مطالعه خصوصیات زمین شناسی مهندسی سنگ آهک‌های سازند قم (مطالعه موردی، شرق وشمال شرق همدان)

محمدحسین قبادی

عضو هیات علمی گروه زمین شناسی دانشگاه بوعلی سینا، همدان

معصومه کاپله ای

کارشناش ارشد زمین شناسی مهندسی

تاریخ دریافت: ۹۰/۳/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۱/۳/۲۲

amirghobadi@yahoo.com

چکیده

شناخت ویژگی های زمین شناسی مهندسی سازندهای سنگی ایران به شناخت عمومی زمین شناسی مهندسی ایران کمک زیادی خواهد کرد. هدف این مقاله مطالعه و معرفی خصوصیات زمین شناسی مهندسی سنگ آهک های سازند قم است. سازند قم مانند سایر سازندهای دارای واحدهای کربناته در پروژه های سد سازی مشکل آفرین هستند، به ویژه زمانی که واحد های یاد شده از نظر ویژگی های سنگ شناسی، فیزیکی و مکانیکی با هم تفاوت داشته باشند. در شرق وشمال شرق همدان سازند قم متشکل از پنج واحد کربناته است که بعنوان منابع قرضه سنگی و مواد اولیه تولید سیمان مورد استفاده قرار می گیرند. دراین پژوهش بر اساس مطالعه مقاطع نازک سنگ واحد های مذکور،پکستون یا بایو اسپارایت ماسه‌دار ، کالک آرنایت ، پکستون یا بایو میکرایت ،وکستون و گرین استون یا بایواسپارایت نامگذاری شده اند. خصوصیات فیزیکی ،مکانیکی، ترکیب شیمیایی و ثابت سرعت انحلال پذیری آنها تعیین گردیده است. دونوع از این سنگ آهک ها که از نظر سنگ شناسی پکستون می باشند از نظر خصوصیات فیریکی، مکانیکی وشیمیایی تفاوت مشخص دارند. مقاوم ترین آنها سنگ آهک آبشینه در شرق همدان است. این سنگ حداقل تخلخل (۱/۵۲ درصد)، بالاترین شاخص مقاومت بار نقطه ای (۵/۹ مگاپاسگال در شرایط خشک) بیشترین سختی (حداکثر ۵۷) را دارا بوده و از نظر دوام پذیری خیلی مقاوم می باشد. ثابت سرعت انحلال پذیری آن در میان سایر سنگ آهک ها حداقل و به میزان $۸/۰۱\times۱۰^{-۷}$ متر بر ثانیه محاسبه گردیده است. در مقابل سنگ آهک ساوه در شمال شرق همدان دارای حداکثرتخلخل (۱۱/۶۶درصد)، کمترین شاخص مقاومت بار نقطه ای (۱/۸۸مگاپاسگال در شرایط خشک) کم‌ترین سختی (حداکثر ۳۵) بوده ،از نظر دوام پذیری مقاوم می باشد و ثابت سرعت انحلال پذیری آن به میزان $۱/۰۶\times۱۰^{-۶}$ متر بر ثانیه محاسبه گردیده است. براساس نتایج حاصله استفاده از سنگ های آهکی این سازند بعنوان مصالح ساختمانی (سنگ مالون،لاشه ،نما) مناسب میباشد. ولی جهت احداث سازه (سدهای مخزنی) برروی سازند قم با توجه به تفاوت در خصوصیات زمین شناسی مهندسی واحد های کربناته انجام مطالعات تفصیلی به ویژه شناخت خصوصیات سنگ شناسی و تعیین ثابت سرعت انحلال سنگ توصیه می گردد.

واژه‌های کلیدی: *سازند قم، سنگ آهک، خصوصیات سنگ شناسی، خصوصیات فیزیکی ، خصوصیات مکانیکی*

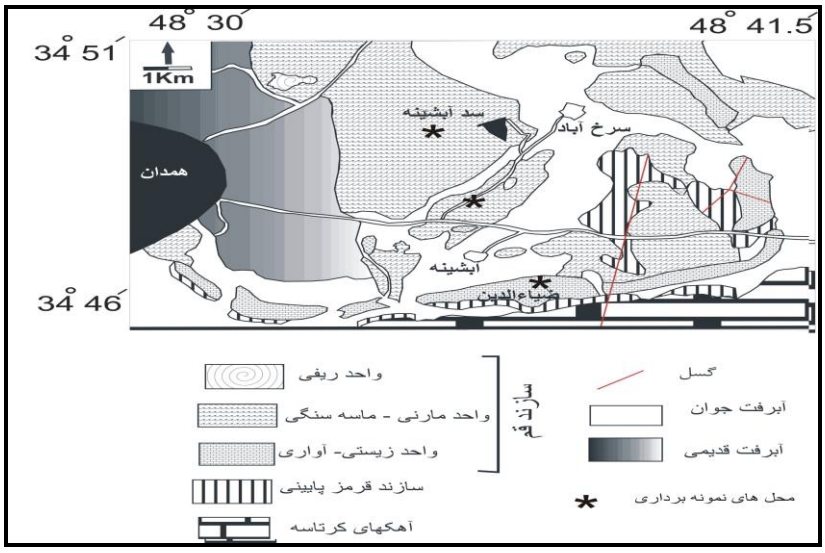
مقدمه

به منظور آشنایی بیشتر با ویژگی های زمین شناسی مهندسی ایران اولین گام معرفی خصوصیات زمین شناسی مهندسی سازند های سنگی و خاکی در نقاط مختلف کشور است. به این منظور ضروری است تا در قالب پژوهش های دانشگاهی خصوصیات سنگ شناسی، فیزیکی و مکانیکی واحد های سنگی که معرف ویژگی های زمین شناسی مهندسی می باشد، شناسایی شده و به صورت یک بانک اطلاعاتی در اختیار علاقمندان قرارگیرد. مطالعه روابط بین خصوصیات فیزیکی ، کانی شناسی و مکانیکی سنگ های رسوبی مورد توجه پژوهشگران متعددی بوده است. در سال ۱۹۸۱ مقاومت طبیعی و دگرشکلی

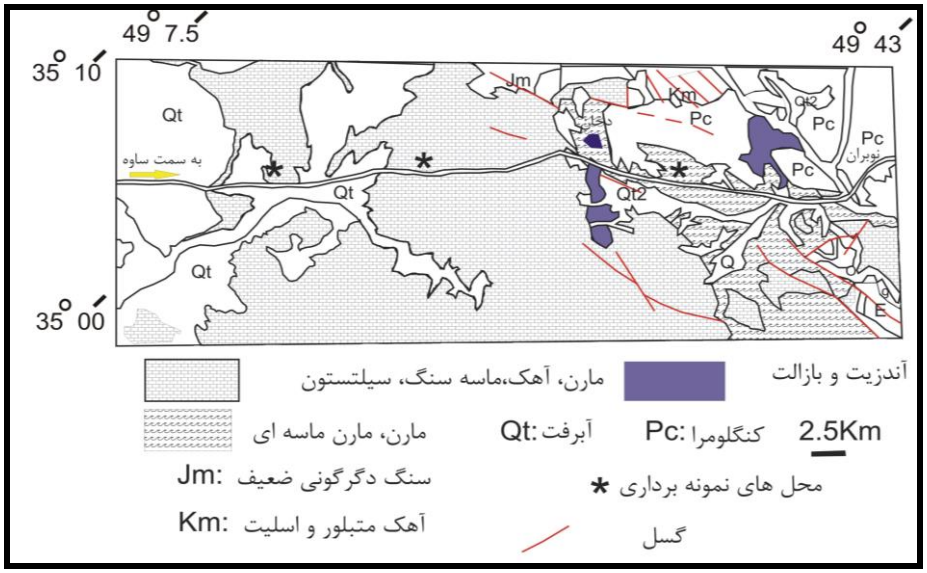
سنگ های کربناته ضعیف توسط موشانسکیوهمکاران وی مورد پژوهش واقع شد (Moshanski and Parabouchev, 1981). سال ۲۰۰۰ ارزیابی خصوصیات مکانیکی سنگ با استفاده از چکش اشمیت مورد توجه کاتز و همکارانش قرارگرفت. نامبردگان روابطی را برای سنجش ویژگی های مکانیکی سنگ مانند مقاومت بر اساس عدد سختی اشیمت ارائه کردند(Katez et al., 2000). در سال ۲۰۰۲ داکال و همکارانش روابطه بین دوام و شکفتگی سنگ-های رسوبی و پیروکلاستیک را با خصوصیات کانی شناسی مورد توجه قراردادند (Dhakal et al., 2002). قهرمان و همکاران در سال ۲۰۰۵ اثر تخلخل روی روابط بین مقاومت تراکم تک محوری و مقاومت بار نقطه ای را مطالعه کردند (Kahraman et al., 2005)، در سال ۲۰۰۶چانگ و همکاران روابط تجربی بین مقاومت و خصوصیات فیزیکی سنگ های رسوبی ارائه دادند(Chang et al., 2006). در این پژوهش ها وابستگی مقاومت و دوام پذیری به درصد تخلخل، رابطه بین خصوصیات کانی شناسی با مقاومت و دوام مشخص شده است. اهمیت توجه به انحلال پذیری سنگ های کربناته نیز توسط محققان مختلف از جمله رومانو و همکارانش در ارتباط با احداث سد روی سنگ های آهکی در سال ۲۰۰۳ با ارائه مدلی برای شناخت انحلال سنگ مطرح شد (Romanov et al., 2003). نظر به اینکه انحلال پذیری سنگ ها یکی ازمهم ترین خصوصیات زمین شناسی مهندسی سنگ های کربناته است، ارتباط بین ترکیب شیمیایی وانحلال پذیری سنگ در ارتباط با فرار آب از سد شهید عباسپور توسط قبادی و همکاران در سال ۲۰۰۵ ارائه گردید (Ghobadi et al., 2005). بعلت گسترش زیاد سنگ های رسوبی به ویژه سنگ های کربناته در زاگرس، البرز و ایران مرکزی توجه به خصوصیات سنگ شناسی، فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی آنها ضروری است (قبادی، ۱۳۸۸؛ کاپله ی، ۱۳۸۷). سازند قم نیزبدلیل داشتن واحدهای کربناته وسولفاته بعنوان یک سازند دارای قابلیت انحلال شناخته میشود. احداث سد پانزده خرداد بر روی آن و موضوع فرارغیر مجاز آب از سد مذکوردلیلی برگسترش کارست در این سازند است. واحد های کربناته سازند قم از نظر ترکیب شیمیایی، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی با هم تفاوت دارند. نوع کانی ها، بافت، ترکیب شیمیایی و تخلخل متفاوت واحد های کربناته موجب شده تا سختی، مقاومت، دوام و انحلال پذیری هر واحد آهکی با سایر واحد ها تفاوت پیدا کند. بنابراین احداث سازه دردرون و یا بر روی سازند قم و انتخاب هر واحد به منظور استفاده بعنوان منابع قرضه سنگی و یا برای مواد اولیه تولید سیمان به شناخت خصوصیات زمین شناسی مهندسی آن وابسته است. دراین مقاله ضمن مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی خصوصیات زمین شناسی مهندسی سنگ های کربناته این سازند مورد بررسی قراگرفته است.

زمین‌شناسی

سازند قم با سن الیگومیوسن در ایران مرکزی به خاطر وجود نفتگیرهای چینه ای و ساختمانی از دیرباز مورد توجه زمین شناسان بوده است. این سازند در شرق همدان شامل کنگلومرای قاعده‌ای است به رنگ خاکستری با ضخامت ۰/۵تا ۵ متر است که درتناوب با ماسه‌سنگ های نازک لایه قرار دارد. قطعات آن خرده‌های شیستی، فیلیتی، آهکی و سیمان آن آهکی می‌باشد. واحد آهک زیستی آواری این سازند که بیشترین گسترش رادربخش‌های جنوبی منطقه دارد به‌صورت معادن روباز و به‌عنوان سنگ لاشه مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند (شکل۱). ضخامت این واحد حدود ۱۰۰ متر و شامل تناوبی از سنگ آهک های کرم تا نخودی رنگ، سنگ آهک ماسه‌ای خاکستری رنگ ضخیم تا متوسط لایه ،سنگ آهک های میکریتی وسنگ آهک های متبلور می-باشد(ساداتی و همکاران، ۱۳۸۴). واحد مارنی- ماسه‌سنگی این سازند که پی سنگی سد آبشینه را تشکیل می‌دهند در منطقه بیش از سایر واحدها گسترش دارد. ضخامت آن بیش از ۵۰ متر و شامل انواع مارن با بین لایه‌های ماسه‌سنگ آهکی می‌باشد (شکل۱). واحد کنگلومرایی بالایی بصورت کنگلومرای توده‌ای روشن حاوی بلوک های گرانیت و هورنفلس با قطر بیش از یک متر در منطقه گسترش دارند. ضخامت این بخش به حدود ۳۰ متر می‌رسد(ساداتی و همکاران، ۱۳۸۴). از این واحد کنگلومرایی به دلیل سیمان سست بعنوان منابع شن و ماسه در منطقه استفاده می شود. واحد ریفی این سازندبصورت آهک توده‌ای کرم و نخودی رنگ درحوالی سد آبشینه وجود دارد(شکل۱). ضخامت این واحد به حدود ۲۰ متر می‌رسد و از آن به‌عنوان سنگ لاشه بهره‌برداری می‌شود. زمین شناسی سازند قم در شمال شرق همدان بعلت داشتن رگه های ژیپس و مواد ولکانیکی (آندزیت و بازالت) با شرق همدان متفاوت می‌باشد (شکل۲). سازند قم در این ناحیه علاوه بر داشتن سنگ آهک، مارن، ماسه سنگ و سیلت استون درتناوب لایه های مارنی دارای رگه های ژیپس ثانویه است(کاپله‌ی، ۱۳۸۷). در مسیر جاده همدان- ساوه ناپیوستگی‌های زیادی در اثر عوامل تکتونیکی در مارن ها ایجاد شده است. این ناپیوستگی‌ها توسط رگه-های ژیپس پر شده‌اند (شکل۳). با توجه به انحلال رگه های ژیپس و افزایش جذب آب توسط لایه های مارنی ها شرایط برای خمیری شدن دامنه های مارنی فراهم می گردد. در نتیجه در امتداد سطوح ناپیوستگی با کاهش مقاومت برشی، زمینه برای ایجاد خزش و لغزش در جهت شیب لایه ها فراهم می شود.



شکل۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در شرق همدان (اقتباس از ساداتی و همکاران ، ۱۳۸۴ با اصلاحات)



شکل۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در شمال شرق همدان (اقتباس از ساداتی و همکاران ، ۱۳۸۴ با اصلاحات)

.

شکل۳. رگه‌های ژیپس به صورت ثانویه ناپیوستگی های مارن های سازند قم را پر کرده است (جاده همدان - ساوه).

مواد و روش ها

به منظور شناخت ویژگی های زمین شناس مهندسی سازند قم از پنج نوع سنگ آهک موجود در این سازند به صورت بلوک نمونه برداری شده است. نمونه برداری از سطح (معادن و رخنمون های سنگی منطقه) و از عمق (گمانه های حفاری شده درمحل سد آبشینه در شرق همدان) صورت گرفته است. با تهیه مقاطع نازک سنگ ترکیب کانی شناسی ،اندازه دانه ها، نوع فسیل ها ونام سنگ معین گردیده است. سپس با تعیین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی نمونه ها و ارتباط آنها با ویژگی های سنگ شناسی خصوصیات زمین شناسی مهندسی این واحد های کربناته مورد مطالعه قرارگرفته است.

سنگ شناسی

به منظور انجام مطالعات سنگ‌شناسی از واحدهای آهکی سازند قم برش‌های نازک تهیه و ترکیب کانی‌شناسی، نوع فسیل‌ها، اندازه دانه‌هاو ریزساختارها زیر میکروسکوپ پلاریزان زایس[1] مدل Axioskop-40مورد مطالعه قرار گرفته است.

سنگ آهک درشت دانه ضیاءالدین ($ZCLs_1$)

این نمونه مربوط به واحد زیستی آواری سازند قم است. سنگ دارای آلوکم‌های اکینودرم، دوکفه‌ای، فرامینیفر، خرده مرجان و بریوزوآ با تخلخل درون دانه ای می‌باشد(شکل۴). علاوه بر این قطعات آواری کوارتز و فلدسپات نیز در این سنگ آهک دیده می‌شود. خمیره گلی وجود ندارد و در این حالت معمولا فضای بین دانه ها را سیمان کلسیتی پر می کند. نام سنگ طبق طبقه-بندی دانهام گرین استون[2] (Dermirdag and Yavuz, 2009) و طبق طبقه-بندی فولک بایواسپارایت [3] است(Folk, 1959).

1 - Zeiss
2 - Grainstone
3 -Biosparite

سنگ آهک ریزدانه ضیاءالدین ($ZFLs_2$)

آهک دانه‌ریز ضیاءالدین مانند آهک دانه‌درشت ضیاءالدین مربوط به واحد زیستی آواری سازند قم می‌باشد. در این سنگ آهک آلوکم‌های فرامینیفر، اکینودرم، قطعات دوکفه‌ای و خرده‌های بریوزوآ دیده می‌شود. علاوه براین شامل قطعات آواری کوارتز، فلدسپار و خرده‌های آتشفشانی می‌باشد(شکل۵). دانه ها درون خمیره قرار دارند. خردشدگی فسیل ها در این نوع آهک نسبت به آهک-های دیگر خیلی بیشتر است. نمونه تخلخل حفره ای و مقدار قابل توجهی گل آهکی یا میکرایت [4] دارد. نام این سنگ طبق طبقه‌بندی دانهام وکستون[5]تا پکستون[6] و طبق طبقه‌بندی فولک بایو میکرایت[7] می‌باشد(Dermirdag and Yavuz, 2009; Folk, 1959).

سنگ آهک ساوه ($SPLs_3$)

این سنگ آهک مربوط به واحد زیستی-آواری سازند قم در شمال شرق همدان می‌باشد. نمونه دارای آلوکم‌های جلبک قرمز، اکینودرم، قطعات دوکفه-ای، بریوزوآ و فرامینیفر می‌باشد. در برش‌های میکروسکوپی تخلخل حفره‌ای زیادی مشاهده می‌شود (شکل۶). بلورهای کلسیت شفاف (اسپاری) بصورت دانه ای درون خمیره [8] دیده می‌شوند.. تخلخل درزه‌ای، انحلالی و پنجره‌ای در نمونه‌های دستی مشاهده می‌گردد. نام این سنگ طبق طبقه‌بندی دانهام پکستون و طبق طبقه‌بندی فولک بایو میکرایت می‌باشد (Dermirdag and Yavuz, 2009; Folk, 1959).

سنگ آهک تخریبی سرخ آباد ($SDLs_4$)

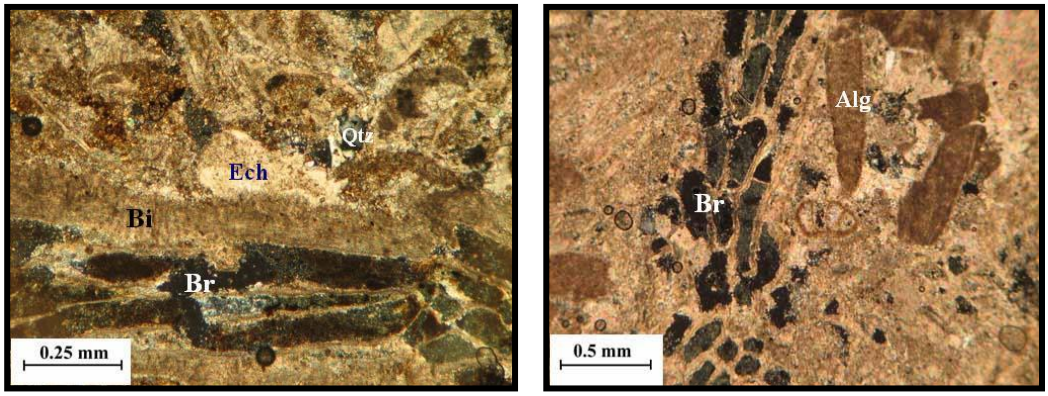
این سنگ آهک که به واحد مارنی- ماسه‌سنگی سازند قم متعلق می-باشد از جاده سرخ آباد نمونه‌برداری شده وشامل خرده‌های فسیلی گاستروپود، کرینوئید، اکینودرم، جلبک قرمز و بریوزوآ است (شکل۷). این قطعات فسیلی آواری بوده و درجا نیستند. دانه‌های تخریبی کوارتز، فلدسپات و چرت نیز در این سنگ آهک مشاهده می‌شود. اکسید آهن زیادی در نمونه موجود است. براساس اندازه دانه های اصلی که بین ۶۳ میکرون تا ۲ میلیمتراست سنگ کالک آرنایت[9] نامگذاری می شود (Folk, 1959).

سنگ آهک آبشینه ($ARLs_5$)

این سنگ آهک متعلق به واحد ریفی سازند قم می‌باشد و از غرب سد آبشینه نمونه گیری شده است. این واحد آهکی شامل آلوکم‌های فرامینیفر، میوژیپسینا ، خرده‌های مرجان، اکینودرم، دوکفه‌ای وقطعات آواری کوارتز،

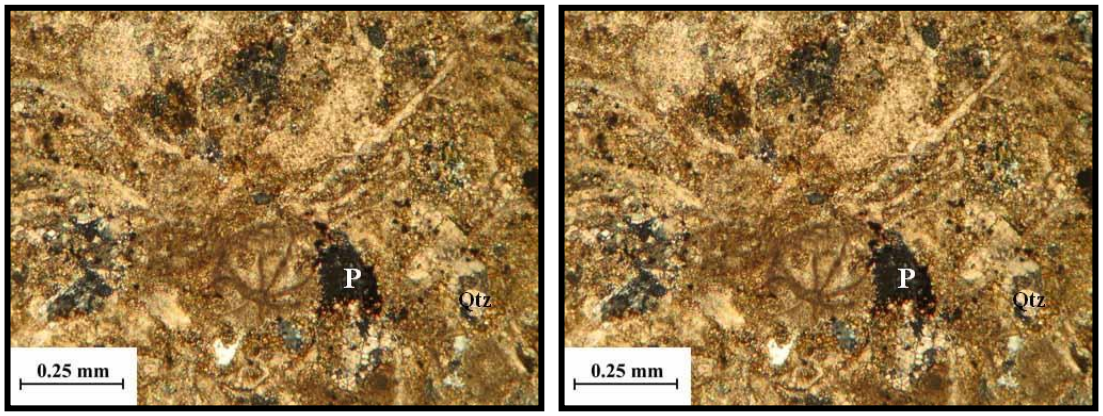
4-Micrite
5-Wackestone
6 -Packestone
7-Biomicrite
8 -Matrix
9 -Calcarenite

پلاژیوکلاز و خرده‌های آتشفشانی می‌باشد(شکل۸). در نمونه دستی قطعات درشت مرجان، دوکفه‌ای و حتی کرینوئید به راحتی قابل تشخیص است. تخلخل درون دانه‌ای زیادی دراین آهک‌ها و در بریوزوآ مشاهده می‌گردد. سنگ دارای سیمان کلسیتی است و نام آن طبق طبقه‌بندی دانهام پکستون و طبق طبقه‌بندی فولک بایو اسپارایت ماسه‌دار می‌باشد(Dermirdag and Yavuz, 2009; Folk, 1959).



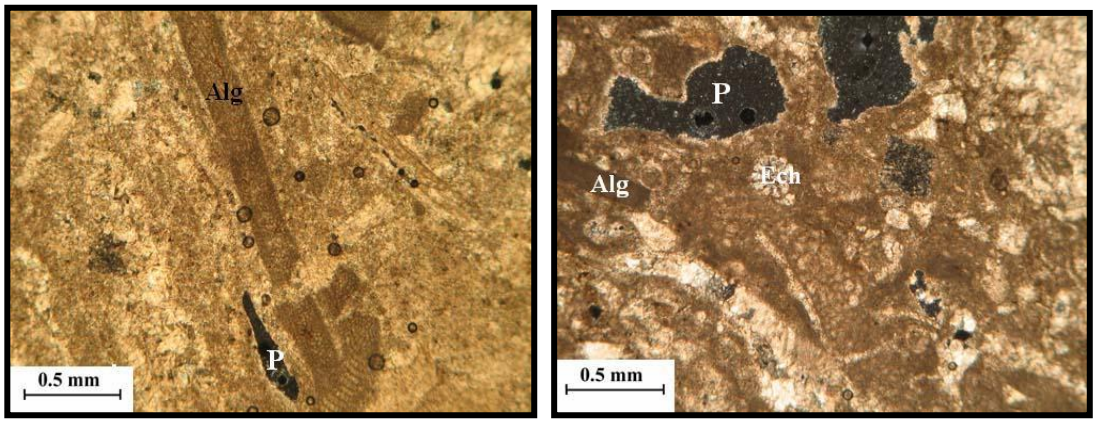
(ب) (الف)

شکل۴. برش‌های میکروسکوپی آهک دانه درشت ضیاءالدین: (الف) تخلخل درون دانه‌ای دربریوزوآ (Br) به همراه جلبک (Alg) در XPL ، (ب) تخلخل درون دانه‌ای در بریوزوآ (Br)، اکینودرم (Ech)، دوکفه‌ای (Bi) و کوارتز (Qtz) در XPL



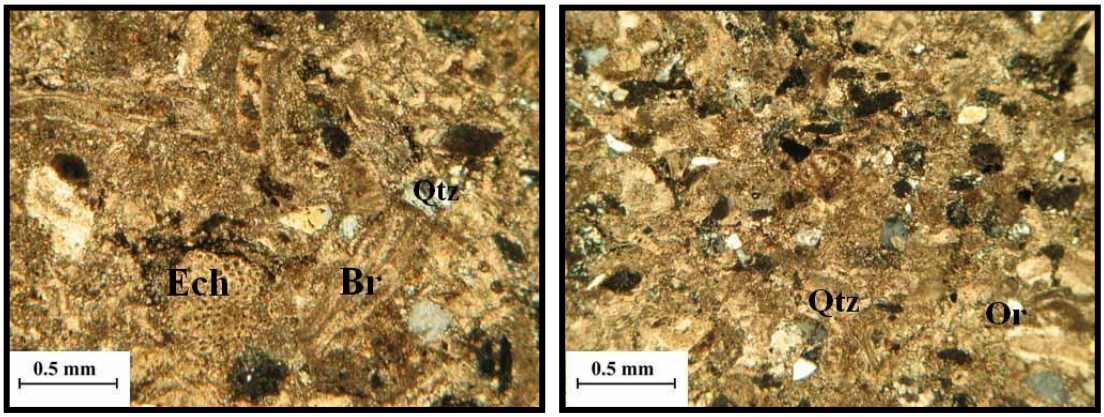
(ب) (الف)

شکل۵. برش‌های میکروسکوپی آهک دانه ریز ضیاءالدین: (الف) تخلخل حفره‌ای (P)، اکینودرم (Ech) و کوارتز (Qtz) در XPL،(ب) تخلخل حفره‌ای (P) به همراه قطعات آواری کوارتز (Qtz) در XPL



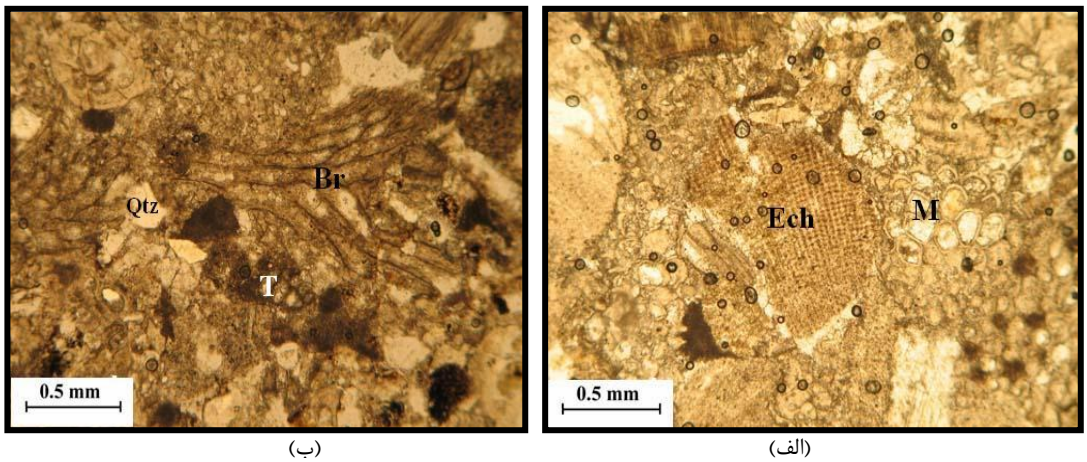
(ب) (الف)

شکل۶. برش‌های میکروسکوپی پکستون ساوه : (الف) تخلخل حفره‌ای (P)، اکینودرم (Ech) و جلبک (Alg) در XPL (پ)تخلخل حفره‌ای (P) به همراه فسیل جلبک (Alg) در XPL



(ب) (الف)

شکل۷. برش‌های میکروسکوپی کالک آرنایت سرخ آباد در XPL. کوارتز (Qtz)، ارتوکلاز (Or)، اکینودرم (Ech)، بریوزوا (Br).



(ب) (الف)

شکل۸. برش‌های میکروسکوپی سنگ آهک آبشینه: (الف) پرشدگی حجرات میوژیپسینا (M) توسط سیمان آهکی به همـراه اکینـودرم (Ech) در PPL (ب) تخلخل درون دانه‌ای در بریوزوآ (Br) به همراه تکستولاریا (T)و خرده‌های کوارتزدر PPL

خصوصیات فیزیکی

از هر واحد سنگ آهک ده نمونه برای تعیین خصوصیات فیزیکی انتخاب شده و طبق استاندارد ASTMD2216 مورد آزمایش قرارگرفتند(فهیمی‌فر و سروش، ۱۳۸۰). جمعا پنجاه نمونه از پنج واحد آهکی مورد آزمایش قرارگرفته است. میانگین نتایج برای هر واحد در جدول (۱) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود بیشترین درصد تخلخل مربوط به سنگ آهک های ساوه ، سرخ آباد و سنگ آهک دانه ریز ضیاءالدین به ترتیب۱۱/۶۶، ۶/۰۲ و ۵/۲ درصد است. کمترین مقدار تخلخل مربوط به سنگ آهک ریفی آبشینه و سنگ آهک دانه درشت ضیاءالدین به ترتیب معادل ۱/۵۱ و ۱/۵۲درصد می باشند. بیشترین میزان جذب آب مربوط به سنگ ساوه و کمترین مقدار به سنگ آهک ابشینه تعلق دارد.

خصوصیات شیمیایی (آزمایش XRF)

به منظور شناخت ترکیب شیمیایی واحد های کربناته و تعیین درصد اکسیدهای موجود روی ۵ نمونه انتخاب شده آزمایش XRF انجام شد که نتایج در جدول (۲) آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود درصد اکسید های کلسیم و سیلیسیم در نمونه ها تفاوت های مشخص دارند. نمونه های ($ARLs_5$) و ($SDLs_4$) بیشتر از ۵۰ درصد اکسید کلسیم دارددرحالیکه میزان این اکسید در نمونه ($SPLs_3$) به کمتر از ۵ درصد می رسد. اکسید سیلیسیم در نمونه ($SPLs_3$) بیشتر از ۵۰ درصد ودر نمونه ($ARLs_5$) کمتر از ۲ درصد می باشد. چنین تفاوتی بدون تردید روی خصوصیات مکانیکی سنگ موثر است.

جدول ۱ . ویژگی های فیزیکی سنگ آهک های سازند قم (میانگین ده نمونه برای هر واحد آهکی)

نام نمونه	نام سنگ	I_V	e	(n)	G_S	$\gamma_{sat}(gr/cm^3)$	$\gamma_d(gr/cm^3)$
$(ZCLs_1)$	گرین استون	۰/۸۷	۰/۰۲۲	۲/۲۰	۲/۵۹	۲/۵۵	۲/۵۳
$(ZFLs_2)$	وکستون -پکستون	۲/۲۰	۰/۰۵۵	۵/۲۰	۲/۵۱	۲/۴۳	۲/۳۸
$(SPLs_3)$	پکستون	۵/۲	۰/۱۳۲	۱۱/۶۶	۲/۵۵	۲/۳۷	۲/۲۵
$(SDLs_4)$	کالک آرنایت	۲/۴۴	۰/۰۶۴	۶/۰۲	۲/۶۳	۲/۵۳	۲/۴۷
$(ARLs_5)$	پکستون	۰/۶۲	۰/۰۱۵	۱/۵۲	۲/۵۱	۲/۴۹	۲/۴۷

جدول ۲ . نتایج آنالیز XRF سنگ آهک‌های مورد مطالعه (کاپله‌ی، ۱۳۸۷)

نام نمونه	$(ZCLs_1)$	$(ZFLs_2)$	$(SPLs_3)$	$(SDLs_4)$	$(ARLs_5)$
نام سنگ	گرین استون	وکستون- پکستون	پکستون	کالک آرنایت	پکستون
$\%SiO_2$	۶/۸۸	۱۴/۳۸	۵۲/۱۸	۸/۵۴	۱/۵۰
$\%Al_2O_3$	۱/۸۲	۴/۲۴	۱/۳۸	۲/۰۱	۰/۱۰
$\%Na_2O$	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۰۲	۰/۱۳	۰/۰۱
$\%MgO$	۵/۶۶	۶/۰۰	۰/۱۱	۱/۸۹	۰/۹۳
$\%K_2O$	۰/۴۱	۰/۶۱	۰/۴۱	۰/۴۳	۰/۰۸
$\%TiO_2$	۰/۱۹	۰/۲۳	۰/۱۷	۰/۱۹	۰/۱۳
$\%MnO$	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۳
$\%CaO$	۴۲/۰۵	۳۴/۹۵	۴/۵۵	۵۵/۸۸	۵۳/۳۶
$\%P_2O_5$	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۰۶
$\%Fe_2O_3$	۲/۰۴	۲/۴۱	۲/۴۲	۱/۵۶	۰/۸۴
$\%SO_3$	۰/۸۵	۰/۱۲	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۰۲
$\%LOI$	۳۹/۶۸	۳۶/۶۲	۳۸/۶۳	۳۹/۰۷	۴۲/۹۶

مقاومت بار نقطه ای

مطابق با استاندارد ASTMD5731 به منظور تعیین شاخص مقاومت بار نقطه ای از هرنوع سنگ آهک ۱۵ نمونه تحت آزمون بار نقطه ای قرارگرفتند(فهیمی‌فر و سروش، ۱۳۸۰). برای آزمایش قطری از نمونه های استوانه ای با نسبت طول به قطر بزرگتر از یک و برای آزمایش محوری نسبت طول به قطر نمونه های استوانه ای تهیه شده از بلوک های سنگی ۱ به ۳ بوده است. شاخص مقاومت بار نقطه ای نمونه ها درشرایط طبیعی، خشک و اشباع تعیین گردیده است. نتایج در جدول (۳) نشان داده شده است. همانطور که در جدول(۳) دیده می شود شاخص های مقاومت بار نقطه ای سنگ اهک آبشینه ($ARLs_5$) وسنگ آهک تخریبی سرخ آباد ($SDLs_4$) بیشتر از سایر سنگ آهک می باشد. زیرا با توجه به ترکیب شیمیایی، اکسید کلسیم هر دو نمونه نسبت به سایر نمونه ها بیشتراست (جدول ۲). همچنین با توجه به مطالعه سنگ شناسی میزان کوارتز و فلدسپات درسنگ های آهکی مذکوربیشتر و خردشدگی آلوکم ها در آنها کم‌تر می باشد. نمونه ($SPLs_3$) یعنی سنگ آهک ساوه کمترین مقاومت را نشان میدهد. این موضوع به تخلخل سنگ مربوط می باشد که ۱۱/۶۶ درصد است (جدول ۱).

دوام پذیری سنگ

آزمایش دوام پذیری طبق استاندارد ASTMD4644 انجام شده است(۱۳). به منظور انجام آزمایش۱۰ قطعه سنگ ۴۰ تا ۶۰ گرمی(درمجموع ۴۵۰ تا ۵۵۰گرم) آماده شده و به مدت ۱۰ دقیقه در استوانه توری استاندارد دوران داده شده‌اند. استوانه توری به شکلی در مخزن قرار داده می‌شود که تا نیمه زیر آب باشد. محصولات شکفته شده کوچکتر از ۲ میلیمتر به راحتی از میان توری گذشته و وارد کف مخزن آب شده‌اند. شاخص دوام و شکفتگی (Id) برای هر سیکل به صورت نسبت درصد وزن خشک نهایی به وزن های خشک اولیه سنگ بعد از سیکل های خشک شدگی و تر شدگی محاسبه می‌شود. بر اساس شاخص های دوام محاسبه شده سنگ آهک‌های سازند قم خیلی مقاوم هستند(جدول ۴). همانطور که در جدول (۴) مشاهده می شود تنها نمونه ($SPLs_3$) که سنگ آهک ساوه است نسبت به سایر واحدها دوام کمتری دارد.

جدول ۳ . شاخص مقاومت بار نقطه ای سنگ های آهکی (میانگین ۱۵ نمونه برای هر واحد آهکی)

نام نمونه	نام سنگ	(I_s) درشرایط طبیعی (MPa)	(I_s) در شرایط خشک (MPa)	(I_s) درشرایط اشباع (MPa)
$(ZCLs_1)$	گرین استون	۳/۶	۴/۲	۳/۵
$(ZFLs_2)$	وکستون - پکستون	۲/۷	۳/۳	۲/۵
$(SPLs_3)$	پکستون	۱/۶۵	۱/۸۸	۱/۲۹
$(SDLs_4)$	کالک آرنایت	۵/۱	۵/۵	۴/۹
$(ARLs_5)$	پکستون	۵/۶	۵/۹	۵/۲

جدول ۴ . شاخص دوام سنگ‌های آهکی در دو سیکل و رده‌بندی آنها بر اساس رده‌بندی گمبل (کاپله ی، ۱۳۸۷)

نام نمونه	نام سنگ	$Id_1(\%)$	$Id_2(\%)$	رده‌بندی گمبل
$(ZCLs_1)$	گرین استون	۹۹/۸۱	۹۹/۵۹	خیلی مقاوم
$(ZFLs_2)$	وکستون- پکستون	۹۹/۲۳	۹۸/۴۹	خیلی مقاوم
$(SPLs_3)$	پکستون	۹۸/۰۱	۹۸/۰۳	خیلی مقاوم
$(SDLs_4)$	کالک آرنایت	۹۹/۸۴	۹۹/۶۸	خیلی مقاوم
$(ARLs_5)$	پکستون	۹۹/۷۵	۹۹/۴۸	خیلی مقاوم

تعیین سختی واجهشی اشمیت

سختی واجهشی اشمیت یکی از مفاهیم رایجی است که برای توصیف مقاومت سنگ به کار می‌رود(Dermirdag and Yavuz, 2009). برای این منظور از چکش اشمیت استفاده می شود. آزمون سختی اشمیت یک آزمایش ارزان، سریع، غیرتخریبی و قابل اجرا در صحرا و آزمایشگاه می‌باشد. آزمون سختی نمونه‌ها در صحرا توسط چکش اشمیت نوع L انجام شده است .در تمام موارد سختی واجهشی نمونه‌ها در حالت قائم نسبت به سطح سنگ اندازه‌گیری شد. برای هرواحد کربناته سازند قم چهل آزمون چکش اشمیت در صحرا انجام شده که نتایج آن در جدول (۵) نشان داده شده است. با توجه به رابطه بین تخلخل و سختی، نمونه $(SPLs_3)$ باداشتن تخلخل بیشتر سختی کمتری دارد. در حالیکه نمونه $(ARLs_5)$ بدلیل تخلخل کمتر سختی بیشتری نشان میدهد.

انحلال پذیری

به منظور تعیین ضریب انحلال‌پذیری سنگ‌های کربناته سازند قم ازهر نوع سنگ آهک بلوک های سنگی به آزمایشگاه حمل و مغزه‌های استوانه ای با قطر ۵۴ میلیمتر(NX) از آنها تهیه شد. با توجه به اینکه سنگ‌های مورد مطالعه ازشرق شهرهمدان جمع آوری شده بودند برای انجام آزمایش از آب شهری استفاده شد. آب درون دستگاه با فشاری حدود ۳ بار در یک سیکل بسته جریان داشت. دمای آب بین ۵-۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.در تمام سیکل ها حجم آب درون مخزن ۱۳۶لیتر بوده است. به منظور تعیین ثابت انحلال پذیری (k_c) با فواصل ۱۲ ساعته (زمان اشباع شدن آب از کاتیون کلسیم) از آب درحال گردش نمونه‌برداری شد و تغییرات آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در آب در سه سیکل آزمایش با اسیدیته‌های متفاوت (۷-۶/۵، ۷/۵-۷، ۸-۷/۵) مورد مطالعه قرار گرفت (کاپله‌ی، ۱۳۸۷). به منظور نزدیک تر شدن شرایط آزمایش به شرایط طبیعی درزه‌هایی با دهانه ۰/۵، ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ میلی‌متر در مغزه‌ها ایجاد و در دستگاه آزمایش به خروجی‌های تعبیه شده متصل گردید. تعدادی نمونه نیز در دستگاه آزمایش و در کف مخزن قرار داده شد. برای انجام آزمایش ها ۴ ماه زمان صرف شده و با استفاده از رابطه پیشنهادی (White) معدل ثابت انحلال‌پذیری سنگ‌های کربناته سازند قم محاسبه گردیده است (White, 1977).

$$\frac{V}{A}\times\frac{dc}{dt}=K_C(C_S-C)^n$$

در این رابطه V حجم آب در جریان بر حسب متر مکعب، A مساحت سطح در معرض تماس با آب بر حسب مترمربع، dc تغییرات غلظت یون کلسیم، dt تغییرات زمان بر حسب ثانیه، Cs غلظت یون کلسیم در شرایط اشباع، C غلظت یون کلسیم که هر دو بر حسب میلی‌گرم در لیتر می‌باشند، K_c ثابت سرعت انحلال پذیری سنگ بر حسب متر بر ثانیه و n درجه واکنش می باشد که به دلیل خطی بودن نمودارهای حاصله برابر یک در نظر گرفته شده است. میانگین ثابت سرعت انحلال واحد های کربناته سازند قم در جدول (۶) برای pH های مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول شماره ۶ دیده می شود درpH طبیعی (۸-۷/۵)،ثابت سرعت انحلال پذیری (K_C)در نمونه $(ZFLs_2)$ بیشتر از سایر سنگ آهک های سازند قم است. کم‌ترین میزان ثابت سرعت انحلال پذیری (K_C) مربوط به نمونه‌های $(ARLs_5)$ و $(SDLs_4)$ می باشد.

جدول ۵. نتایج آزمایش چکش اشمیت روی نمونه‌های سنگ های آهکی (کاپله‌ی،۱۳۸۷)

نام نمونه	نام سنگ	سختی حداقل	سختی حداکثر	سختی میانگین (چهل آزمون)
$(ZCLs_1)$	گرین استون	۴۳	۴۷	۴۵
$(ZFLs_2)$	وکستون- پکستون	۴۱	۴۵	۴۳
$(SPLs_3)$	پکستون	۳۰	۳۵	۳۲/۵
$(SDLs_4)$	کالک آرنایت	۴۸	۵۳	۵۰/۵
$(ARLs_5)$	پکستون	۵۲	۵۷	۵۳

جدول ۶ . مقادیر ثابت سرعت انحلال (K_c) برحسب متر برثانیه، برای سنگ آهک های سازند قم در pH های متفاوت (کاپله‌ی،۱۳۸۷)

نام نمونه	نام سنگ	pH=۶/۵-۷	pH=۷-۷/۵	pH=۷/۵-۸
$(ZCLs_1)$	گرین استون	$۱/۷۲\times۱۰^{-۶}$	$۱/۴۹\times۱۰^{-۶}$	$۸/۴۶\times۱۰^{-۷}$
$(ZFLs_2)$	وکستون - پکستون	$۳/۱۰\times۱۰^{-۵}$	$۲/۲۱\times۱۰^{-۵}$	$۱/۱۰\times۱۰^{-۵}$
$(SPLs_3)$	پکستون	$۲/۵۱\times۱۰^{-۶}$	$۲/۱۸\times۱۰^{-۶}$	$۱/۰۶\times۱۰^{-۶}$
$(SDLs_4)$	کالک آرنایت	$۲/۲۱\times۱۰^{-۶}$	$۱/۶۲\times۱۰^{-۶}$	$۹/۶۲\times۱۰^{-۷}$
$(ARLs_5)$	پکستون	$۱/۵۵\times۱۰^{-۶}$	$۱/۲۸\times۱۰^{-۶}$	$۸/۰۱\times۱۰^{-۷}$

بحث

تنوع لیتولوژیکی در سازندهای سنگی مانند تناوب واحدهای مارن و سنگ آهک به دلیل اختلاف در ترکیب کانی شناسی مورد توجه زمین شناسان مهندس قراردارد. این موضوع زمانی اهمیت بیشتری پیدا می کند که واحدهای مارنی و یا واحدهای کربناته نیز تفاوت در ترکیب کانی شناسی داشته باشند. تفاوت در ترکیب کانی شناسی موجب بروز تفاوت در خصوصیات زمین شناسی واحد های سنگی خواهد شد. در این پژوهش با توجه به مطالعات سنگ‌شناسی پنج نوع سنگ‌آهک در سازند قم تشخیص داده شد(ساداتی و همکاران، ۱۳۸۴). این واحدهای آهکی از نظر بافت، اندازه دانه ها، وجود یا عدم وجود سیمان، وجود یا عدم وجود خمیره با هم متفاوت هستند. نمونه $(ZCLs_1)$ که از معدن سنگ آهک ضیاءالدین برداشت شده مطابق رده بندی دانهام، گرین استون است. این نوع سنگ آهک خمیره گلی ندارد وفضاهای بین دانه ها را سیمان پر می کند. نمونه $(ZFLs_2)$ هم از معدن سنگ آهک ضیاءالدین برداشت شده ولی مطابق رده بندی دانهام یک وکستون تا پکستون است. در این نوع سنگ آهک میزان دانه ها بیش از ۱۰ درصد است ولی بخش عمده سنگ را گل تشکیل میدهد. اما چون فضاهای خالی بین دانه ها توسط خمیره میکرایتی پر شده می توان آنرا پکستون هم نامید. با توجه به اینکه بخش عمده وکستون – پکستون ها را گل تشکیل میدهد درصد تخلخل این سنگ ها بیشتر از گرین استون ها می باشد (جدول ۱) در نتیجه افزایش تخلخل، مقاومت وکستون – پکستون کم‌تر از گرین استون می باشد (جدول ۳). همچنین کوچک بودن اندازه ذرات دروکستون – پکستون ها مقاومت آنها رانسبت به گرین استون ها کاهش داده است (جدول۳). شاخص مقاومت بار نقطه ای گرین استون در شرایط طبیعی ، خشک و اشباع بالاتر از وکستون – پکستون است (جدول۳). این موضوع در ارتباط با سختی سنگ آهک های یاد شده نیز صادق است و سختی گرین استون ها بیشتر از وکستون – پکستون هاست(جدول ۵). بنابراین ارتباط بین خصوصیات فیزیکی سنگ های آهکی سازند قم با خصوصیات مکانیکی آنها قابل توجه می باشد. با توجه به رابطه بین تخلخل و دوام پذیری سنگ و نظر به اینکه تخلخل گرین استون کمتر از وکستون- پکستون است شاخص دوام $Id_2(\%)$ وکستون – پکستون ها کمتر از گرین استون ها می باشد (جدول ۴). نمونه های $(SPLs_3)$ و $(ARLs_5)$ سنگ آهک هستند و براساس مطالعات مقاطع نازک سنگ هر دو پکستون نامیده می شوند ولی به دلیل تفاوت در خصوصیات فیزیکی از نظر ویژگی های مکانیکی تفاوت دارند. درصد تخلخل نمونه های $(SPLs_3)$ و $(ARLs_5)$ به ترتیب ۱۱/۶۶ و۱/۵۲ درصد است (جدول۱) بنابراین انتظار می رود که مقاومت، سختی و دوام نمونه $(SPLs_3)$ از نمونه $(ARLs_5)$ کمترباشد. با توجه به جدول شماره ۳ مشاهده می شود که شاخص بار نقطه ای نمونه $(SPLs_3)$ در شرایط طبیعی، خشک و اشباع از نمونه $(ARLs_5)$ کمتر است. این موضوع در مورد سختی و دوام نمونه های یاد شده نیز صادق می باشد (جدول های ۵و۴). نمونه $(SDLs_4)$ سنگ آهکی است که بر اساس مطالعه مقاطع نازک سنگ کالک آرنایت نامیده شده است. این سنگ آهک دارای ذرات تخریبی است، در این حالت رسوبات آهکی بافت ماسه ای دارند و سنگ آهک شباهت زیادی به ماسه سنگ پیدا می کند. به همین دلیل کالک آرنایت گفته می شود. بنابراین سختی، مقاومت ودوام آن افزایش پیدا می کند (جدول های۵،۴،۳). رابطه بین ترکیب شیمیایی و قابلیت انحلال سنگ های آهکی سازند قم نیز قابل توجه است. میزان اکسیدکلسیم از ۵۵/۸۸ درصد برای نمونه $(SDLs_4)$ تا ۳۴/۹۵درصد برای نمونه $(ZFLs_2)$ متغیر است (جدول ۲). در pH طبیعی (۸-۷/۵) میزان ثابت سرعت انحلال نمونه $(ZFLs_2)$ یعنی سنگ‌آهک ریزدانه

ضیاءالدین (وکستون- پکستون) نسبت به سایر سنگ آهک بیشتر و مساوی با $۱/۱۰\times۱۰^{-۵}$ متر برثانیه می‌باشد (جدول ۶). به استثنای نمونه ($SPLs_3$) که سنگ آهک ماسه ای (کلک آرنایت) است،اکسید کلسیم نمونه ($ZFLs_2$)از سایر سنگ آهک ها کم‌تراست. این موضوع به کاهش میزان انحلال و افزایش ثابت سرعت انحلال سنگ کمک می کند. میزان ثابت سرعت انحلال در نمونه ($SDLs_4$) یعنی کالک آرنایت درpH طبیعی (۸-۷/۵) کم و مساوی با $۱/۰۶\times۱۰^{-۷}$ متر بر ثانیه می‌باشد(جدول ۶). این واحد آهکی بیشترین درصد اکیسد کلسیم را در بین سایر واحدهای آهکی‌دارد و میزان آن به ۵۵/۸۸ می رسد(جدول۲). بنابراین می توان گفت در سنگ های آهکی، ترکیب شیمیایی در تغییر میزان ثابت سرعت انحلال سنگ نقشی تعیین کننده دارد. این موضوع در مورد سنگ آهک آبشینه ($ARLs_5$) نیز صادق می باشد. این واحد آهکی نیزبیشتر از ۵۰درصد اکسید کلسیم دارد(جدول ۲) و میزان ثابت سرعت انحلال آن نیز حداقل و برابر $۸/۰۱\times۱۰^{-۷}$ متر بر ثانیه است (جدول ۶).

نتیجه گیری

سنگ های آهکی از دیدگاه سنگ شناسی انواع مختلفی دارند. این اختلاف به نوع اجزاء (تخریبی مانند کوارتزو فلدسپات، شیمیایی و بیوشیمیایی یعنی آلوکم ها)، بافت، سیمان و خمیره گلی (میکرایت) آنها مربوط می شود. این تفاوت سنگ شناسی موجب ایجاد تفاوت در خصوصیات فیزیکی (درصد تخلخل) می گردد. تفاوت در میزان تخلخل به تغییرات در خصوصیات مکانیکی (مقاومت، دوام) و شیمیایی (میزان انحلال پذیری)سنگ های آهکی منجر می شود. در شرق و شمال شرق همدان سازند قم متشکل از پنج نوع سنگ آهک است. دونوع از این سنگ آهک ها که از نظر سنگ شناسی پکستون می باشند به ترتیب بیشترین و کمترین مقاومت ها دارند. مقاوم ترین آنها سنگ آهک ابشینه ($ARLs_5$)در شرق همدان است. این سنگ دارای حداقل تخلخل (۱/۵۲ درصد)، بالاترین شاخص مقاومت بار نقطه ای (۵/۹ مگاپاسگال در شرایط خشک) بیشترین سختی (حداکثر ۵۷) بوده و از نظر دوام پذیری خیلی مقاوم می باشد. ثابت سرعت انحلال پذیری آن در میان سایر سنگ آهک ها حداقل و به میزان $۸/۰۱\times۱۰^{-۷}$ متر بر ثانیه محاسبه گردیده است. در مقابل سنگ اهک ساوه ($SPLs_3$) در شمال شرق همدان دارای حداکثرتخلخل (۱۱/۶۶درصد)، کمترین شاخص مقاومت بار نقطه ای (۱/۸۸مگاپاسگال در شرایط خشک) کمترین سختی (حداکثر ۳۵) بوده و از نظر دوام پذیری مقاوم می باشد. ثابت سرعت انحلال پذیری آن به میزان $۱/۰۶\times۱۰^{-۶}$ متر بر ثانیه محاسبه گردیده است. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش استفاده از سنگ های آهکی سازند قم بعنوان مصالح ساختمانی (سنگ مالون،لاشه ،نما) پیشنهاد می گردد ولی جهت احداث سدهای مخزنی روی آنها تعیین خصوصیات زمین شناسی مهندسی به ویژه محاسبه ثابت سرعت انحلال پذیری سنگ های کربناته باید مورد توجه قراربگیرد.

منابع

ساداتی، سیدمسعود، خدابخش، سعید، محسنی ، حسن، ۱۳۸۴ ، واحدهای سنگی الیگومیوسن در شمال زون سنندج- سیرجان: مطالعه موردی در شرق و شمال شرق همدان، مجله علوم دانشگاه بوعلی سینا، جلد۲، شماره ۱،صفحات ۲۲-۱۴.

فهیمی‌فر، احمد و سروش، حامد.، ۱۳۸۰، آزمایش های مکانیک سنگ (جلد اول)، انتشارات دانشگاه امیر کبیر.

قبادی، محمدحسین.، ۱۳۸۸،زمین شناسی مهندسی کارست، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا همدان.

کاپله‌ی، معصومه، ۱۳۸۷ ، مطالعه ویژگی های زمین شناسی مهندسی سازند قم در شرق و شمال شرق همدان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا.

Chang,C.,Zoback,M.D. and Khaksar,A., 2006. Empirical relations between rock strength and physical properties in sedimentary rocks. Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol.51,pp.223-237.

Dermirdag, H. and Yavuz, R.Altingdag. 2009. The effect of sample size on Schmidt rebound hardness value of rocks. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. Vol.46.pp.725-730.

Dermirdag, H. and Yavuz, R.Altingdag. 2009. The effect of sample size on Schmidt rebound hardness value of rocks. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. Vol.46.pp.725-730.

Dhakal,G.,yoneda,T.,Kato,M.and Kaneko,K.,2002.Slake durability and mineralogical properties of some pyroclastic and sedimentary rocks. Engineering Geology, Vol.65,pp.31-45.

Folk, R.L., 1959. Practical petrographicclassificationof limestones, AAPG, Bul. Vol.43, pp.1-38.

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.

Kahraman,S.,Gunayin,O.and Fener,M.,2005.The effect of porosity on the relation between uniaxial compressive strength and point load index.International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences,Vol.42,pp.584-589.

katz,O.,Reches,Z.and Roegiers,J.,2000.Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt Hammer.International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol.37,pp.723-728.

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.

Romanov, D., Gabrovsek,F.And Dreybrodt,W.,2003.Dam sites in soluble rocks:a model of increasign leakage by dissolution widening of fractures beneth a dam. Engineering Geology,Vol.70,pp.17-35.

White, B.W.1977. Role of solution Kinetics in the development of karst aquifers. Karst Hydrogeology, edited by J.S.Tolson and F.L.Doyle, UAH, Alabama, USA.