

Development of an incorporative PSR-Fuzzy model for health assessment of the KoozehTopraghi Watershed

Elnaz Ghabelnezam¹ , Leyla Babaei² , Nazila Alaei² , Zeinab Hazbavi^{3*} 

¹ Graduated M.Sc. Student, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

² Ph.D. Student, Watershed Management Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

³ Assistant Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Extended Abstract

Introduction

Watershed degradation had negative effects on ecological and anthropologic functions at different scales. Therefore, strategic planning and conserving watershed resources is the main goal for managers and policy-makers. To achieve this goal, it is essential to provide a scientific roadmap concerning the health degree of the watershed in terms of its multi-functions. A healthy watershed improves the resilience of local ecology to climate change and provides essential services for human and ecological functions. Identifying healthy watersheds could be an effective managerial tool for monitoring natural and human phenomena and impacts. Although, in recent decades, there have been numerous types of research on watershed health and its assessment methods in different water and soil environments and in relation to environmental and social processes with economic models for decision-making in different fields. But regarding to the interpretation of different watershed health assessment models with fuzzy logic, limited studies have been carried out. This is the fact that fuzzy science has been well-considered in various sciences. In recent years, fuzzy logic has been mentioned as a powerful technique in hydrological component analysis and resource decision-making. Hydrological problems are associated with uncertainty, which is managed by fuzzy logic-based models. Fuzzy logic is based on the language of nature. To this end, the present study was planned to accomplish our previous information on the KoozehTopraghi Watershed health and develop a new PSR-Fuzzy-based framework.

Materials and Methods

To do this research, firstly the pressure, state-response (PSR) model was conceptualized and customized for the study watershed. Secondly, the main criteria of road density, watershed slope, runoff coefficient, agriculture area with a slope of more than 25%, precipitation, and temperature were computed for building the pressure indicator. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), and Enhanced Vegetation Index (EVI) also were computed for building the state indicator. Then, the specific erosion ($m^3 y^{-1}$), erosion intensity coefficient, river density, and rangeland area were computed for building the response indicator. Thirdly, these criteria are converted to fuzzy bases using Fuzzy Linear membership functions in the ArcGIS 10.8 environment. Fuzzification is a method in which each pixel in the map is given a value between zero and one. This amount expresses its value according to the goal it pursues, and the higher it is in terms of value, the higher it is awarded to it as a result. Six operators including AND, OR, SUM, PRODUCT, Gamma 0.9, and Gamma 0.5 were used for incorporating three indicators of PSR and watershed health zoning. Fourthly, to evaluate and classify the output results of the operators used in the estimation of watershed health, the Quality Sum (QS) was used.

Results and Discussion

The results proved the better performance of two operators of Gamma 0.9 and PRODUCT. The Qs was 0.46 for PRODUCT as the first priority, followed by Gamma 0.9 operators with a Qs of 0.37 in the second priority as the most efficient operators in mapping watershed health. The pressure indicator results showed that 33.84, 0.16,

9.45, 50.51, and 6.04% of the total area of the KoozehTopraghi watershed were classified as very high, high, medium, low, and very low, respectively. The results of the state indicator, 7.55, 52.71, 39.67, and 0.07% of the total area of the study watershed were classified as very high, high, medium, and very low, respectively. The response indicator results indicated that 15.16, 13.30, 29.99, 34.80, and 6.76% of the total area of the KoozehTopraghi watershed were classified as very high, high, medium, low, and very low, respectively. According to the results of the PRODUCT operator, 67, 23, 9, and 1 % of the study watershed were classified as unhealthy, relatively unhealthy, medium, and relatively healthy, respectively. For Gamma 0.9 operator 0.9, 46, 1, 17, and 36% of watersheds were classified in unhealthy, medium, relatively healthy, and healthy classes. Based on this, it is a priority to provide suitable solutions for basic land management. Because it may be intensified the continuation of the irreparable process at the watershed level.

Conclusion

The results confirmed the spatial changes in health status throughout the KoozehTopraghi Watershed. Therefore, different scientific and rational programs need to be adapted to improve health to various degrees. It is highly suggested to prioritize nature-based solutions, integrated participatory management, and adaptive co-management for improving the KoozehTopraghi watershed health. Acquaintance with modern management patterns in the world, of course, with the different climatic and social conditions of our country, we can open up in the field of comprehensive watershed management compared to the past. The watershed health index as a practical tool in watershed management can be used to determine priorities and monitor watershed status changes. In addition, since the factors affecting the management of ecosystems are considered in the health index, it can be considered as a tool for analyzing the vegetation, water, and soil resources for use with the needs of the living organism.

Keywords: Ecological degradation, Fuzzy approach, Indicator, Monitoring, Watershed ranking

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: z.hazbavi@uma.ac.ir

Citation: Ghabelnezam, E., Babaei, L., Alaei, N., & Hazbavi, Z. (2023). Development of an incorporative PSR-Fuzzy approach for health assessment of KoozehTopraghi Watershed. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(4), 152-167.
DOI: 10.22098/mmws.2022.11379.1125
DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.4.1.5

Received: 29 August 2022, Received in revised form: 09 September 2022, Accepted: 09 September 2022, Published online: 09 September 2022

Water and Soil Management and Modeling, Year 2023, Vol. 3, No. 4, pp. 152-166
Publisher: University of Mohaghegh Ardabili © Author(s)





توسعه مدل PSR-Fuzzy به منظور ارزیابی سلامت آبخیز کوزه تپراقی

ائلناز قابل نظام^۱، لیلا بابائی^۲، نازیلا علائی^۲، زینب حزباوی^{۳*}

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
^۲ دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
^۳ استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده

در این تحقیق برای پهنه‌بندی وضعیت سلامت آبخیز کوزه تپراقی واقع در استان اردبیل از تلفیق عملگرهای منطق فازی و مدل مفهومی فشار-حالت-پاسخ (PSR) استفاده شد. بدین منظور، ابتدا معیارهای تراکم جاده، شیب، ضریب رواناب، مساحت زمین‌های کشاورزی با شیب بالای ۲۵ درصد، بارش و دما برای شاخص فشار، شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص پوشش گیاهی با انعکاس خاک (SAVI) و شاخص پوشش گیاهی بارزسازی شده (EVI) برای شاخص حالت، فرسایش ویژه، ضریب شدت فرسایش، تراکم آبراهه و میزان اراضی مرتعی برای شاخص پاسخ محاسبه شدند. سپس با استفاده از تابع عضویت Fuzzy Linear در محیط ArcGIS 10.8 به صورت فازی تبدیل شدند. همچنین، برای پهنه‌بندی سلامت آبخیز از شش عملگر PRODUCT، SUM، OR، AND، گامای ۰/۹ و گامای ۰/۵ استفاده شد. در ادامه، برای ارزیابی و طبقه‌بندی خروجی عملگرهای مورد استفاده در برآورد سلامت آبخیز، شاخص جمع مطلوبیت (QS) محاسبه شد. بر اساس شاخص جمع مطلوبیت (QS) مشخص شد که PRODUCT با مقدار عددی ۰/۴۶ در اولویت اول و در ادامه گاما ۰/۹ با شاخص جمع مطلوبیت (QS) ۰/۳۷ در اولویت دوم به‌عنوان کارآمدترین عملگرها در تهیه نقشه سلامت آبخیز هستند. طبق نتایج وضعیت سلامت آبخیز، عملگر PRODUCT، ۶۷، ۲۳، ۹ و ۱ درصد از مساحت کل به ترتیب در طبقات ناسالم، نسبتاً ناسالم، متوسط و نسبتاً سالم قرار گرفتند. برای عملگر گامای ۰/۹، حدود ۴۶، ۱، ۱۷ و ۳۶ درصد آبخیز به ترتیب در طبقات ناسالم، متوسط، نسبتاً سالم و سالم طبقه‌بندی شدند. نتایج بیان‌گر تغییرات مکانی وضعیت سلامت در کل آبخیز مورد مطالعه بوده است. بنابراین، برای ارتقاء سلامت در درجات مختلف باید برنامه‌های مختلف علمی و سازگار به کار برده شوند. پیشنهاد می‌شود که راهکارهای مبتنی بر طبیعت، مدیریت مشارکتی و مدیریت سازگار و یکپارچه برای بهبود سلامت آبخیز کوزه تپراقی 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.

واژه‌های کلیدی: پایش، تخریب بوم‌شناختی، رویکرد فازی، رتبه‌بندی آبخیز، شاخص

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: z.hazbavi@uma.ac.ir

استناد: قابل نظام، ائلناز، بابائی، لیلا، علائی، نازیلا، و حزباوی، زینب (۱۴۰۲). توسعه مدل PSR-Fuzzy به منظور ارزیابی سلامت آبخیز کوزه تپراقی.

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، ۳(۴)، ۱۵۲-۱۶۷.

DOI: 10.22098/mmws.2022.11379.1125

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.4.1.5

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۷، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۱۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۸، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۶/۱۸

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۲، دوره ۳، شماره ۴، صفحه ۱۵۲ تا ۱۶۷

© نویسنده‌گان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱- مقدمه

در دهه ۱۹۷۰ میلادی سازمان‌های متعددی همچون سازمان خواربار و کشاورزی (FAO)؛ سازمان توسعه و همکاری اقتصادی (OECD)؛ سازمان محیط‌زیست اروپا (EEA)؛ و سازمان حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا (EPA) به توسعه مفهوم مدیریت جامع آبخیز (IWM) پرداختند. هدف غایی این نوع از مدیریت، مفهوم‌سازی توسعه انسان‌محوری است که در آن حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی و محیط‌زیست نیز به نحو مطلوب و ایمن صورت گیرد (Esmali and Abdollahi, 2011). آبخیز اکوسیستمی است که در آن موجودات زنده، عناصر بیوفیزیکی و مواد شیمیایی به هم پیوسته و به صورت پویا برهم کنش دارند و پایگاه بسیاری از جوامع محلی و منبع مهمی برای امرار معاش مردم است (Asdak, 2010). به عبارتی آبخیز یک سیستم اجتماعی-بوم‌شناختی است که شامل چندین واحد تعاملی، مانند رودخانه‌ها، نهرها، تالاب‌ها، مخازن و سدها به همراه شهرها و انسان‌ها می‌شود (Cabello et al., 2015; Gari et al., 2018). توسعه شهری منجر به تغییر کاربری اراضی می‌شود. الگوی تغییر کاربری اراضی و تخریب آبخیز ممکن است اثرات منفی بر بسیاری از بخش‌های آن در مقیاس‌های مختلف داشته باشد (Jahandari et al., 2022). بر این اساس آگاهی از سلامت آبخیز (WH)^۶ یکی از اساسی‌ترین بخش‌ها در مدیریت پایدار و جامع منابع آبخیز است. چرا که آبخیز به صورت یک اکوسیستم ترکیبی عمل می‌کند و هم‌زمان چشم‌انداز طبیعی، فعالیت‌های اقتصادی و توسعه اجتماعی را درگیر می‌کند که عدم مدیریت صحیح باعث افزایش جریان سطحی، کاهش جریان آب زیرزمینی، افزایش سیل، فرسایش خاک، آلودگی آب و بیابان‌زایی شهری می‌شود (Tsai et al., 2021).

در مبحث ارزیابی بوم‌شناختی و رتبه‌بندی حوزه‌های آبخیز جهت اقدامات آبخیزداری، وجود معیارها و گزینه‌های فراوان در امر تصمیم‌گیری مدیران را با پیچیدگی‌های زیادی روبه‌رو می‌سازد (Tajbakhsh et al., 2022). بنابراین، آبخیز باید به‌خوبی مدیریت شود تا نیازهای اساسی پایداری اکوسیستم و توسعه اجتماعی-اقتصادی را برآورده کند. اگرچه مفهوم کمی کردن سلامت یک اکوسیستم از دهه ۱۹۴۰ به صورت علمی دنبال شده است، اما هنوز روش استاندارد که برای همه مناطق بوم‌شناختی قابل اجرا باشد، ارائه نشده است (Banerjee et al., 2021).

شاید یکی از دلایل آن نیز به این موضوع بر می‌شود که سلامت آبخیز تحت تأثیر پدیده‌های غیرانسانی (مانند تغییرات آب و هوایی) و فعالیت‌های انسانی (مانند صید بیش از حد، جنگل‌زدایی و گسترش زیستگاه) قرار می‌گیرد که مورد دوم اغلب غالبیت دارد و نیز بر مورد اول نیز به شدت تأثیرگذار است (Tsai et al., 2021).

مفهوم سلامت آبخیز عمدتاً برای ویژگی‌های زیستگاهی و هیدرولوژی به کار برده می‌شود. سلامت آبخیز به حفظ وضعیت «عادی» سامانه پیچیده آبخیز اشاره دارد (Mosaffaie et al., 2021). یک آبخیز سالم انعطاف‌پذیری بوم‌شناسی محلی را در برابر تغییرات آب و هوایی بهبود می‌بخشد و خدمات ضروری را برای انسان و عملکردهای بوم‌شناختی ارائه می‌دهد (Hamel et al., 2019; Ervinia et al., 2018). هم‌چنین، در مطالعات مختلف، معیارهای مختلفی برای ارزیابی سلامت آبخیز در مناطق مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. با در نظر گرفتن مفهوم سلامت آبخیز از دیدگاه بوم‌شناختی و تمرکز بر محیط آبخیز، آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده (EPA)، یک آبخیز سالم را به‌عنوان یک سیستم پویا با اتصالات متقابل تعریف می‌کند که باید سلامت آن شناسایی و محافظت شود (EPA, 2012). به عبارت دیگر، می‌توان آن را به‌عنوان یک سیستم یکپارچه در نظر گرفت که می‌تواند با توجه به فعل و انفعالات دینامیکی بین ویژگی‌ها یا شرایط اصلی مربوط به هیدرولوژی، کاربری زمین، بوم‌شناسی و زیست‌شناسی آبیان ارزیابی شود.

تاکنون مطالعات متعددی، شاخص‌های سلامت آبخیز، مانند آب و هوا، فرسایش خاک، سیل، کمیت و کیفیت آب و شاخص اقتصادی و اجتماعی را برای مدیریت پایدار بررسی کرده‌اند (برای نمونه، Dai et al., 2007; Xia et al., 2014; Sadeghi and Hazbavi, 2017; Momenian et al., 2018; Sadeghi et al., 2019; Ahn and Kim, 2019; Hazbavi et al., 2018; Zhao and Huang, 2022). بر اساس مرور منابع می‌توان جمع‌بندی نمود که مدل‌های FAHP^۷، ANP^۸، VOR^۹، DPSIR^۱ و بسیاری از مدل‌های دیگر در ارزیابی سلامت آبخیز استفاده شده‌اند. نتایج به‌دست آمده با تغییر مؤلفه‌های مکانی و زمانی متفاوت بوده است. در این میان، کم‌تر به کاربرد منطق فازی در ارزیابی سلامت آبخیز پرداخته شده است. برای نمونه، Alilou et al. (2019) به ارزیابی سلامت آبخیز با استفاده از رویکرد فازی ANP با در نظر گرفتن معیارهای ژئومحیطی و هیدرولوژیکی پرداختند. (Fooladi et al., 2021).

^۷ Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)

^۸ Analytic Network Process (ANP)

^۹ Reliability-Resilience-Vulnerability (ReiResVui)

^۱ Vigor-Organization-Rresilince (VORes)

^۱ Driving Force-Pressure-State-Irhpaact-Response (DPSIR)

^۱ Food and Agriculture Organization

^۲ Organisation for Economic Co-operation and Development

^۳ European Economic Area

^۴ Environmental Protection Agency

^۵ Integrated Watershed Management

^۶ Watershed Health

سلامت آبخیز کوزه تپراقی با استفاده از منطق فازی واقع در استان اردبیل پرداخته شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، آبخیز کوزه‌تپراقی واقع در جنوب شهرستان اردبیل و قسمت شمالی شهرستان کوثر است که دارای مساحت ۸۰۵/۷۰ کیلومترمربع و محیط ۱۴۸/۹۸ کیلومتر است. از کل مساحت آبخیز، کاربری‌های مرتع، باغ، زراعت دیم، پهنه آبی، زراعت آبی و مسکونی به‌ترتیب ۳۹/۲۹، ۳، ۴۲/۶۶، ۰/۲۱، ۱۴/۵۸ و ۰/۲۶ درصد از مساحت را تشکیل داده است. طبق گزارش‌های انجام شده از این آبخیز حداکثر، حداقل و متوسط بارش در این حوزه آبخیز به‌ترتیب ۳۹۵/۷۰، ۳۸/۲۴ و ۳۴۹/۰۳ میلی‌متر است (Hazbavi et al., 2020; Alaei et al., 2020). شکل ۱ موقعیت مکانی آبخیز کوزه‌تپراقی را نشان می‌دهد.

۲-۲- کاربرد مدل PSR

مدل PSR یک مدل مفهومی بوده و دارای سه شاخص فشار، حالت و پاسخ است و به‌منظور ارتباط دادن عامل‌های محیطی، اقتصادی و اجتماعی استفاده می‌کند (Hazbavi et al., 2020). این بخش از تحقیق بر اساس مطالعه قبلی نویسندگان (Hazbavi et al., 2020) استخراج شده است، اما به‌سبب به‌روزرسانی بخش جزئی از آن، به‌طور اختصار به توضیح روش در این تحقیق نیز پرداخته می‌شود.

به‌طور کلی، به‌منظور بررسی سلامت آبخیز از معیارهای تراکم جاده (کیلومتر بر کیلومترمربع)، شیب (درصد)، ضریب رواناب (بدون واحد)، مساحت زمین‌های کشاورزی با شیب بالای ۲۵ درصد (هکتار)، بارش (میلی‌متر) و دما (درجه سانتی‌گراد) برای شاخص فشار، شاخص نرمال‌شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI) (بدون واحد)، شاخص پوشش گیاهی با انعکاس خاک (SAVI) (بدون واحد) و شاخص پوشش گیاهی بارزسازی شده (EVI) (بدون واحد) برای شاخص حالت، فرسایش ویژه (مترمکعب در سال)، ضریب شدت فرسایش (بدون واحد)، تراکم آبراهه (کیلومتر بر کیلومترمربع) و میزان اراضی مرتعی (هکتار) برای شاخص فشار استفاده شد (Hazbavi et al., 2020). قابل ذکر است که معیارهای مستخرج از کاربری اراضی مربوط به سال ۱۴۰۰، معیارهای منتج از اطلاعات اقلیمی و هیدرولوژی مربوط به دوره زمانی ۳۰ ساله (۱۳۹۲-۱۳۶۲) بوده است. در نهایت، متغیرهای فیزیوگرافی طبق آخرین اطلاعات قابل دسترس در منطقه استخراج شده و با فرض عدم تغییر در بازه‌های زمانی مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند.

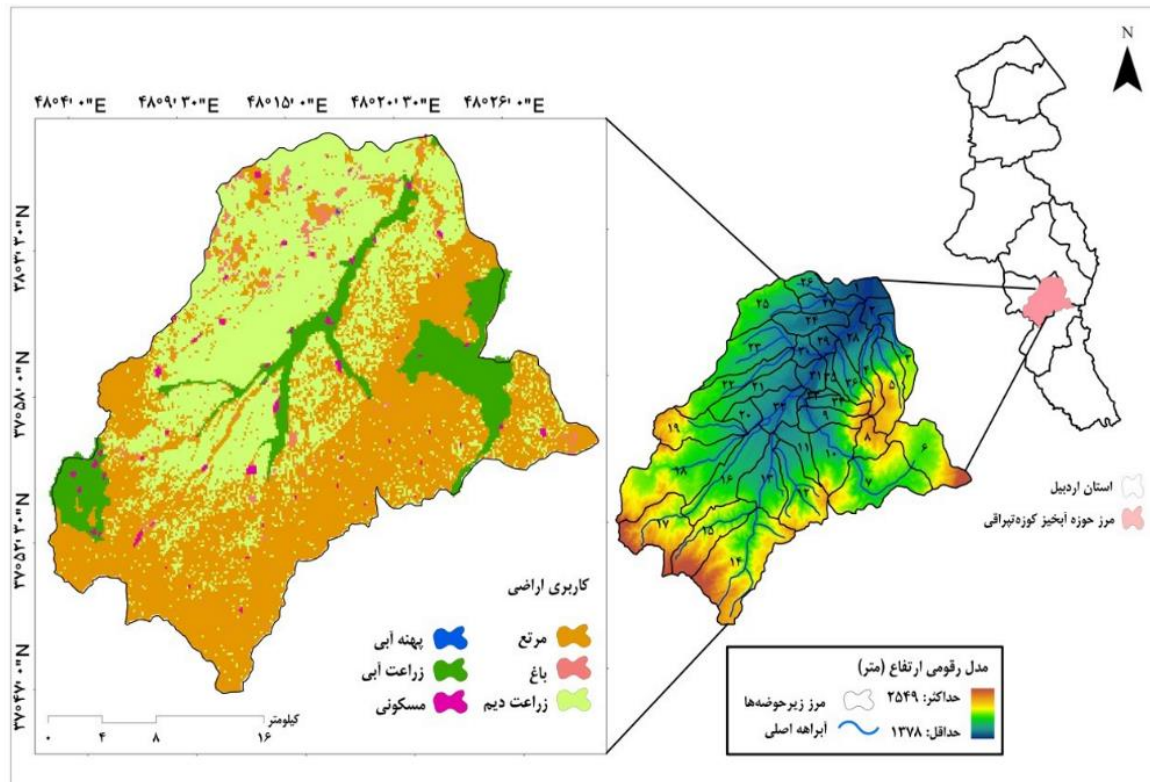
به‌بررسی کاربرد خشکسالی هواشناسی برای ارزیابی سلامت آبخیز با استفاده از مدل مفهومی پایایی-تاب‌آوری-آسیب‌پذیری (RRV) مبتنی بر منطق فازی پرداختند.

اگر چه، در دهه‌های اخیر تحقیقات متعددی سلامت آبخیز و روش‌های ارزیابی آن را در محیط‌های مختلف آبی و خاکی در ارتباط با فرآیندهای اقتصادی، محیط‌زیستی و اجتماعی با مدل‌های تصمیم‌گیری فازی در زمینه‌های مختلف مورد استفاده قرار داده‌اند. اما در زمینه تلفیق مدل‌های مختلف ارزیابی سلامت آبخیز با منطق فازی کم‌تر پرداخته شده است. این در حالی است که استفاده از علوم فازی در علوم مختلف به‌خوبی مورد توجه قرار گرفته است. برای نمونه، (Ertunga and Duckstein, 2000) مفهوم فازی را در مدل‌های بارش-رواناب ارزیابی کردند و نشان دادند که چارچوب روش منطق فازی، تصمیم‌گیرنده را برای رسیدن به بینشی بالا درباره حساسیت مدل، توانمند می‌کند. همچنین، Nabizadeh et al. (2013) به‌بررسی کارایی منطق فازی در پیش‌بینی جریان روزانه رودخانه ليقوان‌چای ارومیه پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که این روش می‌تواند به‌عنوان روشی کارآمد و دقیق در پیش‌بینی جریان رودخانه به‌کار گرفته شود. در ادامه، Norouzi and Nadiri (2018) به پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دشت بوکان با استفاده از مدل‌های منطق فازی، جنگل تصادفی و شبکه عصبی در استان آذربایجان غربی پرداختند. این محققان نتیجه گرفتند که مدل‌های منطق فازی و جنگل تصادفی (RF) می‌توانند تراز سطح ایستابی را با دقت قابل قبولی پیش‌بینی کنند. همچنین آن‌ها مشخص کردند که مدل‌های جنگل تصادفی توانایی پیش‌تری در پیش‌بینی متغیرهای هیدروژئولوژیکی دارند.

آبخیز مناسب‌ترین واحد برای تجزیه و تحلیل منابع آب و آمایش سرزمین و برنامه‌ریزی و مدیریت است. با توجه به این‌که آبخیز به‌دلیل فعالیت‌های انسانی و تغییرات آب و هوایی در حال تخریب هستند یا پتانسیل تخریب دارند؛ بنابراین، ارزیابی سلامت آن و اولویت‌بندی زیرآبخیزها به اجرای مدیریت صحیح آبخیز و اتخاذ و تخصیص منابع طبیعی کمک می‌کند. علاوه بر این، استفاده از تکنیک‌های فازی نیز در زمینه منابع طبیعی و محیط‌زیست، نسبت به سایر علوم به‌ویژه ریاضیات و صنعت کم‌تر انجام شده است. با توجه به قابلیت منطق فازی و ماهیت بسیاری از پدیده‌های طبیعی، تحقیقات کاربردی و بیشتر در زمینه به‌کارگیری منطق فازی و تکنیک‌های آن در شاخه‌های مختلف منابع آب و خاک و به‌طور کلی محیط‌زیست و منابع طبیعی ضروری به‌نظر می‌رسد. بر این اساس در این تحقیق به ارزیابی

¹ Reliability-Resilience-Vulnerability

² Random Forest



شکل ۱- موقعیت مکانی، مدل رقومی ارتفاع و کاربری اراضی (۱۴۰۰) آبخیز کوزه تپراقی
Figure 1- Location, digital elevation model, and landuse of Koozeh Topraghi Watershed

در این تحقیق به منظور پهنه بندی سلامت در آبخیز کوزه تپراقی، پس از مرحله پردازش داده‌ها که شامل طبقه بندی داده‌ها و استخراج نقشه‌های مشتق شده از لایه‌های مختلف است، برای تعیین نسبت فراوانی هر یک از طبقات عوامل مؤثر بر سلامت آبخیز محاسبه شد. به منظور تولید نقشه‌های فازی با نرمال سازی نسبت‌های فراوانی محاسبه شده، با استفاده از تابع عضویت Fuzzy Linear در محیط نرم افزار ArcGIS 10.8، نقشه‌های عوامل مختلف به نقشه‌های فازی تبدیل شد. قابل ذکر است که برای به دست آوردن تابع عضویت هیچ الگوریتم مشخصی وجود ندارد، بلکه تجربه، نوآوری و حتی اعمال نظر شخصی در شکل گیری و تعریف تابع عضویت می تواند مؤثر باشد. پس از تعریف تابع عضویت با استفاده از عملگرهای جمع، گاما^۱ و ضرب^۲ نقشه‌های فازی تهیه شده، هم پوشانی داده شدند و نقشه سلامت آبخیز کوزه تپراقی با استفاده از هر یک از این عملگرها تهیه و مورد مقایسه قرار گرفت.

۳-۲- توسعه مدل PSR-Fuzzy

فازی سازی روشی است که در آن به هر یک از پیکسل‌ها در نقشه یک مقدار بین صفر و یک داده می شود. این میزان بیان گر میزان ارزش آن با توجه به هدفی است که در پی دارد و هر چه از لحاظ اهمیت ارزش پیکسل بالاتر باشد، در نتیجه عدد بالاتری به آن تعلق خواهد گرفت (Zali and Shahedi, 2021). فازی، برای اولین بار توسط Zadeh (1956) مطرح شد که انگیزه اصلی معرفی آن، عدم رضایت از منطق کلاسیک و دقیق در مواجهه با جهان واقعی و نادقیق بود. اما ظهور این روش در مسائل مهندسی آب در سال ۱۹۹۰ برای محاسبات رگرسیونی در هیدرولوژی اتفاق افتاد (Bardossy et al., 1990). در سال‌های اخیر، منطق فازی به عنوان یک تکنیک قدرتمند در تحلیل مؤلفه‌های هیدرولوژیکی و تصمیم گیری در منابع آب مطرح شده است. مسائل مربوط به هیدرولوژی اغلب با عدم قطعیت همراه هستند که می توانند به خوبی توسط مدل‌های مبتنی بر منطق فازی مدیریت شوند. اساس منطق فازی بر زبان طبیعت بنا گذارده شده است (ShabaniNia and SaeedNia, 2015). در بسیاری از شاخه‌ها و موضوعات مرتبط با منابع آب و خاک از نظرات کارشناسی استفاده می شود و ممکن است به دلیل همین توصیفات کیفی، این نظرات با یکدیگر متفاوت باشند. به عبارت دیگر در بسیاری از مفاهیم و پدیده‌های طبیعی ابهام وجود دارد.

¹ SUM

² Gamma

³ AND

⁴ OR

⁵ Product

$$\mu_c(X) = \max\{\mu_1(X), \mu_2(X), \dots, \mu_n(X)\} \quad (۵)$$

در صورت استفاده از این عملگر از میان دو تابع عضویت، حداکثر مقدار تابع عضویت انتخاب می‌شود.

۲-۴- ارزیابی صحت خروجی مدل

در این تحقیق به منظور ارزیابی و طبقه‌بندی نتایج خروجی عملگرهای مورد استفاده در برآورد سلامت آبخیز حاصل از مدل PSR-Fuzzy، از شاخص جمع مطلوبیت (Qs) استفاده شد (رابطه‌های ۶ و ۷).

$$Dr = \frac{Si}{Ai} / \frac{\sum_{i=1}^n Si}{\sum_{i=1}^n Ai} \quad (۶)$$

که در آن، Dr، تراکم در هر طبقه ناسالم، Ai، مساحت i مین طبقه ناسالم در یک نقشه پهنه‌بندی، Si، مجموع مساحت طبقه ناسالم رخ داده و n، نیز تعداد طبقات است.

$$Qs = \sum_{i=1}^n (Dr - 1)^2 \times S \quad (۷)$$

که در آن Qs، جمع مطلوبیت و S، نسبت مساحت هر طبقه ناسالم به مساحت کل منطقه است (Abdollahzadeh et al., 2016).

۳- نتایج و بحث

در این تحقیق به منظور تهیه نقشه سلامت آبخیز کوزه‌تپراقی ابتدا هر یک از معیارهای مؤثر بر سلامت آن شامل تراکم جاده، شیب، ضریب رواناب، مساحت زمین‌های کشاورزی با شیب بالای ۲۵ درصد، بارش و دما برای شاخص فشار، شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص پوشش گیاهی با انعکاس خاک (SAVI) و شاخص پوشش گیاهی بارزسازی شده (EVI) برای شاخص حالت، فرسایش ویژه، ضریب شدت فرسایش، تراکم آبراهه و میزان اراضی مرتعی برای شاخص پاسخ تهیه شد. به منظور پهنه‌بندی شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ از تلفیق عملگرهای گامای فازی ۰/۹ استفاده شد. در ادامه برای پهنه‌بندی سلامت آبخیز از شش عملگر شامل AND، OR، PRODUCT، SUM، گامای ۰/۹ و گامای ۰/۵ استفاده شد. تغییرات مکانی معیارهای تأثیرگذار بر شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ آبخیز کوزه‌تپراقی در شکل ۲ ارائه شده است. همچنین تغییرات فازی معیارهای تأثیرگذار بر شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ آبخیز کوزه‌تپراقی در شکل ۳ ارائه شده است.

۲-۳-۱- عملگر جمع فازی

در عملگر جمع فازی رابطه (۱) ابتدا هر کدام از لایه‌های فازی شده منهای یک می‌شوند، سپس نتایج با هم‌دیگر ضرب می‌شوند و در نهایت نتیجه به‌دست آمده منهای یک می‌شود (Ghanavati et al., 2015).

$$\mu_c(X) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \quad (۱)$$

که در آن، نتیجه همیشه بزرگ‌تر یا مساوی بزرگ‌ترین مقدار عضویت مجموعه فازی است. بنابراین به‌دلیل اثر افزایشی اجزای جبری فازی، بیش‌ترین افزایش ریسک را دارد.

۲-۳-۲- عملگر گامای فازی

این عملگر بر حسب حاصل‌ضرب جبری فازی و حاصل جمع جبری فازی بر پایه رابطه‌های (۲ و ۳) تعریف می‌شود (Ghanavati et al., 2015).

$$\mu_c = \left(\prod_{i=1}^n \mu(X) \right)^r \times \left(1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu(X)) \right)^{1-r} \quad (۲)$$

$$\mu_c = (\text{sum fuzzy})^r \times (\text{PF})^{1-r} \quad (۳)$$

در این روابط المان r متغیر تعیین شده در محدوده صفر و یک (مثلاً ۰/۷) است. هنگامی که r برابر یک باشد ترکیب، همان جمع جبری فازی و زمانی که r برابر صفر باشد ترکیب، برابر ضرب جبری فازی است. انتخاب درست متغیر r مقادیری در خروجی ایجاد می‌کند که با اثر افزایشی جمع جبری و کاهشی ضرب جبری فازی، سازگاری دارد. به‌گونه‌ای که r انتخاب شده، نشان‌دهنده کارایی آن برای تهیه نقشه پهنه‌بندی است.

۲-۳-۳- عملگر "و" فازی

این عملگر از تابع حداقل در هم‌پوشانی استفاده می‌کند و معادل اشتراک است و به‌صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود (Matkan et al., 2009).

$$\mu_c(X) = \min\{\mu_1(X), \mu_2(X), \dots, \mu_n(X)\} \quad (۴)$$

در پارامترهای مستقل و در مواردی که دو یا چند قسمت از شواهد لازم برای اثبات فرضیه بایستی با هم وجود داشته باشند، استفاده از عملگر "و" مناسب است.

۲-۳-۴- عملگر "یا" فازی

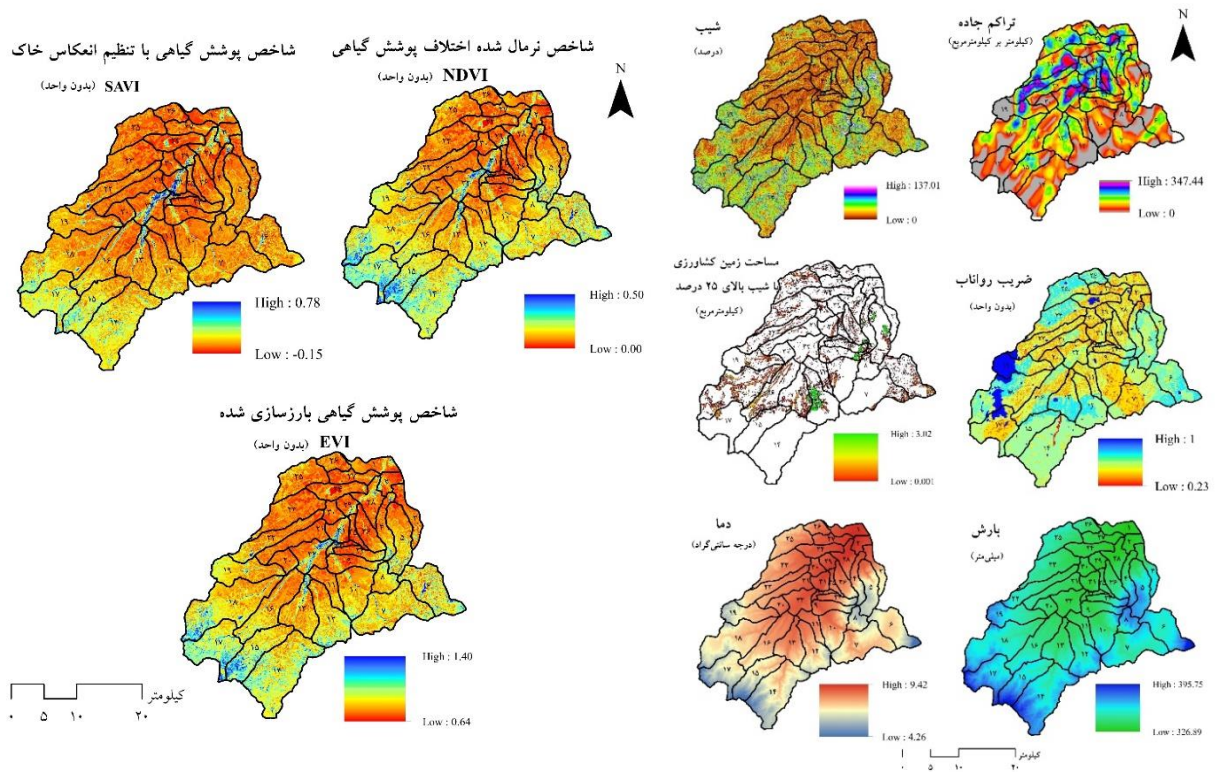
این عملگر از تابع حداکثر در ترکیب استفاده می‌کند و معادل اجتماع است و به‌صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود (Matkan et al., 2009).

¹ Inclusive

² Overlay

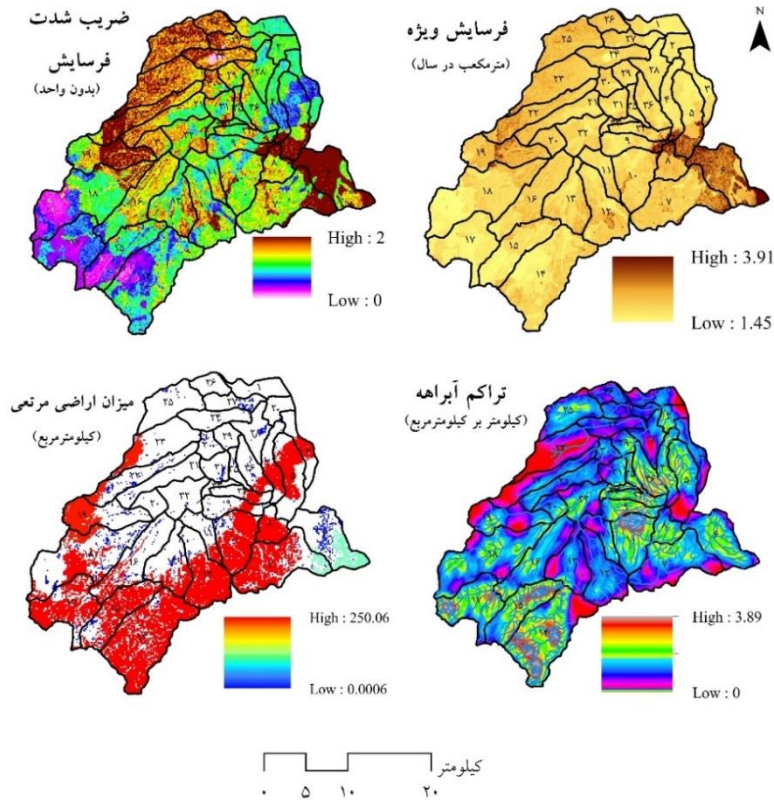
³ Intersect

⁴ UNION



الف) معیارهای مورد استفاده برای محاسبه شاخص فشار

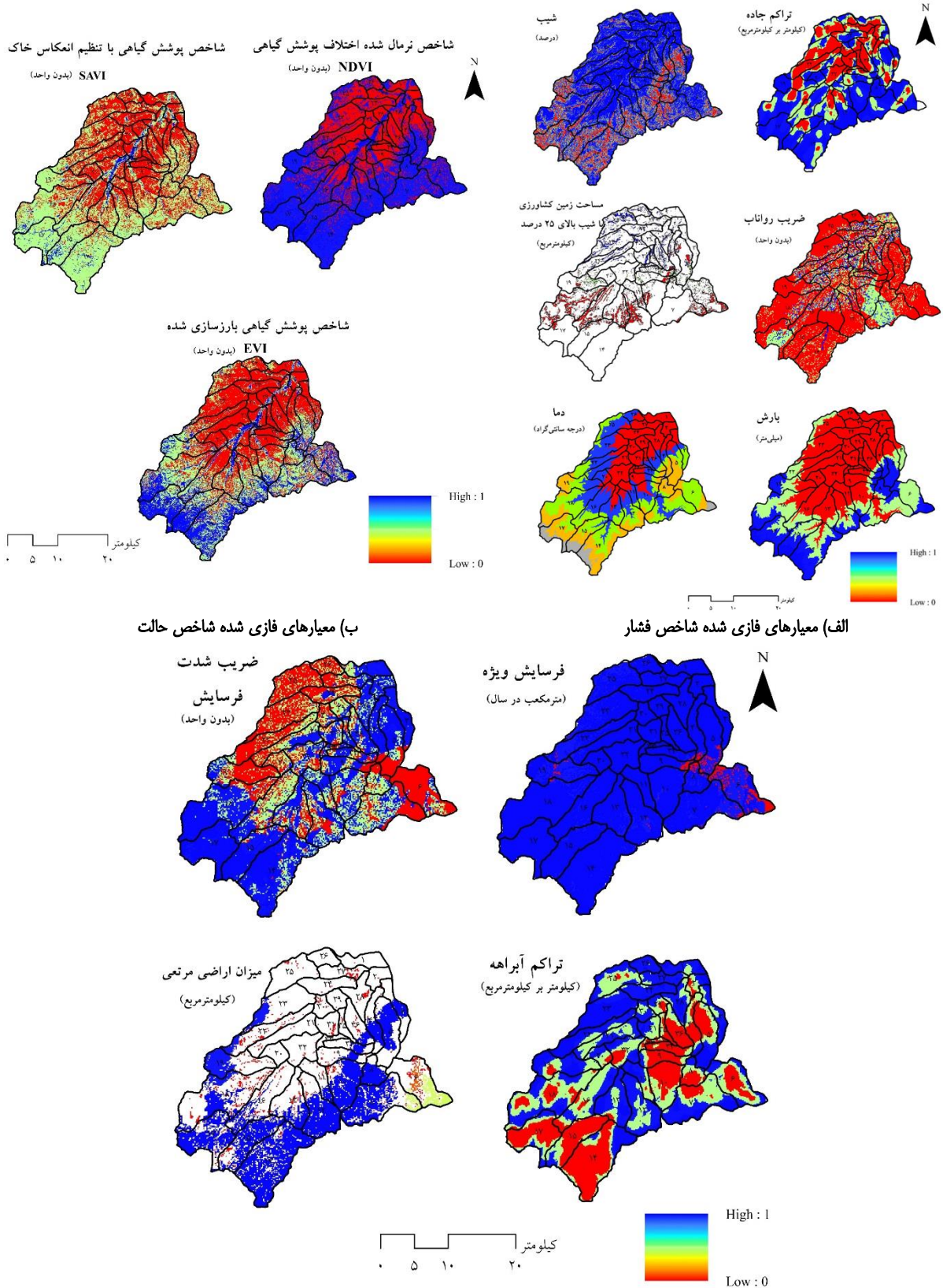
ب) معیارهای مورد استفاده برای محاسبه شاخص حالت



ج) معیارهای مورد استفاده برای محاسبه شاخص پاسخ

شکل ۲- تغییرات مکانی معیارهای مورد استفاده در محاسبه شاخص‌های فشار (الف)، حالت (ب) و پاسخ (ج)

Figure 2- Spatial changes of the criteria used for calculating pressure (a), state (b), and response indicators (c)



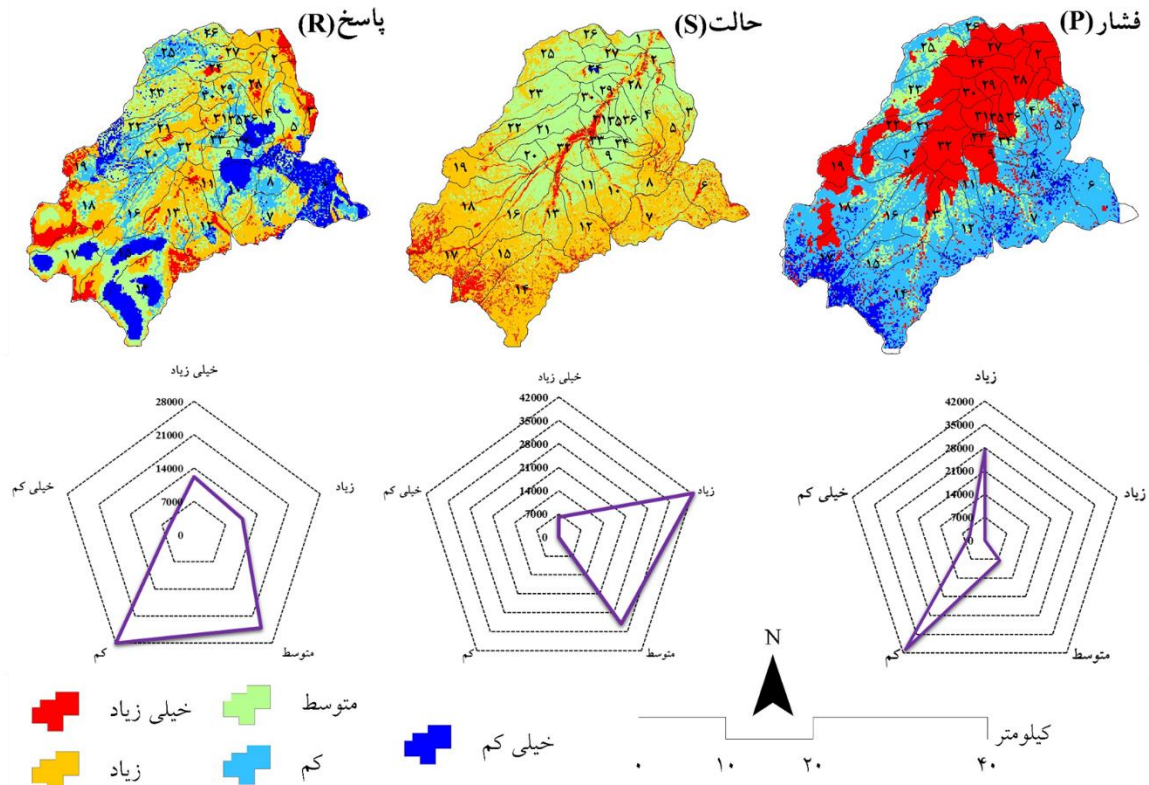
ج) معیارهای فازی شده شاخص پاسخ

شکل ۳- تغییرات مکانی معیارهای فازی شده مورد استفاده در محاسبه شاخص های فشار (الف)، حالت (ب) و پاسخ (ج)

Figure 3- Spatial changes of the Fuzzy-based criteria used for calculating pressure (a), state (b), and response (c) indicators

گرفت. برای شاخص پاسخ بیشترین و کمترین درصد مساحت حوضه به ترتیب در طبقه کم (۳۴/۸۰ درصد) و خیلی کم (۶/۷۶ درصد) قرار گرفته است. در حالت کلی طبق نتایج عملگر بهینه فازی (گامای ۰/۹) برای شاخص فشار ۳۳/۸۴، ۰/۱۶، ۹/۴۵، ۵۰/۵۱ و ۶/۰۴ درصد از مساحت کل آبخیز کوزه تپراقی به ترتیب در طبقات خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم قرار گرفتند. بر اساس نتایج شاخص حالت ۷/۵۵، ۵۲/۷۱، ۳۹/۶۷ و ۰/۰۷ درصد از مساحت کل آبخیز کوزه تپراقی به ترتیب در طبقات خیلی زیاد، زیاد، متوسط و خیلی کم قرار گرفتند. بر اساس نتایج شاخص پاسخ ۱۵/۱۶، ۱۳/۳۰، ۲۹/۹۹، ۳۴/۸۰ و ۶/۷۶ درصد از مساحت کل آبخیز کوزه تپراقی به ترتیب در طبقات خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم قرار گرفتند.

شکل ۴ تغییرات مکانی شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ آبخیز کوزه تپراقی را نشان می‌دهد (نمودارهای عنکبوتی نشان‌دهنده مساحت هر طبقه بر حسب کیلومتر مربع هستند). با توجه به نتایج، بالادست آبخیز از لحاظ شاخص فشار در وضعیت بهتری نسبت به پایین دست برخوردار است. فشار زیاد در پایین دست آبخیز حاکی از استفاده از زمین است. اکثر این مناطق زراعت دیم و آبی بوده و مرتباً بهره‌برداری می‌شود. این در حالی است که با توجه به شاخص حالت، پایین دست آبخیز در وضعیت متوسط قرار گرفته است. با توجه به نتایج جدول ۱ برای شاخص فشار بیشترین درصد مساحت آبخیز در طبقه فشار کم (۵۰/۵۱ درصد) و کمترین آن در طبقه فشار زیاد (۰/۱۶ درصد) قرار گرفت. برای شاخص حالت بیشترین درصد مساحت آبخیز در طبقه زیاد (۵۲/۷۱ درصد) و کمترین آن در طبقه کم (۰/۰۰ درصد) قرار



شکل ۴- تغییرات مکانی شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ به دست آمده از عملگر بهینه فازی (گامای ۰/۹)

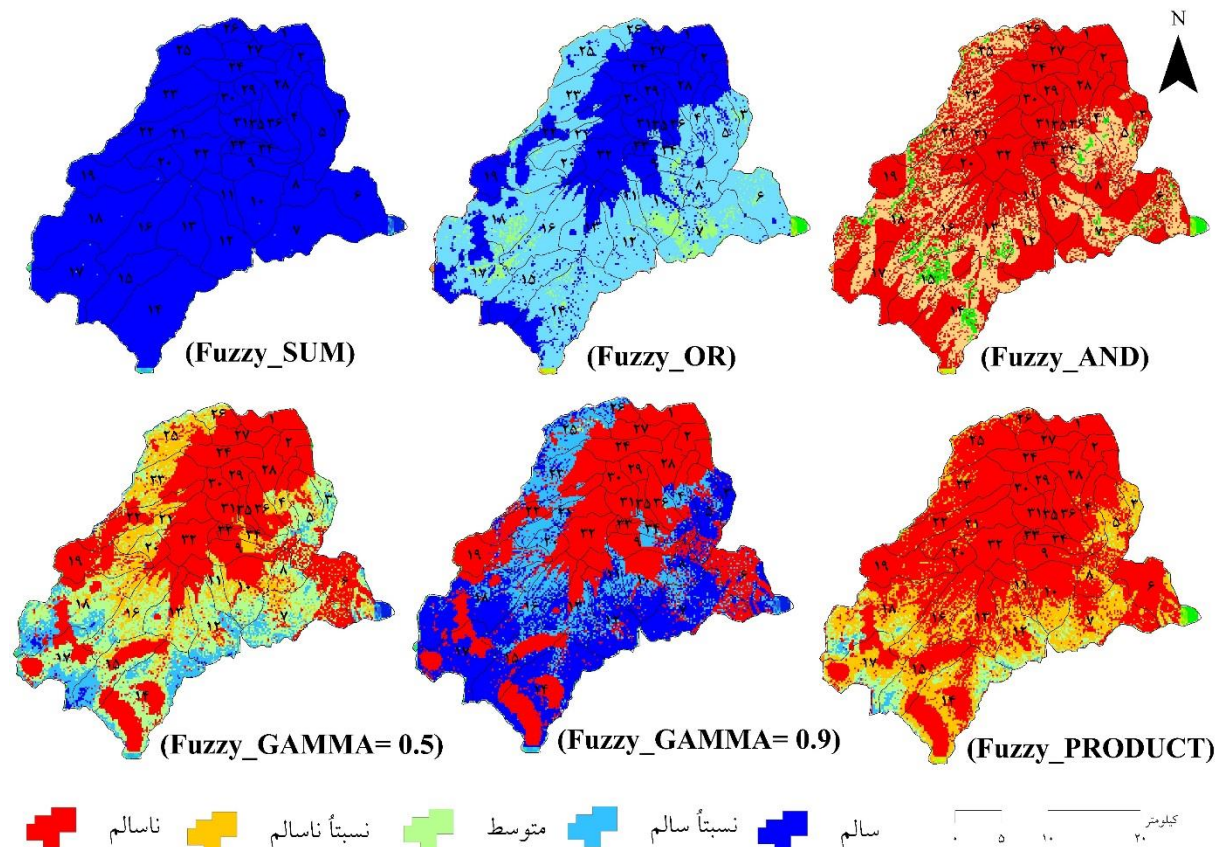
Figure 4- Spatial changes of pressure, state and response indicators obtained using fuzzy optimal operator (gamma 0.9)

کل آبخیز را در سه طبقه سالم، نسبتاً سالم و متوسط طبقه‌بندی کرد. نتایج عملگر SUM که یک تابع افزایشی است، کل آبخیز را در دو طبقه سالم و نسبتاً سالم طبقه‌بندی کرد. همچنین، نتایج عملگر PRODUCT که یک تابع کاهش‌ی است، کل آبخیز را در پنج طبقه ناسالم، نسبتاً ناسالم و متوسط، نسبتاً سالم و سالم طبقه‌بندی کرد. در نهایت عملگر گاما که از حاصل ضرب جبری

شکل ۵ تغییرات مکانی شاخص سلامت با استفاده از عملگرهای مختلف در آبخیز کوزه تپراقی را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج عملگر AND که حداقل عضویت‌های فازی از پیکسل‌های فازی ورودی را ارائه می‌کند، کل آبخیز در سه طبقه ناسالم، نسبتاً ناسالم و متوسط طبقه‌بندی شد. عملگر OR که حداکثر عضویت‌های فازی از رسترهای ورودی را نشان می‌دهد،

توپوگرافی آبخیز انتظار می رود که طبقات مختلف سلامت در آبخیز مورد مطالعه وجود داشته باشد و با نتایج پژوهش قبلی مبتنی بر فقط کاربرد PSR مطابقت دارد.

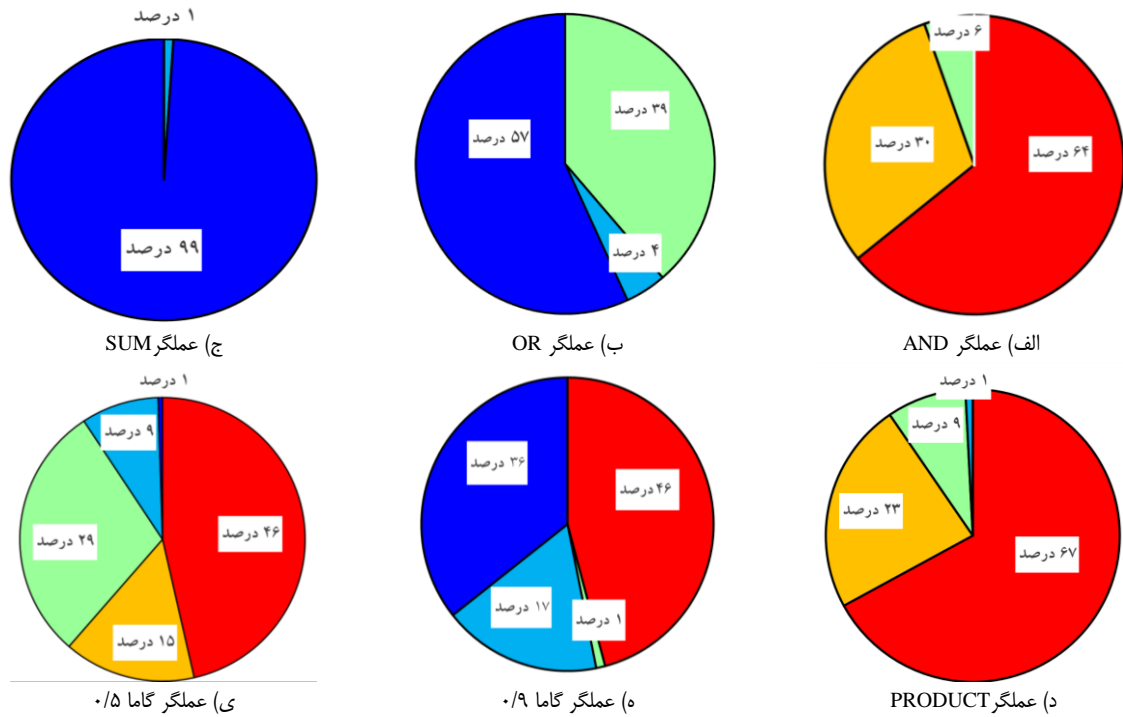
جمع فازی و محصول فازی به دست آمده و از دو ضریب ۰/۹ و ۰/۵ استفاده کرده است، هر پنج طبقه سلامت را نشان داد. با توجه به نتایج عملگرهای مختلف در تعیین وضعیت سلامت آبخیز می توان نتیجه گرفت دو عملگر گاما و PRODUCT نتایج منطقی ارائه داده اند؛ زیرا از لحاظ شرایط بوم شناختی و اقلیمی و



شکل ۵- تغییرات مکانی آبخیز با استفاده از عملگرهای مختلف
Figure 5- Spatial changes of watershed health index using different operators

Alaei (2019)، مقادیر شاخص یکپارچگی برای آبخیز کوزه تپراقی بین ۰/۲۹ تا ۰/۶۷ به دست آمد. در جدول ۱ مقادیر عملگرهای ارزیابی سلامت در زیرآبخیزهای کوزه تپراقی ارائه شده است. با توجه به نتایج عملگر AND، کل زیرآبخیزها در طبقه ناسالم سلامت ارزیابی شده اند و طبق نتایج عملگر SUM، کل زیرآبخیزها در طبقه سالم سلامت قرار گرفته است (جدول ۱). می توان اذعان کرد که این دو عملگر برای ارزیابی سلامت در منطقه مورد مطالعه مناسب نیستند؛ زیرا در یک منطقه نمی توان تنها یک طبقه از سلامت را داشت.

شکل ۶ مساحت طبقات مختلف شاخص سلامت آبخیز با استفاده از عملگرهای مختلف در کوزه تپراقی را نشان می دهد. در حالت کلی شاخص سلامت برای آبخیز کوزه تپراقی ۰/۴۱ به دست آمد که نشان دهنده متوسط سلامت در کل آبخیز مورد مطالعه است. با توجه به جدول ۱، اولویت بندی زیرآبخیزها در عملگر گامای ۰/۵، عملگر گامای ۰/۹، و عملگر PRODUCT نشان داد زیرآبخیز ۱۲ در رتبه اول از نظر وضعیت سلامت کلی قرار می گیرد که می تواند به دلیل شرایط مطلوب منابع و استفاده اصولی از کاربری اراضی در این زیرآبخیز باشد. طبق گزارش ارائه شده توسط



شکل ۶- مساحت طبقات مختلف شاخص سلامت آبخیز با استفاده از عملگرهای مختلف در کوزه تهراتی
Figure 6- Classes area of the watershed health index using different operators

جدول ۱- مقادیر عملگرهای ارزیابی سلامت در زیر آبخیزهای کوزه تهراتی

Table 1- Values of the operators of health assessment in the KoozehTopraghi sub-watersheds

عملگر گاما 0.5	عملگر گاما 0.9	عملگر PRODUCT	عملگر SUM	عملگر OR	عملگر AND	زیر آبخیز
0.00	0.01	0.00	1.00	0.61	0.00	1
0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	2
0.31	0.52	0.17	0.98	0.59	0.04	3
0.20	0.37	0.10	0.99	0.86	0.12	4
0.30	0.52	0.15	0.98	0.24	0.13	5
0.14	0.25	0.07	0.96	0.77	0.11	6
0.41	0.67	0.22	0.95	0.88	0.11	7
0.34	0.62	0.16	0.97	0.76	0.06	8
0.09	0.20	0.04	0.98	0.85	0.08	9
0.26	0.47	0.13	0.96	0.56	0.07	10
0.25	0.45	0.12	0.97	0.83	0.05	11
0.45	0.72	0.26	0.97	0.10	0.07	12
0.32	0.58	0.16	0.98	0.77	0.15	13
0.34	0.53	0.20	0.97	0.70	0.14	14
0.38	0.57	0.23	0.98	0.84	0.16	15
0.36	0.66	0.18	0.97	0.86	0.14	16
0.41	0.59	0.26	0.97	0.61	0.08	17
0.43	0.68	0.25	0.97	0.56	0.13	18
0.10	0.21	0.04	0.99	0.99	0.08	19
0.24	0.49	0.10	0.95	0.27	0.01	20
0.18	0.38	0.07	0.98	1.00	0.05	21
0.09	0.19	0.04	0.99	0.99	0.10	22
0.20	0.40	0.08	0.99	0.98	0.10	23
0.01	0.02	0.00	1.00	1.00	0.00	24
0.27	0.57	0.11	0.98	1.00	0.14	25
0.21	0.43	0.09	0.99	0.99	0.07	26
0.01	0.02	0.00	1.00	0.99	0.00	27
0.03	0.06	0.01	1.00	0.97	0.01	28
0.00	0.00	0.00	1.00	0.84	0.00	29
0.00	0.00	0.00	1.00	0.97	0.00	30
0.01	0.02	0.00	1.00	0.89	0.00	31
0.02	0.04	0.01	1.00	0.72	0.00	32
0.04	0.08	0.01	1.00	0.84	0.01	33
0.16	0.33	0.07	0.99	0.00	0.14	34
0.02	0.03	0.01	1.00	0.84	0.05	35
0.07	0.15	0.03	0.99	0.90	0.12	36

استفاده از منطق فازی ارزیابی شد. با استفاده از عملگرهای ضرب فازی، جمع فازی و گامای فازی (ضریب های ۰/۹ و ۰/۵) نقشه های فازی تمام عوامل، هم پوشانی داده شدند و نقشه سلامت آبخیز بر اساس هر یک از این عملگرها تهیه و به پنج طبقه ناسالم، نسبتاً ناسالم، متوسط، نسبتاً سالم و سالم طبقه بندی شده است. طبق نتایج عملگر PRODUCT به ترتیب ۶۷، ۲۳، ۹ و ۱ درصد از کل آبخیز در طبقات ناسالم، نسبتاً ناسالم، متوسط و نسبتاً سالم قرار گرفتند. برای عملگر گامای ۰/۹ هم ۴۶، ۱، ۱۷ و ۳۶ درصد آبخیز در طبقات ناسالم، متوسط، نسبتاً سالم و سالم طبقه بندی شدند. برای عملگر گامای ۰/۵، ۴۶، ۱۵، ۲۹، ۹ و ۱ درصد آبخیز در طبقات ناسالم، نسبتاً ناسالم، متوسط، نسبتاً سالم و سالم طبقه بندی شدند. طبق نتایج می توان اذعان کرد که دو عملگر PRODUCT و گاما در پهنه بندی وضعیت سلامت آبخیز می تواند نتایج قابل قبولی را ارائه دهد. آشنایی با الگوهای مدیریتی به روز و نو در سطح جهان البته با شرایط مختلف اقلیمی، اقتصادی و اجتماعی کشور ما می تواند دریچه های مناسب و متفاوتی در زمینه مدیریت جامع آبخیز نسبت به گذشته بگشاید. می توان گفت که شاخص سلامت آبخیز به عنوان ابزار کاربردی در مدیریت آبخیز، می تواند در تعیین اولویت ها و پایش تغییرات وضعیت آبخیز استفاده شود. همچنین از آن جایی که در شاخص سلامت، ابعاد مختلف تأثیرگذار بر مدیریت بوم سازگان در نظر گرفته می شود، می تواند به عنوان ابزاری مؤثر برای تحلیل موجودیت آبخیز برای استفاده با نیازهای موجودات زنده در نظر گرفته شود.

ارزیابی نتایج به دست آمده بر اساس شاخص جمع مطلوبیت (Qs) نشان داد عملگر PRODUCT با مقدار عددی ۰/۴۶ در اولویت اول، و در ادامه عملگر گامای ۰/۹ با شاخص جمع مطلوبیت ۰/۳۷ در اولویت دوم کارآمدترین عملگر در تهیه نقشه سلامت آبخیز در حوضه مورد مطالعه است. نتایج حاصل از انتخاب عملگر گامای ۰/۹ با مطالعات (Soori et al. (2014) و Ghanavati et al. (2015) مبنی بر تأیید کارایی عملگر گامای ۰/۹ در بررسی زمین لغزش مطابقت دارد. به طوری که، Soori et al. (2014) در تحقیق خود بیان کردند که با توجه به سازگاری قابل انعطاف عملگر گامای فازی میان گرایش های کاهشی و افزایشی دو عملگر جمع و ضرب فازی، نتایج به دست آمده از این عملگر نسبت به سایر عملگرها از دقت بیشتری برخوردار است. نتایج به دست آمده از پهنه بندی سلامت آبخیز طبق عملگر گامای ۰/۹ و گامای ۰/۵ نشان می دهد که حدود ۴۶ درصد از کل منطقه در وضعیت ناسالم قرار دارند. مطابق عملگر PRODUCT نیز ۶۷ درصد آبخیز در وضعیت ناسالم طبقه بندی شد. بر این اساس در منطقه مورد مطالعه ارائه راهکارهای مناسب جهت مدیریت اصولی از اراضی در اولویت قرار دارد؛ زیرا ممکن است با ادامه روند خسارت هایی جبران ناپذیری در سطح آبخیز ایجاد می شود.

۴- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر مقادیر شاخص سلامت در زیر آبخیزهای کوزه تپراقی با در نظر گرفتن معیارهای مؤثر بر شاخص های فشار، حالت و پاسخ با

منابع

- اسمعیلی، ابادز، و عبداللهی، خدایار (۱۳۹۰). آبخیزداری و حفاظت آب و خاک. چاپ دوم، انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی، ۵۷۴ صفحه.
- تاجبخش، سیدمحمد، گوهری، زهرا، و محمودزاده وزیر، اسداله (۱۴۰۱). اولویت بندی اقدامات آبخیزداری در حوزه های آبخیز فریزی و ریگ سفید با استفاده از روش فازی-تاپسیس. *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۴)، ۶۴-۷۶. doi:10.22098/mmws.2022.10465.1084
- صادقی، سید حمیدرضا، حزباوی، زینب، و غلامعلی فرد، مهدی (۱۳۹۸). پهنه بندی پویایی سلامت آبخیز شازند بر اساس دبی های مشخصه کم آبی و پرآبی. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۱۱(۳)، ۵۸۹-۱۲۲۶۰۸. doi:10.22092/ijwmse.2018.120288.1427608
- سوری، سلمان، بهاروند، سیامک، و فرهادی نژاد، طاهر (۱۳۹۴). پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: حوزه چم سنگر). *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۴(۴)، ۴۷-۶۰.
- شعبانی نیا، فریدون، و سعیدنیا، سینا (۱۳۹۴). مقدمه ای بر منطق فازی با استفاده از MATLAB. چاپ دوم، انتشارات خانیران تهران، ۱۳۶ صفحه.
- جهاندراری، جاوید، حجازی، رخشاد، جوزی، سیدعلی، و مرادی، عباس (۱۴۰۱). اثرات توسعه شهری بر الگوهای مکانی، زمانی خدمت اکوسیستمی ذخیره کربن در حوزه آبخیز بندرعباس با نرم افزار InVEST. *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۴)، ۹۱-۱۰۶. doi:10.22098/mmws.2022.11069.1097
- حزباوی، زینب، پرچمی، ناهیده، علائی، نازیلا، و بابائی، لیلا (۱۳۹۹). ارزیابی و تحلیل وضعیت سلامت آبخیز کوزه تپراقی، استان اردبیل. *حفاظت منابع آب و خاک*، ۹(۳)، ۱۲۱-۱۴۱. doi:10.22098/mmws.2022.11069.1097
- زالی، مهربان، و شاهی، کاکا (۱۴۰۰). ارزیابی حساسیت زمین لغزش با استفاده از رویکرد منطق فازی و سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوزه آبخیز نکارود. *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۱(۱)، ۶۷-۱۱۸۳۸۰. doi:10.22098/mmws.2021.118380
- علائی، نازیلا، مصطفی زاده، رئوف، اسمعیلی عوری، ابادز، شرری، معراج، و حزباوی، زینب (۱۳۹۸). ارزیابی و مقایسه پیوستگی سیمای

مؤمنیان، پروین، نظرنژاد، حبیب، میریعقوبزاده، میرحسین، و مصطفی‌زاده، رئوف (۱۳۹۷). ارزیابی و اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز قطورچای بر اساس درجه سلامت آبخیز (مطالعه موردی: قطورچای، خوی، آذربایجان غربی). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۹(۱۷)، ۱-۱۳. doi:10.29252/jwmr.9.17.1

نبی‌زاده، مرتضی، مساعدی، ابوالفضل، و دهقانی، امیر احمد (۱۳۹۱). بررسی کارایی منطق فازی در پیش‌بینی جریان روزانه رودخانه. مرتع و آبخیزداری، ۴(۴۵)، ۵۶۹-۵۸۰. doi:10.22059/jrwm.2012.32054

نوروزی قوشبلاغ، حسین، و ندیری، عطاالله (۱۳۹۷). پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دشت بوکان با استفاده از مدل‌های منطق فازی، جنگل تصادفی و شبکه عصبی. مرتع و آبخیزداری منابع طبیعی ایران، ۳(۳۷)، ۸۴۵-۸۲۹. doi:10.22059/jrwm.2018.68924

سرزمین در حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی، استان اردبیل. بوم‌شناسی کاربردی، ۸(۴)، ۱۹-۳۴. doi:10.47176/ijae.8.4.2572

علائی، نازیلا (۱۳۹۸). ارزیابی و مقایسه میزان شاخص‌های یکپارچگی آبخیز در واحدهای هیدرولوژیکی حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی، استان اردبیل. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی.

عبدالله‌زاده، علی، اونق، مجید، سعدالدین، امیر، و مصطفی‌زاده، رئوف (۱۳۹۵). مقایسه دو روش تعیین مناطق مستعد خطر زمین‌لغزش در آبخیز زیارت استان گلستان. مدیریت بحران، ۵(۹)، ۱۳-۵.

قنواتی، عزت‌اله، کرم، امیر، و تقوی مقدم، ابراهیم (۱۳۹۳). کاربرد منطق فازی در شناسایی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مطالعه موردی حوزه آبخیز طالقان. زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست، ۲۴(۹۴)، ۹-۱۶.

متکان، علی‌اکبر، سمیعا، جلال، پورعلی، سیدحسن، و صفایی، مهرداد (۱۳۸۸). مدل‌های منطق فازی و سنجش از دور جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز لاجیم. زمین‌شناسی کاربردی، ۵(۴)، ۳۱۸-۳۲۵.

References

- Alaei, N., Mostafazadeh, R., Esmali-Ouri, A., Sharari, M., & Hazbavi, Z. (2020). Assessment and comparison of landscape connectivity in KoozehTopraghi Watershed. Ardabil Province. *Applied Ecology*, 8(4), 19-34. doi:10.47176/ijae.8.4.2572 [In Persian]
- Alaei, N. (2019). Assessment and comparison of watershed integrity indices in hydrologic units of KoozehTopraghi Watershed, Ardabil Province. M.Sc. Thesis, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. [In Persian]
- Abdollahzadeh, A., Ownegh, M., Sadoddin, A., & Mostafazadeh, R. (2016). Comparison of two landslide-prone area determination methods in Ziarat Watershed, Golestan Province. *Emergency Management*, 5(9), 5-13. [In Persian]
- Alilou, H., Rahmati, O., Singh, V.P., Choubin, B., Pradhan, B., Keesstra, S., Ghiasi, S.S., & Sadeghi, S.H. (2019). Evaluation of watershed health using Fuzzy-ANP approach considering geo-environmental and topo-hydrological criteria. *Journal of Environment Management*, 232, 22-36. doi:10.1016/j.jenvman.2018.11.019
- Ahn, S.R., & Kim, S.J. (2019). Assessment of watershed health, vulnerability and resilience for determining protection and restoration priorities. *Environmental Modelling & Software*, 122, 1-19. doi:10.1016/j.envsoft.2017.03.014
- Asdak, C. (2010). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. 5th edition, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Banerjee, A., Chakrabarty, M., Rakshit, N., Mukherjee, J., & Ray, S. (2017). Indicators and assessment of ecosystem health of Bakreswar reservoir, India: An approach through network analysis. *Ecological Indicator*, 80, 163-173. doi:10.1016/j.ecolind.2017.05.021
- Bardossy, A., Bogardi, I., & Duckstein, L. (1990). Fuzzy Regression in Hydrology. *Water Resource Research*, 26(7), 1497-1508. doi:10.1029/wr026i007p01497
- Cabello, V., Willaarts, B., Aguilar, M., & Del Moral, L. (2015). River basins as sociaecological systems: linking levels of societal and ecosystem water metabolism in a semiarid watershed. *Ecology and Society*, 20(3), 1-20. doi:10.5751/es-07778-200320
- Dai, Q., Liu, G., Xue, Sh., Lan, X., Zhai, Sh., Tian, J., & Wang, G. (2007). Health diagnoses of ecosystems subject to a typical erosion environment in Zhifanggou watershed, north-west China. *Frontiers of Forestry in China*, 2(3), 241-250. doi:10.1007/s11461-007-0040-1
- Esmali-Ouri, A., & Abdollahi, Kh. (2011). *Watershed management & soil conservation*. Second edition, University of Mohaghegh Ardabili Publications. 574 pages. [In Persian]
- EPA, (2012). Concepts, assessments, and management approaches. In: *Identifying and protecting healthy watersheds*, United States environmental protection agency: Washington, DC, USA, EPA, 841-B-11-002.
- Ervinia, A., Huang, J., Huang, Y., & Lin, J. (2019). Coupled effects of climate variability and land use pattern on surface water quality: An elasticity perspective and watershed health indicators. *Science of The Total Environment*, 693, 133592. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.133592

- Ertunga, C.O., & Duckstein, L. (2000). Fuzzy conceptual of rainfall-runoff models. *Journal of Hydrology*, 253(1-4), 41-68. doi:10.1016/S0022-1694(01)00430-9
- Fooladi, M., Golmohammadi, M.H., Safavi, H.R., & Singh, V.P. (2021). Application of meteorological drought for assessing watershed health using fuzzy-based reliability, resilience, and vulnerability. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 66, 102616. doi:10.1016/j.ijdr.2021.102616
- Gari, S.R., Guerrero, C.E.O., Uribe, B., 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. doi:10.1016/j.wsj.2018.06.001
- Ghanavati, E., Karam, A., & Taghavi Moghadam, E. (2015). Fuzzy logic application in identifying and mapping of landslide hazard: A case study: Taleghan watershed. *Engineering and Environmental Geology*, 24(94), 9-16. [In Persian]
- Jahandari, J., Hejazi, R., Jozi, S.A., & Moradi, A. (2022). Impacts of urban expansion on spatio-temporal patterns of carbon storage ecosystem services in Bandar Abbas Watershed using InVEST software. *Water and Soil Management and Modeling*, 2(4), 91-106. doi:10.22098/mmws.2022.11069.1097 [In Persian]
- Hazbavi, Z., Sadeghi, S.H.R., Gholamalifard, M., & Davudirad, A.A. (2019). Watershed health assessment using the pressure-state-response (PSR) framework. *Land Degradation & Development*, 31(1), 3-19. doi:10.1002/ldr.3420
- Hazbavi, Z., Keesstra, S.D., Nunes, J.P., Baartman, J.E.M., Gholamalifard, M., & Sadeghi, S.H.R. (2018). Health comparative comprehensive assessment of watersheds with different climates. *Ecological Indicators*, 93, 781-790. doi:10.1016/j.ecolind.2018.05.078
- Hazbavi, Z., Parchami, N., Alaei, N., & Babaei, L. (2020). Assessment and Analysis of the KoozehTopraghi Watershed Health Status, Ardabil Province, Iran. *Water and soil resources conservation*, 9(3), 121-141. doi:10.1001.1.22517480.1399.9.3.8.0 [In Persian]
- Hamel, P., Riveros-Iregui, D., Ballari, D., Browning, T., C'elleri, R., Chandler, D., Chun, K.P., Destouni, G., Jacobs, S., Jasechko, S., Johnson, M., Krishnaswamy, J., Poca, M., Pompeu, P.V., & Rocha, H. (2018). Watershed services in the humid tropics: Opportunities from recent advances in ecohydrology. *Ecohydrology*, 11, e1921. doi:10.1002/eco.1921
- 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). doi:10.1016/j.landusepol.2020.104911
- Momenian, P., Nazarnejad, H., Miryaghoubzadeh, M.H., & Mostafazadeh, R. (2018). Assessment and Prioritizing of Subwatersheds Based on Watershed Health Scores (Case Study: Ghortorchay, Khoy, West Azerbaijan). *Watershed Management Research*, 9(17), 1-13. doi:10.29252/jwmr.9.17.1 [In Persian]
- Matkan, A.A., Samia, J., PourAli, S.H., & Safaei, M. (2009). Fuzzy logic models and remote sensing for landslide risk zoning in Lajim basin. *Applied Geology*, 5(4), 318-325. [In Persian]
- Nabizadeh, M., Mosaedi, A., & Dehghani, A.A. (2013). Performance of fuzzy logic in stream flow forecasting. *Natural Environment, Iranian Journal of Natural Resources*, 65(4), 569-580. doi:10.22059/jrwm.2012.32054 [In Persian]
- Norouzi, H., & Nadiri, A. (2018). Groundwater level prediction of boukan plain using fuzzy logic, random forest and neural network models. *Range and Watershed Management*, 71(3), 829-845. doi:10.22059/jrwm.2018.68924 [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*, 587-588, 168-176. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.02.098
- Sadeghi, S.H.R., 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. doi:10.22092/ijwmse.2018.120288.1427 [In Persian]
- Soori, S., Bharv, S., & Farhadinejad, T. (2014). Landslide hazard zonation using Fuzzy logic (A case study: ChamSangar watershed). *RS & GIS for Natural Resources*, 4(4), 47-60. [In Persian]
- ShabaniNia, F., & SaeedNia, S. (2015). *Fundamental of fuzzy control toolbox using MATLAB*. Second edition, Khaniran Publishing House, Tehran, 136 pages. [In Persian]
- Tajbakhsh, S.M., Gohari, Z., & Mahmoodzadeh Vaziri, A. (2022). Prioritizing watershed management practices in the Ferizi and Rig-Sefid watersheds using Fuzzy-TOPSIS Method. *Water and Soil Management and Modeling*, 2(4), 64-76. doi:10.22098/mmws.2022.10465.1084 [In Persian]
- Tsai, Y.W., Lin, J.Y., & Chen, Y.C. (2021). Establishment of the watershed health indicators and health check of reservoirs.

- Ecological Indicator*, 127, 107779. doi:10.1016/j.ecolind.2021.107779
- Xia, J., Zhang, Y., Zhao, Ch., & Bunn, S.E. (2014). A bio indicator assessment framework of river ecosystem health and the detection of factors influencing the health of the Huai River Basin, China. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(8), 1- 34. doi:10.1061/(asce)he.1943-5584.0000989
- Zadeh, L.A. (1965). Quantative fuzzy sets. *Information Control*, 8(3), 338-353.
- Zali, M., & Shahedi, K. (2021). Landslide sensitivity assessment using fuzzy logic approach and GIS in Neka Watershed. *Water and Soil Management and Modeling*, 1(1), 67-80. doi:10.22098/mmws.2021.1183 [In Persian]
- Zhao, X., & Huang, G. (2022). Urban watershed ecosystem health assessment and ecological management zoning based on landscape pattern and SWMM simulation: A case study of Yangmei River Basin. *Environmental Impact Assessment Review*, 95, 106794. doi:10.1016/j.eiar.2022.106794