Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Watershed Management Research, Vol. 16, Issue 2, 2025 p: 63-78

OPEN ACCESS

Research Paper

Comparative Integrated Prioritization of the Status and Performance Conditions of Iran's Second-Order Watersheds Using Game Theory

Seyed Hamidreza Sadeghi[1], Reza Chamani[2], Mostafa Zabihi Silabi[2], Mohammad Tavosi[2], Azadeh Katebikord[2], Hamid Nouri[3], Abdulvahed Khaledi Darvishan[4], Vahid Moosavi[4], Padideh Sadat Sadeghi[5], Mehdi Vafakhah[6], and Hamidreza Moradi Rekabdarkolaei[6]

1- Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran, (Corresponding author: sadeghi@modares.ac.ir)
2- Former Ph.D. Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran
3- Associate Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran; At present: Director, International Center for Integrated Management of Watershed and Bio-Resources in Arid and Semi-Arid Regions (ICIMWB), Natural Resources and Watershed Management Organization of Iran, Tehran, Iran
4- Associate Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran
5- Former M.Sc. Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran
6- Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

Received: 05 February, 2025 Revised: 05 April, 2025 Accepted: 14 May, 2025

Extended Abstract

Background: Protection, exploitation, and sustainable management of watershed resources are priorities in meeting the needs of the growing population. Damage to natural resources leads to irreparable effects, such as severe floods, soil erosion, and, as a result, human and financial losses. Therefore, on the one hand, it is necessary to implement programs for the protection and restoration of natural resources. On the other hand, the lack of credits and economic, technical, and time limitations in different watersheds cause management measures to be taken in parts of watersheds that have more sensitive conditions than other areas. Based on this, prioritizing different areas of a watershed based on the severity of the problem is a valuable tool for the government in preparing regional development strategies. However, it is necessary to use an appropriate approach to make a management decision, considering the opinions of all stakeholders and reducing expert opinions. However, this issue of the watershed area has received less attention. In this regard, game theory has been used in the current research for the comparative prioritization of second-order watersheds in the country due to the reduction of the effect of expert opinion. The results of this research will help policymakers, managers, and decision-makers in the comprehensive management of watersheds in the country and the conservation of water and soil resources. Achieving detailed and operational approaches on operational scales requires extensive research on a larger scale and in sectors or watersheds with high management priority.

Methods: Some 44 national and accessible climatic, human, hydrological, and natural criteria were initially selected for the comparative prioritization of the country's second-order watersheds. Next, the values of study criteria were extracted for each watershed of the second category, and the necessary scaling was done according to the nature of the criteria and the type of their effect on the performance of the watersheds. The statistical measure of the variance inflation factor was used to eliminate the internal correlation of the study criteria. In this regard, 26 criteria were finalized for comparative prioritization. The Condorcet approach was used for comprehensive comparative prioritization, considering 26 criteria in the next step. In this regard, the values of the final criteria were ranked in 30 watersheds. In this regard, the watershed with the best condition in terms of the study criteria was ranked first, and the watershed with the worst condition was ranked last. This procedure was considered for all the study criteria. After ranking the watersheds by considering the criteria, a comparative prioritization was done between the second-order watersheds in the country, and the watersheds with the highest and lowest ranges in pairwise comparisons were identified as low and high-priority watersheds, respectively.

Results: The 30 watersheds of the country have been ranked first to fourth among the 26 study criteria at least once. In this regard, the Jarahi and Zohreh Watershed, with three points, and the Daranjir and

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1285]

Saghar Desert Watershed, with 54 points, respectively, have the lowest and highest points and the worst and best conditions according to the 26 final criteria. Examining the condition of the Jarahi and Zohreh Watershed showed that this watershed could be in a better condition regarding drainage density, specific erosion, and the density of order 4 streams. On the other hand, the condition of the Daranjir desert is better in the naturalness index, recharge volume of groundwater, carbon monoxide concentration, density of stream ordered 4, migration, specific erosion, population, and human outflow than the majority of watersheds. According to the study criteria, the status and functional conditions of the Jarahi and Zohreh Watershed in the southwest, the Hamon Jazmurian Watershed in the southeast, Bandar Abbas and Sedij Border Watersheds in the south, the Central Desert and Abarghou-Sirjan Desert Watersheds in the center, Urmia Lake, and the Sefidroud and Haraz Watershed in the northwest are weak in comparison with the other watersheds and should be given more attention. Based on the results, the watersheds of Jarahi and Zohreh, with three, and Deranjir desert, with 54 points, respectively, have the least and the most points and have the worst and the best possible conditions. Based on the obtained results, various variables are effective in prioritizing the country's watersheds, which requires a detailed and scientific evaluation of their individual effects on the performance of watersheds. The results of this research can contribute to allocating funds to provide management solutions and conducting detailed implementation studies on larger scales and smaller watersheds.

Conclusion: In the current research, the set of influential and available variables in watersheds has been used for comparative prioritization. It should be noted that because the comparison in the Condorcet approach is based on pairwise comparisons, Jarahi and Zohreh and Daranjir Desert Watersheds are the sub-watersheds that have experienced the highest and lowest losses, respectively, in the pairwise comparisons between the other sub-watersheds in the criteria as mentioned above. Therefore, the prioritization results will be reliable when the relevant manager is fully aware of the prioritization process, the type of criteria, and the purpose of the present study. Naturally, the results of the scale used in the current research need to provide the possibility of preparing and compiling executive plans for watershed management in the country. However, they provide a reasonable basis for focusing the attention of the departments and organizations in charge of protecting the country's water and soil resources for policy-making and planning on a national scale. It also provides detailed and goal-oriented studies on a large scale in high-priority watersheds. However, more extensive research is recommended with other prioritization methods based on game theory and similar approaches based on technical criteria.

Keywords: Comprehensive watershed management, Condorcet approach, National planning, National scale

How to Cite This Article: Sadeghi, S H R., Chamani, R., Zabihi Silabi, M., Tavosi, M., Katebikord, A., Nouri, H., Khaledi Darvishan, A., Moosavi, V., Sadeghi, P S., Vafakhah, M., & Moradi Rekabdarkolaei, H. (2025). Comparative Integrated Prioritization of the Status and Performance Conditions of Iran's Second-Order Watersheds Using Game Theory. *J Watershed Manage Res,* 16(2), 63-78. DOI: 10.61882/jwmr.2025.1285

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1285]

مقاله پژوهشی

اولویت‌بندی جامع مقایسه‌ای وضعیت و شرایط عملکردی آبخیزهای رده دوم کشور با استفاده از تئوری بازی

سید حمیدرضا صادقی[۱]، رضا چمنی[۲]، مصطفی ذبیحی‌سیلابی[۲]، محمد طاووسی[۲]، آزاده کاتبی‌کرد[۲]، حمید نوری[۳]، عبدالواحد خالدی‌درویشان[۴]، وحید موسوی[۴]، پدیده‌السادات صادقی[۵]، مهدی وفاخواه[۶] و حمیدرضا مرادی رکابدارکلائی[۶]

۱- استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران (نویسنده مسوول: sadeghi@modares.ac.ir)
۲- دانش‌آموخته دکتری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
۳- دانشیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر و در حال حاضر مدیر مرکز بین‌المللی مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز و منابع زیستی در مناطق خشک و نیمه‌خشک تحت پوشش یونسکو، سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، تهران، ایران
۴- دانشیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
۵- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
۶- استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۷ تاریخ ویرایش:۱۴۰۴/۰۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۴
صفحه: ۶۳ تا ۷۸

چکیده مبسوط

مقدمه: حفاظت، بهره‌برداری و مدیریت پایدار منابع طبیعی حوزه‌های آبخیز برای تأمین نیازهای جمعیت روبه‌رشد از اولویت خاصی برخوردار هستند. آسیب به منابع طبیعی عوارض جبران‌ناپذیری از جمله سیلاب‌های شدید، فرسایش خاک و در نتیجه خسارات جانی و مالی را به‌دنبال دارد. بنا بر این، از یک‌سو اجرای برنامه‌های حفاظت و احیای منابع طبیعی ضروری است و از سوی دیگر کمبود اعتبارات و محدودیت‌های اقتصادی، فنی و زمانی در حوزه‌های آبخیز مختلف باعث می‌شوند تا اقدامات مدیریتی در قسمت‌هایی از حوزه‌های آبخیز که شرایط حساس‌تری نسبت به سایر مناطق دارند، انجام شوند. بر همین اساس، اولویت‌بندی مناطق مختلف یک حوزه آبخیز براساس شدت مشکل ابزار مفیدی برای دولت در تهیه راهبردهای توسعه منطقه‌ای است. با این حال، استفاده از یک رویکرد مناسب برای اتخاذ یک تصمیم مدیریتی با لحاظ نظر تمامی گرودداران و کم‌کردن نظرات کارشناسی ضروری است، حال آن‌که این موضوع در مقیاس حوزه آبخیز کم‌تر موردتوجه قرار گرفته است. در همین راستا، در پژوهش حاضر برای اولویت‌بندی مقایسه‌ای حوزه‌های آبخیز درجه دوم کشور از نظریه بازی به‌دلیل کاهش اثر نظر کارشناسی استفاده شده است. امید است که نتایج این پژوهش سیاست‌گذاران، مدیران و تصمیم‌گیران در مدیریت جامع آبخیزهای کشور و حفظ منابع آب‌وخاک را یاری کنند. اگرچه دستیابی به رویکردهای تفصیلی و اجرایی در مقیاس‌های عملیاتی نیازمند انجام پژوهش‌های گسترده‌تر با مقیاس بزرگ‌تر و در بخش‌ها و یا آبخیزهای با اولویت مدیریتی بالا است.

مواد و روش‌ها: برای اولویت‌بندی مقایسه‌ای حوزه‌های آبخیز درجه دو کشور در ابتدا ۴۴ معیار ملی و قابل‌دسترس اقلیمی، انسانی، هیدرولوژیکی و طبیعی انتخاب شدند. در ادامه، مقادیر معیارهای مورد مطالعه برای هر یک از حوزه‌های آبخیز درجه دوم استخراج شدند و با توجه به ماهیت معیارها و نوع تأثیر آن‌ها بر عملکرد آبخیزها، مقیاس‌بندی لازم انجام شد. برای حذف همبستگی درونی معیارهای مطالعه، از معیار آماری عامل تورم واریانس استفاده شد. در همین راستا، ۲۶ معیار برای اولویت‌بندی مقایسه‌ای نهایی شدند. در مرحله بعد، رویکرد Condorcet برای اولویت‌بندی جامع مقایسه‌ای با درنظرگرفتن ۲۶ معیار استفاده شد. در همین راستا، مقادیر معیارهای نهایی‌شده در آبخیزهای ۳۰گانه رتبه‌بندی شدند. آبخیزی که بهترین وضعیت را از لحاظ معیار مطالعاتی داشت در رتبه اول و آبخیز با بدترین وضعیت در رتبه آخر قرار گرفتند و این روال برای تمامی معیارهای مطالعاتی مدنظر قرار گرفت. پس از رتبه‌بندی آبخیزها با در نظر گرفتن معیارها، اولویت‌بندی مقایسه‌ای بین آبخیزهای رده دوم کشور انجام و آبخیزهای با بیش‌ترین و کم‌ترین برد در مقایسات جفتی، به‌ترتیب به‌عنوان آبخیزهای با اولویت کم و بالا شناسایی شدند. در نهایت، نقاط ضعف و قوت آبخیزهای مطالعاتی با توجه به معیارهای مورد بررسی مشخص شدند.

یافته‌ها: براساس نتایج، آبخیزهای ۳۰گانه کشور در بین ۲۶ معیار مطالعاتی حداقل یک‌بار در رتبه‌های اول تا چهارم قرار گرفته‌اند. آبخیزهای جراحی و زهره با ۳ و کویر درانجیر با ۵۴ امتیاز به‌ترتیب دارای کم‌ترین و بیش‌ترین امتیاز و بدترین و بهترین شرایط را با توجه به ۲۶ معیار نهایی شده دارند. بررسی وضعیت آبخیز جراحی و زهره نشان می‌دهد که این آبخیز از لحاظ تراکم زهکشی، فرسایش ویژه و تراکم آبراهه‌های با رتبه چهار وضعیت خوبی ندارد. از سوی دیگر، وضعیت کویر درانجیر در شاخص طبیعت‌گرایی، تغذیه آب‌های زیرزمینی، غلظت کربن مونواکسید، تراکم آبراهه‌های با رتبه ۴، مهاجرت، فرسایش ویژه، جمعیت و جریان خروجی انسانی در مقایسه با غالب آبخیزها بهتر است. با توجه به معیارهای مطالعاتی، وضعیت و شرایط عملکردی آبخیز جراحی و زهره در جنوب‌غربی، آبخیز هامون جازموریان در جنوب‌شرقی، آبخیز بندرعباس–سدیج در جنوب، آبخیزهای کویر مرکزی و ابرقو سیرجان در مرکز و آبخیزهای دریاچه ارومیه، سفیدرود و ارس در شمال‌غربی در مقایسه با سایر آبخیزها ضعیف هستند و باید بیش‌تر مورد توجه قرار گیرند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، متغیرهای مختلفی در اولویت‌بندی حوزه‌های آبخیز کشور مؤثر هستند که نیاز به ارزیابی دقیق و علمی تأثیرات هر یک بر عملکرد حوزه‌های آبخیز دارد. هم‌چنین، نتایج این تحقیق می‌توانند سهم ارزنده‌ای در نحوه تخصیص اعتبارات در ارائه راهکارهای مدیریتی و انجام مطالعات دقیق اجرایی در مقیاس بزرگ‌تر و حوزه‌های آبخیز کوچک‌تر داشته باشند.

نتیجه‌گیری: در پژوهش حاضر، از مجموعه متغیرهای تأثیرگذار و در دسترس در آبخیزها برای اولویت‌بندی مقایسه‌ای آن‌ها استفاده شده است. لازم به ذکر است که با توجه به این‌که مبنای مقایسه در رویکرد Condorcet مقایسه‌های جفتی است، بنا بر این زیرآبخیزهای جراحی و زهره و کویر درانجیر زیرآبخیزهایی هستند که در مقایسه‌های جفتی بین سایر زیرآبخیزها در معیارهای مذکور، به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین باخت را تجربه کرده‌اند. بر این اساس، نتایج اولویت‌بندی زمانی قابل‌اعتماد خواهند بود که مدیر مربوطه با فرآیند اولویت‌بندی، نوع معیارها و هم‌چنین هدف مطالعه حاضر آگاهی کامل داشته باشد. طبیعتاً، نتایج حاصل از مقیاس مورد استفاده در پژوهش فعلی، امکان تهیه و تدوین طرح‌های اجرایی مدیریت آبخیزهای کشور را مهیا نمی‌کنند ولی زیربنای خوبی برای تمرکز توجهات بخش‌ها و سازمان‌های متولی حفاظت منابع آب و خاک کشور در خصوص سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی در مقیاس ملی و سپس انجام مطالعات تفصیلی و هدفمندانه در مقیاس‌های بزرگ در آبخیزهای با اولویت بالا را فراهم نموده‌اند. اگرچه انجام پژوهش‌های گسترده‌تر با سایر شیوه‌های اولویت‌بندی مبتنی‌بر تئوری بازی و با سایر رویکردهای مشابه و بر اساس معیارهای فنی گسترده‌تر پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی ملی، رویکرد کندورسِ، مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، مقیاس ملی

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1285]

مقدمه

حفاظت، بهره‌برداری و مدیریت پایدار منابع طبیعی آبخیز برای تأمین نیازهای جمعیت روبه‌رشد از اولویت ویژه‌ای برخوردار هستند. یکی از تبعات افزایش جمعیت و بالارفتن تقاضا، زیر کشت بردن زمین‌های حساس به فرسایش توسط کشاورزان و به‌دنبال آن تخریب زمین و منابع طبیعی است. تخریب زمین از ترکیبی از تغییرات کاربری زمین، تشدید کشاورزی و رخدادهای شدید بارشی ناشی می‌شود (Davudirad *et al.*, 2016). آسیب به منابع طبیعی اثرات جبران‌ناپذیری از قبیل وقوع سیلاب‌های شدید، فرسایش خاک و در نتیجه خسارت‌های جانی و مالی را به دنبال دارد (Sadeghi *et al.,* 2024). بنا بر این، از سویی نیازمند اجرای برنامه‌های حفاظت و احیای منابع طبیعی است و از سوی دیگر، کمبود اعتبارات و محدودیت‌های اقتصادی، فنی و زمانی در آبخیزهای مختلف باعث می‌شوند که اقدامات مدیریتی و آبخیزداری برای کاهش هزینه‌های مرتبط در بخش‌هایی از آبخیز و یا فقط در برخی آبخیزها انجام گیرند که شرایط حساس‌تری نسبت به دیگر مناطق دارند (Zabihi Silabi *et al.*, 2021). بنا بر این، اولویت‌بندی مناطق مختلف یک حوزه آبخیز بر اساس شدت مشکل، ابزار مفیدی برای دولت در تهیه راهبردهای توسعه منطقه‌ای است (Adhami & Sadeghi, 2016; Sadeghi *et al*., 2023)، به‌نحوی‌که اولویت‌بندی، شرایط مناسب برای تصمیم‌گیران در توجه بیش‌تر برای مدیریت و تخصیص اعتبار برای آبخیزهای با شرایط نامناسب را فراهم می‌سازد. هم‌چنین، در تخصیص بودجه و مشخص‌کردن این‌که کدام آبخیز یا زیرآبخیزها به حمایت پژوهشی بیش‌تر نیاز دارند به مدیران آبخیز برای مدیریت آسان و مقرون‌به‌صرفه کمک می‌کند (Adhami & Sadeghi, 2016).

حوزه آبخیز یک سامانه پیچیده و چندبعدی است (Han *et al*., 2020). از همین‌رو، بسیاری از مشکلات و چالش‌های رخداده در حوزه آبخیز ناشی از عوامل متعددی مانند وجود ذی‌نفعان مختلف، رشد جمعیت، کمبود منابع آب‌وخاک، شهرنشینی، صنعتی‌شدن جامعه و استفاده نامتعادل از منابع بوده‌اند (Talebi *et al*., 2021; Nikjoy, 2023). این در حالی است که در دهه‌های گذشته، به‌دلیل آگاهی کم سیاستمداران از مشکلات مرتبط با هر حوزه آبخیز و عدم لحاظ شرایط هر زیرآبخیز در مقایسه با سایر زیر آبخیزها، شناسایی مشکل و تخصیص بودجه متناسب با آن با یک رویکرد مناسب صورت نگرفته است (Ali Moradi *et al*., 2021; Najafi, 2015; Sadeghi *et al*., 2023). با توجه‌به گستردگی حوزه‌های آبخیز و وجود تنوع در شرایط اقلیمی، زمین‌شناسی، خاک، توپوگرافی، هیدرولوژی و پوشش‌گیاهی مختلف، اتخاذ یک رویکرد مدیریتی مناسب برای کاهش مشکلات و چالش‌های به‌وجود آمده در حوزه‌های آبخیز مختلف بسیار سخت است (Nasiri Khiavi *et al*., 2023). در همین راستا، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره[1] به‌عنوان راهکاری برای انتخاب و اجرای بهترین گزینه یا گزینه‌ها و برای اولویت‌بندی زیرآبخیزها باتوجه‌به معیارهای مختلف تصمیم‌گیری مدنظر قرار گرفته است (Tecle, 1192; Lamy *et al*., 2002; Bekele & Nicklow, 2005; Lee, 2012). در پژوهش‌های متعدد از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره شامل الگوریتم ژنتیک[2] (Akbari *et al*., 2015)، تحلیل سلسله‌مراتبی[3] (Pourghasemi *et al*., 2012)، روش منطق فازی[4] (Üçler *et al*., 2015)، سامانه پشتیبان تصمیم[5] (Dragan *et al*., 2011)، برنامه‌ریزی چندهدفه[6] (Weng *et al*., 2010)، برنامه‌ریزی خطی[7] (Amir & Fisher, 1999)، برنامه‌ریزی خطی چندمتغیره[8] (Nikkami *et al*., 2002) و نظریه رأی‌گیری[9] (Laukkanen *et al*., 2002) در زمینه‌های مختلف تخصیص منابع، فرسایش و رسوب، مدیریت منابع آب و مدیریت آبخیز استفاده شده است. اغلب روش‌های فوق برای تصمیم‌سازی، معیارهای مشخص مربوط به هر جنبه از مسئله را تعیین و در نهایت با مقایسه میزان اهمیت معیارها اولویت‌ها را مشخص می‌کنند. به بیان دیگر، این روش‌ها به نظر شخصی و کارشناسی فرد امتیازدهنده وابسته هستند (Mendoza & Martins, 2006). با این حال، به‌دلیل وجود گرودارن مختلف در یک محیط مشترک در سامانه آبخیز، تصمیمات اتخاذشده توسط گرودارن مختلف می‌توانند رفتار سایر گرودارن و در نتیجه رفتار پیچیده سامانه حوزه آبخیز را نیز تحت‌تأثیر قرار دهند (Daneshiet *et al*., 2017). در نتیجه، استفاده از یک رویکرد مناسب برای اتخاذ یک تصمیم مدیریتی با لحاظ نظر تمامی گرودارن و کم‌کردن نظرات کارشناسی ضروری است. در همین راستا، اهمیت استفاده از روش‌هایی مانند نظریه بازی به دلیل کاهش اثر نظر کارشناسی است (Sheikhmohammady & Madani, 2008). نظریه بازی ابزاری ریاضی برای تجزیه‌وتحلیل مسائل پیچیده است (Adhami & Sadeghi, 2016; Lee, 2012; Madani, 2010). بنا بر این، نظریه بازی را زمانی می‌توان استفاده کرد که منابع محدود، گزینه‌های مختلف تصمیم‌گیری، نتایج متفاوت حاصل از انتخاب‌های متفاوت و امکان رقابت یا همکاری بین بازیگران وجود داشته باشند، به‌نحوی‌که نظریه بازی از طریق مدل‌سازی تعامل تصمیم‌گیرندگان، هماهنگی و ایجاد تعادل، به حل اختلاف نظرات در خصوص رویکردهای مختلف در مدیریت آب‌وخاک می‌پردازد (Madani *et al*., 2014).

بررسی مستندات نشان می‌دهد که نظریه بازی در زمینه‌های مختلف علمی از جمله اقتصاد (Ichiishi, 2014) و جامعه‌شناسی (Lee, 2012; Colman *et al*., 2008)، مدیریت منابع آب (Madani, 2010; Pursiahi Samiyan & Karachian, 2011; Parrachino *et al*., 2006; Kucukmehmetoglu, 2012; Zhu *et al*., 2022)، منابع آب و تخصیص حقوق (Eleftheriadou & Mylopoulos, 2008; Jalili Kamjoo & Khosh Akhlagh, 2016; da Silva *et al*., 2023)، مشکلات بهره‌برداری از مخازن آب (Shirangi *et al*., 2008) و مدیریت کیفیت آب (Shi *et al*., 2013; Olatinwo & Joubert, 2022) استفاده شده است. بااین‌وجود، نظریه بازی با ظرفیت کامل خود در تجزیه‌وتحلیل سامانه در مدیریت منابع آب و خاک به‌ویژه در مقیاس آبخیز کم‌تر مورداستفاده قرار گرفته است. در همین راستا، ادهمی و

[1] Multi Criteria Decision Making, MCDM
[2] Genetic Algorithm
[3] Analytical Hierarchy Process, AHP
[4] Fuzzy Logic System
[5] Decision Support System, DSS
[6] Multi Objective Programming, MOP
[7] Linear Programming
[8] Multi Linear Programming
[9] Voting Theory

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1285]

صادقی (Adhami & Sadeghi, 2016) آبخیزهای حوزه گرگان‌رود و قره‌سو را بر اساس رسوب‌دهی و با استفاده از نظریه بازی اولویت‌بندی کردند. برای این منظور، ۳۸ عامل مستقل در هفت مؤلفه با استفاده از روش تحلیل مؤلفه اصلی[1] طبقه‌بندی شدند. نتایج استفاده از روش Condorcet برای اولویت‌بندی معیارهای مؤثر نشان دادند که درصد اراضی جنگلی و دبی با ۱۰ سال دوره بازگشت به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین متغیر تأثیرگذار بر عملکرد رسوب بودند (Adhami & Sadeghi, 2016). در پژوهشی دیگر، با استفاده از نظریه بازی و چارچوب مدیریت مشارکتی[2] به ارائه سیاست کاربری اراضی پرداختند. در این پژوهش، از نظریه بازی در اولویت‌بندی ۱۳ زیرآبخیز گلازچای واقع در استان آذربایجان غربی و ارائه بهترین شیوه‌های مدیریت مشارکتی استفاده شد. در نهایت، هفت آبخیز دارای اولویت با استفاده از الگوریتم Borda مشخص شدند (Adhami *et al*., 2018). هم‌چنین، به اولویت‌بندی زیرآبخیزهای تالار در مازندران از دیدگاه فرسایش خاک پرداختند. آنها فرسایش را با استفاده از نسخه اصلاح‌شده معادله جهانی فرسایش خاک[3] محاسبه و سپس با استفاده از سه رویکرد نظریه بازی Fallback، Borda و Condorcet مناطق دارای فرسایش بالا را اولویت‌بندی کردند (Avand *et al.,* 2023). در پژوهشی دیگر، ضرورت مدیریت بین‌بخشی و بهره‌مندی از اجماع نظر گروداران اصلی با استفاده از رویکردهای نظریه بازی‌ها به‌منظور اولویت‌بندی آبخیزهای چشمه‌کیله واقع در شهرستان تنکابن بررسی شد. برای اولویت‌بندی آبخیزها از رویکردهای مبتنی‌بر نظریه بازی‌ها شامل رویکرد Condorcet، امتیازدهی Borda و چانه‌زنی Fallback استفاده شد. نتایج پژوهش نشان دادند که در هر سه رویکرد میزان اختلاف‌نظرها بین دو گروه بهره‌بردار محلی و نهاد سیاست‌گذاری کم‌تر بود و با بخش سازمان اجرایی اختلافات زیادی داشتند (Nasiri Khiavi *et al*., 2023). صادقی و همکاران (Sadeghi *et al.,* 2023) سلامت و امنیت بوم‌شناسی آبخیزهای اصلی ایران را مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج آن‌ها نشان دادند که سلامت آبخیزهای کارون بزرگ و دریاچه نمک در طبقه متوسط با گرایش منفی قرار داشت. در طبقه سلامت متوسط با گرایش مثبت نیز آبخیزهای سفیدرود، مرزی غرب، کرخه، جراحی و زهره، مند، کویر مرکزی و قره‌قوم قرارگرفتند. هم‌چنین، آبخیزهای ارس، دریاچه ارومیه، رودخانه‌های تالش، هراز و قره‌سو، قره‌سو و گرگان، اترک، نمک‌زار خواف، هامون هیرمند، کویر لوت، کویر سیاه‌کوه، گاوخونی، ابرقو سیرجان، طشک‌بختگان مهارلو، هامون جازموریان، بلوچستان جنوبی، کل‌مهران، حله، بندرعباس سدیج و هامون مشکیل در طبقه نسبتاً زیاد با گرایش منفی واقع شدند (Sadeghi *et al.,* 2023). اخیراً نیز صادقی و همکاران از رویکرد Condorcet تئوری بازی برای اولویت‌بندی تاکستان‌های آزمایشی[4] تحت تأثیر خشک‌سالی در Apennines ایتالیا استفاده کرده‌اند. در پژوهش مذکور، با استفاده از ۱۹ معیار فیزیکی وشیمیایی خاک، اولویت‌دارترین تاکستان‌ها در پاسخ به تنش خشکی در عمق‌های ۰-۳۰، ۳۰-۹۰ و ۰-۹۰ سانتی‌متری شناسایی شدند. نتایج پژوهش نشان دادند که تاکستان‌های موجود در مناطق BPR 2 و CRT 1 به‌ترتیب در اعماق ۰-۳۰ و ۳۰-۹۰ سانتی‌متری به‌عنوان اولویت‌دارترین تاکستان‌ها در مواجه با تنش خشکی انتخاب شدند، در حالی که در هر دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۹۰ سانتی‌متری، تاکستان‌های موجود در SMV1 به‌عنوان کم‌اولویت‌ترین تاکستان‌ها معرفی شدند (Sadeghi *et al.,* 2024).

بررسی پیشینه پژوهشی حاکی از آن است که تنها در یک پژوهش علمی صادقی و همکاران (Sadeghi *et al.,* 2023)، آبخیزهای رده دوم کشور (حوزه‌های آبخیز ۳۰گانه کشور) از لحاظ سلامت و امنیت بوم‌شناختی در مقیاس ملی با رویکرد PSR اولویت‌بندی شده‌اند. این در حالی است که از سایر رویکردهای اولویت‌بندی از جمله رویکردهای مبتنی بر تئوری بازی، برای اولویت‌بندی آبخیزهای ۳۰گانه کشور استفاده نشده است. از همین‌رو، در پژوهش حاضر ارزیابی مقایسه‌ای وضعیت و شرایط عملکردی آبخیزهای رده دوم کشور با استفاده از معیارهای در دسترس ملی با استفاده از الگوریتم Condorcet در تئوری بازی برنامه‌ریزی شده است تا با تکیه بر نتایج آن بتوان آبخیزهای رده دوم کشور با توجه به مقادیر معیارهای در دسترس ملی را اولویت‌بندی کرد. در همین راستا، از آن‌جایی که در رویکرد Condorcet تئوری بازی، مبنای اولویت‌بندی مقایسه‌های جفتی بین مقادیر معیارهای مطالعاتی است، بر همین اساس، از نظریه بازی و رویکرد Condorcet برای ارزیابی مقایسه‌ای و درنهایت اولویت‌بندی آبخیزهای رده دوم کشور با تکیه بر معیارهای در دسترس ملی استفاده شد. امید است که نتایج این پژوهش سیاست‌گذاران، مدیران و تصمیم‌گیران در مدیریت جامع آبخیزهای کشور و حفظ منابع آب‌وخاک را یاری کنند. اگرچه دستیابی به رویکردهای تفصیلی و اجرایی در مقیاس‌های عملیاتی نیازمند انجام پژوهش‌های گسترده‌تر با مقیاس بزرگ‌تر و در بخش‌ها و یا آبخیزهای با اولویت مدیریتی بالا است.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

پژوهش حاضر در سطح آبخیزهای رده دوم کشور و در مقیاس ملی انجام گرفته است که در شکل ۱ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، کشور به ۳۰ آبخیز بزرگ رده دوم تقسیم شده است (سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، ۱۴۰۲). در جدول ۱ نیز تقسیم‌بندی و مساحت هرکدام از آبخیزهای رده دوم کشور ارائه شده‌اند.

[1] Principal Component Analysis, PCA
[2] Best Co-Management Practices, BCMPs
[3] Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE
[4] Demo Farms

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1285]

تعیین معیارهای مورد استفاده برای اولویت‌بندی آبخیزهای رده دوم کشور

برای انجام این پژوهش از لایه‌های اطلاعاتی مختلف قابل‌دسترس و با مقیاس ملی شامل داده‌ها و اطلاعات اقلیمی، انسانی، هیدرولوژی و طبیعی برای اولویت‌بندی آبخیزها استفاده شد. در جدول ۲ متغیرهای تعیین‌شده و روش محاسبه هرکدام ارائه شده‌اند. باتوجه‌به ماهیت داده‌ها و مقیاس متفاوت آن‌ها و هم‌چنین غیر قابل مقایسه بودن آن‌ها، با استفاده از رابطه‌های (۱) و (۲)، و براساس سرشت معیارها و نوع اثرگذاری آن‌ها بر عملکرد آبخیزها، هم‌مقیاس شدند.

$$X_s = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$ رابطهٔ (۱)

$$X_s = \frac{X_{max} - X_i}{X_{max} - X_{min}}$$ رابطهٔ (۲)

تحلیل میزان اثر معیارهای مطالعاتی

معیارهای مختلف مورد استفاده بنا به سرشت و نوع آن‌ها بعضاً از هم‌بستگی درونی معنی‌داری برخوردار هستند و وجود این هم‌بستگی سبب بروز خطا در محاسبات می‌شود. بر این اساس، در این پژوهش برای شناسایی و حذف معیارهای دارای همبستگی از مجموعه داده‌ها و نقشه‌های ارائه‌شده (https://drive.google.com/file/d/1bDgUcxpET35lxwm-VXAwREDtHJViQdBS/view?usp=sharing) از آزمون عامل تورم واریانس (VIF) استفاده شد. در این آزمون، معیارهای با VIF بیش‌تر از ۱۰ از محاسبات حذف شدند (Sadeghi *et al*., 2022).

رویکرد نظریه بازی Condorcet

نظریه بازی از چهار بخش اساسی شامل تصمیم‌گیران، گزینه‌های ممکن، انتخاب‌ها و نتایج (منافع) تشکیل شده است. در این روش، بازی‌ها به سازندگان راهبرد اجازه می‌دهند تا در طول زمان از طریق بازی‌های مکرر تکامل یابند و بازیکنان معمولاً قبل از بازی ارتباطی ندارند (Madani, 2010; McKinney & Teasley, 2007). در پژوهش حاضر، از رویکرد تئوری بازی برای اولویت‌بندی آبخیزهای رده دوم کشور استفاده شد. رویکرد Condorcet برای تعیین بهترین گزینه در راستای تصمیم بهینه از روش مقایسه‌های جفتی استفاده می‌کند. در این رویکرد، از رتبه‌بندی ترجیحی و امتیازات صریح هر رأی‌دهنده استفاده می‌کند به‌طوری که هر رأی‌دهنده امتیازات را از کم‌ترین به بیش‌ترین ترجیح خواهد داد. یکی از اهداف اصلی رویکرد Condorcet ایجاد گروه‌هایی بر اساس همه اولویت‌های فردی (i) است (Rivest & Shen, 2010; Sadeghi *et al*., 2024). یعنی اگر:

$$O_j(A_j, A_k) = 1, \text{if and only if}, A_j > i.\ A_k \text{ and } O(A_j)$$ رابطهٔ (۳)

پس اگر رابطه زیر برقرار باشد.

$$O(A_j) = \sum_{k=1}^{n} O_j(A_j, A_k)$$ رابطهٔ (۴)

ردیف‌های ترجیحی رأی‌دهندگان از بالابه‌پایین عبارت‌اند از رأی‌دهنده ۱: A B C، رأی‌دهنده ۲: B A C و رأی‌دهنده ۳: C B A. طبق این ساختار، چارچوب ماتریس Condorcet به‌صورت زیر است (Nasiri Khiavi *et al*., 2023):

$$\begin{bmatrix} A & & B & C \\ A & - & B & A \\ B & B & - & B \\ C & A & B & - \end{bmatrix}$$ رابطهٔ (۵)

براساس مقایسه‌های جفتی، برنده در بین تمامی متغیرهای مورد بررسی (O) با تعداد دفعاتی که در ماتریس وجود دارد تعیین می‌شود (Avand *et al*., 2021). بنا بر این در رابطه ۵، گزینه B بیش‌تر و برنده است.

نتایج و بحث

برای انجام پژوهش حاضر از ۴۴ معیار قابل دسترس در مقیاس ملی در راستای اولویت‌بندی آبخیزهای مورد مطالعه استفاده شد. در همین ارتباط، پس از کمی‌سازی معیارهای نهایی تعیین شده برای این پژوهش، به‌دلیل حذف اثر همبستگی بین متغیرها، با استفاده از آزمون VIF معیارهای دارای همبستگی بالا مشخص شدند که در جدول ۳ ارائه شده‌اند. همان طور که مشاهده می‌شود، ۱۸ متغیر دارای مقادیر VIF بیش‌تر از ۱۰ هستند که از روند محاسبات حذف شدند.

کاربست رویکرد نظریه بازی Condorcet برای اولویت‌بندی آبخیزهای رده دوم کشور

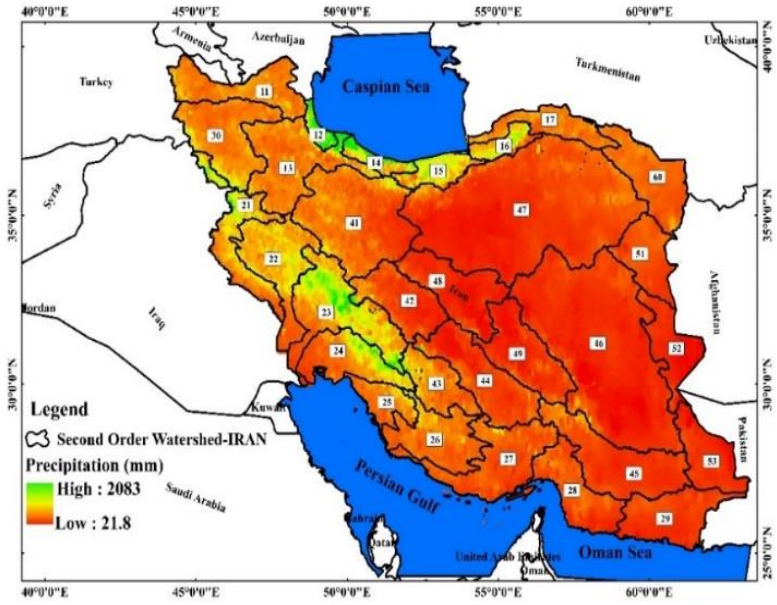
پس از نهایی‌سازی معیارهای مطالعاتی، مقادیر معیارها برای هر آبخیز برآورد و سپس این مقادیر نرمال شدند. در ادامه، آبخیزهای رده دوم کشور با استفاده از مقادیر هر یک از معیارهای مطالعاتی به شرح مندرج در جدول ۴ رتبه‌بندی شدند. در همین راستا آبخیزی که بهترین وضعیت را از لحاظ معیار مطالعاتی داشته باشد در رتبه اول و آبخیز با بدترین وضعیت در رتبه آخر قرار گرفتند و این روال برای تمامی معیارهای مطالعاتی مد نظر قرار گرفت. لازم به ذکر است که در جدول ۳ ردیف‌های با رنگ‌های یکسان به‌دلیل وجود مقادیر یکسان برای هر معیار دارای رتبه‌های واحدی هستند. به‌عنوان مثال، در معیار ۸، هر سه آبخیز ۶، ۱۱ و ۷ دارای رتبه ۱ هستند. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۴، می‌توان دریافت که آبخیزهای ۳۰گانه کشور در بین ۲۶ معیار مطالعاتی حداقل یک‌بار در رتبه‌های اول تا چهارم قرار گرفته‌اند. از طرفی دیگر، آبخیز قره‌سو و گرگان از بین ۲۶ معیار مطالعاتی در چهار معیار مطالعاتی تغذیه آب‌های زیرزمینی، نسبت مساحت طرح‌های اجرا شده به مساحت آبخیز، نسبت مساحت مطالعات انجام‌شده منابع طبیعی به مساحت آبخیز و مقدار فرسایش خاک در رتبه اول قرار گرفته است.

از آن‌جایی که در آبخیز قره‌سو و گرگان مساحت مطالعات و طرح‌های آبخیزداری نسبت به مساحت آبخیز بیش‌ترین مقدار را دارد، مقدار فرسایش آبخیز مذکور نیز کم‌تر از سایر آبخیزهای مطالعاتی است. از همین‌رو، کارایی مطالعات و اقدامات اجرایی آبخیزداری در کاهش فرسایش خاک به‌وضوح قابل تایید است. تکا و همکاران (Teka *et al.*, 2020) نیز بیان داشتند که کاربست رویکرد مدیریت جامع حوزه آبخیز در شمال اتیوپی باعث کاهش

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1285]

۵۰ درصدی فرسایش شد. علاوه بر این، بهره‌وری محصول، دسترسی به آب (آبیاری و خانگی) و دسترسی به علوفه به‌ترتیب ۲۲، ۳۳ و ۱۰ درصد افزایش یافتند (Teka *et al.*, 2020). از سوی دیگر، درآمد خانوار نیز پس از اجرای اقدامات آبخیزداری ۵۶ درصد افزایش یافت. از آنجایی که مساحت مناطق با فرسایش زیاد در آبخیز قره‌سو و گرگان همچنان بیشتر از سایر آبخیزها است، پیشنهاد می‌شود که برنامه‌های مدیریتی ویژه‌ای برای کاهش مساحت مناطق با فرسایش زیاد تدوین و اجرا شوند. این اقدامات می‌توانند شامل تقویت پوشش گیاهی، اجرای طرح‌های آبخیزداری و بهبود زیرساخت‌های محلی باشند. در همین ارتباط، آبخیز جراحی و زهره دارای کم‌ترین نسبت مساحت مناطق با فرسایش زیاد در بین آبخیزهای مطالعاتی است. این در حالی است که این آبخیز از لحاظ تراکم زهکشی، فرسایش ویژه و تراکم آبراهه‌های با رتبه چهار وضعیت خوبی ندارد. بنا بر این، در آبخیز مربوطه توجه به سایر عوامل مهم از جمله تراکم آبراهه‌ها و فرسایش ویژه برای بهبود وضعیت کلی منطقه ضروری است. آبخیز رودخانه‌های تالش نیز در معیارهای اختلاف دما، نسبت مساحت با فرسایش زیاد به مساحت آبخیز، نسبت مساحت دشت‌های ممنوعه به مساحت آبخیز و پوشش گیاهی در مقایسه با غالب آبخیزها وضعیت مناسبی دارد. وضعیت آبخیز تالش در معیارهای نسبت دخالت‌های انسانی به مساحت آبخیز، نسبت مساحت مناطق سیل‌خیز به مساحت آبخیز، تراکم گسل و غلظت کربن مونواکسید خوب نیست و آبخیز رودخانه تالش با توجه به معیارهای مذکور در رتبه‌های آخر قرار گرفته است.

این موضوع نشان می‌دهد که علی‌رغم وضعیت طبیعی مناسب، دخالت‌های انسانی و شیب بالای رودخانه‌ها باعث افزایش خطر سیل و فرسایش شده‌اند و نیاز به برنامه‌های مدیریتی و نظارتی بیشتری در این منطقه حس می‌شود. در بین آبخیزهای مطالعاتی، آبخیز ابرقو و سیرجان از لحاظ معیار نسبت مناطق سیل‌خیز به مساحت آبخیز بهترین وضعیت را دارد. شیب متوسط کم، کم‌بودن میزان دخالت‌های انسانی و اراضی حساس به فرسایش آبخیز ابرقو و سیرجان می‌توانند از دلایل عمده کم بودن مناطق سیل‌خیز نسبت به سایر آبخیزها باشند. از این‌رو، می‌توان پیشنهاد کرد که مناطق با شیب زیاد و تراکم آبراهه بالا به‌منظور کاهش سیل‌خیزی تحت اقدامات حفاظتی بیشتر قرار گیرند.



شکل ۱- نمای کلی از حوزه‌های آبخیز رده دوم کشور

Figure 1. An overview of Iran's Second-Order Watersheds

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1285]

جدول ۱- فهرست حوزه‌های آبخیز رده دوم ایران

Table 1. The list of Iran's Second-Order Watersheds

کد Code	حوزه آبخیز رده دوم Second-Order Watersheds	مساحت (کیلومتر مربع) Area (km^2)	کد Code	حوزه آبخیز رده دوم Second-Order Watersheds	مساحت (کیلومتر مربع) Area (km^2)
1	حوزه آبخیز کویر ابرقو – سیرجان Abarghou- Sirjan Desert Watershed	58030	16	حوزه آبخیز رودخانه کارون بزرگ Large Karoon River Watershed	66248
2	حوزه آبخیز رودخانه اترک Atrak River Watershed	26766	17	حوزه آبخیز رودخانه کرخه Karkheh River Watershed	51796
3	حوزه آبخیز رودخانه ارس Aras river watershed	39900	18	حوزه آبخیز رودخانه‌های کل، مهران و مسیل‌های جنوبی و جزایر Kal, Mehran, and southern rivers Watershed	61880
4	حوزه آبخیز رودخانه‌های بلوچستان جنوبی بین سدیج و مرز پاکستان Southern Balochistan and Pakistan Border Watershed	49113	19	حوزه آبخیز کویرهای درانجیر و ساغر Daranjir and Saghar Desert Watershed	50478
5	حوزه آبخیز رودخانه‌های بین بندرعباس و سدیج Bandar Abbas and Sedij Border Watershed	45159	20	حوزه آبخیز کویرهای سیاه‌کوه، ریگ زرین و دق سرخ Siahkooh, Rigeh Zarin, and Dagh Sorkh Desert Watershed	48771
6	حوزه آبخیز جراحی و زهره Jarahi and Zohreh Watershed	40717	21	حوزه آبخیز کویر لوت Lut Desert Watershed	206035
7	حوزه آبخیز حله و مسیل‌های کوچک دو طرف آن Halleh watershed and small rivers on both sides of it	21308	22	حوزه آبخیز کویر مرکزی Central Desert Watershed	226336
8	حوزه آبخیز دریاچه ارومیه Lake Urmia watershed	52020	23	حوزه آبخیز گاوخونی Gavkhooni Watershed	41464
9	حوزه آبخیز دریاچه نمک Salt Lake watershed	92475	24	حوزه آبخیز رودخانه‌های مرزی غرب Western Border Rivers Watershed	39618
10	حوزه آبخیز رودخانه‌های بین سفیدرود و هراز Sefidroud and Haraz Watershed	10933	25	حوزه آبخیز رودخانه مند و حوزه‌های بسته هرم، کاریان و خنج Mand River and Heram, Karian, and Khanj closed watersheds	47753
11	حوزه آبخیز رودخانه‌های تالش – مرداب انزلی Tashk-Bakhtegan and Maharlo Lakes Watershed	6704	26	حوزه آبخیز دق پترگان – نمک‌زار خواف Degh-Petergan-Khaf Salt Marsh Watershed	32882
12	حوزه آبخیز سفیدرود Sefidroud Watershed	59244	27	حوزه آبخیز هامون و جازموریان Hamoon and Jazmoorian Watershed	69854
13	حوزه آبخیز دریاچه‌های طشک – بختگان و مهارلو Tashk-Bakhtegan and Maharlo Lakes	31567	28	حوزه آبخیز هامون مشکیل Hamoon-Mashkil Watershed	36640
14	حوزه آبخیز رودخانه‌های قره‌سو و گرگان Qarehsou and Gorgan Watershed	13151	29	حوزه آبخیز هامون هیرمند گودرزه " Hamoon Hirmand (Goodarzeh) Watershed	33714
15	حوزه آبخیز قره‌قوم Qarehqom Watershed	43986	30	حوزه آبخیز رودخانه هراز و رودخانه‌های بین هراز و قره‌سو The watershed of Haraz River and the rivers between Haraz and Qarasu	18348

جدول ۲- معیارها و شاخص‌های اولیه در ارزیابی اولویت‌بندی جامع حوزه‌های آبخیز رده دو ایران

Figure 2. Primary criteria and indicators in the evaluation of the comprehensive prioritization of Iran's Second-Order Watersheds

متغیر Variable	منبع یا روش محاسبه Reference or method of calculation	متغیر Variable	منبع یا روش محاسبه Reference or method of calculation
زمین‌های تحت تأثیر سرمایه‌گذاری ملی Lands affected by national investment	نقشه کاربری اراضی ایران Land-use map of Iran	اختلاف ارتفاع Height difference	نقشه ۳۰ متری مدل رقومی ارتفاع Digital elevation model map30 meter
مساحت دشت‌های ممنوعه به سطح آبخیز The area of the forbidden plains to the watershed level	سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور (۱۴۰۲) Iran's Natural Resources and (2023) Watershed Organization	شیب متوسط Moderate slope	نقشه ۳۰ متری مدل رقومی ارتفاع Digital elevation model map30 meter
نسبت اراضی حساس به فرسایش به سطح آبخیز The ratio of land sensitive to erosion to watershed surface	سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور (۱۴۰۲) Iran's Natural Resources and (2023) Watershed Organization	اختلاف دمای کمینه و بیشینه Minimum and maximum temperature difference	سازمان هواشناسی ایران (۱۴۰۰-۱۳۷۰) Iran Meteorological Organization (1991-2020)
نسبت اراضی سیل‌خیز به سطح آبخیز The ratio of flood-prone lands to watershed surface	سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور (۱۴۰۲) Iran's Natural Resources and Watershed Organization (2023)	شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده شش‌ماهه دوره غالب بارش در کشور Normalized vegetation cover difference index for six months of the predominant rainfall period in the country	محصولات MODIS et al. (2022) Lunetta
تراکم گسل Fault density	Sadeghi et al. (2018a)	شاخص فرسایندگی باران Rain erosion index	Sadeghi and Hazbavi (2017) Sadeghi and Tavangar (2015) Sadeghi et al. (2018a)
عمق آب سطحی معادل Equivalent surface water depth	محصولات NASA Banerjee and Kumar (2018)	متوسط تبخیر و تعرق سالانه Average annual evapotranspiration	سازمان هواشناسی ایران (۱۴۰۰-۱۳۷۰) Iran Meteorological Organization (1991-2020)
میزان برداشت انسان از آب‌های زیرزمینی The amount of human withdrawal from underground water	Ashraf et al. (2021)	تراکم جاده Road congestion	Sadeghi et al. (2018a)
مهاجرت Migration	مرکز آمار ایران Statistical Center of Iran	تقاطع جاده با آبراهه The intersection of the road and the waterway	همپوشانی جاده و آبراهه Overlap of road and waterway

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1285]

ادامه جدول ۲- معیارها و شاخص‌های اولیه در ارزیابی اولویت‌بندی جامع حوزه‌های آبخیز رده دو ایران

Figure 2. Continued. Primary criteria and indicators in the evaluation of the comprehensive prioritization of Iran's Second-Order Watersheds

متغیر Variable	منبع یا روش محاسبه Reference or the method of calculation	متغیر Variable	منبع یا روش محاسبه Reference or the method of calculation
نسبت مساحت مناطق مطالعه‌شده به مساحت حوزه آبخیز The ratio of the area of the studied areas to the area of the watershed	سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور (۱۴۰۲) Iran's Natural Resources and Watershed Organization (2023)	حجم تغذیه آب زیرزمینی Groundwater supply volume	تقسیم وسعت مناطق مطالعه‌شده به مساحت آبخیز (Ashraf *et al.*, 2021) Dividing the size of the studied areas into watershed area (Ashraf *et al.*, 2021)
نسبت مساحت پروژه‌های اجراشده به مساحت حوزه آبخیز The ratio of the area of implemented projects to the area of the watershed	سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور (۱۴۰۲) Iran's Natural Resources and Watershed Organization (2023)	میزان افت سطح آب زیرزمینی The amount of groundwater level drop	تقسیم وسعت مناطق تحت پوشش اقدامات به مساحت آبخیز (Ashraf *et al.*, 2021) Dividing the size of the studied areas into watershed area (Ashraf *et al.*, 2021)
تراکم زهکشی Drainage density	نقشه ۳۰ متری مدل رقومی ارتفاع Meter-high digital model map−30	نسبت اراضی با فرسایش زیاد به سطح آبخیز The ratio of lands with high erosion to watershed surface	سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور (۱۴۰۲) Iran's Natural Resources and Watershed Organization (2023)
شیب تغییرات دبی The slope of the flow changes	Vafakhah et al. (2023)	تغییرات آب زیرزمینی Groundwater changes	Ashraf *et al.* (2021)
شوری آب زیرزمینی Groundwater salinity	Ashraf et al. (2021)	شاخص طبیعت‌گرایی Naturalism index	Sadeghi *et al.* (2023)
تراکم جمعیت Population density	مرکز آمار ایران (۱۳۹۵) Iran Statistics Center (2016)	شاخص خشکسالی Palmer Palmer drought index	MODISمحصولات Abatzoglou *et al.* (2018)
شاخص تکه‌تکه شدگی Fragmentation index		تداوم گرد و غبار Continuity of dust	محصولات MODIS (۱۴۰۲) MODIS products Liang et al ,(2015)
شاخص تجمع Aggregation index		غلظت مونواکسیدکربن Carbon monoxide concentration	Sentinelمحصولات et al. (2018) Borsdorff
شاخص بزرگترین لکه Index of the largest stain			
شاخص سرایت Contagion index	محصولات MODIS Liang *et al.* (2015)		
شاخص تداخل Interference index			
شاخص تنوع شانون Shannon diversity index	MODIS products Liang *et al* (2015)	غلظت دی‌اکسیدنیتروژن Nitrogen dioxide concentration	Sentinelمحصولات Petetin *et al.* (2023)
شاخص یکنواختی شانون Shannon uniformity index			
شاخص پیوستگی Continuity index			
شاخص تعداد لکه Spot number index			

جدول ۳- مقادیر VIF معیارهای مورداستفاده برای اولویت‌بندی آبخیزهای رده دوم کشور

Table 3. VIF values of the criteria used to prioritize Iran's Second-Order Watersheds

متغیر Variable	VIF	متغیر Variable	VIF
شاخص فرسایندگی باران Rain erosion index	4.08	تغذیه آب‌های زیرزمینی Groundwater feeding	2.13
شیب متوسط Moderate slope	12.88	نسبت مساحت منطقه سیل‌خیز به مساحت آبخیز The ratio of the area of the flood zone to the area of the watershed	3.94
اختلاف ارتفاع کمینه و بیشینه Minimum and maximum height difference	2.77	نسبت مساحت با فرسایش زیاد به مساحت آبخیز The ratio of the area with high erosion to the watershed area	3.39
تراکم جاده Road density	2.05	شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده Normalized vegetation cover index	63.43
نسبت اراضی حساس به فرسایش Proportion of land sensitive to erosion	1.37	شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده شش‌ماهه دوره غالب بارش در کشور The normalized vegetation cover index of six months of the dominant rainfall period in the country	3.11
بارندگی Rainfall	54.67	جمعیت population	1.79
اختلاف دما Temperature difference	7.27	تراکم گسل Fault density	3.38
تراکم زهکشی Drainage density	6.43	غلظت دی‌اکسید نیتروژن (میکرومول بر مترمربع) Nitrogen dioxide concentration (micromol/m2)	23.90
تراکم آبراهه با رتبه ۴ Drainage density with fourth -Order	8.69	غلظت مونواکسیدکربن (میکرومول بر مترمربع) Carbon monoxide concentration (micromole per square meter)	6.00
مساحت مناطق حفاظت شده Area of protected regions	7.91	شاخص عمق نوری هواویز Air depth indicator	15.73
تراکم جمعیت Population density	69.25	تعداد لکه Number of spots	15.14
تغییرات ذخیره آب زیر زمینی Changes in ground water storage	17.89	شاخص بزرگ‌ترین لکه Index of the largest spot	105.56
نسبت مساحت دخالت انسانی به سطح آبخیز The ratio of the area of human interference to the surface of the watershed	3.38	شاخص سرایت Contagion index	2931.00

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1285]

ادامه جدول ۳- مقادیر VIF معیارهای مورداستفاده برای اولویت‌بندی آبخیزهای رده دوم کشور

Table 3. Continued. VIF values of the criteria used to prioritize Iran's Second-Order Watersheds

VIF	متغیر Variable	VIF	متغیر Variable
100.71	شاخص تداخل Interference index	9.86	شاخص طبیعت‌گرایی Naturalism index
176.45	شاخص پیوستگی Continuity index	6.49	نسبت مساحت دشت‌های ممنوعه به مساحت آبخیز The ratio of the area of the forbidden plains to the area of the watershed
165.50	شاخص تکه‌تکه‌شدگی Fragmentation index	4.66	فرسایش ویژه Special erosion
127.43	شاخص تنوع شانون Shannon diversity index	7.60	شاخص خشک‌سالی Palmer Palmer drought index
1617.00	شاخص یکنواختی شانون Shannon uniformity index	19.52	رطوبت سطحی Surface moisture
420.13	شاخص تراکم لکه Spot density index	12.47	شاخص شوری Salinity index
1.21	فرسایش خاک Soil erosion	960.30	شاخص تجمع Aggregation index
2.12	نسبت مساحت طرح‌های اجراشده به مساحت آبخیز The ratio of the area of implemented projects to the area of the watershed	1.30	میزان جمعیت اضافه شده به هر آبخیز The amount of population added to each watershed
1.96	نسبت مساحت مطالعات انجام‌شده منابع طبیعی به مساحت آبخیز The ratio of the area of natural resources studies to the watershed area	1.32	برداشت انسانی از منابع آب زیرزمینی Human extraction of groundwater resources

بررسی معیارهای مطالعاتی حاکی از آن بود که کم‌ترین میزان فرسایندگی باران به آبخیز هامون و مشکیل تعلق داشت. در همین ارتباط، وضعیت این آبخیز براساس معیارهای میزان جمعیت، مساحت مناطق حفاظت شده، شاخص طبیعت‌گرایی و شاخص خشک‌سالی پالمر نسبت به غالب آبخیزهای کشور از وضعیت بهتری برخوردار است. با این وجود، علی‌رغم بالابودن مساحت مناطق حفاظت‌شده و شاخص طبیعت‌گرایی، میزان فرسایش و نسبت مساحت سیل‌خیز به مساحت منطقه در این آبخیز بالا است. از آن‌جایی که مطالعات مرتبط با منابع طبیعی نیز در این آبخیز بسیار کم هستند، برهمین اساس افزایش مطالعات و اقدامات اجرایی در آبخیز هامون و مشکیل در کاهش فرسایش خاک و مساحت مناطق سیل‌خیز ضروری به‌نظر می‌رسد. بررسی وضعیت هامون هیرمند و هامون جازموریان بر اساس معیارهای مطالعاتی نشان می‌دهد که وضعیت هامون هیرمند در غالب معیارهای مطالعاتی از هامون مشکیل و هامون جازموریان بهتر است. در همین ارتباط، وضعیت این آبخیز از لحاظ معیارهای جمعیت، تراکم آبراهه، جاده و آبراهه‌های با رتبه ۴ و فرسایندگی باران بسیار خوب است و در رتبه‌بندی آبخیزهای مطالعاتی، آبخیز هامون و هیرمند از لحاظ معیارهای مذکور در رتبه‌های یک تا شش قرار گرفته است. آبخیز بلوچستان‌جنوبی نیز در مجاورت آبخیز هامون و مشکیل قرار گرفته است. از همین‌رو، بررسی مقادیر ۲۶ معیار مطالعاتی در آبخیز بلوچستان جنوبی نشان می‌دهد که میزان تبخیر و وسعت دشت‌های ممنوعه در این آبخیز نسبت به سایر آبخیزها کم است. شاخص طبیعت‌گرایی، تراکم آبراهه‌های با رتبه ۴ و هم‌چنین میزان جمعیت در این منطقه در مقایسه با اکثر آبخیزها وضعیت بهتری دارند. از سوی دیگر، میزان مهاجرت آبخیز بلوچستان جنوبی فقط از آبخیزهای هامون مشکیل، هامون هیرمند و کویر درانجیر بیش‌تر است. با این حال، جریان خروجی انسانی، تراکم جاده و گسل، میزان فرسایش و غلظت گاز کربن مونواکسید در این آبخیز بالا هستند. وجود بنادر، تردد کشتی‌ها و وسایل ترابری در آبخیز مذکور می‌تواند دلیلی بر غظت بالای گاز مونواکسیدکربن باشد. هم‌چنین، نسبت مساحت مطالعات و طرح‌های انجام شده در این آبخیز از غالب آبخیزهای مطالعاتی کم‌تر است. از همین‌رو، انتظار می‌رود که با افزایش مطالعات و اجرای طرح‌های مرتبط با منابع طبیعی، فرسایش خاک کاهش یابد. هم‌چنین، با افزایش سطح درآمد و امنیت اجتماعی خانوار از جریان خروجی انسانی در منطقه کاسته شود. در همین راستا، تافنگچی مهیاری و همکاران (Tafangchi Mahyari *et al*., 2021) بیان داشتند که ویژگی‌های جمعی و فردی توسعه، درآمد رفاه و امنیت اجتماعی و تنوع امکانات شهری و قومیت‌ها بیش‌ترین تأثیر را بر نرخ خالص مهاجرت در کشور در دوره ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۵ داشتند.

بررسی وضعیت کویرهای چهارگانه کشور نشان می‌دهد که اگرچه این کویرها از لحاظ شرایط اقلیمی و بوم‌شناسی شباهت‌های بسیاری دارند، اما از نظر شاخص‌های مختلف مدیریتی و زیست‌محیطی تفاوت‌هایی اساسی بین آن‌ها وجود دارند. در این بین، کویر درانجیر و کویر لوت نسبت به کویرهای سیاه‌کوه و مرکزی شرایط بهتری دارند. به‌طور خاص، در کویر درانجیر شاخص‌هایی چون طبیعت‌گرایی، تغذیه آب‌های زیرزمینی، غلظت کربن منوکسید، تراکم آبراهه‌های با رتبه ۴، مهاجرت، فرسایش ویژه، جمعیت و جریان خروجی انسانی، در مقایسه با دیگر زیرآبخیزها وضعیت مطلوب‌تری را نشان می‌دهند. با این‌حال، اختلاف دمای بالا در این کویر می‌تواند از چالش‌های عمده در مدیریت محیط زیستی این منطقه باشد. در کویر لوت نیز وضعیت مشابهی مشاهده می‌شود، با این تفاوت که در معیارهای مختلفی همچون نسبت طرح‌های اجرا شده به مساحت آبخیز، نسبت مساحت مطالعات منابع طبیعی به مساحت آبخیز، فرسایش و اختلاف دما، وضعیت نسبت به کویر درانجیر کمی نامطلوب‌تر است.

در خصوص کویر سیاه‌کوه، اگرچه نسبت اراضی حساس به فرسایش در این کویر کمتر از دیگر آبخیزها است، اما میزان فرسایش خاک تنها از هفت آبخیز کمتر است. این مسئله نشان‌دهنده اهمیت بیشتر اقداماتی همچون کاهش فعالیت‌های انسانی، مدیریت جاده‌ها و بهبود طرح‌های آبخیزداری است. همچنین، در این منطقه مشکلاتی چون کمبود مناطق حفاظت‌شده، تراکم جاده‌ها، و ضعف در تغذیه آب‌های زیرزمینی و زهکشی مشاهده می‌شوند که در صورت عدم مدیریت صحیح می‌توانند به تشدید فرسایش خاک و تخریب محیط زیست منجر شوند. از سوی دیگر، کویر مرکزی در معیارهای مختلفی همچون تبخیر، نسبت مساحت دخالت انسانی به سطح آبخیز، فرسایش ویژه و شاخص طبیعت‌گرایی وضعیت نسبتاً مناسبی دارد. با این حال، در معیارهای دیگری مانند اختلاف ارتفاع کمینه و بیشینه، جمعیت، مساحت مناطق حفاظت‌شده، مهاجرت و مطالعات منابع طبیعی، شرایط این کویر نامناسب است. به‌نظر می‌رسد که بهبود شرایط در

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1285]

این منطقه نیازمند توجه ویژه به تقویت طرح‌های اجرایی حفاظت منابع طبیعی و مدیریت بهینه آبخیزداری باشد.

پس از رتبه‌بندی آبخیزهای رده دو کشور در هر یک از معیارها، اولویت‌بندی آبخیزهای مذکور با استفاده از رویکرد Condorcet تئوری بازی صورت پذیرفت. امتیاز و اولویت آبخیزهای مطالعاتی در جدول ۶ ارائه شده‌اند. بر اساس جدول ۵، آبخیز جراحی و زهره با ۳ امتیاز کم‌ترین و آبخیز کویردرانجیر با ۵۴ امتیاز بیش‌ترین امتیاز را به خود اختصاص داده‌اند. در این روش، هرچه امتیاز کسب‌شده کم‌تر باشد، شرایط آن آبخیز وخیم‌تر است. لذا همان طور که در جدول ۵ نیز ارائه شده است، آبخیز جراحی و زهره بدترین شرایط را دارد. آبخیز کویر درانجیر از بهترین شرایط برخوردار است. بررسی‌های انجام شده در پژوهش صادقی و همکاران (Sadeghi *et al.*, 2023) در ارزیابی سلامت آبخیزهای رده دوم کشور نیز نشان می‌دهند که آبخیز درانجیر دارای فشار کم نسبت به سایر آبخیزها است. میزان سلامت آبخیز مذکور نیز نسبتاً زیاد تعیین شده است که نتایج پژوهش حاضر را تأیید می‌کند.

بر همین اساس، شناخت اثرات مختلف تغییر در کاربری اراضی در آبخیزهای مذکور می‌تواند راهگشای مشکلات بسیاری باشد (Masoomi *et al.*, 2020). علاوه بر تغییرات کاربری اراضی، تغییرات کاهشی ذخیره آب زیرزمینی در نتیجه برداشت بی‌رویه آب به‌خصوص در آبخیزهای قره قوم، کرخه، مرزی غرب، کارون بزرگ، جراحی و زهره، حله و دریاچه نمک سبب افت معنی‌دار در سطح آب‌های زیرزمینی خواهند شد (Akbarzadeh & Nikoo, 2022). باگذشت زمان و ادامه شرایط موجود، سطوح آبی و دریاچه‌های موجود در آبخیزها خشک می‌شوند و ارائه خدمات مختلف آن‌ها در کم‌ترین حالت ممکن خواهد بود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که معیارهای مختلف به‌خصوص عوامل اقلیمی و انسانی اثرات مخرب زیادی بر خدمات بوم‌سازگان و هم‌چنین عملکرد آن‌ها داشته‌اند. از آن جایی که زمین جزو منابع تجدیدناپذیر است، دسترسی عادلانه به آن و ارائه راهکارهای اصولی در راستای توسعه پایدار امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر تلقی می‌شود (Faal Jalali *et al.*, 2021).

جدول ۴- رتبه‌بندی آبخیزهای ۳۰گانه کشور براساس مقادیر معیارهای مطالعاتی

Table 4. Ranking of 30 watersheds of the country based on the values of the study criteria

30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Watershed حوزه آبخیز
30	29	28	*	26	25	1	1	1	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	1	9	1	7	1	5	4	1	2	*	1
30	29	*	2	2	2	24	23	1	21	20	19	2	17	16	2	14	13	2	11	10	9	2	*	2	*	2	3	*	2	2
30	29	28	3	26	25	24	23	3	21	20	19	3	17	16	3	14	13	12	11	10	9	3	7	3	3	3	*	3	1	3
4	29	28	27	26	25	*	4	4	21	4	19	18	4	4	15	*	*	12	4	*	9	8	4	4	4	*	3	2	4	4
5	29	28	*	*	5	24	5	5	21	5	19	18	17	*	15	14	*	12	11	10	9	8	7	5	*	4	3	*	5	5
30	29	28	27	26	25	24	23	*	21	20	19	18	17	*	15	14	13	12	11	10	9	*	7	*	5	4	3	2	1	6
30	29	28	7	*	7	24	7	7	21	20	19	18	17	*	7	14	7	7	11	7	9	7	*	7	7	4	7	*	7	7
30	*	28	8	*	25	24	23	8	21	*	19	18	17	16	8	14	13	12	11	10	*	*	7	*	8	8	3	2	1	8
30	29	28	9	9	9	9	9	22	21	9	19	18	17	9	15	14	13	9	*	10	*	*	9	9	9	9	9	9	9	9
30	29	28	10	26	25	*	10	10	21	*	19	*	*	10	10	14	10	10	*	*	10	10	7	10	10	*	10	10	1	10
30	29	*	*	*	11	11	11	11	21	11	19	11	17	11	11	14	11	11	*	*	*	11	11	11	11	4	11	11	11	11
30	29	12	12	26	25	24	23	12	21	12	19	18	17	16	15	14	13	*	11	10	9	12	7	12	12	12	12	2	12	12
13	29	28	13	13	13	13	13	*	21	13	19	18	17	13	13	14	*	13	11	10	13	13	7	13	*	*	13	14	13	13
14	29	28	14	14	14	14	14	14	21	14	19	18	14	14	14	*	14	14	14	14	14	14	14	14	14	*	14	14	14	14
30	15	28	15	26	15	*	23	15	21	15	19	*	17	16	*	14	13	15	11	10	15	8	7	15	15	15	3	2	15	15
30	29	*	16	16	16	24	23	16	21	16	19	18	17	*	16	14	13	16	11	10	9	16	*	*	*	4	16	16	16	16
30	29	*	17	17	17	17	17	17	17	17	17	18	*	17	17	14	17	17	17	*	17	17	17	17	17	4	17	17	17	17
18	*	28	*	18	18	*	18	18	18	18	19	*	18	18	*	18	18	18	11	18	18	18	18	18	18	18	3	2	18	18
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	*	19	17	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
30	29	28	20	26	20	*	20	22	21	*	19	18	17	16	15	14	13	12	11	*	9	*	20	20	5	4	20	20	20	20
21	21	28	21	21	21	21	21	21	*	21	21	18	17	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
30	29	28	27	26	25	24	23	*	21	22	19	18	17	16	15	14	*	12	11	10	22	8	7	*	5	4	3	1	1	22
23	29	28	23	26	23	*	*	23	21	20	19	18	17	23	23	14	13	23	11	10	9	23	7	23	5	4	23	24	1	23
30	24	28	24	26	24	*	*	24	21	*	19	*	17	24	*	14	13	24	11	*	9	24	24	24	24	*	24	24	1	24
30	29	28	25	25	*	24	23	25	21	20	19	18	17	16	15	14	13	25	11	25	9	25	7	25	5	25	25	2	25	25
30	29	28	26	*	25	26	26	26	21	26	19	18	17	16	26	14	13	26	*	26	9	*	*	26	*	26	26	2	26	26
30	29	28	*	26	25	24	23	27	21	20	19	*	17	16	15	14	13	12	*	10	9	8	7	27	*	27	3	2	*	27
28	28	*	28	28	28	28	28	28	28	28	19	28	*	*	28	28	28	12	*	28	28	28	28	28	28	28	28	*	28	28
29	*	28	29	29	29	24	29	29	21	29	19	*	29	29	15	29	29	29	29	29	29	*	29	29	29	29	29	29	29	29
*	29	28	30	30	30	30	23	30	21	30	19	18	30	30	30	14	13	30	30	30	30	30	30	30	30	5	4	30	30	30

راهنما: سلول‌های رنگی و با علامت ستاره از امتیاز مساوی در اولویت‌بندی برخوردار بوده‌اند.

Note: Color cells with stars have similar ranking.

نتایج پژوهش حاضر می‌توانند به‌عنوان پیش‌نیازی در شناسایی معیارهای اثرگذار و انتخاب رویکردهای مدیریتی متناسب با آن‌ها برای کاهش اثرات تخریبی در آبخیزهای رده دوم کشور در اختیار مدیران و بخش‌های مربوطه قرار گیرند. اولویت‌بندی آبخیزهای رده دوم کشور در شکل ۲ ارائه شده است. براساس نتایج حاصل از شکل ۲، می‌توان دریافت که با توجه به معیارهای مطالعاتی وضعیت و شرایط عملکردی آبخیز جراحی و زهره در جنوب‌غربی، آبخیز هامون جازموریان در جنوب‌شرقی، آبخیز بندرعباس–سدیج در جنوب، آبخیزهای کویر مرکزی و ابرقو سیرجان در مرکز و آبخیزهای دریاچه ارومیه، سفیدرود و ارس در شمال‌غربی در مقایسه با سایر آبخیزها ضعیف هستند و باید بیش‌تر مورد توجه قرار گیرند. نتایج نشان می‌دهند که آبخیزهای مطالعاتی در این اولویت‌بندی شامل مناطقی با ویژگی‌های بوم‌شناسی و انسانی متفاوت هستند. از این‌رو، مدیریت یکسان و عمومی برای تمامی این آبخیزها ممکن است نه تنها ناکارآمد، بلکه منجر به افزایش مشکلات و چالش‌ها در برخی مناطق شود. به‌عنوان مثال، در

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1285]

آبخیزهایی که با کمبود منابع آبی مواجه هستند، مانند آبخیزهای دریاچه ارومیه، ارس و سفیدرود، رویکردهای مبتنی بر حفظ و مدیریت منابع آبی، استفاده بهینه از آب و کاهش تأثیرات خشکسالی باید در اولویت قرار گیرند. در همین راستا، یکی از راه‌حل‌های کلیدی می‌تواند تقویت طرح‌های احیای منابع آب زیرزمینی، کاهش مصرف بی‌رویه آب و استفاده از فناوری‌های نوین در کشاورزی برای افزایش بهره‌وری آب باشد. در مقابل، در مناطقی با فشارهای انسانی بالا، نظیر رودخانه‌های تالش و سفیدرود، نیاز به رویکردهای مدیریتی جامع و یکپارچه برای کنترل و کاهش آثار مخرب مداخلات انسانی (همچون تغییرات در کاربری اراضی) و حفظ تعادل بوم‌شناسی ضروری است.

جدول ۵- مقادیر امتیاز و اولویت آبخیزهای رده دوم کشور با استفاده از رویکرد Condorcet

Table 5. Values and priority values of Iran's Second-Order Watersheds using the Condorcet approach

اولویت Priority	امتیاز Score	حوزه آبخیز Watershed	اولویت Priority	امتیاز Score	حوزه آبخیز Watershed
16	28	حوزه آبخیز خواف Khaf Watershed	1	3	حوزه آبخیز جراحی و زهره Jarahi and Zohreh Watershed
17	29	حوزه آبخیز حله Helleh River Watershed	2	6	حوزه آبخیز مرکزی Central Desert Watershed
18	30	حوزه آبخیزمرز غربی Western Border Rivers Watershed	3	10	حوزه آبخیز هامون و جازموریان Hamoon and Jazmoorian Watershed
19	31	حوزه آبخیز سفیدرود و هزار Sefidroud and Haraz Watershed	4	15	حوزه آبخیز ابرقو-سیرجان Abarghou- Sirjan Desert Watershed
20	32	حوزه آبخیز دریاچه نمک Salt Lake Watershed	5	15	حوزه آبخیز دریاچه ارومیه Urmia Lake Watershed
21	35	حوزه آبخیز تشت-بختگان و مهارلو Tashk-Bakhtegan and Maharlo Lakes Watershed	6	18	حوزه آبخیز ارس Aras River Watershed
22	38	حوزه آبخیز هراز و قره سو Haraz and Qarehsou Watershed	7	19	حوزه آبخیز بندرعباس و سدیج Watershed Bandar Abbas and Sedij Border
23	39	حوزه آبخیز تالش Talesh-Mordab Anzali RiversWatershed	8	19	حوزه آبخیز سیاهکوه Sorkh Desert Siahkooh, Rigeh Zarin, and Dagh Watershed
24	43	حوزه آبخیز کل-مهران Watershed Kal, Mehran, and southern rivers	9	20	حوزه آبخیز سفیدرود Sefidroud Watershed
25	46	حوزه آبخیز کرخه Karkheh River Watershed	10	20	حوزه آبخیز مند و مهران Khanj closed Mand River and Heram, Karian, and watersheds
26	46	حوزه آبخیز هامون هیرمند Hamoon Hirmand (Goodarzeh)Watershed	11	23	حوزه آبخیز اترک Atrak River Watershed
27	47	حوزه آبخیز گرگان و قره‌سو Qarehsou and Gorgan Watershed	12	23	حوزه آبخیز گاوخونی Gavkhooni Watershed
28	49	حوزه آبخیز هامون مشکیل Hamoon-Mashkil Watershed	13	24	حوزه آبخیز قره‌قوم Qarehqom Watershed
29	50	حوزه آبخیز کویر لوت Lut Desert Watershed	14	26	آبخیز مرزی بلوچستان جنوبی و پاکستان Border Watershed Southern Balochistan and Pakistan
30	54	حوزه آبخیز درانجیر Daranjir and Saghar Desert Watershed	15	26	حوزه آبخیز کارون بزرگ Large Karoon River Watershed

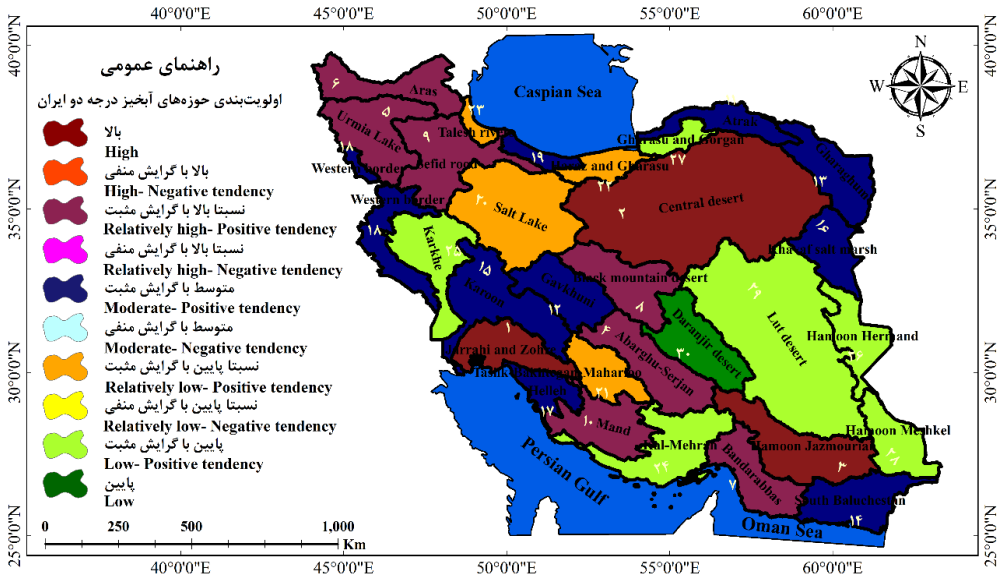
تغییر در رخدادهای اقلیمی، کاهش بارندگی و خشک‌سالی‌ها در آبخیزهایی مانند دریاچه ارومیه، ارس و سفیدرود می‌توانند تبعات متعددی در کاهش و خشکیدگی منابع آبی آبخیزهای مربوطه داشته باشند (Ahmadi *et al*., 2021). هم‌چنین، تغییر در کاربری/پوشش اراضی و افزایش مداخلات انسانی در آبخیزهایی مانند رودخانه‌های تالش، دریاچه ارومیه، سفیدرود کرخه و دریاچه نمک، اثرات مخربی بر شرایط هیدرولوژیکی و فرسایش و رسوب آن‌ها می‌گذارند (Balouei & Soltani Kopaei, 2021) به‌طوری‌که با تغییر در کاربری/پوشش اراضی ناشی از مداخلات مخرب انسانی، پاسخ‌های هیدرولوژیک آبخیزهای مذکور دچار تغییر می‌شوند و با ادامه شرایط و عدم مدیریت آن‌ها، عملکرد حوزه‌های آبخیز از شرایط متوقع خارج خواهد شد. از سوی دیگر، تخریب پوشش گیاهی جنگلی و مرتعی و تبدیل آن‌ها به زمین‌های بایر می‌تواند افزایش دبی اوج، حجم سیلاب، کاهش زمان تأخیر، زمان تمرکز و دبی اوج (Soltani *et al*., 2021) را در آبخیزهای مستعد سیلاب مانند بندرعباس-سدیج، هامون مشکیل، رودخانه‌ای تالش، رودخانه‌های بین سفیدرود و هراز، حله و جراحی و زهره در پی داشته باشد.

نتیجه‌گیری کلی

پژوهش حاضر باهدف اولویت‌بندی آبخیزهای رده دوم کشور با کاربست یکی از رویکردهای تئوری بازی و به‌منظور ارائه تصویری کلیدی درعین‌حال جامع و مبتنی بر حداکثر داده‌های قابل احصا در مقیاس کشوری و برای اولین بار صورت گرفت. برای انجام این کار از ۴۴ متغیر در شاخص‌های مختلف استفاده شد که پس از تعیین استقلال متغیرها از یکدیگر، ۲۶ متغیر برای اولویت‌بندی مقایسه‌ای آبخیزهای رده‌دوم کشور مورد استفاده قرار گرفتند. لازم به ذکر است که برای ارزیابی نتایج نیز از پژوهش‌های صورت گرفته در مقیاس ملی استفاده شد. نتایج اولویت‌بندی مقایسه‌ای حاکی از آن هستند که در مجموع ۲۶ معیار مطالعاتی، آبخیز جراحی و زهره با امتیاز ۳ در بدترین و آبخیز کویر درانجیر با امتیاز ۵۴ در بهترین شرایط ممکن قرار دارند. لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر از مجموعه متغیرهای تأثیرگذار و دردسترس در آبخیزها برای اولویت‌بندی آن‌ها استفاده شده است. با توجه به این‌که مبنای مقایسه در رویکرد Condorcet مقایسه‌های جفتی است، بنا بر این زیرآبخیزهای جراحی و زهره و کویر درانجیر زیرآبخیزهایی هستند که در مقایسه‌های جفتی بین سایر زیرآبخیزها در معیارهای مذکور، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین باخت را تجربه کرده‌اند. براین اساس، نتایج اولویت‌بندی زمانی قابل اعتماد خواهند بود

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1285]

که مدیر مربوطه با فرآیند اولویت‌بندی، نوع معیارها و هم‌چنین هدف مطالعه حاضر آگاهی کامل داشته باشد تا پس از آن از نتایج اولویت‌بندی پژوهش حاضر در حیطه کاری مربوط به خود استفاده کند. در چنین حالتی، مدیر مربوطه قادر خواهد بود تا اولویت‌دارترین آبخیزها در هر یک از معیارهای موردبررسی و هم‌چنین در مجموع معیارهای مطالعاتی شناسایی و اقدامات مدیریتی مرتبط را انجام دهد. از همین‌رو، می‌توان دریافت که نتایج حاصل از مقیاس مورد استفاده در پژوهش فعلی، امکان تهیه و تدوین طرح‌های اجرایی مدیریت آبخیزهای کشور را مهیا نمی‌کنند اما نتایج حاصل از پژوهش حاضر می‌توانند مدیر را در شناسایی بحرانی‌ترین زیرآبخیزها از نظر هر یک از متغیرهای مورد بررسی و هم‌چنین در مجموع تمامی متغیرها کمک کنند. در همین‌راستا، مدیر می‌تواند با توجه به عملکرد هر آبخیز رده دوم در هر یک از متغیرهای مورد بررسی اقدامات مدیریتی مناسبی را اتخاذ کند. بنا بر این، نتایج پژوهش حاضر می‌توانند زیربنای خوبی برای تمرکز توجهات بخش‌ها و سازمان‌های متولی حفاظت منابع آب‌وخاک کشور در خصوص سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی در مقیاس ملی و سپس انجام مطالعات تفصیلی و هدف‌مدارانه در مقیاس‌های بزرگ در آبخیزهای با اولویت بالا باشند. اگرچه انجام پژوهش‌های گسترده‌تر با معیارهای متعدد و هم‌چنین سایر شیوه‌های اولویت‌بندی مبتنی بر تئوری بازی و با سایر رویکردهای مشابه و بر اساس معیارهای فنی توصیه می‌شود.



شکل ۲- اولویت‌بندی مقایسه‌ای وضعیت و شرایط عملکردی ابخیزهای رده دوم کشور بر اساس روش Condorcet

Figure 2. Comparative prioritization of the status and functional conditions of Iran's Second-Order Watersheds based on the Condorcet method

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر با حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران ریاست‌جمهوری (بنیاد علم ایران) (طرح شماره ۴۰۲۷۵۹) در دانشگاه تربیت مدرس انجام گرفته است. هم‌چنین، نویسندگان از حمایت‌های مرکز بین‌المللی نوع دوم یونسکو در زمینه مدیریت جامع آبخیزداری و منابع زیستی برای مناطق خشک و نیمه‌خشک در ایران مستقر در سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور تقدیر می‌کنند.

References

Abatzoglou, J. T., Dobrowski, S. Z., Parks, S. A., & Hegewisch, K. C. (2018) TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015. *Scientific Data*, 5(1), 1-12.

Abbaspour. M., Javid, A.H., Mirbagheri, S.A., Ahmadi Givi, F., & Moghimi, P. (2012) Investigation of lake drying attributed to climate change. *International Journal of Environmental Science and Technology,* 9, 257-266

Adhami, M., & Sadeghi, S.H.R. (2016) Sub-watershed prioritization based on sediment yield using game theory. *Journal of Hydrology*, 541, 977-987

Adhami, M., Sadeghi, S.H.R., & Sheikhmohammady, M. (2018) Making competent land use policy using a co-management framework. *Land Use Policy,* 72, 171-180

Ahmadi, T., Nouri, H., & Ildromi, A. (2021) Investigation on impacts of drought on landuse/landcover (lu/lc) and groundwater level changes in Razan-Ghahavand Plain. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering,* 15(52), 33-43. [In Persian]

Akbari, N., Niksokhan, M. H., & Ardestani, M. (2015) Optimal water allocation using cooperative game theory (Case Study: Zayandeh Roud Watershed). *Journal of Environmental Studies,* 40(4), 875-889.

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1285]

Akbarzadeh, P., & Nikoo, S. H. (2022) The investigation of the effects of the regional development in the form of change in land use on the groundwater aquifer level (A Case Study: Damghan Watershed). *Geography and Environmental Sustainability,* 12, 44 1-21. [In Persian]

Alimoradi, M., Talebi, A., & Karemi, H. (2021). Analysis of factors affecting watershed management and providing appropriate management strategy using the SWOT model (Doeiraj River Watershed Area). *Extension and Development of Watershed Management*, 9(35), 1-11.

Amir, A., & Fisher, F.M. (1991) Analyzing agricultural demand for water with an optimizing model. *Agricultural Systems*, 61, 45-56

Ashraf, S., Nazemi, A., & AghaKouchak, A. (2021). Anthropogenic drought dominates groundwater depletion in Iran. *Scientific Reports*, 11(1), 9135.

Avand, M., Khiavi, A. N., Mohammadi, M., & Tiefenbacher, J. P. (2023). Prioritizing sub-watersheds based on soil-erosion potential by integrating RUSLE and game-theory algorithms. *Advances in Space Research,* 72(2), 471-487.

Avand, MT., Nasiri Khiavi, A., Khazaei, M., & Tiefenbacher, J. P. (2021) Determination of flood probability and prioritization of sub-watersheds A comparison of game theory to machine learning. *Journal of Environmental Management,* 295, 1-14

Balouei, F., & Soltani Kopaei, S. (2021) Effect of land use change on surface runoff using SWAT and GIS in Doiraj Watershed of Ilam Province. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering,* 15(53), 1-11. [In Persian]

Banerjee, C., & Kumar D. N. (2018) Analyzing large-scale hydrologic processes using GRACE and hydrometeorological datasets. *Water Resources Management*, 32, 4409-4423.

Banihabib, ME., Najafi Marghmaleki, S., & Shabestari, M. H. (2019) An integrated water resources planning model for assessment and prediction of environmental water supplying for Hawizeh Wetland from Turkey Iraq and Iran. *Iranian Water Research Journal,* 13(32), 115-126. [In Persian]

Bekele, E. G., & Nicklow, J. W. (2005) Multi objective management of ecosystem services by integrative watershed modeling and evolutionary algorithms. *Water Resources Research,* 41(W10406), 1-10.

Borsdorff, T., Aan de Brugh, J., Hu, H., Aben, I., Hasekamp, O., & Landgraf, J. (2018). Measuring carbon monoxide with TROPOMI: First results and a comparison with ECMWF-IFS analysis data. *Geophysical Research Letters,* 45(6), 2826-2832.

Chamani, R., Azari Mahmood, A., & Kralisch, S. (2020) Hydrological response to future climate changes in Chehelchay Watershed in Golestan Province. *Watershed Engineering and Management* 12(1), 72-85. [In Persian]

Colman, A. M., Pulford, B. D., & Rose, J. (2008) Collective rationality in interactive decisions: evidence for team reasoning. *Acta Psychologica*, 128(2), 387-397

Da Silva, C. M., Teixeira, O. N., & Ishihara, J. H. (2023) Use of Game Theory as a tool for identifying and mitigating conflicts over water use in the area covered by the Estreito HPP-MA-Brazil. *Aguayo Territorio/Water and Landscape,* 21, 121-133. https://doi.org/10.17561/at.21.5896

Daneshi, A., Vafakhah, M., & Panahi, M. (2017) Evaluation of Urmia Lake crisis management solutions with an emphasis on maximum participation of farmers (Case Study: Simineroud Watershed). *Range and Watershed Management,* 70(2), 299-314. [In Persian]

Davudirad, A. A., Sadeghi, S.H.R., & Sadoddin, A. (2016) The impact of development plans on hydrological changes in the Shazand Watershed Iran. *Land Degradation & Development,* 27(4), 1236-1244

Dragan, A., Savic, J. B., & Mark, S. M. (2011) A DSS Generator for Multi-Objective Optimization of Spreadsheet-Based models. *Journal of Environmental Modeling and Software,* 26(5), 551-561

Eleftheriadou, E., & Mylopoulos, Y. (2008) Game theoretical approach to conflict resolution in transboundary water resources management. *Journal of Water Resource Planning and Management*, 134(5), 466-473

Faal Jalali, A., Ghasemi, M., & Minaei, M. (2021) implementation strategies for reducing the change of agricultural land use (Case study: Binalood County). *Journal of the Studies of Human Settlements Planning (Journal of Geographical Landscape),* 16(1), 155-174. [In Persian]

Gharekhani, A., Ghahreman, N., & Bazrafshan, J. (2013) Trend analysis of pan evaporation in different climates of Iran. *Watershed Management Researches (Pajouhesh-Va-Sazandegi),* 26(1), 85-97. [In Persian[

Han, X., Wang, P., Wang, J., Qiao, M., & Zhao, X. (2020). Evaluation of human-environment system vulnerability for sustainable development in the Liupan Mountainous Region of Ningxia, China. *Environmental Development*, 34, p.100525.

Heidari, SH., Hanachi, P., & Teymoortash, S. (2019) The adaptive reuse of industrial heritage an approach based on energy recycle. *Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*, 9(1), 45-53. [In Persian]

Hoseini, Z., Mozafari, M., & Finaji, E. (2021) Impact of land use changes and expanding of irrigation on drying up of the Bakhtegan and Tashk Lakes. *Civil Infrastructure Researches*, 7(1), 53-65. [In Persian]

Ichiishi, T. (2014) Game Theory for Economic Analysis. *Elsevier*.

Jalili Kamjoo, S. P., & Khosh Akhlagh, R. (2016) Using the game theory in optimal allocation of water in Zayandehrud. *Journal of Applied Economics Studies,* 5(18), 53-80. [In Persian]

Kucukmehmetoglu, M. (2012). An integrative case study approach between game theory and Pareto frontier concepts for the transboundary water resources allocations. *Journal of Hydrology*, *450*, 308-319.

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1285]

Lamy, F., Bolte, J., Santelmann, M., & Smith, C. (2002) Development and evaluation of multiple- objective decision-making methods for watershed management planning. *Journal of the American Water Resources Association*, 38(2), 517-52.

Laukkanen, S., Kangas, A., & Kangas, J. (2002) Applying voting theory in natural resource management a case of multiple-criteria group decision support. *Journal of Environmental Management,* 64(2), 127-137.

Lee, C. S. (2012) Multi-Objective Game-theory models for conflict analysis in reservoir watershed management. *Chemosphere,* 87(6), 608-613.

Liang, D., Zuo, Y., Huang, L., Zhao, J., Teng, L., & Yang, F. (2015) Evaluation of the consistency of MODIS Land Cover Product (MCD12Q1) based on Chinese 30 m GlobeLand30 datasets: A case study in Anhui Province, China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4), 2519-2541.

Lunetta, R. S., Knight, J. F., Ediriwickrema, J., Lyon, J. G., & Worthy, L. D. (2022) Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. *In Geospatial Information Handbook for Water Resources and Watershed Management*, Volume II (pp. 65-88). CRC Press.

Madani, K. (2010). Game theory and water resources. *Journal of Hydrology*, 381(3-4), 225-238.

Madani, K., Rouhani, O. M., Mirchi, A., & Gholizadeh, S. (2014). A negotiation support system for resolving an international trans-boundary natural resource conflict. *Environmental Modelling and Software*, 51, 240-249

Masoomi, H., Malekian, A., Salajegheh, A., & Nazari Samani, A. (2020). An Assessment of the Effect of Land Use Change on the Runoff Using the Markov Chain and Cellular Automata in the Bidgol Watershed the Province of Fars. *Watershed Management Research*, 33(2), 31-51. [In Persian]

McKinney, D., & Teasley, R. (2007). Cooperative game theory for transboundary river basins the Syr Darya Basin. *World Environmental and Water Resources Congress Tampa Florida,* 1-10.

Mendoza, GA., & Martins, H. (2006). Multi-Criteria Decision Analysis in natural resource management a critical review of methods and new modelling paradigms forest. *Ecology and Management*, 230(1), 1-22.

Mohammadi, S., Karimzadeh, H., & Alizadeh, M. (2018). Spatial estimation of soil erosion in Iran using RUSLE model. *Journal of Ecohydrology*, *5*(2), 551-569. [In Persian]

Najafi, S. (2015). Assessing Watershed Management Position in the five-year development Documents of Iran. *Extension and Development of Watershed Management*, 3(10), 1-10.

Nasiri Khiavi, A., Vafakhah, M., & Sadeghi, S.H.R. (2023). Application of participatory approach in identifying critical sub-watersheds based on flood generation potential in the Cheshmeh-Kileh Watershed Mazandaran Province. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(3), 90-107. [In Persian]

Nikjoy, M. (2023). Evaluation of performance and review of exit strategy in the management of Chelchai watershed. *Comprehensive Watershed Management,* online publication. https://iwm.ilam.ac.ir/article_708914.html.

Nikkami, D., Elektorowicz, M., & Mehuys, G. R. (2002) Optimizing the management of soil erosion water quality. *Research Journal of Canada* 37(3), 577-586

Olatinwo, S. O., & Joubert, T. H. (2023) A bibliometric analysis and review of resource management in internet of water things the use of game theory. *Water*, 14(10), 1636.

Parrachino, I., Dinar, A., & Patrone, F. (2006) Cooperative game theory and its application to natural. environmental and water resources issues 3 Application to water resources. *World Rank Policy Research Working Paper*, 4074.

Petetin, H., Guevara, M., Compernolle, S., Bowdalo, D., Bretonnière, P. A., Enciso, S., & Pérez García-Pando, C. (2023) Potential of TROPOMI for understanding spatio-temporal variations in surface NO2 and their dependencies upon land use over the Iberian Peninsula. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 23(7), 3905-3935.

Pourghasemi, H. R., Biswajeet, P., & Candan, G. (2012) Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (ahp) to landslide susceptibility mapping at Haraz Watershed Iran. *Natural Hazards* 63(2), 965-996.

Poursepahy Samian, H., & Kerachian, R. (2011). Water allocation in common rivers: application of game theory. In *6th National Congress on Civil Engineering, Semnan.* [In Persian]

Rivest, R. L., & Shen, E. (2010) An optimal single-winner preferential voting system based on game theory. *in Proc of 3rd International Workshop on Computational Social Choice 13 Sep*, 399-410.

Sadeghi, S.H.R., Chamani, R., Zabihi Silabi, M., Tavosi, M., Katebikord, A., Khaledi Darvishan, A., Moosavi, V., Sadeghi, P. S., Vafakhah, M., & Moradi Rekabdarkolaei, H. (2023). Watershed health and ecological security zoning throughout Iran. *Science of The Total Environment*, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167123.

Sadeghi, S.H.R., & Hazbavi, Z. (2017) Spatiotemporal variation of watershed health propensity through reliability-resilience-vulnerability based drought index (case study: Shazand Watershed in Iran). *Science of the Total Environment*, 587, 168-176.

Sadeghi, S. H., Silabi, M. Z., & Vafakhah, M. (2024). Soil erosion-based sub-watershed prioritization through coupling various crop management and erosivity scenarios using game theory. *Advances in Space Research,* 73(12), 5822-5835.

Sadeghi, S.H.R., Kazemikia, S., & Hazbavi, Z. (2018a). Selection of representative watersheds in Iran. *The Integrated Watershed Management National Master Plan*, 163 p. [In Persian]

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1285]

Sadeghi, S.H.R., & Tavangar, S. H. (2015). Development of stational models for estimation of rainfall erosivity factor in different timescales. *Natural Hazards*, 77, 429-443.

Sadeghi, S. H., Kalehhouei, M., Yekdangi, F. K., Radkianpour, M., & Dadizadeh, Y. (2024). Biological Control of Soil Erosion in the Kilanbar Watershed, Kermanshah Province, Iran. *Journal of Watershed Management Research,* 15(1), 1-13. [In Persian]

Sadeghi, S.H.R., Vafakhah, M., Moosavi, V., Pourfallah Asadabadi, S., Sadeghi, P. S., Khaledi Darvishan, A., Bagheri Fahraji, R., Mosavinia, S. H., Majidnia, A., Gharemahmudli, S., & Rekabdarkolaei, H. M. (2022). Assessing the health and ecological security of a human induced watershed in central Iran. *Ecosystem Health and Sustainability*, 8(1), 2090447.

Sadeghi, S.H.R., Zabihi Silabi, M., Bordoni, M., Nguyen, T. N. A., Maerker, M., & Claudia, M. (2024). A game theory-based prioritization of drought affected demo vineyards using soil main properties in the northern apennines, Italy. *Catena*, 237, 107767.

Sadeghi, S.H.R., Zabihi Silabi, M., Katebikord, A., & Mostafazadeh, R. (2023). Soil Erosion Dynamic on Storm-Basis due to Land Use Correction in the High Priority Sub-Watersheds of the Galazchai Watershed, West Azerbaijan, Iran, *Journal of Watershed Management Research*, 13(26), 21-33. [In Persian]

Sadeghi, S.H.R., Zabihi Silabi, M., Sarvi Sadrabad, H., Riahi, M., & Modarresi Tabatabaei, S. (2023). Watershed health and ecological security modeling using anthropogenic, hydrologic, and climatic factors. *Natural Resource Modeling,* e12371.

Safaee, A., & Malek Mohammadi, B. (2014). Game Theoretic Insights for Sustainable Common Poll Water Resources Governance (Case Study: Lake Urmia Water Conflict). *Journal of Environmental Studies*, 40(1), 28-30

Sheikhmohammady, M., & Madani, K. (2008) Sharing a multi-national resource through bankruptcy procedures in world. *Environmental and Water Resources Congress*.

Shi, Z. H., Ai, L., Li. X., Huang, X. D., Wu, GL., & Liao, W. (2013). Partial least squares regression for linking land-cover patterns to soil erosion and sediment yield in watersheds. *Journal of Hydrology*, 498, 165-176.

Shirangi, E., Kerachian, R., & Bajestan, M. S. (2008). A simplified model for reservoir operation considering the water quality issues application of the young conflict resolution theory. *Environmental Monitoring and Assessment,* 146(1-3), 77-89.

Soltani, S., Mokhtari, F., Mohit, P., & Kalhor, A. (2021). Evaluating the impact of land use change on increasing runoff in Khorramabad Watershed via HEC-HMS Model. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 10(30), 81-92. [In Persian]

Talebi, A., Salehpour Jam, A., Kalehui, M., & Musfaei, J. (2022). The new approach in the worthy governance watershed and sustainable development. *Promotion and Development of Watershed Management*, 9(35), 54-61.

Tecle, A., (1992). Selecting a multi criterion decision making technique for watershed resources management. *Journal of the American Water Resources Association*, 2(1), 129-140.

Teka, K., Haftu, M., Ostwald, M., & Cederberg, C. (2020). Can integrated watershed management reduce soil erosion and improve livelihoods? A study from northern Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*, 8(3), 266-276.

Tofangchi Mahyari, M., Pendar, M., Sameni, A., & Khajeh Borj Sefidi, A. (2021). Analysis of the migration situation in iran's provinces with emphasis on social and cultural factors. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 11(39), 55-80. [In Persian]

Üçler, N., Engin, G. O., Köçken, H. G., & Öncel, M. S. (2015) Game theory and fuzzy programming approaches for bi-objective optimization of reservoir watershed management: A case study in Namazgah Reservoir. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(9), 6546-6558.

Vafakhah, M., Zabihi Silabi, M., Modarresi Tabatabaei, S., Sarvi Sadrabad, H., Shafiei Bafti, A., Ghaderi Dehkordi, N., Riahi, M., & Ghiasi, S. S. (2023). Detection of annual mean discharge trend over Iran. *Watershed Engineering and Management*, 15(2), 314-327.

Weng, S. Q., Huang, G. H., & Li, Y. P. (2010). An integrated scenario-based multi-criteria decision support system for water resources management and planning, A case study in the Haihe River Basin. *Expert Systems with Applications*, 37(12), 8242-8254.

Zabihi Silabi, M., Sadeghi, S. H., & Mostafazadeh, R. (2021). Effects of the Implementing Land use-based Scenarios in the Prioritized Sub-Watersheds on Soil Erosion and Sediment Yield of the Galazchai Watershed, Oshnavieh, Iran. *Degradation and Rehabilitation of Natural Land*. 2(3), 88-99. [In Persian]

Zhu, K., Zhang, Y., Wang, M., & Liu, H. (2022). The Ecological Compensation Mechanism in a Cross-Regional Water Diversion Project Using Evolutionary Game Theory the Case of the Hanjiang River Basin China. *Water*, 14(7), 1151.

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1285]