Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Watershed Management Research, Vol. 16, Issue 1, 2025 p: 133-142

OPEN ACCESS

Research Paper

The Effect of Temporal Changes on the Ecosystem Health of Chehelkhane Sub-Watershed, the Zayandeh Roud Watershed

Zeinab Karimi[1] and Ali Talebi[2]

1- Postdoctoral researcher, Faculty of Natural Resources & Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran, (Corresponding Author: karimi.modares@gmail.com)
2- Professor, Faculty of Natural Resources & Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran

Received: 19 April 2024 Revised: 10 August 2024 Accepted: 06 September 2024

Extended Abstract

Background: According to the opinion of most specialists, the resources and health of the country's ecosystems are being destroyed. In this regard; While preventing destruction and reducing the pressure on ecosystems, it is necessary to be aware of the health of watersheds to plan and manage properly. A healthy watershed is one where natural vegetation has provided the necessary substrate for hydrological and terrestrial processes. In addition, healthy ecosystems are resistant to stress and pressure and provide high quality and quantity of services for the welfare of communities. Thus, assessing the health of ecosystems is important not only in terms of preserving the environment but is also important for the social and economic activities of communities. In this regard, the current research is planned to investigate the temporal changes in ecosystem health indicators using the VOR model in the Chehelkhaneh sub-watershed located in the Zayandeh Roud Watershed. The selection of this watershed for the present study is justified since the Zayandeh Roud Watershed is one of the most sensitive watersheds in Iran and irreparable environmental damage has been caused to this watershed in the last two decades.

Methods: To investigate the changes in the health indicators of the Chehelkhaneh sub-watershed, the VOR (power-structure-resilience) model was used during a 10-year statistical period (2011-2021). In this method, V, O, and R represent the production power (function), structure, and resilience of ecosystems, respectively. This model is closely related to the issue of ecosystem stability, which indicates the watershed's ability to maintain its structure and function over time against external factors. To carry out the present study, therefore, land use maps for 2010 and 2010 were first selected from Landsat 5 and 8 satellite images, followed by required pre-processing. Indeed, a false color combination was created using the correlation method between the bands, and then each of the land use classes was separated from each other in separate stages using the supervised classification method. Next, land cover maps (NDVI) related to the power indicator were estimated after preparing the land use map of the study area. This indicator shows the density of land cover in the region. In the next step, Fragstats software was used to extract structure (SPLIT and PD) and resilience (LPI and AI) indicatorsThe fragmentation (SPLIT), patch density (PD), largest patch (LPI), and aggregation (AI) indices were used for this purpose. It should be noted that the Fragstats software is based on land use. Afterward, standardization was done and the health of the Chehelkhaneh sub-watershed was determined after calculating all the mentioned indicators.

Results: Based on the results in 2011, rangeland (42.43%), irrigation and dry farming (30.84%), dry farming (250.30%), irrigation farming (1.14%), and rock (0.30%) had the largest area assigned, respectively. In 2021, irrigation and dry farming (50.95%), rangeland (39.80%), and rocky (9.26%) had the largest area in the region, respectively. In other words, the land use of irrigation and dry farming is dominant in the region, along with the decreased area of natural lands, which indicates the destruction in the study area. In fact, large user units become small units and lead to the disintegration of the region. Moreover, the values of power, structure, and resilience indicators were 0.69, 0.9, and 0.79, respectively, in 2011 and 0.47, 0.71, and 0.64, respectively, in 2021. In this regard, the values of time changes in power indicators in 2011 and 2021 were respectively 0.69 and 0.47, structure values were 0.9 and 0.71, and resilience values were 0.79 and 0.64. It should be mentioned that one of the main reasons for the decrease in the values of health indicators in the Chehelkhaneh sub-watershed is the lack of forest cover and the change in land use to low-yield lands. This important issue has led to a decrease in the quantity and quality of the region's ecosystems. Finally, based on the obtained values of the indicators, the health of the Chehelkhaneh sub-watershed in 2011 and 2021 was 0.49 (Moderate) and 0.21 (partly

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1274]

Copyright ©2025 Karimi and Talebi. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

not healthy), respectively. In this regard, the structure indicator has the most impact on the health of the Chehelkhaneh sub-watershed, and resilience and power indicators have been assigned the next priorities. In other words, the results showed that the effect of the ecosystem's health indicators was different and the health level of the studied region has decreased over time, which is progressing toward being unhealthy.
Conclusion: The present study is new in terms of the comparative investigation of the temporal changes in ecosystem health indicators using the new VOR model and in terms of the attention of managers and experts to the necessity to evaluate the health of ecosystems based on the obtained results. Therefore, the land use change in this region due to the lack of water and the low production potential of the land, which is abandoned after several times of cultivation and is not cost-effective. Hence, it is suggested to carry out protective operations to reduce the destruction of the region with the participation of local communities and hold educational-promotional courses to promote and raise the awareness of the communities. Institutions should be created compatible with the watershed situation while increasing intra- and extra-organizational cooperation in the direction of the policy, laws, and environmental risk management of the projects. In general, it can be acknowledged that conducting the present research contributes significantly to the preparation of the health atlas of the country's ecosystems.

Keywords: Change of land use, Patch density, Power, Resilience, Structure

How to Cite This Article: Karimi, Z., & Talebi, A. (2025). The Effect of Temporal changes on the Ecosystem Health of the Chehelkhane Sub-Watershed, the Zayandeh Roud Watershed. *J Watershed Manage Res*, 16(1), 133-142. DOI: 10.61882/jwmr.2024.1274

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1274]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

اثر تغییرات زمانی‌بر سلامت بوم‌سازگان زیرآبخیز چهل‌خانه آبخیز زاینده‌رود

زینب کریمی[1] و علی طالبی

۱- پژوهشگر پسادکتری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران، (نویسنده مسوول: karimi.modares@gmail.com)
۲- استاد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۳۱ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۶
صفحه ۱۳۳تا ۱۴۲

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: به عقیده اکثر متخصصین، منابع و سلامت بوم‌سازگان‌های کشور در حال تخریب هستند. در این راستا، به‌منظور برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح، ضمن جلوگیری از تخریب و کاهش فشار بر بوم‌سازگان‌ها، آگاهی از سلامت آبخیزها ضروری است. آبخیز سالم، آبخیزی است که در آن پوشش گیاهی طبیعی بستر لازم برای فرآیندهای هیدرولوژی و زمینی را مهیا کرده است. ضمن این که بوم‌سازگان‌های سالم در مقابل تنش و فشار مقاوم هستند و کمیت و کیفیت بالایی از خدمات را برای رفاه جوامع ارائه می‌دهند. بنابراین، ارزیابی سلامت بوم‌سازگان‌ها نه‌تنها از نظر حفظ محیط زیست، بلکه برای فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی جوامع نیز دارای اهمیت هستند. در این راستا، پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات زمانی شاخص‌های سلامت بوم‌سازگان با استفاده از مدل VOR در زیرآبخیز چهل‌خانه واقع در حوزه آبخیز زاینده‌رود برنامه‌ریزی شده است. از آنجایی که حوزه آبخیز زاینده‌رود یکی از حساس‌ترین آبخیزهای کشور است و خسارت‌های زیست محیطی جبران‌ناپذیری در دو دهه اخیر به این آبخیز وارد گردیده است، انتخاب این حوضه برای انجام پژوهش حاضر قابل توجیه است.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی تغییر شاخص‌های سلامت زیرآبخیز چهل‌خانه از مدل VOR (توان- ساختار- تاب‌آوری) طی دوره آماری ۱۰ ساله (۱۴۰۰-۱۳۹۰) استفاده شد. در این روش V، O و R به‌ترتیب بیانگر توان تولید (عملکرد)، ساختار و تاب‌آوری بوم‌سازگان هستند. این مدل ارتباط نزدیکی با مسئله پایداری بوم‌سازگان‌ها دارد که حاکی از قابلیت آبخیز برای حفظ ساختار و عملکرد آن در طی زمان در برابر عوامل خارجی است. بنابراین، برای انجام پژوهش حاضر ابتدا نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به سال ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰ از تصاویر ماهواره لندست ۵ و ۸ انتخاب و پیش‌پردازش‌های مورد نیاز انجام شدند. در واقع، با استفاده از روش همبستگی بین باندها، ترکیب کاذب رنگی ایجاد، سپس هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی در مرحله‌های جداگانه و با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده از یک‌دیگر تفکیک شد. در ادامه، پس از تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه، نقشه‌های پوشش گیاهی (NDVI) مربوط به شاخص توان برآورد گردید. این شاخص، تراکم پوشش گیاهی در منطقه را نشان می‌دهد. در مرحله بعد، از نرم‌افزار Fragstats جهت استخراج شاخص‌های ساختار (SPLIT و PD) و تاب‌آوری (LPI و AI) استفاده شد. لازم به ذکر است نرم‌افزار Fragstats بر مبنای کاربری اراضی است. در این راستا، از شاخص‌های تکه‌تکه شدگی (SPLIT)، تراکم لکه (PD)، بزرگ‌ترین لکه (LPI) و تجمع (AI) استفاده شد. در ادامه، پس از محاسبه تمامی شاخص‌های مذکور، استانداردسازی انجام و سلامت زیرآبخیز چهل‌خانه تعیین شد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج در سال ۱۳۹۰، مراتع (۴۲/۴۳ درصد)، کاربری زراعی آبی و دیم (۳۰/۸۴ درصد)، اراضی دیم (۲۵/۳۰ درصد)، اراضی آبی (۱/۱۴ درصد) و رخنمون سنگی (۰/۳۰ درصد) به‌ترتیب بیش‌ترین مساحت را به خود اختصاص دادند. در سال ۱۴۰۰، کاربری زراعی آبی و دیم (۵۰/۹۵ درصد)، مراتع (۳۹/۸۰ درصد) و پوشش رخنمون سنگی (۹/۲۶ درصد) به‌ترتیب دارای بیش‌ترین مساحت در منطقه بودند. به‌عبارت دیگر، کاربری زراعت آبی و دیم در منطقه غالب بود و وسعت اراضی طبیعی نیز کاهش یافت که بیانگر تخریب در منطقه مورد مطالعه است. در واقع، واحدهای بزرگ کاربری به واحدهای کوچک تبدیل و منجر به عدم یکپارچگی منطقه می‌شوند. همچنین نتایج نشان دادند که مقادیر شاخص‌های توان، ساختار و تاب‌آوری در سال ۱۳۹۰ به‌ترتیب ۰/۶۹، ۰/۹ و ۰/۷۹ و در سال ۱۴۰۰ به‌ترتیب ۰/۴۷، ۰/۷۱ و ۰/۶۴ بودند. در این راستا، مقادیر تغییرات زمانی شاخص‌های توان در سال ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰ به‌ترتیب ۰/۶۹ و ۰/۴۷، مقادیر ساختار به‌ترتیب ۰/۹ و ۰/۷۱ و مقادیر تاب‌آوری ۰/۷۹ و ۰/۶۴ حاصل شدند. لازم به ذکر است که یکی از دلایل اصلی کاهش مقادیر شاخص‌های سلامت در زیرآبخیز چهل‌خانه، عدم پوشش جنگلی و تغییر کاربری به اراضی کم‌بازده است. این مهم منجر به کاهش کمیت و کیفیت بوم‌سازگان‌های منطقه شده است. در نهایت، براساس مقادیر شاخص‌های به‌دست آمده، سلامت زیرآبخیز چهل‌خانه در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰ به‌ترتیب ۰/۴۹ (متوسط) و ۰/۲۱ (نسبتاً ناسالم) برآورد گردید. در این راستا، شاخص ساختار بیش‌ترین تأثیر را بر روی سلامت زیرآبخیز چهل‌خانه دارد و شاخص‌های تاب‌آوری و توان اولویت‌های بعدی را به خود اختصاص داده‌اند. به‌عبارت دیگر، نتایج نشان می‌دهند که تأثیر مقادیر شاخص‌های سلامت بوم‌سازگان متفاوت و میزان سلامت منطقه مورد مطالعه با گذشت زمان کاهش یافته، به‌سمت ناسالم بودن در حال پیش‌روی است.

نتیجه‌گیری: پژوهش حاضر از نظر بررسی مقایسه‌ای تغییرات زمانی شاخص‌های سلامت بوم‌سازگان با استفاده از مدل VOR جدید و از لحاظ توجه مدیران و متخصصان در ضرورت ارزیابی سلامت بوم‌سازگان بر اساس نتایج به‌دست آمده قابل‌توجه است. بنابراین، از آن‌جایی که تغییر کاربری اراضی در این منطقه به‌دلیل کمبود آب و پایین بودن پتانسیل تولید اراضی پس از چند بار کشت رها و مقرون به صرفه نیست، انجام عملیات حفاظتی به‌منظور کاهش تخریب منطقه با مشارکت جوامع محلی و برگزاری دوره‌های آموزشی ترویجی در راستای ارتقاء و آگاهی جوامع پیشنهاد می‌شود. همچنین، ایجاد نهادهای سازگار با وضعیت حوضه، ضمن افزایش همکاری‌های درون و برون‌سازمانی در راستای سیاست، قوانین و مدیریت مخاطرات محیطی باشد. در مجموع، می‌توان اذعان داشت که انجام پژوهش حاضر به تهیه اطلس سلامت بوم‌سازگان‌های کشور کمک قابل‌توجهی می‌کند.

واژه‌های کلیدی: اراضی، تاب‌آوری، تراکم لکه، تغییر کاربری، توان، ساختار

مقدمه

راپورت و همکاران اولین کسانی بودند که واژه سلامت بوم‌سازگان[1] را در سال ۱۹۸۵ به‌کار بردند. در تعریف آن‌ها از سلامت، اینکه تا چه اندازه بوم‌سازگان توانایی حفظ ساختار خود پس از واردآمدن تنش و بازگشت به وضعیت اولیه خود یعنی تاب‌آوری را دارد، اشاره شده است (Rapport *et al.*, 1985). مسئله سلامت با دو دیدگاه از اوایل و اواخر دهه ۱۹۹۰ شروع شد. در دیدگاه اول، تأکید فقط بر اجزای بوم‌شناختی طبیعی

[1] Ecosystem Health

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1274]

بوم‌سازگان بود. در حالی‌که براساس دیدگاه دوم، انسان به‌عنوان جزئی از بوم‌سازگان در نظر گرفته می‌شود. بنا بر این، ضروری است که روابط بین فرآیندهای جوامع و محیط بوم‌سازگان به‌عنوان یک سیستم پیچیده در نظر گرفته شود (Su *et al*., 2010). در واقع، فرایندهای طبیعی و دخالت‌های جوامع با یکدیگر مرتبط و اثراتی را بر یکدیگر وارد می‌کنند (Bunch *et al*., 2021). در این راستا، یک آبخیز سالم نه‌تنها برای بوم‌سازگان بلکه برای فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی جوامع نیز دارای اهمیت است (Rolia *et al*., 2021). لذا، به‌منظور تضمین سلامت آبخیزها لازم است توجه بیشتری به محیط بوم‌سازگان و حفظ فعالیت‌های اجتماعی اقتصادی جوامع شود. در این راستا، مدل‌های مختلفی نظیر توان ساختار تاب‌آوری (VOR)[1]، پایایی تاب‌آوری آسیب‌پذیری (RRV)[2]، فشار وضعیت پاسخ (PSR)[3] و نیروی محرکه فشار وضعیت اثرات پاسخ (DPSIR)[4] برای ارزیابی وضعیت سلامت آبخیزها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. پژوهش‌های انجام‌شده در سال‌های اخیر بررسی سلامت آبخیز را با استفاده از مدل RRV (Sediqi & Komori 2024; Sadeghi *et al*., 2019)، PSR (Ebrahimi *et al*., 2023; Sadeghi *et al*., 2023; Mosaffaie *et al*., 2022)، DPSIR (Sadeghi *et al*., 2021; Salehpour Jam *et al*., 2021) و VOR (Hazbavi & Sadeghi, 2017) به‌صورت شاخص‌محور، کمی یا کیفی نشان می‌دهند. بنابر این، با توجه به افزایش تخریب بوم‌سازگان‌ها در طی چند دهه اخیر و لزوم توجه به روش‌های جدید به‌منظور ارزیابی و نظارت وضعیت آبخیزها، ارزیابی سلامت بوم‌سازگان به‌عنوان ابزاری مؤثر برای تعیین سلامت مطرح شده است. در این راستا، جهت تعیین وضعیت سلامت بوم‌سازگان‌ها نیاز به شاخص‌هایی است که با کمک آن‌ها بتوان کار ارزیابی را انجام داد. لذا در پژوهش حاضر، به‌منظور ارزیابی وضعیت آبخیزها از شاخص‌های مدل VOR استفاده شد. این مدل به صورت جامع سنجش بنیه (توان)، ساختار و تاب‌آوری بوم‌سازگان را در نظر می‌گیرد. در واقع، این مدل ارتباط تنگاتنگی با مسئله پایداری دارد که حاکی از قابلیت آبخیز برای حفظ ساختار و عملکرد آن در طی زمان در برابر عوامل خارجی (تاب‌آوری) است (Jafari *et al*., 2018). در این خصوص و شاخص‌های آن، مطالعاتی توسط پژوهشگران مختلف انجام شده‌اند که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

لو و همکاران (Lu *et al*., 2015) به بررسی روش‌های مختلف ارزیابی سلامت آبخیز و معرفی مناسب‌ترین شاخص برای اندازه‌گیری پایداری بوم‌سازگان پرداختند. در این راستا، نیروی محرک، پایداری و تاب‌آوری را برای ارزیابی سلامت در نظر گرفتند. یافته‌های آن‌ها نشان دادند که شناخت محیط بوم‌سازگان با بعدهای اجتماعی اقتصادی، بیوفیزیکی، زیستی و سیاست‌های مدیریتی از مشکلات اصلی در راستای ابداع راهبردهای عملی برای حفاظت بوم‌سازگان‌ها در آینده زندگی بشری است. در پژوهشی دیگر، جعفری و همکاران به مقایسه شاخص‌های مختلف وضعیت سلامت آبخیز ایریل در استان اردبیل پرداختند. نتایج آن‌ها نشان دادند که شاخص تاب‌آوری دارای بالاترین تغییرات در زیرحوضه‌های مورد بررسی در این آبخیز بود. همچنین، مقادیر شاخص‌های بنیه، ساختار و تاب‌آوری به‌ترتیب ۰/۴۰، ۰/۵۵ و ۰/۵۵ به‌دست آمد (Jafari *et al*., 2018). دژبانی و همکاران به بررسی تغییرات زمانی و مکانی سلامت زیرحوضه‌های آبخیز کوزه‌تپراقی در سه بازه زمانی (۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۴۰۰) با استفاده از شاخص‌های سنجه‌های سیمای سرزمین، رواناب و فرسایش خاک پرداختند. نتایج یافته‌های آن‌ها بیانگر کاهش سلامت آبخیز به‌دلیل استفاده غیر اصولی از اراضی و تغییرات مؤلفه‌های اقلیمی و هیدرولوژی بودند (Dezhbani *et al*., 2022). نیکوئی و همکاران به پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر سلامت حوزه آبخیز سد فریمان با استفاده از مدل VOR پرداختند. نتایج یافته‌های آن‌ها نشان دادند که سلامت حوزه آبخیز مورد مطالعه در حد متوسط بود. ضمن این که در تعداد زیادی از زیرحوضه‌ها با افزایش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و دما، شاخص سلامت حوضه کاهش می‌یابد که این وضعیت نشان‌دهنده بدتر شدن وضعیت سلامت زیرحوزه‌های آبخیز در آینده است (Nikouei *et al*., 2023).

در مجموع، می‌توان اذعان داشت که در پژوهش‌های گذشته، سلامت آبخیز براساس مدل VOR و شاخص‌های متعدد و متفاوت با پژوهش حاضر و با اهداف مختلف برآورد شده است. ضمن این که ارزیابی تغییرات زمانی شاخص‌های سلامت آبخیز می‌تواند موجب برنامه‌ریزی و اعمال مدیریت صحیح آبخیز گردد که کمتر پژوهشی در این راستا انجام شده است. بنا بر این، به دلیل اهمیت این مهم و عدم بررسی سلامت در این آبخیز، پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات زمانی شاخص‌های سلامت بوم‌سازگان با استفاده از مدل VOR در زیرآبخیز چهل‌خانه واقع در حوزه آبخیز زاینده‌رود برنامه‌ریزی شده‌است.

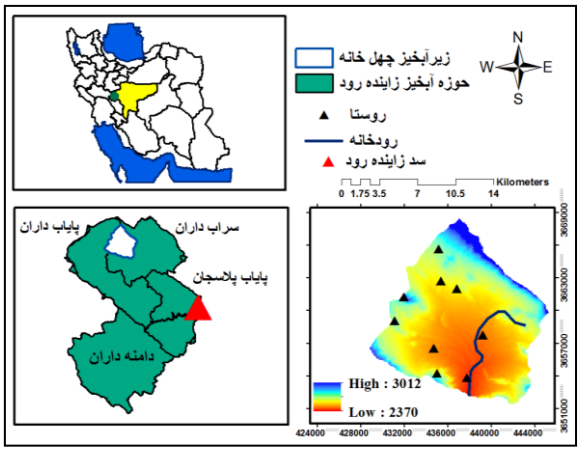
مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز زاینده‌رود در غرب استان اصفهان و به فاصله تقریبی ۱۲۰ کیلومتری غرب شهر اصفهان در مختصات جغرافیایی ″۵۰ ′۵۰ °۵۰ تا ″۲۸ ′۴۴ °۵۰ طول شرقی و ″۱۱ ′۳۲ °۳۲ تا ″۱۷ ′۱۱ °۳۳ عرض شمالی قرار دارد. این گستره به لحاظ تقسیمات شهرستان‌ها، در پنج شهرستان چادگان، فریدون‌شهر، فریدن، بویین و میاندشت و خوانسار واقع شده است. در تقسیم‌بندی تماب، کل محدوده مطالعاتی سد زاینده‌رود به هفت زیرآبخیز تفکیک شده است. این زیرآبخیزها شامل سراب پلاسجان، چهل‌خانه، سراب داران، پایاب‌داران، پایاب پلاسجان، چادگان و چلگرد قلعه‌شاهرخ تقسیم‌بندی شده‌اند (Effectiveness studies of watershed operation in the Zayandehroud dam basin, 2021). در این راستا، پژوهش حاضر در زیرآبخیز چهل‌خانه واقع در شهرستان فریدن با وسعتی معادل ۱۶۱۵۱/۸۸ هکتار به عنوان یکی از زیرآبخیزهای حوزه آبخیز سد زاینده‌رود با دامنه ارتفاعی

[1]. Vigor- Organization force- Recovery force
[2]. Reliability- Resilience- Vulnerability
[3]. Pressure- State- Response
[4]. Driving force- Pressure- State- Impact- Response

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1274]

بین ۲۳۷۰ و ۳۰۱۲ متر و متوسط شیب ۱۴/۳۰ درصد انجام شد. میزان بارندگی بلندمدت این منطقه ۳۳۵/۶ میلی‌متر و میانگین بلندمدت درجه حرارت ۱۰/۳ درجه سانتی‌گراد هستند (Effectiveness studies of watershed operation in the Zayandehroud dam basin, 2021). شکل ۱ موقعیت زیرآبخیز چهل‌خانه را در ایران و استان نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت و در مورد زیرآبخیز چهل‌خانه
Figure 1. The location and about the Chehel Khane Watershed

روش انجام پژوهش

به منظور بررسی وضعیت سلامت آبخیزها از روش‌ها و شاخص‌های متنوعی استفاده می‌شود. در این پژوهش، از مدل VOR (توان ساختار تاب‌آوری)، به‌منظور تعیین تغییرات شاخص‌های سلامت زیرآبخیز چهل‌خانه طی دوره آماری ۱۰ ساله (۱۴۰۰-۱۳۹۰) استفاده شد. در واقع، به‌دلیل اهمیت مدیریت و سیاست‌گذاری، تغییرات اقلیمی نامحسوس در منطقه مورد مطالعه و همچنین هم‌فکری با کارشناسان در راستای تنش‌های دهه اخیر در این حوضه، افق زمانی ۱۰ سال در نظر گرفته شد. در ادامه، از آنجایی که کمی‌سازی ساختار، توان و تاب‌آوری بوم‌سازگان به عنوان پیش‌نیاز مطالعه تغییر سلامت آبخیز، نیازمند تهیه نقشه کاربری اراضی است. به این منظور، ابتدا نقشه کاربری اراضی زیرآبخیز چهل‌خانه با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۵ مربوط به سنجنده (TM)[1] سال ۲۰۱۱ (۱۳۹۰) و تصاویر ماهواره لندست ۸ مربوط به سنجنده (OLI)[2] سال ۲۰۲۱ (۱۴۰۰) تهیه شد. در این راستا، با استفاده از روش همبستگی بین باندها، ترکیب کاذب رنگی ایجاد، سپس با شناخت کلی تصویر و با استفاده از روش‌های مختلف پردازش تصویر، هر یک از کلاس‌ها در مرحله‌های جداگانه و با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده از یک‌دیگر تفکیک شد (Karimi *et al*., 2022). در نهایت، با توجه به اهداف پژوهش و نوع کاربری‌های موجود در زیرآبخیز چهل‌خانه، طبقه‌های مختلف تصویر با استفاده از روش حداکثر احتمال[3] طبقه‌بندی شدند. سپس، صحت طبقه‌بندی تصاویر بر اساس ضریب کاپای کلی محاسبه گردید (Jafari Gorzin *et al*., 2023). در مرحله بعد، از نرم‌افزار Fragstats جهت استخراج شاخص‌های ساختار و تاب‌آوری استفاده شد (McGarigal & Mark, 1994). در واقع، مبنای استفاده از این نرم‌افزار بر اساس نقشه کاربری اراضی است. لذا، پس از آماده‌سازی داده‌ها، مقادیر هر یک از شاخص‌های سلامت آبخیز از رابطه‌ای که کاستانزا و همکاران در سال ۱۹۹۷ ارائه کرده‌اند، تعیین شدند (رابطه ۱) (Costanza *et al*., 1997).

$$HI = V \times O \times R \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه V، O و R به‌ترتیب بیانگر توان تولید (عملکرد)، ساختار و تاب‌آوری بوم‌سازگان هستند. با ارائه این رابطه، کاستانزا مهم‌ترین و کلیدی‌ترین خواص بوم‌سازگان را به‌منظور پوشش دادن به مفهوم سلامت بوم‌سازگان به‌کار برده است (Jorgensen *et al*., 2005). در ادامه، نحوه برآورد شاخص‌های سلامت بوم‌سازگان ارائه شده‌است.

ساختار: ساختار یک آبخیز بیانگر تنوع و تعاملات بین اجزای بوم‌سازگان است (Costanza, 1992). در واقع، ساختار آبخیز تحت‌تأثیر تنوع گونه‌ای و همچنین تعدادی از الگوهای چرخه مواد و تبادل اطلاعات بین اجزای متنوع بوم‌سازگان است (Mageau, 1998). در این راستا، از رایج‌ترین شاخص‌های ساختار، از جمله شاخص تکه‌تکه شدگی[4] و تراکم لکه (PD)[5] در این مطالعه استفاده شد (Ahern & Andre, 2006). شاخص SPLIT براساس توزیع تجمعی مساحت لکه برآورد می‌شود و محدوده تغییرات آن بین ۱-۰ است (Mostafazadeh, 2014)، درحالی‌که PD الگوی چشم‌انداز و تعداد لکه را در هر منطقه مشخص می‌کند (McGarigal & Ene, 2013).

تاب‌آوری: توانایی یک آبخیز برای حفظ ساختار و الگوی رفتاری بر اثر فشار، تاب‌آوری نامیده می‌شود. یک آبخیز سالم شامل تاب‌آوری کافی در اثر ایجاد آشفتگی‌های مختلف در مقیاس‌های کوچک است (Holling, 1986). شاخص‌های

[1]. Thematic Mapper
[2]. Operational Land Imager
[3]. Maximum Likelihood
[4]. SPLIT
[5]. Patch Density

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1274]

بزرگ‌ترین لکه (LPI)[1] و تجمع (AI)[2] به‌منظور سنجش تاب‌آوری زیرآبخیز چهل‌خانه انتخاب شدند. LPI درصد مساحت تشکیل‌شده توسط بزرگ‌ترین لکه است؛ زمانی‌که کل منطقه از یک لکه غالب تشکیل شده باشد LPI برابر با صد و زمانی‌که بزرگ‌ترین لکه از کاربری مربوطه بسیار کوچک باشد LPI نزدیک به صفر است (Schumaker, 1996). همچنین، زمانی که لکه بیش‌ترین جداشدگی را دارد AI = 0 و زمانی‌که منطقه از یک لکه واحد تشکیل شده باشد، AI = 100 است.

توان: توان یک بوم‌سازگان مقیاسی از فعالیت‌های اساسی و بهره‌وری اولیه یک آبخیز است (Costanza, 1992). در پژوهش حاضر، به منظور برآورد توان زیرآبخیز چهل‌خانه از شاخص نرمال‌شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI)[3] استفاده گردید. این شاخص واکنش فتوسنتزی و تنش در مقدار آب پوشش گیاهی را به‌خوبی نشان می‌دهد و مقدار آن بین صفر (فقیرترین سطح از نظر پوشش گیاهی) تا یک (شرایط ایده‌آل پوشش گیاهی) است (رابطه ۲) (Binh *et al*., 2005) که در آن، NIR بازتاب در باند فروسرخ نزدیک و RED انعکاس در باند سرخ هستند.

$$NDVI=NIR-RED/NIR+RED$$ رابطه (۲)

پس از محاسبه تمامی شاخص‌های مذکور، استانداردسازی بر اساس رابطه‌های ۳ و ۴ انجام شد (Hazbavi *et al*., 2020). در رابطه‌های مذکور، Xi ،Xs ،Xmin و Xmax به‌ترتیب بیانگر مقدارهای استاندارشده، واقعی، حداقل و حداکثر شاخص مورد نظر هستند.

$$X_S=X_i-Xma_x/X_{max}-X_{min}$$ رابطه (۳)

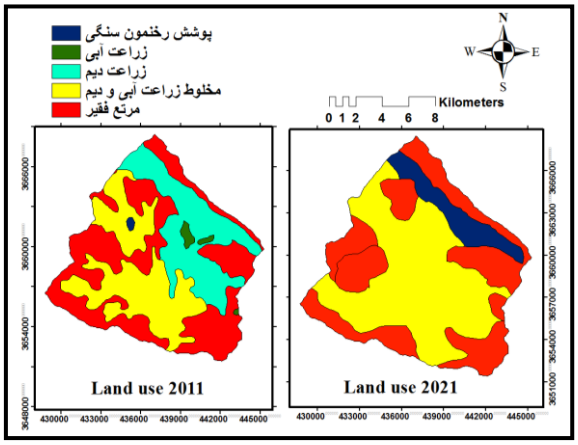
$$X_S=Xma_x-X_i/X_{max}-X_{min}$$ رابطه (۴)

در پایان، مقادیر شاخص سلامت آبخیز به پنج طبقه سالم (۰/۱–۸۱/۰۰)، نسبتاً سالم (۰/۶۱–۰/۸۰)، متوسط (۰/۴۱–۰/۶۰)، نسبتاً ناسالم (۰/۲۱–۰/۴۰) و ناسالم (۰/۰۰–۰/۲۰) تقسیم‌بندی شدند (Yu *et al*., 2013).

برای انجام پژوهش حاضر، ابتدا نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به سال ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰ تهیه شدند (شکل ۲). ضرایب کاپای به‌دست آمده از دقت تصاویر طبقه‌بندی شده برای سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰ به‌ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۸۷ به‌دست آمدند. در ادامه، نتایج بررسی و مقایسه مساحت هر طبقه کاربری اراضی در بازه زمانی مورد مطالعه محاسبه و در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

براساس نتایج، نقشه‌های کاربری اراضی در سال ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰ به‌ترتیب به پنج و سه طبقه تقسیم‌بندی شدند. در سال ۱۳۹۰، مراتع (۴۲/۴۳ درصد)، کاربری زراعی آبی و دیم (۳۰/۸۴ درصد)، اراضی دیم (۲۵/۳۰درصد)، اراضی آبی (۱/۱۴) و پوشش رخنمون سنگی (۰/۳۰ درصد) به‌ترتیب بیش‌ترین مساحت را به خود اختصاص دادند. در سال ۱۴۰۰، کاربری زراعی آبی و دیم (۵۰/۹۵ درصد)، مراتع (۳۹/۸۰ درصد) و پوشش رخنمون سنگی (۹/۲۶ درصد) به‌ترتیب دارای بیش‌ترین مساحت در منطقه بودند (جدول ۱). به عبارت دیگر، زراعت آبی در سال ۱۴۰۰ کاملاً حذف شده است. همچنین، در طی دوره زمانی مورد مطالعه (۱۴۰۰–۱۳۹۰)، کاربری مخلوط زراعی آبی و دیم در منطقه غالب بود و وسعت اراضی مرتعی نیز کاهش یافت. کاهش وسعت اراضی طبیعی و روند افزایشی اراضی زراعی بیانگر تخریب در منطقه مورد مطالعه است. نتایج حاصل با برخی مطالعات صورت گرفته توسط برخی از پژوهشگران از جمله گرت بونگالینگا و همکاران (Garret Boongalinga *et al*., 2018)؛ فلاورز و همکاران (Flowers *et al*., 2020)؛ محمدی و فاطمی‌زاده (Mohammadi & Fatemizadeh, 2021)؛ کریمی و همکاران (Karimi *et al*., 2022) و میرسنجری و محمدیاری (Mirsanjari & Mohammadyari, 2022) مبنی بر تغییر و تخریب اراضی مطابقت دارند. ضمن این که تغییر کاربری در این منطقه به دلیل کمبود آب و پایین بودن پتانسیل تولید اراضی پس از چند بار کشت رها و مقرون به‌صرفه نیست.

نتایج و بحث



شکل ۲- تغییرات زمانی کاربری اراضی طی بازه مورد مطالعه (۱۴۰۰–۱۳۹۰)
Figure 2. Temporal changes in land use during the studied period (2011- 2021)

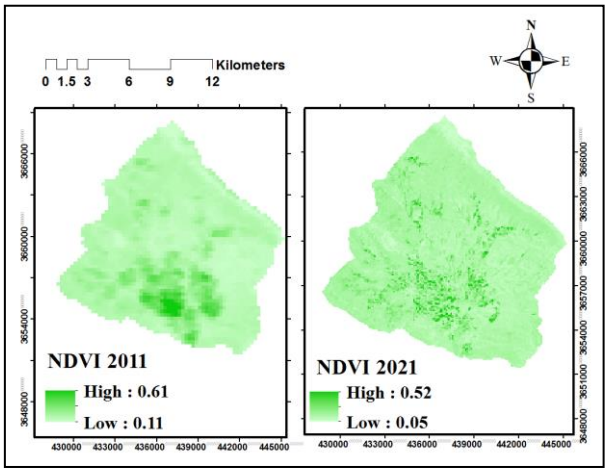
1. Largest Patch Index
2. Aggregation Index
3. Normalized Difference Vegetation Index

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1274]

جدول ۱- مساحت کاربری‌های اراضی طی بازه مورد مطالعه (۱۳۹۰-۱۴۰۰)
Table 1. The area of land uses during the studied period (2011- 2021)

کاربری اراضی (Land use)	2011		2021	
	هکتار (ha)	درصد (%)	هکتار (ha)	درصد (%)
زراعت آبی (Irrigation)	184	1.14	-	-
زراعت دیم (Dry farming)	4086	25.30	-	-
مخلوط زراعت آبی و دیم (Irrigation and dry farming)	4981	30.84	8229	50.95
مرتع فقیر (Poor rangeland)	6853	42.43	6428	39.80
پوشش رخنمون سنگی (Rock)	48	0.30	1495	9.26

پس از تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه، نقشه‌های NDVI مربوط به سال ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰ تهیه و در شکل ۳ ارائه شده‌اند. نتایج مقایسه‌ها نشان دادند که مقادیر این شاخص در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰ به‌ترتیب بین ۰/۶۱-۰/۱۱ و ۰/۵۲-۰/۰۵ متغیر بودند. هوانگ و همکاران (Huang *et al*., 2009) در پژوهشی دلایل کاهش NDVI را در طی زمان مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که افزایش اراضی کشاورزی و کاهش اراضی مرتعی از دلایل کاهش پوشش گیاهی بود. از دیگر مطالعات انجام‌شده در این راستا، می‌توان به درویش و فاور (Darwish & Faour, 2008) و هوته (Huete, 2004) اشاره کرد. ضمن این که تنکبایل و همکاران (Thenkabail *et al*., 2004) به این نتیجه رسیدند که NDVI شاخص مناسبی به‌منظور ارزیابی سلامت و تراکم پوشش گیاهی بود. طبق نتایج جدول ۱، زیرآبخیز چهل‌خانه در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰ به‌ترتیب مقادیر ۰/۶۹ و ۰/۴۷ را به‌خود اختصاص داد. به‌عبارت دیگر، تراکم پوشش گیاهی و توان منطقه موردمطالعه با گذشت زمان کاهش یافت.



شکل ۳- تغییرات زمانی NDVI طی بازه مورد مطالعه (۱۳۹۰-۱۴۰۰)
Figure 3. Temporal changes in NDVI during the studied period (2011- 2021)

با توجه به نتایج، مقادیر ساختار در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰ به‌ترتیب ۰/۹ و ۰/۷۱ و مقادیر تاب‌آوری ۰/۷۹ و ۰/۶۴ به‌دست آمدند (جدول ۲). در این راستا، افزایش مقادیر شاخص PD و کاهش LPI با گذشت زمان نشان‌دهنده تخریب و قطعه‌شدگی در منطقه موردمطالعه است. نتایج حاصل با یافته‌های بی‌همتای‌طوسی و همکاران (Be Hamtaye Tosi *et al*., 2014)، سلیمانی و حجتی (Soleimani & Hojati, 2018) و کریمی و همکاران (Karimi *et al*., 2022) در این باره مطابقت دارند. این مهم منجربه کاهش کمیت و کیفیت بوم‌سازگان‌های منطقه شده‌است. همچنین، بررسی نتایج حاصل از LPI که بیان‌گر میزان غالبیت کاربری‌ها در منطقه مورد مطالعه است، نشان می‌دهد که در سال ۱۴۰۰ میزان LPI منطقه کاهش و رو به تخریب است (Karimi *et al*., 2022). به عبارت دیگر، واحدهای بزرگ کاربری به واحدهای کوچک تبدیل و منجر به عدم‌یکپارچگی منطقه می‌شوند. در این راستا، مطالعات میچل و همکاران در منطقه برزیل نشان دادند که اثرات تکه‌شدگی اراضی منجر به تأثیرات منفی بر بوم‌سازگان‌ها گردید (Mitchell *et al*., 2015).

لازم به ذکر است که یکی از دلایل اصلی کاهش مقادیر شاخص‌های ساختار (PD و SPLIT) و تاب‌آوری (LPI و AI) در زیرآبخیز چهل‌خانه، عدم وجود پوشش جنگلی و تغییر کاربری به اراضی کم‌بازده است. در این ارتباط، جعفری و همکاران نیز عدم وجود پوشش جنگلی و تکه‌تکه شدن اراضی را از دلایل این شرایط بیان نمودند (Jafari *et al*., 2018).

در نهایت، بر اساس مقادیر شاخص‌های به‌دست آمده، سلامت زیرآبخیز چهل‌خانه در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰ به‌ترتیب ۰/۴۹ (متوسط) و ۰/۲۱ (نسبتاً ناسالم) حاصل شد (جدول ۲). در این راستا، شاخص ساختار بیش‌ترین تأثیر را بر روی سلامت زیرآبخیز چهل‌خانه دارد و شاخص‌های تاب‌آوری و توان اولویت‌های بعدی را به‌خود اختصاص داده‌اند. در واقع،

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1274]

تأثیر متفاوت مقادیر شاخص‌های سلامت بوم‌سازگان بر ارزیابی وضعیت زیرآبخیز چهل‌خانه، با مطالعات سو و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت دارد. ضمن این که می‌توان اذعان داشت که میزان سلامت منطقه مورد مطالعه با گذشت زمان از وضعیت متوسط به ناسالم بودن در حال پیش‌روی است (Suo *et al*., 2008).

جدول ۲- تغییرات زمانی مقادیر استانداردشده شاخص‌های سلامت آبخیز طی بازه مورد مطالعه (۱۳۹۰-۱۴۰۰)
Table 2 .Temporal changes in the standardized values of watershed health indicators during the studied period (2011-2021)

سال Year	2011					2021				
شاخص‌هاIndicators	ساختار Power		تاب‌آوری Resilience		توان Structure	ساختار Power		تاب‌آوری Resilience		توان Structure
	PD	SPLIT	LPI	AI	NDVI	PD	SPLIT	LPI	AI	NDVI
	0.92	0.88	0.81	0.78	0.69	0.77	0.65	0.7	0.59	0.47
مقادیر Values	0.9		0.79		0.69	0.71		0.64		0.47
سلامت Health	0.49					0.21				

نتیجه‌گیری کلی

به عقیده اکثر متخصصین، منابع و سلامت بوم‌سازگان‌های کشور در حال تخریب هستند. به‌منظور برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح، ضمن جلوگیری از تخریب و کاهش فشار بر بوم‌سازگان‌ها، آگاهی از سلامت آبخیزها ضروری است. بنا بر این، به‌دلیل اهمیت این مهم و عدم بررسی سلامت در این آبخیز، پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات زمانی شاخص‌های سلامت بوم‌سازگان با استفاده از مدل VOR در زیرآبخیز چهل‌خانه واقع در حوزه آبخیز زاینده‌رود برنامه‌ریزی شده است. نتایج پژوهش، کاهش اراضی طبیعی و روند افزایشی اراضی زراعی را نشان می‌دهند که بیانگر تخریب در زیرآبخیز چهل‌خانه است. همچنین، بررسی تغییرات زمانی مقادیر شاخص‌های ساختار در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰ به‌ترتیب ۰/۹ و ۰/۷۱، مقادیر تاب‌آوری ۰/۷۹ و ۰/۶۴ و مقادیر توان به‌ترتیب ۰/۶۹ و ۰/۴۷ را نشان می‌دهد. به‌عبارت دیگر، مقادیر شاخص‌های سلامت بوم‌سازگان با گذر زمان کاهش یافته است. ضمن این که، شاخص ساختار، تاب‌آوری و توان بیش‌ترین تأثیر را بر روی سلامت زیرآبخیز چهل‌خانه دارند. در این راستا وضعیت سلامت منطقه مورد مطالعه از حالت متوسط به ناسالم بودن در حال پیش‌روی است. بنا بر این، انجام عملیات حفاظتی به منظور کاهش تخریب منطقه مورد مطالعه با مشارکت جوامع محلی و برگزاری دوره‌های آموزشی ترویجی به‌منظور ارتقای آگاهی و توانمندسازی جوامع محلی پیشنهاد می‌شود. همچنین، ایجاد نهادهای سازگار با وضعیت حوضه، ضمن همکاری‌های درون و برون‌سازمانی در خصوص سیاست، قوانین و اداره مخاطرات محیطی پیشنهاد می‌شود.

در پایان می‌توان اذعان داشت که انجام پژوهش حاضر به تهیه اطلس سلامت بوم‌سازگان‌های کشور کمک قابل توجهی می‌کند.

References

Ahern, j., & Andre, L., (2006). Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. *Landscape and Urban Planning*, 59, 65-93.

Be Hamtaye Tosi, N., Sofianian, A., & Fakheran, S. (2014). Investigating land cover changes in the central region of Isfahan using landscape metrics. *Iranian Journal of Applied Ecology,* 2(6), 77-87 [In Persian].

Binh, T. N. K. D., Vromant, N., Hung, N. T., Hens, L., & Boon, E. K. (2005). Land cover changes between 1968 and 2003 in Cai Nuoc, Ca Mau Peninsula, Vietnam. *Environment, Development and Sustainability*, 7, 519–536.

Bunch, M. J., Morrison, K. E., Parkes, M. W., & Venema, H. D. (2011). Promoting health and well-being by managing for social–ecological resilience: the potential of integrating ecohealth and water resources management approaches. *Ecology and Society*, 16(1).

Costanza, R. (1992). Toward an operational definition of health, In: Ecosystem Health—New Goals for Environmental Management, Norton BD (editors), Washington, DC: Inland Press, 239–256.

Costanza, R., Arge, R., Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limberg, K., Naeem, S., Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & Van Den Belt, M. (1997). The value of the worlds ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.

Darwish, T., & Faour, G. (2008). Rangeland degradation in two watersheds of Lebnon. *Lebanese Science Journal*, 9, 71-80.

Dezhbani, R., Hazbavi, Z., Mostafazadeh, R., Esmaeli uri, A., & Alaei, N. (2022). Monitoring spatial and temporal changes of watershed health using the conceptual approach of foundation, structure and resilience (VOR). *Journal of RS and GIS for Natural Resources,* Online publication. [In Persian]

Ebrahimi, S., Chezgi, J., Tajbakhsh Fakhrabadi, S. M., & Rostampoor, R. (2023). Health zoning of South Khorasan Forg watershed Using PSR conceptual model approach. *Journal of Arid Biome*, 13(1), 21-33. [In Persian]

Effectiveness studies of watershed operation in Zayandehroud dam basin, 2021. Groundwater report. [In Persian]

Flowers, B., Huang, K. T., & Aldana, G. O. (2020). Analysis of the habitat fragmentation of ecosystems in Belize using landscape metrics. *Journal of Sustainability*, 30(24), 1-14.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1274]

Garret Boongalinga, K. Ch., Faustino-Eslavab, D. V., & Lansiganc, F. P. (2018). Modeling land use change impacts on hydrology and the use of landscape metrics as tools for watershed management: The case of an ungauged catchment in the Philippines. *Journal of Land Use Policy*, 72, 116-128.

Hazbavi, Z., & Sadeghi, S. H. R., (2017). Watershed health (Part three): Vigor, organization and resilience conceptual model. *Extension and Development of Watershed Management,* 5(16), 1-7. [In Persian]

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.

Holling, C. S. (1986). The resilience of terrestrial ecosystems: Local surprise and global change. In: Clark WC and Munn RE (eds) Sustainable Development of the Biosphere. Cambridge University Press, Cambridge. 292-320 pp.

Huang, C., & Asner, G. P. (2009). Applications of remote sensing to alien invasive plant studies. *Sensors*, 9, 4869- 4889.

Huete, A. (2004). Remote sensing for natural resources management and enviromental monitoring: Manual of remote sensing Univercity of Arizona.

Jafari Gorzin, B., Kavyan, A., & Soleimani, K. (2023). Investigation of land use changes and its role in the hydrology of the upstream areas of Siahroud Watershed. *Journal of Watershed Management Research*, 14(27), 26-37. [In Persian]

Jafari, A., Keivan-behjou, F., & Mostafazadeh, R. (2018). Comparing the conditions of different ecosystem health components in Iiril watershed, Ardabil Province. *Journal of Desert Ecosystem Engineering*, 6(16), 81-92. [In Persian]

Jorgensen, S., Xu, F. L., & Costanza, R. (2005). Handbook of ecological indicators for assessment of ecosystem health. CRC press, 2000 N.W. Corporate Blvd., Boca Raton, Florida 33431. ISBN 1 56670 665 3.

Karimi, Z., Sadoddin, A., & Sheikh, V. (2022). Effects of watershed management practices on the quadric services of Chehel-Chai Watershed, Golestan Province. *Water and Soil Management and Modeling*, 2(4), 18-36. [In Persian]

Lu, L., Wang, R., Zhang, Y., Su, H., Wang, P., Jenkins, A., Ferrier, R., Bailey, M., & Squire, G. (2015). Ecosystem health towards sustainability. *Journal of Ecosystem Health and Sustainability*, 1(1), 2.

Mageau, M.T., Costanza, R., & Ulanowicz, R.E., (1998). Quantifyingthe trends associated with developing ecosystems. *Ecological Modeling*, 1-22.

McGarigal, K., & Ene, E. (2013). Fragstats: Spatial pattern analysis program for categorical maps. Version 4.2. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amhers.

McGarigal, K., & Marks, B. J. (1994). FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for QuantifyingLandscape Structure. Oregon State University, USA, 132pp.

Mirsanjari, M. M., & Mohammadyari, F. (2022). Analysis of land use in the BEHBAHAN city approach landscape ecology. *Environmental Science and Technology*, 24(3), 191-124. [In Persian]

Mitchell, M. G., Suarez-Castro, A. F., Martinez-Harms, M., Maron, M., McAlpine, C., Gaston, K. J., & Rhodes, J. R. (2015). Reframing landscape fragmentation's effects on ecosystem services. *Trends in Ecology & Evolution*, 30(4), 190-198.

Mohammadi, A., & Fatemizadeh, F. (2021). Quantifying landscape degradation following construction of a highway using landscape metrics in Southern Iran. *Journal Ecology and Evolution*, 9, 1-9. [In Persian]

Mosaffaie, J., Salehpour 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.

Mostafazadeh, R. (2014). Effects of different management scenarios of landscape metrics on storm runoff and sediment variations. Ph.D Dissertation in Watershed Management Sciences and Engineering, Tarbiat Modares University. 122pp.

Nikouei, H., Azari, M., & Dastorani, M. T. (2023). The effect of climate change on the Fariman dam watershed health using VOR model. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(4), 107-121. [In Persian]

Rapport, D. J., Regier, H. A., & Hutchson T. C. (1985). Ecosystem behavior under stress. *The American Naturalist*, 125, 617-40.

Rolia, E., Sutjiningsih, D., & Siswantining, T. (2021). Modeling Watershed Health Assessment for Five Watersheds in Lampung Province, Indonesia. *Advances in Sciences Technology, and Engineering Systems Journal*, 6(1).

Sadeghi, S. H., Hazbavi, Z., & Gholamalifard, M. (2019). Interactive impacts of climatic, hydrologic and anthropogenic activities on watershed health. *Science of the Total Environment*, 648, 880-893.

Sadeghi, S. H., Khaledi Darvishan, A., Vafakhah, M., Moradi Rekabdarkolaei, H. R., Hazbavi, Z., Rajabi, M. R., Ebrahimi Gatekesh, Z., Zaki, S. A., Pourfallah Asadabadi, S., Haji, Kh., Nasiri Khiavi, A., Mumzaei, A., Kalehhouei, M., Mehri, S., Miarnaeimi, S., & Pournabi, S. (2023). Conceptualization and evaluation of Asiabrood Watershed health, Chalus Township, Iran. *Journal of Watershed Management Research*, 14(27), 15-25. [In Persian]

Sadeghi, S. H., Vafakhah, M., Moosavi, V., Pourfallah Asadabadi, S., Sadeghi, P. S., Khaledi Darvishan, A., Fahraji, R., Mosavinia, S. H., Majidnia, A., Gharemahmudli, S., & Rekabdarkolaei, H. M. (2022).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1274]

Assessing the health and ecological security of a human induced watershed in central Iran. *Ecosystem Health and Sustainability*, 8(1), 2090447.

Salehpour Jam, A., Mosaffaie, J., & Tabatabaei, M. R. (2021). Management responses for Chehel-Chay watershed health improvement using the DPSIR framework. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 23(4), 797-811.

Schumaker, N. H. (1996). Using landscape indices to predict habitat connectivity. *Ecology*, 77, 1210-25.

Sediqi, M. N., & Komori, D. (2024). Assessing water resource sustainability in the Kabul River Basin: A standardized runoff index and reliability, resilience, and vulnerability framework approach. *Sustainability*, 16, 246.

Soleimani., A., & Hojati, M. (2018). Investigation and quantification of variations of landscape measures using remote sensing and biodiversity indices (Case study: Dez protected area). *Human and Environment*, 16(3), 65-76. [In Persian]

Su, M., Fath, B. D., & Yang, Z. (2010). Urban ecosystem health assessment: A review. *Science of the Total Environment*. 408, 2425–2434.

Suo, A., Xiong, Y., Wang, T., Yue, D., & Ge, J. (2008). International association for ecology and health. *Ecohydrology and Health*, 5, 127–136.

Thenkabail, P. S., Gamage, M. S. D. N., & Smakhtin, V. U. (2004). The use of remote sensing data for drought assessment and monitoring in Southwest Asia, Research Report 85, International water management Institute.

Yu, G., Yu, Q., Hu, L., Zhang, S., Fu, T., Zhou, X., He, X., Liu, Y., Wang S., & Jia, H. (2013). Ecosystem health assessment based on analysis of a land use database. *Applied Geography*, 44, 154-164.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1274]