

Assessment of Groundwater Potential Using Hierarchical Analysis (Case Study: Ilam Dam Watershed)

Saeid Derakhti

Ph.D. student of soil and water conservation, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Sari university, Sari, Iran

* Corresponding author: s.drakhti@gmail.com

(Received: 13 August 2023

Revised: 09 October 2023

Accepted: 25 November 2023)

Extended Abstract

Introduction: Drought and population increase are important factors that have caused more attention to ground water. Groundwater is one of the most valuable natural resources that affect human health, economic development and environmental diversity. Due to several inherent characteristics, these waters have become a very important and reliable source of water supply in developed and developing countries. Over the years, the importance of ground water due to the ever-increasing need for water has led to unscientific exploitation of ground water and the creation of water stress conditions. This alarming situation requires a cost-effective technique for proper assessment of groundwater resources and planning for the management of these resources. Geographic information system (GIS) and hierarchical analysis are samples of these tools. The purpose of this research is to prepare the ground water potential map using hierarchical analysis in the Ilam Dam watershed.

Materials and methods: For this purpose, seven criteria of geology, slope, land use, soil, drainage density, lineament and precipitation were selected to identify the potential areas of ground water. The selection of these parameters is due to the effect that each of these factors has on the ground water. Geological features are important in controlling the infiltration of water into the ground due to the weathering, porosity and fracture that occur in them. On the other hand, increasing the slope of the land causes an increase in runoff. As drainage density increases, permeability decreases. Agricultural, forest and pasture land use can increase infiltration, but residential areas increase runoff due to impervious surfaces. Sandy and loamy soils have a high permeability coefficient, and finally, the higher the rainfall in the region, the higher the groundwater level. In order to prepare these layers, ArcGIS and remote sensing (RS) were used. First, by using the digital elevation model (DEM), the slope of the area, the drainage density in five classes were prepared. By using Landsat 8 satellite images of 2020 and in the environment of RS software, the land use of the region was created in five classes of agriculture, forest, pasture, bare soil and residential areas using a supervised classification method. Kappa coefficient confirmed 93% classification accuracy. The rainfall map of the watershed was also obtained from the synoptic and rain gauge station that existed in and around the basin. Finally, the geology map was prepared from the digital geological map in the GIS environment and the soil map from the Natural Resources Organization. After preparing these layers in the GIS, using the opinion of experts regarding the valuation of these criteria, each of these criteria was given grades from 1 to 9. Then, this valuation was transferred to Expert Choice software to determine the weight, and the weight of each criterion was obtained. Then, using these weights as well as raster layers created in the GIS environment and using the weighted overlay method, these layers were superimposed and the ground water potential map was obtained.

Results: The results showed that geology criteria and land use have the most weight with 0.347 and 0.191, respectively, and soil and precipitation with 0.062 and 0.054 have the least importance for ground water potential. A big part of the watershed has medium to high potential for ground water. This part has a lot of forest and pasture cover, moderate slope (20-40 degrees) and high drainage density and high amount of precipitation, which is consistent with the results of Suri et al. (2016). A significant part of the basin has loam and sand soil, which have high permeability and can absorb water and increase the groundwater level. Kazhdomi formation has medium to high potential and Bangestan group formation has low potential.

Discussion and Conclusion: In general, the final map has four potentials, including very low, low, medium to high, and very high, which respectively account for 0.98%, 41.8%, 55.9%, and 1.32% of the study area. Medium to high potential has the largest area. In general, the north of the watershed has medium to high potential, the south of the watershed has low potential, and a small part of the east of the study area has high potential of ground water. Preparing a map of ground water potential in watersheds can be a suitable strategy for exploiting these resources.

Keywords: Ground Water, Hierarchical Analysis, Ilam Dam Watershed

Citation: Drakhti, S. (2023). Assessment of groundwater potential using hierarchical analysis (Case study: Ilam Dam watershed). *Integrated Watershed Management*, 3(4), 60-73. doi: 10.22034/iwm.2023.2008901.1099

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد ایلام)

سعید درختی*

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

*نویسنده مسئول: s.drakhti@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۲

چکیده

خشک‌سالی و افزایش جمعیت از عوامل مهمی هستند که باعث توجه بیش‌تر به آب‌های زیرزمینی شده‌اند؛ بنابراین نیاز به ابزارهای دقیق برای بررسی این منابع آبی بیش‌ازپیش احساس می‌شود. سیستم اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله مراتبی نمونه‌هایی از همین ابزارها هستند. هدف از این تحقیق تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی در زیرحوزه گل‌گل از حوزه آبخیز سد ایلام است. بدین منظور هفت معیار زمین‌شناسی، شیب، کاربری اراضی، خاک، تراکم زهکشی، خطواره و بارش برای شناسایی مناطق بالقوه آب‌های زیرزمینی انتخاب شدند. پس از تهیه این لایه‌ها در سامانه اطلاعات جغرافیایی و همچنین اخذ نظر کارشناسان در مورد ارزش‌گذاری این معیارها و تعیین وزن هر کدام از این معیارها در نرم‌افزار Expert Choice، در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی با استفاده از روش **weighted overlay** این لایه‌ها روی هم قرار گرفتند و نقشه پتانسیل آب زیرزمینی حوضه به دست آمد. نتایج نشان داد که نقشه نهایی دارای چهار پتانسیل شامل خیلی کم، کم، متوسط تا زیاد و خیلی زیاد است که به ترتیب ۰/۹۸، ۴۱/۸، ۵۵/۹ و ۱/۳۲ درصد از مساحت حوضه را به خود اختصاص داده‌اند؛ که پتانسیل متوسط تا زیاد دارای بیش‌ترین مساحت است. به‌طور کلی شمال حوضه دارای پتانسیل متوسط تا زیاد، جنوب حوضه دارای پتانسیل کم و بخش کوچکی از شرق حوضه دارای پتانسیل بالایی از آب زیرزمینی هستند. تهیه نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی در حوزه‌های آبخیز می‌تواند راهبرد مناسبی جهت بهره‌برداری از این منابع باشد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، تحلیل سلسله مراتبی، حوزه آبخیز سد ایلام

استناد: درختی، سعید. (۱۴۰۲). ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد ایلام). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز (۴)، ۳-۶۰.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

آب‌های زیرزمینی یکی از باارزش‌ترین منابع طبیعی است که بر سلامت انسان، توسعه اقتصادی و تنوع زیست‌محیطی تأثیرگذار هستند. این آب‌ها به دلیل چندین ویژگی ذاتی به منبع بسیار مهم و قابل‌اعتمادی برای تأمین آب در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه تبدیل شده است. در طول سال‌ها، اهمیت آب‌های زیرزمینی با توجه به نیاز روزافزون به آب، منجر به بهره‌برداری غیرعلمی از آب‌های زیرزمینی و ایجاد شرایط تنش آبی شده است. از طرفی در حال حاضر آب‌های زیرزمینی به دلیل مشکل خشک‌سالی، تأمین آب روستایی، پروژه آبیاری و هزینه کم توسعه، مورد توجه بیشتری قرار گرفته‌اند. علاوه بر این آب‌های زیرزمینی بعد از یخچال‌ها تشکیل‌دهنده‌ی بزرگ‌ترین ذخیره آب شیرین در کره زمین می‌باشند (Mahdavi, 2008)، به طوری که بیش از ۸۰ درصد آب مصرفی مناطق خشک و نیمه‌خشک از منابع آب‌های زیرزمینی تأمین می‌گردد (Alizadeh, 2003). در ایران نیز به دلیل محدودیت در منابع آب سطحی، آب‌های زیرزمینی مناسب‌ترین آب‌ها برای مصارف مختلف می‌باشند. با توجه به شرایط موجود شامل قرارگیری در کمربند خشک و نیمه‌خشک، بارندگی کم، توزیع غیریکنواخت بارندگی از نظر زمانی و مکانی، الگوی کشت نامناسب و... توجه به آب زیرزمینی دارای اهمیت بسیار زیادی است (Ghaforinia, 2006)؛ در نتیجه بررسی آب‌های زیرزمینی می‌تواند مشخص‌کننده وضعیت منطقه از نظر این منابع باشد. بررسی این وضعیت نیاز به یک تکنیک مقرون‌به‌صرفه برای ارزیابی مناسب منابع آب زیرزمینی و برنامه‌ریزی برای مدیریت این منابع دارد. یک برنامه توسعه آب زیرزمینی به حجم زیادی از داده‌ها از منابع مختلف نیاز

دارد. از این‌رو، شناسایی و کمی‌سازی این ویژگی‌ها برای تولید یک مدل پتانسیل آب زیرزمینی از منطقه مورد مطالعه مهم است. با توجه به زمان‌بر بودن روش‌های سنتی برای تهیه لایه‌های مختلف استفاده از ابزاری مانند سامانه اطلاعات جغرافیایی^۱ (GIS) مفید است و علاوه بر تهیه این لایه‌ها، تصمیم‌گیری در مورد ارزش این لایه‌ها هم موضوع بسیار مهمی است. به همین دلیل در چند دهه گذشته برای پشتیبانی از این تصمیمات، الگوریتم‌ها و روش‌های مختلفی ارائه شده است. مجموعه‌ای از موقعیت‌های مکانی که بایستی بر اساس آن‌ها چندین معیار مختلف ارزیابی شود را تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی می‌گویند. در GIS فرآیندی که داده‌های مکانی و مقادیر وزنی را با هم ترکیب می‌کند را یک تصمیم‌گیری چند معیاره می‌نامند (Malczewski, 2006). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی^۲ (AHP) ابزاری مؤثر برای تصمیم‌گیری‌های پیچیده در زمینه‌های مرتبط با آب‌های زیرزمینی است که توسط توماس ساعتی در سال ۱۹۸۰ معرفی شد. این ابزار برای کاهش تصمیمات پیچیده به مجموعه‌ای از مقایسه‌های زوجی و سپس ترکیب نتایج مفید است. علاوه بر این، AHP یک تکنیک مناسب برای ارزیابی سازگاری نتیجه و در نتیجه کاهش سوگیری در فرآیند تصمیم‌گیری است. تحلیل سلسله مراتبی در چند بخش انجام می‌شود (Kaliraj et al., 2014):

گام اول: تجزیه و تحلیل AHP است. سپس بر اساس معیارهای شناسایی شده کاندیداها ارزیابی می‌شوند.
گام دوم: مقایسه زوجی معیارهای مختلف با توجه به هدف و تعیین وزن نسبی این معیارها انجام می‌شود.
گام سوم: جمع‌آوری داده در ارتباط با تمامی معیارها به تفکیک هر یک از گزینه‌ها؛

1. Geographic Information System
2. Analytical Hierarchy process

بخش‌های آهکی وجود دارد. Sori و همکاران (2017) با استفاده از AHP پتانسیل منابع آب زیرزمینی را در دشت رومشگان بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که حوضه دارای پتانسیل خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد است که به ترتیب ۷/۳۷، ۱۰/۱۲، ۲۲/۲۵، ۲۰/۴۶ و ۳۹/۷۹ درصد از مساحت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. Mahdavi & Akhavan (2018) در مطالعه‌ای مناطق مستعد تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی را در دشت همدان - بهار بر اساس منطق بولین، روش هم‌پوشانی و منطق فازی مورد بررسی قرار دادند که نتایج حاصل از منطق فازی نشان داد که از مساحت منطقه ۲/۲۵ درصد خیلی مناسب، ۷/۷۱ درصد مناسب و ۱۶/۷۶ درصد متوسط است. Papi و همکاران (2020) در پژوهشی در استان تهران با روش FuzzyAHP مکان‌یابی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که ۶/۲ درصد از منطقه بسیار مناسب و ۱۵/۷۵ درصد مناسب است. Duguma (2023) پهنه‌بندی آب زیرزمینی را با استفاده از GIS و RS در حوزه آبریز نیل در اتیوپی انجام داد و به این نتیجه رسید که به ترتیب ۲۳ درصد، ۲۰ درصد، ۲۲ درصد از منطقه دارای پتانسیل خیلی کم، کم و متوسط است. Li و همکاران (2023) در تحقیقی به بررسی مناطق منبع آب زیرزمینی با استفاده از GIS در استان شان‌دونگ در بخش پایینی رود زرد پرداختند و به این نتیجه رسیدند که پتانسیل بالا، متوسط و کم به ترتیب ۲۹ درصد، ۶۵ درصد و ۶ درصد از منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. حوزه آبخیز سد ایلام منبع آبی بسیار مهمی هم از نظر آب شرب و هم از نظر کشاورزی برای ساکنان این حوضه است و با توجه به کاهش سطح آب در سد ایلام،

گام چهارم: مقایسه زوجی گزینه‌های مختلف به تفکیک هر یک از معیارها و تعیین وزن نسبی گزینه‌ها به تفکیک هر یک از معیارها؛

گام پنجم: تحلیل نتایج، تعیین وزن نهایی هر یک از گزینه‌ها و تعیین اولویت هر یک از آن‌ها؛

یکی از مهم‌ترین کاربردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره، کاربرد آن‌ها در تصمیم‌گیری گروهی است؛ اما تحلیل سلسله مراتبی دارای چند اصل اساسی زیر است:

۱- شرط معکوسی^۱: اگر ترجیح عنصر A بر عنصر B برابر n باشد ترجیح عنصر B بر عنصر A برابر 1/n خواهد بود.

۲- اصل همگنی^۲: عنصر A با عنصر B باید همگن و قابل قیاس باشند. به بیان دیگر برتری عنصر A بر عنصر B نمی‌تواند بی‌نهایت یا صفر باشد.

۳- وابستگی^۳: هر عنصر سلسله مراتبی به عنصر سطح بالاتر خود می‌تواند وابسته باشد و به صورت خطی این وابستگی تا بالاترین سطح می‌تواند ادامه داشته باشد.

۴- انتظارات^۴: هرگاه تغییر در ساختمان سلسله مراتبی رخ دهد فرآیند ارزیابی باید مجدداً انجام گیرد.

مطالعات متعددی در داخل و خارج از ایران با این روش انجام شده است. Chenini & Ben Mammou (2010)

توانایی بازیابی منابع آب زیرزمینی در مناطق خشک را با استفاده از GIS و مدل‌های عددی مورد بررسی قرار دادند. Khasheae sivaki و همکاران (2011) با استفاده

از AHP پتانسیل آب زیرزمینی در دشت نیشابور را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که نواحی جنوب غربی دشت قابلیت بالایی در استحصال آب دارند.

به ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی پرداختند و نتیجه گرفتند که بیشترین پتانسیل آب زیرزمینی در

3- Dependency
4- Expectation

1. Reciprocal Condition
2. Homogeneity

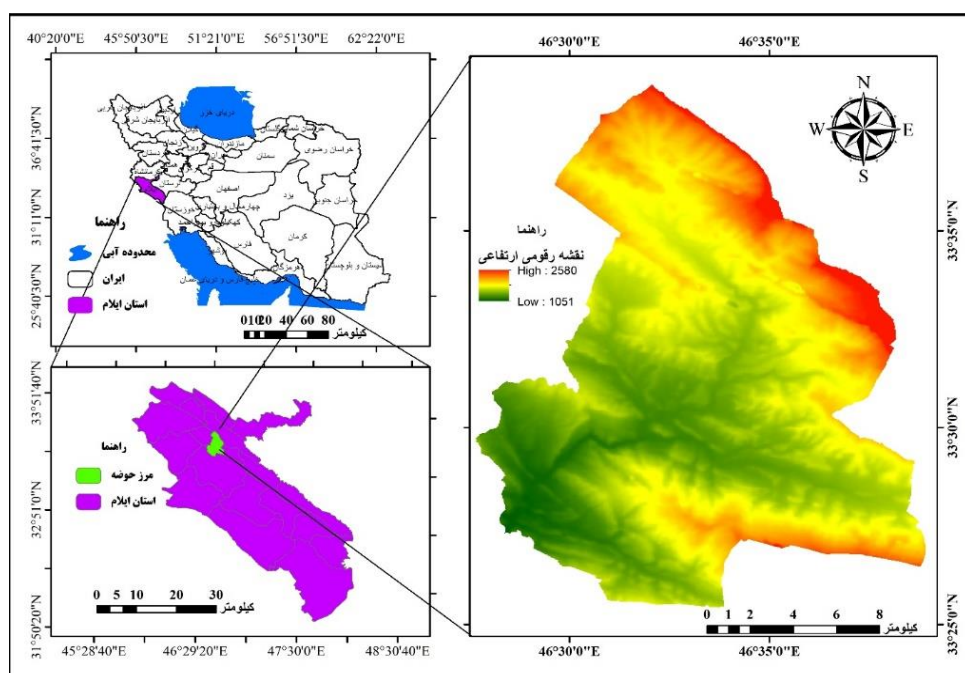
نظر موقعیت جغرافیایی بین $46^{\circ}16'44''$ تا $46^{\circ}18'24''$ طول شرقی و $33^{\circ}19'4''$ تا $33^{\circ}32'12''$ عرض شمالی واقع شده است. از نظر هیدرولوژیکی این حوزه یکی از سرشاخه‌های تأمین‌کننده آب سد ایلام است. این حوزه دارای متوسط ارتفاع ۱۸۲۸ متر، شیب متوسط ۲۰ درصد، متوسط بارش طی دوره آماری ۲۵ ساله بر اساس ایستگاه‌های واقع در حوزه و اطراف آن، ۶۲۳ میلی‌متر، میانگین درجه حرارت سالانه در ایستگاه ایلام ۱۶/۹ درجه سانتی‌گراد و اقلیم منطقه به روش دومارتن، مدیترانه‌ای است (Tavakoli et al., 2017). شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز را در ایلام و ایران نشان می‌دهد.

توجه به موضوع آب‌های زیرزمینی حائز اهمیت است؛ بنابراین در این تحقیق سعی بر آن است تا نقشه پتانسیل آب زیرزمینی زیرحوزه آبخیز گل‌گل با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی تهیه شود که می‌تواند جهت مدیریت منابع آب زیرزمینی و بهره‌برداری از این منابع در منطقه کمک‌کننده باشد

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

زیرحوزه گل‌گل با مساحت حدود ۲۴۹۵۰ هکتار در استان ایلام، در شهرستان‌های ایلام و ملکشاهی به‌عنوان یکی از زیرحوزه‌های سد ایلام قرار گرفته و از



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1- Location of the study area

تهیه شد. به‌منظور تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی هفت معیار شیب، تراکم زهکشی، خطواره، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، خاک و بارش انتخاب شد. ۱- زمین‌شناسی: این نقشه در چهار طبقه گروه بنگستان، سازند کژدمی، لیم‌استون و مخروط افکنه و

روش تحقیق

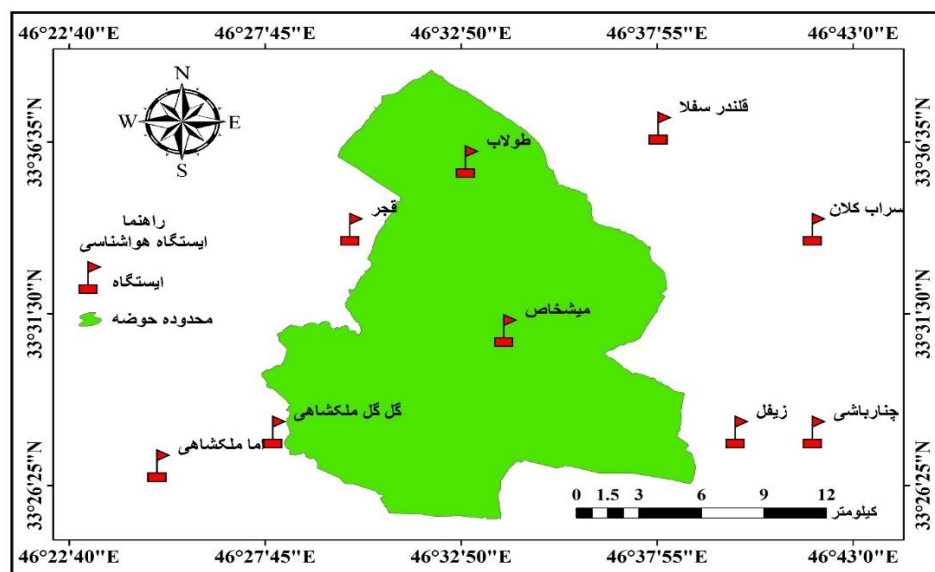
در این تحقیق با توجه به هدف، در مرحله اول، مهم‌ترین پارامترهایی که بر پتانسیل آب زیرزمینی تأثیر می‌گذارند از طریق مطالعات شناسایی و با توجه به نظر اساتید و کارشناسان مشخص شد و نقشه هر یک از پارامترها در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی

استفاده شد. در این روش کارشناسان، معیارهای اصلی را مقایسه کردند و وزن هر کدام محاسبه شد. به منظور وزن‌دهی از مقایسه‌های جفتی به روش ساعتی (Saaty) استفاده شد. بدین ترتیب که در قالب یک پرسش‌نامه، معیارها دوبه‌دو مقایسه و در نهایت ماتریس مقایسات جفتی و وزن نرمال شده معیارها ایجاد گردید. سپس به منظور کنترل نرخ ناسازگاری از نرم‌افزار Expert Choice استفاده شد. این نرم‌افزار توانایی لازم را جهت تعیین وزن نسبی معیارها را نسبت به یکدیگر دارد. در روش تحلیل سلسله مراتبی اگر نرخ سازگاری کمتر از ۰/۱ باشد بدین معنی است که مقایسه زوجی معیارها دارای سازگاری مطلوب می‌باشند (Fathizad et al., 2016). در نهایت با توجه به تهیه لایه‌ها و ارزش وزنی که هر کدام از لایه‌ها در روش تحلیل سلسله مراتبی به دست آوردند در محیط GIS و با روی هم‌گذاری لایه‌ها نقشه پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی منطقه تهیه شد. ارزش عددی در روش تحلیل سلسله مراتبی بر اساس جدول (۱) تعیین می‌شود.

تراس طبقه‌بندی شد. برای بررسی این لایه، نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ کشور استفاده شد.
 ۲- کاربر اراضی: با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و در محیط ENVI و به روش طبقه‌بندی نظارت شده تهیه شد.
 ۳- خطواره: با استفاده از نقشه DEM ۳۰ متری این لایه تهیه شد.
 ۴- تراکم زهکشی: این لایه با استفاده از نقشه DEM و با استفاده از زبانه هیدرولوژی در GIS ایجاد شد.
 ۵- شیب: این لایه با استفاده از نقشه DEM و بر حسب درجه تهیه شد.
 ۶- خاک: برای تهیه این لایه از نقشه آماده اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان ایلام استفاده شد.
 ۷- بارش: با توجه به ایستگاه سینوپتیک و باران‌سنجی داخل و خارج از حوضه و با استفاده از روش درون‌یابی IDW نقشه هم‌باران در GIS تهیه گردید (شکل ۲).

روش AHP

در مرحله بعد، در این تحقیق به منظور وزن‌دهی به هر کدام از معیارها از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)



شکل ۲- ایستگاه‌های هواشناسی داخل و خارج حوضه مورد مطالعه

Figure 2- Location of the climatology stations

جدول ۱- ارزش معیارها نسبت به یکدیگر در روش تحلیل سلسله مراتبی

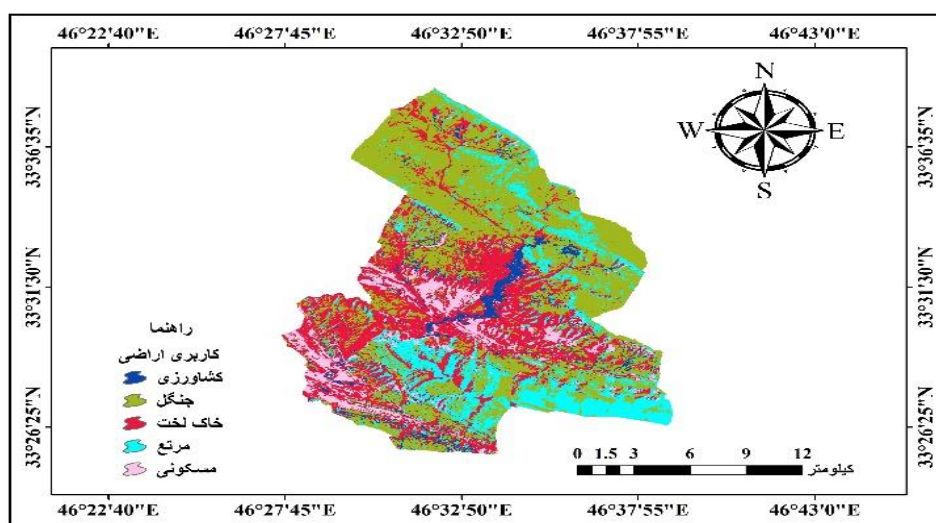
Table 1- The value of the criteria compared to each other in the AHP method

ارزش عددی Numerical value	ترجیحات Preferences
2,4,6,8	ترجیح بین فواصل زیر Preference between the following intervals
1	مطلوبیت یکسان Same desirability
3	کمی مطلوب‌تر A little more desirability
4	مطلوبیت قوی Strong desirability
7	مطلوبیت خیلی قوی Very strong desirability
9	کاملاً مطلوب‌تر Absolutely more desirable

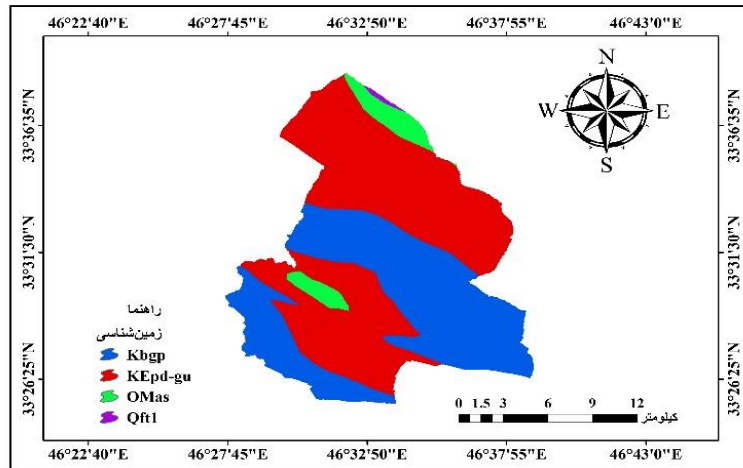
نتایج

لایه‌های اولیه مورد استفاده برای تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در شکل‌های ۲ تا ۸ ارائه شده است و درصد مساحت هر کدام از این لایه‌ها در جدول (۳) ارائه شده است. شیب از معیارهای مهم در پتانسیل آب زیرزمینی است به این ترتیب که با افزایش شیب سرعت رواناب بیشتر می‌شود و از میزان نفوذ کاسته می‌شود بنابراین میزان آب زیرزمینی نیز کم می‌شود. از طرفی

شیب از عواملی است که بر تراکم زهکشی اثر می‌گذارد. هر چه تراکم زهکشی بیشتر باشد پتانسیل آب زیرزمینی کمتر است. کاربری‌های کشاورزی و جنگل بیش‌ترین پتانسیل و مناطق مسکونی دارای کم‌ترین پتانسیل از نظر آب زیرزمینی می‌باشند. لازم به ذکر است که در نقشه زمین‌شناسی kbgp نشان‌دهنده گروه بنگستان، کژدم، سروگ و ایلام، KEpd-gu سازند کژدمی، OMas هوازده و لیم استون و Qft1 مخروط افکنه و تراس (آبرفت‌های قدیمی) می‌باشند.

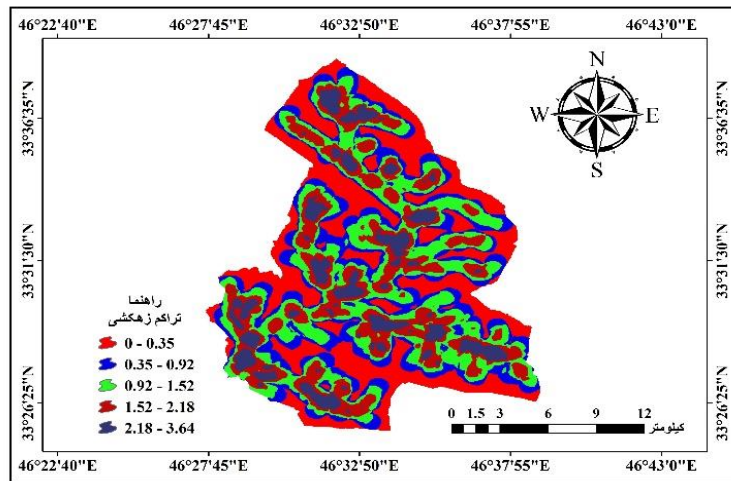


شکل ۳- نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه
Figure 3 - Land use map of the study are



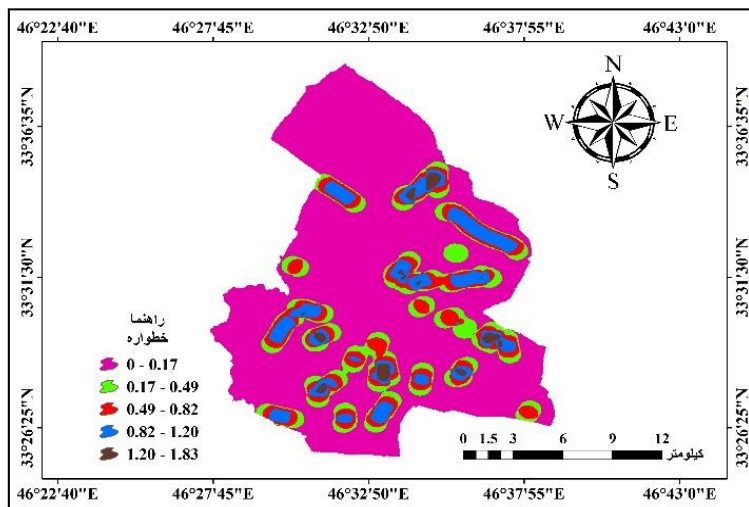
شکل ۴- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

Figure 4- Geology map of the study area



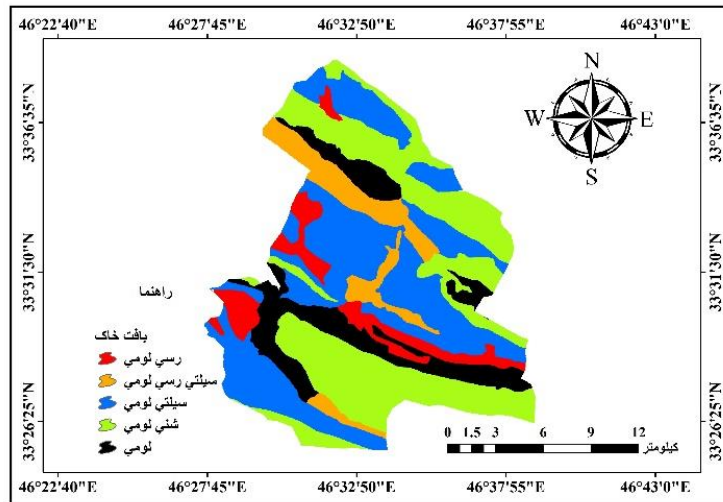
شکل ۵- نقشه تراکم زهکشی منطقه مورد مطالعه

Figure 5- Drainage density map of the study area

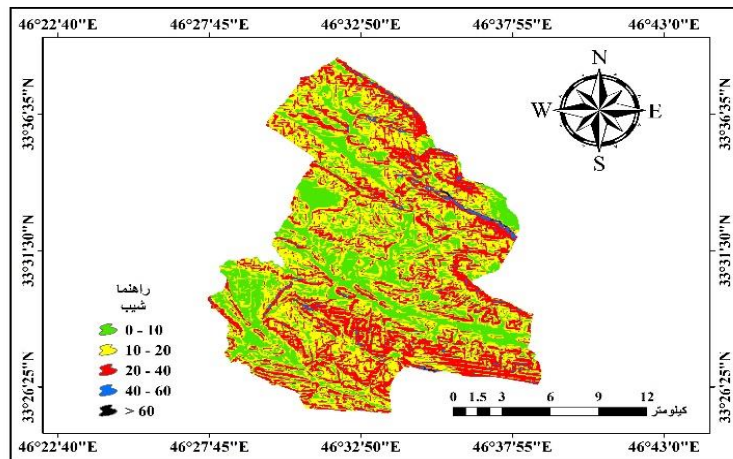


شکل ۶- نقشه تراکم خطواره منطقه مورد مطالعه

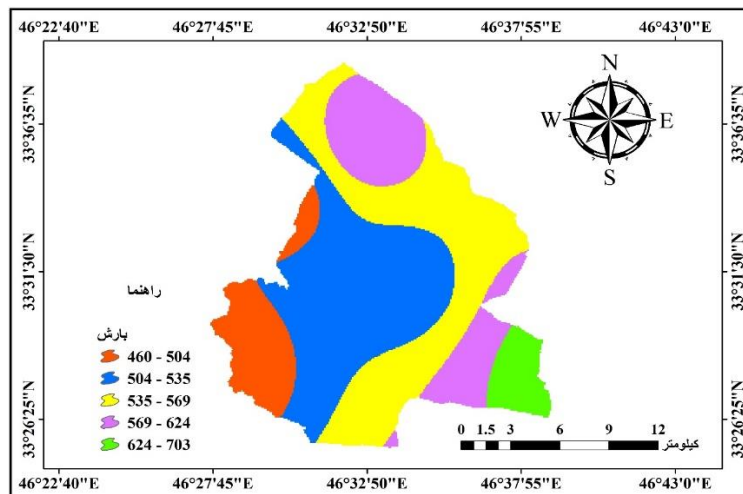
Figure 6- Lineament density map of the study area



شکل ۷- نقشه خاک منطقه مورد مطالعه
Figure 7 - Soil map of the study area



شکل ۸- نقشه شیب منطقه مورد مطالعه
Figure 8- Slope map of the study area



شکل ۹- نقشه بارش منطقه مورد مطالعه
Figure 9- Precipitation map of the study area

تعیین گردید (جدول ۲)؛ که نرخ سازگاری به‌دست‌آمده (۰/۰۹) نشان‌دهنده سطح مطلوبی از سازگاری در مقایسه زوجی است. ارزیابی معیارها نشان داد که زمین‌شناسی با ۰/۳۴۷ بیش‌ترین و بارش با ۰/۰۵۴ کمترین میزان اثرگذاری را دارا می‌باشند.

پس از اخذ نظر کارشناسان در مورد ارجحیت معیارهای موردبررسی، ارزش عددی هر کدام از این فاکتورها به صورت زوجی نسبت به هم مشخص شد. سپس این ارزش‌های وزنی به نرم‌افزار Expert Choice انتقال یافتند و وزن هر کدام از معیارها و نرخ سازگاری

جدول ۲- میزان تأثیرگذاری معیارهای موردبررسی

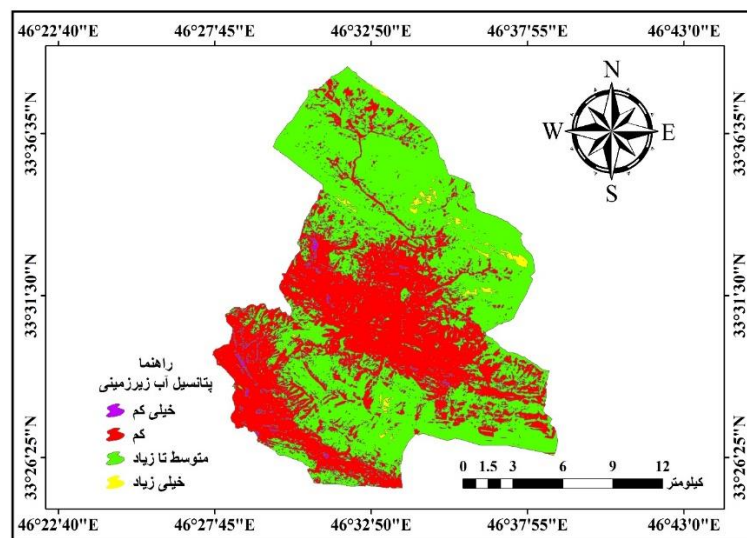
Table 2- The effectiveness of the examined criteria

معیار	زمین‌شناسی	کاربری اراضی	خطواره	شیب	زهکشی	خاک	بارش	وزن (اثرگذاری)
زمین‌شناسی (Geology)	1							0.347
کاربری اراضی (Landuse)	1.4	1						0.191
خطواره (Lineament)	1.3	2	1					0.143
شیب (Slope)	1.6	3	2	1				0.129
زهکشی (Drainage)	1.3	5	2	4	1			0.074
خاک (Soil)	1.4	2	1	3	2	1		0.062
بارش (Rainfall)	1.4	2	3	3	2	4	1	0.054
نرخ سازگاری (Compatibility rate)								0.09

جغرافیایی با استفاده از روش weighted overlay هر کدام از لایه‌های رستری با توجه به درصد اثرگذاری هم‌پوشانی شدند و نقشه پتانسیل آب زیرزمینی حوزه آبخیز سد ایلام در چهار طبقه به دست آمد (شکل ۱۰) و مساحت هر کدام از طبقات مشخص شد (جدول ۳).

نقشه پتانسیل آب زیرزمینی

پس از تهیه لایه‌های مختلف در محیط GIS و ENVI و همچنین ارزش‌گذاری هر کدام از معیارها با توجه به نظر کارشناسان و تعیین وزن هر کدام از معیارها در نرم‌افزار Expert Choice، در سامانه اطلاعات



شکل ۱۰- پتانسیل آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

Figure 10- Groundwater potential of the study area

جدول ۳- مساحت معیارهای مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه

Table 3- The area of the investigated criteria in the study area

مساحت (%)	معیار (Criteria)
	زمین‌شناسی (Geology)
41	Kbgp
53.8	KEpd-gu
4.8	OMas
0.4	Qft1
	کاربری اراضی (Land use)
42.97	جنگل (Forest)
28.25	خاک لخت (Bare soil)
4.9	کشاورزی (Agriculture)
16.7	مرتع (Range)
7.18	مسکونی (Urban)
	تراکم خطواره (Lineament Density)
74.15	0 – 0.17
9.22	0.17 – 0.49
8.28	0.49 – 0.82
7.14	0.82 – 1.20
1.21	1.20 – 1.83
	شیب (Slope)
27.34	0 - 10
40.75	10 – 20
30.1	20 – 40
1.55	40 – 60
0.26	>60
	تراکم زهکشی (Drainage Density)
28.5	0 – 0.35
19.7	0.35 – 0.92
23	0.92 – 1.52
19.4	1.52 – 2.18
9.4	2.18 – 3.46
	خاک (Soil)
7.8	رسی لومی (Loamy Clay)
8.75	سیلتی رسی لومی (Silt Clay Loamy)
35.35	سیلتی لومی (Loamy Silt)
34.06	شنی لومی (Loamy Sandy)
14.04	لومی (Loamy)
	بارش (Rainfall)
11.32	460 – 504
34.38	504 – 535
31.9	535 – 569
17.2	569 – 624
5.2	624 - 703
	پتانسیل آب زیرزمینی (Groundwater Potential)
0.98	خیلی کم (Very Low)
41.8	کم (Low)
55.9	متوسط تا زیاد (Moderate to High)
1.32	خیلی زیاد (Very High)

بحث

به دلیل اینکه حوزه آبخیز سد ایلام منبع اصلی تأمین آب شرب و کشاورزی آبخیزنشینان این منطقه است و از طرفی به دلیل خشک‌سالی و کاهش سطح آب سد ایلام دلیل اصلی پرداختن به موضوع آب زیرزمینی در این منطقه بود. معیارهای تأثیرگذار در این پژوهش شامل هفت فاکتور زمین‌شناسی، شیب، کاربری اراضی، خاک، خطواره، تراکم زهکشی و بارش بودند که از روش AHP و Expert Choice برای محاسبه اهمیت وزن این معیارها استفاده شد. نتایج حاصل از ارزش‌گذاری‌ها نشان داد که معیارهای زمین‌شناسی و کاربری اراضی به ترتیب با وزن ۰/۳۴۷ و ۰/۱۹۱ دارای بیش‌ترین و خاک و بارش با ۰/۰۶۲ و ۰/۰۵۴ دارای کم‌ترین اهمیت جهت پتانسیل آب زیرزمینی هستند؛ که با نتایج (Adiat et al, 2012) و (Haghighi et al, 2023) مطابقت دارد. پس از ترکیب معیارها با استفاده از وزن هر کدام مشخص شد که حوضه از نظر پتانسیل آب زیرزمینی دارای یکنواختی نیست که با نتایج (Sekar & Randhir, 2007) و (Haghighi et al, 2023) همخوانی دارد. حوضه مورد مطالعه دارای چهار بخش شامل پتانسیل خیلی کم، کم، متوسط تا زیاد و خیلی زیاد است؛ که بخش اعظمی از حوضه پتانسیل متوسط تا زیادی برای آب زیرزمینی دارد که این بخش دارای پوشش جنگلی و مرتع زیاد، شیب متوسط (۲۰-۴۰ درجه) و تراکم زهکشی بالا و مقدار بارش زیاد است که با نتایج (Sori et al, 2017) مطابقت دارد. بخش قابل‌توجهی از حوضه دارای خاک لوم و شن است که دارای نفوذپذیری بالایی هستند و می‌توانند آب را در خود نفوذ داده و باعث افزایش آب زیرزمینی شوند. سازند کژدمی دارای پتانسیل متوسط تا زیاد و سازند گروه بنگستان دارای پتانسیل کم است. به‌طور کلی شمال حوضه دارای پتانسیل متوسط تا زیاد، جنوب حوضه دارای پتانسیل کم و بخش کوچکی از شرق حوضه دارای پتانسیل بالایی از آب زیرزمینی

هستند. روش تحلیل سلسله مراتبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی روش‌هایی ساده، سریع و به‌صرفه‌ای هستند که می‌توانند در بسیاری از مسائل محیطی مورد استفاده قرار بگیرند و می‌توانند در تصمیمات مدیریتی کارآمد و مفید باشند. همان‌طور که Kheirkhah و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره در نطنز نشان داد که تحلیل سلسله مراتبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی دارای توانایی کافی جهت مکان‌یابی آب زیرزمینی هستند. همچنین Haghighi و همکاران (۲۰۲۳) در تحقیقی به بررسی پتانسیل منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش سلسله مراتبی- فازی در دشت بم-نرماشیر پرداختند و بر کارایی این روش با سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور صحت گذاشتند.

نتیجه‌گیری

به دلیل زمان‌بر بودن و هزینه‌بر بودن روش‌های سنتی، ضروری است که از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مثل روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شود. از طرفی، بهره‌برداری متناسب با پتانسیل منابع آب زیرزمینی، یکی از روش‌های مدیریت این منابع در راستای توسعه پایدار است. می‌توان گفت که تعیین مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی در ایران با توجه به کمبود داده و اطلاعات با استفاده از ترکیب علوم مکانی و تحلیل‌های چندمعیاره ضروری است، به دلیل اینکه از نتایج حاصل از این بررسی‌ها می‌توان در برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع آب و همچنین بحث آبخوان‌داری استفاده کرد که می‌تواند مدیران را در جهت برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری از این منابع یاری کند. در نهایت پیشنهاد می‌شود با توجه به اینکه اصلی‌ترین محدودیت این روش تحقیقی ارزش‌گذاری بر اساس نظر کارشناسان است ایجاد یک مدل که شامل جامعیت نظرات باشد ضروری است و همچنین به دلیل کمبود داده در کشور بهتر است بانک اطلاعات مربوط به آب‌های زیرزمینی تشکیل شود.

References

- Abbasi, S. & Hedari, M. (2016). Assessment of ground water potential using AHP techniques and fuzzy logic (case study: Northern basin of Ilam province), *Hydrogeomorphology*, 6, 75-93. (In Persian).
- Adiat, K.A.N., Nawawi, M.N.M. & Abdullah, K. (2012). Assessing the accuracy of GIS-based elementary multi criteria decision analysis as a spatial prediction tool—A case of predicting potential zones of sustainable groundwater resources. *J. Hydrol*, 440, 75–89.
- Alizadeh, A. (2003). Principales of applied hydrology. University of mashhad press. (In Persian).
- Chenini, I. & Ben Mammou, A. (2010). Groundwater Recharge Study in Arid Region: An Approach Using GIS Techniques and Numerical Modeling, *Computers & Geosciences*, 36, 801-817.
- Duguma, T.A. (2023). RS and GIS analysis of the groundwater potential zones in the Upper Blue Nile River Basin, Ethiopia. *Hydrology*, 46, 101344.
- Fathizad, H., Alipour, H., Hashminasab, S.N. & Karimi, H. (2016). potential of underground water through the Analytical Hierarchy Process (AHP) Using remote sensing and geographic information system (case study: mahdishahr). *Hydrogeomorphology*, Number 8, pp. 1-20. (In Persian).
- Ghaforinia, A. (2006). Hydro climatology balance analysis of Hamedan spring plain aquifer and evaluation using computer models PMWIN. Mcs thesis, faculty of agriculture. Bu-Ali sina university. (In Persian).
- Haghighi, A., Nohtani, M., Dahmardeh Ghaleno, M.R. & Rafiei Sardooi, E. (2023). Evaluating and detecting potential of groundwater resources using Fuzzy-AHP method and remote sensing data (Case study: Bam-Narmashir plain). *Integrated Watershed Management*, 3 (1), 16-37. doi: 10.22034/iwm.2023.2001770.1075.
- Kaliraj, S., Chandrasekar, N and Magesh, N.S. (2014). Identification of potential groundwater recharge zones in Vaigai upper basin, Tamil Nadu, using GIS-based analytical hierarchical process (AHP) technique. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(4), 1385-1401.
- Khasheae sivaki, A., Ghahraman, B. & Kochakzadeh, M. (2011). Assessment of the potential of extracting water from the aquifer using the fuzzy hierarchical analysis method (case study: Neyshabur Plain), Iran Water Research, No. 9, pp. 171-180. (In Persian).
- Kheirkhah, M., Naseri H. R., Dawoodi M. H. & Salami, H. (2017). Using Hierarchical Analysis Method for prioritizing suitable places for construction of underground Dam (Case Study: Northern Domain of Karkas-Natanz Mountains). *Journal of research and construction*. 79(1), 1-12. (In Persian)
- Li, Y., Abdelkareem, M. & Al-Arifi, N. (2023). Mapping Potential Water Resource Areas Using GIS-Based Frequency Ratio and Evidential Belief Function. *Water*, 15, 480.
- Mahdavi, M. (2008). Applied hydrology volume II, Tehran university press. 240 p. Book.
- Mahdavi, A. & Akhavan, S. (2018). Locating and prioritizing areas prone to artificial groundwater feeding based on Boolean logic, overlapping method and fuzzy logic. *Iran Scientific Journal of Irrigation and Drainage*, 12, 5, 1253-1265. (In Persian).
- Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*. 20(7), 703 – 726.
- Papi, R., S. Hamzeh. & Soleimani, M. (2020). Locating areas prone to artificial groundwater feeding with AHP Fuzzy method in Tehran province. *Scientific-Research Journal of Watershed Engineering and Management*, Year 12, Number 1, pp. 282-297. (In Persian).
- Sekar, I. & Randhir, T. O. (2007). Spatial assessment of conjunctive water harvesting potential in watershed systems. *Journal of Hydrology*, 334(1-2), 39-52.

- Sori, S., Baharvand, S. & Amiri, V. (2017). Finding the potential of underground water resources using the fuzzy hierarchy method (Case study: Rumeshgan Plain). *Environmental Geology Quarterly*, Year 11, Number, 40, p. (In Persian).
- Tavakoli, M., Karimi, H. & Norolahi, H. (2017). Impact of climate change on water resource (case study: ILAM dam watershed). *Journal of Watershed Engineering and Management*, 10, 2, 157-170.