

## مطالعه خصوصیات زمین شناسی مهندسی سنگ آهک سازند آسماری در شمال شرق مسجد سلیمان

محمدحسین قبادی<sup>۱\*</sup> حسن محسنی<sup>۲</sup> محمدرضا رسولی فرح<sup>۳</sup>

پذیرش مقاله: ۸۸/۶/۴

دریافت مقاله: ۸۷/۷/۲

### چکیده:

شناخت خصوصیات زمین شناسی مهندسی سازندهای سنگی ایران به عنوان یک ضرورت مطرح است. در این پژوهش بر اساس مطالعات سنگ شناسی و با انجام آزمایش های مکانیک سنگ بر روی ۲۰ نمونه از سنگ آهک های سازند آسماری در شمال شرق مسجد سلیمان ویژگی های زمین شناسی مهندسی آنها تعیین و ارتباط خصوصیات سنگ شناسی با خصوصیات فیزیکی و مکانیکی بررسی شده است. بر اساس مطالعات پتروگرافی و مطابق با رده بندی دانهام عمده سنگ های کربناته سازند آسماری از نوع بایوکلاست پکستون (Bioclast packstone) و بایوکلاست وکستون (Bioclast wackestone) هستند. سنگ آهک های سازند آسماری تخلخل خیلی کم تا متوسط دارند و نفوذپذیری آنها خیلی کم تا کم می باشد. حداقل و حداکثر عدد سختی برای این سنگ ها به ترتیب ۱۸ و ۳۹ می باشد. با توجه به رده بندی مهندسی سنگ بکر و بر اساس دو عامل مقاومت تراکمی تک محوری و نسبت مدولی سنگ آهک های سازند آسماری در رده CL قرار می گیرند.

**کلید واژه ها:** سنگ آهک، سازند آسماری، خصوصیات پتروگرافیک، ویژگی های فیزیکی، ویژگی های مکانیکی، مسجد سلیمان

۱- عضو هیات علمی گروه زمین شناسی دانشگاه بوعلی سینا، همدان amirghobadi@yahoo.com

۲- عضو هیات علمی گروه زمین شناسی دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، زمین شناسی مهندسی دانشگاه بوعلی سینا، همدان

\* مسئول مکاتبات

## مقدمه

شناخت ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی سازندهای سنگی با انجام بررسی‌های صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی امکان‌پذیر است. در مطالعات آزمایشگاهی با تهیه مقاطع نازک سنگ و بررسی آن نسبت به تعیین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگ بکر اقدام می‌شود. بنابراین با مطالعه مقاطع نازک سنگ علاوه بر شناخت ترکیب کانی‌شناسی، خصوصیات فیزیکی مانند تخلخل تعیین می‌گردد (Bell, 1998). عموماً تخلخل تعیین شده در مقاطع نازک سنگ با تخلخل محاسبه شده از طریق آزمایش‌های مکانیک سنگ انطباق خوبی نشان می‌دهد. در این مطالعات می‌توان مشاهده کرد که در سنگ‌های کربناته فرآیند دولومیتی شدن موجب افزایش تخلخل در سنگ خواهد شد. بنابراین چنانچه فرآیند سیمانی شدن در سنگ اتفاق نیفتاده باشد انتظار می‌رود که سنگ آهک‌های دولومیتی شده به دلیل داشتن تخلخل زیادتر مقاومت کمتری داشته باشند (Dearman, 1981; Warren, 2000; Burnett & Epps, 1979). سازند آسماری به عنوان معروف‌ترین سازند کربناته ایران در مناطق وسیعی از غرب و جنوب غرب ایران گسترش دارد. بسیاری از سدهای مخزنی مانند سدهای کارون ۱، کارون ۳ و نیز سد مارون در استان خوزستان روی این سازند بنا شده و سد سیمره نیز در استان ایلام بر روی آن در حال احداث می‌باشد (Ghobadi, et al, 2005; Ghobadi, 2005). قبادی، (۱۳۷۸، قبادی و رجب‌پور ۱۳۷۸). با توجه به اینکه سنگ‌های آهکی در سازند آسماری رفتاری شکننده دارند فراوانی درزه‌ها باعث افزایش تخلخل و نفوذپذیری شده و این تغییر در خصوصیات فیزیکی، ویژگی‌های مهندسی سنگ را تغییر خواهد داد (McQuillan, 1967). در این پژوهش با هدف شناخت بیشتر خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی سازند آسماری، بر روی ۲۰ نمونه از سنگ‌های کربناته این سازند مطالعات پتروگرافی انجام شده و با تعیین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی نمونه‌ها ارتباط میان ویژگی‌های مذکور مورد مطالعه قرار گرفته است.

## زمین‌شناسی

سازند آسماری در زمین‌شناسی ایران جایگاه ویژه‌ای دارد. این سازند به طور عمده متشکل از سنگ آهک‌های مقاوم به رنگ کرم تا قهوه‌ای می‌باشد در منطقه مورد مطالعه به سه بخش با خصوصیات زیر تقسیم می‌شود. آسماری پائینی متشکل از سنگ آهک آرژیلیتی است که بخشی از آن به ضخامت ۴ متر نفوذپذیری نسبتاً بالایی دارد. این قشر تراوا در زیر یک واحد شیلی محصور است. آسماری میانی در قسمت بالا متشکل از چند لایه مارنی با ضخامت کمتر از ۳ متر است و در قسمت پائین از سنگ آهک به شدت درزه‌داری تشکیل شده که لایه‌های مارنی آن را از سنگ آهک کارستی بالایی جدا می‌کند. در آسماری پائینی و آسماری میانی گسترگی انحلال چندان شدید نیست و حفرات کمی در آن وجود دارد. آسماری بالایی شامل ۵۰ متر سنگ آهک با بین لایه‌های دولومیتی حفره دار، ۵۵ متر دولومیت توده‌ای و ۶۰ متر سنگ آهک توده‌ای است. آسماری بالایی دارای حفرات انحلالی بوده و گسترش کارست در آن بیشتر از آسماری پائینی و میانی می‌باشد (آقانباتی، ۱۳۸۳). با توجه به وضعیت سنگ‌شناسی نخستین خصوصیت مهندسی سازند آسماری انحلال‌پذیری سنگ‌های کربناته است. این ویژگی زمین‌شناسی مهندسی باید در زمان احداث سدها به منظور شناخت بهتر شرایط زمین‌شناسی ساختگاه مورد مطالعه و ارزیابی قرار بگیرد (James & Kirkpatrick, 1980; Ghobadi, 1997).

## روش کار

به منظور پی بردن به نقش خصوصیات پتروگرافی سنگ آهک‌های سازند آسماری در ارزیابی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی مانند تخلخل و مقاومت، از تعداد ۲۰ نمونه سنگ آهک برش نازک تهیه شد و پس از رنگ‌آمیزی با محلول آلزاین قرمز به روش دیکسون مورد مطالعه قرار گرفت (Dickson, 1980). نامگذاری نمونه‌ها به روش دانهام صورت گرفت (Dunham, 1962). برای شناخت اجزای بایوکلاستی از روش آدامز و بوژیس استفاده گردید (Adams & Bougeois, 1967).

پکستون (Bioclast packstone) و بایوکلاست وکستون (Bioclast wackestone) هستند. پکستون‌ها سنگ‌های آهکی هستند که در آنها دانه‌ها با هم تماس دارند و بافت (Fabric) به هم پیوسته می‌سازند و فضاهای بین دانه‌ها با خمیره میکرایتی پر شده است.

نمونه‌های Absp-17 و Absp-18 بایوکلاست پکستون‌هایی هستند که در آنها ذرات بایوکلاستی در خمیره‌ای فراوان و تیره‌رنگ قرار دارند (شکل ۲). وکستون‌ها سنگ‌های آهکی هستند که متن اصلی سنگ را گل آهکی تشکیل می‌دهد. نمونه‌های Absp-4 و Absp-5 بایوکلاست وکستون‌هایی هستند که قالب اصلی سنگ را گل آهکی تشکیل می‌دهد (شکل ۳). دولستون مانند نمونه Absp-3 (شکل ۴) و گل سنگ‌های آهکی مانند نمونه Absp-16 (شکل ۵) در سنگ

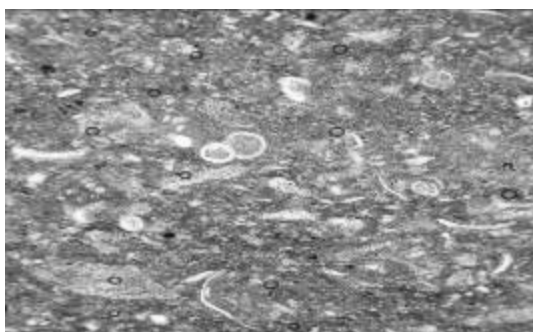
بررسی نمونه‌های دستی بیانگر انواع تخلخل حفره‌ای، کانالی، قالبی، درز و شکاف و استیلولیتی بودن در این سنگ‌ها می‌باشد (شکل ۱). در واقع این تخلخل‌ها را می‌توان با عوامل برونزاد یعنی تکتونیک و نقش وزن طبقات فوقانی و عوامل درونزاد یعنی خواص پتروگرافی و بافتی مربوط دانست. وجود اجزای ناپایدار در ترکیب سنگ و چرخش آزادانه سیالات دیاژنزی در رسوباتی با بلوغ بافتی خوب و نفوذپذیری مناسب، انحلال آنها را تسهیل می‌کند و به گسترش تخلخل کمک می‌نماید (Tucker & Wright, 1990).

### سنگ‌شناسی

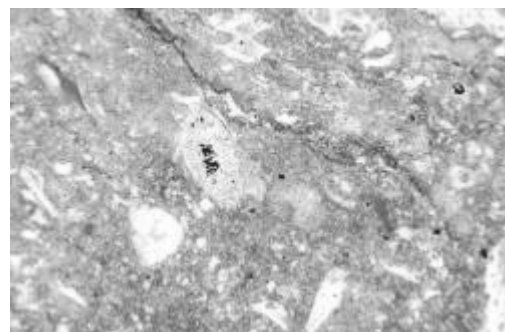
نتایج مطالعات انجام شده بر روی مقاطع نازک ۲۰ نمونه سنگ آهک آسماری در جدول ۱ نشان داده شده است. عمده نمونه‌ها بر اساس رده بندی دانهام (Dunham) بایوکلاست



شکل ۱- گسترش تخلخل کانالی در اثر پیشرفت انحلال در سطح درزه که منجر به کاهش مقاومت سنگ می‌گردد.



Absp-17



Absp-18

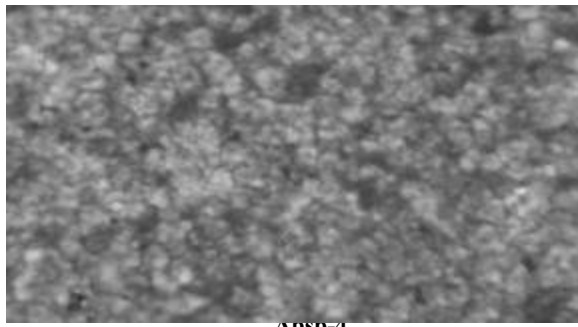
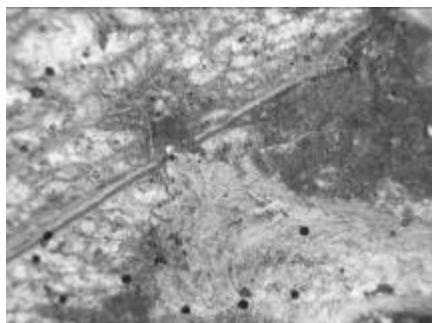
شکل ۲- نمونه Absp-17، بایوکلاست پکستون با خمیره فراوان، نمونه Absp-18، بایوکلاست پکستون با گل فراوان. ۲۰x, ppl

جدول ۱- مشخصات سنگ شناسی نمونه‌های مورد مطالعه

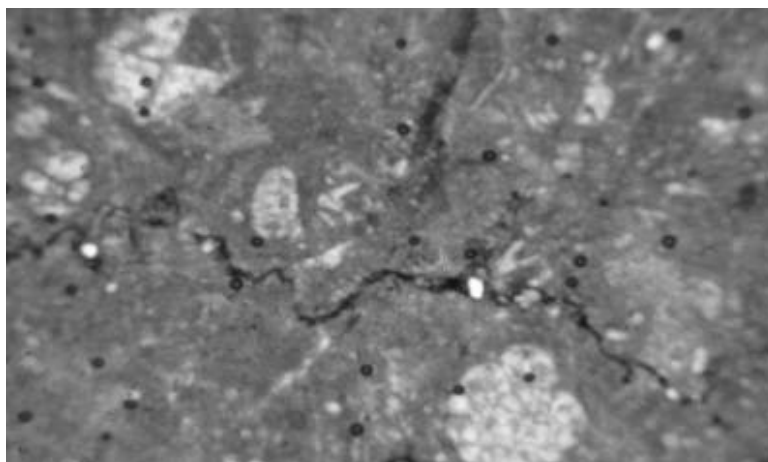
نام نمونه	نام سنگ	ترکیب اصلی سنگ	
		ذرات فسیل و کانی‌ها	درصد گل آهکی (ذرات در حد رس)
Absp-1	Bioclast packestone	خرده‌های کرینوتید، فرامینیفر، جلبک، مرجان	۲۰
Absp-2	Silty lime mudstone	کانی‌های رسی	۹۰
Absp-3	Dolostone	دولومیت‌های ریزبلور	۳
Absp-4	Bioclast wackestone	خرده‌های دوکفه‌ای، فرامینیفر و گاستروپود	۸۰
Absp-5	Bioclast wackestone	فرامینیفر، دوکفه‌ای، جلبک قرمز	۷۵
Absp-6	Breccia limestone	بلورهای بسیار کوچک دولومیت	۶۰
Absp-7	Bioclast wackestone	دوکفه‌ای، قطعات جلبک قرمز	۴۵
Absp-8	Bioclast packstone	دوکفه‌ای، کرینوتید، فرامینیفر	۷۵
Absp-9	Coral boundstone	تیغه‌های آراگونیتی مرجان	۵۵
Absp10	Bioclast wackestone / packstone	دوکفه‌ای، آنکوئید و فرامینیفر	۶۰
Absp-11	Bioclast wackestone / packstone	فرامینیفر، میلیولید فراوان و خرده‌های بایوکلاستی	۵۰
Absp-12	Bioclast packstone	میلیولید فراوان، جلبک قرمز	۲۰
Absp-13	Bioclast packstone	قطعات شکسته شده بایوکلاستی	۸۰
Absp-14	Foraminiferal packstone	فرامینیفر فراوان، دوکفه‌ای، گاستروپود، اکتینودرم	۲۵
Absp-15	Bioclast packstone	فرامینیفر، کرینوتید، جلبک، دوکفه‌ای	۴۵
Absp-16	Lime mudstone	کانی‌های رسی	۱۰۰
Absp-17	Bioclast packstone	خرده‌های شکسته شده بایوکلاستی و مخلوطی از فرامینیفرها	۵۰
Absp-18	Bioclast packstone	قطعات بایوکلاست خرد شده	۴۵
Absp-19	Lime mudstone	رس، بلورهای بسیار ریز دولومیت	۱۰۰
Absp-20	Bioclast packstone	فرامینیفر در زمینه‌ای از گل آهکی تیره	۳۵

نمونه Absp-5 یک بایوکلاست وکستون با اجزاء بایوکلاستی فراوان است که حدود ۷۵٪ نمونه گل آهکی دارد. نمونه Absp-6 از نظر بافتی یک برش آهکی است. اجزای زاویه‌دار از جنس گل آهکی حاوی بلورهای بسیار کوچک دولومیت است که جانشین گل آهکی شده‌اند. فضای بین قطعات را سیمان کلسیت اسپاری پر نموده است.

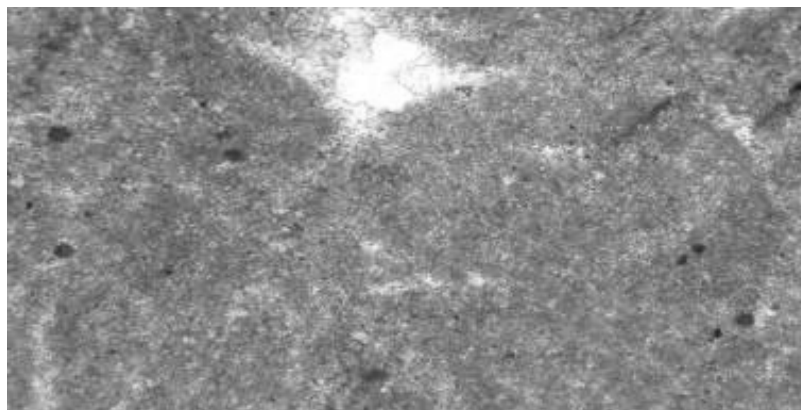
آهک‌های مورد مطالعه موجود هستند. نمونه Absp-1 در مقیاس میکروسکوپی فاقد تخلخل است و لابلای ذرات را گل آهکی پر نموده است. نمونه Absp-2 یک گل سنگ آهکی سیلتی است که در متن گل، دانه‌های کوارتز در اندازه سیلت دیده می‌شود.



شکل ۳- نمونه Absp-4 یک بایوکلاست وکستون، نمونه Absp-5 یک بایوکلاست وکستون که در آن تخلخل برشی با سیمان کلسیتی پر شده است.  $20\times$  xpl



شکل ۴- نمونه Absp-3 یک دولستون که تخلخل بین بلوری و حفره‌ای در آن توسط سیمان کلسیت اسپاری پر شده است،  $20\times$  xpl



شکل ۵- نمونه Absp-16 یک گل سنگ آهکی، میکرایتی شدن آلوم‌ها در یک محیط آرام، سبب محو شدن کامل ساختمان داخلی فسیل شده است،  $20\times$  ppl

توسط سیمان کلسیتی پر شده‌اند. نمونه Absp-9 یک باندستون مرجانی (Coral boundstone) می‌باشد که تیغه‌های آراگونیتی آن حل شده و به دنبال آن تخلخل حاصله توسط کلسیت پر شده است. نمونه Absp-10 شامل قطعات

نمونه Absp-7 با خرده‌های بیوکلاستی شکسته شده، دوکفه‌ای، قطعات جلبک قرمز، دارای دو نسل شکستگی پر شده با کلسیت است. نمونه Absp-8 با جورشدگی بد و بلوغ بافتی، دارای دو نسل شکستگی به ابعاد ۱ mm و ۳ mm می‌باشد که

درصد تخلخل حفره‌ای در این نمونه به چشم می‌خورد.

### مطالعات زمین‌شناسی مهندسی

به منظور شناخت ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی سنگ آهک‌های سازند آسماری بعد از انجام مطالعات سنگ‌شناسی، آزمایش‌های مکانیک سنگ به شرح زیر بر روی نمونه‌های مذکور انجام شد تا بتوان ارتباط بین خصوصیات زمین‌شناسی و ویژگی‌های مهندسی را بررسی کرد.

### ۱- تعیین خصوصیات فیزیکی

بعد از آماده‌سازی ۲۰ نمونه جمع آوری شده از صحرا، خصوصیات فیزیکی آنها شامل درصد رطوبت ( $\omega\%$ )، وزن واحد حجم مرطوب ( $\gamma_m$ )، خشک ( $\gamma_d$ ) و اشباع ( $\gamma_{sat}$ )، درصد تخلخل ( $n\%$ )، نسبت تخلخل یا درجه پوکی ( $e$ ) و شاخص پوکی یا درصد جذب آب ( $I_v$ ) تعیین گردید (Brown, 1981) که نتایج در جدول (۲) آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود رطوبت نمونه‌ها کم و از ۰/۰۳ تا ۰/۲۳ درصد متغیر است. تغییرات درصد تخلخل نمونه‌ها بین خیلی کم تا متوسط متغیر می‌باشد. میزان جذب آب از ۰/۰۷ تا ۲/۴۹ درصد تغییر می‌کند.

بایوکلاستی از قبیل دوکفه‌ای، آنکوئید و فرامینیفر می‌باشد. نمونه Absp-11 حاوی میلیولید فراوان و مقداری خرده‌های بایوکلاستی است. نمونه Absp-12 دارای میلیولید فراوان با مقداری جلبک قرمز است. در این نمونه تخلخل حاصل از شکستگی توسط کلسیت پر شده است.

نمونه Absp-13 حاوی قطعات شکسته شده بایوکلاستی با جهت‌یابی ترجیحی است. در نمونه Absp-14 فرامینیفر فراوان‌تر از سایر ذرات است. نمونه Absp-15 دارای قطعات فرامینیفر، کرینوئید، جلبک قرمز و دوکفه‌ای می‌باشد. نمونه Absp-16 یک گل سنگ آهکی با مقدار ناچیزی اجزای بایوکلاستی است. شکستگی‌های پر شده با کلسیت اسپاری در آن مشاهده می‌شود (شکل ۵).

نمونه Absp-17 با خرده‌های شکسته شده بایوکلاستی پر شده که حدود ۵۰٪ گل آهکی دارد. نمونه Absp-18 متشکل از تجمع جور نشده و متنوع قطعات بایوکلاست خرد شده با بلوغ بافتی بد می‌باشد (شکل ۲). نمونه Absp-19 یک گل سنگ آهکی دولومیتی شده با بلورهای بسیار ریز است که دو سری شکستگی‌های با قطر تقریبی ۳ و ۱ mm توسط سیمان کلسیت اسپاری پر شده است. در نمونه Absp-20 میزان فرامینیفر بیشتر از سایر اجزای بایوکلاستی است. حدود ۳

جدول ۲- مشخصات فیزیکی نمونه‌های مورد آزمایش

Sample No.	$\omega\%$	$G_s$	$\gamma_d$ ( $g/cm^3$ )	$\gamma_m$ ( $g/cm^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $g/cm^3$ )	$n$ (%)	$e$	$I_v$ (%)
Absp-1	0.03	2.70	2.67	2.68	2.69	0.90	0.01	0.34
Absp-2	0.08	2.59	2.58	2.58	2.59	0.51	0.01	0.20
Absp-3	0.09	2.72	2.62	2.63	2.66	3.41	0.04	1.30
Absp-4	0.05	2.70	2.67	2.68	2.69	0.69	0.01	0.26
Absp-5	0.04	2.67	2.62	2.63	2.65	1.29	0.01	0.49
Absp-6	0.04	2.69	2.66	2.67	2.68	0.61	0.01	0.23
Absp-7	0.09	2.63	2.51	2.52	2.56	4.14	0.04	1.64
Absp-8	0.04	2.63	2.61	2.62	2.63	0.21	0.002	0.08
Absp-9	0.04	2.63	2.53	2.54	2.57	3.31	0.03	1.30
Absp-10	0.05	2.62	2.50	2.51	2.55	4.28	0.04	1.71
Absp-11	0.02	2.70	2.67	2.68	2.69	0.33	0.003	0.12
Absp-12	0.05	2.72	2.70	2.71	2.72	0.52	0.005	0.19
Absp-13	0.23	2.61	2.50	2.51	2.54	4.21	0.04	1.68
Absp-14	0.03	2.82	2.76	2.78	2.79	1.43	0.015	0.52
Absp-15	0.07	2.69	2.58	2.59	2.63	3.58	0.040	1.38
Absp-16	0.13	2.63	2.59	2.60	2.61	1.31	0.013	0.50
Absp-17	0.04	2.63	2.61	2.62	2.63	0.47	0.005	0.18
Absp-18	0.03	2.68	2.66	2.67	2.68	0.20	0.002	0.07
Absp-19	0.08	2.80	2.64	2.65	2.71	5.35	0.060	2.02
Absp-20	0.06	2.61	2.44	2.45	2.51	6.11	0.070	2.49

۲- تعیین هدایت هیدرولیکی ( $K$ )

جهت ارزیابی هدایت هیدرولیکی روی ۱۸ نمونه، آزمایش نفوذپذیری به روش بار هیدرولیکی متغیر انجام گرفت (فهیمی فرو سروش، ۱۳۸۰) و نتایج در جدول ۳ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود میزان هدایت هیدرولیکی نمونه‌های مورد آزمایش از حداقل تا حداکثر  $5.48 \times 10^{-9} \text{ cm/s}$  برای نمونه Absp-12 تا حداکثر  $7.33 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$  برای نمونه Absp-10 تغییر نشان می‌دهد. مطابق با رده‌بندی انجام شده برای شناخت رده نفوذپذیری سنگ‌ها می‌توان سنگ آهک‌های آسماری را در رده سنگ‌های با نفوذپذیری کم تا خیلی کم قرارداد (Bell, 1993).

## ۳- تعیین سختی سنگ

سختی سنگ‌ها معیاری فیزیکی برای ارزیابی مقاومت سنگ محسوب می‌شود. با توجه به اینکه آزمایش سختی سنگ آزمایشی غیرمخرب است و ارتباط آن با وزن واحد حجم شناخته شده می‌باشد، به منظور شناخت مقاومت سنگ در

پروژه‌های کوچک به کار گرفته می‌شود. در این پژوهش سختی نمونه‌ها با استفاده از چکش اشمیت نوع L در آزمایشگاه تعیین گردید، که نتایج در جدول ۴ نشان داده شده است. جهت ضربه چکش در آزمایش‌های صورت گرفته عمود بر سطح سنگ انتخاب شده، بنابراین نیازی به تصحیح اعداد سختی نبوده است. همانطور که ملاحظه می‌شود حداقل عدد سختی برای سنگ آهک‌های آسماری ۱۸ و حداکثر آن ۳۹ می‌باشد.

۴- تعیین مقاومت تراکمی تک محوری ( $\sigma_c$ )

تعیین مقاومت سنگ از مهم‌ترین و متداول‌ترین عوامل در مطالعات زمین‌شناسی مهندسی محسوب می‌گردد. در عمل و به منظور افزایش سرعت مطالعات از آزمون مقاومت بار نقطه‌ای برای محاسبه مقاومت تک محوری سنگ استفاده می‌کنند (Frankline & Broch, 1972). در این پژوهش با توجه به اینکه تعیین مدول ارتجاعی سنگ مدنظر بوده است با انجام

جدول ۳ - نتایج آزمایش نفوذپذیری به منظور تعیین هدایت هیدرولیکی نمونه‌ها

Sample No.	$K(\text{cm/s})$
Absp-1	$7.15 \times 10^{-8}$
Absp-2	$1.18 \times 10^{-8}$
Absp-3	$1.81 \times 10^{-8}$
Absp-4	$3.92 \times 10^{-8}$
Absp-5	$9.81 \times 10^{-9}$
Absp-6	$4.97 \times 10^{-7}$
Absp-7	$3.59 \times 10^{-7}$
Absp-8	$6.83 \times 10^{-9}$
Absp-9	$7.77 \times 10^{-9}$
Absp-10	$7.33 \times 10^{-7}$
Absp-11	$1.22 \times 10^{-8}$
Absp-12	$5.48 \times 10^{-9}$
Absp-13	$4.47 \times 10^{-8}$
Absp-14	$1.58 \times 10^{-8}$
Absp-15	$5.05 \times 10^{-7}$
Absp-18	$1.56 \times 10^{-7}$
Absp-19	$1.57 \times 10^{-7}$
Absp-20	$4.87 \times 10^{-7}$

جدول ۴ - نتایج آزمایش‌های تعیین سختی نمونه‌ها

Sample No.	عدد سختی (SHV)
Absp-1	32
Absp-2	36
Absp-3	33
Absp-4	27
Absp-5	33
Absp-6	33
Absp-7	24
Absp-8	33
Absp-9	26
Absp-10	30
Absp-11	27
Absp-12	37
Absp-13	23
Absp-14	29
Absp-15	25
Absp-16	18
Absp-17	22
Absp-18	32
Absp-19	35
Absp-20	39

و قطر = D) برای انجام آزمایش را نداشته‌اند، زیرا طول آنها ۲ تا ۲/۵ برابر قطرشان نبود ( $L \geq 2 - 2.5D$ ). همانطور که در جدول مشاهده می‌شود نمونه‌های مورد آزمایش از نظر میزان مقاومت تراکمی تک محوری در رده C قرار می‌گیرند (Bell, 2000). یعنی در هر سه حالت طبیعی، خشک و اشباع سنگ‌ها مقاومت متوسط دارند.

آزمایش مقاومت تراکم تک محوری مقاومت نمونه‌ها تعیین گردیده است (جدول ۵). با توجه به محدودیت نمونه‌ها ۵ نمونه برای تعیین مقاومت سنگ با رطوبت طبیعی، ۶ نمونه در شرایط اشباع و ۳ نمونه در شرایط خشک مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. سایر نمونه‌های اخذ شده، ابعاد مناسب (طول  $L$ )

جدول ۵ - نتایج آزمایش مقاومت تراکمی تک محوری ( $\sigma_c$ ) نمونه‌ها

Sample No.	حالت خشک $\sigma_c$ (MPa)	حالت مرطوب $\sigma_c$ (MPa)	حالت اشباع $\sigma_c$ (MPa)
Absp-15	110	-	-
Absp-4	83	-	-
Absp-12	62	-	-
Absp-10	-	87	-
Absp-7	-	73	-
Absp-20	-	62	-
Absp-3	-	57	-
Absp-18	-	-	87
Absp-19	-	-	76
Absp-1	-	-	65
Absp-6	-	-	65
Absp-9	-	-	44
Absp-13	-	-	20
میانگین	85	70	60



## ۶- تعیین مدول مماسی

بر اساس رابطه  $\sigma = \frac{E}{\varepsilon}$  بین مقاومت تراکم تک محوری و مدول مماسی ارتباط مستقیمی وجود دارد. با توجه به ترسیم منحنی تنش - تغییر شکل نمونه ها، مدول مماسی برای ۵۰٪ مقاومت تراکم تک محوری سنگ‌ها محاسبه شده است (جدول ۶).

۷- محاسبه نسبت مدولی ( $E_r$ )

با داشتن مقاومت تراکم تک محوری نمونه‌ها و مدول مماسی

برای ۵۰٪ مقاومت نهایی سنگ، مقادیر نسبت مدولی محاسبه گردیده است (جدول ۷).

همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود مقادیر نسبت مدولی در هر سه حالت (خشک، مرطوب و اشباع) کمتر از ۲۰۰ می‌باشد. بنابراین بر اساس دو عامل مقاومت تراکمی تک محوری و نسبت مدولی سنگ‌های آهک سازند آسماری با توجه به رده‌بندی مهندسی سنگ بکر در رده CL قرار می‌گیرند (Bell, 1983). یعنی نمونه‌های مورد آزمایش مقاومت تراکمی تک محوری متوسط و نسبت مدولی پائینی دارند.

جدول ۶- مقادیر مدول مماسی ( $E_t$ ) نمونه‌ها

Sample No.	حالت خشک $E_t$ (GPa)	حالت مرطوب $E_t$ (GPa)	حالت اشباع $E_t$ (GPa)
Absp-15	13.4	-	-
Absp-4	4.9	-	-
Absp-12	8.0	-	-
Absp-10	-	8.0	-
Absp-7	-	8.4	-
Absp-20	-	8.3	-
Absp-3	-	3.1	-
Absp-18	-	-	6.2
Absp-19	-	-	4.8
Absp-1	-	-	4.8
Absp-6	-	-	10.5
Absp-9	-	-	5.9
Absp-13	-	-	3.7
میانگین	8.8	6.9	6.0

جدول ۷ - مقادیر نسبت مدولی ( $E_r$ ) نمونه‌ها

Sample No.	حالت خشک ( $E_r$ )	حالت مرطوب ( $E_r$ )	حالت اشباع ( $E_r$ )
Absp-15	121	-	-
Absp-4	59	-	-
Absp-12	129	-	-
Absp-10	-	91	-
Absp-7	-	114	-
Absp-20	-	131	-
Absp-3	-	53	-
Absp-18	-	-	71
Absp-19	-	-	62
Absp-1	-	-	73
Absp-6	-	-	161
Absp-9	-	-	134
Absp-13	-	-	185

## بحث

بوده و تخلخل‌های سنگ و گسترش انحلال عمدتاً تحت کنترل همین عوامل توسعه یافته‌اند. هرچند ترکیب اولیه آراگونیتی برخی اجزا بایوکلاستی مانند گاستروپود، دوکفه‌ای و دیواره مرجان در اندکی از نمونه‌ها (مانند نمونه‌های شماره ۷، ۸، ۹ و ۱۴) نیز زمینه مساعدی برای انحلال انتخابی فراهم نموده و اندک تخلخل قالبی، ناشی از همین مسئله است. پدیده دولومیتی شدن که عموماً زمینه مناسبی برای گسترش تخلخل محسوب می‌شود در مورد نمونه‌های مورد بررسی چندین موثر نبوده است. زیرا دولومیتی شدن در نمونه‌های با گل زیاد سبب شده که بلورهای دولومیتی در زمینه‌ای از گل شناور شده و تخلخل بین بلوری قابل ملاحظه‌ای ایجاد نگردد (مانند نمونه شماره ۳). تخلخل اندک بین بلوری حاصله نیز توسط سیمان کلسیتی پر شده است.

به طور کلی همان‌گونه که ذکر گردید، کانی‌شناسی اجزای تشکیل دهنده و بافت سنگ (جورشدگی و میزان نفوذپذیری) عواملی هستند که می‌توانند زمینه مساعدی برای گسترش انحلال پذیری باشند. اما بررسی‌های حاضر بر روی نمونه‌های مورد بحث نشان داد که عمده اجزای تشکیل دهنده نمونه‌ها از جنس کلسیت و اندکی آراگونیتی هستند. از طرفی میزان گل آهکی نمونه‌ها به قدری زیاد است که در عمل نفوذپذیری آنها را از میان برده است (مانند نمونه‌های ۱، ۲، ۴، ۵، ۱۰، ۱۱، ۱۳، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹). در عین حال در برخی از نمونه‌ها اجزای بایوکلاستی ناپایدار مانند گاستروپود و دوکفه‌ای با ترکیب آراگونیتی یا مرجان با تیغه‌های آراگونیتی به میزان اندک مشاهده می‌شوند (مانند نمونه‌های ۴، ۷، ۸، ۹). این نمونه‌ها به مقدار کم استعداد انحلال و گسترش تخلخل دارند. به عبارت دیگر دارای پتانسیل دیانرژی قابل ملاحظه‌ای هستند. نمونه شماره ۳ که به طور کامل دولومیتی شده با ترکیب نسبتاً پایدار کانی دولومیت، استعداد گسترش انحلال ندارد. نمونه شماره ۶ با بافت برشی شده دارای تخلخل بین دانه‌ای نسبتاً زیادی بوده که هم اکنون با سیمان کلسیتی پر شده است اما می‌تواند مستعد انحلال باشد.

سنگ‌های کربناته به‌طور عمده از دیدگاه انحلال‌پذیری و گسترش کارست اهمیت ویژه‌ای دارند (Milannovic, 2000; Merrit, 1988). سازند آسماری از نظر قابلیت انحلال‌پذیری و چگونگی گسترش کارست در استان خوزستان مورد مطالعه قرار گرفته است (قبادی، ۱۳۸۳). ولی با توجه به لزوم شناخت سایر خصوصیات این سازند که در صنعت نفت، آب و سدسازی مورد توجه قرار دارد، ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و ترکیب سنگ‌شناسی آن مورد نظر بوده و ارتباط بین آنها در این پژوهش بررسی گردیده است. بر این اساس از مجموع بررسی‌های پتروگرافی نمونه‌ها می‌توان گفت که قسمت عمده نمونه‌ها از سنگ آهک آلوکمیکال با خمیره فراوان تشکیل شده‌اند. بافت گل افزون نمونه‌ها به این معنی است که میزان تخلخل اولیه آنها پایین بوده است. انرژی کم محیط رسوبگذاری باعث شده که نمونه‌ها از بلوغ بافتی خوبی برخوردار نشوند. عدم وجود تخلخل اولیه و کاهش نفوذپذیری عاملی است که موجب می‌شود تا امکان چرخش آزادانه سیالات دیانرژی به درون رسوبات و توسعه تخلخل‌های ناشی از انحلال دانه‌ها فراهم نباشد. به عبارت بهتر ایجاد تخلخل و انحلال، متأثر از عوامل درونزاد نیست. وجود دو سری شکستگی و آثار انحلال فشاری در اکثر نمونه‌ها نیز این نتیجه‌گیری را تأیید می‌کند. به ویژه آن‌که از نظر پارانرژی، شکستگی‌ها پس از دیانرژی دفنی و در مراحل بعدی به وجود آمده‌اند. این نتیجه‌گیری با بررسی تاریخچه تدفین رسوبات حوضه زاگرس و مطالعات زمین‌ساختی حوضه زاگرس تأیید می‌شود (Alavi, 1994; Bordenave & Burwood, 1990). چرا که طبق این مطالعات روند تدفین رسوبات حوضه زاگرس در اثر رسوبگذاری گروه فارس بسیار سریع بوده اما در اواخر میوسن تا پلیوسن شکل معکوس به خود گرفته و حوضه تدریجاً در حال بالا آمدن است. لذا احتمال بسته شدن درزه‌ها بسیار کم بوده و فضا‌های بین سطوح درزه‌ها توانسته‌اند به عنوان معابر ترجیحی جهت عبور سیالات عمل نمایند. به احتمال زیاد فضا‌های بین سطوح انحلال فشاری و درزه‌ها، معابر ترجیحی نفوذ سیالات

## - ارتباط خصوصیات سنگ شناسی با تخلخل

با توجه به مطالعات سنگ شناسی انجام شده بین خصوصیات سنگ شناسی و تخلخل در برخی از نمونه‌ها ارتباط وجود دارد. نمونه Absp-1 پکستونی است که در مقیاس میکروسکوپی فاقد تخلخل است و درصد تخلخل محاسبه شده برای آن ۰/۹ درصد می‌باشد. نمونه Absp-3 دولستون کربناته است، کمتر از ۲ درصد تخلخل بین بلوری دارد و تخلخل محاسبه شده در آن ۳/۴۱ درصد می‌باشد. نمونه Absp-6 از نظر بافتی در مقیاس میکروسکوپی یک برش آهکی است. فضای بین اجزای زاویه دار توسط سیمان کلسیتی پر شده بنابراین تخلخل آن ناچیز است. این موضوع با تخلخل محاسبه شده به میزان ۰/۶۱ درصد نیز انطباق دارد. نمونه Absp-8 یک بایوکلاست پکستون است که جورشدگی بد و بلوغ بافتی پائینی را نشان می‌دهد و به نظر می‌رسد تخلخل بسیار کمی داشته باشد که با میزان محاسبه شده یعنی ۰/۲۱ درصد منطبق است. در نمونه Absp-12 که یک بایوکلاست پکستون است تخلخل حاصله توسط کلسیت پر شده، بنابراین تخلخل محاسبه شده نیز بسیار کم و ۰/۵۲ درصد است. حدود ۸۰ درصد از نمونه Absp-13 که یک بایوکلاست پکستون است شامل گل آهکی می‌باشد. این نمونه حاوی قطعات شکسته شده بایوکلاستی با جهت یابی ترجیحی موازی جریان است و ۴/۲۱ درصد تخلخل دارد. نمونه Absp-18 یک بایوکلاست پکستون است که جورشدگی و بلوغ بافتی بدی دارد و تخلخل آن بسیار کم و به ۰/۲ درصد می‌رسد. نمونه Absp-19 گل سنگ آهکی دولومیتی شده است که انتظار می‌رود با توجه به فرآیند دولومیتی شدن تخلخل ۵/۳۵ درصد داشته باشد. نمونه Absp-20 بایوکلاست پکستون است و حدود ۳ درصد تخلخل حفره‌ای دارد. این نمونه دارای ۶/۱۱ درصد تخلخل است. بنابراین با توجه به مطالعات میکروسکوپی سنگ بکر، ارزیابی تخلخل اولیه امکان پذیر بوده و می‌توان نتیجه گرفت که تخلخل نمونه‌های سنگ آهک‌های سازند آسماری در محل مورد مطالعه بر اساس بررسی‌های سنگ شناسی و محاسبات انجام شده خیلی کم تا متوسط می‌باشد.

## - ارتباط خصوصیات سنگ شناسی با مقاومت تراکم تک

محوری ( $\sigma_c$ )

ویژگی‌های سنگ شناسی با خصوصیات مکانیکی سنگ‌ها مانند مقاومت ارتباط مشخصی دارد (Moshaski & Parabouchev, 1981). این ارتباط در برخی نمونه‌ها دیده می‌شود. با توجه به جدول ۵ که نتایج آزمایش‌های مقاومت تراکم تک محوری را نشان می‌دهد، در حالت خشک برای نمونه‌های Absp-4، Absp-15، Absp-12 مقاومت تراکم تک محوری به ترتیب برابر با ۱۱۰، ۸۳ و ۶۲ مگاپاسگال می‌باشد. با توجه به مطالعات سنگ شناسی هر دو نمونه بایوکلاست پکستون هستند ولی نمونه Absp-15 بافت فشرده‌ای دارد، در حالی که در نمونه Absp-12 توسعه شکستگی‌ها در مراحل بعد از دیاژنز اتفاق افتاده و موجب کاهش مقاومت سنگ شده است. نمونه Absp-4 بایوکلاست وکستون و دارای ساختار استیلولیت می‌باشد که نسبت به نمونه Absp-15 مقاومت کمتری دارد. در حالت مرطوب مقاومت تراکم تک محوری نمونه‌های Absp-7، Absp-10، Absp-20 و Absp-3 به ترتیب ۸۷، ۷۳، ۶۲ و ۵۷ مگاپاسگال است. این کاهش مقاومت با ویژگی‌های سنگ شناسی مانند شکستگی‌های میکروسکوپی، تخلخل حفره‌ای و بین دانه‌ای و درصد گل انطباق دارد. نمونه Absp-7 یک بایوکلاست وکستون با خرده‌های بایوکلاستی و دارای دو نسل شکستگی، نمونه Absp-20 یک بایوکلاست پکستون با حدود ۳ درصد تخلخل و نمونه Absp-3 سنگ آهک دولومیتی شده یا دولستون می‌باشد که مقدار زیادی تخلخل بین بلوری و حتی تخلخل حفره‌ای دارد. بنابراین کاهش مقاومت با توجه به خصوصیات سنگ شناسی قابل قبول می‌باشد. در حالت اشباع مقاومت تراکم تک محوری نمونه‌های Absp-18، Absp-19، Absp-1، Absp-6، Absp-9، Absp-13 و Absp-13 به ترتیب برابر با ۸۷، ۷۶، ۶۵، ۶۵، ۴۴ و ۲۰ مگاپاسگال است (جدول ۵). نمونه Absp-18 یک بایوکلاست پکستون است که رگچه‌های انحلال فشاری جابجایی نشان نمی‌دهد و فاقد شکستگی در مراحل بعد از دیاژنز است. نمونه Absp-19 یک گل سنگ آهکی است با دو سری شکستگی با قطر تقریبی ۱ و ۳

این موضوع با رابطه زیر بیان می‌گردد و ضریب همبستگی آن  $R^2 = 0.7214$  می‌باشد.

$$n = -7.8004 \ln(SHV) + 27.912$$

- رابطه سختی با وزن واحد حجم خشک

همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود با افزایش وزن واحد حجم خشک، سختی سنگ افزایش پیدا می‌کند. این موضوع با رابطه زیر بیان و ضریب همبستگی برابر با  $R^2 = 0.8288$  می‌باشد.

$$\gamma_d = 0.013SHV + 2.2211$$

- رابطه تخلخل با دانسیته خشک

با کاهش تخلخل دانسیته خشک افزایش پیدا می‌کند (شکل ۹) این موضوع با رابطه زیر بیان و ضریب همبستگی مساوی با  $R^2 = 0.7509$  می‌باشد.

$$\gamma_d = -0.0349n + 2.6754$$

میلی‌متر، نمونه Absp-9 یک بانند استون مرجانی و نمونه Absp-13 بایوکلاست پکستون حاوی قطعات شکسته شده با جهت‌یابی ترجیحی موازی است با حدود ۸۰ درصد گل آهکی بنابراین کاهش مقاومت در نمونه‌های Absp-18 و Absp-19 کاملاً با ویژگی‌های سنگ‌شناسی انطباق دارد و با توجه به مرجانی بودن نمونه Absp-9 قابل توجیه می‌باشد.

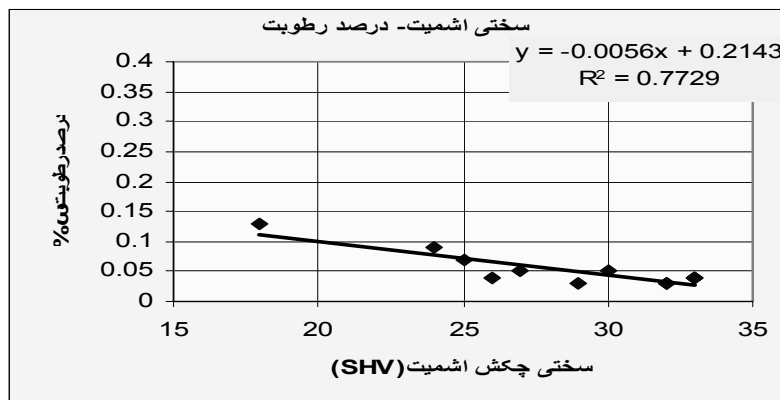
- رابطه سختی با درصد رطوبت

با کاهش رطوبت، سختی سنگ افزایش می‌یابد (شکل ۶)، این موضوع با رابطه زیر بیان می‌گردد و ضریب همبستگی آن  $R^2 = 0.7729$  می‌باشد.

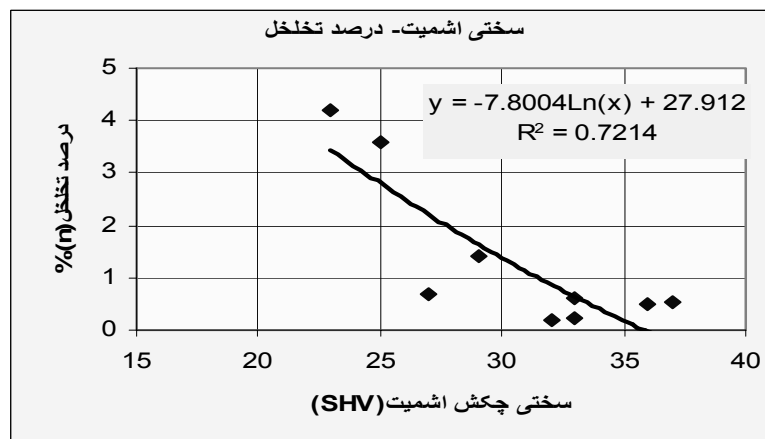
$$\omega = -0.0056SHV + 0.2143$$

- رابطه سختی سنگ با درصد تخلخل

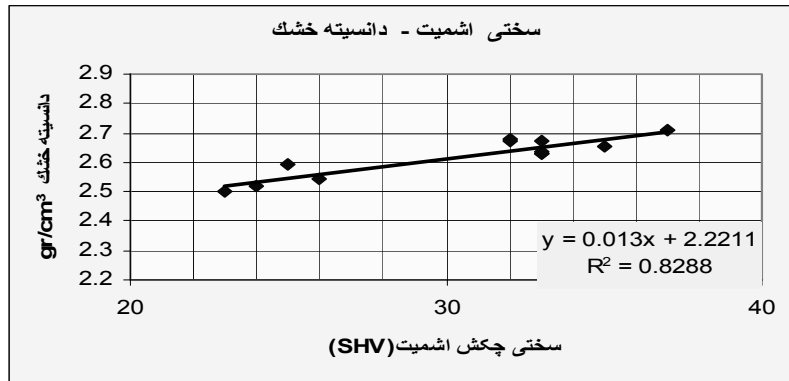
با کاهش تخلخل سختی سنگ افزایش پیدا می‌کند (شکل ۷)،



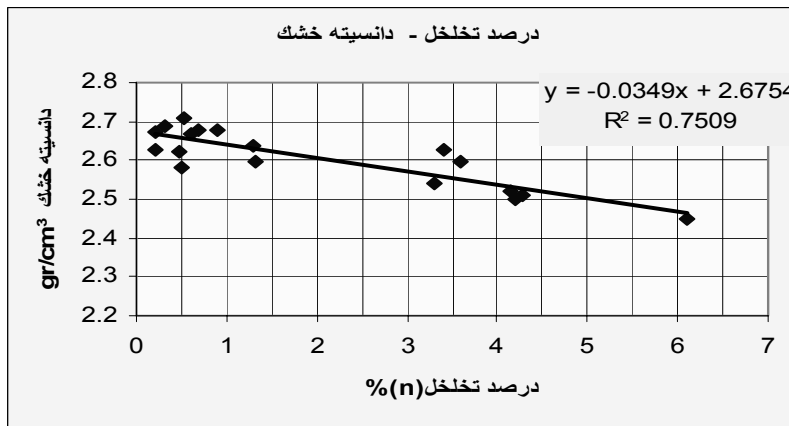
شکل ۶ - با کاهش رطوبت، سختی سنگ افزایش می‌یابد



شکل ۷ - با کاهش تخلخل، سختی سنگ افزایش پیدا می‌کند



شکل ۸ - با افزایش وزن واحد حجم ( دانسیته خشک)، سختی سنگ افزایش پیدا می کند



شکل ۹ - با کاهش تخلخل، وزن واحد حجم (دانسیته خشک) افزایش پیدا می کند

(شکل ۱۲). این موضوع با رابطه زیر بیان می شود و ضریب همبستگی آن برابر  $R^2 = 0.9124$  است.

$$I_v = 0.0275\sigma_{sat} + 2.2811$$

- ارتباط مدول مماسی با مقاومت تراکمی تک محوری با افزایش مقاومت تراکمی تک محوری مدول مماسی افزایش می یابد (شکل ۱۳). این موضوع با رابطه زیر بیان و ضریب همبستگی برابر با  $R^2 = 0.7997$  می باشد.

$$E_t = 0.0323\sigma_c + 2.9033$$

- ارتباط مدول مماسی با شاخص پوکی (درصد جذب آب)

با کاهش شاخص پوکی مدول مماسی افزایش می یابد (شکل ۱۴). این موضوع با رابطه زیر بیان می شود و ضریب همبستگی آن برابر با  $R^2 = 0.8873$  است.

$$I_v = -0.2444E_t + 2.8336$$

- رابطه شاخص پوکی (درصد جذب آب) با وزن واحد حجم خشک

با کاهش شاخص پوکی، وزن واحد حجم خشک افزایش می یابد (شکل ۱۰). این موضوع با رابطه زیر بیان و ضریب همبستگی  $R^2 = 0.8289$  می باشد.

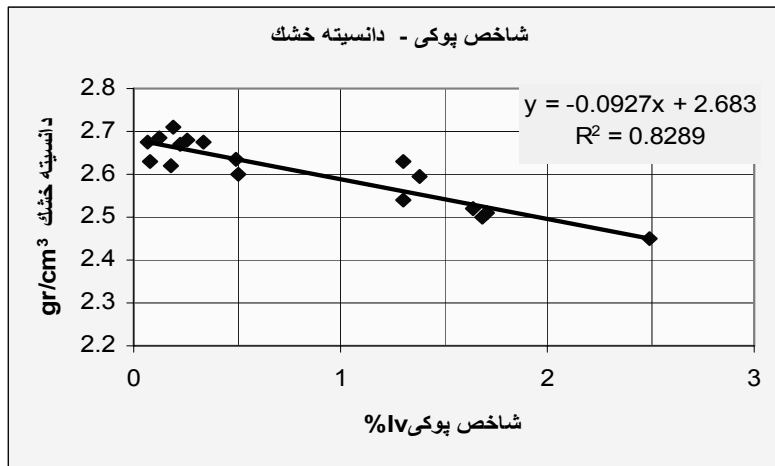
$$\gamma_d = -0.0927I_v + 2.683$$

- رابطه مقاومت تراکمی تک محوری (شرایط اشباع) با سختی با افزایش سختی سنگ، مقاومت تراکم تک محوری در شرایط اشباع افزایش پیدا می کند (شکل ۱۱) این موضوع با رابطه زیر بیان و ضریب همبستگی برابر با  $R^2 = 0.8223$  می باشد.

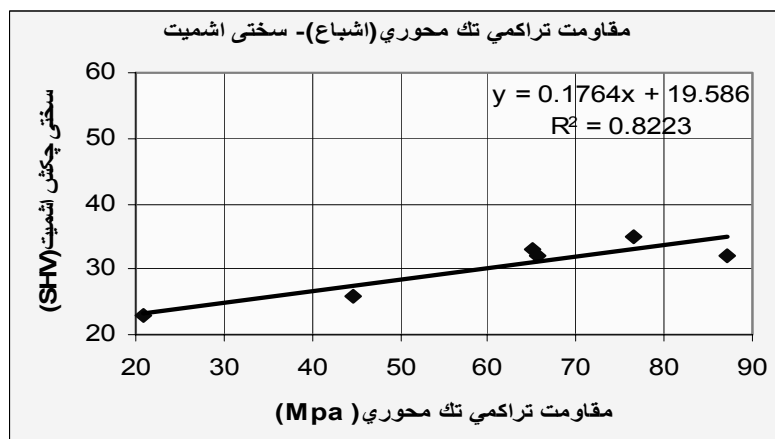
$$SHV = 0.1764\sigma_{sat} + 19.586$$

- رابطه مقاومت تراکمی تک محوری (شرایط اشباع) با شاخص پوکی

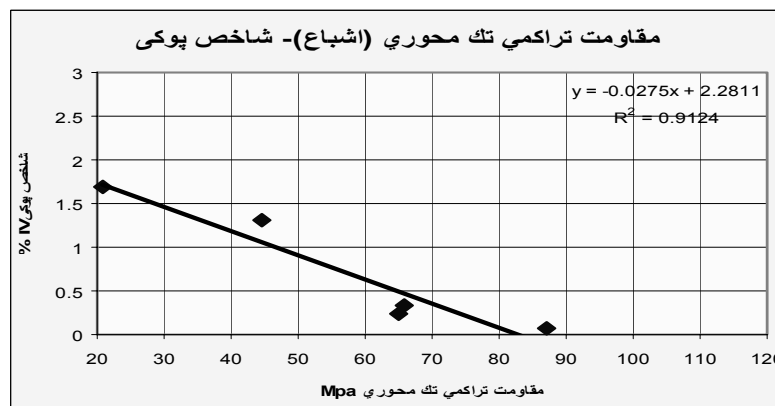
با کاهش افزایش شاخص پوکی (درصد جذب آب) مقاومت تراکمی تک محوری در شرایط اشباع کاهش پیدا می کند



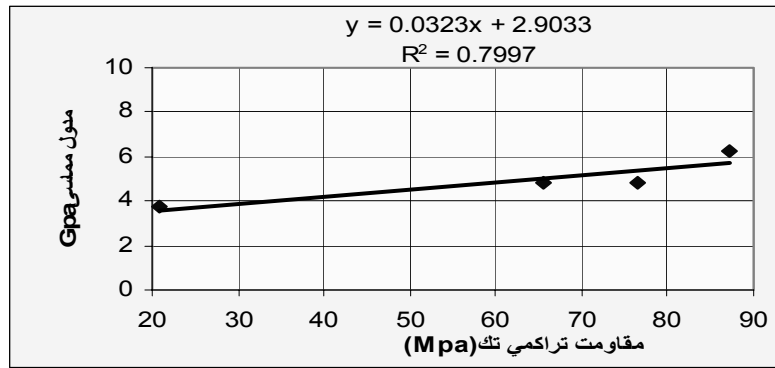
شکل ۱۰ - با کاهش شاخص پوکی، وزن واحد حجم خشک افزایش پیدا می کند



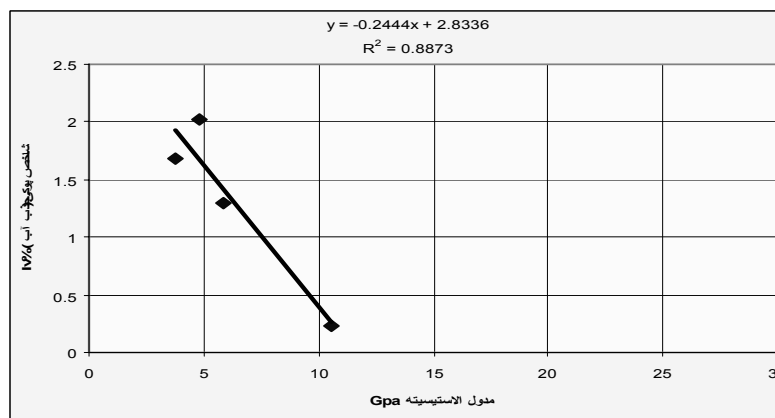
شکل ۱۱ - با افزایش سختی سنگ مقاومت تراکم تک محوری در حالت اشباع افزایش پیدا می کند



شکل ۱۲ - با افزایش شاخص پوکی (درصد جذب آب) مقاومت تراکم تک محوری در شرایط اشباع کاهش می یابد



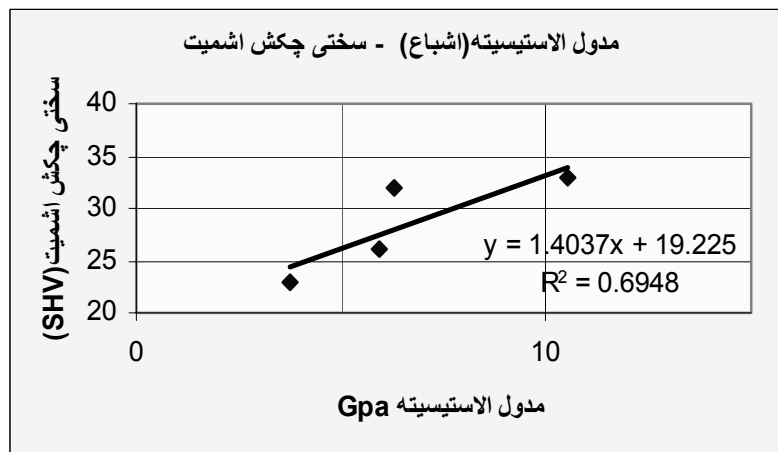
شکل ۱۳- با افزایش مقاومت تراکمی تک محوری، مدول مماسی افزایش پیدا می کند



شکل ۱۴- با کاهش شاخص پوکی، مدول مماسی افزایش پیدا می کند

ارتباط مدول مماسی (حالت اشباع) با سختی سنگ همبستگی آن برابر با  $R^2 = 0.6948$  است. با افزایش سختی سنگ مدول مماسی افزایش پیدا می کند (شکل ۱۵). این موضوع با رابطه زیر بیان می شود و ضریب

$$SHV = 1.4037E_i + 19.225$$



شکل ۱۵- با افزایش سختی سنگ، مدول مماسی افزایش پیدا می کند

تخلخل اولیه نمونه‌ها کم تا متوسط است. بر اساس خصوصیات فیزیکی تعیین شده در آزمایشگاه مطابق با استاندارد ISRM تغییرات درصد تخلخل نمونه‌ها از ۰/۲ تا ۶/۱۱ درصد می‌باشد. یعنی تخلخل نمونه‌ها از خیلی کم تا متوسط متغیر است. میزان جذب آب نیز از ۰/۰۷ تا ۲/۴۹ تغییر می‌کند. ولی بر اساس مطالعات صحرایی و با توجه به گسترش پدیده‌های کارستی در این سازند تخلخل ثانویه ناشی از وجود شکستگی‌ها زیاد می‌باشد.

میزان هدایت هیدرولیکی نمونه‌های مورد آزمایش از حداقل  $5.48 \times 10^{-9} \text{ cm/s}$  تا حداکثر  $7.33 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$  تغییر نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان سنگ آهک‌های سازند آسماری را از دیدگاه تراوایی در رده سنگ‌های با نفوذپذیری کم تا خیلی کم قرارداد.

در این پژوهش سختی نمونه‌ها با استفاده چکش اشمیت در آزمایشگاه تعیین گردید و عدد سختی حداقل برای سنگ آهک‌های آسماری ۱۸ و حداکثر ۳۹ بدست آمده است. با توجه به عدد سختی نمونه‌های مورد آزمایش مقاومت متوسط دارند. این نتایج می‌تواند در تونل زنی و آتشفباری در این سازند مورد استفاده قرار بگیرد.

بر اساس دو عامل مقاومت تراکمی تک محوری و نسبت

معادلات و ضرایب همبستگی به دست آمده از روابط بین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی در جدول ۸ آورده شده است. همان‌طورکه در جدول ۸ دیده می‌شود ارتباط بین خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی سنگ آهک‌های سازند آسماری دارای ضرایب همبستگی مناسبی است. بالاترین ضرایب همبستگی به ترتیب بین مقاومت تراکم تک محوری اشباع با درصد جذب آب (شاخص پوکی) به میزان ۰/۹۱ و بین مدول مماسی با درصد جذب آب به میزان ۰/۸۸ وجود دارد. هم-چنین ضرایب همبستگی بین وزن واحد حجم خشک و درصد جذب آب، بین وزن واحد حجم خشک و سختی، و نیز بین مقاومت تراکم تک محوری اشباع با سختی سنگ برابر با ۰/۸۲ می‌باشد.

### نتیجه گیری

بر اساس مطالعات پتروگرافی عمده سنگ‌های کربناته سازند مذکور مطابق با رده‌بندی دانهام بایوکلاست پکستون (Bioclast packstone) و بایوکلاست وکستون (Bioclast wackestone) هستند. درصد گل آهکی در این نمونه‌ها به حدود ۸۰ درصد می‌رسد و دولستون و دولومادستون نیز در نمونه‌ها موجود هستند. با توجه به مطالعات میکروسکوپی

جدول ۸ - مقایسه معادلات و ضرایب همبستگی خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی سنگ آهک آسماری

ضریب همبستگی ( $R^2$ )	معادلات	ارتباط خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی سنگ
۰/۷۲	$n = -7.8004 \ln(SHV) + 27.912$	رابطه سختی با درصد تخلخل
۰/۷۷	$\omega = -0.0056SHV + 0.2143$	رابطه سختی با درصد رطوبت
۰/۸۲	$\gamma_d = 0.013SHV + 2.2211$	رابطه سختی با وزن واحد حجم خشک
۰/۷۵	$\gamma_d = -0.0349n + 2.6754$	رابطه تخلخل با وزن واحد حجم خشک
۰/۸۲	$\gamma_d = -0.0927I_v + 2.683$	رابطه درصد جذب آب با وزن واحد حجم خشک
۰/۹۱	$I_v = 0.0275\sigma_{sat} + 2.2811$	رابطه مقاومت تراکم تک محوری اشباع با درصد جذب آب
۰/۸۲	$SHV = 0.1764\sigma_{sat} + 19.586$	رابطه مقاومت تراکم تک محوری اشباع با سختی
۰/۷۹	$E_t = 0.0323\sigma_c + 2.9033$	ارتباط مدول مماسی با مقاومت تراکم تک محوری
۰/۸۸	$I_v = -0.2444E_t + 2.8336$	ارتباط مدول مماسی با درصد جذب آب
۰/۶۹	$SHV = 1.4037E_t + 19.225$	ارتباط مدول مماسی با سختی



که دارای استحکام کم هستند انطباق دارد. با توجه به نسبت مدولی کم اجرای سدهای بتنی قوسی بر روی چنین توده سنگ‌هایی توصیه نمی‌شود.

مدولی، سنگ آهک‌های سازند آسماری با توجه به رده‌بندی مهندسی سنگ بکر در رده CL قرار می‌گیرند. یعنی نمونه‌های مورد آزمایش مقاومت تراکمی تک محوری متوسط و نسبت مدولی پائین دارند. این موضوع با طبیعت سنگ‌های کربناته‌ای

## منابع

- آقائباتی، سیدعلی. (۱۳۸۳) زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- قبادی، محمدحسین. (۱۳۸۳) مطالعه انحلال‌پذیری سنگ‌های کربناته در استان خوزستان، طرح تحقیقات ملی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- قبادی، محمدحسین. (۱۳۷۸) نوع کارست و مسئله آب‌بندی سد میرزای شیرازی (کوار)، سومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه شیراز، صفحات ۴۶۸-۴۶۵.
- قبادی، محمدحسین و محمد رجب پور. (۱۳۷۸) انحلال‌پذیری و گسترش ناپیوستگی‌ها در توده‌های سنگ‌های آهکی محل سد شهید عباسپور (کارون ۱). هجدهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور، صفحات ۱۰۰۴-۹۹۹.
- فهیمی‌فر، احمد و حامد سروش. (۱۳۸۰) آزمایش‌های مکانیک سنگ (مبانی نظری و استانداردها) انتشارات آزمایشگاه مکانیک خاک وزارت راه و ترابری و دانشگاه امیرکبیر واحد تفرش.
- Adams, T. D. and Bougeois, F. (1967) Asmari Biostratigraphy, Iranian Oil Operating Companies, Geological and Exploration Division, Rep. # 1074. 59 p.
- Alavi, M. (1994) Tectonic of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations, Tectonophysics, Vol. 229, 211-238.
- Bell, F.G., (1998a). A survey of the physical properties of some carbonate rocks. Bulletin of International Association Engineering Geology, Vol. 24, 105-110.
- Bell, F. G., (1983). Fundamentals of engineering geology. Butterworths. UK.
- Bell, F.J. (2000). Engineering Properties of Soils and Rocks. Blackwell Sciences.
- Bordenave, M. L., and Burwood, R. (1990) Source rock distribution and maturation in the Zagros orogenic belt; provenance of the Asmari and Bangestan Reservoir oil Accumulations, Org. Geochem. Vol. 16, No. 1-3, 369-378.
- Brown, E.T., (1981). Rock characterization testing & monitoring ISRM suggested methods. Pergamon Press.
- Burnett, A.D. and Epps, R.J. (1979). The engineering geological description of the carbonate suite rocks and soils. Ground Engineering, Vol. 2, 41-48.
- Dearman, W.R., (1981). Engineering properties of carbonate rocks. Bulletin International Association Engineering Geology, Vol. 24, 3-17.
- Dickson, J. A. D. (1980) Staining thin section: Alizarin Red S and Potassium Ferricyanide stain, in: Okhravi, R. (1982) Carbonate microfacies and Depositional environment of the Joachim Dolomite (Middle Ordovician) Southeast Missouri and Southern Illinois, U.S.A., Unpub. Ph.D Thesis, university of Illinois (Urbana Champaign), 141 p.
- Dunham, R. G., (1962). Classification of carbonate rocks according to deposition texture, in: Classification of Carbonate Rocks (ed. By W. E. Ham) A A P G Mem. #1, 108- 121.
- Frankline, J.A. and Broch, E. (1972). The point Load Strength Test. Inter. J. Rock Mechanics Mining Sciences, Vol. 9. pp. 669-697.
- James, A.N., and Kirkpatrick, I.M., (1980). Design of foundations of dams containing soluble rocks and soils. Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol. 13, 189-198.

- Ghobadi, M.H. (1997). The influence of aperture of joints on solubility of carbonaceous rocks, International Symposium Engineering Geology and Environment, Balkema, pp.127-131.
- Ghobadi, M.H., Khunlari,G., and Jalali,H. (2005). Seepage problems in the right abutment of the Shahid Abasspour dam, southern Iran. Journal of Engineering Geology, Vol.82, pp.119-126.
- Ghobadi, M.H. (2005). Assessment of solubility of Asmari limestone in Karun 1 damsite, Iran. ICOLD, 73th Annual Meeting of ICOLD, Tehran, Iran.
- McQuillan, H. (1967). Fracture density in Asmari formation and relationship to bedding thickness and structural setting. Technical report.
- Milanovic, P.T., (2000). Geological Engineering in karst. Zebra Publishing Ltd.
- Merrit. A.H., (1988). Foundation treatment in karstic limestone: El Cajon Hydroelectric Project, Honduras, Bulletin International Association Engineering Geology, Vol. 28,390-392
- Moshanski, V.A., and Parabouchev,I.A., (1981). The nature of strength and deformability of weak carbonaceous rocks. Proceedings of the International symposium on weak rocks. Vol.1.326-333.
- Tucker, M. E. and Wright. P.V. (1990) Carbonate Sedimentology, Blackwell Scientific Pub. Oxford, 482 p.
- Warren, J, (2000) Dolomite: Occurrences, evolution and economically important associations, Earth-Science Reviews, 52, 1-81.