

Potential of Groundwater Resources Using Remote Sensing Methods, Geographic Information System and Fuzzy Hierarchy Case study: Khorramabad catchment area

Dr. Siamak Baharvand^{1*}, Dr. Vahav Amiri Amraei², Salman Soori³

1-Assistant Professor of Geology, Khorramabad Branch, Islamic Azad University

2-Assistant Professor of Geology, Faculty of Science, University of Yazd

3-Young Researchers and Elite Club, Khorramabad Branch, Islamic Azad University



Baharvand, S & Amiri Amraei, V & Soori, S. (2020). [Potential of Groundwater Resources Using Remote Sensing Methods, Geographic Information System and Fuzzy Hierarchy Case study: Khorramabad catchment area]. *Geography and Development*, 18(60), 181-200. <http://dx.doi.org/10.22111/GDIJ.2020.5655>

doi: <http://dx.doi.org/10.22111/GDIJ.2020.5655>

Received:20/06/2019

Accepted:21/01/2020

Keywords:

Remote Sensing,
Geographic Information
System, Fuzzy AHP,
Groundwater,
Khorramabad.

ABSTRACT

Due to the small amount of surface water resources in many parts of Iran, groundwater is the most suitable and only source for water supply in these areas. Today, the use of Remote Sensing (RS) and Geographic Information System (GIS) has become one of the most powerful and cost-effective tools for identifying and exploring available groundwater resources. The aim of this study was to identify areas with high groundwater potential in hard formations of Khorramabad catchment using remote sensing, GIS, Expert Choice software and fuzzy hierarchical method. For this purpose, according to the information of ETM + satellite images, field visits and geological data such as hydrology, land structure and topography, maps such as lithology, elevation, slope, waterway density, fault density, vegetation and rainfall were prepared and weighed. By applying the calculated weight of each criterion and using the overlap by fuzzy hierarchical method, the final groundwater potential map was prepared. The results show that 4.5 and 9.4% of the area are located in areas without potential and high potential, respectively. The greatest potential for groundwater formation is located in calcareous formations and Quaternary conglomerates.

Copyright©2020, Geography and Development. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

Extended Abstract

1- Introduction

Iran is an arid and semi-arid land and its average annual rainfall is less than one third of the world average annual rainfall. Like many arid countries, the Iranian government is facing difficult water supply conditions. Given the

growing population in recent years and increasing water demand along with declining rainfall rates and negative effects on economic development, social status, food supply and environment, the study and exploration of new and safe water resources should be done by governments. The study of long-term changes in groundwater level in Khorramabad plain shows that the average annual drop in groundwater level in this plain is about 32 cm. Continuation of the current trend will make Khorramabad aquifer unable to meet the needs of various uses in the near future.

*Corresponding Author:

Dr. Siamak Baharvand

Address: Department of Geology, Khorramabad
Branch, Islamic Azad University

Tel: +98(9163672294)

E-mail: s.baharvand@khoiau.ac.ir

Therefore, in addition to emphasizing on optimal management of consumption in different sectors, water supply from sources such as karst resources and hard formations in the region can be considered as a viable option by policymakers in this province. Therefore, in this study, we have tried to examine the potential of hard formations from the perspective of water storage and transmission capacity and, in general, the supply of safe water. For this purpose, in addition to field studies and evaluation of existing reports, some practical tools such as remote sensing (RS), geographic information system (GIS) and Fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) methods have been used.

2-Materials and Methods

In general, the potential of groundwater resources in Khorramabad plain using Fuzzy analytic hierarchy process method includes the following steps:

- a. Creating a spatial database related to different layers and organizing them in the form of raster and vector models.
- b. Data processing, which includes data classification and mapping of different layers.
- c. Determining the degree of fuzzy membership based on membership functions and preparing a fuzzy map of each of the factors
- d. Prioritizing and determining the weight of effective factors in determining areas prone to groundwater extraction
- e. Preparing a map of each of the factors and overlapping the maps based on the fuzzy gamma operator

3-Discussion and Results

In order to map the areas prone to groundwater extraction based on the combined method of fuzzy hierarchy, first the fuzzy maps of each factor are multiplied by the weights obtained for them (based on expert judgment). The map of all factors was then overlapped using the fuzzy gamma operator. The obtained results show that 4.5, 24.5, 38.2, 23.4 and 9.4% of the area are in areas without potential, low, medium, good and high potential, respectively. In order to validate the method used, a combination of

the final map and the information layer of the springs in the hard structures of the region has been used. As the results show, the continuous flow of springs as natural outflow areas can indicate the ability of this area to provide a significant volume of water for different uses. According to the results, all springs in this area are located in areas with high potential, good and medium. For this reason, it seems that the result of this study is highly accurate according to the information used and can be used in subsequent evaluations.

4-Conclusion

In this study, which has been carried out with the aim of determining areas prone to groundwater extraction, four factors of lithology, waterway density, vegetation and rainfall in Khorramabad city have been used. The results show that 4.5, 24.5, 38.2, 23.4 and 9.4% of the area are in the category of no potential, low, medium, good and high potential, respectively. According to the results, the greatest potential for groundwater extraction is found in Mesozoic fossilized limestone, Asmari mass limestone and Quaternary conglomerates. The use of remote sensing, geographic information systems and Fuzzy analytic hierarchy process methods have high accuracy in locating groundwater resources in hard formations.

Keywords: Remote Sensing (RS), geographic information system (GIS), Fuzzy analytic hierarchy process (FAHP), Groundwater, Khorramabad.

5-References

- Andualem, Tesfa Gebrie & Demeke, Girum Getachew (2019). Groundwater potential assessment using GIS and remote sensing: A case study of Guna tana landscape, upper blue Nile Basin, Ethiopia, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, DOI:10.1016/j.ejrh.2019.100610.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581818302428>
- Baharvand, Siamak & Soori, Salman (2016). Landslide Hazard Zonation Using AHP Model (A case study: Ayvashan dam watershed, Lorestan). *Journal of Geotechnical Geology*, Volume 12, Issue 1, PP. 29-37.
http://geotech.iauzah.ac.ir/article_675151.html

- Baharvand, Siamak, Rahnamarad, Jafar & Soori, Salman (2016). Delineation of groundwater recharge potential zones using weighted linear combination method (case study: Kuhdasht plain, Iran). *Journal of Geotechnical Geology*, Volume 12, Issue 2, PP.119-125.
<file:///C:/Documents%20and%20Settings/Kh.Mir%20Teymuri/My%20Documents/Downloads/1007420160202.pdf>
- Das, Biswajity, Pal, Subodh Chandra, Malik, Sadhan & Chakraborty, Rabin (2019). Modeling groundwater potential zones of Puruliya district, West Bengal, India using remote sensing and GIS techniques, *Geology, Ecology& Landscapes*. 3(3): 223-237.
DOI:10.1080/24749508.2018.1555740
<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/24749508.2018.1555740>
- Das, Sujit (2017). Delineation of groundwater potential zone in hard rock terrain in Gangajalghati block, Bankura district, India using remote sensing and GIS techniques. *Model. Earth Syst. Environ.* DOI 10.1007/s40808-017-0396-7.
https://www.researchgate.net/publication/320933540_Delineation_of_groundwater_potential_zone_in_hard_rock_terrain_in_Gangajalghati_block_Bankura_district_India_using_remote_sensing_and_GIS_techniques
- Domingos, Pinto, Sangam, Shrestha, Mukand, Babel & Sarawut, Ninsawat (2017). Delineation of groundwater potential zones in the Comoro watershed, Timor Leste using GIS, remote sensing and analytic hierarchy process (AHP) technique, *Applied Water Science*, Volume 7, Issue 1, PP.503-519.
https://www.researchgate.net/publication/273506823_Delineation_of_groundwater_potential_zones_in_the_Comoro_watershed_Timor_Leste_using_GIS_remote_sensing_and_analytic_hierarchy_process_AHP_technique
- Agarwal, Etishree, Agarwal, Rajat, Garg RD & Garg PK (2013). Delineation of groundwater potential zone: An AHP/ANP approach. *Journal of Earth System Science*, Volume 122, Issue 3, PP. 887-898.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s12040-013-0309-8>
- Gintamo, Tesfaye Tessema (2015). Ground Water Potential Evaluation Based on Integrated GIS and Remote Sensing Techniques, in Bilate River Catchment: South Rift Valley of Ethiopia. *ASRJETS*, Volume 10, Issue 1, PP.85-120.
https://www.researchgate.net/publication/313063956_Ground_Water_Potential_Evaluation_Based_on_Integrated_GIS_and_Remote_Sensing_Techniques_in_Bilate_River_Catchment_South_Rift_Valley_of_Ethiopia
- Oh, Hyun-Joo, Kim, Yong-Sung, Choi, Jong-Kuk, Park, Eungyu & Lee, Saro (2011). GIS mapping of regional probabilistic groundwater potential in the area of Pohang City, Korea. *Journal of Hydrology*, Volume 399, Issue3-4, PP:158-172.
- Rahman, Atiqur (2008). A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India. *Applied Geography*, Volume 28, PP.32-53.
http://users.clas.ufl.edu/jmjaeger/6932_GIS/EX10/DRASTIC_GIS.pdf
- Rahimi, Daryosh (2012). Potential ground water resources: (Case study: Shahrekord plain). *Geography and Environmental planning*, Volume 22, Issue 4, PP.127-142.
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=155822>
- Rahimi, Daryosh & Mosavy, Hojat (2013). Potential Detection of Groundwater Resources Using AHP Model and GIS Technique (Case Study: Shahroud-Bastam Basin). *Geography and planning*, Volume 17, Issue 44, PP.139-159.
https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_21.html
- Rahimi, Mohammad & Solaimani, Karim(2017). Remote Sensing and GIS Based Assessment Groundwater Potential Zones Mapping Using Multi-Criteria Decision Making Technique. *Iranian Journal of Watershed Management Science*, Volume 10, Issue 35, PP.27-38.
http://jwmsei.ir/browse.php?a_code=A-10-411-1&sid=1&slc_lang=fa
- Saaty, Thomas L (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, Volume 48, Issue 1, PP.9-26.
https://econpapers.repec.org/article/eeeejores/v_3a48_3ay_3a1990_3ai_3a1_3ap_3a9-26.htm
- Saberi, Azim, Rangzan, Kazem, Mahjori, Reza & Keshavarzi, MohamadReza (2012). Delineating groundwater resources potential using remote sensing, GIS and Analytical Hierarchy Process method in Kamestan anticline, Khozestan district, Iran. *Journal of applied advance geology*, Volume 1, Issue 6, PP.11-20.
<https://www.sid.ir/Fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=238512>
- Soori, Salman, Baharvand, Siamak, Ahmadian Moghadam, Reza & Dehban, Maryam (2013). Landslide hazard zonation using analytical hierarchy method (a case study: Kesmat watershed). *Journal of Applied Geology*, Volume 9, Issue 2, PP.101-110.

پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و سلسله‌مراتبی فازی

مطالعه موردی: حوزه آبریز خرم‌آباد

دکتر سیامک بهاروند^{۱*}، دکتر وهاب امیری امرایی^۲، سلمان سوری^۳

چکیده

با توجه به مقدار اندک منابع آب سطحی در بسیاری از مناطق ایران، آب‌های زیرزمینی مناسب‌ترین و تنها منبع درجهت تأمین آب مورد نیاز این مناطق محسوب می‌شود. امروزه استفاده از سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تبدیل به یکی از ابزارهای قدرتمند و مقرون به صرفه درجهت شناسایی و اکتشاف منابع آب زیرزمینی قابل دسترس شده است. این تحقیق با هدف مشخص کردن مناطق با پتانسیل بالای آب زیرزمینی در سازندهای سخت حوزه آبریز خرم‌آباد با استفاده از سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی، نرم‌افزار Expert Choice و روش سلسله‌مراتبی فازی، انجام شده است. بدین منظور با توجه به اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای ETM+، بازدید میدانی و داده‌های زمین‌شناسی مانند هیدرولوژی، ساختار زمین و توپوگرافی، نقشه‌هایی مانند لیتولوژی، طبقات ارتفاعی، شیب، تراکم آبراهه، تراکم گسل، پوشش گیاهی و بارندگی تهیه و وزن‌دهی شدند. با اعمال وزن محاسبه شده هر معیار و با استفاده از همپوشانی به روش سلسله‌مراتبی فازی، نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی تهیه شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که به ترتیب، ۴/۵ و ۹/۴ درصد از مساحت منطقه در پهنه‌های فاقد پتانسیل و پتانسیل بالا قرار دارند. بیشترین پتانسیل تشکیل منابع آب زیرزمینی در سازندهای آهکی و کنگلومراهای کواترنری واقع شده است.

جغرافیا و توسعه، شماره ۶۰، پاییز ۱۳۹۹
تاریخ دریافت: ۹۸/۰۳/۳۰
تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۰۱
صفحات: ۲۰۰-۱۸۱



واژه‌های کلیدی:

سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی، سلسله‌مراتبی فازی، آب زیرزمینی، خرم‌آباد.

کشور ایران سرزمینی است خشک و نیمه‌خشک با

نزولات جوی بسیار اندک، به طوری که میانگین بارش سالیانه آن کمتر از یک سوم متوسط بارندگی سالیانه جهان است. این گستره بزرگ جغرافیایی با مشخصات هیدرولوژیکی خاص نظیر حجم نزولات جوی ۴۱۳ میلیارد مترمکعب، تبخیر و تعرق ۲۹۶ میلیارد مترمکعب، حجم آب قابل دسترس ۱۱۷ میلیارد مترمکعب، سرانه آب تجدیدشونده ۱۹۰۰ مترمکعب (در حالی که متوسط آب تجدیدشونده جهانی ۷۶۰۰

مقدمه

آب‌های زیرزمینی به دلیل شیرین بودن، ترکیبات ثابت شیمیایی و ضریب آلودگی کمتر، یکی از مهم‌ترین منابع آب شرب و کشاورزی به حساب می‌آیند. این منابع بعد از یخچال‌ها و پهنه‌های یخی، بزرگ‌ترین ذخیره آب شیرین به حساب آمده (صدقت، ۱۳۸۵: ۷) و ۴ درصد از مجموعه آب‌هایی را که فعالانه در سیکل هیدرولوژی دخالت دارند، شامل می‌شوند (علیزاده، ۱۳۸۹: ۲۴؛ رحیمی، ۱۳۹۰: ۱۲۷).

۱- s.baharvand@khoiau.ac.ir

۲- v.amiri@yazd.ac.ir

۳- s.soori@khoiau.ac.ir

۱- استادیار، گروه زمین‌شناسی، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران (نویسنده مسئول)

۲- استادیار، پردیس علوم پایه، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۳- کارشناس ارشد، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران

مترمکعب است) و مصرف ۳/۴ میلیارد مترمکعب که حدود ۶۵ درصد آن از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود، با شرایطی سخت در زمینه تأمین آب روبه‌رو است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۳).

با توجه به افزایش روزافزون جمعیت در سال‌های اخیر، کمبود آب و مشکلات ناشی از آن نظیر تأثیر منفی بر توسعه اقتصادی، اجتماعی، تأمین غذا و حفظ محیط زیست باید از هم‌اکنون به مطالعه و پی‌جویی منابع جدید و مطمئن آب پرداخت. بررسی تراز آب زیرزمینی از سال ۱۳۷۴ تاکنون نشان می‌دهد که افت متوسط سالیانه درازمدت سطح آب زیرزمینی در دشت خرم‌آباد ۰/۳۲ متر است و با ادامه روند موجود، آبخوان خرم‌آباد توان تأمین نیاز مصارف مختلف را در سال‌های نه‌چندان دور نخواهد داشت؛ بنابراین، علاوه بر مواردی همچون مدیریت بهینه مصرف در بخش‌های مختلف، تأمین آب از منابعی همچون منابع کارستی و درز و شکاف‌دار منطقه می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای قابل تأمل مورد توجه سیاستگذاران، دستگاه‌های اجرایی و به تعبیری، تمامی ذی‌مدخلان قرار گیرد؛ از این‌رو در این مطالعه سعی شده است پتانسیل سازندهای سخت از دیدگاه توان ذخیره‌سازی و انتقال آب و به‌طور کلی، تأمین آب سالم مورد بررسی قرار گیرد. در این راه علاوه بر مطالعات میدانی و مطالعه گزارش‌های موجود، از برخی ابزارهای کاربردی همچون سنجش‌ازدور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش سلسله‌مراتبی فازی بهره گرفته شده است.

پژوهشگران متعددی نشان دادند که تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به‌دست‌آمده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای اکتشاف، توسعه و مدیریت منابع آب زیرزمینی مفید است (Gintamo, 2015: 85-120). سنجش‌ازدور یکی از منابع اصلی جمع‌آوری اطلاعات در مورد عوارض سطحی مربوط به آب‌های زیرزمینی مانند سنگ‌شناسی، عوارض ساختاری (گسل‌ها و شکستگی‌ها) کاربری اراضی و ژئومورفولوژی است. این

قبیل اطلاعات می‌تواند به‌سادگی به‌عنوان ورودی محیط Arc GIS برای یکپارچه‌سازی با دیگر انواع داده‌ها و آنالیز آن‌ها استفاده شوند (صابری و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۱).

در سال‌های اخیر در زمینه پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی مطالعاتی چند در ایران و سایر نقاط جهان صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد:

آبشیرینی و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از روش همپوشانی شاخص وزنی در محیط نرم‌افزار ArcGIS به پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در محدوده تاق‌دیس پایده پرداختند. در این تحقیق که از عوامل مؤثر بر پتانسیل‌یابی، نظیر نوع سازندهای زمین‌شناسی، وضعیت زهکشی، میزان شکستگی‌ها، ارتفاع و شیب منطقه استفاده شده بود، نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که روش مذکور از دقت بالایی در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی برخوردار است؛ سیف و کارگر (۱۳۹۰) به پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در حوضه آبریز سیرجان با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه نشان داد که پهنه پتانسیلی بالا برای استخراج منابع آب زیرزمینی بیشتر بر رسوبات درشت‌دانه کواترنری و مخروطه‌افکنه‌ها منطبق است؛ رحیمی و موسوی (۱۳۹۲) به پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS در حوضه آبخیز شاهرود-بسطام پرداختند. براساس نتایج به‌دست‌آمده پهنه پتانسیلی بالا برای استخراج منابع آب زیرزمینی بیشتر بر رسوبات درشت‌دانه کواترنری و مخروطه‌افکنه‌های هولوسن و پهنه بدون پتانسیل بر ارتفاعات و مناطق رسی مارنی منطبق بود؛ مفیدی‌فر و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از روش تصمیم‌گیری تحلیل سلسله‌مراتبی منابع آب زیرزمینی در حوضه یزد-اردکان را پتانسیل‌یابی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها

دومینگوس^۴ و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از سنجش از دور، سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی به پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی حوضه کومورو^۵ واقع در تیمور شرقی پرداختند. براساس نتایج به‌دست‌آمده دشت آبرفتی واقع در شمال غرب منطقه از پتانسیل بالایی برخوردار بوده‌است.

داس^۶ (۲۰۱۷)، اندوالم^۷ و همکاران (۲۰۱۹) و داس و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به ترتیب به پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در غرب بنگال، حوزه تاناگونا اتیوپی و منطقه دنگی نیجریه پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده از اعتبارسنجی روش استفاده‌شده نشان داد که سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی از دقت بالایی در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی برخوردارند.

مواد و روش‌ها

مشخصات عمومی منطقه

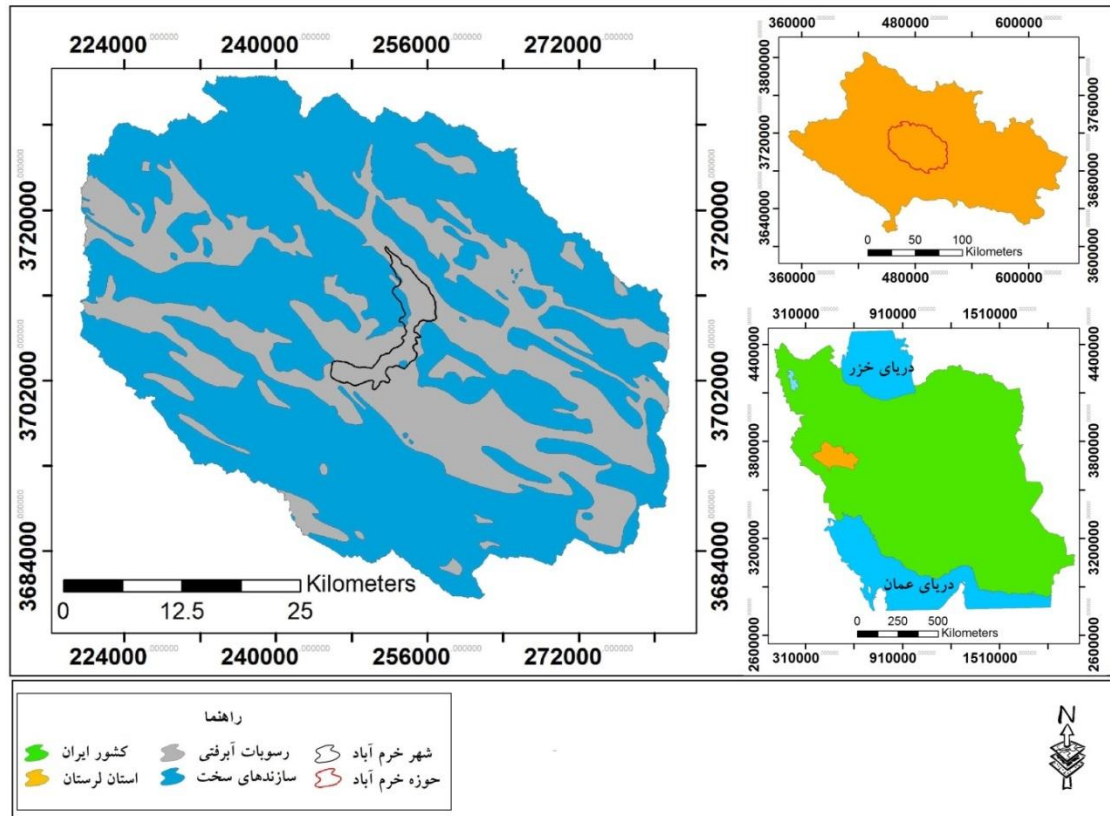
محدوده مطالعاتی خرم‌آباد با وسعت ۲۳۴۸۶۸ هکتار در غرب کشور ایران قرار دارد. ۱۵۸۰۰۸ هکتار از وسعت این حوزه را سازندهای سخت و مابقی آن را رسوبات آبرفتی تشکیل می‌دهد که شهر خرم‌آباد نیز بر روی این رسوبات واقع شده‌است (شکل ۱).

منطقه مورد مطالعه در پهنه چین‌خورده-رانده زاگرس و در بخش مرکزی استان لرستان جای گرفته است. این منطقه نیز در تبعیت از روند عمومی سلسله‌جبال زاگرس، از یکسری گسل‌ها، تاقدیس‌ها و ناودیس‌های کم و بیش موازی تشکیل شده‌است. روند غالب گسل‌ها و چین‌خوردگی‌ها در این منطقه شمال‌باختر-جنوب‌خاور است که به‌طور عمده از گسل‌های معکوس تشکیل شده‌اند.

نشان داد، حدود ۷۰ درصد از مساحت منطقه مطالعه‌شده دارای پتانسیل خوب و خیلی خوب از نظر آب زیرزمینی است؛ رضایی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از روش تحلیل شبکه به پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در حوضه آبریز منتهی به دشت تبریز پرداختند. براساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، دو عامل زمین‌شناسی و بارش بیشترین نقش را در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی منطقه داشته و پهنه‌های با پتانسیل بالای آب زیرزمینی بر ارتفاعات پایین و رسوبات کواترنری منطبق است؛ واعظی‌هیر و همکاران (۱۳۹۷) نشان دادند که استفاده از سلسله‌مراتبی فازی در محیط نرم‌افزار ArcGIS روش قابل‌اعتماد در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در واحدهای کارستی و سازندهای سخت‌کوه مورو-صوفیان است؛ زنگنه‌تبار و قدیمی (۱۳۹۸) با استفاده از روش سلسله‌مراتبی فازی به بررسی پتانسیل‌یابی منابع آب کارستی در محدوده پراو-بیستون پرداختند. براساس نتایج به‌دست‌آمده آهک‌های توده‌ای از بیشترین پتانسیل برای تأمین منابع آب زیرزمینی برخوردار بودند؛ اوه^۱ و همکاران (۲۰۱۱) به پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی شهر پوهانگ کره با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد، دقت نقشه به‌دست‌آمده بیش از ۷۷ درصد است. همچنین براساس نتایج به‌دست‌آمده، لایه خاک بیشترین تأثیر و ارتفاع کمترین اثر را بر پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه داشته‌است؛ آگروال^۲ و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای، آب‌های زیرزمینی در منطقه اونائو^۳ کشور هندوستان را پتانسیل‌یابی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد، حدود ۱۵ درصد از مساحت منطقه دارای پتانسیل خوب و خیلی خوب از نظر آب زیرزمینی است؛

4-Domingos
5-Comoro watershed
6-Das
7-Andualem

1-Oh
2-Agarwal
3-Unnao



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوزه خرم آباد

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

شدیدی مواجه بوده است (شکل ۲). بررسی تراز آب زیرزمینی از سال ۱۳۷۴ تاکنون نشان می‌دهد که افت متوسط سالیانه درازمدت سطح آب زیرزمینی در دشت خرم آباد ۰/۳۲ متر و افت تجمعی سطح آب زیرزمینی نیز ۷/۰۴ متر بوده است؛ از این رو با توجه به افت شدید تراز آب زیرزمینی و نیاز آبی برای تأمین آب شرب و کشاورزی در محدوده مورد مطالعه، جستجوی منابع احتمالی تأمین آب از ضروریات ادامه حیات در دشت خرم آباد است.

بررسی اطلاعات آماری دشت خرم آباد در سال آبی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ (برگرفته از برنامه عملیاتی ارائه شده توسط شرکت آب منطقه‌ای استان لرستان در قالب طرح احیاء و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی کشور) نشان می‌دهد که آبخوان خرم آباد با وسعت ۱۰۴/۷۴ کیلومترمربع در حال حاضر تأمین کننده منابع آب در محدوده مورد مطالعه است. با توجه به تعداد چاه‌های مجاز و غیرمجاز و همچنین سطح زیرکشت در محدوده آبخوان خرم آباد (جدول ۱، ۲ و ۳)، تراز آب زیرزمینی طی سال‌های اخیر و در درازمدت با افت

جدول ۱: وضعیت چاه‌های مجاز در محدوده دشت خرم‌آباد تا پایان سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۶

نوع مصرف	تعداد	آبدهی متوسط (L/S)	تخلیه (MCM)	حجم اضافه برداشت (MCM)
کشاورزی	۶۰۰	۱۳	۶۴٫۸	۱۰/۳۵
شرب	۹۷	۱۳/۰۶	۱۸/۸	-
صنعت و خدمات	۳۶۹	۵/۷	۱۵/۸	-
مجموع	۱۰۴۳	-	۹۹/۵	۱۰/۳۵

مأخذ: برگرفته از اطلاعات آماری دشت خرم‌آباد، ارائه‌شده توسط شرکت آب منطقه‌ای لرستان، ۱۳۹۸

جدول ۲: وضعیت چاه‌های غیرمجاز در محدوده دشت خرم‌آباد تا پایان سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۶

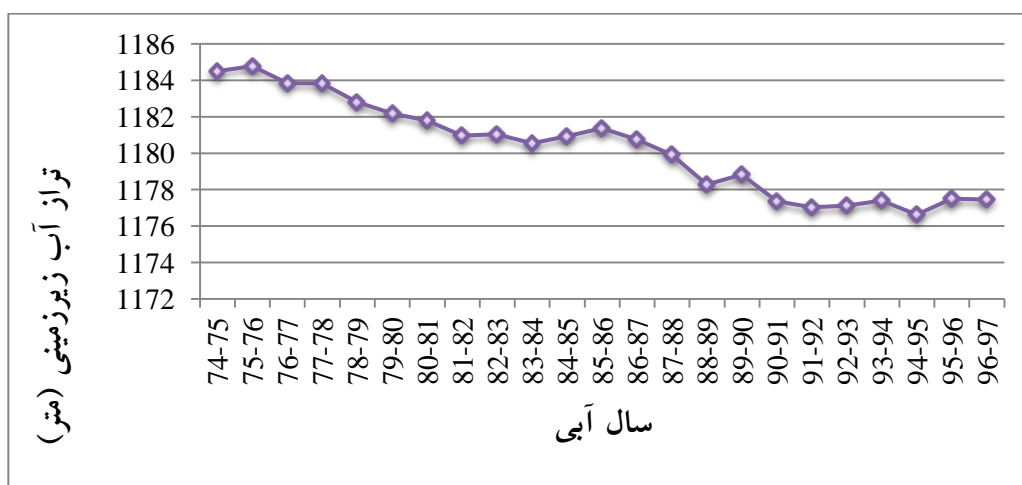
تاریخ حفر	تعداد	تخلیه (MCM)	کشاورزی		متوسط آبدهی (L/S)
			سطح زیر کشت (hec)		
			زراعی	باغی	
قبل از ۱۳۸۵	۹	۰/۴۷۵	۵۳	۶	۵/۲
۱۳۸۵-۱۳۷۹	۷۸	۱/۱۴	۲۰۲	۲۳	۲/۳
مجموع	۸۷	۱/۶۱۵	۲۵۵	۲۹	-

مأخذ: برگرفته از اطلاعات آماری دشت خرم‌آباد، ارائه‌شده توسط شرکت آب منطقه‌ای لرستان، ۱۳۹۸

جدول ۳: ترکیب کشت، نیاز آبی کشت‌ها و نحوه آبیاری در دشت خرم‌آباد تا پایان سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۶

نوع کشت	گندم	جو	ذرت	سایر کشت‌های زراعی	باغ	جمع کل	اراضی دارای آبیاری تحت فشار
سطح زیر کشت (hec)	۳۸۳۰	۷۰۸	۱۴۸۵	۲۷۱۲	۹۷۰	۹۷۰۵	۶۵۵۷
حجم آب مورد نیاز (mcm)	۳۳	۶	۱۳	۲۳	۰/۱۲	۷۵/۱۵	۵۱/۸۲

مأخذ: برگرفته از اطلاعات آماری دشت خرم‌آباد، ارائه‌شده توسط شرکت آب منطقه‌ای لرستان، ۱۳۹۸



شکل ۲: آبنمود معرف دشت خرم‌آباد

مأخذ: برگرفته از اطلاعات آماری دشت خرم‌آباد، ارائه‌شده توسط شرکت آب منطقه‌ای لرستان، ۱۳۹۸

روش تحقیق

لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده

در این پژوهش به منظور پی‌جویی مناطق آبی با پتانسیل‌های مختلف در محدوده حوزه آبریز خرم‌آباد از معیارهای زمین‌شناسی (لیتولوژی و تراکم گسل)، ژئومورفولوژی (طبقات ارتفاعی و شیب)، عوامل زیست‌محیطی (پوشش گیاهی)، اقلیمی (بارش) و هیدرولوژیکی (تراکم شبکه زهکشی) استفاده شده است.

لیتولوژی: نوع سنگ و خصوصیات وابسته به آن نظیر بافت و درجه خلوص سنگ‌ها نقش مهمی در تخلخل، نفوذپذیری اولیه و تمرکز جریان آب زیرزمینی در داخل سنگ‌ها ایفا می‌کند (Baharvand et al., 2016: 121). در این تحقیق نقشه لیتولوژی منطقه با رقمی کردن نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ خرم‌آباد (تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور) و استفاده از ترکیب باندی ۵۳۱ تصاویر سنجنده ETM+ و مطالعات میدانی به منظور بررسی صحت‌سنجی مرز لایه‌ها تهیه شده است.

گسل‌ها: گسل‌ها به دلیل ایجاد فضاهایی در سازندها و واحدهای زمین‌شناسی در جهت عبور آب و حرکت به سمت نقاط پایین‌تر در درون زمین، نقاط ضعف در نظر گرفته می‌شوند. در این تحقیق به منظور تهیه لایه گسل‌های منطقه از نقشه زمین‌شناسی منطقه، عکس‌های هوایی و اعمال فیلتر جهت‌دار بر باند ۷ سنجنده ETM+ استفاده شده است.

شیب: شیب نقش بسیار مهمی در کنترل عواملی مانند سیل‌خیزی، نفوذپذیری، تشکیل خاک داشته و در تعیین پتانسیل آب‌های زیرزمینی دارای اهمیت بالایی است. مناطقی که دارای شیب پایینی هستند، آب را برای مدت طولانی حفظ می‌کنند که این امر باعث نفوذ و تغذیه بیشتر آب می‌شود (Rahman, 2008: 40). به منظور تهیه نقشه شیب از مدل رقمی ارتفاعی که از خطوط تراز نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ خرم‌آباد

(تهیه شده توسط سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح) در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد، استفاده شده است.

آبراهه: مشخصات هیدرولوژیکی و ژئوهیدرولوژی هر آبخوان یکی از گویاترین بخش‌ها در اکتشافات و پتانسیل‌یابی منابع آب است (رحیمی و سلیمانی، ۱۳۹۵: ۳۰). در سطح محدوده مورد مطالعه، صرف‌نظر از ریزش‌های جوی، آبراهه‌ها مهم‌ترین منبع تغذیه‌کننده آب زیرزمینی هستند. به منظور تهیه نقشه تراکم آبراهه، شبکه آبراهه‌ها از روی نقشه توپوگرافی مشخص و در محیط نرم‌افزار ArcGIS رقمی شد.

ارتفاع: ارتفاع یکی از فاکتورهای توپوگرافی است که نقش مهمی در میزان رواناب و میزان نفوذپذیری آب در لایه‌های زمین دارد. نقشه طبقات ارتفاعی خود از کلاس‌بندی نقشه DEM منطقه تهیه شده است.

بارندگی: بارندگی، منبع اولیه تأمین‌کننده آب زیرزمینی در هر منطقه است. ارتباط بارندگی با ایجاد آب زیرزمینی به وسیله فاکتورهایی مانند توپوگرافی، پوشش گیاهی و لیتولوژی کنترل می‌شود، این فاکتورها بر مقدار آبی که به درون زمین نفوذ می‌کند، مؤثر هستند (زروش و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۴۹). به منظور تهیه نقشه هم‌باران منطقه از آمار بارندگی سالانه ایستگاه خرم‌آباد و ایستگاه‌های مجاور استفاده شده و با ایجاد رابطه همبستگی بین میزان بارندگی و ارتفاع، نقشه هم‌باران منطقه تهیه شده است.

پوشش گیاهی: پوشش گیاهی مهم‌ترین ویژگی فیزیوگرافی است که تأثیر بر نفوذ، فرسایش، تبخیر و تفرق می‌گذارد. با توجه به اینکه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به خصوص در فصل خشک، آب سطحی بسیار محدود است؛ بنابراین وجود پوشش گیاهی نمایانگر خوبی از آب زیرزمینی کم‌عمق است (میوسفی‌سنگانی و همکاران، ۱۳۹۱: ۴). در محدوده مورد مطالعه، نقشه پوشش گیاهی از تفسیر شاخص NDVI استخراج شده است.

روش پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که علی‌رغم سادگی و کارایی بالا به دلیل عدم در نظر گرفتن بی‌دقتی و عدم اطمینان ذاتی ادراکات تصمیم‌گیرندگان و انعکاس نظرات آن‌ها به صورت یک عدد قطعی، اغلب مورد انتقاد قرار گرفته است (Baharvand & soori, 2016: 32). به همین دلیل در این تحقیق سعی شده است تا با استفاده از مفاهیم اساسی نظریه مجموعه‌های فازی و به ویژه اعداد فازی، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی به فضای فازی توسعه داده شود. به طور کلی، پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی دشت خرم‌آباد با استفاده از روش سلسله‌مراتبی فازی شامل مراحل زیر است:

۱- ساختن پایگاه داده‌های فضایی و به بیانی ورود و سازماندهی داده‌های فضایی مربوط به لایه‌های مختلف مورد استفاده برای پتانسیل‌یابی و ساماندهی آنها در قالب مدل‌های رستری و برداری.

۲- مرحله پردازش داده‌ها که شامل طبقه‌بندی داده‌ها و استخراج نقشه‌های مشتق‌شده از لایه‌های مختلف است.

۳- تعیین درجه عضویت فازی براساس توابع عضویت و تهیه نقشه فازی هر یک از عوامل: تئوری فازی شامل تمام تئوری‌هایی است که از مفاهیم اساسی مجموعه‌های فازی یا توابع عضویت استفاده می‌کند. یکی از اساسی‌ترین مباحث در تئوری فازی بحث تابع عضویت و چگونگی تعریف آن است که مشخص‌کنندهٔ اعضاء یک مجموعه است (Tanak, 1388: 16). اساس اختلاف روش‌های فازی با روش‌های دیگر، در تعریف تابع عضویت است. در تعریف تابع عضویت می‌توان گفت که درجه تعلق عناصر مجموعه مرجع به زیرمجموعه‌های آن است و به صورت $\mu_C(X)$ نمایش داده می‌شود. برای به دست آوردن تابع عضویت هیچ الگوریتم مشخصی وجود ندارد؛ بلکه تجربه، نوآوری و

حتی اعمال نظر شخصی در شکل‌گیری و تعریف تابع عضویت می‌تواند مؤثر باشد. در این تحقیق با استفاده از توابع عضویت خطی *small* و *larg* نقشه‌های هر یک از عوامل مؤثر بر پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در محدوده اطراف شهر خرم‌آباد به نقشه‌های فازی تبدیل شده‌اند.

۴- اولویت‌بندی عوامل مؤثر در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی و تعیین وزن آن‌ها: در این پژوهش از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی^۱ (AHP) که یکی از مدل‌های چندمعیاره تصمیم‌گیری است، برای اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی استفاده شده است. AHP یک روش نیمه‌کیفی است که شامل یک ماتریس وزن‌دهی بر مبنای مقایسات زوجی بین عوامل بوده و میزان مشارکت هر یک از عوامل را در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی مشخص می‌کند. از مزایای این روش آن است که با استفاده از تجربه و دانش کارشناسان متخصص در زمینه کاربرد مورد نظر و با در نظر گرفتن خصوصیات محدوده مطالعاتی، فاکتورهای مناسب تعیین و وزن‌دهی می‌شوند (سوری و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۰۶).

در تحلیل سلسله‌مراتبی روش کار بدین صورت است که ابتدا به منظور تعیین ارجحیت عوامل مختلف و تبدیل آن‌ها به مقادیر کمی از قضاوت‌های شفاهی (نظر کارشناسی) بر مبنای مقایسات زوجی استفاده می‌شود؛ به طوری که تصمیم‌گیرنده ارجحیت یک عامل را نسبت به علل دیگر به صورت جدول (۴) در نظر گرفته و این قضاوت‌ها را به مقادیر کمی بین ۱ تا ۹ تبدیل می‌کند. سپس نتایج این مقایسات، برای محاسبه شاخص ناسازگاری^۱ به نرم‌افزار Expert Choice وارد می‌شود. اگر شاخص محاسبه شده کمتر از ۰/۱ باشد، نتایج قابل قبول بوده و در غیر این صورت باید دوباره در وزن‌دهی تجدیدنظر شود.

جدول ۴: طبقه‌بندی ارجحیت مقادیر وزن‌ها براساس قضاوت کارشناسی

مقدار عددی وزن‌ها	توصیف زبانی ارجحیت طبقات
۹	کاملاً مهم یا کاملاً مطلوب‌تر
۷	اهمیت خیلی قوی
۵	اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مطلوب‌تر یا کمی مهم‌تر
۱	اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۲، ۴، ۶ و ۸	اولویت بین فواصل

مأخذ: Saaty, 1990: 15

عملگر جمع و ضرب فازی هستند. عملگر گاما نسبت به سایر عملگرهای فازی کاربرد بیشتری دارد و زمانی استفاده می‌شود که اثر برخی شواهد کاهش و اثر برخی افزایشی باشد؛ به همین دلیل در این مطالعه از عملگر گاما به منظور پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه استفاده شده است.

نتایج و بحث

به منظور تهیه نقشه پتانسیل‌یابی منابع آب در محدوده مورد مطالعه، ابتدا نقشه عوامل مؤثر در پتانسیل‌یابی تهیه و کلاس‌بندی شد (اشکال ۳ تا ۹). بررسی نتایج به دست آمده از نقشه‌ها و کلاس‌های آن‌ها به شرح زیر است:

پراکندگی تشکیلات زمین‌شناسی در محدوده مورد مطالعه (شکل ۳) نشان می‌دهد که وجود برخی از سازندهای آهکی از جمله آهک‌های توده‌ای سازند آسماری و آهک‌های فسیل‌دار دوران مزوزوییک در این منطقه که دارای توان بالای انحلال است، شرایط را برای ایجاد و توسعه کارست فراهم می‌کند. به این ترتیب می‌توان انتظار داشت که تقریباً در مناطق جنوبی و شمال شرق محدوده پتانسیل‌یابی ذخیره و انتقال آب زیرزمینی وجود داشته باشد. در همین

۵- تهیه نقشه‌های سلسله‌مراتبی فازی هر یک از عوامل و همپوشانی نقشه‌ها براساس عملگر گامای فازی: اپراتورهای مدل منطق فازی مشتمل بر عملگرهای اجتماع فازی، اشتراک فازی، ضرب جبری فازی، جمع جبری فازی و عملگر گاما فازی هستند که در این تحقیق از عملگر گامای فازی به منظور هم‌پوشانی داده‌ها استفاده شده است. عملگر گاما فازی برحسب حاصل ضرب جبر فازی و حاصل جمع جبری فازی به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود.

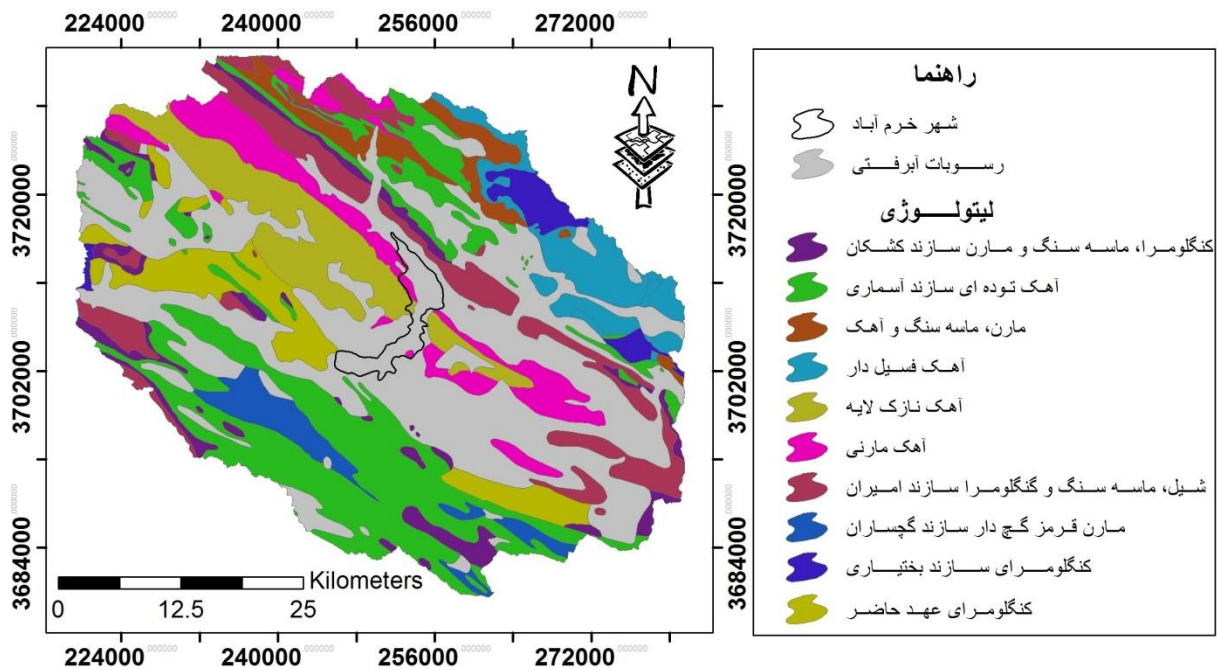
رابطه (۱)

$$\mu_{\bar{A}_i, comp}(x) = \left(\prod_{i=1}^n \mu_i(x) \right)^{(1-\gamma)} \left(1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i(x))^\gamma \right), x \in X, 0 \leq \gamma \leq 1$$

که در آن γ پارامتر انتخاب شده در محدوده (۰ و ۱) است (تاناکا، ۱۳۸۸: ۳۳). وقتی γ برابر ۱ باشد، ترکیب همان جمع جبری فازی خواهد بود و وقتی $\gamma=0$ باشد، ترکیب اصلی برابر با حاصل ضرب جبری فازی است. انتخاب صحیح و آگاهانه γ بین صفر و یک مقادیری را در خروجی به وجود می‌آورد که نشان‌دهنده سازگاری قابل‌انعطاف میان گرایش‌های کاهش و افزایشی دو

شده است. علی‌رغم پتانسیل گاهاً قابل توجه تشکیل فضاهای ثانویه (عمدتاً انحلالی) در این لیتولوژی و فراهم آمدن شرایط لازم در جهت ذخیره‌سازی و انتقال آب، نرخ بالای انحلال و نقش تخریبی این سازندها در کاهش کیفیت منابع آبی به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده در جهت برنامه‌ریزی اکتشاف و بهره‌برداری شناخته می‌شود.

زمینه نیز لازم‌به‌ذکر است که سازندهای رسوبی سخت کم‌ضخامت با اندازه ذرات ریز و تراکم بالا عمدتاً توان هیدرولیکی پایینی داشته و از این منظر می‌توان محدوده‌های متشکل از سازندهای مارنی و شیلی را در رده مناطق با کمترین توان تأمین آب زیرزمینی محسوب کرد. همچنین سازند گچساران با لیتولوژی مارن گچ‌دار در بخش‌هایی از جنوب شرق منطقه واقع



شکل ۳: نقشه لیتولوژی حوزه خرم‌آباد (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ خرم‌آباد)

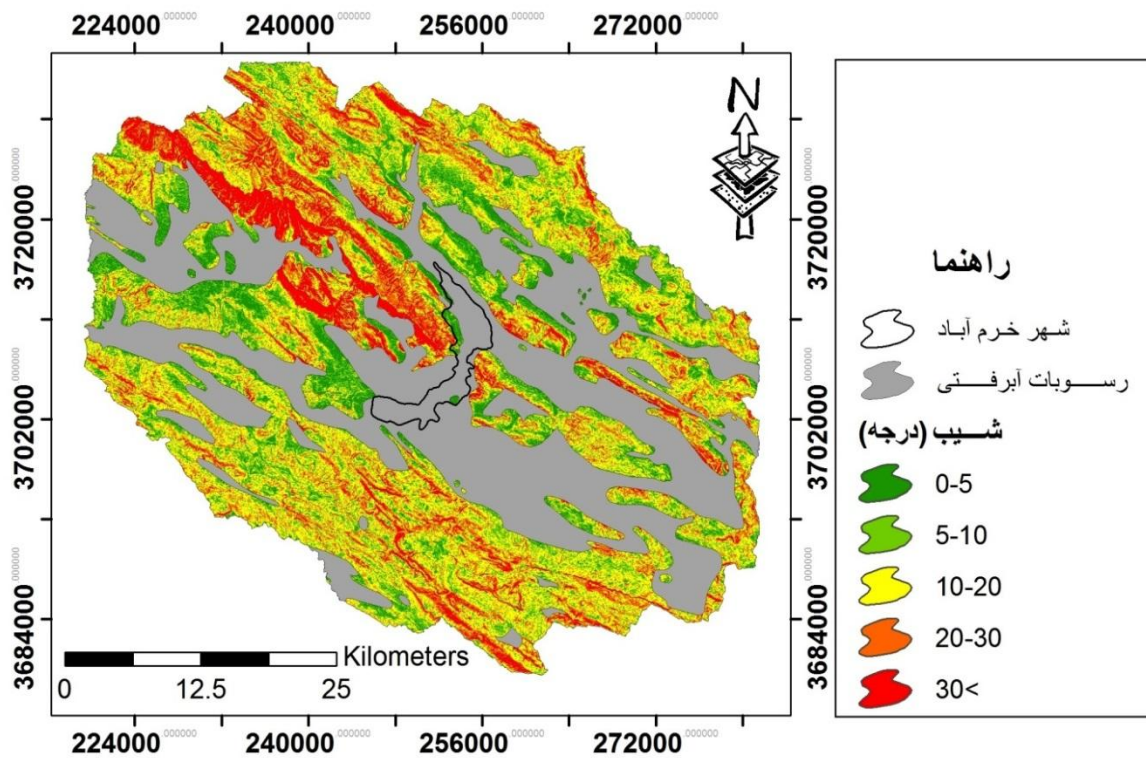
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

ایجاد مجاری کارستی و گسلی و فراهم آمدن شرایطی برای عبور سریع آب زیرزمینی نیز وجود دارد. در این‌گونه موارد، سطح کارستی شدن (Karstification level) می‌تواند در نقاطی با شیب توپوگرافی کم متوقف شده و موجب آغاز ذخیره‌شدن آب (به شرط وجود فضای متخلخل یا کارستی کافی) شود. با این تفاسیر، مناطق مستعد اکتشاف آب می‌تواند دارای شیب ۰-۵ درجه باشد که عمدتاً در بخش‌هایی از مرکز، شمال شرق و غرب حوزه واقع شده‌اند.

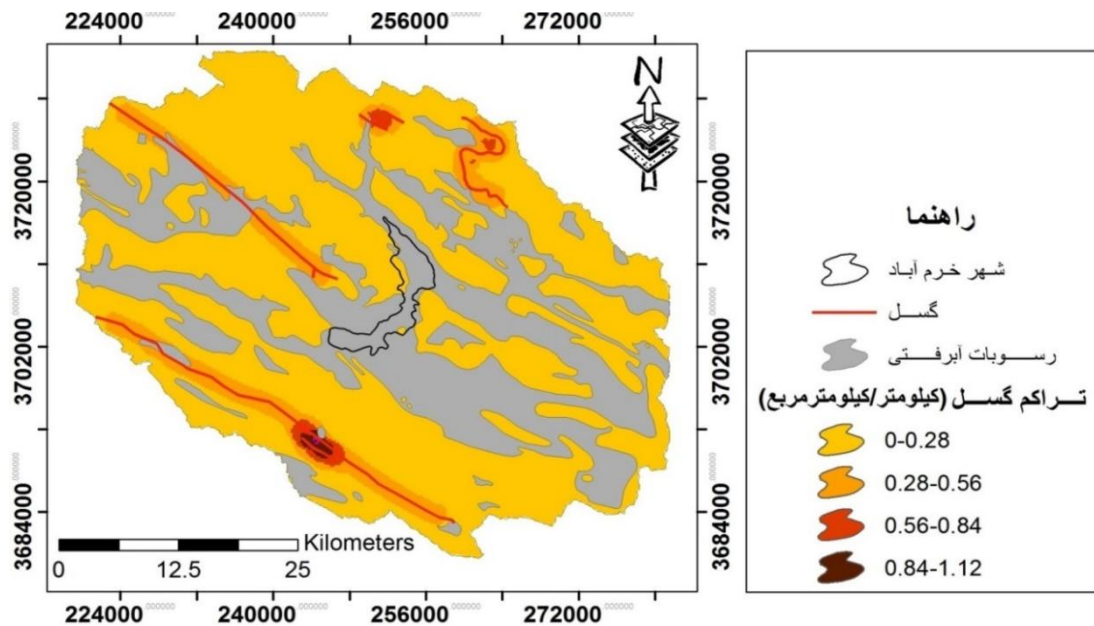
پس از طبقه‌بندی نقشه شیب توپوگرافی در بازه‌های ۰-۵، ۵-۱۰، ۱۰-۲۰، ۲۰-۳۰ و بیشتر از ۳۰ درجه، نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که در طبقات مختلف شیب (شکل ۴) آب زیرزمینی تمایل دارد در مناطقی با کمترین شیب توپوگرافی و به تبع آن شیب هیدرولیکی تجمع یابد. به این ترتیب امکان اکتشاف آب در مناطقی با شیب کمتر، بسیار بیشتر از مناطقی با شیب توپوگرافی زیاد است. البته باید خاطر نشان کرد، در بسیاری از مناطق با شیب تند نیز امکان

قرارگیری در زون زاگرس چین‌خرده به‌صورت بالقوه می‌تواند دارای سیستم گسلی پیشرفته‌تری باشد که این امر مستلزم انجام مطالعه بسیار دقیق‌تری با تأکید بر شناسایی درز و شکاف‌ها و گسله‌های موجود در منطقه است.

بررسی تراکم گسل‌های موجود در محدوده مورد مطالعه (شکل ۵) نشان از سه منطقه با بیشترین تراکم است که این خود می‌تواند عاملی برای انتقال آب زیرزمینی از نقاط ارتفاعی بالاتر به مناطق پست‌تر باشد. البته باید توجه داشت که این محدوده به‌دلیل



شکل ۴: نقشه شیب سازندهای سخت حوزه خرم‌آباد
 مأخذ: برگرفته از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ خرم‌آباد

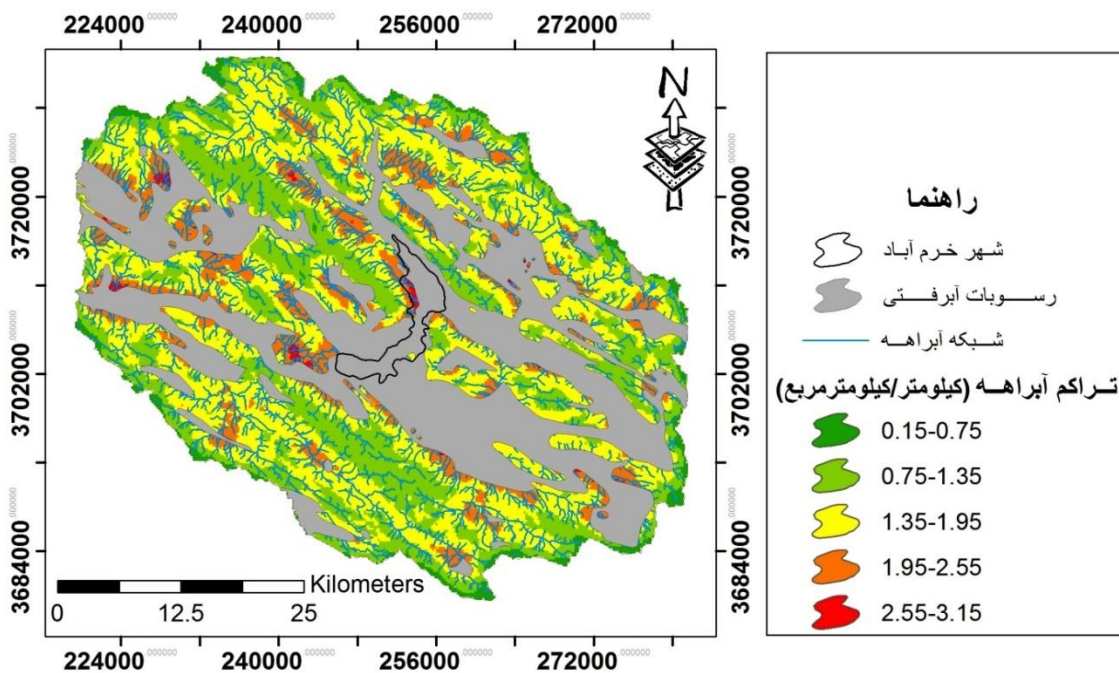


شکل ۵: نقشه تراکم گسل‌های سازندهای سخت حوزه خرم آباد

مأخذ: برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ خرم‌آباد

متراکم زهکشی در این مناطق نیز عاملی در جهت تغذیه ساختارهای رسوبی موجود در این مناطق و به‌دنبال آن بالابردن ذخیره آبی آنها شود.

شکل (۶) به‌وضوح نشان می‌دهد که تمامی جریانات سطحی (شبکه آبراهه) موجود در این محدوده به بخش‌های مرکزی و شمال‌غربی منتهی می‌شود؛ به‌همین دلیل، باید انتظار داشت که وجود شبکه



شکل ۶: نقشه تراکم شبکه آبراهه سازندهای سخت حوزه خرم آباد

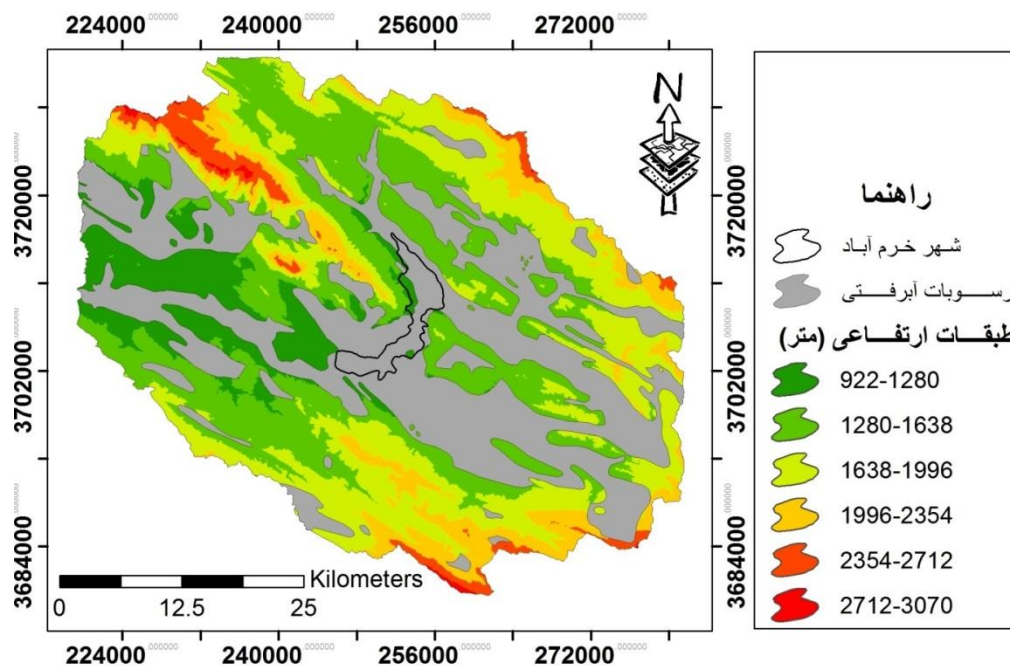
مأخذ: برگرفته از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ خرم‌آباد

می‌شود؛ این بدان معناست که عوامل ذکر شده دارای نقش کنترل‌کننده‌ای در مقدار آب نفوذی به لایه‌های زیرین زمین دارند. با توجه به اینکه در محدوده مورد مطالعه بارندگی‌ها قابل ملاحظه عمدتاً در مناطقی با لیتولوژی آهکی و پوشش گیاهی (جنگلی) مناسب رخ می‌دهند؛ از این رو می‌توان انتظار داشت که مجموع این عوامل منجر به ذخیره‌سازی آب در سازندهای آهکی درز و شکافدار و انحلالی منطقه و همچنین ایجاد فرصت نفوذ و نشت بیشتر نزولات جوئی از طریق کاهش سرعت ناشی از وجود پوشش گیاهی شود.

بررسی نقشه پوشش گیاهی حوزه خرم‌آباد نشان می‌دهد که قسمت‌هایی از شمال غرب و جنوب شرق منطقه از پتانسیل بیشتری برخوردار است (شکل ۹). با مشاهده پدیده‌های سطحی از جمله پوشش گیاهی زمین، می‌توان به شرایط زیرسطحی وجود آب در لایه‌های زیرین پی برد.

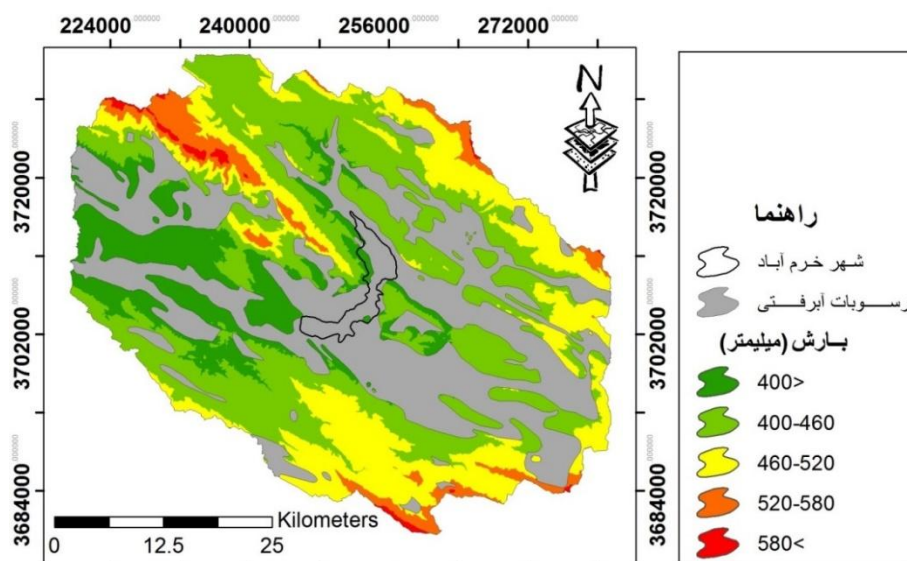
بررسی نقشه ارتفاعی محدوده مورد مطالعه (شکل ۷) نشان می‌دهد که کمترین ارتفاعات در نوار مرکزی (دشت‌های آبرفتی) واقع شده‌است و با توجه به ارتباط بین حرکت آب زیرزمینی از ارتفاعات مجاور به مناطق پست‌تر و تجمع در این نواحی، انتظار می‌رود بیشترین احتمال اکتشاف آب زیرزمینی در این مناطق وجود داشته‌باشد. البته در این زمینه باید سایر عوامل تأثیرگذار را که پیش از این به آن‌ها پرداخته شد نیز مدنظر قرار داد.

بررسی نقشه طبقات بارندگی در شکل (۸) نشان می‌دهد که اصولاً بارندگی در ارتفاعات بالاتر (در این محدوده، مناطق شمال غرب، شمال شرق و جنوبی) بیشتر است. در بررسی این نقشه در راستای هدف مطالعه باید از سایر اطلاعات موجود نیز بهره‌گرفت. ارتباط بارندگی با ایجاد آب زیرزمینی بیشتر براساس عواملی مانند پوشش گیاهی و لیتولوژی کنترل



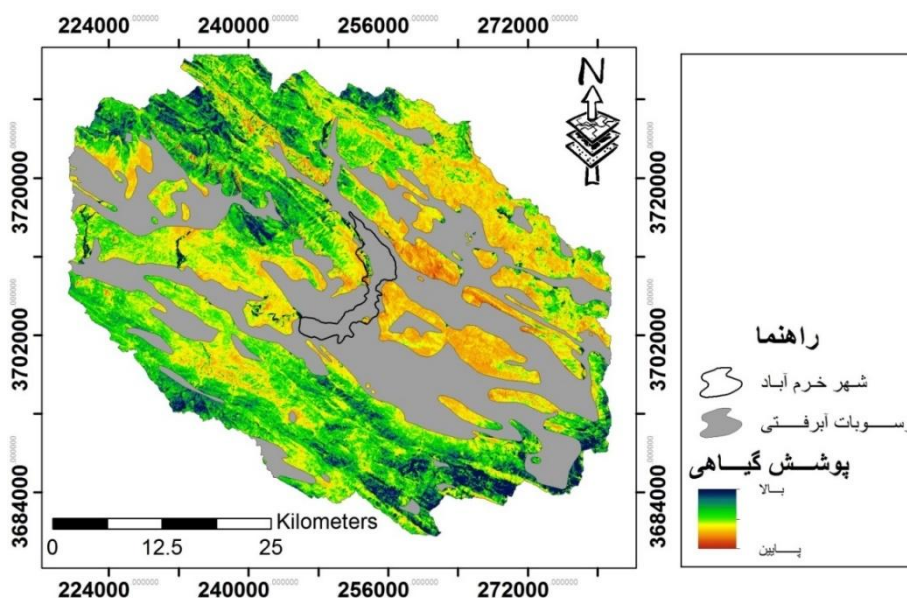
شکل ۷: نقشه طبقات ارتفاعی سازندهای سخت حوزه خرم‌آباد

مأخذ: برگرفته از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ خرم‌آباد



شکل ۸: نقشه طبقات بارندگی سازندهای سخت حوزه خرم آباد

مأخذ: برگرفته از آمار بارندگی محدوده مطالعه شده



شکل ۹: نقشه پوشش گیاهی سازندهای سخت حوزه خرم آباد

مأخذ: برگرفته از تصاویر ماهواره‌ای ETM+

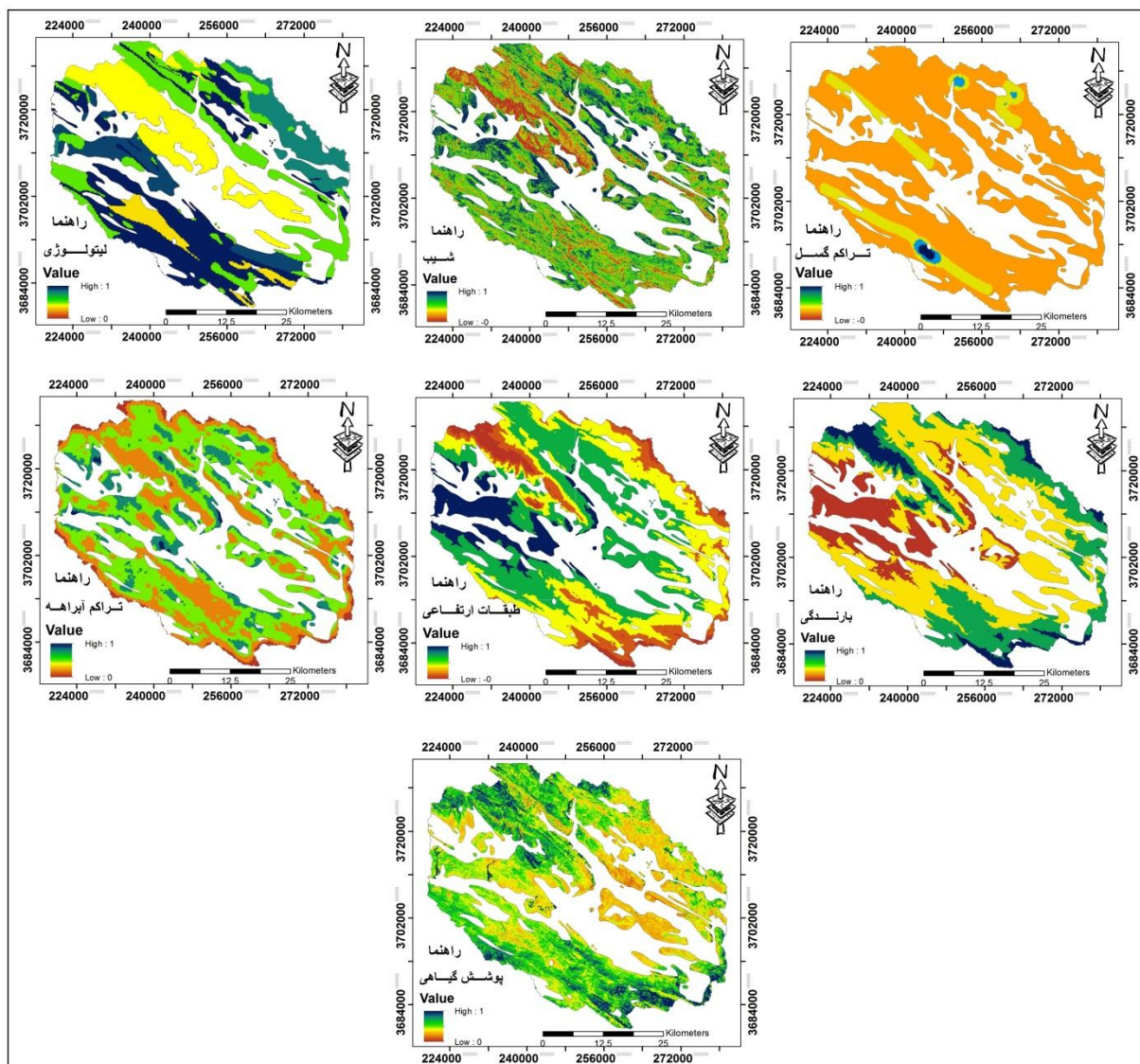
نقشه فازی آن‌ها تهیه شد (جدول ۵) (شکل ۱۰). سپس براساس قضاوت کارشناسی هر یک از عوامل وزن دهی شدند که نتایج به دست آمده از محاسبه ضریب ناسازگاری با مقدار عددی ۰/۰۳ نشان داد که مقایسات به درستی انجام شده است (شکل ۱۱).

در مطالعه انجام شده پس از تفسیر نقشه‌های عوامل مؤثر بر پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی، نوع تابع عضویت برای هر یک از لایه‌های لیتولوژی، شیب، تراکم گسل، تراکم آبراهه، ارتفاع، بارندگی و پوشش گیاهی براساس افزایشی و کاهش‌ی بودن امتیاز آن‌ها انتخاب و

جدول ۵: توابع عضویت استفاده شده در پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی حوزه خرم آباد

پارامتر	بیشترین درجه عضویت	کمترین درجه عضویت	تابع استفاده شده
لیتولوژی	آهک توده‌ای	مارن قرمز گچ‌دار	large
شیب	۰-۵	بیشتر از ۳۰ درجه	small
تراکم گسل	۰/۸۴-۱/۱۲	۰-۰/۲۸	large
تراکم آبراهه	۲/۵۵-۳/۱۵	۰/۱۵-۰/۷۵	large
ارتفاع	کمتر از ۱۲۸۰ متر	بیشتر از ۲۷۱۲ متر	small
بارندگی	بیشتر از ۵۸۰ میلی‌متر	کمتر از ۴۰۰ میلی‌متر	large
پوشش گیاهی	پوشش زیاد	پوشش کم	large

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

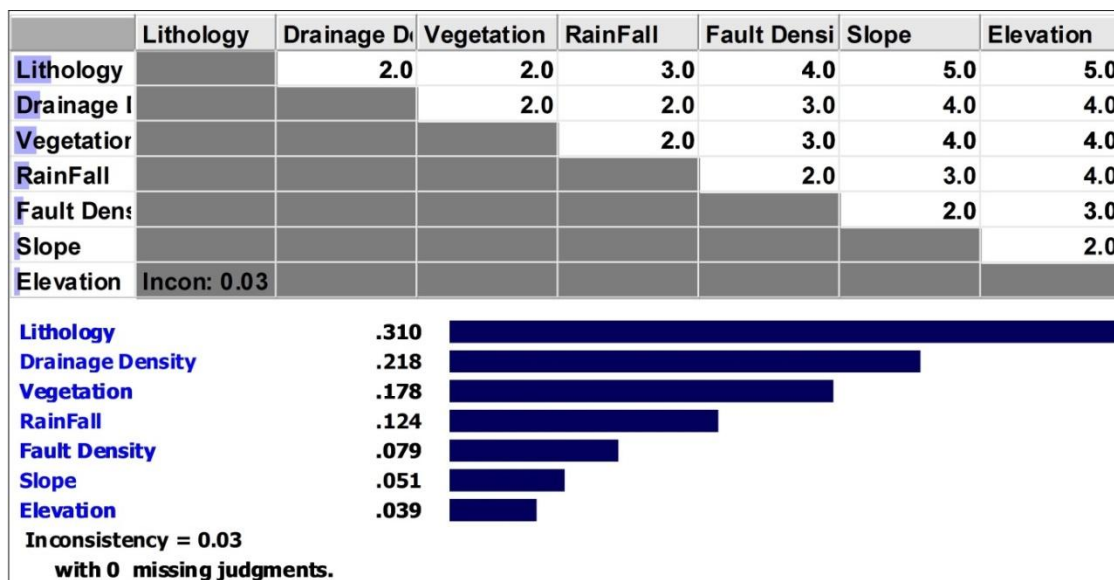


شکل ۱۰: نقشه فازی عوامل مؤثر بر پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در حوزه خرم آباد

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

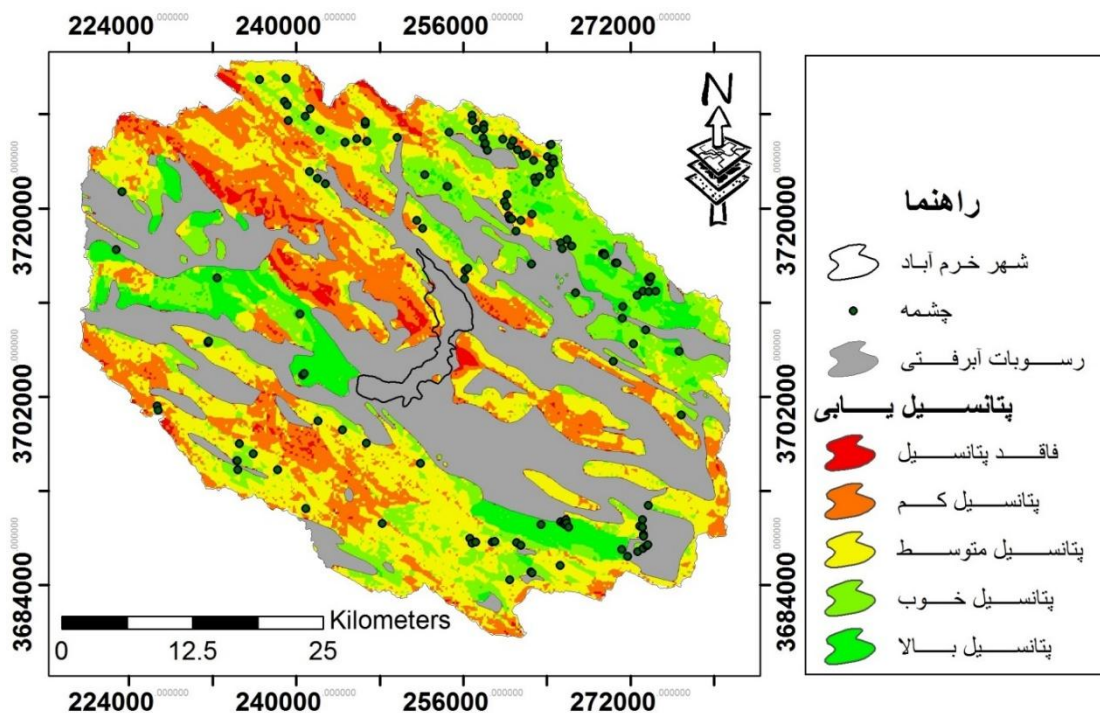
می‌توانند بیانگر میزان و حجم آب موجود در سازندهای سخت (با توجه به دبی و تداوم جریان در ایام سال) باشند؛ بنابراین، بررسی موقعیت چشمه‌ها در هر منطقه می‌تواند وضعیت منابع آبی موجود در سازندهای سخت منطقه را تا حد قابل قبولی ارائه دهد؛ به‌همین منظور، در این مطالعه سعی شده‌است از این اصل کلی به‌عنوان ابزاری در جهت صحت‌سنجی نتایج به‌دست‌آمده استفاده شود. همان‌طوری‌که در شکل ۱۲ نمایش داده‌شده‌است، تمامی چشمه‌های موجود در این محدوده، در مناطق دارای پتانسیل بالا، خوب و متوسط قرار گرفته‌اند؛ به‌همین دلیل، به‌نظر می‌رسد نتیجه این مطالعه با توجه به اطلاعات استفاده‌شده دارای صحت بالایی بوده و می‌تواند در ارزیابی‌های بعدی مورد استناد قرار گیرد.

به‌منظور تهیه نقشه پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی به روش تلفیقی سلسله‌مراتبی و فازی، ابتدا نقشه‌های فازی هر یک از عوامل در اوزان به‌دست‌آمده برای آن‌ها براساس قضاوت کارشناسی ضرب شده‌است؛ سپس نقشه تمام عوامل با استفاده از عملگر گامای فازی همپوشانی داده‌شدند. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که به‌ترتیب ۴/۵، ۴/۵، ۲۴/۵، ۳۸/۲ و ۲۳/۴ و ۹/۴ درصد از مساحت منطقه در پهنه‌های پتانسیلی، فاقد پتانسیل، کم، متوسط، خوب و پتانسیل بالا قرار دارد (شکل ۱۲). به‌منظور صحت‌سنجی روش استفاده‌شده از تلفیق نقشه پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی و لایه اطلاعاتی چشمه‌های موجود در سازندهای منطقه استفاده شده‌است. همان‌طوری‌که نشان داده شده‌است، چشمه‌ها به‌عنوان مناطق برونزد آب به‌صورت طبیعی،



شکل ۱۱: وزن‌دهی عوامل مؤثر بر پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در حوزه خرم‌آباد

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸



شکل ۱۲: نقشه پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در حوزه خرم آباد

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

نتیجه

در مکان یابی محل های مناسب در جهت بهره برداری از منابع آب زیرزمینی که هدف این تحقیق است، عوامل و پارامترهایی دخالت دارند که این پارامترها به نسبت تأثیر در شناسایی و پتانسیل یابی منابع آب دارای اولویت های وزنی متفاوتی هستند. براساس نتایج به دست آمده، به ترتیب اولویت وزنی چهار عوامل لیتولوژی، تراکم آبراهه، پوشش گیاهی و بارندگی از بیشترین وزن در پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی سازندهای سخت حوزه خرم آباد برخوردار هستند. نتایج به دست آمده نشان می دهد که به ترتیب $4/5$ ، $24/5$ ، $38/2$ ، $23/4$ و $9/4$ درصد از مساحت منطقه در پهنه های پتانسیلی؛

فاقد پتانسیل، کم، متوسط، خوب و پتانسیل بالا قرار دارد که مناطق با پتانسیل بالا مناسب ترین مناطق برای بهره برداری از منابع آب زیرزمینی هستند. همچنین نتایج نشان می دهد که بیشترین پتانسیل تشکیل منابع آب زیرزمینی در در آهک های فسیل دار مزوزویک در شمال شرق، آهک توده ای آسماری در شمال حوزه و کنگلومراهای کواترنری واقع شده است. همچنین نتایج حاصل از تلفیق نقشه چشمه های منطقه و نقشه پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی، نشان می دهد که استفاده از روش های سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و سلسله مراتبی فازی از دقت بالایی در پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در سازندهای سخت برخوردار هستند.

منابع

- آبشیرینی، احسان؛ کاظم رنگزن؛ سعدی خورشیدی (۱۳۸۷). پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش همپوشانی شاخص وزنی در محیط GIS (مطالعه موردی: در محدوده تاقدیس پابده)، همایش ژئوماتیک ۸۷. تهران. سازمان نقشه برداری کشور. صفحات ۱-۱۱.
- <https://www.tpbin.com/article/38707>
- تاناکا، کارونو (۱۳۸۸). مقدمه‌ای بر منطق فازی برای کاربردهای عملی آن (چاپ چهارم)، ترجمه وحیدیان کامیاد، علی، طارقیان، حامد رضا، مشهد. انتشارات دانشگاه فردوسی. صفحه ۲۱۴.
- <https://www.gisoom.com/book/1995663>
- رحیمی، داریوش (۱۳۹۰). پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت شهرکرد)، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی. دوره ۴۴. شماره ۴. صفحات ۱۴۲-۱۲۷.
- <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=155822>
- رحیمی، داریوش، موسوی، سیدحجت (۱۳۹۲). پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شاهرود-بسطام)، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، دوره ۱۷، شماره ۴۴، صفحات ۱۵۹-۱۳۹.
- https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_21.html
- رحیمی، محمد؛ کریم سلیمانی (۱۳۹۵). ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی دشت دهگلان بر پایه سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور با استفاده از تکنیک تصمیم گیری چندمعیاره، نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. دوره ۱۰. شماره ۳۵. صفحات ۳۸-۲۷.
- http://jwmsei.ir/browse.php?a_code=A-10-411-1&sid=1&slc_lang=fa
- رضایی مقدم، محمدحسین؛ توحید رحیم پور؛ مهسا نخستین روحی (۱۳۹۵). پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه‌های آبریز منتهی به دشت تبریز)، نشریه اکوهیدرولوژی. دوره ۳. شماره ۳. صفحات ۳۸۹-۳۷۹.
- https://ije.ut.ac.ir/article_60026.html
- زروش، ناهید؛ عبدالرضا واعظی؛ حاجی کریمی (۱۳۹۳). ارزیابی پتانسیل توسعه کارست در تاقدیس کبیرکوه استان ایلام با استفاده از تلفیق فازی و روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و سنجش از دور و GIS. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. دوره ۳. شماره ۳. صفحات ۱۵۷-۱۴۴.
- <http://ensani.ir/fa/article/346462>
- زنگنه تبار، ساسان؛ مهنوش قدیمی (۱۳۹۸). بررسی پتانسیل منابع آب کارست پرآو- بیستون به عنوان منابع تأمین آب پایدار اکوسیستم‌های زاگرس، نشریه اکوهیدرولوژی. دوره ۶. شماره ۱. صفحات ۱۲۳-۱۱۱.
- صابری، عظیم؛ کاظم رنگزن؛ رضا مهجوری؛ محمدرضا کشاورزی (۱۳۹۱). پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با تلفیق سنجش از دور و GIS به روش تحلیل سلسله مراتبی در تاقدیس کمستان استان خوزستان، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته. دوره ۱. شماره ۶. صفحات ۲۰-۱۱.
- <https://www.sid.ir/Fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=238512>
- صداقت، محمود (۱۳۸۵). زمین و منابع آب (آب‌های زیرزمینی)، چاپ پنجم. تهران. انتشارات دانشگاه پیام نور. صفحه ۳۷۶.
- <https://www.gisoom.com/book/1473875>
- سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور (۱۳۸۳). گزارش وضعیت منابع آب کشور، انتشارات سازمان.

- یوسفی سنگانی، کیوان؛ حسین محمدزاده؛ مرتضی اکبری (۱۳۹۱). پتانسیل یابی آب زیرزمینی کوه‌های هزار مسجد با استفاده از مدل تلفیقی فازی و AHP (مطالعه موردی: شمال شرقی کوه‌های هزارمسجد در استان خراسان رضوی)، اولین همایش ملی بحران آب و پیامدهای ناشی از آن. دانشگاه آزاد اسلامی واحد فردوس. صفحات ۷-۱.
- <https://profdoc.um.ac.ir/paper-abstract-1045010.html>
- Andualem, Tesfa Gebrie & Demeke, Girmu Getachew (2019). Groundwater potential assessment using GIS and remote sensing: A case study of Guna tana landscape, upper blue Nile Basin, Ethiopia, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, DOI:10.1016/j.ejrh.2019.100610.
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581818302428>
- Baharvand, Siamak & Soori, Salman (2016). Landslide Hazard Zonation Using AHP Model (A case study: Ayvashan dam watershed, Lorestan). *Journal of Geotechnical Geology*, Volume 12, Issue 1, PP.29-37
- http://geotech.iauzah.ac.ir/article_675151.html
- Baharvand, Siamak, Rahnamarad, Jafar & Soori, Salman (2016). Delineation of groundwater recharge potential zones using weighted linear combination method (case study: Kuhdasht plain, Iran). *Journal of Geotechnical Geology*, Volume 12, Issue 2, PP.119-125.
- <file:///C:/Documents%20and%20Settings/Kh.Mir%20Teymuri/My%20Documents/Downloads/1007420160202.pdf>
- Das, Biswajity., Pal, Subodh Chandra, Malik, Sadhan & Chakraborty, Rabin (2019). Modeling groundwater potential zones of Puruliya district, West Bengal, India using remote sensing and GIS techniques, *Geology, Ecology, & Landscapes*. 3(3): 223-237, DOI:10.1080/24749508.2018.1555740
- <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/24749508.2018.1555740>
- سوری، سلمان؛ سیامک بهاروند؛ رضا احمدیان مقدم؛ مریم دهبان (۱۳۹۲). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (مطالعه موردی: حوضه کسمت)، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی. دوره ۹. شماره ۲. صفحات ۱۱۰-۱۰۱.
- سیف، عبدالله؛ ابوذر کارگر (۱۳۹۰). پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و سیستم جغرافیایی، مطالعه موردی: حوضه آبریز سیرجان، فصلنامه جغرافیای طبیعی. دوره ۴. شماره ۱۲. صفحات ۹۰-۷۵.
- <http://ensani.ir/fa/article/261704>
- علیزاده، امین (۱۳۸۹). اصول هیدرولوژی کاربردی (چاپ سی‌ویکم)، مشهد: انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، صفحه ۹۴۲.
- <https://www.gisoom.com/book/11153333>
- مفیدی‌فر، مهدی؛ سیدعلی المدرسی؛ مهدی اصلاح؛ شاهرخ ملک‌زاده بافقی (۱۳۹۳). پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل تصمیم‌گیری تحلیل سلسله‌مراتبی در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه دشت یزد اردکان)، همایش ملی کاربرد مدل‌های پیشرفته تحلیل فضایی (سنجش‌ازدور و GIS) در آمایش سرزمین. دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد. صفحات ۲۰-۱۱.
- http://gis93.iauyazd.ac.ir/editor_file/93018.pdf
- واعظی‌هیر، عبدالرضا؛ مرتضی وفادار؛ واحده آقایی (۱۳۹۷). پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی موجود در واحدهای کارستی و سازندهای سخت‌کوه مورو- صوفیان با به‌کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP، SWA، F-AHP، نشریه فضای جغرافیایی. دوره ۱۸. شماره ۶۴. صفحات ۲۳۴-۲۱۵.
- <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-1846-fa.pdf>

- Gintamo, Tesfaye Tessema (2015). Ground Water Potential Evaluation Based on Integrated GIS and Remote Sensing Techniques, in Bilate River Catchment: South Rift Valley of Ethiopia. ASRJETS, Volume 10, Issue 1, pp 85-120.
https://www.researchgate.net/publication/313063956_Ground_Water_Potential_Evaluation_Based_on_Integrated_GIS_and_Remote_Sensing_Techniques_in_Bilate_River_Catchment_South_Rift_Valley_of_Ethiopia
- Oh, Hyun-Joo, Kim, Yong-Sung, Choi, Jong-Kuk, Park, Eungyu & Lee, Saro (2011). GIS mapping of regional probabilistic groundwater potential in the area of Pohang City, Korea. Journal of Hydrology, Volume 399, Issue3-4, PP.158-172.
- Rahman, Atiqur (2008). A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India. Applied Geography, Volume 28, PP.32-53.
http://users.clas.ufl.edu/jmjaeger/6932_GIS/EX10/DRASTIC_GIS.pdf
- Saaty, Thomas L (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. European Journal of Operational Research, Volume 48, Issue 1, PP.9-26.
https://econpapers.repec.org/article/eeeejores/v_3a48_3ay_3a1990_3ai_3a1_3ap_3a9-26.htm
- Das, Sujit (2017). Delineation of groundwater potential zone in hard rock terrain in Gangajalghati block, Bankura district, India using remote sensing and GIS techniques. Model. Earth Syst. Environ. DOI 10.1007/s40808-017-0396-7.
https://www.researchgate.net/publication/320933540_Delineation_of_groundwater_potential_zone_in_hard_rock_terrain_in_Gangajalghati_block_Bankura_district_India_using_remote_sensing_and_GIS_techniques
- Domingos, Pinto, Sangam, Shrestha, Mukand, Babel & Sarawut, Ninsawat (2017). Delineation of groundwater potential zones in the Comoro watershed, Timor Leste using GIS, remote sensing and analytic hierarchy process (AHP) technique, Applied Water Science,
https://www.researchgate.net/publication/273506823_Delineation_of_groundwater_potential_zones_in_the_Comoro_watershed_Timor_Leste_using_GIS_remote_sensing_and_analytic_hierarchy_process_AHP_technique
- Agarwal, Etishree, Agarwal, Rajat, Garg RD & Garg PK (2013). Delineation of groundwater potential zone: An AHP/ANP approach. Journal of Earth System Science, Volume 122, Issue 3, pp 887-898.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s12040-013-0309-8>

