ارزیابی پهنه‌های فرار آب از سد استقلال میناب

موسی کردوانی*؛ دانشگاه صنعتی شاهرود
ناصر حافظی مقدس؛ دانشگاه فردوسی مشهد، گروه زمین‌شناسی
رمضان رمضانی اومالی؛ دانشگاه صنعتی شاهرود

چکیده

تاریخ: دریافت ۹۱/٦/۲ **پذیرش** ۹۲/۱۰/۹

ساخت‌گاه سد استقلال میناب در شرق شهرستان میناب در استان هرمزگان قرار گرفته است گسل فعال میناب از داخل دریچهٔ سد عبور می‌کند و نقش مؤثری در فرار آب از مخزن سد دارد. پژوهش‌های درزه آماری در ۱۰ ایستگاه بر روی توده‌های سنگی جناح‌های سد، حاکی از وجود تعداد ٤ دسته درزه اصلی است. برای ارزیابی فرار آب از مخزن سد، نفوذپذیری رخنمون‌های سنگی اطراف مخزن سد با مدل تجربی HC تخمین زده شده است . برای این منظور، RQD ، GSI و دیگر خصوصیات رخنمون‌های سنگی محدودهٔ مخزن سد در بررسی‌های صحرایی اندازه‌گیری شدند . نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که نفوذپذیری توده‌های سنگی اطراف ساخت‌گاه سد از $۲/۰۲\times۱۰^{-۵}$ تا $۹/۱٤\times۱۰^{-٦}$ متر بر ثانیه تغییر می‌کند. هم‌چنین میزان آب‌گذری برای سه حالت مختلف حداقل، میانگین و حداکثر تراز آب در مخزن به‌ترتیب برابر با ۰/۱٤، ۰/۲ و ۰/۲۹ مترمکعب بر ثانیه است. نتایج حاضر نشان می‌دهد که ناپیوستگی‌هایی با امتداد شرقی- غربی و شمال‌شرق -جنوب‌غرب و هم‌چنین پهنهٔ برشی گسل میناب بیش‌ترین تأثیر را در فرار آب از مخزن سد دارند.

واژه‌های کلیدی: سد میناب، گسل میناب، فرار آب، سیستم HC، نفوذپذیری توده‌های سنگی

* **نویسنده مسئول** mkordavani88@gmail.com

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

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.4.6.8]

مقدمه

فرار آب از سدها به دلایل مختلفی از جمله وجود گسل در مخزن، حفره ها انحلالی و کارستی، درزه‌ها و پهنه‌های برشی، کانال‌های مدفون در زیر سد، وضعیت خاص لایه‌بندی، آب‌بندی نامناسب در زمان ساخت و یا تغییرات رخ داده بعد از آب‌گیری نظیر بروز زلزله یا نشست زمین و غیره است [۱]، [۲]. بررسی‌های فرار آب با استفاده از روش‌های مختلف قبل از احداث سدها و پس از آب‌گیری مخزن امری کاملاً ضروری است که استفاده از ردیاب‌ها، استفاده از بررسی‌های زمین‌شناسی، بررسی‌های ژئوفیزیکی و اکتشافی، پژوهش‌های هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی و روش‌های سنجش از دور (داده‌های حرارتی) از مهم‌ترین روش‌های شناسایی فرار آب به‌شمار می‌روند [۳]، [٤]. از عوامل مؤثر در بررسی و آنالیز تراوش و فرار آب در توده‌های سنگی خصوصیات ناپیوستگی‌ها از قبیل بازشدگی، زبری و مواد پرکننده است [٥]. به‌طورکلی انواع سطوح جدایش به‌صورت بالقوه به‌عنوان مسیرهای هیدرولیکی هستد که از آن جمله می‌توان به سطوح لایه‌بندی، درزه‌ها، سطوح کلی‌واژ، حریم‌های گسلی و غارهای انحلالی اشاره کرد. از بین انواع ناپیوستگی‌ها درزه‌ها و گسل‌ها اهمیت بیش‌تری در فرار آب دارند. به‌طورکلی ایجاد درزه و شکستگی در سنگ‌ها در اثر عمل‌کرد فرآیندهای تکتونیکی، مهم‌ترین عامل در ایجاد مسیرهای هیدرولیکی کوچک و بزرگ در توده‌های سنگی است [٦]. گسل‌ها و زون‌های برشی نقش مهمی در تشکیل مسیرهای هیدرولیکی دارند. نوع مسیرهای هیدرولیکی وابسته به جنس سنگ و نوع رژیم‌های تکتونیکی حاکم است. در طی گسلش سنگ‌های سخت و درشت‌دانه درزه‌ها و حفره‌های بزرگ‌تری نسبت به سنگ‌های نرم و دانه‌ریز ایجاد می‌کنند. ویژگی‌های گسل‌ها مانند: ۱) عرض پهنه خردشده، ۲) حضور و نوع مواد پرکننده، ۳) میزان فعالیت گسل، ٤) نحوهٔ قرارگیری هندسی گسل، تأثیرات متفاوتی در جریان‌های زیرزمینی و هم‌چنین انتقال و هدایت آب و ایجاد مسیرهای هیدرولیکی دارد [۷]، [۸].

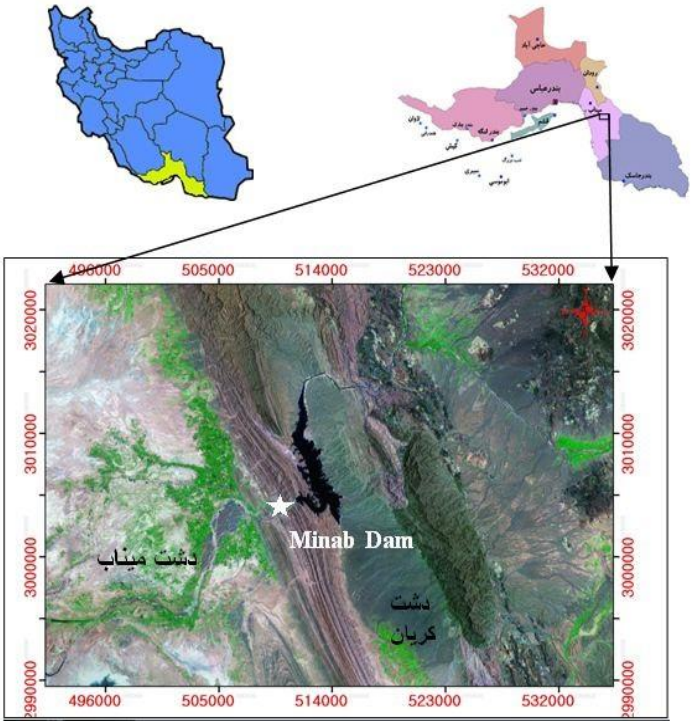
معرفی منطقهٔ بررسی شده

ساخت‌گاه سد استقلال میناب با موقعیت جغرافیایی ″ ۲۸/۳ ′۷ °۵۷ طول خاوری ″ ۵٦/۳ ′۹ °۲۷ عرض شمالی در خاور شهر میناب بر روی رودخانه میناب در دره‌ای نسبتاً عمیق قرار

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

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.4.6.8]

گرفته است (شکل ۱). رودخانهٔ میناب از ارتفاعات شمال خاوری خود سرچشمه می‌گیرد و پس از پیوستن دو شاخه اصلی رودان و جغین در محل برنطین شکل می‌گیرد. این سد بر اساس اهداف چندمنظوره شامل تنظیم آب رودخانه ها، کاهش خطرات سیل، توسعهٔ سطح زیر کشت و تأمین آب شرب بندرعباس احداث شده است. *پژوهش‌های اولیه* در سال ۱۳٤٤ آغاز و عملیات اجرایی از سال ۱۳۵۳ شروع و در سال۱۳٦۲ بهره‌برداری از آن آغاز شده است. سد استقلال میناب از نوع بتونی وزنی پایه‌دار است که ارتفاع از پی ۵۹/۲۵ متر، عرض سد در تاج ۳ متر و در کف ۵۸ متر است. حجم کل مخزن در رقوم نرمال ۲۵۷/۷ میلیون مترمکعب است [۹].



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقهٔ بررسی شده به‌همراه جانمایی سد میناب و دشت های میناب و کریان (تصویر ماهواره‌ای لندست ۷ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر)

مواد و روش‌ها

دراین پژوهش ابتدا بر اساس داده‌هایی از بیلان سد، میزان تراوش آب از بدنه و مخزن سد

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.4.6.8]

برآورد شده است. سپس بر اساس مدل تجربی که شی- منگ‌هو[1] و همکاران (۲۰۰۸) ارائه کرده‌اند [۱۰]، [۱۱]، میزان آب‌گذری توده‌های سنگی محدودهٔ مخزن سد تعیین شده است. لازم به ذکر است ته‌نشینی رسوب نسبتاً زیاد در مخزن، نفوذپذیری و به‌دنبال آن آب‌گذری از کف را به‌شدت کاهش می‌دهد. از این‌رو می‌توان حداکثر نفوذپذیری و آب‌گذری احتمالی را مرتبط با رخنمون‌های سنگی در جناح‌های سد به‌خصوص در مسیر گسل اصلی میناب دانست. در این راستا محدودهٔ جناح‌های سد شبکه‌بندی شده و عملیات درزه‌نگاری در ترازهای مختلف انجام شد. در نهایت با توجه به برداشت‌های صحرایی و داده‌های موجود نفوذپذیری توده‌های سنگی ارزیابی شدند و بدین‌ترتیب وضعیت شکستگی‌ها و سطوح لایه‌بندی از نظر مشخصات فیزیکی، وضعیت سه‌بعدی و مسیرهای فرار آب در تکیه‌گاه‌های سد شناسایی شدند. مراحل انجام بررسی‌های حاضر شامل این سه بخش است:

۱. بررسی‌های زمین‌شناسی مهندسی و ساختاری
۲. بررسی‌های هیدروژئولوژی شامل ارزیابی بیلان دریاچه سد، بررسی تغییرات آب زیرزمینی پایین‌دست و بررسی چاه‌های پیزومتری
۳. تخمین ضریب هدایت هیدرولیکی توده‌های سنگی دارای شکستگی بر پایهٔ مفهوم طبقه‌بندی تودهٔ سنگ

ویژگی‌های زمین‌شناسی و تکتونیکی محل سد میناب

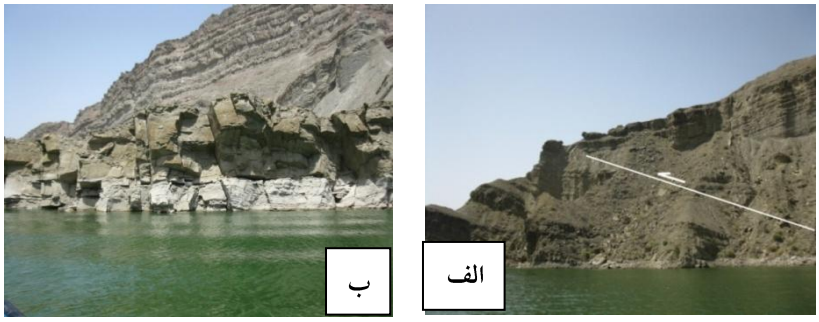
از نظر تقسیمات زمین‌شناسی، حوزهٔ آب‌ریز سد میناب در محدودهٔ زون مکران قرار دارد. این منطقه از نظر تکتونیکی از فعال‌ترین زون‌های کشور محسوب می‌شود. وجود گسل‌های اصلی و فرعی و رخنمونی از سنگ‌های ولکانیک و آمیزه‌های رنگی در قسمت‌های شمال خاوری محدودهٔ بررسی شده، سبب پیچیدگی شدید ساختاری این منطقه شده است. در محدودهٔ بررسی شده، تاقدیس‌های باریک و در برخی موارد طویل مشاهده می‌شود که روند کلی محور این تاقدیس‌ها شمال‌باختری-جنوب‌خاوری است. گسل‌های اصلی (میناب، زندان، پالامی و...) با روند شمالی- جنوبی و شمال‌باختر- جنوب‌خاور نیز منطقه را تحت تأثیر قرار

۱. Shih-Meng Hsu

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

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.4.6.8]

داده‌اند. سد بتنی پایه‌دار میناب بر روی تاقدیس میناب و در شمال‌خاوری شهر میناب احداث شده است. این تاقدیس در یال خاوری، شکستگی‌های متعدد و درزه‌داری بیش‌تری نسبت به یال باختری دارد (شکل۲). گسل عمده و اصلی میناب با روند N۱۲W و شیب خاور شمال خاوری که در ۱۵۰۰ متری خاور محور سد و درون دریاچه وجود دارد تاقدیس را قطع کرده و منطقه را از لحاظ ساختاری پیچیده و تحت تأثیر قرار داده است. از نظر چینه‌شناسی در محدودهٔ مخزن لایه‌های ماسه سنگی همراه با سیلتستون به سن میوسن میانی-بالایی و در قسمت شرقی مخزن مارن‌های خاکستری با درون لایه‌های نازک ماسه‌سنگ به سن میوسن میانی گسترش دارند (شکل ۳)، این واحدهای سنگی به‌ترتیب متعلق به زیرواحد ماسه سنگ خکو و مارن گیوشی از واحد مکران هستند [۱۲]. در محدوده‌ای که ساخت‌گاه سد در آن قرار می‌گیرد، امتداد لایه‌های ماسه‌سنگی N٤٥W و شیب آن‌ها حدود ٦٠-٥٠SW است.



شکل ۲. درزه‌داری و گسل‌خوردگی یال خاوری تاقدیس میناب در محدودهٔ مخزن سد میناب الف) گسل معکوس در لایه‌های مارن با درون لایه‌های ماسه‌سنگی در بخش خاوری مخزن که باعث ایجاد یک چین گسترش گسلی شده (دید به سمت جنوب شرق)، ب) درزه‌داری لایه‌های ماسه‌سنگی در یال خاوری تاقدیس میناب و در محدودهٔ مخزن سد (دید شمال)

هیدروژئولوژی

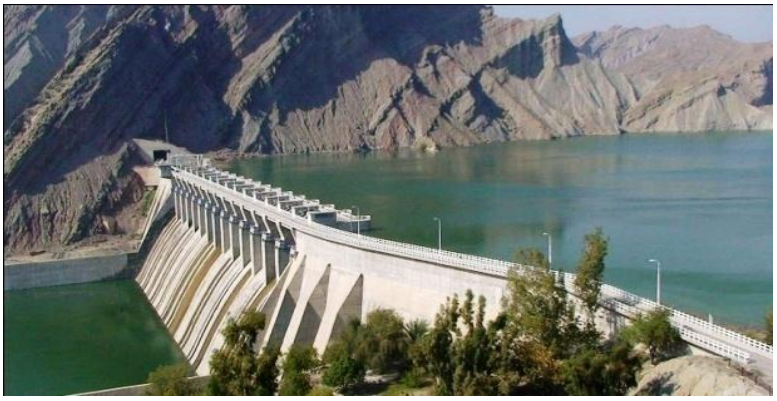
بررسی بیلان مخزن و ارزیابی تراوش آب

در این بخش براساس بیلان ماهانه دریاچهٔ سد برای سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹ و بررسی ارتباط آن با حجم کل آب در پایان هر ماه میزان فرار آب از مخزن سد و رابطهٔ آن با ارتفاع سد بررسی شده است. در جدول ۱ نحوهٔ ارزیابی میزان فرار آب در سال ۸۸ نشان داده شده است.

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

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.4.6.8]

این ارزیابی برای یک دورهٔ آماری ۱۰ ساله محاسبه شد و نتایج حاصل حاکی از افزایش فرار آب در سال‌های۸۰، ۸۳، ۸٤، ۸۸ و ۸۹ است. در نمودار شکل ٤ رابطهٔ بین فرار آب و تراز آب در سطح مخزن آورده شده است این نمودار که برای سال‌های ۸۰ تا ۸۹ ترسیم شده است، نشان‌دهندهٔ روند کلی افزایش فرار آب با ارتفاع سد است. پراکندگی داده‌ها در این نمودار مربوط به خطای ثبت داده و نیز برآورد میزان تبخیر از سد در سال‌های مختلف است. ارتباط مستقیم بین ارتفاع سد و فرار آب به دودلیل افزایش بار هیدرولیکی و اضافه شدن محدوده‌های جدیدی با پتانسیل نشت و فرار آب می‌تواند باشد که در ترازهای پایین‌تر در فرار آب نقشی نداشتند. نکتهٔ قابل توجه دیگر در داده‌های فرار آب این است که در ابتدای آب‌گیری در تراز بالا میزان فرار آب کم‌تر است در حالی که در آب‌گیری‌های بعدی در همان تراز شاهد فرار آب بیش‌تر هستیم که علت آن آب‌شویی سطح درزه‌ها و افزایش نفوذپذیری بعد از اولین آب‌گیری است.



شکل ۳. نمایی از سد میناب و موقعیت لایه‌های ماسه‌سنگی نسبت به جهت جریان (دید بسمت شمال)

بررسی تغییرات تراز آب پایین‌دست سد

برای ارزیابی نقش گسل میناب در تغذیهٔ دشت میناب و کریان نقشه‌های تراز آب در دو دشت مزبور برای داده‌های سال‌های ۸۰ تا ۸۹ در ۳ ماه اردیبهشت، شهریور و آبان هر سال به‌کمک نرم‌افزار آرک‌مپ[1] ۹/۳ ترسیم شده است (شکل ۵). ملاحظه می‌گردد که در محل تلاقی

۱. Arcmap-Gis

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

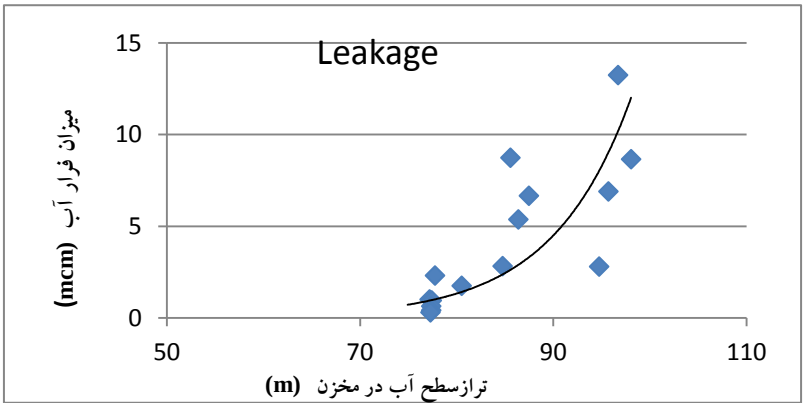
[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.4.6.8]

گسل با دشت تراز آب بالاتر است که حاکی از تغذیه سفره آب زیرزمینی در این بخش‌ها از طریق گسل است.

جدول ۱. ارزیابی میزان فرار آب در سد

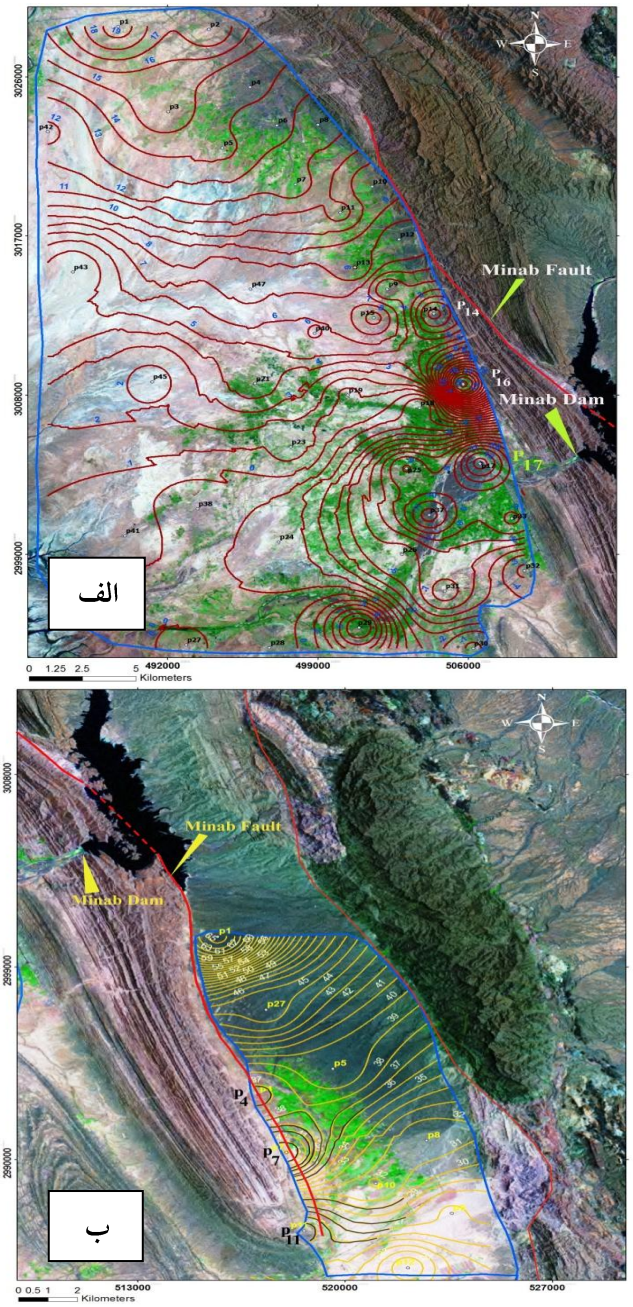
سال ۱۳۸۸	V_1	V_0	b	v_0+ (b)	$V_1 - (v_0 - b)$	d	$[V_1 - (v_0 - b)] - (d)$	--
مهر	۲۱/۹	۲٤/٥٦	-٤/۱۲۳۸	۲۰/٤۳٦۲	۱/٤٦۳۸	۰/۲۷	۱/۱۹۳۸	----
آبان	۲۱/۸۲	۲۱/۹	-۰/۲٥۷۸	۲۱/٦٤۲۲	۰/۱۷۷۸	-۰/۲۱۹	۰/۳۹٦۸	---
آذر	۲۲/۲٥	۲۱/۸۲	۰/٦۰۷٥	۲۲/٤۲۷٥	-۰/۱۷۷٥	۰/۲۳۷	-۰/٤۱٤٥	Leakage
دی	۲۲/٥۲	۲۲/۲٥	۰/۷٦۰٦	۲۳/۰۱۰٦	-۰/٤۹۰٦	۰/٤٥۹	-۰/۹٤۹٦	Leakage
بهمن	۲۲/۲٥	۲۲/٥۲	۰/۱۱۱۷	۲۲/٦۳۱۷	-۰/۳۸۱۷	۰/۲٥۸	-۰/٦۳۹۷	Leakage
اسفند	۲۱/٥	۲۲/۲٥	-۰/۲۲۹۲	۲۲/۰۲۰۸	-۰/٥۲۰۸	۰/٤۸٦	-۱/۰۰٦۸	Leakage
فروردین	۸٤/٦	۲۱/٥	٦٦/۰۱۲۸	۸۷/٥۱۲۸	-۲/۹۱۲۸	۲/٤٦۰٤	-٥/۳۷۳۲	Leakage
اردیبهشت	۷٦	۸٤/٦	-٦/۲٦٥٦	۷۸/۳۳٤٤	-۲/۳۳٤٤	٦/٤۰۷۲	-۸/۷٤۱٦	Leakage
خرداد	٦۸/۳۲	۷٦	-۷/۷۲٤٤	٦۸/۲۷٥٦	۰/۰٤٤٤	۲/۸۷	-۲/۸۲٥٦	Leakage
تیر	٦۳/۰۸	٦۸/۳۲	-۷/۸۸۸۷	٦۰/٤۳۱۳	۲/٦٤۸۷	۲/۰۲۲۱	۰/٦۲٦٦	----
مرداد	٥۷/۸	٦۳/۰۸	-۷/۸٦٤	٥٥/۲۱٦	۲/٥۸٤	۱/۳٤۹۲	۱/۲۳٤۸	----
شهریور	٥۲/۳٥	٥۷/۸	-۷/٥۹۷۹	٥۰/۲۰۲۱	۲/۱٤۷۹	۲/۰۹٦۹	۰/۰٥۱	---

V_1 : حجم مخزن در ماه، V_0 : حجم مخزن در ماه قبل، b : بیلان مخزن در ماه، d : زهکش



شکل ٤. نمودار نتایج سطح تراز آب و فرار آب

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.4.6.8]



شکل ۵. الف) نقشهٔ تراز آب زیرزمینی دشت‌میناب، ب) نقشهٔ تراز آب زیرزمینی دشت کریان (برای اردیبهشت ۱۳۸۹)

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

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.4.6.8]

جدول ۲. توصیف و دسته‌بندی‌هایی از شاخص نفوذپذیری سنگ‌شناسی [۱۰]

سنگ شناسی	هدایت هیدرولیکی (m/s)				محدودهٔ دسته‌بندی	مقدار پیشنهادی
	مرجع[۱]	مرجع[۲]	مرجع[۳]	$K_{-average}$		
ماسه‌سنگ	$۱۰^{-۶}$–$۱۰^{-۹}$	$۱۰^{-۷}$–$۱۰^{-۹}$	$۱۰^{-۷}$–$۱۰^{-۹}$	$۱۰^{-۷/۵}$	۰/۸–۱/۰	۱/۰۰
ماسه‌سنگ سیلتی	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۰/۹–۱/۰	۰/۹۵
ماسه‌سنگ رسی	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۰/۸–۰/۹	۰/۸۵
ماسه‌سنگ سیلتی با میان لایه‌های شیل	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۰/۷–۰/۸	۰/۷۵
تناوب ماسه‌سنگ سیلتی و شیل	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۰/۶–۰/۷	۰/۶۵
شیل با میان‌لایه‌های ماسه سنگ سیلتی	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۰/۵–۰/۷	۰/۶۰
تناوب ماسه‌سنگ سیلتی و مادستون	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۰/۵–۰/۶	۰/۵۵
دولومیت	$۱۰^{-۶}$–$۱۰^{-۱۰/۵}$	$۱۰^{-۷}$–$۱۰^{-۱۰/۵}$	$۱۰^{-۹}$–$۱۰^{-۱۰}$	$۱۰^{-۸}$	۰/۶–۰/۸	۰/۷۰
سنگ‌آهک	$۱۰^{-۶}$–$۱۰^{-۱۰/۵}$	$۱۰^{-۷}$–$۱۰^{-۹}$	$۱۰^{-۹}$–$۱۰^{-۱۰}$	$۱۰^{-۸}$	۰/۶–۰/۸	۰/۷۰
شیل	$۱۰^{-۱۰}$–$۱۰^{-۱۲}$	$۱۰^{-۱۰}$–$۱۰^{-۱۳}$	۰۰	$۱۰^{-۱۰/۵}$	۰/۴–۰/۶	۰/۵۰
شیل ماسه‌ای	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۰/۵–۰/۶	۰/۶۰
سیلتستون	$۱۰^{-۱۰}$–$۱۰^{-۱۲}$	۰۰	۰۰	$۱۰^{-۱۱}$	۰/۲–۰/۴	۰/۳۰
سیلتستون ماسه‌ای	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۰/۳–۰/۴	۰/۴۰
سیلتستون رسی	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۰/۲–۰/۳	۰/۲۰
رس سنگ	۰۰	$۱۰^{-۹}$–$۱۰^{-۱۳}$	۰۰	$۱۰^{-۱۱}$	۰/۲–۰/۴	۰/۳۰
مادستون	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۰/۲–۰/۴	۰/۲۰
مادستون ماسه‌ای	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۰/۳–۰/۴	۰/۴۰
مادستون سیلتی	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۰/۲–۰/۳	۰/۳۰
گرانیت			$۱۰^{-۱۱}$–$۱۰^{-۱۲}$	$۱۰^{-۱۱/۵}$	۰/۱–۰/۲	۰/۱۵
بازالت	$۱۰^{-۶}$–$۱۰^{-۱۰/۵}$	$۱۰^{-۱۰}$–$۱۰^{-۱۳}$	۰۰	$۱۰^{-۱۱/۵}$	۰/۱–۰/۲	۰/۱۵

ارزیابی نفوذپذیری رخنمون‌های سنگی در اطراف دریاچه سد و برآورد فرار آب از مخزن آن

شی- منگ‌هو [۱۰]، برای ارزیابی نفوذپذیری رخنمون‌های سنگی شاخص نفوذپذیری را به‌صورت رابطهٔ ۱ تعریف کرد:

$$HC = (۱ - \frac{RQD}{۱۰۰})(DI)(۱ - GCD)(LPI) \qquad (۱)$$

۱. B.B.S. Singhal & R.P.Gupta (1999) ۲. Karlheinz spitz & Joanna Moren (1996)
۳. Bear (1972)

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

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.4.6.8]

در رابطهٔ فوق HC شاخص هدایت هیدرولیکی، LPI شاخص نفوذپذیری لیتولوژیکی، GCD شاخص گوج گسلی، DI شاخص عمق و RQD شاخص کیفیت تودهٔ سنگ است. در ادامه توضیح مختصری از هر یک و نحوهٔ تعیین آن‌ها در محدودهٔ بررسی شده ارائه شده است.

شاخص نفوذپذیری لیتولوژی (LPI): شاخص سنگ‌شناسی خاصیت ویژه‌ای از سنگ در شرایطی از ترکیب کانی‌ها، اندازه دانه‌ها، بافت، رنگ و غیره است. نفوذپذیری بالای یک سنگ بدون درزه و هوازدگی، متأثر از میانگین اندازهٔ منافذ، توزیع اندازه و شکل ذرات است. در جدول ۲ مقدار این شاخص برای مصالح مختلف ارائه شده است

نوع و کیفیت پرکنندهٔ درزه‌ها یا سطح گسل(گوج[۱]): نفوذپذیری پرکنندهٔ سطح ناپیوستگی‌ها تابعی از اندازهٔ دانه‌ها است و گوج‌های غنی از رس نفوذپذیری به‌شدت کمی دارند [۱۳]. برای ارزیابی تأثیر خصوصیات گوجی روی نفوذپذیری، از شاخص توصیف خصوصیات گوج یا (GCD[۲]) استفاده می‌شود. این شاخص با استفاده از رابطهٔ ۲ و براساس مغزه‌های حفاری تعیین می‌شود.

$$GCD = RG / RT\text{-}RS \qquad (۲)$$

که در این رابطهRG طول کل گوج، RT طول کل مغزه حفاری و RS مجموع طول تکه‌های مغزهٔ حفاری بزرگ‌تر از ۱۰۰ میلی‌متر است. مقدار GCD معمولاً بزرگ‌تر از صفر و کوچک‌تر از یک (۰<GCD<۱) است. بنا بر این مقدار GCD بالا برای مقادیر زیاد گوج کاهش نفوذپذیری را به‌دنبال خواهد داشت

شاخص عمق: بسیاری از پژوهش‌گران (معتقدند که نفوذپذیری تودهٔ سنگ با عمق کاهش می‌یابد [۱۳]،[۱٤]. کاهش نفوذپذیری در جهت عمق در سنگ‌های دارای شکستگی معمولاً بیان‌گر کاهش در میزان بازشدگی و فاصله‌داری شکستگی‌هاست. این کاهش ناشی از تنش‌های ژئواستاتیک و به‌دنبال آن کاهش نفوذپذیری سنگ‌های دارای شکستگی است. از این رو، شاخص عمق[۳] (DI) به‌عنوان عامل مهمی در تخمین نفوذپذیری تودهٔ سنگ اهمیت زیادی دارد. DI معمولاً بزرگ‌تر از صفر و کوچک‌تر از یک است و افزایش DI بیان‌گر نفوذپذیری بالاتر است. این شاخص از رابطهٔ ۳ تعیین می‌شود

۱. Gouge ۲. Gouge Content Designation ۳. Depth Index

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

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.4.6.8]

$$DI = 1 - LC / LT \quad (۳)$$

LT طول کل گمانه و LC عمق نقطهٔ میانه از فاصلهٔ یک جفت آزمایش پکر در گمانه است.

شاخص کیفیت تودهٔ سنگ: برای این منظور از شاخص کیفیت تودهٔ سنگ دیر[۱] و همکاران (۱۹٦۷) [۱۵]، استفاده می‌شود. بری ارزیابی نفوذپذیری رخنمون‌های سنگی در تکیه‌گاه‌ها و مخزن سد میناب براساس روش مذکور این اقدامات صورت گرفته است:

الف) خصوصیات درزه‌ها در محدودهٔ دریاچه

در این راستا دو طرف مخزن سد با توجه به ویژگی‌های سنگ‌شناسی و ساختاری توده‌های سنگی به پنج قطعه تقسیم شدند و برداشت درزه‌ها عمدتاً در رخنمون لایه‌های ماسه‌سنگی انجام شد (شکل ٦)، که نتایج در جدول ۳ ارائه شده است. در مجموع تعداد ۱۷۰۵ درزه از محدوده مخزن سد برداشت شده است. شیب لایه‌بندی به‌طورکلی در محدودهٔ ساخت گاه سد ٦۰ درجه به‌سمت جنوب باختر است. درزه‌هایی با مشخصات شیب و جهت شیب ۱٦۰/۷۵، ۱۱۵/٦۵، ۰۰۵/۸۰ ، ۰۵۰/۸۰ و ۳٤۰/۷۰ از مهم‌ترین سیستم درزه‌های موجود در ساخت‌گاه سد هستند.

جدول ۳. خصوصیات سیستم درزه‌ها در محدودهٔ مخزن سد

Joint set	Dip/Dip[٤]	بازشدگی[۳] (mm)	پرشدگی[۲]	فاصله‌داری[۱] (cm)
$J_۱$	۱٦۰/۷۵	۱۱-۵	سیلت و رس	۱۱۰
$J_۲$	۱۱۵/٦۵	۱۰-۸	سیلت و رس	٤۰
$J_۳$	۰۸۵/۸۸	۱۰	سیلت و رس	٦۰
$J_٤$	۰۵۰/۸۰	۱- ۰/۵	رس و ژیپس با پوشش اکسید آهن	۲۵
$J_۵$	۳٤۰/۷۰	۲ – ۱	--	۲۰
$J_٦$	۰۰۵/۸۰	۱ - ۰/۵	--	۵۰
$J_۷$	۱۳۰/۸۰	۹ – ۷	ژیپس	۳۰
$J_۸$	۰۹۵/۷۰	۵ – ۲	ژیپس و در بعضی جاها کلسیت	٤۰

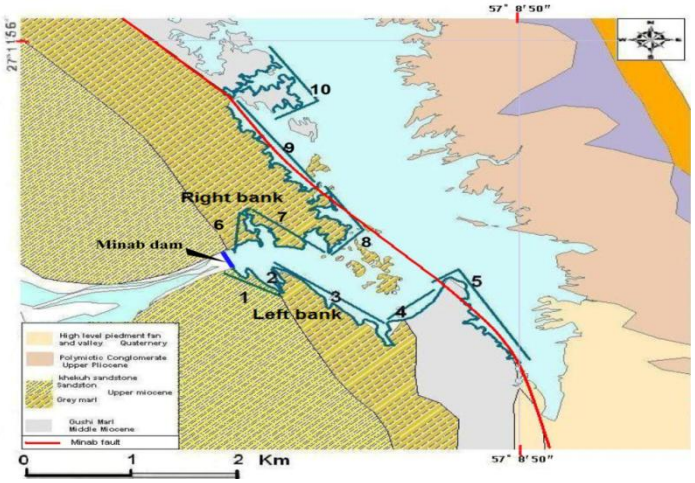
درزه‌های جناح چپ

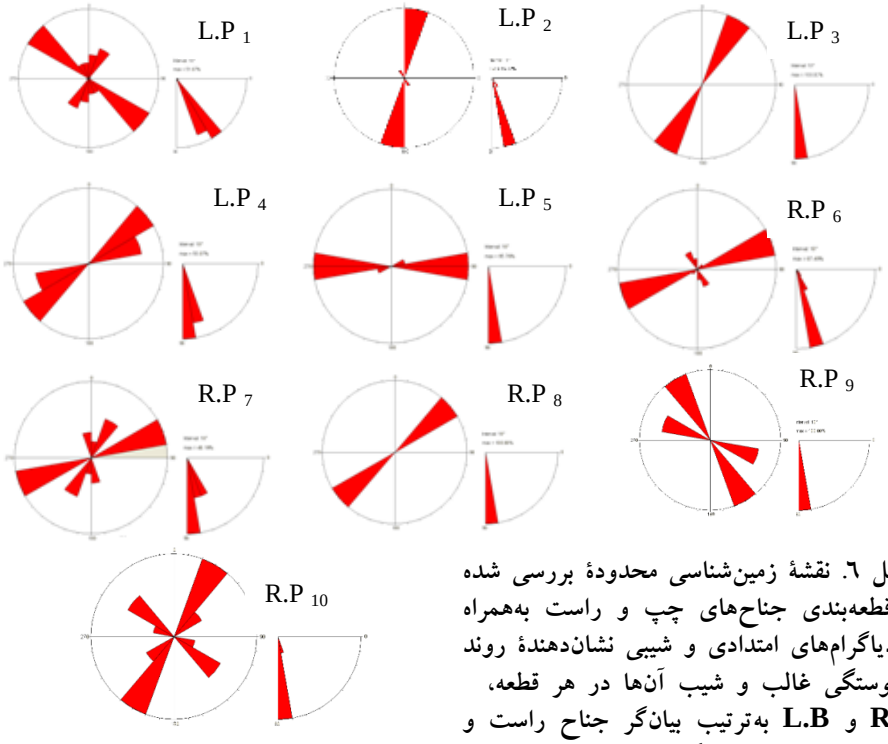
در این جناح جمعاً ۷۱۰ سطح ناپیوستگی در ۵ قطعه متعلق به سازند ماسه‌سنگ خکو برداشت شده است. پرشدگی سطوح ناپیوستگی عموماً سیلت و رس با پوشش زنگ‌زدگی و ژیپس است (شکل۷). در تکیه‌گاه چپ مجموعاً ٦ دسته درزه به‌جز لایه‌بندی مشخص شده است

۱. Spacing ۲. Filling ۳. Aperture ٤. Direction

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

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.4.6.8]





شکل ٦. نقشهٔ زمین‌شناسی محدودهٔ بررسی شده و قطعه‌بندی جناح‌های چپ و راست به‌همراه رزدیاگرام‌های امتدادی و شیبی نشان‌دهندهٔ روند ناپیوستگی غالب و شیب آن‌ها در هر قطعه، R.B و L.B به‌ترتیب بیان‌گر جناح راست و جناح چپ و اعداد بیان‌گر قطعه است.

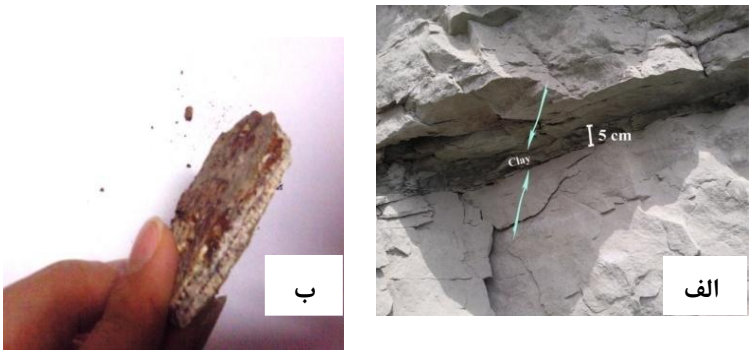
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.4.6.8]

که ۲ روند غالب را نشان می‌دهد. شیب غالب در این دسته‌ها ۸۰ درجه به‌سوی شمال خاور و راستای آن N85W است. کنتور دیاگرام و تصویر استریوگرافیک درزه‌ها در شکل ۸ نمایش داده شده است. فاصله‌های تکرار درزه‌های اصلی حدود ۲۰ تا ۵۰ و میزان بازشدگی در این جناح به‌طور میانگین ۱۰-٦ میلی‌متر است که ٤۰ درصد آن‌ها پرشدگی دارند و مابقی بدون پرشدگی و یا در سطح شسته شده‌اند (جدول ٤).

جدول٤. مشخصات درزه‌ها در قطعات جناح چپ

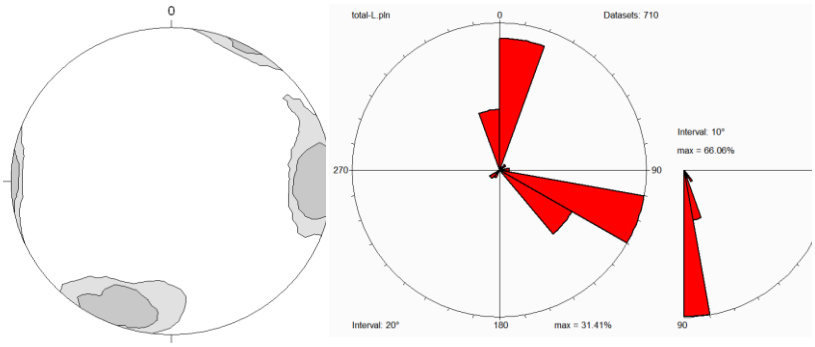
جناح چپ	ناپیوستگی غالب	میانگین بازشدگی (mm)	پرشدگی	میانگین فاصله‌داری (cm)
قطعه ۱	$J_۲,J_٤$	۱۲	سیلت، رس و ژیپس با پوشش اکسیدآهن	۳۵
قطعه ۲	$J_۸$	٤	ژیپس	٤٦
قطعه ۳	$J_۲$	۱۳	--	۳۳
قطعه ٤	$J_۵$, $J_۷$	٦	بدون پرشدگی- دربعضی جاها ژیپس	۲۵
قطعه ۵	$J_٦$	۸	--	۳۸



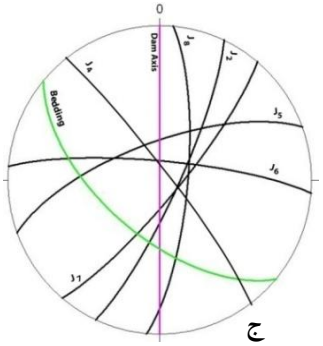
شکل ۷. الف) نمایی از شکستگی‌های سطحی پرشده با رس، ب) نمای نزدیک از مواد پرکننده درزه‌ها در جناح چپ که علاوه بر رس حاوی مقداری ژیپس با پوشش زنگ‌زدگی است

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

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.4.6.8]



ب الف



ج

شکل۸. الف) نمودار گلسرخی ناپیوستگی‌ها در تکیه‌گاه چپ (بر اساس جهت بزرگ‌ترین شیب)، ب) کنتوردیاگرام همهٔ ناپیوستگی‌های برداشت شده از تکیه‌گاه چپ، ج) نمایش تصویر استریوگرافیک سطوح ناپیوستگی در جناح چپ

نتایج به‌دست آمده از بررسی بیش از ۹۹۵ درزه در جناح راست نشان می‌دهد که ۳ دسته درزهٔ اصلی و ۲ دسته با فراوانی کم رخنمون‌های سنگی این جناح را تحت تأثیر قرار داده است. پُرشدگی درزه‌ها عموماً با سیلت و رس (مواد رسی با پوشش زنگ‌زدگی) و ژیپس است و در برخی موارد اکسید آهن نیز مشاهده شده است و به‌طورکلی حدود ۵۹ درصد درزه‌ها در این جناح دارای پُرشدگی هستند (جدول ۵).

کنتوردیاگرام درزه‌های برداشت شده و صفحات دسته درزه‌های اصلی به‌ترتیب در شکل ۹ آورده شده است. آنالیز درزه‌های سیستماتیک نشان می‌دهد که دستهٔ درزه‌ها از نوع کششی است و به‌استثنای دستهٔ J_2 با شیب متوسط، دیگر دسته درزه‌ها در تودهٔ سنگ تقریباً نزدیک به قائم هستند. سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده در این دسته درزه‌ها حاکی از آن است که میزان بازشدگی درزه‌ها باریک تا خیلی باریک بوده است و در بیش از ٦۳ درصد آن‌ها بزرگ‌تر از ۵

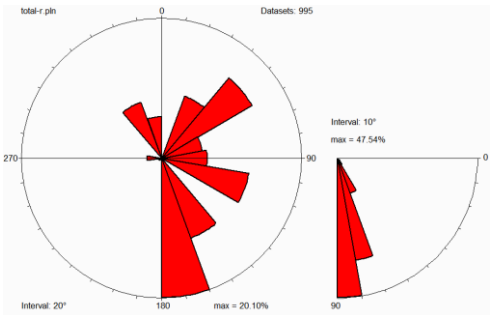
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.4.6.8]

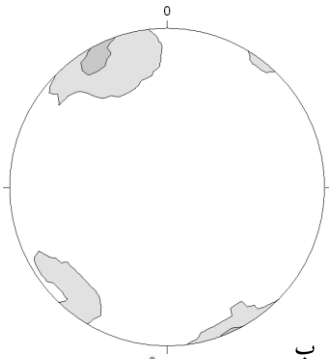
میلی‌متر است، ۲۹ درصد دارای بازشدگی ٦ تا ۹ میلی‌متر و تنها ۸ درصد درزه‌ها بازشدگی کم‌تر از ٤ میلی‌متر دارند. سطح درزه‌های این جناح اغلب هوازدگی شدید دارند (شکل ۱۰).

جدول۵. مشخصات درزه‌ها در قطعات جناح راست

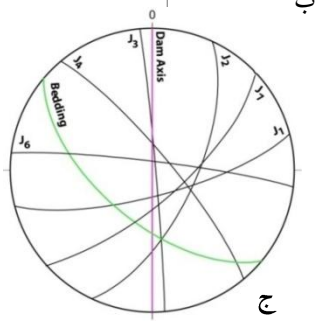
جناح راست	ناپیوستگی غالب	میانگین بازشدگی (mm)	پرشدگی	میانگین فاصله‌داری (cm)
قطعه ٦	J_1, J_2	۸	سیلت و رس	٦۰
قطعه ۷	J_1,J_2 , J_3	٦	سیلت و رس با پوشش اکسید آهن	٤۵
قطعه ۸	J_7	٤,۵	--	۵۵
قطعه ۹	J_4 , J_6	٤	--	۲۵
قطعه ۱۰	J_4 , J_2	۹	بدون پرشدگی- دربعضی جاها ژیپس	۳۸



الف



ب



ج

شکل ۹. الف)نمودار گلسرخی ناپیوستگی‌ها در تکیه‌گاه راست (بر اساس جهت بزرگ‌ترین شیب) ب) کنتوردیاگرام کلیه ناپیوستگی‌های برداشت شده از تکیه‌گاه راست، ج) نمایش تصویر استریوگرافیک سطوح ناپیوستگی در جناح راست

ب) ارزیابی کیفیت توده‌های سنگی در محدودهٔ مخزن سد میناب

محدودهٔ مخزن سد شامل ماسه‌سنگ، ماسه‌سنگ همراه با گل سنگ و مارن‌های خاکستری با میان لایه‌های ماسه‌سنگی است. به‌طور عمده ماسه‌سنگ‌ها با نفوذپذیری ثانویه که در اثر

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.4.6.8]

درزه‌داری در آن‌ها شکل گرفته در عمق‌های کم‌تر از ۱۵ متر در تماس مستقیم با دریاچه سد در تراز نرمال آن هستند و از عمق‌های بیش‌تر از ۱۵ متر در مخزن لایه‌های ماسه سنگی با درصد زیاد هوازدگی و هم‌چنین دو گروه سنگی دیگر که دچار هوازدگی و گسترش ناپیوستگی‌ها شده‌اند با آب در تماس هستند. این توده‌های سنگی در ۵ قطعه در هر جناح از لحاظ خصوصیات ناپیوستگی‌ها بررسی شدند و نتایج به‌دست آمده به‌صورت توصیفی از سنگ بر اساس شاخص مقاومت زمین‌شناسی(GSI) (جدول ٦ و شکل ۱۱)، و مقادیری از شاخص کیفیت سنگ (RQD) بیان شده است که نتایج به‌دست آمده در ارزیابی نفوذپذیری و تأثیر بر پارامترهای سیستم HC استفاده می‌شوند

شکل ۱۰. نمایی از درزه‌داری توده‌های سنگی جناح راست در قطعه چهار

جدول ٦. شاخص GSI برای توده سنگ‌های محدودهٔ مخزن سد میناب را نشان می‌دهد. اعداد درج شده بیان‌گر شمارهٔ قطعه و R.Bو L.B به‌ترتیب بیان‌گر جناح راست و جناح چپ است

GSI	جنس سنگ
۳۸ – ۳۲	مارن‌ها با میان لایه ماسه سنگ
٤۲ – ۳۵	ماسه سنگ همراه با گلسنگ
٤۸ – ٤۲	ماسه‌سنگ‌ها

برای محاسبهٔ RQD از رابطهٔ پالمسترم(۱۹۸۲) [١٦]، استفاده شده است (رابطهٔ ٤):

$$RQD = 115 - 3.3\,(JV) \qquad (٤)$$

در این رابطه (JV) تعداد کل درزه‌ها در یک مترمکعب یا شمارش حجمی درزه‌هاست. بنا بر این پالمسترم (۱۹۹٦) [۱۷] شمارش حجمی درزه‌ها را به‌صورت رابطهٔ ۵ بیان کرد [۱۸].

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

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.4.6.8]

شکل۱۱. نمودار برآورد شاخص مقاومت زمین‌شناسی (GSI) به‌همراه جای‌گاه قطعات مختلف هر جناح. دایره‌های بزرگ آبی‌رنگ جای‌گاه کلی توده سنگ‌های موجود در کل مخزن به تفکیک جنس

$$J_V = \sum_{i=1}^{J}\left(\frac{1}{S_i}\right) + \left(\frac{Nr}{5}\right) \qquad (۵)$$

که در این رابطه Nr تعداد درزه‌های تصادفی است و به آسانی می‌توان با اندازه‌گیری فاصله‌داری یا فراوانی درزه‌ها تخمین زد. نتایج به‌دست آمده به‌همراه توصیف دییر[1] (۱۹٦۸) و ترزاقی برای توده‌های هر قطعه در جدول‌های۷ و ۸ آورده شده است. نتایج به‌دست آمده از ارزیابی RQD و GSI توده‌های سنگی مخزن بر روی شکل ۱۲ نشان داده شده است

جدول ۷. وضعیت شاخص کیفی توده‌های سنگی هر قطعه در جناح چپ

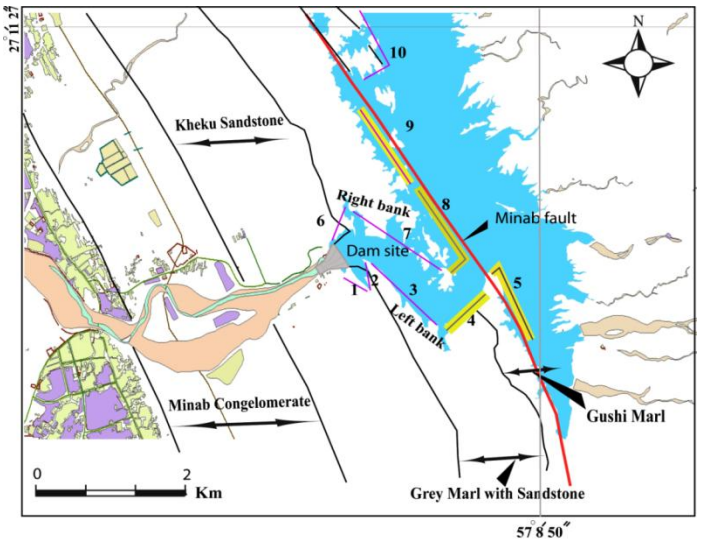
جناح چپ / قطعه	JV	RQD (%)	توصیف (۱۹٦۸) دییر	توصیف ترزاقی
قطعه۱	۱۸/۱۸	۵۵	متوسط	بلوکی با درزه داری متوسط
قطعه۲	۱۸/۳۹	٥٤/۳	متوسط	بلوکی با درزه داری متوسط
قطعه۳	۲۳/۹٤	۳٦	ضعیف	بسیار بلوکی و درزه دار
قطعه٤	۲۷/۰٦	۲۵/۷	ضعیف	بسیار بلوکی و درزه دار
قطعه۵	۲۷/۲۷	۲۵	ضعیف	بسیار بلوکی و درزه دار

۱. Deere

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.4.6.8]

جدول ۸. وضعیت شاخص کیفی توده‌های سنگی هر قطعه در جناح راست

توصیف ترزاقی	توصیف دیر (۱۹٦۸)	RQD(%)	JV	جناح راست / قطعه
بلوکی با درزه‌داری متوسط	متوسط	٥٤	۱۸/٤۸	قطعه٦
بلوکی با درزه‌داری متوسط	متوسط	٥۷	۱۷/٥۸	قطعه۷
بسیار بلوکی و درزه‌دار	ضعیف	۳۳/۱	۲٤/۸۲	قطعه۸
بسیار بلوکی و درزه‌دار	ضعیف	۲۳/٥	۲۷/۷۳	قطعه۹
بسیار بلوکی و درزه‌دار	ضعیف	۲٤/۷	۲۷/۳٦	قطعه۱۰



شکل ۱۲. نقشهٔ قطعه‌بندی محدودهٔ سد حاوی نقاط با GSI و RQD پایین که با خطوط سایه‌دار مشخص شده‌اند

ج) ارزیابی نفوذپذیری توده سنگ‌های محدودهٔ مخزن سد میناب

نفوذپذیری توده سنگ‌های محدودهٔ مخزن سد میناب بر اساس مدل تجربی انتخاب شده ارزیابی شد. در این روش که وابسته به پارامترهایی است که تأثیر خود را به‌صورت ضریبی در سیستم HC (هدایت هیدرولیکی) نشان می‌دهند و با توجه به تأثیری که این پارامترها در افزایش و کاهش نفوذپذیری دارند رابطه‌ای بین سیستم (HC) و ضریب هدایت هیدرولیکی در راستای ارزیابی تودهٔ سنگ مطرح می‌شود. در این روش که بر پایهٔ مفهوم طبقه‌بندی تودهٔ

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.4.6.8]

سنگ براساس پارامترهای خاص بنا شده است مهم‌ترین اصل تأثیرگذار در آن توسعهٔ شکستگی‌های توده‌های سنگ است از این رو انتظار می‌رود که در قطعات سنگی درزه و شکستگی بیش‌تری دارند ضریب نفوذپذیری بیش‌تری مشاهده شود. نتایج به‌دست آمده از آنالیز داده‌ها با روابط ذکر شده، در جدول‌های ۹ و ۱۰ آورده شده است. **این** نتایج که حاصل پردازش داده‌ها در قالب سیستم HC و ارزیابی ضریب هدایت هیدرولیکی توده‌های سنگی قطعه‌بندی شده در مخزن بر اساس نفوذپذیری آستانه $۱۰^{-۵}$ است بیان‌گر بیش‌ترین مقدار $K_{HC\text{-}Model}$ در جناح راست مربوط به قطعهٔ ۹ و کم‌ترین مقدار مربوط به قطعهٔ ۷ و در جناح چپ بیش‌ترین $K_{HC\text{-}Model}$ مربوط به قطعه ٤ است. لازم به‌ذکر است در بررسی حاضر اطلاعاتی از نفوذپذیری برجای توده‌های سنگی در دسترس نیست از این رو، بر اساس نتایج آزمایش‌های توده‌های سنگی مشابه در سد شمیل و مشخصات سنگ‌شناسی ماسه سنگ‌های بررسی شده که سیمان شدگی نسبتاً ضعیفی دارند مقدار ضریب نفوذپذیری پایه $۱۰^{-۵}$ فرض شده است

جدول ۹. نتایج محاسبهٔ نفوذپذیری سنگ‌ها ($K_{HC-MODEL}$) در جناح چپ بر اساس سیستم HC و RQD

جناح چپ / قطعه	RQD(%)	LPI	HC	$K_{HC-MODEL}$(m/s)
۱	۵۵	۱	۰/٤۵	$۹/۷۳\times۱۰^{-٦}$
۲	۵٤/۳	۱	۰/٤٦	$۹/۹٤\times۱۰^{-٦}$
۳	۳٦	۱	۰/٦٤	$۱/۵۸\times۱۰^{-۵}$
٤	۲۵/۷	۱	۰/۷٤	$۱/۹٤\times۱۰^{-۵}$
۵	۲۵	۰/۹۵	۰/۷۱	$۱/۸٤\times۱۰^{-۵}$

جدول۱۰. نتایج محاسبهٔ نفوذپذیری سنگ‌ها ($K_{HC-MODEL}$) در جناح راست بر اساس سیستمHC و RQD

جناح راست / قطعه	RQD(%)	LPI	HC	$K_{HC-MODEL}$(m/s)
٦	۵٤	۱	۰/٤٦	$۱/۰\times۱۰^{-۵}$
۷	۵۷	۱	۰/٤۳	$۹/۱٤\times۱۰^{-٦}$
۸	۳۳/۱	۱	۰/٦۷	$۱/٦۸\times۱۰^{-۵}$
۹	۲۳/۵	۱	۰/۷۷	$۲/۰۲\times۱۰^{-۵}$
۱۰	۲٤/۷	۰/۹۵	۰/۷۲	$۱/۸۵\times۱۰^{-۵}$

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

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.4.6.8]

چ) محاسبهٔ حجم آب نفوذی در توده‌های سنگی و ارزیابی پهنه‌های فرار آب

در راستای ارزیابی پهنه‌های فرار آب با توجه به نفوذپذیری توده‌های سنگی محاسبه شده در سیستم HC، اقدام به برآورد حجم آب نفوذی در واحدهای سنگی محدودهٔ مخزن سد شده است. در این حالت سطحی از لایه‌های سنگی موجود در مقطع مخزن سد که در تماس مستقیم با دریاچه است را به‌صورت قطعه‌بندهای صورت گرفته، با توجه به قانون دارسی که به‌صورت رابطهٔ ٦ بیان می‌شود پردازش می‌کنیم.

$$Q = A \times K \times I \qquad (٦)$$

در این رابطه Q دبی آب عبوری (نفوذی) از سطح مقطع A که هر قطعه در سه ارتفاع حداکثر، میانگین و حداقل که در انتقال آب نقش داشته باشد، است، K ضریب نفوذپذیری معادل توده‌های سنگی منطقه و I گرادیان هیدرولیکی است. محاسبات انجام شده و تعیین مقدار آب نفوذی در توده‌های سنگی (جدول‌های۱۱ و ۱۲) بیان‌گر افزایش نفوذپذیری توده‌های سنگی به‌دنبال افزایش ضخامت ستون آب است که دلیل آن را می‌توان افزایش سطح تماس آب با لایه‌های معمولاً ماسه‌سنگی خرد شده در سطح دانست.

جدول ۱۱. داده‌ها و نتایج دبی نشت آب در جناح چپ طبق نفوذپذیری آستانه $۱۰^{-۵}$

قطعه	K_z (m/s)	A(m^۲)			h(m)			Q (m^۳/s)		
		A_{min}	A_{mean}	A_{max}	h_{min}	h_{mean}	h_{max}	Q_{min}	Q_{mean}	Q_{max}
۱	$۸/۳\times۱۰^{-۶}$	۱۸۷۹٦	۲۲۳۵۲	۲٦٤۱٦	۳۷	٤٤/٥	٥۲	$۳/۷\times۱۰^{-۳}$	$٤/۹\times۱۰^{-۳}$	$۷/۱\times۱۰^{-۳}$
۲	$۸/٤\times۱۰^{-۶}$	۱۳۹۸٦	۱٦٦۳۲	۱۹٦٥٦	۳۷	٤٤/٥	٥۲	$۲/۸\times۱۰^{-۳}$	$۳/۷\times۱۰^{-۳}$	$٥/۳\times۱۰^{-۳}$
۳	$۹/۰\times۱۰^{-۶}$	٦۱۳٤٤	۷٦٦۸۰	۹۲۰۱٦	۳٦	٤٥	٥٤	$۱/۱\times۱۰^{-۲}$	$۱/٦\times۱۰^{-۲}$	$۲/۳\times۱۰^{-۲}$
٤	$۱/۱\times۱۰^{-٥}$	۳۰۷۸۰	۳۸۰۷۰	٤٥۳٦۰	۳۸	٤۷	٥٦	$٥/۹\times۱۰^{-۳}$	$۸/۱\times۱۰^{-۳}$	$۱/۱\times۱۰^{-۲}$
٥	$۱/۱\times۱۰^{-٥}$	۲۸٦٥۲	۳۸٥۷۰	٤۸٤۸۸	۲٦	۳٥	٤٤	$٥/۳\times۱۰^{-۳}$	$۸/۰\times۱۰^{-۳}$	$۱/۲\times۱۰^{-۲}$

گسل میناب با توجه به قرارگیری در ۱۵۰۰متری خاور محور سد میناب و درون مخزن آن نقش بسیار مهمی در ایجاد مسیرهای هیدرولیکی و تحت تأثیر قرار دادن نفوذپذیری توده‌های سنگی مخزن سد، دارد (شکل ۱۳ و شکل ١٤). برای ارزیابی نقش گسل میناب در نفوذپذیری تودهٔ سنگ‌های مخزن سد و در پی آن تعیین حجم آب نفوذی از طریق این گسل با پهنهٔ برشی حدود ۱۰۰ متر محاسبه RQD، HC، Model-KHC و در نهایت حجم آب نفوذی Q برای پهنهٔ خرد شده این گسل صورت گرفت که نتیجه آن در جدول ۱۳ و ١٤ نشان داده شده

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

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.4.6.8]

است. این گسل با توجه به پهنهٔ خرد شده چشم‌گیری که عرض حدوداً ۱۰۰ متر را دارد از اصلی‌ترین عوامل تأثیرگذار در تراوش و نشت آب دریاچه سد میناب در ترازهای مختلف است. وجود گسل اصلی میناب و خرده گسل‌های اطراف آن در واقع با درزه‌داری و کاهش مقاومت تودهٔ سنگ، باعث افزایش نفوذپذیری سنگ‌های اطراف شده و از مسیرهای اصلی محتمل فرار آب به‌شمار می‌روند.

جدول ۱۲. داده‌ها و نتایج دبی نشت آب در جناح راست طبق نفوذپذیری آستانه $۱۰^{-۵}$

قطعه	K_z (m/s)	$A(m^۲)$			h(m)			$Q\ (m^۳/s)$		
		A_{min}	A_{mean}	A_{max}	h_{min}	h_{mean}	h_{max}	Q_{min}	Q_{mean}	Q_{max}
٦	$۸/۵\times۱۰^{-٦}$	۱۹۳۵۱	۲۳۰۱۲	۲۷۱۹٦	۳۷	٤٤/٥	٥۲	$٤/٤\times۱۰^{-۳}$	$٥/۲\times۱۰^{-۳}$	$۷/٤\times۱۰^{-۳}$
۷	$۱/٤\times۱۰^{-٥}$	٦۲۱٦۰	۷۳۹۲۰	۸۷۳٦۰	۳۷	٤٤/٥	٥۲	$۱/۷\times۱۰^{-۲}$	$۲/۲\times۱۰^{-۲}$	$۳/۲\times۱۰^{-۲}$
۸	$۹/۲\times۱۰^{-٦}$	٦۷٤٥۰	۸۳٤۲٥	۹۹٤۰۰	۳۸	٤۷	٥٦	$۱/۱\times۱۰^{-۲}$	$۱/٥\times۱۰^{-۲}$	$۲/۳\times۱۰^{-۲}$
۹	$۹/۳\times۱۰^{-٦}$	٤۳۰۷۲	٥٥۱۸٦	٦۷۳۰۰	۳۲	٤۱	٥۰	$۷/٤\times۱۰^{-۳}$	$۱/۰\times۱۰^{-۲}$	$۱/٥\times۱۰^{-۲}$
۱۰	$۱/۰\times۱۰^{-٥}$	٤۸٥٤٤	٦۲۱۹۷	۷٥۸٥۰	۳۲	٤۱	٥۰	$۸/۲\times۱۰^{-۳}$	$۱/۱\times۱۰^{-۲}$	$۱/۷\times۱۰^{-۲}$

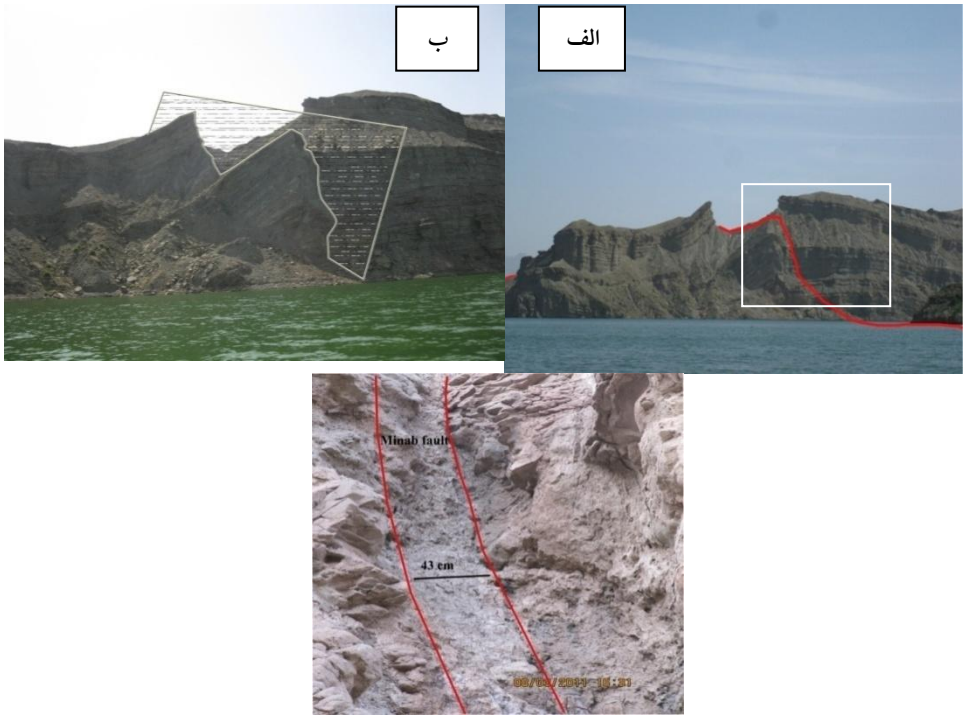
در شکل ۱۵ شمایی از نحوهٔ قرارگیری سد و توده‌های سنگی برای درک بهتر چگونگی نفوذ آب به رودخانه نشان داده شده است. با توجه به سطح آب در آبرفت رودخانه در نزدیکی پایین‌دست محور سد گرادیان هیدرولیکی بالا در قطعه‌های ۱ از هر دو جناح باعث افزایش میزان آب نفوذی از این قطعه‌ها شده است (جدول ۱۵).

جدول ۱۳. داده‌ها و نتایج دبی نشت آب از پهنهٔ خرد شده گسل میناب در جناح چپ (نفوذپذیری آستانه $۱۰^{-۵}$)

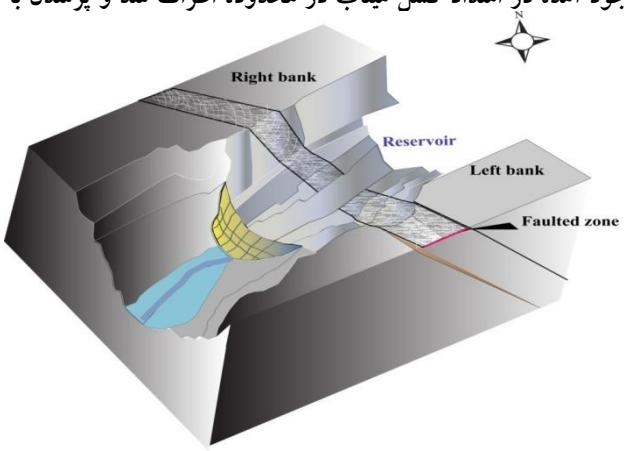
J_V	RQD(%)	HC	$K_{HC-MODEL}$(m/s)	h(m)			$Q\ (m^۳/s)$		
				$H_۱$	$H_۲$	$H_۳$	Q_{min}	Q_{mean}	Q_{max}
۲۹/۱	۱۹	۰/۸۱	$۲/۱۹\times۱۰^{-٥}$	۳۸	٤۷	٥٦	$٦/٤۲\times۱۰^{-٤}$	$٦/٦۲\times۱۰^{-٤}$	$۱/۱۲\times۱۰^{-۳}$
J_V	RQD(%)	HC	$K_{HC-MODEL}$(m/s)	h(m)			$Q\ (m^۳/s)$		

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

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.4.6.8]



شکل ۱۳. الف) اثر گسل میناب بر توده‌های سنگی به‌صورت خردشدگی و لغزش تودهٔ عظیمی **از ماسه سنگ، (دید به‌سمت جنوب)، تصویر سمت چپ، بزرگ‌نمایی مربع سفیدرنگ در شکل الف است که لغزش تودهٔ سنگی در راستا و جهت شیب گسل میناب را نشان می‌دهد، ب) بازشدگی به‌وجود آمده در امتداد گسل میناب در محدودهٔ اطراف سد و پرشدن با رس**



شکل١٤. طرح شماتیک از جانمایی و عرض پهنهٔ برشی گسل میناب در مخزن سد میناب

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

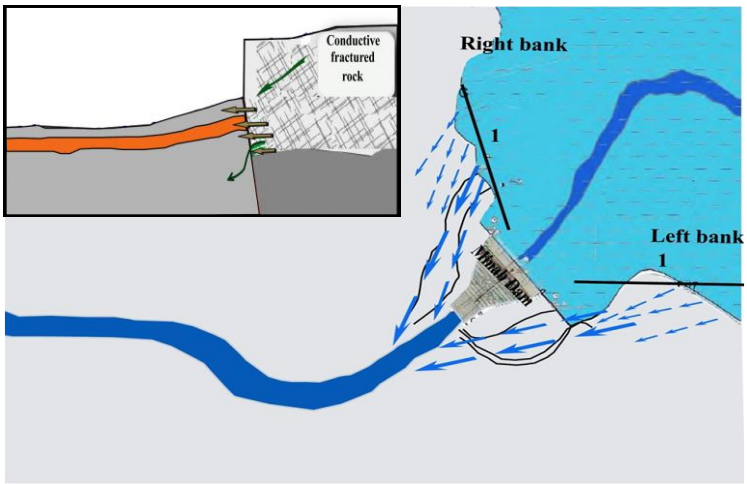
[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.4.6.8]

جدول ١٤. داده‌ها و نتایج بدست آمده برای پهنه خرد شده گسل میناب در جناح راست (نفوذپذیری آستانه ٥-١٠)

Q_{max}	Q_{mean}	Q_{min}	H_3	H_2	H_1				
$1/13\times10^{-3}$	$8/36\times10^{-4}$	$5/87\times10^{-4}$	٥٠	٤١	٣٢	$2/27\times10^{-5}$	٠/٨٣	١٧	٢٩/٧

جدول١٥. نتایج دبی نشت آب از قطعهٔ ١ در هر دو جناح (نفوذپذیری آستانه 10^{-5})

Q_{max} (m^3/s)	Q_{mean} (m^3/s)	Q_{min} (m^3/s)	I_3	I_2	I_1	جناح راست / قطعه
$7/09\times10^{-2}$	$5/0\times10^{-2}$	$3/5\times10^{-2}$	٠/٢٦	٠/٢٢	٠/١٩	٦
Q_{max} (m^3/s)	Q_{mean} (m^3/s)	Q_{min} (m^3/s)	I_3	I_2	I_1	جناح چپ / قطعه
$6/68\times10^{-2}$	$4/78\times10^{-2}$	$3/3\times10^{-2}$	٠/٢٦	٠/٢٢	٠/١٩	١



شکل ١٥. طرح شماتیکی از نحوهٔ قرارگیری سد و توده‌های سنگی در قطعه‌های ١ از جناح چپ و قطعه ٦ از جناح راست

نتایج این بررسی نشان می‌دهد که در حالت نفوذپذیری تعریف شده بر اساس نفوذپذیری آستانه توده‌های سنگی منطقه، زون خرد شده گسل میناب و قطعه ٤ از جناح راست بیش‌ترین نفوذپذیری را دارند. هم‌چنین قطعه ٤ از جناح چپ و قطعه ٥ از هر دو جناح که متأثر از گسل

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.4.6.8]

میناب و گسل‌های فرعی آن است به‌دلیل درزه‌داری بالا، نفوذپذیری بیش‌تری نسبت به دیگر نواحی مخزن دارند

نتیجه‌گیری

بررسی‌های صورت گرفته بر روی داده‌های رقومی مربوط به حجم و تراز آب مخزن رابطه‌ای مستقیم را نشان می‌دهد که در آن با افزایش سطح تراز آب مخزن، میزان فرار آب نیز بیش‌تر می‌شود و این امر در ترازهای بیش‌تر از ۸۷ متر (ارتفاع سطح دریاچه از سطح دریا) مشهودتر است. از دلایل دیگر وجود احتمالی فرار آب از مخزن، ارتباط هیدرولیکی دشت‌های مجاور با مخزن سد میناب است. وجود مناطق تغذیه‌ای خاص در امتداد گسل میناب که در نقشهٔ تراز آب دو دشت تشخیص داده شده است، وجود یک زون تغذیه‌ای که مرتبط با گسل میناب است را به اثبات می‌رساند. هم‌چنین مدل انتخاب شده برای نفوذپذیری می‌تواند با در نظر گرفتن حد آستانه دقیق نفوذپذیری توده‌های سنگی بررسی شده تأثیر افزایش نفوذپذیری توده‌ها در اثر درزه‌داری را به‌خوبی بیان کند. نتایج به‌دست آمده از ارزیابی نفوذپذیری توده‌های سنگی مخزن سد میناب بر اساس مدل تجربی استفاده شده بیان‌گر بیش‌ترین نفوذپذیری برای زون خرد شده گسل میناب و قطعه ۹ از جناح راست هستند. هم‌چنین قطعه‌های ٤ و ٥ از جناح چپ و ۱۰ از جناح راست که متأثر از گسل میناب و گسل‌های فرعی آن است به‌دلیل درزه‌داری زیاد نفوذپذیری بیش‌تری نسبت به دیگر نواحی مخزن دارند. بر اساس نفوذپذیری به‌دست آمده از هر قطعه در دو جناح سد و Q دبی جریان مربوط به آن می‌توان گفت که توده‌های سنگی متأثر از گسل میناب و هم‌چنین پهنهٔ خرد شده این گسل از مهم‌ترین محل‌های مستعد و اصلی در فرار آب هستند. میزان کل دبی جریان آب نفوذی در مخزن با توجه به نفوذپذیری پایه، به‌دست آمده با مدل HC در حالت پیک سطح آب در مخزن برابر با ۰/۰٦۲ مترمکعب بر ثانیه است که باعث نفوذ ۱/۹۸ میلیون مترمکعب آب به درون توده سنگ‌ها در سال می‌شود. اما در توده سنگ‌های مخزن سد میناب با توجه به جوان بودن توده‌ها که متعلق به میوسن میانی و بالایی هستند و هم‌چنین سیمان شدگی ضعیف‌تر این توده‌ها، بر اساس نفوذپذیری تعریف شده (نفوذپذیری آستانه $^{-5}$ ۱۰)، دبی جریان آب نفوذی

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

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.4.6.8]

در مخزن در حالت حداکثر تراز آب، با توجه به نفوذپذیری به‌دست آمده با مدل HC برابر با ۰/۲۹ مترمکعب بر ثانیه است که باعث فرار آب ۹/۲۱ میلیون مترمکعب در سال می‌شود.

سپاس‌گزاری

این پژوهش با حمایت سازمان آب منطقه‌ای استان هرمزگان و معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی شاهرود به انجام رسیده است که صمیمانه قدردانی می‌شود.

منابع

1. Knill J. L., "Assessment of reservoir feasibility", Quart. J. Eng. Geol. Vol. 4 (1972) 355-372.
2. White W. B., "Geomorphology and hydrology of karst terrains", Oxford University Press (1988).
3. Todd D. K., "Groundwater hydrology (2nd edn)", John Wiley & sons, New York (2005).
4. Lee J. Y., Choi Y. K., Kim H. S., Yun S. T., "Hydrologic characteristics of a large rock fill dam: implications for eater leakage", Engineering Geology, 80 (2005) 43-59.
5. Weaver J. M. C., "A Preliminary Survey of Pesticide Levels in Groundwater from a Selected Area of Intensive Agriculture in the Western Cape", Water Research Commission Report, No. 268/1/93 (1993).
6. Milanovic P. T., "Karst Hydrogeology", Water Resources Publications, (1981).
7. Gudmundsson A., "Active fault zones and ground water flow", Geophys, Res. Lette, Vol. 27 (2000) 2993-2996.
8. Singhal B. B. S., Gupta R. P., "Applied Hydrogeology of fractured Rocks", second edition, Springer Science, book (2010).

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

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.4.6.8]

۹. مهندسین مشاور آب‌ورزان، *گزارش مطالعات توسعه منابع آب و آبخیزداری حوضهٔ سد میناب*، شرکت سهامی آب منطقه‌ای هرمزگان (۱۳۷٤).

10. Shih-Meng Hsu1, Hung-Chieh Lo1, Shue-Yeong Chi1, Cheng-Yu Ku., "Rock Mass Hydraulic Conductivity Estimated by Two Empirical Models", Developments in Hydraulic Conductivity Research. (2008) 134-158

11. Cheng-Yu Ku, Shih-Meng Hsu, Lin-Bin Chiou, Gwo-Fong Lin., "An empirical model for estimating hydraulic conductivity of highly disturbed clastic sedimentary rocks in Taiwan", Engineering Geology 109 (2009) 213-223.

۱۲.آقانباتی ع.، *زمین‌شناسی ایران*، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۵).

13. Singhal B. B. S., Gupta R. P., "Applied Hydrogeology of Fractured Rocks", Kluwer Academic Publishers, The Netherlands (1999).

14. Lee, C. H., Farmer I., "Fluid flow in discontinuous rocks", Chapman, Hall, London, UK (1993).

15. Deere D. U., Hendron A. J., Patton, F. D., Cording E. J., "Design of surface and near surface construction in rock, Proceedings of 8th U.S. Symposium, Rock Mechanics", AIME, (1967) 237-302, New York.

16. Palmström A., "The volumetric joint count-a useful and simple measure of the degree of rock jointing", Proc., 4th congr, Int. Assn Engng Geol., Delhi 5 (1982) 221-228.

17. Palmstrom A., "RMi-Asystem for Characterizing Rock Mass strength for Use in Rock Engineering, Jr.", of Rock Mech. and Tunneling Tech., India., Vol.1, No.2 (1996) 69-108.

18. Palmstrom A., "RMI-A System Characterizing Rock mass Strength for Use in rock Engineering", Tunneling and Technology, Vol.21 (2005) 371-380.

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

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.4.6.8]