

## بررسی خصوصیات زمین شناسی مهندسی قبل از اجرا تونل انحراف آب بالایی سد بختیاری

علیرضا صمدی صوفی\*، رسول اجل لوئیان<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

۲- دانشیار، گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان

(\*عهده دار مکاتبات - Samadisofi@yahoo.com)

### چکیده

در ۱۲۰ کیلومتری شمال شهرستان اندیمشک و بر روی رودخانه بختیاری ساختگاه سد بختیاری، بزرگترین سد بتنی دوقوسی دنیا بر روی این رودخانه در حال احداث می‌باشد. با توجه به اینکه سد مذکور بلندترین سد دنیا می‌باشد، سازه‌های جانبی آن از جمله تونل‌های انحراف با طولی بالغ بر ۱ کیلومتر و به دلیل سطح مقطع بزرگشان، به نوبه خود عظیم بوده و در ساخت آن‌ها دقت خاصی باید صورت پذیرد. این تونل‌ها در سنگ‌های کربناته‌ی سازند سروک از گروه بنگستان قرار رفته‌اند و در مسیر خود از هفت واحد لیتولوژیکی عبور می‌کنند (SV<sub>4</sub>, SV<sub>5</sub>, SV<sub>6</sub>, SV<sub>7</sub>, SV<sub>3</sub>(disturbed), SV<sub>2</sub>, SV<sub>3</sub>) عبور می‌کنند که بر اساس تغییرات لیتولوژیکی و شرایط ویژه حوضه رسوبی و بر مبنای حضور سیلیس در ترکیبات کربناتی و شکل حضور آن و نیز ضخامت لایه‌ها تقسیم‌بندی شده‌اند. با این وجود قسمت اعظم این سازندها از آهک‌های مارنی تشکیل شده‌اند. بر اساس مطالعات درزه نگاری‌ها چهار گروه اصلی ناپیوستگی شامل لایه‌بندی و سه دسته درزه اصلی (J1, J2, J3) در این سنگ‌ها مشاهده می‌شود. بیشتر ناپیوستگی‌ها بازشدگی بین ۵-۱ mm دارند و از نوع ناپیوستگی‌های باز می‌باشند و عمدتاً فاقد پرشدگی هستند و یا توسط کلسیت یا کلسیت و رس پر شده‌اند. بر اساس روش‌های مختلف طبقه‌بندی توده سنگ (به خصوص روش‌های RMR و Q)، توده سنگ‌های واقع در مسیر تونل انحراف در رده کیفی متوسط تا ضعیف قرار می‌گیرند.

**واژگان کلیدی:** سد بختیاری، ایران، تونل انحراف، خصوصیات زمین شناسی مهندسی، روش‌های طبقه‌بندی سنگ.

### ۱- مقدمه

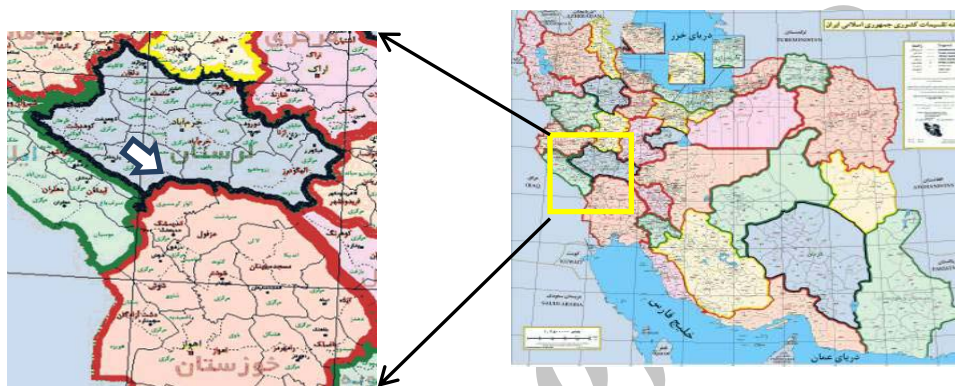
مدیریت آب‌های سطحی کشور از مهم‌ترین فعالیت‌ها بمنظور رشد و توسعه ی کشور و تقویت بخش‌های مرتبط با تولید نیرو، کشاورزی و صنعت می‌باشد.

بدین منظور کارهای مختلف در رابطه با سدها و به تبع آن تونل‌های مرتبط با این سدها شده است. از جمله‌ی این سدها می‌توان به سد بختیاری اشاره کرد. در دوران ساخت سد به منظور ایجاد فضای کاری مناسب و ایمنی در مقابل جریان رودخانه و سیلاب، سیستم انحراف، وظیفه انحراف آب را به عهده دارد. در طراحی سد بختیاری با توجه به وضعیت توپوگرافی ساختگاه، نوع سد و سازه‌های جنبی و ملاحظات هیدرولیکی، انحراف آب با استفاده از تونل انجام می‌پذیرد و به این منظور دو تونل انحراف (تونل‌های بالایی و پایینی) در نظر گرفته شده است. جهت احداث پروژه‌های مهم عمرانی از جمله تونل‌ها و فضاهای زیرزمینی بررسی‌های زمین‌شناسی از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین یک مهندس سنگ باید کامل‌ترین اطلاعات ممکن را از وضعیت طبقات و لایه‌های موجود داشته باشد. دسترسی به چنین اطلاعاتی و بررسی‌های مربوط به اکتشاف مسیر تونل یا هر نوع فضای زیرزمینی دیگر، نیازمند جمع‌آوری

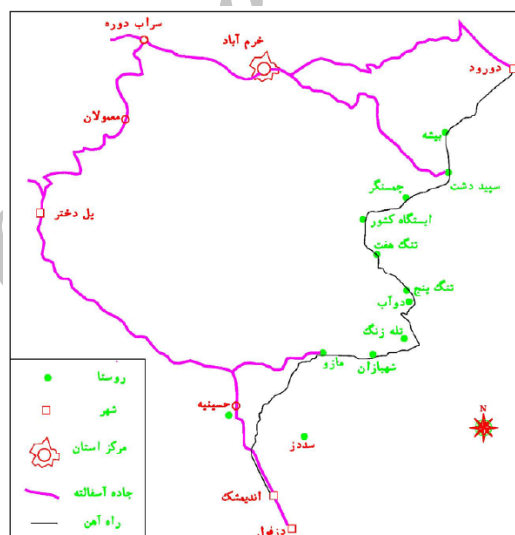
اطلاعات اولیه میباشد. نوع و مقدار اطلاعاتی که گردآوری می‌شود به اهمیت پروژه و شرایط زمین‌شناسی محل بستگی دارد (فهیمی‌فرد، ۱۳۷۶). لذا در این نوشتار سعی گردیده تا با استفاده از داده‌های حاصل از مغزه‌های حفاری قبل از اجرا خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی توده‌های سنگی مسیر تونل انحراف آب بالایی مورد ارزیابی قرار گیرد.

ساختمان سد بختیاری در بخش سفلی رودخانه بختیاری در استان لرستان و در بخش جنوب غربی ایران در دامنه‌های جنوب غربی کوه‌های زاگرس چین‌خورده و در ناحیه‌ای به طول شرقی  $48^{\circ} 46' 50''$  و عرض شمالی  $32^{\circ} 57' 41''$  و در شمال غرب ایستگاه تنگ پنج (هشتمین ایستگاه حد فاصل اندیمشک- دورود) در مسیر راه آهن تهران - اهواز، بر روی رودخانه بختیاری واقع شده است (شکل ۱).

ساختمان سد بختیاری به فاصله مستقیم حدود ۵۰ کیلومتری بالادست سد دز و پنج کیلومتر بالادست تقاطع رودخانه‌های سزار- بختیاری قرار گرفته است (شکل ۲).



شکل ۱: موقعیت سد بختیاری بر روی نقشه ایران



شکل ۲: راه‌های دسترسی به ساختمان سد بختیاری

## ۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

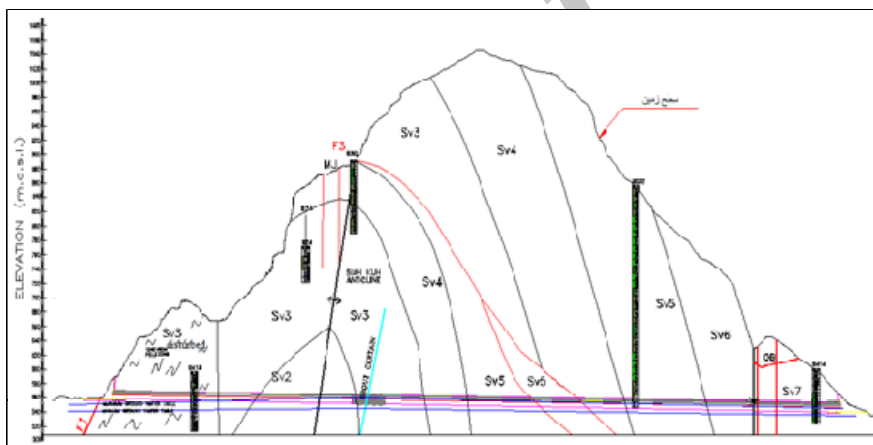
منطقه مورد بررسی (محل ساختمان سد) که دربرگیرنده حوضه آبریز رودخانه بختیاری می‌باشد، در بخش جنوب غربی زون زاگرس چین‌خورده قرار گرفته دارد.

با توجه به برداشت‌های سطحی زمین‌شناسی و اطلاعات حاصل از گمانه‌های اکتشافی، ساختمان سد و فضاهای مرتبط شامل سنگ‌های رسوبی چین‌خورده کربناته سازند سروک از سازندهای گروه بنگستان است.

نهشته‌های سازند سروک عمدتاً از آهک یا آهک‌های مارنی با میان لایه‌های مارن تشکیل شده است و در این گستره از نظر حضور سیلیس در ترکیبات کربناتی و شکل حضور آن و نیز ضخامت لایه‌ها قابل تقسیم به هفت بخش است. این سازند از پایین به بالا به ۷ بخش مختلف تقسیم شده و با نامهای SV1 تا SV7 نامگذاری شدند. بخش‌های SV2 تا SV7 در گستره ساختگاه سد و سازه‌های جانبی و نیروگاه رخنمون دارند. بخش SV1 در این گستره رخنمون ندارد و زیربخش SV2 پنهان مانده است.

از لحاظ زمین‌شناسی ساختمانی سیستم انحراف سد بختیاری در شمال و جنوب تاقدیس سیاه کوه واقع گردیده است. برخی از لایه‌های سازند سروک، در یال جنوبی تاقدیس سیاه کوه، بطور موضعی چین خوردگی پیدا کرده‌اند. تعداد این چین خوردگی‌ها در لایه‌های SV3 بیشتر است. این چین‌ها حالت جناغی دارند. با دور شدن از محور تاقدیس به سوی پایین دست از میزان چین خوردگی‌ها کاسته می‌شود.

در منطقه مورد مطالعه سه گسل اصلی با نام‌های F1، F2 و F3 قابل شناسایی است. سیستم انحراف از هر سه گسل اصلی ساختگاه به گونه‌ای متأثر شده است. گسل F1 موجب چین‌خوردگی‌های جناغی و افزایش ناپیوستگی‌ها در دهانه ورودی تونل‌ها و محل فراز بند شده است. گسل F3 و شاخه‌های مربوطه، تونل‌های انحراف را در میانه مسیر (شاخه زیرین گسل در حدود ۶۳۸ متری و شاخه بالایی آن به ترتیب تونل بالایی و پایینی را در ۷۴۳ و ۷۸۱ متر) قطع می‌کند و گسل F2 ۱۳۰ متر انتهایی تونل‌ها، دهانه‌های خروجی و با شدت کمتری محدوده نشیب بند را تحت تاثیر قرار داده است.



شکل ۳: مقطع طولی زمین شناسی تونل انحراف آب بالایی (گزارش شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، ۲۰۰۷)

از دیدگاه زمین‌ساختی، تونل انحراف با راستایی تقریباً عمود بر محور تاقدیس سیاه کوه از هر دو یال این تاقدیس عبور می‌کند ولی بخش عمده آن در یال جنوب غربی تاقدیس قرار گرفته است. تاقدیس سیاه کوه که خواب محوری ملایمی به سوی شمال غربی دارد، از سمت شمال شرقی به گسل F1 و در سمت جنوب غربی گسل F3 محدود شده است.

### ۳- بررسی‌های زمین شناسی مهندسی توده‌های سنگی

چهارچوب تمام تحلیل‌های مکانیک سنگ بر پایه داده‌های زمین‌شناسی استوار می‌باشد. این داده‌ها به شناسایی نوع سنگ‌ها، ناپیوستگی‌های ساختاری و خصوصیات توده‌های سنگی کمک می‌نماید. اصطلاح ناپیوستگی طی سالیان گذشته توسط دانشمندانی از جمله فوکوس و پریش (۱۹۶۹)، آتول و وودمن (۱۹۷۱)، پرست (۱۹۷۵)، گودمن (۱۹۷۶)، بارتن (۱۹۸۶) و دیگر دانشمندان به کار گرفته شده است. به منظور شناسایی و تعیین کیفیت و میزان

اثرگذاری ناپیوستگی‌ها بر رفتار توده سنگ نیاز است که در ابتدا کیفیت ناپیوستگی‌ها به عنوان سیستم ناپیوستگی یا ساختار سنگ توجیه گردد.

توده سنگ در محدوده مورد مطالعه شامل چهار سری ناپیوستگی اصلی می‌باشد که عبارتند از:

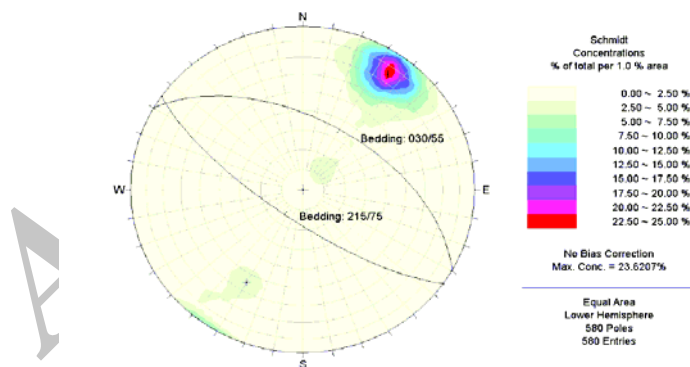
- لایه بندی
- سیستم درزه J1
- سیستم درزه J2
- سیستم درزه J3

شیب و جهت شیب این ناپیوستگی‌ها در جدول ۱ بیان شده است.

جدول ۱: شیب و جهت شیب ناپیوستگی‌های توده سنگ

شیب و جهت شیب	ناپیوستگی	
۰۳۰/۵۵	لایه بندی	
۲۱۵/۷۵		
۳۱۰/۶۵	J1A	سیستم درزه J1
۳۱۰/۴۰	J1B	
۱۲۵/۳۵	سیستم درزه J2	
۰۴۵/۲۰	سیستم درزه J3	

در محدوده ساختگاه دو دسته لایه‌بندی مشخص شده است که تصویر استریوگرافیک آن‌ها در شکل ۴ و خصوصیات آن‌ها در جدول ۲ بیان شده است.

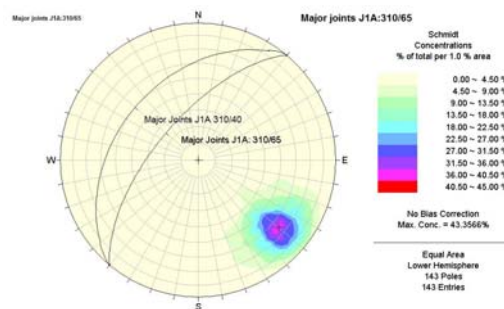


شکل ۴: تصویر استریوگرافیک لایه بندی

سیستم درزه J1 دارای دو دسته اصلی J1A و J1B است. تصاویر استریوگرافیک نشان دهنده زیر دسته‌ها و خصوصیات آن‌ها در شکل ۵ و جدول ۳ بیان شده است.

جدول ۲: خصوصیات لایه بندی

زبری		پرشدگی		بازشدگی [mm]	
44%	صیقلی (Sl)	11%	تمیز	40%	≤1
14%	زبری	43%	کلسیت-رس	37%	1-5
8%	نرم (Sm)	17%	کلسیت	5%	5-10
34%	نا مشخص	19%	رس	3%	10-50
-	-	10%	نا مشخص	15%	نا مشخص
100%	کل	100%	کل	100%	کل

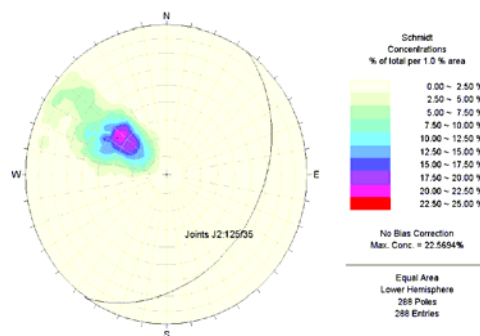


شکل ۵: تصاویر استریوگرافیک سیستم درزه J1

خصوصیات سیستم درزه J2 شامل تصویر استریوگرافیک و خصوصیات آنها در شکل ۶ و جدول ۳ بیان شده است.

جدول ۳: خصوصیات سیستم درزه J1

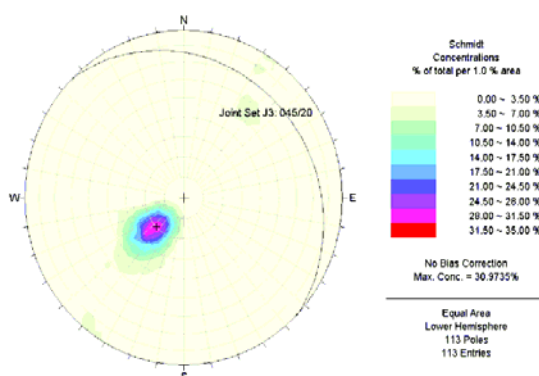
زبری		پرشدگی		بازشدگی [mm]	
39%	زبر (R)	15%	تمیز	25%	≤1
17%	نرم (Sm)	4%	کلسیت-رس	26%	1-5
4%	R-Sm	56%	کلسیت	2%	5-10
5%	صیقلی (Sl)	4%	رس	1%	10-50
35%	نامشخص	21%	نا مشخص	46%	>50
100%	کل	100%	کل	100%	کل



شکل ۶: تصویر استریوگرافیک سیستم درزه J2

جدول ۴: خصوصیات سیستم درزه J2

زبری		پرشدهگی		بازشدهگی [mm]	
35%	زبر (R)	41%	تمیز	73%	≤1
50%	نرم (Sm)	3%	کلسیت-رس	14%	1-5
10%	R-Sm	32%	کلسیت	1%	5-10
4%	صیقلی (Sl)	3%	رس	1%	10-50
1%	نامشخص	21%	نا مشخص	11%	>50
100%	کل	100%	کل	100%	کل



شکل ۷: تصویر استریوگرافیک سیستم درزه J3

سیستم درزه J3 کمترین فراوانی را در محدوده ساختگاه دارد. تصویر استریوگرافیک و خصوصیات آن‌ها در شکل ۷ و جدول ۵ بیان شده است.

جدول ۵: خصوصیات سیستم درزه J3

زبری		پرشدهگی		بازشدهگی [mm]	
21%	زبر (R)	48%	تمیز	80%	≤1
14%	نرم (Sm)	0%	کلسیت-رس	12%	1-5
6%	R-Sm	8%	کلسیت	1%	5-10
1%	صیقلی (Sl)	0%	رس	0%	10-50
58%	نامشخص	44%	نا مشخص	7%	>50
100%	کل	100%	کل	100%	کل

دستیابی به اطلاعات کامل در مورد مقادیر مربوط به پارامترهای دخیل در طراحی یک سازه سنگی از ملزومات اساسی در اجرای یک فعالیت مهندسی می‌باشد. عموماً در مراحل مقدماتی طراحی یک پروژه، اطلاعات بسیار کم و محدودی در رابطه با خواص ژئوتکنیکی توده‌های سنگی، مقدار تنش‌های موجود و سایر عوامل موثر در طراحی در دسترس می‌باشد. روش‌های متعددی در جهت تعیین مشخصه‌های توده‌های سنگی وجود دارد، از آن جمله می‌توان به سیستم‌های طبقه‌بندی سنگ اشاره کرد. استفاده از یک یا چند نوع از سیستم‌های طبقه‌بندی بصورت همزمان با توجه به این نکته که بعضی از سیستم‌ها نسبت به دیگری در محاسبه برخی از پارامترها ارجحیت دارد، می‌تواند کمک شایانی، در تعیین بهینه و مناسب پارامترهای توده سنگ، نماید (پالمستروم، ۱۹۹۶).

به منظور رده بندی توده سنگ‌های موجود در مسیر تونل انحراف سد بختیاری از سه روش متداول شاخص کیفی توده سنگ (RQD)، رده بندی ژئومکانیک توده سنگ (RMR) و طبقه بندی توده سنگ دربرگیرنده تونل‌ها بر اساس سیستم Q استفاده شده است.

#### ۴- طبقه بندی توده سنگ اطراف تونل‌ها بر اساس سیستم RMR

بینیواسکی از مرکز مطالعات علمی و صنعتی آفریقای جنوبی (CSIR)<sup>۱</sup> طبقه بندی از سنگ‌ها را بر مبنای ویژگی‌های ژئومکانیکی آن‌ها ارائه داد که به روش RMR یا CSIR معروف است و به عنوان یکی از موفق‌ترین سیستم‌های رده بندی سنگ‌ها در مسائل تونل‌سازی به کار می‌رود. این روش در سال ۱۹۸۹ اصلاح شد. کیفیت توده‌های سنگی<sup>۲</sup> با بررسی تعدادی از عوامل فیزیکی مؤثر در مشخصات مکانیکی و مقاومتی آن تعیین می‌گردد. بینیواسکی در طبقه بندی ژئومکانیکی، پارامترهای ذیل را با یکدیگر مرتبط ساخته و اثرات آن‌ها را در نظر می‌گیرد به صورتی که تمامی این موارد را می‌توان از داده‌های گمانه‌ها و نیز در محل به دست آورد (برادی و براون، ۲۰۰۵).

۱. مقاومت فشاری تک محوری سنگ سالم.
۲. اندیس کیفی سنگ RQD.
۳. فاصله داری درزه‌ها.
۴. وضعیت درزه‌ها شامل جدایش، امتداد یافتگی، زبری سطوح و طبیعت پرکننده درزه‌ها.
۵. شرایط آب‌های زیرزمینی بر اساس میزان نفوذ آب به حفاری‌ها و نسبت فشار آب موجود در درزه‌ها به تنش اصلی.
۶. جهت یابی ناپیوستگی‌ها.

پس از تعیین وضعیت سنگ از جهت پارامترهای فوق و با توجه به جداول مربوطه، به هر یک از پارامترها امتیازی داده می‌شود و در نهایت با در نظر گرفتن مجموع امتیازهای ناشی از عوامل فوق، که به عنوان امتیاز RMR شناخته می‌شود، سنگ در یکی از پنج گروه خیلی خوب، خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف طبقه بندی می‌شود. آنچه در امتیازدهی تونلهای انحراف آب طرح سد بختیاری به کار رفته است بر مبنای روش اصلاحی است. در جدول ۶ امتیاز دهی برای واحد‌های سنگی هفت گانه تونل‌های انحراف بر مبنای سیستم RMR ارائه شده است.

بر اساس این طبقه بندی، می‌توان زمان پایداری فضای حفاری شده، مشخصات مکانیکی توده‌های سنگی، نوع و مقدار حائل مورد نیاز مقطع تونل را به طور تقریبی ارزیابی کرد (سینگ و گوئل، ۱۹۹۹). در بررسی که توسط این سیستم انجام شد مشخص شد که توده سنگ‌های واقع در مسیر تونل‌ها در رده متوسط تا خوب واقع شده اند.

<sup>1</sup> South African for Scientific and Industrial Research

<sup>2</sup> Rock Mass Rating

جدول ۶: طبقه‌بندی واحد های سنگی تونل‌های انحراف آب سد بختیاری بر مبنای سیستم RMR

SV2-SV3		SV3 (Disturbed)		SV4		SV5		SV6		SV7		پارامتر
محدوده	امتیاز	محدوده	امتیاز	محدوده	امتیاز	محدوده	امتیاز	محدوده	امتیاز	محدوده	امتیاز	
105	12	85	10	69	9	62	8	88	11	60	8	مقاومت فشاری تک محوره (Mpa)
۷۵-۵۵	15-17	40-60	12-15	65-75	16-17	75-90	17-20	65-85	16-19	50-80	13-18	RQD(%)
0/16-0/5	6	0/15-0/3	8	0/6-2	17	0/6-2	17	0/1-0/2	7	0/2-0/3	9	فاصله ناپیوستگی‌ها (m)
سطوح زبر و کمی ناهموار. جداشدگی کمتر از ۱mm کمی دیواره‌ها هوازده درزه نرم	12	کمی ناهموار، سطوح آینه گسل صاف جداشدگی کمتر از ۲mm دیواره‌های کمی هوازده	10	سطوح زبر و کمی ناهموار یا جداشدگی کمتر از ۱mm دیواره‌های کمی هوازده درزه نرم	12	سطوح زبر جداشدگی کمتر از ۱mm دیواره‌های کمی هوازده درزه سخت	20	سطوح صاف، زبر با جداشدگی بین ۱-۲mm دیواره‌های کمی هوازده	11	سطوح صاف، کمی زبر یا جداشدگی کمتر از ۵mm دیواره‌های کمی هوازده	8	وضعیت ناپیوستگی‌ها
مرطوب	7	در حال خشک شدن	8	مرطوب	7	خشک	12	خشک	12	مرطوب	۷	وضعیت آب زیرزمینی
مساعد	-2	مساعد	-2	مناسب	-5	مناسب	-5	مساعد	-2	مساعد	-2	جهت درزه‌ها
52-50		49-46		57-56		72-69		58-55		48-43		جمع امتیاز: (RMR)

#### ۵- طبقه‌بندی توده سنگ اطراف تونل‌ها بر اساس سیستم Q

این روش توسط بارتن<sup>۱</sup> و همکارانش از انستیتو ژئوتکنیک نروژ (NGI)<sup>۲</sup> ارائه شد. اساس این روش بر مبنای محاسبه مقدار Q و سپس ارائه سیستم نگهداری می‌باشد. مقدار Q از رابطه زیر محاسبه می‌شود (سینگ و گوئل، ۱۹۹۹):

$$Q = \left( \frac{RQD}{J_n} \right) \times \left( \frac{J_r}{J_a} \right) \times \left( \frac{J_w}{SRF} \right) \quad (1-3)$$

در رابطه فوق پارامترها به شرح زیر می‌باشند:

- RQD شاخص کیفیت سنگ،
- $J_n$  امتیاز تعداد دسته درزه‌ها،
- $J_r$  امتیاز عدد زبری درزه‌ها،
- $J_a$  امتیاز عدد هوازده درزه‌ها،
- $J_w$  امتیاز عدد کاهش آب درزه‌ها،
- SRF ضریب کاهش تنش می‌باشد.

به نظر می‌رسد شاخص کیفیت سنگ (Q) را می‌توان تابعی از سه پارامتر مشخص با توجه به سه کسر رابطه بالا

در نظر گرفت که عبارتند از:

<sup>1</sup> Barton

<sup>2</sup> Norwegian Geotechnical Institute



اندازه بلوک‌های سنگی ( $\frac{RQD}{J_n}$ )، مقاومت برشی بین بلوک‌های سنگی ( $\frac{J_r}{J_a}$ ) و تنش فعال ( $\frac{J_w}{SRF}$ ). با توجه به عدد Q می‌توان نوع و مقدار پوشش موقت مورد نیاز مقطع تونل را به طور تقریبی و با استفاده از گراف مربوطه تعیین کرد.

در این بخش از تحقیق مقادیر مربوط به پارامترهای این سیستم برای واحد‌های سنگی هفت گانه موجود در مسیر تونل ها، مشخص شده و بصورت جدول ۷ ارائه شده است. امتیاز بندی مربوط به این سیستم بیانگر رده کیفی ضعیف تا خوب برای سنگ های در برگیرنده این تونل ها می باشد.

جدول ۷: طبقه بندی واحدهای سنگی تونل های انحراف آب سد بختیاری بر مبنای سیستم Q

SV2-SV3		SV3(Disturbed)		SV4		SV5		SV6		SV7		پارامتر
محدوده	$\frac{J_r}{J_a}$	محدوده	$\frac{J_r}{J_a}$	محدوده	$\frac{J_r}{J_a}$	محدوده	$\frac{J_r}{J_a}$	محدوده	$\frac{J_r}{J_a}$	محدوده	$\frac{J_r}{J_a}$	
مناسب	۶۵	ضعیف تا متوسط	۵۰	مناسب	۷۰	خوب	۸۲	مناسب تا خوب	۷۵	مناسب	۶۵	اندیس کیفی سنگ (R.Q.D)
۳ دسته درزه اصلی و نامنظم	۱۲	۳ دسته درزه اصلی	۹	۲ دسته درزه اصلی و نامنظم	۶	۲ دسته درزه اصلی و نامنظم	۶	۲ دسته درزه اصلی و نامنظم	۶	۳ دسته درزه اصلی و نامنظم	۱۲	تعداد دسته درزه ها (Jn)
دیواره های درزه دگرسان نشده	۱	دیواره درزه کمی دگرسان شده، پوشش درزه ها از کانی های غیر نرم و سنگ شکسته	۲	دیواره های درزه دگرسان نشده	۱	دیواره های درزه دگرسان نشده	۱	دیواره های درزه دگرسان نشده	۱	دیواره درزه کمی دگرسان شده، پوشش درزه ها از کانی های غیر نرم و سنگ شکسته شده	۲	ماده پرکننده درزه ها (Ja)
زیر نامنظم ، مسطح	۱/۵	صاف - موجدار	۲	زیر نامنظم ، مسطح	۱/۵	زیر نامنظم ، موجدار	۳	زیر نامنظم ، مسطح	۱/۵	صاف - موجدار	۲	وضعیت سطوح درزه ها (Jf)
جریان آب یا فشار متوسط	۱/۶۶	جریان آب یا فشار متوسط	۱/۶۶	جریان آب یا فشار متوسط	۱/۶۶	خشک یا جریان آب کم	۱	جریان آب یا فشار متوسط	۱/۶۶	جریان آب یا فشار متوسط	۱/۶۶	مقدار آب بین درزه ها (Jw)
زون های ضعیف منفرد محتوی رس یا سنگ تجزیه شده و هوازده	۲/۵	زون های ضعیف منفرد محتوی رس یا سنگ تجزیه شده و هوازده	۲/۵	زون های ضعیف منفرد محتوی رس یا سنگ تجزیه شده و هوازده	۲/۵	زون های ضعیف منفرد محتوی رس یا سنگ تجزیه شده و هوازده	۲/۵	زون های ضعیف منفرد محتوی رس یا سنگ تجزیه شده و هوازده	۲/۵	زون های ضعیف منفرد محتوی رس یا سنگ تجزیه شده و هوازده	۲/۵	ضریب کاهش تنش (SRF)
۲/۱۵		۱/۴۷		۴/۶۲		۱۶/۴		۴/۹		۱/۴۳		Q

## ۶- نتیجه گیری

- بر اساس مطالعات انجام شده حین حفاری تونل انحراف آب سد بختیاری مشخص شد که:
  - سنگ‌های موجود در طول مسیر تونل از نهشته‌های عمدتاً کربناتی سازند سروک از گروه بنگستان تشکیل شده است. سازند سروک در این منطقه، از تغییرات لیتولوژیکی قابل توجهی بواسطه شرایط ویژه حوضه رسوبی برخوردار بوده است و از نظر حضور سیلیس در ترکیبات کربناتی و شکل حضور آن و نیز ضخامت لایه‌ها در این گستره به هفت بخش قابل تقسیم است که از SV1 تا SV7 نامگذاری شده‌اند.
  - قسمت اعظم این بخش‌ها از آهک‌های مارنی با ضخامت‌های مختلف تشکیل شده‌اند که گاهی با میان لایه‌های شیل همراه گردیده‌اند. بخش‌های SV4 و SV5 از آهک‌های ضخیم لایه گرهدار تشکیل شده‌اند و گرهدک‌ها عمدتاً از جنس آهک سیلیسی و به ندرت از جنس چرت می‌باشند.

۳. نتایج درزه نگاری‌های انجام شده در تمامی بخش‌های توده سنگ در بر گیرنده تونل مزبور مبین آنست که ناپیوستگی‌های اصلی محدوده مورد مطالعه چهار سری ناپیوستگی اصلی می‌باشد که عبارتند از: لایه بندی، سیستم درزه J1، سیستم درزه J2 و سیستم درزه J3.
۴. حدود ۸۰ تا ۴۰ درصد ناپیوستگی‌ها در سنگ‌های مسیر تونل بازشدگی کمتر از ۱mm دارند، ۳۷ تا ۱۲ درصد از آن‌ها بازشدگی بین ۱-۵mm دارند و ۵۰ تا ۱۳ درصد از آن‌ها بازشدگی بیش از ۵mm و یا نامشخص دارند.
۵. ۱۱ تا ۴۸ درصد از ناپیوستگی‌ها فاقد پرشدگی هستند. ۰ تا ۴۳ درصد از آن‌ها توسط کلسیت-رس، ۸ تا ۵۶ درصد از آن‌ها توسط کلسیت، ۰ تا ۱۹ درصد توسط رس پر شده‌اند و ۱۰ تا ۴۴ درصد از ناپیوستگی‌ها دارای پرشدگی نامشخصی هستند. بنابراین این امر سبب شده تا جوش خوردگی خوبی در این سنگ‌ها وجود نداشته باشد.
۶. با توجه به روش طبقه‌بندی توده سنگ (روش RMR)، توده سنگ‌های واقع در مسیر تونل انحراف در رده کیفی متوسط تا خوب قرار می‌گیرند. و بر اساس روش طبقه‌بندی توده سنگ (روش Q)، سنگ‌های مورد مطالعه در رده کیفی ضعیف تا خوب قرار گرفتند.

### منابع

۱. اجل‌لوییان، ر.؛ دادخواه، ر. و حسین میرزایی، ز.، ۱۳۸۸. کاربرد زمین شناسی مهندسی در تونل‌ها، انتشارات فرهیختگان علوی، ۳۳ص.
۲. شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، ۲۰۰۷. گزارش زمین شناسی مهندسی - سیستم انحراف آب سد بختیاری.
۳. فهیمی فر، ا.، ۱۳۷۶. سازه‌های زیرزمینی در سنگ، آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و ترابری.
4. Barton, N., 2002. Some new Q-value correlations to assist in site characterization and tunnel design. *Int J Rock Mech Min Sci*, 39(2): p. 185-216.
5. Barton, N.R., 1978. Predicting the behavior of underground opening in rock. *Manuel Rocha Memorial Lecture, Lisbon*. Oslo: Norwegin Geotech. Inst.
6. Bieniawski, Z.T., 1984. *Rock mechanics design in minning and tunneling*, A. A. Balkema publishing co.
7. Brady, B.H.G. and Brown, E.T., 2005. *Rock Mechanics For underground mining*, Third edition, published by springer.
8. Daviz K.R., 1964. *The geology of an area in southest Lurestan*, GR1104.
9. ISRM, 1981. *Internatinal Society for rock mechanics. Rock characterization, testing and monitoring- ISRM suggested methods*. Oxford: Pergamon.
10. ISRM, 1978b. *Internatinal Society for rock mechanics commission on standardization of laboratory and field test. Suggested method for the quantitative description of discontinuities in rock masses*. *Int. J. Rck Mech. Min. Sci & Geomech. Abstr. Vol 15*, 319-368.
11. Palmstrom, A. and Sing, R., 2001. *The deformation modulus of rock masses- comparisons between insitu test and indirect estimates, tunneling and underground space technology*.
12. Palmstrom, A., 1996. *Characterizing Rock Mass by the RMI for use in Practical Rock Engineering*. Published in the *Journal of Tunneling and Underground Space Technology*.
13. Palmstrom, A., 1995. *RMI-A Rock Mass Classification System For Rock Engineering Purposes*, Phd Thesis, University Of Oslo, Chapter 5.
14. Palmstorm, A., 1982. *The volumetric joint count- a useful and simple neasure of the degree of rock jointing*. *Proc. 4th congr. Int. Assn Engng Geol., Dlhi 5*, 221-228.
15. Sing, B. and Goel, R.K., 1999. *Rock Mass Classification*, University o f Roorke india, published by Elsev.
16. Wyllie, D.C. 1992. *Foundations on rock*. First edition, E&F Spon publishers, Chapman and Hall, London, 333 p.