Hydrogeomorphology Vol. 12, No. 43, 2025

Research Paper

Evaluating the role of structural parameters in identifying karst water resources Case study: Kopeh Dagh structural zone

Nadri Rouholla [*1], Alizadeh Hasan[2]

1. Assistant Professor, Geology Dpartment, Faculty of Basic Sciences, Payam Noor University, Tehran, Iran. nadri@pnu.ac.ir
2. Associate Professor, Geology Dpartment, Faculty of Basic Sciences, Payam Noor University, Tehran, Iran. h_alizadehs@pnu.ac.ir

Keywords

Karst water resources, Fault, Fracture, Kopeh Dagh Northeast Iran.

Received: 2024/09/13

Accepted: 2025/02/11

Published: 2025/07/21

A B S T R A C T

Introduction

Due to the presence of large cavities and channels, karst carbonate formations have the ability to store a large volume of water. This is especially important in conditions of water scarcity and drought (Dangar and Mishra, 2021: 89). Karst waters are usually of high quality and require less treatment. This reduces water treatment costs and provides consumers with better quality water (Mainidin et al., 2020: 211). Due to the increasing population, the water scarcity crisis is one of the problems of today's societies. In order to overcome this crisis, in addition to the proper and comprehensive management of existing water resources, obtaining new water resources is an essential measure. One of these resources is karst water reserves (Habibinian et al., 1400: 1400).

Methodology

First, the main faults of the study area were identified by digitizing geological maps of 1/100,000 and 1/250,000 in the Arc map environment. The main faults in this area include the Kashf-Rood, Kardeh, Baghan-Garmab, Quchan, Turan-Lo, Mansar, Amrodak, Zubran, Kames, and Zubala faults. Considering the existence of many fractures in the area and the complexity of their analysis, the fractal dimension analysis method has been used as a suitable and optimal method for preparing fracture density maps. In the fractal method, a square of unit length is considered as the parent lattice or basic fractal structure.
The parent lattice is a zero-order square that generates higher-order lattices. That is, to create first-order squares, the zero-order square is divided into 9 squares of length 1/3, and to create second-order squares, each of the remaining first-order squares is divided into 9 smaller squares of length 1/9, and this process continues, and at each stage the number of remaining squares is counted as the index N.

*Correspondin Author :Nadri Rouholla Email: nadri@pnu.ac.ir

How to cite this article: Nadri, Rouholla; Alizadeh, Hasan; (2025). Evaluating the role of structural parameters in identifying karst water resources Case study: Kopeh Dagh structural zone. Hydrogeomorphology, 12(43), 1 – 16.
DOI: 10.22034/hyd.2025.63495.1755

Copyright : © by the authors Publisher :University of Tabriz

Results and Discussion

The largest number of springs are located at the closest distance to the fractures, and gradually the number of springs decreases with distance from the fractures. Using the Multiple Ring Buffer option in the ArcGIS software environment, polygons are created around the fracture. The ranking in this index is such that the farther the distance from the fracture, the less the effect of the fracture. Considering the existence of many fractures in the study area and the complexity of their analysis, a fracture density map was prepared using a fractures map and the fractal dimension analysis method Their ranks and changes were determined in the preparation of the aforementioned maps.

The results indicate that the Daregaz, Quchan, Kardeh, and Qozghan Chay watersheds have the highest fracture density in thick-layer carbonate formations. In the study area, six carbonate formations were identified: Chehelkaman, Kalat, Abdaraz, Tirgan, Mazdooran, and Chamanbid.

Conclusions

According to this study, the distribution of springs and their water yield are affected by various parameters. The studies conducted showed that there is a very close relationship between the number of springs and the distance from faults, such that the largest number of springs studied were located in the vicinity of fault lines. However, the important point is that the water yield of a spring has no relation to the distance from the fault and is more related to geological formations.

.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقاله پژوهشی

ارزیابی نقش پارامترهای ساختاری در شناسایی منابع آب کارستی مطالعه موردی: پهنه ساختاری کپه‌داغ

روح الله ندری[1*]، حسن علیزاده[2]

۱- استادیار زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران. nadri@pnu.ac.ir
۲- دانشیار زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران. h_alizadehs@pnu.ac.ir

کلیدواژه‌ها

منابع آب کارستی، گسل، شکستگی، کپه داغ شمال شرق ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۳
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/04/30

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی وضعیت زمین‌شناسی و ساختاری پهنه ساختاری کپه‌داغ برای ایجاد پدیده کارست مورد شناسایی قرار گرفت. با استفاده از رقومی‌سازی نقشه‌های زمین‌شناسی گسل‌های اصلی منطقه مورد مطالعه شناسایی شدند. وضعیت سازندهای آهکی، طول، تعداد و تراکم گسل‌ها و شکستگی‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به وجود شکستگی‌های بسیار در محدوده و پیچیدگی تحلیل آن‌ها، روش آنالیز بعد فرکتالی برای تهیه نقشه تراکم شکستگی‌ها به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که بین شاخص تعداد چشمه‌ها و فاصله از گسل‌ها ارتباط بسیار نزدیکی وجود دارد، به گونه‌ای که بیش‌ترین تعداد چشمه‌های مورد بررسی در مجاورت خطوط گسلی قرار دارند، اما میزان آبدهی چشمه ارتباطی با فاصله با گسل ندارد و بیش‌تر به سازندهای زمین‌شناسی ارتباط دارد. بخش‌هایی از پهنه ساختاری مورد مطالعه که دارای بیش‌ترین تراکم گسل‌ها و شکستگی‌ها در سازندهای کربناته ضخیم لایه هستند، بیش‌ترین پتانسیل آب‌های زیرزمینی کارستی در منطقه را دارند. در پهنه ساختاری کپه‌داغ حوضه‌های مزدوران و تیرگان بیش‌ترین ذخیره آب‌های زیرزمینی را دارند و پس از آن به ترتیب حوضه‌های آبریز دره‌گز، قوچان، کارده و قوزقان‌چای بیش‌ترین ذخیره را دارند. لذا این مطالعه می‌تواند مقدمه‌ای برای دستیابی به منابع آبی جدید در منطقه باشد.

*نویسنده مسئول: روح الله ندری
رایانامه: nadri@pnu.ac.ir

ارجاع به این مقاله: ندری، روح الله؛ علی زاده، حسن؛ (۱۴۰۴). ارزیابی نقش پارامترهای ساختاری در شناسایی منابع آب کارستی مطالعه موردی: پهنه ساختاری کپه‌داغ. هیدروژئومورفولوژی،۱۲(۴۳): ۱۶-۱.

شماره دیجیتال: DOI: 10.22034/hyd.2025.63495.1755

Copyright :©2025 by the authors Publisher: University of Tabriz

مقدمه

منابع آب در سازندهای کربناته کارستی شده یکی از مهم‌ترین منابع آب شیرین در جهان به شمار می‌روند. این منابع به دلیل قابلیت انحلال سنگ‌های کربناته و تشکیل حفره‌ها، غارها و مجاری زیرزمینی، دارای ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی منحصر به فردی هستند (جانارداهانان [1] و همکاران، ۲۰۰۳:۲۴). سازندهای کربناته، سنگ‌هایی مانند آهک و دولومیت هستند که به دلیل وجود ترکیبات کربناتی، قابلیت انحلال در آب را دارند (جاسچکو و پروون [2]، ۲۰۲۱: ۱۶). سازندهای کربناته کارستی به دلیل وجود حفره‌ها و مجاری بزرگ، توانایی ذخیره‌سازی حجم عظیمی از آب را دارند. این امر به ویژه در شرایط کم‌آبی و خشکسالی بسیار حائز اهمیت است (دانگار و میشرا [3]، ۲۰۲۱: ۸۹). آب‌های کارستی معمولاً از کیفیت بالایی برخوردار بوده و نیاز به تصفیه کم‌تری دارند. این موضوع باعث کاهش هزینه‌های تصفیه آب و تامین آب با کیفیت بهتر برای مصرف‌کنندگان می‌شود (ماینیدین [4] و همکاران، ۲۰۲۰:۲۱۱). منابع آب کارستی در مقایسه با منابع آب سطحی مانند سدها، کم‌تر تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و خشکسالی قرار می‌گیرند (مجاید [5] و همکاران، ۲۰۲۱: ۱۱۴). با توجه به افزایش جمعیت، بحران کم آبی، یکی از مشکلات جوامع امروزی است. برای عبور از این بحران علاوه بر مدیریت صحیح و جامع منابع آب موجود، دستیابی به منابع آبی جدید از اقدامات اساسی است. یکی از این منابع، ذخایر آب کارستی می‌باشد (حبیبی نیا و همکاران، ۱۴۰۰:۱۲۱). با توجه به کیفیت مناسب آب‌های کارستی و وجود بسترهای مناسب برای تشکیل این آب‌ها در ایران، شناسایی منابع آب‌های کارستی، از اولویت‌های مهم در اکتشاف منابع آب زیرزمینی است (نخعی و همکاران، ۱۴۰۲: ۱۶).

مطالعات متعددی به بررسی ارتباط میان اقلیم و توسعه‌یافتگی اشکال کارست سطحی پرداخته‌اند (والتهام و فوکس [6] ۲۰۲۳: ۱۳). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که شرایط اقلیمی، به‌ویژه دما و رطوبت، نقش مهمی در تنوع اشکال کارست و روند تکاملی آن‌ها دارند. بررسی‌ها حاکی از آن است که اقلیم مرطوب حاره‌ای می‌تواند حتی بیش از تراکم درز و ترک‌ها در فرایند کارست‌شدگی مؤثر باشد (فورد و ویلیامز [7] ۲۰۲۲: ۱۰۳). همچنین، نقش دما و رطوبت در کارست‌زایی و تکامل حفرات کارستی مورد توجه قرار گرفته و مشخص شده است که افزایش رطوبت منجر به توسعه‌یافتگی بیشتر اشکال کارستی می‌شود (باکر [8] ۲۰۲۲: ۴۹). مطالعات مرتبط با ابعاد و مقیاس فضایی کارست‌ها نیز نشان داده‌اند که اقلیم تأثیر مستقیمی بر میزان تکامل آن‌ها دارد (وایت [9] ۲۰۲۳: ۳۷۴).

علاوه بر عوامل اقلیمی، محیط رسوبی و فرآیندهای دیاژنزی نیز بر پتانسیل توسعه کارست در واحدهای سنگی تأثیرگذارند. بررسی‌ها در این زمینه نشان داده‌اند که نوع محیط رسوبی و تغییرات دیاژنزی پس از رسوب‌گذاری از عوامل تعیین‌کننده در میزان توسعه‌یافتگی کارست محسوب می‌شوند (شکیبا و همکاران ۱۴۰۰: ۱۱۸). از سوی دیگر، تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت و خصوصیات ژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی نیز مورد توجه قرار گرفته و نتایج پژوهش‌ها بیانگر آن است که برخی سازندهای مارنی و حذف دولومیت‌ها در زون‌های خردشده می‌توانند منجر به افزایش هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی شوند (حبیبی‌نیا و همکاران ۱۴۰۰: ۱۲۱).

---

1 .Janardhanan
2 .Jasechko and Perrone
3 .Dangar and Mishra
4 .Mainuddin
5 .Mojid
6 .Waltham and Fookes
7 .Ford and Williams
8 .Baker
9. White

تأثیر برداشت از منابع آب آبرفتی بر آبدهی چشمه‌های کارستی نیز از جمله موضوعاتی است که بررسی‌های مختلفی بر آن انجام شده است. این مطالعات نشان داده‌اند که چشمه‌های دارای حوضه آبگیر کوچک‌تر یا آن‌هایی که بخشی از حوضه آبگیرشان در آبرفت قرار دارد، نسبت به فعالیت‌های انسانی آسیب‌پذیرتر هستند (نجفی و همکاران ۱۴۰۱: ۱۱۸). همچنین، ارزیابی منابع آب کارستی در نواحی مرزی ایران نشان داده است که با وجود ظرفیت‌های بالقوه بهره‌برداری، حساسیت‌های استراتژیک این نواحی مانع از توسعه اصولی این منابع در چارچوب هیدروژئولوژیکی و زیست‌محیطی شده است (یزدانی ۱۴۰۲: ۴).

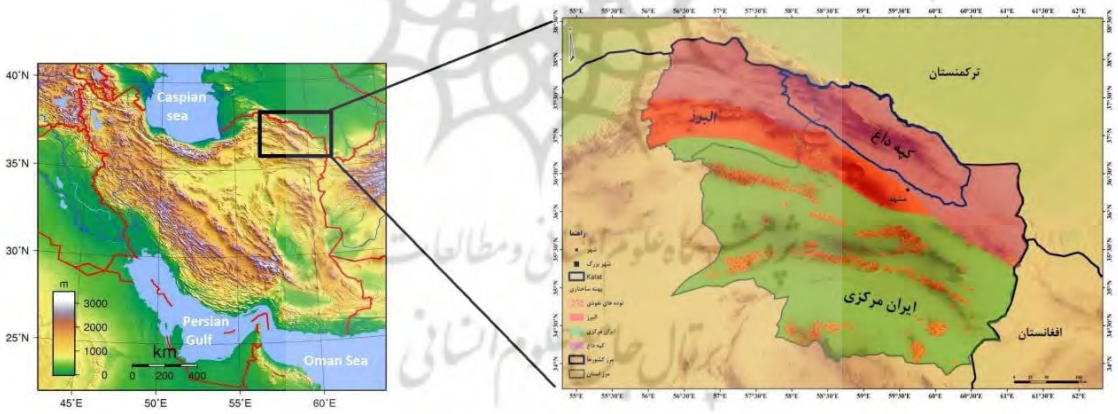
در تحقیقات مذکور ارتباط بین منابع آبی کارستی با شرایط اقیمی یا شرایط زمین‌شناسی مانند دیاژنز مورد بررسی قرار گرفته است. در حالی در این پژوهش ارتباط منابع آبی با منشا کارستی با ساختارهای زمین‌ساختی یا تکتونیکی مانند درزه‌ها و گسل‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

با توجه به رشد جمعیت و گسترش شهر مشهد، تامین آب شرب به یکی از چالش‌های اصلی این کلان‌شهر تبدیل شده است. در این میان، منابع آب کارستی به عنوان یک گزینه ارزشمند برای تامین آب مورد نیاز مشهد مطرح می‌شوند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه پهنه ساختاری کپه‌داغ است که از چند حوضه آبریز تشکیل شده است. این پهنه در حد فاصل عرض‌های جغرافیایی ' ۰۴°۳۶ و ' ۵۹ °۳۷ شمالی و طول‌های جغرافیایی ' ۵۴ °۵۹ و ' ۳۵ °۶۰ خاوری در جهت شمال باختری- جنوب خاوری واقع شده است (شکل ۱).



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Figure(1): Geographical location of the study area

پهنهٔ رسوبی – ساختاری کپه‌داغ در شمال شرق ایران در استان‌های خراسان شمالی و خراسان رضوی قراردارد. این پهنه ساختاری تحت تأثیر مکانیسم فشاری، متحمل چین‌خوردگی شده است. این مکانیسم فشاری، بیش‌تر ناشی از تنش‌های وارد شده از ورقه توران از سمت شمال خاوری و عربستان از سمت جنوب باختری می‌باشد. در این منطقه تاقدیس‌ها و ناودیس‌های فراوان با روند جنوب شرقی - شمال باختری در منطقه به وجود آمده است. این خود دلیلی بر فعال بودن منطقه، از نظر زمین‌ساختی می‌باشد. واحدهای سنگی مقاوم و

متراکمی چون آهک‌های سازندهای مزدوران و تیرگان بطور غالب نواحی برآمده در تاقدیس‌ها را تشکیل می‌دهند (روبرت[1] و همکاران، ۲۰۱۴: ۷۴). واحدهای نامقاوم و فرسایش‌پذیری نظیر ماسه‌سنگ‌ها، شیل‌ها و مارن‌های سازندهای شوریجه، سرچشمه و سنگانه بطور غالب، نواحی پست در هسته ناودیس‌ها را تشکیل می‌دهند. این اختلاف مقاومتی، چین‌خوردگی این واحدها را در رشته‌کوه‌ها کنترل می‌کند. هر چه ضخامت این واحدهای سنگی نامقاوم بیش‌تر باشد، چین‌خوردگی فشرده‌تر و نامنظم‌تر شده و با کاهش ضخامت، چین‌های بازتر و منظم‌تر تشکیل می‌شود (نیازی، : ۱۳۹۸: ۱۱۸). از نظر حوضه رسوبی، کپه‌داغ وضع تقریباً مشابهی با حوضه رسوبی زاگرس دارد. روند کلی چین‌ها شمالغربی- جنوب شرقی است. سن طبقات رسوبی این ناحیه، ژوراسیک تحتانی تا کواترنر است. ناحیه فوق به دلیل داشتن شرایط مساعد برای تشکیل و تجمع مواد هیدروکربوری از اهمیت خاصی برخورداراست (آقانباتی، ۲۰۰۶: ۳۶۹). به‌طورکلی هیچگونه فعالیت ماگمایی در زون کپه‌داغ مشاهده نشده است. بنابراین‌گسترش سنگ‌های دگرگونی در این منطقه بسیار کم می‌باشد. اما با حرکت به سمت جنوب کپه‌داغ، کم و بیش فعالیت‌های ماگمایی مشاهده می‌شود، همچنین وجود گسل‌های فراوان در منطقه که بیش‌تر از نوع راستالغز بوده و عملکرد قائم دارند، دلیلی بر فعال بودن منطقه از نظر زمین‌ساخت است و نقش مؤثری در زمین‌ریخت دارند (هنرمندان، ۱۳۹۹: ۲۹۲). بخشی از این گسل‌ها در طی رسوبگذاری فعال بوده‌اند و نوع رسوبات و میزان رسوبگذاری را کنترل می‌کرده‌اند. از سوی دیگر، گسل‌های منطقه نقش مهمی در فرسایش و رخنمون سازندهای مختلف، ایجاد شکستگی، جابجایی افقی درمحور تاقدیس‌ها و ناودیس‌های منطقه داشته‌اند (شفیعی‌اردستانی و وحیدی‌نیا، ۱۴۰۰: ۴۱). این‌مسئله، سبب خردشدگی در سازندهای منطقه شده و محل مناسبی برای نفوذ آب و ایجاد پدیده‌های کارستی و دره‌های کانیون شکل را فراهم ساخته است. همزمان با چین‌خوردگی و گسلش در منطقه، سه سیستم درزه از نوع طولی، عرضی، مایل و یک سیستم درزه منطبق بر سطح لایه‌بندی حاصل می‌شود. وجود چنین نقاط ضعفی از یک‌سو در انتقال و ذخیره آب در اعماق و توسعه پدیده کارست نقش اساسی داشته و از طرف دیگر سبب فرآیند ژئومورفولوژیکی از قبیل لغزش، ریزش و ایجاد تالوس در منطقه می‌شود (عزتی و همکاران، ۱۴۰۱: ۱۰۱).

روش تحقیق

ابتدا با استفاده از رقومی‌سازی نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰۰ در محیط Arc map گسل‌های اصلی منطقه مورد مطالعه شناسایی شدند. گسل‌های اصلی این محدوده شامل گسل‌های کشف رود، کارده، باغان- گرماب، گسل قوچان، توران لو، منسار، آمرودک، زوبران، کمس و گسل زوبالا می باشد (شکل۲).

نقشه شکستگی‌ها و گسل های فرعی از پردازش تصویر باند ۷ ماهواره LANDSAT8 با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر بدست آمد. در این راستا تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نرم‌افزار ILWIS تصحیح، پردازش و زمین مرجع شد که این مراحل از کار در تصاویر سنجنده ETM+ از قبل انجام شده‌است. درمرحله ابتدایی کار، با اعمال‌فیلترهای مختلف بر روی باند ۷ نسبت به آشکارسازی شکستگی‌ها و گسل های فرعی اقدام شد (شکل۳).

با توجه به نقش قابل‌توجه شکستگی‌ها در ایجاد آبخوان‌های کارستی، در این پژوهش با توجه به وجود شکستگی‌های بسیار در محدوده و پیچیدگی تحلیل آن‌ها، روش آنالیز بعد فرکتالی به عنوان یک روش مناسب و بهینه برای تهیه نقشه تراکم شکستگی‌ها به کار رفته‌است. در روش فرکتالی یک مربع به طول واحد به عنوان شبکه والد یا ساختمان پایه فرکتال در نظر گرفته می‌شود. شبکه والد یک مربع مرتبه صفر است که مولد مرتبه‌های بالاتر از خود است. یعنی برای ایجاد مربع‌های مرتبه اول، مربع مرتبه صفر به ۹ مربع به طول ۱/۳ تقسیم می‌شود، و برای ساخت مربع‌های مرتبه دوم، هر یک از مربع‌های مرتبه اول باقی‌مانده به ۹ مربع کوچک‌تر به طول۱/۹ تقسیم می‌شوند و این روند ادامه می‌یابد و در هر مرحله تعداد مربع‌های باقی‌مانده تحت عنوان شاخص N شمارش می‌شود.

1. Robert

رابطه کلی برای محاسبه ابعاد فرکتالی مطابق معادله زیر (معادله ۱) حاصل می‌شود

$$Nn = C/rnD \quad (۱)$$

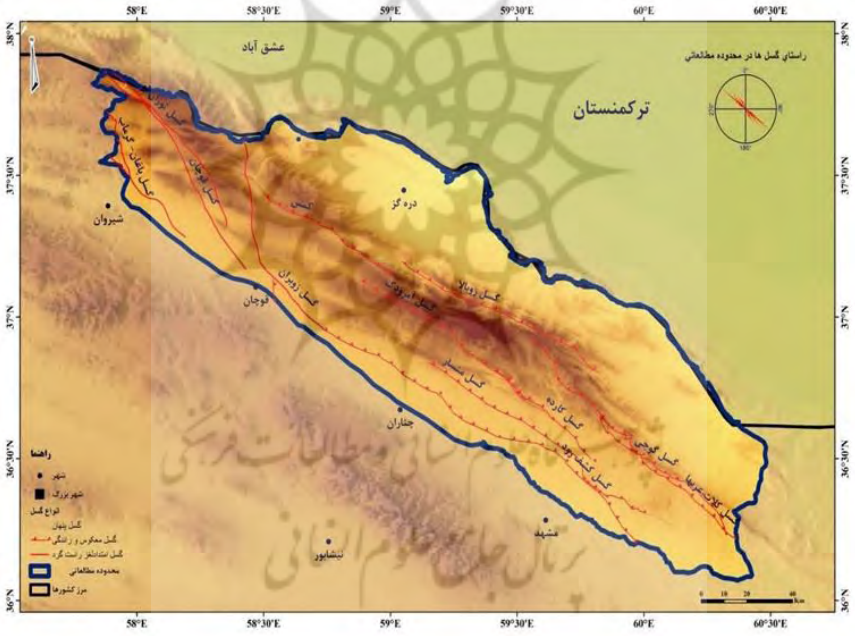
Nn: تعداد متغیرهای معلوم برای یک پدیده، rn: بعد خطی ویژه، C: ثابت و D: بعد فرکتالی است.

در این مطالعه روش به کار گرفته شده از نوع مربع شمار می‌باشد. به منظور استفاده از این روش لازم است که شبکه‌بندی مناسبی در محدوده مورد مطالعه صورت پذیرد. تحلیل‌ها بر اساس نمودار log-log از تعداد مربع‌های ساختار (N) بر حسب اندازه شبکه به کار گرفته شده (S) و یا عکس آن (S/1) صورت گرفته است. دیاگرام‌های ترسیم شده، تغییرات ابعاد فرکتالی منطقه را نشان می‌دهد.

این ابعاد از معادله (معادله ۲) به دست می‌آید:

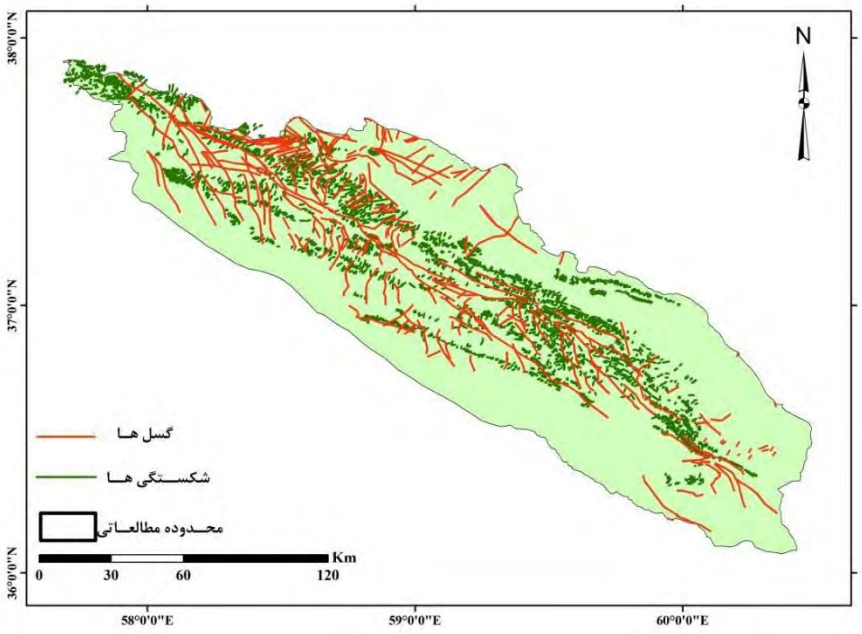
$$Log\ (NS) = (a + log\ (1/S) \quad (۲)$$

تهیه و به همراه نقشه گستره مورد مطالعه در راستای تعیین GIS حاصل این تغییرات به صورت یک نقشه از شکستگی‌ها در نرم‌افزار ابعاد فرکتالی شکستگی‌ها و آبراهه‌ها استفاده شد.



شکل (۲): نقشه گسل‌های اصلی منطقه مورد مطالعه

Figure (2): Map of the main faults of the studied area



شکل (۳): نقشه شکستگی‌ها و گسل های فرعی منطقه مورد مطالعه

Figure (3): Fractures and minor faults map in the study area

بحث

بررسی عناصر ساختاری منطقه مورد مطالعه

عناصر ساختاری یکی از مهم‌ترین عوامل تشکیل پدیده کارست در بسیاری از سازندهای کربناته به شمار می‌رود. تغییرات حاصل از عوارض زمین‌ساختی در طول زمان، پدیده‌های ساختاری همچون گسل‌ها، درزه‌ها و شکستگی‌ها را بوجود آورده است. هر کدام از موارد فوق، به نوعی در فرآیند ایجاد و توسعه کارست موثر می‌باشد. خرد شدن توده‌های سنگی در اثر نیروهای زمین‌ساختی عامل مهمی در کارست شدگی است. (تاکر[1]، ۲۰۰۱: ۱۹۴).

فاصله از شکستگی ها

مطابق داده‌های جدول (۱)، رابطه معناداری بین فاصله از شکستگی‌ها و تراکم چشمه‌ها مشاهده می‌شود، به‌طوری که بیشترین چشمه‌ها در فاصله کمتر از ۵۰۰ متری از شکستگی‌های اصلی قرار گرفته‌اند. این الگو با یافته‌های (پالمر، و ورتینگتن، ۲۰۱۵) همخوانی دارد (پالمر[2]،۱۹۹۱:۸؛ ورتینگتن[3]، ۲۰۱۵: ۱۶۶۸)، که شکستگی‌ها را به عنوان مسیرهای اصلی انتقال آب و عوامل کنترل‌کننده مکان‌یابی چشمه‌ها در سیستم‌های کارستی معرفی کرده‌اند. با این حال، تحلیل آماری داده‌ها نشان می‌دهد که بین فاصله از شکستگی‌ها و میزان آبدهی چشمه‌ها رابطه معناداری وجود ندارد. این موضوع احتمالاً به این دلیل است که آبدهی چشمه‌ها عمدتاً تحت تأثیر پارامترهای ذاتی سازند از جمله: ۱) ضخامت لایه‌های نفوذپذیر، ۲) درجه توسعه‌یافتگی کارست، ۳) وسعت منطقه تغذیه و ۴) میزان بارش قرار می‌گیرد (وایت، ۲۰۰۲: ۹۲؛ فورد و ویلیامز، ۲۰۰۷: ۲۰۱). به عبارت دیگر، در حالی که شکستگی‌ها نقش کلیدی در تمرکز مکانی چشمه‌ها ایفا می‌کنند، میزان آبدهی بیشتر تابعی از ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی کلی سیستم کارستی است.

1 .Tucker 2 Palmer 3 .Worthington

جدول (۱): ارتباط بین فاصله از شکستگی و تعداد چشمه‌ها و آبدهی آن‌ها

Table (11): Relationship between distance from the fracture and the number of springs and their water flow

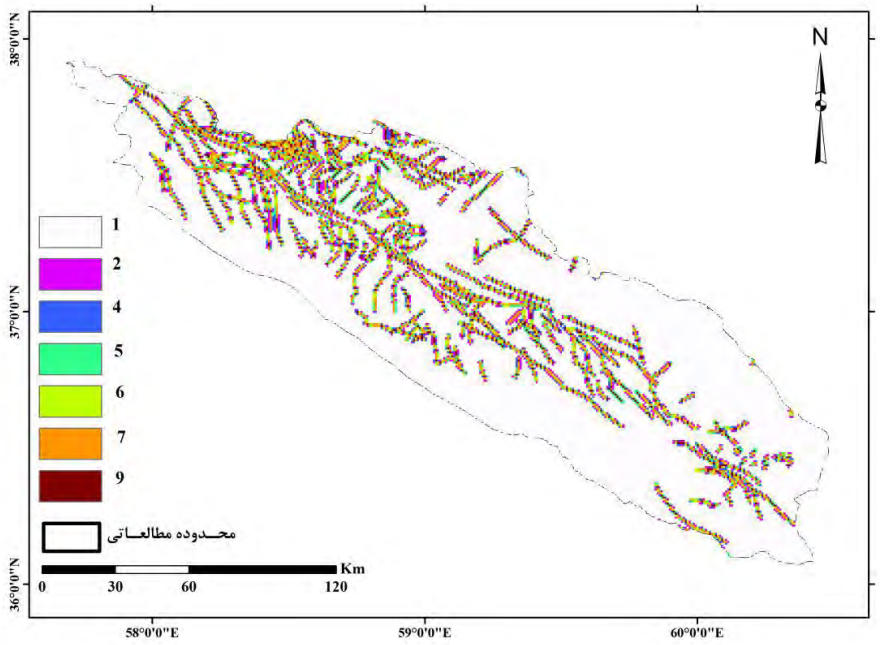
ردیف	فاصله از شکستگی (m)	تعداد چشمه	میزان آبدهی سالانه (M^3)	نوع سازند
۱	۰-۵۰۰	۳۶۸	۵۸۰۹/۶۸	آهک همراه با شیل
۲	۱۰۰۰-۵۰۰	۳۲۵	۷۶۲۴/۲۴	سنگ‌های آهکی
۳	۱۵۰۰-۱۰۰۰	۲۶۹	۷۳۹۲/۶۹	سنگ‌های آهکی
۴	۲۰۰۰-۱۵۰۰	۱۹۷	۶۴۱۲/۲۷	شیل‌های آهکی
۵	۲۵۰۰-۲۰۰۰	۱۳۶	۴۸۶۳/۵۷	آهک دولومیتی
۶	۳۰۰۰-۲۵۰۰	۹۳	۶۹۲۴/۳۸	شیل‌های آهکی
۷	۳۵۰۰-۳۰۰۰	۸۲	۶۳۳۸/۹۲	رسوبات شیل و ماسه‌سنگ
۸	۴۰۰۰-۳۵۰۰	۵۷	۴۷۹۲/۲۴	آهک دولومیتی
۹	۴۵۰۰-۴۰۰۰	۳۸	۳۹۷۵/۳۹	آهک دولومیتی

با استفاده از گزینه Multiple Ring Bufferدر محیط نرم‌افزارArcGIS ، پلیگون‌هایی اطراف شکستگی به فواصل مندرج در جدول (۱) ایجاد می‌شوند. رتبه‌دهی در این نمایه به این صورت است که هر چه فاصله از محل رخداد شکستگی دور شود تأثیر شکستگی کم‌تر خواهد شد. جدول (۲) رتبه‌دهی به این نمایه و شکل(۴) نقشه نهایی آن را نشان می‌دهند.

جدول (۲): رتبه‌دهی به نمایه فاصله از شکستگی

Table: (2) Ranking of distance from fracture index

فاصله (متر)	۰-۵۰۰	۱۵۰۰-۱۰۰۰	۲۰۰۰-۱۵۰۰	۲۵۰۰-۲۰۰۰	۳۰۰۰-۲۵۰۰	۴۰۰۰-۳۵۰۰	۴۵۰۰-۴۰۰۰
رتبه	۹	۷	۶	۵	۴	۳	۱



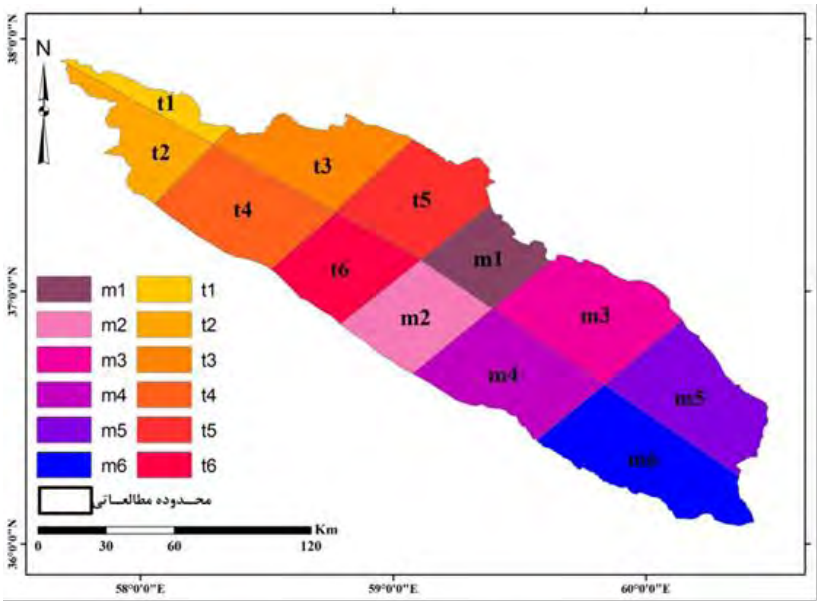
شکل (۴): نقشه وزن دهی فاصله از شکستگی ها در محدوده مورد مطالعه

Figure (4): Distance ranking map from fractures in the study area

تراکم شکستگی‌ها

با توجه به وجود شکستگی‌های بسیار در محدوده مورد مطالعه و پیچیدگی تحلیل آن‌ها، با استفاده از نقشه گسل‌ها و شکستگی‌ها (شکل‌های ۲ و ۳) و به کارگیری روش آنالیز بعد فرکتالی نقشه تراکم شکستگی‌ها تهیه شد. برای به دست‌آوردن ابعاد فرکتالی پس از آماده‌کردن‌لایه شکستگی، منطقه مورد مطالعه براساس‌حضور دو زون‌کربناته اصلی شامل تیرگان و مزدوران، به دو بخش‌جنوب‌خاوری و شمال‌باختری تقسیم و هر بخش نیز به شش زیر بخش (m_1 تا m_6 زیر تقسیمات بخش مزدوران و t_1 تا t_6 زیر تقسیمات بخش تیرگان) تقسیم شد (شکل۵). پس از رسم نقشه حوضه آبریز و شکستگی‌های گستره، به منظور به دست آوردن بعد فرکتالی شکستگی‌ها و آبراهه‌های گستره، ۱۲ بخش با تراکم ساختاری بالا در گستره تشخیص داده شد (جدول۳).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل (۵): نقشه تقسیمات فرکتالی محدوده مورد مطالعه

Figure (5): Fractal distribution map of the studied area

جدول (۳): ابعاد فرکتالی محدوده‌های منطقه مورد مطالعه

Table(5): Fractal dimensions of the study area boundaries

محدوده	بعد فرکتالی	وضعیت ساختاری
تیرگان۱	۱/۲۵	دارای شکستگی و درز و شکاف فعال
تیرگان۲	۱/۱۵	دارای شکستگی و درز و شکاف کم و بیش فعال
تیرگان۳	۱/۴۳	دارای شکستگی‌های فراوان ناشی از گسل‌های پیچیده
تیرگان۴	۱/۱۹	دارای شکستگی و درز و شکاف کم و بیش فعال
تیرگان۵	۱/۲۴	دارای شکستگی و درز و شکاف فعال
تیرگان۶	۱/۲	دارای تعداد اندک از شکستگی و درز و شکاف فعال
مزدوران۱	۱/۳	دارای تعداد اندک از شکستگی و درز و شکاف فعال
مزدوران۲	۱/۱۸	دارای شکستگی و درز و شکاف کم و بیش فعال
مزدوران۳	۱/۴۸	دارای شکستگی‌های فراوان ناشی از گسل‌های پیچیده
مزدوران۴	۱/۱۹	دارای شکستگی و درز و شکاف کم و بیش فعال
مزدوران۵	۱/۲	دارای تعداد اندک از شکستگی و درز و شکاف فعال
مزدوران۶	۰/۹۷	تقریبا بدون شکستگی و درز و شکاف فعال

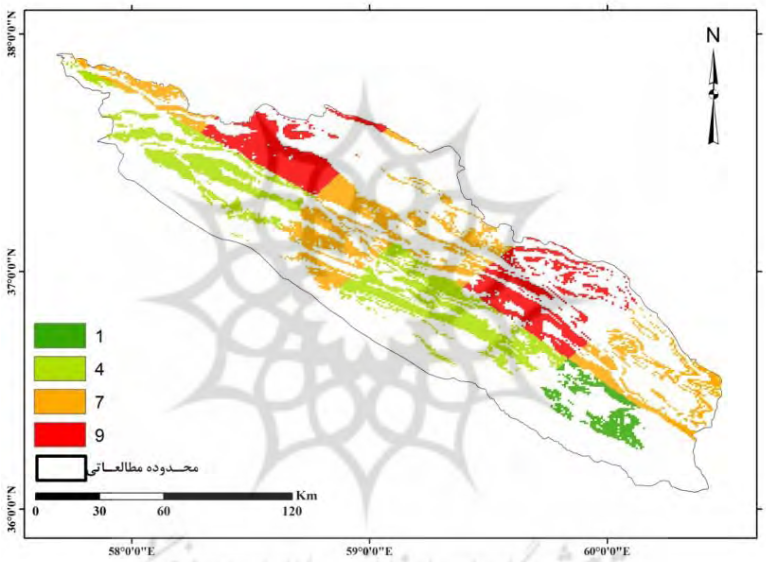
تعیین رتبه‌ها و تغییرات آن‌ها در تهیه نقشه‌های مذکور مطابق جدول (۴) انجام شد. شکل (۶) نقشه نهایی رتبه‌دهی به ابعاد فرکتالی شکستگی‌ها را نشان می‌دهد.

نتایج بیانگر این است که حوضه‌های آبریز دره‌گز (حوضه تیرگان ۱)، قوچان (حوضه تیرگان ۵)، کارده (حوضه تیرگان ۳) و قوزقان چای (حوضه مزدوران ۳) بیش‌ترین تراکم شکستگی در سازندهای کربناته ضخیم لایه را دارند. یافته‌های فوق نشان می‌دهد که، این حوضه‌ها، می‌توانند دارای پتانسیل بالای آب‌های زیرزمینی کارستی باشند.

جدول (۴): رتبه‌دهی به نمایه بعد فرکتالی شکستگی‌ها

Table (4): Ranking fractal dimension profile of fractures

بعد فرکتالی	<۱	۱/۱-۲	۱/۱-۴/۲	>۱/۴
رتبه	۱	۴	۷	۹



شکل (۶): نقشه وزن دهی فرکتالی شکستگی‌ها در منطقه مورد مطالعه

Figure(6): Fractal ranking map of fractures in the study area

بررسی سازندهای کربناته منطقه

میزان آبدهی چشمه‌ها ارتباط بالایی با نوع و جنس سازند زمین‌شناسی دارد. آهک‌ها هرچه خالص‌تر باشند برای کارستی شدن مستعدترند. در حالی که آهک‌های دارای ناخالصی‌های رسی و آهک‌های چرتی این قابلیت را ندارند.

عامل اصلی در قابلیت تراوایی سنگ‌های کربناته وجود درز و شکاف موجود در آن‌ها است. روابط متقابل بین تشکیل آب‌های زیرزمینی و آثار شکستگی در سفره‌های موجود در سنگ‌های کربناته به اثبات رسیده‌است. این آثار منجر به افزایش تخلخل و نفوذپذیری در سنگ‌ها می‌شوند (سینگهال و گوپتا[۱]، ۲۰۱۰: ۲۴). در محدوده مورد مطالعه، بطور کلی شش سازند کربناته چهل‌کمان، کلات، آب‌دراز، تیرگان، مزدوران و چمن‌بید (شکل ۷) شناسایی شد (جدول ۵).

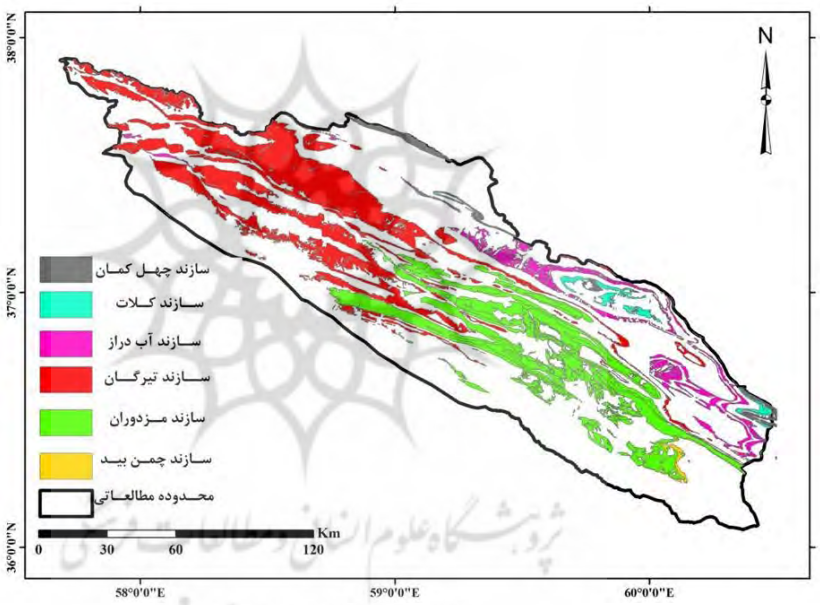
[۱] Singhal and Gupta.

جدول (۵): وسعت سازندهای کربناته در محدوده مورد مطالعه

Table(5): Extent of carbonate formations in the study area

سازند	چهل کمان	کلات	آب دراز	تیرگان	مزدوران	چمن بید
وسعت (کیلومتر مربع)	۰۹/۱۷۵	۶۷/۱۵۲	۵۷۹/۸	۳۰۸۱/۱۶	۲۳۵۷/۱۴	۴۷/۹۶
مجموع (کیلومتر مربع)	۶۳۹۳/۸۲					

همان طور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود بیش‌ترین وسعت سازندهای کربناته در این محدوده مربوط به سازندهای تیرگان و مزدوران می‌باشد. در شکل (۸)، نمایی از سازندهای کربناته تیرگان و مزدوران دیده می‌شود.



شکل (۷): نقشه سازندهای کربناته منطقه مورد مطالعه

Figure(7): map of carbonate formations of the studied area

شکل (۸): تصویری از سازندهای تیرگان و مزدوران در مسیر جاده مشهد کلات، الف) سازند مزدوران، ب) سازند تیرگان

Figure(8): Image of Tirgan and Mazdooran formations on Mashhad Kalat road, A (Mazdooran formation, B (Tirgan formation.

نتیجه‌گیری

عوامل ساختاری و زمین‌ساختی نظیر درزه‌ها و گسل‌ها به عنوان نقاط ضعف سازندها و واحدهای زمین‌شناسی به شمار می‌روند و راهی برای عبور آسان آب و محلی برای تجمع آب به صورت مخازن زیرزمینی هستند. همچنین به طور ویژه، این گروه از عوامل، تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی هیدروژئولوژی سنگ‌های کربناته و آهکی دارند. زیرا شروع شبکه‌های کارستی با انحلال آهک آغاز می‌شود. بنابراین در مناطق کارستی، زمین‌ساخت در توسعه شبکه کارستی باعث تشدید فعالیت مکانیسم تشکیل کارست می‌شود و بر اندازه سیستم شبکه‌های کارستی اثر می‌گذارد.

یکی از عوامل مهم در شکل‌گیری کارست‌ها وجود سازندهای کربناته می‌باشد. آهک‌ها هرچه خالص‌تر باشند برای کارستی شدن مستعدترند. در حالی که آهک‌های دارای ناخالصی‌های رسی و آهک‌های چرتی این قابلیت را ندارند. برای پی بردن به عامل تأثیرگذار در میزان آبدهی چشمه‌ها جنس سازندهای زمین‌شناسی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت و این نتیجه حاصل شد که همبستگی قابل توجهی بین این دو شاخص برقرار است؛ به گونه‌ای که سازند آهکی بیش‌ترین میزان تخلیه سالانه و آهک دولومیتی کم‌ترین مقادیر مربوطه را به خود اختصاص داده‌اند. از لحاظ زمین‌شناسی هم قابل توجیح است، زیرا سازندهای آهکی دارای تخلخل بیش‌تر و در نتیجه قابلیت کارست شدن بیش‌تری دارند؛ در حالی که با دولومیتی شدن تخلخل سازند کم‌تر می‌شود.

مطابق این پژوهش پراکندگی چشمه‌ها و میزان آبدهی آن‌ها تحت تأثیر پارامترهای مختلفی قرار دارد. بررسی‌های به عمل آمده نشان داد بین شاخص تعداد چشمه‌ها و فاصله از گسل‌ها ارتباط بسیار نزدیکی وجود دارد به گونه‌ای که بیش‌ترین تعداد چشمه‌های مورد بررسی در مجاورت شکستگی های اصلی قرار داشته‌اند. اما نکته مهم آن که میزان آبدهی چشمه ارتباطی با فاصله از شکستگی‌ها ندارد و بیشتر تابعی از ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی کلی سیستم کارستی است.

بررسی‌ها نشان داد که بیش‌ترین ذخیره منابع آب کارستی منطقه در بخش‌هایی است که دارای بیش‌ترین تراکم شکستگی‌ها بوده که عمدتاً در سازندهای کربناته ضخیم لایه منطقه قرار دارند. در این پژوهش مشخص شد که حوضه‌های مزدوران و تیرگان بیش‌ترین ذخیره‌های زیر زمینی را دارند و پس از دو حوضه مزدوران و تیرگان، حوضه‌های آبریز دره‌گز، قوچان، کارده و قوزقان‌چای به ترتیب دارای بیش‌ترین پتانسیل آبدهی می‌باشند.

بنابراین مناطقی که مجموع چهار ویژگی زیر را داشته باشند، می‌توانند دارای بیش‌ترین پتانسیل از نظر منابع آب کارستی باشند. این مجموعه‌ها عبارتند از: پارامترهای ساختاری با تراکم بالا، فعال بودن از نظر زمین‌ساختی، بیش‌تر بودن رخداد شکستگی در آن‌ها نسبت به نواحی دیگر و جنس سازندهای تشکیل دهنده این مناطق (که باید از نوع آهک های ضخیم لایه باشد).

References

-Aghanabati, A) .2006 .(Geology of Iran, Geological Organization .2st edition .Iran ,586 p) .In Persian.(

-Baker, A) .2022 .(Karst and Climatic Change, University of Sydney.

-Dangar, S., Mishra, V) .2021 .(Natural and anthropogenic drivers of the lost groundwater from the Ganga River basin .Environmental Research Letters, 16(11), 114009.

-Ezati, M., Gholami, E) .2022 .(Neotectonics of the Central Kopeh Dagh drainage basins, NE Iran .Arabian Journal of Geosciences 15)3(, 99-102) .In Persian.(

-Ford, D .Williams, P .D) .2022 .(Karst Hydrogeology and Geomorphology .West Sussex, England :John Wiley & Sons.

-Habibinia, H., Kord, M., Taheri, K) .2021 .(The effect of geological formations on the quality and geochemical characteristics of groundwater in the Shian Plain, Kermanshah .Journal of Hydrogeology, 6 (1),114- 125) .In Persian.(

-Honarmand, A., Vahidinia, M., Mahmudy Gharaie, M .H., Shafieeardestani, M) .2020 .(Biostratigraphy of Upper Cretaceous Planktonic Foraminifera of the Abtalkh Formation in an East–West transect, Kopet Dagh Basin, Northeastern Iran .Micropaleontology, 66(5), 285-300) .In Persian.(

-Jasechko, S., Perrone, D) .2021 .(Global groundwater wells at risk of running dry .Science, 372(6540), 418–421.

-Janardhanan, S., Islam, M .M., Islam, M .T., Peña-Arancibia, J., Hodgson, G., Karim, F., … & Kirby, J . M) .2023 .(Groundwater balance and long-term storage trends in the regional IndoGangetic aquifer in northwest Bangladesh .Journal of Hydrology :Regional Studies, 49.

-Mainuddin, M., Maniruzzaman, Md., Alam, Md .M., Mojid, M .A., Schmidt, E. J ,.Islam, M .T., Scobie, M) .2020 .(Water usage and productivity of Boro rice at the field level and their impacts on the sustainable groundwater irrigation in the NorthWest Bangladesh .Agricultural Water Management, 240, 106294.

-Mojid, M .A., Mainuddin, M., Murad, K .F. I., Kirby, J .M) .2021 .(Water usage trends under intensive groundwater-irrigated agricultural development in a changing climate – Evidence from Bangladesh . Agricultural Water Management, 251, 106873.

-Najafi, Z., Karami Gholami, H., Karimi, H) .2023 .(The effect of withdrawal from alluvial water resources on the discharge of karst springs)case study :central areas of Kermanshah province(, Journal of Irrigation Science and Engineering, 45 (1), 117-129) .In Persian.(

-Nakhaei, M., hasani, A., Moghimi, H., Abbasnovinpour, E) .2022 .(Predicting the effects of overuse on Zarandieh plain aquifer)Markazi province, Iran (using GMS software .Hydrogeology, 6(2), 13–29) .In Persian.(

-Niazi, M., Vahidinia, M., Jain, S., Mahmudy Gharaie, M .H) .2019 .(The Campanian-Maastrichtian Planktonic Foraminifera of the Kopet-Dagh Basin)NE Iran(, Bioevents and Biostratigraphy .Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen, 294)3(, 103-129) .In Persian.(

-Robert, A .M., Letouzey, J., Kavoosi, M .A., Sherkati, S., Müller, C., Vergés, J .Aghababaei, A) .2014 .(Structural Evolution of the Kopeh Dagh Fold-and-Thrust Belt)NE Iran (and Interactions with the South Caspian Sea Basin and Amu Darya Basin .Marine and Petroleum Geology, 57(4), 68-87 .

-Shakiba, F., Karami, Gh., Taheri, A) .2021 .(Investigating the effect of sedimentary environment and diagenesis on karst development potential in Tirgan Formation)west of Kopet-Dagh, NE Bojnurd, Iran(, Applied Sedimentology, 9(17), 114-130) .In Persian.(

-Shafiee Ardestani, M., Vahidinia, M) .2021 .(Study of main planktonic foraminifera (Turonian-Santonian) in Kopeh-Dagh sedimentary environment, NE Iran .Sustainable Earth Review, 1(4), 36-43) .In Persian.(

-Singhal, B .B .S., Gupta, R .P) .2010 .(Applied hydrogeology of fractured rocks .Springer Science & Business Media, 22(3),18-27.

-Tucker, M.E) .2001 .(Sedimentary Petrology :an introduction to the origin of Sedimentary rocks . Blackwell, Scientific Publication .Second edition .London, 262 p.

-Waltham, A.C., Fookes, P.G) .2023 .(Engineering Classification of Karst Ground Conditions Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 36(5), 10–18.

-White, W.B) .2023 .(Geomorphology and Hydrology of a Karst Terrains .Oxford University Press, 464p.

-Yazdani, M) .2023 .(Karst water resources in the border areas of Iran, The second national conference on water quality management and the fourth national conference on water consumption management with reduced consumption and recycling papers, Tehran) .In Persian.(