

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره ۱۳، شماره ۴۹، پاییز ۱۴۰۱

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۰۹ تأیید نهایی: ۱۴۰۱/۰۵/۲۸

صص ۷۹-۹۷

پژوهشی

بررسی تأثیر جنس و ترکیبات لایه‌های ماسه‌سنگ آجاجاری مسجدسلیمان همراه با سختی سنگ بر توسعه چال سنگ‌ها

امیر احمدی*، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب، اهواز، ایران
شیرین محمدخان، استادیار، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

چکیده

چال سنگ‌ها یکی از لندفرم‌های تماشایی سنگ‌ها به ویژه ماسه‌سنگ‌ها به شمار می‌آید. هدف این پژوهش بررسی ویژگی‌های ژئومورفولوژی و سنگ‌شناسی در هفت لایه (A تا F) ماسه‌سنگ آجاجاری شمال غرب مسجدسلیمان در توسعه و تکامل چال سنگ‌ها است. در این مقاله تعداد ۴۸ نمونه از ماسه‌سنگ‌ها جهت مطالعه کانی‌های تشکیل‌دهنده و مقدار کربنات کلسیم مورد بررسی واقع گردید. از میکروسکوپ پلاریزان و دستگاه کلسیمتری برنارد به ترتیب برای مشخص نمودن میزان تخلخل و کربنات کلسیم استفاده نموده‌ها استفاده شد. سپس با استفاده از چکش اشمیت سختی ۴۸ نمونه از ماسه‌سنگ‌ها به دست آمد. در این کار از نرم‌افزار Jmicrovision جهت به دست آوردن مقدار و درصد کانی‌های مقاطع نازک و از نرم‌افزار GIS جهت ترسیم نقشه‌ها استفاده گردید. نتایج نشان داد که وجود چال سنگ‌ها تابعی از شرایط فیزیکی سنگ و ترکیبات کانی‌شناسی سنگ‌ها همراه با نقش فرسایشی جریان آب در کربنات کلسیم سنگ است. در این پژوهش بر اساس داده‌ها و نتایج به دست آمده مشخص گردید که ویژگی‌های جنس ترکیبات سنگ بویژه مقدار درصد کربنات نقش بسیار مهمی در ایجاد چال سنگ‌ها دارند. به طوری که مشخص گردید وجود فراوان کانی فلدسپات و درصد بالای تخلخل در قدیمی‌ترین لایه سازند آجاجاری (لایه A)، نقش زیادی در ایجاد چال سنگ در آن دارد. درزه‌ها از دیگر عوامل اصلی ایجاد چال سنگ‌ها (۶۳٪) هستند. دیگر لایه‌های دارای چال سنگ (لایه B, D, C, F) یک رابطه معناداری بین افزایش درصد کوارتز، و کاهش درصد فلدسپات و مقدار کربنات کلسیم را نشان می‌دهند. همچنین نتایج نشان داد میانگین کربنات کلسیم ماسه‌سنگ آجاجاری حدود ۵۰٪ است و یکی از دلایل وجود چال سنگ‌ها در لایه‌ها ماسه‌سنگی علی‌رغم سختی چکش اشمیت زیاد همین عامل است که نسبت به فرسایش شیمیایی و انحلال بسیار حساس است.

واژگان کلیدی: ماسه‌سنگ آجاجاری، چال سنگ، ژئومورفولوژی، کربنات کلسیم، چکش اشمیت، سختی سنگ.

* Email: geoamirahmadi@yahoo.com

نویسنده‌ی مسئول:

۱- مقدمه

چاله‌های سنگی^۱، با نام‌های همچون، حوضچه‌های موقت^۲، اشکال دیگی^۳، مخزن آب^۴، حفره‌ها و گودهای هوازده^۵ شناخته شده هستند که در اندازه و شکل‌های گوناگونی بر روی سنگ‌ها ایجاد می‌شوند (Netoff et al, 1995). این پدیده‌های ژئومورفولوژی جزو دسته‌بندی لندفرم‌ها با مقیاس متوسط هستند (Whole, 1998). اورتگا^۶ و همکاران (۲۰۱۴) پیدایش چال سنگ‌ها را بیشتر به مقاومت سنگ بستر مرتبط می‌دانند. در تحقیق دیگر لیما و بیندا^۷ (۲۰۱۵) به غیر از درزه‌ها و مقاومت سنگ، عوامل شرایط کانال رودخانه مانند قدرت جریان را دلیل ایجاد چال سنگ‌ها می‌دانند. سنگ‌ریزه‌های درشت و کوچک به دام افتاده در این چال سنگ‌ها سبب توسعه قطر و عمق آن‌ها به دلیل ایجاد فرسایش و جریان گردابی می‌شود (جی و همکاران^۸، ۲۰۱۸) و گاهی نیز به این اشکال در روی سنگ‌های بدون پوشش گیاهی و یا پوشش خاکی و همچنین در معرض هوا تشکیل می‌شوند (Kebbi, 2012). اندازه و ابعاد چال سنگ‌ها از چند دسیمتر تا چند متر هستند (Wohl 1998; Kebbi, 2012) چاله‌های سنگی می‌توانند به وسیله عمل فرایندهای مانند: آب، باد و یخبندان و یا به وسیله فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی گسترش پیدا کنند (Udden, 1925; Reed et al., 1963; Twidale, 1982; Birkeland et al., 1987). این لندفرم‌ها همچنین بیشتر در بستر سنگی کانال‌های رودخانه‌ای به صورت شیار دیده می‌شوند (Gilbert, 1906; Alexander, 1932; Lorence and Saavedra, 1980; Kale and Shingade, 1987; Wohl, 1993). از دیگر پارامترهای تأثیرگذار بر چال سنگ‌ها نیز می‌توان بر ویژگی‌های فیزیکی لایه‌ها و زیرلایه‌های^۹ سنگ بستر؛ مانند درزه‌ها و شکاف‌ها، جهت درزه‌ها و فاصله درزه‌ها، سختی سنگ و ناهمواری سطح سنگ است (Elstone, 1918; Wang et al 2009; Springer et al 2006; Sengupta and Kale, 2011). به طوری که اورتگا و همکاران در یک تحقیق به این نتیجه رسیدند که ایجاد و پیدایش چال سنگ‌ها در ۸۹٪ موارد در ارتباط با درزه‌ها هستند. تغییر شیب بستر و همچنین ویژگی‌های جریان رفتار هیدرولیکی مانند سرعت و نوع جریان (آشفته، خطی و گردابی)، مقدار بار بستر و اندازه رسوبات بار بستر و همچنین سختی سنگ بستر نیز در ایجاد و گسترش چال سنگ‌ها نیز تأثیرگذار هستند (Alexander, 1932; Kale and Shingade, 1987; Wohl, 1993; Hancock et al., 1998; Whipple et al., 2000a, 2000b; Springer and Wohl, 2002; Kale and Joshi, 2004; Johnson and Whipple, 2004; Springer, 2005) البته ناگفته نماند که رسوبات بستر برای سنگ چال‌ها مانند یکی ابزار فرسایشی عمل می‌کنند که سبب فرسایش بستر و دیواره چال سنگ‌ها و گسترش آن می‌شوند (Gilbert, 1877; Charlton, 2008). در ایران با توجه به گوناگونی فرهنگ‌های بومی و محلی هر کدام نام خاص برای این نوع لندفرم نام‌گذاری کرده‌اند. مثلاً در جنوب غرب ایران نام‌های همچون: چال سنگ، چویل، کاسه سنگ (روستای آب کاسه از توابع مسجدسلیمان نیز به دلیل وجود همین اشکال کاسه‌ای و گرد ماسه‌سنگ آغاچاری که در آن آب رودخانه و باران جمع می‌شود، نام‌گذاری شده است)، شناخته شده است. در سازند ماسه‌سنگی آغاچاری که بخش زیادی از رخنمون‌های سطح زمین را در بخش زاگرس چین خورده غربی را تشکیل داده است، اشکال چال سنگ‌ها که یکی از لندفرم‌های بارز و فراوان این ماسه‌سنگ هستند، در ماسه‌سنگ آغاچاری، مطالعه‌ای و پژوهشی در زمینه چگونگی تشکیل و تکامل چال سنگ‌ها صورت نگرفته است که ضرورت این پژوهش را توجیه می‌کند. با توجه به مطالعات اندک صورت گرفته در پیوند با تأثیر ویژگی‌های فیزیکی سنگ‌ها بر ایجاد و گسترش چال سنگ‌ها، هدف این پژوهش بررسی ویژگی‌های ژئومورفولوژی و ویژگی فیزیکی ماسه‌سنگ آغاچاری شامل: سختی سنگ چکش اشمیت، عرض درزه‌ها^{۱۰}، فاصله درزه‌ها^{۱۱}، پیوستگی درزه^{۱۲}، و ستبرای لایه‌های ماسه‌سنگ‌ها،

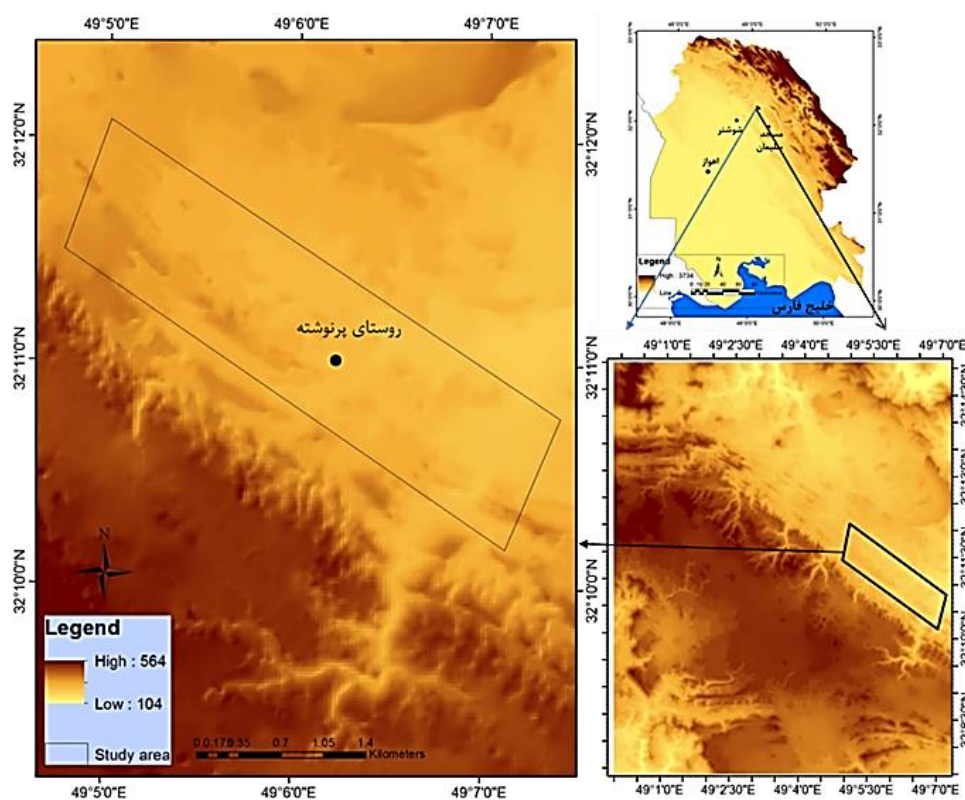
- 1- Pothole
- 2- Ephemeral pools
- 3- Caldrons
- 4- Tanks
- 5- Weathering pit
- 6- Ortega

- 7- Lima & Binda
- 8- Shaocheng Ji and et al.
- 9- Substrate characteristics
- 10- Width of the joints
- 11- The spacing of joints
- 12- Lateral or vertical continuity of the joints

همچنین ویژگی‌های سنگ‌شناسی شامل جنس کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ، میزان تخلخل در فراوانی و پراکندگی چال سنگ‌ها در سازند ماسه‌سنگی آغاچاری است.

۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال غربی شهرستان مسجدسلیمان واقع در بخش جهانگیری و به مرکزی روستای پرنوشته است که دارای مختصات جغرافیایی، عرض $32^{\circ}11'59'' - 32^{\circ}10'17''$ و طول $49^{\circ}7'5'' - 49^{\circ}5'5''$ است، مساحت منطقه ۲.۴ کیلومترمربع و عرض ۷۰۰ متر با طول ۳۵۰۰ متر است و بلندترین نقطه منطقه ۳۰۰ متر است (شکل ۱)، آب و هوای منطقه خشک و نیمه‌خشک با ویژگی مدیترانه‌ای است که بیشترین بخش بارش سال، در فصل سرد رخ می‌دهد میانگین بارش و دمای منطقه به ترتیب ۵۲۳ میلیمتر و ۲۵.۵ درجه است (احمدی، ۱۳۹۱). منطقه مورد مطالعه در بخش زاگرس چین خورده با چین‌های ساده و موازی قرار دارد که بخش مورد مطالعه جزئی از یال شمال غربی تاکدیس مسجدسلیمان است. مرز منطقه مورد مطالعه بر اساس مرز لایه‌های ماسه‌سنگی آغاچاری مشخص شده است.

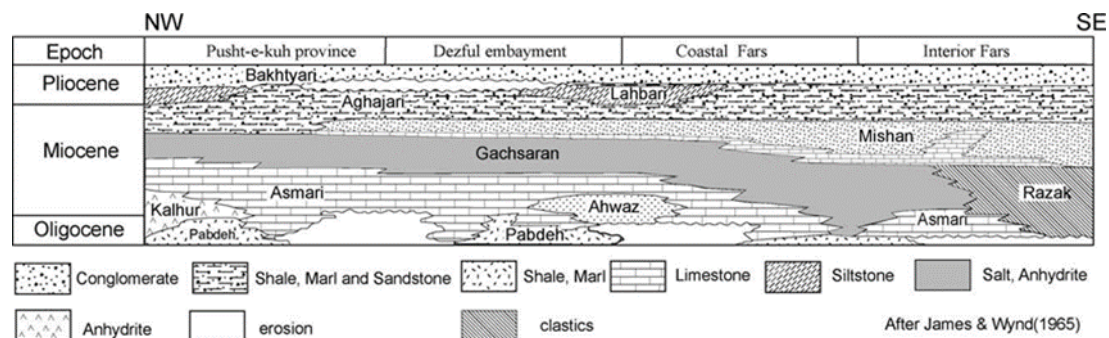


شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان خوزستان.

۲-۱- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

سازند آغاچاری یک سازند ماسه‌سنگی است که بر اثر فرسایش کوه‌های زاگرس ایجاد شده است (مطیعی: ۱۳۷۲، آقناباتی: ۱۳۸۳) این سازند جزو گروه فارس شامل: سازند گچساران (فارس پایینی)، سازند میشان (فارس میانی) و سازند آغاچاری (فارس بالایی) است (Bahroudi and koyi, 2004). سازند آغاچاری منطقه مورد مطالعه در فروافتادگی دزفول واقع است که شامل لایه‌های ماسه‌سنگی، سیلتستون و مادستون با ستبرای حداقل چند سانتی‌متر تا حداکثر ۶ متر، همراه با میان لایه‌های مارنی قرمز رنگ است، سن این سازند را از میوسن میانی - بالایی تا پلیوسن می‌دانند (مطیعی،

۱۳۷۲، آقناباتی، ۱۳۸۳; Homke et al, 2004). سازند آغاچاری به طور تدریجی و هم شیب بر روی سازند میشان قرار گرفته در صورتی که کنگلومرای بختیاری به طور دگر شیب سازند آغاچاری را می‌پوشاند (تهرانی، ۱۳۸۴، ۲۴۹) (شکل ۲). از دیدگاه سنگ‌شناسی سازند آغاچاری منطقه مورد مطالعه از ترکیب کوارتز (۳۴.۴٪)، پلت (۲۹.۹۵٪)، لیت آرنایت (۱۶.۳٪)، فلدسپات (۱۱.۹۸٪) و اکسید آهن (۷.۲٪) است، سیمان غالب این ماسه‌سنگ شامل: کلسیت، دولومیت است. میانگین اندازه ذرات از ۱۰ میکرومتر تا ۵۰۰ میکرومتر در لایه‌های سنگی در نوسان است (Ahmadi et al, 2015).



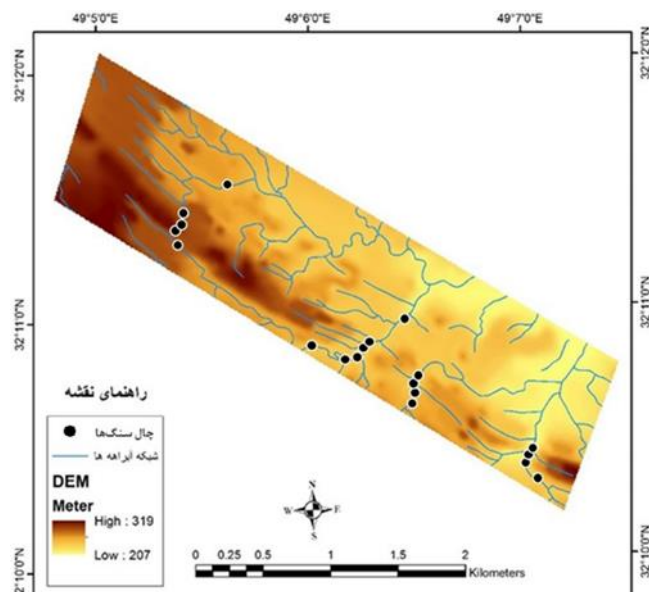
شکل ۲: ستون چینه نگاری گروه فارس در زاگرس (برگرفته از بهرودی و کوی، ۲۰۰۴).

۲-۲- ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه

سازند آغاچاری یکی از سازندهای زاگرس است که دارای تنوع و گوناگونی لندفرم‌های ژئومورفولوژی است، مهم‌ترین این لندفرم‌ها به ترتیب فراوانی عبارت‌اند از: یال‌ها، شبکه آبراهه‌ها، تیغه‌ها و پرتگاه‌ها، واریزه‌های سنگی و تافونی‌ها (محمدخان و احمدی، ۱۳۹۶). پراکندگی و جهت لندفرم‌ها به پیروی از روند ساختاری زاگرس با جهت باختری - جنوب خاوری است، این روند جهت لایه‌ها نتیجه سیستم چین خوردگی زاگرس است که در اثر برخورد قاره‌ای صفحه عربستان به بلوک ایران حاصل شده است (Stocklin, 1968; Alavi, 1994; Berberian, 1995; Sherkati and Letouzey, 2004; Mobasher and Babaei, 2008; Navabpour and Barrier, 2012). شبکه آبراهه‌ها نیز عمود بر لایه‌های ماسه‌سنگی به صورت چلیپا (تقاطع‌ی) است که از نوع داربستی^۱ است. این شبکه آبراهه‌ها در منطقه مورد مطالعه در نتیجه وجود لایه‌های سست و فرسایش‌پذیر مارنی است و در بستر لایه‌های ماسه‌سنگی آن‌ها لندفرم‌های "چال سنگ‌ها" دیده می‌شوند (شکل ۴).



شکل ۳: شبکه آبراهه‌ای داربستی و چلیپا در منطقه مورد مطالعه همراه با لندفرم‌های مانند سال‌ها و واریزه‌ها. همانطور که در تصویر نیز پیداست، شبکه‌های آبراهه بصورت موازی با لایه‌های ماسه‌سنگی در مارن‌ها گسترش پیدا میکنند و در آخر به آبراهه میانی در دو سوی یال‌ها که به صورت چلیپایی عمود بر لایه‌های ماسه‌سنگی است (در مرکز عکس با فلش نشان داده شده است) برخورد می‌کند.



شکل ۴: شبکه داربستی آبراهه‌ای منطقه مورد مطالعه همراه با موقعیت چال سنگ‌های مورد مطالعه.

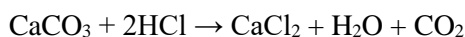
۳- مواد و روش‌ها

در این پژوهش شمار ۴۸ نمونه از ماسه‌سنگ‌های منطقه مورد مطالعه در شش خط نمونه‌برداری شد. هر خط نمونه‌برداری نیز هشت نمونه به منظور بررسی وضعیت جنس، ترکیبات و تخلخل برداشت شد (شکل ۵)، پس از تهیه مقطع نازک^۱ از نمونه‌ها وضعیت جنس، ترکیبات و تخلخل نمونه‌ها به وسیله میکروسکوپ پلاریزان همراه با نرم‌افزار Jmicrovision مشخص گردید. در این پژوهش، نقطه‌های نمونه‌گیری (A) قدیمی‌ترین لایه سازند آغاچاری و نقطه‌های نمونه‌گیری (H) جدیدترین لایه هستند و فاصله هر نقطه نمونه‌گیری در هر لایه بین ۳۰ تا ۱۵۰ متر در نوسان است که سبب دور و نزدیک شدن لایه‌ها از یکدیگر سبب این نوسان فاصله بین لایه‌های ماسه‌سنگ شده است.

در ادامه برای برآورد سختی لایه‌های ماسه‌سنگی از چکش اشمیت مدل N همچنین (استاندارد (ISRM, 1978) در چهار خط برش عرضی نمونه‌برداری (خط ۴-۱) و هر خط برش عرضی با هشت لایه نمونه‌گیری (نمونه A تا H) برداشت گردید (شکل ۵) که شمار نمونه‌های سختی سنگ ۳۲ نمونه است که موقعیت همه آن‌ها به وسیله دستگاه GPS یادداشت و سپس بر روی نقشه‌ها انتقال داده شد. در ادامه از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ جهت ترسیم آبراه‌ها و همچنین تهیه نقشه ارتفاعی (DEM) استفاده گردید. سپس از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ جهت مشخص کردن محدوده منطقه مورد مطالعه استفاده شد. برای ترسیم نقشه ژئومورفولوژیکی از نرم‌افزار Arc GIS استفاده شد. به منظور برداشت اندازه فیزیکی سنگ چال‌ها، هفت لایه منطقه مورد مطالعه پیمایش گردید. در ادامه همراه به متر و کولیس ویژگی از جمله: طول و عرض و عمق سنگ چال‌ها همراه با اندازه‌گیری جهت و عرض درزه‌ها برداشت گردید.

برای محاسبه دقیق درصد کربنات کلسیم از روش شناخته کلسیمتری برنارد^۲ استفاده شود چرا که تا اکنون یکی از دقیق‌ترین راه‌های به دست آوردن درصد کربنات کلسیم نمونه‌های رسوبی محسوب می‌شود و خطای آن بین ۵ - ۱٪ است (F. Lamas and et all, 2005).

برای به دست آوردن مقدار کربنات کلسیم از دستگاه کلسیمتری برنارد استفاده شد که بر اساس واکنش اسید هیدروکلریک رقیق^۳ با کربنات‌های موجود در نمونه‌ها است و در نتیجه این واکنش گاز CO₂ آزاد می‌شود (Pansu and Gautheryou, 2006):



مقدار درصد کربنات کلسیم نمونه‌ها از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$\text{CaCO}_3 = \frac{V * 1.79 * 2.28 * 100}{1000 * P}$$

CaCO₃ = درصد کربنات کلسیم

V = حجم گاز CO₂ تولید شده از نمونه

۱/۷۹ = ضریب به دست آمده از جدول پانسو و گاتیرو (۲۰۰۶) است (۱.۷۹ یعنی دمای ۲۰ درجه و میانگین فشار

۱۰۱۷ هکتو پاسکال محیط آزمایشگاه)

۲/۲۸ = عدد پایدار

P = وزن نمونه

جهت به دست آوردن کربنات کلسیم، شمار ۴۸ نمونه از رسوبات برداشت شده با دستگاه کلسیمتری برنارد محاسبه گردید.

در این مقاله، جهت برآورد سختی ماسه‌سنگ آغاچاری از چکش اشمیت استفاده گردید. سلی (۱۹۹۳) در ارتباط با چکش اشمیت ویژگی سنگ‌های بسیار ضعیف با فشردگی کم و بسیار هوازده از نظر نمره‌دهی به وسیله چکش اشمیت

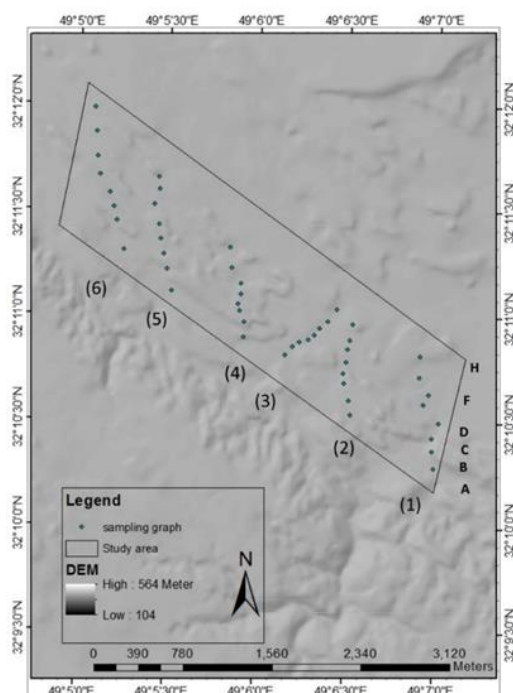
1- Thin section
2- Bernard calcimeter

3- Dilute Hydrochloric Acid

دارای نمره ۳۵-۱۰، سنگ‌های دارای سیمان ضعیف نمره ۴۰-۳۵، سنگ‌های دارای مقاومت میانه مانند ماسه‌سنگ‌ها را نمره ۵۰-۴۰، سنگ‌های با مقاومت زیاد را نمره ۶۰-۵۰ و برای سنگ‌های با مقاومت بسیار زیاد و فشردگی بالا نمره بالاتر از ۶۰ اختصاص داد (جدول ۱). در این مقاله از روش استاندارد (ISRM, 1978) (Day and Goudie, 1977) جهت برآورد سختی سنگ استفاده می‌شود (شکل ۶). همچنین به منظور شناسایی نوع چال سنگ‌ها و ارتباط آن‌ها با ویژگی‌های فیزیکی لایه‌های ماسه‌سنگی، هفت پارامتر مهم شامل: ستبرای لایه‌های دارای چال سنگ، پهنای درزه‌ها، فاصله درزه‌ها، پیوستگی درزه‌ها، نوع چال سنگ، ژرفای و پهنای چال سنگ‌ها مورد بررسی قرار گرفتند.

جدول ۱: دسته‌بندی ماسه‌سنگی بر اساس نمره چکش اشمیت از سلبی (۱۹۹۳).

بسیار سخت	سخت	میانه	سست	بسیار سست	چگونگی کیفیت
۶۰ - ۱۰۰	۵۰ - ۶۰	۴۰ - ۵۰	۳۵ - ۴۰	سختی ۱۰ - ۳۵	سختی سنگ‌های یکپارچه
۲۰	۱۸	۱۴	۱۰	(نمره) ۵	بر اساس چکش اشمیت



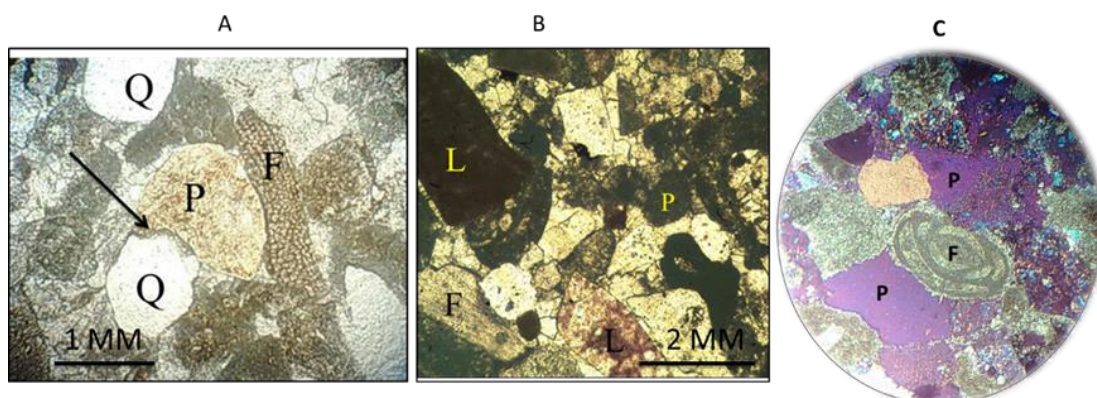
شکل ۵. نقشه برداشت نمونه‌های مقاطع نازک ماسه‌سنگ و آزمایش سختی سنگ با چکش اشمیت از منطقه مورد مطالعه.



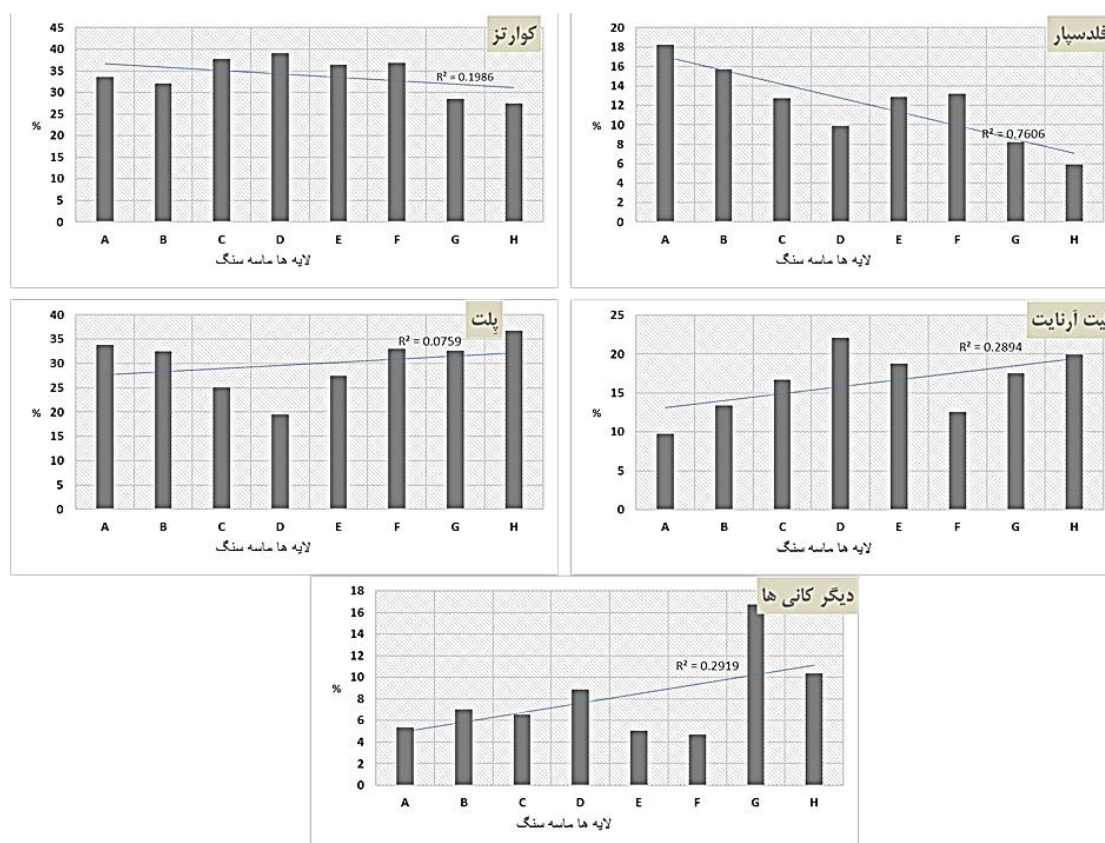
شکل ۶: چگونگی برداشت نمونه چکش اشمیت بر روی لایه‌های ماسه‌سنگی.

۴- بحث

ماسه‌سنگ آغاچاری نتیجه رسوب‌گذاری رودخانه‌های زاگرس است به سمت حوزه آبریز خلیج فارس است. بررسی‌های کانی‌شناسی با میکروسکوپ پلاریزان نشان داد که ماسه‌سنگ آغاچاری از کانی‌های کوارتز (۳۴٪)، پلت (۳۰٪)، لیت آرنایت (۱۶٪)، فلدسپات (۱۲٪) و دیگر کانی‌ها مانند ذرات آئید، ذرات سیمان آهن و کلسیت، شکستگی‌های ذرات فسیل‌ها، (۸٪) هستند (شکل ۷). همچنین مقدار جنس و ترکیبات لایه‌های ماسه‌سنگی به ترتیب از (A,B,C,D,E,F,G,H) در نمودار نشان داده شده (شکل ۸). ذرات کانی کوارتز دارای بیشترین مقدار بین ۳۳ تا ۴۰ درصد در ماسه‌سنگ آغاچاری است. لایه‌های C,D,E نسبت به سایر لایه‌ها از مقدار کوارتز بیشتری تشکیل شده‌اند؛ ولی اختلاف زیادی با سایر لایه‌ها ندارند. ذرات رسوبی پلت، دومین ذرت تشکیل‌دهنده رسوبات ماسه‌سنگی آغاچاری هستند که بین ۱۹ تا ۳۷ درصد در نوسان است که لایه‌های میانی دارای نسبت کمتری از ذرات پلت نسبت به لایه‌های جوان و قدیمی‌تر است. لیتارنایت‌ها سومین کانی تشکیل‌دهنده لایه‌های ماسه‌سنگ آغاچاری هستند که بین ۹ تا ۲۲ درصد در لایه‌ها در نوسان هستند و بیشترین تمرکز آن‌ها در لایه‌های میانی C,D,E و لایه H هستند. لایه A,B,F نیز دارای کمترین مقدار در بین سایر لایه‌های ماسه‌سنگی هستند. فلدسپات‌ها چهارمین کانی تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ آغاچاری هستند. فلدسپات‌ها از نظر مقدار دارای شیب کاهشی از لایه‌های قدیم سازند آغاچاری به سمت لایه‌های جوان هستند، به طوری که از لایه A که دارای ۱۸٪ فلدسپات به لایه F حدود ۶٪ درصد ختم می‌شود. از نظر مقدار درصد ذرات بعد از فلدسپات، سیمان اصلی سازند ماسه‌سنگ آغاچاری کلسیت و مقدار کمی سیمان آهن همراه با زمینه ماتریکس گلی است.



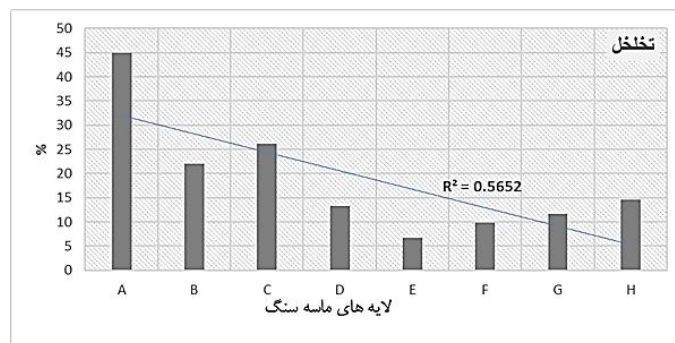
شکل ۷. عمده کانی‌های تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ آغاچاری. شکل (A)، دانه‌های کوارتز (Q)، پلت (P) و یک ذره فسیل (F) و شکل (B) شامل لیتارنایت (L) و ذرات فسیل و پلت. شکل (C) نیز تخلخل را (P) نشان می‌دهد.



شکل ۸. نمودارهای پراکندگی کانی‌ها تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ در هر لایه را نشان می‌دهد.

۴-۱- مقدار تخلخل نمونه‌ها

در منطقه مورد مطالعه میانگین تخلخل اندازه‌گیری شده در لایه‌های A تا H (لایه A قدیمی‌ترین لایه و لایه H جوان‌ترین لایه سازند آغاچاری هستند) در لایه‌های قدیمی دارای بیشترین مقدار و در لایه‌های میانی و تا حدودی پایانی، کمترین مقدار است (شکل ۹). تخلخل در منطقه مورد مطالعه، لایه نخست یا لایه A در بین تمام لایه‌ها دارای بیشترین مقدار ممکن یعنی ۴۵ درصد است (شکل ۷C) و لایه E دارای کمترین مقدار (تقریباً ۷ درصد) است. در منطقه مورد مطالعه این افزایش تخلخل بیشتر در بخش نخستین لایه‌های سازند آغاچاری رخ داده است.



شکل ۹: نمودار میانگین تخلخل لایه‌های ماسه‌سنگی مورد مطالعه.

۴-۲- مقدار سختی سنگ چکش اشمیت

سختی چکش اشمیت^۱ بیش از ۵۰ سال است که به طور گسترده مورد ارزیابی سختی سنگ قرار می‌گیرد (Demirdag et al, 2009) نمره به دست آمده از چکش اشمیت با مقاومت سنگ رابطه مستقیم دارد. (Gupta et al, 2009). از این رو، نمره چکش اشمیت نه تنها بیانگر سختی سنگ است؛ بلکه میزان تخلخل سنگ را که تابعی از مقاومت پایین سنگ است را نیز به نمایش می‌گذارد.

در منطقه مورد مطالعه بارزترین نمونه از مقاومت پایین سنگ‌ها به‌وسیله چکش اشمیت در لایه A دیده می‌شود. بر اساس جدول شماره (۲) نمره چکش اشمیت برای تمام لایه‌های نخست سازند آغاچاری پنج است. این بدان معنا است که بر اساس جدول (۱) سختی ماسه‌سنگ‌های لایه A به طور میانگین ۵ است و در رده بسیار سست جای می‌گیرند. میانگین نمره سختی سنگ چکش اشمیت برای لایه A و H به ترتیب قدیمی‌ترین و جوان‌ترین لایه‌های سازند آغاچاری، پایین است. این به معنی نامقاوم بودن سختی سنگ است که برای لایه A بسیار نامقاوم است. لایه‌های B تا F نیز دارای میانگین نمره ۱۵ تا ۲۰ هستند که نشان از مقاومت بودن درجه سختی سنگ است.

جدول ۲: نمره چکش اشمیت برای لایه‌های ماسه‌سنگی منطقه مورد مطالعه.

لایه‌ها	خط ۱	خط ۲	خط ۳	خط ۴	میانگین
A	۵	۵	۵	۵	۵
B	۱۴	۲۰	۲۰	۱۸	۱۸
D	۱۴	۱۴	۱۸	۱۸	۱۶
C	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸
E	۱۴	۲۰	۱۴	۱۴	۱۵.۵
G	۱۸	۱۴	۲۰	۲۰	۱۸
F	۲۰	۱۸	۲۰	۲۰	۱۹.۵
H	۲۰	۱۸	۵	۵	۱۲

۴-۳- ویژگی‌های فیزیکی چال سنگ‌ها

به منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی چال سنگ‌ها، نخست لایه‌های که دارای چال سنگ بودند، شناسایی گردید که در این میان پنج لایه در سازند آغاچاری به طور عمده دارای چال سنگ هستند که عبارت‌اند از: لایه‌های A, B, C, D و F (شکل ۴). در ادامه لایه‌های نامبرده از دیدگاه هفت فاکتور شامل: ستبرای لایه‌های دارای چال سنگ، پهنای درزه‌ها، فاصله درزه‌ها، پیوستگی درزه‌ها، نوع چال سنگ، ژرفای و پهنای چال سنگ‌ها مورد بررسی قرار گرفتند که به ترتیب به‌صورت زیر هستند (جدول ۳):

1- (SRH) Schmidt Rebound Hardness

جدول شماره (۳) ویژگی‌های فیزیکی چال سنگ‌ها.

بیشینه پهنای چال سنگ‌ها (میلیمتر)	ژرفا چال سنگ‌ها (میلیمتر)	فراوانی نوع چال سنگ	پیوستگی درزه‌ها	میانگین فاصله درزه‌ها (میلیمتر)	میانگین پهنای درزه‌ها (میلیمتر)	ستبرای لایه‌ها (میلیمتر)	چال سنگ- ها	لایه‌ها
۲۰۰	۵۵	بی‌شکل	متوسط	۳۰۰	۷	۲۱۰۰	دارد	A
۹۵۰	۱۵۵	بی‌شکل، تابه‌ای، گرد	کم	۷۴۰	۱۱	۴۹۰۰	دارد	B
۱۲۰۰	۲۲	تابه‌ای، بی‌شکل، گرد	متوسط	۵۲۰	۶	۵۱۰۰	دارد	C
۱۲۸۰	۹۳۰	تنوری، تابه‌ای، گرد، بی‌شکل	متوسط	۳۵۰	۱۰	۵۶۰۰	دارد	D
							-	E
۸۲	۱۸	بی‌شکل، گرد	کم	۳۰۰	۶	۴۵۵۰	دارد	F
							-	G
							-	H

۴-۴- ستبرای لایه‌ها

همان‌طور که در جدول (۳) دیده می‌شود، ستبرای لایه‌های دارای چال سنگ در سازند آغاچاری در مناطقی که مورد بررسی قرار گرفته است، بین ۲ تا ۵.۶ متر است. رخنمون این لایه‌ها در مناطقی که رودخانه‌های و جریان‌های فصلی از آن‌ها گذر کرده است، به دلیل اختلاف جنس و فرسایش، به صورت کمی برجسته‌تر از محیط پیرامون خود دیده می‌شود. این لایه‌های ماسه‌سنگی با توجه با اندازه و ستبرای آن‌ها، دارای لندفرم‌های چال سنگی هستند. بسته به ستبرای لایه‌ها، گوناگونی چال سنگ‌ها گسترده‌تر و بیشتر می‌شوند. به طوری که لایه D با میانگین ستبرای ۵.۶ متر، دارای بیشترین و متنوع‌ترین نوع چال سنگ‌ها است (شکل ۹A).

۴-۵- پهنای درزه‌ها

میانگین پهنای درزه‌ها در منطقه مورد مطالعه بین ۱ تا بیش از ۱۰ سانتیمتر دیده می‌شود که شامل انواع درزه‌های موجود در هر لایه و در دو حالت موازی و عمود بر لایه‌ها است ولی بخش عمده درزه‌ها موازی با لایه‌های ماسه‌سنگ است (شکل ۱۰B). بر اساس جدول شماره (۳)، حداکثر عرض یا پهنای چال سنگ مربوط به لایه‌های (A) می‌باشد. به طوری که چال سنگ‌های لایه A تا ۲۰۰۰ میلیمتر مشاهده شده است. سپس لایه C و B دارای بیشترین عرض چال سنگ‌ها از نوع بی‌شکل و تابه‌ای هستند.



شکل ۱۰. یک لایه ماسه‌سنگی با ستبرای ۵.۶ متر همراه با لندفرم‌های چال سنگی (A). درزه‌ها بیش از ۱۰ سانتیمتر در لایه‌های ماسه‌سنگی (B).

۴-۶- فاصله درزه‌ها

در هر لایه با توجه به پیوستگی و یا عدم پیوستگی درزه‌ها از یکدیگر، فاصله درزه‌ها متفاوت است. در منطقه مورد مطالعه این فاکتور به طور میانگین بین ۳۰۰ تا ۷۴۰ میلیمتر است. در منطقه مورد مطالعه از چال سنگ‌های مشاهده شده، ۶۳٪ آن‌ها همراه با درزه‌های افقی و عمودی دیده شده است. فاصله درزه‌ها در چال سنگ‌های مشاهده شده نیز حداکثر تا ۵۰ میلیمتر مربوط به درزه‌های افقی است.

۴-۷- پیوستگی درزه‌ها

پیوستگی درزه‌ها به چهار دسته شامل: نبود پیوستگی، پیوستگی کم، متوسط و زیاد دسته‌بندی می‌شوند که در منطقه مورد مطالعه دو دسته شامل پیوستگی کم (لایه F) و متوسط (لایه A,D,C) دیده شده است.

۴-۸- فراوانی و نوع چال سنگ‌ها

در منطقه مورد مطالعه، جمعاً ۵ لایه دارای چال سنگ هستند که شامل ۵ نوع چال سنگ، تابه‌ای، بی‌شکل، تنوری، گرد و در راستای درزه‌ها دیده شد که بیشترین آن‌ها تنوع در لایه B, C و D مشاهده شده است (جدول ۴ و شکل ۱۱). در لایه (A,B,D,F) سنگ چال‌های نوع بی‌شکل دارای بیشترین فراوانی هستند. از نظر تنوع بعد از چال سنگ بی‌شکل، نوع گرد و سپس تابه‌ای دارای بیشترین تنوع در میان لایه‌های ماسه‌سنگی هستند. نوع چال سنگ تنوری تنها در یکی از لایه‌های ماسه‌سنگ آغاچاری (لایه D) دیده شده است. در لایه D نیز فراوانی چال سنگ‌ها در راستای درزه‌ها در ۶۴ مورد مشاهده شده است که نشان از اهمیت درزه‌ها در پیدایش چال سنگ‌ها در این لایه است.

جدول ۴. فراوانی و گوناگونی چال سنگ‌ها در منطقه مورد مطالعه.

در راستای درزه‌ها	تنوری	گرد	بی شکل	تابه‌ای	لایه‌ها
۱۸	-	۱	۳۲	۲	A
۴۲	-	۲۲	۵۰	۴	B
۶	-	۳	۱۵	۱۱	C
۶۴	۵	۲۰	۶۵	۶	D
-	-	-	-	-	E
۶	-	۲	۱۲	-	F
-	-	-	-	-	G
-	-	-	-	-	H



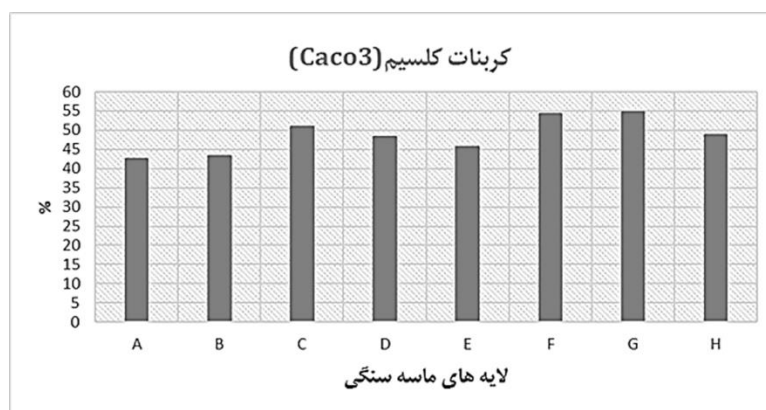
شکل ۱۱: انواع چال سنگ‌ها در منطقه مورد مطالعه. چال سنگ‌های تابه‌ای (A)، بی‌شکل (B)، درزه‌ای (C)، گرد (D) و تنوری (E).

۴-۹- ژرفای چال سنگ‌ها

بیشترین ژرفای اندازه‌گیری شده چال سنگ‌ها در منطقه مورد مطالعه مربوط به یک چال سنگ تنوری در لایه D و با ژرفای ۹۳۰ میلی‌متر و کمترین آن لایه C با ۲۲ میلی‌متر است. در منطقه مورد مطالعه، چال سنگ‌های عمیق دارای عرض و پهنای کمی هستند در صورتی که چال سنگ‌های با عرض بیشتر معمولاً دارای عمق بسیار کمتری بوده‌اند.

۴-۱۰- کربنات کلسیم

نتایج آزمایش مقدار کربنات کلسیم در ماسه‌سنگ آجاجاری نشان از درصد بالای این سازند از کربنات کلسیم است. به طوری که مقدار کل کربنات کلسیم سنگ‌ها و لایه‌ها مورد آزمایش بین ۵۰٪ است که نشان از درصد بالای آن در کل منطقه است (شکل ۱۲). همان‌طور که نمودار درصد کربنات کلسیم لایه‌های ماسه‌سنگی اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد، لایه A دارای میانگین ۴۳٪ و لایه F مقدار ۵۵٪ کربنات کلسیم دارا هستند. ویژگی بارز سازند آجاجاری همین درصد بالای کربنات کلسیم آن است و دلیل آن نیز فرسایش و رسوب‌گذاری لایه‌ها و سازندهای آهکی بالادست در زاگرس چین‌خورده بوده است (مطیعی، ۱۳۷۲). از دیگر دلایل درصد بالای کربنات کلسیم در سازند آجاجاری توسعه لندفرم‌های حساس به انحلال مانند شیپارهای موازی با جریان آب در سطح ماسه‌سنگ‌ها و توسعه تافونی‌ها است (Ahmadi et al, 2015).



شکل ۱۲. مقدار درصد کربنات کلسیم در لایه‌ها ماسه‌سنگی آغاچاری.

۵- نتایج

با توجه به اینکه نتایج این پژوهش به دو بخش ویژگی‌های سنگ‌شناسی مانند ترکیبات و جنس نمونه‌های ماسه‌سنگ به همراه میزان تخلخل هر نمونه است، و از سوی دیگر ویژگی‌های فیزیکی چال سنگ‌ها از جمله عرض و عمق آن‌ها و ویژگی‌های مانند درزه‌ها و اندازه آن‌ها است. از این رو تحلیل نتایج بر اساس دو فاکتور ۱- جنس و ترکیبات ماسه‌سنگ ۲- ویژگی‌های فیزیکی خود چال سنگ‌ها مورد تجزیه و بررسی نتایج پرداخته می‌شود:

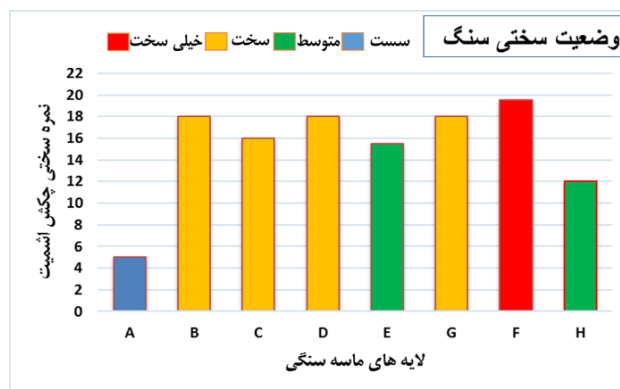
۵-۱- جنس و ترکیبات

از نظر پراکندگی عناصر تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ آغاچاری، ذرات مقاوم مانند کوارتز و لیتارنایت‌ها در لایه‌های قدیمی سازند؛ مانند لایه A نسبت به سایر لایه‌ها کمتر هستند و برعکس، در این لایه‌ها مقدار فلدسپات نسبت به دیگر لایه‌ها بیشتر است. مثلاً مقدار درصد کانی کوارتز در لایه‌های قدیمی ماسه‌سنگ آغاچاری نسبت ۳۰٪ را نشان می‌دهد و در لایه‌های میانی این مقدار تا ۴۵٪ افزایش پیدا می‌کند. همچنین میزان تخلخل ماسه‌سنگ‌ها در لایه A دارای بیشترین مقدار خود یعنی ۴۵٪ است که چشم‌انداز لایه A در به‌صورت یک لایه فرسایش یافته و ماسه‌سنگی تُرد را به نمایش می‌گذارد. میزان تخلخل یک روند کاهشی را از لایه‌های قدیمی به لایه‌ها جوان‌تر را به نمایش می‌گذارد و بیشترین میزان تخلخل مربوط به سه لایه قدیم سازند ماسه‌سنگ آغاچاری یعنی لایه (A,B,C) است. میزان کربنات کلسیم در لایه‌های قدیمی نسبت به لایه‌های میانی و جوان‌تر ماسه‌سنگ آغاچاری درصد کمتری را نشان می‌دهد به طوری که در لایه A این مقدار از ۴۳٪ تا ۵۵٪ لایه‌های C و F و G می‌رسد. از این رو یک همبستگی مثبت بین میزان کربنات کلسیم و کانی‌های مقاوم نسبت به لایه‌ها قدیمی به لایه‌های جوان‌تر به فرسایش وجود دارد و بین مقدار کربنات کلسیم و کانی‌های مقاوم یک همبستگی معکوس نسبت به میزان تخلخل مشاهده می‌شود.

۵-۲- سختی سنگ

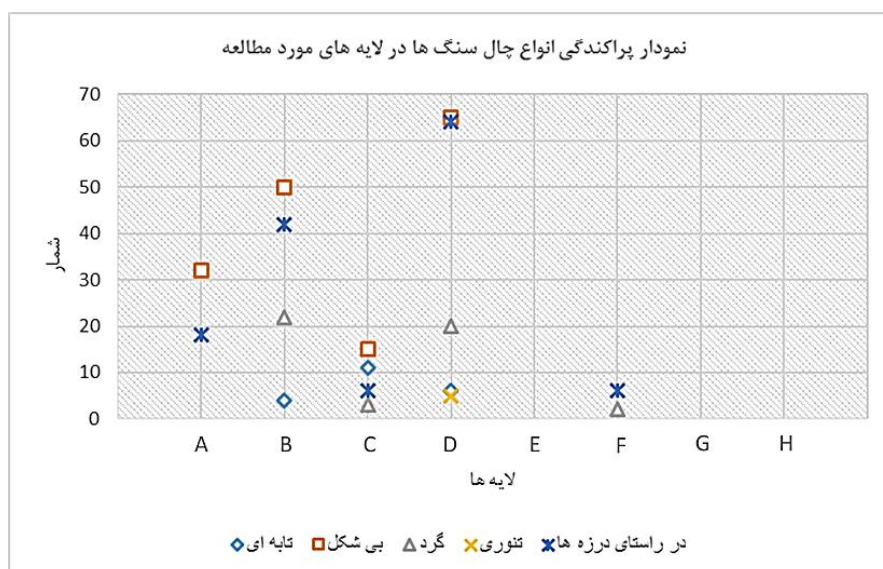
از دید سختی سنگ نیز لایه A به وسیله چکش اشویت کمترین نمره (سختی ۵) را از میان سایر لایه‌های ماسه‌سنگی به خود اختصاص داده است که این سختی پایین سنگ نشان از مقدار تخلخل بالا در این لایه ماسه‌سنگ است. نوع چال سنگ‌های غالب نیز در این سه لایه از نوع بی‌شکل و تابه‌ای است. از نظر سختی سنگ و بر اساس جدول سختی سنگ چکش اشویت (جدول ۱)، لایه‌ها مانند B,C,D دارای سختی متوسط و لایه F در سختی بسیار زیاد قرار دارد (شکل ۱۳).

همچنین اندازه پهنای درزه‌های لایه‌های دارای چال سنگ بیشتر از ۶ میلیمتر است و درزه‌ها در هر دو شکل افقی و عمودی دیده شده است. در منطقه مورد مطالعه چال سنگ‌های عمیق دارای عرض و پهنای کمی هستند و برعکس، چال سنگ‌های با عرض بیشتر معمولاً دارای عمق بسیار کمتری بوده‌اند که نشان از رابطه هوازنگی سطحی سنگ و عملکرد جریان فرسایشی آب در سطح لایه‌های هوازده را نشان می‌دهد. عمق بیشتر چال سنگ مرتبط با درزه‌های عمودی در ماسه‌سنگ‌ها است که سبب ایجاد جریان گردابی در سنگ و فرسایش سطح سنگ به‌وسیله ذرات ریز و درشت رسوبی به‌وسیله آب است. در لایه‌های (A,B,D,F) سنگ چال‌های نوع بی‌شکل دارای بیشترین فراوانی هستند.



شکل ۱۳. نمودار سختی لایه‌های ماسه‌سنگ آجاجاری با استفاده از چکش اشمیت.

از نظر ویژگی‌های فیزیکی ماسه‌سنگ‌ها نیز آنچه به دست آمد این است که نمودار پراکندگی چال سنگ‌ها در منطقه نشان از پراکندگی در لایه‌های A, B, C, D و F است و سه لایه آخر سازند آجاجاری شامل E, G, H بدون چال سنگ مشاهده شد. همچنین لایه C, D و هر چهار نوع چال سنگ را دارند (شکل ۱۴). اندازه پهنای چال سنگ‌ها نشان می‌دهد که در لایه‌های B, C و D تقریباً ۱ متر است و ژرفای آن‌ها نیز تا یک متر اندازه‌گیری شده است.



شکل ۱۴. نمودار پراکندگی چال سنگ‌ها در لایه‌های سازند آجاجاری (لایه A قدیمی‌ترین لایه و لایه H جوان‌ترین لایه است).

۶- نتیجه‌گیری

چال سنگ‌ها تابعی از شرایط فیزیکی سنگ و ترکیبات کانی‌شناسی سنگ‌ها همراه با نقش فرسایشی جریان آب هستند. در این پژوهش بر اساس داده‌ها و نتایج به دست آمده مشخص گردید که ویژگی‌های جنس ترکیبات ماسه‌سنگ آغاچاری نقش بسیار مهمی در ایجاد چال سنگ‌ها در این سازند بازی می‌کنند. به طوری که مشخص گردید وجود فراوان کانی فلدسپات و درصد بالای تخلخل در قدیمی‌ترین لایه سازند آغاچاری نقش زیادی در سست بودن و ایجاد چال سنگ از نوع بی‌شکل در این لایه (A) بازی می‌کند. دیگر لایه‌های دارای چال سنگ مانند لایه‌های (B, D, C, F) یک رابطه معناداری بین افزایش مقدار درصد کربنات کلسیم را نشان می‌دهند. همچنین وجود درزه‌ها، و پهنای زیاد درزه‌ها سبب فرسایش‌پذیری هرچه بیشتر ماسه‌سنگ توسط جریان آب گردیده و سبب گسترش چال سنگ‌ها در لایه‌های ماسه‌سنگی با پهنای بیشتر از یک متر گردیده است. یعنی ویژگی‌های فیزیکی مانند درزه‌ها، پهنای، فاصله و پیوستگی درزه‌ها نیز نقش بارزی در ایجاد و تنوع چال سنگ‌ها بازی می‌کند. وجود ژرفای زیاد چال سنگ‌ها نیز تأیید کنند نقش کانی‌شناسی و فرسایش‌پذیری ماسه‌سنگ به‌وسیله جریان سایشی و شیمیایی آب است. یعنی وجود درصد بالای کربنات کلسیم در سازند آغاچاری که به طور میانگین بالای ۵۰٪ کل سنگ را شامل می‌شود، سبب گسترش هرچه بیشتر شدن چال سنگ‌ها از نظر گوناگونی و تنوع در آن گردیده است. البته مشخص گردید که وجود درزه‌ها یا پیوستگی درزه‌ها سبب بیشتر شدن تنوع چال سنگ‌ها مانند لایه (B, C, D) گردیده است. از دیدگاه سختی سنگ که با دستگاه چکش اشمیت مورد آزمایش قرار گرفت، مشخص گردید که در ماسه‌سنگ آغاچاری نقش چندان زیادی در گسترش چال سنگ‌ها ندارد. (به جز لایه A). به طوری که لایه‌های سنگی که دارای انواع چال سنگ بودند، نمره چکش اشمیت آن‌ها بالا بوده است و از نظر کیفی جزو دسته سنگ‌های با درجه "سخت" بشمار می‌آیند. البته این نیز منطقی است که با توجه به سختی بالای سیمان کلسیت، نمره چکش اشمیت نیز زیاد می‌شود و در واقع چکش اشمیت از دیدگاه مکانیکی سنگ‌ها را از نظر سخت - سست بودن مورد آزمایش قرار می‌دهد. مثلاً در لایه A که بالاترین مقدار تخلخل را در منطقه مورد مطالعه داشت، نمره چکش اشمیت بسیار پایینی را نشان داد که دال بر سست بودن سختی سنگ است. از این رو تخلخل یک فاکتوری است که به‌راحتی در آزمایش سختی سنگ چکش اشمیت، قابل شناسایی است. از این رو آنچه که از نتایج این پژوهش به دست آمد این است که از دیدگاه سنگ‌شناسی، وجود درصد بالای کربنات کلسیم و همچنین کانی‌های فرسایش‌پذیر مانند فلدسپات در سازند ماسه‌سنگی آغاچاری، همراه با وجود تخلخل، عامل اصلی ایجاد چال سنگ‌ها هستند و از دیدگاه ویژگی‌های فیزیکی چال سنگ‌ها، درزه‌ها چه افقی و چه عمودی نیز اهمیت زیادی در ایجاد و توسعه چال سنگ‌ها بازی می‌کنند به طوری که درزه‌های افقی سبب توسعه عرض و پهنای چال سنگ‌های بی‌شکل و تابه‌ای شده است و درزه‌های عمودی منجر به توسعه و افزایش ژرفای چال سنگ‌ها در ماسه‌سنگ آغاچاری گردیده است. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که نقش سنگ‌شناسی مانند ترکیبات و جنس سنگ و مقدار کربنات کلسیم به همراه نقش درزه‌ها در پیدایش و تنوع چال سنگ‌ها در سازند ماسه‌سنگی آغاچاری نقش بارزی دارند. این پژوهش همچنین پیشنهاد می‌کند که نقش شیمی آب و سازوکار جریان و دینامک آب، در ایجاد چال سنگ‌ها مورد بررسی و کاوش قرار گیرد.

منابع

- ۱- آقاناتی، سید علی (۱۳۸۳). زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات کشور، چاپ اول.
- ۲- احمدی، امیر (۱۳۹۱). مکانیسم شکل‌زای کواترنری بر روی ماسه‌سنگ آغاچاری در شمال باختری مسجدسلیمان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده جغرافیا، رشته ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران.

- ۳- زمانزاده، سید محمد؛ احمدی، امیر؛ علی حسین، احمدی (۱۳۹۳). بررسی اثر کربنات کلسیم و تخلخل در ایجاد دامنه های سنگی در سازند آغاچاری، نخستین همایش علوم جغرافیایی ایران. دانشگاه تهران، موسسه جغرافیا.
- ۴- مطعی، همایون (۱۳۷۲). زمین شناسی ایران: چینه شناسی زاگرس. انتشارات سازمان زمین شناسی کشور. چاپ نخست.
- ۵- محمدخان، شیرین، احمدی، امیر (۱۳۹۵). بررسی رابطه سختی سنگ به روش سلبی بومی سازی شده برای تولید واریزه در ماسه سنگ آغاچاری، پژوهشهای جغرافیای طبیعی، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶، ۲۵۹-۲۸۱.
- 6- Ahmadi, A., Moghimi, E., Zamanzadeh S. M and Motamed R (2015). The Effect of Sandstone Composition on Distribution of Tafoni Landforms in the Aghajari Sandstone, Northwest of Masjed Soleyman, Iran, Hindawi Publishing Corporation Advances in Geology, Volume 2015, Article ID 862714, 10.
- 7- Alavi, M (1994). Tectonics of the Zagros organic belt of Iran: new data and interpretations. Tectonophysics, 229, 211-238.
- 8- Lima, A. G; Binda, A. L. (2015). Differential control in the formation of river potholes on basalts of the Paraná Volcanic Province. Journal of South American Earth Sciences Volume 59, 86-94
- 9- Berberian, M (1995). Master blind thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics, Tectonophysics. 241, 193-224.
- 10- Bahroudi, A., Koyi, H. A (2004). Tectono-sedimentary framework of the Gachsaran Formation in the Zagros foreland basin, Marine and Petroleum Geology, 21, 1295-1310.
- 11- Birkeland P. W., Burke R. M. and Shroba R. R (1987). Holocene alpine souls in gneissic cirque deposits, Colorado Front Range-soil chronosequences in the western United States, U.S. Geological Survey Bulletin, 1229, 140.
- 12- Demirdag, S., Yavuz, H., Altindag, R (2009). The effect of sample size on Schmidt rebound hardness value of rocks. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 46, 725-730.
- 13- F. Lamas, C. Irigaray, C. Oteo, J. Chacon (2005). Selection of the most appropriate method to determine the carbonate content for engineering purposes with particular regard to marls. Engineering Geology 81, 32-41.
- 14- Gregory S. Homke, S., Verges, J., Garces, B., Emami, H., Karpuz, R (2004). Magnetostratigraphy of Miocene-Pliocene Zagros foreland deposits in the front of the Push-e Kush Arc (Lurestan Province, Iran). Earth and Planetary Science Letters, 225, 397-410.
- 15- Springer (2005). Dynamics of pothole growth as defined by field data and geometrical description, Journal of geophysical research, Vol 110.
- 16- Gilbert, G. K (1877). Report on the geology of the Henry Mountains: Geographical and geological survey of the Rocky Mountain region, 106.
- 17- G. S., R. S. Anderson, and K. X. Whipple (1998). Beyond power, bedrock incision process and form, in Rivers over Rock: Fluvial Processes in Bedrock Channels, Geophys. Monogr. Ser., vol. 107, edited by K. J. Tinkler and E. E. Wohl, 35– 60, AGU, Washington, D. C.
- 18- ISRM (1978). Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 15, 89-97.
- 19- Johnson, J. P., and K. X. Whipple (2004). Experimental bedrock channel incision: Scaling, sculpture and sediment transport, Eos Trans. AGU, 85(47), Fall Meet. Suppl, Abstract H41G-07.
- 20- Ji, S; Le, L; Zeng, W. (2018). The relationship between diameter and depth of potholes eroded by running water. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, Volume 10, Issue 5, 818-831.

- 21- Jose A. Ortega, Miguel Gómez-Heras, Raúl Perez-López, Ellen Wohl (2014). Multiscale structural and lithologic controls in the development of stream potholes on granite Bedrock Rivers. *Geomorphology* 204, 588-598.
- 22- Kale, V. S., and V. U. Joshi (2004). Evidence of formation of potholes in bedrock on human timescale: Indrayani River, Pune district, Maharashtra, *Curr Sci*, 86, 723-726.
- 23- M. Pansu and J. Gautheyrou (2006). *Soil Analysis: Mineralogical, Organic and Inorganic Methods*, Springer, 1012.
- 24- Mobasher, K., Babaie, H. A (2008). Kinematic significance of fold- and fault-related fracture systems in the Zagros Mountains, southern Iran, *Tectonophysics* 451, 156-169.
- 25- M. J. Day and Goudie, A.S (1977). Field assessment of rock hardness using the Schmidt hammer. *British Geomorphological Research Group Technical Bulletin*, 18, 19-29.
- 26- Navabpour, P., Barrier, E (2012). Stress states in the Zagros fold-and-thrust belt from passive margin to collisional tectonic setting, *Tectonophysics*, 581, 76-83.
- 27- Netoff D. I., Cooper B. J. and Shroba R. R (1995). Giant sandstone weathering pits near Cookie Jar Butte, southeastern Utah. In *Proceeding of the Second Biennial Conference on Research in Colorado Plateau National Parks* (ed. C. Riper), 25-53.
- 28- R. Charlton (2008). *Fundamental of fluvial geomorphology*, first published, Routledge, 275.
- 29- Reed J. C., Bryant B. and Hack J. T (1963). Origin of some intermittent ponds on quartzite ridges in western North Carolina. *Geol. Soc. Am.* 74, 1183-1188.
- 30- Sherkati, S., Letouzey, J (2004). Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros (Izeh zone and Dezful Embayment), Iran, *Marine and Petroleum Geology* 21, 535-554.
- 31- Stocklin, J (1968). Structural history and tectonics of Iran: a review, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. 52, 1229-1258.
- 32- Springer G S, Tooth S and Wohl E. E (2006). Theoretical modeling of stream potholes based upon empirical observations from the Orange River, Republic of South Africa; *Geomorphology* 82, 160-176.
- 33- Selby M. J (1993). *Hillslope materials and processes*, Oxford University Press.
- 34- Springer G. S, and E. E. Wohl (2002). Empirical and theoretical studies of sculpted forms in Buckeye Creek Cave, West Virginia, *J. Geol.* 110, 469-481.
- 35- Twidale C. R (1982). *Granite Landforms*, Elsevier Publishing Co, NY, 372.
- 36- Udden J. A (1925). Etched Potholes, *University of Texas bulletin*, 2509, 15.
- 37- V. Gupta, R. Sharma and M. Prasad Sah (2009). An Evaluation of Surface Hardness of Natural and Modified Rocks Using Schmidt Hammer: Study from Northwestern Himalaya, India. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, Vol. 91, No. 3, 179-188.
- 38- Whipple, K. X., G. S. Hancock, and R. S. Anderson (2000a). River incision into bedrock: Mechanics and relative efficacy of plucking, abrasion, and cavitation, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 112, 490- 503.
- 39- Whipple, K. X., N. P. Snyder, and K. Dollenmayer (2000b). Rates and processes of bedrock incision by the Upper Ukak River since the 1912 Novarupta ash flow in the Valley of Ten Thousand Smokes, Alaska, *Geology*, 28, 835- 838.
- 40- Wohl E. E (1998). Bedrock channel morphology in relation to erosional processes; In: *Rivers over Rock: Fluvial Processes in Bedrock channels* (eds Tinkler K J and Wohl E (Washington D.C.: American Geophysical Union), 133-151.
- 41- Wang W, Liang M and Huang S (2009). Formation and development of stream potholes in a gorge in Guangdong, *J. Geogr Sci*, 19, 118-128.
- 42- Wohl, E. E (1993). Bedrock channel incision along Picanniny Creek, Australia, *J. Geol.*, 101, 749-761.

Investigation of effects component and types on Masjed-Soleyman Agha-Jari sandstone layers formation accompanied by hardness stone on potholes development

Amir Ahmadi*¹, National Iranian south oil company, Ahwaz, Iran
Shirin Mohammad khan, Assistance professor, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran

Abstract

Potholes are one of the spectacular landforms of rocks, especially sandstones. In this paper, 48 samples of Agha-Jari Sandstones were prepared and thin sections were obtained from them to investigate the sandstone minerals and porosity by Polarizing microscope and also by Bernard calcium meter. For estimating of rock hardness we use Schmidt Hammer Model N and ISRM (1978) standard. Maps were prepared with 1:25000 topographic map, Arc/GIS software and Jmicrovision software was used to obtain the amount and percentage of thin section minerals. The results showed that Potholes are a function of physical conditions of rocks and mineralogy compounds of rocks with the erosion role of water flow in calcium carbonate of stone. Based on the data and results, it was found that the characteristics of Agha-Jari sandstone compounds play an important role in the generation of Potholes in this formation. It was determined that the abundant presence of Feldspar minerals and high percentage of porosity in the oldest layer (A) of Agha-Jari Formation plays a great role in the looseness and creation of Potholes in that layer. Other layers with Potholes such as (B, D, C, and F Layers) show a significant relationship between increasing quartz percentage and decreasing the percentage of feldspar and calcium carbonate. The results also showed that the mean calcium carbonate of Agha-Jari sandstone is about 50% which is one of the reasons for the existence of Potholes in layers despite the hardness of Schmidt Hammer is high.

Keywords: Pothole, Agha-Jari sandstone, Geomorphology, Calcium Carbonate, Schmidt Hammer.

¹- * Email: geoamirahmadi@yahoo.com