ارزیابی نفوذپذیری، پتانسیل توسعه کارست و مدل مفهومی کارست ساختگاه سد قره‌تیکان – خراسان رضوی

حسین محمد زاده[1*] ، وحید ناصری حصار[2]، حمید قالیباف محمدآبادی[3]

۱. استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد
مدیر گروه پژوهشی آبهای زیرزمینی و ژئوترمال (متآب)، پژوهشکده آب و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد
۳. دکتری زمین‌شناسی مهندسی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۶

چکیده

به دلیل پیچیدگی هیدروژئولوژی مناطق کارستی، آب‌بندی سدها در چنین مناطقی سخت‌تر، طولانی‌تر و پرهزینه‌تر و احتمال فرار آب از آن‌ها بیشتر است. پس از آبگیری سد قره‌تیکان و ظهور چشمه‌هایی در پایین دست و نشت آب از تکیه‌گاه سازند آهکی تیرگان، امکان توسعه کارست مهم‌ترین مشکل این سد به شمار می‌رود. در این مقاله، با انجام مطالعات زمین‌شناسی، زمین‌شناسی ساختاری و درزه‌نگاری، نفوذپذیری ژئوتکنیکی و روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP)، پتانسیل توسعه کارست در محدوده و تکیه‌گاه‌های سد قره‌تیکان مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج، نشان می‌دهد که حدود ۱۴/۶ درصد از محدوده سد قره‌تیکان، دارای پتانسیل بالایی در توسعه کارست می‌باشد. محدوده سد قره‌تیکان تحت تأثیر سامانه پهنه گسلی سررود است که باعث به هم خوردگی جناح چپ محور سد شده است. درزه‌نگاری در تکیه‌گاه سد قره‌تیکان سه دسته درزه اصلی را نشان می‌دهد. دو دسته از درزه‌ها در تقاطع با محور سد و شیب دسته درزه دیگر به سمت حوضچه سد است. بررسی نتایج آزمایش‌های نفوذپذیری لوژن در ساختگاه سد نشان می‌دهد بیشترین نفوذپذیری در تکیه‌گاه چپ با جریان آشفته، و پس از آن در زیر بستر رودخانه با جریان خطی و آشفته دیده می‌شود، اما در تکیه‌گاه راست نفوذپذیری نداریم و جریان بیشتر خطی است. با توجه به مدل ساختاری–مفهومی تهیه شده از موقعیت سد قره‌تیکان و محل قرارگیری محور سد در سامانه گسلی سررود، و میزان بازشدگی و جهت شیب درزه‌ها در ایستگاه‌ها، انتظار می‌رود میزان نشت و فرار آب و امکان توسعه کارست از جناح چپ و بستر بیشتر از جناح راست سد باشد.

کلید واژه‌ها: سد قره‌تیکان، کارست، زمین‌شناسی ساختاری، ژئوتکنیک، AHP.

* نویسنده مسئول: mohammadzadeh@um.ac.ir

DOI: https://doi.org/10.22034/JEG.2023.17.4.1019011

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019011]

مقدمه

با آبگیری سد قره‌تیکان (در سال ۱۳۹۳) علاوه بر نشت آب از درزه و شکاف‌های پایین‌دست جناح چپ و ظهور چشمه‌ای در پانصد متری پایین دست، از زیر سد نیز آب به میزان قابل توجهی در حدود ۴۵ لیتر در ثانیه نشت می‌یابد (شکل ۱). سد مخزنی قره‌تیکان واقع در ۱۱۰ کیلومتری شمال شرقی مشهد بر روی رودخانه قره‌تیکان و سازند کربناته کارستی تیرگان بنا شده است. در این گونه سدها که بر روی سازندهای کارستی احداث می‌شوند، مطالعه دقیق بررسی پتانسیل توسعه کارست در ساختگاه سدها ضروری می‌باشد. با افزایش فشار ناشی از آبگیری و پر شدن مخزن سد، کارست‌های قدیمی با باز شدن مجراها و غار مجدداً فعال شده و به دنبال آن، آب‌شستگی و فرسایش می‌تواند باعث تخریب سد شود. بیش از ۸۰ درصد از سدهای کارستی، در طول اولین پر کردن با مشکلات تراوش قابل توجه (بین چند ۱۰ لیتر تا چند مترمکعب در ثانیه) روبرو می‌شوند که یکی از مشکلات اصلی طراحان سدها در مناطق کارستی است(Milanovic, 2018).

شکل ۱. A) نشت آب از زیر سد و B) نشت آب از تکیه‌گاه چپ سد قره‌تیکان.

Fig. 1. A) Water leakage from under the dam, and B) Water leakage from the left abutment of Gharetikan dam.

کارستی شدن[۱]نتیجه فرآیند دوگانه ۱) انحلال - خوردگی شیمیایی توده سنگ و ایجاد مجراها، و ۲) فرسایش-تخریب فیزیکی یا فرسایش مکانیکی در نتیجه انرژی جنبشی آب‌های زیرزمینی می‌باشد (ولایتی، ۱۳۸۷). اولین مراحل کارستی شدن از انحلال آهک‌ها در امتداد ناپیوستگی‌های خطی مانند مرز لایه‌ها و یا شکستگی‌ها شکل می‌گیرد. کارست‌ها توسط افراد مختلفی مانند سویجیچ[۲]، یوآن[۳]، جنینگز[۴]، فورد و ویلیامز[۵]و ... با در نظر گرفتن معیارهای مختلف طبقه‌بندی شده‌اند (Milanovic, 2018). تاکنون سدهای زیادی در نواحی کارستی کشورهایی نظیر آمریکا، چین، کرواسی، یونان، اسلونی، اسپانیا، یوگسلاوی، ترکیه (سد آتاتورک (Unal et al.,2007))، سریلانکا (سد سامانالاوا (Laksiri, 2007))، الجزایر (سد بنی‌هارون (Hocini and Mami, 2011))، ایران (سدهای عباسپور (Ghobadi et al.,2005)، ابوالعباس خوزستان(Adinehvand, 2017)،

[۱]Karstification
[۲]Cvijić,
[۳]Yuan
[۴]Jennings
[۵]Ford and Williams

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019011]

لار(Mozafari and Raeisi, 2017)، کوثر (Mozafari and Raeisi, 2014)) ساخته شده‌اند که با مشکل از دست دادن آب روبرو می‌باشند.

هدف از این مقاله، ۱) مطالعه و بررسی پتانسیل توسعه کارست در محدوده سد قره‌تیکان، ۲) ارائه مدل مفهومی کارست در محدوده و ساختگاه سد قره‌تیکان و ۳) تعیین مسیر احتمالی نشت آب در جناحین و بستر تکیه‌گاه سد قره‌تیکان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور مطالعه پتانسیل توسعه کارست منطقه و تهیه مدل مفهومی کارست از تکیه‌گاه‌های سد قره‌تیکان، از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلات و چهچهه، به ترتیب با اندیس۷۹۶۳ و ۸۰۶۳، عکس‌های هوایی سه بعدی گوگل ارث، استفاده و طی چهار مرحله بازدید و پیمایش‌های صحرایی از محل سد، چینه‌شناسی، سنگ‌شناسی، زمین‌شناسی ساختاری و درزه‌نگاری و پدیده‌های کارستی منطقه مورد بررسی گرفت. جهت مطالعات زمین-شناسی ساختاری و درزه‌نگاری ابتدا مرز منطقه مورد مشخص، و سپس موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری بر روی عکس‌های هوایی، با توجه به موقعیت نسبت به سد و نوع لیتولوژی، تعیین گردید. سپس در بازدید و پیمایش صحرایی، موقعیت دقیق ایستگاه‌ها با توجه به اینکه رخنمون خوبی داشته باشد، انتخاب و موقعیت ایستگاه‌های برداشت درزه‌ها به وسیلهGPS تعیین گردید. مطالعات درزه نگاری و برداشت درزه‌ها و شکستگی‌ها در ۸ ایستگاه (جدول ۱)، در یک فاصله ۲۰ تا ۳۰ متری، با تعداد ۴۰ تا ۵۰ برداشت، به روش پیمایش - فهرست نویسی انجام گردید.

رز دیاگرام و استریونت درزه‌های برداشت شده هر ایستگاه با استفاده از نرم افزار dips ترسیم گردید. همچنین دسته درزه‌های غالب منطقه بر روی استریونت ترسیم و جهت امتداد و شیب آن بدست آمد. پس از آن با مقایسه دسته درزه‌های غالب منطقه با امتداد محور سد قره‌تیکان و مقایسه با استریونت‌های درزه هر ایستگاه، امکان نشت آب از مخزن سد بررسی گردید.

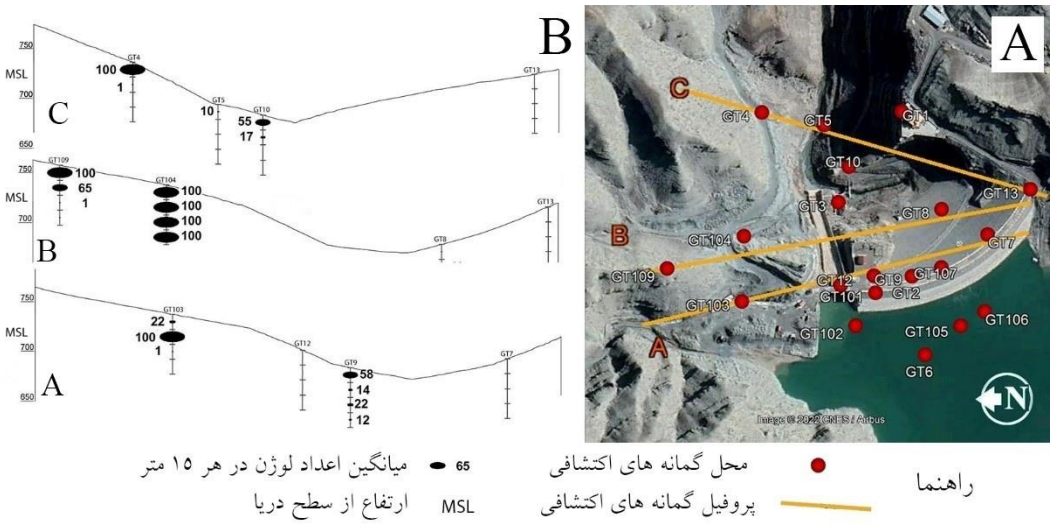
جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های درزه برداری در محل سد قره‌تیکان.
Table 1. Specifications of the joint study stations at the Gharetikan dam site.

ایستگاه	طول جغرافیایی (متر)	عرض جغرافیایی (متر)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	موقعیت ایستگاه
1	239960	4076522	727	بالا دست جناح چپ سد
2	239544	4076735	715	بالا دست جناح راست سد
3	239629	4076663	705	جناح راست سد بالای تاج
4	239508	4076541	711	پایین دست جناح راست سد
5	239455	4076641	700	پایین دست، جنوب سرریز
6	239510	4076655	696	پایین دست جنب بدنه سد
7	239247	4076985	770	بالادست جناح چپ
8	239291	4076386	722	بالادست جناح چپ

برای تحلیل نفوذپذیری و رفتار هیدرولیکی جریان آب و بررسی امکان توسعه کارست در تکیه‌گاه‌های سد، از اطلاعات آزمایش لوژن ۲۰ گمانه اکتشافی (شکل ۲-A)، که در امتداد محور و در راستای بستر و تکیه‌گاه‌های محور سد قره‌تیکان حفاری شده‌اند، استفاده شده است (آب منطقه‌ای، ۱۳۸۴) . ابتدا نتایج تست لوژن در هر ۱۵ متر از سطح تراز حفاری گمانه‌ها محاسبه،

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019011]

و سپس مقدار نفوذپذیری لوژن در ترازهای مختلف هر گمانه، بر روی پروفیل‌های طولی موازی با محور سد، ثبت گردید(شکل ۲-B)، تا پروفیل تغییرات لوژن در گمانه‌های اکتشافی رسم و بهترین مسیر جریان آب از تکیه‌گاه‌های ساختگاه سد قره‌تیکان بدست آید و نیز به منظور تشخیص رفتار توده سنگی در مقابل فشار آب و نوع جریان، نمودارهای دبی- زمان در آزمایش‌های لوژن گمانه‌ها، بررسی گردید (Milanovic, 2018).



شکل ۲. A) موقعیت گمانه‌های سد قره‌تیکان ، B) پروفیل تغییرات لوژن در گمانه‌های اکتشافی در سه راستای مختلف.
Fig. 2. A) The location of the Gharetikan dam's boreholes ,B) profile of the Lugeon changes in the exploratory boreholes in three different directions.

جهت بررسی توسعه کارست در منطقه، محدوده‌ای به مساحت حدود ۷۴۸ کیلومتر مربع انتخاب گردید (شکل ۳-A) به طوری که موقعیت سد، حوضه‌های آبریز آن و سازندهای زمین‌شناسی با پتانسیل کارستی شدن را در برگیرد. سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP،[۶])، نقشه نهایی پهنه‌بندی پتانسیل توسعه کارست (Kp) محدوده قره‌تیکان با تهیه نقشه رستری لایه‌های اطلاعاتی مؤثر در توسعه کارست (لیتولوژی-Lt، درزه و شکستگی‌ها-J، دما-T،بارندگی-P، کاربری اراضی-Lu، شیب-S، جهت شیب-Sd، ارتفاع-H و فاصله از آبراهه-R) و با اعمال وزن به دست آمده برای هر لایه بر اساس قضاوت کارشناسی و بهره‌گیری از مطالعات مشابه محدوده (رضایی عارفی و همکاران، ۱۳۹۹) و همپوشانی آن‌ها با استفاده از رابطه۱، در محیط GIS با استفاده از دستور Raster Calculator انجام گرفت (محمدزاده و همکاران، ۱۴۰۲).

$$Kp = [34.1Lt + 23.3J + 5.7T + 7.6P + 2.6Lu + 7.4S + 3.5Sd + 10.7H + 5.1R]/100 \quad (۱)$$

مدل مفهومی ساختگاه سد بر اساس روش کارسیس[۷] تهیه شده است، که دارای سه مزیت کاهش هزینه‌ها و عدم انجام بررسی‌های زائد، تعیین چارچوب مطالعات تکمیلی، و بهبود تفسیر داده‌های جمع‌آوری شده، می‌باشد. اصول این روش بر پایه حرکت آب در محیط کارست توسط گرادیان هیدرولیکی و هندسه آبخوان مانند لایه‌بندی آهک کنترل می‌گردد و مدل

[۶] Analytical Hierarchy process
[۷] Karsys

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019011]

مفهومی آبخوان ابتدا با ساختن مدل فرضی اولیه بر اساس سعی و خطا و سپس با داده‌های بعدی تکمیل می‌شود (کریمی وردنجانی، ۱۳۹۴).

نتایج و بحث

هیدرولوژی، ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه قره‌تیکان، با مساحت حدود ۴۷۶ کیلومتر مربع، در شمال شرقی شهر مشهد و در دامنه‌های رو بـه شمال کوه‌های هزار مسجد واقع شده است. این حوضه ز دو زیر حوضه کال شور و حوضه قره‌تیکان تشکیل شده است. حوضه آبریز قره تیکان در مختصات جغرافیای ′۳۹-°۵۹ تا′۱۴-°۶۰ طول شرقی و ′۳۶-°۴۰ الی ′۵۸-°۳۶ عرض شمالی واقع و از جنوب و غرب به حوضه آبریز چهچهه و از شمال به خط مرزی ایـران و ترکمنستان و حوضه آبریز کلات منتهی می‌شود. بلندترین ارتفاع حوضه ۲۶۱۵ متر بالاتر از سطح دریا و ارتفـاع متوسط آن ۱۴۰۰ متر از سطح دریا بلندی دارد. حوضه آبریز قره‌تیکان با اقلیم خشک و سرد، سالانه به طور متوسط ۲۹۱ میلیمتر نزولات جوی دریافت و تغییرات درجه حرارت آن از ۴/۷- تا ۳۰/۲ درجه سلسیوس می‌باشد. رودخانه قره‌تیکان زهکش طبیعی و اصلی این حوضه بوده و جریانات حاصل از این حوضه را به خاک ترکمنستان تخلیه می‌کند (آب منطقه‌ای، ۱۳۸۴).

با توجه به قرارگیری منطقه مورد مطالعه در زون ساختاری کپه داغ، عوامل تکتونیکی شامل فشارش ورقه توران و ایران به همراه عوامل آب و هوایی، سـنگ‌شناسی و زیستی، در شکل‌گیری ژئومورفولوژی کنونی آن مؤثر بوده‌اند. واحدهای سـنگی مقـاومی چـون سـنگ آهک‌های سازندهای مزدوران، تیرگان، کلات و چهل‌کمان غالباً نواحی برآمده و صخره‌ساز را درست کرده و واحدهای نا مقاوم و فرسایش‌پذیری نظیر ماسه‌سنگ‌ها، شیل‌ها و مارن‌های سازندهای شوریجه، سرچشمه و سنگانه نواحی پست‌تر را تشکیل می‌دهند. سازندهای صخره‌ساز کنترل‌کننده‌های اصلی مورفولوژی حوضه کپه داغ هستند. گسل‌های فراوان در جابه‌جایی محور تاقدیس و ناودیس‌ها، خردشدگی سازندها، فرسایش و رخنمون سازندها، ایجاد پدیده‌های کارستی و شکل‌گیری مورفولوژی کنونی مؤثر بوده‌اند (کریمیان طرقبه، ۱۳۸۸).

با توجه به نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه (شکل۲)، مهم‌ترین نهشته‌ها و سازندهای زمین‌شناسی به ترتیب درصد مساحت رخنمون عبارت‌اند از: آبرفت‌های قدیمیQt1 به صورت نهشته‌های مخروط افکنه و پادگانه‌های قدیمی در دامنه‌های پرشیب تشکیل می‌دهد (حدود ۱۸ درصد از محدوده مورد مطالعه)، آهک‌های مارنی و شیل‌های روشن سازند آبدراز واقع در شمال شرقی و جنوب شرقی محدوده که به طور پیوسته بین سازندهای آتامیر و آب‌تلخ قرار دارد (حدود ۱۵ درصد)، ماسه سنگ گلوکونیت‌دار و شیل‌های سبز زیتونی سازند آتامیر که از شمال غربی تا جنوب شرقی (حدود ۱۴ درصد). سازند سنگانه که از جنس شیل‌های سیاه آهن‌دار به همراه میان لایه‌هایی از سیلتستون‌های ماسه‌ای است که ۱۲درصد محدوده مورد مطالعه را به صورت یال‌های تاقدیس اشلار در برگرفته است. ماسه سنگ و کنگلومرا شوریچه که در بالای سازند مزدوران قرار دارد و ۱۱ درصد از محدوده را پوشانده است. مزدوران به عنوان یکی از مهم‌ترین سازندهای کارستی منطقه، اساساً از آهک و آهک دولومیتی متخلخل ضخیم لایه تشکیل شده است. قسمت فوقانی آن نیز به ماسه سنگ تبدیل می‌شود که رنگ آن به تدریج قرمز و رسوبات تبخیری در آن وجود دارد (سازند شوریجه) و در ۸ درصد از محدوده مورد مطالعه رخنمون دارد.

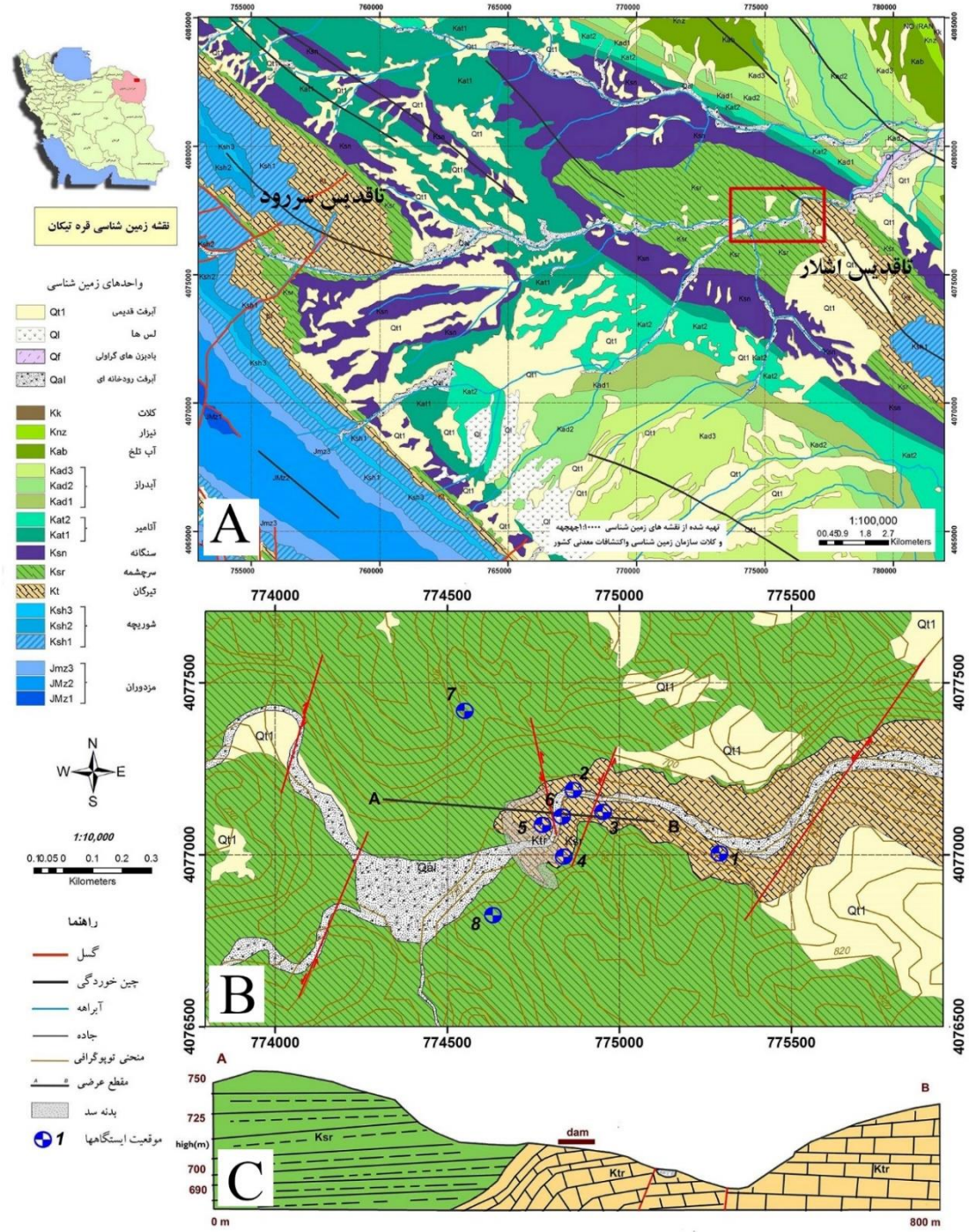
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019011]

سازندهای سرچشمه و تیرگان که در محل ساختگاه سد نیز رخنمون دارند در حدود ۶ درصد از محدوده مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. سازند تیرگان از سنگ آهک‌های ستبر لایه تا توده‌ای، آلیتی و زیست‌آواری با میان لایه‌های ناچیز از سنگ آهک‌های مارنی و شیل آهکی با سیمان اسپارایتی است. ستبرای زیاد لایه‌ها و به ویژه تراکم و سختی سنگ آهک‌ها سبب شده است تا این سازند از واحدهای چهره‌ساز بین ردیف‌های آواری سرخ رنگ سازند شوریچه و نهشته‌های شیلی–مارنی سرچشمه باشد. در نزدیکی سد قره‌تیکان، مرزهای پایینی و بالایی تیرگان با تغییر رخساره ناگهانی گزارش شده است ولی مطالعات جدید حاکی از تدریجی بودن این مرزها و حتی پیوند بین انگشتی بین سازند تیرگان با واحد کهن‌تر (سازند شوریچه) و واحد جدیدتر (سازند سرچشمه) می‌باشد (قالیباف، ۱۳۹۰) . سازندهایی که زیر ۵ درصد از وسعت منطقه را دارند شامل سازند آهکی کلات، سازند شیل و سیلتستونی آب تلخ، و سازند ماسه سنگی نیزار می‌باشد. نهشته‌های آبرفت‌های رودخانه‌ای، لس‌ها و مخروط افکنه‌های بادبزنی کوهپایه‌ای نیز به مساحت کمتری در محدوده مورد مطالعه دیده می‌شوند.

در محل ساختگاه سد، سازندهای تیرگان و سرچشمه رخنمون دارند، سازند آهکی تیرگان در شرق محدوده مورد مطالعه در پایین‌دست سد و قسمتی از آن در داخل مخزن سد و همچنین در زیر بدنه سد دیده می‌شود. با توجه به پراکندگی این سازند در قبل از بدنه سد و همچنین جنس آهکی آن، اصلی‌ترین سازند در ارتباط هیدرولیکی آب در پایین‌دست و بالادست مخزن سد می‌باشد. سازند تیرگان زیر سازند سرچشمه،که تمامی ساختگاه سد و بخشی از سنگ بستر دریاچه سد را تشکیل می‌دهد، قرار گرفته است. از آنجائی‌که سازند سرچشمه از شیل‌های خاکستری تا خاکستری تیره با بین لایه‌های آهکی تشکیل شده است، به شدت هوازده، خرد شده و درز و ترک‌دار می‌باشند و رسوبات واریزه‌ای و آبرفت‌های دامنه‌ای را در سطح زمین شکل داده‌اند. با توجه به تغییر شکل‌پذیری شیل‌ها گاهی چین‌ها و ریزچین‌های کوچکی در متن توده سنگ شکل گرفته است. شایان ذکر است که رگه‌های کلسیتی نیز با ضخامت‌های متفاوت، از چندین میلیمتر تا چند سانتیمتر، در راستا و امتداد ناپیوستگی‌ها مشاهده می‌شود.در محل ساختگاه سد قره‌تیکان همان‌طور که در پروفیل AB (شکل ۳) آمده است، سازندهای تیرگان و سرچشمه و آبرفت رودخانه‌ای Qal هر یک با خصوصیات چینه سنگی متفاوت، رخنمون دارند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019011]



شکل ۳. A) نقشه زمین‌شناسی در محدوده مورد مطالعه (تهیه شده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور)، B) ساختگاه سد قره‌تیکان و موقعیت ایستگاه‌های برداشت درزه‌ها، و C) پروفیل زمین‌شناسی در راستای AB.

Fig. 3. A) Geological map of the study area (Prepared from the 1:100,000 map of the Geological survey of Iran), B) the Gharetikan dam's Construction and the location of the joints study stations, and C) Geological profile in AB trend.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019011]

توسعه کارست بر اساس زمین‌شناسی ساختاری و درزه‌نگاری منطقه

ساختارهای زمین‌شناسی منطقه سد قره‌تیکان متأثر از حرکات تکتونیکی و ساختارهای عمومی حوضه کپه داغ و لذا هم جهت و هم امتداد با ساختارهای بزرگ مقیاس کپه داغ می‌باشند. در منطقه سد قره‌تیکان، تاقدیس اشلار در شرق و جنوب شرقی سد قره‌تیکان و تاقدیس سررود در غرب سد از چین‌خوردگی‌های مهم منطقه می‌باشند. سد قره‌تیکان در دماغه[8] غربی تاقدیس اشلار قرار گرفته است. گسلش منطقه ناشی از گسل‌های رانشی و تراست‌های گسلی در امتداد شمال غربی-جنوب شرقی می‌باشد.

عملکرد سامانه گسلی در محدوده سد قره‌تیکان

به طور کلی، سامانه پهنه گسلی محدوده سد قره‌تیکان با راستای شمال خاوری، از سه سازوکار عمده برخوردار می‌باشد که بیشترین تأثیر آن در تکیه‌گاه چپ سد می‌باشد (شکل ۴). این دسته گسل‌ها از قدیم به جدید عبارت‌اند از: ۱) دسته گسل‌های معکوس(G1): اولین گسل‌هایی که در منطقه رخ داده و روند آن‌ها موازی محور تاقدیس سررود و دارای شیبی حدود۳۰ درجه می‌باشد که در نتیجه فشردگی در زمان چین‌خوردگی رخ داده است. این سیستم باعث بوجود آمدن گسل‌های معکوس در آهک‌های سازند تیرگان (پی سد قره‌تیکان) در هر دو جناح سد شده است. در واقع، عملکرد هم زمان گسلش و چین‌خوردگی موجب توسعه چنین سامانه گسلی شده است. ۲) دسته گسل‌های عمود بر محور سد (G2): این سیستم گسلی (شامل دو گسل معکوس با امتداد تقریباً N83)، باعث افتادگی و خمیدگی لایه‌های سازند تیرگان در جناح چپ نزدیک محور از شیبی حدود ۱۵ درجه به نزدیک ۸۵ درجه شده است.

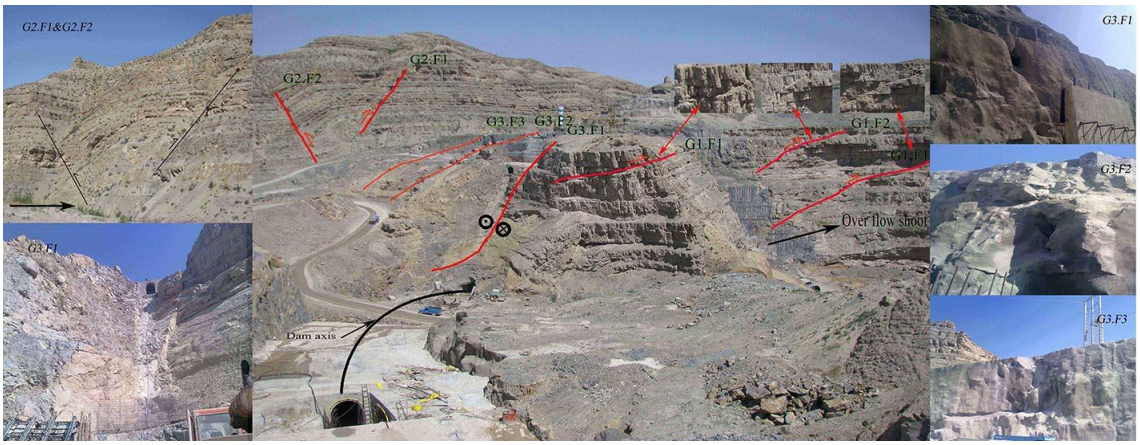
به نظر می‌رسد، مکانیسم تشکیل این گسل‌ها در اثر فرایند فشارش در زمان چین‌خوردگی شدید و همچنین در نتیجه عملکرد سامانه پهنه گسلی سررود که یک گسل عرضی ـ برشی چپ لغز است، اتفاق افتاده است. این سامانه گسلی، باعث خمیدگی محور تاقدیس سررود و نیز فرو افتادگی لایه‌های سازند تیرگان در جناح چپ شده است که با زاویه میل حدود ۶۵ درجه، لایه‌های سازند تیرگان را به داخل زمین فرو برده و در جناح چپ اثر آن خاتمه پذیرفته است. ۳) دسته گسل‌های امتداد لغز چپ لغز (G3): این سیستم گسلی، جوان‌ترین گسل‌های منطقه بوده و گسل‌های گروه اول (G1)، گروه دوم (G2) و لایه‌های خم شده سازند تیرگان را قطع کرده است. این سیستم گسلی بصورت مورب با امتداد N175 و شیب تقریباً قائم در جناح چپ عمل نموده و گسل‌ها با فاصله تقریباً یکسان از یکدیگر در منطقه واقع شده است (شکل۴). یکی از این گسل‌ها تقریباً نزدیک محور سد در جناح چپ باعث به هم خوردگی محور سد شده و در ابتدای جناح چپ به صورت مورب از محور سد عبور نموده و به سمت بالادست سد از کل محور سد خارج گشته است. لذا، این گسل با توجه به مورب بودن آن تأثیری در جناح راست سد نداشته است (قالیباف، ۱۳۹۰).

---

[8] Nose

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

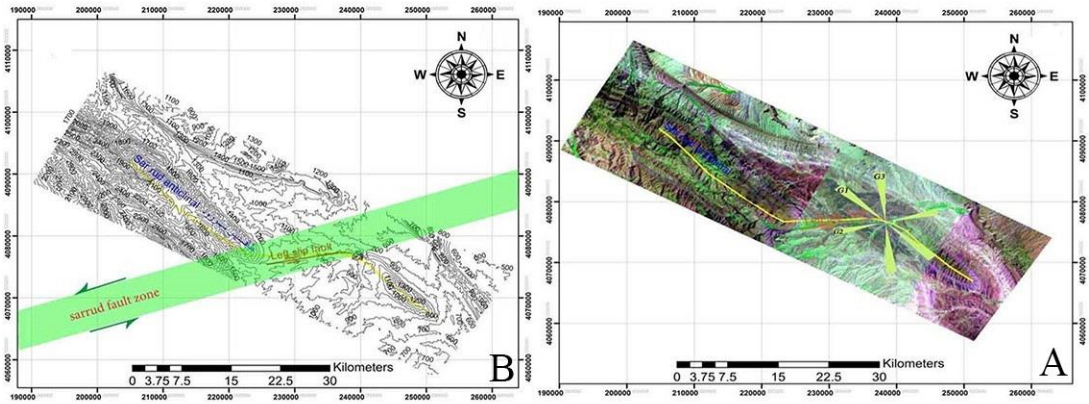
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019011]



شکل۴. عملکرد سه سامانه گسلی در جناح چپ سد قره‌تیکان.

Fig. 4. The performance of three fault systems on the left side of the Gharetikan dam.

امتداد سه سامانه گسلیG1، G2 و G3 در محل سد (شکل ۵-الف) نشان می‌دهد توسعه گسل‌های در بخش مرکزی تاقدیس دارای روند شمال خاوری است. عملکرد این گسل‌ها در نتیجه گسل سررود (گسل عرضی ـ برشی چپ لغز) می‌باشد و باعث تشکیل پهنه گسلی سررود و خمیدگی تاقدیس سررود شده است، که محدوده آن بر روی نقشه توپوگرافی منطقه در شکل ۵-ب نشان داده شده است (قالیباف، ۱۳۹۰).



شکل ۵. A) نمودار امتداد سامانه‌های گسلی G1، G2 و G3 در بخش مرکزی منطقه مورد مطالعه (در پهنه گسل سررود در تاقدیس سررود)، B) محدوده پهنه گسلی سررود (محدوده سبز شده) و خمیدگی تاقدیس سررود در محل برخورد با ادامه جنوب غربی پهنه گسلی سررود (دید به سمت شمال غرب و تقریباً در راستای محور تاقدیس می‌باشد).

Fig. 5. A) The diagram of the extension of fault systems G1, G2 and G3 in the central part of the study area (in the Sarroud fault zone in the Sarroud anticline), B) The Sarroud fault zone (green area) and the curvature of the Sarroud anticline in the place where it collides with the south-western continuation of the Sarroud fault zone (view towards the north-west, almost in line with the axis of the anticline).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

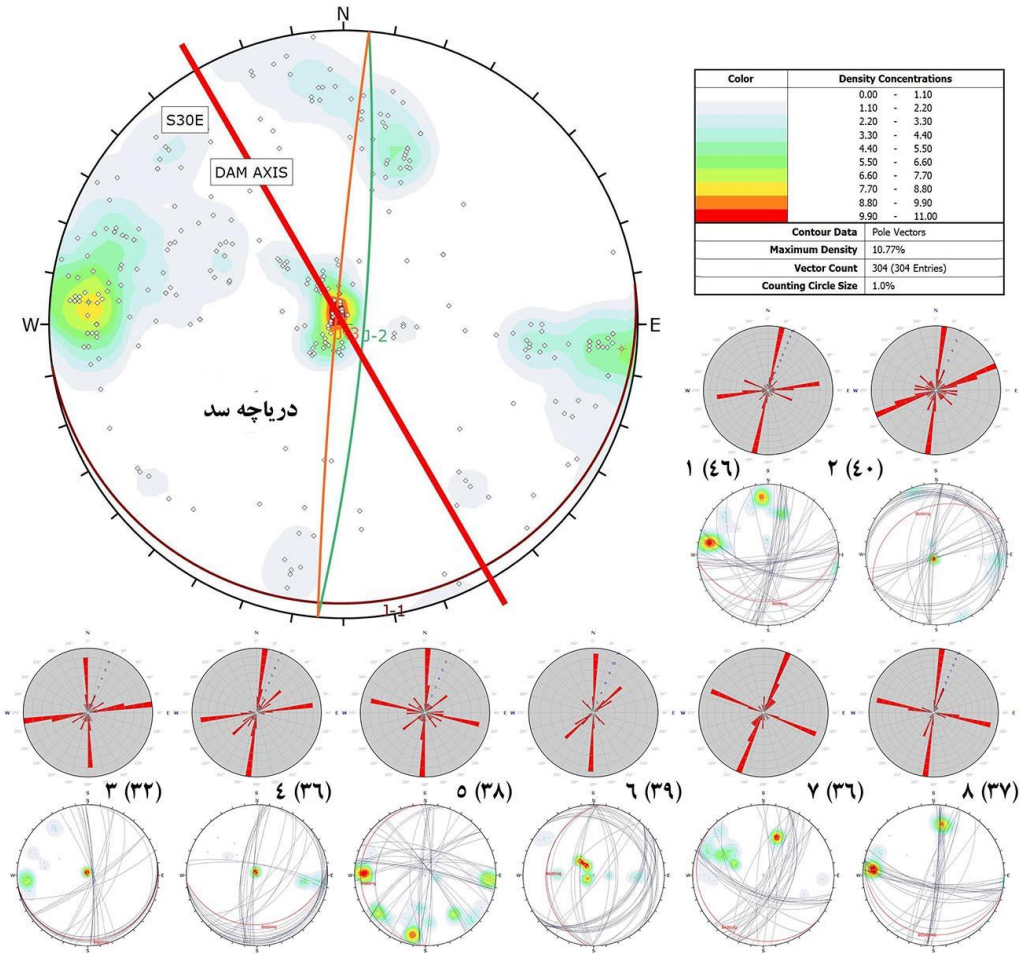
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019011]

درزه‌نگاری در محدوده سد قره‌تیکان

رز دیاگرام داده‌های درزه‌نگاری هر یک از ۸ ایستگاه منطقه سد قره‌تیکان به همراه استریونت درزه‌های هر ایستگاه تهیه و در شکل ۶ نشان شده است. بررسی رز دیاگرام‌های ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد امتداد درزه‌ها با روند کلی ساختارهای تکتونیکی منطقه هم جهت می‌باشد. در ایستگاه‌های ۷ و ۸ که در سازند سرچشمه قرار گرفته‌اند دو سری درزه دیده می‌شود که یکسری هم جهت با لایه‌بندی و یک سری عمود بر لایه‌بندی و جهت آن به سمت خارج مخزن است که امکان خروج آب از آن و نفوذ به سازند تیرگان مشهود است. امتداد کلی درزه‌های ایستگاه‌های ۴، ۵، ۳، ۲ و ۶ با توجه به این که موقعیت همه ایستگاه‌ها در سازند تیرگان قرار گرفته‌اند و تحت تأثیر یک نیروی فشاری- کششی یکسان بوده‌اند در یک راستا هستند ولی جهت شیب درزه‌ها با هم متفاوت است. شیب غالب درزه‌های ایستگاه ۲ به سمت شمال و خارج مخزن، شیب درزه‌ها در ایستگاه‌های ۵، ۳ و ۶ به سمت شرق و شمال شرق و خارج مخزن، در ایستگاه ۴ جهت شیب به سمت مخزن است که نتیجه می‌شود فرار آب از ایستگاه ۲ بیشترین مقدار و در ایستگاه‌های ۳ و ۵ و ۶ در رتبه بعدی و در ایستگاه ۴ فرار آب کم‌ترین مقدار را دارد. همان‌طور که در شکل ۶ دیده می‌شود موقعیت سد قره‌تیکان در راستای N۱۵۰ یا S ۳۰E واقع شده است و روند کلی درزه‌های منطقه N۱۰E می‌باشد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019011]



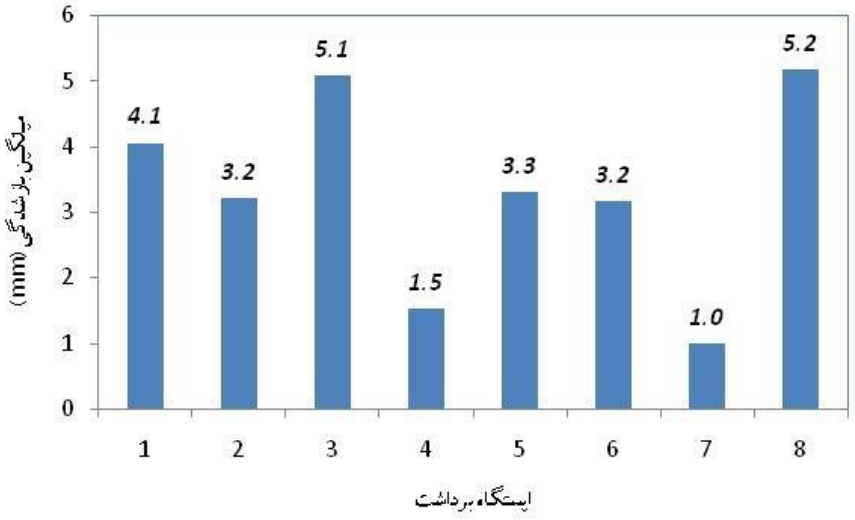
شکل ۶. استریونت کلی درزه‌های منطقه قره‌تیکان به همراه رز دیاگرام، تعداد برداشت و استریونت هر ایستگاه.

Fig. 6. The sterionet of the joints in Gharetikan region along with rose diagrams, the number of joints, and the sterionet of each station.

در شکل ۶ با توجه به ترسیم درزه‌های برداشت شده سه دسته درزه در تکیه‌گاه سد قره‌تیکان مشاهده می‌شود. دسته درزه‌های J2 و J3 درزه‌هایی هستند که در تقاطع با محور سد هستند و باعث نشت و خروج آب از مخزن خواهد شد. دسته درزه J1 که شیب آن به سمت حوضچه سد است (شیب موازی با لایه‌بندی) است و انتظار خروج آب از درزه‌ها را زیاد نخواهیم داشت. با توجه به میانگین بازشدگی درزه‌ها در ایستگاه‌های مختلف که در شکل ۷ ارائه شده است می‌توان انتظار داشت در ایستگاه-های ۵، ۲ و ۶ پتانسیل نشت آب و توسعه کارست از سایر ایستگاه‌ها بیشتر خواهد بود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019011]



شکل ۷. بازشدگی درزه‌ها در ایستگاه‌های برداشت شده سد قره‌تیکان.
Fig. 7. The opening of the joints in the stations of Gharetikan Dam.

توسعه کارست و نفوذپذیری بر اساس مطالعات ژئوتکنیک

به منظور شناسایی و درک وضعیت زیرسطحی پی سنگ و پیوستگی توده سنگ، نتایج حفر گمانه‌های اکتشافی در محور سد مورد بررسی قرار گرفته است. در مغزه‌های حفاری می‌توان گسترش پدیده کارست را از سطح زمین تا انتهای گمانه را تشخیص و در طول مغزه‌های گمانه‌های حفر شده، قطر حفره‌های کارستی را در صورت وجود بررسی و شناسایی نمود، و همچنین می‌توان تغییرات سطح آب را در طول گمانه مشاهده نمود. با انجام آزمایش‌ها لوژن در گمانه‌های اکتشافی، می‌توان نوع جریان در خلل و فرج توده‌های سنگی را تعیین نمود که با توجه به عدد لوژن (یک واحد لوژن یعنی مقدار آبی (لیتر) که در مدت یک دقیقه، مقطع یک متری گمانه در فشار ۱۰ بار جذب می‌شود) و رفتار نمودار لوژن، تا حدودی نوع جریان و هدایت هیدرولیکی محیط متخلخل نیز مشخص خواهد شد (Milanovic,2018) و (محمدزاده و همکاران، ۱۴۰۲) هر چه عدد لوژن بالاتر باشد نشان دهنده نفوذپذیری بیشتر توده سنگ و مجراهای بزرگ‌تر، خلل و فرج زیادتر و در نتیجه توسعه کارست بیشتر خواهد بود.

نتایج آزمون لوژن با میزان بازشدگی و نفوذپذیری توده‌های سنگی رابطه مستقیم دارد (جدول ۲) و به تبع آن پتانسیل کارست شدگی و انحلال توده‌های آهکی افزایش می‌یابد. پس از بدست آوردن آزمایش‌های نفوذپذیری لوژن در اعماق مختلف در ساختگاه سد قره‌تیکان، با ترسیم پروفیل‌های تغییرات لوژن در گمانه‌های اکتشافی (شکل ۲- چپ) می‌توان نفوذپذیری و مسیر جریان را تا حدودی تعیین کرد. در تکیه‌گاه چپدر مسیر سه گمانه GT103، GT104 و GT4، که هر سه تقریباً در یک تراز توده سنگی نفوذپذیری بیشتری دارند، می‌توان بهترین مسیر جریان، و پس از آن در زیر بستر رودخانه در مسیر گمانه‌های GT9 و GT10، در عمق تا ۱۵ متر مسیر دیگر جریان و نشت آب وجود دارد. اما در تکیه‌گاه راست نفوذپذیری

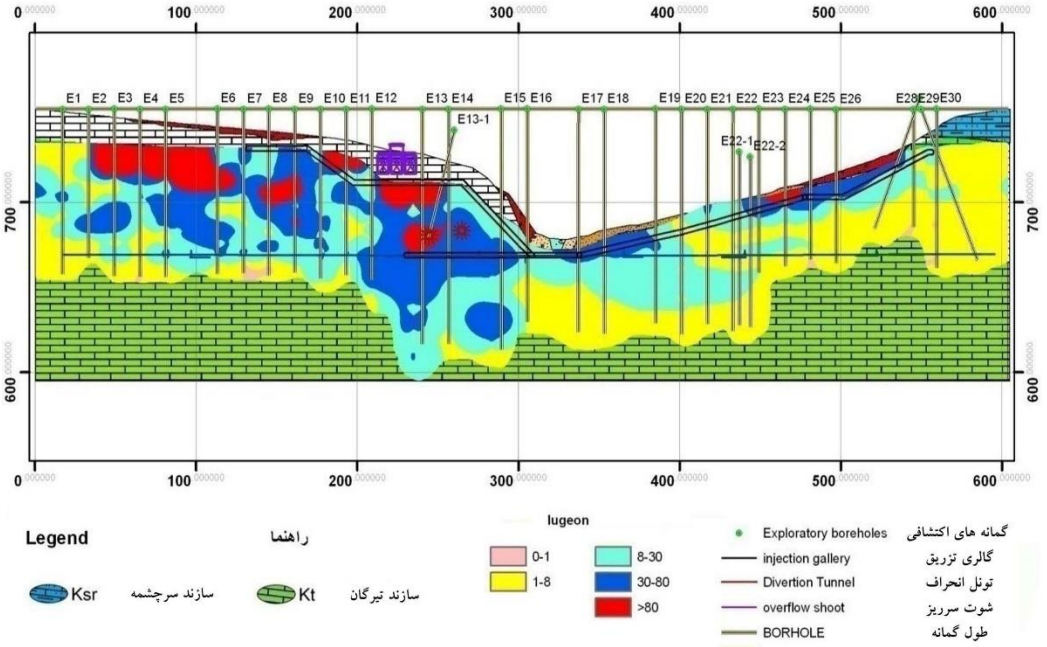
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019011]

نداریم و جریان آب قابل پیش‌بینی نمی‌باشد. در نقشه پهنه‌بندی لوژن (شکل ۸) نیز مشاهده می‌شود که در جناح چپ در زیر سرریز، زون خرد شده وجود دارد (قالیباف، ۱۳۹۰).در جدول ۲ بررسی نمودارهای دبی-زمان در آزمایش‌های لوژن گمانه‌ها (آب منطقه‌ای، ۱۳۸۴)، نشان می‌دهد که در تکیه‌گاه راست بیشتر جریان خطی است و در بستر علاوه بر رفتار خطی جریان آشفته است. در تکیه‌گاه چپ رفتار آشفتگی جریان نسبت به تکیه‌گاه راست بیشتر است و کمتر جریان خطی است ولی با افزایش فشار بازشدگی اتفاق می‌افتد.

جدول ۲. رفتار توده سنگی در مقابل فشار آب در آزمایش‌ها لوژن ساختگاه سد قره‌تیکان.

Table 2. The behavior of the rock mass against the water pressure in the Lugeon tests of the Gharetikan dam construction.

موقعیت	شکل هندسی جریان (مقدار بر حسب درصد)					
	خطی	آشفته	بازشدگی	شستگی	پرشدگی	نامشخص
تکیه‌گاه راست	53.2	9.7	12.9	6.5	3.2	14.5
بستر	42.3	30.8	7.7	11.5	7.7	0.0
تکیه‌گاه چپ	40.1	14.8	15.6	4.3	1.6	23.6



شکل ۸. نقشه پهنه‌بندی لوژن از محور سد قره‌تیکان.

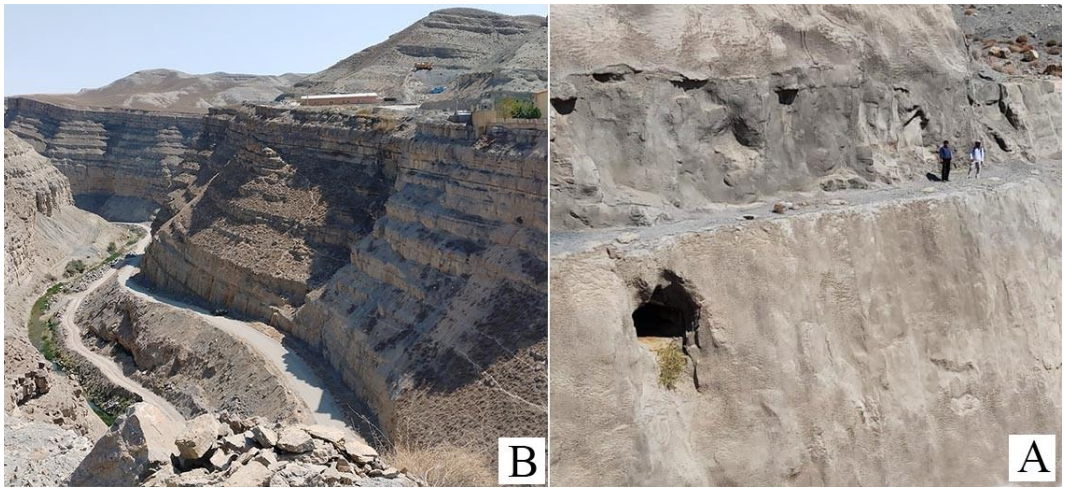
Fig. 8. Lugeon zoning map of the Gharetikan dam axis.

پدیده‌های کارستی و نقشه پهنه‌بندی پتانسیل کارستی شدن در منطقه قره‌تیکان

مهم‌ترین اشکال کارستی منطقه قره‌تیکان را می‌توان به صورت کارن‌هایی که در اثر بارش مستقیم باران بر روی سطح سنگ‌های انحلال‌پذیر که در اثر رواناب‌های ورقه‌ای و کانالی ناشی از بارش ایجاد می‌شوند را مشاهده نمود. همچنین با

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019011]

افزایش زمان جریان و انحلال، حفرات انحلالی و غارچه‌ها در راستای بازشدگی‌های طبیعی مرتبط یا مجزا در سنگ‌های آهکی به وجود می‌آیند (شکل ۹-الف). در پایین دست سد قره‌تیکان با انحلال سازند تیرگان در جهت محور تاقدیس اشلار دره‌ای عمیق کارستی دیده می‌شود (شکل ۹-ب).



شکل ۹. A) حفره (غارچه) انحلالی آهک‌های سازند تیرگان در امتداد شکستگی‌ها در جناح چپ سد (دید به شمال)، و B) دره کارستی پایین دست سد (دید به شرق).

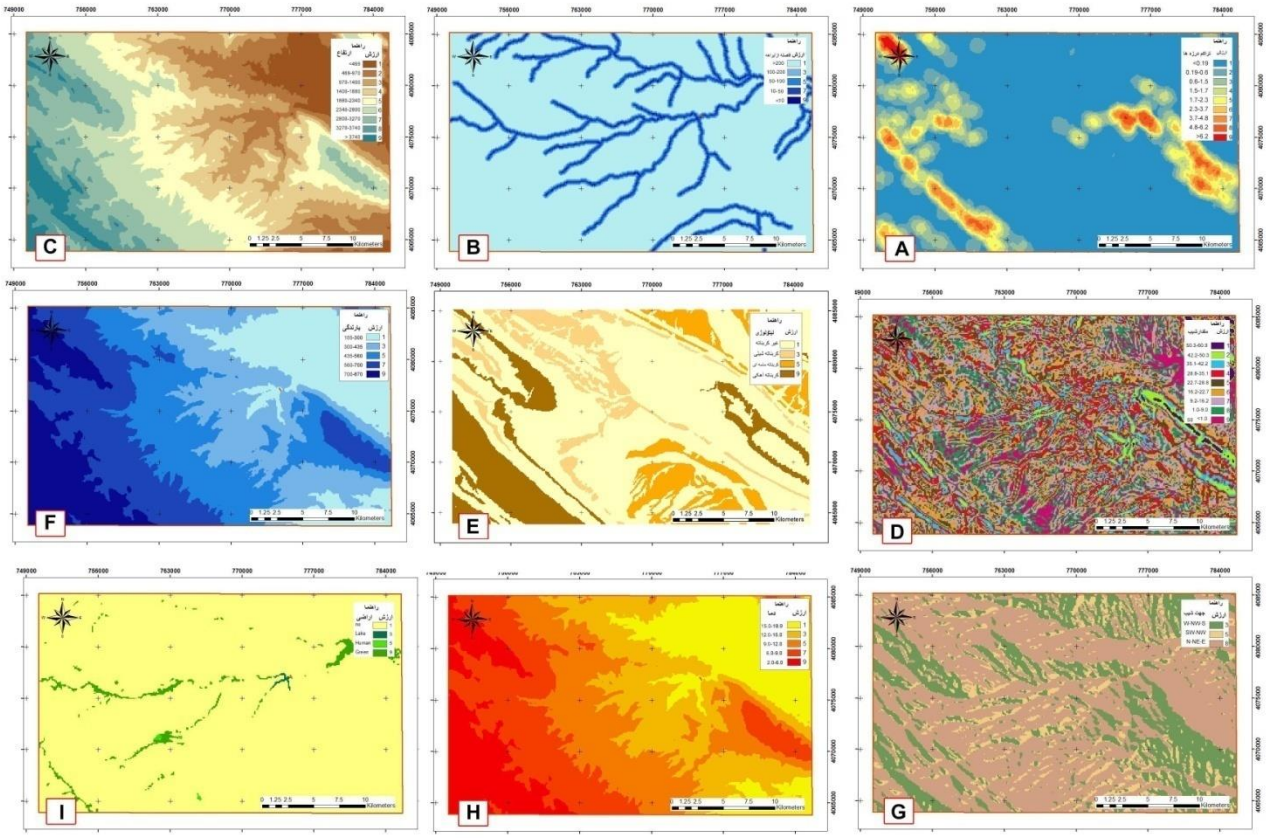
Fig. 9. A) Dissolution cavity of Tirgan limestone Formation along the fractures on the left side of the dam (view to the north), and B) Karst valley downstream of the dam (view to the east).

به منظور بررسی پتانسیل توسعه کارست، ابتدا نقشه‌های رستری برای هر یک از لایه‌های اطلاعاتی مؤثر در توسعه کارست برای منطقه قره‌تیکان (شکل ۱۰) تهیه و سپس نقشه نهایی پهنه‌بندی پتانسیل توسعه کارست برای محدوده مورد مطالعه قره‌تیکان، از همپوشانی این لایه‌ها به روش سلسله مراتبی به دست آمد (شکل ۱۱).

بر اساس اصول مبانی کارست و مشاهدات میدانی، نقشه نهایی حاصل از پهنه‌بندی پتانسیل کارستی شدن، به پنج طبقه: فاقد پتانسیل، پتانسیل پایین، متوسط، بالا و خیلی بالا طبقه‌بندی شد و مساحت و درصد طبقات پتانسیل توسعه کارست از کل محدوده مطالعه شده (به مساحت حدود ۷۴۸ کیلومتر مربع)، در جدول روی شکل ۱۱ ارائه شده است. نتایج بررسی مناطق مستعد کارستی شدن در منطقه قره‌تیکان، نشان می‌دهد که در این محدوده سازندهای تیرگان و مزدوران در شرق و غرب و جنوب غرب منطقه از لحاظ توسعه کارست و کارستی شدن مستعدتر از بقیه نقاط محدوده قره‌تیکان می‌باشد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019011]

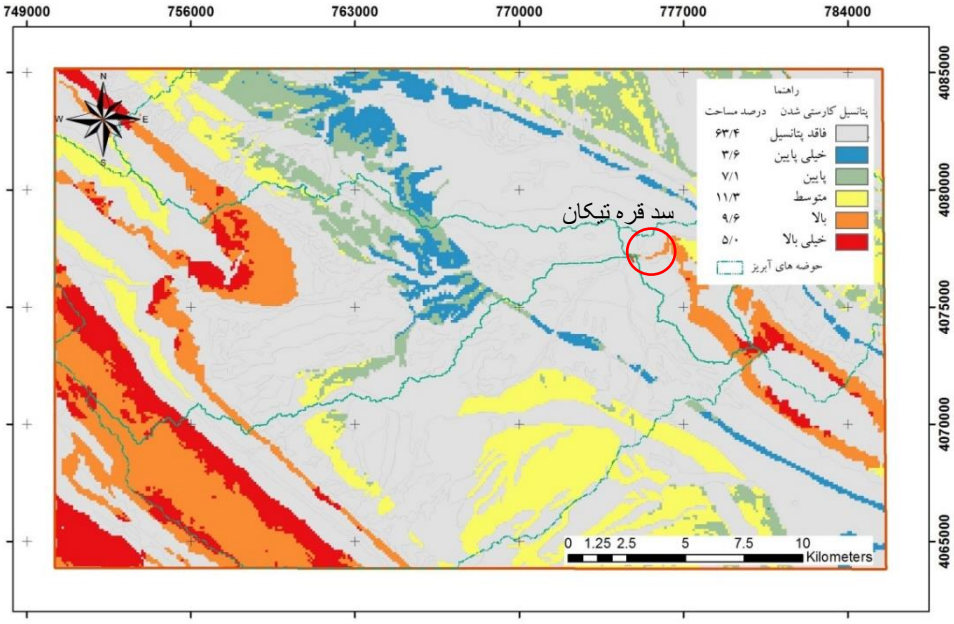


شکل ۱۰ .نقشه‌های تهیه شده لایه‌های مؤثر در توسعه کارست در منطقه قره‌تیکان به روش سلسله مراتبی: A) درزه‌ها و شکستگی‌ها، B) فاصله از آبراهه‌ها، C) توپوگرافی (ارتفاعی)، D) شیب، E) لیتولوژی (سازندهای کربناته و غیرکربناته)، F) هم بارش، G)جهت شیب، H) هم دما، و I) کاربری اراضی (پوشش گیاهی)،

Fig. 10. Prepared maps for the effective layers in karst development in the Gharetikan region using AHP method: A) Joints and fractures, B) Distance from rivers C) Topography (altitude), D) Slope, E) Lithology (carbonate and non-carbonate formations) F) Rainfall, G) Slope direction, H) Isothermal, and I) Land use (vegetation).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019011]



شکل ۱۱. نقشه پهنه‌بندی پتانسیل توسعه کارست در منطقه قره‌تیکان بر اساس روش سلسله مراتبی

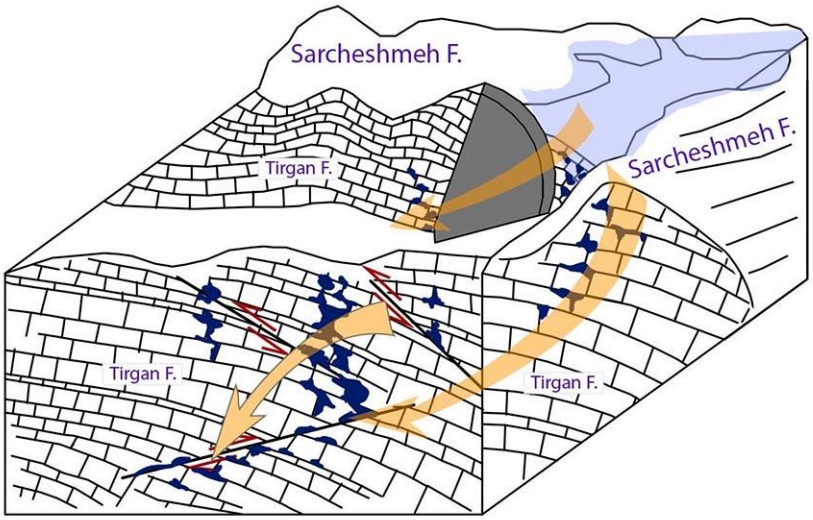
Fig. 11. Zoning map of karst development potential in Gharetikan region based on the AHP method

مدل مفهومی کارست در ساختگاه سد قره‌تیکان

با توجه به نتایج حاصل از برداشت‌های صحرایی، درزه‌نگاری، عکس‌های هوایی و سنجش از دور، مطالعات زمین‌شناسی و تفسیر داده‌های ژئوتکنیک (نفوذپذیری لوژن)، و با استفاده از روش کارسیس، مدل ساختاری - مفهومی از موقعیت سد قره‌تیکان در تکیه‌گاه‌های کارستی تهیه شد (شکل ۱۲). سد قره‌تیکان در انتهای دماغه (تاقدیس اشلار واقع شده است. بر اثر نیروهای فشارشی عمود بر محور چین‌خوردگی‌ها و گسلش منطقه، لایه‌بندی سازند تیرگان به سمت مخزن سد شیبی در حدود ۲۰ درجه دارد. تحت تأثیر این تنش، گسل‌های معکوس در جناح چپ سد به وجود آمده‌اند که باعث ایجاد درز و شکاف‌هایی در سازند تیرگان و انحلال در امتداد این درزه‌ها و توسعه کارست خواهد شد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019011]



شکل ۱۲. مدل مفهومی از جهت جریان و مسیر توسعه کارست در سد قره‌تیکان.
Fig. 12. Conceptual model of the flow direction and path of karst development in Gharetikan Dam.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی عکس‌های هوایی و سنجش از دور، برداشت‌های صحرایی، مطالعات درزه‌نگاری و زمین‌شناسی منطقه نشان می‌دهد سد قره‌تیکان در پهنه گسلی سررود در شرق تاقدیس سررود و در غرب تاقدیس اشلار و در دماغه آن قرار گرفته است. نیروی فشاری ناشی از گسلش و چین‌خوردگی باعث شیب لایه‌های تیرگان به سمت مخزن سد شده است که در جناح راست به خوبی دیده می‌شود. در تکیه‌گاه سد سه دسته درزه در تکیه‌گاه سد قره‌تیکان مشاهده می‌شود. دسته درزه‌های J2 و J3 درزه‌هایی هستند که در تقاطع با محور سد هستند و مسیر خوبی برای جریان و فرار آب می‌باشند. دسته درزه J1 شیب آن به سمت حوضچه سد است (شیب موازی با لایه‌بندی) است و انتظار خروج آب از این درزه‌ها را زیاد نخواهیم داشت.

همچنین بررسی نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست تهیه شده، نشان می‌دهد حدود ۱۵/۹ درصد از منطقه پتانسیل بالایی از لحاظ کارستی شدن دارد و سازندهای تیرگان و مزدوران در شرق و غرب و جنوب غرب منطقه از لحاظ کارستی شدن مستعدتر از بقیه نقاط محدوده قره‌تیکان می‌باشد.

با توجه به مدل مفهومی، در جناح چپ مقدار شکستگی‌ها و درزه‌ها بیشتر است و این شکستگی‌ها تا اعماق ۹۰ متری هم دیده می‌شود. در جناح راست تنها در یک مسیر تا عمق ۴۵-۶۰ متری بیشترین نفوذ آب را داریم و در بستر رودخانه هم عمق ۰-۱۵ متر لوژن عدد بالایی را نشان می‌دهد که نشان از نفوذپذیری بالا و احتمال توسعه کارست می‌باشد. نشت آب از جناح چپ سد ناشی از تراوش آب از خلل و فرج و درزه‌های آهک‌های تیرگان به سمت پایین دست می‌باشد که ناشی از گسل خوردگی سازند تیرگان در جناح چپ می‌باشد. با آبگیری مخزن سد و افزایش تراز آب و فشار هیدرولیکی در پشت سد و در برگرفتن سطح بیشتری از درز و شکاف‌های سازند آهکی تیرگان، انحلال در درزه‌های موجود تشدید خواهد یافت.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019011]

قدردانی

از معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد، به خاطر فراهم آوردن شرایط انجام پیمایش و عملیات صحرایی، و همچنین از شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی، به خاطر در اختیار گذاردن اطلاعات و آنالیز نمونه های آب (در راستای قرارداد شماره KOGW99004-4) سپاس‌گزاری می‌گردد.

منابع

آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۸۴. گزارش زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک. مطالعات مرحله دوم سد مخزنی و شبکه آبیاری و زهکشی قره تیکان، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، مشهد، ایران، ۲۸۱ ص.

رضایی عارفی، م.، زنگنه، م.، بهنیافر، ا.، جوانبخت، م.، ۱۳۹۹. پهنه‌بندی تحول کارست با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (حوضه کوهستانی کلات). فصلنامه علمی ـ پژوهشی و بین المللی انجمن جغرافیایی ایران، سال هجدهم، شماره ۶۴، ۷۹-۹۴.

قالیباف، ح.، ۱۳۹۰. بررسی خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی ژئوتکنیکی ساختگاه سد سررود . پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد ، ۱۵۶ ص.

کریمیان طرقبه، ا.، موسوی حرمی، س. ر.، محبوبی، ا.، ۱۳۸۸. چینه نگاری سکانسی و تفسیر تاریخچه دیاژنزی سازندهای کلات و پستلیق در تاقدیس شمس در ناحیه درگز .پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، ۳۰۸ ص.

کریمی وردنجانی، ح.، ۱۳۹۴. هیدروژئولوژی و ژئومورفولوژی کارست. انتشارات ارم شیراز، شیراز، ۵۳۶ ص.

محمد زاده، ح.، ناصری حصار، و.، رحیمی، ب.، ۱۴۰۲. پتانسیل توسعه کارست و مدل مفهومی کارست در محدوده و ساختگاه سد ابیورد با استفاده از مطالعات زمین‌شناسی ساختاری، ژئوتکنیک و روش سلسله مراتبی AHP. . نشریه زمین‌شناسی مهندسی. دانشگاه فردوسی مشهد. دوره ۱۶، شماره ۲، ۸۹-۱۰۴ .

ولایتی،س.، ۱۳۸۷. هیدروژئولوژی سازندهای نرم و سخت (مبانی نظری و عملی). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد، ۳۹۶ ص.

Adinehvand, R., 2017. Application of Hydrogeology, Modeling and Dye Tracing in Evaluation of Leakage Potential from Karstic Dam Sites Case Study.School of Science Ph.D. Dissertation in Geology-Hydrogeology. Univ of Shiraz, Shiraz, Iran,103 p.

Ghobadi, M., Khanlari, G., Dilalay, H., 2005. Seepage problems in the right abutment of the Shahid Abbaspour. Engineering Geology, 82, 119–126.

Hocini, N., Mami, N., 2011. Detection of water leakage in the Beni-Haroun dam (Algeria), IAEA, Pub1580-vol2-web, 343-349.

Laksiri, L., 2007. Investigation of water leakage mechanism in the karstic site Samanalawewadam, Serilanka.department of engineering systems and technology.the requirements for the Degree of Doctor of Philosoph, Saga University,Saga, Japan, 136 p.

Milanovic, P., 2018. Engineering karstology of dams and reservoirs. CRC press, Boca Raton,USA, 354 p.

Mozafari, M., Raeisi, E., 2014. Understanding Karst Leakage at the Kowsar Dam, Iran, by Hydro geological Analysis. Environmental & Engineering Geoscience, Vol. XXI, No.4,325-339.

Mozafari,M. ,Raeisi, E., 2017. Leakage paths at the Lar Dam site, northern Iran. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 50, 444-453.

Unal, B.,ErenM.,Yalcin, M., 2007. Investigation of leakage at Ataturk dam and hydroelectric powerplant by means of hydrometric Measurements. Engineering Geology, 93,45-63

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019011]

Evaluation of permeability, karst development potential and karst conceptual model of Ghareikan dam construction – Razavi Khorasan

Hossein Mohammadzadeh[1*], Vahid Naseri Hesar[2], Hamid Ghalibaf Mohammadabadi[3]

1. Professor, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
Head of Groundwater and Geothermal Research Center (GRC), Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2. M.Sc. in Hydrogeology, Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3. PhD in Engineering Geology, Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran,

Received: 23 Oct 2023 Accepted: 27 Dec 2023

Abstract

Due to the complex hydrogeology of karst areas, the sealing of dams in such areas is more difficult, time-consuming and expensive, and the possibility of water leaksge is higher. After the dewatering of the Gharetikan dam and appearance of downstream springs and the leakage of water from the abutment of the Tirgan limestone formation, the possibility of karst development is considered to be the most important problem of this dam. In this article, the potential of karst development in the area and supports of the Gharetikan Dam has been studied by carrying out geological studies, structural geology and joint studies, geotechnical permeability and analysis hierarchy method (AHP).. The results show that about 14.6% of the Gharetikan dam area has a high potential for karst development. The area of Gharetikan dam area is affected by the Sarroud fault zone system, which has caused the collapse of the left side of the dam axis. The joint studies in the abutment of Gharetikan dam show three main types of joints. Two groups of joints are located at the intersection with the dam axis and the slope of the other group of joints is towards the dam basin. The investigating of Lugeon permeability tests in the dam construction shows that the highest permeability can be seen in the left abutment with turbulent flow, and then under the river bed with linear and turbulent flow, but there is no permeability in the right abutment. And the flow is mostly linear. According to the structural-conceptual model prepared from the location of the Gharetikan dam, to the location of the dam axis in the Sarroud fault system, and the amount opening and the slope direction of the joints in each station, it is expected that the amount of water leakage and escape and the possibility of karst development from the left side and the bed of the dam will be more than the right side of the dam.

Keywords: Gharetikan dam, karst, structural geology, geotechnic, AHP.

Introduction

Due to the complex hydrogeology, the sealing of dams that built in karstic areas is more difficult, expensive, and time-consuming. Therefore, it is very necessary to investigate the potential of karst development in the area of dam . In Iran, a large number of dams (such as Lar, Maron, Seymareh, Karun, Kosar and Salman Farsi dams) were built in karstic areas and they have the problem of water

*Corresponding author: mohammadzadeh@um.ac.ir
DOI: https://doi.org/10.22034/JEG.2023.17.4.1019011

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019011]

leakage (Milanovic, 2018). The Gharetikan dam was built near the Kalat city on the Gharetikan river. After the impoundment of the Gharetikan dam and the appeance of springs downstream, the possibility of karst development due the outflow of water from faults, joints and fracture, is the most important problem of this dam.

Materials and methods

In this research, geological studies, aerial photography and remote sensing, field structural survey (in 8 stations), and the study of karst phenomena in the region were carried out. Considering the direct relationship between Lugeon test and the degree of openness and permeability of the rock masses, and in turn on the potential of karstification and dissolution, the geotechnical permeability were estimated using the data of 20 exploratory drilling Lugeon tests and the Lugeon zoning map for the dam construction was prepared (Qalibaf Mohammadabadi, 2017). Also, in order to investigate the potential of karst development, the different raster maps for each parameter affecting karst development and then the karst development potential zoning map was prepared in GIS platform using Analytical Hierarchy Process (AHP) method (Mohammadzadeh et al., 2023). Finally, by using the obtained results, a conceptual-structural model was developed for the location and the karst abutments of the Gharetikan dam.

Results and Discussion

The Gharetikan dam is located in the Kepe Dagh basin and the Tirgan limestone formation, as the main formation in the hydraulic connection, can be seen under the dam body and in the bottom of the dam reservoir as well as in downstream. A highly weathered and fractured grey shaleis also exposed on the Tirgan formation. The area of Gharetikan dam is influenced by Sarroud fault zone, with the northeast-southwest direction, which has three main fault systems: 1) the reverse fault group, with a trend parallel to the axis of the Sarroud anticline, which can be seen in the limestone of the Tirgan formation at the dam abutment on both sides; 2) the second group of faults are perpendicular to the axis of the dam, which bent the layers of the Tirgan formation on the left side; and 3) the third group of left strike-slip faults which caused the collapse of the left flank of the dam axis. The Gharetikan dam is located along the E30S direction, and the rose diagrams shows the general trend of E10N for the joints in the area. In general, three main types of joints can be observed in the abutment of the dam. Two groups of joints are at the intersection with the axis of the dam cause water flow out. However, it is not expecting much water to come out in joint set whose slope is towards the dam basin. In upstream stations located in the Sarcheshme formation, two sets of joints (parallel and perpendicular to the layering) can be seen, however. water can flow from the perpendicular one. The dominant dip of the joints in the left flank, right flank, and in bed are towards outside (north), inside and outside (east/northeast) the reservoir, respectively. Therefore, the amount of water leakage from the bed and the left side of the dam is much greater than the right side of the dam.

By drawing the Lugeon permeability tests variations profiles in exploratory wells, the permeability and flow path can be determined to some extent. All three boreholes, on the left side of the dam, have more permeability in almost the same rock mass level. Also, under the river bed up to 15 meters depth, there is another path of flow and water leakage. But there is no permeability in the right abutment and the water flow is not predictable. It can also be seen in the zoning map of Lugeon that there is a crushed zone under the overflow and at the end of the left wing. Examining the flow-time

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019011]

graphs in borehole Lugeon tests shows that in the right abutment, the flow is mostly linear, and in the bed, in addition to the linear behavior, the flow is turbulent. In the left abutment, the turbulent behavior of the flow is more compared to the right abutment, and the flow is less linear, but the opening occurs with increasing pressure.

The karst development potential zoning of the Gharetikan region, prepared using AHP method (Fig. 1), indicate that about 14.6% of the Gharetikan dam area (748 Km2), which covered by Tirgan and Mozdooran formations in the east, west and southwest of the region, have a high potential in karst development. The most important karstic features in the region are in the forms of dissolution karsts (Karen, karstic valleys and caves) in Tirgan formation.

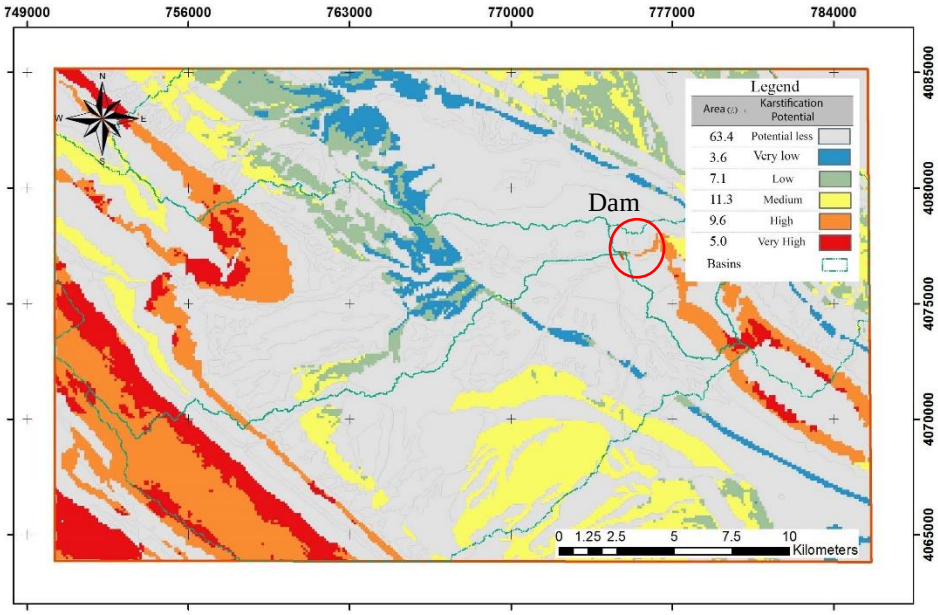


Fig. 1. Karst development potential zoning map of the Gharetikan region

Conclusion

The results indicate the existence of leakage from the abutments and a high potential for karstification in the area of the Gharetikan Dam. As a result of compressive forces perpendicular to the axis of folds and faults in the region, the stratigraphy of the Tirgan Formation has a dip of about 20 degrees towards the reservoir. Under the influence of this stress, reverse faults have developed on the left side of the dam, creating joints and cracks in the Tirgan Formation down to a depth of 90 meters. On the right side of the dam, at a depth of 45-60 meters, and in the riverbed, at a depth of 0-15 meters, there is a high number of lugeons, indicating high permeability and the possibility of karst development. Despite the extensive fractures of the Tirgan limestone formation, the dam's impoundment and the consequent increase in water level and hydraulic pressure behind the dam will increase the dissolution and the possibility of karst development.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019011]