Archive of SID.ir

Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Assessing watershed sustainability using the watershed sustainability index (Case study: Bujin watershed in Hamadan province)

Mohammad Mehdi Artimani[1], Hossein Zeinivand[2]*

[1] Ph.D. Student, Department of Range and Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resource, Lorestan University, Lorestan, Iran
[2] Associate Professor, Department of Range and Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resource, Lorestan University, Lorestan, Iran

Abstract

Introduction

In many regions, ecosystem sustainability and environmental security have become more fragile. Because watersheds are dynamic systems, their hydrological function and health are constantly changing under the influence of land use, climate change, and human interventions. Since the destruction of the ecosystems of a watershed has harmful economic and social consequences, in recent decades there has been a general tendency to evaluate the relative conditions or health of watersheds on a national and local scale. Ecologists have paid special attention to the study of how natural resource ecosystems respond to different types of stress caused by human activities. The watershed sustainability index (WSI) can be considered as an effective tool in watershed management including priorities monitoring changes and influencing factors on ecosystem management. In recent years, various studies and plans have been conducted to preserve natural resources and achieve sustainable development. The sustainability of watersheds includes four important goals of regulating the water flow regime, maintaining and improving water quality, maintaining the ecological quality of plants and animals, and energy resources. In this context, the pressure-state-response (PSR) model has been introduced and used for a comprehensive assessment of the health of an ecosystem. The conceptual model of PSR was developed using a set of criteria expressing environmental performance. This study aimed to evaluate the sustainability level of the Bujin watershed.

Materials and methods

One of the methods for evaluating watershed sustainability is the use of the conceptual pressure-state-response model (PSR). Applying the causal-effect PSR model using theWSI criteria in the form of four sub-criteria of hydrology (qualitative and quantitative), environment, life, and policy-making, one can evaluate the sustainability of the watershed numerically. In this method, considering the available data and information to investigate each sub-criteria, the parameter values are determined in three modes of pressure, state, and response, and in the scoring range from zero to one, five categories are converted to quantitative mode. Therefore, the PSR framework has three types of criteria: pressure criteria that evaluate environmental pressure resulting from human activities (waste, sewage), and state criteria that express environmental conditions (water quality). and the response criteria that evaluate the society's reactions (water quality) and the response criteria that evaluate the society's responses (policies, laws, management). The sub-criteria and parameters used in this research were determined based on the index selection criteria published by the HCTF Habitat Protection Fund in 2003. Sub-criteria were investigated based on three conceptual model parameters in 10 years for the Bujin watershed. The WSI criteria were calculated at three low, medium, and high levels to assess the watershed sustainability.

Results and Discussion

According to the results, the value of the pressure parameter and the quantitative status of the basin's hydrology in terms of available water variable is in class (C), i.e. in the range of 3400 > AW > 1700, which is a poor condition. The average scores were obtained for the water quality part (0.583), which shows the average to low status. The average score for the hydrology sub-criterion was 0.375, which indicates a poor situation in this region. The values of pressure, state, and response parameters for the sub-criterion of life in the Bujin watershed, during the 10 years studied, indicate a change in the state from weak to moderate. The results also showed that the pressure parameter

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

with a score of 0.75 and the response parameter with a score of 0.625 had the highest and lowest scores for evaluating the sustainability of the Bujin watershed, respectively, indicating an appropriate response to reduce the pressure applied to the ecosystems. Sub-hydrology index with a score of 0.16 and environment with a score of 1 had the lowest and highest priority for the management of the basin ecosystem. According to the distribution maps of the criterion for evaluating watershed sustainability in conventional watershed systems during the period (2006-2016), the standard level of watershed sustainability at the beginning of the period was lower than the middle class (score 0.59) and in the middle of the period was in the middle class (score 0.62) and for the end of the period, it was upgraded to the upper than the middle class (score 0.7).

Conclusion

The priorities of achieving sustainable development (the priority in improving the conditions to promote the level of sustainability and achieve sustainable development) are different, and it is important to know which sub-criterion should be improved first and which parameter the decision-makers should pay attention to avoid wasting time, money and energy, and to take faster development steps in an area. Evaluation of relative conditions of watershed sustainability using the PSR model is very useful for providing appropriate management strategies because according to the nature of the conceptual model, a specific dimension of watershed health is explained. Bujin watershed has an unstable condition in the sub-index of hydrology and a good condition in the sub-index of life and human development, although, for this watershed, obtaining a score of 0.7 for WSI criteria in the whole watershed showed that the level of watershed sustainability in the 10 years is in the middle class and it is necessary to pay more attention to improve the level of sustainability and health of the watershed.

Keywords: Ecosystems, Sustainable development, Watershed health, WSI

Article Type: Research Article

Acknowledgement

The authors thank the General Department of Natural Resources and Watershed Management of Hamedan Province for providing the data and maps required for this research.

Conflicts of interest

The authors declare that they have no conflict of interest regarding the writing and publication of the contents and results of this research.

Data availability statement

Information and results are presented in the article.

Authors' contribution

Mohammad Mehdi Artimani: Conceptualization, software/statistical analysis, writing the first version of the article;
Hossein Zeinivand: Guidance, editing and revision of the article and controlling the results.

*Corresponding Author, E-mail: zeinivand.h@lu.ac.ir

Citation: Artimani, M.M., & Zeinivand, H. (2024). Assessing watershed sustainability using watershed sustainability index (Case study: Bujin watershed in Hamadan province). *Water and Soil Management and Modeling*, *4*(2), 17-32.
DOR: 10.22098/mmws.2023.12386.1235

Received: 21 February 2023, Received in revised form: 18 March 2023, Accepted29 March 2023., Published online: 29 March 2023

Water and Soil Management and Modeling, Year 2024, Vol. 4, No. 2, pp. 17-32
Publisher: University of Mohaghegh Ardabili © Author(s)

CC BY NC

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۲۵٤٦

ارزیابی پایداری حوزهٔ آبخیز به کمک شاخص پایداری آبخیز (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز بوجین استان همدان)

محمدمهدی آرتیمانی[۱]، حسین زینی‌وند[۲*]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران
[۲] دانشیار، گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

چکیده

در بسیاری از مناطق، پایداری بوم‌سازگان و امنیت محیط زیست شکننده‌تر شده است. در چند سال اخیر، مطالعات و برنامه‌ریزهای مختلفی در جهت حفظ منابع طبیعی و دست‌یابی به توسعهٔ پایدار صورت گرفته است. بنابراین، هدف پژوهش حاضر، ارزیابی سطح پایداری حوزهٔ آبخیز بوجین است. یکی از روش‌های ارزیابی پایداری حوزهٔ آبخیز استفاده از مدل مفهومی فشار–حالت–پاسخ (PSR) است. مدل علی–معلولی PSR به کمک شاخص WSI در قالب چهار زیرشاخص هیدرولوژی، محیط زیست، حیات و سیاست‌گذاری به ارزیابی پایداری حوزهٔ آبخیز مورد نظر به‌صورت عددی می‌پردازد. در این روش با در نظر گرفتن اطلاعات و داده‌های موجود برای هرکدام از زیرشاخص‌ها، مقادیر پارامترها در سه بعد فشار، حالت و پاسخ تعیین و در دامنهٔ امتیازدهی از صفر تا یک و در پنج طبقه به حالت کمی تبدیل می‌شوند. زیرشاخص‌ها بر اساس سه پارامتر مدل مفهومی در یک دورهٔ ۱۰ ساله برای حوزهٔ آبخیز بوجین مورد بررسی قرار گرفت. شاخص WSI در سه سطح پایین، متوسط و بالا برای پایداری حوزهٔ آبخیز محاسبه شد. نتایج نشان داد پارامتر فشار با امتیاز ۰/۷۵ و پارامتر پاسخ با امتیاز ۰/۶۳ بیش‌ترین و کم‌ترین امتیاز را برای ارزیابی پایداری حوزهٔ آبخیز بوجین به خود اختصاص داده‌اند که نشان‌دهندهٔ پاسخ مناسب جهت کاهش فشار وارده به بوم‌سازگان است. زیرشاخص هیدرولوژی و محیط زیست به‌ترتیب با امتیاز ۰/۱۶ و یک کم‌ترین و بیش‌ترین اولویت را جهت مدیریت بوم‌سازگان حوزهٔ آبخیز دارند. طبق نقشه‌های توزیع پراکنش شاخص ارزیابی پایداری در سامانه‌های عرفی حوزهٔ آبخیز در دورهٔ زمانی ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ مشخص شد در شروع دوره مقدار شاخص سطح پایداری حوزهٔ آبخیز در سطح متوسط به پایین بوده (امتیاز ۰/۵۹) و در میانهٔ دورهٔ متوسط (امتیاز ۰/۶۲) و برای پایان دورهٔ زمانی به طبقهٔ متوسط به بالا (امتیاز ۰/۷) ارتقاء یافته است. ارزیابی پایداری آبخیزها با استفاده از مدل PSR برای ارائهٔ راه‌کارهای مدیریتی بسیار کاربردی است. زیرا متناسب با ماهیت مدل به تبیین ابعاد مشخصی از سلامت حوزهٔ آبخیز پرداخته می‌شود که در این بین کسب امتیاز ۰/۷ برای شاخص WSI در کل حوزهٔ آبخیز بوجین نشان داد سطح پایداری در این حوزهٔ آبخیز در دورهٔ ۱۰ ساله در سطح متوسط قرار گرفته و لازم است توجه بیش‌تری به ارتقای سطح پایداری و سلامت حوزهٔ آبخیز مذکور شود.

واژه‌های کلیدی: توسعهٔ پایدار، بوم‌سازگان، سلامت حوزهٔ آبخیز، WSI

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی:zeinivand.h@lu.ac.ir

استناد: آرتیمانی، محمدمهدی، زینی‌وند، حسین (۱۴۰۳) ارزیابی پایداری حوزهٔ آبخیز به کمک شاخص پایداری آبخیز (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز بوجین استان همدان). *مدل‌سازی و مدیریت آب‌وخاک*، ۴(۲)، ۱۷ – ۳۲.
DOI: 10.22098/mmws.2023.12386.1235

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۲، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۲۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۰۹، تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۱/۰۹
مدل‌سازی و مدیریت آب‌وخاک، سال ۱۴۰۳، دوره ۴، شماره ۲، صفحه ۱۷ تا ۳۲
ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۱- مقدمه

با توجه به این‌که حوزه‌های آبخیز سامانه‌های پویا هستند، کارکرد هیدرولوژیکی و سلامت آبخیزها تحت تأثیر تغییرات کاربری زمین، تغییر اقلیم و مداخلات انسانی به‌طور مداوم تغییر می‌کند (Nikouei et al., 2023). استفادهٔ بیش‌از حد از منابع طبیعی تجدیدشونده، باعث فشار شدید و شکننده‌تر شدن بوم‌سازگان‌ها در مناطق درحال توسعهٔ جهان، خصوصاً در سال‌های اخیر شده است (Harris, 2000). ازآن‌جایی‌که تخریب بوم‌سازگان‌های یک حوزهٔ آبخیز پیامدهای اقتصادی و اجتماعی زیانباری در پی دارد، در طی دهه‌های اخیر گرایش عمومی نسبت به ارزیابی شرایط نسبی یا سلامت حوزه‌های آبخیز در مقیاس ملی و محلی دیده می‌شود (Lu et al., 2015). از زمانی‌که اجلاس Stockholm در زمینهٔ محیط زیست و انسان در سال ۱۹۷۲ برگزار شد، بوم‌شناس‌ها توجه ویژه‌ای به مطالعهٔ نحوهٔ پاسخ بوم‌سازگان‌های منابع طبیعی به انواع مختلف تنش‌های ناشی از فعالیت انسانی نموده‌اند. مفهوم سلامت زیست‌بوم در سال ۱۹۸۰ شکل گرفت و از آن پس مدیران محیط زیست سعی کردند تا حفظ سلامت زیست‌بوم‌ها را به‌عنوان هدف اولیه و اصلی در مدیریت محیط زیست لحاظ کنند. در این زمینه مدل فشار–حالت–پاسخ[1] (PSR) برای ارزیابی جامعی از سلامت یک زیست‌بوم معرفی و مورد استفاده قرار گرفته است. مدل PSR با به‌کارگیری مجموعه‌ای از معیارهای بیان‌کنندهٔ عملکرد محیط زیست، توسعه پیدا کرد (Hazbavi and Sadeghi, 2016).

امروزه پایداری حوزه‌های آبخیز چهار هدف مهم تنظیم رژیم جریان آب، حفظ و بهبود کیفیت آب، حفظ کیفیت اکولوژیکی گیاهی و جانوری و منابع انرژی را شامل می‌شود (Kazemi and Kamali, 2018). این معیارها باید ارتباطات جنبه‌های زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی پایداری را نشان دهند. هم‌چنین، این معیارها باید بتوانند نتایج تغییرات مدیریتی و فعالیت‌های انسانی موجود در حوزهٔ آبخیز را در گذر زمان مشخص کنند و قابل درک، در دسترس و معتبر باشند (Yilmaz and Harmancioglu, 2010). شاخص سلامت حوزهٔ آبخیز می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر در مدیریت حوزهٔ آبخیز، شامل اولویت‌ها و پایش تغییرات و عوامل تأثیرگذار بر مدیریت بوم‌سازگان در نظر گرفته شود (Ghabelnezam et al., 2023). در مطالعه‌ای Calizaya et al. (2008) به‌منظور مدیریت یکپارچهٔ منابع آبی دریاچهٔ پوپو کشور بولیوی با استفاده از مدل HELP به محاسبهٔ شاخص WSI[2] پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد وجود سد ذخیرهٔ آب در پوپو در ارتقاء سطح پایداری آن از ضعیف به متوسط مؤثر بوده است. در پژوهش دیگری Cortes et al. (2012) طی برنامهٔ چهار ساله مقدار شاخص WSI را برای رودخانه‌ای در شیلی ۰/۶۷ به‌دست آوردند. در پژوهش آن‌ها، کم‌ترین و بیش‌ترین امتیاز را به‌ترتیب زیرشاخص هیدرولوژی (۰/۵) و سیاست‌گذاری (۰/۶۸) به خود اختصاص داده‌اند.

از سایر پژوهش‌ها، Asadi Nalivan et al. (2013) علاوه‌بر تعیین معیارها و نشانگرهای پایداری به ارزیابی و اندازه‌گیری پایداری با استفاده از دستورالعمل پایش و ارزیابی طرح‌های مدیریت منابع طبیعی و آبخیزداری در حوزهٔ آبخیز طالقان زیدشت پرداختند. نتایج نشان داد پایداری حوزهٔ آبخیز مذکور در سطح متوسط قرار دارد که با ارتقاء معیارهای حفاظت از بوم‌سازگان و سطح زندگی آبخیزنشینان، سلامت و پایداری بوم‌سازگان حوزهٔ آبخیز بهبود خواهد یافت. در حوزهٔ آبخیز چهل چای در استان گلستان، Mehri (2013) با ارزیابی پایداری مقدار معیار مدل را ۰/۶۷ به‌دست آورد که نشان از سطح متوسط پایداری حوزهٔ آبخیز چهل چای دارد. در حوزهٔ آبخیز طالقان نیز Asadi Nalivan et al. (2015) با استفاده از مدل IUCN به بررسی وضعیت پایداری پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که حوزهٔ آبخیز مذکور مطابق با این مدل و نشانگرهای آن در سطح متوسطی از پایداری قرار دارد که با حفاظت از بوم‌سازگان و بهبود سطح زندگی مردم ارتقاء می‌یابد. در ادامه، Mohammadi and Dastorani (2017) با استفاده از شاخص WSI به بررسی سطح پایداری حوزهٔ آبخیز زیدشت پرداختند. مقدار شاخص محاسبه شده در این حوزهٔ آبخیز (۰/۶۵) نشان داد که سطح پایداری از متوسط به کم کاهش یافته است. هم‌چنین، Momenian et al. (2018) با بررسی سلامت زیرحوزه‌های قطورچای آذربایجان غربی در جهت تحقق اهداف مدیریت جامع حوزهٔ آبخیز به این نتیجه رسیدند که سلامت آبخیز در سطح متوسط قرار دارد و برای هر زیرحوزهٔ آبخیز راه‌حل‌هایی برای بهبود سلامت و کاهش خطرات ارائه نمودند. در نهایت، Heirany et al. (2022) با هدف ارزیابی پایداری بوم‌شناختی حوزهٔ آبخیز توتلی استان خراسان شمالی با استفاده از چارچوب مفهومی HELP و شاخص پایداری آبخیز به این نتیجه رسیدند که از تلفیق کلیهٔ معیارها و شاخص‌ها امتیاز کلی WSI، ۰/۶۲ بوده و نشان‌دهندهٔ سطح متوسط پایداری بوم‌شناختی است. در پژوهش حاضر نیز با استفاده از مدل PSR به ارزیابی سطح پایداری حوزهٔ آبخیز بوجین استان همدان در دورهٔ زمانی ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ پرداخته شد.

[1] Pressure (P), state (S) and response (R)

[2] Watershed sustainability index

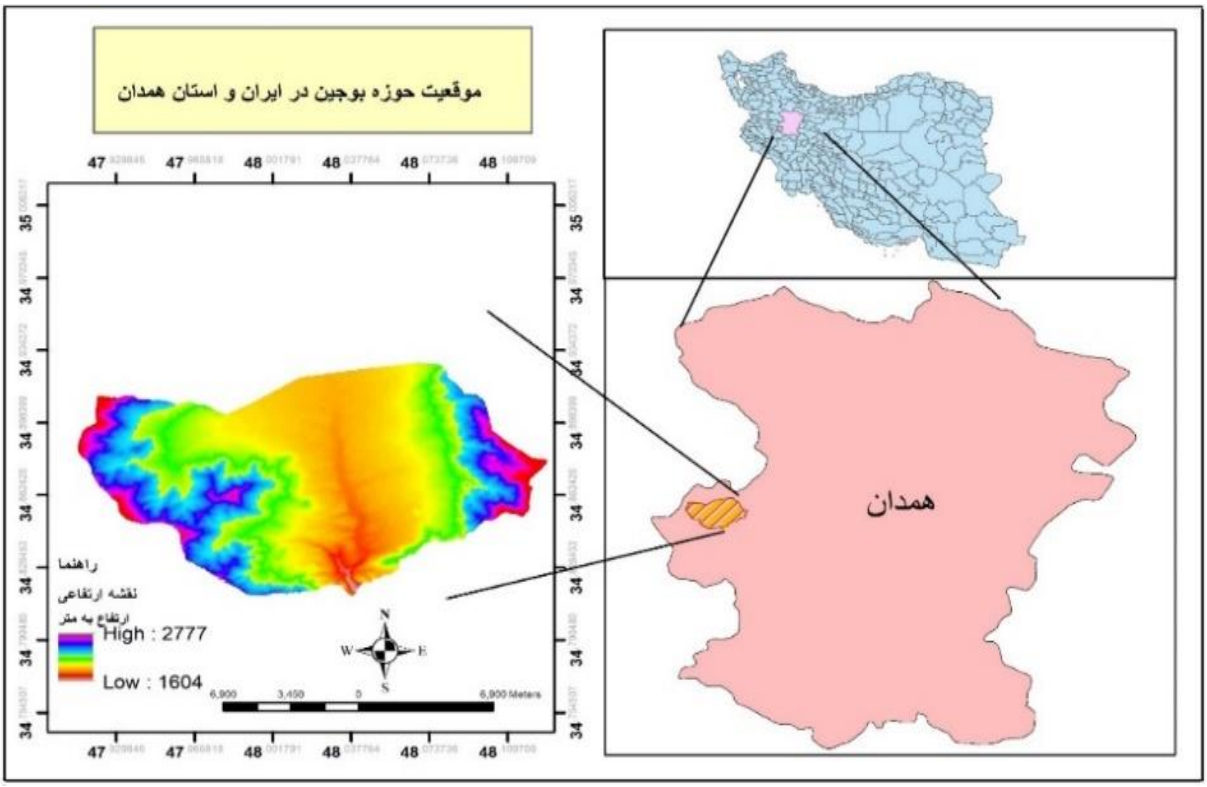
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

حوزهٔ آبخیز بوجین در غرب استان همدان در محـدودهٔ ′۵۴ °۴۷ تا ′۹ °۴۸ طول شرقی و ′۴۹ °۳۴ تا ′۵۷ °۳۴ عرض شمالی قرار دارد. مساحت این حوزهٔ آبخیز ۲۳۳/۵۳ کیلومترمربع است. مناطق کوهستانی این حوزهٔ آبخیز با حداکثر ارتفاع ۲۷۰۰ متر عمدتاً در بخش‌های شرقی و غربی و نقاط پست و دشت‌های آن با ارتفاع ۱۹۰۰ متر غالباً در بخش‌های میانی قرار دارند. متوسط دما و بارش سالانهٔ حوزهٔ آبخیز به‌ترتیب ۱۲ درجهٔ سانتی‌گراد و ۴۰۰ میلی‌متر بوده و بارش عموماً در فصل زمستان و بهار رخ می‌دهد. اقلیم حوزهٔ آبخیز بر اساس روش آمبروژه، نیمه‌خشک است. سطح وسیعی از حوزهٔ آبخیز متأثر از کشت و کار و مرتعداری است و مشکل شخم و شیار در اراضی مرتعی، شخم در جهت شیب، کمبود شدید منابع آبی خصوصاً در سال‌های خشکسالی در بحث آب شرب کاملاً مشهود است (General Department of Natural Resources and Watershed Management of Hamadan Province, 2006). در شکل ۱ موقعیت حوزهٔ آبخیز بوجین ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت حوزهٔ آبخیز مورد مطالعه در ایران و استان همدان

Figure 1- The location of the studied watershed in Iran and Hamadan Province

۲-۲- معرفی مدل فشار–حالت–پاسخ

مدل چارچوب فشار–حالت–پاسخ (PSR) که به‌وسیلهٔ OECD[1] (2003) طراحی شده است، مسئله نظام‌مند معیارهای پایداری محیط زیستی را برای اولین بار مورد توجه قرار داد. این مدل بر پایهٔ چارچوب فشار–پاسخ برای تحلیل بوم‌سازگان توسعه داده شده است. چارچوب مذکور بر مفهوم علیت استوار است: فعالیت‌های انسانی بر محیط زیست تأثیر می‌گذارد و حالت آن را تغییر می‌دهد. پاسخ‌های جامعه به این تغییرات از طریق اعمال سیاست‌های اقتصادی، محیط زیستی و اجتماعی منعکس می‌شود. فعالیت‌های حاصل از این سیاست‌ها نیز به‌نوبهٔ خود فشارهایی را اعمال می‌کند و چرخهٔ بازخورد PSR را کامل می‌کند. بنابراین، چارچوب PSR سه نوع معیار دارد: معیارهای فشار که فشار محیط زیستی حاصله از فعالیت‌های انسانی (ضایعات، فاضلاب) را مورد ارزیابی قرار می دهد، معیارهای حالت که شرایط محیط زیستی را بیان می‌کند (کیفیت آب) و معیارهای پاسخ که واکنش‌های جامعه را (کیفیت آب) و معیارهای پاسخ که واکنش‌های جامعه را (سیاست‌ها، قوانین، مدیریت) ارزیابی می‌کند. زیرشاخص‌ها و پارامترهای استفاده شده در این پژوهش بر اساس معیارهای انتخاب شاخص که در سال

[1] Organization for Economic Cooperation and Development

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۲۰۰۳ از سوی صندوق حفاظت از زیستگاه‌ها (Habitat (HCTF)) conservation trust fund) منتشر شد، تعیین شده است (Chaves and Alipaz, 2007) (جدول ۱).

جدول ۱- زیرشاخص‌ها و پارامترهای شاخص پایداری آبخیز (WSI) (Chaves and Alipaz, 2007)

Table 1. Sub-indicators and parameters of watershed sustainability index (WSI) (Chaves and Alipaz, 2007)

زیر معیار	فشار	حالت	پاسخ
هیدرولوژی	نسبت تغییرات در سرانهٔ آب قابل دسترس طی مدت مطالعاتی به میانگین (درازمدت) آن	سرانه آب قابل‌دسترس در حوزهٔ آبخیز (میانگین درازمدت)	بهبود در راندمان مصرف آب (طی دورهٔ ۱۰ ساله)
هیدرولوژی	تغییر در اکسیژن مورد نیاز بیو شیمیائی BOD حوزهٔ آبخیز طی مدت مطالعاتی	مدیریت یکپارچهٔ منابع آب[1] (IWRM) حوزهٔ آبخیز (میانگین درازمدت)	بهبود در سیستم هدایت و تصفیهٔ فاضلاب طی دورهٔ ۱۰ ساله
محیط زیست	EPI[2] زیرشاخص فشار محیط زیست حوزهٔ آبخیز طی مدت مطالعاتی	درصد مناطق با پوشش طبیعی در حوزهٔ آبخیز	تحول در وسعت مناطق تحت حفاظت محیط زیست در حوزهٔ آبخیز (به درصد، طی مدت مطالعاتی)
حیات	تغییر در زیرشاخص، معیار توسعهٔ انسانی[3] (HDI) طی مدت مطالعاتی	مقدار معیار توسعهٔ انسانی HDI حوزهٔ آبخیز	تحول در HDI طی مدت مطالعاتی
سیاست‌گذاری	تغییر در زیرشاخص HDI (آموزش) در حوزهٔ آبخیز طی مدت تعیین شده	ظرفیت سازمانی حوزهٔ آبخیز جهت تحقق (IWRM)	تحول در هزینه‌های اعمال IWRM طی مدت مطالعاتی

۲-۲-۱- زیرشاخص هیدرولوژی (H)

زیرشاخص هیدرولوژی اولین زیرشاخص WSI است که خصوصیات شیمیایی و فیزیکی حوزهٔ آبخیز مورد نظر را ارزیابی می‌کند. مقدار زیرشاخص هیدرولوژی خود از میانگین دو متغیر کمیت و کیفیت آب به‌دست می‌آید (Catano et al., 2009).

۲-۲-۱-۱- متغیر کمیت آب

این متغیر از طریق محاسبهٔ سرانهٔ آب در دسترس به ازای هر نفر (WA) در هر زیرحوزهٔ آبخیز با استفاده از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$WA = \frac{\text{میانگین درازمدت جریان رودخانه}}{\text{جمعیت حوزهٔ آبخیز}} \quad (۱)$$

ازآن‌جایی‌که تنش آب زمانی رخ می‌دهد که آب در دسترس به کم‌تر از ۱۷۰۰ مترمکعب در سال به ازای هر نفر برسد (Falkenmark and Widstrand, 1992)، پنج سطح برای WA توسط Chaves and Alipaz (2007) شامل خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و عالی تعیین شد.

در سطح عالی، مقدار مترمکعب آب قابل دسترس در سال به ازای هر نفر بیش از ۶۸۰۰ تعیین شد که این مقدار چهار برابر مقدار پایه یعنی ۱۷۰۰ مترمکعب است (Chaves and Alipaz., 2007). بنابراین، می‌توان گفت که طبقه‌بندی برای آب در دسترس بر اساس حداقل مقدار آب که کم‌تر از آن موجب تنش آب در یک منطقه می شود صورت گرفته است (جدول ۲). میانگین مقدار WA در درازمدت (۱۳۶۵-۱۳۹۵) تعیین‌کنندهٔ پارامتر وضعیت موجود و نسبت تغییرات بلندمدت آب در دسترس به طول دورهٔ مطالعاتی (۱۳۸۵-۱۳۹۵) تعیین‌کنندهٔ پارامتر فشار (Pressure) خواهد بود (Chaves and Alipaz., 2007). پارامتر پاسخ (Response) تنها پارامتر توصیفی زیرشاخص هیدرولوژیست که برای متغیر کمیت آب به بررسی روند بهبود راندمان مصرف آب در دورهٔ مطالعاتی می‌پردازد.

جدول ۲- طبقه‌بندی سرانهٔ آب با توجه به حداقل استاندارد

Table 2- Per capita water classification according to minimum standard

کلاس	سرانهٔ آب (مترمکعب نفر در سال)	وضعیت
A	سرانه آب در دسترس< 1700	بسیار ضعیف
B	1700 < سرانهٔ آب در دسترس < 3400	ضعیف
C	3400 < سرانهٔ آب در دسترس < 5100	متوسط
D	5100 < سرانهٔ آب در دسترس < 6800	خوب
E	6800 < سرانهٔ آب در دسترس	عالی

۲-۲-۱-۲- متغیر کیفیت آب

در محاسبهٔ این متغیر Chaves and Alipaz (2007) از مقدار اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی آب[4] (BOD) استفاده کردند. در این پژوهش به‌دلیل فقدان داده و محدود بودن زمان برای اندازه‌گیری میدانی مقدار کل جامدات محلول (باقی‌ماندهٔ خشک[5]) یا هدایت الکتریکی (EC) برای ارزیابی کیفی رودخانهٔ بوجین جایگزین شد.

TDS عامل مهمی در کیفیت آب بوده و اثر زیادی در جابه جایی و تبدیل شیمیایی و یونیزه‌شدن مواد دارد. هم‌چنین، غلظت املاح محلول، نقش زیادی در تعیین جوامع آبزی جانوری و گیاهی داشته و بسیاری از گیاهان و جانوران آبزی به آب‌های شیرین و یا شور عادت دارند (Mahdavi, 2016). پارامتر فشار کیفیت آب،

[1] Integrated water resource management
[2] Environmental pressure index
[3] Human development index
[4] Biological oxygen demand
[5] Total dissolved solid

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

تغییرات میانگین کوتاه‌مدت EC (میکرو موس بر سانتی‌متر) را در طول دورهٔ مطالعاتی نسبت به میانگین بلندمدت به درصد بیان می کند. پارامتر وضعیت کیفیت هیدرولوژی، میانگین طولانی‌مدت مقدار EC (جدول ۳) را نشان می‌دهد (Cortes et al., 2012). پارامتر پاسخ (واکنش)، پارامتر توصیفی است که با توجه به میزان بهبود در روش‌های تصفیهٔ فاضلاب و هدایت هرز آب‌ها در حوزهٔ آبخیز طی مدت مطالعاتی در یکی از پنج سطح خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و عالی را شامل می‌شود. در هر دو بخش کمیت و کیفیت آب امتیاز به‌دست آمده میانگین امتیازات کسب شده پارامترهای فشار–حالت–پاسخ است.

جدول ۳- توصیف سطوح و امتیاز متغیر کیفیت آب (Cortes et al., 2012)

Table 3- Description of water quality levels and scores (Cortes et al., 2012)

کلاس	هدایت الکتریکی (میکرو موس بر سانتی‌متر)	وضعیت
A	EC > 2250	بسیار ضعیف
B	1600 < EC < 2250	ضعیف
C	750 < EC < 1600	متوسط
D	600 < EC < 750	خوب
E	EC < 600	عالی

۲-۲-۲- زیرشاخص محیط زیست (E)

همان طورکه در جدول ۱ نشان داده شد، پارامتر فشار این زیرشاخص (EPI) نسخهٔ اصلاح شدهٔ شاخص فشارآنتروپیک[1] (API) است و از طریق میانگین تغییرات مساحت زمین‌های کشاورزی در حوزهٔ آبخیز و تغییرات جمعیت شهری (درصد) در طول دورهٔ مطالعاتی به شکل رابطهٔ (۲) محاسبه می‌شود:

$$EPI = \frac{\text{درصد تغییر زمین کشاورزی} + \text{درصد تغییر جمعیت}}{2} \qquad (۲)$$

کیفیت آب در یک حوزهٔ آبخیز به نسبت مساحت مناطق شهری و زراعی حوزهٔ آبخیز بستگی دارد (Hunsaker and Levine, 1995). علاوه‌براین یکی دیگر از دلایل انتخاب معیار فشار محیطی به‌عنوان پارامتر فشار محیط زیست این است که به‌آسانی از طریق آمار سرشماری‌ها و اسناد ممیزی ادارات دولتی (منابع طبیعی و ثبت اسناد و املاک) در هر کشوری قابل دسترسی است (Chaves and Alipaz, 2007).

علاوه‌بر موارد مذکور EPI راه مؤثری برای ارزیابی تعادل بین جمعیت شهری و مساحت مناطق زراعی ارائه می‌دهد. تعادل بین این دو با حفظ سلامت محیط زیست ناشی از فعالیت‌های انسانی رابطهٔ مستقیمی دارد (Catano et al., 2009). EPI می‌تواند مقادیر مثبت، منفی یا صفر را به خود اختصاص دهد. مقادیر مثبت آن نشان‌دهندهٔ فشار مضاعف روی پوشش گیاهی طبیعی باقی‌مانده در حوزهٔ آبخیز است (پارامتر وضعیت موجود). پارامتر پاسخ محیط زیست، رشد و پیشرفت در عملیات حفاظتی در حوزهٔ آبخیز شامل توسعهٔ ذخایر جنگل ملی، پارک‌های ملی و بهترین روش برای ارزیابی آن‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهد. بهترین امتیاز ممکن برای این پارامتر وقتی به‌دست می‌آید که گسترش در مناطق حفاظت شده در حوزهٔ آبخیز بزرگ‌تر یا برابر ۲۰ درصد باشد (Chaves and Alipaz., 2007).

۲-۲-۳- محاسبهٔ زیرشاخص حیات (L)

این بخش از پژوهش تا حدود زیادی به کیفیت زندگی افراد ساکن در حوزهٔ آبخیز بستگی دارد و پارامترهای آن به بررسی استاندارد زندگی و معیار توسعهٔ انسانی (HDI) در حوزهٔ آبخیز می‌پردازد. در این زیرشاخص، پارامتر فشار به‌وسیلهٔ تغییرات درآمد سرانه در طول دورهٔ مطالعه بیان می‌شود. این پارامتر در واقع با محاسبهٔ تغییر در زیرشاخص درآمد HDI طی دورهٔ مطالعاتی به‌دست می‌آید. مراحل محاسبه و معرفی HDI و زیرشاخص‌های آن به تفضیل در ادامه روش شرح داده خواهد شد. مقادیر منفی این پارامتر حاکی از فقیرتر شدن جمعیت ساکن در حوزهٔ آبخیز طی دورهٔ مطالعاتی است و بالعکس. تغییر در سرانهٔ درآمد افراد همواره روی پایداری حوزهٔ آبخیز اثرگذار بوده است. این در حالی است که این پارامتر به‌عنوان عامل بسیار قوی که بر معیارهای اجتماعی از جمله سلامت و آموزش تأثیرگذار است شناخته شده است (Chaves and Alipaz, 2007). در پارامتر وضعیت، معیار توسعهٔ انسانی حوزهٔ آبخیز با توجه به اطلاعات در دسترس برای آخرین سال از دورهٔ مطالعاتی به‌کار می‌رود و پارامتر پاسخ، تغییرات HDI (به درصد) در حوزهٔ آبخیز در طی دورهٔ مطالعاتی را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. به این دلیل برای این بخش از HDI استفاده شده است که هم هرساله در سراسر جهان محاسبه می‌شود و هم این‌که به‌آسانی برای سایر حوزه‌های آبخیزی که از لحاظ کیفیت در یک سطح هستند قابل مقایسه است (Catano et al., 2009). بیش‌ترین امتیاز ممکن برای پارامترهای وضعیت و پاسخ حیات به‌ترتیب زمانی به‌دست می‌آید که مقدار HDI بیش‌تر از ۰/۹۰ و تغییرات HDI مثبت و بیش‌تر از ۲۰ درصد در دورهٔ مطالعاتی باشد (Chaves and Alipaz, 2007).

۲-۲-۳-۱- معیار توسعهٔ انسانی (HDI)

معیار توسعهٔ انسانی بارزترین نمونهٔ پیوند دیدگاه‌های جدید و تکوین ابزار سنجش برای مقایسه‌های بین‌المللی در زمینهٔ توسعه است. HDI معیار کلی از وضعیت توسعهٔ انسانی است که دستاورد کشورها را در سه بعد اساسی توسعه شامل بهداشت و سلامت، آموزش و سطح استاندارد زندگی نشان می‌دهد. اما از آن‌جایی‌که این

[1] Anthropic pressure indicator

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

موضوعات کیفی و بسیار کلی می‌باشند، لازم است برای کمی نمودن آن‌ها متغیرهای جانشین در هر موضوع در نظر گرفته شده و با استفاده از آمار و اطلاعات موجود در این زمینه و استفاده از روش‌های آماری مناسب به محاسبهٔ معیار کلی و ترکیبی HDI پرداخت (Amiri, 2011).

۲-۲-۳-۲- معرفی متغیرهای جایگزین

به‌منظور ارائهٔ معیارهای کمی و قابل اندازه‌گیری در هر یک از سه زمینهٔ ذکر شده و استخراج معیار HDI از گزارش سال ۲۰۱۰ برنامهٔ توسعهٔ سازمان ملل متحد استفاده شده است (جدول ۴).

جدول ٤- متغیرهای جانشین برای ابعاد سه‌گانهٔ توسعهٔ انسانی (گزارش‌های توسعهٔ انسانی منتشر شده از سوی برنامهٔ توسعهٔ سازمان ملل متحد)

Table 4- Substitute variables for the three dimensions of human development index (human development reports published by the United Nations Development Program)

ابعاد توسعه	روش قدیم	روش جدید
آموزش	نرخ ثبت‌نام در مدرسه	طول دورهٔ مورد انتظار برای تحصیل کودکان در سن ورود به مدرسه
آموزش	نرخ باسوادی	متوسط طول دوره‌ای که صرف آموزش می‌شود
بهداشت و سلامت	امید به زندگی در بدو تولد	امید به زندگی در بدو تولد
استاندارد زندگی	GDP سرانه	GNI سرانه

۲-۲-۳-۳- نرمال نمودن متغیرهای جایگزین

برای این‌که بتوان از ترکیب معیارهای فوق که واحدهای متفاوت دارند به یک معیار واحد رسید و هم برای این‌که معیار ترکیبی به‌دست آمده این قابلیت را داشته باشد که بتواند کشورهای مختلف را رتبه‌بندی نماید، ابتدا هر یک از سه معیار فوق استفاده از رابطهٔ معیار پایه که مقدار آن بین صفر و یک هست تبدیل می‌شوند. رابطهٔ معیار پایه عبارت است از:

$$\text{معیار پایه} = \frac{\text{متوسط معیار در کشور} - \text{حداقل مقدار معیار}}{\text{حداکثر مقدار معیار} - \text{حداقل مقدار معیار}} \quad (۳)$$

همان گونه‌که از رابطهٔ (۳) مشخص است، برای این‌که هر یک از معیارها با استفاده از این رابطه به معیار نرمال تبدیل شوند، لازم است برای هر معیار مقادیر حداقل و حداکثر (مقادیر هدف) در نظر گرفته شود که این مقادیر در روش فعلی نسبت به روش قدیم دچار تغییراتی شده است. مقادیر حداقل و حداکثر برای هر یک از معیارها در روش جدید به‌صورت جدول ۵ است (Amiri, 2011).

۲-۲-۳-٤- مؤلفهٔ معیار توسعهٔ انسانی

۲-۲-۳-٤-۱- بهداشت و سلامت

امید به زندگی در بدو تولد از معیارهای مهم و بیان‌گر وضعیت فرهنگی، اجتماعی، اقتصادی و بهداشتی هر جامعه است. هم‌چنین، این معیار می‌تواند در ارزشیابی خدمات انجام شده مفید واقع شود. سازمان بهداشت جهانی از این معیار در کنار دیگر معیارهای ذکر شده به برآورد معیار توسعهٔ انسانی مبادرت می‌نماید که از مهم‌ترین معیارهای ارزشیابی جوامع کنونی است (Malek Afzali and Majdabadi Farahani, 1987).

۲-۲-۳-٤-۲- آموزش

همان طورکه در جدول ۵ ارائه شده است معیار آموزش در روش جدید با استفاده از دو پارامتر طول دورهٔ مورد انتظار برای تحصیل کودکان در سن ورود به مدرسه و متوسط طول دوره‌ای که صرف آموزش شده است محاسبه می‌شود. پارامتر اول، تعداد سال‌های تحصیلی مورد انتظار یک کودک از سن ورود به مدرسه است. اگر الگوهای متداول نرخ‌های ثبت‌نام مختص در هر سن در تمام طول عمر آن کودک تغییری نکند (تعداد سال‌های مورد انتظار تحصیل در مدرسه به معنی سال‌هایی است که صرف آموزش افراد ۲۵ سال و بالاتر شده است (به‌دست آمده از سطوح دست‌یابی به آموزش با احتساب مدت زمان رسمی که در هر سطح آموزشی به طول می انجامد) (UNESCO, 2011). سپس با استفاده از رابطهٔ (۴) مقدار نهایی این زیرشاخص محاسبه شد. در این رابطه، EI معیار آموزش، MYSI معیار میانگین سال‌های تحصیل، EYSI معیار سال‌های مورد انتظار برای تحصیل هستند.

$$EI = \frac{(MYSI \times EYSI)^{1/2}}{0.951} \quad (۴)$$

جدول ۵- مقادیر حداقل و حداکثر برای هر معیار در روش جدید محاسبهٔ معیار HDI (گزارش‌های توسعهٔ انسانی منتشر شده از سوی برنامهٔ توسعهٔ سازمان ملل متحد)

Table 5- The minimum and maximum values of each index in the new calculation method for HDI (human development reports published by the United Nations Development Program)

عنوان	حداکثر	حداقل
امید به زندگی در بدو تولد (سال)	83.2	20
متوسط طول دوره‌ای که صرف آموزش می‌شود (سال)	13.2	0
طول دوره مورد انتظار برای تحصیل کودکان در سن ورود به مدرسه (سال)	26.6	0
GNI سرانه (PPP$)	311.108	163

۲-۲-۳-٤-۳- استاندارد زندگی

سرانهٔ درآمد ناخالص ملی (GNI) عبارت است از: درآمد کل حاصل شده از اقتصاد تولیدی ناشی از محصولات داخلی و مالکیت عوامل

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

تولیدکننده منهای درآمدی که صرف پرداخت هزینه بابت واردات عوامل تولیدی از سایر جهان شده است. این مقدار با استفاده از نرخ برابری قدرت خرید (PPP) به دلار بین‌المللی تبدیل شده و سپس بر جمعیت کشور در اواسط سال مورد نظر تقسیم می‌شود (UNDP, 2009). در نهایت، بر اساس روش جدید محاسبهٔ HDI، معیار توسعهٔ انسانی از میانگین هندسی مقادیر به‌دست آمده طبق گزارش سال ۲۰۱۰ سازمان ملل برای دو سال متفاوت محاسبه شد:

$$HDI = (LEI \times EI \times LogII)^{1/3} \quad (۵)$$

در این رابطه، LEI معیار اُمید به زندگی، EI معیار آموزش و II معیار درآمد است. لازم به توضیح است از آن‌جایی‌که هر معیار جزئی به‌عنوان متغیر جایگزین بیان‌گر قابلیت‌ها و دست آورده‌ای متناظر با موضوع مورد نظر هست. بر اساس پژوهش‌های علمی تابع انتقال سطح درآمد به سطح استاندارد زندگی مقعر بوده و لذا در محاسبهٔ HDI از لگاریتم معیار پایهٔ درآمد سرانه استفاده شده است (Amiri, 2012). سپس مقدار نهایی HDI عددی بین صفر تا یک به‌دست می‌آید که کشورهای عضو سازمان ملل با توجه به مقدار محاسبه شدهٔ آن چهار دسته از کشورهایی با توسعهٔ انسانی بسیار بالا، بالا، متوسط و پایین را شامل می‌شوند (UNDP, 2009).

۲-۲-٤- محاسبهٔ زیرشاخص سیاست‌گذاری (P)

پارامتر فشار سیاست‌گذاری تغییر در زیرشاخص آموزش معیار توسعهٔ انسانی حوزهٔ آبخیز در طول مدت مطالعه را شامل می‌شود؛ که روند محاسبات آن در بخش قبلی، به تفضیل بیان شد. با استفاده از این پارامتر، سطح آموزشی و میزان تحصیلات سنجش می‌شود چرا که هر چقدر ساکنان حوزهٔ آبخیز از سطح سواد بالاتری برخوردار باشند صلاحیت بیش‌تری برای دخالت در امور مدیریت حوزهٔ آبخیز پیدا خواهند کرد و این باعث می‌شود فشار بیش‌تری به تصمیم‌گیران تحمیل شود. نمونه‌هایی از آن در چندین حوزهٔ آبخیز در برزیل دیده شده که هرکجا افراد ساکن در حوزهٔ آبخیز از سطح تحصیلات بالاتری برخوردار بوده‌اند، مشارکت‌های اجتماعی در مدیریت منابع آب (WRM) بیش‌تر صورت گرفته است (World Bank, 2003). علاوه‌بر مطالب ذکر شده، این پارامتر یک پارامتری ساده و در دسترس است و روش استفاده از آن به سهولت امکان‌پذیر است (Chaves and Alipaz, 2007)، هرچند که محاسبات آن به شیوهٔ جدید کمی پیچیده شده و دست‌یابی به اطلاعات مورد نیاز آن در کشور ما کمی دشوار است.

پارامتر وضعیت موجود به‌وسیلهٔ توانایی حوزهٔ آبخیز در برقرار کردن اتحاد بین اهداف رسیدن به مدیریت یکپارچهٔ منابع آب (IWRM)، در میان نمادها یا سازمان‌های مختلف تعیین می‌شود. تشکیلات IWRM با تقویت به اشتراک گذاشتن منابع و اراضی موجود، ایجاد آگاهی اجتماعی از مسائل محیط زیستی و با ترغیب و تشویق نهادها به همکاری با یک‌دیگر، به اعمال مدیریت یکپارچهٔ منابع آب در حوزهٔ آبخیز کمک می‌کند. پارامتر وضعیت در این زیرشاخص به‌صورت کیفی، جامعیت سامانه‌های حقوقی و نهادی در درون آبخیز را مورد ارزیابی قرار می‌دهد و بر این اساس و با استفاده از جداول پیوست مشخص خواهد شد که حوزهٔ آبخیز در چه وضعیتی (خیلی‌ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و عالی) قرار گرفته است (Chaves and Alipaz, 2007).

پارامتر پاسخ به برآورد سیر تکاملی هزینه‌هایی که صرف اعمال مدیریت یکپارچهٔ منابع آب (IWRM) طی دورهٔ مطالعاتی شده است می‌پردازد که آن منعکس‌کنندهٔ عکس‌العمل ذی‌نفعان و تصمیم‌گیران در مقابله با مشکلات منابع آب است. در واقع این پارامتر با استفاده از هزینه‌هایی که طی مدت مورد مطالعه صرف IWRM شده است به تحلیل اقدامات دولت و مؤسسات در راستای تأمین مسائل مالی در حوزهٔ آبخیز می‌پردازد. افزایش بودجه و اعتبارهای اختصاص داده شده به مدیریت منابع آبخیز، شانس بیش‌تری برای تحقق اهداف مورد نظر به‌سوی توسعهٔ پایدار حوزهٔ آبخیز را به‌دنبال خواهد داشت (Chaves and Alipaz, 2007). لازم به توضیح است که در جداول تهیه شده توسط Chaves and Alipaz (2007) ارزیابی پارامتر پاسخ به‌صورت کمی از کم‌تر از منفی ۱۰ درصد برای ضعیف‌ترین حالت تا بیش‌تر از ۲۰ درصد برای بهترین وضعیت در نظر گرفته شده بود، اما به‌دلیل میسر نبودن دسترسی به اطلاعات جزئی هزینه طرح‌ها و بودجه‌های اختصاص داده شده به حوزهٔ آبخیز بوجین، مانند پارامتر وضعیت این زیرشاخص به‌صورت کیفی (در پنج سطح خیلی‌ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و عالی) مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲-۲-۵- محاسبهٔ شاخص پایداری حوزهٔ آبخیز

پس از این‌که امتیازهای نهایی برای هر زیرشاخص از میانگین پارامترهای فشار–وضعیت–پاسخ به‌دست آمد، مقدار WSI از طریق میانگین حسابی زیرشاخه‌ها به‌صورت زیر قابل محاسبه است:

$$WSI = \frac{H + E + L + P}{4} \quad (۶)$$

در رابطهٔ بالا، H امتیاز هیدرولوژی، E امتیاز محیط زیست، L امتیاز حیات و P امتیاز سیاست‌گذاری است که محدودهٔ امتیازات آن‌ها از بازهٔ صفر تا یک به‌پنج رده تقسیم می‌شود (صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و یک). به این صورت که در بهترین وضعیت امتیاز یک و در بدترین وضعیت امتیاز صفر را کسب می‌کنند (Chaves and Alipaz, 2007). خطی بودن ساختار رابطهٔ (۶) و میانگین‌گیری در مراحل مختلف کار باعث کاهش تأثیر خطاها و جبران اشتباهات احتمالی در روند محاسبهٔ پارامترها می‌شود. پایداری حوزهٔ آبخیز در سه سطح پس از محاسبهٔ WSI (بازهٔ صفر تا یک) با استفاده از جدول ۶ به‌دست می‌آید. پس از مشخص شدن امتیازات در معیار

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

و زیرشاخص‌های مختلف و معیار پایداری حوزهٔ آبخیز به تحلیل آماری آن‌ها از طریق آزمون کای اسکوئر پرداخته شد.

جدول ٦- تعیین سطوح پایداری حوزهٔ آبخیز با WSI

Table 6– Determination of watershed sustainability levels with WSI

سطح پایداری حوزهٔ آبخیز	معیار پایداری حوزهٔ آبخیز (WSI)
پایین	$WSI < 0.6$
متوسط	$0.6 \leq WSI \leq 0.8$
بالا	$WSI > 0.8$

۳- نتایج و بحث

۳-۱- زیرشاخص هیدرولوژی

مقدار پارامتر فشار و وضعیت کمی هیدرولوژی حوزهٔ آبخیز مطابق با جداول ۷ و ۸ به‌دست آمد. این حوزهٔ آبخیز از لحاظ متغیر AW در طبقهٔ C یعنی در محدودهٔ ۱۷۰۰<AW<۳۴۰۰ قرار دارد که وضعیت ضعیف است. در این حوزهٔ آبخیز، بهبود راندمان مصرف آب به کمک توسعهٔ روش‌های آبیاری تحت فشار، اجرای سد نعمت‌آباد، مسدود کردن چاه‌های غیرمجاز و اجرای پروژه‌های آبخیزداری در حال افزایش بوده و می‌توان گفت حوزهٔ آبخیز مورد مطالعه به مرور زمان در شرایط عادی را شامل می‌شود. روش‌های دفع زباله و تخلیهٔ فاضلاب در حوزهٔ آبخیز مورد مطالعه سنتی بوده اما خصوصاً در روستاهای بزرگ‌تر همانند چنار علیا و کمک سفلی در حال اصلاح و مدیریت شده است. میانگین امتیازها برای قسمت کیفی آب (۰/۵۸۳) به‌دست آمد که وضعیت متوسط رو به پایینی را نشان می‌دهد. هم‌چنین، میانگین امتیازها برای قسمت کمی آب (۰/۱۶) را نشان می‌دهد که حاکی از وضعیت ضعیف برای این قسمت است. میانگین امتیاز برای زیرشاخص هیدرولوژی ۰/۳۷۵ بود که نشان‌دهندهٔ وضعیت ضعیف این منطقه است (جدول ۷).

۳-۲- زیرشاخص محیط زیست

معیار فشار محیط زیستی از میانگین تغییرات جمعیت در دورهٔ مطالعاتی و نیز تغییر سطح زمین‌های زراعی و پوشش طبیعی محاسبه می‌شود. درصد مساحت زمین‌های زراعی در سال ۱۳۸۵، ۴۳/۵ درصد بوده است و این رقم برای سال ۱۳۹۵ به ۴۵/۱۱ درصد از سطح حوزهٔ آبخیز رسیده است. همان گونه‌که مشاهده می شود به وسعت زمین‌های کشاورزی اضافه شده است (۱/۱۶ درصد) که افزایش اراضی آبی در حوزهٔ آبخیز قاعدتاً مربوط به بهره‌وری بهتر از آب با شیوه‌های جدید کشت و آبیاری نوین است. پوشش طبیعی حوزهٔ آبخیز شامل مراتع و باغ و بیشه ۵۴ درصد از سطح حوزهٔ آبخیز را به خود اختصاص داده (شکل ۲) و در وضعیت خوب از لحاظ پایداری قرار دارد. میانگین پارامترهای فشار-حالت-پاسخ برای کل حوزهٔ آبخیز یک به‌دست آمد که شرایط عالی را برای این زیرشاخص در منطقه نشان می‌دهد.

۳-۳- زیرشاخص حیات

معیار دست‌یابی اُمید به زنده ماندن (زیرشاخص سلامت) در استان همدان در سال ۱۳۸۵ معادل ۰/۷۰ و در سال ۱۳۹۵ این رقم معادل ۰/۷۱۲ است که رشد میزان امید به زندگی را نشان می‌دهد. زیرشاخص آموزش خود از دو پارامتر درصد باسوادی بزرگ‌سالان و ترکیب ثبت‌نام ناخالص در سطوح مختلف آموزشی تشکیل می‌شود. نتیجهٔ زیرشاخص آموزش برای سال ۱۳۸۵ معادل ۰/۷۳ و برای سال ۱۳۹۵ معادل ۰/۷۸۶ محاسبه شد. رقم زیرشاخص درآمد سرانه با استفاده از معیار دست‌یابی تولید ناخالص ۰/۷۵ محاسبه شد. بعد از محاسبهٔ زیرشاخص‌های توسعهٔ انسانی، مقدار این معیار برای حوزهٔ آبخیز مد نظر در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۵ به‌ترتیب ۰/۶۲ و ۰/۶۸ به دست آمد که حکایت از رشد این معیار در منطقه را دارد. میانگین امتیازات برای این زیرشاخص (۰/۶۶۷) به همراه مقادیر پارامترهای فشار، حالت و پاسخ برای زیرشاخص حیات در حوزهٔ آبخیز بوجین در جدول ۷ آورده شده است. طبق نقشه‌های توزیع پراکنش معیار توسعهٔ انسانی در سامانه‌های عرفی حوزهٔ آبخیز بوجین در دورهٔ زمانی (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵) مشخص شد که در سال ۱۳۸۵ مقدار معیار توسعهٔ انسانی در طبقهٔ ضعیف بوده و در سال ۱۳۹۵ به طبقهٔ متوسط به بالا ارتقاء یافته است (جدول ۷).

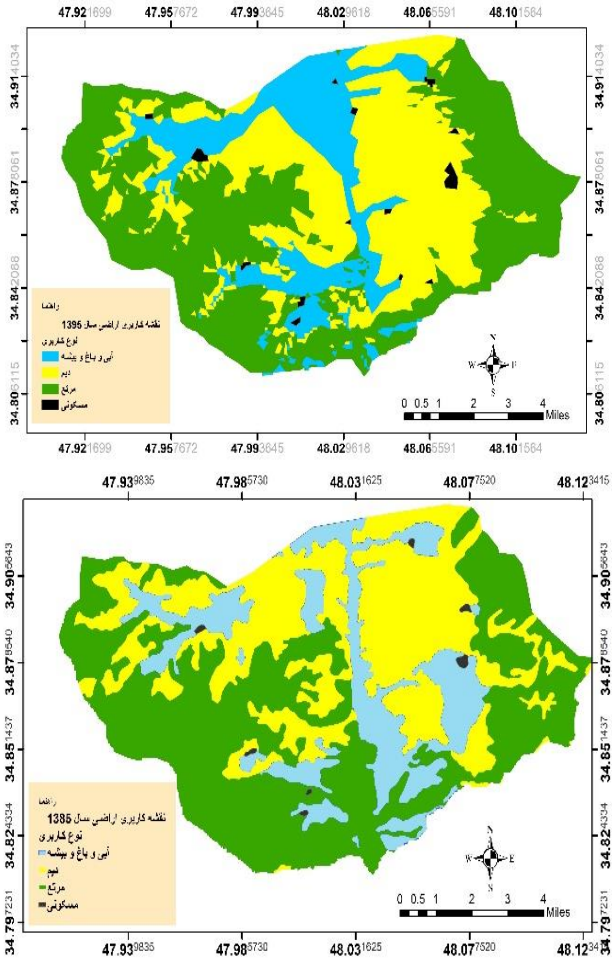
۳-٤- زیرشاخص سیاست‌گذاری

میزان تغییرات پارامتر فشار از زیرشاخص سیاست‌گذاری برای حوزهٔ آبخیز برابر ۸/۱ درصد به‌دست آمد. امتیاز پارامتر وضعیت با توجه به مطالعات پایه و اجرایی منابع آب و مدیریت جامع حوزهٔ آبخیز برابر ۰/۷۵ محاسبه شد. زیرشاخص پاسخ با مقدار میانگین امتیازات، برابر رقم ۰/۷۵ در حوزهٔ آبخیز مورد مطالعه نشان داد که این معیار وضعیت خوب را در ارزیابی نشان می‌دهد. نتایج نشان داد در پارامتر فشار، زیرشاخص هیدرولوژی (کمی و کیفی) با امتیازات صفر و ۰/۵ کم‌ترین مقدار و برای زیرشاخص‌های محیط زیست و حیات با امتیاز یک بیش‌ترین مقدار را دارد. میانگین امتیازات برای این قسمت ۰/۷۵ محاسبه شد که پایداری متوسط را در این پارامتر برای کل حوزهٔ آبخیز نشان می‌دهد. جهت ارتقاء این زیرشاخص توجه به بحث هیدرولوژی کمی (مقدار سرانه آب در دسترس) و کیفی (کیفیت آب) در منطقه خودنمایی می‌کند. در پارامتر حالت، برای زیرشاخص کیفی آب و محیط زیست با امتیاز یک بیش‌ترین مقدار را دارد. این مهم حکایت از توجه بیش‌تر به جنبه‌های اجرایی و مدیریت یکپارچه منابع آب را نشان می‌دهد. هم‌چنین، در قسمت پاسخ به‌ترتیب زیرشاخص هیدرولوژی کمی و کیفی با امتیازات

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۰/۲۵ و زیرشاخص محیط زیست با امتیاز یک کم‌ترین و بیش‌ترین امتیازات را به خود اختصاص دادند که این مهم از پایداری زیرشاخص محیط زیست و ناپایداری زیرشاخص هیدرولوژی در منطقه حکایت می‌کند (جدول ۷).



شکل ۲- نقشهٔ کاربری حوزهٔ آبخیز بوجین در دورهٔ زمانی مورد مطالعه

Figure 2- Land use map of Bujin watershed in the studied periods

در بین پارامترهای مدل ملاحظه شد پارامتر فشار بیش‌ترین و پارامتر پاسخ کم‌ترین امتیاز را به خود اختصاص داده‌اند. میزان معیار WSI برای کل حوزهٔ آبخیز رقم ۰/۷ را نشان داد که در سطح متوسط پایداری قرار دارد. طبق نقشه‌های توزیع پراکنش معیار ارزیابی پایداری حوزهٔ آبخیز در سامانه‌های عرفی حوزهٔ آبخیز بوجین در سه دورهٔ زمانی ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ مشخص شد که در دورهٔ زمانی ۱۳۸۵ مقدار معیار سطح پایداری حوزهٔ آبخیز در طبقهٔ متوسط به پایین بوده و در دورهٔ زمانی ۱۳۹۵ به طبقهٔ متوسط به بالا ارتقاء یافته است. نقشهٔ معیار پایداری در سامانه‌های عرفی حوزهٔ آبخیز بوجین (شکل ۳) نشان می‌دهد که سامانه‌های شرقی حوزهٔ آبخیز به‌دلیل غنی بودن مراتع و تولید آب بیش‌تر از پایداری بالاتری برخوردار بوده و در طول ۱۰ سال مورد مطالعه خصوصاً سامان چنار علیا تغییرات اندکی داشته است. نزدیکی خروجی حوزهٔ آبخیز هم به‌دلیل تخریب اراضی در اثر چرای بیش از حد دام و شخم مراتع از پایداری ضعیفی برخوردار بوده و در طول دورهٔ مطالعاتی تغییرات آن‌چنانی نداشته است ولی سایر نقاط حوزهٔ آبخیز، از پایداری متوسطی برخوردار بوده است. سامانه‌های عرفی جنوبی حوزهٔ آبخیز بوجین خصوصاً قره‌بلاغ بیش‌ترین تغییرات کاهش پایداری را داشته است. کم‌ترین امتیاز شاخص در دورهٔ پژوهش مربوط به سامان عرفی علی‌آباد ابوراء به مقدار ۰/۵۵ و بیش‌ترین امتیاز در دورهٔ زمانی به مقدار ۰/۷۴ مربوط به سامان عرفی چنار علیا بوده است. نتایج این پژوهش با نتایج حاصل از بررسی پایداری در حوزهٔ آبخیز توتلی که توسط Heirany et al. (2022) انجام شده و معیار هیدرولوژی را عامل اصلی در جهت تضعیف پایداری معرفی می‌کند، تطابق دارد. هم‌چنین، نتایج این پژوهش با یافته‌های مطالعهٔ Mohammadi and Dastorani (2017)، Kheirandish et al. (2020)، و Branchi (2022)

Archive of SID.ir

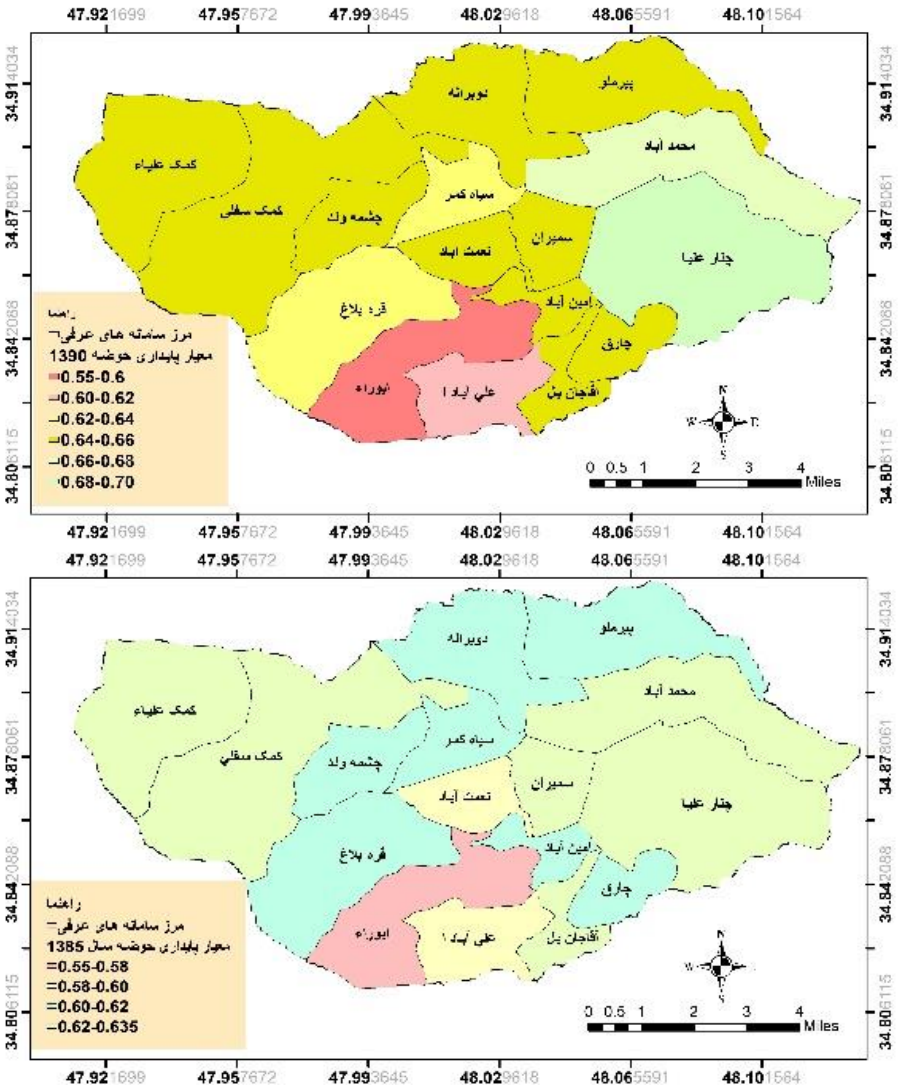
Archive of SID.ir

Shahedi et al. (2023) از آن جهت که حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه در هر پژوهش در سطح متوسطی از پایداری قرار دارند و معیار هیدرولوژی را عامل ایجاد ناپایداری یا پایداری ضعیف بیان می‌کنند و بر رفع چالش‌های مرتبط به آن تأکید دارند مطابقت دارد.

جدول ۷- مقادیر و امتیازات زیرشاخص‌ها در حوزهٔ آبخیز بوجین

Table 7- Values and privileges under indices in Bujin watershed

زیرشاخه‌ها	فشار امتیاز	حالت امتیاز	پاسخ امتیاز	میانگین امتیاز
هیدرولوژی کمی	39.9 درصد 0	1790 0.25	ضعیف 0.25	0.17
هیدرولوژی کیفی	1.17 0.5	474 1	ضعیف 0.25	0.58
محیط زیست	-11.5 درصد 1	54.3 درصد 1	>40 1	1
حیات	25.6 درصد 1	0.68 0.5	5 0.5	0.67
سیاست‌گذاری	7.6 درصد 0.75	ضعیف 0.75	خوب 0.75	0.76
جمع نتایج	0.75	0.718	0.625	0.698

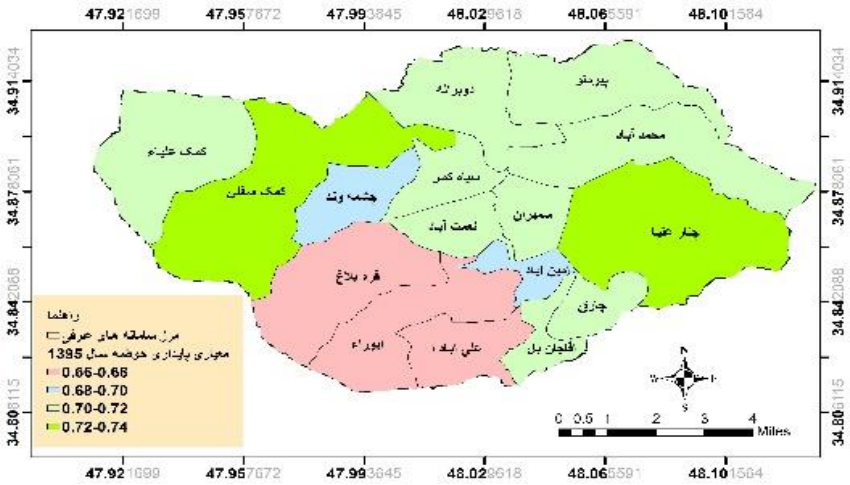


شکل ۳- نقشهٔ شاخص پایداری سامانه‌های عرفی حوزهٔ آبخیز بوجین در دورهٔ زمانی

Figure 3- Sustainability index map in common systems of Bujin watershed in periods

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



ادامهٔ شکل ۳- نقشهٔ شاخص پایداری سامانه‌های عرفی حوزهٔ آبخیز بوجین در دورهٔ زمانی

Continuation Figure 3- Sustainability index map in common systems of Bujin watershed in periods

٤- نتیجه‌گیری

اولویت‌های رسیدن به توسعهٔ پایدار (اولویت نخست در بهبود شرایط جهت ارتقای سطح پایداری و رسیدن به توسعهٔ پایدار) متفاوت است و آگاهی از این مهم که ابتدا کدام زیرشاخص باید بهبود پیدا کند و توجه تصمیم‌گیران روی کدام پارامتر باشد از اتلاف وقت، هزینه و انرژی جلوگیری کرده و گام‌های توسعه در یک ناحیهٔ سریع‌تر برداشته می‌شود. نرخ جمعیت روستایی در حوزهٔ آبخیز بوجین به‌دلیل مهاجرت با رشد منفی روبه‌رو شده و هم‌چنین، به دلیل خشکسالی‌های اخیر با کم شدن میزان بارش و حجم رواناب مواجه بوده است. سرانهٔ آب قابل دسترس به ازای هر نفر در سال در این حوزهٔ آبخیز امتیاز ۰/۲۵ را به خود اختصاص داد که شرایط پایداری را نشان نمی‌دهد. با توجه به کشاورزی مستمر (کاشت گندم در منطقه) و شرایط ناپایدار برای زیرشاخص هیدرولوژی (کمی و کیفی) انجام سامانه‌های آبیاری نوین، تصفیهٔ هرزآب کشاورزی و فاضلاب‌ها و بازیافت آب به چرخهٔ تولید، مسدود نمودن چاه‌های غیرمجاز و اصلاح الگوی کشت مهم می‌باشد. خصوصاً این‌که امتیاز پارامتر پاسخ در این قسمت ضعیف (۰/۳۷۵) است. فشار واردهٔ آبخیزنشینان بر اراضی مرتعی با توجه به به‌کارگیری قسمتی از حوزهٔ آبخیز در منطقهٔ چهارگانه محیط زیست (آلمابلاغ) کم شده و سطح پایداری را، از لحاظ حفاظت از گونه‌های جنگلی و مرتعی در این حوزهٔ آبخیز افزایش داده است. حوزهٔ آبخیز بوجین در زیرشاخص حیات و معیار توسعهٔ انسانی وضعیت مناسبی دارد (امتیاز یک) و این مهم اذعان به رشد درک، آگاهی و در نتیجه بهبود مشارکت آبخیزنشینان با مدیران در راستای ارتقاء زیرشاخص سیاست‌گذاری خواهد بود. شاخص WSI یک شاخص ساده، مفید و سازگار برای ارزیابی وضعیت نسبی پایداری حوزهٔ آبخیز در یک بازدهی زمانی خاص است. به‌طورکلی شاخص پایداری حوزهٔ آبخیز (WSI) با استفاده از مدل مفهومی PRS می‌تواند با به‌کارگیری زیرشاخص‌های ساده و تأثیرگذار درک و نگرشی منطقی و کارآمد را به مدیران و کارشناسان بدهد تا بتوانند برنامه‌ریزی و مدیریت حوزه‌های آبخیز را به‌صورت جامع و در راستای پایداری حوزهٔ آبخیز انجام دهند. این شاخص به شناسایی اولویت‌های هر حوزهٔ آبخیز در راستای توسعهٔ پایدار و ارزیابی عملکرد در این راستا کمک شایانی می‌کند.

سپاسگزاری

نویسندگان از ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان همدان برای ارائهٔ آمار و نقشه‌های مورد نیاز پژوهش تشکر می‌نماید.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش وجود ندارند.

دسترسی به داده‌ها

همهٔ اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

محمدمهدی آرتیمانی: مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماری، نگارش نسخهٔ اولیهٔ مقاله؛ **حسین زینی‌وند:** راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج.

منابع

اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان همدان، (۱۳۸۵). مجموعه مطالعات توجیهی حوضه گاماسیاب، مهندسین مشاور زومار.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

اسدی نلیوان، امید، محسنی ساروی، محسن، زاهدی امیری، قوام الدین، و نظری سامانی، علی اکبر (۱۳۹۴). مقایسه دو روش IUCN و سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری در ارزیابی پایداری حوزه آبخیز (مطالعه‌ی موردی: طالقان- زیدشت ۱). *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۱۱(۱۲)، ۷۳-۸۹. http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-494

اسدی نلیوان، امید، نظری سامانی، علی اکبر، محسنی سازوی، محسن، و زاهدی امیری، قوام الدین (۱۳۹۲). تعیین و ارزیابی معیارها و نشانگرهای پایداری در حوزه آبخیز طالقان-زیدشت یک. *آمایش سرزمین*، (۸)، ۱۳۳-۱۵۴. doi:10.22059/J TCP.2013.35476

امیری، نعمت الله (۱۳۹۰). روش محاسبه شاخص توسعه انسانی. *مجله اقتصادی*، ۱۱(۱۲)، ۱۳۱-۱۳۸. http://ensani.ir/ file/download/article/20121212094537-9562-78.pdf

حیرانی، امیررضا، بهزاد فر، مرتضی، علائی، نازیلا، و حزباوی، زینب (۱۴۰۱). ارزیابی پایداری بوم‌شناختی در حوزه آبخیز توتلی، استان خراسان شمالی. *جغرافیا و مطالعات محیطی*، ۱۱(۴۲)، ۱-۱۵۲. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087845.1401.11.42.10.9

حزباوی، زینب، و صادقی، سیدحمیدرضا (۱۳۹۵). سلامت آبخیز (قسمت دوم): مدل مفهومی فشار، وضعیت و پاسخ (PSR). *ترویج و توسعه آبخیزداری*، ۴(۱۵)، ۲۵-۳۰. http://www.wmji.ir/article_696852

خیراندیش، حامد، صادقی پور، احمد، و محمدی کنگرانی، حنانه (۱۴۰۰). ارزیابی پایداری آبخیز بختگان با کاربرد مدل اچ ای ال پی، *پژوهش‌های آبخیزداری*، ۳۴(۲)، ۴۰-۶۰. https://wmrj.areeo.ac/10.22092/wmej/2020.342265

شاهدی، کاکا، کیانی، آرمان، و بیاتی، فرشته (۱۴۰۱). ارزیابی پایداری آبخیز سراب صید علی شهرستان سلسله. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۳(۲)، ۳۹-۵۷. doi: 10.22126/GES.2023.8473.2599

کاظمی، محمد و کمالی مسکونی، احسان (۱۳۹۷). ارزیابی پایداری حوزه آبخیز بر اساس مدل HELP مطالعه موردی: حوزه آبخیز بهشت گمشده، استان فارس. *ترویج و توسعه آبخیزداری*، ۶(۲۲)، ۷-۱۸. http://www.wmji.ir/article_254774.html

قابل‌نظام، ائلناز، بابائی، لیلا، علائی، نازیلا، و حزباوی، زینب (۱۴۰۲). توسعهٔ مدل PSR-Fuzzy به منظور ارزیابی سلامت آبخیز کوزه تپراقی. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۴) ۱۵۲- ۱۶۷.

محمدی، طاهره، و دستورانی، محمدتقی (۱۳۹۶). ارزیابی پایداری حوضه با استفاده از روش شاخص پایداری آبخیز. *هیدروژئومورفولوژی*، ۴(۱۰)، ۴۱-۶۴. doi:20.1001.1.23833254.1396.4.10.3.2

ملک افضلی، حسین، و محمودی، محمود (۱۳۶۵). جدول عمر زنان و مردان جوامع شهری ایران. *محیط شناسی*، ۱۳(۱۴)، ۷۴-۷۷. dor:20.1001.1.10258620.1365.14.14.1.4

مهدوی، محمد (۱۳۹۵). هیدرولوژی کاربردی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۴۲ صفحه.

مهری، رضا (۱۳۹۲). توسعه و به‌کارگیری شاخص پایداری (WSI) برای آبخیز چهل چای، استان گلستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

مؤمنیان، پروین، نظرنژاد، حبیب، میریعقوب‌زاده، میرحسن، و مصطفی‌زاده، رئوف (۱۳۹۷). ارزیابی و اولویت‌بندی زیر حوزه‌های آبخیز قطور چای بر اساس درجه سلامت آبخیز (مطالعه موردی: قطور چای، خوی، آذربایجان غربی). *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۹(۱۷)، ۱-۱۳. dor: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.23.5

نیکوئی، حامد، آذری، محمود، و دستورانی، محمد تقی (۱۴۰۲). اثر تغییر اقلیم بر سلامت حوزه آبخیز سد فریمان با استفاده از مدل VOR. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۴)، ۱۰۷- ۱۲۱. doi:10.22098/mmws.2022.11685.1156

References

Amiri, N. (2012). Calculating the human development index. *Journal of Economics*, *11*(12), 131-138 http://ensani.ir/file/download/article/20121212094537-9562-78.pdf. [In Persian]

Asadi Nalivan, O., Mohseni Saravi, M., Zahedi Amiri, G.A., & Nazari Samani, A.A. (2015). Comparison of two methods of IUCN and watershed, range and forest management in assessing watershed sustainability (Case study: Talleghan-Zeidasht). *Journal of Watershed Management Research*, *6*(11), 73-89. http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-494[In Persian]

Asadi Nalivan, O., Nazari Samani, A.A., Mohseni Saravi, M., & Zahedi Amiri, G.A. (2013). Determination and assessment the sustainability criteria and indices in Taleghan Catchment-Zeidasht1. *Town and Country Planning*, *5*(1), 133-154. doi:10.22059/JTCP.2013.35476. [in Persian]

Branchi, B.A. (2022). Watershed sustainability and composite index: *Application and Challenges. Sociedade & Natureza*, *34*. doi: 10.14393/SN-v34-2022- 63868

Calizaya, A., Chaves, H., Bengtsson, L., & Berndtsson, R. (2008). Application of the WSI to the Lake Poopo Watershed, Bolivia. *Hydrology Journal*, *24*(10), 9–2267.

Catano, N., Marchand, M., Staley, S., & Wang, Y. (2009). Development and validation of the watershed sustainability index for the watershed of the Reventazón River, Report Prepared for the Ommission for the Preservation and Management of the Watershed of the Reventazón River, Costa Rica, Pp. 4-31.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

https://docslib.org/doc/13187950/wsi-for-the-watershed-of-the-reventazón-river

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

Cortes, A.E., Oyarzun, R., Kretschmer, N., Chaves, H., Soto, G., Soto, M., Amezago, J., Oyarzu, J., Otting, T., Senoret, M. & Maturana, H. (2012). Application of the watershed sustainability index to the Elqui River Basin, North- Central Chlie, ObrasProyectos 12, Pp. 57-69. https://www.scielo.cl/pdf/oyp/n12/art05.pdf

Falkenmark, M., & Widstrand, C. (1992). Population and water resources: a delicate balance. *Population Bulletin*, *47*(3), 1-36. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12344702

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. doi:10.22098/mmws.2022.11379.1125 [In Persian]

Harris, M.J. (2000). Basic Principles of Sustainable Development, global development and environment institute, Tufts University Medford MA 02155, USA, 26 Pp. doi:10.22004/AG.ECON.15600

Hazbavi, Z., & Sadeghi, S.H.R. (2016). Watershed health (second part), conceptual model pressure, condition and response. *Journal of Extension and Development of Watershed Management*, *15*(4), 25-30. [In Persian]

Heirany, A.R., Behzadfar, M., Alaei, N., & Hazbavi, Z. (2022). Ecological sustainability assessment in the Tutli Watershed, North Khorasan Province. *Journal of Geography and Environmental Studies*, *11*(42), 152-169. dor:20.1001.1.20087845.1401.11.42.10.9. [In Persian]

Hunsaker, C.T., & Levine, D.A. (1995). Hierarchical approaches to the study of water quality in rivers. *BioScience* (45), 193–203. doi:10.2307/1312558

Kazemi, M., & Kamali, A. (2018). Sustainability assessment of watershed management based on HELP model case study of lost paradise of Fars province. *Journal of Extension and Development of Watershed Management*, *6*(22), 7-18. [In Persian]

Kheirandish, H., Sadeghipour, A., & Mohammadi Kangarani, H. (2020). An evaluation of the Bakhtegan Watershed sustainability using the HELP model. *Watershed Management Research*, *34*(2), 48-60. doi:10.22092/WMEJ.2020.342265.1325. [in Persian]

Lu, Y., Wang, R., Zhang, Y., Su, H., Wang, P., Jenkins, A., Ferrier, R.C., Bailey, M., & Squire, G. (2015). Ecosystem health towards sustainability. *Ecosystem Health and Sustainability*, *1*(1), 1-15. doi:10.1890/EHS14-0013.1

Mahdavi, M. (2005). Applied Hydrology. 2th Edition, Tehran University Press, 427 pages. [In Persian]

Malek Afzali, H., & Majdabadi Farahani, M. (1987). Table of life of men and women in urban communities of Iran in 1984. *Journal of Environmental Studies*, *13*(14), 1-16 doi:20.1001.1.10258620.1365.14.14.1.4. [in Persian]

Mehri, R. (2013). Development and application of wsi sustainability index (WSI) for Chehel-Chai Watershed, Golestan Province. Master's Thesis, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. [In Persian]

Mohammadi, T., & Dastorani, M.T. (2017). The Evaluation of the sustainability of watershed using watershed sustainability index. *Journal of Hydrogeomorphplogy*, *4*(10), 41-64. dor:20.1001.1.23833254.1396.4.10.3.2. [in Persian].

Momenian, P., Nazarnejhad, H., Miryaghoubzadeh, M., & Mostafazadeh R. (2018). Assessment and prioritizing of subwatersheds based on watershed health scores (Case Study: Ghotorchay, Khoy, West Azerbaijan). *Journal of Watershed Management Research*, *9*(17), 1-13. doi:10.29252/jwmr.9.17.1 [in Persian]

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. doi:10.22098/mmws.2022.11685.1156. [in Persian]

Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), (2003). OECD Environmental Indicators: Development, Measurement and Use, Reference Paper, Paris, P. 50.

Shahedi, K., Kiani, A., & Bayati, F. (2023). Evaluation of sustainability in Sarab Seydali watershed, Selseleh city. *Geography and Environmental Sustainability*, *13*(2), 39-57 . doi:10.22126/GES.2023.8473.2599. [In Persian]

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

UNDP (2009). Human Development Report. 1 UN Plaza, New York, NY 10017.

UNESCO Institute for Statistics, (2011), School-Life Expectancy, P. 251.

World Bank, (2003). Water resources management strategies in Brazil: cooperation areas with the World Bank. In: José Lobato Costa (ed) Brasilia, Brazil, p 177.

Yilmaz, B., Harmancioglu. N. (2010). An indicator based assessment for water resources management in Gediz River Basin, Turkey, *Water Resources Management*, (24), 4359–4379. doi:10.1007/s11269-010-9663-3

General Department of Natural Resources and Watershed Management of Hamadan Province, (2015). Gamasiab Basin Explanatory Studies, Zumar Consulting Engineers

Archive of SID.ir