

بررسی برخی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی سازند شمشک در محدوده شهرستان رودبار

مجتبی کمانی^{۱*}، علی ارومیه‌ای^۲، محمد جورابیچی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار گروه زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- مدیر دفتر بررسی‌های فنی و تصویب طرح‌ها، وزارت راه و شهرسازی کشور

mojtaba.kamani@modares.ac.ir

چکیده

شناخت و بررسی ویژگی‌های سازندهای سنگی به عنوان یک ضرورت در مباحث زمین‌شناسی مهندسی مطرح است. در ایران، سازند شمشک به عنوان توده سنگی شامل تناوب لایه‌های مقاوم و سست، همواره در پروژه‌های مهندسی مختلفی که در آن اجرا شده است، مشکلات مهندسی بسیاری را ایجاد کرده است. در این مقاله به بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی، شامل بررسی سنگ بکر و توده سنگ‌های این سازند در محدوده شهرستان رودبار می‌پردازیم. این بررسی‌ها شامل: انجام ۱۵ آزمایش آزمایشگاهی بر روی سنگ بکر و بیش از ۱۰۰ برداشت صحرایی از ویژگی‌های ناپیوستگی‌ها و توده سنگ‌های این سازند در منطقه است. در پایان هم با ارائه پیشنهادات و روابط تجربی، سعی در کمک به شناخت بیشتر ویژگی‌های این سازند در منطقه شده است.

کلمات کلیدی: زمین‌شناسی مهندسی، سازند شمشک، ویژگی‌های سنگ بکر، توده سنگ، شهرستان رودبار

۱- مقدمه

سازند شمشک به عنوان توده سنگی که تشکیل شده است از تناوب ماسه سنگ‌های سخت و مقاوم و لایه‌های سست شیلی و زغالی همواره در پروژه‌های مهندسی مختلفی که در آن اجرا شده است، مشکلات مهندسی بسیاری را ایجاد کرده است. این سازند در نقاط مختلف ایران گستردگی بسیاری دارد و به عنوان سنگ میزبان پروژه‌های مختلفی از جمله سد، راه و تونل، قرار گرفته است. در شهرستان رودبار استان گیلان، این سازند میزبان پروژه‌های در حال ساخت راه‌آهن قزوین-رشت و مسکن مهر رودبار و همچنین در مسیر ساخت آزادراه قزوین-رشت قرار گرفته است.

این سازند شامل تناوبی از کنگلومرا، ماسه سنگ‌های مقاوم و بخش‌های سست دارای رس شامل گل‌سنگ، شیل و شیل‌های زغالی، است. اگر به طور جداگانه به اجزاء تشکیل دهنده‌ی این سازند توجه شود با ویژگی‌هایی مواجه خواهیم شد که کم و بیش شناخته شده هستند، ولی با توجه به این نکته که ویژگی‌های سنگ بکر به همراه توده سنگ در پروژه‌های عمرانی از اهمیت خاصی برخوردار است، در این تحقیق علاوه بر بررسی ویژگی‌های سنگ بکر به بررسی توده سنگ هم پرداخته شده است.

۲- چینه‌شناسی سازند شمشک

در البرز مرکزی پیش از معرفی نام شمشک به عنوان یک واحد سنگ چینه‌ای، زمین‌شناسانی همچون: دلباخ (۱۹۶۶)، لورنز (۱۹۶۶)، اشتوکلین (۱۹۶۵ و ۱۹۹۶) و گلاورس (۱۹۶۶) بررسی‌هایی بر روی این رسوبات انجام داده‌اند. در سال ۱۹۶۶ آستر تو با ارائه یک برشی الگو و بیان ویژگی‌های بیشتر، این نهشته‌ها را به عنوان یک واحد سنگ چینه‌ای رسمی معرفی نمود. تا پیش از سال ۱۹۶۶ به رسوب‌های تریاس بالا - ژوراسیک میانی ایران اسامی گوناگونی داده شده بود که متداول‌ترین آن‌ها سازند

شمشک بود. در سال ۱۹۶۶ با پیشنهاد آسرتو، کمیته ملی چینه‌شناسی ایران این نهشته‌ها را یک واحد سنگ چینه‌ای رسمی دانست و نام سازند شمشک در فرهنگ زمین‌شناسی ایران رسمیت یافت. بر پایه‌ی پیشنهاد آسرتو (۱۹۶۸) و نیز با توجه به ویژگی‌های چینه‌شناسی این نهشته‌ها، استفاده از نام سازند نارسا است و نام گروه شمشک برای آن‌ها گویا تر است. گروه شمشک معرف واحد سنگ چینه‌ای مشخص متشکل از تناوب منظم و همگن از رسوب‌های رسی-سیلتستون و ماسه‌سنگ است که داشتن رنگ خاکستری تیره تا سبز و تناوب‌های زغال‌سنگی، کنگلومرای از ویژگی‌های آن است. این واحد سنگی یکی از گسترده‌ترین رسوب‌هایی است که در سرتاسر پهنه‌ی ایران زمین نهشته شده است (به نقل از آقائاتی، س.ع، ۱۳۷۷).

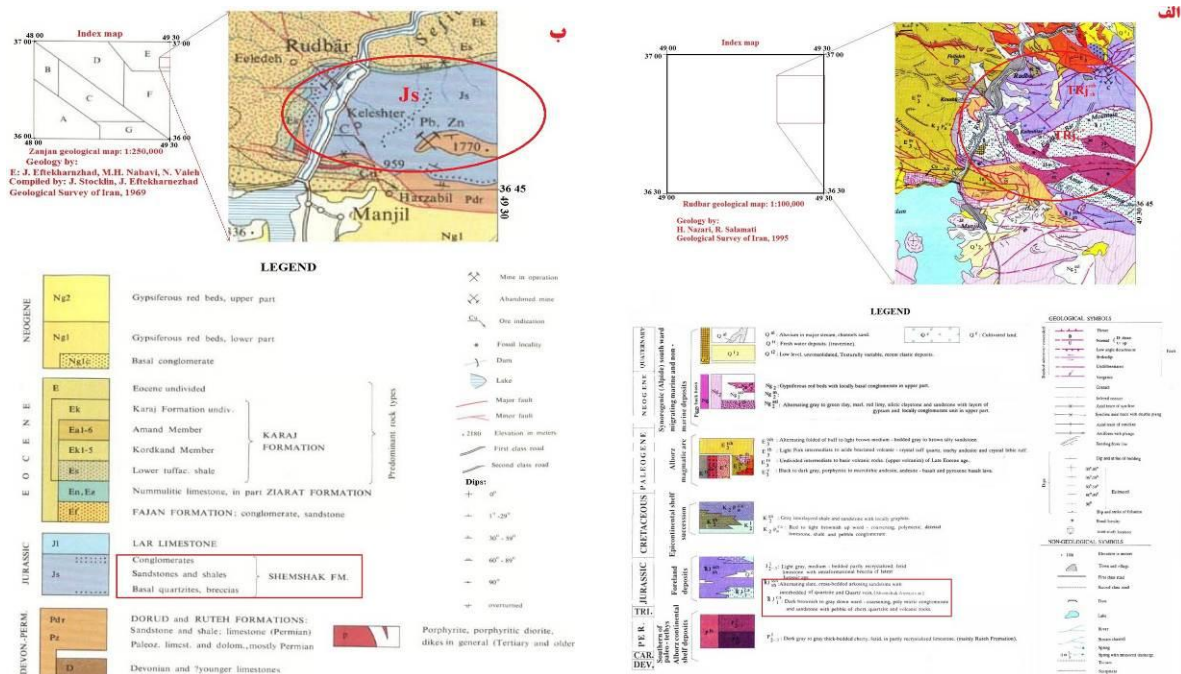
۱-۲ شمشک در منطقه

رسوبات زغال‌دار سازند شمشک، عمدتاً در محیط‌های مردابی و باتلاقی نزدیک به دریا انباشته شده‌اند که به صورت مقطعی مورد تهاجم‌های دریایی قرار می‌گرفته‌اند. نهشتگی در محیط‌های کم عمق باتلاقی سبب شده تا تغییرات ضخامت و لیتولوژی این سازند حتی در فواصل کوتاه، بسیار زیاد باشد، به همین دلیل شناسایی عضوهای چندگانه برش الگو شامل: ماسه سنگ پایینی، سری زغال‌دار پایینی، ماسه سنگ بالایی و سری زغال‌دار بالایی (آسرتو ۱۹۶۶) در همه جا امکان پذیر نیست در نتیجه معمولاً سازند شمشک عضو بندی نمی‌شود و یا عضوهای محلی دارد (آقائاتی س.ع، ۱۳۷۷). با توجه به بررسی‌های صحرایی انجام شده سازند شمشک در منطقه شامل: رسوبات آواری مربوط به پیش بوم البرز است که بطور عمده شامل تناوبی از کنگلومرا و ماسه‌سنگ و شیل با میان لایه‌های زغالی است (شکل ۱). ضخامت این مجموعه نسبتاً زیاد و غیر یکنواخت است و بجز بخش پایینی آن که میان لایه‌های توف و ماسه‌سنگ توفی دارد بقیه قسمت‌ها اختلاف‌های جزئی در رنگ و دانه‌بندی دارند. کنگلومراهای این ناحیه دارای قلوه‌های فراوان کوارتز سفید رنگ، چرت و قطعاتی از سنگ‌های آتشفشان است که جورشدگی متوسط اما گردشدگی بسیار خوب دارند. اندازه قلوه‌ها بیشتر ۵/۰ تا ۳ سانتیمتر است. سیمان کنگلومرا آهکی و بسیار مقاوم است. ماسه سنگ‌های این مجموعه هم بیشتر متوسط تا درشت دانه هستند از نظر جنس و سیمان درست مشابه کنگلومراها هستند. توف‌های ماسه سنگی و کنگلومرای بیشتر قطعات ولکانیکی دارند. لایه‌بندی در کنگلومراها مشخص و قطر آن‌ها بیشتر متوسط تا ضخیم لایه (۳۰ تا ۱۵۰ سانتیمتر) است اما بندرت ستبرای آن‌ها به حدود ۳ تا ۴ متر هم می‌رسد. شیل‌ها بیش‌تر به رنگ سبز زیتونی متمایل به تیره و خاکستری و دارای چین خوردگی هستند. معمولاً نازک لایه‌اند و بصورت میان‌لایه در بین کنگلومراها و ماسه‌سنگ‌ها دیده می‌شوند و تنها واحد کوچکی از شیل‌های نسبتاً مقاوم به رنگ قرمز در شمال منطقه وجود دارد (شکل ۱ و جدول ۵). در شکل (۲) قسمتی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰:ارودبار و ۱:۲۵۰۰۰۰:زنجان که منطقه مورد مطالعه در آن قرار گرفته است آورده شده است.





شکل ۱ - نمایش واحدهای سنگی شمشک در منطقه (الف: چین خوردگی در شیل های خاکستری، ب: درزه‌ها در شیل قرمز، پ: کنتاکت کنگلومرا و ماسه سنگ و شیل، ت: میان لایه زغالی)

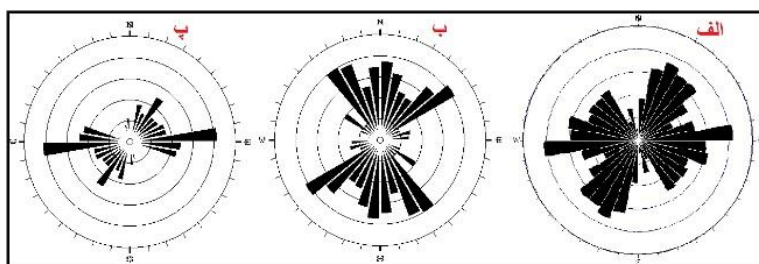


شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه (الف: نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ رودبار، ب: نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ زنجان)

۲-۲ وضعیت زمین شناسی ساختاری شمشک در منطقه

در یک دید کلی می‌توان منطقه مورد مطالعه را یک زون گسلی و خرد شده در زون البرز غربی دانست. منطقه از نظر تکنیکی فعال است. وقوع زلزله ۱۳۶۹ رودبار نشانگر این موضوع است (Sarkar H. et al., 2003). همان طور که از نقشه زمین شناسی زنجان می‌توان دریافت (شکل ۲ب)، سازند شمشک در منطقه در یک ساختار کلی تاقدیسی (تاقدیس رودبار) قرار گرفته است. به طوری که در مرکز این تاقدیس پلانژدار نهشته‌های پرمین (روته) و بعد از آن نهشته‌های ژوراسیک (شمشک) و بعد از آن نهشته‌های جوان‌تر ائوسن (کرج) قرار گرفته است. به جز این چین خوردگی اصلی بزرگ، چین‌های اصلی دیگری مانند تاقدیس کلشتر که دارای دامنه و طول موج زیادی هستند، در این سازند قرار دارند. علاوه بر این چین‌های اصلی، چین‌های کوچک‌تر، به تعداد زیاد و در واحدهای نازک لایه و یا شکل‌پذیرتر (شیل‌ها) به عنوان سامانه فرعی وجود دارند (شکل ۱ الف). وجود این چین‌ها و

گسل‌ها ساختار تکتونیکی منطقه را پیچیده و خشن کرده‌اند علاوه بر آن تکرار لایه‌ها باعث شده که پیگیری واحدهای سنگی در منطقه کار مشکلی باشد. بررسی درزه‌ها، به طور جداگانه در سه قسمت شمال، مرکز و جنوب منطقه (یال شمالی، مرکز و یال جنوبی تاقدیس اصلی رودبار) و در سازند شمشک انجام شده است (شکل ۳). با حرکت از جنوب به شمال منطقه تعداد و جهت-یافتگی درزه‌ها متفاوت شده که علت آن می‌تواند غالب شدن واحدهای شیلی و نزدیک‌تر شده به گسل فعال زلزله رودبار باشد.



شکل ۳- نمودارهای گسرخ‌ی درزه‌ها (الف: یال شمالی، ب: مرکز، پ: یال جنوبی تاقدیس)

۳- ویژگی‌های سنگ بکر

تعیین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی سنگ بکر در پروژه‌های عمرانی مانند: فضاهای زیرزمینی، سد، پایداری شیروانی‌ها و ... اهمیت ویژه‌ای دارند. در اینجا هم آزمایش‌های تعیین ویژگی‌های فیزیکی، مقاومت تراکمی تک محوره، شاخص بار نقطه‌ای و سرعت موج بر روی ۱۵ نمونه جمع‌آوری شده از منطقه طبق استانداردهای ASTM و ISRM انجام شده است. سپس بر روی نتایج آزمایش‌ها، تجزیه و تحلیل آماری (مقدار میانگین، کمینه و بیشینه هر پارامتر) صورت گرفته و سعی در ارائه روابط بین این پارامترها شده است. در اینجا برای سهولت کار سنگ‌های شمشک را به سه گروه: ماسه‌سنگی (شامل انواع ماسه سنگ‌ها مانند آرنایت، گری وک‌ها و ماسه‌سنگ توفی)، سنگ‌های رس‌دار (شامل انواع گل‌سنگ‌ها، شیل، سیلتستون و آرزیلیت) و کنگلومرا تقسیم می‌کنیم. در بیشتر موارد ویژگی‌های کنگلومراها همانند ماسه‌سنگ‌های منطقه، با کمی تفاوت در مقاومت و غیره است. به طور کلی، مقاومت کنگلومراها کمی بیش‌تر از ماسه سنگ‌ها برآورد می‌شود. نتایج در جدول‌های (۱ تا ۴) آورده شده است.

جدول ۱- مقاومت تراکمی تک محوره (MPa)

	سنگ‌های رس‌دار		ماسه سنگ		
	مرطوب	خشک	اشباع	خشک	
میانگین	۴۸/۴	۴۹/۶	۹۴/۷۵	۱۳۷/۵	
انحراف معیار	۱۹/۹	۱۶/۲	۳۴/۱۱	۳۶/۵	
کمینه	۱۵/۴	۲۴	۳۵/۶	۶۲/۳۲	
بیشینه	۹۲/۹	۱۰۰/۶	۱۷۳/۶	۱۹۷/۸	

جدول ۲- شاخص بار نقطه‌ای (MPa)

	سنگ‌های رس‌دار	ماسه سنگ	
میانگین	۱/۳۹	۶/۴۳	
انحراف معیار	۰/۴۹۸	۱/۷۳	
کمینه	۰/۴۶۷	۱/۶۴	
بیشینه	۲/۶۷	۱۰/۲۹	

جدول ۳- ویژگی های فیزیکی

وزن واحد حجم خشک (gr/cm ³)	وزن واحد حجم اشباع (gr/cm ³)	پوکی (درصد)	درصد جذب آب
ماسه سنگ			
۲/۶۷	۲/۶۸	۲/۱۵	۱/۲۱
۰/۲	۰/۲۵	۲/۳	۲/۲۱
۲/۵۳	۲/۵۳	۰/۶۴	۰/۱۸۶
۲/۷۱	۲/۷۷	۳/۶	۲/۲۳
سنگ های رس دار (در حالت خشک و مرطوب)			
۲/۷	۲/۵۹	۱/۹	۱۰/۱۶
۰/۰۹	۰/۱۲	۴/۱	۸/۶۷
۲/۶۱	۲/۶۷	۰/۳۲	۱/۲
۲/۸۱	۲/۷۶	۴	۲۶/۲۴

جدول ۴- ویژگی های دینامیکی (در حالت مرطوب)

نسبت پواسون	E(Gpa)	Vs(m/s)	Vp(m/s)	
۰/۲۷	۵۹/۴	۲۵۴۹/۵۷	۴۴۶۱/۶۲	میانگین
۰/۰۲۷۲	۶/۷۴	۱۸۲/۲۴	۲۸۹/۲۸	انحراف معیار
۰/۱۵	۱۶/۱۴	۲۱۴۴	۳۸۸۵	کمینه
۰/۲۸۵	۷۹/۴	۳۱۰۰/۸	۵۲۱۷/۵	بیشینه
۰/۲۹	۲۵/۹	۱۹۱۱/۸	۳۴۵۹/۶۰	میانگین
۰/۰۲۹۳	۶/۲۹	۳۰۱/۲۲	۴۰۹/۴۰	انحراف معیار
۰/۱۳۵	۱۰/۱	۱۱۶۱/۸	۲۵۳۰/۲۵	کمینه
۰/۳۴۶	۳۹/۲۹	۲۶۴۱/۸۲	۵۰۴۱/۲۵	بیشینه

۴- ویژگی های توده سنگ

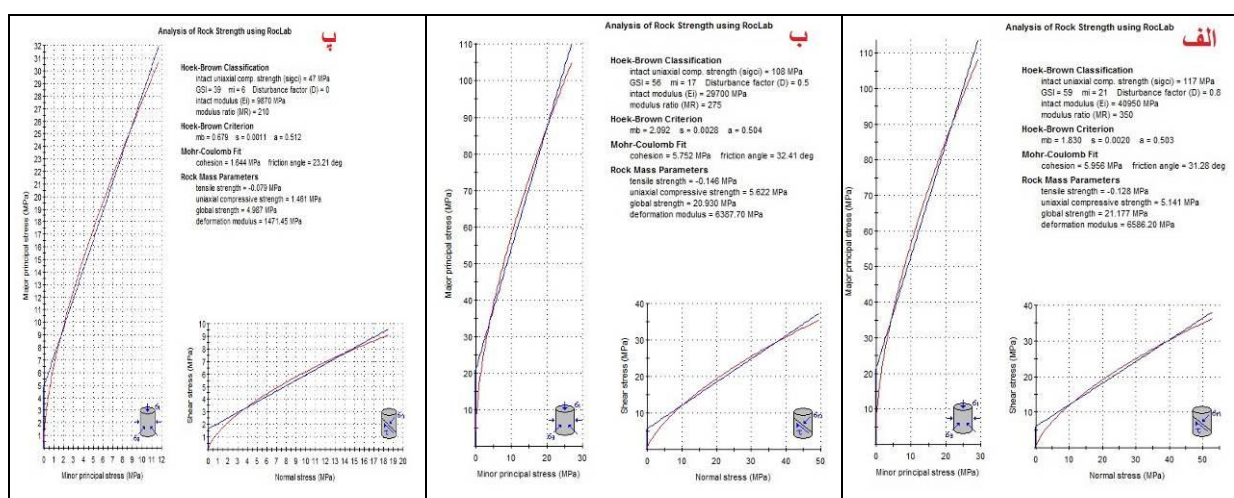
برای بررسی های توده سنگ بر طبق استانداردهای ISRM ناپوستگی ها و ویژگی های ناپوستگی ها برداشت شده است. علاوه بر آن چهار طبقه بندی توده سنگ شامل: RMR, Q, GSI, RQD، درصد عضوهای سنگی و لایه بندی هم برداشت شده است (جدول ۵). (RQD: Deere, 1964 و RMR: Bieniawski, 1989 و Q-System: Barton, 1974, GSI: Marinis et al., 2005).

سپس با بررسی آماری برداشت های انجام شده و تحلیل آن ها با نرم افزار RocLab، برای سه توده سنگ: ماسه سنگی، کنگلومرای و توده های سنگی رس دار، میانگین ویژگی های توده سنگ بدست آورده شده است (جدول ۶، شکل ۴). پارامترهای محاسبه شده برای توده سنگ در حالت میانگین غالب ویژگی های آن در منطقه است، و شامل زون های خرد شده و گسلی نیست.

جدول ۵- برخی ویژگی های زمین شناسی مهندسی مجموعه شمشک در منطقه رودبار

سنگ شناسی	RQD میانگین	RMR میانگین (±۵)	Q میانگین	درصد	تعداد دسته درزه	لایه بندی
J ^{sh} - شیل قرمز رنگ	۴۰-۳۰	۳۹	۴/۴۰	۵٪	J ₂ , J ₁	۲۰-۳۰ سانتی متر
J ^{gc,bs} - کنگلومرا و ماسه	۵۰-۵۵	۵۹	۸/۳۳	۲۰٪	J ₁ , J ₃	کنگلومرا توده ای ۳۰-۱۵۰cm، ماسه سنگ

متوسط ۱۰-۳۰، شیل نازک لایه ۲- ۳۰ mm ۶۵/۲۱۰	شیل = ۸ J ₁ , J ₃ و اتفاقی	شیل = ۳۰، شیل = ۶	۸/۳۰	۵۸	۵۵-۵۰	سنگ متناوب با شیل - J ^{C,S,V} توف ماسه سنگی و کنگلومرانی و شیل
کنگلومرا سبتر لایه، ماسه سنگ و توف متوسط تا ضخیم، شیل نازک ۶۵/۲۱۰	۲ دسته درزه اصلی J ₁ , J ₂	۴۵٪ ماسه = سنگ کنگلومرا = ۴۷، شیل = ۶	۴/۵۸	۷/۲۶	۵۰-۶۰	
کنگلومراها بیشتر متوسط تا ضخیم لایه اند (۳۰ تا ۱۵۰ سانتیمتر)، ماسه سنگ ۱۰ تا ۳۰ سانتیمتر، شیل ۲ تا ۳۰ میلیمتر	۱۰ دسته درزه اتفاقی (۳ گروه)		۴/۴۲	شیل ۴۰	۷۰-۶۰ تا ۳۵	



شکل ۴- میانگین پارامترهای توده سنگ‌ها به همراه ثابت‌های هوک و براون و موهر کلمب حاصل از نرم افزار Roclab (الف: توده سنگ کنگلومرای، ب: ماسه سنگی، پ: توده سنگ رس دار)

جدول ۶- میانگین ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی توده سنگ‌ها

φ (Deg)	C (Mpa)	Em(Gpa)	D	mi	GSI	σ (Mpa)	γ(KN/m3)	نوع توده سنگ
۳۱/۲۸	۵/۹۵۶	۶/۵۸۶	۰/۸	۲۱	۵۹	۱۱۷	۲/۷	کنگلومرا
۳۲/۴۱	۵/۷۵۲	۶/۳۸۷	۰/۵	۱۷	۵۶	۱۰۸	۲/۶۶	ماسه سنگ
۲۳/۲۱	۱/۶۴۴	۱/۴۷۱	۰	۶	۳۹	۴۷	۲/۵۰	سنگ‌های رس دار

۵- بررسی روابط تجربی

عده‌ای از محققین روابط گوناگونی برای تخمین ویژگی‌های مقاومتی و فیزیکی سنگ‌های رسوبی ارائه داده‌اند. ولی معمولاً در بیش‌تر این روابط ضرایب همبستگی (R^2) اشاره نشده است (Tsiambaos, G., Sabatakakis, 2004). پس از بررسی ویژگی‌های سنگ بکر سازند شمشک در منطقه، برخی از روابط تجربی کاربردی بدست آمده که دارای ضریب همبستگی بیش‌تری هست، آورده شده است (جدول ۷).

جدول ۷- برخی روابط تجربی برای سنگ‌های شمشک در منطقه رودبار (ارائه شده توسط نگارنده)

شماره	رابطه تجربی	ضریب همبستگی	توضیح
ماسه سنگ			
۱	$E(\text{GPa}) = 1.200 V_p(\text{Km/s})^{1.55}$	$R^2 = 0.66$	رابطه بین مدول الاستیسیته و سرعت موج طولی در حالت مرطوب
۲	$V_s(\text{m/s}) = 0.613 V_p(\text{m/s}) - 222.011$	$R^2 = 0.96$	رابطه بین سرعت موج طولی و عرضی در حالت مرطوب
۳	$UCS(\text{MPa}) = 2.901 V_p(\text{Km/s})^{2.5}$	$R^2 = 0.85$	رابطه بین سرعت موج طولی و مقاومت تراکمی تک محوره
۴	$UCS(\text{MPa}) = 18.584 I_s(50) (\text{MPa}) + 27.88$	$R^2 = 0.89$	رابطه بین مقاومت تراکمی تک محوره و شاخص بار نقطه‌ای
۵	$E(\text{GPa}) = 1.194 I_s(50) (\text{MPa}) + 5.656$	$R^2 = 0.68$	رابطه ی بین شاخص بار نقطه‌ای و مدول الاستیسیته در حالت مرطوب
سنگ‌های رس دار			
۱	$E(\text{GPa}) = 1.2018 V_p(\text{Km/s})^{1.53}$	$R^2 = 0.65$	رابطه بین مدول الاستیسیته و سرعت موج طولی در حالت مرطوب
۲	$UCS(\text{MPa}) = 26.97 I_s(50) (\text{MPa}) + 16.41$	$R^2 = 0.84$	رابطه بین مقاومت تراکمی تک محوره و شاخص بار نقطه‌ای

علاوه بر این به بررسی روابط تجربی بین سیستم‌های طبقه‌بندی توده سنگ در منطقه پرداخته شده است. محققین زیادی سعی در ارائه روابط همبستگی بین RMR و Q کرده‌اند. در صورتی که روابط ارائه شده بین GSI و سایر طبقه‌بندی‌های توده سنگ کم‌تر مورد بررسی قرار گرفته است. شاید علت آن، جدیدتر بودن این طبقه‌بندی است. در این تحقیق با بررسی‌های انجام شده در منطقه بر روی سازند شمشک رابطه بین سیستم‌های رده‌بندی توده سنگ آورده شده است (جدول ۸).

جدول ۸- روابط ارائه شده بین طبقه‌بندی‌های توده سنگ

شماره	رابطه	توضیح
۱	$RMR = 9.0 \ln Q + 44$	Bieniawski 1976، اولین رابطه ارائه شده
۲	$RMR = 5.9 \ln Q + 43$	Rutledge and Preston 1978
۳	$RMR = 5 \ln Q + 60.8$	Cameron et al., 1981
۴	$RMR = 15 \log Q + 50$	Barton, 1995
۵	$RMR = 5.48 \ln Q + 48.9$	رابطه ارائه شده توسط نگارنده $R^2 = 0.66$
۶	$RMR_{89} = GSI - 5$	اگر امتیاز شرایط آب‌زیرزمینی را ۱۵ در نظر گرفته و از RMR 1989 استفاده شود (به نقل از خانلری غ. ر. ۱۳۸۹)
۷	$GSI = 0.54 RMR + 15.43$	Munir et al., 2013, $R^2 = 0.83$
۸	$RMR = 0.978 GSI - 1.53$	رابطه ارائه شده توسط نگارنده $R^2 = 0.91$

۶- نتیجه‌گیری

میانگین و محدوده تغییرات ویژگی‌های فیزیکی، مقاومتی و دینامیکی ماسه‌سنگ‌ها و سنگ‌های رس دار سازند شمشک در جداول (۱ تا ۴) ارائه شده است. به طور مثال: میانگین وزن واحد حجم ماسه‌سنگ‌های سازند شمشک در منطقه در حالت خشک و اشباع به ترتیب برابر با ۲/۶۷ و ۲/۶۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب، میانگین پوکی ۲/۱۵ درصد و میانگین جذب آب ۱/۲۱ درصد است. علاوه

بر این میانگین ویژگی‌های مهندسی توده سنگ‌های سازند شمشک و درصد حضور آن‌ها در منطقه رودبار در جداول (۵ و ۶) بیان شده است. برای مثال: با بررسی‌های انجام شده بر روی کنگلومراهای شمشک در چندین نقطه از منطقه و میانگین‌گیری ویژگی‌های غالب و فراوان‌تر، درمی‌یابیم که دارای RQD بین ۷۰-۶۰، معمولاً دو دسته درزه، بر اساس امتیازدهی بنیواسکی ۱۹۸۹ در رده III (نسبتاً خوب)، بر اساس Q در رده نسبتاً خوب (fair rock)، بر اساس GSI در رده B/F، دارای زاویه اصطکاک داخلی توده سنگ ۳۱/۲۸ درجه، چسبندگی ۵/۹۵۶ مگا پاسکال و مدول الاستیسیته ۶/۵۸۶ گیگا پاسکال هستند.

روابط تجربی به دست آمده برای سنگ بکر ماسه‌سنگی، فراوان‌تر و با ضرایب همبستگی مناسب و قابل اعتماد هستند در صورتی که این روابط برای سنگ‌های رس‌دار (شیل، گل‌سنگ و سیلتستون‌ها) مشابه ماسه‌سنگ‌ها در بیش‌تر مواقع رابطه‌ی مستقیمی وجود دارد، اما ضرایب همبستگی به قدری پایین است که روابط همبستگی حاصله به هیچ عنوان قابل استفاده و استناد نیستند. به همین علت در جدول (۷) روابط ارائه شده برای سنگ‌های رس‌دار کم‌تر و دارای ضرایب همبستگی پایین‌تری هستند. علت اصلی این موضوع وجود ناهمسانی‌های ساختاری و ترکیبی در این سنگ‌ها و در نتیجه پراکندگی داده‌ها است. برای حل این مشکل پیشنهاد می‌گردد که از روابط چند مجهولی استفاده گردد. روابط تجربی ارائه شده برای توده سنگ با کمی بهبود نسبت به روابط قبلی ارائه شده، در منطقه برآورد شده است. به بیان دیگر روابط قبلی ارائه شده برای توده‌های سنگی مقاوم (کنگلومرای و ماسه‌سنگی) کارایی خوبی دارند ولی برای توده‌های سنگی رس‌دار و یا ترکیبی از لایه‌های سست و مقاوم عملکرد ضعیف‌تری نشان می‌دهند. این عملکرد ضعیف در بررسی پایداری قسمت‌هایی از تونل‌های راه‌آهن که دارای لایه‌های مقاوم و سست در کنار هم است، بیش‌تر نمایان می‌شود. پیشنهاد می‌گردد برای بررسی‌های پایداری این قسمت‌ها از نرم‌افزارهای رایج مانند: UNWEDGE یا UDEC و یا از طبقه‌بندی‌های تعدیل یافته مانند: جدول تعدیل اثر ضخامت و شیب لایه‌های سست طبقه‌بندی RMR برای شمشک (گنبدی م.ب. و همکاران، ۱۳۸۸) استفاده گردد.

منابع

- آقاباتی س.ع.، (۱۳۷۷)، "چینه‌شناسی ژوراسیک ایران-۱"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
خانلری، غ.، (۱۳۸۹)، "اصول مکانیک سنگ"، دانشگاه بوعلی سینا
سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نقشه‌های زمین‌شناسی ایران، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ رودبار (۱۹۹۵) و ۱:۲۵۰۰۰۰ زنجان (۱۹۶۹)
گنبدی م.ب.، ارومیه‌ای ع.، نیکودل م.ر.، لشکری پور غ.ر.، (۱۳۸۸)، "ارزیابی کارایی رده‌بندی RMR در پیش‌بینی رفتار مهندسی سازند شمشک در حفاریات زیرزمینی منطقه سیاه‌بیشه"، ششمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران

- Barton, N. (1974), "Engineering Classification of rock masses for the design of Tunnel Support." *Rock Mech.*, Vol:6(4). P.P.:189-239.
Barton N. (1995), "The influence of joint properties in modelling jointed rock masses, Proc. Int. ISRM Congr. on Rock Mech, Tokyo, Japan, T. Fujii ed., A.A. Balkema: Rotterdam, pp. 1023-1032.
Bieniawski, Z.T., (1976), "Rock mass classification in rock engineering." Symp. Exploration for rock engineering, Johannesburg, Vol. 1, p.p. 97-106.
Bieniawski, Z.T., (1989), "Engineering Rock Mass Classifications." Wiley. New York, Jon Wiley.
Cameron-Clarke IS, Budavari S, (1981), "Correlation of rock mass classification parameters obtained from borecore an in-situ observations, Int. J. Eng. Geo., Vol. 17, pp. 19-53.
Marinos, V., Marinos, P., Hoek, E., (2005), "The geological strength index: applications and limitations," *Bull Eng Geol Environ*, 64, p.p. 55-65.
Munir, K. Farooq, K., Mujtaba H., (2013), "A COMPARATIVE ANALYSIS OF ROCK MASS CLASSIFICATION SYSTEMS FOR HYDROPOWER PROJECTS OF PAKISTAN," *Pakistan Journal of Science* (Vol. 65 No. 1, p.p. 108-113
Rutledge JC, Preston RL, (1978), "Experience with engineering classifications of rock", Proc. Int. Tunnelling Symp. Tokyo, Japan, pp. A3.1-A3.7.
Sarkara, H., Hamzehloob, K.N. Khattric, (2003), "Estimation of causative fault parameters of the Rudbar earthquake of June 20, 1990 from near field SH-wave data" *Elsevier Tectonophysics* 364, p.p 55- 70.
Tsiambaos, G., Sabatakakis, N., (2004), "Considerations on strength of intact sedimentary rocks", *Elsevier, Engineering Geology*, Vol. 72, p.p. 261-273.