Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Analysis of spatial changes in watershed health using the conceptual model of pressure-state-response (PSR) (Case study: Sheida Protected Watershed, Chaharmahal and Bakhtiari Province)

Faezeh Moharrami[1], Bijan Khalili Moghaddam[2], Zeinab Hazbavi [*3]

1. M.Sc. Student, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran, Email: FaezehMoharrami@student.uma.ac.ir
2. Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran, Email: moghaddam623@yahoo.ie
3. Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Watershed Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Iran, Email: z.hazbavi@uma.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article history
Received: 29 July 2025
Revised: 06 October 2025
Accepted: 08 October 2025
Published online: 20 January 2026

Keywords:
Human pressures, Environmental changes, Assessment indicators, Spatial zoning, Watershed response.

ABSTRACT

With the development and progress of societies, the conflict between humans and nature at the watershed scale increases significantly. Accordingly, assessing the degree of watershed health and monitoring its spatial changes can be used as a tool to alleviate this conflict. Focusing on the Sheida Protected Watershed in Chaharmahal and Bakhtiari Province, this study, highlights the importance of using multi-attribute in watershed management and conservation to address environmental challenges. To carry out the work, the pressure-state-response (PSR) model was used, which to implement the initial framework, first five, 12 and 11 variables (natural and human) were calculated for the pressure (PSI), state (SSI) and response (RSI) sub-indices, respectively. After examining multicollinearity and autocorrelation, one variable was removed from each sub-index, resulting in final calculations using 4, 11, and 10 variables. The CRITIC weighting method was applied, and the watershed health index (WHI) was calculated using a geometric mean. The mean and standard deviation of PSI, SSI, RSI, and WHI were 0.23 ± 0.10, 0.14 ± 0.04, 0.10 ± 0.02, and 0.47 ± 0.11, respectively. The Sheida Watershed was classified as low, very low, low, and moderate in terms of PSI, SSI, RSI, and WHI, respectively. CRITIC weighting results indicated that evaporation had the greatest influence on the PSI, vegetation cover percentage and organic matter percentage were most influential for the SSI, and policy implementation had the highest impact on the RSI. The results of the present study have provided an initial basis for the development of advanced multiscale indices and more comprehensive conceptual models that can more fully reflect the ecological status of protected watersheds and more accurately identify their health problems.

Citation: Moharrami, F., Khalili Moghaddam, B., & Hazbavi, Z. (2025). Analysis of spatial changes in watershed health using the conceptual model of pressure-state-response (PSR) (Case study: Sheida Protected Watershed, Chaharmahal and Bakhtiari Province). *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 13(4), 1-20.
DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.2.8

Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association
© Author(s)

*** Corresponding author:** Zeinab Hazbavi
Address: Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Watershed Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.
Tel: 09166084002
Email: z.hazbavi@uma.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.2.8]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Analysis of spatial changes in watershed health using the conceptual model of pressure-state-response (PSR) (Case study: Sheida Protected Watershed, Chaharmahal and Bakhtiari Province)

Faezeh Moharrami[1], Bijan Khalili Moghaddam[2], Zeinab Hazbavi [*3]

1. M.Sc. Student, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran, Email: FaezehMoharrami@student.uma.ac.ir
2. Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran, Email: moghaddam623@yahoo.ie
3. Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Watershed Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Iran, Email: z.hazbavi@uma.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Recent studies utilize various biophysical, socio-economic, and governance indicators to assess watershed health. Resilience to disturbances like floods and droughts is a core indicator of watershed health. A more complete understanding of the ecosystem components that affect watershed health is important for identifying management actions. Without an integrated watershed health assessment system, successful ecosystem restoration will be difficult and many of the social and economic benefits of healthy watershed systems will be lost. The Sheida Protected Watershed in central Zagros, Iran, was evaluated for health classification to support effective ecosystem restoration. Global challenges- climate change, land degradation, and biodiversity loss-require coordinated policies aligned with Rio Conventions. Innovative and participatory approaches are essential for adaptive and sustainable watershed governance. The pressure-state-response (PSR) conceptual model is widely used to assess the environmental health of a watershed. The model is particularly useful for identifying the complex interactions between human activities and environmental change. The model is structured into three main components: pressure, state, and response: Human activities or natural events (such as pollution, overfishing, land reclamation, or the effects of climate change such as sea level rise) exert pressure on a watershed. The state of the watershed, which reflects its health and sustainability, can be assessed through indicators such as levels of biodiversity, water quality, habitat integrity, and species populations. Finally, the watershed response, which can be considered in terms of natural responses or human actions to reduce or manage pressures and improve the condition of the watershed, includes policies, regulations, conservation efforts, and restoration activities.

Methodology: This research utilized spatial, statistical, and field-laboratory data to evaluate the health of the Sheida Protected Watershed using the pressure-state-response (PSR) model. Spatial data included watershed boundaries, land use, slope, curvature, landscape metrics, and soil erodibility. Statistical data comprised rainfall, evaporation, evapotranspiration, wind speed, and runoff, while field data involved organic matter content, rock fragment percentage, and soil permeability. A total of 28 variables were selected and standardized using the CRITIC weighting method to calculate the sub-indices of pressure (PSI), state (SSI), and response (RSI). The watershed health index (WHI) was then derived by the geometric mean of these sub-indices. Statistical tests such as variance inflation factor (VIF) and Durbin-Watson were employed to check variables with multicollinearity and autocorrelation issues. Data analysis and spatial zoning were conducted using ArcMap software, and equal interval classification divided the indices into three equal categories. The approach effectively integrates multi-source data and provides a transparent, objective assessment of watershed ecological status.

Results and Discussion: A total of 25 variables were finalized based on causal relationships between human/climatic pressures and watershed functions. Analysis revealed that the majority of work-units fell into moderate or unhealthy classes, with only a small portion classified as healthy. The results of weighting the variables in each sub-index showed that the evaporation with a weight of 0.28 in the PSI assessment, the vegetation cover percentage and organic matter percentage with a weight of 0.14 in the SSI assessment, and the policy implementation variable with a weight of about 0.20 in the RSI assessment were the most important. On the contrary, the amount of precipitation with a weight of 0.23, the transverse curvature with a weight of 0.05, and the area of degraded pastures with a weight of less than 0.001 were the least important in the evaluation of the sub-indexes examined (PSI, SSI, RSI). The WHI was obtained at 0.47, indicating a moderate health state. Spatial mapping showed 17.13% of the watershed in a healthy condition, while 51.45% were moderate and 31.24% unhealthy. Results showed that working units 2-1-1 and 2-1-3, located in the central part of the watershed, had WHI of 0.64 and 0.62, placing them in the "relatively healthy" category. These units demonstrated better conditions across PSI, SSI, and RSI compared to other areas.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.2.8]

ISSN (Online): 2783-1531 - ISSN (Print): 2423-5970

Conclusion: Quantitative assessment of watershed health under the influence of human activities and management responses is essential for the scientific planning and management of watersheds in the country. Current research on watershed health assessment inadequately reflects watershed-scale information from different dimensions, leading to incomplete understanding of the watershed and consequently lack of systematic management. In this study, the pressure-state-response (PSR) model was used to assess the health of the Sheida Protected Watershed located in Chaharmahal and Bakhtiari province. This model provides a multi-attribute, flexible, and transparent approach to efficiently deal with complex problems. The PSR model proved to be a robust, integrated tool for identifying ecological risks and guiding restoration priorities. The model provides a transparent, multi-indicator framework for addressing complex environmental challenges. Due to its flexible and integrative approach, the PSR model offers a reliable tool for watershed management. The study highlights the need for updated and comprehensive data systems to support sustainable watershed functions. Future research should incorporate recent data, compare past and present conditions, and integrate PSR with other models for improved evaluation.

Ethical Considerations

Data availability statement: This research was conducted as an independent study and did not receive financial support from any organization.

Authors' contribution: **Faezeh Moharrami:** Methodology, software, results, article writing and editing; **Bijan Khalili Moghaddam:** Research method, data source; **Zeinab Hazbavi:** Conceptualization, methodology, software, results, article writing and editing.

Conflicts of interest: The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Acknowledgment: Therefore the authors appreciate the efforts Agricultural and Natural Resources Research Center of Chaharmahal and Bakhtiari Province.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.2.8]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران ایران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

تحلیل تغییرات مکانی سلامت آبخیز با استفاده از مدل مفهومی فشار- حالت-پاسخ (PSR) (مطالعه موردی: آبخیزحفاظت شده شیدا، استان چهار محال و بختیاری)

فائزه محرمی[۱]، بیژن خلیلی‌مقدم[۲]، زینب حزباوی*[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، FaezehMoharrami@student.uma.ac.ir
۲. استاد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع‌طبیعی خوزستان، خوزستان، ایران، moghaddam623@yahoo.ie
۳. دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، z.hazbavi@uma.ac.ir

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله
دریافت: ۷ مرداد ۱۴۰۴
بازنگری: ۱۴ مهر ۱۴۰۴
پذیرش: ۱۶ مهر ۱۴۰۴
انتشار برخط: ۳۰ دی ۱۴۰۴

واژه‌های کلیدی:
فشارهای انسانی، تغییرات محیطی، شاخص‌های ارزیابی، پهنه‌بندی مکانی، پاسخ آبخیز.

چکیده

با توسعه و پیشرفت جوامع، تضاد بین انسان و طبیعت در مقیاس آبخیز به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. بر همین اساس، ارزیابی درجه سلامت آبخیز و پایش تغییرات مکانی آن می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای کاهش این تضاد استفاده شود. این مطالعه با تمرکز بر آبخیز حفاظت شده شیدا در استان چهارمحال و بختیاری، اهمیت استفاده از رویکردهای چندشاخصه در مدیریت و حفاظت از آبخیزها را برای مقابله با چالش‌های محیطزیستی برجسته می‌کند. برای انجام کار، از مدل فشار–حالت–پاسخ (PSR) استفاده شد که برای پیاده‌سازی چارچوب اولیه، ابتدا به‌ترتیب پنج، ۱۲ و ۱۱ متغیر (طبیعی و انسانی) برای زیرشاخص‌های فشار (PSI)، حالت (SSI) و پاسخ (RSI) محاسبه شد. پس از بررسی هم خطی و خودهمبستگی آن‌ها، از هر زیرشاخص یک متغیر حذف شد و بنابراین محاسبات نهایی زیرشاخص‌های مذکور با ۴، ۱۱ و ۱۰ متغیر صورت پذیرفت. سپس نسبت به وزن‌دهی به روش کریتیک اقدام و در نهایت با استفاده از میانگین هندسی، شاخص سلامت آبخیز (WHI) محاسبه شد. میانگین و انحراف معیار PSI، SSI، RSI و WHI به‌ترتیب برابر با ۰/۱۰±۰/۲۳، ۰/۰۴ ± ۰/۱۴، ۰/۰۲ ± ۰/۱۰ و ۰/۱۱ ± ۰/۴۷ به‌دست آمد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود آبخیز شیدا از نظر PSI، SSI، RSI و WHI به‌ترتیب در طبقات کم، بسیار کم، کم و متوسط قرار گرفته است. نتایج وزن‌دهی کریتیک نیز نشان داد که متغیر تبخیر در ارزیابی PSI، متغیرهای درصد پوشش‌گیاهی و درصد مواد آلی در ارزیابی SSI و متغیر اجرای سیاست‌گذاری‌ها در ارزیابی RSI بیش‌ترین تأثیر را داشتند. هم‌چنین وزن PSI، SSI و RSI به‌ترتیب برابر با ۰/۴۸، ۰/۳۰ و ۰/۲۲ به‌دست آمد. نتایج حاصل از پژوهش حاضر، مبنای اولیه برای توسعه شاخص‌های چندمقیاسی پیشرفته و مدل‌های مفهومی جامع‌تر که می‌توانند وضعیت بوم‌شناختی آبخیزهای حفاظت شده را به‌طور کامل‌تری منعکس کنند و مشکلات سلامت آن‌ها را با دقت بیش‌تری شناسایی کند، فراهم نموده است.

استناد: محرمی، فائزه، خلیلی‌مقدم، بیژن، حزباوی، زینب. (۱۴۰۴). تحلیل تغییرات مکانی سلامت آبخیز با استفاده از مدل مفهومی فشار– حالت–پاسخ (PSR) (مطالعه موردی: آبخیزحفاظت شده شیدا، استان چهار محال و بختیاری). *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۳(۴)، ۱-۲۰.
DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.2.8
ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

© نویسندگان

* **نویسنده مسئول:** زینب حزباوی
نشانی: گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
تلفن: ۰۹۱۶۶۰۸۴۰۰۲
پست الکترونیکی: z.hazbavi@uma.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.2.8]

مقدمه

مدیریت آبخیز[1] به‌عنوان یک فرآیند تصمیم‌گیری جامع و تکرارشونده در نظر گرفته می‌شود که برای حفظ و نگهداری منابع‌طبیعی، محیط‌زیست و رفاه بشر اتخاذ می‌شود. آبخیزداری خوب و پایدار باید موجب حفظ سلامت آبخیز[2] شود تا بتوان آن را موفق و کارآمد برای جامعه دانست (Nasution et al., 2020). در درجه اول دستیابی به سلامت از طریق استفاده متعادل و حفظ آب، خاک، پوشش‌گیاهی و سایر منابع‌طبیعی یکی از عناصر تشکیل‌دهنده آبخیزداری است. تحلیل سلامت برای جلوگیری از تخریب بیش از حد آبخیز که منجر به کاهش کیفیت زندگی می‌شود، بسیار ضروری است.

سلامت آبخیز به عملکرد مناسب آبخیز در رابطه با مؤلفه‌های مختلف از جمله کیفیت آب[3]، یکپارچگی بوم‌سازگان[4] و فرآیندهای محیط زیستی[5] اشاره دارد و تعاملات و وابستگی‌های متقابل بین اجزا را ارزیابی می‌کند (Ahn and Kim, 2019). برخی از مؤلفه‌های آبخیز از جمله دبی رودخانه و کیفیت آب و اثرات متقابل آن‌ها می‌تواند تحت تأثیر کاربری زمین و پوشش‌گیاهی باشند (USEPA, 2012; Talampas et al., 2023). تغییر اقلیم که با پیامدهای گسترده، از جمله تخریب اراضی همراه است، معیشت جوامع را تهدید می‌کند و با کاهش تنوع‌زیستی، تعادل بوم‌شناختی زمین را به خطر می‌اندازد (Stringer et al., 2009). عملکرد آبخیز به فرآیندهای بوم‌شناختی مانند چرخه هیدرولوژی، چرخه مواد مغذی و جریان انرژی اشاره دارد (Asdak et al., 2010). در همین راستا، درک کامل‌تری از اجزای بوم‌سازگان مؤثر بر سلامت آبخیز برای شناسایی اقدامات مدیریتی مهم است. بدون یک سامانه یکپارچه ارزیابی سلامت آبخیز، موفقیت در احیاء بوم‌سازگان دشوار خواهد شد و بسیاری از مزایای اجتماعی و اقتصادی سامانه‌های آبخیز سالم از بین خواهند رفت (Sadeghi, 2019 Hazbavi and و صادقی و همکاران، ۱۳۹۸).

مدل مفهومی PSR (فشار–حالت–پاسخ) چارچوبی است که برای ارزیابی سلامت محیطی آبخیز استفاده می‌شود. این مدل به‌ویژه برای شناسایی تعاملات پیچیده بین فعالیت‌های انسانی و تغییرات محیطی مفید است. این مدل در سه جزء اصلی فشار، حالت و پاسخ ساختار یافته است: فعالیت‌های انسانی یا رویدادهای طبیعی (مانند آلودگی، ماهیگیری بیش از حد، احیای زمین یا اثرات تغییرات اقلیمی مانند افزایش سطح دریا) بر آبخیز فشار وارد می‌کنند. حالت آبخیز، که منعکس‌کننده سلامت و پایداری آن است از طریق شاخص‌هایی مانند سطوح تنوع زیستی، کیفیت آب، یکپارچگی زیستگاه و جمعیت گونه‌ها قابل ارزیابی است. در نهایت، پاسخ آبخیز که می‌تواند در قالب پاسخ‌های طبیعی و یا اقدامات انسانی برای کاهش یا مدیریت فشارها و بهبود وضعیت آبخیز شامل سیاست‌ها، مقررات، تلاش‌های حفاظتی و فعالیت‌های احیا مورد بررسی قرار گیرد (حزباوی و صادقی، ۱۳۹۵؛ صادقی و همکاران، ۱۴۰۴؛ Li et al., 2024). اخیراً، فتحی و همکاران (۱۴۰۴) در یک مطالعه مروری به این جمع‌بندی رسیدند که مدل PSR به‌دلیل ترکیب معیارهای مختلف، می‌توان یک ارزیابی جامع از فشارهای وارد بر آبخیز و پاسخ‌های مدیریتی موجود ارائه دهد. امکان شناسایی نقاط ضعف و قوت سامانه‌های مدیریت آبخیز از دیگر مزیت‌های این مدل است که آن را به‌عنوان ابزاری برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های مدیریتی تبدیل نموده است.

Zhao et al. (2019) یک چارچوب ارزیابی سلامت رودخانه مبتنی بر سه شاخص فشار، حالت و پاسخ توسعه دادند که شامل ۲۳ زیرشاخص بوده است. این سیستم ارزیابی توانسته است نه تنها عملکردهای بوم‌شناختی طبیعی رودخانه Shiwuli، بلکه خدمات اجتماعی آن را نیز منعکس کند. در ادامه، Duan et al. (2022) وضعیت سلامت آبخیز دریاچه چائوهو (CLW) بر اساس داده‌های نمونه‌برداری ماهانه در ۴۶ محل رودخانه در سال ۲۰۱۸ را بررسی نمودند. سلامت آبخیز به‌طور جامع در چهار بعد، شامل فشارهای اجتماعی–اقتصادی و طبیعی، صادرات آلودگی غیرنقطه‌ای، کیفیت آب رودخانه و پاسخ‌های مدیریتی با مدل مفهومی فشار–حالت–تأثیر–پاسخ (PSIR) ارزیابی شده است. نتایج نشان داد که هدررفت فسفر، نیتروژن و رسوب از CLW بیشتر افزایش یافته و کیفیت آب رودخانه در CLW به‌دلیل فشارهای اجتماعی–اقتصادی و طبیعی بدتر شده است. در مقایسه با عوامل طبیعی، هدررفت فسفر، نیتروژن و رسوب روابط نزدیک‌تری با فشارهای ناشی از فعالیت‌های اجتماعی–اقتصادی نشان دادند. اخیراً، نتایج حاصل از پژوهش Rodriguez-Flores et al. (2025) در آبخیز سانتاکروز مکزیک نشان داد که معیارهای محیطی و اجتماعی می‌توانند امتیاز سلامت آبخیز را به‌طور چشمگیری تغییر دهند و اهمیت برخی شاخص‌ها مثل تکه‌تکه شدن چشم‌انداز در طول زمان (۲۰۲۷–۱۹۸۵) افزایش یابد. این رویکرد امکان مدیریت و بازسازی آبخیزها را بدون اتکای صرف به قضاوت ذهنی متخصصان فراهم می‌سازد.

در ایران، ابراهیمی و همکاران (۱۴۰۲) سطح سلامت فورگ واقع در شهرستان درمیان را بررسی نمودند. آن‌ها با ارزیابی کمی شاخص‌ها، بازدیدهای میدانی و تحلیل‌های آماری به این نتیجه رسیدند که شاخص کل سلامت برابر با ۰/۵۷ بوده که در طبقه متوسط سلامت قرار گرفته است. هم‌چنین، قابل‌نظام و همکاران (۱۴۰۲) با تلفیق عملگرهای منطق فازی و مدل مفهومی PSR، وضعیت سلامت آبخیز کوزه‌تپراقی واقع در استان اردبیل را پهنه‌بندی نمودند. عملگرهای PRODUCT و گاما به‌ترتیب با شاخص جمع مطلوبیت (Qs) برابر با ۰/۴۶ و ۰/۹ به‌عنوان کارآمدترین عملگرها در تهیه نقشه سلامت آبخیز معرفی شدند. نتایج بیان‌گر تغییرات مکانی وضعیت سلامت در کل آبخیز مورد مطالعه بوده است. اخیراً، پژوهش Tavosi و همکاران (۲۰۲۵) به ارزیابی سلامت هیدرولوژیک آبخیز با استفاده از مدل مفهومی

[1] Watershed Management
[2] Watershed Health
[3] Water Quality
[4] Ecosystem Integrity
[5] Environment

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.2.8]

PSR در حوزه آبخیز گرگانرود پرداخته است. آن‌ها، با رویکردی مسئله‌محور، ۱۶ معیار هیدرولوژیکی را محاسبه کردند. میانگین وزنی سلامت هیدرولوژیکی آبخیز برابر با ۰/۵۲ به‌دست آمد که نشان‌دهنده شرایط متوسط است.
به‌طور کلی، مدل ارزیابی سلامت آبخیز باید شرایط طبیعی، هیدرولوژی، کیفیت آب و بوم‌شناسی را در نظر گیرد. بر اساس جمع‌بندی مرور منابع، مدل مفهومی PSR می‌تواند به‌طور سیستماتیک تعامل بین انسان‌ها و سیستم‌های محیط زیستی را تجزیه و تحلیل کند. بر همین اساس، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی سلامت آبخیز شیدا واقع در بخش مرکزی زاگرس، شمال استان چهار محال و بختیاری برنامه‌ریزی شده است. نتایج حاصل از این پژوهش برای مدیریت مؤثر آبخیز و درک روابط متقابل بین مؤلفه‌های مختلف در زیرآبخیزهای سالم و ناسالم به‌ویژه در مناطق حفاظت شده کشور کاربرد دارند.

مواد و روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

آبخیز حفاظت شده شیدا عمدتاً در بخش شمالی استان چهارمحال و بختیاری و بخش بسیار جزئی از آن در استان اصفهان با مساحت ۲۳۵۶۲ هکتار، بین طول جغرافیایی "۱۲ ' ۲۷ °۵۰ تا "۳۵ ' ۴۳ °۵۰ و عرض جغرافیایی "۱۲ ' ۳۲ °۳۲ تا "۰۸'۴۰ ° ۳۲ واقع شده است (شکل ۱). این آبخیز از پستی و بلندی شدیدی برخوردار است و بالغ بر ۵۴/۶۴ درصد آن از کوه‌ها و تپه‌ها تشکیل شده است. دشت‌های آن بسیار کم وسعت و محدود به دشت‌های میانکوه هستند. حداکثر ارتفاع این منطقه ۳۱۶۵ متر از طبقات دریا (کوه شیدا) و حداقل ارتفاع آن ۲۰۵۹ متر در محل عبور رودخانه زاینده‌رود در شمال‌غربی منطقه واقع است. از جمله مهم‌ترین ارتفاعات واقع در منطقه می‌توان به کوه شیدا، کوه لاطان، کوه کهریز و کوه برآفتاب اشاره نمود (عبدالهی، ۱۳۸۶). با توجه به میانگین ارتفاع منطقه ۲۴۴۰ متر و بارندگی سالانه ۴۶۶ میلی‌متر، متوسط دمای سالانه محدوده مطالعاتی برابر با ۹/۲ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. از مهم‌ترین پوشش‌گیاهی منطقه می‌توان به نخود وحشی، هزارخار پا پنبه‌ای، خوشاریزه و مرزه بختیاری اشاره کرد. منطقه شیدا در کمر بالایی (Hanging wall) گسل معکوس زاگرس قرار گرفته و بر اساس گزارش تحلیلی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چادگان منطقه مورد بررسی در زون سنندج–سیرجان استقرار یافته است. به‌طوری‌که قدیمی‌ترین تشکیلات موجود در آبخیز مربوط به پالئوزوئیک فوقانی (پرمین) بوده و جدیدترین آن مربوط به کواترنر است (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۵).

روش تحقیق

داده‌های مورد استفاده

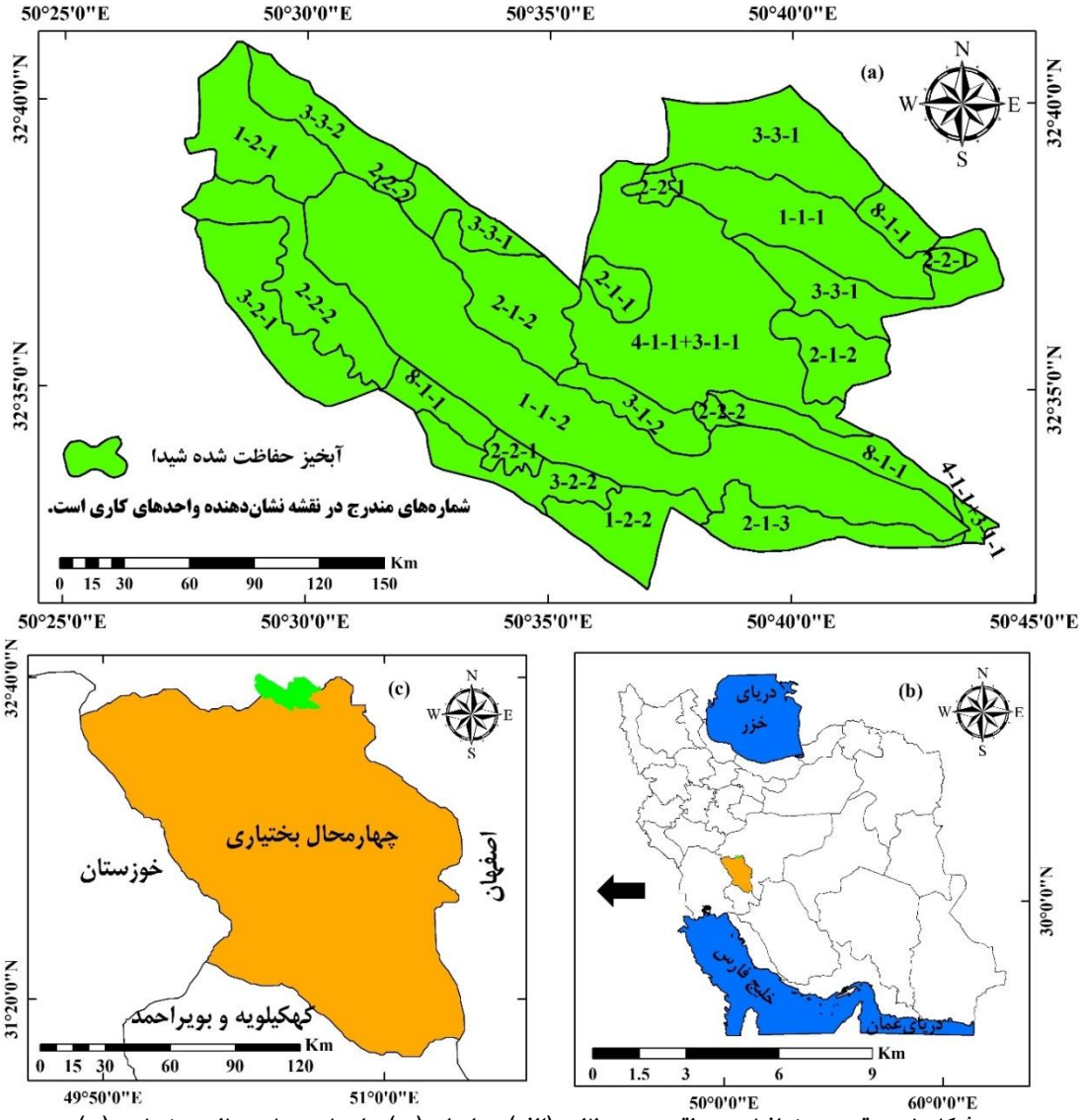
داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های مکانی، آماری و میدانی–آزمایشگاهی است. داده‌های مکانی شامل نقشه مرز آبخیز، کاربری اراضی و مشتقات آن، درصد و جهت شیب، انحنای عرضی، انحنای طولی، سنجه‌های سیمای سرزمین، فرسایش‌پذیری خاک بوده است. علاوه‌براین، داده‌های آماری شامل بارندگی، تبخیر، تبخیر و تعرق، سرعت باد و رواناب و در نهایت داده‌های میدانی–آزمایشگاهی شامل درصد مواد آلی، درصد قطعات سنگی و نفوذپذیری بوده است. اطلاعات و داده‌های اولیه از مطالعات منطقه شکار ممنوع شیدا (عبدالهی ۱۳۸۶) جمع‌آوری شده است.

معرفی مدل مفهومی فشار–حالت–پاسخ (PSR)

مدل مفهومی فشار–حالت–پاسخ (PSR) چارچوبی است که به‌طور مشترک توسط سازمان توسعه و همکاری اقتصادی (OECD[1]) و برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد (UNEP[2]) توسعه یافته است و یک مدل رایج است که برای ارزیابی کیفیت محیطی و سلامت بوم‌سازگان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hu et al., 2021). از مدل PSR برای منطق علت–معلولی و برای انعکاس تعامل بین انسان و محیط‌زیست استفاده می‌شود و امکان درک بهتر و پیش‌گیری از وقوع مخاطرات و بلایا را فراهم می‌کند (Huang et al., 2019). هم‌چنین، این مدل متمرکز بر تأثیر انسان بر محیط‌زیست است و رابطه بین سیستم‌های طبیعی، بوم‌شناختی و اجتماعی را منعکس می‌کند (Wei et al., 2020; Yunshu et al., 2020).

[1] Organisation for Economic Co-operation and Development
[2] United Nations Environment Programme

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.2.8]



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (الف) در ایران (ب) و استان چهار محال و بختیاری (ج)

Figure 1- Geographical location of the study area (a) in Iran (b) and Chaharmahal and Bakhtiari Province (c)

جدول ۱- متغیرهای مورد استفاده برای محاسبه زیرشاخص فشار (PSI)

Table 1 - Variables used to calculate the pressure sub-index (PSI)

ردیف	متغیر	روش محاسبه
1	بارندگی (میلی‌متر)	-
2	تبخیر (میلی‌متر)	$E = \frac{p}{\left[0.9 + \left(p/I\right)^2\right]^{0.5}}$
3	عامل فرسایندگی باران (مگاژول میلی‌متر بر هکتار بر ساعت بر سال)	شاخص فورنیه $F = \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{\sum_{i=1}^{12} p}$ (Renard and Freimund, 1994)
4	سرعت باد (متر بر ثانیه)	(عبدالهی، ۱۳۸۶)

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.2.8]

جدول ۲- متغیرهای مورد استفاده برای محاسبه زیرشاخص حالت (SSI)
Table 2- Variables used to calculate the state sub-index (SSI)

ردیف	متغیر	روش محاسبه
1	پوشش‌گیاهی (درصد)	(Rolia et al., 2021) $VC=\frac{A_{vc}}{A_W}\times 100\%$
2	نسبت بارندگی به تبخیر (بدون واحد)	(Hazbavi et al., 2020) $AI=\frac{P}{ET_0}$
3	انحنای عرضی (متر بر متر)	انحنای طبقات زمین عمود بر تندترین شیب. برآوردی از همگرایی یا واگرایی آب و مواد داخل آن است (Florinsky و همکاران، ۲۰۰۲) که در محیط ArcMap 10.8.2 محاسبه شد.
4	انحنای طولی (متر بر متر)	انحنای طبقات زمین در جهت تندترین شیب که جریان آب و انتقال مواد را نشان می‌دهد (Florinsky و همکاران، ۲۰۰۲) که در محیط ArcMap 10.8.2 محاسبه شد.
5	شیب (درصد)	حداکثر تغییر ارتفاع در یک سلول مدل رقومی ارتفاع (سپهوند و همکاران، ۱۳۹۸).
6	جهت شیب (بدون واحد)	جهت حداکثر تغییر ارتفاع در هر سلول مدل رقومی ارتفاع (سپهوند و همکاران، ۱۳۹۸).
7	شاخص شکل سیمای سرزمین (بدون واحد)	(Alaei et al., 2020) $LSI=\frac{0.25E^*}{\sqrt{A}}$
8	شاخص بزرگ‌ترین لکه (درصد)	(قربانی و همکاران، ۱۳۹۷) $\frac{max(a_{ij})}{A}(100)$
9	مواد آلی (درصد)	OM=%C×1.72
10	قطعات سنگی (درصد)	عبدالهی (۱۳۸۶)
11	نفوذپذیری (سانتی‌متر بر روز)	عبدالهی (۱۳۸۶)

جدول ۳- متغیرهای مورد استفاده برای محاسبه زیرشاخص پاسخ (RSI)
Table 3- Variables used to calculate the response-sub-index (RSI)

ردیف	متغیر	روش محاسبه
1	مراتع تخریب یافته	نقشه کاربری اراضی
2	فرسایش‌پذیری خاک (تن هکتار ساعت بر مگاژول بر هکتار بر میلی‌متر)	A=R×K×LS×C×P (مورگان، ۲۰۱۹)
3	رواناب (سانتی‌متر)	آمار دبی سالانه
4	شدت کاربری اراضی (بدون واحد)	نقشه کاربری اراضی
5	طبقات سیاست‌گذاری‌ها (بدون واحد)	عبدالهی (۱۳۸۶)
6	میانگین مساحت لکه (هکتار)	میانگین اندازه لکه یک طبقه از لکه‌ها (هدایت و همکاران، ۱۴۰۲)
7	شاخص میانگین شکل لکه (بدون واحد)	Shape_ MN=$\frac{P_{ij}}{minP_{ij}}$ (هدایت و همکاران، ۱۴۰۲)
8	شاخص گسستگی سیمای سرزمین (بدون واحد)	(Alaei et al., 2022) $Division=\left\lvert 1-\sum_{i=1}^{n}(\frac{a_{ij}}{A})^z\right\rvert$
9	تراکم لکه (متر در صد هکتار)	$\frac{N_i}{A}(1000)(100)$ (معتمدی و همکاران، ۱۳۹۸)
10	میانگین شاخص مجاورت (بدون واحد)	$\frac{\left[\frac{\sum_{r=1}^{z} c_{ijr}}{a_{ij}}\right]-1}{V-1}$ (قربانی و همکاران، ۱۳۹۷)

در این مدل مفهومی، از سه زیرشاخص فشار[1](PSI)، حالت[2](SSI) و پاسخ[3](RSI) استفاده شده است. به‌نحوی‌که PSI نشان‌دهنده فشار خارجی بر سلامت بوم‌سازگان، SSI منعکس‌کننده طبقات طبیعی سلامت بوم‌سازگان و RSI بیان‌گر پاسخ‌های طبیعی و یا اقدامات حفاظتی انسان (حزباوی و صادقی، ۱۳۹۵؛ صادقی و همکاران، ۱۴۰۴؛ Li et al., 2024؛ Zhou, 2022). بر اساس داده‌های قابل دسترس، در مجموع ۲۵ متغیر به شرح ارائه شده در جدول‌های ۱ تا ۳ و شکل‌های ۲ تا ۴ محاسبه شد.

با استفاده از میانگین وزنی (رابطه ۱)، زیرشاخص‌های فشار (PSI)، حالت (SSI) و پاسخ (RSI) محاسبه شدند. سپس شاخص ترکیبی سلامت آبخیز (WHI)[4] با استفاده از میانگین هندسی زیرشاخص‌ها به‌دست آمد (رابطه ۲). روش ترکیبی برای تبدیل متغیرهای با مقیاس‌های مختلف به شکل استاندارد استفاده می‌شود (Wang et al., 2021).

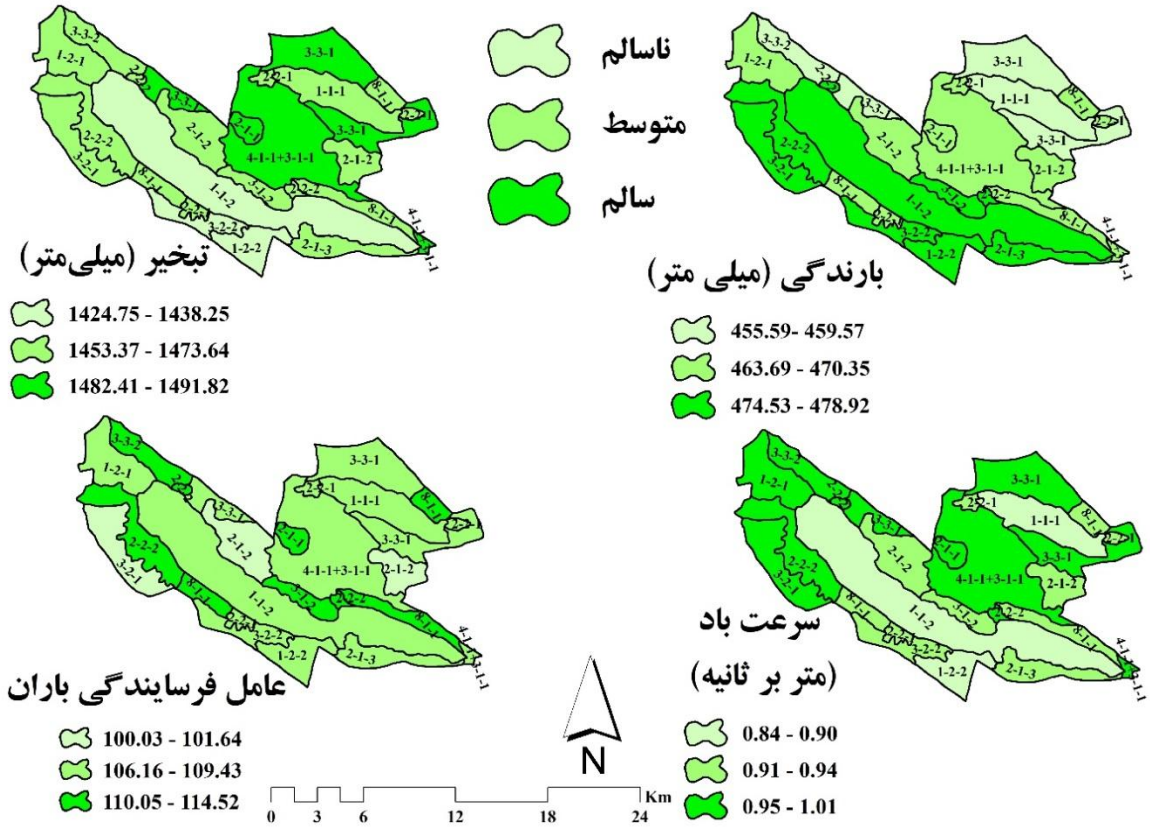
$$SI_{P-S-R}=\sum_{i=1}^{n} W_i\,P(X_i) \quad (۱)$$

$$WHI=\sqrt[3]{\prod_{i=1}^{3} SI_{P-S-R}} \quad (۲)$$

SI_{P-S-R} بیان‌گر زیرشاخص‌های فشار (PSI)، حالت (SSI) و پاسخ (RSI) است. W_i نشان‌دهنده وزن هر متغیر و $P(X_i)$ نشان‌دهنده مقدار استانداردشده هر متغیر است. X_i مقدار واقعی متغیر i و X_{max} و X_{min} به‌ترتیب بیان‌گر مقادیر حداکثر و حداقل متغیر i است (UNDP, 2006).

1 Pressure Sub-Index
2 State Sub-Index
3 Response Sub-Index
4 Watershed Health Index

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.2.8]

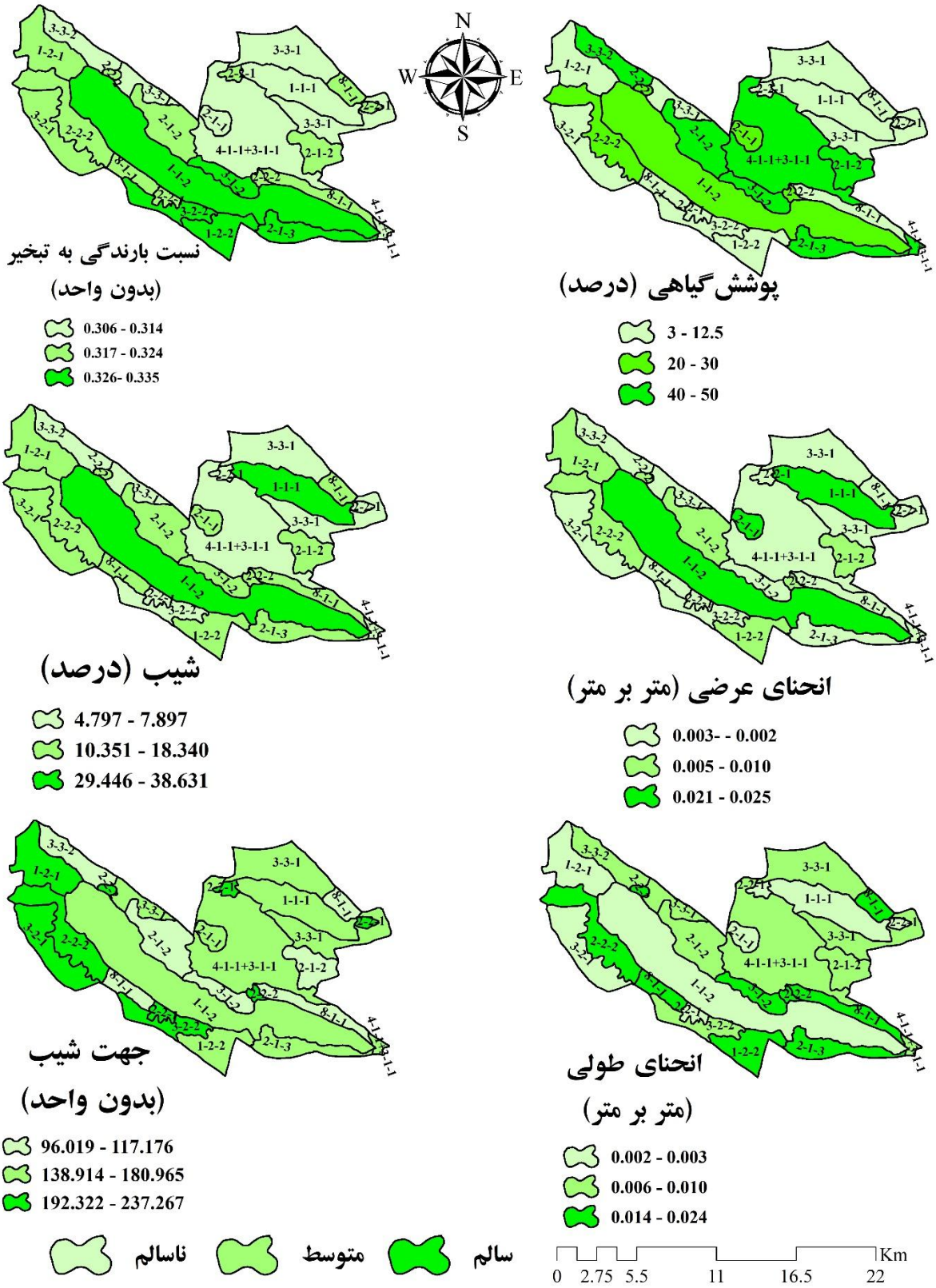


شکل ۲- تغییرات مکانی زیرشاخص فشار (PSI) (شماره‌های مندرج نشان‌دهنده واحدهای کاری است.)

Figure 2- Spatial changes of the pressure sub-index (PSI) (The numbers indicate the work units.)

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.2.8]

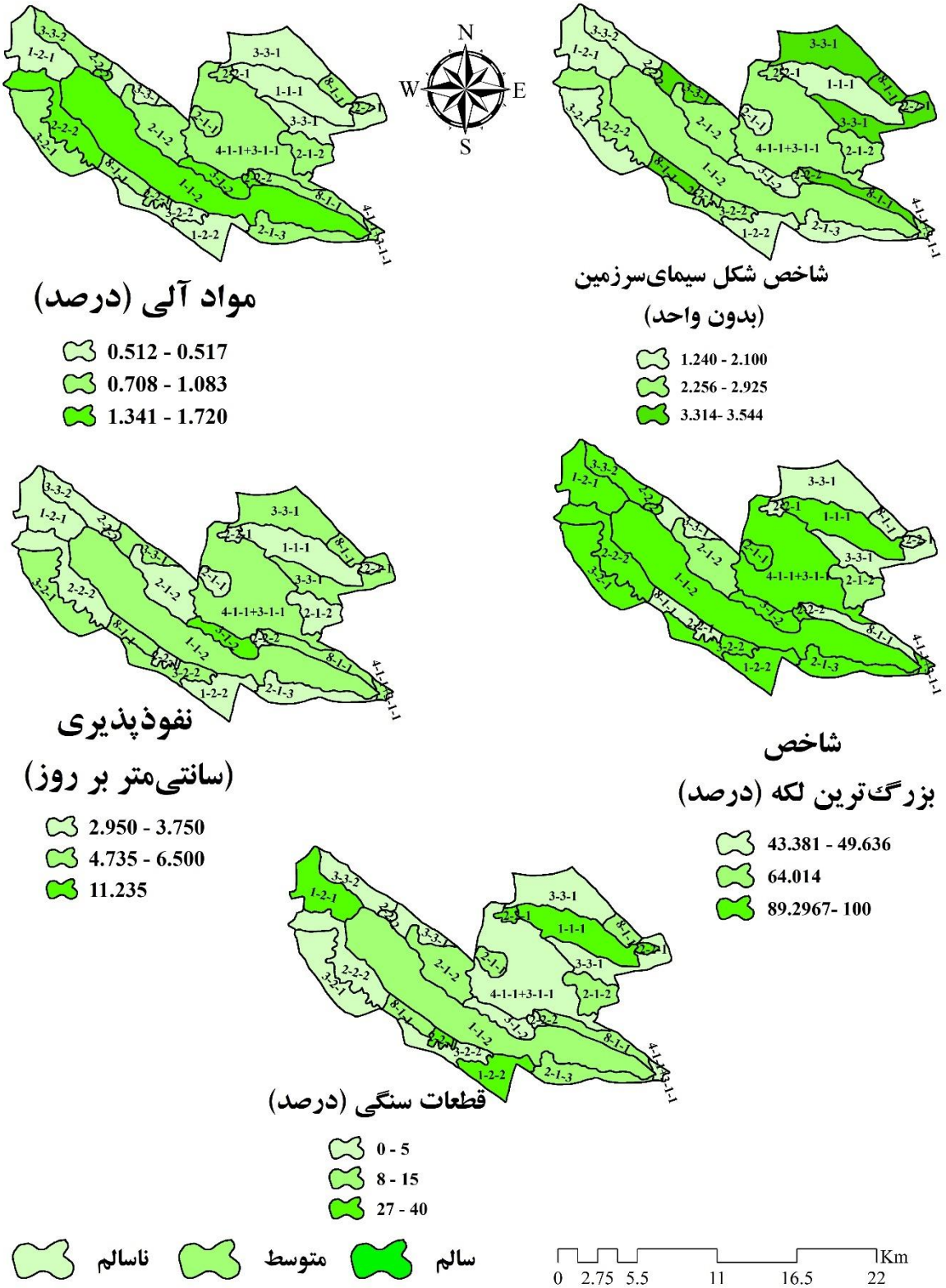


شکل ۳- تغییرات مکانی زیرشاخص حالت (SSI) (شماره‌های مندرج نشان‌دهنده واحدهای کاری است.)

Figure 3- Spatial changes of the status sub-index (SSI) (The numbers indicate the work units.)

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.2.8]

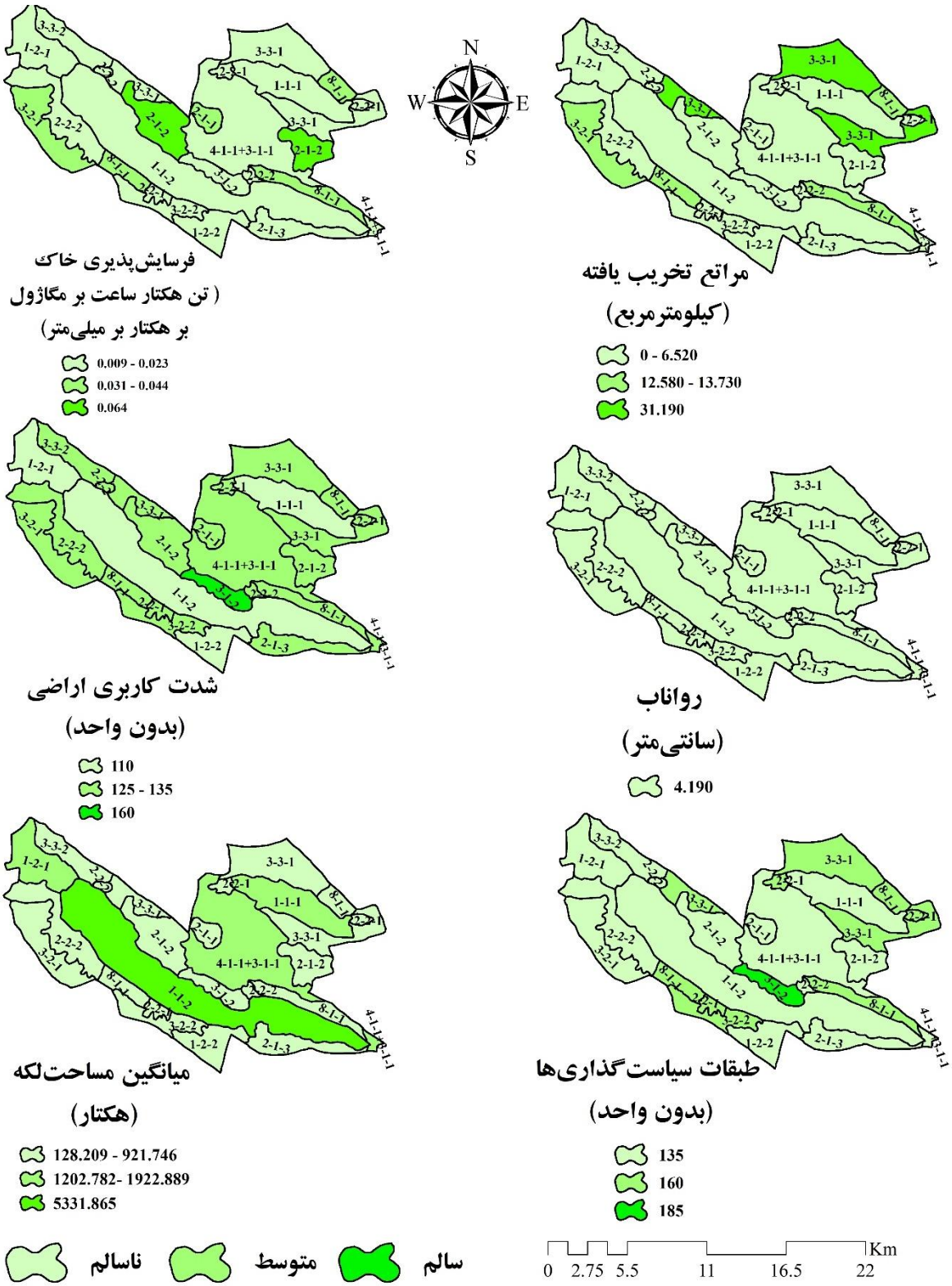


ادامه شکل ۳- تغییرات مکانی زیرشاخص حالت (SSI) (شماره‌های مندرج نشان‌دهنده واحدهای کاری است.)

Continued Figure 3- Spatial changes of the status sub-index (SSI) (The numbers indicate the work units.)

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.2.8]

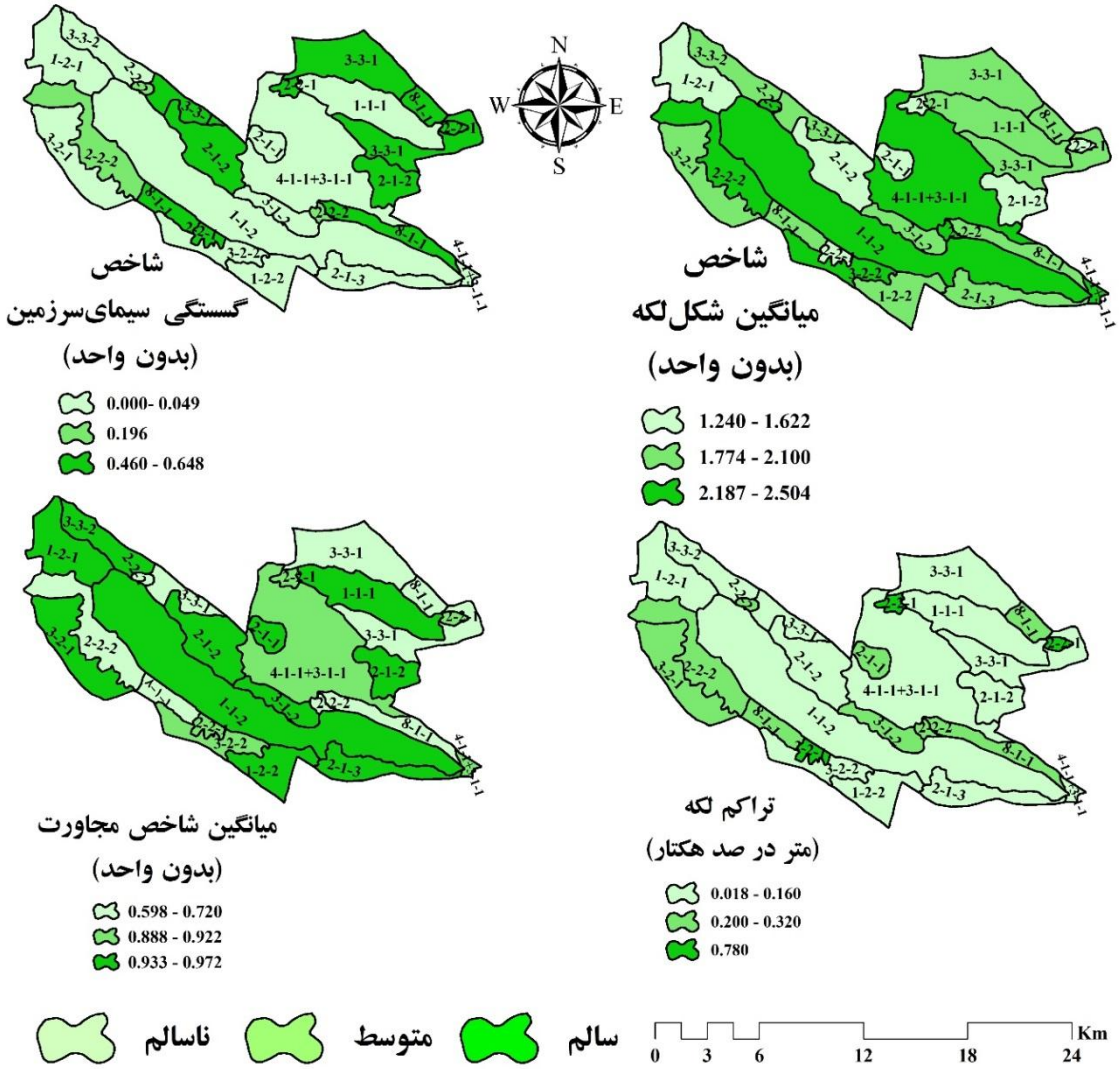


شکل ٤- تغییرات مکانی متغیرهای مربوط به زیرشاخص پاسخ (RSI) (شماره‌های مندرج نشان‌دهنده واحدهای کاری است.)

Figure 4- Spatial changes of the response sub-index (RSI) (The numbers indicate the work units.)

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.2.8]



ادامه شکل ٤- تغییرات مکانی متغیرهای مربوط به زیرشاخص پاسخ (RSI) (شماره‌های مندرج نشان‌دهنده واحدهای کاری است.)
Continued Figure 4- Spatial changes of the response sub-index (RSI) (The numbers indicate the work units.)

وزن‌دهی کریتیک

روش کریتیک[1] یکی از شناخته‌شده‌ترین و پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری عینی است. این روش نوعی از همبستگی است که از انحراف معیار مقادیر متغیرهای رتبه‌بندی‌شده مربوط به گزینه‌های مختلف در هر ستون و همچنین ضریب همبستگی همه ستون‌های زوج برای تعیین تضاد متغیرها استفاده می‌کند (Deng et al., 2000 ؛Diakoulaki et al., 1995).

$$X = [\varepsilon_{ij}]_{m\times n}$$

$$\mathrm{X} = \begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \cdots & \varepsilon_{1n} \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} & \dots & \varepsilon_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \varepsilon_{m1} & \varepsilon_{m2} & \cdots & \varepsilon_{mn} \end{bmatrix}_{m\times n} \end{array} \quad (۳)$$

استانداردسازی مولفه‌های ماتریس $X=[\varepsilon_{ij}]_{m\times n}$ برای به‌کار بردن در رابطه‌های (۲) و (۳) صورت گرفت.
الف) برای به حداکثر رساندن متغیرها

$$\varepsilon_{ij} = \frac{\varepsilon_{ij} - \varepsilon_j^{min}}{\varepsilon_i^{min} - \varepsilon_i^{max}} \qquad I=1,2,\dots,n;\ j=1,2,\dots,m \quad (۲)$$

[1] CRITIC

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.2.8]

ب) برای به حداقل رساندن متغیرها

$$\varepsilon_{ij} = \frac{\varepsilon_j^{max} - \varepsilon_{ij}}{\varepsilon_i^{max} - \varepsilon_i^{min}} \qquad I=1,2,\ldots,n;\ j=1,2,\ldots,m \qquad (۳)$$

جایی‌که $\varepsilon_j^{max} = Max_j \{\varepsilon_{1j}\varepsilon_{1j} \ldots, \varepsilon_{mj}\}$ و $\varepsilon_j^{min} = Min_j \{\varepsilon_{2j}$ و $\varepsilon_{2j} \ldots$ و $\varepsilon_{mj}\}$ با استانداردسازی متغیرهای ماتریس تصمیم اولیه، همه عناصر ε_{ij} به مقادیر بازه‌ای [۱ و ۰] کاهش می‌یابند، بنابراین می‌توان گفت که همه متغیرها دارای وزن‌های یکسانی هستند.

مرحله (۲): برای متغیر C_j (j=1,2,…n) انحراف معیار δ_j تعریف شده است.که مقادیر انحراف معیار گزینه‌ها را برای متغیر داده شده از مقدار متوسط نشان می‌دهد. انحراف معیار استاندارد معیاری است که در فرآیند بعدی تعریف ضرایب وزن معیارها در نظر گرفته می‌شود.

مرحله(۳): از ماتریس استانداردشده $X=[\varepsilon_{ij}]_{m\times n}$ بردار استخراج می‌شود. سپس، $\varepsilon_{j=}(\varepsilon_{1j}, \varepsilon_{2j} \ldots, \varepsilon_{mj})$ مقادیر جایگزین برای معیار داده می‌شود (A_{ij}($i=1,2,\ldots m$)) و C_j (j=1,2,…n). پس از ایجاد بردار $\varepsilon_{j=} (\varepsilon_{1j}, \varepsilon_{2j} \ldots, \varepsilon_{mj})$، ماتریس $L=[l_{ij}]_{n\times n}$ تهیه می‌شود که ضرایب همبستگی خطی از ε_j و ε_k را نشان می‌دهد. هر چه تفاوت بین مقادیر متغیرهای J و k بیش‌تر باشد، مقدار ضریب l_{ik} کم‌تر است. رابطه (۴) نشان‌دهنده میزان تعارض معیار i در رابطه با سایر معیارها در ماتریس تصمیم‌گیری است.

$$\varphi_i = \sum_{k=1}^{n} (1 - I_{kj}) \qquad (۴)$$

مقدار داده W_j موجود در معیار j با ترکیب معیارهای فهرست شده قبلی δ_j و l_{ik}1 به شرح زیر تعیین می‌شود:

$$W_j = \delta_j . \varphi_i = \delta_j \sum_{k=1}^{n} (1 - I_{kj}) \qquad (۵)$$

بر اساس تجزیه و تحلیل قبلی، می‌توان نتیجه گرفت که مقدار بالاتر W_j به معنای مقدار بیش‌تری از داده‌های دریافتی از یک معیار معین است، که به نوبه خود اهمیت نسبی معیار داده‌شده را برای فرآیند تصمیم‌گیری داده شده افزایش می‌دهد.

مرحله (۴): وزن‌های عینی متغیرها با متغیرهای استانداردسازی W_j محاسبه می‌شوند.

$$W_j = \frac{W_j}{\sum_{k=1}^{m} W_k} \qquad (۶)$$

در نهایت، وزن متغیرها بر اساس مقادیر انحراف معیار استاندارد تعیین می‌شود.

$$W_j = \frac{\delta_j}{\sum_{k=1}^{m} \delta_k} \qquad (۷)$$

استانداردسازی

ترکیب منابع داده‌های مختلف در مدل‌های متغیر و شاخص‌محور نیازمند استانداردسازی داده‌ها برای اطمینان از سازگاری مقیاس‌ها و واحدهاست. متغیرهای مورد استفاده را می‌توان به دو دسته دارای ارتباط مستقیم و منفی با WHI طبقه‌بندی نمود. هر چه مقدار متغیرهای با اثر مثبت بزرگ‌تر باشد، WHI بیش‌تر و هر چه مقدار متغیرهای با اثر منفی بزرگ‌تر باشد، WHI کم‌تر خواهد بود. نحوه استانداردسازی متغیرهای مثبت و منفی به‌ترتیب در رابطه‌های ۸ و ۹ ارائه شده است (UNDP، ۲۰۰۶).

$$x^+ = \frac{x - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \qquad (۸)$$

$$x^- = \frac{X_{max} - X}{X_{max} - X_{min}} \qquad (۹)$$

x^+ و x^- به‌ترتیب بیان‌گر مقادیر استاندارد شده متغیرهای با اثر مثبت و منفی است، X مقدار واقعی متغیر i و X_{max} و X_{min} به‌ترتیب بیان‌گر مقادیر حداکثر و حداقل متغیر i است.

تجزیه و تحلیل آماری

به‌منظور تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، ابتدا نرمال بودن داده‌های مورد استفاده برای هر متغیر و شاخص در طبقات اطمینان ۹۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت. سپس برای تشخیص هم‌خطی داده‌ها از نتایج آمار عامل تورم واریانس (VIF) استفاده شد. به‌نحوی‌که مقدار آماره VIF کم‌تر از ۱۰ برای نشان دادن عدم وجود هم‌خطی بین داده‌ها در نظر گرفته شد. بر همین اساس، متغیرهای با مقدار VIF بالاتر از ۱۰ نشان‌دهنده داشتن ارتباط قوی و همبستگی بالا با سایر متغیرها بوده و از روند محاسبات حذف شدند. برای تحلیل خودهمبستگی متغیرها از آزمون دوربین–واتسون[1] استفاده شد. این آزمون نشان‌دهنده میزان استقلال خطا میان مقادیر باقی‌مانده در مدل رگرسیونی به‌دست آمده از متغیرهای مورد بررسی است. مقدار آماره دوربین–واتسون بین صفر تا چهار متغیر است که در پژوهش حاضر مقدار بین ۱/۵ تا ۲/۵ به‌عنوان دامنه مجاز برای تشخیص متغیرهای غیرخودهمبسته در نظر گرفته شد. در نهایت متغیرهای بدون هم‌خطی و خودهمبستگی برای محاسبه PSI، SSI و RSI و در نهایت WHI استفاده شدند (Hazbavi et al., 2020).

[1] Durbin-Watson Test

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.2.8]

تجزیه و تحلیل مکانی

جهت هر گونه تجزیه و تحلیل مکانی متغیرهای مورد استفاده و پهنه‌بندی تغییرات مکانی PSI، SSI و RSI و نیز WHI از محیط ArcMap 10.8.2 استفاده شد. هم‌چنین، به‌منظور پهنه‌بندی زیرشاخص‌ها و WHI از طبقه‌بندی برابر استفاده شد. بدین‌صورت که دامنه تغییرات هر شاخص و زیرشاخص به سه دسته مساوی تقسیم‌بندی شد (Hazbavi et al., 2020).

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری به‌صورت جدول ۴ ارائه شده است. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌های آماری نشان داد که بیش‌تر متغیرهای در نظر گرفته شده برای محاسبه PSI دارای VIF و آماره دوربین–واتسون قابل قبول بودند و تنها متغیر شاخص خشکی با مقدار VIF برابر با ۵۹۱/۸۴ و آماره دوربین–واتسون برابر با ۲/۱۸ از ادامه فرآیند محاسبات حذف شدند. نتایج نشان داد که مقدار میانگین و انحراف معیار متغیر شاخص خشکی برای کل آبخیز حفاظت شده شیدا برابر با ۰/۳۲ و ۰/۰۱ بوده است.

بیش‌تر متغیرهای در نظر گرفته شده برای محاسبه SSI دارای VIF و آماره دوربین–واتسون قابل قبول بودند و تنها متغیر شاخص پیوستگی لکه با مقدار VIF برابر با ۵۳/۰۶ و آماره دوربین–واتسون برابر با ۲/۷۱ از ادامه فرآیند محاسبات حذف شدند. نتایج نشان داد که مقدار میانگین و انحراف معیار متغیر شاخص پیوستگی لکه برای کل آبخیز حفاظت شده شیدا برابر با ۹۹/۶۱ و ۰/۷۰ بوده است.

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری برای RSI نشان داد که تنها متغیر شاخص جداشدگی با مقدار VIF برابر با ۴۹/۶۸ و آماره دوربین–واتسون برابر با ۱/۶۷ از ادامه فرآیند محاسبات حذف شدند. نتایج نشان داد که مقدار میانگین و انحراف معیار متغیر شاخص جداشدگی برای کل آبخیز حفاظت شده شیدا برابر با ۱/۳۹ و ۰/۶۷ بوده است.

نتایج نهایی نشان می‌دهد PSI با آماره دوربین–واتسون ۱/۶۸ و متغیرهای تبخیر و سرعت باد به‌ترتیب دارای حداکثر VIF برابر با ۳/۸۲ و ۳/۳۹ است. در SSI، مقدار عددی آماره دوربین–واتسون ۲/۴۴ و حداکثر مقدار VIF برای متغیرهای انحنای عرضی و شیب به‌دست آمد. هم‌چنین، برای RSI، مقدار آماره دوربین–واتسون برابر با ۱/۶۷ به‌دست آمد که متغیرهای شاخص میانگین شکل لکه و شاخص گسستگی سیمای سرزمین حداکثر مقدار VIF را به خود اختصاص دادند.

جدول ۴- نتایج تجزیه و تحلیل آماری زیرشاخص‌های ارزیابی سلامت

Table 4- Results of statistical analysis of sub-indices of health assessment

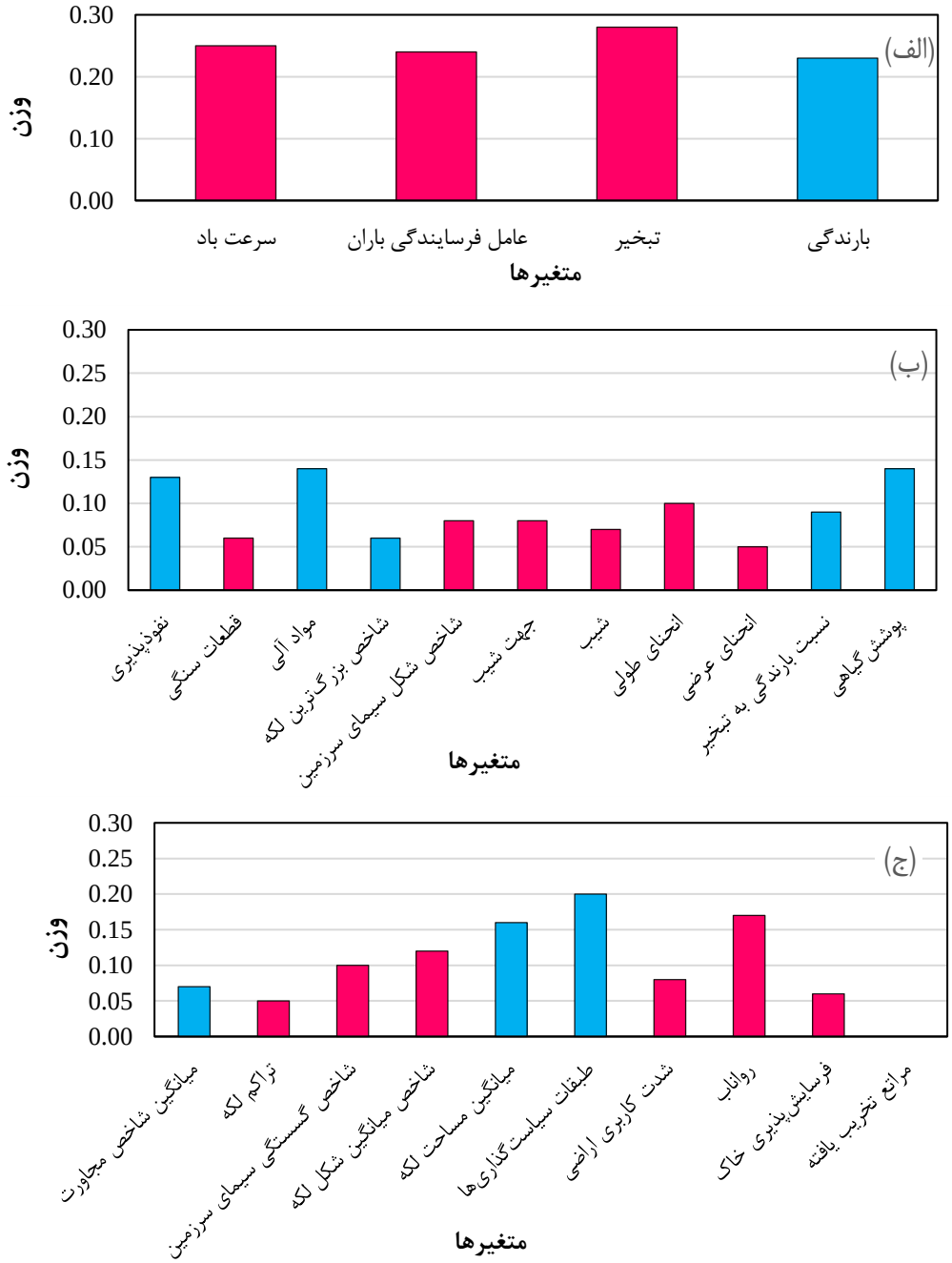
متغیرها	زیرشاخص	دوربین–واتسون	VIF	Beta
بارندگی	فشار (PSI)	1.68	1.55	27.09
تبخیر			3.82	27.67
عامل فرسایندگی باران			1.06	21.16
سرعت باد			3.39	24.08
پوشش‌گیاهی	حالت (SSI)	2.44	3.76	20.77
نسبت بارندگی به تبخیر			3.89	9.83
انحنای عرضی			7.58	7.74
انحنای طولی			4.02	9.38
شیب			8.55	3.52
جهت شیب			4.04	8.43
شاخص شکل سیمای سرزمین			5.18	4.42
شاخص بزرگ‌ترین لکه			6.37	7.14
مواد آلی			2.49	10.89
قطعات سنگی			2.92	3.97
نفوذپذیری			3.90	13.91
مراتع تخریب یافته	پاسخ (RSI)	1.67	3.84	5.81
فرسایش‌پذیری خاک			2.47	16.44
رواناب			6.07	6.51
شدت کاربری اراضی			9.18	18.05
طبقات سیاست‌گذاری‌ها			2.38	12.05
میانگین مساحت لکه			3.66	10.50
شاخص میانگین شکل لکه			49.68	8.31
شاخص گسستگی سیمای سرزمین			48.63	11.63
تراکم لکه			4.39	4.61
میانگین شاخص مجاورت			3.52	6.09

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.2.8]

نتایج حاصل از وزن‌دهی کریتیک

نتایج وزن‌دهی متغیرها در هر زیرشاخص مورد بررسی توسط روش کریتیک در شکل ۵ ارائه شده است. نتایج نشان داد که متغیر تبخیر با وزن ۰/۲۸ در ارزیابی PSI، متغیرهای درصد پوشش‌گیاهی و درصد مواد آلی با وزن ۰/۱۴ در ارزیابی SSI و متغیر اجرای سیاست‌گذاری‌ها با وزن حدود ۰/۲۰ در ارزیابی RSI بیش‌ترین اهمیت را دارند. بر عکس، به‌ترتیب مقدار بارندگی با وزن ۰/۲۳، انحنای عرضی با وزن ۰/۰۵ و مساحت مراتع تخریب یافته با وزن کم‌تر از ۰/۰۰۱ دارای کم‌ترین اهمیت در ارزیابی زیرشاخص‌های مورد بررسی (PSI، SSI، RSI) بودند. در پژوهش صادقی و همکاران (۱۴۰۴)، مرتع خوب به‌عنوان مؤثرترین عامل مثبت و تراکم جمعیت و واحد دامی به‌عنوان مؤثرترین عوامل منفی بر وضعیت سلامت آبخیز بلده نور ارزیابی شدند.



شکل ۵- وزن متغیرهای مورد استفاده برای محاسبه زیرشاخص‌های فشار (PSI) (الف)، حالت (SSI) (ب) و پاسخ (RSI) (ج) (رنگ‌های آبی و قرمز به‌ترتیب نشان‌دهنده اثرات مثبت و منفی هستند.)

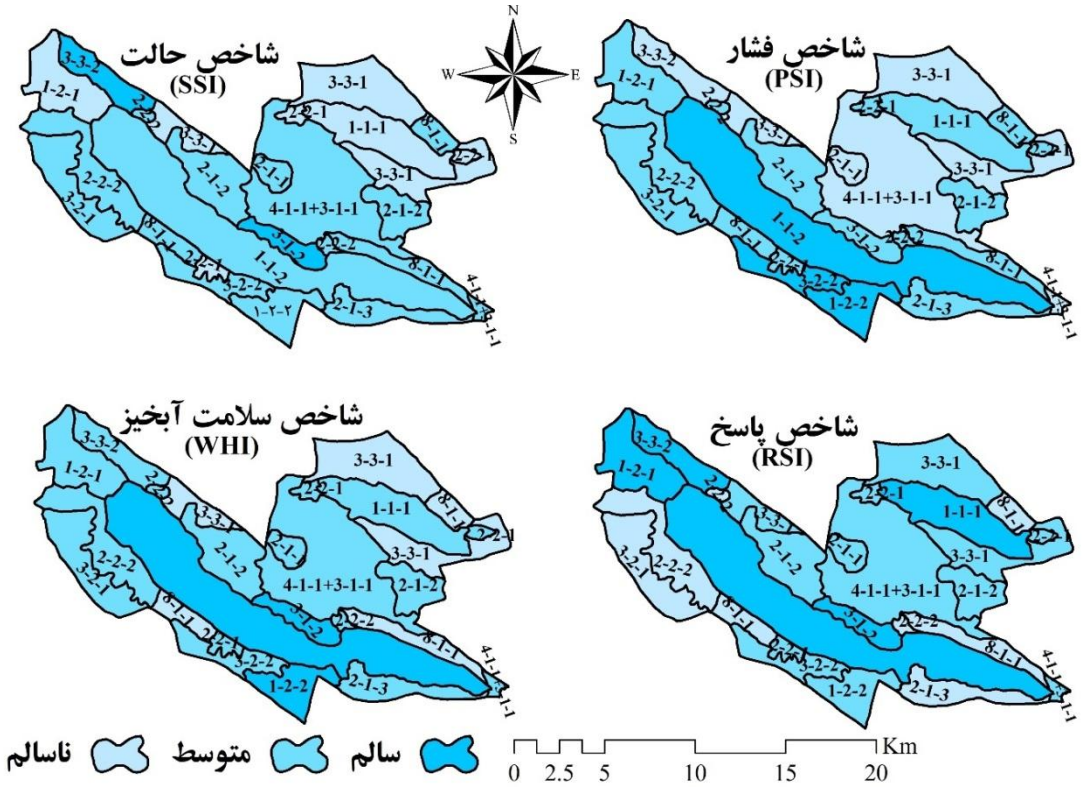
Figure 5- Weights of variables used to calculate the sub-indices of pressure (PSI), state (SSI), and response (RSI) (Blue and red colores respectively represented the positive and negative effects.)

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.2.8]

نتایج حاصل از ارزیابی سلامت آبخیز

نتایج حاصل از ارزیابی سلامت آبخیز حفاظت شده شیدا (شکل ۶) نشان داد که مقدار متوسط و انحراف معیار PSI به‌ترتیب برابر با ۰/۲۳ و ۰/۰۹۶ است. این زیرشاخص در طبقه‌های سالم و نسبتاً سالم به‌ترتیب با مقدار ۲۲ و نه درصد از کل آبخیز قرار گرفته است. هم‌چنین، این زیرشاخص در واحدهای کاری ۳-۱-۲، ۲-۲-۱، ۱-۲-۳، ۲-۱-۳، ۱-۲-۲، ۲-۲-۲، ۱-۱-۱ دارای طبقات متوسط بوده که مقدار ۴۸ درصد از کل آبخیز را به خود اختصاص داده است. در ارتباط با SSI، آبخیز حفاظت شده شیدا دارای میانگین و انحراف معیار به‌ترتیب برابر با ۰/۱۴ و ۰/۰۳۸ است. بر اساس نتایج به‌دست آمده در این آبخیز فقط واحدهای‌کاری ۱-۱-۸، ۱-۲-۱، ۱-۲-۲، ۱-۱-۱، ۱-۳-۳ دارای طبقات ناسالم (۲۲ درصد) هستند و اکثر واحدهای‌کاری (حدود ۵۹ درصد) در طبقات متوسط و بقیه واحدهای‌کاری (حدود ۱۹ درصد) در طبقات سالم قرار دارند. از نظر RSI، به‌طور کلی طبقه سلامت متوسط مشاهده شد. در آبخیز حفاظت شده شیدا اکثر واحدهای‌کاری (حدود ۶۷/۴ درصد منطقه) دارای طبقه متوسط سلامت هستند. مقدار RSI برای واحدهای‌کاری ۲-۱-۲، ۱-۲-۳، ۲-۱-۳، ۸-۱-۱، ۲-۲-۲ (حدود ۲۴/۱ درصد از کل آبخیز) در طبقه ناسالم به‌دست آمد. مقدار WHI در آبخیز حفاظت شده شیدا برابر با ۰/۴۷ است. هم‌چنین، با توجه به نقشه‌های توزیع مکانی این شاخص مشخص شد که ۱۷/۱۳ درصد منطقه در طبقه سالم قرار گرفته است. سپس طبقه‌های متوسط و ناسالم به‌ترتیب ۵۱/۴۵ و ۳۱/۲۴ درصد منطقه را شامل شده است.



شکل ٦- تغییرات مکانی زیرشاخص‌های فشار (PSI) (الف)، حالت (SSI) (ب) و پاسخ (RSI) و شاخص سلامت آبخیز (WHI) (شماره‌های مندرج نشان‌دهنده واحدهای کاری است.)

Figure 6- Spatial changes for sub-indices of pressure (PSI), state (SSI), and response (RSI) and watershed health index (WHI) (The numbers indicate the work units.)

در راستای یافته‌های پژوهش حاضر، ابراهیمی و همکاران (۱۴۰۲) بیان کردند که در آبخیز فورگ، مقدار زیرشاخص‌های فشار، وضعیت و پاسخ، به‌ترتیب، برابر با ۰/۶۱، ۰/۶۷ و ۰/۴۳ بوده است. شاخص کل سلامت نیز برابر با مقدار ۰/۵۷ و در طبقه متوسط سلامت به‌دست آمد. هم‌چنین، نتایج قابل‌نظام و همکاران (۱۴۰۲) در آبخیز کوزه‌تپراقی و صادقی و همکاران (۱۴۰۴) در آبخیز بلده نور نیز مؤید تغییرات مکانی وضعیت سلامت بوده است. در همین زمینه، Zhao et al. (2019)، Hazbavi et al. (2020) و Duan et al. (2022) نیز به تغییرات مکانی شاخص سلامت آبخیز و زیرشاخص‌های آن اشاره نموده‌اند. ضمن تبیین تأثیرگذاری عوامل مختلف در این زمینه، بر اتخاذ رویکردهای مبتنی بر طبیعت به‌منظور ارتقاء سلامت آبخیز تأکید شده است. توسعه، حکمرانی آبخیز اغلب با مشکلات مختلفی مانند یکپارچگی ضعیف بین بخش‌ها، سازمان‌ها و مناطق مواجه است (Basuki et al., 2021; Narendra et al., 2021). علاوه‌بر این، مدیریت آبخیز هم‌چنان از قوانین یا روش‌های سنتی برای برنامه‌ریزی، سازماندهی، نظارت و ارزیابی استفاده می‌کند، بنابراین برای بهبود نیاز به یک پیشرفت یا نوآوری است. طرح‌های آبخیزداری رویکرد نوآورانه به ویژه در مورد قوانین و روش‌های سنتی که هنوز اثرات ترکیبی تغییر اقلیم، تخریب زمین و عوامل استرس‌زای تنوع‌زیستی را در طراحی راهبردها و شیوه‌های مدیریت آبخیز در نظر نگرفته است، مورد نیاز است.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.2.8]

نتیجه‌گیری

ارزیابی کمی سلامت آبخیز تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی و پاسخ‌های مدیریتی برای برنامه‌ریزی و مدیریت علمی آبخیزهای کشور ضروری است. تحقیقات فعلی در مورد ارزیابی سلامت آبخیز، اطلاعات مقیاس آبخیز را از ابعاد مختلف به‌طور ناکافی منعکس می‌کند که منجر به درک ناقص از آبخیز و در نتیجه عدم مدیریت سیستماتیک می‌شود. در این مطالعه از مدل فشار–حالت–پاسخ (PSR) برای ارزیابی سلامت آبخیز حفاظت شده شیدا واقع در استان چهارمحال و بختیاری استفاده شد. این مدل یک رویکرد چندشاخصه، منعطف و شفاف برای مقابله کارآمد با مشکلات پیچیده ارائه می‌کند. نتایج این مطالعه نشان داد که سلامت واحدهای‌کاری ۲–۱–۱ و ۲–۱–۳ واقع در بخش مرکزی آبخیز شیدا به‌ترتیب دارای مقدار شاخص سلامت آبخیز (WHI) برابر با ۰/۶۴ و ۰/۶۲ بوده و در طبقه سالم قرار دارند. واحد کاری ۲–۱–۱ از نظر زیرشاخص‌های فشار (PSI)، حالت (SSI) و پاسخ (RSI) نیز به‌ترتیب در طبقات سالم، متوسط و متوسط و واحدکاری ۲–۱–۳ نیز بر اساس زیرشاخص‌های مذکور به‌ترتیب در طبقات متوسط، سالم و متوسط قرار گرفته‌اند. بنابراین برآیند تمام شاخص‌ها موجب شده است تا این دو واحد کاری از نظر سلامت کلی از طبقات بهتری نسبت به سایر واحدهای‌کاری برخوردار باشند. از نظر نامطلوب‌ترین طبقات PSI، SSI و RSI و WHI نیز می‌توان جمع‌بندی نمود که به‌ترتیب حدود ۲۱، ۲۲، ۲۴ و ۳۱ درصد از کل آبخیز در دو طبقه متوسط و ناسالم دسته‌بندی شده است. با توجه به اهمیت ارزیابی سلامت آبخیز، تهیه بانک اطلاعاتی جامع و به‌روز برای پشتیبانی از عملکردهای تولیدی، تنظیمی، فرهنگی و حمایتی آبخیز ضروری است. در پژوهش حاضر، از داده‌های موجود و منتهی به سال ۱۳۸۵ استفاده شد، بر همین اساس، پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آینده، رویکرد به‌کار گرفته شده و حتی استفاده از نسخه‌های به‌روز در این پژوهش با استفاده از داده‌های جدید و نیز کامل‌تر پیاده‌سازی شود. پژوهش‌های آینده باید طبقات واقعی منطقه مورد مطالعه را تا حد امکان ترکیب کرده و منابع داده‌های متعدد را برای نزدیک شدن به نتایج ارزیابی واقعی یکپارچه کند. هم‌چنین، با توجه به تغییرات روزافزون اقلیم و کاربری اراضی نیز پیشنهاد می‌شود تا شرایط گذشته، حال و آینده سلامت آبخیز حفاظت شده شیدا مورد مقایسه قرار گیرد. به‌منظور بهینه‌سازی نتایج حاصل از مدل PSR در ارزیابی سلامت آبخیز، پژوهش‌های آینده می‌توانند چگونگی ترکیب نتایج مدل حاضر را با مدل‌های دیگر بررسی کنند.

ملاحظات اخلاقی

دسترسی به داده‌ها: داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

حمایت مالی: این پژوهش در قالب پژوهش آزاد انجام شده و از هیچ سازمانی حمایت مالی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان: **فائزه محرمی:** روش‌تحقیق، نرم‌افزار، نتایج، نگارش و ویرایش مقاله؛ **بیژن خلیلی‌مقدم:** روش‌تحقیق، منبع داده‌ها؛ **زینب حزباوی:** مفهوم‌سازی، روش‌تحقیق، نرم‌افزار، نتایج، نگارش و ویرایش.

تضاد منافع نویسندگان: نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

سپاس‌گزاری: نویسندگان، از مرکز پژوهش‌های کشاورزی و منابع‌طبیعی استان چهارمحال و بختیاری به خاطر مشارکت در تهیه اطلاعات و داده‌های اولیه صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

۱. ابراهیمی، سلمان، چزگی، جواد، تاجبخش‌فخرآبادی، سیدمحمد و رستم‌پور، مسلم. (۱۴۰۲). پهنه‌بندی سلامت حوزه آبخیز فورگ خراسان جنوبی با رویکرد مدل مفهومی PSR . *خشک‌بوم*، ۱۳(۱)، ۲۱–۳۳. **doi: 10.29252/aridbiom.2023.20402.1951**

۲. حزباوی، زینب و صادقی، سیدحمیدرضا. (۱۳۹۵). سلامت آبخیز (قسمت دوم): مدل مفهومی فشار، وضعیت و پاسخ (PSR). ترویج و *توسعه آبخیزداری*، ۴(۱۵)، ۲۵–۳۰. **https://www.wmji.ir/article_696852.html**

۳. سپهوند، مراد، خرمالی کیانی، فرشاد، و افتخاری، کامران (۱۳۹۸). مدل‌سازی ضخامت لایه سطحی خاک به کمک ویژگی‌های پستی و بلندی زمین‌نما در منطقه ریمله استان لرستان. پژوهش‌های خاک، ۳۳(۳)، ۴۱۵–۴۲۳. **https://doi.org/10.22092/ijsr.2019.126817.458**

۴. صادقی، سیدحمیدرضا، قابل‌نظام، ائلناز، احمدی نژادباغبان، فروغ، ذبیحی سیلابی، مصطفی و چمنی، رضا. (۱۴۰۴). تغییرپذیری پهنه‌بندی سلامت با استفاده از روش‌های محاسبه میانگین شاخص‌های فشار، وضعیت و پاسخ در حوزه آبخیز بلده نور. *مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز* ۵(۱)، ۱۹–۳۶. **doi: 10.22034/iwm.2024.2035677.1163**

۵. عبدالهی، خدایار. (۱۳۸۶). مطالعات منطقه شکار ممنوع شیدا. مرکز پژوهش‌های کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۳۰ ص.

۶. فتحی، احسان، طالبی، علی، اختصاصی، محمدرضا و مصفایی، جمال. (۱۴۰۴). تحلیل مقایسه‌ای مدل‌ها و شاخص‌های ارزیابی سلامت و پایداری آبخیز با تمرکز بر بهبود تصمیم‌گیری مدیریتی. *مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز*، ۵(۱۱)، ۱–۱۸. doi: **10.22034/iwm.2024.2033191.1160**

۷. قابل‌نظام، ائلناز، بابائی، لیلا، علائی، نازیلا و حزباوی، زینب. (۱۴۰۱). توسعه مدل PSR-Fuzzy به‌منظور ارزیابی سلامت آبخیز کوزه‌تپراقی. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۳(۴)، ۱۵۲–۱۶۷. **doi: 10.22098/mmws.2022.11379.1125**

۸. قاسمی، ا.، حاج حسینی، م. و حسینی، م (۱۳۸۵)، شرح نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ ورقه چادگان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

۹. قربانی، ماهان، درویش صفت، علی اصغر، علجباریان امیری، بهمن و باقری، ماریا (۱۳۹۷). مدل‌سازی آشفتگی مکانی جنگل با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در پارک ملی گلستان. *پژوهش و توسعه جنگل*، ۴(۳)، ۳۰۳–۳۱۷. **https://doi.org/10.22059/jfwp.2018.232486.847**

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.2.8]

۱۰. معتمدی، راضیه، آذری، محمود، و منصفی، رضا (۱۳۹۸). ارتباط الگوی سیمای سرزمین و رسوب در برخی از زیرحوزه‌های آبخیز استان گلستان. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۱۱(۴)، ۹۵۵-۹۷۱. **https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.120525.1456**

۱۱. هدایت، سیدمهدی، داودپور، مهدی، و ذاکرحقیقی، کیانوش (۱۴۰۲). آشکارسازی و شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهر جدید پردیس با سنجه‌های سیمای سرزمین. مهندسی جغرافیایی سرزمین، ۷(۲)، ۴۶۱-۴۷۶. **10.22034/jget.2023.160270**

References

1. Abdollahi, Kh. (2007). Studies of the Sheida protected area, Agricultural and Natural Resources Research Center, 130 p. [In Persian]
2. Ahn, S.R., Kim, S.J. (2019). Assessment of watershed health, vulnerability and resilience for determining protection and restoration priorities. Environmental Modelling & Software, 122. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.03.014.
3. Alaei, N., Mostafazadeh, R., Esmali Ouri, A., Hazbavi, Z., Sharari, M., & Huang, G. (2022). Spatial comparative analysis of landscape fragmentation metrics in a watershed with diverse land uses in Iran. Sustainability, 14(22), 14876.
4. Asdak, C. (2010). Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai (5th ed.). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
5. Basuki, T. M., Nugroho, H. Y. S. H., Indrajaya, Y., Pramono, I. B., Nugroho, N. P., Supangat, A. B., ... & Simarmata, D. P. (2022). Improvement of integrated watershed management in Indonesia for mitigation and adaptation to climate change: A review. Sustainability, 14(16), 9997.
6. Deng, H., Yeh, C. H., & Willis, R. J. (2000). Inter-company comparison using modified TOPSIS with objective weights. *Computers & Operations Research*, *27*(10), 963-973.
7. Diakoulaki, D., Mavrotas, G., & Papayannakis, L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method. *Computers & Operations Research*, *22*(7), 763-770.
8. Duan, T., Feng, J., Chang, X., & Li, Y. (2022). Watershed health assessment using the coupled integrated multistatistic analyses and PSIR framework. Science of The Total Environment, 847, 157523.
9. Ebrahimi, S., Chezgi, J., Tajbakhsh Fakhrabadi, S. M., & Rostampoor, M. (2023). Health zoning of South Khorasan Forg watershed Using PSR conceptual model approach. *Journal of Arid Biome*, 13(1), 21-33. doi: 10.29252/aridbiom.2023.20402.1951 [In Persian]
10. Fathi, E., Talebi, A., Ekhtesasi, M., & Mosaffaie, J. (2025). Comparative analysis of watershed health and sustainability assessment models and indicators with a focus on improving management decision-making. *Integrated Watershed Management*, *5*(1), 1-18. doi: 10.22034/iwm.2024.2033191.1160 [In Persian]
11. Florinsky, L.V., Eilers, R.G., Manning, G.R., & L.G. Fuller. (2002). Prediction of soil properties by digital terrain modeling. Environmental Modeling and Software 17: 295-311.
12. Ghabelnezam, E., Babaei, L., Alaei, N., & Hazbavi, Z. (2022). Development of an incorporative PSR-Fuzzy model for health assessment of the KoozehTopraghi Watershed. Water and Soil Management and Modelling, 3(4), 152-167. doi: 10.22098/mmws.2022.11379.1125. [In Persian]
13. Ghasemi, A., Hajhosseini, M. and Hosseini, M. (2006), Description of the 1:10,000 geological map of Chadegan, Geological and Mineral Exploration Organization of Iran. [In Persian]
14. Ghorbani, M., Darvishsefat, A. A., Jabbarian Amiri, B., & Bagheri, M. (2018). Spatial forest disturbance modeling using landscape metrics in Golestan national park of Iran. Forest Research and Development, 4(3), 303-317. [In Persian]
15. Hazbavi, Z. and Sadeghi, S. H. (2017). Watershed Health (Part two): Pressure, State and Response Conceptual Model. Extension and Development of Watershed Management, 4(15), 25-30. [In Persian]
16. Hazbavi, Z., & Sadeghi, S. H., Gholamalifard, M., & Davudirad, A. A. (2020). Watershed health assessment using the pressure–state–response (PSR) framework. Land Degradation & Development, 31(1), 3-19.
17. Hazbavi, Z., Sadeghi, S.H.R., & Gholamalifard, M. (2019). Dynamic analysis of soil erosion-based watershed health. Geography, Environment, Sustainability, 12(3): 43-59.
18. Hedayat, S. M., Davodpour, Z., & Zaker Haghighi, K. (2023). Detection and simulation of land use changes in the new city of Pardis with Landscape Metrics by 2040. Geographical Engineering of Territory, 7(2), 461-476. 10.22034/jget.2023.160270. [In Persian]
19. Hu X, Ma C, Huang P, Guo X. (2021). Ecological vulnerability assessment based on AHP-PSR method and analysis of its single parameter sensitivity and spatial autocorrelation for ecological protection – a case of Weifang County, China. Ecological Indicators, 125:107464. doi: 10.1016/j.ecolind.2021.107464
20. Huang X., Li H., Zhang Y., Yang X., & Chen S. (2019). Construction of a vulnerability evaluation system and vulnerability assessment of urban flooding in Xi'an based on PSR and AHP methods. Natural Hazards, 28:167–175.
21. Jatav, S. S., & Naik, K. (2023). Measuring the agricultural sustainability of India: An application of pressure-state-response model. Regional Sustainability, 4(3), 218-234.
22. Li, S., Liu, C., Ge, C., Yang, J., Liang, Z., Li, X., & Cao, X. (2024). Ecosystem health assessment using PSR model and obstacle factor diagnosis for Haizhou Bay, China. Ocean & Coastal Management, 250, 107024.
23. Miralles-Wilhelm, F., Matthews, J. H., Karres, N., Abell, R., Dalton, J., Kang, S. T., Liu, J., Maendly, R., Matthews,N., McDonald, R., Muñoz-Castillo, R., Ochoa-Tocachi, B. F., Pradhan, N., Rodriguez, D.,

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.2.8]

Vigerstøl, K., & van Wesenbeeck, B. (2023). Emerging themes and future directions in watershed resilience research. Water Security, 18. https://doi.org/10.1016/j.wasec.2022.10013.
24. Motamedi, R., Azari, M., & Monsefi, R. (2019). Relationship between landscape metrics and sediment yield in some watersheds of Golestan Province. *Watershed Engineering and Management*, *11*(4), 955-971. doi: 10.22092/ijwmse.2018.120525.1456. [In Persian]
25. Mtibaa, S., Hotta, N., & Irie, M. (2018). Analysis of the efficacy and cost-effectiveness of best management practices for controlling sediment yield: A case study of the Joumine watershed, Tunisia. Science of the Total Environment, 616, 1-16.
26. Nasution, D. L. S., Susanto, E., & Ichwan, N. (2020, May). The assessment of Sei Petani sub-watershed health based on hydrolgy indicator. Journal of Physics: Conference Series. 1542, 012032.
27. Nugroho, H. Y. S. H., Supangat, A. B., Purwanto, Setiawan, O., Nandini, R., Ulya, N. A., Arifanti, V. B., &
28. Pambudi, A. S. (2019). Watershed management in Indonesia: A regulation, institution, and policy review. Indonesian Journal of Development Planning, 3(2), 185–202.
29. Perdinan, R. E. P., Tjahjono, D. Y. D. I., Aprilia, S., Adi, R. F., Basit, R. A., Wibowo, A., Wijanarko, K., & Kardono. (2024). Translation of international frameworks and national policies on climate change, land degradation, and biodiversity to develop integrated risk assessment for watershed management in Indonesia. Watershed Ecology and the Environment, 6, 100091. https://doi.org/10.1016/j.wsee.2023.10.001
30. Renard, K. G., & Freimund, J. R. (1994). Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. Journal of Hydrology, 157(1-4), 287-306.
31. Rodriguez-Flores, S., Muñoz-Robles, C., Tiznado, J. Q., & Julio-Miranda, P. (2025). Assessment of watershed health, integrating environmental, social, and climate change criteria into a fuzzy logic framework. Science of The Total Environment, *960*, 178316.
32. Rolia, E., Sutjiningsih, D., & Siswantining, T. (2021). Modeling watershed health assessment for five watersheds in Lampung Province, Indonesia. Advances in Sciences Technology, and Engineering Systems Journal, 6(1), 99-111.
33. Romlah, D. R., Yuwono, S. B., Hilmanto, R., & Banuwa, I. S. (2018). The effect of changes in forest cover on the discharge of way Seputih Hulu. Jurnal Hutan Tropis, 6(2), 197–204.
34. Roy, P., Pal, S. C., Chakrabortty, R., Saha, A., & Chowdhuri, I. (2022). A systematic review on climate change and geo-environmental factors induced land degradation: Processes, policy-practice gap and its management strategies. Geological Journal, n/a(n/a), 1–28. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/gj.4649.
35. Sadeghi, S. H., Ghabelnezam, E., Ahmadinejad Baghban, F., Zabihi Seilabi, M., & Chamani, R. (2025). Variability in Health Zoning due to Applying Different Methods for Averaging Pressure, State, and Response Indices in the Baladeh-e-Noor Watershed, Iran. *Integrated Watershed Management*, *5*(1), 19-36. doi: 10.22034/iwm.2024.2035677.1163. [In Persian]
36. Sanchez, G. M., Nejadhashemi, A. P., Zhang, Z., Marquart-Pyatt, S., Habron, G., & Shortridge, A. (2015) Linking watershed-scale stream health and socioeconomic indicators with spatial clustering and structural equation modeling, Environmental Modelling & Software, 70, 113–127. doi:10.1016/j.envsoft.2015.04.012.
37. Sepahvand, M., Khormali, F., Kiani, F., & Eftekhari, K. (2019). Modeling Thickness of Soil- Surface Layer Using Topographic Attributes of Landscape in Rimeleh Catchment, Lorestan Province. Iranian Journal of Soil Research, 33(3), 415-423. doi: 10.22092/ijsr.2019.126817.458. [In Persian]
38. Shella I. Talampas, Sangam Shrestha, S. Mohanasundaram & Ho Huu Loc (2023) Development of a watershed health assessment framework integrating ecological, social, cultural, economic and policy attributes. International Journal of River Basin Management, DOI: 10.1080/15715124.2023.2242830
39. Stringer, L. C., Scrieciu, S. S., & Reed, M. S. (2009). Biodiversity, land degradation, and climate change: Participatory planning in Romania. Applied Geography, 29(1), 77–90. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2008.07.008
40. Tavosi M, Vafakhah M, Sadeghi SH, Shekohideh H, Moosavi V. Comparative assessment of Watershed Hydrological Health (WHH) using multi-criteria decision-making approach based on PSR framework. Journal of Environmental Management, 2025 Jan;373:123833. doi: 10.1016/j.jenvman.2024.123833.
41. UNDP (2006). Human development report United Nations development program. UNDP
42. UNEP (1997). World atlas of desertification. United Nations Environment Programme.
43. USEPA. (2012). Identifying and protecting healthy watersheds: concepts, assessments, and management approaches, EPA, 841-B-11-002. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water and Office of Research and Development, Washington D.C., 2012.
44. Wei. H., Zhang. W., Zhang. F., & Sun. G. (2020). Ecological security evaluation of Africa. Front Agr Sci Eng. 7(4), 467. doi:10.15302/J-FASE-2020320
45. Yunshu, T., Xiaoyu, Z., & Jianling, J. (2020). Ecological security assessment of Chaohu Lake Basin of China in the context of River Chief System reform. Environmental Science and Pollution Research International, 27(3), 2773–2785.
46. Zhao, Y. W., Zhou, L. Q., Dong, B. Q., & Dai, C. (2019). Health assessment for urban rivers based on the pressure, state and response framework-A case study of the Shiwuli River. Ecological indicators, 99, 324-331.
47. Zhou, Y. (2022). Study on development boundary delineation and control of coal resource-based cities under ecosystem health orientation. Ph.D. Dissertation. China University of Mining and Technology. doi: 10.27623/d.cnki.gzkyu.2022.00106.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.2.8]