Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

CC BY

Research Article
Vol. 36, No. 5, Dec.-Jan., 2022, p. 561-577

Evaluation and Variability of Flood-Oriented Health of Shiraz Darwazeh Quran Watershed from Watershed Management Structures

S.H.R. Sadeghi[1*], M. Tavosi[2], S. Zare[3], V. Beiranvandi[4], H. Shekohideh[5], F. Akbari Imamzadeh[6], M. Bahlekeh[7], F. Khurshid Sokhangouy[8], R. Chamani[9]

Received: 11-08-2022
Revised: 30-09-2022
Accepted: 11-10-2022
Available Online: 15-01-2023

How to cite this article:
Sadeghi, S.H.R., Tavosi, M., Zare, S., Beiranvandi, V., Shekohideh H., Akbari Imamzadeh, F., Bahlekeh, M., Khurshid Sokhangouy, F., Chamani, R. (2022). Evaluation and Variability of Flood-Oriented Health of Shiraz Darwazeh Quran Watershed from Watershed Management Structures. *Journal of Water and Soil 36*(5): 561-577. (In Persian with English abstract)
DOI: 10.22067/JSW.2022.78150.1190

Introduction

Currently, many disasters threaten the health of ecosystems. The pressures caused by extensive human interventions and the unprincipled exploitation of natural resources have led to the degradation of natural resources and the structure and functioning of ecosystems. Hence, evaluating the consequences of human intervention in nature and meeting the growing need of humans to receive diverse services has made it necessary to evaluate the performance of watershed ecosystems in providing different services. Healthy watersheds play an important role in providing a wide variety of ecosystem services. Therefore, watershed health monitoring and evaluation is vital for the conservation of ecosystems and achieving the optimal level of services. In such a way a suitable collaborative and executive approach is established between research and watershed management. In this connection, watershed health analysis can provide valuable help in achieving the goals of integrated management of watersheds and, of course, the balance between the needs of human societies and ecosystems. However, the assessment of the health and sustainability of the watershed affected by human activities has not been sufficiently documented yet.

Materials and Methods

The current pilot research has evaluated the health of the Shiraz Darwazeh Quran Watershed in Fars Province, Iran, and the effect of existing watershed management structures in the region on the health of the watershed with a focus on floods. For this purpose, 36 key criteria from a set of climatic, anthropogenic, and hydrologic factors were identified based on the conditions of the region and the analysis of the flood occurrence process in the watershed. The selected criteria were then categorized into the three indices of pressure (P), state (S), and response (R). After screening the selected criteria in exploring the conceptual approach of pressure, state, and response (PSR), the health status was evaluated in two cases with and without watershed management structures.

Results and Discussion

The results showed that the health condition without considering the watershed management structures was at average conditions with health index of 0.55. In addition, the results of the watershed health assessment verified the non-significant effects of stone and mortar structures on improving watershed health. So that, the health conditions was remained at average status with health index of 0.53. Therefore, it can be acknowledged that the existing watershed management structures, due to the limited both number and spatial coverage, have not been

1- Professor Department of Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University
(*- Corresponding Author Email: sadeghi@modares.ac.ir)
2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 and 9- Ph.D. Students of Watershed Science and Engineering, Tarbiat Modares University

able to noticeably affect the improvement of the general conditions of the watershed, despite the effect on the factors affecting the health of the sub-watersheds where the structures have been constructed. The spatial changes of the calculated variables showed that the abandoned lands, time of concentration, area under military activities, surface of sensitive formations to erosion, high density of the drainage network, density of the roads, areas of regions with high potential in producing runoff and sediment, and size of the residential areas were the most important factors affecting the health situation of the Darwazeh Quran Watershed.

Conclusion

According to the results of the analysis of the indicators and criteria considered in evaluation of the health of the Shiraz Darwazeh Quran Watershed based on the PSR approach, it was found that the watershed had an average health status. Therefore, it can be acknowledged that the existing watershed management structures have not been able to impose a noticeable effect on the prosperity and improvement of watershed health conditions. In general, it can be said that abandoned lands, short concentration time, military activities, the presence of formations sensitive to erosion, high density of drainage network and road, and the potential of high runoff and sediment production, and the size of residential areas are among the most important factors affecting the declining the health of Darwazeh Quran Watershed. Therefore, it is necessary to pay further attention to the aforesaid factors by conducting periodical monitoring with more comprehensive data, in time and also analyzing the trend of relative changes of the indicators in order to explain the adaptive and intelligent management of the watershed. The necessary measures should also be taken into account simultaneously. Therefore, it is suggested to turn the weak points of the region into strong points by applying bioengineering measures and use the opportunities in the region such as the potential of tourism and ecological features in order to improve the health status of the watershed.

Keywords: Fars province, Health degree, Watershed adaptive management, Watershed health criteria, Watershed sustainability

Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۶، شماره ۵، آذر-دی ۱۴۰۱، ص. ۵۷۷-۵۶۱

ارزیابی و تغییرپذیری سیل‌محورِ سلامتِ حوزه آبخیز دروازه قرآن شیراز از سازه‌های آبخیزداری

سیدحمیدرضا صادقی[۱*]- محمد طاوسی[۲]- سمیه زارع[۳]- وحید بیرانوندی[۴]- هنگامه شکوهیده[۵]- فاطمه اکبری امام‌زاده[۶]- مرجان بهلکه[۷]- فائزه خورشید سخن‌گوی[۸]- رضا چمنی[۹]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۹

چکیده

در حال حاضر خطرات زیادی سلامت بوم‌سازگان را تهدید می‌کند. تنش‌های ایجادشده ناشی از دخالت‌های گسترده انسان و بهره‌برداری غیراصولی از منابع طبیعی، منجر به تخریب منابع طبیعی و ساختار و عملکرد بوم‌سازگان شده است. از این‌رو، ارزیابی پیامدهای ناشی از دخالت انسان در طبیعت و تأمین نیاز روزافزون انسان به دریافت خدمات متنوع، بیش‌ازپیش ارزیابی عملکرد آبخیزها را ضروری ساخته است. حوزه‌های آبخیز سالم نقش مهمی در ارائه انواع گسترده‌ای از خدمات بوم‌سازگان دارند. بنابراین پایش و ارزیابی سلامت حوزه آبخیز برای حفاظت بوم‌سازگان‌ها و دستیابی به سطح بهینه از خدمات است. به‌نحوی‌که به‌عنوان یک رویکرد ترکیبی و اجرایی مناسب بین پژوهش و مدیریت حوزه آبخیز محسوب می‌شود. در همین ارتباط تحلیل سلامت حوزه آبخیز می‌تواند کمک شایانی در راستای رسیدن به اهداف مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز و همچنین تعادل بین نیازمندی‌های جوامع انسانی و شرایط بوم‌شناختی ارائه نماید. حال آن‌که ارزیابی سلامت و پایداری حوزه آبخیز و متأثر از فعالیت‌های انسانی به حد کفایت موردتوجه قرار نگرفته است. ازاین‌رو پژوهش الگویی حاضر به ارزیابی سلامت حوزه آبخیز دروازه قرآن شیراز و اثر سازه‌های آبخیزداری موجود در منطقه، بر سلامت آبخیز با محوریت سیلاب پرداخته است. برای این منظور بر اساس شرایط منطقه و تحلیل فرآیند وقوع سیل در منطقه، ۳۶ معیار کلیدی از مجموعه عوامل اقلیمی، انسانی و هیدرولوژی در قالب شاخص‌های فشار (P)، حالت (S) و پاسخ (R) شناسایی شد. پس از غربال معیارهای منتخب در کنکاش رویکرد مفهومی فشار، حالت و پاسخ (PSR)، در دو حالت با و بدون وجود سازه‌های آبخیزداری سلامت ارزیابی شد. نتایج نشان داد که شاخص سلامت حوزه آبخیز موردمطالعه بدون در نظر گرفتن سازه‌های آبخیزداری برابر ۰/۵۵ و شرایط متوسط بوده است. همچنین نتایج ارزیابی سلامت آبخیز با لحاظ سازه‌های اصلاحی سنگی‌سیمانی نیز مؤید عدم تأثیر معنی‌دار بر سلامت کل آبخیز بوده به‌نحوی‌که شاخص سلامت با مقدار ۰/۵۳ همچنان در وضعیت متوسط قرار داشته است. بنابراین می‌توان اذعان داشت که سازه‌های آبخیزداری موجود به سبب محدودیت تعداد و پوشش مکانی محدود علی‌رغم تأثیر بر عوامل مؤثر بر سلامت زیرآبخیزهای موردنظر، نتوانسته است بر بهبود شرایط کلی آبخیز تأثیر محسوسی داشته باشد. تغییرات مکانی متغیرهای محاسبه‌شده نشان داد که اراضی رهاشده، زمان تمرکز، گستره تحت فعالیت‌های نظامی، سطح سازندهای حساس به فرسایش، تراکم بالای شبکه زه‌کشی، تراکم جاده، پتانسیل تولید رواناب و رسوب بالا و وسعت مناطق مسکونی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر وضعیت سلامت آبخیز دروازه قرآن محسوب می‌شوند. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در تبیین ارزیابی سلامت حوزه آبخیز دروازه قرآن و تصمیم‌گیری در خصوص اتخاذ بهترین اقدامات مدیریتی و پیش‌بینی برنامه‌های اجرایی آینده منطقه مورداستفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: استان فارس، پایداری آبخیز، درجه سلامت، مدیریت سازگار آبخیز، معیار سلامت آبخیز

۱- استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

(*- نویسنده مسئول: Email: Sadeghi@modares.ac.ir)

۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹- دانشجویان دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس

DOI: 10.22067/JSW.2022.78150.1190

مقدمه

امروزه خطرات بسیاری سلامت بوم‌سازگان را تهدید می‌کند. فشارهای وارده در اثر فعالیت‌های گسترده انسان و بهره‌برداری غیراصولی از منابع طبیعی، تخریب منابع را به دنبال داشته و ساختار و عملکرد بوم‌سازگان را تغییر داده است (Sadeghi and Hazbavi, 2016; Sadoddin *et al.*, 2016). حوزه‌های آبخیز سالم نقش مهمی در ارائه طیف وسیعی از خدمات بوم‌سازگان، مانند چرخه مواد مغذی، تصفیه آب، زیستگاه، کنترل فرسایش و رسوب، کنترل سیل و اقلیم دارند (Hazbavi *et al.*, 2018). بنابراین ارزیابی و پایش سلامت حوزه آبخیز گامی مهم و بنیادی برای حفاظت بهینه بوم‌سازگان‌ها محسوب می‌شود و به‌عنوان یک رویکرد تلفیقی مناسب بین پژوهش و مدیریت حوزه آبخیز در نظر گرفته می‌شود (Hazbavi and Sadeghi, 2016b). با انجام ارزیابی و پایش سلامت علاوه بر اطلاع از هشدارهای اولیه تخریب محیط‌زیست، علت مشکلات موجود نیز شناسایی می‌شود (Hazbavi *et al.*, 2017). مفهوم سلامت بوم‌سازگان به‌عنوان مبنای ثبات و پایداری در تداوم حفظ شرایط تعادلی و ارائه خدمات در حد بهینه توانایی آن موردنظر مدیران آبخیز قرار گرفته است. به طور کلی سلامت بوم‌سازگان و روش‌های ارزیابی آن در محیط‌ها و فرایندهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. به‌نحوی‌که هم اکنون ارزیابی سلامت بوم‌سازگان به یکی از اولویت‌های اساسی پژوهش‌گران و مدیران تبدیل شده است (Sadeghi *et al.*, 2019).

در دهه اخیر رویکردهای مختلفی برای ارزیابی سلامت آبخیز مورداستفاده قرارگرفته است. یکی از این رویکردها استفاده از رویکرد شاخص‌محور و مفهومی فشار، حالت و پاسخ[1] (PSR) است. رویکرد PSR با سامان‌دهی معیارها در قالب شاخص‌های جامع فشار، حالت و پاسخ توانسته است سلامت بوم‌سازگان را با درنظرگرفتن تمامی شرایط سامانه تعیین کند (Hazbavi *et al.*, 2018). در همین راستا یانگ و همکاران (Yang *et al.*, 2015) اثر عملیات اصلاحی و احیا را بر سلامت بوم‌سازگان تالاب Yellow River Delta واقع در چین با تحلیل رویکرد PSR بررسی نمودند. نتایج نشان‌دهنده ناسالم بودن تالاب با مقدار شاخص جامع ارزیابی سلامت برابر با ۰/۵۹ بوده است. آن و کیم (Ahn and Kim, 2017) در پژوهشی به ارزیابی سلامت آبخیز برای ارزیابی حفاظت و تعیین اولویت‌ها در رودخانه Han در کره جنوبی پرداختند. نتایج نشان داد که سلامت زیرآبخیزها طی دوره ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ کاهش یافته است. مالیا و همکاران (Mallya *et al.*, 2018) به ارزیابی اقدامات چندمنظوره از سلامت آبخیز از منظر کیفیت آب پرداختند. نتایج نشان داد که مقادیر سلامت آبخیز ازلحاظ غلظت رسوب معلق و نیتروژن در آبخیز رودخانه می‌سی‌سی‌پی فوقانی افزایش یافته است. رانی و همکاران (Rani *et al.*, 2019) به بررسی سلامت و پویایی بوم‌سازگان بر اساس شاخص تغییرات جهانی اقلیم پرداختند. آن‌ها بیان کردند که تغییرات غیرطبیعی در الگوی اقلیم می‌تواند سلامت بوم‌سازگان از طریق از بین رفتن گونه‌ها، انقراض گونه‌ها، مهاجرت گونه‌ها و تغییر در الگوی رفتاری را تغییر دهد. آن و همکاران (Ahn *et al.*, 2019) ارزیابی سلامت، آسیب‌پذیری و پتانسیل احیا آبخیز برای تعیین اولویت‌های حفاظت برای آبخیز رودخانه Han در کره جنوبی را موردبررسی قراردادند. درنهایت ۶۷ آبخیز از ۲۳۷ آبخیز موردمطالعه دارای اولویت‌های احیا با پتانسیل‌های بالا تشخیص داده شدند. ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2020) به ارزیابی وضعیت سلامت چرخه آب بر اساس مدل ابری[2] در ۱۳ شهر از محدوده Beijing-Tianjin-Hebei در چین پرداختند. بر اساس داده‌های آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴، میانگین توزیع درجه سلامت چرخه آب در محدوده موردمطالعه در طبقه‌های ناسالم، نسبتاً ناسالم، متوسط، نسبتاً سالم و سالم به ترتیب برابر با ۲۸، ۱۶، ۳۴، ۱۳ و ۹ درصد بود. هم‌چنین نتایج نشان داد که محدوده مورد بررسی به‌طورکلی در وضعیتی ناسالم قرار داشته که در آن ویژگی کمّیت آب بدترین وضعیت و ویژگی استفاده از آب بهترین وضعیت را به خود اختصاص داده‌اند. اخیراً لیو و همکاران (Liu *et al.*, 2022) در Tianjin چین، به مطالعه جامع منطقه منبع الگوهای امنیت بوم‌شناسی[3] از جنبه‌های عملکردی و چشم‌انداز پرداختند. ابتدا از رویکرد فشار–حالت–پاسخ برای ارزیابی کیفیت محیط زیست تحت تأثیر عوامل اجتماعی–اقتصادی–طبیعی استفاده شد. در مرحله دوم، ساختار بوم شناسی با ترکیب تحلیل الگوی فضایی ریخت شناسی و شاخص اتصال منظر ارزیابی شد. نتایج نشان داد که مساحت کل منابع بوم‌شناسی شناسایی‌شده توسط رویکرد PSR در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ به ترتیب ۱۸/۸۸، ۱۶/۰۸ و ۱۵/۲۸ درصد از کل منطقه را تشکیل می‌دهد. درنهایت بررسی‌ها نشان داد که رویکرد PSR بر اساس معیارهای فشار، حالت و پاسخ می‌تواند به‌عنوان ابزار مدیریتی مطمئنی برای شناسایی و دسته‌بندی مشکلات و مسائل حوزه‌های آبخیز استفاده شود. حزباوی و صادقی (Hazbavi and Sadeghi, 2016a) طی یک مطالعه مروری سلامت آبخیز، استفاده از مدل PSR را به‌عنوان ابزار مدیریتی مطمئن و مناسب برای بررسی مسائل حاکم بر حوزه‌های آبخیز کشور توصیه نمودند. همچنین حزباوی و همکاران (Hazbavi *et al.*, 2018) کاربرد رویکرد

1- Pressure-State-Response

2- Cloud Model

3- Ecologic Security

مفهومی سلامت آبخیز مبتنی بر شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ در حوزه آبخیز شازند واقع در استان مرکزی در چهار سال ۱۳۶۵، ۱۳۷۷، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۳ را مورد ارزیابی قراردادند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، وضعیت آبخیز شازند بر اساس رویکرد PSR نسبتاً ناسالم ارزیابی شد و توزیع زمانی آن در سال‌های مختلف یکسان نبوده است. سعدالدین و همکاران (Sadoddin *et al.*, 2017) یک چارچوب عملیاتی برای ارزیابی جامع وضعیت سلامت و پایداری آبخیزهای کشور معرفی نمودند. بدین ترتیب امکان مقایسه آبخیزها و تعیین اولویت آن‌ها در راستای طرح‌ریزی اقدامات مدیریتی به منظور بهبود وضعیت سلامت و پایداری آبخیزها ارزیابی شد. مؤمنیان و همکاران (Momenian *et al.*, 2018) به ارزیابی و اولویت‌بندی زیرآبخیزهای قطورچای بر اساس درجه سلامت آبخیز واقع در شهرستان خوی در استان آذربایجان غربی پرداختند. نتایج اولویت‌بندی شاخص‌ها نشان داد که وضعیت سلامت تمامی زیرآبخیزها متوسط بوده است. صادقی و همکاران (Sadeghi *et al.*, 2019) به بررسی اثرات متقابل فعالیت‌های اقلیمی، هیدرولوژیکی و انسانی بر سلامت حوزه آبخیز شازند در استان مرکزی پرداختند. هیچ یک از زیرآبخیزها در سال‌های موردمطالعه به صورت سالم ارزیابی نشد. به‌نحوی‌که وضعیت سلامت آبخیز در دوره‌های ۱۹۸۶-۱۹۹۸ و ۱۹۸۶-۲۰۰۸ به دلیل تأثیر صنعتی‌شدن و توسعه شهری حدود ۴ درصد کاهش داشته‌است. درحالی‌که وضعیت سلامت در سایر دوره‌های مطالعاتی از بهبود معنی‌داری برخوردار نبوده‌است. حزباوی و همکاران (Hazbavi *et al.*, 2020) ارزیابی سلامت آبخیز کوزه‌تپراقی در استان اردبیل در ۳۶ زیر آبخیز با استفاده از تحلیل ۲۷ معیار با رویکرد مفهومی PSR را انجام دادند. درجه‌های مختلف سلامت آبخیز در پنج طبقه سالم، نسبتاً سالم، متوسط، نسبتاً ناسالم و ناسالم طبقه‌بندی شدند. بر اساس نتایج مشخص شد که ازنظر کلی آبخیز دارای وضعیت متوسط ازلحاظ سلامت بوده است. هم‌چنین، حزباوی و همکاران (Hazbavi *et al.*, 2020) بر اساس یک مطالعه مروری و نیز مطالعه موردی در حوزه آبخیز شازند واقع در استان مرکزی، استفاده از مدل مفهومی PSR درزمینه ارزیابی سلامت آبخیزهای ایران به‌عنوان رویکردی مناسب و قابل توسعه را پیشنهاد دادند. زیرا این مدل می‌تواند سلامت آبخیز را بر اساس مهم‌ترین شاخص‌های بوم‌شناختی ارزیابی کند و نتایج آن توسط مدیران، برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران حوزه منابع طبیعی به‌عنوان ابزار مدیریتی مطمئن و مناسب برای بررسی مسائل حاکم بر آبخیزهای کشور قابل درک است. ابراهیمی‌گت‌کش و صادقی (Ebrahimi Gatkash and Sadeghi, 2022) در حوزه آبخیز میخ‌ساز در غرب مازندران مبادرت به شناخت مشکلات آبخیز با استفاده از مدل مفهومی PSR و تعیین راهبرد مطلوب برای مدیریت مشکل با استفاده از تحلیل SWOT کردند. سپس راهبردهای مناسب مدیریت سازگار آبخیز مذکور با توجه به مشکلات شناسایی‌شده و تحلیل SWOT ارائه شد. اخیراً نیز در همین ارتباط صادقی و همکاران (Sadeghi *et al.*, 2022)، سلامت حوزه آبخیز پیشکوه در استان یزد با استفاده از چارچوب PSR را ارزیابی و پهنه‌بندی آبخیز مذکور با توجه به میزان زیاد دخالت‌های انسانی را ارائه کردند.

بررسی پیشینه پژوهشی مرتبط با ارزیابی سلامت آبخیز دلالت بر توانمندی رویکرد علت-معلولی PSR در مقوله‌های مختلف داشته است. حال آن‌که کاربرد رویکرد مذکور در تحلیل و ارزیابی سیل‌محور[1] در آبخیزهای حساس و پرچالش موردتوجه قرار نگرفته است. بنابراین پژوهش حاضر باهدف کاربست رویکرد مفهومی PSR در ارزیابی سلامت حوزه آبخیز دروازه قرآن شیراز و مبتنی بر مشکل اصلی وقوع سیل در فروردین ۱۳۹۸ و تحلیل اثر نسبی سازه‌های آبخیزداری احداث‌شده در این حوزه آبخیز بر تغییر سلامت آبخیز انجام شد. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در ارزیابی سلامت حوزه آبخیز دروازه قرآن و تصمیم‌گیری در خصوص تبیین شیوه‌نامه بهترین اقدامات مدیریتی[2] در آبخیز مذکور و سایر مناطق مشابه مورداستفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

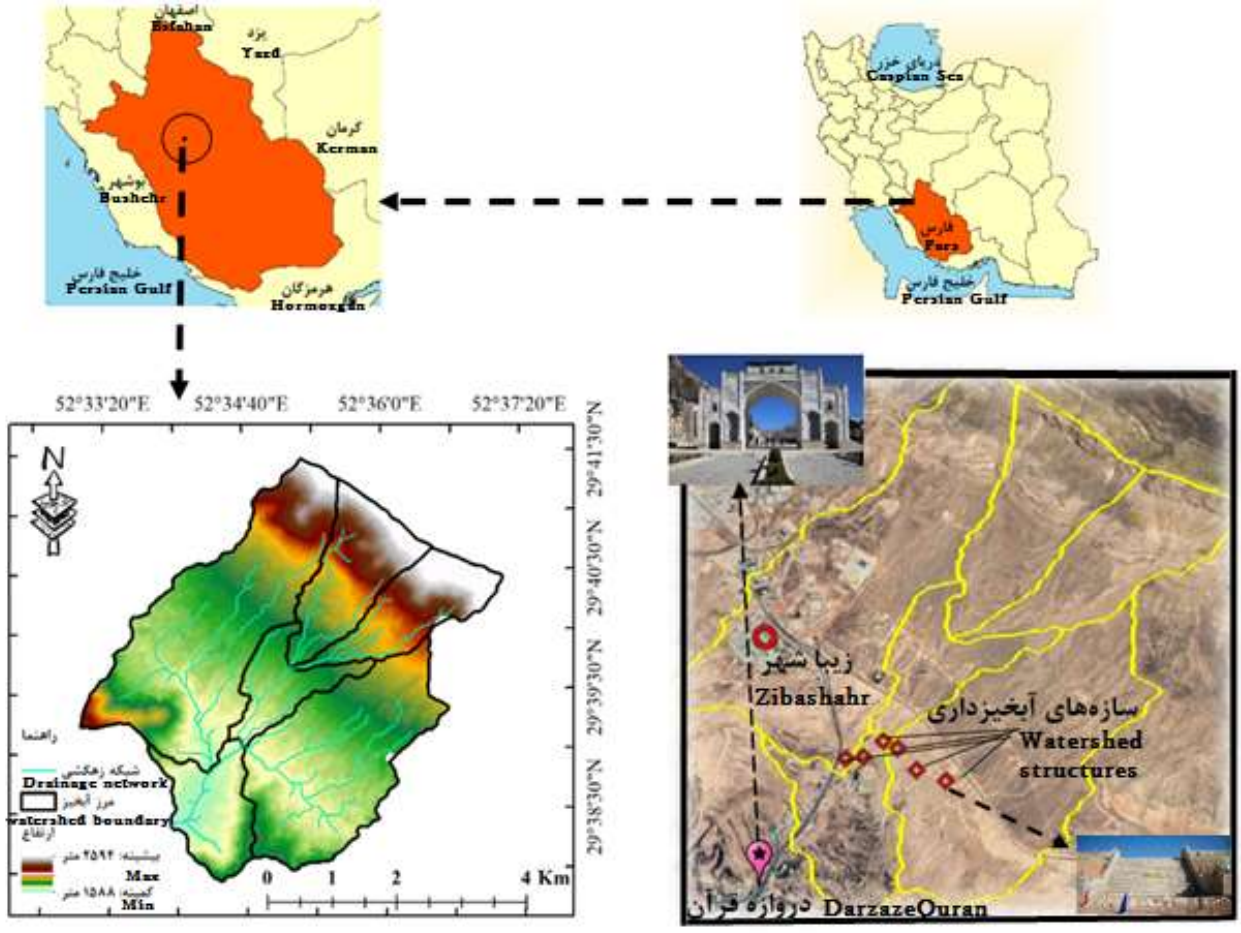
منطقه موردمطالعه

حوزه آبخیز دروازه قرآن (تنگ الله‌اکبر) از توابع استان فارس، در بخش مرکزی شهرستان شیراز قرار دارد. آبخیز مذکور با مساحت ۲۷۰۸/۸ هکتار در شمال شهرستان و مشرف بر شهر شیراز واقع‌شده است. این محدوده از شمال به پارک ملی بمو، از جنوب به شهر شیراز، از شرق به دره انجیری و کوه خرفتخانه و از غرب به شهرک زیباشهر (اکبرآباد) منتهی می‌شود. راه‌های اصلی دسترسی به محدوده از طریق محورهای شیراز-مرودشت و شیراز-خرامه است. بیش‌ترین ارتفاع در محدوده موردمطالعه ۲۶۳۲ متر و کم‌ترین ارتفاع ۱۵۹۹ متر از سطح دریاست. حوزه آبخیز دروازه قرآن دارای مناطق مسکونی در حاشیه رودخانه و شهری، محدوده‌های نظامی و پادگان‌ها، بزرگراه و اراضی تخریب‌شده در حاشیه جاده، اراضی زراعی و مراتع است. نمایی عمومی از آبخیز مذکور در شکل ۱ نشان داده‌شده است. آبخیز مذکور به سبب بروز سیل در بهار ۱۳۹۸ و خسارات جانی و مالی جدی ایجاد کرده موردتوجه بسیاری از مجامع علمی و اجرایی قرارگرفته و ضرورت انجام بررسی‌های گسترده در ابعاد مختلف را به‌خوبی توجیه می‌نماید. در همین راستا پس از وقوع سیلاب در سال ۱۳۹۸ شش سازه سنگی‌سیمانی با مشخصات مندرج در جدول ۱ و باهدف اصلی کنترل سیلاب در پایین‌دست محدوده مطالعاتی احداث‌شده است (Absar Fars Consulting Engineers, 2020).

1- Flood based Approach
2- Best Management Practices (BMP)

ارزیابی سلامت آبخیز

برای ارزیابی سلامت آبخیز دروازه قرآن شیراز از رویکرد علت–معلولی فشار–حالت–پاسخ (PSR) به سبب تجربه مناسب در کاربست، سهولت استفاده و عدم نیاز به حدود آستانه خاص استفاده شد. رویکرد مفهومی PSR توسط OCED (1993 and 2001) طبق شکل ۲ طراحی‌شده است. این رویکرد، موضوع نظام‌مند شاخص‌های پایداری محیط‌زیستی را برای اولین بار موردتوجه قرار داد. چارچوب اولیه PSR مبتنی بر چارچوب فشار–پاسخ بود که برای تحلیل بوم‌سازگان توسعه داده‌شده بود (Esty *et al.*, 2005). PSR یک رویکرد مفهومی و شامل سامانه ارتباطی بین سه شاخص فشار، حالت و پاسخ است و به‌صورت عمده به‌عنوان ابزاری برای مدل‌سازی سامانه‌های انسانی و طبیعی به کار می‌رود که درواقع از ارتباطات علّت و معلولی و به‌منظور ارتباط دادن عامل‌های محیطی، اقتصادی و اجتماعی استفاده می‌کند (Hazbavi *et al.*, 2020). منظور از شاخص فشار برای ارزیابی سلامت آبخیز شامل نیروهای محرکه مستقیم و غیرمستقیم ناشی از فعالیت‌های انسانی و طبیعی است که باعث تغییرات محیط می‌شوند. درحالی‌که شاخص حالت وضعیت و حالت فیزیکی، شیمیایی و زیستی محیط طبیعی به‌علاوه وضعیت سلامت و رفاه انسان و درنهایت هرگونه پاسخ یا تغییر در اثر اعمال فشارهای وارده را نشان می‌دهد (Hazbavi *et al.*, 2018). در این مطالعه به‌منظور تفکیک میزان اثر معیارهای مختلف بر وقوع سیل در منطقه مطالعاتی و امکان مدیریت مناسب و کمک به تصمیم‌گیرندگان در هر یک از معیارهای ارزیابی شاخص‌های اصلی رویکرد مفهومی PSR از سه دسته عوامل اقلیمی، انسانی، هیدرولوژی و منطبق بر جدول ۲ استفاده شد. به‌منظور ارزیابی نقش اقدامات سازه‌ای انجام‌شده در مؤلفه‌های مرتبط با مقوله سیل و سپس مؤثر بر سلامت آبخیز دروازه قرآن، ابتدا رویکرد مفهومی PSR بدون لحاظ اقدامات و مجدداً پس از منظور نمودن نقش اقدامات انجام‌شده در معیارهای ارزیابی سلامت مورداستفاده قرار گرفت. فرآیند اجرایی و کلیات روش پژوهش در شکل ۲ نمایش داده‌شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز دروازه قرآن شیراز و جانمایی سازه‌های آبخیزداری

Figure 1- Geographical location of the Shiraz Darwazeh Quran Watershed and location of watershed management structures

جدول ۱- مشخصات سازه‌های آبخیزداری موجود در حوزه آبخیز دروازه قرآن

Table 1- Characteristics of existing watershed management structures in the Shiraz Darwazeh Quran Watershed

شماره سازه Structure No.	جنس بدنه Body Material	نوع سرریز Spillway type	ارتفاع مفید سرریز Effective height of spillway (m)	حجم مخزن Reservoir volume (m^3)	هزینه اجرایی Implementation cost (billions of Iranian Rial)	سال اجرا Year of implementation
1	سنگی و ملاتی Stone and mortar	پلکانی Staircase	10	194246	29	1398
2	سنگ و ملاتی Stone and mortar	پلکانی Staircase	10	101390	37	
3	سنگ و ملاتی Stone and mortar	پلکانی Staircase	10	45245	16	
4	سنگ و ملاتی Stone and mortar	پلکانی Staircase	7	47149	26	
5	سنگ و ملاتی Stone and mortar	پلکانی Staircase	8	36762	35	
6	سنگ و ملاتی Stone and mortar	پلکانی Staircase	8	55604	22	

محاسبه شاخص‌های فشار، حالت، پاسخ

از آنجایی‌که در مفهومی PSR، منظور از فشار تنش‌هایی است که به صورت انسانی و یا غیرانسانی و به صورت مستقیم و غیرمستقیم و در ابعاد مختلف اقلیمی، هیدرلوژیکی، انسانی به حوزه‌آبخیز وارد می‌شود. این در حالی است که حالت وضعیت آبخیز را متاثر از فشارهای وارده تشریح می‌کند و پاسخ هر گونه تغییری است که در اثر فشارهای وارده بر آبخیز ایجاد می‌شود و الزاماً محدود به پاسخ‌های رفتارهای انسانی در قبال فشارهای وارده و یا حالت‌های منتج از آن نیست (Hazbavi *et al.*, 2020). بنابراین عوامل مورد استفاده برای هر یک از شاخص‌های فشار، حالت و یا پاسخ صرفاً انسانی نیستند و ممکن است در دسته‌های مختلف اقلیمی، هیدرولوژی و زمین‌شناسی و انسانی تقسیم‌بندی شوند. طبیعی است برخی از این عوامل در ذات یک آبخیز نهفته است و وجود یا عدم وجود آن‌ها به اختیار انسان نیست و لذا ممکن است به عنوان یک توان‌مندی ذاتی برای بهبود و یا حتی آسیب‌رسانی سلامت آبخیز تلقی شود. بنابراین برای تعیین عوامل موثر بر سلامت آبخیز و مبتنی بر رویکرد PSR، جمیع عوامل مورد بررسی قرار می‌گیرند و این مورد در مرور عوامل مورداستفاده در پژوهش مدنظر قرار گرفته است. به عنوان مثال وسعت سازندهای حساس به فرسایش یک ویژگی ذاتی منطقه است که سلامت آبخیز را نسبت به منطقه فاقد سازند حساس به فرسایش متأثر می‌کند. شاید وسعت این سازند تغییر نکند اما می‌تواند تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی میزان فرسایش بیش‌تر شود. یا میزان رسوب حاصله از آن‌ها بر وضعیت اراضی پایین‌دست تاثیر بگذارد. اراضی سنگی اگرچه مساحت آن‌ها تغییر نمی‌کند و تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی نیستند اما در هنگام بارندگی سبب تشکیل رواناب شده و در پایین‌دست تشدید فرسایش‌ها را به دنبال دارند. همچنین اراضی با غالبیت برون‌زدگی سنگی ممکن است بسته به لایه‌بندی، جنس و حتی تراکم پراکنش بر وضعیت نفوذ آب به داخل زمین و تغییر ذخیره سفره‌های آب زیرزمینی تأثیر بگذارد. برخی از متغیرها صرفاً تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی نیستند و عملکرد ذاتی آن‌ها مورد نظر است. شکل آبخیز، مجموع طول آبراهه‌ها و از این قبیل معیارها نیز از دسته عوامل هیدرولوژی مؤثر بر متغیر مطالعاتی پژوهش (سیل) هستند که قرار نیست تغییرپذیری آن‌ها توسط انسان مورد بررسی قرار گیرد بلکه هدف بررسی اثر معیارهای عامل هیدرولوژی و تأثیر آن‌ها بر سلامت آبخیز است. طبیعی است نتایج ارزیابی مزبور به مدیر آبخیز و سیاست‌گذار کمک می‌کند تا مهارپذیری عوامل مزبور از ویژگی‌های ذاتی را ارزیابی نماید. طبیعی است در حالت اول اقدامات مهار و یا مدیریت سیلاب در اولویت اقدامات قرار می‌گیرد حال‌آن‌که در شرایط ذاتی رویکرد سازگاری، دورکردن مردم از سیل و نهایتاً توقف دخالت‌های انسانی در آبخیز مورد تأکید خواهد بود. وسعت مناطق مسکونی نیز یک عامل انسانی است که می‌تواند به عنوان یک نیروی محرکه در آبخیز عمل کند و سطوح غیرقابل نفوذ و البته با الگوی متفاوت و مؤثر بر تشدید تولید رواناب و در نهایت تأثیر بر سلامت آبخیز را به دنبال داشته باشد. متغیرهای ترکیبی مثل تراکم جاده و یا تراکم زه‌کشی نیز به سبب تأثیر ترکیبی عوامل دیگر (برای مثال مجموع طول جاده و یا طول شبکه زه‌کشی و در تعامل با مساحت آبخیز که هرکدام می تواند به صورت جداگانه به عنوان عامل

محرکه و یا فشار تلقی شوند) در شاخص حالت مد نظر قرار گرفته است. بنابراین وسعت مناطق مسکونی فشاری است که به دنبال آن مثلا تراکم جاده تغییر می‌کند. همانطور که در ابتدای بحث نیز اشاره شد، منظور از پاسخ هرگونه تغییری است که آبخیز در اثر فشارهای وارد شده در خود ایجاد می‌کند. بنابراین صرفاً به مفهوم پاسخ مدیر به تنش‌ها نیست. اقدامات مدیریتی که انسان برای حل مسائل و مشکلات آبخیز اتخاذ می‌کند به عنوان یک نیروی محرکه (فشار) عمل می‌کند. می‌تواند مثبت باشد و سبب پاسخ مثبت آبخیز و بهبود سلامت آن شود و یا می‌تواند اثر نامطلوب گذاشته و سلامت را نزول دهد. بنابراین حجم مخزن سازه‌های آبخیزداری فشاری است که بر اثر ساخت سازه آبخیزداری بر آبخیز وارد می‌شود و می‌تواند حجم سیلاب آبخیز را کاهش و مهار کند و اثر مثبت بر سلامت داشته باشد.

در پژوهش حاضر و با توجه به توضیحات ارائه‌شده بالا، برای محاسبه شاخص فشار از ۲۰ معیار مختلف به شرح ارائه‌شده در جدول ۲ استفاده‌شده است. برای محاسبه اولین معیار از عوامل هیدرولوژی ابتدا شاخص شکل زیر آبخیز برای هر زیر آبخیز با استفاده از ضریب Gravelius و هم‌چنین زمان تمرکز و زمان پیمایش هر زیرآبخیز با استفاده از رابطه Kirpich به شرح مندرج در رابطه‌های (۱) و (۲) محاسبه شد (Mahdavi, 2013).

$$T = 0.949\left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$Cc = \frac{P}{2A} = \frac{0.28P}{\sqrt{A}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن T زمان تمرکز حوزه آبخیز به دقیقه، L طول آبراهه اصلی به متر؛ H اختلاف ارتفاع حوزه آبخیز به متر، P محیط آبخیز به کیلومتر، A مساحت آبخیز به کیلومتر مربع و Cc ضریب فشردگی Gravelius است.

سپس مجموع طول آبراهه‌های درجه ۱ و درجه ۲ و بالاتر با استفاده از رتبه‌بندی آبراهه در نرم‌افزار ArcMap10.8 و با روش Strahler برای هر زیرآبخیز محاسبه شد (Mahdavi, 2013). با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) نقشه شیب منطقه تهیه و شیب متوسط برای هر زیرآبخیز محاسبه شد. مقادیر شدت بارندگی، تبخیر، بارش و دبی حداکثر لحظه‌ای بر اساس اطلاعات موجود در مطالعات آبخیزداری حوزه آبخیز دروازه قرآن (Absar Fars Consulting Engineers, 2020) برای زیر آبخیزهای موردمطالعه در نرم‌افزار ArcMap10.8 میان‌یابی شد. همچنین به‌منظور محاسبه وسعت سازندهای حساس به فرسایش، از نقشه زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ منطقه موردمطالعه استفاده شد (مطالعات تکمیلی بندهای کنترل سیلاب و تأخیری حوزه آبخیز، ۱۳۹۹). در گروه عوامل انسانی نیز برای تعیین طول فرسایش کنارآبراهه‌ای با استفاده از نرم‌افزار Google Earth.pro مناطق دارای فرسایش کنار آبراهه‌ای مشخص و محاسبات برای هر زیرآبخیز به‌صورت مجزا انجام شد، هم‌چنین برای تعیین طول جاده خاکی/آسفالتی از لایه جاده موجود استفاده و تعداد تقاطع آن با شبکه زه‌کشی شمارش شد.

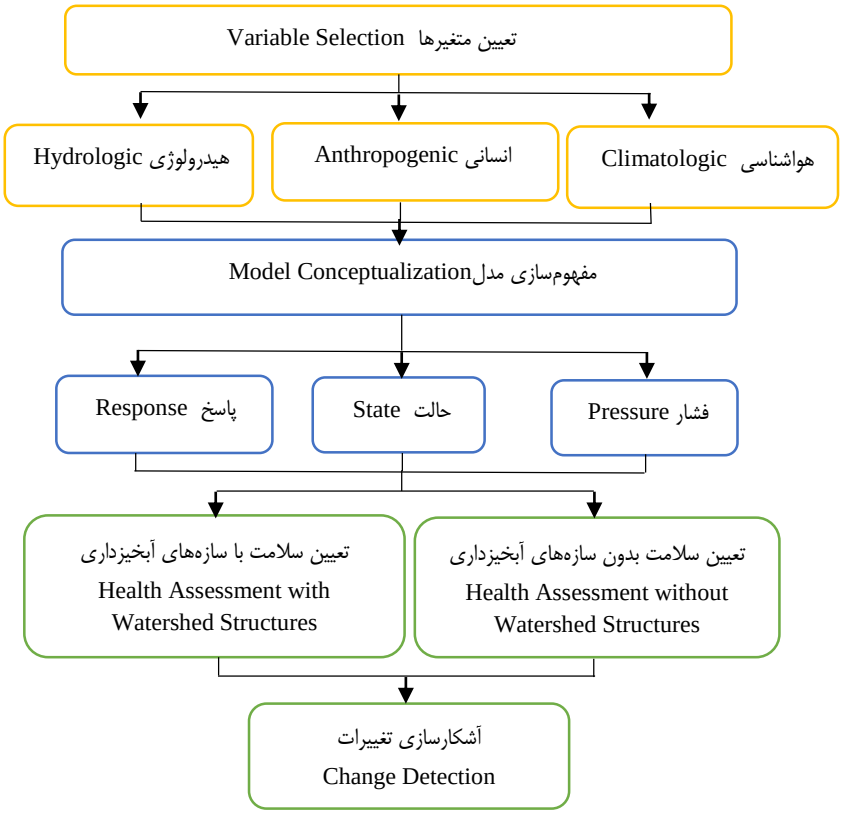
برای محاسبه وسعت مناطق مسکونی و مساحت مناطق با کاربری برون‌زدگی سنگی از نقشه کاربری اراضی موجود استفاده شد (Hazbavi *et al.*, 2020). با توجه به این‌که بخش زیادی از آبخیز موردمطالعه تحت تأثیر فعالیت‌های نظامی بود، لذا مساحت مناطق نظامی در زیرحوزه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Google Earth.pro محاسبه شد. برای محاسبه NDVI از محصول ۱۶ روزه سنجنده MODIS[1] استفاده شد، و تصاویر مربوط به بهار و تابستان استخراج و بررسی شد. درنهایت تصویری با بیش‌ترین NDVI بود (۱۳۹۷/۰۴/۲۱) به‌عنوان شاخص مزبور مدنظر قرار گرفت (Hazbavi *et al.*, 2020). در معیارهای مربوط به شاخص حالت نسبت تبخیر و تعرق پتانسیل به بارش سالانه با استفاده از مقادیر موجود در مطالعات قبل و هم‌چنین استفاده از نرم‌افزار ArcMap10.8 مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل و بارش سالانه برای هر زیرآبخیز میان‌یابی و سپس نسبت تبخیر و تعرق پتانسیل به بارش سالانه برآورد شد، هم‌چنین شاخص خشک‌سالی در نرم‌افزار SPI Generator با استفاده از مقادیر بارندگی سالانه مقادیر SPI برای هر زیر آبخیز محاسبه گردید (Hazbavi *et al.*, 2018). نسبت مساحت اراضی تخریب‌شده به مساحت آبخیز و هم‌چنین نسبت مناطق مسکونی به سطح زیرآبخیز با استفاده از نقشه کاربری اراضی منطقه در نرم‌افزار ArcMap.10.8 محاسبه شد.

تراکم جاده در هر زیر آبخیز از تقسیم طول کل جاده به مساحت زیرآبخیز محاسبه شد. تراکم زه‌کشی نیز برای هر زیرآبخیز از نسبت مجموع طول آبراهه به مساحت زیرآبخیز به دست آورده شد (Hazbavi *et al.*, 2020). نسبت اراضی مشارکت‌کننده در رواناب به سطح بر اساس ضریب رواناب هر زیرآبخیز با استفاده از رابطه (۳) برآورد شد.

$$R_C = \left[\prod_{i=1}^{2} \frac{A_i}{A_t}\frac{R_{ci}}{R_{ct}}\right]^{0.5} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه A_i، A_t، R_{ci} و R_{ct} به ترتیب بیان‌گر مساحت زیرآبخیز، مساحت کل، ضریب رواناب تهیه‌شده در زیرآبخیز و ضریب رواناب کل آبخیز است (Sadeghi *et al.*, 2017). در معیارهای شاخص پاسخ دبی اوج و رسوب ویژه نیز از مطالعات موجود (Absar Fars Consulting Engineers, 2020) اخذ و محاسبات مورد نیاز انجام شد (Alaei *et al.*, 2020). وسعت اراضی رهاشده با استفاده از نقشه کاربری اراضی منطقه و نرم‌افزار Google Earth.pro برای هر زیرحوزه تعیین شد.

1- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer



شکل ۲- چارچوب فرآیند اجرایی و کلیات کاربست رویکرد مفهومی PSR در ارزیابی سلامت آبخیز

Figure 2- Process framework and general steps of application of the conceptual approach of PSR in the watershed health assessment

تحلیل و پهنه‌بندی درجه سلامت

با توجه به تفاوت در واحدها و بزرگی معیارها، تمام داده‌های ورودی با استفاده از رابطه‌های (۴) و (۵) به ترتیب برای معیارهای دارای سهم مثبت و منفی استانداردسازی شدند.

رابطه (۴) $$S = \frac{\text{Value} - \text{Min value}}{\text{Max value} - \text{Min value}}$$

رابطه (۵) $$S = \frac{\text{Max value} - \text{Value}}{\text{Max value} - \text{Min value}}$$

که در آن S، Value، Min value و Max value به ترتیب مقدار استانداردشده، مقدار اولیه، حداقل مقدار اولیه و حداکثر مقدار اولیه است. در ادامه از طریق رگرسیون، میزان هم‌خطی و خودهمبستگی معیارها و شاخص‌های ارزیابی سلامت با استفاده از آماره عامل تورم واریانس[1] کم‌تر از ۱۰ موردبررسی قرار گرفتند (Bihamta and Zare Chahoki, 2015). سپس از میانگین حسابی برای محاسبه معیار متوسط هر شاخص استفاده شد (Hazbavi *et al.*, 2017).

درنهایت با محاسبه میانگین هندسی معیارهای شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ برای هر یک از زیرآبخیزها با استفاده از رابطه (۶)، درجه سلامت هر زیرآبخیز تعیین شد. در رابطه (۶)، x_n مقدار هر شاخص و k تعداد شاخص‌ها (سه) است. رده‌بندی سلامت آبخیز نیز در پنج طبقه سالم (۱-۰/۸۱)، نسبتاً سالم (۰/۸-۰/۶۱)، متوسط (۰/۶-۰/۴۱)، نسبتاً ناسالم (۰/۴-۰/۲۱) و ناسالم (۰/۲-۰) انجام شد (Hazbavi *et al.*, 2018). هم‌چنین درجه سلامت کل آبخیز بااستفاده از میانگین وزنی محاسبه شد.

رابطه (۶) $$Geometric\ mean = \left[\prod_{n=1}^{k} x_n\right]^{\frac{1}{k}}$$

نتایج و بحث

تحلیل درصد مشارکت معیارهای مربوط به هر زیر آبخیز

با توجه به عدم دسترسی به برخی از آمار و اطلاعات منطقه موردمطالعه و یا عدم تأثیر معنی‌دار در سلامت، برخی از معیارهای مورداستفاده حذف و سپس مقادیر معیارهای باقی‌مانده از طریق

1- Variance Inflation Factor (VIF)

رابطه‌های (۴) و (۵) استاندارد شدند. نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل‌های آماری نشان داد که تمام معیارهای مورداستفاده برای شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ دارای VIF و آماره Durbin-Watson قابل‌قبول بودند. به‌طوری‌که مقادیر VIF برای تمام متغیرها کم‌تر از ۱۰ محاسبه گردید و آماره Durbin-Watson در بازه بین ۱/۵ تا ۲/۵ قرار داشت. مقادیر استانداردشده معیارهای مورداستفاده در رویکرد PSR در زیرآبخیزهای موردمطالعه در جدول ۳ قابل‌مشاهده است.

جدول ۲- متغیرهای مورداستفاده در ارزیابی سلامت آبخیز دروازه قرآن شیراز مبتنی بر رویکرد مفهومی PSR

Table 2- The variables used in evaluating the health of the Shiraz Darwazeh Quran Watershed using the conceptual approach of PSR

شاخص Index	عامل Factor	معیار Criterion	نشانه Symbol	واحد Unit
فشار (P) Pressure	اقلیمی و زمین‌شناسی Climatic and Geologic	شدت بارندگی Rainfall intensity	P1	$mm.h^{-1}$
		متوسط حداکثر بارندگی روزانه Mean maximum daily rainfall	P2	mm
		وسعت سازندهای حساس به فرسایش Area of formations sensitive to erosion	P3	km^2
		مساحت مناطق با غالبیت برون‌زدگی سنگی Area of areas with the predominance of rocky outcrops	P4	km^2
	انسانی Anthropogenic	مساحت نخاله‌های ساختمانی Area of construction debris	P5	km^2
		جمعیت Population	P6	Person
		وسعت مناطق مسکونی Area of residential areas	P7	km^2
		وسعت مناطق تحت فعالیت‌های نظامی Area of the areas under military activities	P8	km^2
		طول جاده‌های خاکی/آسفالتی Length of dirt/asphalt roads	P9	km
		طول فرسایش کنار آبراهه‌ای ناشی از دخالت‌های انسانی Length of bank erosion due to anthropogenic interventions	P10	km
		تعداد تقاطع جاده با آبراهه Number of road intersections with waterways	P11	Dimensionless
		شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال‌شده (NDVI) Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	P12	Dimensionless
		حجم مخزن سازه‌های آبخیزداری* Volume of reservoirs of watershed structures	P13	m^3
	هیدرولوژی Hydrologic	مجموع طول آبراهه‌های درجه ۲ و بالاتر Total length of waterway of rank 2 and above	P14	km
		مجموع طول آبراهه‌های درجه ۱ Total length of 1st rank waterway	P15	km
		شیب متوسط حوزه آبخیز Watershed Mean slope	P16	%
		شاخص شکل زیرآبخیز Watershed shape index	P17	Dimensionless
		زمان تمرکز Time of concentration	P18	h
		زمان پیمایش Travel time	P19	h
		دبی اوج لحظه‌ای Instantaneous peak flow discharge	P20	$m^3.s^{-1}$

ادامه جدول ۲- متغیرهای مورداستفاده در ارزیابی سلامت آبخیز دروازه قرآن شیراز مبتنی بر رویکرد مفهومی PSR

Table 2- Continued, the variables used in evaluating the health of the Shiraz Darwazeh Quran Watershed using the conceptual approach of PSR

حالت (S) State	اقلیمی Climatic	نسبت متوسط تبخیر ماهانه به متوسط بارش ماهانه Ratio of mean monthly evaporation to mean monthly precipitation	S1	بدون بعد Dimensionless
		شاخص خشک‌سالی[1] (SPI) Standardized Precipitation Index	S2	بدون بعد Dimensionless
	انسانی Anthropogenic	نسبت مساحت اراضی تخریب‌شده به مساحت زیرآبخیز Ratio of the area of degraded lands to the sub-watershed area	S3	بدون بعد Dimensionless
		تراکم جاده Road density	S4	$m.m^{-2}$
		نسبت مناطق مسکونی به سطح زیرآبخیز Ratio of residential areas to the sub-watershed area	S5	بدون بعد Dimensionless
		تراکم جمعیت Population density	S6	$Person.m^{-2}$
	هیدرولوژی Hydrologic	تراکم زه‌کشی Drainage density	S7	$m.m^{-2}$
		نسبت اراضی مشارکت‌کننده در رواناب به سطح زیرآبخیز Ratio of lands contributing in runoff to the sub-watershed aria	S8	بدون بعد Dimensionless
پاسخ (R) Response	انسانی Anthropogenic	مهاجرت Migration	R1	بدون بعد Dimensionless
		وسعت اراضی رهاشده Area of abandoned lands	R3	Km^2
	هیدرولوژی Hydrologic	خسارت ناشی از سیل Flood damage	R4	Billions of Iranian Rial
		دبی رواناب بالاتر از دبی مشخصه پرآبی Runoff discharges higher than high flow discharges	R5	$m^3.s^{-1}$
		دبی ویژه Specific flow discharge	R6	$m^3.s^{-1}.Km^{-2}$
		رسوب ویژه Specific sediment yield	R7	$t.Km^{-2}.year$
		کاهش حجم سیلاب ناشی سازه آبخیزداری* Reducing the flood volume caused by the watershed structure	R8	%

* این معیارها برای بررسی اثر سازه‌های آبخیزداری بر سلامت آبخیز و در مرحله دوم اجرای رویکرد مفهومی PSR استفاده شده‌اند.

درصد مشارکت معیارهای مورداستفاده در رویکرد PSR در زیرآبخیزهای موردمطالعه (جدول ۴) نشان می‌دهد که در زیر آبخیز شماره یک معیار تراکم جاده با ۲۵/۹۶ درصد مشارکت به سبب کوهستانی بودن و داشتن کم‌ترین تراکم، بیش‌ترین سهم را در تعیین سلامت داشته است. حال‌آنکه در زیر آبخیز شماره دو نسبت متوسط تبخیر ماهانه به متوسط بارش ماهانه با ۳۳/۳۳ درصد مشارکت به دلیل بیش‌تربودن نسبت تبخیر به بارش این زیرآبخیز نسبت به سایر زیرآبخیزها، سهم قابل‌توجهی را در میزان سلامت زیرآبخیز مذکور به خود اختصاص داده است. شیب متوسط با ۳۲/۱۳ درصد بیش‌ترین سهم را در سلامت زیرآبخیز شماره سه داشته است چراکه کم‌ترین شیب متوسط را در میان زیرآبخیزهای حوزه آبخیز دروازه قرآن به خود تخصیص داده است. در زیرآبخیز شماره چهار به دلیل آن‌که عمده سازه‌های آبخیزداری در آن واقع‌شده است، معیار حجم مخزن سازه‌های آبخیزداری با ۵۳/۴۹ درصد بیش‌ترین درصد مشارکت را در سلامت این زیرآبخیز داشته است. درصورتی‌که سازه‌های آبخیزداری را مدنظر قرار نگیرد، با توجه به وسعت بالای این زیرآبخیز، معیار زمان پیمایش با ۴۲/۶۴ درصد به‌عنوان یک معیار مثبت بیش‌ترین سهم را در تعیین سلامت این زیرآبخیز خواهد داشت. این در حالی است که در زیرآبخیز شماره پنج باوجود دو سازه آبخیزداری، معیار رسوب ویژه با ۵۳/۲۱ درصد به‌عنوان یک معیار کلیدی و منفی مهم‌ترین نقش را در تعیین سلامت این زیر آبخیز دارد. درواقع علی‌رغم جایگاه این زیرآبخیز در خروجی آبخیز، به دلیل وجود دو سازه مذکور، رسوب ویژه این زیرآبخیز کاهش‌یافته و همین امر سبب ارتقاء سلامت زیرآبخیز شده است. زیرآبخیز شماره پنج به دلیل شاخص SPI بالا، معیار خشک‌سالی با ۴۰ درصد بیش‌ترین نقش را در ارتقاء سلامت این زیر آبخیز داشته است. درواقع این معیار داری اثر مثبت بر سلامت بوده و نشان‌دهنده خشک‌سالی ناچیز این زیرآبخیز نسبت به سایرین است.

1- Standardized Precipitation Index

جدول ۳- مقادیر استانداردشده معیارهای مورداستفاده در رویکرد PSR در زیرآبخیزهای موردمطالعه حوزه آبخیز دروازه قرآن شیراز

Table 3- The standardized values of the criteria used in the PSR approach in the studied sub-watersheds of Darwazeh Quran Shiraz watershed

زیرآبخیز (Sub-watershed) / معیار (Criterion)	1	2	3	4	5	6
P1	0.50	0.50	1.00	0.50	1.00	0.00
P2	0.33	0.00	0.67	0.33	1.00	0.67
P3	0.86	0.96	0.83	0.00	1.00	0.90
P4	0.48	0.78	1.00	1.00	0.00	0.97
P7	1.00	1.00	1.00	1.00	0.72	0.00
P8	1.00	1.00	1.00	0.61	0.91	0.00
P9	1.00	1.00	0.93	0.50	0.94	0.00
P10	1.00	0.00	1.00	0.99	0.94	0.84
P11	1.00	0.96	0.81	0.65	1.00	0.00
P13	0.00	0.00	0.00	1.00	0.67	0.19
P14	0.71	0.53	1.00	0.12	0.92	0.00
P15	0.83	0.87	0.86	0.35	1.00	0.00
P16	0.08	0.00	1.00	0.90	0.50	0.63
P17	0.93	0.40	0.00	1.00	0.91	0.92
P18	0.47	0.65	0.47	1.00	0.00	0.64
P19	0.00	0.14	0.28	1.00	0.07	0.86
P20	0.50	0.50	0.00	0.50	1.00	0.90
S1	0.68	1.00	0.28	0.68	0.00	0.35
S2	0.00	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00
S3	1.00	1.00	0.38	0.80	0.84	0.00
S4	1.00	0.81	0.11	0.94	0.97	0.00
S5	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.14
S7	0.65	0.12	0.00	0.66	1.00	0.62
S8	0.74	0.79	0.95	0.16	1.00	0.00
R3	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.58
R6	0.75	1.00	0.87	0.75	0.00	0.12
R7	0.00	1.00	0.07	0.43	1.00	0.27
R8	0.00	1.00	0.00	0.74	1.00	0.24

جدول ۴- درصد مشارکت معیارهای مورداستفاده در رویکرد PSR در زیرآبخیزهای موردمطالعه حوزه آبخیز دروازه قرآن شیراز

Table 4- The percentage of participation of the criteria used in the PSR approach in the studied sub-watersheds of Darwazeh Quran Shiraz watershed

زیرآبخیز (Sub-watershed) / معیار (Criterion)	1	2	3	4	5	6
P1	14.29	14.29	28.57	14.29	28.57	0.00
P2	11.11	0.00	22.22	11.11	33.33	22.22
P3	18.95	21.09	18.18	0.00	22.00	19.77
P4	11.33	18.46	23.61	23.61	0.00	22.99
P7	21.19	21.19	21.19	21.19	15.25	0.00
P8	22.12	22.12	22.12	13.50	20.13	0.00
P9	22.89	22.81	21.26	11.42	21.62	0.00
P10	21.00	0.00	20.91	20.82	19.73	17.55
P11	22.61	21.74	18.26	14.78	22.61	0.00
P13	0.00	0.00	0.00	53.49	36.07	10.43
P14	21.66	16.18	30.45	3.69	28.03	0.00
P15	21.14	22.22	22.06	9.04	25.54	0.00
P16	2.56	0.00	32.13	28.78	16.18	20.34
P17	22.39	9.55	0.00	24.03	21.94	22.09
P18	14.61	20.22	14.61	30.90	0.00	19.66
P19	0.00	5.88	11.76	42.65	2.94	36.76
P20	14.71	14.71	0.00	14.71	29.41	26.47
S1	22.76	33.33	9.48	22.76	0.00	11.67
S2	0.00	0.00	10.00	20.00	30.00	40.00
S3	24.81	24.81	9.54	19.85	20.99	0.00
S4	25.97	21.10	2.96	24.65	25.31	0.00
S5	24.14	24.14	24.14	24.14	0.00	3.45
S7	21.33	3.90	0.00	21.79	32.57	20.41
S8	20.38	21.66	26.11	4.46	27.39	0.00
R3	21.80	21.80	0.00	21.80	21.80	12.79
R6	21.43	28.57	25.00	21.43	0.00	3.57
R7	0.00	5.03	4.19	22.95	53.21	14.61
R8	0.00	0.00	0.00	37.40	50.43	12.15

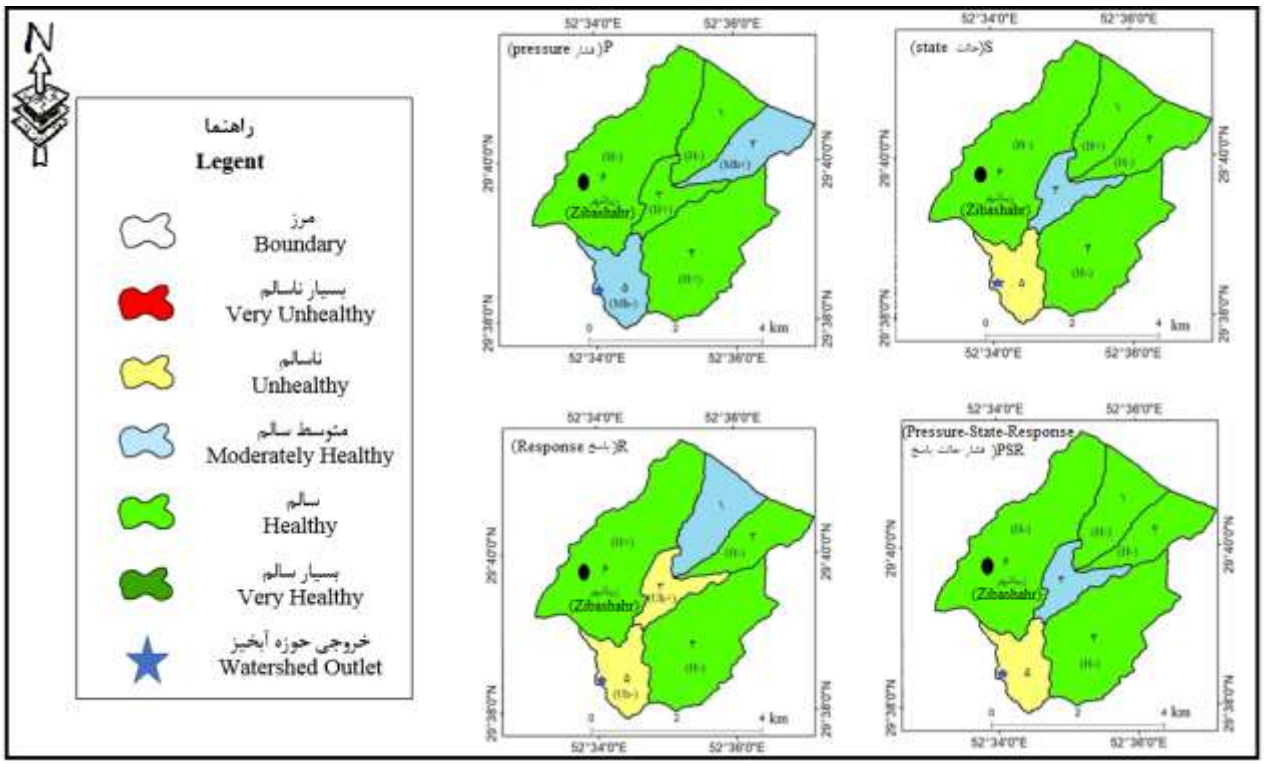
تحلیل سلامت آبخیز بدون لحاظ سازه‌های آبخیزداری

در پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی سلامت حوزه آبخیز دروازه قرآن، رویکرد PSR در حالت بدون در نظر گرفتن سازه آبخیزداری و با حضور سازه اجرا شد. نقشه شاخص‌های P، S، R و PSR برای آبخیز موردمطالعه به تفکیک زیرآبخیز و بدون در نظر گرفتن سازه‌های آبخیزداری در شکل ۳ مشهود است. نتایج نشان می‌دهد که تمام زیر آبخیزها به‌جز زیرآبخیز دو و پنج در شاخص فشار دارای وضعیت سالم است. هرچند زیر آبخیز شماره یک و شش در وضعیت سالم رو به افول (H-) است. این در حالی است که دو زیرآبخیز شماره دو و پنج به ترتیب در وضعیت متوسط سالم رو به بالا(MH+) و رو به پایین (MH-) بوده است. در حالت کلی نتایج بررسی معیارهای فشار نشان می‌دهد که در زیر آبخیز دو به دلیل قرارگیری در بالادست و شیب متوسط بالا، و زیر آبخیز پنج به دلیل قرارگیری در پایین‌دست و خروجی آبخیز و زمان تمرکز کم‌تر فشار بیش‌تری را متحمل می‌شود که این امر با نتایج حزباوی و همکاران (Hazbavi *et al.*, 2020) مطابقت دارد. نتایج شاخص حالت نیز نشان می‌دهد که زیر آبخیز سه به دلیل تراکم بالای آبراهه و جاده دارای وضعیت متوسط سالم و زیر آبخیز پنج به سبب نسبت بالای مناطق مسکونی به سطح آبخیز دارای وضعیت ناسالم است. اما مابقی زیرآبخیزها از منظر شاخص حالت در وضعیت سالم قرار داشته است. هرچند زیرآبخیزهای دو، چهار و شش در وضعیت سالم رو به پایین قرار داشته است. بررسی شاخص پاسخ نشان می‌دهد که زیرآبخیزهای سه و پنج به ترتیب به دلیل وسعت بالای اراضی رهاشده و دبی ویژه بالا در پایین‌دست دارای وضعیت ناسالم قرار دارند که این با نتایج علایی و همکاران (Alaei *et al.*, 2020) و آن و کین (Ahn and Kin, 2019) مبنی بر حساسیت بوم‌شناختی مناطق پایین‌دست حوزه آبخیز مطابقت دارد. همچنین زیر آبخیز شماره یک به دلیل منشأ تولید رسوب و رسوب ویژه بالا در وضعیت متوسط سالم قرارگرفته و سایر زیرآبخیزها در وضعیت سالم قرار دارند. هرچند زیر آبخیز دو و چهار به ترتیب به دلیل تولید رسوب بالا و دبی ویژه بالا به سمت سالم رو به افول متمایل می‌باشند. به‌طورکلی نتایج رویکرد PSR نشان می‌دهد که زیرآبخیز شماره پنج به دلیل قرارگیری در خروجی آبخیز و تحت تأثیر دبی و رسوب ویژه بالا و همچنین زمان تمرکز پایین در وضعیت ناسالم قرار دارد و زیر آبخیز شماره سه به سبب تراکم بالای آبراهه و جاده، زمان تمرکز پایین و اراضی رهاشده در وضعیت متوسط سالم قرارگرفته است. سایر زیر آبخیزها نیز در وضعیت سالم قرار گرفتند. هرچند به دلیل حساسیت‌های موجود، درجه سلامت آن‌ها رو به افول است و درصورتی‌که تحت‌فشار بیش‌تری قرار گیرند از وضعیت سالم خارج می‌شوند. اما به‌طورکلی درجه سلامت آبخیز دروازه قرآن شیراز در شرایط بدون حضور سازه‌های آبخیزداری با مقدار ۰/۵۵ (جدول ۵) در وضعیت متوسط سالم قرار دارد.

تحلیل سلامت آبخیز با لحاظ سازه‌های آبخیزداری

در حوزه آبخیز دروازه قرآن شیراز شش سازه آبخیزداری سنگی‌سیمانی از سیلاب سال ۱۳۹۸ به‌منظور کنترل و مهار سیلاب احداث شد که موقعیت این سازه‌ها در شکل ۴ قابل‌مشاهده است. به‌طوری‌که سه سازه در زیرآبخیز چهار، دو سازه در زیر آبخیز پنج و یک سازه در زیر آبخیز شش احداث شد. به‌منظور ارزیابی اثر سازه‌های آبخیزداری بر سلامت آبخیز، پس از تعیین سلامت آبخیز بدون حضور سازه، برای دخالت سازه‌های احداث‌شده، دو معیار حجم مخزن سازه آبخیزداری و درصد کاهش حجم سیلاب ناشی از احداث سازه آبخیزداری به ترتیب در شاخص‌های فشار و پاسخ وارد شد و رویکرد PSR مجدد برای آبخیز اجرا شد. نقشه شاخص‌های P، S، R و PSR برای آبخیز موردمطالعه به تفکیک زیرآبخیز و با در نظر گرفتن سازه‌های آبخیزداری در شکل ۴ نشان داده‌شده است. نتایج نشان می‌دهد که در شاخص فشار تفاوت معنی‌داری نسبت به حالت بدون سازه ایجاد نشده است. حتی در آبخیزهای یک، دو و سه که سازه‌ای در آن وجود نداشته و معیار حجم مخزن سازه صفر در نظر گرفته‌شده است، میزان سلامت به مقدار ناچیزی کاهش‌یافته است به‌طوری‌که آبخیز دو و سه که متوسط سالم و سالم و هر دو به سمت مثبت در حال رشد بوده‌اند، اکنون آبخیز دو به حالت متوسط سالم و آبخیز سه سالم با گرایش منفی پدیدار شده است. سایر زیرآبخیزها نیز تغییر محسوسی نداشته است. در مورد شاخص حالت نیز به دلیل آن‌که معیار جدیدی وارد نشد تغییری نسبت به حالت قبل نداشته است. در مورد شاخص پاسخ نیز همانند شاخص فشار سه زیر آبخیز اول به سبب آن‌که معیار درصد کاهش حجم سیلاب ناشی از احداث سازه آبخیزداری صفر قرار داده‌شده است وضعیت سلامت را تا حدودی نزولی کرده است اما در زیرآبخیز چهار و پنج وضعیت سلامت تا حدودی بهبودیافته است به‌طوری‌که به ترتیب از سالم و متوسط سالم رو به پایین به سمت بالا گرایش پیداکرده است. در زیرآبخیز شش به دلیل وسعت بالای آبخیز و وجود تنها یک سازه در پایین‌دست آن تأثیر معنی‌داری در وضعیت سلامت مشاهده نشده است. به‌طورکلی وضعیت سلامت زیرآبخیزها بر اساس رویکرد PSR باوجود سازه‌های آبخیزداری به نحوی بوده است که وضعیت سلامت زیرآبخیزهای یک، دو و سه به ترتیب از سالم رو به پایین (زیرآبخیز یک و دو) و متوسط سالم رو به بالا به سمت متوسط سالم رو به بالا (زیرآبخیز یک و دو) و متوسط سالم رو به پایین تنزل پیدا نموده است. زیرآبخیز چهار و شش هر دو از سالم رو به پایین به سالم رو به بالا ارتقاءیافته است و در زیرآبخیز پنج تغییر محسوسی مشاهده نشد. بنابراین به

سبب آن‌که سلامت اکثر زیرآبخیزها بـاوجود سـازه آبخیـزداری تنـزل یافته است، سلامت کل آبخیـز از ۰/۵۵ بـه ۰/۵۳ نـزول یافتـه اسـت (جدول ۴) اما طبقه سلامت تغییری پیدا نکرده است. بـا ایـن تفاسـیر عملاً سازه‌های احداث‌شده تأثیر چندانی در ارتقاء وضعیت حوزه آبخیز دروازه قرآن شیراز ایجاد نکرده است.



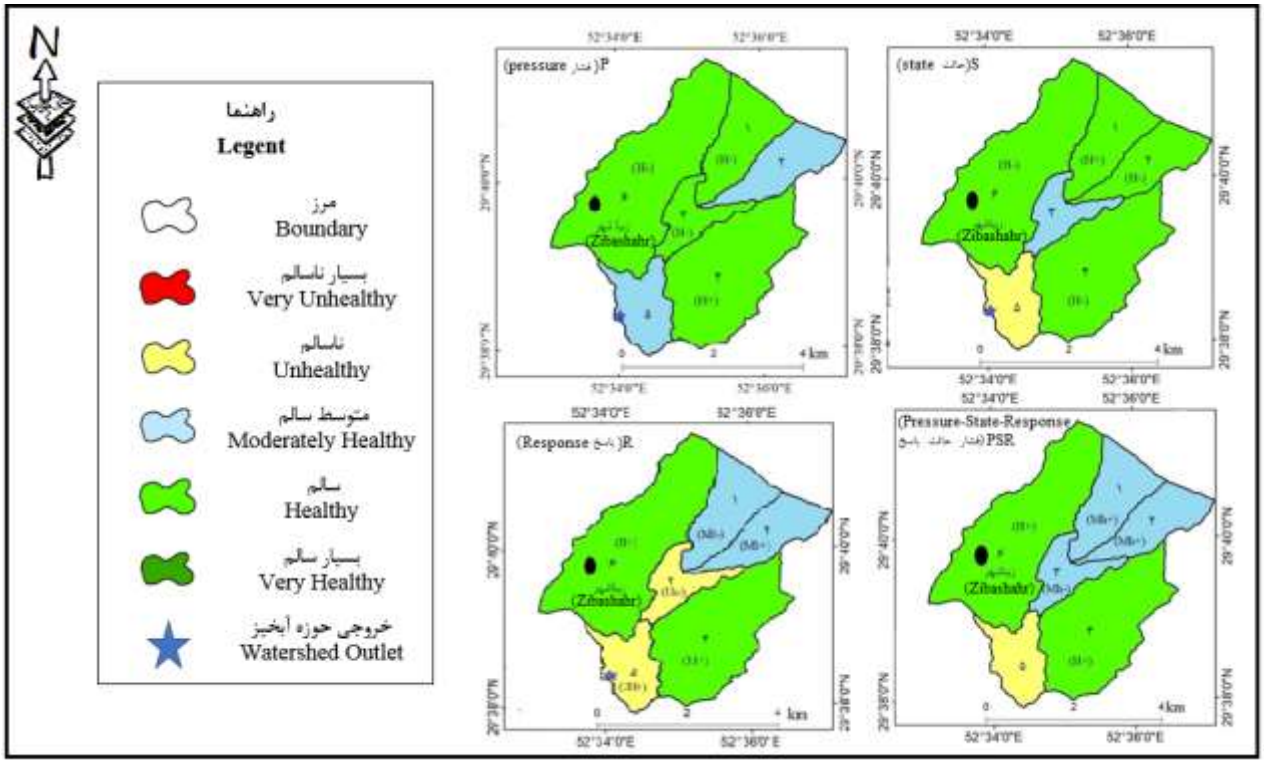
شکل ۳- پهنه‌بندی شاخص‌های P، S، R و PSR در حوزه آبخیز دروازه قرآن شیراز بدون در نظر گرفتن سازه‌های آبخیزداری

Figure 3- Zoning of P, S, R and PSR indices in the Darwazeh Quran Shiraz Watershed without considering watershed management structures

جدول ۵- مقادیر شاخص‌های رویکرد PSR در حوزه آبخیز دروازه قرآن شیراز

Table 5- Values of the indicators of the PSR approach in Darwazeh Quran Shiraz watershed

	زیرآبخیز Sub-watershed	فشار (P) Pressure	حالت (S) State	پاسخ (R) Response	PSR	سلامت آبخیز Watershed health
بدون وجود سازه آبخیزداری Without watershed management structure	1	0.67	0.73	0.58	0.66	0.55
	2	0.58	0.67	0.70	0.65	
	3	0.74	0.43	0.32	0.47	
	4	0.65	0.68	0.73	0.69	
	5	0.74	0.65	0.66	0.69	
	6	0.46	0.30	0.33	0.36	
باوجود سازه آبخیزداری With watershed management structure	1	0.63	0.73	0.44	0.59	0.53
	2	0.55	0.67	0.52	0.58	
	3	0.70	0.43	0.24	0.42	
	4	0.67	0.68	0.73	0.70	
	5	0.74	0.65	0.75	0.72	
	6	0.44	0.30	0.31	0.35	



شکل ۴- پهنه‌بندی شاخص‌های P، S، R و PSR در حوزه آبخیز دروازه قرآن شیراز با در نظر گرفتن سازه‌های آبخیزداری

Figure 4- Zoning of P, S, R and PSR indices in Darwazeh Quran Shiraz watershed by considering watershed structures

نتیجه‌گیری

در این پژوهش رخداد سیلاب به عنوان مشکل اصلی حوزه آبخیز دروازه قرآن مورد ارزیابی قرار گرفت. لذا شاخص‌ها و متغیرهای مرتبط و تأثیرگذار بر سیلاب با استفاده از بازدیدهای میدانی، مطالعات آبخیزداری و داده‌های اقلیمی تعیین گردید. با توجه به نتایج تجزیه‌وتحلیل شاخص‌ها و معیارهای در نظر گرفته‌شده در ارزیابی سلامت آبخیز دروازه قرآن شیراز مشخص شد که بر اساس رویکرد PSR آبخیز دارای وضعیت متوسط ازلحاظ سلامت بوده است. به‌طوری‌که خروجی نهایی مدل برابر با ۰/۵۵ محاسبه شد. همچنین نتایج ارزیابی سلامت آبخیز با در نظر گرفتن سازه‌های آبخیزداری نشان داد که تغییر معنی‌داری در درجه سلامت آبخیز رخ نداده است. به‌نحوی‌که میزان سلامت به ۰/۵۳ تنزل یافته است. بنابراین می‌توان اذعان داشت که سازه‌های آبخیزداری موجود نتوانسته است بر شکوفایی و بهبود شرایط آبخیز تأثیر محسوسی داشته باشد. به‌طورکلی می‌توان گفت اراضی رهاشده، زمان تمرکز کوتاه، فعالیت‌های نظامی، وجود سازندهای حساس به فرسایش، تراکم بالای شبکه زه‌کشی و جاده و پتانسیل تولید رواناب و رسوب بالا و وسعت مناطق مسکونی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر تنزل سلامت آبخیز دروازه قرآن است. لذا لازم است این موارد مورد توجه قرار گیرد و با انجام پایش دوره‌ای با داده‌های جامع‌تر، به هنگام و همچنین تحلیل روند تغییرات نسبی شاخص‌ها در راستای تبیین مدیریت سازگار و هوشمند آبخیز اقدامات لازم صورت گیرد. بنابراین پیشنهاد می‌شود با اعمال اقدامات زیست‌مهندسی و نقاط ضعف منطقه را به نقاط قوت تبدیل کرد و از فرصت‌های موجود در منطقه نظیر پتانسیل توسعه گردشگری و ویژگی‌های بوم‌شناختی در جهت ارتقاء وضعیت سلامت آبخیز استفاده نمود.

منابع

1. Absar Fars Consulting Engineers. (2020). *Additional watershed studies of flood control dams and backwaters in Darwazeh Quran watershed*. General Department of Fars Natural Resources and Watershed Management.
2. Ahn, S.R., & Kim, S.J. (2017). Assessment of integrated watershed health based on the natural environment, hydrology, water quality, and aquatic ecology. *Hydrology and Earth System Sciences* 21: 5583-5602. https://doi.org/10.5194/hess-21-5583-2017.

3. Ahn, S.R., & Kim, S.J. (2019). Assessment of watershed health, vulnerability and resilience for determining protection and restoration priorities. *Environmental Modelling and Software* 122: 103926. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.03.014.
4. Alaei, N., Mostafazadeh, R., Esmaliouri, A., Sharari, M., & Hazbavi, Z. (2020). Assessment and comparison of landscape connectivity in KoozehTopraghi watershed, Ardabil province. *Iranian Journal of Applied Ecology 8*(4): 19-34. (In Persian with English abstract)
5. Bihamta, M.R., & Zare Chahouki, M.A. (2016). *Principles of statistics for the natural resources science (Fourth ed.)* (p. 300). Tehran: Tehran Univer-sity Publication. (In Persian)
6. Ebrahimi Gatkash, Z., & Sadeghi, S.H.R. (2022). Combined application of pressure-state-response and strategic planning approaches in integrated and problem-oriented management f the Makhsaz watershed in western Mazandaran, Iran. *Journal of Water and Soil Resources Conservation 11*(3): 89-109. (In Persian with English abstract)
7. Ebrahimi, P., Salajegheh, A., Mohseni Saravi, M., Malekian, A., & Sadoddin, A. (2018). Watershed health prediction based on surface water quality variables (case study: Taleghan watershed). *Geography and Environmental Sustainability 8*(1): 1-13. (In Persian)
8. Esty, D.C., Levy, M., Srebotnjak, T., & De Sherbinin, A. (2005). Environmental sustainability index: benchmarking national environmental stewardship. *New Haven: Yale Center for Environmental Law & Policy* 47-60.
9. Hazbavi, Z., & Sadeghi, S.H.R. (2016a). Watershed health (Part two): Pressure, state and response conceptual model, *Extension and Development of Watershed Management 4*(15): 25-30. (In Persian with English abstract)
10. Hazbavi, Z., & Sadeghi, S.H.R. (2016b). Watershed health characterization using reliability-resilience-vulnerability conceptual framework based on hydrological responses. *Land Degradation and Development 28*(5): 1528-1537. https://doi.org/10.1002/ldr.2680.
11. Hazbavi, Z., Keesstra, S.D., Nunes, J.P., Baartman, J.E.M., Gholamalifard, M., & Sadeghi, S.H.R. (2018). Health comparative comprehensive assessment of watersheds with different climates. *Ecology Indic* 93: 781–790. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.078.
12. Hazbavi, Z., Parchami, N., Alaei, N., & Babaei, L. (2020). Assessment and analysis of the Koozeh Topraghi Watershed health status, Ardabil Province, Iran. *Journal of Soil and Water Resources Conservation 9*(3): 121-142. (In Persian with English abstract)
13. Hazbavi, Z., Sadeghi, S.H.R., & Gholamalifard, M. (2017). *Comparative analysis of the variability of health assessment indicators of pressure, state and response in Shazand watershed*. The 13th National Conference of Iran Watershed Science and Engineering. (In Persian with English abstract)
14. Hazbavi, Z., Sadeghi, S.H.R., Gholamalifard, M., & Davudirad, A.A. (2020). Watershed health assessment using the pressure–state–response (PSR) framework. *Land Degradation and Development* 31: 3-19. https://doi.org/10.1002/ldr.3420.
15. Jin, Y., Yang, W., Sun, T., Yang, Zh., & Li, M. (2015). Effects of seashore reclamation activities on wetlands ecosystem, A case study in Yellow River Delta, China, *Ocean & Coastal Management* 123: 44-52.
16. Liu, X., Zhang, Z., Li, M., Fu, Y., & Hui, Y. (2022). Ecological source identification based on the PSR model framework and structural features: a case study in Tianjin, China. *Arabian Journal of Geosciences 15*(9): 1-17.
17. Mallya, G., Hantush, M., & Govindaraju, R.S. (2018). Composite measures of watershed health from a water quality perspective. *Journal of Environmental Management* 214: 104-124. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.049.
18. Mahdavi. (2013). *Applied hydrology*. Volume 2. Tehran University Publications, 8th edition.
19. Momenian, P., Nazarnejhad, H., Miryaghoubzadeh, M., & Mostafazadeh, R. (2018). Assessment and prioritizing of subwatersheds based on watershed health scores (case study: Ghotorchay, Khoy, West Azerbaijan). *Journal of Watershed Management Research 9*(17): 1-13. (In Persian with English abstract)
20. Mosaffaie, J., Salehpour Jam, A., Tabatabaei, M.R., & Kousari, M.R. (2021). Trend assessment of the watershed health based on DPSIR framework. *Land Use Policy* 100: 104911. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104911.
21. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) (2001). OECD Environmental Indicators: Towards Sustainable Development, Organization for Economic Cooperation and Development, Paris.
22. Rani, G., Kaur, J., Kumar, A., & Yogalakshmi, K.N. 2019. *Ecosystem health and dynamics*: *An indicator of global climate change*. Contemporary Environmental Issues and Challenges in Era of Climate Change, Springer, Singapore 1-23 p.
23. Sadeghi, S.H.R., & Hazbavi, Z. (2016). Watershed health (Part one): reliability, resilience and vulnerability conceptual model. *Journal of Extension and Development of Watershed Management 4*(14):39-42. (In Persian with English abstract)
24. Sadeghi, S.H.R., Ebrahimi, Z., Jafari, F., & Farzi, P. (2017). *Assessing the health of the Asiab Rood watershed with the conceptual model of pressure-state-response*, the 13th National Conference on Watershed Science and Engineering and the 3rd National Conference on Protection of Natural Resources and Environment with a focus on Watershed Management and Protection of Natural Resources and Environment, Ardabil, https://civilica

.com/doc/827403. (In Persian with English abstract).
25. Sadeghi, S.H.R., Hazbavi, Z., & Gholamalifard, M. (2019). Interactive impacts of climatic, hydrologic and anthropogenic activities on watershed health. *Science of the Total Environment* 648, 880-893. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.004.
26. Sadeghi, S.H.R., Vafakhah, M., Moosavi, V., Pourfallah Asadabadi, S., Sadeghi, P.S., Khaledi Darvishan, A., Bagheri Fahraji, R., Mosavinia, S.H., Majidnia, A., Gharemahmudli, S., & Rekabdarkolaei, H.M. (2022). Assessing the health and ecological security of a human induced watershed in central Iran. *Ecosystem Health and Sustainability 8*(1): p.2090447. https://doi.org/10.1080/20964129.2022.2090447.
27. Sadeghi, S.H.R., Sadoddin, A., Asadi Neivan, O.A., Zarekarizi, A., & Moayeri, M.H. (2019). *Watershed health and sustainability (fundamentals, approaches and assessment methods).* Tarbiat Modares University Press. First edition, 218 pages. https://doi.org/10.22067/jwsd.v5i2.69177.
28. Sadoddin, A., Sadeghi, S.H.R. Zaregarizi, A., Hizbavi, Z., & Asdinalivan, A. (2017). *Presenting an index-based framework for comprehensive assessment of the health and sustainability of watersheds with an emphasis on future research*, the 13th National Conference on Watershed Science and Engineering of Iran and the 3rd National Conference on Protection of Natural Resources and Environment, October 10 and 11, 2017, Mohaghegh Ardabili University, 1-7. (In Persian with English abstract)
29. Supplementary studies of flood and delay control dams in the watershed. (2019). Abar Fars Consulting Engineers Co.
30. Yang, W., Jin, Y., Sun, T., & Li, M. (2015). *Effects of seashore reclamation activities on Wetlands ecosystem, a case study in yellow river Delta*. E-proceedings of the 36th IAHR World Congress, The Hague, the Netherlands. 28 June- 3 July, 2015: 1-3.
31. Zhang, Sh., Xiang, M., Xu, Z., Wang, L., & Zhang, Ch. (2020). Evaluation of water cycle health status based on a cloud model. *Journal of Cleaner Production* 245: 118850. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118850.