

Variability in health zoning due to applying different methods for averaging pressure, state, and response indices in the Baladeh-e-Noor watershed, Iran

Seyed Hamidreza Sadeghi*, Elnaz Ghabelnezam, Forough Ahmadinejad Baghban, Mostafa Zabihi Silabi, Reza Chamani

Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor 46417-76489, Mazandaran Province, Iran

* Corresponding author: Sadeghi@modares.ac.ir

(Received: 16 July 2024

Revised: 13 August 2024

Accepted: 06 September 2024)

Extended Abstract

Introduction: Since the beginning of the industrial revolution, human activities have had a significant impact on climate change and other environmental issues. Based on this, the occurrence of various events caused by human activities, such as land use changes, increased soil erosion, reduced groundwater levels, the expansion of residential and industrial areas in floodplains, and similar cases have increased the destruction of watersheds day by day. The destruction and confusion of watersheds has led to a decrease in the provision of expected services from watersheds, and in other words, a decrease in ecosystem services. Therefore, the correct evaluation and at the same time the variability of watershed health due to various factors is a vital step in the management and exploitation of ecosystems and showing how the watershed functions. Therefore, in this research, an attempt has been made to evaluate the health status of Balde Noor watershed using problem-oriented and accessible variables. Also, in order to evaluate the effect of different averages on the spatial distribution of watershed health, the health index was calculated using arithmetic, weighted, geometric, summarized, and homogenized averages in Belde Noor watershed in Mazandaran province.

Materials and methods: In this research, based on the conditions of the region and the analysis and refinement of the ecological health and security of the region, 36 key criteria were identified from the set of natural, climatic, human and hydrological factors in the form of pressure (P), state (S) and response (R) indicators. The studied watershed was divided into 18 subwatersheds using SWAT software. In the following, in order to eliminate the variables with internal correlation and in order to avoid errors in the calculations in each sub-watershed, the variables with internal correlation were removed using the variance inflation factor test. After screening and normalizing the selected criteria in exploring the conceptual approach of pressure-situation-response (PSR), arithmetic, geometric, weighted, summarized and composite averages were used. The main and most important central index that shows the balance point and the center of gravity of the society is the average of a society. Among the types of averages, the arithmetic average always has the highest value in terms of quantity, and the average of the coefficients always has the lowest value, and if all the data are the same (equal), all three averages are equal to each other, so the results of different averages are checked and compared with the results. As a result of the field visit, the index of ecological health and security was evaluated.

Results and Discussion: Examining the results showed that the ecological security was determined to be 0.58. The health status of the Baladeh-e-Noor Watershed was assessed using various methods, including arithmetic, geometric, weighted, summarized, and harmony means, resulting in values of 0.63, 0.62, 0.62, 0.63, and 0.60, indicating a relatively healthy watershed. When prioritizing sub-watersheds, it was found that sub-watershed 9 consistently ranked last across all methods, while sub-watershed 17 emerged as the top performer in arithmetic, weighted, and summarized averages, and sub-watershed 18 took the lead in geometric and harmonic means. The research results indicated that the geometric mean is more usable than other averaging methods due to its ability to reduce the impact of large numbers and balance the mean.

Conclusions: Spatial analysis of the calculated variables indicates that good pasture, population density, and livestock units were the most significant factors influencing the health status of the Baladeh-e-Noor Watershed. The results also revealed spatial variations in health status throughout the watershed, with no significant differences observed when different means were applied. These findings provide a roadmap for future management and conservation efforts within the Baladeh-e-Noor Watershed, inspiring hope for improving its health. To address these findings, it is essential to implement tailored and scientifically sound programs to enhance health outcomes across the watershed. Emphasizing nature-based solutions, cooperative management, and integrated approaches will be crucial in improving the Baladeh-e-Noor Watershed's health. The watershed health index emerges as a valuable tool for evaluating the provision of watershed services based on their capacity. Given the Baladeh-e-Noor Watershed's favorable attributes, such as tourist attractions and a suitable climate, future encroachment, population growth, and expansion of residential areas are inevitable. Therefore, developing and implementing a forward-looking vision for the watershed is imperative, leveraging diverse management strategies, low-impact development practices, and environmental change analysis. This approach will focus on maintaining the health of existing sub-watersheds and transforming unhealthy sub-watersheds into thriving and healthy ecosystems.

Keywords: Ecosystem health, Integrated watershed assessment, Participatory management, PSR

Citation: Sadeghi, S.H., Ghabelnezam, E., Ahmadinejad Baghban, F., Zabihi Silabi, M., & Chamani, R. (2025). Variability in health zoning due to applying different methods for averaging pressure, state, and response indices in the Baladeh-e-Noor watershed, Iran. *Integrated Watershed Management*, 5(1), 19-36. doi: 10.22034/iwm.2024.2035677.1163

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>).



تغییرپذیری پهنه‌بندی سلامت با استفاده از روش‌های محاسبه میانگین فشار، وضعیت و شاخص‌های پاسخ در حوزه آبخیز بلده نور

سیدحمیدرضا صادقی*، ائلناز قابل‌نظام، فروغ احمدی‌نژاد باغبان، مصطفی ذبیحی سیلابی، رضا چمنی

گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

*نویسنده مسئول: Sadeghi@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۶

چکیده مبسوط

مقدمه: از آغاز انقلاب صنعتی، فعالیت‌های انسانی تأثیر بسزایی بر تغییرات آب و هوایی و سایر مسائل محیط‌زیستی داشته است. بر این اساس، بروز رخداد‌های مختلف ناشی از فعالیت‌های انسانی از جمله تغییرات کاربری اراضی، افزایش فرسایش خاک، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، گسترش مناطق مسکونی و صنعتی در پهنه‌های سیلابی و موارد مشابه روزبه‌روز بر تخریب حوزه‌های آبخیز افزوده است. تخریب و برهم‌آشتگی آبخیزها سبب کاهش ارائه خدمات متوقع از آبخیزها و به عبارتی کاهش خدمات بوم‌سازگان را در پی داشته است. از این‌رو ارزیابی صحیح و در عین حال تغییرپذیری سلامت حوزه‌های آبخیز در اثر عوامل مختلف، گام اساسی حیاتی در مدیریت و بهره‌برداری از بوم‌سازگان و نمایش چگونگی عملکرد آبخیزهاست. لذا در این پژوهش سعی شده است وضعیت سلامت حوزه آبخیز بلده نور با استفاده از متغیرهای مشکل‌محور و قابل دسترس مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین در راستای ارزیابی اثر میانگین‌های مختلف بر پراکنش مکانی سلامت آبخیز، شاخص سلامت با استفاده از میانگین‌های حسابی، وزنی، هندسی، خلاصه‌شده و هم‌ساز در حوزه آبخیز بلده نور در استان مازندران محاسبه شد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق، بر اساس شرایط منطقه و تحلیل و پالایش سلامت و امنیت بوم‌شناسی منطقه، ۳۶ معیار کلیدی از مجموعه عوامل طبیعی، اقلیمی، انسانی و هیدرولوژی در قالب شاخص‌های فشار (P)، حالت (S) و پاسخ (R) شناسایی شد. حوزه آبخیز مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار SWAT به ۱۸ زیرآبخیز تقسیم‌بندی شد. در ادامه برای حذف متغیرهای دارای همبستگی درونی و به‌منظور جلوگیری از بروز خطا در محاسبات در هر زیرآبخیز، با استفاده از آزمون عامل تورم و واریانس متغیرهای دارای همبستگی درونی حذف شدند. پس از غربال و نرمال‌سازی معیارهای منتخب در کنکاش رویکرد مفهومی فشار-وضعیت-پاسخ (PSR)، میانگین‌های حسابی، هندسی، وزنی، خلاصه‌شده و هم‌ساز استفاده شد. اصلی‌ترین و مهم‌ترین شاخص مرکزی که نشان دهنده نقطه تعادل و مرکز ثقل جامعه است، میانگین یک جامعه است. در میان انواع میانگین‌ها، میانگین حسابی از نظر کمیت همیشه بیشترین مقدار و میانگین هم‌ساز همیشه کمترین مقدار را دارد و اگر تمام داده‌ها یکسان (برابر) باشند، هر سه میانگین با هم برابر می‌شوند بنابراین نتایج میانگین‌های مختلف بررسی و در مقایسه با نتایج حاصل از بازدید میدانی، شاخص سلامت و امنیت بوم‌شناختی ارزیابی شد.

نتایج و بحث: بررسی نتایج نشان داد که امنیت بوم‌شناختی در حوزه آبخیز برابر با ۰/۵۸ به‌دست آمد و وضعیت سلامت حوزه آبخیز بلده نور نیز با میانگین‌های حسابی، هندسی، وزنی، خلاصه‌شده و هم‌ساز در طبقه نسبتاً سالم با مقدار عددی به‌ترتیب ۰/۶۳، ۰/۶۲، ۰/۶۳، ۰/۶۳ و ۰/۶۰ قرار گرفت. از لحاظ اولویت‌بندی زیرآبخیزها نیز، زیرآبخیز ۹ در تمامی میانگین‌ها در اولویت آخر قرار گرفت و زیرآبخیز ۱۷ به ترتیب در میانگین‌های حسابی، وزنی و خلاصه‌شده و زیرآبخیز ۱۸ در میانگین‌های هندسی و هم‌ساز در اولویت اول قرار گرفتند. همانطور که نتایج پژوهش نشان داد میانگین هندسی به دلیل کاهش اثر اعداد بزرگ و متعادل کردن میانگین، قابلیت استفاده بیشتری نسبت به سایر میانگین‌ها دارد.

نتیجه‌گیری: تغییرات مکانی متغیرهای محاسبه‌شده نشان داد که مرتع خوب به‌عنوان مؤثرترین عامل مثبت و تراکم جمعیت و واحد دامی نیز به‌عنوان مؤثرترین عوامل منفی بر وضعیت سلامت آبخیز بلده نور محسوب می‌شوند. همچنین نتایج بیان‌گر تغییرات مکانی وضعیت سلامت در کل حوزه آبخیز مورد مطالعه و عدم اختلاف معنی‌دار حاصل از کاربست میانگین‌های مختلف بوده است؛ بنابراین، برای بهبود سلامت در درجات مختلف باید برنامه‌های مختلف علمی و سازگار به‌کار برده شوند. پیشنهاد می‌شود که راهکارهای مبتنی بر طبیعت، مدیریت مشارکتی و مدیریت سازگار و یکپارچه برای بهبود سلامت آبخیز بلده نور در اولویت قرار گیرند. شاخص سلامت آبخیز می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر برای تحلیل موجودیت خدمات آبخیز متناسب با ظرفیت حمل آن‌ها نیز در نظر گرفته شود. همچنین با توجه به وضعیت مناسب حوزه آبخیز بلده نور به لحاظ جاذبه‌های گردشگری و برخورداری از آب و هوای مناسب، دخل و تصرف بیشتر در منطقه و گسترش مناطق مسکونی و افزایش جمعیت خوش‌نشین در آینده اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. لذا پیشنهاد می‌شود با استفاده از روش‌های مختلف مدیریتی، توسعه کم‌پیامد و تحلیل روند تغییرات محیطی چشم‌انداز آینده این آبخیز با تکیه بر حفظ زیرآبخیزهای سالم و بهبود زیرآبخیزهای ناسالم به سالم طراحی و اجرایی شود.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی یکپارچه حوزه آبخیز، سلامت بوم‌سازگان، مدیریت مشارکتی، PSR

استناد: صادقی، س.ح.، قابل‌نظام، الف.، احمدی‌نژاد باغبان، ف.، ذبیحی سیلابی، م. و چمنی، ر. (۱۴۰۴). تغییرپذیری پهنه‌بندی سلامت با استفاده از روش‌های محاسبه میانگین فشار، وضعیت و شاخص‌های پاسخ در حوزه آبخیز بلده نور. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۵(۱)، ۳۶-۱۹.

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 قابل دسترس است.

مقدمه

2015; Liang *et al.*, 2016; Sadeghi *et al.*, 2019; Ahn & Kim, 2019).

رویکرد ارزیابی سلامت بوم‌سازگان^۷ (EHA) برای اولین بار توسط Rapport در سال ۱۹۸۹ معرفی شد. این رویکرد از یک روش ارزیابی کمی در بوم‌سازگان‌های مختلف استفاده می‌کند و پس از معرفی شاخص سلامت بوم‌سازگان عمومی^۸ (EHI) توسط Costanza و Mageau (۱۹۹۹) استفاده گسترده‌ای پیدا کرده است. ارزیابی سلامت حوزه آبخیز گام اولیه حیاتی در مدیریت و بهره‌برداری بوم‌سازگان است، زیرا هشدارهای اولیه در مورد تخریب منابع طبیعی را ارائه می‌دهد و عوامل تخریب را شناسایی می‌کند (Rapport *et al.*, 2009). مفهوم سلامت آبخیز به حفظ وضعیت "عادی" سامانه سازگار و پیچیده آبخیز اشاره دارد. آبخیزهای سالم نقش کلیدی در ارائه خدمات بوم‌سازگان دارند (Alilou *et al.*, 2019). بر این اساس آگاهی از سلامت آبخیز یکی از اساسی‌ترین بخش‌ها در مدیریت پایدار و جامع منابع آبخیز است. چرا که آبخیز به صورت یک بوم‌سازگان ترکیبی عمل می‌کند و هم‌زمان چشم‌انداز طبیعی، فعالیت‌های اقتصادی و توسعه اجتماعی را درگیر می‌کند (Tsai *et al.*, 2021)؛ بنابراین حفظ سلامت بوم‌سازگان برای ابداع روش‌های جدید به منظور ارزیابی و نظارت بر منابع محیطی، ارائه راه‌حل‌های عملی برای رفع اختلالات در آبخیزها ضروری است (Sadeghi *et al.*, 2023).

تاکنون مطالعات متعددی با هدف ارزیابی سلامت آبخیز با در نظر گرفتن معیارهای متنوع در دنیا انجام شده است. برای نمونه در خارج از ایران Ahn و Kim (۲۰۱۹) به ارزیابی سلامت، آسیب‌پذیری و تاب‌آوری آبخیز رودخانه Han در کشور کره جنوبی با مدل SWAT پرداخته و در نهایت به این نتیجه رسیدند که

تأثیر فعالیت‌های انسانی تنها از آغاز انقلاب صنعتی در مقیاس جهانی گسترش پیدا کرده است که منجر به بروز تغییراتی در جو و تغییر اقلیم زمین شده است. یافته‌های هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم^۱ IPCC نشان می‌دهد که کشورهای در حال توسعه، در مقابل تغییرات اقلیم آسیب‌پذیرتر خواهند بود و ممکن است به دلایل مختلفی پیامدهای گسترده‌تری داشته باشند. عمدتاً به دلیل این که اقتصاد این کشورها به کشاورزی وابسته است، وسعت زیادی از کشورهای در حال توسعه، به شدت مستعد بیابان‌زایی و خشکسالی است که متأسفانه در نتیجه این تغییرات، حوزه‌های آبخیز در حال تخریب بوده یا دارای پتانسیل تخریب می‌باشند (Hazbavi & Sadeghi, 2017). حوزه‌های آبخیز، سامانه‌های اجتماعی-بوم‌شناختی^۲ (SESs) هستند که در آن انسان‌ها و موجودات دیگر با محیط فیزیکی و یکدیگر تعامل دارند (Gari *et al.*, 2018). این سامانه‌های پاسخ هیدرولوژیکی^۳، مناسب‌ترین واحدها برای تجزیه و تحلیل سطوح مختلف اقتصادی-اجتماعی، منابع آب و برنامه‌ریزی و مدیریت کاربری اراضی هستند (Wang *et al.*, 2016)؛ بنابراین آژانس حفاظت از محیط‌زیست^۴ (EPA) کشورها را به سمت ارزیابی‌های یکپارچه حوزه آبخیز^۵ سوق داده است. زیرا بهره‌برداری‌های غیراصولی، کمبود آب، تخریب زمین، بیابان‌زایی، مخاطرات طبیعی و فرآیندهای تکاملی، مشکلات جدی در پایداری درازمدت برای سلامت آبخیز^۶ کشورهای در حال توسعه به خصوص ایران ایجاد می‌کند که منجر به کاهش تنوع زیستی، کاهش بهره‌وری، خطرات طبیعی، افزایش آسیب‌پذیری و ظهور مسائل محیط‌زیستی می‌شود (Mosaffaie,)

5- Integrated watershed assessments

6- Watershed Health

7- Ecosystem Health Assessment (EHA)

8- Ecosystem Health Index (EHI)

1- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

2- Social-Ecological Systems (SESs)

3- Hydrological response systems

4- Environmental Protection Agency (EPA)

۶۷ زیرآبخیز از ۲۳۷ زیرآبخیز دارای اولویت‌های بازسازی با پتانسیل بالاست. در ایران نیز از سال ۱۳۹۵ مطالعات مرتبط با ارزیابی سلامت آبخیز مورد توجه قرار گرفت و به ادبیات و علوم مرتبط با منابع طبیعی افزوده شد. در همین ارتباط، Hazbavi و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از رویکرد فشار-وضعیت-پاسخ^۹ (PSR) به ارزیابی و تحلیل وضعیت سلامت آبخیز کوزه‌تپراقی در استان اردبیل پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که این آبخیز از لحاظ سلامت در وضعیت متوسط با مقدار عددی ۰/۴۱ قرار دارد. Sadeghi و همکاران (۲۰۲۲) به ارزیابی سلامت آبخیز دروازه قرآن شیراز و اثر سازه‌های آبخیزداری با محوریت سیلاب بر سلامت آبخیز با استفاده از رویکرد فشار-وضعیت-پاسخ پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که سازه‌های آبخیزداری موجود به سبب محدودیت تعداد و پوشش مکانی محدود، علی‌رغم تأثیر بر عوامل مؤثر بر سلامت زیرحوزه آبخیز، نتوانسته است بر بهبود شرایط کلی حوزه آبخیز تأثیر محسوسی داشته باشد. Ghabelnezam و همکاران (۲۰۲۳) به منظور ارزیابی سلامت حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی در استان اردبیل، رویکرد PSR-Fuzzy را توسعه دادند. این محققان برای این کار از ۱۳ معیار مختلف استفاده کردند. همچنین برای پهنه‌بندی سلامت آبخیز نیز از شش عملگر PRODUCT، SUM، OR، AND، گامای ۰/۹ و گامای ۰/۵ استفاده کردند. در نهایت به این نتیجه رسیدند که PRODUCT به‌عنوان کارآمدترین عمل‌گر در تهیه نقشه سلامت آبخیز است. همچنین نتایج بیان‌گر تغییرات مکانی وضعیت سلامت در کل حوزه آبخیز مورد مطالعه بوده است. Sadeghi و همکاران (۲۰۲۳) به پهنه‌بندی سلامت حوزه آبخیز و امنیت بوم‌شناختی در ۳۰ حوزه آبخیز بزرگ و درجه دوم در سراسر ایران با استفاده از رویکرد PSR پرداختند. ایشان ۴۴ متغیر مشکل‌محور، تأثیرگذار و در دسترس در بخش‌های اقلیمی، هیدرولوژیکی، انسانی و طبیعی در سطح ملی را معرفی شده است (Ran et al., 2021). با این حال، یافتن

شناسایی و مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که شاخص‌های S، P و R به ترتیب از ۰/۴۹ تا ۰/۶۹، ۰/۴۲ تا ۰/۸۲ و ۰/۴۰ تا ۰/۹۴ متغیر بوده و شاخص‌های سلامت و امنیت بوم‌شناختی به ترتیب از ۰/۴۶ تا ۰/۹۶ و ۰/۳۰ تا ۰/۸۹ متغیر است. همچنین میانگین وزنی S، P و R نیز به ترتیب ۰/۵۹، ۰/۶۲ و ۰/۵۷ بوده است. Chamani و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای به رویکرد فشار-وضعیت-واکنش، با تأکید خاص بر مسائل مربوط به سیل در منطقه حوزه آبخیز شارقنج در خراسان جنوبی پرداختند. ایشان ابتدا ۲۱ معیار شامل عوامل هیدرولوژیکی، انسانی، طبیعی و اقلیمی را انتخاب نمودند. این متغیرها بر اساس آزمون‌های هم‌خطی و در دسترس بودن داده‌ها، پالایش و سپس به شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ طبقه‌بندی شدند تا شاخص‌های سلامت و امنیت بوم‌شناختی مرتبط در سطح زیرآبخیز را تعیین کنند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که حوزه آبخیز به شدت مستعد وقوع سیل است و وضعیت سلامت و امنیت بوم‌شناختی آن در درجه اول تحت تأثیر خسارات ناشی از سیل مانند تخریب منازل مسکونی و باغات در سال‌های اخیر است. همچنین مطالعات متعدد دیگری (برای نمونه Hazbavi et al., 2017; Ebrahimi et al., 2018; Sadeghi et al., 2018; Sadeghi et al., 2019; Ebrahimi Gatgash & Sadeghi, 2023) نیز با هدف ارزیابی سلامت حوزه آبخیز در ایران انجام شده است. با مرور منابع می‌توان جمع‌بندی نمود که رویکردهای $ReIResVul$ ^{۱۰}، $VORes$ ^{۱۱}، DPSIR^{۱۲} و PSR نسبت به سایر رویکردها و رویکردها در ارزیابی سلامت حوزه آبخیز بیشتر استفاده شده است. همچنین با مرور منابع و ادبیات موجود مشخص شد در حوزه آبخیز بلده شهرستان نور مطالعات ارزیابی سلامت حوزه آبخیز انجام نشده است. علی‌رغم پیچیدگی حوزه آبخیز، ارزیابی سلامت آن به‌عنوان ابزاری مؤثر برای تعیین سلامت سامانه‌های بوم‌شناختی معرفی شده است (Ran et al., 2021). با این حال، یافتن

11- Vigor-Organization-Rresilince (VOR_{es})

12 - Driving Force-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR)

9- Pressure -State -Response

10- Reliability-Resilience-Vulnerability (ReIResVul)

موقعیت منطقه مورد مطالعه را در کشور و استان مازندران نشان می‌دهد.

رویکرد فشار-وضعیت-پاسخ (PSR)

رویکرد PSR یک رویکرد علمی و پایدار است که بیان گر ارتباط بین عوامل فشار-وضعیت-پاسخ حوزه آبخیز است. این رویکرد با توجه به عوامل مختلف بوم‌شناختی، اجتماعی و اقتصادی که بوم‌سازگان‌های آبخیز را تشکیل می‌دهند، می‌تواند نقش بسیار مؤثری در مدیریت پایدار و مؤثر این آبخیزها داشته باشد. مفهوم اصلی PSR شامل یک رویکرد ساختاریافته برای اتصال سه عنصر فشار، وضعیت و پاسخ از طریق یک سامانه ارتباطی است و استفاده گسترده از آن به‌عنوان یک ابزار برای مدل‌سازی سامانه‌های انسانی و طبیعی انجام می‌شود. این سامانه، از پیوندهای موجود میان روابط علت و معلولی برای برقراری ارتباط با عامل‌های محیطی، اقتصادی و اجتماعی بهره می‌گیرد (Hazbavi et al., 2020). هرگونه فعالیت انسانی و شرایط ذاتی منطقه، که به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم بر سلامت بوم‌سازگان حوزه آبخیز فشار وارد کرده و سبب برهم خوردن تعادل در خدمات متوقع از آبخیز شود؛ در مفهوم شاخص فشار قرار می‌گیرد. شاخص وضعیت نیز بیان‌گر وضعیت و حالت کلی بوم‌سازگان با توجه به شرایط ایجاد شده تحت مؤلفه‌های فشار است. در واقع وضعیت خاص کیفی و کمی منابع موجود و وضعیت کلی حوزه آبخیز مورد بررسی قرار می‌گیرد. از سویی حوزه آبخیز، زمانی که با یک فشار یا مجموعه‌ای از فشارها مواجه می‌شود، یک پاسخ خاص یا سلسله‌مراتبی از پاسخ‌ها را از خود نشان می‌دهد (Sadeghi et al., 2023; Chamani et al., 2024).

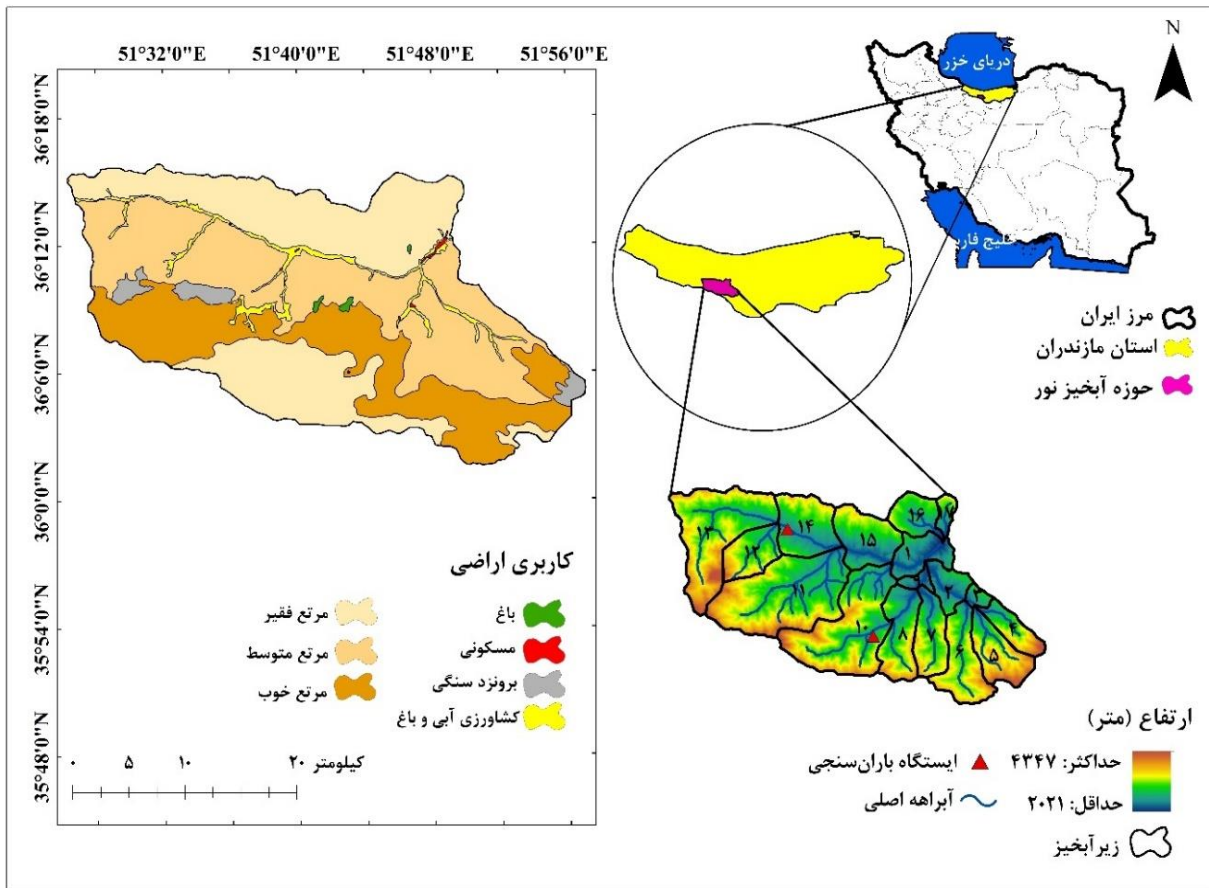
در پژوهش حاضر ابتدا با مفهوم‌سازی مشکلات موجود در حوزه آبخیز بلده نور بر اساس مطالعات و پژوهش‌های پیشین عامل‌های مرتبط در زمینه مشکلات موجود انتخاب و طبقه‌بندی شد. سپس برای هر کدام از عامل‌ها نیز در سه شاخص فشار، وضعیت و پاسخ بر اساس شرایط منطقه و اطلاعات موجود معیارهایی به شکل خلاصه‌شده در جدول ۱ تعیین شد.

شاخص‌های محیطی مناسب برای اندازه‌گیری تغییرات تنوع زیستی، سلامت بوم‌سازگان، کیفیت زیستگاه چالش‌برانگیز است. همچنین اثر تغییر شیوه‌های زیرمحاسبه‌های مربوط به ارزیابی سلامت بر وضعیت کلی شاخص مزبور مورد توجه قرار نگرفته است؛ بنابراین هدف از این پژوهش مقایسه روش‌های آماری میانگین و بررسی اختلاف آن‌ها در ارزیابی سلامت حوزه آبخیز است. در این پژوهش سعی شده است با شناخت کامل منطقه مورد مطالعه از طریق بازدیدهای میدانی و بررسی مطالعات پیشین، مشکلات اصلی و اساسی حوزه آبخیز مطالعاتی تعیین تا پس از مفهوم‌سازی، معیارهای اولیه مؤثر در سلامت آبخیز منطقه انتخاب شود. با توجه به بازدیدهای میدانی و بررسی مطالعات تفصیلی (۱۳۹۲) انجام شده در حوزه آبخیز بلده نور، مشخص شد موضوعات اساسی این حوزه آبخیز اتکای اقتصاد بر دامداری، محدودیت توسعه ساخت و ساز و سطح محدود اراضی زراعی بوده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز بلده نور با مساحت ۷۴۳ کیلومتر مربع بین ۲۰°، ۳۵'، ۵۱ تا ۳۰'، ۵۸، ۵۱° طول شرقی و ۲۵'، ۰۰، ۳۶° تا ۴۵'، ۰۰، ۳۶ عرض شمالی واقع است. دامنه ارتفاعی ۲۰۴۶ تا ۴۲۵۸ متر از سطح دریا، شیب متوسط ۳۶ درصد، متوسط بارش سالیانه ۴۳۰/۰۴ میلی‌متر، متوسط دمای سالیانه ۷/۴۷ درجه سانتی‌گراد در شهرستان نور استان مازندران واقع شده است. این آبخیز بزرگ‌ترین زیرآبخیز رودخانه هراز و بزرگ‌ترین مرکز جمعیتی آن شهر بلده است. این آبخیز شامل ۱۸ زیرآبخیز با ۳۵ روستا و منابع آب زیرزمینی آن شامل ۱۳۸ دهنه چشمه و سه رشته قنات است. بر اساس روش دومارتن، اقلیم این آبخیز شامل دو بخش خیلی مرطوب و نیمه‌خشک محاسبه شده است. پوشش گیاهی غالب آن مرتع با انواع گندمیان چندساله توأم با گیاهان بوته‌ای و انواع پهن‌برگان بالارزش است. ساختار اقتصادی ساکنین آبخیز نیز بر دامداری، زراعت و باغداری متکی است (Ghanbaritaloke et al., 2015). شکل ۱،



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه در استان مازندران و ایران
Figure 1- Location of the study area in Mazandaran Province and Iran

شاخص فشار (P)

به کمک یک معادله ساده میزان بارندگی مناسب برای هر منطقه را ارائه می‌کند. از این رو شاخص خشکسالی پالمر و شاخص‌هایی نظیر شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) و تغییرات سطح آب زیرزمینی نیز از طریق تصاویر سنجنده‌های MODIS و GLDAS با وضوح مکانی یک کیلومتر و طی بازه زمانی ۲۰ ساله (۱۳۸۲-۱۴۰۲)، از پایگاه Google Earth Engine اخذ شد. کاربری اراضی حوزه آبخیز نیز از طریق استخراج از لایه‌های مطالعاتی و مقایسه در نرم‌افزار Google Earth برای سال ۲۰۲۲ تهیه شد. معیار تقاطع جاده با آبراهه نیز از لایه‌های اطلاعاتی آبراهه‌های منطقه و طول جاده نیز با استفاده از سامانه Google Earth و لایه اطلاعاتی جاده‌های کشور محاسبه شد (جدول ۲).

با توجه به این که حوزه آبخیز یک سامانه پیچیده است، چهار عامل طبیعی، هیدرولوژی، انسانی و اقلیمی برای شاخص فشار در نظر گرفته شد. سپس با در نظر گرفتن مشکلات عمده حوزه آبخیز بلده نور، ۱۶ معیار مختلف و مناسب برای شاخص فشار تعیین شد. در ادامه نحوه محاسبه این معیارها ارائه شده است. به منظور تهیه متغیرهای اقلیمی از آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی بطاهرکلا و مینک طی دوره آماری ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۷ به سبب قابلیت دسترسی در پایگاه منابع آب ایران استفاده شد. همچنین نقشه مدل رقومی ارتفاع نیز از طریق خطوط توپوگرافی نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شد. شاخص خشکسالی Palmer با استفاده از داده‌های دما و بارندگی ماهانه و

جدول ۱- مفهوم‌سازی چارچوب شاخص، عوامل و معیارهای سلامت با رویکرد PSR در حوزه آبخیز بلده نور

Table 1- Conceptualization of Index Framework, Health Factors, and Criteria Using the PSR Approach in the Baladeh-e-Noor Watershed, Iran

منبع	واحد	روش محاسب	معیار	عامل	شاخص
Mahdavi (2009)	m	نقشه توپوگرافی و DEM	اختلاف ارتفاع	طبیعی	
Mahdavi (2009)	Degree	نقشه DEM	شیب		
-	تعداد	نرم‌افزار ArcGIS 10.7	تعداد زمین‌لغزش		
-	Km	نقشه گسل ایران و نرم‌افزار ArcGIS 10.7	طول گسل		
Sadeghi et al. (2022)	Km ²	نقشه زمین‌شناسی	مساحت سازند حساس به فرسایش		
Sadeghi et al., (2022)	تعداد	نقشه آبراهه و جاده‌های کشور	تقاطع آبراهه و جاده	هیدرولوژی	
Sadeghi et al., (2022)	h	روش کریچ	زمان تمرکز		
Sadeghi et al. (2022)	mm	ایستگاه هواشناسی	بارش	اقلیمی	
Sadeghi et al., (2022)	C°	ایستگاه هواشناسی	دما		
Sadeghi et al., (2022)	بدون واحد	تصاویر سنجنده GLDAS	خشکسالی		
Sadeghi et al., (2022)	Km	نرم‌افزار Google Earth و ArcGIS 10.7	طول جاده	فشار	
مطالعه تفصیلی	تعداد	مطالعه تفصیلی	تعداد دام		
Hazbavi et al., (2020)	Km ²	نقشه کاربری اراضی	مساحت کاربری مرتع با پوشش گیاهی متوسط مبتنی بر مطالعات تفصیلی-اجرایی آبخیز بلده	انسانی	
Hazbavi et al., (2020)	Km ²	نقشه کاربری اراضی	مساحت کاربری مرتع با پوشش گیاهی فقیر		
Hazbavi et al., (2020)	Km ²	نقشه کاربری اراضی	مساحت کاربری کشاورزی		
Hazbavi et al., (2020)	Km ²	نقشه شیب و کاربری اراضی	مساحت اراضی با شیب کم‌تر از ۱۲ درصد		
Hazbavi et al., (2020)	Km ²	نقشه کاربری اراضی	مساحت کاربری مسکونی		
Hazbavi et al., (2020)	Km ²	نقشه کاربری اراضی	مساحت کاربری پروند سنگی		
Ghabelnezam et al., (2023)	بدون واحد	محصولات سنجنده GLDAS و Google earth Engine	نسبت پوشش گیاهی فصل رویش به پوشش گیاهی کل سال		
Ghabelnezam et al., (2023)	بدون واحد	محصولات سنجنده GLDAS و Google earth Engine	شاخص نرمال‌شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI)		
Hazbavi et al., (2020)	بدون واحد	نقشه کاربری اراضی	نسبت مساحت کاربری پروند سنگی به سطح زیرحوزه آبخیز	طبیعی	
Hazbavi et al., (2020)	بدون واحد	نقشه کاربری اراضی	نسبت مساحت کاربری مرتع به سطح زیرحوزه آبخیز		
Hafezparast (2020)	m	محصولات سنجنده GLDAS و Google earth Engine	تغییرات آب زیرزمینی		
Bi et al., (2016)	Kg m ⁻²	محصولات سنجنده MODIS و GLDAS	رطوبت خاک		
Sadeghi et al., (2022)	Km km ⁻²	نقشه آبراهه	تراکم زهکشی	هیدرولوژی	
Hazbavi et al., (2023)	بدون واحد	نقشه بافت خاک و نرم‌افزار CN-Calculator	شماره منحنی رواناب (CN)		
Hazbavi et al., (2020)	بدون واحد	نقشه کاربری اراضی	نسبت مساحت کاربری پروند سنگی به سطح زیرحوزه آبخیز	انسانی	
Hazbavi et al., 2020	بدون واحد	نقشه کاربری اراضی	نسبت مساحت کاربری کشاورزی به سطح زیرحوزه آبخیز		
Hazbavi et al., (2020)	بدون واحد	نقشه کاربری اراضی	نسبت مساحت کاربری مرتع به سطح زیرحوزه آبخیز		

شاخص	عامل	معیار	روش محاسب	واحد	منبع
		نسبت مساحت کاربری کشاورزی به سطح زیرحوزه آبخیز تراکم جمعیت مرکز ثقل اراضی کشاورزی	نقشه کاربری اراضی	بدون واحد	Hazbavi et al., (2020)
			درگاه ملی آمار ایران	تعداد در سطح	Sadeghi et al., (2022)
			نرم‌افزار ArcGIS 10.7 و نقشه کاربری اراضی	Km	-
			نرم‌افزار Google Earth	Km km ²	Sadeghi et al., (2022)
		تراکم جاده شاخص طبیعت‌گرایی معکوس شاخص طبیعت‌گرایی	نقشه کاربری اراضی	بدون واحد	-
			نقشه کاربری اراضی	بدون واحد	-
			تولید ناخالص اولیه گیاهی روی زمینی	بدون واحد	Hazbavi et al., (2023)
			درگاه ملی آمار ایران	تعداد	www.amar.orj
پاسخ	انسانی	واحد دامی	مطالعات تفصیلی	تعداد	مطالعات تفصیلی

شاخص وضعیت (S)

سیلت با هم ترکیب و نقشه بافت خاک تهیه شد. پس از آن از روی نقشه بافت خاک با استفاده از دستورالعمل‌های موجود (Mahdavi, 2009) گروه‌های هیدرولوژی خاک نیز برای حوزه آبخیز استخراج شد. در نهایت از نرم‌افزار ایرانی CN Calculator برای تعیین مقدار CN، در هر کاربری اراضی در سطح زیرآبخیزها استفاده شد (Hazbavi et al., 2023).

شاخص پاسخ (R)

برای سنجش میزان تغییرات جمعیت در شاخص پاسخ از اطلاعات موجود در درگاه ملی آمار ایران بهره گرفته شد. میزان تولید اولیه خالص^{۱۳} از تصاویر سنجنده‌های MODIS با وضوح مکانی یک کیلومتر و برای بازه زمانی ۲۰ ساله (۱۴۰۲-۱۳۸۲) از پایگاه Google Earth Engine اخذ شد. با توجه به اطلاعات مربوط به مطالعات تفصیلی اداره منابع طبیعی و آبخیزداری انجام شده در آبخیز نیز تعداد واحد دامی برای هر کدام از زیرحوزه آبخیز به دست آمد.

کاهش داده‌ها

با توجه به همبستگی زیاد بین بسیاری از معیارها و تأثیر ناچیز متغیرهای خاص، حذف برخی از آنها ضروری است. روش‌های مختلفی برای محاسبه

در شاخص وضعیت میزان رطوبت سطحی خاک از تصاویر سنجنده‌های MODIS و GLDAS با وضوح مکانی یک کیلومتر و برای بازه زمانی ۲۰ ساله (۱۴۰۲-۱۳۸۲) از پایگاه Google Earth Engine اخذ شد. همچنین نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه با استفاده از عکس زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شد. پس از آن نقشه سازندهای حساس به فرسایش و فرسایش‌پذیری نیز تهیه شد. بر اساس اطلاعات مرکز آمار ایران و لایه‌های جمعیتی، تعداد جمعیت هر یک از زیرحوزه‌های آبخیز مشخص شده و از تقسیم تعداد جمعیت به مساحت زیرحوزه‌های آبخیز مربوطه، تراکم جمعیت محاسبه شد. در ادامه میزان تراکم زهکشی نیز با بهره گرفتن از نقشه آبراهه منطقه که از نقشه DEM از طریق نرم‌افزار ArcGIS 10.7 استخراج شده بود، محاسبه شد. با توجه به اطلاعات مربوط به مطالعات تفصیلی اداره منابع طبیعی و آبخیزداری در سال ۱۳۹۲ در حوزه آبخیز بلده نور، تعداد دام موجود در هر زیرحوزه آبخیز بدست آمد. برای محاسبه معیار شماره منحنی رواناب نیز نقشه درصد رس، شن و سیلت برای حوزه آبخیز بلده نور از پایگاه جهانی soilgrids.org اخذ شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار SAGA 2.1.1 سه لایه درصد شن، رس و

به دلیل گستردگی زیاد عناصر تشکیل دهنده حوزه‌های آبخیز و روابط پیچیده بین آن‌ها ممکن است یک متغیر دارای مقداری متفاوت یا با دامنه متفاوت از سایر معیارها باشد. در این صورت باید برای در نظر گرفتن تمامی معیارها در طول دوره آماری از روشی استفاده کرد که تغییرات دامنه معیارها را مدنظر قرار دهد و تغییر در معیارها را برجسته نماید (Ratha & Agrawal, 2015). به منظور مقایسه و کسب بهترین نتیجه در هر شاخص حالت هر متغیر در هر شاخص بر سلامت کلی آبخیز تعیین و در ادامه، مقادیر شاخص سلامت در زیرآبخیزهای بلده نور با استفاده از رابطه‌های (۳) تا (۷) تعیین شد. به عبارتی نتایج مقادیر شاخص‌های فشار، وضعیت و پاسخ با استفاده از میانگین‌های حسابی^{۱۵}، هم‌ساز^{۱۶}، خلاصه‌شده^{۱۷}، وزنی^{۱۸} و هندسی^{۱۹} با یکدیگر مقایسه و سلامت حوزه آبخیز پهنه‌بندی و در نهایت زیرآبخیزها بر اساس سلامت حوزه آبخیز اولویت‌بندی شدند. میانگین حسابی ساده‌ترین و پرکاربردترین معیار میانگین‌گیری است که شامل جمع‌آوری یک گروه از اعداد، سپس تقسیم آن مجموع بر تعداد اعداد استفاده‌شده در سری است اما میانگین حسابی همیشه ایده‌آل نیست، به خصوص زمانی که یک نقطه پرت می‌تواند میانگین را تا حد زیادی منحرف کند (رابطه ۳). در یک میانگین وزنی، مقادیر ضریب Beta حاصل از آزمون رگرسیونی برای سه شاخص فشار، حالت و پاسخ بر مجموع مقادیر تقسیم و عدد حاصل برای هر شاخص به‌عنوان وزن اختصاص‌یافته تعریف می‌شود. بنابراین مقدار عددی هر شاخص برای هر آبخیز در وزن اختصاص داده‌شده ضرب می‌شود، سپس جمع و بر تعداد نقاط داده تقسیم می‌شود (رابطه ۴). میانگین هندسی حاصل ضرب تمام اعداد سری را می‌گیرد و آن را به معکوس طول سری می‌رساند (رابطه ۵). میانگین هم‌ساز با تقسیم تعداد

همبستگی میان متغیرها وجود دارد. در پژوهش حاضر از نرم‌افزار SPSS برای آزمون عامل تورم واریانس^{۱۴} (VIF) به منظور ارزیابی استقلال داده‌ها و لحاظ اولین عامل ورودی به عنوان متغیر وابسته و سایر عامل‌ها به عنوان متغیرهای مستقل استفاده شد. در ادامه شاخص‌های فشار، وضعیت و پاسخ بر اساس معیارهایی بدون همبستگی درونی محاسبه شد. قابل ذکر است که معیارهایی که با مقدار VIF بیشتر از ۱۰ به دلیل همبستگی بالا شناسایی شدند، از محاسبه شاخص‌های سلامت حوزه آبخیز حذف شدند (Aghaei Meibodi & Hamidizadeh, 2017; Sadeghi et al., 2023).

نرمال‌سازی داده‌ها

در پژوهش حاضر به منظور مقایسه بهتر معیارهای با مقادیر و واحدهای متفاوت و به منظور مقایسه بهتر نتایج معیارهای موردبررسی و مرتبط با سلامت حوزه آبخیز، داده‌های مربوط به تمام معیارها نرمال‌سازی و در بازه بین صفر تا یک قرار گرفتند. با توجه به برخورداری معیارهای مطالعاتی از مفاهیم رابطه مثبت و منفی با سلامت حوزه آبخیز بلده نور از رابطه‌های (۱) و (۲) برای دو گروه با اثر متفاوت استفاده شد (Saaduddin et al., 2017).

$$\text{Index} = \frac{\text{Score} - \text{Lowest score}}{\text{Highest score} - \text{lowest score}} \quad (1)$$

$$\text{Index} = 1 - \frac{\text{Score} - \text{Lowest score}}{\text{Highest score} - \text{Lowest score}} \quad (2)$$

که در آن، Score، بیان‌گر مقدار داده‌های نرمال‌شده واقعی، Lowest score، مقدار داده نرمال‌شده حداقل و Highest Score نیز مقدار نرمال‌شده حداکثر معیار موردنظر است.

پهنه‌بندی سلامت حوزه آبخیز

پس از محاسبه شاخص‌های فشار، وضعیت و پاسخ، وضعیت سلامت حوزه آبخیز بلده نور پهنه‌بندی شد.

17- Summarized Mean
18- Wighted Mean
19- Geometric Mean

14- Variance Inflation Factor (VIF)
15- Arithmetic Mean
16- Harmonic Mean

$$(۸) \quad \frac{S \times R}{p} = \text{امنیت بوم‌شناخت}$$

نتایج

در این پژوهش به منظور تهیه نقشه سلامت حوزه آبخیز بلده نور، ابتدا با شناخت کامل منطقه مورد مطالعه و مفهوم‌سازی مشکلات اصلی این حوزه آبخیز، عامل‌های تأثیرگذار تعیین شد. پهنه‌بندی وضعیت سلامت آبخیز بلده نور بر اساس رویکرد شاخص‌های فشار، وضعیت و پاسخ به صورت موفقیت‌آمیز انجام و نتایج مربوطه در جدول‌های ۲ و ۳ و شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. نهایی‌سازی معیارها با بررسی شاخص عامل تورم واریانس کمتر از ۱۰، مشابه با پژوهش Chamani و همکاران (۲۰۲۴) صورت گرفت. برای این منظور شاخص فشار، وضعیت و پاسخ به صورت گروهی برای آزمون معرفی شد. در نهایت درصد تأثیر هر کدام از این معیارها در سلامت حوزه آبخیز نیز محاسبه شد. بر اساس شاخص عامل تورم واریانس معیارهای (نسبت وسعت برونزدگی‌های سنگی به مساحت حوزه آبخیز، نسبت کاربری مرتع نسبت به مساحت حوزه آبخیز، نسبت وسعت کاربری کشاورزی به مساحت حوزه آبخیز، معکوس شاخص طبیعت‌گرایی، تغییرات آب زیرزمینی، تراکم زهکشی، تراکم جاده و شماره منحنی) به سبب داشتن مقدار تورم واریانس بیشتر از ۱۰ حذف شدند و در محاسبه سلامت آبخیز مورد استفاده قرار نگرفتند.

بحث

پهنه‌بندی شاخص‌های فشار، وضعیت و پاسخ
بررسی نتایج نشان داد که در شاخص فشار، کمترین تأثیر را معیار زمین‌لغزش با مقدار ۰/۲۰ درصد و بیشترین تأثیر را معیار مرتع خوب با مقدار ۴۹/۹۷ درصد داشته است. از طرفی در شاخص وضعیت نیز کمترین تأثیر را معیار NDVI با مقدار ۱۰/۷۸ درصد و بیشترین تأثیر را معیار تراکم جمعیت با مقدار ۲۵/۶۰ درصد دارد. در نهایت، برای شاخص پاسخ نیز کمترین درصد اثرگذاری را معیار تولید اولیه خالص و بیشترین درصد اثرگذاری را معیار واحد دامی به خود اختصاص

مقادیر در یک مجموعه داده بر مجموع متقابل آن مقادیر محاسبه می‌شود (رابطه ۶). در میانگین خلاصه‌شده، میانگین برای بخشی از داده‌ها که شامل داده‌های پرت نباشند، محاسبه می‌شود؛ از این رو برای حذف نقاط دورافتاده از فراسنجه «درصد» (P) استفاده می‌شود. این مقدار نشان می‌دهد که چه درصدی از بزرگترین و کوچکترین داده‌ها برای میانگین‌گیری باید حذف شود (رابطه ۷) (Zwilling, 2002; Wilcox, 2012; Hazbavi et al., 2020; Asadifard & Masoudi, 2021). پس از تعیین بهترین نتیجه، به منظور سهولت مقایسه نتایج و ایجاد یک پهنه‌بندی مناسب، شاخص سلامت به پنج گروه ناسالم (۰/۰۰ تا ۰/۲۰)، نسبتاً ناسالم (۰/۲۰ تا ۰/۴۰)، متوسط (۰/۴۰ تا ۰/۶۰)، نسبتاً سالم (۰/۶۰ تا ۰/۸۰) و سالم (۰/۸۰ تا ۱/۰۰) طبقه‌بندی شد (Hazbavi & Sadeghi, 2017).

$$(۳) \quad \bar{X} = \frac{\sum X_j}{n}$$

$$(۴) \quad \bar{X} = \frac{\sum W_i X_j}{\sum W_i}$$

$$(۵) \quad \bar{X} = \left[\prod_{n=1}^k X_n \right]^{\frac{1}{k}}$$

$$(۶) \quad \bar{X} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n 1/X_i} = \frac{n}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \dots + \frac{1}{x_n}}$$

$$(۷) \quad \bar{X} = \frac{\sum_{(n \times P)+1}^{n \times (1-P)} X_i}{n \times (1 - 2P)}$$

که در رابطه‌های (۳)، (۴)، (۶) و (۷) نشان‌دهنده مقادیر شاخص‌ها و n در رابطه (۶) مجموع کل شاخص‌هاست. همچنین در رابطه (۴)، $\prod_{n=1}^k X_n$ و K به ترتیب برابر با حاصلضرب و تعداد شاخص‌هاست. در رابطه (۷) درصد (P) بیانگر درصد کل داده‌های حذفی است.

امنیت بوم‌شناختی

امنیت بوم‌شناختی بر اساس رابطه (۸) بر نقش ترکیبی شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ در ارائه دیدگاهی جامع از تحمل آبخیز در برابر فشارهای احتمیلی تأکید دارد. رابطه (۶) بیان‌گر این مفهوم است که هرچقدر خدمات بوم‌سازگان زیادتر باشد، آبخیز ایمن‌تر و اولویت برنامهریزی کم‌تر است (Ma et al., 2019).

وارد شده است برخی پاسخ کم و برخی نیز در مقابل فشار پاسخ خیلی زیادی به فشار معیارها نشان داده‌اند (شکل ۲). همچنین درصد مساحت تحت تأثیر شاخص‌های فشار، وضعیت و پاسخ نیز نشان می‌دهد که ۶۵ درصد از مساحت کل حوزه آبخیز تحت تأثیر فشار زیاد قرار دارد که تنها ۲۱ درصد از مساحت کل حوزه آبخیز در مقابل فشارهای وارد شده در وضعیت زیاد قرار می‌گیرد و از آن فشار وارد شده و وضعیت ایجاد شده، ۴۴ درصد از سطح حوزه آبخیز، پاسخ نشان می‌دهند.

پهنه‌بندی سلامت حوزه آبخیز

در پژوهش حاضر بر اساس میانگین حسابی مشخص شد که زیرآبخیز ۹ دارای حداقل مقدار سلامت برابر ۰/۵۳ و زیرآبخیز ۱۷ نیز دارای حداکثر مقدار سلامت برابر ۰/۷۴ است. همچنین میانگین وزنی اهمیت یا فراوانی نسبی برخی از عوامل را در یک مجموعه داده در نظر می‌گیرد؛ بنابراین بر اساس میانگین وزنی نیز مشخص شد زیرآبخیز ۹ دارای حداقل مقدار سلامت برابر ۰/۵۰ و زیرآبخیز ۱۷ نیز دارای حداکثر مقدار سلامت برابر ۰/۷۵ است. نتایج نشان داد که عملکرد میانگین هندسی برای سری‌هایی با همبستگی پایایی، مناسب‌تر از سایر میانگین‌هاست. هرچه افق زمانی طولانی‌تر باشد، ترکیب‌بندی و استفاده از میانگین هندسی ضروری‌تر می‌شود؛ بنابراین میانگین هندسی نیز نشان می‌دهد که زیرآبخیز ۹ دارای حداقل مقدار سلامت برابر ۰/۵۲ و زیرآبخیز ۱۸ نیز دارای حداکثر مقدار سلامت برابر ۰/۷۴ است. از طرفی میانگین خلاصه‌شده نیز نشان داد زیرآبخیز ۹ دارای حداقل سلامت برابر ۰/۵۳ و حداکثر سلامت نیز در زیرآبخیز ۱۷ برابر ۰/۷۴ است. میانگین هم‌ساز نیز نشان داد حداقل و حداکثر مقدار سلامت در زیرآبخیزهای ۹ و ۱۸ به ترتیب برابر ۰/۵۰ و ۰/۷۴ است. جدول ۳ نتایج سلامت و همچنین اولویت‌بندی زیرآبخیزهای مطالعاتی از حیث سلامت را نشان می‌دهد. بررسی نتایج نشان داد با این‌که برای ارزیابی سلامت حوزه آبخیز از پنج روش میانگین‌گیری متفاوت استفاده شده است، اما این

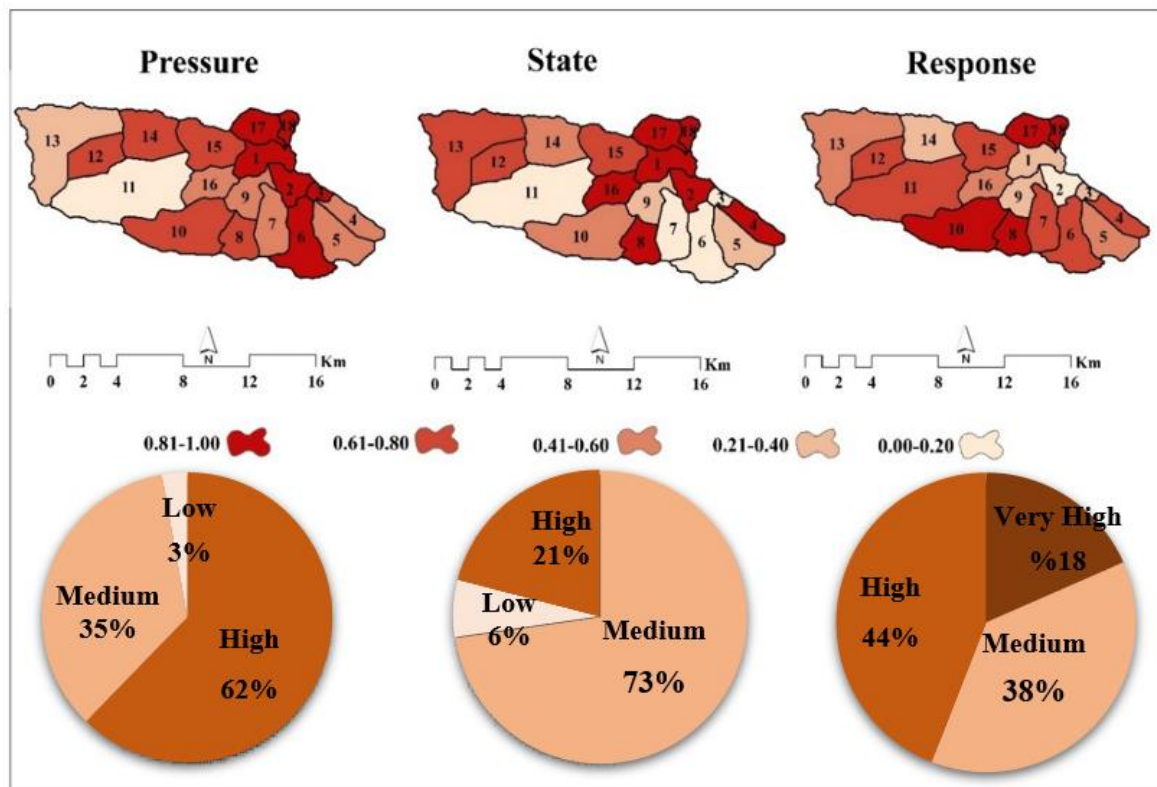
دادند. مطالعات دیگری (برای نمونه Hazbavi et al., 2017; Ebrahimi et al., 2018; Sadeghi et al., 2018; Sadeghi et al., 2019; Ebrahimi Gatgash & Sadeghi, 2023) نیز رویه مشابهی برای ارزیابی سلامت حوزه آبخیز در نقاط مختلف ایران را گزارش کرده‌اند. نتایج محاسبه تغییرات مکانی شاخص سلامت حاصل از کاربست رویکرد فشار-وضعیت-پاسخ حوزه آبخیز و در توالی پژوهش‌های مشابه Hazbavi و همکاران (۲۰۲۰) در آبخیز کوزه‌تپراقی اردبیل، Sadeghi و همکاران (۲۰۲۲) در دروازه قرآن شیراز، Sadeghi و همکاران (۲۰۲۳) در ۳۰ حوزه آبخیز بزرگ و درجه دوم در سراسر ایران و Chamani و همکاران (۲۰۲۴) در حوزه آبخیز بلده نور (شکل ۲) نشان داد که در شاخص فشار، زیرحوزه آبخیز ۱۱ دارای حداقل مقدار یعنی در طبقه خیلی کم (۰/۲۰-۰/۰) قرار دارد. همچنین زیرحوزه‌های آبخیز ۱، ۲، ۳، ۴، ۶، ۱۷ و ۱۸ دارای بیشترین مقدار فشار وارد شده (۰/۸۰) تا (۱/۰۰) قرار دارند. در شاخص وضعیت نیز زیرحوزه‌های آبخیز ۳، ۴، ۶، ۷ و ۱۱ دارای حداقل مقدار یعنی در طبقه خیلی کم قرار دارند. از طرفی زیرحوزه‌های آبخیز ۱، ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ نیز در طبقه خیلی زیاد یعنی (۰/۸۰) تا (۱/۰۰) قرار دارند. در شاخص پاسخ نیز می‌توان گفت که زیرحوزه آبخیز ۲ در طبقه خیلی کم قرار دارد و زیرآبخیزهای ۸ و ۱۰ نیز در طبقه خیلی زیاد قرار دارند. نتایج محاسبه شاخص‌های فشار، وضعیت و پاسخ نشان می‌دهند معیارهایی که برای شاخص فشار تعیین شده بود کمترین فشار را به زیرحوزه آبخیز ۱۱ وارد می‌کنند اما با مقایسه شاخص وضعیت می‌توان نتیجه گرفت برخی از زیرآبخیزهایی مانند ۸ که در شاخص فشار در طبقه متوسط قرار داشتند، در شاخص وضعیت در طبقه بسیار زیاد قرار دارد. این بدان معنا است که این زیرآبخیز در مقابل فشاری که وارد شده تأثیرپذیری بیشتری داشته است. همچنین با مقایسه شاخص پاسخ نیز می‌توان نتیجه گرفت زیرآبخیزهایی که در شاخص فشار، تحت تأثیر فشار کم قرار داشتند در پاسخ، در طبقه زیاد قرار دارند و زیرآبخیزهایی که فشار زیادی به آنها

نشان داد که میانگین هندسی دارای حساسیت بیشتری نسبت به ارزیابی سلامت حوزه آبخیز دارد، چرا که زیرآبخیز ۱۱ علاوه بر این که دارای بیشترین وسعت مرتع خوب نسبت به سایر زیرآبخیزهاست، دارای بیشترین وسعت پوشش برونزدگی سنگی، کاربری کشاورزی و باغ، تقاطع آبراهه و جاده، گسل نیز است که با اظهارات Hazbavi و همکاران (۲۰۲۰) نیز مطابقت دارد. در عین حال ارزیابی مقایسه‌ای و تفصیلی نتایج پژوهش حاضر به سبب تفاوت در رویکرد انتخابی پژوهش در خصوص کاربری روش‌های مختلف میانگین‌گیری شاخص‌های مختلف امکان‌پذیر نبوده است.

تفاوت در میانگین در ماهیت این که زیرآبخیز ۹ به عنوان یک زیرآبخیز بسیار ناسالم عوض نکرد. همچنین زیرآبخیزهای ۸، ۱۷ و ۱۸ در تمام میانگین‌ها در طبقه بسیار سالم از لحاظ سلامت قرار گرفتند اما میانگین وزنی زیرآبخیز ۱۲ را نیز به طبقه بسیار سالم اختصاص داده است. از طرفی در میانگین هندسی در مقایسه با دیگر میانگین‌ها مشخص شد که زیرآبخیز ۱۱ نیز از لحاظ سلامت در طبقه بسیار ناسالم است. همچنین در میانگین وزنی نیز مشخص شد که علاوه بر زیرآبخیز ۹، زیرآبخیز ۳ نیز در طبقه بسیار ناسالم از لحاظ سلامت قرار دارد. بررسی‌های میدانی از حوزه آبخیز بلده نور

جدول ۲- نتایج آزمون تورم واریانس و درصد مشارکت معیارها در سلامت آبخیز با رویکرد PSR در حوزه آبخیز بلده نور
Table 2- Results of the Variance Inflation Test and the Percentage Contribution of Criteria to Watershed Health Using the PSR Approach in the Baladeh-e-Noor Watershed, Iran

شاخص	معیار	Beta	VIF	درصد اثرگذاری
فشار	مساحت کاربری مرتع متوسط	0.06	1.88	1.34
	مساحت کاربری مسکونی	0.04	1.16	0.82
	مساحت کاربری برونزد سنگی	-0.01	2.64	0.24
	مساحت کاربری مرتع فقیر	-0.25	1.03	5.31
	مساحت کاربری مرتع خوب	0.78	2.26	16.10
	مساحت کاربری کشاورزی	-0.40	1.03	8.38
	خشکسالی	0.29	2.26	5.94
	بارش	0.60	1.79	12.48
	دما	0.68	1.24	14.13
	شیب	-0.01	1.36	0.25
	تقاطع آبراهه و جاده	-0.06	1.68	1.31
	اختلاف ارتفاع	0.29	7.68	6.10
	طول جاده	-0.04	2.40	0.94
	تعداد دام	0.83	2.47	17.20
	زمین لغزش	0.00	2.09	0.07
	وضعیت	طول گسل	0.36	5.48
مساحت سازندهای حساس به فرسایش		0.03	2.93	0.79
زمان تمرکز		-0.02	4.48	0.58
وسعت اراضی با شیب کم‌تر از ۱۲ درصد		0.02	2.00	0.52
تراکم جمعیت		-0.73	8.16	25.60
نسبت پوشش گیاهی فصل رویش به پوشش گیاهی کل سال		-0.34	7.48	11.98
شاخص طبیعت‌گرایی		0.45	2.35	14.14
رطوبت سطح		-0.44	4.55	15.58
NDVI		0.30	8.54	10.78
مرکز ثقل اراضی کشاورزی		-0.62	5.79	21.89
پاسخ	واحد دامی	0.93	1.04	77.28
	جمعیت	0.27	1.08	22.53
	تولید خالص اولیه	0.00	1.06	0.17



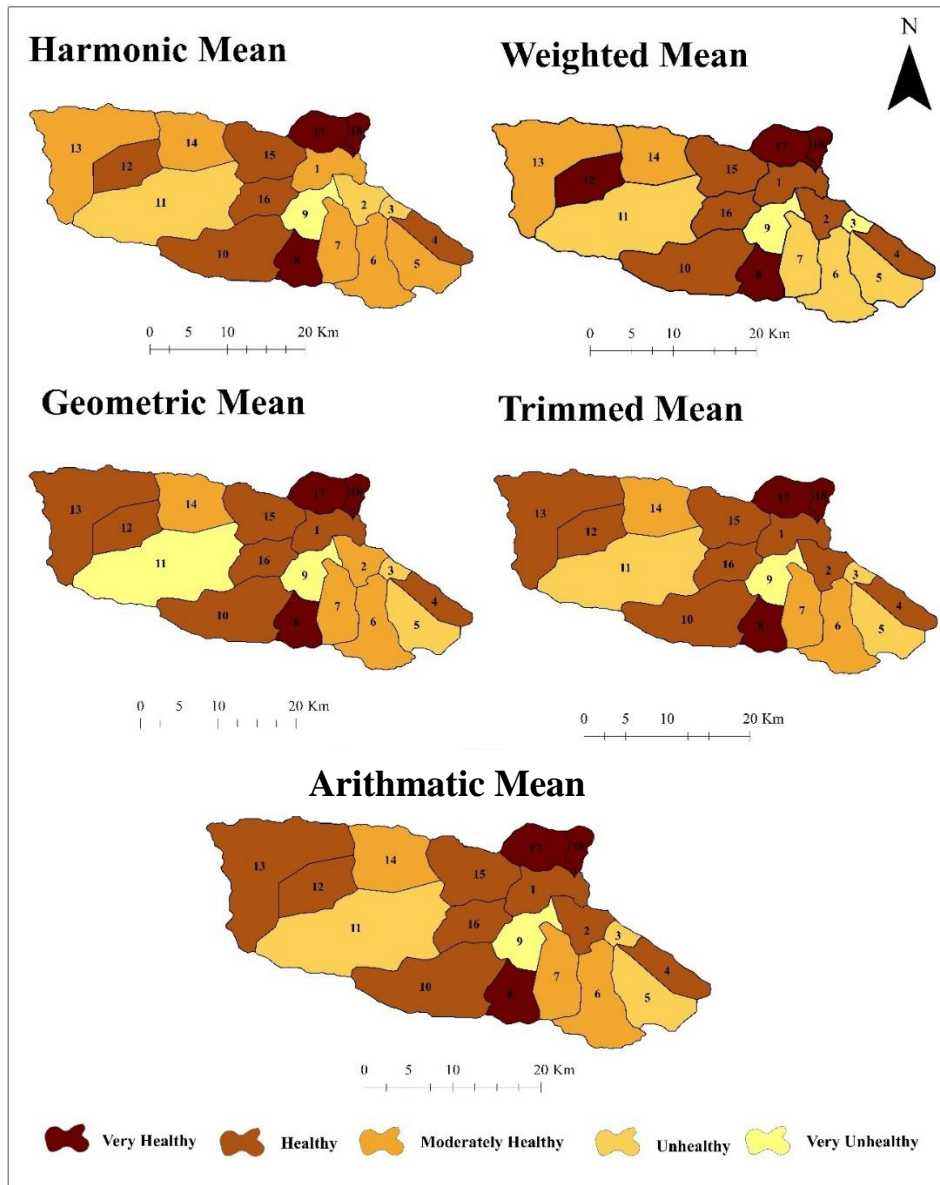
شکل ۲- پهنه‌بندی شاخص‌های فشار-وضعیت-پاسخ و درصد مشارکت سطح حوزه آبخیز بلده نور

Figure 2- Zoning of Pressure-State-Response Indicators and Participation Percentage in the Baladeh-e-Noor Watershed, Iran

جدول ۳- مقادیر شاخص فشار-وضعیت-پاسخ و اولویت‌بندی زیر آبخیزهای بلده نور

Table 3- Values of Pressure-State-Response Index and Prioritization of Sub-Watersheds in the Baladeh-e-Noor Watershed, Iran

اولویت	وضعیت سلامت	میانگین هم‌ساز	اولویت	وضعیت سلامت	میانگین خلاصه شده	اولویت	وضعیت سلامت	میانگین وزنی	اولویت	وضعیت سلامت	میانگین هندسی	اولویت	وضعیت سلامتی	میانگین حسابی سلامت	زیر آبخیز
9	نسبتاً سالم	0.61	6	نسبتاً سالم	0.65	9	نسبتاً سالم	0.64	8	نسبتاً سالم	0.63	6	نسبتاً سالم	0.65	1
17	متوسط	0.53	5	نسبتاً سالم	0.65	10	نسبتاً سالم	0.62	12	متوسط	0.59	5	نسبتاً سالم	0.65	2
16	متوسط	0.54	15	متوسط	0.56	17		0.53	16	متوسط	0.55	15	متوسط	0.56	3
7	نسبتاً سالم	0.62	10	نسبتاً سالم	0.64	6	نسبتاً سالم	0.64	7	نسبتاً سالم	0.63	10	نسبتاً سالم	0.64	4
14	متوسط	0.55	16	متوسط	0.56	16	متوسط	0.54	15	متوسط	0.56	16	متوسط	0.56	5
11	متوسط	0.58	13	نسبتاً سالم	0.60	14	متوسط	0.57	13	متوسط	0.59	13	نسبتاً سالم	0.60	6
13	متوسط	0.57	14	متوسط	0.58	13	متوسط	0.57	14	متوسط	0.58	14	متوسط	0.58	7
3	نسبتاً سالم	0.68	3	نسبتاً سالم	0.69	3	نسبتاً سالم	0.70	3	نسبتاً سالم	0.69	3	نسبتاً سالم	0.69	8
18	متوسط	0.50	18	متوسط	0.53	18	متوسط	0.50	18	متوسط	0.52	18	متوسط	0.53	9
6	نسبتاً سالم	0.64	9	نسبتاً سالم	0.64	8	نسبتاً سالم	0.64	6	نسبتاً سالم	0.64	9	نسبتاً سالم	0.64	10
15	متوسط	0.55	17	متوسط	0.55	15	متوسط	0.56	17	متوسط	0.55	8	متوسط	0.55	11
4	نسبتاً سالم	0.66	4	نسبتاً سالم	0.67	4	نسبتاً سالم	0.67	4	نسبتاً سالم	0.67	4	نسبتاً سالم	0.67	12
10	متوسط	0.59	11	نسبتاً سالم	0.61	11	نسبتاً سالم	0.62	10	نسبتاً سالم	0.60	11	نسبتاً سالم	0.61	13
12	متوسط	0.58	12	نسبتاً سالم	0.61	12	متوسط	0.59	11	نسبتاً سالم	0.60	12	نسبتاً سالم	0.61	14
5	نسبتاً سالم	0.65	7	نسبتاً سالم	0.65	7	نسبتاً سالم	0.64	5	نسبتاً سالم	0.65	7	نسبتاً سالم	0.65	15
8	نسبتاً سالم	0.61	8	نسبتاً سالم	0.65	5	نسبتاً سالم	0.65	9	نسبتاً سالم	0.63	8	نسبتاً سالم	0.65	16
2	نسبتاً سالم	0.73	1	نسبتاً سالم	0.74	1	نسبتاً سالم	0.75	2	نسبتاً سالم	0.74	1	نسبتاً سالم	0.74	17
1	نسبتاً سالم	0.74	2	نسبتاً سالم	0.74	2	نسبتاً سالم	0.74	1	نسبتاً سالم	0.74	2	نسبتاً سالم	0.74	18
-		0.60			0.63	-		0.62	-		0.62	-		0.63	کل



شکل ۳- پهنه‌بندی سلامت حوزه آبخیز بلده نور با میانگین‌های مختلف
 Figure 3- Health Zoning of the Baladeh-e-Noor Watershed Using Different Means

هم‌ساز و خلاصه‌شده به ترتیب برابر ۰/۶۳، ۰/۶۲، ۰/۶۲، ۰/۶۳ و ۰/۶۰ می‌شود که بیان‌گر این است که حوزه آبخیز در وضعیت نسبتاً سالم قرار دارد. همچنین بر اساس نتایج تحلیل‌های آماری میانگین‌های حسابی، وزنی، هندسی، هم‌ساز و خلاصه‌شده مشخص شد که نتایج هر پنج روش در اکثر زیرآبخیزها مشابه است و میانگین هندسی و وزنی نسبت به سایر میانگین‌ها حساسیت بیشتری در پهنه‌بندی سلامت حوزه آبخیز نسبت به معیارهای فشار دارد. از طرفی تغییرات مکانی

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش سلامت حوزه آبخیز بلده نور با توجه به مشکلات اصلی آن مورد ارزیابی قرار گرفت. بر این اساس شاخص‌ها و معیارهای مرتبط و تأثیرگذار بر این مشکلات با استفاده از بازبندی‌های میدانی، مطالعات تفصیلی و داده‌های اقلیمی تعیین شد. با توجه به نتایج تجزیه و تحلیل شاخص‌ها و معیارهای در نظر گرفته‌شده در ارزیابی سلامت حوزه آبخیز بلده نور مشخص شد که رویکرد PSR و نتایج میانگین حسابی، هندسی، وزنی،

سازگار و مبتنی بر آمایش سرزمین، توسعه کم‌پيامد و تحلیل روند تغییرات محیطی چشم‌انداز آینده این آبخیز با تکیه بر حفظ زیرآبخیزهای سالم و بهبود زیرآبخیزهای ناسالم به سالم طراحی و اجرایی شود؛ بنابراین می‌توان گفت شاخص سلامت حوزه آبخیز به‌عنوان ابزار کاربردی در مدیریت حوزه آبخیز، می‌تواند در تعیین اولویت‌ها و پایش تغییرات وضعیت حوزه آبخیز استفاده شود. همچنین از آن جایی که در شاخص سلامت، ابعاد مختلف تأثیرگذار بر مدیریت بوم‌سازگان در نظر گرفته می‌شود، می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر برای تحلیل موجودیت حوزه آبخیز برای استفاده با نیازهای موجودات زنده در نظر گرفته شود.

متغیرهای محاسبه‌شده نشان داد که وسعت مرتع خوب، تراکم جمعیت و واحد دامی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر وضعیت سلامت آبخیز بلده نور محسوب می‌شوند. بر همین اساس پیشنهاد می‌شود که راهکارهای مبتنی بر طبیعت، مدیریت مشارکتی، سازگار و در عین حال جامع برای بهبود سلامت آبخیز بلده نور در اولویت قرار گیرند. همچنین با توجه به وضعیت مناسب حوزه آبخیز بلده نور به لحاظ جاذبه‌های گردشگری و برخورداری از آب و هوای مناسب، دخل و تصرف بیشتر در منطقه و گسترش مناطق مسکونی و افزایش جمعیت خوش‌نشین در آینده اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. لذا پیشنهاد می‌شود برنامه‌های توسعه‌ای تنها به‌صورت هم‌ساز با شرایط طبیعی حاکم بر منطقه با استفاده از روش‌های مختلف مدیریتی

References

- Ahn, S. R., & Kim, S. J. (2019). Assessment of watershed health, vulnerability and resilience for determining protection and restoration Priorities. *Environmental Modelling & Software*, 122, 103926. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.03.014>
- Alaei, N., Mostafazadeh, R., Esmaliouri, A., Sharari, M., & Hazbavi, Z. (2020). Assessment and comparison of landscape connectivity in KoozehTopraghi watershed, Ardabil province. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 8(4), 19-34. <https://doi.org/10.47176/ijae.8.4.2572>. (In Persian)
- Alilou, H., Rahmati, O., Singh, V. P., Choubin, B., Pradhan, B., Keesstra, S., ..., & Sadeghi, S. H. (2019). Evaluation of watershed health using Fuzzy-ANP approach considering geo environmental and topo-hydrological criteria. *Journal of Environmental Management*, 232, 22-36. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.019>
- Asadifard, E., & Masoudi, M. (2021). Ecological potential evaluation of urban and industrial development in Firoozabad Township using proposed model of EMOLUP. *Journal of Environmental Science Studies*, 6(3), 3927-3937. (In Persian)
- Bañares, E. N., Mehboob, M. S., Khan, A.R., & Cacal, J.C. (2024). Projecting hydrological response to climate change and urbanization using WEAP model: A case study for the main watersheds of Bicol River Basin, Philippines. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 54, 101846. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101846>
- Bi, H., Ma, J., Zheng, W., & Zeng, J. (2016). Comparison of soil moisture in GLDAS model simulations and in situ observations over the Tibetan Plateau. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(6), 2658-2678. <https://doi.org/10.1002/2015JD024131>
- Chamani, R., Sadeghi, S. H., Zare, S., Shekohideh, H., Mumzaei, A., Amini, H., ..., & Zarei, R. (2024). Flood-oriented watershed health and ecological security conceptual modeling using pressure, state, and response (PSR) approach for the Sharghonj Watershed, South Khorasan Province, Iran. *Natural Resource Modeling*, 37(1), e12385. <https://doi.org/10.1111/nrm.12385>
- Ebrahimi Gatgash, Z., & Sadeghi, S. H. (2023). Prioritization-based management of the watershed using health assessment analysis at sub-watershed scale. *Environment*,

- Development and Sustainability*, 25(9), 9673-9702. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02455-8>
- Ebrahimi Gatgash, P., Salajegheh, A., Mohseni Saravi, M., Malekian, A., & Sadoddin, A. (2018). Watershed Health Prediction based on Surface Water Quality Variables (Case Study: Taleghan Watershed). *Geography and Environmental Sustainability*, 8(1), 1-13. (In Persian)
- 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>
- Gatz, D. F., & Smith, L. (1995). The standard error of a weighted mean concentration—I. Bootstrapping vs other methods. *Atmospheric Environment*, 29(11), 1185-1193. [https://doi.org/10.1016/13522310\(94\)00210-C](https://doi.org/10.1016/13522310(94)00210-C)
- Ghanbaritaloke, F., Deyantitilki, G.A., & Vafakhah, M. (2015). Investigation of Spatial variability of Artemisia aucheri yield, density and canopy cover using geostatistics methods (Case study: Baladeh watershed). *Watershed Management Research*, 28(2), 48-56. <https://doi.org/10.22092/wmej.2015.107084> (In Persian)
- Ghabelnezam, E., Babaei, L., Alaei, N., & Hazbavi, Z. (2023). Development of an incorporative PSR-Fuzzy model for health assessment of the KoozehTopraghi Watershed. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(4), 152-167. <https://doi.org/10.22098/mmws.2022.11379.1125> (In Persian)
- Hafezparast, M. (2020). Monitoring of groundwater level changes using GRACE and GLDAS satellites in Kermanshah Province. *Irrigation and water engineering in Iran*, 12 (48), 234-257. <https://doi.org/10.22125/IWE.2022.150736> (In Persian)
- Hazbavi, Z., & Sadeghi, S.H.R. (2017). Watershed health characterization using reliability-resilience vulnerability conceptual framework based on hydrological response, Land Degradation and conceptual framework based on hydrological response. *Development*, 28, 1528-1537. <https://doi.org/10.1002/ldr.2680>
- Hazbavi, Z., & Sadeghi, S.H. (2017). Watershed Health (Part two): Pressure, State and Response Conceptual Model. *Extension and Development of Watershed Management*, 4(15), 25-30. <https://doi.org/10.1002/ldr.3420> (In Persian)
- Hazbavi, Z., Ghabelnezam, E., Azizi, E., Sharifi, Z., Fatholouloumi, S., & Nikoo, M. R. (2023). Assessment of Ecological Quality in the Nir Watershed, Ardabil Province. *Watershed Management Research*, 36(3), 90-110. <https://doi.org/10.22092/wmrj.2023.360357> (In Persian)
- Hazbavi, Z., Parchami, N., Alaei, N., & Babaei, L. (2020). Assessment and Analysis of the KoozehTopraghi Watershed Health Status, Ardabil Province, Iran. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 3, 142-152. (In Persian)
- 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., 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, 3-1. <https://doi.org/10.1002/ldr.3420>
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Inter-governmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the 5th Assessment*

- Report of the Intergovern–Mental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, US.
- Liang, J., Crowther, T. W., Picard, N., Wiser, S., Zhou, M., Alberti, G., ..., & Reich, P. B. (2016). Positive biodiversity-productivity relationship predominant in global forests. *Science*, 354(6309), aaf8957. <https://doi.org/10.1126/science.aaf8957>
- Ma, L., Bo, J., Li, X., Fang, F., & Cheng, W., (2019). Identifying key landscape pattern indices influencing the ecological security of inland river basin: the middle and lower reaches of Shule River Basin as an example. *Science of the Total Environment*, 674, 424–438. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.107>
- Mahdavi M. (2009). *Applied Hydrology. second volume*. University of Tehran. 437 pp. (In Persian)
- Mosaffaie, J. (2015). Comparison of two methods of regional flood frequency analysis by using L-moments. *Water Resources*, 42(3), 313–321. <https://doi.org/10.1134/S0097807815030112>
- 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>
- Ran, C., Wang, S., Bai, X., Tan, Q., Wu, L., Luo, X., ..., & Lu, Q. (2021). Evaluation of temporal and spatial changes of global ecosystem health. *Land Degradation & Development*, 32(3), 1500-1512. <https://doi.org/10.1002/ldr.3813>
- Rapport, D. J., Gaudet, C. L., Constanza, R., Epstein, P. R., & Levins, R. (Eds.). (2009). *Ecosystem health: principles and practice*. John Wiley & Sons.
- Ratha, D., & Agrawal, V.P. (2015). A digraph permanent approach to evaluation and analysis of integrated watershed management system. *Journal of Hydrology*, 1(525), 188-196. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.046>
- Saaduddin, A., Shahabi, M., & Bai, M. (2017). *Evaluation and comprehensive management of watersheds, principles and approaches of modeling and decision making*. Publications of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 170 p.
- Sadeghi, S. H., Khaledi Darvishan, A., Vafakhah, M., Moradi Rekabdarkolaei, H., Hazbavi, Z., Rajabi, M., ... & Pournabi, S. (2023). Conceptualization and Evaluation of Asiabrood Watershed Health, Chalus Township, Iran. *Journal of Watershed Management Research*, 14(27), 15-25. <https://doi.org/10.61186/jwmr.14.27.15> (In Persian)
- Sadeghi, S.H., & Hazbavi, Z. (2017). Spatiotemporal variation of watershed health propensity through reliability-resilience-vulnerability based drought index (case study: Shazand Watershed in Iran). *Science of the Total Environment*, 587, 168-176. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.098>
- Sadeghi, S.H., Chamani, R., Silabi, M.Z., Tavosi, M., Katebikord, A., Darvishan, A. K., ..., & Rekabdarkolaei, H.M. (2023). Watershed health and ecological security zoning throughout Iran. *Science of the Total Environment*, 905, 167123. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167123>
- 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., Tavoosi, M., Zare, S., Beiranvandi, V., Shekohideh, H., Akbari Emamzadeh, F., Bahlekeh, M., Khorshid Sokhangoy, F., & Chamani, R. (2022). Evaluation and Variability of Flood-Oriented Health of Shiraz Darwazeh Quran Watershed from Watershed Management Structures. *Water and Soil*, 36(5), 561-577. <https://doi.org/10.22067/jsw.2022.78150.1190> (In Persian)

- Smithson, P. A. (2002). *IPCC, 2001: climate change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by JT Houghton, Y. Ding, DJ Griggs, M. Noguer, PJ van der Linden, X. Dai, K. Maskell and CA Johnson (eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, USA, 2001. No. of pages: 881.
- Tavakoli, M., Karimi, H., & Norollahi, H. (2018). Investigation the effects of climate change on water resources of Ilam Dam Watershed. *Watershed Engineering and Management*, 10(2), 157-170. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.109322.1264> (In Persian)
- Tsai, Y. W., Lin, J. Y., & Chen, Y. C. (2021). Establishment of the watershed health indicators and health check of reservoirs. *Ecological Indicators*, 127, 107779. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107779>
- Wang G, Mang S, Cai H, Liu S, Zhang Z, Wang L, & Innes JL (2016) Integrated watershed management: evolution, development and emerging trends. *Journal of Forestry Research*. 27, 967–994. <https://doi.org/10.1007/s11676-016-0293-3>
- Wilcox, R.R. (2012). *Introduction to robust estimation and hypothesis testing*. Academic Press.
- Wilcox, R.R., & Keselman, H.J. (2003). Modern robust data analysis methods: measures of central tendency. *Psychological Methods*, 8(3), 254.
- Zwillinger, D. (2002). *CRC standard mathematical tables and formulae*. Chapman and hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9781420035346>