

## مطالعه پدیده هوازدگی در اسلیت‌های آهکی پیریت‌دار مزوزوئیک و مروری بر مشکلات ناشی از هوازدگی پیریت (مطالعه موردی، شهرستان اراک)

پریا بهزادتبار<sup>۱\*</sup> و محمدحسین قبادی<sup>۲</sup>

۱ و ۲- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

نویسنده مسئول: p.behzadtabar@yahoo.com\*

دریافت: ۹۷/۵/۲ پذیرش: ۹۷/۱۱/۱

### چکیده

بررسی هوازدگی به‌منظور پیش‌بینی رفتار سنگ در طی زمان و نیز مناسب بودن آن جهت منابع قرضه مورد اهمیت می‌باشد. در این راستا اولین قدم جهت بررسی، ارائه‌ی روشی مناسب برای رده‌بندی هوازدگی می‌باشد. در این مطالعه تغییرات ظاهری ناشی از هوازدگی اسلیت‌های آهکی در شرایط آزمایشگاهی (سرد و گرم کردن، تر و خشک کردن، ذوب و انجماد و تبلور نمک) و نیز در شرایط جوی (به مدت یک سال)، با حدود ۱۰۰۰ نمونه، مورد بررسی قرار گرفت. این آثار عمدتاً به شکل ورقه‌ورقه شدن، تغییر رنگ بلورهای پیریت-مگنتیت، آثار پساب زنگ آهن و خوردگی لبه نمونه‌ها قابل مشاهده بوده است. شدت این تغییرات در آزمون هوازدگی تبلور نمک بیش‌تر از آزمون‌های دیگر بوده است. اکسیداسیون پیریت علاوه بر تأثیری که بر رفتار مهندسی سنگ می‌گذارد، بر روی شکل ظاهری مصالح سنگی نیز اثر نامطلوبی دارد. بنابراین پیریت-مگنتیت‌های موجود در اسلیت‌های آهکی اراک به‌طور ویژه از نظر شکل و تغییرات ظاهری ناشی از هوازدگی مورد بررسی و رده‌بندی قرار داده شدند. این بلورها عمدتاً به سه تیپ دانه‌ای-مکعبی (I)، توده‌ای (II) و دندریتی (III) رده‌بندی و بر اساس درجه هوازدگی به ۵ رده P<sub>1</sub> تا P<sub>5</sub> (بدون هوازدگی تا کاملاً هوازده) طبقه‌بندی شده‌اند. در نهایت مروری بر مشکلات ژئوتکنیکی ناشی از هوازدگی پیریت‌ها داشته‌ایم.

واژه‌های کلیدی: اسلیت آهکی، پیریت، هوازدگی، اراک

### مقدمه

اصلی‌گرم‌خورشید باشد (بلند و رولز، ۱۹۹۸). هوازدگی مواد سولفیدی هم‌نتیجه‌ی هوازدگی فیزیکی است و هم شیمیایی. میزان این هوازدگی به نوع هوازدگی، نفوذپذیری سنگ و مقاومت سنگ در برابر سنگ‌های سربار و زیرین در صورت وجود آب زیرزمینی بستگی دارد (هاوکینگز، ۱۹۸۶). کانی‌های حاوی گوگرد بر اساس ترکیب شیمیایی به سه گروه: (۱) گروه اصلی (گوگرد اولیه)، (۲) سولفید و نمک‌های سولفیدی و (۳) سولفات‌ها تقسیم می‌شوند (بورکارت و همکاران، ۱۹۹۹). سولفیدها (به‌عنوان مثال، پیریت) به‌عنوان گروه اصلی و سولفات‌ها به‌عنوان مواد ثانویه حاصل از اکسیداسیون پیریت در رسوبات یافت می‌گردد. پیریت می‌تواند در خاک‌های نرم، سنگ‌های رسوبی در محیط‌های بی‌هوازی، سنگ‌های دگرگونی و رگه‌ها یافت شود (برایانت، ۲۰۰۳). از نظر تجاری، تغییر رنگ مصالح سنگی یک فاکتور منفی محسوب می‌گردد. در این رابطه بورادیلی و همکاران (۱۹۹۱) پژوهشی بر روی تغییر رنگ ناشی از هوازدگی

مصالح سنگی یکی از مهم‌ترین موضوعات مورد بحث در پروژه‌های مهندسی می‌باشد که به‌طور گسترده‌ای، چه به‌صورت منابع قرضه و چه به‌صورت پی‌سنگ، از دیرباز مورد توجه بوده است. بردی و براون (۲۰۰۵) بیان نمودند که، هوازدگی به‌عنوان تغییرات فیزیکی و شیمیایی در سطح سنگ تعریف می‌گردد که می‌تواند ناشی از واکنش با گازهای جوی و یا محلول‌های آبی باشد. عمدتاً فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی در سطح و عمق، با شدت‌های متفاوتی صورت می‌گیرند. این فرآیندها شامل انحلال، هیدراسیون، اکسیداسیون و تبادل یونی می‌باشد. اغلب فرآیندهای هوازدگی که به ساختارها و ساختمان‌ها اثر می‌گذارد، توسط حضور آب کنترل می‌گردد (مانند اکسیداسیون). از طرفی تغییرات دمایی موجب از دست دادن چسبندگی بین دانه‌ها می‌گردد. این پدیده‌ی هوازدگی به هوازدگی تابشی<sup>۱</sup> معروف است، اگر منبع

<sup>1</sup> Insolation weathering

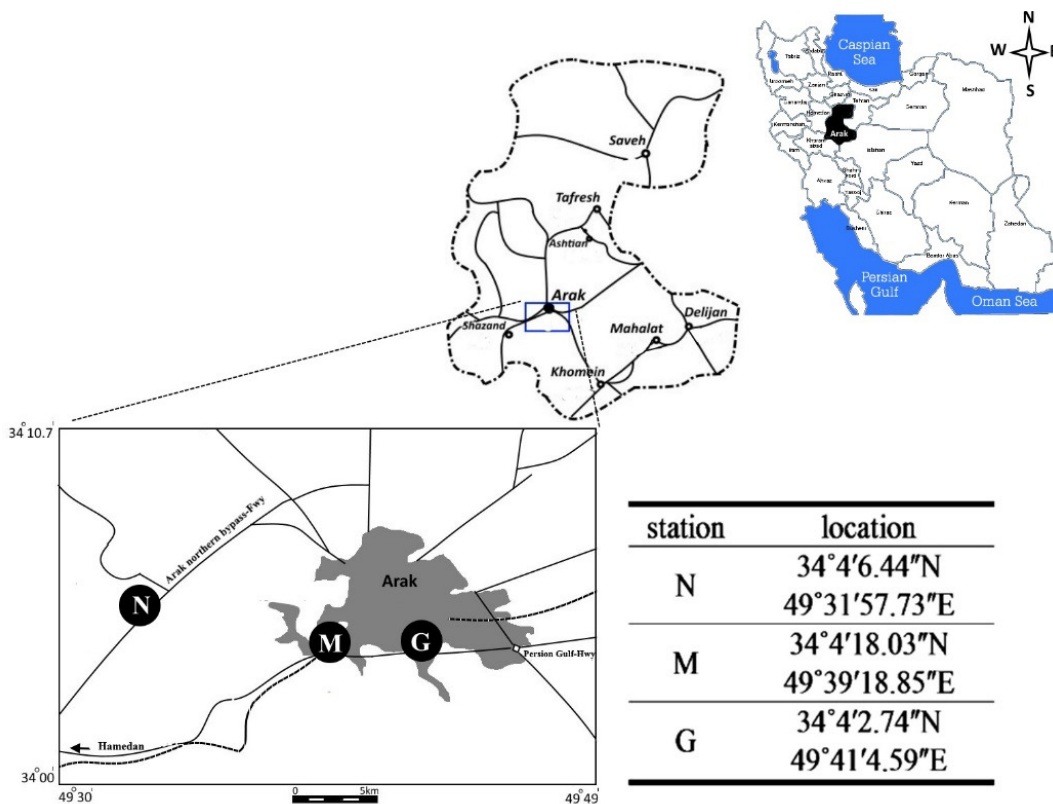
هوازدگی، پرداخته و در نهایت به بررسی مشکلات احتمالی حاصل از هوازدگی پیریت نیز پرداخته می‌شود.

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش ابتدا با بررسی مقاطع نازک به ارزیابی ویژگی‌های سنگ‌شناسی نمونه‌ها پرداخته شده است. سپس جهت بررسی دقیق تأثیر عوامل هوازدگی بر اسلیت‌های اراک، از آزمون‌های هوازدگی آزمایشگاهی در چرخه‌های مختلف استفاده گردید (جدول ۱). علاوه بر آن تعدادی نمونه در شرایط طبیعی، روی بامی در شهر همدان، به مدت یک سال قرار داده شد تا تغییرات هوازدگی در شرایط جوی (جدول ۲) نیز مورد بررسی قرار گیرد. تعداد نمونه‌های مورد بررسی در این پژوهش ۱۰۰۰ نمونه می‌باشد و بلوک‌های مورد استفاده جهت مغزه‌گیری از سه ایستگاه (شکل ۱) تهیه شده‌اند. در نهایت رده‌بندی جهت معرفی درجه هوازدگی بلورهای پیریت-مگنتیت، بر اساس رنگ و بافت بلورها، ارائه شده است.

اسلیت‌ها منطقه‌ی ولز انجام دادند. آن‌ها دریافتند که تغییر رنگ موجود در این اسلیت‌ها ناشی از پدیده‌ی احیا<sup>۱</sup> آهن می‌باشد. در پژوهشی دیگر، بهزادتبار و همکاران (۱۳۹۶)، تغییرات کانی‌شناسی اسلیت‌های آهنی اراک را طی هوازدگی مورد بررسی قرار دادند و زمینه سنگ (صرف‌نظر از بلورهای پیریت-مگنتیت) را از نظر درجه هوازدگی به ۷ رده (S<sub>1</sub>-S<sub>7</sub>) تقسیم کرده‌اند. علاوه بر موارد فوق، هوازدگی سنگ می‌تواند موجب بروز خسارات مالی نیز گردد. در ژاپن حدود ۱۰۰۰ منزل مسکونی تحت تأثیر تورم ناشی از اکسیداسیون پیریت‌های موجود در پی قرار گرفته‌اند. حداکثر مقدار این تورم ۴۸ سانتی‌متر گزارش شده است (یاماناکا و همکاران، ۲۰۰۲).

در این پژوهش تلاش بر آن است که با اعمال چرخه‌های هوازدگی در شرایط آزمایشگاهی و طبیعی، تغییرات قابل‌مشاهده ناشی از هوازدگی مورد بررسی قرار گیرد. سپس به ارائه یک رده‌بندی برای معرفی درجه هوازدگی بلورهای پیریت-مگنتیت، بر اساس شکل و درجه



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

<sup>1</sup> Reduction processes

جدول ۱. روند چرخه‌های هوازدگی

آزمون	فرایند هوازدگی	تعداد چرخه	خروج نمونه (چرخه)
تبلور نمک	۲ ساعت غوطه‌وری در محلول سدیم سولفات ۱۴ درصد/ خشک شدن در دمای ۱۰۵ درجه به مدت ۱۵ ساعت/ سرد شدن در دمای ۲۰ درجه به مدت ۷ ساعت	۳۰	۱۰
ذوب و انجماد	۱۲ ساعت انجماد در دمای ۲۰- درجه/ ۶ ساعت آب شدن در آب ۲۰ درجه	۶۰	۱۵
تر و خشک	۱۲ ساعت تر شدن در آب ۲۰ درجه/ ۱۲ ساعت خشک شدن در دمای ۱۱۰ درجه	۶۰	۱۵
سرد و گرم	۱۲ ساعت گرم شدن در دمای ۱۰۵ درجه/ ۱۲ ساعت خنک شدن در دمای ۲۰ درجه	۶۰	۱۵
طبیعی	شرایط جوی (انجماد و ذوب، سرد و گرم، تر و خشک)	۳۶۰ (روز)	۹۰ (روز)

جدول ۲. مشخصات چرخه‌های هوازدگی در شرایط طبیعی

شماره چرخه	بازه زمانی	مدت دوره (چرخه/روز)	ذوب و انجماد (چرخه/روز)	تر- خشک (چرخه/روز)	سرد و گرم (چرخه/روز)	متوسط دمای کمینه	متوسط دمای بیشینه
۱	۱۵ فروردین-۱۵ تیر	۹۰	۰	۱۷	۷۳	۹	۲۶/۷
۲	۱۵ فروردین - ۱۵ مهر	۱۸۰	۰	۱۸	۱۶۲	۱۰	۳۰
۳	۱۵ فروردین - ۱۵ دی	۲۷۰	۵	۲۸	۲۳۴	۷	۲۵
۴	۱۵ فروردین (۱۳۹۷-۱۳۹۶)	۳۶۰	۲۲	۴۸	۲۹۰	۵	۲۳

## زمین‌شناسی

بر اساس تقسیم‌بندی ساختاری، منطقه اراک (شکل ۲) به‌طور عمده در دو پهنه‌ی ایران مرکزی و سنجند-سیرجان جای دارد. رخنمون‌های واحد اسلیت آهکی به‌صورت گسترده‌ی در بخش‌های باختری و جنوبی منطقه دیده می‌شود. شیب ملایم و چین‌خوردگی آرام این واحد موجب توسعه وسیع آن در منطقه شده است و دارای سطوح شیب‌توزیته آشکاری می‌باشند. مطالعه میکروفسیل‌های ناحیه بیانگر سن کرتاسه پیشین (آپسین-آلبین) می‌باشد. گسله‌های فشاری با روند همگانی شمال باختری- جنوب خاوری بیش‌ترین اثر را بر حالت ریخت‌شناسی منطقه داشته‌اند. محور چین‌های منطقه با روند گسله‌های فشاری تقریباً هم‌خوانی دارد (راهنمای نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ اراک). نقشه زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه در شکل (۲) نشان داده شده است.

## مطالعات سنگ‌شناسی

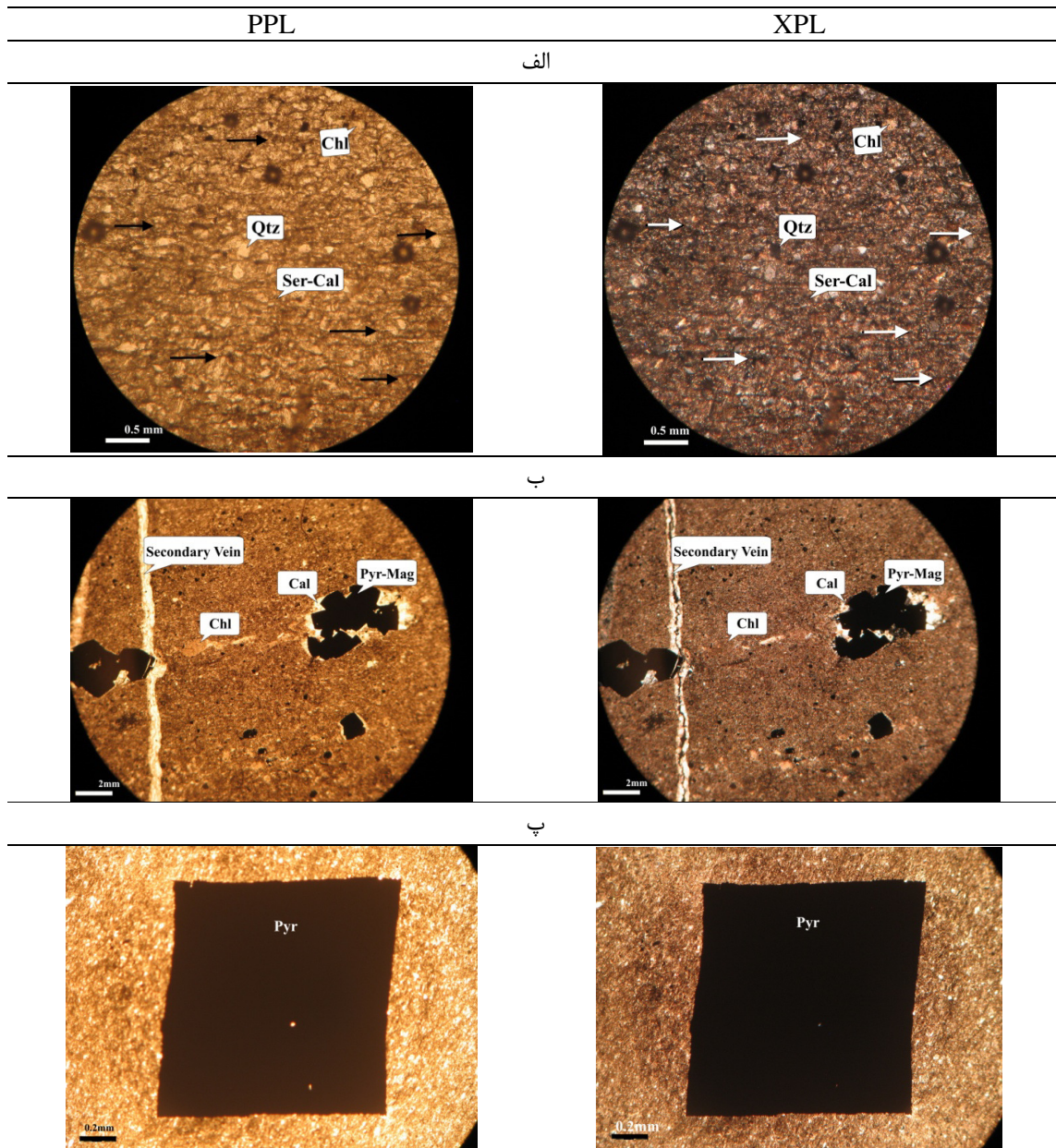
ترکیب سنگ‌شناسی نقش مهمی در نرخ و نوع هوازدگی بازی می‌کند. به‌نحوی که سنگ‌هایی با ترکیبات مختلف در یک شرایط آب و هوایی مشابه، به مقدار چشم‌گیری

دارای هوازدگی‌های مختلفی هستند (حیدری و همکاران، ۲۰۱۷). به‌بیان‌دیگر، اجزای تشکیل‌دهنده‌ی سنگ می‌تواند نوع و شدت هوازدگی فیزیکی یا شیمیایی را تعیین کند (مومنی و همکاران، ۲۰۱۵). بر اساس مطالعه مقاطع نازک، کانی‌های غالب در نمونه‌های بدون هوازدگی، کلریت، کوارتز، کلسیت- سرسیت، گرافیت و پیریت- مگنتیت می‌باشند (شکل ۳). در این راستا بورادیلی و همکاران (۱۹۹۱) یکرنگ قرمز با لکه‌های پراکنده‌ی سبز در اسلیت‌های ولز<sup>۱</sup> مشاهده کرده‌اند که را به پدیده‌ی احیا آهن در کانی‌های اسلیتی نسبت داده‌اند. سنگ مادر اسلیت‌های مورد مطالعه به‌احتمال زیاد شیل مارنی بوده است که دگرگونی درجه پایین را متحمل شده و اسلیت نام‌گذاری می‌گردد. بافت آن لپیدوبلاستیک ریزدانه تشخیص داده شد که معمولاً رخ اسلیتی نامیده می‌شود. تورق موجود در این نمونه‌ها بسیار ظریف بوده و ناشی از جهت‌یابی کانی کلریت و سرسیت است (رخ اسلیتی). سایز دانه‌ها و کانی‌های باقی‌مانده به طبیعت آن‌ها وابسته است و احتمالاً مهم‌ترین فاکتور در تورق اسلیت‌هاست (کاردینز و

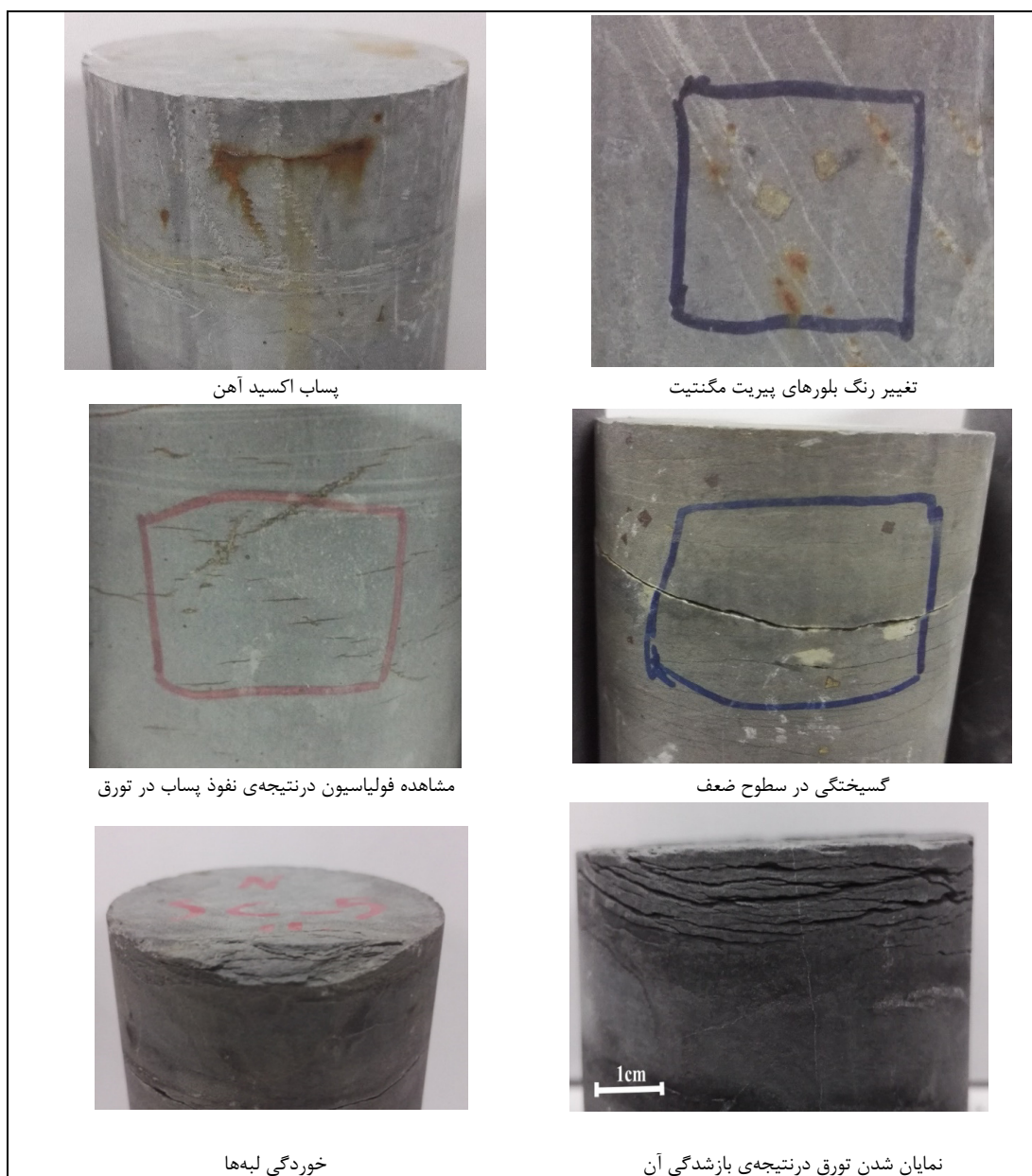


آزمون‌ها، در جدول ۳ آورده شده است. تغییر رنگ بلورهای پیریت - مگنتیت اولین و تنها پارامتر ظاهری است که از چرخه‌های ابتدایی، در تمامی شرایط هوازدگی تا انتهای آزمون دیده می‌شود. این در حالی است که بازشدگی تورق از حساسیت کمتری برخوردار بوده است. عمدتاً ساختمان‌های قدیمی که توسط سنگ‌های آهکی ساخته شده‌اند، تغییرات ناشی از هوازدگی را به خوبی نمایان می‌سازند (اوپا و همکاران، ۲۰۱۳).

مثال، شدت تغییرات در آزمون تبلور نمک، نسبت به آزمون‌های دیگر، بسیار بیش‌تر و با روند سریع‌تری اتفاق می‌افتد. به‌طور مثال در پایان چرخه ۲۰ آزمون تبلور نمک، نمونه‌ها حالت پوک شدگی (حالت سبکی نمونه و ایجاد صدای خاص) پیدا می‌کنند. این در حالی است که در آزمون ذوب و انجماد، این تغییر در چرخه ۶۰ مشاهده و در دیگر آزمون‌ها اصلاً مشاهده نگردیده است. میزان تغییرات ناشی از اعمال چرخه‌های هوازدگی، به تفکیک



شکل ۳. تصاویر مقاطع نازک نمونه‌ها، Qtz: کوارتز، Chl: کلریت، Cal: کلسیت، Ser: سرسیت، Pyr-Mag: پیریت-مگنتیت (در شکل الف پیکان‌ها جهت فولیاسیون را نشان می‌دهند)



شکل ۴. انواع تغییرات قابل مشاهده ناشی از هوازدگی (مشاهده شده در تمام انواع هوازدگی آزمایشگاهی و جوی)

سیجسموند و استنلیج (۲۰۱۱) یکی از فرآیندهای مهم هوازدگی فیزیکی را تغییرات دوره‌ای یا فصلی اقلیمی بیان نموده‌اند. بررسی آن‌ها نشان داده است که نور خورشید، از طریق تکامل سیستم تخلخل و هیدروکسیل شدن<sup>۱</sup>، تأثیر به‌سزایی بر گسترش سیستم حفرات دارد.

### هوازدگی پیریت‌ها

#### واکنش‌های فیزیکی

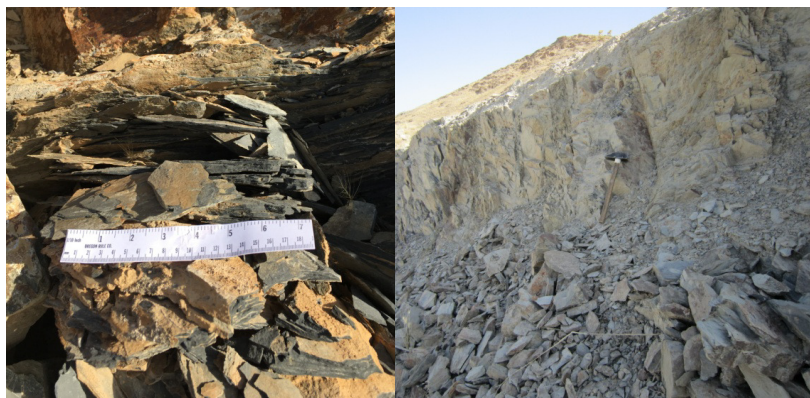
درک اولیه از فرآیندهای شیمیایی درگیر در تغییر پیریت به کاهش مشکلات ناشی از اکسیداسیون آن کمک خواهد کرد. هوازدگی فیزیکی اولین گام در گسترش تخریب در توده سنگ و بلورها می‌باشد. هوازدگی فیزیکی به دلیل افزایش سطح آزاد و افزایش تخلخل، میزان هوازدگی شیمیایی را کنترل می‌کند و بر ساختار دانه‌ها و توزیع اندازه ذرات پیریت تأثیر می‌گذارد.

1 :dehydroxylation

جدول ۳. مقایسه تغییرات قابل مشاهده در نمونه‌ها در انتهای هر چرخه از آزمون‌های هوازدگی (تن رنگی میزان شدت آن پدیده را مشخص می‌کند)

تبلور نمک				
چرخه				پدیده‌ی قابل روئیت
۳۰	۲۰	۱۰		
				تغییر رنگ بلورهای پیریت-مگنتیت
				پساب اکسید آهن
				مشاهده تورق در نتیجه‌ی نفوذ پساب در تورق
				نمایان شدن تورق در نتیجه‌ی بازشدگی آن
				خوردگی لبه‌ها
				گسیختگی در سطوح ضعف
				پوک شدگی نمونه (حالت سبک شدگی و صدای خاص آن)
ذوب و انجماد				
چرخه				پدیده‌ی قابل روئیت
۶۰	۴۵	۳۰	۱۵	
				تغییر رنگ بلورهای پیریت-مگنتیت
				پساب اکسید آهن
				مشاهده تورق در نتیجه‌ی نفوذ پساب در تورق
				نمایان شدن تورق در نتیجه‌ی بازشدگی آن
				خوردگی لبه‌ها
				گسیختگی در سطوح ضعف
				پوک شدگی نمونه (حالت سبک شدگی و صدای خاص آن)
تر و خشک شدن				
چرخه				پدیده‌ی قابل روئیت
۶۰	۴۵	۳۰	۱۵	
				تغییر رنگ بلورهای پیریت-مگنتیت
				پساب اکسید آهن
				مشاهده تورق در نتیجه‌ی نفوذ پساب در تورق
				نمایان شدن تورق در نتیجه‌ی بازشدگی آن
				خوردگی لبه‌ها
				گسیختگی در سطوح ضعف
				پوک شدگی نمونه (حالت سبک شدگی و صدای خاص آن)
سرد و گرم شدن				
چرخه				پدیده‌ی قابل روئیت
۶۰	۴۵	۳۰	۱۵	
				تغییر رنگ بلورهای پیریت-مگنتیت
				پساب اکسید آهن
				مشاهده تورق در نتیجه‌ی نفوذ پساب در تورق
				نمایان شدن تورق در نتیجه‌ی بازشدگی آن
				خوردگی لبه‌ها
				گسیختگی در سطوح ضعف
				پوک شدگی نمونه (حالت سبک شدگی و صدای خاص آن)
شرایط طبیعی				
ماه				پدیده‌ی قابل روئیت
۱۲	۹	۶	۳	
				تغییر رنگ بلورهای پیریت-مگنتیت
				پساب اکسید آهن
				مشاهده تورق در نتیجه‌ی نفوذ پساب در تورق
				نمایان شدن تورق در نتیجه‌ی بازشدگی آن
				خوردگی لبه‌ها
				گسیختگی در سطوح ضعف
				پوک شدگی نمونه (حالت سبک شدگی و صدای خاص آن)

۳۴۱/۷ میلی‌متر برآورد شده است. بنابراین فرآیند سرد و گرم شدن یکی از مهم‌ترین عوامل هوازنگی فیزیکی در منطقه محسوب می‌گردد. این فرآیند موجب گردیده است که اسلیت‌های منطقه (بسته به موقعیت ناهمسانگردی و ناپوستگی) ورقه ورقه و یا به شکل قطعات بی‌شکل و بلوک آزاد در محل هوازنگی دیده شوند (شکل ۵).



شکل ۵. برگوارگی و خردشدگی اسلیت‌های آهکی پیریت-مگنتیت‌دار در نتیجه‌ی هوازنگی درازمدت (مقیاس ۱۸ سانتی‌متر می‌باشد)

یون سولفات تولید شده با کلسیم موجود در محیط واکنش داده و تولید ژپس می‌کند (واکنش ۴). از طرفی وجود کلسیت در محیط نیز با اسیدسولفوریک، ژپس تولید می‌کند (برایانت، ۲۰۰۳).

واکنش (۴)  $Ca^{+2} + SO_4^{-2} + 2H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O$

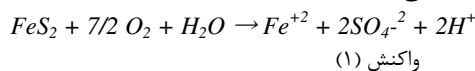
هوازنگی در منطقه‌ی مورد مطالعه، هم در مقیاس ماکروسکوپی و هم میکروسکوپی، تغییرات چشم‌گیری ایجاد کرده است. تغییر رنگ و بافت مهم‌ترین شاهد بر واکنش‌های موجود است. پیریت - مگنتیت‌های موجود در منطقه، در مقیاس ماکروسکوپی، به سه شکل مشاهده شده است: دانه‌ای - مکعبی (I)، توده‌ای (II) و دندریتی (III) (شکل ۶). قابل‌ذکر است که فراوانی پیریت - مگنتیت تیپ I در تمامی نمونه‌ها غالب می‌باشد و تیپ II و III از فراوانی بسیار کمتری برخوردارند.

ایوانزولو و ژانگ (۱۹۹۵) پیریت‌ها را به صورت بلورهای سطحی بی‌شکل (اکتاهدرال<sup>۱</sup>)، مکعبی (پیریتوهدرال<sup>۲</sup>)، یا به صورت ذرات بی‌شکل در سیمان (پیریت فرامبوئیدال<sup>۳</sup>) معرفی نموده‌اند. تمام این اشکال می‌توانند با چشم غیرمسلح دیده شوند.

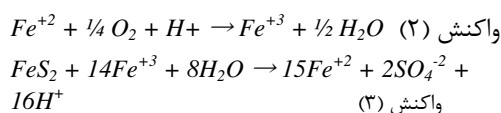
طبق گزارش اداره هواشناسی استان مرکزی، اقلیم شهر اراک بر پایه طبقه‌بندی دمارتن، نیمه‌خشک و بر پایه طبقه‌بندی آمبرژه، نیمه‌خشک و سرد می‌باشد. مدت روزهای یخبندان از ۶۵ تا ۱۲۰ روز در سال‌های مختلف متغیر است. میزان بارندگی در سال‌های مختلف میان ۲۳۰ تا ۶۳۸ میلی‌متر متغیر است که متوسط آن حدود

#### واکنش‌های شیمیایی

میزان تخریب پیریت به چند عامل: دما، رطوبت، اسیدیته پایین و حضور باکتری‌ها (برایانت، ۲۰۰۳) وابسته است محصولات اکسیداسیون پیریت، علاوه بر اسیدسولفوریک ( $H_2SO_4$ )، شامل کانی‌های سولفات و اکسیدهای آهن مختلف مانند گوتیت ( $FeOOH$ ) و هماتیت ( $Fe_2O_3$ ) می‌باشد. همان‌طور که اسیدسولفوریک تولید شده ناشی از اکسیداسیون پیریت (واکنش ۱) توسط کانی‌های رسی و کربناته سنگ مصرف می‌گردد، دانسیته نیز به کاهش خود ادامه می‌دهد.



پیریت توسط فرآیند اکسیداسیون آهن دو ظرفیتی ( $Fe^{+2}$ ) و سولفات ( $SO_4^{-2}$ )، اسید ( $H^+$ ) تولید می‌کند. سپس در واکنشی که آهن دو ظرفیتی ( $Fe^{+2}$ ) با اکسیژن و اسید دارد، تولید آهن سه ظرفیتی ( $Fe^{+3}$ ) می‌کند (واکنش ۲). بنابراین آهن سه ظرفیتی ( $Fe^{+3}$ ) می‌تواند به‌عنوان یک کاتالیزور عمل کند (واکنش ۳).



<sup>1</sup> octahedral

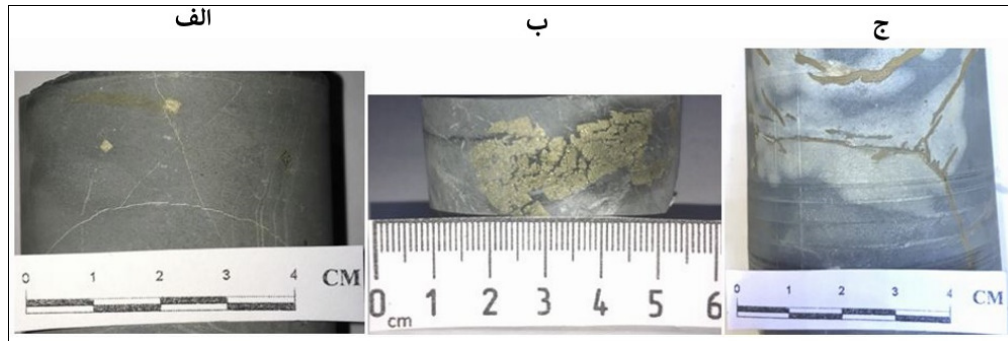
<sup>2</sup> pyritohedral

<sup>3</sup> Frambooidal pyrite



از شکل آن‌ها، از پارامتر رنگ بلورها (شکل ۶)، استفاده شده است. در این راستا بر اساس مطالعه صورت گرفته در این پژوهش، ۵ گروه هوازگی (از بدون هوازگی (P<sub>1</sub>) تا کاملاً هوازده (P<sub>5</sub>)) معرفی گردیده است (جدول ۴).

ارائه رده‌بندی هوازگی در کارهای مهندسی، از دیدگاه‌های مختلف، جهت مشاهده تغییرات نمونه‌ها حین سیکل‌های هوازگی آزمایشگاهی یا طبیعی می‌تواند مفید باشد. بنابراین اولین قدم در بررسی هوازگی پیریت‌ها، ارائه یک رده‌بندی می‌باشد. در این رده‌بندی صرف‌نظر



شکل ۶. اشکال مختلف پیریت- مگنتیت مشاهده شده در منطقه‌ی مورد مطالعه (الف: دانه‌ای - مکعبی (I)، ب: توده‌ای (II)، دندریتی (III))

جدول ۴. رده‌بندی هوازگی پیریت-مگنتیت

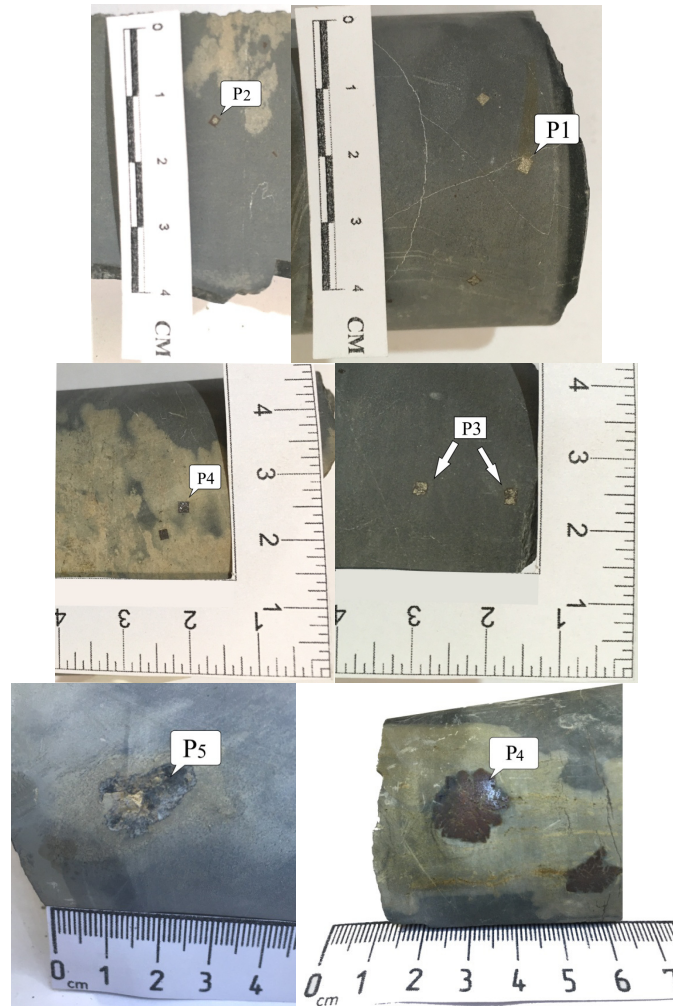
رده هوازگی	ویژگی	توصیف
P <sub>1</sub>	بلورهای براق بدون هیچ آثار هوازگی	بدون هوازگی
P <sub>2</sub>	بلورهای براق با حاشیه قهوه‌ای سوخته	کمی هوازده
P <sub>3</sub>	بلورهایی که به صورت شبکه‌ای هوازده شده‌اند و قهوه‌ای سوخته شده‌اند	نیمه هوازده
P <sub>4</sub>	بلورهای کاملاً هوازده و به رنگ قهوه‌ای سوخته	هوازده
P <sub>5</sub>	آثار بلور هوازده که به صورت یک قالب باقی مانده است	کاملاً هوازده

همان‌طور که در شکل ۷ نیز مشاهده می‌گردد، در اطراف پیریت- مگنتیت‌های درشت که درجه هوازگی بالایی دارند می‌توان به خوبی تغییر رنگ زمینه سنگ از تیره به روشن را تشخیص داد. این به این معناست که اسیدسولفوریک تولید شده در اثر اکسیداسیون پیریت، بر زمینه سنگ اثر گذاشته و کلسیت را به ژیپس تبدیل کرده است. علاوه بر آن گرافیت موجود در نمونه نیز از بین می‌رود.

با توجه به موارد ذکر شده در بالا می‌توان برای معرفی درجه هوازگی پیریت- مگنتیت موجود در نمونه‌ها از دو علامت اختصاری استفاده نمود. بدین ترتیب که نام اول معرف تیپ بلور (نوع II.a یا III) و نام دوم معرف درجه‌ی هوازگی (P<sub>1</sub> تا P<sub>5</sub>) آن می‌باشد. برای مثال، علامت اختصاری P<sub>3</sub>-II معرف بلورهای توده‌ای پیریت- مگنتیت هستند که به صورت شبکه‌ای هوازده شده‌اند.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، پیریت‌ها را می‌توان از لحاظ تغییرات رنگی در ۵ فرم مشاهده نمود. لازم به ذکر است که اکسیداسیون پیریت بر زمینه‌ی سنگ نیز اثر گذاشته است و رنگ آن را از خاکستری تیره به کرم روشن تغییر داده است (شکل ۷).

همان‌طور که کریپس و همکاران (۱۹۹۳) بیان نمودند، اکسیداسیون پیریت در درجه اول توسط سطح تماس کنترل می‌گردد. واکنش‌پذیری پیریت با کاهش اندازه دانه و افزایش سطح نسبی، افزایش می‌یابد، بنابراین انتظار می‌رود هوازگی پیریت‌ها از خارجی‌ترین سطح شروع گردد. به علاوه هرچه خردشدگی پیریت بیشتر باشد، به دلیل افزایش سطح نسبی، سرعت هوازگی نیز بیشتر خواهد شد. همان‌طور که در نمونه‌ها نیز مشاهده شد، اکسیداسیون از حاشیه‌ی بلورها، جایی که سطح نسبی بیشتری دارد، شروع می‌گردد و با پیشرفت هوازگی، به علت تغییرات حجمی، بلور خرد می‌گردد و تنها قالب آن در سنگ باقی می‌ماند (شکل ۷، رده P<sub>5</sub>).



شکل ۷. نمونه‌هایی از پیریت-مگنتیت‌های هوازده موجود در متن و سطح اسلیت‌های آهکی اراک

مشکلات ژئوتکنیکی در خصوص هوازده‌گی پیریت‌ها تغییرات مواد سولفوردار یکی از مسائل مهم در مطالعات زمین‌شناسی مهندسی محل پروژه‌های عمرانی محسوب می‌شوند. وجود مواد مذکور در خاک و سنگ مشکل‌آفرین می‌باشند. برایانت (۲۰۰۳) عنوان کرده است که پیامدهای ناشی از اکسیداسیون پیریت عبارت‌اند از: تورم، تخریب بتن، خوردگی فولاد، خطرات زیست‌محیطی، پساب‌های معدنی اسیدی و تأثیر بر مقاومت سنگ (جدول ۶). در این راستا عمده‌ترین مشکل زیست‌محیطی ناشی از اکسیداسیون پیریت، تأثیر بر کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی است. از سوی دیگر، تأثیری که هوازده‌گی پیریت بر سنگ می‌گذارد بستگی به مقدار و نوع کانی‌های اولیه، مقدار نفوذپذیری سنگ و مقدار اسید حاصل از هوازده‌گی پیریت دارد. اسلیت‌های آهکی اراک دارای ریزبلورهای اندکی از پیریت می‌باشند و به دلیل

در این راستا بر اساس پژوهشی که بهزادتبار و همکاران (۱۳۹۶) بر روی هوازده‌گی اسلیت‌های اراک (زمینه سنگ بدون در نظر گرفتن بلورهای پیریت-مگنتیت)، در مقیاس ماکروسکوپی و میکروسکوپی، انجام داده‌اند، ۷ رده هوازده‌گی ارائه شده است (شکل ۸). بر این اساس می‌توان با مشاهده‌ی نوع پیریت موجود در هر رده، این دو رده‌بندی را به هم ادغام نمود (جدول ۵).

بنابراین می‌توان با استفاده از رده‌بندی ارائه شده در این پژوهش و رده‌بندی توصیه شده توسط بهزادتبار و همکاران (۱۳۹۶)، اسلیت‌های آهکی پیریت-مگنتیت‌دار مزوزوئیک را از نظر درجه هوازده‌گی به صورت حروف اختصاری نام‌گذاری نمود. به‌طور مثال، اسلیت آهکی که زمینه‌ی آن کرمی رنگ شده است و دارای بلورهای مکعبی پیریت-مگنتیت کاملاً هوازده و به رنگ قهوه‌ای سوخته می‌باشد، به شکل S<sub>3</sub>-I-P<sub>4</sub> معرفی می‌گردد.

پیریت‌های توده‌ای اسلیت‌های اراک در پی، علیرغم خصوصیات ناهمسانگردی آن، هوازگی می‌تواند تورم غیریکنواخت و کاهش ظرفیت باربری را به همراه داشته باشد. در صورت ادامه‌ی هوازگی، پیریت متورم شده و اگر فضای کافی برای تورم نداشته یا فشار ناشی از تورم آن کمتر از مقاومت کششی سنگ باشد، پیریت خرد می‌گردد و یک فضای خالی در سنگ ایجاد می‌کند. این حفرات می‌توانند تخلخل ثانویه در توده ایجاد نمایند. میزان نرخ تورم کانی پیریت را در جدول ۷ می‌توان مشاهده نمود. این جدول بر مبنای بلور خالص کانی مورد نظر ارائه شده است.

نفوذپذیری کم سنگ در طولانی مدت مشکل‌آفرین هستند و وجودشان روی کاهش کیفیت سنگ جهت منابع قرضه و ساختمانی تأثیر خواهد داشت. مواد پیریت‌دار به دلیل انحلال مواد با اسید در شیب‌های سنگی و خاکی توده‌های سنگی یا خاکی پیریت‌دار، می‌توانند ناپایداری ایجاد کنند. همان‌طور که شیل‌های منطقه‌ی تور در انگلستان این پدیده را نشان داده است (بورکارت و همکاران، ۱۹۹۹) آن‌ها دریافتند که این ناپایداری‌ها عمدتاً در داخل توده، به دلیل انحلال مواد با اسید و تشکیل ژپس، گوتیت و ژاروسیت می‌باشد. میزان نرخ تورم ناشی از برخی از کانی‌های مشکل‌ساز را در جدول (۷) می‌توان مشاهده نمود. در صورت حضور

شکل ظاهری	رده هوازگی زمینه اسلیت	توصیف رنگی زمینه اسلیت
	S <sub>1</sub>	خاکستری تیره
	S <sub>2</sub>	خاکستری روشن
	S <sub>3</sub>	کرمی
	S <sub>4</sub>	نارنجی روشن
	S <sub>5</sub>	نارنجی تیره
	S <sub>6</sub>	قهوه‌ای سوخته
	S <sub>7</sub>	مرجانی شده (رسوب کربنات کلسیم)

شکل ۸. هفت رده‌ی هوازگی سنگ بر اساس مشاهدات ماکروسکوپی (بهزادتبار و همکاران، ۱۳۹۶)

جدول ۵. تطابق رده‌بندی زمینه اسلیت‌های آهکی با رده‌بندی هوازگی بلورهای پیریت - مگنتیت

رده هوازگی اسلیت‌های آهکی (بهزادتبار و همکاران، ۱۳۹۶)	پیریت - مگنتیت‌های موجود در این رده
S <sub>1</sub>	P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub> , P <sub>3</sub>
S <sub>2</sub>	P <sub>3</sub> , P <sub>4</sub>
S <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>
S <sub>4</sub>	P <sub>4</sub> , P <sub>5</sub>
S <sub>5</sub>	P <sub>4</sub> , P <sub>5</sub>
S <sub>6</sub>	P <sub>4</sub> , P <sub>5</sub>
S <sub>7</sub>	-

جدول ۶. تأثیر اکسیداسیون پیریت بر پروژه‌های ژئوتکنیکی و سیستم‌ها (برایانت، ۲۰۰۳)

فرآیندهای فیزیکی شیمیایی					پروژه‌های ژئوتکنیکی / سیستم
نشت اسید	خوردگی فلزات	تخریب بتن	فشار تورم	بالا آمدگی	
ندارد	ندارد	دارد	دارد	دارد	فونداسیون کم عمق
ندارد	دارد	دارد	دارد	دارد	کفپوش و سنگفرش
دارد	ندارد	ندارد	ندارد	دارد	زیراساس جاده
ندارد	ندارد	دارد	درد	دارد	سایر ساختارهایی با بارگذاری کم
ندارد	دارد	دارد	دارد	دارد	دیواره‌ها
دارد	ندارد	دارد	ندارد	دارد	مجراهای بتنی
ندارد	ندارد	دارد	ندارد	دارد	شمع‌های سیمانی / شفت‌های حفاری شده
دارد	دارد	ندارد	ندارد	دارد	شفت‌های حفاری شده
دارد	دارد	ندارد	ندارد	دارد	مجراهای فولادی
دارد	دارد	ندارد	ندارد	دارد	ساختارهای فولاد دار (بولت‌ها، شمع‌ها ...)
دارد	دارد	ندارد	ندارد	دارد	روش‌های پایدارسازی شیب
دارد	ندارد	ندارد	ندارد	دارد	شمع‌های سنگی
دارد	ندارد	ندارد	دارد	دارد	تونل‌ها
دارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	حفاری‌های سنگی
دارد	ندارد	ندارد	ندارد	دارد	ترانشه‌های سنگی
دارد	ندارد	ندارد	ندارد	دارد	خاکریز

جدول ۷. میزان تورم ناشی از هوازگی برخی از کانی‌های مشکل‌آفرین (برایانت، ۲۰۰۳)

مقدار افزایش حجم بلور (%)	تبدیل کانی‌ها	
	کانی جدید سولفات	کانی اولیه
۸	آلونیت	ایلیت
۱۰	ژاروسیت	ایلیت
۱۰۳	ژیپس	کلسیت
۱۱۵	ژاروسیت	پیریت
۳۵۰	سولفات آهن بدون آب	پیریت
۵۳۶	ملانتریت	پیریت

اسلیت‌ها در مقیاس میکروسکوپی نیز به خوبی قابل تشخیص می‌باشد. با افزایش درجه هوازگی کانی‌ها ریزتر، گرافیت کمتر و تورق محوتر می‌گردد (شکل ۱۰). این موضوع در زمان استفاده از سنگ‌های مذکور در نمای ساختمان اهمیت بیش‌تری پیدا خواهد کرد.

اسپیرز و تیلور (۱۹۷۲) بیان نمودند که از جمله تغییراتی که بر روی کانی‌های رسی نسبت به عمق صورت می‌گیرد این است که در هرچه به سطح زمین نزدیک‌تر باشند، مقدار بیش‌تری پتاسیم از دست می‌دهند و این موضوع تا عمق ۴ فوتی (۱۲۲ سانتی‌متر) ادامه دارد و پس از آن عمدتاً هوازگی سنگ (سنگ‌های رسی) شامل تغییر در ساختار آن می‌باشد. این در حالی است که عمق هوازگی پیریت را تا ۶ تا ۱۰ فوت (۱۸۳ الی ۳۰۵ سانتی‌متری) از

در جدول ۷ میزان تورم ناشی از هوازگی برخی از کانی‌های مشکل‌آفرین نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، بسته به اینکه کانی ثانویه حاصل از پیریت چه کانی باشد (Jarosite, Anhydrous ferrous sulfate, Melanterite) درصد تورم نیز از ۱۱۵ درصد تا ۵۳۶ درصد متفاوت خواهد بود.

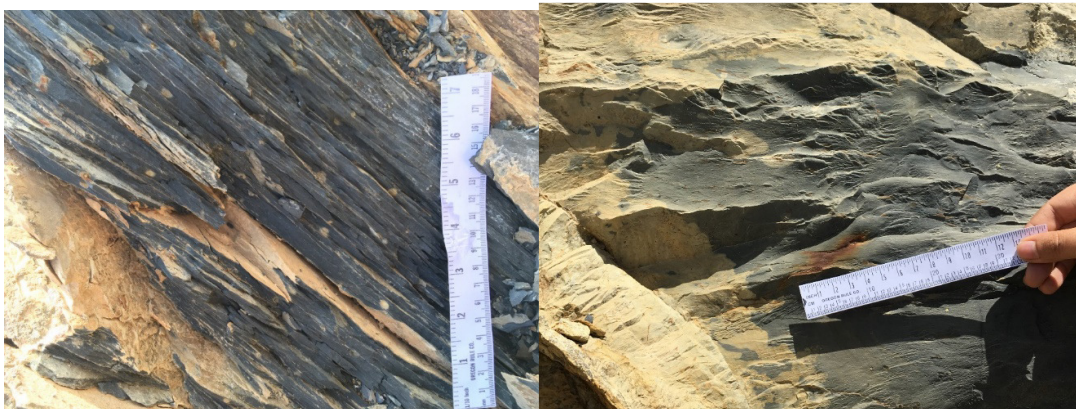
شایان‌ذکر است که اسلیت‌های اراک، آهکی می‌باشند، بنابراین تورم ناشی از تبدیل کلسیت به ژیپس را نیز باید در نظر گرفت (۱۰۳ درصد)؛ بنابراین انتظار می‌رود در اثر هوازگی اسلیت‌های منطقه، پوسته‌پوسته شدن صفحات در نتیجه اعمال فشار داخلی، تغییر رنگ از تیره به روشن، ایجاد لکه‌های زنگ‌زدگی در سطح سنگ و خردشدگی قابل مشاهده باشد (شکل ۹). تغییر رنگ

(محیط‌های نمکی) و شهری (محیط اسیدی)، کربنات‌ها و اکسیدها به راحتی هوازده می‌گردند. شهر اراک یکی از شهرهای صنعتی می‌باشد که بارش باران اسیدی در آن متداول است. روشن است ایجاد یک محیط اسیدی، علاوه بر اسیدسولفوریک تولید شده توسط هوازدهی پیریت‌ها، به تشدید فرآیند اکسیداسیون و ژئوسپی شدن در منطقه کمک می‌کند. ایوانزولو و ژانگ (۱۹۹۵) بیان کرده‌اند که بیش‌ترین مشکل در رابطه هوازدهی در خصوص پیریت فرامبوئیدال (ریزبلورهای سیمان) می‌باشد که با افزایش تخلخل سطح تماس با آب‌وهوا را افزایش می‌دهد. همان‌طور که در مقاطع اسلیت‌های اراک نیز مشاهده شد، پیریت‌های ریزبلور در زمینه‌ی سنگ نیز حضور دارند. این موضوع فرآیند هوازدهی شیمیایی را در سنگ‌های مشکل‌آفرین یعنی اسلیت‌های اراک تشدید می‌کند. نقش این فرآیند در واردکردن صدمه به پی‌های کم‌عمق مشهود است.

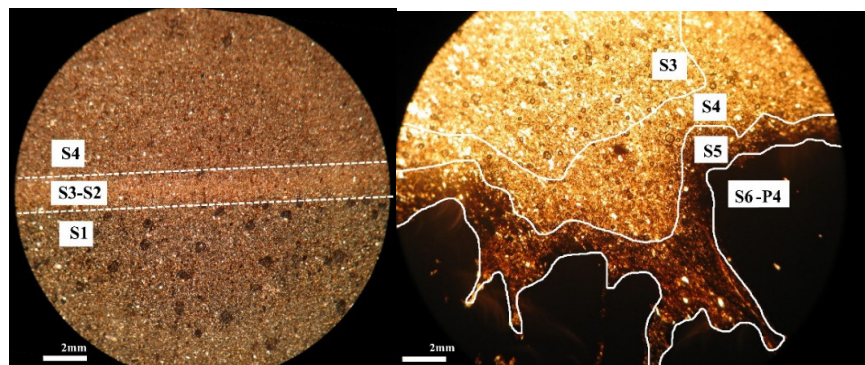
سطح تخمین زده‌اند. اگرچه پیریت درصد کوچکی از سنگ‌های رسی را به خود اختصاص داده‌اند اما تأثیرات آن‌ها می‌تواند چشم‌گیر باشد. این عمق درباره اسلیت‌های اراک نیز مصداق دارد.

بیش‌ترین زون اکسیداسیون پیریت‌ها به زون موینگی محدود می‌گردد، زیرا در این بخش استرس کمتر و فضا برای تورم بلور وجود دارد (برایانت، ۲۰۰۳). این همان عاملی است که نشان می‌دهد چرا تورم عمودی پیریت در صفحات ناپیوستگی بیش‌تر است. وجود ناهمسانگردی در اسلیت‌های پیریت‌دار اراک می‌توان عامل انتقال و تشدید فرآیند هوازدهی پیریت- مگنتیت و زمینه سنگ باشد.

مشکل تورم قائم ناشی از اکسیداسیون پیریت در رابطه با شیل‌هایی که دارای لایه‌بندی افقی هستند مشکل‌آفرین می‌باشد (هاوکنگز و پیچز، ۱۹۹۷). همان‌طور که سیجسموند و استلیج (۲۰۱۱) نیز بیان نمودند، در شرایطی با پتانسیل هوازدهی بالا، مانند مناطق ساحلی



شکل ۹. آثار هوازدهی پیریت- مگنتیت و تغییر رنگ توده سنگ در نتیجه‌ی تولید ژئوسپی و خروج گرافیت (ایستگاه M)



شکل ۱۰. تصویر میکروسکوپی تغییر رنگ و درجه هوازدهی اسلیت‌ها (بهزادتبار و همکاران، ۱۳۹۶)

## نتیجه‌گیری

شواهد هوازدهی موجود باشد، به‌عنوان مثال اگر نمونه دارای پیریت‌های مکعبی بدون هوازدهی باشد از علامت I-P<sub>1</sub> استفاده گردد. با ادغام نام‌گذاری یاد شده و رده‌بندی ارائه شده توسط بهزادتبار و همکاران (۱۳۹۶)، می‌توان یک نام‌گذاری کامل جهت معرفی درجه هوازدهی اسلیت‌های آهنی مزوزوئیک ارائه نمود. به‌طور مثال، S<sub>1</sub>-II-P<sub>2</sub> که نشان‌دهنده‌ی اسلیتی با زمینه‌ی بدون هوازدهی و دارای بلورهای پیریت توده‌ای با هوازدهی حاشیه‌ای می‌باشد.

لازم به ذکر است که اسلیت‌های اراک دارای بلورهای کوچک و پراکنده‌ای از پیریت-مگنتیت می‌باشند (گاهی دارای بلورهای توده‌ای یا دندریتی) که در مقیاس بزرگ و مقیاس کوچک (مانند استفاده جهت منابع قرصه) از لحاظ تجاری و زیبایی‌شناختی مشکل‌آفرین می‌گردند. این بلورها بعد از هوازدهی، پساب‌های زنگ آهنی از خود آزاد می‌نمایند که ظاهر سنگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تورم، تخریب بتن، خوردگی فولاد، خطرات زیست‌محیطی، پساب‌های معدنی اسیدی و تغییر مقاومت سنگ از جمله پیامدهای اکسیداسیون پیریت‌ها می‌باشد. علاوه بر موارد فوق با پیشرفت هوازدهی، به دلیل تورم پیریت‌ها و خورد شدن آن‌ها، گاهی حفرات خالی از خود برجای می‌گذارد که می‌تواند تخلخل ثانویه در توده سنگ ایجاد کرده و مشکل‌آفرین باشند، برای مثال نفوذپذیری توده سنگ را افزایش دهد.

## منابع

اصغری کلجاهی، ا.، شکرزیناب، س.، جهانگیری، ا. (۱۳۹۶) بررسی تاثیر ویژگی‌های سنگ‌شناسی در مقاومت و دوام سنگ‌های آتشفشانی مورد استفاده در پوشش محافظ میانگذر دریاچه ارومیه. مجله یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی. پاییز و زمستان ۱۳۹۶. دوره ۱۱. شماره ۲۲. ۳۱-۱۹.

بهزادتبار، پ.، قبادی، م. ح.، سپاهی‌گرو، ع. ا. (۱۳۹۶) بررسی تغییرات کانی‌شناسی ناشی از هوازدهی اسلیت‌های آهنی اراک و رده‌بندی آن. چهارمین همایش ملی گوهرشناسی و بلورشناسی انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه بوعلی‌سینا همدان.

قبادی، م. ح.، امیری، م.، آلیانی، ف. (۱۳۹۸) مطالعه رابطه هوازدهی، کانی‌شناسی و بافت سنگ‌های پریدوتیتی با خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی (مطالعه موردی:

علاوه بر طبیعت سنگ، شرایط آب و هوایی نیز نقش به‌سزایی در فرآیند هوازدهی ایفا می‌کند. اگرچه شرایط مرطوب، به جهت حضور همیشگی آب، محیط هوازدهی شیمیایی وسیع‌تری را ایجاد می‌کند اما در مناطق خشک نیز تابش‌های مکرر آفتاب و چرخه‌های سرد و گرم شدن عوامل اصلی در هوازدهی فیزیکی می‌باشند. بنابراین چنین می‌توان گفت که هوازدهی فیزیکی شرایط را برای اثر هوازدهی شیمیایی در منطقه مهیا کرده است. بارزترین تغییرات قابل رویت ناشی از هوازدهی (آزمایشگاهی و طبیعی) این تیپ سنگ شامل: تغییر رنگ بلورهای پیریت-مگنتیت، روان شدن پساب اکسید آهن، نمایان شدن تورق در اثر ته‌نشست اکسید آهن، ورقه ورقه شدن، خوردگی نمونه‌ها، گسیختگی در سطوح ضعف و نهایتاً پوک‌شدگی نمونه‌ها می‌باشد. شدت این تغییرات بستگی به شرایط هوازدهی دارد. با توجه به شواهد می‌توان چنین ادعان داشت که بلورهای پیریت-مگنتیت به تغییرات دمایی نسبت به تورق اسلیت‌ها حساس‌تر باشند و نقش حضور آب در فرآیند هوازدهی در هر دو مورد بسیار چشم‌گیر می‌باشد. در این راستا بیش‌ترین تغییرات در آزمون تبلور نمک و کمترین تغییرات در هوازدهی طبیعی (به مدت یک سال) مشاهده شده است. عامل چنین تمایزی را در شرایط اغراق و تسریع شده آزمایشگاهی می‌توان یافت.

با توجه به شکل ظاهری پیریت‌ها، می‌توان آن‌ها را در یکی از سه گروه دانه‌ای-مکعبی (I)، توده‌ای (II) و دندریتی (III) جای داد. بیش‌ترین فراوانی شکل پیریت در اسلیت‌های مزوزوئیک اراک، شکل مکعبی می‌باشد. از بین عوامل هوازدهی شیمیایی سنگ که عبارت‌اند، عامل اکسیداسیون فرآیند شاخص هوازدهی شیمیایی پیریت‌های موجود در اسلیت‌های آهنی منطقه می‌باشند. این تغییرات، در مقیاس ماکروسکوپی، به شکل تغییر رنگ، از بژ به سمت قهوه‌ای تیره، قابل تشخیص می‌باشد. لازم به ذکر است که هرچه بلورهای پیریت حجم بیش‌تری داشته باشند، تأثیر ناشی از هوازدهی آن‌ها، به دلیل تولید اسیدسولفوریک بیش‌تر و گسترده‌تر خواهد بود. بر اساس رده‌بندی ارائه‌شده در این پژوهش، بهتر است جهت توصیف هوازدهی پیریت‌ها در یک توده از علائم اختصاری استفاده گردد تا توصیف دقیق‌تری از

- Spears, D. A., Taylor, R. K (1972) the influence of weathering on the composition and engineering properties of in situ coal measures rocks. *Int. J. Rock mech. min. Sci.*, 9: 729-756.
- Yamanaka, T., Shoji, K., et al. (2002) Involvement of sulfur- and iron-transforming bacteria in heaving of house foundations. *Geomicrobiology Journal*, 19: 519-528.
- پریدوتیت‌های هرسین کرمانشاه. مجله یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی. (زیر چاپ)
- Bland, W., Rolls, D (1998) *Weathering*. Arnold, London, 281p.
- Borradaile, G. J., MacKenzie, A., Jensen, E (1991) A study of colour changes in purple-green slate by petrological and rock-magnetic methods. *Tectonophysics*, 200: 157-172.
- Brady, B. H. G., Brown, E. T (2005) *Rock Mechanics for underground mining*. Springer Science and Business Media, 645p.
- Bryant, L. D (2003) *Geotechnical Problems with Pyritic Rock and Soil*. thesis in Master of Science, Virginia Polytechnic Institute and State University, 242p.
- Cárdenes, V., Mateos, F., Rubio Ordoñez, A., Monterroso, C (2012) Standard tests for the characterization of roofing slate pathologies. *Materiales de Construcción*, 62: 251-268.
- Cárdenes V., Rubio-Ordóñez, Á., Wichert, J., Pierre Cnudde, J., Cnudde, V (2014) Petrography of roofing slates. *Earth-Science Reviews*, 138: 435-453.
- Cripps, J. C., Hawkins, A. B., and et al. (1993) Engineering Problems with Pyritic Mudrocks. *Geoscientist*, 3: 16-19.
- Evangelou, V. P., and Zhang, Y. L (1995) A Review - Pyrite Oxidation Mechanisms and Acid-Mine Drainage Prevention. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 25(2): 141- 199.
- Hawkins, A. B (1986a) *Rock Descriptions. Site Investigation Practice*. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 423p.
- Hawkins, A. B., Pinches, G. M (1987b) Sulphate Analysis on Black Mudstones. *Geotechnique*, 37: 191-196.
- Heidari, M., Torabi-Kaveh, M., Chastre, C., Ludovico-Marques, M., Mohseni, H., Akefi, H (2017) Determination of weathering degree of the Persepolis stone under laboratory and natural conditions using fuzzy inference system. *Construction and Building Materials*, 145: 28-41.
- Momeni, A. A., Khanlari, G. R., Heidari, M., Sepahi, A. A., Bazvand E (2015) New engineering geological weathering classifications for granitoid rocks. *Engineering Geology*, 185: 43-51
- Ouacha H., Ben Moussa A., Simao, J (2013) The salt crystallization weathering of building rocks of the archaeological sites calcarenites of north-western Morocco (lixus, Banasa and Thausida). *European Scientific Journal* June edition, 9: 1857- 7431
- Siegesmund, S., Sneathlage, R, (2011) *Stone in Architecture*(4th ed.). DOI 10.1007/978-3-642-14475-2\_3, C \_ Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

## Study of the weathering phenomenon in Mesozoic's pyritic Calcareous Slate and a review of the problems caused by pyrite weathering (case study, Arak)

P. Behzadtabar<sup>1\*</sup> and M. H. Ghobadi<sup>2</sup>

1, 2- Dept., of Geology, Bu-Ali Sina University, Hamedan

\* p.behzadtabar@yahoo.com

Received: 2018/7/24 Accepted: 2019/1/21

### Abstract

The study of weathering is important in terms of predicting rock behavior against weathering factors and its suitability for borrow material. The first step to surveying weathering is, to provide a appropriate method for classification. In this study, the changes caused by weathering calcareous slate in laboratory condition (salt crystallization, freezing-melting, wetting-drying, cooling-heating), and also atmospheric conditions (for one year) were analyzed (about 1000 samples). These traces are mostly exfoliate, decoloration of pyrite-magnetite, the effects of iron rust, and edges corrosion. The intensity of these changes in the weathering test has resulted in more tolerance than other tests. In addition to the effect on the engineering behavior of stones, pyrite oxidation also has an adverse effect on the appearance of stone materials. Hence, pyrite-magnetite in calcareous slate, particularly in terms of shape and appearance changes caused by weathering were evaluated and classified. These crystals are categorized mainly into three gravel-cubic, mass and dendritic types, and classified according to the weathering grade to P1 to P5 (without weathering to fully weathered). Finally, we have reviewed geotechnical problems caused by weathering of pyrites.

**Keywords:** Calcareous Slate, Pyrite, Weathering, Arak