جغرافیا و پایداری محیط، شمارهٔ ۱۶، پاییز ۱۳۹۴
صص. ۱۵-۱

نقش گردشگران در انحلال اشکال کارستی ثانویهٔ درون غارها (مطالعهٔ موردی: غار علیصدر همدان)

امجد ملکی* - دانشیار گروه ژئومورفولوژی دانشگاه رازی کرمانشاه، ایران
محمد حسین قبادی - استاد گروه زمین‌شناسی دانشگاه بوعلی سینای همدان، ایران
پیمان کریمی سلطانی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه رازی کرمانشاه، ایران

وصول: ۱۳۹۳/۱۱/۲ **پذیرش:** ۱۳۹۴/۴/۴

چکیده

غار علیصدر در روستایی به همین نام در شهرستان کبودرآهنگ قرار گرفته است. این غار توریست‌پذیرترین غار کشور بوده و سالانه بیش از هشتصد هزار گردشگر داخلی و خارجی از آن دیدن می‌کنند. بازدید روزانه چندین هزار گردشگر از درون غار، به ویژه در نیمهٔ اوّل سال و ایّام پایانی هفته، سبب تغییراتی در مقادیر عناصر اقلیمی و دی اکسید کربن موجود در درون غار می‌شود. غلظت بالای دی اکسید کربن ناشی از بازدم گردشگران و رطوبت نسبی اشباع یا نزدیک به اشباع درون غار، به تدریج منجر به کاهش PH محیط و شکل‌گیری یک محیط اسیدی در درون غار شده و انحلال و پوسته‌پوسته شدن اشکال ثانویهٔ درون غار را در پی دارد. از این رو، در این مقاله تلاش شده است تا با شبیه‌سازی و بازسازی شرایط اقلیمی درون غار در محیط آزمایشگاهی کنترل شده، مقدار انحلال سالانهٔ اشکال ثانویهٔ درون غار به تفکیک سهم گردشگران، به شیوهٔ وزنی محاسبه گردد. برای این منظور، با تفکیک فضای درون غار به دو بخش آزمایش و کنترل، اقدام به جمع‌آوری داده‌های مربوط به مقادیر درجه حرارت، رطوبت نسبی و دی اکسید کربن موجود در درون غار در دو دورهٔ ۳۰ روزه در فصول تابستان و پاییز گردید. در مرحلهٔ بعد، با شبیه‌سازی همین شرایط در محیط آزمایشگاهی کنترل شده، مقدار سالانهٔ انحلال و پوسته‌پوسته شدن اشکال ثانویهٔ درون غار، به روش وزنی محاسبه گردید. با به دست آوردن تفاضل بین مقادیر دی اکسید کربن مناطق آزمایش و کنترل و تعیین سهم عوامل طبیعی و انسانی، سهم گردشگران در انحلال و پوسته‌پوسته نمودن اشکال ثانویهٔ درون غار به دست آورده شد. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که مقدار انحلال و پوسته‌پوسته شدن اشکال ثانویهٔ درون غار علیصدر ۰/۰۷۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب در سال است. از این مقدار، ۰/۰۶۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب در سال، معادل ۷۷ درصد کل انحلال سالانه سهم گردشگران می‌باشد. این امر در درازمدّت اثرات قابل توجّهی در تخریب اشکال کارست ثانویهٔ درون غار و در نهایت کاهش پایداری صنعت گردشگری منطقه دارد.

واژگان کلیدی: گردشگران، انحلال کارست، اشکال ثانویه، غار علیصدر، همدان.

---

*. نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۸۱۳۲۴۱۱۳ Email: amjad_maleki@yahoo.com

مقدّمه

بر اثر نفوذ آب در سنگ‌های انحلال‌پذیر (گچ و نمک و آهک)، سنگ‌ها، فرسایش یافته و در آب‌های نفوذی حل می‌شوند و به تدریج حفره ایجاد می‌گردد و این حفره به مرور زمان به گذرگاه‌های زیرزمینی تغییر شکل می‌یابند. آب‌های فرورونده مرتّباً مواد را در خود حل نموده و کم‌کم محوطه بازتر و بازتر می‌گردد و این محوطهٔ فضای باز، غار نامیده می‌شود.

فعل و انفعالات تشکیل اشکال ثانویهٔ درون غارها را می‌توان در سه بخش بیان نمود. مرحلهٔ اوّل: بیرون از غار و در سطح سنگ‌آهک، آب‌های حاصل از ریزش جوّی با هوازدگی شیمیایی گازکربنیک محیط را در خود حل می‌نماید. مرحلهٔ دوّم: آب حاوی گازکربنیک در ضمن عبور از فضاهای خالی گسل‌ها، درزها و شکاف‌ها به علّت خاصیّت اسیدی بر سنگ‌آهک حملهٔ شیمیایی می‌نماید و آن را در خود حل می‌کند و مرحلهٔ سوّم: هنگامی است که آب از فضای سنگ‌ها و درزها و شکاف‌ها خارج شده و در فضای جدید یعنی در سقف غار یا بدنهٔ غار با تغییر دما و فشار محیط بلورهای کلسیت و آراگونیت شروع به رسوب‌گذاری می‌نمایند (نجایی، ۱۳۸۸: ۱۵).

علی‌رغم این واقعیّت که انسان‌های اوّلیّه ساکن غارها بوده‌اند، ولی از آغاز تاریخ بشریّت تا کنون تعداد افراد وارد شده به غارها به اندازهٔ عصر حاضر نبوده است. سالانه بیش از ۲۰ میلیون نفر تنها از ۶۵۰ غار دیدن می‌کنند. آمار بی‌رویهٔ بازدیدکنندگان، سبب آشفتگی در محیط طبیعی غارها شده و به تدریج تخریب کامل اکوسیستم غارها را در پی دارد (هوتاچارن[1]، ۲۰۰۴: ۱۷). هرچند جذب گردشگر به درون غارها یک فرصت مناسب برای احیا و تقویت اقتصادهای محلّی است امّا پیامدها و خطراتی را برای اکوسیستم غارها نیز به دنبال دارد. محیط غارها به سبب طبیعت بسته‌ای که دارند بدون حضور و دخل و تصرّف انسان چندان مورد تهدید واقع نمی‌شوند امّا با حضور و دخل و تصرّف انسانی این اکوسیستم‌های طبیعی مورد تهدید قرار می‌گیرند (مورونی[2]، ۲۰۱۳). بسیاری از غارها مورد توجّه زمین‌شناسان، زیست‌شناسان، باستان‌شناسان و عموم مردم هستند و باید با عنوان میراث فرهنگی به آنها نگریسته شود. از این رو باید با مراقبت و مدیریت دقیق در اختیار عموم قرار گیرند (هویوس و همکاران[3]، ۱۹۹۸). درصد دی اکسید کربن خارج شده از بازدم انسان‌ها به میزان فعّالیّت فیزیکی، جنس و سنّ آنها بستگی دارد. سهم دی اکسید کربن تولید شده توسّط بازدم انسانی در درون غارها مهم است و به تعداد اشخاص، زمان حضور، حجم و موقعیّت غار بستگی دارد (فیمون و همکاران[4]، ۲۰۱۲). در غارهایی که مورد بازدید گردشگران قرار می‌گیرند، تأثیرات انسانی بر میزان غلظت دی اکسید کربن موجود، غیر قابل اجتناب است و هر انسان به طور متوسّط ۴۰/۱۰۳ PPM دی اکسید کربن از طریق تنفّس آزاد می‌کند (اک و همکاران[5]، ۱۹۸۵). با افزایش رشد جمعیت فشار بر منابع طبیعی نیز بیشتر شده است. با توجّه به چنین فشارهایی، مناظر کارستی آسیب‌پذیری بیشتری را نسبت به سایر محیط‌ها از خود نشان می‌دهند از این رو، شاخص پایداری کارست[6]، به عنوان یک شاخص استاندارد از سیاست‌های

1- Hutacharen
2- Moroni
3- Hoyos et al
4- Faimon et al
5- Ek et al
6- Karst Sustainability Index

توسعه برای تعیین پایداری کلّی یک منطقهٔ کارستی مورد استفاده قرار می‌گیرد (وان بینن و همکاران[1]، ۲۰۱۲).

فرایندهای دم و بازدم گردشگران سبب تجمّع حجم زیادی از گاز دی اکسید کربن در غارها می‌شود. رطوبت بالای سطوح کلسیت ناشی از تراکم بخار آب داخل غار، می‌تواند سبب جذب دی اکسید کربن هوا شده و تولید اسید کربنیک نموده و سپس باعث انحلال کلسیت شود. این پدیده، انحلال‌پذیری نامیده می‌شود و میزان آن بستگی به غلظت دی اکسید کربن موجود در هوای درون غار دارد (بالدینی و همکاران[2]، ۲۰۱۶).

ورود تعداد زیاد گردشگران به غارهای توریست‌پذیر، منجر به تغییر مقادیر عناصر اقلیمی مانند درجه حرارت و درصد رطوبت نسبی می‌شود. فعّالیّت‌های فیزیکی گردشگران در درون غارها و همچنین امکانات تعبیه شده برای تأمین روشنایی مورد نیاز گردشگران، به تدریج سبب بالا رفتن درجه حرارت درون غارها می‌شود مثلاً کالافورا و همکاران[3] (۲۰۰۳)، مدّت‌زمان واکنش درجهٔ حرارت درون غار کواوا[4] در اسپانیا به حضور بازدیدکنندگان را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این پژوهش، بازدیدکنندگان در دو گروه ۹۸۰ و ۲۰۸۸ نفری وارد غار شده و مدّت‌زمان واکنش درجهٔ حرارت غار به حضور هر دو گروه تنها ۱۵۰ ثانیه (دو و نیم دقیقه) بعد از ورود آنها طول کشیده است. ورود تعداد زیاد گردشگران به درون غارها، سبب افزایش غلظت دی اکسید کربن درون غارها می‌شود. هرچه تعداد بازدیدکنندگان و مدّت‌زمان حضور آنها در درون غارها افزایش یابد، غلظت و تجمّع دی اکسید کربن نیز افزایش پیدا می‌کند. نتایج حاصل از پژوهش دراگویچ و گروز[5] (۱۹۹۰)، نشان می‌دهد که غلظت دی اکسید کربن در غار جنولان[6] به حدود PPM ۱۵۰۰ رسیده است. در حالی که مقدار دی اکسید کربن موجود در هوا PPM ۳۲۰ بوده است این مقدار افزایش، ناشی از حضور گردشگران در غار بوده است یا نتایج حاصل از پژوهش لینن و همکاران[7] (۲۰۰۸)، در غار نرجا[8] نشان می‌دهد که غلظت دی اکسید کربن بیرون از غار در طی فصول پاییز، زمستان و بهار پایدار و بین PPM ۳۲۰ تا ۳۴۰ بوده است. در فصل تابستان، مقدار تمرکز دی اکسید کربن را کمتر از میانگین سایر فصول و PPM ۲۹۰ محاسبه نمودند. در حالی که در درون غار، مقدار تمرکز دی اکسید کربن را در فصول مختلف، متفاوت برآورد نمودند. کمترین مقدار تمرکز در زمستان و بیشترین مقدار تمرکز را در تابستان محاسبه کردند. میانگین ماهانهٔ دی اکسید کربن در درون غار در طی پاییز و زمستان PPM ۵۲۵ و در بهار و تابستان بیش از PPM ۷۵۰ برآورد نمودند. نکتهٔ قابل توجّه، افزایش مقدار تمرکز دی اکسید کربن مقارن با فصول، ماه‌ها و روزهای با تراکم بالای بازدیدکنندگان بوده است. پولیدوبوش و همکاران[9] (۱۹۹۷)، با تعیین محدوده‌ای از غار آراسنا[10] در اسپانیا، به بررسی تغییرات غلظت دی اکسید کربن در محدودهٔ تعیین شده پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که از سه بیشینهٔ ثبت شده توسّط دستگاه‌ها، دو بیشینه نیم ساعت بعد از خروج

1- Van Baynen et al
2- Baldini et al
3- Calaffora et al
4- Cueva Cave
5- Dragovich & Grose
6- Jenolan Cave
7- Linan et al
8- Nerja Cave
9- Pulido-Bosch et al
10- Aracena Cave

گردشگران از آن محدوده ظاهر شده است و بیشینهٔ سوّم، قبل از نیمه‌شب زمانی که فعّالیّت‌های فتوسنتزی به حداقل رسیده است، ثبت شده است. این مسأله بیانگر حرکت بسیار کُند هوا در درون غار می‌باشد.

افزایش غلظت دی اکسید کربن درون غارهای توریست‌پذیر در صورتی که با درصد رطوبت نسبی بالای درون غار همراه شود، سبب کاهش PH و شکل‌گیری یک محیط اسیدی در درون غارها می‌گردد. شکل‌گیری محیط‌های اسیدی نسبتاً ثابت در درون غارها، انحلال و پوسته‌پوسته شدن سطوح اشکال کارستی ثانویهٔ درون غارها را به دنبال دارد. نتایج حاصل از پژوهش کرمود[1] (۱۹۷۴)، در غار گلوورم[2] نیوزیلند نشان می‌دهد که بالا رفتن دی اکسید کربن تولیدی از بازدم ۵۰۰ نفر بازدیدکننده به صورت روزانه، تعادل شیمیایی تزئینات داخلی غارها را برهم زده و سالانه مقدار ۰/۳ میلی‌متر از ضخامت آنها کاسته است. مونوهان[3] (۲۰۰۸)، در پژوهشی به بررسی تغییرات مکانی و زمانی ترکیبات شیمیایی قطرات چکنده در غار توریست‌پذیر دیاموند[4] در آمریکا پرداخته است. هدف از این پژوهش، مقایسهٔ ترکیبات شیمیایی آب‌های نفوذی با در نظر گرفتن متغیّرهای مکانی درون غار از قبیل دی اکسید کربن و هدایت الکتریکی و متغیّرهای بیرون از غار است. همچنین، در این پژوهش پارامترهای زمانی شامل نوسانات فصلی و تأثیرات گردشگران بر محیط غار در نظر گرفته شده است. نتایج حاصل از پژوهش بیانگر تغییرات شیمیایی به ویژه در نسبت عناصر موجود در نمونه‌های مورد آزمایش مانند Ca، M، K، Na می‌باشد.

پدیدهٔ انحلال اشکال ثانویهٔ درون غارها هنگامی روی می‌دهد که رطوبت درون غار بسیار بالا باشد و معمولاً غارهای آبی به شکل دائمی دارای رطوبت نسبی اشباع و یا نزدیک به اشباع هستند. غار علیصدر همدان به عنوان توریست‌پذیرترین غار کشور، سالانه پذیرای بیش از ۸۰۰۰۰۰ گردشگر، به ویژه در فصول گرم و ایّام پایانی هفته است. این غار در برخی از روزها پذیرای بیش از ۱۲۰۰۰ بازدیدکننده می‌باشد. مدّت‌زمان حضور هر گردشگر در درون غار، در برخی از روزهای پرتردّد، به بیش از ۲ ساعت نیز می‌رسد. حضور هم‌زمان تعداد زیادی از گردشگران و پرسنل در درون غار، سبب تغییراتی در مقادیر عناصر اقلیمی درون غار و به ویژه افزایش غلظت دی اکسید کربن موجود در درون غار می‌شود. افزایش غلظت دی اکسید کربن موجود در درون غار، به همراه رطوبت نسبی بسیار بالا و در اغلب اوقات اشباع (۱۰۰٪)، سبب کاهش PH محیط شده و یک محیط اسیدی نسبتاً ضعیف را به وجود می‌آورد. ایجاد یک محیط اسیدی نسبتاً ثابت در درون غار به تدریج سبب انحلال، خوردگی و پوسته‌پوسته شدن سطوح کریستالیزهٔ اشکال ثانویهٔ موجود در درون غار می‌شود. از این رو، در این پژوهش تلاش شده است تا با اندازه‌گیری عناصر اقلیمی و دی اکسید کربن موجود در هوای درون غار و تفکیک نقش گردشگران در تغییرات مقادیر درجه حرارت، درصد رطوبت نسبی و دی اکسید کربن و بازسازی همین شرایط در محیط کنترل شدهٔ آزمایشگاهی، نقش گردشگران در مقدار انحلال سالانهٔ اشکال ثانویهٔ موجود در درون غار محاسبه گردد.

معرّفی منطقهٔ مورد بررسی

غار علیصدر در شهرستان کبودرآهنگ و در ۷۵ کیلومتری شهر همدان در عرض ۳۵ درجه و ۱۸ دقیقه و طول ۴۸ درجه و ۲۸ دقیقهٔ جغرافیایی واقع شده است. این غار در عمق ارتفاعات ساری قیه که ۲۱۰۰ متر از سطح

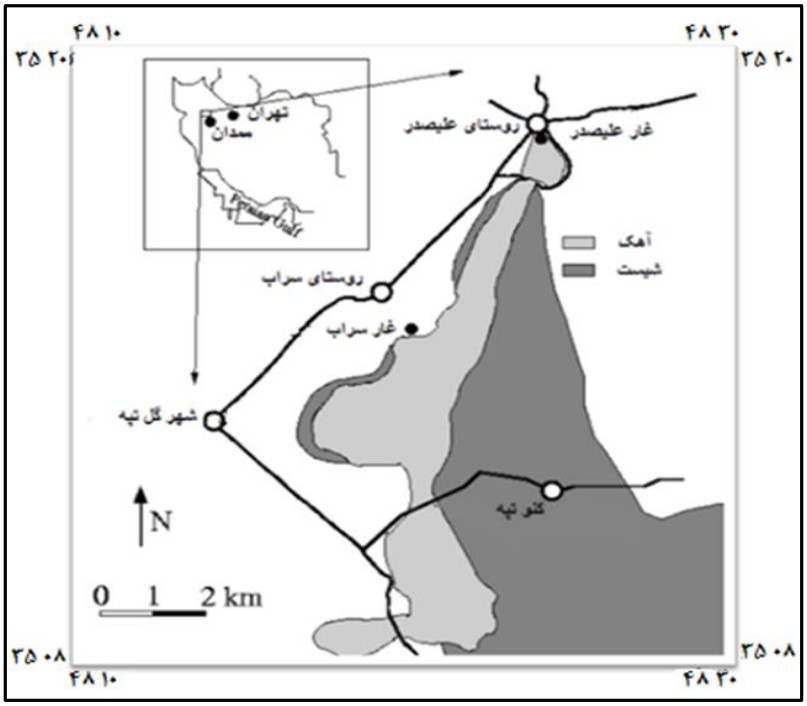
1- Kermode
2- Glowworm Cave
3- Monohan
4- Diamond Cave

دریا ارتفاع دارد قرار گرفته است. تاکنون ۱۱۴۴۰ متر از مجموع دهلیزها و دالان‌های این غار در مراحل مختلف شناسایی شده است و حدود ۲/۲ کیلومتر آن مورد بازدید گردشگران قرار می‌گیرد (شکل ۱).

طول غار در روی زمین ۲ کیلومتر است. پهنای غار ۱/۵ تا ۶۰ متر و ارتفاع غار در برخی نقاط تا ۱۵ متر از سطح آب ارتفاع دارد. عمق آب در نقاط مختلف از یک تا ۱۶ متر متغیّر است (شکل ۲).

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای محاسبهٔ مقدار انحلال و نقش گردشگران در آن، دو مرحله طی شده است. مرحلهٔ اوّل شامل جمع‌آوری داده‌های مربوط به درجه حرارت، رطوبت نسبی و غلظت دی اکسید کربن موجود در درون غار علیصدر و نقش گردشگران در تغییر مقادیر این عناصر است. برای این منظور فضای درون غار به دو بخش آزمایش و کنترل تقسیم گردید. مناطق آزمایش شامل دالان‌ها، تالارها و راهروهای محلّ تردّد گردشگران



شکل ۱. موقعیّت منطقهٔ مورد مطالعه (غار علیصدر)

شکل ۲. تصویری از یکی از دالان‌های مناطق کم‌ارتفاع غار علیصدر (منطقهٔ آزمایش، فصل پاییز)

می‌باشد و مناطق کنترل شامل دالان‌ها، تالارها و راهروهایی است که کشف شده امّا محلّ تردّد گردشگران نیست و هیچ عملیات پاک‌سازی و برق‌کشی در آنها صورت نگرفته است. با توجّه به تغییرات درجه حرارت، رطوبت نسبی و غلظت دی اکسید کربن در دالان‌ها، تالارها و راهروهای با ابعاد مختلف و همچنین بالا رفتن دقّت کار، فضای درون غار به سه بخش منطقهٔ کم‌ارتفاع (ارتفاع سقف بین ٣-٠ متر از سطح زمین و آب)، متوسّط‌ارتفاع (ارتفاع سقف بین ٧-٣ متر) و مرتفع (ارتفاع سقف بیش از ٧ متر) تقسیم گردید. برداشت‌ها با استفاده از دستگاه سه کارهٔ Co_2 سنج مدل (AZ 77535) در دو دورهٔ ٣٠ روزه، هم‌زمان با تردّد حداکثری گردشگران در درون غار از تاریخ ١٣٩٣/٥/٢٢ تا ١٣٩٣/٦/٢٠ و تردّد حداقلی گردشگران به درون غار از تاریخ ١٣٩٣/٨/٢٢ تا ١٣٩٣/٩/٢١ صورت پذیرفت. برداشت‌ها به شکل روزانه و در سه نوبت صبح (قبل از ورود گردشگران به درون غار)، ظهر و شب (بعد از خروج گردشگران از درون غار) در مناطق آزمایش و کنترل صورت گرفته است (جدول ١).

مرحلهٔ دوّم کار شامل فعّالیّت‌های کارگاهی و آزمایشگاهی است. در این مرحله برای فعّالیّت‌های آزمایشگاهی، ٩ نمونه سنگ از مناطق کم‌ارتفاع، متوسّط‌ارتفاع و مرتفع غار علیصدر خارج و مراحل آماده‌سازی آنها در کارگاه صورت گرفت. هرکدام از سنگ‌های مناطق سه‌گانه برای آزمایش، سه نمونه سنگ لوح‌مانند آماده گردید. بعد از کدگذاری نمونه‌ها، ویژگی‌های دقیق شیمیایی آنها شامل کربنات سنجی و XRD تعیین گردید. در جدول (٢) نتایج حاصل از آزمایش کربنات سنجی نمونه‌ها ارائه شده است.

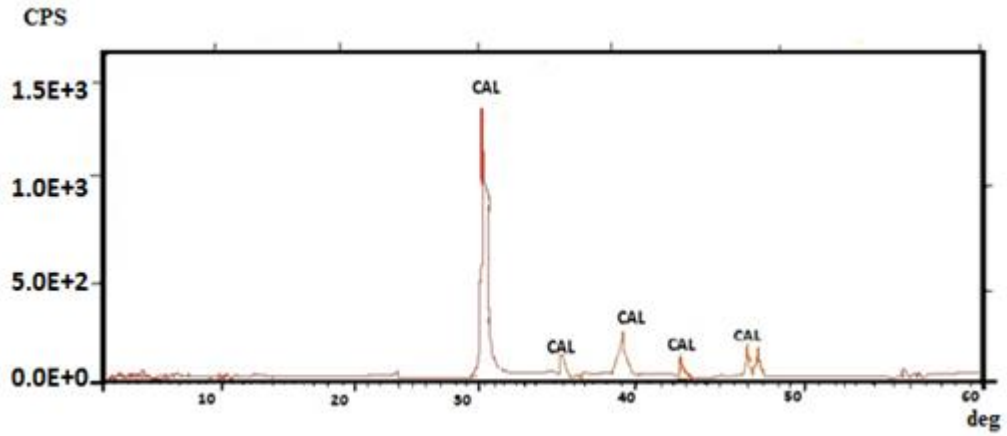
هدف از انجام آزمایشات XRD، تعیین انواع کانی‌های رسی در نمونه‌های مختلف است زیرا نمونه‌هایی که ترکیب شیمیایی آنها انواع کانی‌های رسی وجود داشته باشد از ضریب انحلال کمتری برخوردار هستند. در نتایج حاصل از XRD نمونه‌ها در این پژوهش، هیچ‌کدام از انواع کانی‌های رسی وجود نداشته و یا درصد وجود آنها بسیار جزئی بوده است. به عنوان نمونه در شکل (٣)، نتیجهٔ XRD نمونهٔ با کد ACL1 نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود ترکیب شیمیایی غالب این نمونه کربنات کلسیم است. بعد از به دست آوردن ترکیبات شیمیایی نمونه‌ها، برخی از خواص فیزیکی نمونه‌ها نیز با استفاده از شیوهٔ غوطه‌وری در مایع به دست آورده شد (جدول ٣).

جدول ١. میانگین برداشت‌های عناصر اقلیمی و دی اکسید کربن برای شبیه‌سازی در شرایط آزمایشگاهی

فصل برداشت		دی اکسید کربن (PPM)	درجه حرارت (c)	رطوبت نسبی (%)
میانگین برداشت‌های تابستان	مناطق آزمایش	٣۴٠۶	١۵/١	٩۵/٩
	مناطق کنترل	۴۵٩	١۴/٢	٩٧/۶
میانگین برداشت‌های پاییز	مناطق آزمایش	۴۶٨	١۴	٩٩/٨
	مناطق کنترل	۴١٣	١٣/٨	٩٩/٩
میانگین فصول	مناطق آزمایش	١٩٣٧	١۴/۵۵	٩٧/٨۵
	مناطق کنترل	۴٣۶	١۴	٩٨/٧۵
متوسّط مناطق آزمایش (سالانه)		١٩٣٧	١۴/۵۵	٩٧/٨۵
سهم گردشگران		١۵٠١	٠/۵۵	-٠/٩
دی اکسید کربن (بیشینه)		۴١٠٠		
دی اکسید کربن (کمینه)		٣٧٠		

جدول ۲. نتایج کربنات سنجی نمونه‌ها

کد نمونه‌ها	ACL1	ACL2	ACL3	ACM1	ACM2	ACM3	ACH1	ACH2	ACH3
درصد کربنات کلسیم	۸۸	۹۲	۹۰	۸۷	۸۴	۹۲	۸۴	۹۲	۸۶



شکل ۳. XRD نمونهٔ با کد ACL1

جدول ۳. برخی از ویژگی‌های فیزیکی اوّلیّهٔ نمونه‌ها

خواص فیزیکی اوّلیّهٔ نمونه‌ها	وزن خشک اوّلیّه	حجم	دانسیته خشک	دانسیته مرطوب	دانسیته اشباع	تخلخل	نسبت تخلخل	وزن مخصوص ویژه
		Cm^3	gr / cm^3					
کد نمونه	W_d	V	γ_d	γ_m	γ_{sat}	n%	e	Gs
ACL1	۹۲/۴۵۳	۳۷/۸۲	۲/۴۴	۲/۴۴	۲/۵۱۲	۷/۲	۰/۰۷	۲/۴۴
ACL2	۷۷/۲۴۸	۳۱/۶۰	۲/۴۴	۲/۴۵	۲/۵۲۵	۸/۵	۰/۰۸	۲/۴۴
ACL3	۶۳/۳۹۶	۲۵/۱۵	۲/۵۲	۲/۵۲	۲/۶۲۴	۱۰/۴	۰/۱۰	۲/۵۱
ACM1	۵۷/۵۷۳	۲۳/۲۲	۲/۴۸	۲/۴۸	۲/۵۹۰	۱۱	۰/۱۱	۲/۴۸
ACM2	۶۴/۱۹۱	۲۶/۰۵	۲/۴۶	۲/۴۷	۲/۵۶۲	۱۰/۲	۰/۱۰	۲/۴۶
ACM3	۶۳/۲۱۲	۲۵/۳۰	۲/۵۰	۲/۵۰	۲/۵۹۹	۹/۹	۰/۰۹	۲/۵۰
ACH1	۴۹/۳۴۶	۲۰/۰۲	۲/۴۶	۲/۴۷	۲/۵۹۲	۱۳/۲	۰/۱۳	۲/۴۶
ACH2	۸۶/۴۹۱	۳۵/۰۰	۲/۴۷	۲/۴۷	۲/۵۴۳	۷/۳	۰/۰۷	۲/۴۷
ACH3	۵۰/۸۲۸	۲۰/۵۵	۲/۴۷	۲/۴۷	۲/۵۹۷	۱۲/۷	۰/۱۲	۲/۴۷

بعد از این مرحله، فعّالیّت‌های آزمایشگاهی آغاز گردید. به این ترتیب که سه محفظهٔ شیشه‌ای تهیه گردید و در هرکدام از محفظه‌ها، سه نمونهٔ لوح‌مانند تهیه شده از مناطق سه‌گانهٔ غار تعبیه گردید. از هرکدام از محفظه‌ها برای بازسازی یک چرخه شامل کمینه، متوسّط و بیشینهٔ دی اکسید کربن برداشت شده در طی اندازه‌گیری‌های ۶۰ روزه استفاده گردید. با تعبیهٔ نمونه‌های لوح‌مانند در محفظه‌های شیشه‌ای، تزریق دی اکسید کربن در تاریخ ۱۳۹۴/۴/۲۶ آغاز و به مدّت ۶۰ روز کامل تا تاریخ ۱۳۹۴/۶/۲۴ ادامه پیدا کرد (شکل ۴). در این مدّت، مقادیر درجه حرارت و درصد رطوبت نسبی برداشت شده از درون غار نیز در داخل محفظه‌های شیشه‌ای کنترل و حتّی برای بازسازی دقیق شرایط اقلیمی درون غار، از آب درون غار علیصدر در

شکل ۴. تصویری از محفظه‌های شیشه‌ای و ابزارهای مورد استفاده در آزمایشگاه

کف محفظه‌های شیشه‌ای استفاده گردید. بعد از خروج نمونه‌های لوح‌مانند از محفظه‌های شیشه‌ای و نگهداری ۱۲ ساعتهٔ آنها در کورهٔ آزمایشگاهی، نمونه‌ها مجدداً وزن‌کشی شده و مقدار انحلال بر اساس شیوهٔ وزنی به دست آمد.

کدهای ACL1 تا ACL3، نمونه سنگ‌های لوح‌مانند تهیه شده از اشکال ثانویهٔ مناطق کم‌ارتفاع غار علیصدر است. کدهای ACM1 تا ACM3 از نمونه سنگ‌های لوح‌مانند مناطق متوسّط‌ارتفاع و بالاخره کدهای ACH1 تا ACH3 نمونه سنگ‌های لوح‌مانند تهیه شده از اشکال ثانویهٔ مناطق مرتفع غار علیصدر هستند.

نتایج

نتایج نهایی مقادیر انحلال و پوسته‌پوسته شدن نمونه‌ها ابتدا به صورت گرم در طی دو ماه و سپس سالانه ذکر شده است. سپس، با داشتن ویژگی‌های فیزیکی اوّلیّهٔ نمونه‌ها به ویژه حجم دقیق آنها، مقادیر انحلال به شکل گرم بر سانتی‌متر مکعب در سال نیز بیان شده است و بالاخره، مقادیر انحلال سالانهٔ نمونه‌ها به تفکیک ابعاد دالان‌ها و تفکیک چرخه‌ها و همچنین، تفکیک سهم گردشگران تشریح شده است.

نتایج نهایی انحلال و پوسته‌پوسته شدن نمونه‌ها

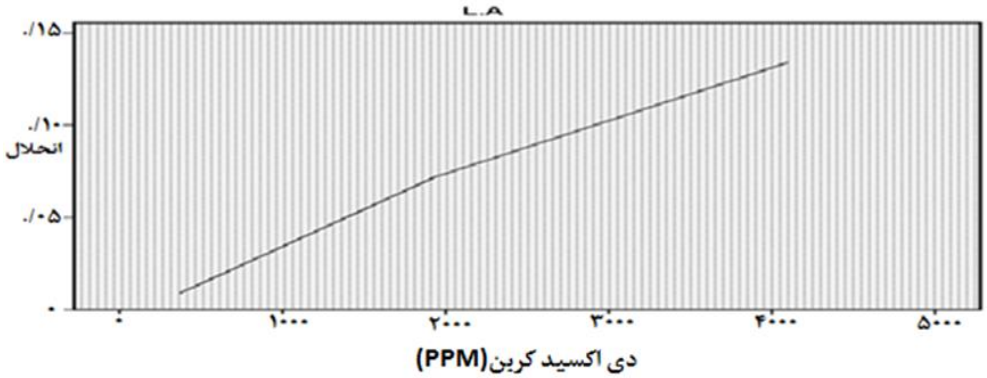
مقادیر انحلال و پوسته‌پوسته شدن نمونه‌ها به مدّت دو ماه در چرخهٔ کمینه به ترتیب کدهای ACL1، ACM1 و ACH1 ارقام ۰/۰۵۸، ۰/۰۴۴ و ۰/۰۳۳ گرم می‌باشد که مقدار انحلال و پوسته‌پوسته شدن سالانه بر حسب گرم نیز به ترتیب، ۰/۳۴۸، ۰/۲۶۴ و ۰/۱۹۸ بوده است. متوسّط انحلال نمونه‌ها در چرخهٔ کمینه، ۰/۰۰۸ گرم در سانتی‌متر مکعب در سال می‌باشد. مقادیر انحلال و پوسته‌پوسته شدن نمونه‌ها به مدّت دو ماه در چرخهٔ متوسّط به ترتیب کدهای ACL3، ACM3 وACH3 مقادیر ۰/۲۴۰، ۰/۱۵۸ و ۰/۳۰۵ گرم است. میانگین انحلال و پوسته‌پوسته شدن نمونه‌ها در چرخهٔ متوسّط ۰/۰۶۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب در سال می‌باشد و بالاخره، مقادیر انحلال و پوسته‌پوسته شدن نمونه‌ها به مدّت دو ماه در چرخهٔ بیشینه، به ترتیب کدهای ACL2، ACM2 و ACH2 ارقام ۰/۵۲۰، ۰/۳۳۳ و ۱/۱۶۲ گرم می‌باشد. متوسّط انحلال و پوسته‌پوسته شدن نمونه‌ها در چرخهٔ بیشینه،۱۶۲/. گرم بر سانتی‌متر مکعب در سال می‌باشد (جدول ۴).

انحلال نمونه‌ها به تفکیک ارتفاع دالان‌ها در چرخه‌های مختلف

مقادیر انحلال و پوسته‌پوسته شدن نمونه سنگ‌های لوح‌مانند مناطق کم‌ارتفاع، به ترتیب چرخه‌های کمینه، متوسّط و بیشینه ۰/۰۰۹، ۰/۰۷۲ و ۰/۱۳۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب در سال بوده است (جدول ۵)؛ به عبارت دیگر، مقادیر انحلال در نمونه‌های مناطق کم‌ارتفاع غار متناسب با تغییرات غلظت دی اکسید کربن، در محدوده‌ای بین ۰/۰۰۹ تا ۰/۱۳۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب در سال صورت گرفته است (شکل ۵). در همین شرایط، مقادیر انحلال و پوسته‌پوسته شدن نمونه سنگ‌های مناطق متوسّط‌ارتفاع، به ترتیب چرخه‌های کمینه، متوسّط و بیشینه، ۰/۰۰۸، ۰/۰۲۷ و ۰/۰۷۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب در سال بوده است و مقدار انحلال و پوسته‌پوسته شدن نمونهٔ سنگ‌های مناطق متوسّط‌ارتفاع غار متناسب با تغییرات غلظت دی اکسید کربن، در محدوده‌ای بین ۰/۰۰۸ تا ۰/۰۷۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب در سال می‌باشد (شکل ۶). محدودهٔ انحلال و پوسته‌پوسته شدن سالانهٔ نمونه سنگ‌های مناطق مرتفع متناسب با تغییرات غلظت دی اکسید کربن نیز در محدوده‌ای بین ۰/۰۰۸ تا ۰/۲۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب در سال صورت گرفته است (شکل ۷).

جدول ۴. نتایج نهایی مقادیر انحلال نمونه‌ها

کد نمونه	نوع چرخه	مقادیر انحلال طی دو ماه (گرم)	مقادیر انحلال سالانه (گرم)	حجم اوّلیّهٔ نمونه‌ها (cm^3)	انحلال مقادیر بر حسب ($g/cm^3/year$)	متوسّط انحلال
ACL1	کمینه (۳۷۰ppm)	۰/۰۵۸	۰/۳۴۸	۳۷/۸۲	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸
ACM1		۰/۰۴۴	۰/۲۶۴	۳۱/۶۰	۰/۰۰۸	
ACH1		۰/۰۳۳	۰/۱۹۸	۲۵/۱۵	۰/۰۰۸	
ACL2	بیشینه (۴۱۰۰ppm)	۰/۵۲۰	۳/۱۲۰	۲۳/۲۲	۰/۱۳۴	۰/۱۶۲
ACM2		۰/۳۳۳	۱/۹۹۸	۲۶/۰۵	۰/۰۷۷	
ACH2		۱/۱۶۲	۶/۹۷۲	۲۵/۳۰	۰/۲۷۵	
ACL3	متوسّط (۱۹۳۷ ppm)	۰/۲۴	۱/۴۴۰	۲۰/۰۲	۰/۰۷۲	۰/۰۶۳
ACM3		۰/۱۵۸	۰/۹۴۸	۳۵/۰۰	۰/۰۲۷	
ACH3		۰/۳۰۵	۱/۸۳۰	۲۰/۵۵	۰/۰۸۹	



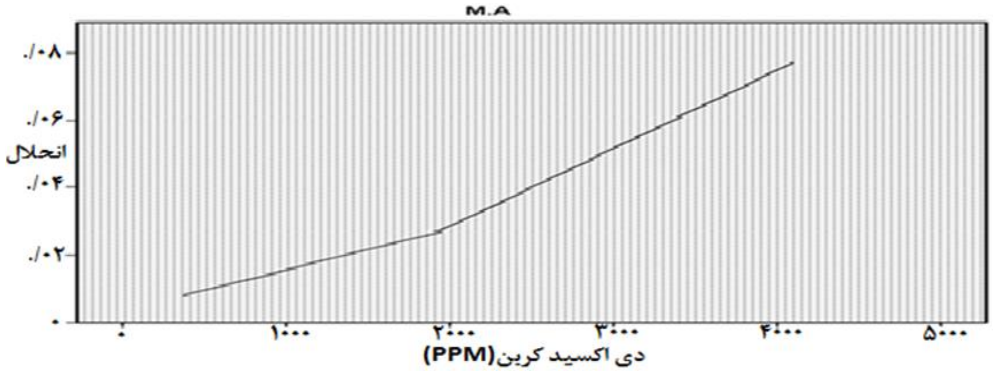
شکل ۵. رابطهٔ بین تغییرات مقادیر دی اکسید کربن و انحلال سالانه در نمونه سنگ‌های مناطق کم‌ارتفاع

متوسّط انحلال و پوسته‌پوسته شدن سنگ‌های مناطق کم‌ارتفاع، متوسّط‌ارتفاع و مرتفع در چرخه‌های کمینه، متوسّط و بیشینه، به ترتیب ۰/۰۷۲، ۰/۰۳۷ و ۰/۱۲۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب در سال می‌باشد (جدول ۵).

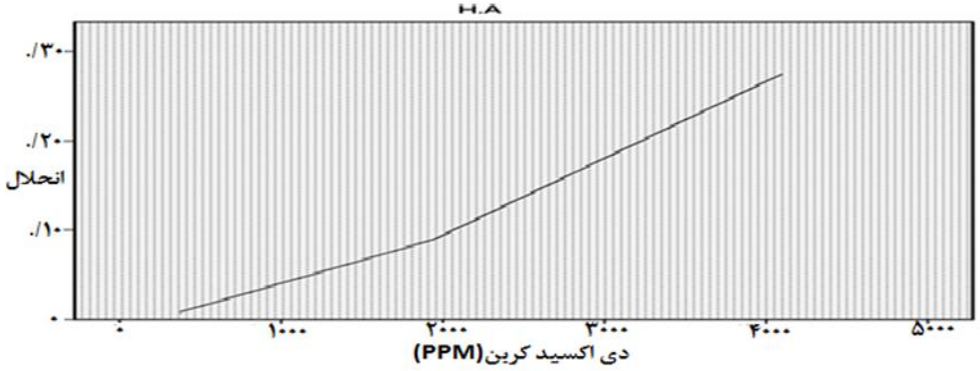
به این ترتیب می‌توان بیان نمود که بیشترین مقدار انحلال و پوسته‌پوسته شدن سالانه، به ترتیب در نمونه سنگ‌های مناطق مرتفع، کم‌ارتفاع و متوسّط‌ارتفاع درون غار با ۰/۱۲۴، ۰/۰۷۲ و ۰/۰۳۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب رخ داده است (شکل ۸).

انحلال نمونه‌ها به تفکیک ارتفاع دالان‌ها در چرخه‌های یکسان

مقادیر انحلال و پوسته‌پوسته شدن نمونه سنگ‌های مناطق کم‌ارتفاع، متوسّط‌ارتفاع و مرتفع در چرخهٔ کمینهٔ دی اکسید کربن، به ترتیب ۰/۰۰۹، ۰/۰۰۸ و ۰/۰۰۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب در سال می‌باشد متوسّط این ارقام تقریباً ۰/۰۰۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب در سال می‌شود. در همین شرایط مقادیر انحلال و پوسته‌پوسته شدن نمونه سنگ‌های مناطق کم‌ارتفاع، متوسّط‌ارتفاع و مرتفع در چرخهٔ متوسّط دی اکسید کربن، به ترتیب



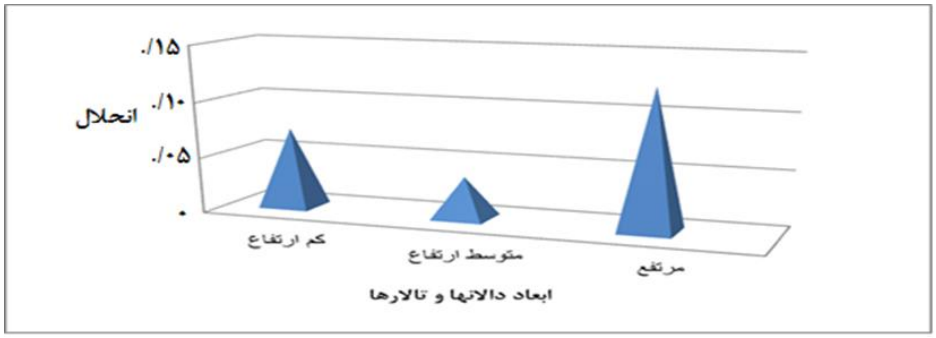
شکل ۶. رابطهٔ بین تغییرات مقادیر دی اکسید کربن و انحلال سالانه در نمونه سنگ‌های مناطق متوسّط‌ارتفاع



شکل ۷. رابطهٔ بین تغییرات مقادیر دی اکسید کربن و انحلال سالانه در نمونه سنگ‌های مناطق مرتفع

جدول ۵. متوسّط انحلال نمونه سنگ‌های دالان‌های یکسان، در چرخه‌های متفاوت

نوع چرخه	انحلال در نمونه‌های مناطق کم‌ارتفاع	انحلال در نمونه‌های مناطق متوسّط‌ارتفاع	انحلال در نمونه‌های مناطق مرتفع	
چرخهٔ کمینه	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	
چرخهٔ متوسّط	۰/۰۷۲	۰/۰۲۷	۰/۰۸۹	
چرخهٔ بیشینه	۰/۱۳۴	۰/۰۷۷	۰/۲۷۵	
متوسّط ($g/cm^3/year$)		۰/۰۷۲	۰/۰۳۷	۰/۱۲۴

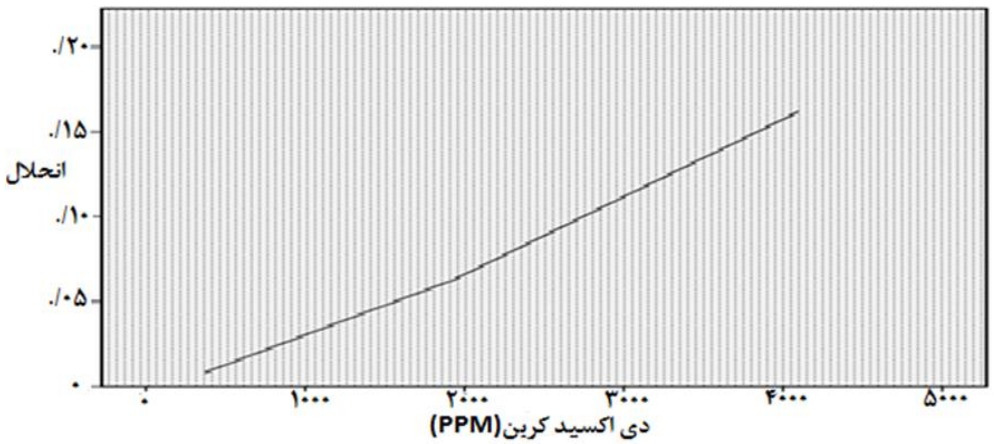


شکل ۸. متوسّط انحلال سالانه در نمونه سنگ‌های دالان‌های یکسان با چرخه‌های متفاوت

۰/۰۷۲، ۰/۰۲۸ و ۰/۰۸۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب در سال می‌باشد که متوسّط آنها ۰/۰۶۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب در سال می‌شود و بالاخره، مقدار متوسّط انحلال و پوسته‌پوسته شدن نمونه سنگ‌های مناطق کم‌ارتفاع، متوسّط‌ارتفاع و مرتفع در چرخهٔ بیشینه، ۰/۱۶۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب در سال می‌باشد. به این ترتیب، مقادیر متوسّط انحلال و پوسته‌پوسته شدن اشکال ثانویهٔ درون غار از میانگین ارقام ۰/۰۰۸، ۰/۰۶۳ و ۰/۱۶۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب در سال به دست می‌آید و عدد ۰/۰۷۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب در سال، مقدار متوسّط انحلال و پوسته‌پوسته شدن اشکال کارستی ثانویهٔ درون غار علیصدر می‌باشد (جدول ۴). محدودهٔ انحلال و پوسته‌پوسته شدن سالانهٔ نمونه سنگ‌های اشکال ثانویهٔ درون غار علیصدر بین ۰/۰۰۸ تا ۰/۱۶۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب در سال می‌باشد (شکل ۹).

سهم گردشگران از مقادیر انحلال نمونه‌ها

مقدار متوسّط دی اکسید کربن ثبت شده از مناطق آزمایش غار علیصدر در برداشت‌های تابستان و پاییز به ترتیب PPM ۳۴۰۶ و ۴۶۸ بوده است. در همین زمان، متوسّط غلظت دی اکسید کربن در مناطق کنترل غار علیصدر نیز PPM ۴۵۹ و ۴۱۳ بوده است. متوسّط غلظت دی اکسید کربن مناطق آزمایش و کنترل درون غار در فصول تابستان و پاییز PPM ۱۹۳۷ و ۴۳۶ می‌باشد. با به دست آوردن تفاضل این دو رقم، مقدار PPM ۱۵۰۱ به عنوان سهم گردشگران از مقدار غلظت دی اکسید کربن درون غار علیصدر به دست می‌آید. بر همین اساس، از مقدار متوسّط انحلال و پوسته‌پوسته شدن اشکال ثانویهٔ درون غار علیصدر (۰/۰۷۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب در سال)، رقم ۰/۰۶۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب در سال به عنوان سهم گردشگران از مقدار انحلال و پوسته‌پوسته نمودن اشکال ثانویهٔ درون غار علیصدر به دست می‌آید (جدول ۶).



شکل ۹. رابطهٔ بین تغییرات مقادیر متوسّط انحلال در مناطق با ابعاد مختلف در چرخه‌های یکسان

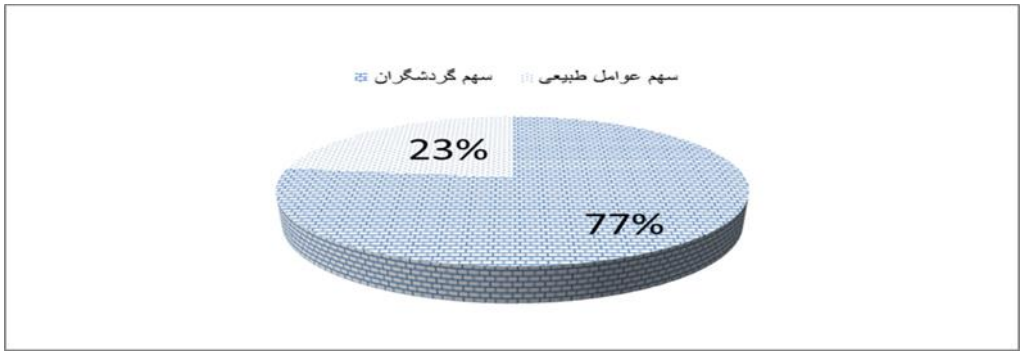
سهم گردشگران از مقدار متوسّط انحلال و پوسته‌پوسته شدن نمونه سنگ‌های لوح‌مانند درون غار علیصدر ۷۷ درصد می‌باشد (شکل ۱۰).

بحث

در این پژوهش، جهت برآورد مقدار انحلال و پوسته‌پوسته شدن سالانهٔ اشکال ثانویهٔ درون غار و بازسازی شرایط اقلیمی درون آن در محیط آزمایشگاهی، اقدام به جمع‌آوری داده‌های مربوط به درجهٔ حرارت، رطوبت نسبی و دی اکسید کربن موجود در درون غار گردید. نتایج تجزیه و تحلیل این داده‌ها نشان داد که حضور گردشگران باعث افزایش انحلال اشکال کارستی می‌گردد. برای اطمینان از شیوهٔ عملکرد انحلال تجزیه و تحلیل برای تمام برداشت‌های دی اکسید کربن، درجهٔ حرارت و درصد رطوبت نسبی مناطق آزمایش و کنترل در فصول تابستان و پاییز، براساس ابعاد دالان‌ها و همچنین، نوبت‌های برداشت روزانه به تفکیک صبح، ظهر و شب و تحلیل‌های آماری از قبیل آنالیز واریانس صورت گرفت. نتایج آنالیز واریانس (جدول ۷) نشان داد که غلظت دی اکسید کربن در مناطق آزمایش فصل تابستان هم‌زمان با تردّد حداکثری گردشگران در ساعات مختلف برداشت‌های روزانه، تفاوت معنی‌داری دارد؛ به عبارت دیگر، در غارهای توریست‌پذیر هم‌زمان با افزایش تعداد گردشگران به درون غار، به‌تدریج بر غلظت دی اکسید کربن موجود در درون غار افزوده می‌شود. بیشینهٔ دی اکسید کربن ناشی از حضور گردشگران در درون غار به سبب حرکت کند آن در درون غار بلافاصله بعد از خروج گردشگران از دالان‌ها و تالارها ظاهر نمی‌شود؛ در دالان‌ها و تالارهای با ارتفاع مختلف، مقادیر غلظت دی اکسید کربن معنی‌دار نیست؛ به عبارت دیگر، غارهایی که مورد بازدید تعداد زیادی از گردشگران قرار می‌گیرند ابعاد دالان‌ها و تالارها مهم نیست زیرا غلظت دی اکسید کربن در تمام غار تقریباً یکسان می‌باشد و انحلال در سراسر غار یکسان صورت می‌گیرد. در واقع نتایج نشان می‌دهد در فصل تابستان

جدول ۶. سهم گردشگران از مقادیر سالانهٔ دی اکسید کربن و انحلال اشکال ثانویهٔ درون غار علیصدر

فصل برداشت‌ها	دی اکسید کربن مناطق آزمایش (PPM)	دی اکسید کربن مناطق کنترل (PPM)
تابستان	۳۴۰۶	۴۵۹
پاییز	۴۶۸	۴۱۳
دی اکسید کربن (PPM)	متوسّط سالانه	۱۹۳۷
	سهم گردشگران	۱۵۰۱
انحلال ($g/cm^3/year$)	متوسّط سالانه	۰/۰۷۸
	سهم گردشگران	۰/۰۶۰



شکل ۱۰. سهم گردشگران از مقدار متوسّط انحلال سالانهٔ نمونه‌های لوح‌مانند (بر حسب درصد)

به علّت تعداد زیاد گردشگر و میزان زیاد دی اکسید کربن در تمامی نقاط فضاهای غار، انحلال بالا بوده و می‌توان در منطقهٔ آزمایش از هر ارتفاعی از غار اقدام به نمونه‌برداری جهت انجام آزمایشات نمود. در حالی که در غارهایی که تعداد گردشگران کمتر می‌باشد غلظت دی اکسید کربن در دالان‌ها و تالارهای با ابعاد مختلف متفاوت است و مقادیر انحلال در دالان‌ها و تالارهای با ابعاد مختلف متفاوت صورت می‌گیرد. علاوه بر این، در فصل پاییز به علّت تعداد کم گردشگر در ساعات نیمه روز مقدار دی اکسید کربن بیشتر از ساعات اوّلیّه و آخر روز می‌باشد که به نظر می‌رسد این امر هم به تعداد بازدیدکنندگان بیشتر در ساعات ظهر برمی‌گردد (جدول ۷).

نتایج این بخش با نتایج حاصل از پژوهش بالدینی و همکاران (۲۰۰۶) در غار بالی نامینترا[1] در ایرلند منطبق می‌باشد. در پژوهش مذکور فضای درون غار به سه بخش تقسیم شده و در هنگام حضور حداقلی و یا عدم حضور گردشگران در درون غار، غلظت دی اکسید کربن در دالان‌ها و تالارهای با ابعاد مختلف متفاوت بوده است. ولی این نتایج را در پژوهش کرمود (۱۹۷۴) نمی‌توان یافت، زیرا در آن به تغییرات تدریجی روزانهٔ غلظت دی اکسید کربن در غار گلوورم نیوزیلند همزمان با افزایش حضور گردشگران در درون غار توجّه نشده است؛ به عبارت دیگر، در پژوهش مذکور تنها غلظت دی اکسید کربن حاصل از ۵۰۰ گردشگر که به شکل همزمان وارد غار شده‌اند اندازه‌گیری شده است. از این رو، با توجّه به نتایج این تحقیق، این تعداد گردشگر در غار گلوورم نمی‌تواند آن‌قدر غلظت دی اکسید کربن درون غار را بالا ببرد که مقادیر دی اکسید کربن در تمام دالان‌ها، تالارها و راهروهای غار یکسان شده و انحلال به شکل یکسان در آنها صورت پذیرد. این نتایج با نتایج آزمون تیوکی که برای داده‌های دی اکسید کربن برای مناطق کنترل و آزمایش انجام شد تکمیل می‌گردد.

جدول ۷. نتایج آنالیز واریانس دی اکسید کربن، رطوبت نسبی و درجه حرارت بر اساس ساعات برداشت روز و ابعاد دالان‌ها

متغیّر	فصل برداشت	مناطق برداشت	ابعاد و ارتفاع دالان‌ها		ساعات برداشت روزانه	
			سطح معنی‌دار	آنالیز واریانس	سطح معنی‌دار	آنالیز واریانس
دی اکسید کربن	تابستان	آزمایش	۰/۰۹۶	نتایج نشان می‌دهد در فصل تابستان به علّت تعداد زیاد گردشگر میزان دی اکسید کربن در تمامی فضای غار یکسان افزایش یافته است. رطوبت نسبی و درجه حرارت هم در منطقهٔ آزمایش نسبت به منطقهٔ کنترل بیشتر است	۰/۰۰۰	نتایج نشان می‌دهد در فصل تابستان به علّت تعداد زیاد گردشگر میزان دی اکسید کربن در تمامی ساعات روز زیاد و میزان افزایش یکسان می‌باشد در صورتی که در فصل پاییز در ساعات مختلف مقدار متفاوت می‌باشد.
		کنترل	۰/۰۰۰		۰/۰۰۰	
دی اکسید کربن	پاییز	آزمایش	۰/۰۰۰		۰/۸۴۱	
		کنترل	۰/۰۰		۰/۷۱۰	
رطوبت نسبی	تابستان	آزمایش	۰/۳۹۵		۰/۵۱۴	
		کنترل	۰/۰۰۰		۰/۰۰۰	
رطوبت نسبی	پاییز	آزمایش	۰/۰۰۰		۰/۰۰۳	
		کنترل	۰/۰۰۰		۰/۴۱۶	
درجهٔ حرارت	تابستان	آزمایش	۰/۱۸۵		۰/۰۰۰	
		کنترل	۰/۰۳۳		۰/۰۰۰	
درجهٔ حرارت	پاییز	آزمایش	۰/۰۰۰		۰/۰۳۱	
		کنترل	۰/۰۰۰		۰/۰۰۰	

1- Ballynamintra

نتیجه‌گیری

غلظت دی اکسید کربن موجود در درون غارها به سبب محیط بسته‌ای که دارند، بسته به شرایط و عوامل متعدّدی از قبیل عرض جغرافیایی، پوشش گیاهی، ابعاد دالان‌ها و دهلیزها، حیات جانوری، تهویهٔ طبیعی معمولاً بیشتر از هوای آزاد پیرامون غارها می‌باشد. در غارهای توریست‌پذیر که روزانه هزاران گردشگر از آنها بازدید می‌کنند، دی اکسید کربن ناشی از بازدم گردشگران به تدریج به دی اکسید کربن طبیعی درون غارها افزوده شده و غلظت دی اکسید کربن موجود در غارها افزایش می‌یابد. در صورتی که این‌گونه غارها آبی باشند و درصد رطوبت موجود در آنها بالا باشد، رطوبت موجود با دی اکسید کربن واکنش شیمیایی نشان داده و سبب پایین آمدن PH محیط می‌شوند و به‌تدریج یک محیط اسیدی را در درون غار به وجود می‌آورند. اشکال کارستی ثانویهٔ درون غارها به سبب درصد کربنات کلسیم بسیار بالایی که دارند، در این محیط اسیدی به شدّت آسیب‌پذیر بوده و پدیدهٔ انحلال، خوردگی و پوسته‌پوسته شدن در آنها روی می‌دهد. غار علیصدر همدان به عنوان توریست‌پذیرترین غار آبی کشور، سالانه پذیرای بیش از ۸۰۰۰۰۰ گردشگر داخلی و خارجی می‌باشد و دارای زیباترین و جذّاب‌ترین اشکال کارستی ثانویه می‌باشد. با حضور این تعداد گردشگر میزان دی اکسید کربن بالا رفته و این نقش زیادی را در مقدار انحلال و پوسته‌پوسته شدن اشکال ثانویهٔ درون غار ایفا می‌کند.

یکی از مهم‌ترین پدیده‌هایی که سالانه هزاران گردشگر را به درون غار می‌کشاند اشکال ثانویهٔ جالب و جذّاب درون غار است. با تخریب و از بین رفتن تدریجی این اشکال، از تعداد گردشگران نیز کاسته می‌شود و در واقع سرمایه‌گذاری و تبلیغات برای بالا بردن آمار تعداد گردشگران، در طولانی‌مدّت تأثیر منفی داشته و با تخریب اشکال ثانویهٔ درون غار، از جذّابیت غار کاسته و تعداد گردشگران نیز کاهش می‌یابد. برای جلوگیری از تخریب منابع زیست‌محیطی موجود در غارها در اثر بهره‌برداری‌های کوتاه‌مدّت، تعداد بازدیدکنندگان از غارها باید با دقّت و با هدف حفظ ارزش طبیعی آنها صورت پذیرد زیرا صنعت گردشگری از نظر مالی به غارها نیازمند است (اسمیت و بورنس[1]، ۲۰۱۱). در بسیاری از کشورها ورود تعداد گردشگران به درون غارهای توریست‌پذیر را کنترل می‌کنند. در غار علیصدر نیز کنترل تعداد، زمان (فصل و ساعت در طول روز) و شرایط بازدید گردشگران نیز ضروری به نظر می‌رسد. از سوی دیگر. غار علیصدر دارای دالان‌ها، تالارها و راهروهای زیادی است و جهت تأمین روشنایی درون غار صدها پروژکتور تعبیه شده است. با توجّه به نقش زیادی که سیستم‌های روشنایی در بالا بردن درجهٔ حرارت درون غار دارند تعویض این سیستم‌های روشنایی و جایگزین نمودن سیستم‌های روشنایی جدید که ایجاد گرما نمی‌کنند ضروری می‌باشد.

منابع

نجایی، یوسف (۱۳۸۸) **غار علیصدر**، چاپ اوّل، انتشارات نازلی، همدان.

Baldini, J. U. L., Baldini, L. M., McDermott, F., Clipson, N. (2006) Carbon Dioxide Sources, Sinks, and Spatial Variability in Shallow Temperate Zone Caves: Evidence from Ballynamintra Cave, **Journal of Cave and Karst Studies**, 68, pp. 4-11.

Calaforra, J. M., Fernandez-Cortes, A., Sanchez-Martos, F., Gisbert, J., Pulido-Bosch, A. (2003) Environmental Control for Determining Human Impact and Permanen Visitor Capacity in Potential Show Cave Before Tourist Use,**Environmental Conservation**, 30, pp 160-167.

1- Smith & Burns

Dragovich, D., Grose, J. (1990) Impact of Tourists on Carbon Dioxide Levels at Jenolan Caves, Australia: an Examination of Microclimatic Constraints on Tourist Cave Management, **Geoforum**, 21 (1), pp. 111-120.

Ek, C., Gewelt, M. (1985) Carbon Dioxide in Cave Atmospheres. New Result in Belgium and Comparison with Some other Countries, **Earth Surface Processes and Landforms**, 10, pp. 173-187.

Faimon, J., Licbinska, M., Zajicek., P. (2012) Relationship between Carbon Dioxide in Balcarka Cave and Adjacent Soils in the Moravian Karst Region of the Czech Republic, **International Journal of Speleology**, 41 (1), pp. 17-28.

Hutacharern, C. (2004) **The Effects of Human Hmpacts on Cave and Karst Biodiversity Thailand Component**, ARCBC, Thailand.

Hoyos, M., Solar, V., Canaveras, J. C., Sanchez-Moral, S., Sanz-Rubio, E. (1998) Microclimatic Characterization of a Karstic Cave. Human Impact on Microenvironmental Parameters of a Prehistoric Rock Art Cave (Andamo Cave, Spain), **Enveronmental Geology**, 33 (4), pp. 231-242.

Kermode, L. (1974) Glowworm Cave, Waitomo, Conservation Study. NZ, **Speleological Bulletin**, 5, pp. 329-344.

Linan, C., Vadilo, I., Carrasco, F. (2008) Carbon Dioxide Concentration Air within the Narja Cave, **International journal of speleology**, 37, pp. 99-106.

Monohan, H. (2008) **Drip Water Chimestry from Diamond Caverns,Ky; Preliminary Results**, North-Central Section - 42nd Annual Meeting, Evansville, Indiana, Geological Society of America Abstracts with Programs, 40(5), p. 87.

Moroni, M. (2013) **Radon and Carbon Dioxide Monitoring as approach to touristic exploitation of Caves**, 5eme Colloque National du Patrimoine Geologique,Tunis,p.1-11.

Pulido-Bosch, A., Martín-Rosales, W., López-Chicano, M., Rodríguez-Navarro, C.M., Vallejos, A. (1997) Human Impact in a Tourist Karstic Cave (Aracena, Spain), **Environmental Geology**, 31 (3-4), pp. 142-149.

Smith, M.J., Leah Burns, G. (2011) Australia's Crystalline Heritage: Issues in Cave Management at Jenolan Caves, **Helictite**, 40 (2), pp. 27-34.

Van Beynen, P., Brinkmann, R., Van Beynen, K. (2012) A Sustainability Index for Karst Environments, **Journal of Cave and Karst Studies**, 74 (2), pp. 221-234.