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

Monitoring the health of Fakhran watershed in South Khorasan using the conceptual pressure-state-response model

Hojjat Sahragard [1], Hadi Memarian [*2], Javad Chezgi [3], Seyyed Mohammad Tajbakhsh Fakhrabadi [4] and Reza Chamani [5]

[1] Former M.Sc. Student, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran, Hojjat.sahragard@birjand.ac.ir
[2] Associate Professor, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran, Hadi_memarian@birjand.ac.ir
[3] Associate Professor, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran, Chezgi@birjand.ac.ir
[4] Associate Professor, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran, Tajbakhsh.m@birjand.ac.ir
[5] Assistant Professor, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran, reza.chamani@birjand.ac.ir

ARTICLE INFO.

Article type:
Research Paper

Article history
Received: 06 October 2025
Revised: 16 November 2025
Accepted: 27 November 2025
Published online: 20 May 2026

Keywords:
Ecosystems, Monitoring, Destruction, Remote Sensing, Sustainable Management

ABSTRACT

Today, the spread of various human and natural factors and the intensification of their negative effects have caused the watersheds performance to face significant challenges, preventing the proper fulfillment of stakeholders' needs. Therefore, this study aimed to evaluate the health of the Fakhran watershed in South Khorasan and identify the factors affecting it. Accordingly, using the conceptual approach of pressure-state-response (PSR), 38 initial variables were identified. Then, using the Pearson's correlation coefficient, variables with a correlation coefficient greater than 0.8 were identified and removed due to multicollinearity. At the final 11, 9, and 12 criteria, respectively, were determined for pressure, state, and response indices to assess the health status in different sub-watersheds. The results showed the pressure index ranged from 0.43 to 0.83, the state index from 0.33 to 0.65, and the response index from 0.33 to 0.57 across the sub-watersheds. The health index ranged between 0.36 and 0.61. In other words, the pressure, state, response, and health indices were placed in the relatively healthy, moderate, moderate, and moderate categories with average values of 0.67, 0.50, 0.47, and 0.54, respectively. In terms of effectiveness, household migration (1.5%) and the ratio of residential areas to watershed area (5%) had the greatest contribution to reducing health, while the ratio of irrigated-garden lands to dry land (4.0%) and the number of water sources (9.0%) had the least impact on health. As the results indicate that principled decision-making regarding population control, residential area distribution, and agriculture by local communities and provincial managers can improve the health of the Fakhran watershed and enhance the health of its sub-watersheds.

Citation: Sahragard, H., Memarian, H., Chezgi, J., Tajbakhsh Fakhrabadi, & Chamani, R. (2026). Monitoring the health of Fakhran watershed in South Khorasan using the conceptual pressur-state-response model. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 14(1), 71-88.
DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.4.1
Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association
© Author(s)

[*]**Corresponding author:** Hadi Memarian
Address: Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran,
Tel: +989155320032
Email: Hadi_memarian@birjand.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.4.1]

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

Monitoring the health of Fakhran watershed in South Khorasan using the conceptual pressure-state-response model

Hojjat Sahragard [1], Hadi Memarian [*2], Javad Chezgi [3], Seyyed Mohammad Tajbakhsh Fakhrabadi [4] and Reza Chamani [5]

[1] Former M.Sc. Student, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran, Hojjat.sahragard@birjand.ac.ir
[2] Associate Professor, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran, Hadi_memarian@birjand.ac.ir
[3] Associate Professor, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran, Chezgi@birjand.ac.ir
[4] Associate Professor, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran, Tajbakhsh.m@birjand.ac.ir
[5] Assistant Professor, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran, reza.chamani@birjand.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Watersheds, as natural spatial units and the foundation of planning, play a vital role in supplying water resources, conserving biodiversity, and sustaining the functions of various ecosystems. Nevertheless, these essential systems have been placed under growing pressure worldwide due to human, environmental, and climatic factors. Economic development, the expansion of international interactions, cultural change, technological progress, and the increasing demand for life-sustaining resources have all intensified pressure on the environment. The effects of these pressures, manifested through land-use change, contamination of water and soil resources, and unsustainable use of natural resources, have significantly undermined watershed health and ecological integrity, making a comprehensive assessment of their health more necessary than ever. Today, the spread of various human and natural factors, including land use change, deforestation, expansion of dryland lands, conversion of riverside areas into residential areas, climate change, drought, lightning, floods, and soil erosion, and the intensification of their negative effects, has caused the performance of watersheds to face problems, and the needs of stakeholders are not properly met. In other words, the destruction of watersheds has increased day by day, and their efficiency and protection from natural threats have been reduced. Therefore, in this study, an attempt has been made to evaluate the health of the Fakhran watershed in South Khorasan using various climatic, hydrological, and human criteria in different sub-watersheds and to identify the factors affecting it.

Methodology: This study was based on the Pressure-State-Response (PSR) framework developed by the OECD and widely used in environmental assessment and ecosystem management. In this model, pressure represents human and natural driving forces affecting ecosystems, state refers to the physical, chemical, and biological condition of the environment and human well-being, and response includes management actions, policy interventions, and natural watershed reactions to pressures. The methodology was carried out in four main stages. First, potential criteria for watershed health assessment were identified through literature review, expert consultation, and field-based data collection, and then processed in GIS for each sub-watershed. Second, Pearson correlation analysis was used to remove highly correlated variables and avoid multicollinearity. Third, the selected criteria were standardized to a common 0–1 scale and classified as positive or negative indicators depending on their effect on watershed health. Finally, the standardized criteria were integrated into the PSR components using equal weighting to generate pressure, state, and response maps. The overall watershed health index was then calculated by combining these three indices, and the final watershed health map was classified into five qualitative levels from very healthy to very unhealthy.

Results and Discussion: For the pressure index, four variables—annual evapotranspiration, mean annual temperature, irrigated orchard area, and rainfed land area—were removed due to high correlations (>0.8) and

[*] **Corresponding author:** Hadi Memarian
Address: Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran,
Tel: +989155320032
Email: Hadi_memarian@birjand.ac.ir

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

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.4.1]

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

multicollinearity. The remaining analysis showed that 6 sub-watersheds (F22, F27, F30, F36, F37, and F10), covering 14.6% of the watershed area, were classified as moderately healthy. Thirty-two sub-watersheds, representing 78.8% of the area, were classified as relatively healthy, while only F19 (6.6% of the area) was classified as healthy with a score of 0.83. For the state index, no significant correlations were found among the selected variables, so all indicators were retained. The results showed that sub-watershed F37, covering 1.4% of the watershed, was classified as relatively unhealthy. Most of the watershed, 35 sub-watersheds accounting for 94.3% of the area, fell into the moderately healthy category, while three sub-watersheds (F24, F33, and F35), covering 4.3%, were classified as relatively healthy. For the response index, the selected variables were statistically reliable, although specific sediment yield and rangeland area were removed due to high correlation (>0.8). The results indicated that sub-watersheds F37 and F28, covering 1.9% of the watershed, were classified as relatively unhealthy. The remaining 37 sub-watersheds, representing 98.1% of the area, were classified as moderately healthy. The best condition was observed in F33, with a health score of 0.57, mainly due to low peak discharge, low runoff volume, and the absence of human settlements. The final watershed health assessment showed that sub-watershed F37 covered 1.4% of the watershed area and was classified as relatively unhealthy. In contrast, 35 sub-watersheds accounting for 92.8% of the area were classified as moderately healthy, while three sub-watersheds (F33, F17, and F21) covering 5.8% were rated as relatively healthy. The best overall condition was observed in F33, with a health score of 0.61, mainly due to good drainage, distance from flood-prone areas, no human settlements, and the presence of a productive qanat. The lowest health status was found in F37, with a score of 0.36, due to high population density, high household migration, and limited conservation measures.

Conclusion: As the results showed, the pressure index varied from 0.43 to 0.83, the state index from 0.33 to 0.65, and the response index from 0.33 to 0.57 in different sub-watersheds. The health index also ranged from 0.36 to 0.61. In other words, the pressure, state, response, and health indices were placed in the relatively healthy, average, average, and average categories with average values of 0.67, 0.50, 0.47, and 0.54, respectively. In terms of impact, household migration (1.5 %) and the ratio of residential areas to watershed area (5 %) had the greatest contribution to reducing health, and the ratio of irrigated-garden lands to dry land (4 %) and the number of water sources (9 %) had the least impact on healthThe present study has assessed the health of different sub-watersheds of the Fakhran watershed using various climatic, human, and hydrological criteria. As the results of the study showed, the average health of the Fakhran watershed is affected by various factors, including drought, expansion of residential areas, and flooding of lands, indicating its fragile state against human and environmental factors. Therefore, the basis of the condition of the Fakhran watershed with its arid and semi-arid climate should be better known as a prerequisite for a sustainable future and human security, and preventive measures against destruction, corrective operations, and the development of a general culture of protecting the health of natural resources in the watershed should be considered for their proper use by the watershed residents. Therefore, it is recommended that local and regional managers and planners should place management and development plans with a complete view of the health status of the Fakhran watershed and the extent and type of factors affecting it.

Ethical Considerations

Data availability statement: The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.
Funding: The data and results used in this study will be made available through correspondence with the corresponding author.
Authors' contribution: **Sahragerd, H.:** Methodology, Software, Writing - original draft preparation; **Memarian, H.:** Conceptualization, Supervision; **Chezgi, J.:** Methodology; **Tajbakhsh Fakhrabadi, S.M.,** Methodology; **Chamani, R.:** Resources, Software, Manuscript editing.
Conflicts of interest: The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.
Acknowledgment: The authors of this article thank and appreciate all individuals and organizations that played a role in conducting the research.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.4.1]

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

پایش سلامت حوزه آبخیز فخران خراسان جنوبی با استفاده از مدل مفهومی فشار-حالت-پاسخ

حجت صحراگرد [۱]، هادی معماریان* [۲]، جواد چزگی [۳]، سیدمحمد تاجبخش فخرآبادی [۴]، رضا چمنی [۵]

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، Hojjat.sahragard@birjand.ac.ir
[۲] دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، Hadi_memarian@birjand.ac.ir
[۳] دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، Chezgi@birjand.ac.ir
[۴] دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، Tajbakhsh.m@birjand.ac.ir
[۵] استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، reza.chamani@birjand.ac.ir

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله
دریافت: ۱۴ مهر ۱۴۰۴
بازنگری: ۲۵ آبان ۱۴۰۴
پذیرش: ۰۶ آذر ۱۴۰۴
انتشار برخط: ۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۵

واژه‌های کلیدی:
بوم‌سازگان، پایش، تخریب، سنجش از دور، مدیریت پایدار

چکیده

امروز گسترش عوامل مختلف انسانی و طبیعی و تشدید آثار منفی آن‌ها سبب شده است تا عملکرد آبخیزها با مشکل مواجه شود و نیازهای ذی‌نفعان به درستی تأمین نشود. لذا در این پژوهش سعی شده است سلامت آبخیز فخران خراسان جنوبی مورد ارزیابی قرار گیرد و عوامل موثر بر آن مشخص شود. براین اساس با استفاده از رویکرد مفهومی فشار-حالت-پاسخ (PSR) تعداد ۳۸ متغیر اولیه شناسایی شد. سپس با استفاده از معیارضریب همبستگی پیرسون، متغیرهای باضریب همبستگی بیشتر از ۰/۸ به‌عنوان متغیرهای دارای همخطایی چندگانه شناسایی و حذف شدند. در نهایت و به‌ترتیب از ۱۱، ۹ و ۱۲ معیار در شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ برای تعیین وضعیت سلامت در زیرآبخیزهای مختلف تعیین شد. همانطور که نتایج نشان داد شاخص فشار از ۰/۴۳ تا ۰/۸۳، شاخص حالت از ۰/۳۳ تا ۰/۶۵ و شاخص پاسخ از ۰/۳۳ تا ۰/۵۷ در زیرآبخیزهای مختلف متغیر بود. همچنین شاخص سلامت نیز مقادیری بین ۰/۳۶ تا ۰/۶۱ را به خود اختصاص داده است. با عبارتی دیگر شاخص‌های فشار، حالت، پاسخ و سلامت به‌ترتیب با مقادیر متوسط ۰/۶۷، ۰/۵۰، ۰/۴۷ و ۰/۵۴ در طبقه نسبتاً سالم، متوسط، متوسط و متوسط قرارگرفتند. به لحاظ اثرگذاری نیز مهاجرت خانوار (۵/۱ درصد) و نسبت مناطق مسکونی به سطح آبخیز (۵ درصد) بیشترین سهم را در کاهش سلامت و نسبت اراضی آبی-باغی به دیم (۰/۴ درصد) و تعداد منابع آبی (۰/۹ درصد) کمترین تأثیر را بر سلامت نشان دادند. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد تصمیم‌گیری اصولی بر کنترل جمعیت، پراکنش مناطق مسکونی و زراعت توسط جوامع محلی و همچنین مدیران استانی می‌تواند افزایش سلامت آبخیز فخران و ارتقاء سلامت زیرآبخیزها را در پی داشته باشد.

استناد: صحراگرد، حجت، معماریان، هادی، چزگی، جواد، تاجبخش فخرآبادی، سیدمحمد و چمنی، رضا (۱۴۰۵). پایش سلامت حوزه آبخیز فخران خراسان جنوبی با استفاده از مدل مفهومی فشار-حالت-پاسخ. *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۴(۱)، ۷۱-۸۸.
DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.4.1

© نویسندگان

ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

* **نویسنده مسئول:** هادی معماریان
نشانی: گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
تلفن: ۰۹۱۵۵۳۲۰۰۳۲
پست الکترونیکی: Hadi_memarian@birjand.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.4.1]

مقدمه

حوزه‌های آبخیز به‌عنوان واحدهای طبیعی و بستر برنامه‌ریزی، نقش اساسی در تأمین منابع آب، حفظ تنوع زیستی و ارائه خدمات از سوی بوم‌سازگان‌های مختلف ایفا می‌کنند (Rostami Kalaj et al., 2026). با این حال، این واحدهای حیاتی در سراسر جهان تحت فشارهای فزاینده‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی، محیطی و اقلیمی قرار گرفته‌اند (Chamani et al., 2025). رشد اقتصادی، گسترش مبادلات فرامرزی، تحولات فرهنگی، پیشرفت‌های فناورانه و نیاز فزاینده به منابع حیات‌بخش، همگی موجب افزایش فشار بر محیط‌زیست شده‌اند (Ebrahimi et al., 2016; Moharrami et al., 2026). پیامدهای این فشارها، که در قالب تغییر کاربری اراضی، آلودگی منابع آب و خاک و بهره‌برداری غیرپایدار از منابع طبیعی ظاهر می‌شوند، سلامت و یکپارچگی بوم‌شناختی آبخیزها را به شدت تحت تأثیر قرار داده و لزوم ارزیابی جامع سلامت آن‌ها را بیش از پیش آشکار ساخته‌اند (Chamani et al., 2024).

با توجه به وابستگی متقابل اجزای مختلف آبخیز بایکدیگر، هرگونه اقدام مدیریتی یا سیاست‌گذاری در یک بخش، تأثیرات مستقیم و غیرمستقیمی بر سایر بخش‌ها و در نهایت بر کارکرد کلی واحد خواهد داشت. مدل‌ها و رویکردهای مختلفی به ارزیابی سلامت آبخیزها با اهداف مختلف نموده‌اند. در این میان، مدل فشار–حالت–پاسخ (PSR)[1] که توسط سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (OECD)[2] در دهه ۱۹۹۰ معرفی شده است، به‌عنوان یک چارچوب مفهومی قدرتمند برای ارزیابی یکپارچه سلامت حوزه‌های آبخیز مورد استفاده قرار گرفته است (OECD, 1993). این مدل با ارائه یک ساختار علّی–معلولی، ارتباط بین فشارهای وارده، حالت‌های رخداده ناشی از این فشارها و پاسخ‌های مدیریتی را به صورت سیستماتیک تحلیل می‌کند ((Sadeghi et al., 2023a; Nezhadrahim et al., 2024).

پژوهش‌های متعددی به ارزیابی سلامت آبخیزها با استفاده از رویکرد مفهومی PSR پرداخته‌اند. به‌طور نمونه Hazbavi et al. (2020) در آبخیز کوزه‌تپراقی اردبیل با استفاده از رویکرد فشار–وضعیت–پاسخ (PSR) به ارزیابی وضعیت سلامت پرداختند. نتایج پژوهش حاکی از آن است که سلامت این آبخیز با مقدار ۰/۴۱ در طبقه متوسط قرار گرفته است. همچنین Sadeghi et al. (2023a) با به پهنه‌بندی سلامت و امنیت بوم‌شناختی ۳۰ حوزه آبخیز بزرگ و رده دوم ایران با استفاده از رویکرد PSR و ۴۴ متغیر مشکل‌محور، تأثیرگذار و در دسترس نتایج نشان دادند شاخص‌های P، S و R به‌ترتیب از ۰/۴۹ تا ۰/۶۹، ۰/۴۲ تا ۰/۸۲ و ۰/۴۰ تا ۰/۹۴ متغیر بوده و شاخص‌های سلامت و امنیت بوم‌شناختی به‌ترتیب از ۰/۴۶ تا ۰/۹۶ و ۰/۳۰ تا ۰/۸۹ متغیر است. همچنین میانگین وزنی P، S و R نیز به‌ترتیب ۰/۵۹، ۰/۶۲ و ۰/۵۷ بوده است. درپژوهشی دیگر Chamani et al. (2024) در آبخیز شارقنج خراسان جنوبی و با استفاده از رویکرد فشار–وضعیت–واکنش با محوریت سیلاب، به ارزیابی وضعیت سلامت در زیرآبخیزهای مختلف پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که حوزه آبخیز به شدت مستعد وقوع سیل است و وضعیت سلامت و امنیت بوم‌شناختی آن در درجه اول تحت تأثیر خسارات ناشی از سیل مانند تخریب منازل مسکونی و باغات در سال‌های اخیر است. همچنین، Sadeghi et al. (2025) با ارزیابی تغییرپذیری پهنه‌بندی سلامت با استفاده از روش‌های مختلف محاسبه میانگین شاخص‌های فشار، وضعیت و پاسخ در حوزه آبخیز بلده نور با استفاده از ۳۶ معیار کلیدی بیان داشتند امنیت بوم‌شناختی در حوزه آبخیز برابر با ۰/۵۸ به‌دست آمد و وضعیت سلامت حوزه آبخیز بلده نور نیز با میانگین‌های حسابی، هندسی، وزنی، خلاصه‌شده و هم‌ساز در طبقه نسبتاً سالم با مقدار عددی به‌ترتیب ۰/۶۳، ۰/۶۲، ۰/۶۲، ۰/۶۳ و ۰/۶۰ قرار گرفت. همانطور که نتایج پژوهش نشان داد میانگین هندسی به دلیل کاهش اثر اعداد بزرگ و متعادل کردن میانگین، قابلیت استفاده بیشتری نسبت به سایر میانگین‌ها دارد. آبخیز فخران در خراسان جنوبی نیز در سال‌های اخیر دستخوش تغیرات کاربری اراضی و تشنجات اقلیمی مختلفی بوده است. براین اساس در این پژوهش سعی شده است وضعیت سلامت عمومی آبخیز فخران با رویکرد مفهومی فشار–حالت–پاسخ (PSR) مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش تحقیق

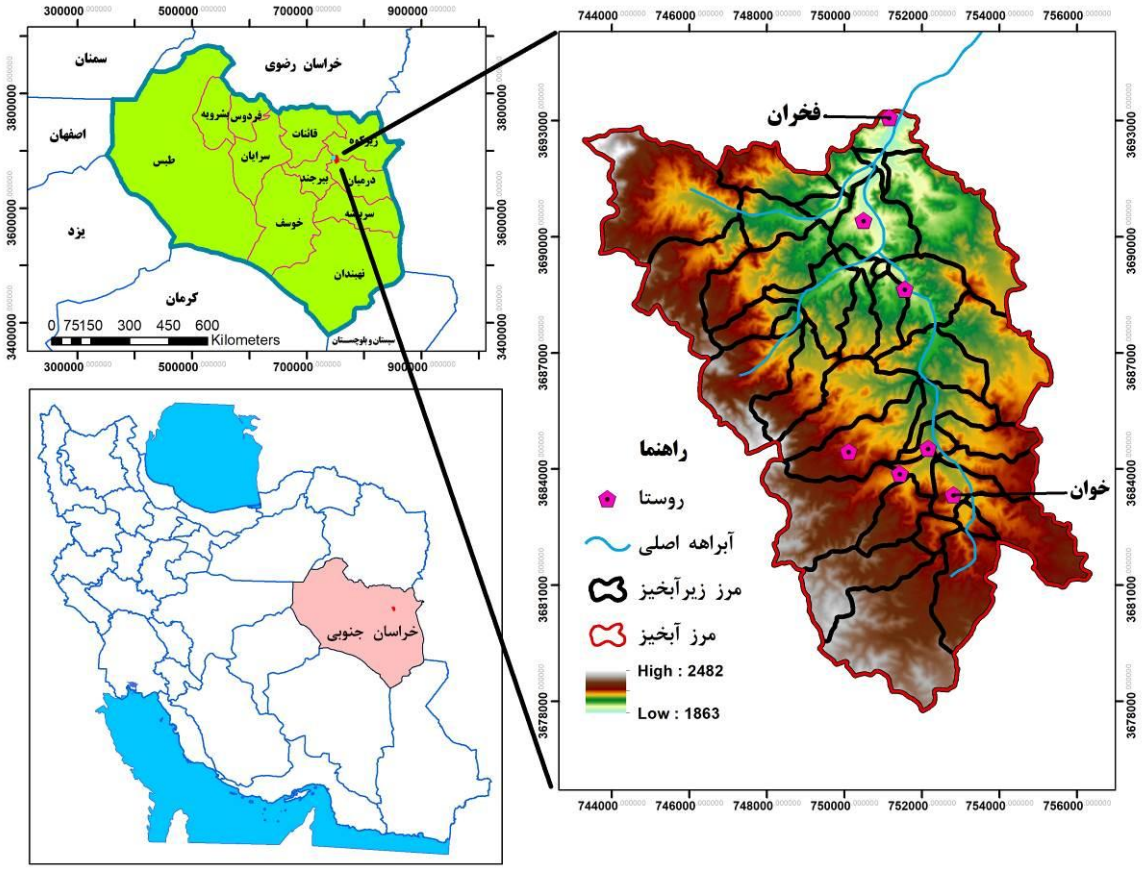
منطقه مورد مطالعه

آبخیز فخران با مساحتی بالغ بر ۱۰۵۰۶/۰۴ هکتار در آبریز نمکزار خواف، شهرستان درمیان و بخش قهستان استان خراسان جنوبی واقع شده است. محدوده آبخیز فخران در ۷۸ کیلومتری شمال شرقی شهر بیرجند و ۶۷ کیلومتری شمال غربی شهر اسدیه قرار دارد. متوسط بارندگی سالانه آبخیز فخران ۲۱۳ میلی‌متر، متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۰ درجه سانتی‌گراد و متوسط تبخیر–تعرق واقعی ۲۱۰ میلی‌متر

[1] Pressure-State-Response
[1] Organization for Economic Co-operation and development

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.4.1]

می‌باشد. اقلیم منطقه نیز با روش دومارتن نیمه خشک تعیین شد (Sadeghi et al., 2024). علاوه براین روستاهای خوان، مناوند، ماسنان، نوقند، آنیک، نوغاب و فخران در آبخیز فخران واقع شده است. در شکل ۱ منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت مکانی و پراکنش ارتفاعی آبخیز فخران در خراسان جنوبی و ایران

Figure 1– Location and altitudinal distribution of Fakhran watershed in South Khorasan and Iran

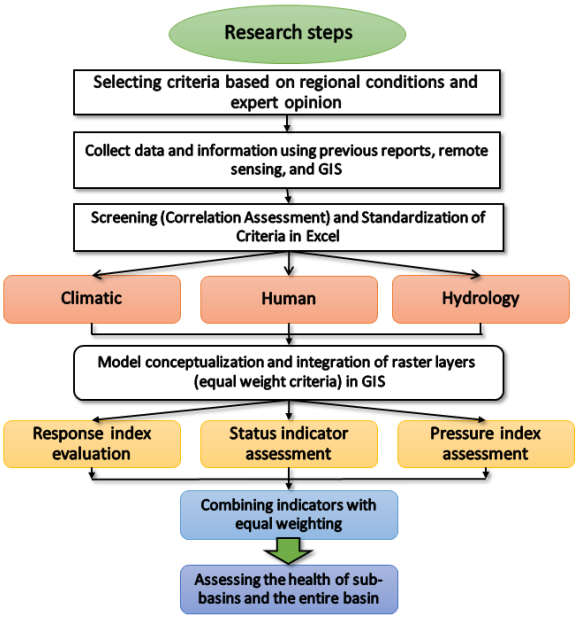
روش تحقیق

چارچوب مفهومی پژوهش

چارچوب حاکم بر این پژوهش، رویکرد مفهومی فشار–حالت–پاسخ (PSR) است که توسط سازمان همکاری اقتصادی و توسعه، توسعه یافته و به‌طور گسترده‌ای برای ارزیابی‌های محیط‌زیستی و مدیریت بوم‌سازگان‌ها به کار گرفته شده است. در این مدل علّی–معلولی شاخص فشار به نیروهای محرکه ناشی از فعالیت‌های انسانی و طبیعی اطلاق می‌شود که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر بوم‌سازگان‌ها تأثیر می‌گذارند و می‌توانند منجر به تغییر در سیستم شوند. حالت به وضعیت فیزیکی، شیمیایی و زیستی محیط طبیعی و همچنین وضعیت رفاه انسان ناشی از فشارهای وارده اشاره دارد. در نهایت پاسخ به اقدامات اجرایی، سیاست‌گذاری‌ها و همچنین واکنش های طبیعی آبخیز در برابر فشارها و حالت‌های رخداده اشاره دارد (Sadeghi et al., 2023a). روش‌شناسی این پژوهش در چهار مرحله اصلی به صورت زیر پیاده‌سازی شده است. نمودار مراحل روش‌شناسی در شکل ۲ ارائه شده است.

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

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.4.1]



شکل ۲- نمودار مراحل پژوهش

Figure 2– Diagram of research stages

شناسایی، انتخاب و غربال‌گری معیارها

در گام نخست، با انجام یک مطالعه گسترده کتابخانه‌ای و پایش نظام‌مند پژوهش‌های پیشین در زمینه ارزیابی سلامت حوزه‌های آبخیز، فهرست اولیه و جامع از معیارهای بالقوه تهیه شد. لیست اولیه با توجه به شرایط خاص بوم‌شناختی، اقلیمی و انسانی آبخیز فخران و همچنین نظرسنجی با تعدادی از متخصصان آبخیز، شامل اساتید دانشگاهی، خبرگان محلی و کارشناسان منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان جنوبی اصلاح و نهایی شد که در جدول ۱ ارائه شده است. داده‌های خام مورد نیاز از منابع مختلف (نظیر تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های پایه، مطالعات تفصیلی-اجرایی آبخیزداری و بازدید میدانی) استخراج و در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)[1] پردازش شد. در ادامه، مقادیر هر یک از این معیارها برای هر زیرآبخیز محاسبه شد.

جدول ۱- فهرست اولیه متغیرهای استفاده شده در شاخص‌های سلامت

Table 1- Initial list of variables used in health indicators

Factors	Criteria	Symbology	Unit	Criteria	Symbology	Unit
Hydrology	Average slope	S_{avr}	%	Sediment rate	Sr	t/ha/yr
	Total length of river	LW_t	Km	Sediment delivery rate	SDR	-
	Slope of lands contributing to runoff production	SLCRP	%	Time of concentration	Tc	h
	Annual runoff height	R_{annual}	mm	Peak discharge	D_{peak}	$m^3/ce/Km^2$
	Shape coefficient	ShF	-	Number of water sources	NWR	n
	Area of lands susceptible to erosion	ALSE	Km^2	Volume of water source discharge (springs, wells and aqueducts)	VWR	Million m^3 / yr
	Ratio of lands contributing to runoff production to watershed area	RALPRWA	-	Volume of runoff	VR	Million m^3 / yr
	Erosion rate	Er	t/ha/yr	-	-	-

[1] Geographic Information System

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

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.4.1]

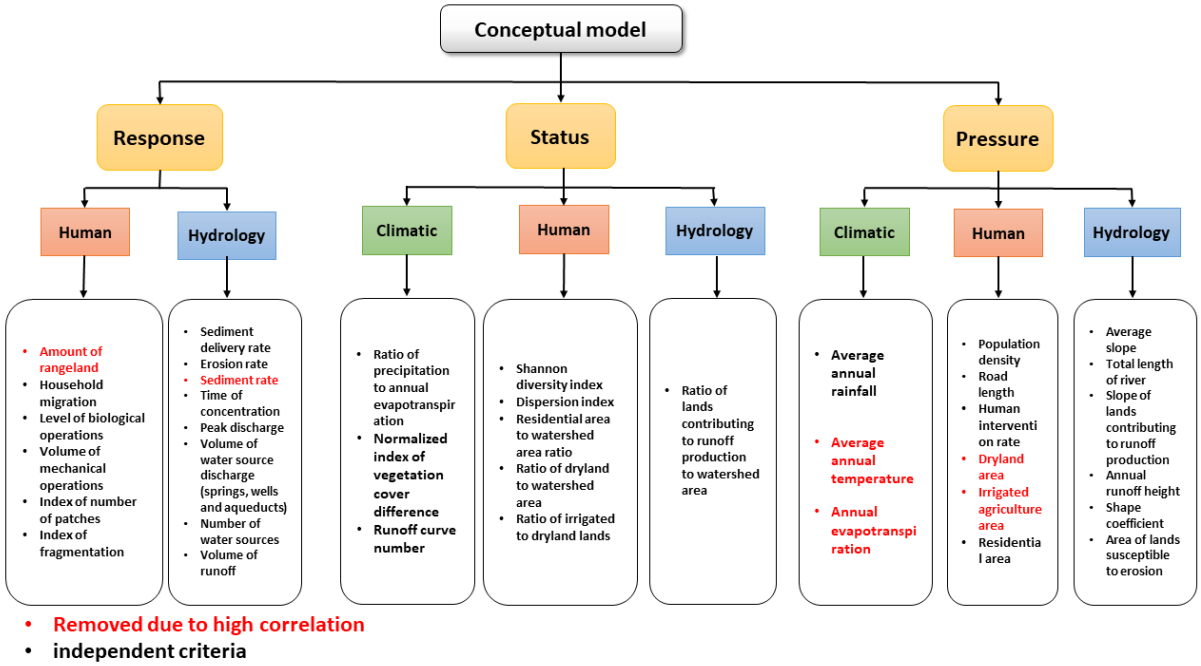
Human	Population density	Pd	Number/hec	Ratio of irrigated to dryland lands	RILDL	-
	Road length	LR	Km	Ratio of dryland to watershed area	RDWA	-
	Human intervention rate	HI	Km^2	Amount of rangeland	PL	Km^2
	Residential area	RA	Km^2	Index of number of patches	NP	-
	Dryland area	DL	Km^2	Index of fragmentation	SPLIT	-
	Irrigated agriculture area	IL	Km^2	Household migration	HM	Number of households
	Shannon diversity index	SHDI	-	Level of biological operations	ABO	Km^2
	Dispersion index	IJI	-	Volume of mechanical operations	VMO	M^3
	Residential area to watershed area ratio	RRAWA	-	-	-	-
Climate	Average annual rainfall	P_{annual}	mm	Ratio of precipitation to annual evapotranspiration	RAPAE	-
	Average annual temperature	$T_{annual,avr}$	°C	Normalized index of vegetation cover difference	NDVI	-
	Annual evapotranspiration	EVP_{annual}	mm	Runoff curve number	CN	-

ارزیابی همبستگی معیارها

به‌منظور اجتناب از تأثیر مضاعف معیارهای با همبستگی بسیار بالا بر نتایج نهایی، تحلیل همبستگی پیرسون بین تمامی جفت معیارها با استفاده از افزونه XLSTAT نسخه ۲۰۲۲ در محیط نرم‌افزار Excel انجام پذیرفت. بر اساس چارچوب‌های نوین تحلیل داده‌های چندمتغیره (Biecek & Burzykowski, 2021)، معیارهایی که ضریب همبستگی پیرسون بین آن‌ها از ۰/۸ فراتر رفت، به‌عنوان متغیرهای دارای هم‌خطی چندگانه شناسایی شدند. بر این اساس، متغیری که توجیه نظری ضعیف‌تری در ارتباط با سلامت آبخیز داشت، حذف شد تا تنها معیارهای مستقل و نهایی برای مراحل بعدی تحلیل حفظ شوند. حذف معیارهای همبسته در ارزیابی سلامت آبخیز یک ضرورت روش‌شناختی است که از بروز چندخطی (Multicollinearity) جلوگیری می‌کند. مطالعات نشان می‌دهند که همبستگی بالا بین معیارها (≤۰/۸) منجر به کاهش دقت برآورد ضرایب، افزایش واریانس پارامترها و کاهش قابلیت تعمیم‌پذیری مدل می‌شود (Dormann et al., 2013). این رویکرد نه تنها از وزن‌دهی مضاعف به ابعاد خاصی از سیستم جلوگیری می‌کند، بلکه پایایی و اعتبار نتایج ارزیابی را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد و در نهایت، مدل‌های با معیارهای مستقل قابلیت تفسیر بهتر و کارایی بالاتری در پایش و مدیریت حوزه‌های آبخیز دارند (شکل ۲).

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

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.4.1]



شکل ۳- شاخص ها، عوامل و معیارهای زیرمجموعه مربوط به هرکدام در مدل مفهومی PSR

Figure 3– Indicators, factors, and sub-categories related to each in the PSR conceptual model

استانداردسازی معیارها

از آنجایی که معیارهای انتخاب‌شده دارای واحدهای اندازه‌گیری مختلف (مانند درصد، کیلومتر، تن در هکتار و غیره) است، لازم است تا تمامی آن‌ها به یک مقیاس بی‌بعد و قابل مقایسه تبدیل شوند. استانداردسازی با تبدیل این معیارها به مقیاس یکسان قابل مقایسه بین ۰ تا ۱، امکان تجمیع و مقایسه آن‌ها را فراهم می‌سازد. براین اساس داده‌های با تأثیر مثبت که افزایش مقدار آن‌ها نشانه بهبود سلامت است، با استفاده از رابطه ۱ و داده‌های با تأثیر منفی که افزایش مقدار آن‌ها کاهش سلامت را در پی دارد با استفاده از رابطه ۲ استاندارد می‌شوند.

$$X_s = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (۱)$$

$$X_s = \frac{X_{max} - X_i}{X_{max} - X_{min}} \quad (۲)$$

در این روابط، X_s مقدارهای استاندارد شده، X_i مقدار واقعی معیار، X_{min} کمترین مقدار و X_{max} بیشترین مقدار آن معیار در بین تمامی زیرآبخیزها است. خروجی این مرحله، مقادیر معیارها در بازه [۰, ۱] قرار دارد؛ به طوری که عدد یک نشان‌دهنده بهترین وضعیت (از نظر سلامت) و عدد صفر نشان‌دهنده بدترین وضعیت است (Chamani et al., 2024; Sadeghi et al., 2023b).

تلفیق معیارها و تولید نقشه‌های فشار، حالت و پاسخ

در این مرحله، معیارهای استانداردشده نهایی که در قالب جدول اکسل است، بر اساس تعلق مفهومی به هر یک از اجزای مدل PSR (فشار، حالت، پاسخ) دسته‌بندی شده است. سپس، جدول معیارها به محیط ArcMap منتقل شد و بر اساس شناسه منحصر به فرد هر زیرآبخیز، مقدار معیار مختص به آن زیرآبخیز، برای تولید نقشه نهایی هر شاخص (فشار، حالت، پاسخ)، از روش وزن دهی یکسان استفاده شده است. این روش به دلیل سادگی، شفافیت و کاربردپذیری گسترده در مطالعات مشابه نظیر Oppolobo et al. (2019)، انتخاب شده است. بدین ترتیب، مقدار نهایی هر شاخص برای هر زیرآبخیز از میانگین مقادیر استانداردشده تمام معیارهای متعلق به آن شاخص، محاسبه و به‌عنوان یک ستون جدید در جدول توصیفی لایه زیرآبخیزها ذخیره شده است. در نهایت، این مقادیر برای ترسیم نقشه‌های رستری، جداگانه برای شاخص‌های فشار (Pressure)، حالت (State) و پاسخ (Response) مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

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

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.4.1]

محاسبه و طبقه‌بندی نهایی سلامت حوزه آبخیز

شاخص نهایی سلامت حوزه آبخیز(WHI) از تلفیق سه شاخص فشار، حالت و پاسخ و با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شده است.

$$WHI = [\prod_{i=1}^{3} P * S * R]^{1/3} \quad (۳)$$

برای تهیه نقشه نهایی پهنه‌بندی، کلیه معیارها با توجه به جهت تأثیرشان (مثبت یا منفی) مطابق با روابط استانداردسازی استاندارد شده و در پنج طبقه کیفی شامل بسیار سالم (۱/۰۰–۰/۸۱)، سالم (۰/۸۰–۰/۶۱)، متوسط (۰/۶۰–۰/۴۱)، ناسالم (۰/۴۰–۰/۲۱) و بسیار ناسالم (۰/۲۰–۰/۰۰) طبقه‌بندی شدند. در نهایت، نقشه نهایی سلامت آبخیز فخران با تلفیق لایه‌های رستری سه‌گانه در محیط ArcGIS و اعمال رابطه میانگین هندسی تولید و بر اساس کلاس‌های تعریف‌شده طبقه‌بندی شد.

نتایج و بحث

شاخص فشار

در جدول ۲ همبستگی بین معیارهای مورد استفاده در شاخص فشار ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود چهار معیار تبخیر–تعرق سالانه، میانگین دمای سالانه، میزان زراعت آبی–باغی و میزان اراضی دیم به دلیل دارا بودن ضریب همبستگی بالاتر از ۰/۸ با یکدیگر، به منظور جلوگیری از مسئله همخطایی چندگانه از فرآیند مدل‌سازی حذف شدند. در ادامه ارزیابی درجه شاخص فشار نشان داد که زیرآبخیزهای مورد مطالعه در سه سطح سلامت قرار گرفته‌اند. شش زیرآبخیز F22، F27، F30، F36، F37 و F10 با پوشش ۱۴/۶ درصد از مساحت آبخیز، در رده سلامت متوسط طبقه‌بندی شدند. سی و دو زیرآبخیز دیگر که ۷۸/۸ درصد از مساحت را شامل می‌شدند، در رده نسبتاً سالم قرار طبقه‌بندی شدند. تنها زیرآبخیز F19 با پوشش ۶/۶ درصدی، با درجه سلامت ۰/۸۳در رده سالم قرار گرفت.

تحلیل معیارهای مختلف نشان می‌دهد زیرآبخیزهای شرقی تا مرکزی که خالی از سکونتگاه‌های انسانی و فعالیت‌های انسانی هستند شرایط بهتری برخوردارند. در مقابل، زیرآبخیزهای مرکزی متمایل به جنوب، شمال غربی و آن‌هایی که دارای مناطق مسکونی هستند فشار بیشتری را بر آبخیز وارد کرده و در شرایط نامطلوبی به سر می‌برند. به طور مشخص، زیرآبخیز F37 با درجه فشار ۰/۴۳ به دلیل تراکم جمعیت بالا، گستردگی مناطق مسکونی و استعداد سیلخیزی، بیشترین سطح فشار را نشان داد. ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۷) نیز در آبخیزطالقان نشان دادند که مناطق با تراکم جمعیت بالا و فعالیت‌های کشاورزی، باعث کاهش کیفیت آب و سلامت آبخیز می‌شوند. در مقابل، زیرآبخیز F19 به دلیل دوری از نواحی مسکونی و قرارگیری در ارتفاعات کمتر مستعد سیلاب، بهترین وضعیت ناشی از فشار را دارد . تحلیل سهم اثر معیارها از طریق نسبت میانگین هر معیار به مجموع میانگین های معیارها در هر شاخص بدست آمد. که این امر نشان داد که تراکم جمعیت با ۱۲/۵ درصد بیشترین تأثیر منفی را بر شاخص فشار داشته است. پس از آن، مساحت مناطق مسکونی(۱۱/۹ درصد)، میزان دخالت‌های انسانی (۱۱/۷ درصد) و مساحت اراضی حساس به فرسایش (۱۱/۴ درصد) به‌ترتیب بیشترین سهم را در افزایش فشار داشته‌اند. در مقابل، مجموع طول آبراهه‌ها (۳/۳ درصد) و متوسط بارندگی سالانه (۶/۸ درصد) کمترین تأثیر را نشان دادند. متوسط شاخص فشار در کل آبخیز فخران ۰/۶۷ محاسبه شد که بیانگر وضعیت نسبتاً سالم است. یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعه Wang و همکاران (۲۰۱۵) در استان جیانگسو چین همخوانی دارد که نشان می‌دهد مناطق تحت فشار فعالیت‌های انسانی و توسعه اقتصادی با چالش‌های زیست‌محیطی مواجه هستند. اگرچه منطقه مورد مطالعه آنها از نظر منابع انرژی غنی بود، اما فشارهای زیست‌محیطی مانع دستیابی به توسعه پایدار می‌شد. نتایج مدل PSR در آن مطالعه نیز نشان داد که تنها ۲۵ درصد از منطقه در وضعیت مطلوب امنیت شهری قرار داشت و ۳۸ درصد در وضعیت متوسط و ۲۶ درصد در وضعیت نامطلوب بودند که اهمیت مدیریت یکپارچه فشارهای انسانی و زیست‌محیطی را نشان می‌دهد.

جدول ۲- نتیجه آزمون همبستگی معیارها در شاخص فشار

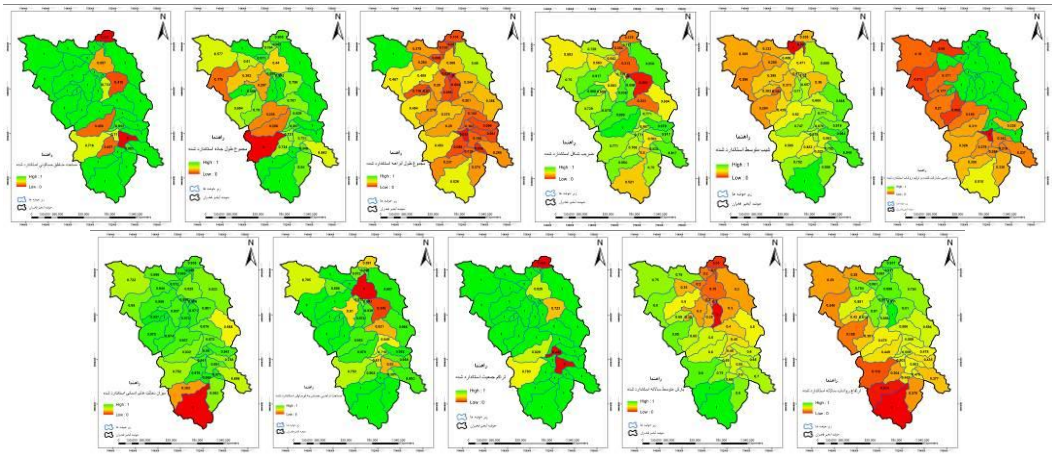
Table 2- Result of the correlation test of criteria in the pressure index

EVP_{annual}	$T_{amnualavr}$	P_{annual}	RA	IL	DL	HI	Pd	LR	ALSE	SLCRP	ShF	R_{annual}	S_{avr}	LW_t	Pressure
0.15	0.1	0.15	0.01	0	0.17	0.18	0.01	0.18	0	0.07	0	0.15	0	1	LW_t
0.1	0.09	0.12	0	0.01	0.28	0.28	0	0.04	0.01	0.01	0.1	0.12	1	0	S_{avr}
0.93	0.87	0.98	0.02	0.13	0.35	0.29	0.01	0.03	0.12	0.54	0.14	1	0.12	0.15	R_{annual}

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

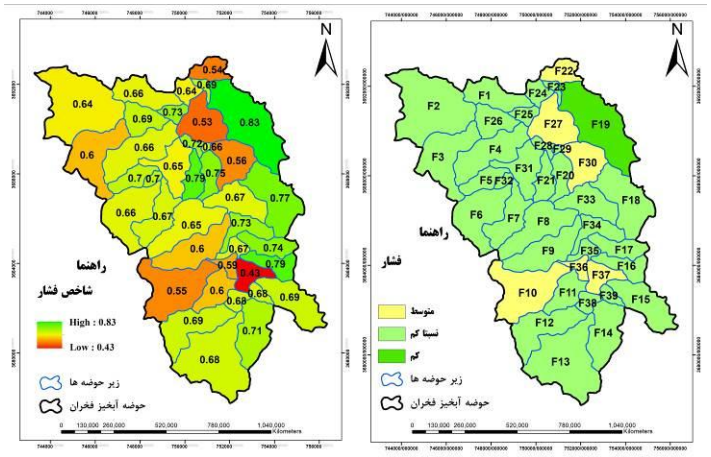
[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.4.1]

0.13	0.11	0.15	0.05	0.3	0.01	0	0.05	0.01	0.29	0.18	1	0.14	0.1	0	ShF
0.53	0.45	0.57	0	0.09	0.02	0.01	0	0.1	0.08	1	0.18	0.54	0.01	0.07	SLCRP
0.11	0.09	0.12	0.3	1	0.06	0.01	0.22	0.05	1	0.08	0.29	0.12	0.01	0	ALSE
0.02	0.06	0.04	0.04	0.05	0.01	0	0.01	1	0.05	0.1	0.01	0.03	0.04	0.18	LR
0.01	0	0.01	0.58	0.22	0.02	0	1	0.01	0.22	0	0.05	0.01	0	0.01	Pd
0.24	0.24	0.27	0.01	0.01	0.97	1	0	0	0.01	0.01	0	0.29	0.28	0.18	HI
0.29	0.28	0.33	0.03	0.06	1	0.97	0.02	0.01	0.06	0.02	0.01	0.35	0.28	0.17	DL
0.12	0.1	0.13	0.28	1	0.06	0.01	0.22	0.05	1	0.09	0.3	0.13	0.01	0	IL
0.04	0.01	0.02	1	0.28	0.03	0.01	0.58	0.04	0.3	0	0.05	0.02	0	0.01	RA
0.96	0.81	1	0.02	0.13	0.33	0.27	0.01	0.04	0.12	0.57	0.15	0.98	0.12	0.15	P_{annual}
0.77	1	0.81	0.01	0.1	0.28	0.24	0	0.06	0.09	0.45	0.11	0.87	0.09	0.1	$T_{annual,avr}$
1	0.77	0.96	0.04	0.12	0.29	0.24	0.01	0.02	0.11	0.53	0.13	0.93	0.1	0.15	EVP_{annual}



شکل ۴- تغییرات مکانی معیارهای مورد استفاده در شاخص فشار

Figure 4– Spatial variations of criteria used in the pressure index



شکل ۵- تغییرات مکانی شاخص فشار در زیرآبخیزهای مختلف

Figure 5– Spatial changes in pressure index in different watersheds

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

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.4.1]

شاخص حالت

در جدول ۳ همبستگی بین معیارهای مورد استفاده در شاخص حالت نشان ارائه شده است. همچنین تغییرات مکانی متغیرهای شاخص حالت و پراکنش این شاخص در زیرآبخیزهای مختلف به‌ترتیب در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در شاخص حالت، هیچ‌گونه همبستگی قابل‌ملاحظه‌ای بین معیارهای انتخابی وجود ندارد و بنابراین تمامی معیارها بدون حذف در مدل نهایی حفظ شدند. ارزیابی درجه سلامت در این شاخص نشان داد که زیرآبخیز F37 با پوشش ۱/۴ درصد از مساحت آبخیز، در رده نسبتاً ناسالم قرار گرفته است. در مقابل، ۳۵ زیرآبخیز (۹۴/۳ درصد از مساحت) در رده سلامت متوسط و سه زیرآبخیز (F24، F33 و F35) با پوشش ۴/۳ درصدی در رده نسبتاً سالم طبقه‌بندی شدند

بهترین وضعیت شاخص حالت مربوط به زیرآبخیز F24 در شمال آبخیز با درجه سلامت ۰/۶۵ بود که این امر ناشی از نسبت بالای اراضی آبی–باغی به دیم، عدم دخالت انسانی، فقدان سکونتگاه‌های انسانی و دوری از مناطق سیل‌خیز است. در نقطه مقابل، زیرآبخیز F37 با درجه سلامت ۰/۳۳ به دلیل وجود گسترده‌ترین مناطق مسکونی و تنوع کاربری‌های انسانی، بدترین وضعیت سلامت را نشان داد. از نظر سهم تأثیر معیارها، نسبت مناطق مسکونی به سطح آبخیز با ۱۹/۵ درصد بیشترین تأثیر منفی را بر سلامت شاخص حالت داشت. پس از آن، نسبت اراضی دیم به سطح آبخیز (۱۷/۲ درصد) و نسبت مساحت اراضی مشارکت‌کننده در تولید رواناب به سطح آبخیز (۱۵/۷ درصد) به‌ترتیب بیشترین سهم را در کاهش سلامت این شاخص نشان دادند. در مقابل، نسبت اراضی آبی–باغی به دیم (۱/۵ درصد) و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) (۵ درصد) کمترین تأثیر را بر سلامت شاخص حالت داشتند. میانگین سلامت این شاخص در کل آبخیز فخران ۰/۵۰ محاسبه شد که نشان‌دهنده وضعیت متوسط است. یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعهGhabelnezam و همکاران(۲۰۲۲) در آبخیز کوزه تپراقی و Tavosi و همکاران (2025) در آبخیز گرگانرود مطابقت دارد.

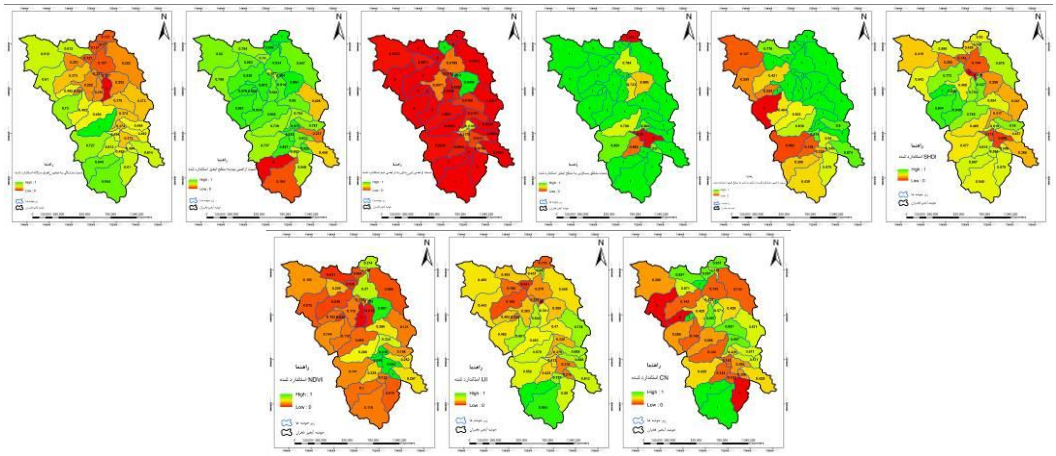
جدول ۳- نتیجه آزمون همبستگی معیارها در شاخص حالت

Table 3- Result of the correlation test of criteria in the state index

IJI	NDVI	CN	RAPAE	SHDI	RRAWA	RILDL	RDWA	RALPRWA	State
0.06	0.01	0.23	0.48	0.13	0	0.08	0.01	1	RALPRWA
0.39	0.04	0.07	0.25	0.03	0.06	0.08	1	0.01	RDWA
0.03	0.03	0.04	0.11	0.04	0	1	0.08	0.08	RILDL
0.07	0.34	0.02	0.01	0.12	1	0	0.06	0	RRAWA
0.08	0.18	0.01	0.04	1	0.12	0.04	0.03	0.13	SHDI
0.29	0	0.07	1	0.04	0.01	0.11	0.25	0.48	RAPAE
0	0.04	1	0.07	0.01	0.02	0.04	0.07	0.23	CN
0.06	1	0.04	0	0.18	0.34	0.03	0.04	0.01	NDVI
1	0.06	0	0.29	0.08	0.07	0.03	0.39	0.06	IJI

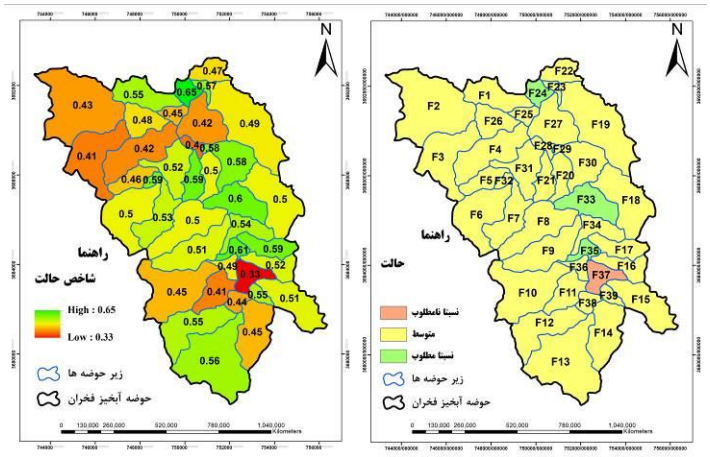
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.4.1]



شکل ۶- تغییرات مکانی معیارهای مورد استفاده در شاخص حالت

Figure 6– Spatial variations of the criteria used in the state index



شکل ۷- تغییرات مکانی شاخص حالت در زیرآبخیزهای مختلف

Figure 7– Spatial changes in the state index in different sub-watersheds

شاخص پاسخ

نتایج همبستگی متغیرهای شاخص پاسخ در جدول ۴ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در شاخص پاسخ معیارهای انتخابی از پایایی آماری مناسبی برخوردار بودند. با این حال، دو معیار میزان رسوب ویژه و میزان اراضی مرتعی به دلیل دارا بودن ضریب همبستگی بالاتر از ۰/۸ با یکدیگر، به منظور جلوگیری از همخطایی چندگانه از فرآیند مدل‌سازی حذف شدند. ارزیابی درجه سلامت شاخص پاسخ نشان داد که زیرآبخیزهای F37 و F28 با پوشش ۱/۹درصد از مساحت آبخیز، در رده نسبتاً ناسالم قرار گرفتند. سی و هفت زیرآبخیز دیگر که ۹۸/۱ درصد از مساحت را شامل می‌شدند، در رده سلامت متوسط طبقه‌بندی شدند. بهترین وضعیت سلامت در این شاخص مربوط به زیرآبخیز F33 با درجه سلامت ۰/۵۷ بود که این امر ناشی از دبی پیک کم، حجم رواناب پایین و عدم وجود سکونت‌گاه‌های انسانی است.

از نظر پراکنش فضایی، زیرآبخیزهای بحرانی در شاخص پاسخ عمدتاً شامل زیرآبخیزهای کوچک واقع در مرکز آبخیز، زیرآبخیزهای منتهی به خروجی و زیرآبخیزهای جنوب غربی بودند. به طور مشخص، زیرآبخیز F37 با درجه سلامت ۰/۳۲ به دلیل نرخ مهاجرت بالا، بحرانی‌ترین وضعیت سلامت را نشان داد. پس از آن، زیرآبخیزهای F28(۰/۳۷)، F29(۰/۴۰) و F36 (۰/۴۰) به‌ترتیب در رده‌های بعدی قرار گرفتند که این امر عمدتاً ناشی از فقدان عملیات مکانیکی و زیستی، کمبود منابع آبی، زمان تمرکز کم و مقدار SDR بالا بود. تحلیل سهم تأثیر معیارها نشان داد که مهاجرت خانوار با ۱۵/۸ درصد بیشترین تأثیر منفی را بر سلامت شاخص پاسخ داشت. پس از آن، شاخص تکه‌تکه‌شدگی (SPLIT) با ۱۲/۵ درصد و حجم رواناب با ۱۲/۴ درصد به‌ترتیب بیشترین سهم را در کاهش سلامت این شاخص نشان دادند. در مقابل، حجم منابع آبی (۲/۲ درصد) و تعداد منابع آبی (۲/۷ درصد) کم‌ترین تأثیر را بر سلامت شاخص پاسخ داشتند. میانگین سلامت این شاخص در کل آبخیز فخران ۰/۴۷ محاسبه شد که نشان‌دهنده وضعیت متوسط است. یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعه

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

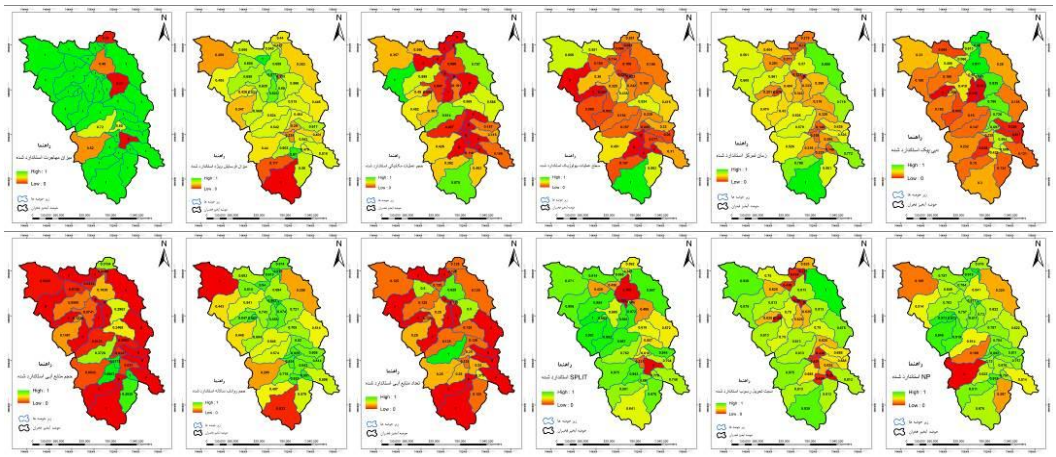
[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.4.1]

نتایج Sadeghi و همکاران (2025) در آبخیز بلده نور و Moharrami و همکاران(۲۰۲۶) در آبخیز حفاظت شده شیدا در استان چهارمحال و بختیاری مطابقت دارد.

جدول ۴- نتیجه آزمون همبستگی معیارها در شاخص پاسخ

Table 4- Result of the correlation test of criteria in the response index

SPLIT	NP	HM	PL	VMO	ABO	D_{peak}	VR	ER	SR	SDR	VWR	NWR	Tc	Response
0.053	0.303	0.005	0.493	0.486	0.3	0.2	0.71	0.09	0	0.72	0.05	0	**1**	Tc
0.088	0.148	0.21	0.005	0.109	0.03	0.08	0	0.01	0.01	0.01	0.18	**1**	0	NWR
0.003	0.024	0.011	0.021	0.071	0.03	0.01	0.03	0	0.01	0.02	**1**	0.18	0.05	VWR
0.056	0.402	0.014	0.615	0.39	0.29	0.17	0.64	0.02	0.03	**1**	0.02	0.01	0.72	SDR
0	0.026	0.001	0.003	0.007	0	0.03	0.02	0.88	**1**	0.03	0.01	0.01	0	SR
0.014	0.003	0	0.054	0.106	0.04	0	0.18	**1**	0.88	0.02	0	0.01	0.09	ER
0.081	0.434	0.002	0.811	0.528	0.41	0.11	**1**	0.18	0.02	0.64	0.03	0	0.71	VR
0.368	0.039	0.194	0.121	0.179	0.03	**1**	0.11	0	0.03	0.17	0.01	0.08	0.2	D_{peak}
0.025	0.157	0.004	0.239	0.177	**1**	0.03	0.41	0.04	0	0.29	0.03	0.03	0.3	ABO
0.182	0.092	0.075	0.49	**1**	0.18	0.18	0.53	0.11	0.01	0.39	0.07	0.11	0.49	VMO
0.173	0.466	0.003	**1**	0.49	0.24	0.12	0.81	0.05	0	0.62	0.02	0.01	0.49	PL
0.261	0.067	**1**	0.003	0.075	0	0.19	0	0	0	0.01	0.01	0.21	0.01	HM
0.002	**1**	0.067	0.466	0.092	0.16	0.04	0.43	0	0.03	0.4	0.02	0.15	0.3	NP
1	0.002	0.261	0.173	0.182	0.03	0.37	0.08	0.01	0	0.06	0	0.09	0.05	SPLIT

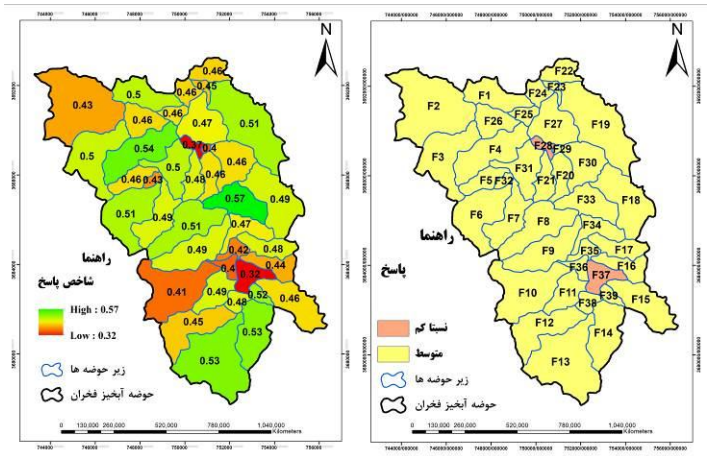


شکل ۸- تغییرات مکانی معیارهای مورد استفاده در شاخص پاسخ

Figure 8– Spatial variations of criteria used in the response index

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

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.4.1]



شکل ۹- تغییرات مکانی شاخص پاسخ در زیرآبخیزهای مختلف

Figure 9– Spatial variations of response index in different sub-watersheds

درجه سلامت حوزه آبخیز

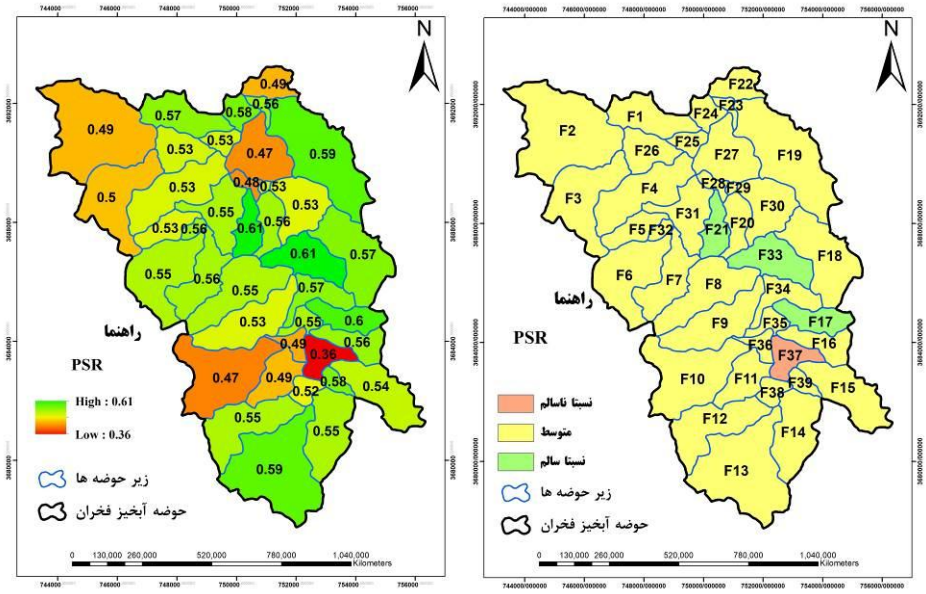
در شکل ۱۰ پراکنش مکانی شاخص سلامت در زیرآبخیزهای مختلف نشان داده شده است. ارزیابی نهایی سلامت کلی آبخیز فخران، نتایج نشان داد که زیرآبخیز F37 با پوشش ۱/۴ درصد از مساحت آبخیز، در رده نسبتاً ناسالم قرار گرفته است. در مقابل، ۳۵ زیرآبخیز (۹۲/۸ درصد از مساحت) در رده سلامت متوسط و سه زیرآبخیز (F33، F17 و F21) با پوشش ۵/۸ درصدی در رده نسبتاً سالم طبقه‌بندی شدند. بهترین وضعیت سلامت کلی مربوط به زیرآبخیز F33 با درجه سلامت ۰/۶۱ بود که این امر ناشی از زهکشی مناسب، دوری از اراضی سیل‌خیز، عدم وجود سکونت‌گاه‌های انسانی، و وجود قنات با آبدهی مناسب است. در نقطه مقابل، زیرآبخیز F37 با درجه سلامت ۰/۳۶ به دلیل تراکم جمعیت بالا (۲۹۷/۷ نفر در کیلومتر مربع)، نرخ مهاجرت زیاد (۲۵ خانوار)، و عملیات حفاظتی محدود، پایین‌ترین سطح سلامت را نشان داد.

از نظر پراکنش فضایی، زیرآبخیزهای مرکزی تا شمالی و شرقی تا جنوبی که فاقد سکونت‌گاه‌های انسانی بودند، از وضعیت مطلوب‌تری برخوردار بودند. در مقابل، زیرآبخیزهای شمال غربی و جنوبی که دارای جمعیت و مناطق مسکونی بودند، از شرایط نامناسبی رنج می‌بردند. تحلیل سهم تأثیر معیارها نشان داد که تراکم جمعیت با ۵/۲ درصد بیشترین تأثیر منفی را بر سلامت کلی آبخیزداشته است. پس از آن، مهاجرت خانوار (۵/۱ درصد) و نسبت مناطق مسکونی به سطح آبخیز (۵ درصد) به‌ترتیب بیشترین سهم را در کاهش سلامت کلی داشته‌اند. در مقابل، نسبت اراضی آبی–باغی به دیم (۰/۴ درصد) و تعداد منابع آبی (۰/۹ درصد) کمترین تأثیر را بر سلامت کلی نشان دادند. میانگین سلامت کلی آبخیز فخران ۰/۵۴ محاسبه شد که نشان‌دهنده وضعیت متوسط است.

در راستای یافته های پژوهش حاضر، Ebeahimi و همکاران (۲۰۲۳) بیان کردند که در آبخیز فورگ، مقدار زیرشاخص های فشار، وضعیت و پاسخ، به ترتیب، 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 به دست آمد. همچنین، در همین زمینه، Zhao و همکاران (۲۰۱۹)، Hazbavi و همکاران (۲۰۲۰) و Duan و همکاران (۲۰۲۲) نیز به تغییرات مکانی شاخص سلامت آبخیز و زیرشاخص‌های آن اشاره نموده‌اند.

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

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.4.1]



شکل ۱۰- تغییرات مکانی شاخص سلامت در زیرآبخیزهای مختلف

Figure 10– Spatial changes in health indicators in different sub-watersheds

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با بهره‌گیری از معیارهای مختلف اقلیمی، انسانی و هیدولوژی به ارزیابی سلامت در زیرآبخیزهای ممختلف آبخیز فخران پرداخته است. همان‌طور که نتایج پژوهش نشان داد سلامت متوسط آبخیز فخران تحت تأثیر عوامل مختلف از جمله خشکسالی، گسترش مناطق مسکونی و سیل‌خیزی اراضی نشان دهنده وضعیت شکننده آن در برابر عوامل انسانی و محیطی است. براین اساس وضعیت آبخیز فخران با اقلیم خشک و نیمه خشک به‌عنوان پیش نیاز آینده پایدار و نیز امنیت انسانی باید بیشتر شناخته شده و اقدامات پیشگیرانه از تخریب و عملیات‌های اصلاحی از جمله احداث سازه‌های کنترل سیلاب، دیواره‌های حفاظتی و احیاء پوشش گیاهی و همچنین گسترش فرهنگ عمومی حفاظت از سلامت منابع طبیعی در آبخیز جهت استفاده صحیح از آن‌ها توسط آبخیزنشینان مورد توجه قرار گیرد. لذا پیشنهاد می‌شود مدیران و برنامه‌ریزان محلی و منطقه‌ای با نگاه کامل به وضعیت سلامت آبخیز فخران و همچنین میزان و نوع عوامل اثرگذار بر آن برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و توسعه‌ای را جانمایی نمایند و نگاهی بند مدت در حفظ زیرآبخیزهای سالم و ارتقاء سایر زیرآبخیزها داشته باشند.

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: پژوهش حاضر تحت حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه بیرجند و در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشجو حجت صحراگرد انجام شده است.

مشارکت نویسندگان: **صحراگرد، ح.:** روش‌شناسی، نرم‌افزار، نگارش – تهیه پیش‌نویس اصلی؛ **معماریان، ه.:** مفهوم‌سازی، راهنمایی؛ **جزگی، ج.:** روش‌شناسی؛ **تاجبخش فخرآبادی، س.م.:** روش‌شناسی؛ **چمنی، ر.:** منابع، نرم‌افزار، ویرایش مقاله.

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 این مقاله، از تمامی افراد و سازمان‌هایی که در انجام پژوهش نقش داشته‌اند، تشکر و قدردانی می‌کنند.

References

Biecek, P., & Burzykowski, T. (2021). Explanatory Model Analysis: Explore, Explain, and Examine Predictive Models. Chapman and Hall/CRC. https://api.taylorfrancis.com/content/books/mono/download?identifierName=doi&identifierValue=10.1201/9780429027192&type=googlepdf

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

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.4.1]

Chamani, R., Sadeghi, S. H., Zare, S., Shekohideh, H., Mumzaei, A., Amini, H., Hemmati, L., & Zarei, R. (2024). Flood-oriented watershed health and ecological security conceptual modeling using pressure, state, and response (PSR) approach for the Sharghonj Watershed, South Khorasan Province, *Iran. Natural Resource Modeling*, 37(1), e12385. **doi:**10.1111/nrm.12385

Chamani, R., Vafakhah, M., Akbari Emamzadeh, F., Zabihi Silabi, M., & Tavosi, M. (2025). The reliability, resilience, and vulnerability of Talar Watershed in Iran: an assessment using remote sensing data. *Theoretical and Applied Climatology*, 156(7), 406. **doi:** 10.1007/s00704-025-05646-1.

Dormann, C. F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., & Lautenbach, S. (2013). Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, 36(1), 27-46. **doi:**10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x

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. **doi:**10.1016/j.scitotenv.2022.157523

Ebrahimi, P., Salajeghe, A., Mohseni saravi, M., Malekian, A., Sadoddin, A. (2016). Predicting watershed health based on surface water quality variables (Case study: Taleghan watershed). *Geography and Environmental Sustainability*, 8(26): 1-13. **dor:**20.1001.1.23223197.1397.8.1.1.3 [In Persian]

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]

Ghabelnezam, E., Babaei, L., Alaei, N., & Hazbavi, Z. (2022). Development of an incorporative PSRFuzzy 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]

Hazbavi, Z., Parchami, N., Alaei, N., & Babaei, L. (2020). Assessment and analysis of the KoozehTopraghi watershed health status, Ardabil Province, Iran. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 9(3), 12-142 .[In Persian]. http://wsrcj.srbiau.ac.ir/article_15890_eaf7084f7e77e67e443d243a9f67153c.pdf

Moharrami, F., Khalilimoghadam, B., & Hazbavi, Z. (2026). 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). *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 13 (4), 1[In Persian]. **dor:**20.1001.1.24235970.1404.13.4.2.8

Nezhadrahim, A., Golkarian, A., & Zarrin, A. (2024). Investigating the effect of climate change in watershed health trend via the Pressure-State-Response framework Case study: Radkan watershed of Razavi Khorasan province. *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 2024; 12(1), 20-46 [In Persian]. **dor:**20.1001.1.24235970.1403.12.1.2.5

Oppolobo, E. O., Adeofun, C. O., & Alaga, A. T. (2019). A review of integrated remote sensing and GIS for watershed management in Nigeria. Applied Geomatics, 11(4), 331-346.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (1993). Core set of indicators for environmental performance reviews. OECD Publishing.

Rostami Kalaj, M., Noor, H., & Bagherian Kalat, A. (2026). Evaluating watershed response to meteorological drought in the propagation process to hydrological drought at the event scale. *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 13 (4), 41-56 [In Persian]. **dor:** 20.1001.1.24235970.1404.13.4.4.0

Sadeghi, S.H.R., Chamani, R., Silabi, M. Z., Tavosi, M., Katebikord, A., Darvishan, A. K., & Rekabdarkolaei, H. M. (2023a). Watershed health and ecological security zoning throughout Iran. *Science of the Total Environment*, 905, 167123. **doi:**10.1016/j.scitotenv.2023.167123

Sadeghi, S.H.R., Ghabelnezam, E., Baghban, F. A., Zabihi, M., & Silabi, R. C. (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

Sadeghi, S. H., Ghabelnezam, E., Baghban, F. A., Zabihi, M., & Silabi, R. C. (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]

Sadeghi, S.H.R., Hasanpour, F., Payfeshoordeh, A., Tavakoli, F., Esmail Zadeh, F., Abdulbaghi, F., & Chamani, R. (2024). Position of the Fakhran watershed in Iran's South Khorasan Province in the watershed management ladder. *Integrated Watershed Management*, 4(2), 1-19. [In Persian]. **doi:**10.22034/iwm.2024.2019702.1122

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

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.4.1]

Sadeghi, S.H.R., Zabihi Silabi, M., Sarvi Sadrabad, H., Riahi, M., & Modarresi Tabatabaei, S. (2023b). Watershed health and ecological security modeling using anthropogenic, hydrologic, and climatic factors. *Natural Resource Modeling*, 36, e12371. **doi:**10.1111/nrm.12371

Tavosi, M., Vafakhah, M., Sadeghi, S. H., Shekohideh, H., & Moosavi, V. (2025). Comparative assessment of Watershed Hydrological Health (WHH) using multi-criteria decision-making approach based on PSR framework. *Journal of Environmental Management*, 373, 123833. **doi:**10.1016/j.jenvman.2024.123833 [In Persian]

Wang Y., Ding Q., Zhuang D., 2015. An Eco-City Evaluation Method based on Spatial Analysis Technology: A Case Study of Jiangsu Province, China. *Ecological Indicators*, 58: 37-46. **doi:**10.1016/j.ecolind.2015.05.032

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. **doi:**10.1016/j.ecolind.2018.12.023

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

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.4.1]