Integrated Watershed Management, Spring, 2025, 5(1), 1-18 **Article Type: Review**

doi: 10.22034/iwm.2024.2033191.1160 **Online ISSN: 2783-4581**

Comparative analysis of watershed health and sustainability assessment models and indicators with a focus on improving management decision-making

Ehsan Fathi[1], Ali Talebi[1]*, Mohammadreza Ekhtesasi[1], Jamal Mosaffaie[2]

1. Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University. Yazd. Iran
2. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

* **Corresponding author**: talebisf@yazd.ac.ir

(Received: 20 Jun 2024 Revised: 16 August 2024 Accepted: 03 September 2024)

Extended Abstract

Introduction: Watershed management refers to a set of actions and methods aimed at protecting and improving the quality and quantity of water and soil resources in these areas. The goal of this management is to reduce soil erosion, control floods, improve water quality, and preserve biodiversity. Assessing the health and sustainability of watersheds is a valuable tool for identifying and determining appropriate management strategies for the various human, ecological, and managerial aspects of the watershed. In this context, various methods and indicators have been developed to assess watershed health and sustainability, allowing for the determination of their health status and sustainability levels. This study aims to review some of the methods and indicators used in assessing watershed health and sustainability, such as the Watershed Sustainability Index (WSI), the Enhanced Water Poverty Index (EWPI), the RRV conceptual model, the PSR framework, and the Watershed Health Assessment Framework (WHAF).

Materials and methods: This research, as a review study, examines and analyzes various indicators and models for assessing the health and sustainability of watersheds. indicators such as the WSI, which includes four sub-indicators; hydrology, environment, life, and policy and the EWPI, which consists of five sub-indicators; resources, access, capacity, use, and environment have been reviewed. Additionally, the Pressure-State-Response (PSR) conceptual model, which utilizes criteria and indicators such as hydrology, human factors, climate, and other related factors, has been analyzed. The RRV model, which combines three indicators; reliability, resilience, and vulnerability to measure the efficiency of a system, has also been examined. Finally, the WHAF index, with its five sub-indicators; hydrology, geomorphology, water quality, connectivity, and biology has been studied. The data required for utilizing these indicators and models are collected from various sources, such as regional water authorities, agricultural organizations, completing questionnaires, and software like RS and GIS. These data include environmental, socio-economic information, and various qualitative aspects, which are essential for a precise and comprehensive assessment of watershed health and sustainability.

Results and Discussion: The analysis indicates that each of the presented indicators and models has its own specific strengths and weaknesses and can be utilized under different conditions and for varying objectives. The WSI provides a useful tool for a comprehensive evaluation of watershed sustainability, with the capability to analyze various dimensions of sustainability, including both physical and human aspects. However, the need for precise and extensive data for each sub-indicator is one of the main challenges in using it. The EWPI emphasizes water poverty and resource management, with a stronger focus on economic aspects and access to resources. This index can help identify areas that face challenges in accessing water resources. However, its drawbacks include incomplete coverage of environmental aspects and the lack of consideration for spatial and temporal changes. The PSR model, by integrating various criteria, provides a comprehensive assessment of the pressures on the watershed and the existing management responses. This model is particularly effective in identifying the strengths and weaknesses of watershed management systems and can be utilized as a tool to support managerial decision-making. The RRV model assesses the sustainability of systems based on their ability to cope with changes and threats. This model is well-suited for evaluating the effectiveness of management systems and predicting vulnerable points. The WHAF index provides a comprehensive framework for assessing watershed health. This index is particularly useful for a thorough analysis of the environmental status of the watershed. However, effective use of the WHAF index requires comprehensive and accurate data across all relevant areas.

Conclusions: Overall, the findings of this review study indicate that the use of various indicators and models can enhance the understanding of watershed health and sustainability. However, challenges such as data scarcity, the need for extensive spatial and temporal coverage, and the lack of consideration for all environmental aspects in some of these models and indicators are observed. Therefore, the selection of the appropriate indicator or model should be based on the specific conditions of the watershed and the management objectives to achieve the best outcomes. Future research is recommended to evaluate the effectiveness and accuracy of these indicators and models in real-world conditions through statistical methods and practical implementation in various study areas. Such studies could contribute to the further improvement of these tools and enhance their applicability in water resource management and environmental conservation.

Keywords: Ecosystem, Environmental Policymaking, Hydrology, Sustainable Management, Watershed Conservation

Citation: Fathi, E., Talebi, A., Ekhtesasi, M., & Mosaffaie, J. (2025). Comparative analysis of watershed health and sustainability assessment models and indicators with a focus on improving management decision-making. *Integrated Watershed Management*, 5(1), 1-18. doi= 10.22034/iwm.2024.2033191.1160

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، سال پنجم، شماره اول، بهار ۱۴۰۴، (۱۸-۱)
نوع مقاله: مروری
شاپا الکترونیکی: ۴۵۸۱-۲۷۸۳
doi: 10.22034/iwm.2024.2033191.1160

تحلیل مقایسه‌ای مدل‌ها و شاخص‌های ارزیابی سلامت و پایداری آبخیز با تمرکز بر بهبود تصمیم‌گیری مدیریتی

احسان فتحی[۱]، علی طالبی[۲*]، محمدرضا اختصاصی[۳]، جمال مصفایی[۴]

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ایران

۲. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

***نویسنده مسئول:** talebisf@yazd.ac.ir

(**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۳/۰۳/۳۱ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۳/۰۵/۲۶ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۶/۱۳)

چکیده مبسوط

مقدمه: مدیریت حوزه آبخیز به مجموعه‌ای از اقدامات و روش‌ها اشاره دارد که برای حفاظت و بهبود کیفیت و کمیت منابع آب‌وخاک به کار می‌رود. هدف از این مدیریت، کاهش فرسایش خاک، کنترل سیلاب‌ها، بهبود کیفیت آب و حفظ تنوع زیستی است. ارزیابی سلامت و پایداری آبخیزها ابزار مفیدی برای تعیین و تشخیص راهکارهای مدیریتی مناسب برای بخش‌های مختلف انسانی، بوم‌شناختی و مدیریتی آبخیز است. در این راستا، روش‌ها و شاخص‌هایی مختلفی برای ارزیابی سلامت و پایداری حوزه آبخیز توسعه یافته‌اند که بر اساس آن‌ها می‌توان درجه‌ی سلامت و سطح پایداری آبخیزها را تعیین نمود. هدف از این پژوهش، مروری بر برخی از روش‌ها و شاخص‌های ارزیابی سلامت و پایداری حوزه آبخیز مانند شاخص پایداری حوزه آبخیز (WSI)، شاخص اصلاح‌شده فقر آبی (EWPI)، مدل مفهومی RRV، مدل مفهوم PSR و چارچوب ارزیابی سلامت آبخیز (WHAF) می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به‌عنوان یک مطالعه مروری، به بررسی و تحلیل شاخص‌ها و مدل‌های مختلف ارزیابی سلامت و پایداری حوزه آبخیز می‌پردازد. در این راستا، شاخص‌هایی مانند WSI شامل چهار زیرشاخص هیدرولوژی، محیط‌زیست، زندگی و سیاست، و شاخص EWPI شامل پنج زیرشاخص منابع، دسترسی، ظرفیت، استفاده و محیط‌زیست مورد بررسی قرار گرفته‌اند. همچنین، مدل مفهوم PSR (فشار- وضعیت - پاسخ) که از معیارها و شاخص‌هایی مانند هیدرولوژی، انسان، اقلیم و سایر عوامل مرتبط استفاده می‌کند، تحلیل‌شده است. مدل RRV نیز که از سه شاخص پایایی، انعطاف‌پذیری و آسیب‌پذیری به‌صورت ترکیبی برای اندازه‌گیری کارایی یک سامانه بهره می‌گیرد، بررسی گردیده است. درنهایت، شاخص WHAF با پنج زیرشاخص هیدرولوژی، ژئومورفولوژی، کیفیت آب، ارتباط و زیست‌شناسی نیز موردمطالعه قرار گرفته است. داده‌های موردنیاز برای استفاده از این شاخص‌ها و مدل‌ها از منابع مختلفی مانند شرکت آب منطقه‌ای، جهاد کشاورزی، تکمیل پرسش‌نامه‌ها و استفاده از نرم‌افزارهای سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) جمع‌آوری می‌گردد. این داده‌ها شامل اطلاعات محیط‌زیست، اقتصادی-اجتماعی و جنبه‌های کیفی مختلفی می‌باشند که برای ارزیابی دقیق و جامع سلامت و پایداری حوزه آبخیز ضروری هستند.

نتایج و بحث: تحلیل‌ها نشان می‌دهد که هر یک از شاخص‌ها و مدل‌های مطرح‌شده دارای نقاط قوت و ضعف خاص خود هستند و می‌توانند در شرایط مختلف و برای اهداف متفاوت به کار گرفته شوند. شاخص WSI ابزار مفیدی برای ارزیابی جامع پایداری حوزه آبخیز ارائه می‌دهد. این شاخص توانایی تحلیل ابعاد مختلف پایداری، ازجمله جنبه‌های فیزیکی و انسانی را دارد، اما نیاز به داده‌های دقیق و گسترده برای هر زیرشاخص، یکی از چالش‌های اصلی استفاده از آن است. شاخص EWPI با تأکید بر فقر آبی و مدیریت منابع آب، بیشتر بر جنبه‌های اقتصادی و دسترسی به منابع تمرکز دارد. این شاخص می‌تواند به شناسایی مناطقی که در دسترسی به منابع آب با مشکل مواجه‌اند، کمک کند. بااین‌حال، عدم پوشش کامل جنبه‌های محیط‌زیستی و تغییرات مکانی و زمانی از معایب این شاخص است. مدل PSR با ترکیب معیارهای مختلف، به ارزیابی جامع از فشارهای وارد بر حوزه آبخیز و پاسخ‌های مدیریتی موجود می‌پردازد. این مدل به‌ویژه در شناسایی نقاط ضعف و قوت سامانه‌های مدیریت حوزه آبخیز مؤثر است و می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های مدیریتی به کار رود. مدل RRV ارزیابی پایداری سامانه‌ها را با توجه به توانایی آن‌ها در مقابله با تغییرات و تهدیدات انجام می‌دهد. این مدل به‌خوبی می‌تواند برای ارزیابی کارایی سامانه‌های مدیریتی و پیش‌بینی نقاط آسیب‌پذیر استفاده شود. شاخص WHAF با پنج زیرشاخص هیدرولوژی، ژئومورفولوژی، کیفیت آب، ارتباط و زیست‌شناسی، یک چارچوب جامع برای ارزیابی سلامت آبخیز فراهم می‌کند. این شاخص به‌ویژه در تحلیل جامع وضعیت محیط‌زیستی حوزه آبخیز مفید است، اما برای استفاده مؤثر نیاز به داده‌های جامع و دقیق در تمامی زمینه‌ها دارد.

نتیجه‌گیری: درمجموع، یافته‌های این مطالعه مروری نشان می‌دهد که استفاده از شاخص‌ها و مدل‌های مختلف می‌تواند به درک بهتر وضعیت سلامت و پایداری حوزه آبخیز کمک کند. بااین‌حال، چالش‌هایی مانند کمبود داده‌ها، نیاز به پوشش گسترده مکانی و زمانی، و عدم در نظر گرفتن تمامی جنبه‌های محیط‌زیستی در برخی از این مدل‌ها و شاخص‌ها مشاهده می‌شود. به همین دلیل، انتخاب شاخص یا مدل مناسب باید بر اساس شرایط خاص حوزه آبخیز و اهداف مدیریتی موردنظر انجام شود تا بهترین نتایج حاصل شود. توصیه می‌شود پژوهش‌های آینده با استفاده از روش‌های آماری و پیاده‌سازی عملی این شاخص‌ها و مدل‌ها در مناطق مطالعاتی مختلف، کارایی و دقت آن‌ها را در شرایط واقعی ارزیابی کنند. این مطالعات می‌توانند به بهبود بیشتر این ابزارها و کاربردی‌تر شدن آن‌ها در مدیریت منابع آب و حفظ محیط‌زیست کمک کنند.

واژه‌های کلیدی: بوم‌سازگان، حفاظت از آبخیز، سیاست‌گذاری محیط‌زیست، مدیریت پایدار، هیدرولوژی

استناد: فتحی، الف.، طالبی، ع.، اختصاصی، م. ر.؛ و مصفائی، ج. (۱۴۰۴). تحلیل مقایسه‌ای مدل‌ها و شاخص‌های ارزیابی سلامت و پایداری آبخیز با تمرکز بر بهبود تصمیم‌گیری مدیریتی. *مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز*، ۵(۱)، ۱۸-۱.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وب‌سایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

آبخیزها یک سامانه اجتماعی- بوم‌شناختی هستند (Gari *et al.*, 2018) که از واحدهای تعاملی متعددی مانند رودخانه‌ها، نهرها، تالاب‌ها، مخازن، سدها و انشعابات، همراه با شهرها و انسان‌ها تشکیل‌شده‌اند (Cai & Zhang, 2018). حوزه آبخیز به‌عنوان یک واحد برنامه‌ریزی و مدیریتی با لحاظ تمام ابعاد اقتصادی- اجتماعی، فیزیکی، بوم‌شناختی، فنی و سازمانی موردقبول جامعه علمی قرارگرفته است (Morrison *et al.*, 2017; Hazbavi *et al.*, 2018). آبخیزهای سالم، خدمات بوم‌شناختی بسیاری در زمینه‌های مختلف چون اجتماعی و رفاه اقتصادی ارائه می‌دهند، همچنین پایداری آبخیز چهار هدف مهم یعنی تنظیم رژیم جریان آب، حفظ و بهبود کیفیت آب، حفظ کیفیت بوم‌شناختی گیاهی و جانوری و منابع انرژی را مدنظر قرار می‌دهد (Mohamadi & Dastorani, 2017)، اما امروزه حوزه‌های آبخیز تحت تأثیر نامطلوب عوامل مختلف طبیعی و انسانی قرارگرفته‌اند. به‌نحوی‌که افزایش تقاضا و رقابت برای دست‌یابی به منابع طبیعی بیش‌تر و باکیفیت‌تر موجب ناپایداری اجتماعی و سیاسی شده که درنهایت عدم امنیت غذایی، فقر، نزاع و مهاجرت را در پی خواهد داشت (Cowie *et al.*, 2018). در این راستا، ارزیابی سلامت و پایداری آبخیزها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است تا بتوان ضمن مدیریت بهینه منابع، از تأثیرات منفی بر جامعه و محیط‌زیست جلوگیری کرد.

بیان مسئله

۱- سلامت آبخیز

مفهوم سلامت آبخیز عمدتاً برای ویژگی‌های زیستگاهی و هیدرو ژئومورفولوژیکی به‌کاربرده می‌شود. سلامت آبخیز به حفظ وضعیت عادی سامانه پیچیده آبخیز اشاره دارد (Mosaffaie *et al.*, 2021). افزایش جمعیت، جنگل‌زدایی و چرای مفرط باعث افزایش فرسایش خاک و هدررفت منابع آب‌وخاک شده و وضعیت سلامت حوزه‌های آبخیز را تحت تأثیر قراردادهاست. به‌نحوی‌که مفهوم سلامت بوم‌سازگان مطرح و روش‌های ارزیابی آن در طول زمان نیز پیشرفت کرده است (Suo *et al.*, 2008). مفهوم سلامت آبخیز، ریشه در علوم پزشکی دارد و برای شناسایی معیارهای بیماری زمین توسعه پیداکرده است (Liu & Hao, 2017). این مفهوم اولین بار توسط Rapport و همکاران (۱۹۸۵) مطرح شد. براین‌اساس سلامت بوم‌سازگان درواقع پتانسیل بوم‌سازگان در راستای حفظ و نگه‌داری ساختمان، خودتنظیمی و احیای مجدد توان خود پس از ایجاد تنش‌ها می‌باشد (Mirchooli & Sadeghi, 2019). ارزیابی سلامت بوم‌سازگان می‌تواند برای تعیین درجه تخریب سامانه و میزان تخریب ایجادشده در اثر عوامل فیزیکی و یا فعالیت‌های بشر استفاده شود (Jia *et al.*, 2015). به‌این‌ترتیب هرگاه ساختار خودتنظیمی بوم‌سازگان به دلیل تأثیر اثر عوامل مختلف رو به تخریب باشد رفتار بوم‌سازگان برای انسان خطرزا خواهد بود؛ بنابراین حفظ سلامت بوم‌سازگان برای دستیابی به توسعه اقتصادی و اجتماعی پایدار ضروری است؛ زیرا بوم‌سازگان‌های طبیعی و آبخیزهای سالم خدمات ضروری را برای انسان و عملکردهای بوم‌شناختی ارائه می‌دهد (Hamel *et al.*, 2018; Ervinia *et al.*, 2019).

۲- پایداری آبخیز

پایداری وضعیتی است که در آن مطلوبیت و امکانات موجود در طول زمان کاهش نمی‌یابد و به توانایی بوم‌سازگان‌ها برای تداوم کارکرد و ارائه خدمات در آینده طولانی مربوط می‌شود بدون آنکه به تحلیل و یا بار بیش‌ازحد منابع منجر شود (Sadeghi *et al.*, 2016). یک حوزه آبخیز پایدار باید ساختار و عملکرد لازم برای حفظ کارکرد و ارائه خدمات خود درازمدت را داشته باشد. در ارزیابی پایداری حوزه آبخیز باید ابعاد اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی به‌عنوان ابعاد اصلی و مؤثر بر پایداری در نظر گرفته شود. همچنین به ارتباط بین انسان و محیط‌زیست توجه کرد. به‌علاوه در

ارزیابی پایداری حوزه آبخیز بایستی حفظ وضعیت سالم حوزه آبخیز در ابعاد اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی و حفظ منابع موجود در نسل‌های فعلی و آینده در طولانی‌مدت مدنظر قرار گیرد (Mirchooli, Sadeghi & 2019). تاکنون پژوهش‌های متعددی در نقاط مختلف جهان و از دیدگاه‌های متفاوت به ارزیابی سلامت و پایداری حوزه آبخیز پرداخته‌اند. به‌عنوان‌مثال می‌توان به Sun و همکاران (۲۰۱۷)؛ Sadeghi و همکاران (۲۰۱۹)؛ Zhang و همکاران (۲۰۲۰) و Nikouei همکاران (۲۰۲۲) اشاره کرد.

۳-ضرورت وحدت رویه در انتخاب شاخص‌ها

وضعیت سلامت بوم‌سازگان‌های مختلف جهان روند رو به تخریبی را طی می‌کنند؛ بنابراین ارزیابی سلامت بوم‌سازگان‌ها برای دستیابی به پایداری آبخیزها و تضمین تداوم ارائه خدمات و کارکردهای آنها ضروری می‌باشد (Peng *et al.*, 2017)؛ لذا می‌بایست روش‌هایی توسعه یابند که بتوان بر اساس آنها درجه‌ی سلامت و سطح پایداری آبخیزها را تعیین نمود. در همین راستا، طی سال‌های گذشته شاخص‌ها، روش‌ها و رویکردهای متفاوتی برای ارزیابی پایداری متناسب با شرایط بوم‌شناختی، محیط‌زیستی، حاکمیتی و قابلیت دسترسی به داده‌های موردنیاز برای ارزیابی سلامت و پایداری آبخیزها مورداستفاده قرارگرفته‌اند. ازجمله این روش‌ها که از طریق ترکیب و تلفیق معیارها و شاخص‌های متناسب و مناسب که نمایانگر شرایط منطقه باشد و برای ارزیابی پایداری و سلامت زیست‌بوم‌ها ارائه‌شده است، می‌توان به شاخص پایداری حوزه آبخیز (WSI[1])، شاخص اصلاح‌شده فقر آبی (EWPI[2])، مدل مفهومی فشار، وضعیت و پاسخ (PSR[3])، مدل شاخص محور و مفهومی پایایی، انعطاف‌پذیری و آسیب‌پذیری (RRV[4]) و روش چارچوب ارزیابی سلامت آبخیز (WHAF[5]) اشاره کرد که در ادامه به معرفی آن‌ها پرداخته می‌شود.

برای شناسایی سلامت و پایداری آبخیزها، تعیین شاخص‌های مناسب و قابل‌اطمینان امری حیاتی است. این شاخص‌ها می‌توانند به‌عنوان راهنمای مهم در شناسایی سلامت و پایداری آبخیزها استفاده شوند. در حال حاضر، شاخص‌های مختلفی برای سنجش سلامت و پایداری و توسعه پایدار مورداستفاده قرار می‌گیرند، اما هنوز اجماع کاملی در خصوص انتخاب و استفاده از آنها توسط تمامی صاحب‌نظران جهانی حاصل نشده است. این موضوع ممکن است به دلیل تنوع گسترده اهداف توسعه پایدار و شرایط محیطی و اجتماعی متفاوت در سطح جهان باشد. بااین‌حال، در سال‌های اخیر، تلاش‌های فراوانی برای تعیین و استفاده از شاخص‌های مناسب برای اندازه‌گیری تحقق اهداف توسعه پایدار صورت گرفته است و بسیاری از این شاخص‌ها در گزارش‌ها و مطالعات مربوط به‌سلامت و پایداری استفاده می‌شود. این وضعیت نشان‌دهنده پیشرفت در جهت یافتن راه‌حل‌های مشترک برای سنجش پایداری است، اما همچنان نیاز به کار دقیق‌تر و هماهنگ‌تر در این زمینه وجود دارد. به‌طورکلی، توسعه و استفاده از شاخص‌های مناسب برای سنجش سلامت و پایداری یک چالش چندبعدی است که نیازمند همکاری بین کشورها و نهادهای بین‌المللی است. با توجه به اینکه حوزه‌های آبخیز مناسب‌ترین واحدها برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب‌وخاک هستند و خدمات زیادی به موجودات زنده به‌ویژه انسان‌ها ارائه می‌دهند، لذا هدف از این پژوهش، معرفی روش‌هایی برای ارزیابی سلامت و پایداری آبخیزها است تا با استفاده از آن‌ها به سیاست‌گذاران، مدیران و تصمیم‌گیران درزمینه برنامه‌ریزی آینده و آمایش

1- Watershed Sustainability Index
2- Enhanced Water Poverty Index
3- Pressure-State-Response
4- Reliability-Resilience-Vulnerability
5- Watershed Health Assessment Framework

سرزمین جهت افزایش سلامت و پایداری آبخیزها کمک نماید.

بیان روش‌ها

ارزیابی سلامت و پایداری آبخیزها به دلیل پیچیدگی‌های سامانه‌های اجتماعی- بوم‌شناختی و تأثیرات گسترده عوامل انسانی و طبیعی بر این سامانه‌ها، نیازمند رویکردهای چندبعدی و شاخص‌های متنوعی است. در این تحقیق، برای ارزیابی دقیق و جامع سلامت آبخیزها، اقدام به معرفی چندین شاخص و مدل مختلف شده است. این شاخص‌ها و مدل‌ها هر یک ابعاد متفاوتی از پایداری و سلامت آبخیزها را موردبررسی قرار می‌دهند.

۱- شاخص پایداری (WSI)

این شاخص، شاخص پایداری حوضه می‌باشد که نخستین بار توسط چاوز و آلیپاز در سال ۲۰۰۷ استفاده شد که ۴ بخش هیدرولوژی، محیط‌زیست، زندگی و سیاست را در برمی‌گیرد و ارزیابی یکپارچه‌ای را از وضعیت فعلی مدیریت یک حوزه آبخیز برای یک دوره‌ی خاص از زمان را فراهم می‌کند. هرکدام از ۴ بخش این شاخص دارای سه مؤلفه فشار (فشار ناشی از فعالیت‌های انسانی واردشده بر حوضه)، وضعیت (ارزیابی کیفیت حوضه در سال پایه‌ی مطالعه و همین‌طور کیفیت و کمیت منابع طبیعی) و پاسخ (پاسخ به بررسی سطح جامعه از تمایل برای رسیدگی به مشکلات محیط‌زیستی در حوضه) می‌باشند (Chaves & Alipaz, 2007; Catano *et al.*, 2009).

شاخص WSI به‌طور خاص برای حوزه آبخیز به وجود آمده و حداکثر برای مساحت ۲۵۰۰ کیلومترمربع مناسب است و با استفاده از رابطه ۱ به دست می‌آید.

$$WSI = \frac{H+E+L+P}{4} \quad (1)$$

در این رابطه WSI، شاخص پایداری حوضه، H زیرشاخص هیدرولوژیکی، E زیرشاخص محیط‌زیست، L زیرشاخص زندگی، P زیرشاخص سیاست است. وزن همه‌ی شاخص بین صفر تا یک می‌باشد (Chavez & Alipaz., 2007).

طبقه‌بندی نهایی WSI در سه سطح می‌باشد (جدول ۱). در جدول ۲ نیز زیرشاخص‌ها، به همراه پارامترهای فشار، وضعیت و پاسخ آورده شده است.

جدول ۱- طبقه‌بندی سطوح پایداری حوزه آبخیز با WSI

Table 1- Classification of watershed sustainability levels with WSI

سطح پایداری آبخیز	مقدار WSI
پایین	0.5> WSI
متوسط	0.8 > WSI > 0.5
بالا	WSI>0.8

جدول ۲- خلاصه‌ای از شاخص WSI و پارامترهای فشار، وضعیت و پاسخ

Table 2- Summary of WSI index and PSR parameters

زیرشاخص	پارامتر فشار	پارامتر وضعیت	پارامتر پاسخ
هیدرولوژی	تغییرات درسرانه آب دسترسی	آب در دسترس در حوزه (شاخص فالکن‌مارک)	بهبود در بهره‌وری مصرف آب
	تغییرات BOD_5	متوسط بلندمدت BOD_5 حوضه	بهبود در تصفیه یا دفع فاضلاب
محیط‌زیست	E.P.I حوضه	درصد مساحت پوشش گیاهی طبیعی	تکامل در مناطق حفاظت‌شده حوضه
زندگی	تغییرات HDI (درآمد) در حوضه	HDI حوضه	تکامل در شاخص توسعه انسانی در حوضه
سیاست	تغییرات HDI (تحصیلات) در حوضه	ظرفیت نهادی در مدیریت یکپارچه منابع آب	تکامل در هزینه‌های مدیریت منابع آب در حوضه

۲- شاخص اصلاح‌شده فقر آبی (EWPI)

شاخص اصلاح‌شده فقر آبی شامل ۵ مؤلفه‌ی منابع (R^6)، ظرفیت (C^7)، دسترسی (A^8)، استفاده (U^9)، و محیط‌زیست (E^{10})، می‌باشد (Giné Garriga & Perez Fogute, 2010)؛ که هرکدام از این مؤلفه‌ها دارای سه پارامتر فشار (P^{11})، وضعیت (S^{12}) و پاسخ (R^{13}) هستند (جدول ۳) (Chaves & Alipaz, 2007; Catano *et al.*, 2009).

جدول ۳- خلاصه‌ای از شاخص EWPI و پارامترهای فشار، وضعیت و پاسخ

Table 3- Summary of EWPI index and PSR parameters

معیار		پارامتر فشار	پارامتر وضعیت	پارامتر پاسخ
منابع	جمعیت	درصد رشد جمعیت حوضه	دسترسی به آب در حوضه	HDI - زیرشاخص آموزش
	آب	درصد تغییرات در سرانه آب	سرانه آب در دسترس در حوضه	کافی بودن ظرفیت ذخیره‌سازی آب
دسترسی	امنیت آب	درصد تغییرات در دسترسی به آب سالم	درصد جمعیت شهرستان با دسترسی به آب سالم	بهبود در بودجه مربوط به زیرساخت‌های بخش آب
	بهداشت	درصد تغییرات در دسترسی به بهداشت	درصدی از جمعیت که به بهداشت دسترسی دارند.	بهبود در بودجه بخش بهداشت
ظرفیت	اجتماعی	درصد تغییرات HDI	میزان کنونی HDI	سطح آموزش سرپرست خانوار
	اقتصادی	درصد جمعیت فعال اقتصادی	درصد نرخ بیکاری	سرانه درآمد یک فرد در روز به دلار
استفاده	خانگی	درصد تغییرات در سرانه مصرف آب خانگی	سرانه مصرف روزانه آب خانگی شهرستان به لیتر	بهره‌وری استفاده از آب خانگی
	کشاورزی	درصد تغییرات در سرانه مصرف آب بخش کشاورزی	نسبت زمین‌های زیر کشت زراعی به کل زمین‌های قابل‌کشت زراعی	بهبود در بهره‌وری آب کشاورزی
محیط‌زیست		فشار محیط‌زیستی	درصد پوشش گیاهی طبیعی	رشد و پیشرفت در فعالیت‌های حفاظتی حوزه آبخیز

مقدار عددی به‌دست‌آمده برای هر جزء بین صفر تا ۲۰ بوده جمع آنها با یکدیگر مقدار نهایی شاخص EWPI هر منطقه را نشان می‌دهد، که عددی بین صفر تا صد می‌باشد (رابطه ۲). در جدول ۴ نیز طبقه‌بندی این شاخص آورده شده است.

$$EWPI = R + A + C + U + E \qquad (۲)$$

جدول ۴- طبقه‌بندی وضعیت شاخص اصلاح‌شده فقر آبی (Lawrence *et al.*, 2002)

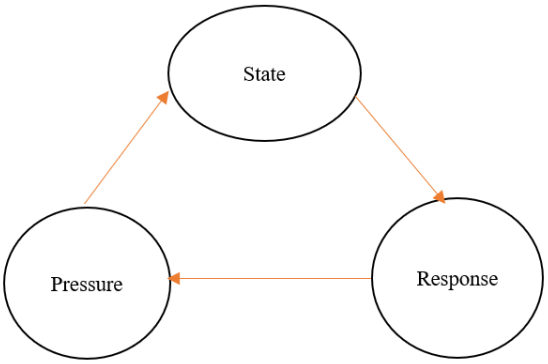
Table 4- Status classification of EWPI (Lawrence et al., 2002)

مقدار شاخص	80 - 100	60 - 80	40 - 60	20 - 40	0 -20
وضعیت WPI	خیلی‌کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی‌زیاد

6- Resources
7- Capacity
8- Access
9- Use
10- Environment
11- Pressure
12- State
13- Response

۳- رویکرد PSR

مدل مفهومی PSR برای اولین بار توسط Friends و Raport در سال ۱۹۷۹ پیشنهاد شد و در سال ۱۹۹۲ پیرو توافق نمایندگان کشورهای هلند، نروژ و ایالات‌متحده و سایر کشورهای عضو سازمان توسعه و همکاری اقتصادی (OECD[14]) در خصوص عملکرد محیط‌زیست کشورها مطرح و تهیه شد. این چارچوب بر اساس مفهوم علیت ارائه‌شده است. بر اساس مفاهیم حاکم بر آن هرگونه فعالیت انسانی بر زیست‌بوم فشار (P) وارد کرده و کمیت و کیفیت منابع طبیعی آن را در وضعیت و حالت (S) خاص قرار می‌دهد؛ بنابراین زیست‌بوم در برابر فشار وارده، یک نوع پاسخ یا عکس‌العمل (P) نشان خواهد داد (Hazbavi & Sadeghi, 2016). نحوه ارتباط بین شاخص‌های مدل PSR در شکل ۱ نشان داده‌شده است.



شکل ۱- نمایی از ارتباط بین شاخص‌های مورداستفاده در مدل مفهومی PSR (Niemeijer & Groot. 2008)

Figure 1- A view of the relationship between the indicators used in the PSR conceptual model (Niemeijer & Groot, 2008)

۴- مدل مفهومی RRV

در ابتدا مدل RRV در زمینه مدیریت سامانه‌های ذخیره و مخازن منابع آب توسط Hashimoto و همکاران (۱۹۸۲) مطرح و به‌طور موفقیت‌آمیزی برای تحلیل میزان موفقیت مخازن برای ذخیره آب موردنیاز به‌کاربرده شد. این مدل بر پایه سه شاخص پایایی، انعطاف‌پذیری و آسیب‌پذیری بنانهاده شده است. این سه شاخص به‌صورت ترکیبی به‌عنوان شاخص‌های مهم اندازه‌گیری کارایی یک سامانه محسوب می‌شوند (Sadeghi & Hazbavi, 2016).

شاخص‌های پایایی (R_{el})، به‌طورکلی شاخص پایایی، احتمال قرارگیری سامانه در وضعیت ایمن (بدون خطر شکست) اطلاق می‌شود. شاخص انعطاف‌پذیری (R_{es})، احتمال بازیابی یک سامانه از حالت خطر شکست به حالت ایمن در یک‌زمان معین را در نظر می‌گیرد. شاخص مزبور نشان می‌دهد وقتی‌که حالت شکست اتفاق می‌افتد، یک سامانه با چه سرعتی خود را از حالت شکست بازیابی می‌کند. شاخص آسیب‌پذیری (V_{ul})، یک واحد اندازه‌گیری از شدت وضعیت خطر شکست است. به عبارتی یک معیار اندازه‌گیری از شدت آسیب ایجادشده توسط یک واقعه شکست محسوب می‌شود (Sadeghi & Hazbavi, 2016).

۵- روش چارچوب ارزیابی سلامت آبخیز (WHAF)

جهت ارزیابی سلامت حوضه با روش سامانه‌ای، فرایندهای محیط‌زیستی به پنج جز مختلف تقسیم‌بندی شدند. این اجزا که رویکرد ثابتی را برای بررسی روابط پیچیده مؤثر بر سلامت حوضه فراهم می‌کنند عبارت‌اند از: ۱) وضعیت زیستی[15]، ۲) پیوستگی[16] ۳) ژئومرفولوژی[17] ۴) هیدرولوژی[18] و ۵) کیفیت آب[19].

پیوستگی از طریق تهیه نقشه موقعیت سازه‌های موجود در منطقه موردبررسی قرار می‌گیرد. در هر حوضه هرچقدر تراکم سازه بیشتر باشد، امتیاز سلامت کمتر

14- Organization for Economic Cooperation and Development
15- Biological condition
16- Continuity
17- Geomorphology
18- Hydrology
19- Water Quality

و هر حوضه که دارای تراکم سازه‌ای کمی باشد، امتیاز بیشتری را از نظر سلامت به خود اختصاص می‌دهد. به منظور محاسبه وضعیت زیستی، می‌توان از شاخص غنای منهینیک (MDI[20]) یا و شاخص تنوع مارگالف[۲۱] استفاده کرد. برای تعیین شاخص ژئومرفولوژی، نیاز به دو عامل فرسایش‌پذیری خاک و حساسیت‌پذیری اقلیم (بر اساس محاسبه تبخیر- تعرق) است. طبق روش WAHF اندازه‌گیری شاخص هیدرولوژی از طریق پارامترهایی چون پوشش گیاهی چندساله، سطوح غیرقابل نفوذ، برداشت آب و تلفات ذخیره می‌تواند در سنجش سلامت حوضه‌ها نقش بسزایی ایفا کند. به‌طورکلی، کیفیت آب با استفاده از پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مانند درجه حرارت، اکسیژن محلول، اسیدیته و قلیائیت، مواد مغذی، رسوبات و آلاینده‌ها و غیره تعیین می‌شود.

محاسبه شاخص سلامت کل حوضه طبق شاخص WHAF

به‌منظور محاسبه WHAF، ابتدا باید همه معیارها با روش استانداردسازی فاصله‌ای[۲۲] بر اساس امتیاز صفر تا ۱۰۰ استانداردسازی شوند. معیارها به دو گروه منفعت یا هزینه تقسیم‌شده و از روابط ۳ (سلامت) و ۴ (اثر معکوس) متناسب با هر گروه برای استانداردسازی مقادیر بهره گرفته شد (MDNR, 2021).

$$\text{امتیاز استاندارد} = \frac{\text{حداقل امتیاز} - \text{امتیاز هر معیار}}{\text{حداقل امتیاز} - \text{حداکثر امتیاز}} \quad (۳)$$

$$\text{امتیاز استاندارد} = 100 - \frac{\text{حداقل امتیاز} - \text{امتیاز هر معیار}}{\text{حداقل امتیاز} - \text{حداکثر امتیاز}} \quad (۴)$$

درنهایت بر اساس مطالعات انجام‌شده توسط سازمان محیط‌زیست آمریکا (EPA[23])، طبق جدول ۵ طبقه‌بندی نهایی شاخص WHAF مشخص خواهد شد (EPA, 2012).

جدول ۵- طبقه‌بندی وضعیت سلامت حوضه بر اساس شاخص WHAF

Table 5- Classification of the field's health status based on the WHAF index

مقدار WHAF	80 - 100	60 - 80	40 - 60	20 - 40	0 - 20
وضعیت سلامت حوضه	خیلی‌زیاد	زیاد	متوسط	ضعیف	خیلی‌ضعیف

بحث

دستیابی مناسب و اصولی به خدمات زیست‌بوم، خصوصیات، عملکردها و یا فرآیندهای بوم‌شناختی که مرتبط با رفاه انسان است، تحت تأثیر عملکرد صحیح زیست‌بوم‌های مختلف قرار دارد (MEA, 2005; Jahandari *et al.*, 2022). به‌همین جهت، ارزیابی توانمندی یک سامانه در راستای تأمین عملکردهای مورد انتظار وابسته به سلامت و پایداری آن است. با توجه به اینکه سلامت و پایداری حوزه آبخیز ساختار و عملکرد منطقه را نشان می‌دهد این مفهوم یکی از اساسی‌ترین مفاهیم در ارزیابی و مدیریت جامع مناطق است (Peng *et al.*, 2017) که نشان‌دهنده تعادل بین عوامل محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی است که برای حفظ منابع آب و حفظ سلامت بوم‌سازگان‌ها ضروری است. لذا نتایج حاصل از ارزیابی آن علاوه بر ارائه سامانه هشدار زودهنگام تخریب محیط‌زیست می‌تواند در راستای تعیین علت تنش و مشکل موجود در سامانه آبخیز به مدیران و سیاست‌گذاران نیز کمک کند (Li *et al.*, 2014; Jia *et al.*, 2015). برای تعیین پایداری و سلامت، روش‌ها، معیارها و شاخص‌های

20- Menhenik Diversity Index
21- Margalef
22- Interval standardisation
23- Environmental Protection Agency

کلیدی از مجموعه عوامل انسانی، اقلیمی، زمین‌شناسی، خاکی و پوشش گیاهی نمایانگر شرایط کنونی سلامت و پایداری معرفی و توسعه داده‌شده است. به‌همین منظور شاخص‌ها و مدل‌های مفهومی مختلفی برای تبیین این معیارها و شاخص‌ها در قالب یک چارچوب مشخص ارائه‌شده‌اند (Hazbavi & Sadeghi, 2016). شاخص پایداری حوزه آبخیز (WSI) یک شاخص جامع بوده و پتانسیل زیادی برای مدیریت اهداف محیط‌زیستی، اقتصادی - اجتماعی با تجزیه‌وتحلیل پایداری حوزه دارد؛ این شاخص می‌تواند به ذینفعان و مدیران مختلف در برنامه‌ریزی منابع موجود در حوضه و تصمیم‌گیران برای توسعه پایداری کمک کند. توسعه پایدار نه‌تنها باعث تحریک رشد اقتصادی می‌شود بلکه باعث ترویج و توسعه عادلانه ثروت، اولویت‌بندی مسائل محیط‌زیستی و توانمندسازی مردم به دور از حاشیه راندن آن‌ها می‌شود (UNDP, 1994). این شاخص نه‌تنها به‌عنوان یک چارچوب مقایسه‌ای است بلکه یک ابزار برای شناسایی تنگناها برای رسیدن به پایداری حوضه نیز می‌باشد. از مزایای شاخص WSI، سادگی، قابلیت انعطاف و سازگاری آن است. همچنین این شاخص یک ابزار مفید برای انتقال اطلاعات برای مخاطبان و تصمیم‌گیران است (Debels *et al.*, 2009)، درواقع شاخص پایداری با ارائه اطلاعات کامل برای تصمیم‌گیرندگان در حفاظت از محیط‌زیست و رفاه انسان کمک می‌کند (Lee & Huang, 2007). همچنین برای ارزیابی تکامل حوضه با توجه به رشد سریع جمعیت و توسعه صنعت و همین‌طور برای مقایسه حوضه‌های یک منطقه مفید می‌باشد. از محدودیت‌های این شاخص می‌توان به مشکلات در جمع‌آوری و دستیابی اطلاعات در سطح حوزه آبخیز اشاره کرد. Cortes و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی طی یک برنامه ۴ ساله مقدار شاخص WSI را برای حوضه‌ای در کشور شیلی ۰/۶۷ به دست آوردند. نتایج آنها نشان داد که کمترین و بیشترین امتیاز به‌ترتیب مربوط به زیرشاخص هیدرولوژی (۰/۵) و سیاست‌گذاری (۰/۶۸) بوده است. در جدول ۶، نتایج پژوهش Heirany و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از شاخص WSI در حوزه آبخیز توتلی در استان خراسان شمالی آورده شده است که نشان از سطح پایداری متوسط این حوضه طبق WSI را دارد.

جدول ۶- امتیاز نهایی شاخص پایداری حوزه آبخیز (WSI) در حوزه آبخیز توتلی در استان خراسان شمالی (Heirany *et al.*, 2022)

Table 6- The final score of WSI in the Totli watershed in North Khorasan province (Heirany *et al.*, 2022)

پارامتر / معیار	فشار (P)	وضعیت (S)	پاسخ (R)	میانگین
هیدرولوژی (H)	1	0.75	0.00	0.58
محیط‌زیست (E)	0.75	1	0.00	0.58
زندگی (L)	0.5	0.75	0.75	0.66
سیاست‌گذاری (P)	0.00	1	1	0.66
میانگین	0.65	0.85	0.35	WSI = 0.62

شاخص اصلاح‌شده فقر آبی (EWPI) گستردگی‌های مختلفی در مسائل محیط‌زیست، اقتصادی و اجتماعی دارد و برای ارزیابی سطح حوضه مفید است. شاخص اصلاح‌شده فقر آب از چارچوب اصلی شاخص فقر آب که توسط Sullivan و همکاران (۲۰۰۳) معرفی‌شده پیروی می‌کند و جمعاً متشکل از پنج مؤلفه دسترسی (A)، منابع (R)، ظرفیت (C)، استفاده (U) و محیط‌زیست (E) است؛ که یک چارچوب فشار- وضعیت – پاسخ به آن الحاق شده است. این شاخص می‌کوشد تا ارتباط بین کمبود آب و جنبه‌های وابسته

به مسائل اقتصادی و اجتماعی آن را نشان دهد (Sullivan *et al.*, 2003). شاخص فقر آبی رابطه بین رفاه یک خانوار را با میزان دسترسی به آب نشان می‌دهد و بیان‌کننده میزان تأثیرات کمبود آب روی جوامع انسانی می‌باشد. چنین شاخصی این امکان را به وجود می‌آورد که کشورها و جوامع مختلف را ازلحاظ فاکتورهای فیزیکی و اجتماعی - اقتصادی مرتبط با کمبود آب رتبه‌بندی کرد. ازآنجایی‌که جامعیت و پویایی مدیریت منابع آب بر همگان مبرهن و واضح است، به نظر می‌رسد با قرار گرفتن معیارهای پنج‌گانه‌ی شاخص توسعه‌یافته فقر آب در یک زنجیره علت و معلولی بنام رویکرد فشار – وضعیت – پاسخ، روابط بین پارامترها و بازخوردهای بین آنها برای مدیران، تصمیم‌گیران و ذینفعان آشکارتر شود (Gine Garriga & Perez Fogute, 2010). این مدل مفهومی به‌طور گسترده‌ای در مسائل محیط‌زیستی مورداستفاده قرارگرفته است همچنین در بخش منابع آب نیز در کمک به مدیریت آبخیزداری با موفقیت به اجرا درآمده است. Koirala و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از شاخص فقر آبی به ارزیابی تنش آبی در حوضه رودخانه کوشی در کشور نپال پرداختند. بعد از محاسبه ۵ زیرشاخص کلیدی این شاخص، نتایج نشان داد که میزان شاخص فقر آبی از ۴۹/۷۵ تا ۶۹/۲۹ متغیر بود. ازنظر میانگین نیز مقدار شاخص فقر آبی در این حوضه ۵۴/۴ به دست آمد که نشان‌دهنده وضعیت متوسط تنش آبی در این حوضه بوده است. نتایج مطالعه Sharifzadegan و همکاران (۲۰۱۷) با عنوان شناسایی موانع توسعه با استفاده از شاخص فقر آبی در استان قزوین در جدول ۷ ارائه شده است.

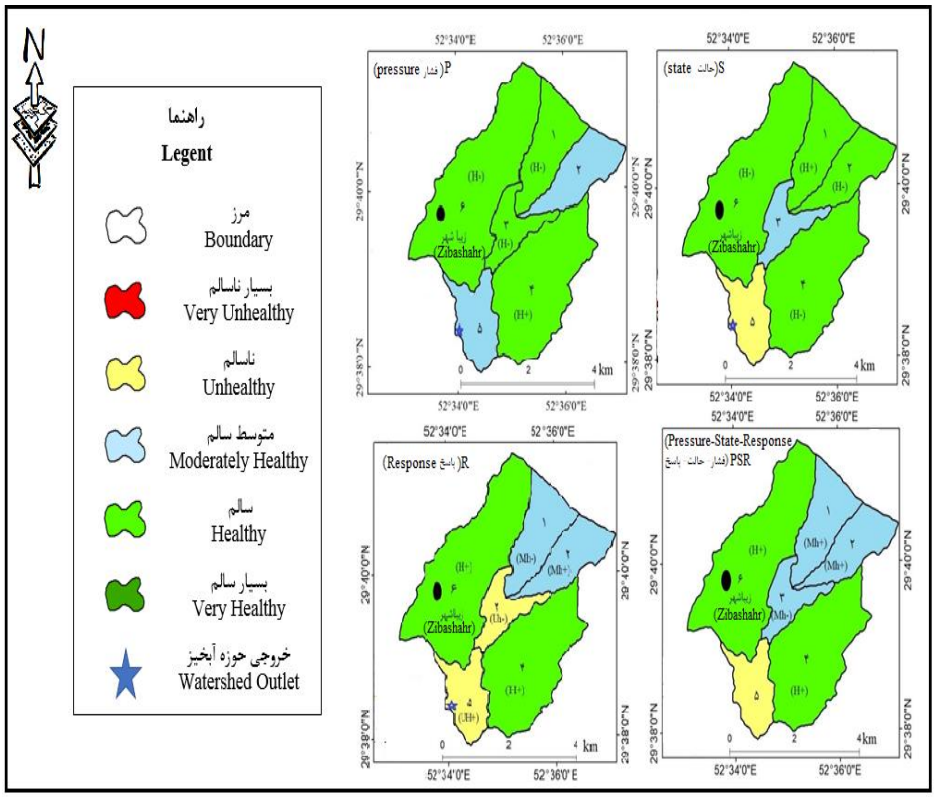
جدول ۷- نتایج محاسبات شاخص فقر آبی در شهرستان‌های استان قزوین (sharifzadegan *et al.*, 2017)

Table 7- Calculation results of WPI in the cities of Qazvin province (sharifzadegan *et al.*, 2017)

شهرستان	منابع	دسترسی	ظرفیت	مصرف	محیط‌زیست	فقر آبی
قزوین	14.96	4.77	11.86	18.81	10.31	60.72
البرز	6.33	20.00	0.90	5.67	17.50	60.39
آبیک	4.88	9.24	15.32	7.65	12.13	49.23
تاکستان	2.72	14.76	6.42	9.65	4.16	37.71
بویین‌زهرا	2.76	11.42	6.28	9.57	3.79	33.82
آوج	16.06	3.33	5.46	5.15	8.94	38.94

رویکرد شاخص محور PSR با ساماندهی معیارها در قالب شاخص‌های جامع فشار، حالت و پاسخ توانسته است سلامت بوم‌سازگان را با در نظر گرفتن تمامی شرایط سامانه تعیین کند (Hazbavi *et al.*, 2018). مدل مفهومی 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. درواقع این مدل 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 راستا Sadeghi و Hazbavi (۲۰۱۶)، طی یک مطالعه مروری سلامت آبخیز، استفاده از مدل PSR برای ارزیابی سلامت زیست‌بوم آبخیز بر اساس مهم‌ترین شاخص‌های بوم‌شناختی توسط مدیران، برنامه‌ریزان سیاست‌گذاران حوزه منابع طبیعی به‌عنوان ابزار مدیریتی مطمئن و

مناسب برای بررسی مسائل حاکم بر حوزه‌های آبخیز کشور توصیه نمودند. Liu و همکاران (۲۰۲۲)، در پژوهشی در Tianjin چین به مطالعه جامع منبع الگوهای امنیت بوم‌شناسی از جنبه‌های عملکردی و چشم‌انداز پرداختند. ابتدا از مدل PSR برای ارزیابی کیفیت محیط‌زیست تحت تأثیر عوام اجتماعی-اقتصادی و طبیعی استفاده شد. در مرحله دوم، ساختار بوم‌شناسی با ترکیب تحلیل الگوی فضایی ریخت‌شناسی 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. Sadeghi و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی به ارزیابی سلامت حوزه آبخیز دروازه قرآن شیراز و اثر سازه‌های آبخیزداری موجود در منطقه بر سلامت آبخیز با محوریت سیلاب با استفاده از مدل PSR پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص سلامت با مقدار ۰/۵۳ در وضعیت متوسط قرار داشت (شکل ۲). 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.



شکل ۲- پهنه‌بندی شاخص‌های فشار، وضعیت، پاسخ و PSR در حوزه آبخیز دروازه قرآن شیراز با در نظر گرفتن سازه‌های آبخیزداری (Sadeghi *et al.*, 2022)

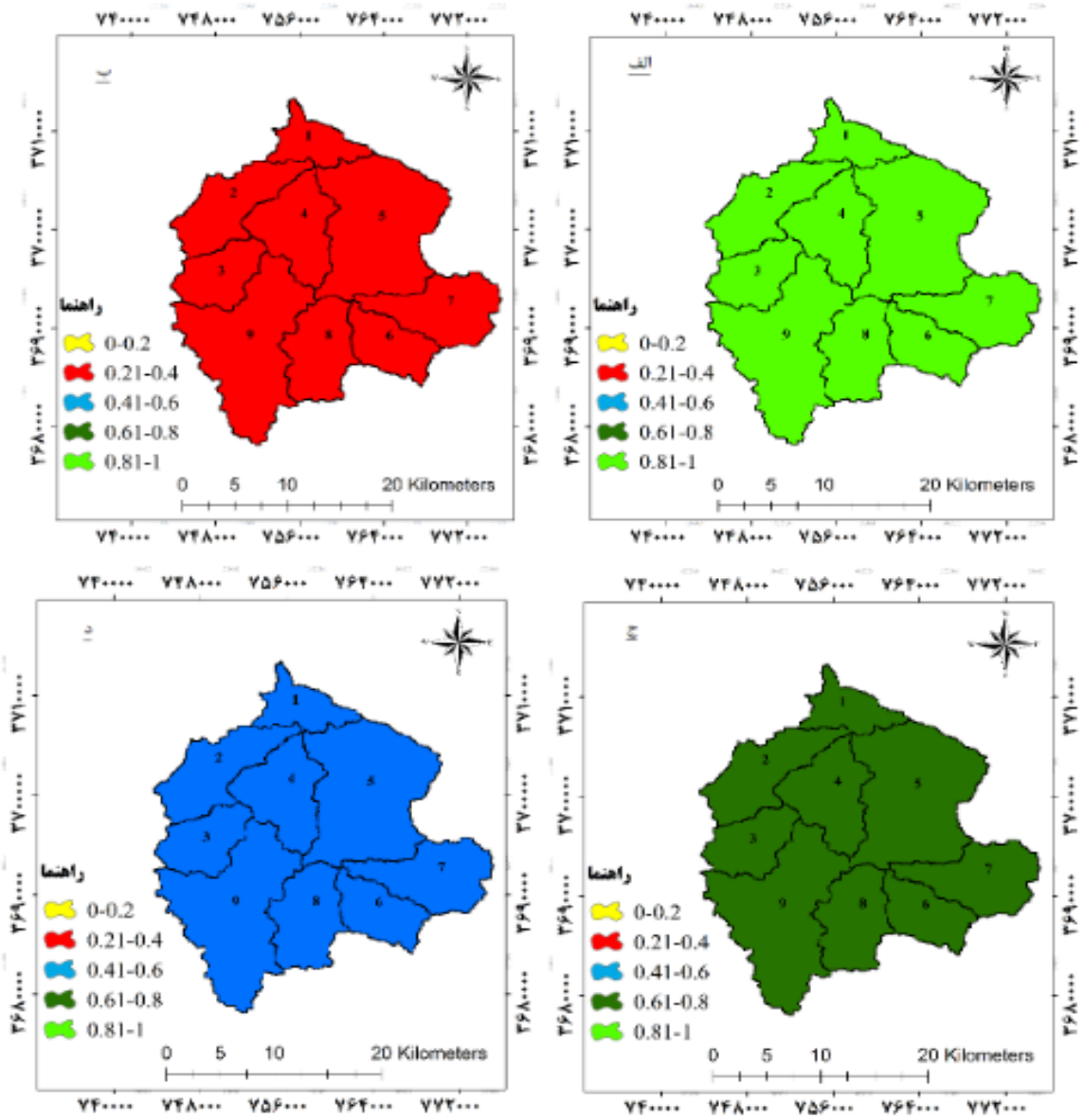
Figure 2- Zoning of Pressure, State, Response and PSR indices in the watershed of Shiraz Darwazeh Quran, consisering the watershed structures (Sadeghi *et al.*, 2022)

فلسفه و اساس مدل RRV بر این اصل استوار است که هر سامانه زمانی در حالت رضایت‌بخش قرار دارد که بتواند نیازهای منطقی کاربران خود را تأمین نماید. هرچند شاخص‌های مبتنی بر خطر پایایی،

انعطاف‌پذیری و آسیب‌پذیری مورداستفاده در مدل RRV به‌عنوان شاخص‌های احتمالاتی قابل‌توجه هیدرولوژیست‌ها (Kjeldsen & Rosbjerg, 2004) و بوم‌شناس‌ها (Petchey & Gaston, 2009) بوده است، اما در زمینه ارزیابی سلامت آبخیز بسیار کم موردتوجه قرارگرفته است. به‌همین علت و به دلیل نوظهور بودن این مدل در زمینه ارزیابی سلامت آبخیز، مطالعات محدودی در این زمینه صورت گرفته است. برای کاربرد مدل RRV معیارهای متعددی بر اساس احتمالات مورد ارزیابی قرارگرفته و نهایتاً سلامت آبخیز بر اساس وضعیت ترکیب کلی آنها سنجیده می‌شود. Bhere و Reddy (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای به بررسی تغییرات ذخیره آب زیرزمینی در مناطق مختلف هندوستان برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب، با توجه به تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی پرداختند. در این مطالعه، از رویکرد RRV برای تحلیل پایداری ذخایر آب و از داده‌های ماهواره‌ای GRACE برای ارزیابی ذخایر آب زمینی، رطوبت خاک، رواناب سطحی و ذوب برف در حوزه‌های رودخانه‌ای هند بهره‌گیری شده است. نتایج نشان داد که ذخایر آب زیرزمینی در مناطق پنجاب و هاریانا در حال کاهش است، درحالی‌که ذوب برف در هیمالیا افزایش یافته و رواناب سطحی در جنوب هند کاهش‌یافته است. این یافته‌ها نشان داد که دسترسی به آب در سراسر حوضه‌های این کشور روند کاهشی داشته است. Chemni و همکاران (۲۰۲۳)، تأثیر خشکسالی بر تغییرات مکانی-زمانی سلامت حوزه آبخیز افین در استان خراسان جنوبی را با استفاده از مدل مفهومی RRV بررسی کردند. امتیاز شاخص سلامت این حوضه ۰/۴۲ محاسبه شد که نشان‌دهنده وضعیت متوسط سلامت طبق مدل RRV است. در شکل ۳، نتایج این پژوهش ارائه‌شده است. نتایج تحلیل بارندگی منطقه حاکی از آن است که با توجه به ثبات نسبی بارندگی، تأثیر دخالت‌های انسانی و تشدید عوامل تهدیدکننده سلامت آبخیز، بیش‌ازپیش بر وضعیت موجود تأثیرگذار بوده است و در صورت عدم توجه به آن تأثیر زیان‌باری در پی خواهد داشت.

چارچوب ارزیابی سلامت حوزه آبخیز (WHAF) در سال ۲۰۱۶ توسط اداره منابع ایالت Minnesota واقع در غرب میانه آمریکا برای ارزیابی وضعیت سلامت ۸۱ حوزه آبخیز اصلی و بیش از ۱۰ هزار زیرحوزه آبخیز آن ایالت تبیین، طراحی و توسعه داده شد. به‌منظور شناخت سامانه آبخیز در یک روش نظام‌مند و سازگار، فرآیندهای بوم‌شناختی به پنج عنصر مختلف شامل ۱) وضعیت زیستی ۲) پیوستگی ۳) ژئومرفولوژی ۴) هیدرولوژی و ۵) کیفیت آب تقسیم‌شده‌اند. درنهایت با امتیازبندی و جمع‌آوری امتیازات شاخص‌ها، وضعیت کلی سلامت آبخیز مشخص می‌شود. روش WHAF با به کار بستن یک راهکار سازگار، بررسی جامع از سلامت بوم‌شناختی آبخیزها را فراهم می‌کند. به‌وسیله آن می‌توان شرایط حاکم بر بوم‌سازگان آبخیز را بررسی کرد و تعادل زیستی را اندازه‌گیری نمود. WHAF به‌عنوان یک ابزار مؤثر در مطالعات بوم‌شناسی و حفاظت منابع طبیعی شناخته‌شده است. همچنین بکارگیری این شاخص موجب شناخت فرآیندها و فعل‌وانفعالات ایجادکننده پاسخ‌های سالم و ناسالم در آبخیز می‌شود. Shahedi و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای با در نظر گرفتن پنج بخش ژئومرفولوژی، کیفیت آب، هیدرولوژی، وضعیت زیستی (غنای گونه‌ای) و پیوستگی هیدرولوژیکی به بررسی سلامت حوزه آبخیز تالار با استفاده از شاخص WHAF، پرداختند. نتایج نشان داد ازنظر شاخص حساسیت به فرسایش، زیرحوضه‌های ۲۳ و ۳۴ به‌ترتیب بیشترین و کمترین امتیاز را داشتند. در مورد حساسیت‌پذیری اقلیم، زیرحوضه ۵ دارای بیشترین اختلاف میان بارش و تبخیر- تعرق و اقلیم مرطوب‌تر نسبت به سایر زیر حوضه‌ها را داشته است. در بخش کیفیت آب، اغلب زیرحوضه‌ها، در محدوده خوب و تعداد دوازده زیرحوضه دیگر، در محدوده قابل‌قبول تا متوسط قرار گرفتند. با محاسبه امتیاز سلامت معیار هیدرولوژی، نتایج نشان

داد زیرحوضه ۳ دارای حداکثر پوشش گیاهی چندساله و زیرحوضه ۳۴ فاقد هرگونه پوشش گیاهی چندساله بوده است. نتایج محاسبات مربوط به غنای گونه‌ای نیز نشان داد که زیرحوضه ۳۴ دارای حداکثر غنای گونه‌ای و در شاخص پیوستگی، زیرحوضه ۲ کمترین میزان سلامت را داشته است. درمجموع تعداد ۲۴ زیرحوضه با امتیاز بین ۶۰ - ۴۰ در طبقه متوسط و بقیه زیرحوضه‌ها (تعداد ۱۳ زیر حوضه) با امتیاز بین ۸۰ - ۶۰ دارای سلامت زیاد هستند.



شکل ۳- تغییرات مکانی شاخص‌های پایایی (الف)، تاب‌آوری (ب)، آسیب‌پذیری (ج) و وضعیت کلی سلامت (د) آبخیز افین (Chemni *et al.*, 2023)

Figure 3- Spatial changes of indicators of reliability (a), resilience (b), vulnerability (c) and overall health status (d) of Efin watershed (Chemni *et al.*, 2023)

استفاده از شاخص‌های سلامت و پایداری آبخیز به‌عنوان یک روش می‌تواند به کسب اطلاعات مهمی درباره تخریب ناشی از فعالیت‌های انسانی یا عوامل طبیعی کمک کند. این شاخص‌ها ارزش ویژه‌ای برای حوزه آبخیز ارائه می‌دهند و ویژگی‌های فیزیکی، بیولوژیکی، اجتماعی و سایر عوامل اساسی تأثیرگذار بر

سلامت آبخیز را منعکس می‌کنند. در زمینه سلامت و پایداری مطالعات متعددی در حوضه‌های مختلف جهان با استفاده از روش‌ها و مدل‌های ذکرشده صورت گرفته که نتایج آن‌ها در جدول ۸ ارائه‌شده است.

جدول ۸- مطالعات انجام‌گرفته در زمینه ارزیابی سلامت و پایداری آبخیز

Table 8- Studies conducted in the field Watershed health and sustainability assessment

منبع Reference	شاخص یا مدل Index or Model	مقدار Value	حوضه Watershed
Catano *et al.*, (2009)	WSI	0.74	Reventazon
Firdaus *et al.*, (2009)	WSI	0.59	Batang Merao watershed, Indonesia
Chamani *et al.*, (2021)	RRV	0.45	Chalous Watershed
Yang et al., (2015)	PSR	0.59	Yellow River Delta
Sun *et al.*, (2017)	PSR	0.48 – 0.59	Yangtze and Amazon river basins
Zhang *et al.*, (2012)	WPI	26.3-69.9	Shiyang River Basin

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به معرفی برخی از روش‌ها، شاخص‌ها و مدل‌های مفهومی ارزیابی سلامت و پایداری آبخیز شامل WSI، EWPI، مدل مفهومی PSR، مدل مفهومی RRV و شاخص WHAF پرداخته شد. وضعیت و شرایط آبخیز برای جامعه و تمامی موجودات آن بسیار حائز اهمیت است. آبخیزهای سالم فواید و خدمات بسیاری ارائه داده و کیفیت زندگی جامعه را ارتقاء می‌دهند. با توجه به این‌که میزان و کیفیت خدمات آبخیزها مستقیماً با سلامت و پایداری آن‌ها مرتبط است، حفظ و بهبود سلامت و پایداری آبخیزها از اهمیت بالایی برخوردار است؛ بنابراین، توجه به تغییرات مکانی و زمانی سلامت و پایداری آبخیزها، شناسایی و برنامه‌ریزی جهت مدیریت و اصلاح آنها برای جلوگیری از ورود آسیب‌ها ضروری است. استفاده از شاخص‌ها، روش‌ها و مدل‌های مفهومی برای ارزیابی سلامت و پایداری حوزه‌های آبخیز، به‌عنوان ابزار تحلیلی و مدیریتی موردتوجه کاربران آب و ذینفعان قرار می‌گیرد. این روش‌ها امکان اندازه‌گیری و پایش وضعیت حوزه‌های آبخیز را فراهم می‌کنند. با توجه به ارزیابی و مرور شاخص‌ها و مدل‌های مختلف برای سنجش سلامت و پایداری حوزه‌های آبخیز، این تحقیق نشان می‌دهد که این ابزارها نقش حیاتی در مدیریت بهینه منابع آب‌وخاک ایفا می‌کنند. هرچند این شاخص‌ها و مدل‌ها با محدودیت‌هایی مانند عدم پوشش کامل جنبه‌های محیط‌زیستی، کمبود داده‌های دقیق و چالش‌هایی در پاسخگویی به تغییرات زمانی و مکانی مواجه هستند، اما مزایای آنها ازجمله ارائه پشتوانه علمی برای تصمیم‌گیری، توجه به رفاه انسانی و ارزیابی جامع ارزش‌های بوم‌شناختی، این کاستی‌ها را تا حد زیادی جبران می‌کند. استفاده از این شاخص‌ها به تصمیم‌گیران، محققان و سایر ذینفعان این امکان را می‌دهد تا با بهره‌گیری از داده‌ها و اطلاعات معتبر، عملکرد و پایداری حوزه‌های آبخیز را بهبود بخشند و به توسعه پایدار کمک کنند. ازاین‌رو، انتخاب و به‌کارگیری صحیح این شاخص‌ها برای ارزیابی و مدیریت منابع آبخیز نه‌تنها ضروری، بلکه حیاتی است تا بتوان به اهداف بلندمدت حفاظت از محیط‌زیست و رفاه اجتماعی دست یافت. این تحقیق بر اهمیت به‌کارگیری یک رویکرد جامع و چندبُعدی تأکید دارد که بتواند از طریق ترکیب این شاخص‌ها، به درک عمیق‌تری از پایداری و سلامت آبخیزها دست یابد و زمینه‌ساز تصمیمات مدیریتی مؤثرتر و آینده‌نگرانه‌تر شود.

References

Bhere, S., & Reddy, M. J. (2022). Assessment of Reliability, Resilience, and Vulnerability (RRV) of terrestrial water storage using Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) for Indian river basins. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 28, 100851. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100851

Cai, Y., & Zhang, L. (2018). Multi-scale ecological indicators for supporting sustainable watershed management. *Ecological Indicators*, 92, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.079

Catano, N., Marchand, M., Staley, S., & Wang, Y. (2009). Development and Validation of the Watershed Sustainability Index for the Watershed of the REVENTAZÓN River. *Report Prepared for the Ommission for the Preservation and Management of the Watershed of the Reventazón River, Costa Rica*, 4-31.

Chamani, R., Sadeghi, S. H., Vafakhah, M., & Naghdi, M. (2022). Reliability, resilience, and vulnerability of Chalous Watershed based on drought index. *Watershed Engineering and Management*, 14(1), 65-75. https://doi.org/10.22092/ijwmse.2021.352600.1855 (In Persian)

Chamani, R., Vafakhah, M., & Sadeghi, S.H.R. (2023). Effect of drought on temporal-spatial changes of the Efin Watershed health. *Watershed Engineering and Management*, 15(1), 1-12. https://doi.org/10.22092/ijwmse.2021.355697.1917 (In Persian)

Chaves, H. M., & Alipaz, S. (2007). An integrated indicator based on basin hydrology, environment, life, and policy: the watershed sustainability index. *Water Resources Management*, 21, 883-895. https://doi.org/10.1007/s11269-006-9107-2

Cortes, A.E., Oyarzun, R., Kretschmer, N., Chaves, H., Soto, G., Soto, M., Amezago, J., Oyarzu, J., Otting, T., Senoret, M. & Maturana, H. (2012). *Application of the watershed sustainability index to the Elqui River Basin, North- Central Chlie, ObrasProyectos* 12, 57-69.

Cowie, A. L., Orr, B. J., Sanchez, V. M. C., Chasek, P., Crossman, N. D., Erlewein, A., ... & Welton, S. (2018). Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality. *Environmental Science & Policy*, 79, 25-35. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.011

Debels, P., Szlafsztein, C., Aldunce, P., Neri, C., Carvajal, Y., Quintero-Angel, M., Celis, A., Bezanilla, A., & Martínez, D. (2009). IUPA: a tool for the evaluation of the general usefulness of practices for adaptation to climate change and variability. *Natural Hazards*, 50, 211-233. https://doi.org/10.1007/s11069-008-9333-4

EPA. (2012). Identifying and Protecting Healthy Watersheds: Concepts, Assessments, and Management Approaches. *Environmental Protection Agency (EPA)* 841-B-11-002.

Ervinia, A., Huang, J., Huang, Y., & Lin, J. (2019). Coupled effects of climate variability and land use pattern on surface water quality: An elasticity perspective and watershed health indicators. *Science of the Total Environment*, 693, 133592. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133592

Firdaus, R., Nakagoshi, N., & Idris, A. (2014). sustainability assessment of humid tropical watershed: a case of Batang Merao watershed, Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, 20, 722-731.

Friends, A., & Raport, D. (1979). Towards a comprehensive framework for environment statistics: stress-response approach. *Statistics Canada, Ottawa, Canada*, 428-429. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.03.086

Gari, S.R., Guerrero, C.E.O., Bryann, A., Icely, J.D., & Newton, A. (2018). A DPSIR-analysis of water uses and related water quality issues in the Colombian Alto and Medio Dagua Community Council. *Water Science*, 32(2), 318-337. https://doi.org/10.1016/j.wsj.2018.06.001

Giné Garriga, R., & Pérez Foguet, A. (2010). *The enhanced water poverty index: targeting the water poor at different scales*. In WISA 2010 Biennial Conference.

Hamel, P., Riveros-Iregui, D., Ballari, D., Browning, T., Célleri, R., Chandler, D., Chun, K.P., Destouni, G., Jacobs, S., Jasechko, S., & Johnson, M.. (2018). Watershed services in the humid tropics: Opportunities from recent advances in

ecohydrology. *Ecohydrology*, 11(3), e1921. https://doi.org/10.1002/eco.1921

Hashimoto, T., Stedinger, J.R., & Loucks, D.P. (1982). Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Water Resources Research*, 18(1), 14-20. https://doi.org/10.1029/WR018i001p00014

Hazbavi, Z., & Sadeghi, S. H. (2016). Watershed Health (Part two): Pressure, State and Response Conceptual Model. *Extension and Development of Watershed Management*, 4(15), 25-30. (In Persian)

Hazbavi, Z., Baartman, J. E., Nunes, J. P., Keesstra, S. D., & Sadeghi, S. H. (2018). Changeability of reliability, resilience and vulnerability indicators with respect to drought patterns. *Ecological Indicators*, 87, 196-208. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.054

Hazbavi, Z., Keesstra, S.D., Nunes, J.P., Baartman, J.E., Gholamalifard, M., & Sadeghi, S.H. (2018). Health comparative comprehensive assessment of watersheds with different climates. *Ecological Indicators*, 93, 781-790. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.078

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)

Heirany, A.R., Behzadfar, M., Alaei, N., & Hazbavi, Z. (2022). Ecological Sustainability Assessment in the Tutli Watershed, North Khorasan Province. *Journal of Geography, Urban and Regional Studies*, 11(42), 152-169. https://doi.org/10.22126/ges.2021.6965.2457 (In Persian)

Jahandari, J., Hejazi, R., Jozi, S. A., & Moradi, A. (2022). Impacts of urban expansion on spatio-temporal patterns of carbon storage ecosystem services in Bandar Abbas Watershed using InVEST software. *Water and Soil Management and Modeling*, 2(4), 91-106. https://doi.org/10.22098/mmws.2022.11069.1097 (In Persian)

Jia, H., Pan, D., & Zhang, W. (2015). Health assessment of wetland ecosystems in the Heilongjiang River Basin, China. *Wetlands*, 35, 1185-1200. https://doi.org/10.1007/s13157-015-0705-8

Kjeldsen, T. R., & Rosbjerg, D. (2004). Choice of reliability, resilience and vulnerability estimators for risk assessments of water resources systems/Choix d'estimateurs de fiabilité, de résilience et de vulnérabilité pour les analyses de risque de systèmes de ressources en eau. *Hydrological Sciences Journal*, 49(5), 755-767. https://doi.org/10.1623/hysj.49.5.755.55136

Koirala, S., Fang, Y., Dahal, N.M., Zhang, C., Pandey, B., & Shrestha, S. (2020). Application of water poverty index (WPI) in spatial analysis of water stress in Koshi River Basin, Nepal. *Sustainability*, 12(2), 727. https://doi.org/10.3390/su12020727

Lawrence, P. R., Meigh, J., & Sullivan, C. (2002). The water poverty index: an international comparison (pp. 1-25). Keele, Staffordshire: *Department of Economics*, Keele University.

Lee, Y.J., & Huang, C.M. (2007). Sustainability index for Taipei. *Environmental Impact Assessment Review*, 27(6), 505-521. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2006.12.005

Li, Z., Xu, D., & Guo, X. (2014). Remote sensing of ecosystem health: opportunities, challenges, and future perspectives. *Sensors*, 14(11), 21117-21139. https://doi.org/10.3390/s141121117

Liu, D., & Hao, S. (2017). Ecosystem health assessment at county-scale using the pressure-state-response framework on the Loess Plateau, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(1), 2. https://doi.org/10.3390/ijerph14010002

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. https://doi.org/10.1007/s12517-022-10117-2

MEA (Millennium Ecosystem Assessment). (2005). *Ecosystems and Human Well-Being*. Washington DC: Island Press.

Minnesota Department of Natural Resources (MDNR). (2021). https://gisdata.mn.gov/dataset/env-watershed-health-assessment.

Mirchooli, F., & Sadeghi, S. H. (2019). Comparative Analysis of Watershed Health and Sustainability. *Journal of Water and Sustainable Development*, 5(2), 163-168. https://doi.org/10.22067/jwsd.v5i2.69177 (In Persian)

Mohamadi, T., & Dastorani, M. T. (2017). The Evaluation of the Sustainability of Watershed Using Watershed Sustainability Index. *Hydrogeomorphology*, 4(10), 41-64. https://doi.org/20.1001.1.23833254.1396.4.10.3.2 (In Persian)

Morrison, K., Bunch, M. J., & Hallström, L. (2017). *Public health at the watershed scale*. In Water Policy and Governance in Canada (pp. 337-356). https://doi.org/10.1007/978-3-319-42806-2_18

Mosaffaie, J., Jam, A. S., 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

Niemeijer, D., & De Groot, R. S. (2008). A conceptual framework for selecting environmental indicator sets. *Ecological Indicators*, 8(1), 14-25. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2006.11.012

Nikouei, H., Azari, M., & Dastorani, M. T. (2022). The effect of climate change on the Fariman dam watershed health using VOR model. *Water and Soil Management and Modelling*, 3(4), 107-121. https://doi.org/10.22098/mmws.2022.11685.1156 (In Persian)

Peng, J., Liu, Y., Li, T., & Wu, J. (2017). Regional ecosystem health response to rural land use change: A case study in Lijiang City, China. *Ecological Indicators*, 72, 399-410. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.08.024

Petchey, O. L., & Gaston, K. J. (2009). Effects on Ecosystem Resilience of Biodiversity, Extinctions and the Structure of Regional Species Pools. *Theoretical Ecology*, 2(3), 177–187. https://doi.org/10.1007/s12080-009-0041-9

Rapport, D.J. (1979). Towards a comprehensive framework for environmental statistics: a stress-response approach. *Statistics Canada*, 11-510, Ottawa.

Rapport, D. J., Regier, H. A., & Hutchinson, T. C. (1985). Ecosystem behavior under stress. *The American Naturalist*, 125(5), 617-640.

Sadeghi, S. H., & Hazbavi, Z. (2016). Watershed Health (Part one): Reliability, Resilience and Vulnerability Conceptual Model. *Extension and Development of Watershed Management*, 4(14), 39-42. (In Persian)

Sadeghi, S. H., Hazbavi, Z., & Gholamalifard, M. (2019). Zonation of health dynamism for the Shazand Watershed based on low and high flow discharges. *Watershed Engineering and Management*, 11(3), 589-608. https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.120288.1427 (In Persian)

Sadeghi, S.H.R., Saaduddin, A., Hizbavi, Z., & Asadi Nelivan, A. (2016). Watershed health and sustainability. *Report of the zero phase of the national comprehensive management plan of the country's watersheds*. (In Persian)

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. https://doi.org/20.1001.1.20084757.1401.36.5.3.3 (In Persian)

Shahedi, K., Mohseni, B., & Moumeni, B. (2022). Investigation of Talar Watershed Health using Watershed Health Assessment Framework on GIS environment. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 15(1), 20-45. https://doi.org/10.30495/girs.2022.691305 (In Persian)

Sharifzadegan, M. H., Nedaie Tousi, S., & Jamali, F. (2017). Identifying Regional Development Limitations: Application of Water Poverty Index to Qazvin Province of Iran. *Geography and Environmental Planning*, 28(1), 151-170. https://doi.org/10.22108/gep.2017.98243.0 (In Persian)

Sullivan, C.A., Meigh, J.R., & Giacomello, A.M. (2003). The water poverty index: development and application at the community scale. *In Natural Resources*

Forum, 27(3), 189-199. https://doi.org/10.1111/1477-8947.00054

Sun, R., Yao, P., Wang, W., Yue, B., & Liu, G. (2017). Assessment of wetland ecosystem health in the Yangtze and Amazon River Basins. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(3), 81. https://doi.org/10.3390/ijgi6030081

Suo, A. N., Xiong, Y. C., Wang, T. M., Yue, D. X., & Ge, J. P. (2008). Ecosystem health assessment of the Jinghe River watershed on the Huangtu Plateau. *EcoHealth*, 5, 127-136. https://doi.org/10.1007/s10393-008-0167-z

UNDP. (1994). Informe sobre el Desarrollo Humano. *Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo y Fondo Cultura Economica FCE, México*.

Yang, W., Jin, Y., Sun, T., & Li, M. (2015). Effects of seashore reclamation activities on Wetlands ecosystem, a case study in yellow river Delta. In E-proceedings of the 36th IAHR World Congress, *The Hague, the Netherlands*, 28, 1-3. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.01.013

Zhang, S., Xiang, M., Xu, Z., Wang, L., & Zhang, C. (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

Zhang, R., Duan, Z., Tan, M., & Chen, X. (2012). The assessment of water stress with the Water Poverty Index in the Shiyang River Basin in China. Environmental Earth Sciences, 67, 2155-2160. https://doi.org/10.1007/s12665-012-1655-6