع: یافته‌های تحقیق)

همچنین روند تغییرات شاخص EPI، EFDI و ECC در طی دوره مورد مطالعه در نمودار (۵) نشان داده شده است. طی دوره مورد مطالعه شاخص EPI روند صعودی داشته است. همچنین شاخص EFDI از نوسانات کمتری طی دوره مورد مطالعه برخوردار بوده است. روند معکوس بین دو شاخص ECC و EPI قابل مشاهده است که این امر نشان می‌دهد هماهنگی محیط‌زیست در زمانی که فشار اکولوژیکی پایین است خوب می‌باشد. اما برعکس، زمانی که فشار اکولوژیکی بالا است، هماهنگی محیط‌زیست ضعیف می‌باشد. بنابراین، مقدار آستانه EPI را می‌توان با مقدار بحرانی ECC تعیین کرد و سپس سطح امنیت اکولوژیکی و سطح هشدار امنیت اکولوژیکی را می‌توان تعیین کرد. از آنجایی که EPI در این مطالعه بزرگتر از یک به دست آمد می‌توان نتیجه گرفت که فشاری که به محیط‌زیست وارد می‌شود بیشتر از ظرفیت اکولوژیکی استان است. بنابراین، امنیت اکولوژیکی در معرض تهدید است. در این مورد، هر چه شاخص EPI بزرگتر باشد، درجه ناامنی اکولوژیکی بیشتر است. از آنجایی که در طول دوره مطالعه، مقادیر محاسبه شده این شاخص همواره بزرگتر از ۲ می‌باشد می‌توان نتیجه گرفت که امنیت اکولوژیکی استان به شدت ناامن می‌باشد. همچنین شاخص ECC در طول دوره مطالعه از روند نزولی برخوردار بوده است، که نشان می‌دهد هماهنگی بین محیط‌زیست استان و توسعه اجتماعی-اقتصادی در طول زمان کاهش یافته است. در

سال ۱۴۰۰، ECC برخلاف EPI که بیشترین مقدار را دارد به حداقل رسیده است، که نشان می‌دهد زمانی که فشار اکولوژیکی تا یک نقطه خاص افزایش می‌یابد، محیط‌زیست، محیطی ناهم‌هنگ و ناامن می‌شود. بنابراین از سال ۱۳۹۸ کاهش شاخص ECC به یک باره شدت گرفته است.



نمودار ۵. روند تغییرات شاخص EPI، EFDI و ECC استان فارس طی دوره زمانی ۱۳۹۰-۱۴۰۰ (منبع: یافته‌های تحقیق)

در رابطه با شاخص تنوع اکولوژیکی (EFDI)، زمانی که نسبت کاربری انواع زمین یکسان (یعنی $p_i = \frac{1}{6}$) باشد، این شاخص حداکثر مقدار را خواهد داشت (۱/۷۹). در نتیجه هر چه توزیع زمین از نظر بیولوژیکی متعادل‌تر باشد، پایداری سیستم‌های مختلف اکولوژیکی-اقتصادی بهتر است. اما همان‌طور که از نتایج جدول (۴) مشاهده می‌شود، شاخص EFDI با یک روند نوسانی آهسته در طول دوره مورد بررسی همراه بوده است و مقدار این شاخص در کل دوره کمتر از یک بوده است. بنابراین توزیع ردپای انواع مختلف زمین در این استان غیریکنواخت است. همچنین متوسط ارزش EFDI در طول دوره ۰/۵۴ به دست آمد. با بررسی علت، مشخص می‌شود که نسبت ردپای انتشار آلودگی به طور متوسط ۸۰ درصد و نسبت ردپای تولیدات زراعی به طور متوسط ۱۹ درصد از کل ردپای اکولوژیکی استان را به خود اختصاص داده است. همچنین از آنجایی که این شاخص در طول زمان رو به بهبود نبوده است می‌توان نتیجه گرفت که توسعه اقتصادی همراه با ایجاد آسیب به محیط‌زیست بوده است و از این رو لازم است جریان توسعه اقتصادی همراه با حفاظت محیط‌زیست باشد.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مطالعه به منظور ایجاد دیدگاه‌های چند زاویه‌ای، چند سطحی و چندساختاری برای ارزیابی امنیت اکولوژیکی استان فارس از شاخص ردپای اکولوژیکی و ظرفیت اکولوژیکی استفاده شد. برای این منظور این شاخص‌ها طی دوره زمانی ۱۳۹۰-۱۴۰۰ برای استان فارس محاسبه شد. نتایج نشان داد که سرانه ردپای اکولوژیکی استان فارس طی دوره مورد مطالعه افزایش داشته است به طوری که طی این سال‌ها معادل ۰/۷ gha افزایش یافته است که این افزایش عمدتاً ناشی از افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن بوده است. همچنین سرانه ردپای اکولوژیکی استان فارس در طی این مدت بیش از ۱۷ درصد افزایش یافته که در کنار رشد جمعیت استان، نشان‌دهنده افزایش فشار بر منابع طبیعی موجود در استان است. در این میان میزان انتشار آلودگی و تولیدات زراعی نقش بیشتری در افزایش این فشار بر منابع داشته‌اند. بنابراین لازم است به منظور کاهش فشار ناشی از انتشار دی‌اکسیدکربن به ترویج استفاده از انرژی پاک در بخش‌های مختلف اقتصاد این استان پرداخته شود. همچنین ارزیابی سرانه ظرفیت اکولوژیکی استان نشان داد که مقدار این شاخص از ۱/۲۳ gha در سال ۱۳۹۰ به ۱/۱۱ gha در سال ۱۴۰۰ کاهش یافته است که کاهش ۱۰ درصدی را نشان می‌دهد. بخش قابل توجه این کاهش ناشی از، از بین رفتن توانایی و مساحت جنگل‌های موجود در استان است. در نهایت با مقایسه سرانه ظرفیت اکولوژیکی استان با

سرانه ردپای اکولوژیکی این استان مشخص شد که سرانه ظرفیت اکولوژیکی استان کمتر از یک چهارم سرانه ردپای اکولوژیکی استان می‌باشد که نشان می‌دهد توانایی جذب و بازیابی منابع طبیعی و محیط‌زیست استان بسیار آسیب‌پذیر است. با محاسبه و ارزیابی شاخص‌های امنیت اکولوژیک مشخص شد که طی دوره مورد مطالعه شاخص EPI روند صعودی و ECC روند نزولی داشته است. بنابراین روند معکوسی بین دو شاخص ECC و EPI قابل مشاهده است که این امر نشان می‌دهد که با افزایش فشار اکولوژیکی، هماهنگی محیط‌زیست ضعیف می‌گردد. از آنجایی که در طول دوره مطالعه، مقادیر شاخص EPI همواره بزرگ‌تر از ۲ می‌باشد این نتیجه حاصل شد که محیط‌زیست استان فارس به شدت ناامن می‌باشد. همچنین نزولی بودن شاخص ECC نشان می‌دهد که هماهنگی بین محیط‌زیست استان و توسعه اجتماعی - اقتصادی در طول زمان کاهش یافته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که وضعیت محیط‌زیست استان در طول زمان بدتر شده است. از این رو، اگر سیاست‌گذاران به دنبال دستیابی به توسعه اقتصادی پایدار استان هستند ضروری است که به محیط‌زیست بیش از پیش توجه نمایند. در این راستا، پیشنهادات زیر ارائه می‌گردد:

۱. نظارت پویا و دوره‌ای بر محیط‌زیست و ارزیابی اقدامات مدیریتی به منظور ارتقای سلامت محیط‌زیست ضروری است که لازمه این امر دستیابی به اطلاعات معرف فشار و وضعیت محیط‌زیست در طول زمان می‌باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود سازمان‌های مربوطه اهتمام بیشتری در جمع‌آوری اطلاعات به صورت سالانه و منطقه‌ای داشته باشند.
۲. از آنجایی که نسبت ردپای انتشار آلودگی و تولیدات زراعی به طور متوسط ۸۰ و ۱۹ درصد از کل ردپای اکولوژیکی استان را به خود اختصاص داده است از این رو به منظور ایجاد هماهنگی بین جریان توسعه اقتصادی و محیط‌زیست، افزایش کارایی استفاده از انرژی و زمین‌های کشاورزی به‌طور خاص پیشنهاد می‌شود.
۳. توصیه می‌شود که از سرمایه‌های طبیعی استان از جمله زمین‌های کشاورزی، مراتع و جنگل‌ها به‌صورت کارآمدتر و متناسب با ظرفیت آن‌ها استفاده شود.
۴. همچنین توصیه می‌شود که استفاده از انرژی پاک به شدت در این استان توسعه یابد که لازمه این امر ترویج توسعه منابع انرژی پاک می‌باشد.
۵. به‌علاوه از آنجایی که بخش قابل‌توجهی از کاهش ظرفیت اکولوژیکی استان ناشی از، از بین رفتن توانایی و مساحت جنگل‌های موجود در استان می‌باشد، پیشنهاد می‌شود پروژه‌های حفاظت از جنگل‌های طبیعی و سیاست‌گیران محیط‌زیستی، به منظور بهبود ظرفیت اکولوژیکی اجرا شود.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: تهیه و آماده‌سازی داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیش‌نویس مقاله
نویسنده دوم: استاد راهنمای پایان‌نامه، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شیراز انجام شد.

سپاسگزاری

از داوران محترم به خاطر ارائه نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

منابع

جوانمردی، شیوا (۱۳۹۲). بررسی حقوقی و زیست محیطی آب‌های استان فارس با توجه به قوانین داخلی و معاهدات بین‌المللی، اولین کنفرانس ملی

و تخصصی تحقیقات محیطی، ایران، همدان.

درویشی، گلناز، سیاح‌نیا، رومینا، و مبرقعی، نغمه. (۱۴۰۲). تحلیل امنیت اکولوژیکی با رویکرد عرضه . تقاضای خدمت اکوسیستمی ذخیره کربن (نمونه

موردی: بخش مرکزی شهرستان اصفهان)، ۱۳ (۴۸)، ۸۷-۱۱۲. <http://dx.doi.org/10.22111/GAIJ.2023.45952.3126>.

کشتکار، مصطفی و سیاح‌نیا، رومینا. (۱۳۹۹). پایش امنیت اکولوژیک شهرستان اصفهان با رهیافت خدمات اکوسیستمی، جغرافیا و پایداری محیط، ۳۷،

۹۱-۱۰۷. <http://doi.org/10.22126/ges.2021.5975.2329>.

مسعودی، مسعود و برزگر، سعیده (۱۳۹۴). ارزیابی و پهنه‌بندی شدت تخریب کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل اصلاحی بیابان‌زایی

IMDPA و GIS؛ مطالعه موردی دشت فیروزآباد استان فارس. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۵ (۴)، ۸۶-۹۵.

References

- Adriaenssens, V., De Baets, B., Goethals, P. L., & De Pauw, N. (2004). Fuzzy rule-based models for decision support in ecosystem management. *Science of the Total Environment*, 319(1-3), 1-12. doi:10.1016/s0048-9697(03)00433-9. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(03\)00433-9](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(03)00433-9)
- Akpanke, T. A., Deka, A., Ozdeser, H., & Seraj, M. (2024). Ecological footprint in the OECD countries: do energy efficiency and renewable energy matter?. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(10), 15289-15301. <http://doi.org/10.1007/s11356-024-32151-1>
- Allen, S. W., Evrard, A. E., & Mantz, A. B. (2011). Cosmological parameters from observations of galaxy clusters. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 49, 409-470. <http://doi.org/10.48550/arXiv.1103.4829>
- Bai, X., & Tang, J. (2010). Ecological security assessment of Tianjin by PSR model. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 881-887. <http://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.099>
- Bello, M. O., Solarin, S. A., & Yen, Y. Y. (2018). The impact of electricity consumption on CO2 emission, carbon footprint, water footprint and ecological footprint: the role of hydropower in an emerging economy. *Journal of Environmental Management*, 219, 218-230. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.101>
- Belluco, S., Losasso, C., Maggioletti, M., Alonzi, C. C., Paoletti, M. G., & Ricci, A. (2013). Edible insects in a food safety and nutritional perspective: a critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(3), 296-313. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12014>
- Biyase, M., Masron, T. A., Zwane, T., Udimal, T. B., & Kirsten, F. (2023). Ecological Footprint and Population Health Outcomes: Evidence from E7 Countries. *Sustainability*, 15(10), 8224. <https://doi.org/10.3390/su15108224>
- Chu, X., Deng, X., Jin, G., Wang, Z., & Li, Z. (2017). Ecological security assessment based on ecological footprint approach in Beijing-Tianjin-Hebei region, China. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts a/b/c*, 101, 43-51. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2017.05.001>
- Costes, L., Laoutid, F., Brohez, S., & Dubois, P. (2017). Bio-based flame retardants: When nature meets fire protection. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 117, 1-25. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2017.04.001>
- Dai, L., Liu, Y., & Luo, X. (2021). Integrating the MCR and DOI models to construct an ecological security network for the urban agglomeration around Poyang Lake, China. *Science of the Total Environment*, 754, 141868. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141868>
- Darvishi, G., Sayahnia, R., & Mobarghaee, N. (2023). Ecological security analysis by supply and demand approach of carbon storage ecosystem service (Case study: Central part of Isfahan city). *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 13(48), 87-92. <http://dx.doi.org/10.22111/GAII.2023.45952.3126>. [in Persian]
- Dong, H., Feng, Z., Yang, Y., Li, P., & You, Z. (2021). Dynamic assessment of ecological sustainability and the associated driving factors in Tibet and its cities. *Science of the Total Environment*, 759, 143552. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143552>
- Elferink, E. V., Nonhebel, S., & Moll, H. C. (2008). Feeding livestock food residue and the consequences for the environmental impact of meat. *Journal of Cleaner Production*, 16(12), 1227-1233. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.06.008>
- Guo, J., Wei, Z., Ren, J., Luo, Z., & Zhou, H. (2020). Early-warning measures for ecological security in the Qinghai Alpine Agricultural Area. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(24), 9292. <https://doi.org/10.3390/ijerph17249292>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.12.015>
- Jawanmardi, Sh. (1392). Legal and environmental review of the waters of Fars province according to domestic laws and international treaties, *the first national and specialized conference on environmental research*, Iran, Hamadan. [in Persian]
- Keshtkar, M. & Sayahnia, R. (2020). Monitoring the ecological security of Isfahan city using an ecosystem services approach. *Geography and Environmental Sustainability*, 37(10), 91-108. <http://doi.org/10.22126/ges.2021.5975.2329>. [in Persian]
- Keshtkar, M., Mobarghaee, N., Sayahnia, R., & Asadolahi, Z. (2023). Landscape ecological security response to urban growth in Southern Zagros biome, Iran. *Ecological Indicators*, 154, 110577. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110577>
- Koopman, K. R., Straatsma, M. W., Augustijn, D. C., Breure, A. M., Lenders, H. J. R., Stax, S. J., & Leuven, R. S. E. W. (2018). Quantifying biomass production for assessing ecosystem services of riverine landscapes. *Science of the total environment*, 624, 1577-1585. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.044>

- Krajačić, G., Duić, N., Vujanović, M., Kilkış, Ş., & Rosen, M. A. (2016). Sustainable development of energy, water and environment systems for future energy technologies and concepts. *Energy Conversion and Management*, 125, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.08.050>
- Leite, A., Cáceres, A., Melo, M., Mills, M. S., & Monteiro, A. T. (2018). Reducing emissions from Deforestation and forest Degradation in Angola: Insights from the scarp forest conservation 'hotspot'. *Land Degradation & Development*, 29(12), 4291-4300. <https://doi.org/10.1002/ldr.3178>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.12.014>
- Liu, C., Wu, X., & Wang, L. (2019). Analysis on land ecological security change and affect factors using RS and GWR in the Danjiangkou Reservoir area, China. *Applied Geography*, 105, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.02.009>
- Luo, W., Bai, H., Jing, Q., Liu, T., & Xu, H. (2018). Urbanization-induced ecological degradation in Midwestern China: an analysis based on an improved ecological footprint model. *Resources, Conservation and Recycling*, 137, 113-125. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.015>
- Ma, L., Bo, J., Li, X., Fang, F., & Cheng, W. (2019). Identifying key landscape pattern indices influencing the ecological security of inland river basin: The middle and lower reaches of Shule River Basin as an example. *Science of the Total Environment*, 674, 424-438. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.107>
- Masoudi, M. & Barzegar, S. (1394). Assessment and Mapping of Qualitative and Quantitative Severity Degradation of Groundwater Resources using the Modified IMDPA Desertification Model and GIS. A Case Study: Firuz-abad Plain of Fars province. *Scientific Journal of Irrigation and Water Engineering of Iran*, 5(4): 86-95. [in Persian]
- Mir, A., Sobhani, P., & Sayahnia, R. (2022). Assessment of the ecological footprint associated with consumption resources and urbanization development in Sistan and Baluchestan province, Iran. *Results in Engineering*, 16, 100673. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100673>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2003.10.009>
- Moore, D., Cranston, G., Reed, A., & Galli, A. (2012). Projecting future human demand on the Earth's regenerative capacity. *Ecological Indicators*, 16, 3-10. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.03.013>
- Niu, Z., Li, J., Gao, Z., Zhang, S., Zhang, J., Liu, S., ... & Zhang, R. (2018). Progress and future of China's annual report on remote sensing monitoring of global ecosystem and environment. *Journal of Remote Sensing*, 22(4). <https://doi.org/10.11834/jrs.20188060>
- Pelletier, N., & Tyedmers, P. (2010). Forecasting potential global environmental costs of livestock production 2000–2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(43), 18371-18374. <https://doi.org/10.1073/pnas.1004659107>
- Peng, C., Li, B., & Nan, B. (2021). An analysis framework for the ecological security of urban agglomeration: A case study of the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. *Journal of Cleaner Production*, 315, 128111. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128111>
- Peng, J., Liu, Y., Li, T., & Wu, J. (2017). Regional ecosystem health response to rural land use change: A case study in Lijiang City, China. *Ecological Indicators*, 72, 399-410. <http://doi:10.1016/j.ecolind.2016.08.024>
- Pourebrahim, S., Hadipour, M., Emlaei, Z., Heidari, H., Goh, C. T., & Lee, K. E. (2023). Analysis of environmental carrying capacity based on the ecological footprint for the sustainable development of Alborz, Iran. *Sustainability*, 15(10), 7935. <https://doi.org/10.3390/su15107935>
- Sadeghi, S. H., Chamani, R., Silabi, M. Z., Tavosi, M., Katebikord, A., Darvishan, A. K., ... & Rekabdarkolaei, H. M. (2023). Watershed health and ecological security zoning throughout Iran. *Science of The Total Environment*, 905, 167123. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167123>
- Sadeghi, S. H., Vafakhah, M., Moosavi, V., Pourfallah Asadabadi, S., Sadeghi, P. S., Khaledi Darvishan, A., ... & Rekabdarkolaei, H. M. (2022). Assessing the health and ecological security of a human induced watershed in central iran. *Ecosystem Health and Sustainability*, 8(1), 2090447. <https://doi.org/10.1080/20964129.2022.209044>
- Salvati, L., & Carlucci, M. (2014). A composite index of sustainable development at the local scale: Italy as a case study. *Ecological Indicators*, 43, 162-171. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.02.021>
- Seto, K. C., Güneralp, B., & Hutyra, L. R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(40), 16083-16088. <https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109>

- Shi, Y., Li, J., & Xie, M. (2018). Evaluation of the ecological sensitivity and security of tidal flats in Shanghai. *Ecological Indicators*, 85, 729-741. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.033>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Tang, Y., Zhao, X., & Jiao, J. (2020). Ecological security assessment of Chaohu Lake Basin of China in the context of River Chief System reform. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(3), 2773-2785. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07241-0>
- Tsou, J. Y., Gao, Y., Zhang, Y., Sun, G., Ren, J., & Li, Y. (2017). Evaluating urban land carrying capacity based on the ecological sensitivity analysis: A case study in Hangzhou, China. *Remote Sensing*, 9(6), 529. <https://doi.org/10.3390/rs9060529>
- Van Zanten, H. H., Herrero, M., Van Hal, O., Röös, E., Muller, A., Garnett, T., ... & De Boer, I. J. (2018). Defining a land boundary for sustainable livestock consumption. *Global change biology*, 24(9), 4185-4194. <https://doi.org/10.1111/gcb.14321>
- Venetoulis, J., & Talberth, J. (2010). Refining the ecological footprint. In *Sustainable Development*, 83-120. CRC Press. <https://doi.org/10.1007/s10668-006-9074-z>
- Wackernagel, M., & Rees, W. (1998). Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth (Vol. 9). New society publishers. <https://doi.org/10.5070/g31710273>
- Wang, H., Qin, F., & Zhang, X. (2019). A spatial exploring model for urban land ecological security based on a modified artificial bee colony algorithm. *Ecological Informatics*, 50, 51-61. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2018.12.009>
- Wang, P., Deng, X., Zhou, H., & Qi, W. (2018). Responses of urban ecosystem health to precipitation extreme: A case study in Beijing and Tianjin. *Journal of Cleaner Production*, 177, 124-133. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.125>
- Wen, J., & Hou, K. (2021). Research on the progress of regional ecological security evaluation and optimization of its common limitations. *Ecological Indicators*, 127, 107797. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107797>
- Yang, Q., Liu, G., Hao, Y., Coscieme, L., Zhang, J., Jiang, N., ... & Giannetti, B. F. (2018). Quantitative analysis of the dynamic changes of ecological security in the provinces of China through emergy-ecological footprint hybrid indicators. *Journal of Cleaner Production*, 184, 678-695. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.271>
- Yin, C., Zhao, W., Cherubini, F., & Pereira, P. (2021). Integrate ecosystem services into socio-economic development to enhance achievement of sustainable development goals in the post-pandemic era. *Geography and Sustainability*, 2(1), 68-73. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.03.002>
- Zhang, H. Y., Liu, W. D., Wang, S. Z., Shan, N. N., & Liang, H. M. (2009). Calculation and analysis of equivalence factor and yield factor of ecological footprint based on sub-national hectare: a case study of Zhejiang. *Journal of Natural Resources*, 24(1), 82-92. <https://doi.org/10.11849/zrzyxb.2009.01.010>
- Zhang, L., Zhang, L., Xu, Y., Zhou, P., Yeh, C., (2020). Evaluating urban land use efficiency with interacting criteria: an empirical study of cities in Jiangsu China. *Land Use Policy* 90, 104292. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104292>.
- Zhang, M., Ao, Y., Liu, M., Zhao, Y., Lin, K., & Cheng, T. (2022). Ecological security assessment based on ecosystem service value and ecological footprint in the Pearl River Delta urban agglomeration, China. *Ecological Indicators*, 144, 109528. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109528>
- Zhou, D., Tian, Y., & Jiang, G. (2018). Spatio-temporal investigation of the interactive relationship between urbanization and ecosystem services: Case study of the Jingjinji urban agglomeration, China. *Ecological indicators*, 95, 152-164. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.07.007>