آثار ژئوتوریسم بر تحول اشکال ژئومورفولوژی درون غارها

پیمان کریمی‌سلطانی
دبیر آموزش‌وپرورش و دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی

چکیده

در سال‌های اخیر، توجّه به محیط‌های کارستی زیرزمینی به سبب چشم‌اندازهای زیبا و جذاب این محیط‌ها برای گردشگران و هم‌چنین جنبه‌های اقتصادی مثبت آن‌ها به شدت توسعه یافته است. متأسفانه ورود بی‌رویهٔ گردشگران و عدم انجام مطالعات کافی در زمینهٔ تأثیرات گردشگران بر اکوسیستم غارها در کشورمان و مدیریت غیراصولی در نصب امکانات درون غارها، تحول طبیعی اشکال ژئومورفولوژی برخی از غارهای توریست‌پذیر کشورمان را به خطر انداخته است. به‌همین دلیل در این پژوهش سعی شده است به آن بخش از تأثیرات حضور انسان پرداخته شود که به شکل‌گیری ریزاقلیم‌هایی در درون غارها می انجامند بخشی از یافته‌های این پژوهش از طریق ترجمهٔ مقالات معتبر علمی و بخشی نیز از طریق بازدیدهای مستقیم میدانی به‌دست آمده است. تغییرات ایجاد شده در درون غارها به سبب ورود انسان‌ها به آن‌ها، تابعی از تعداد بازدیدکنندگان و متوسط زمان حضور آن‌ها در درون غار و هم‌چنین ویژگی‌های خود غارها از قبیل بزرگی، حجم، موقعیت و نیز ظرفیت تهویهٔ طبیعی آن‌هاست. بخشی از مکانیسم‌های اساسی تغییرات ناشی از فعالیت‌های انسانی در درون غارها ناشی از افزایش تمرکز گاز کربنیک ، افزایش درجهٔ حرارت، تبخیر و تراکم است که روند تحول طبیعی اشکال درون غارها از قبیل استالاگتیت‌ها، استالاگمیت‌ها، پرده‌ها، ستون‌ها، اشکال گل کلمی و غیره را به خطر انداخته و از سوی دیگر در غارهایی که دارای موجودات غارزی هستند به سبب شکل‌گیری اکوسیستم آن‌ها بر مقادیر ناچیز انرژی، مختل شدن کل اکوسیستم را در پی دارد.

کلیدواژه‌ها: غار، بازدیدکنندگان، تمرکز گاز کربنیک، تأثیرات انسانی

مقدمه

ژئوتوریسم یکی از انواع گردشگری است که شباهت زیادی با اکوتوریسم دارد. ژئوتوریسم از دو کلمهٔ ژئو به معنای زمین و توریسم به معنای گردشگری تشکیل شده است. این شاخه از توریسم با زمین‌شناسی، جغرافیای طبیعی (به‌ویژه ژئومورفولوژی) و دیگر شاخه‌های علوم طبیعی پیوند خورده است (ذوالفقاری، ۱۳۸۹: ۲۹). استفاده از زمین‌های کارستی با هدف تفریح و گردش، سبب افزایش فعالیت‌های انسانی (جنگل‌زدایی، ساختمان‌سازی، استخراج آب،...) در این زمین‌ها و دگرگون شدن سیستم طبیعی این مناطق شده است. تأثیرات حضور گردشگران در داخل غارها، تهدیدهای بیشتری را نسبت به سایر فعالیت‌های انسانی از قبیل معدن‌کاری و غیره برای اکوسیستم غارها در پی دارد (Hutacharn, 2004: 17).

بسیاری از غارها مورد توجه زمین‌شناسان، زیست‌شناسان، باستان‌شناسان و عموم مردم‌اند و باید آن‌ها را میراث فرهنگی دانست. از این‌رو باید با مراقبت و مدیریت دقیق در اختیار عموم قرار گیرند (HOYOS et al, 1998: 231). سازگاری موجودات غارزی از میلیون‌ها سال پیش تاکنون با روند تکاملی ادامه داشته و دارد، اما شتاب منابع مخرب و آلوده کنندهٔ محیط‌های کارستی به‌گونه‌ای است که فرصت تطابق محیطی را از غارزیان گرفته و ترمیم و بازسازی طبیعی این محیط‌ها را به حداقل رسانده است. هرساله بر تعداد گردشگران و بازدیدکنندگان از غارها افزوده می‌شود و مسلماً آثار و پیامدهای ناشی از آن نیز در حال افزایش است. سالانه بیش از ۸۰۰/۰۰۰ نفر از غار علی‌صدر در همدان بازدید می‌کنند (ایلدرمی و همکار، ۱۳۹۰: ۱۱۶). با هدف شناسایی تأثیرات ناشی از تعداد زیاد بازدیدکنندگان از غارها و اختلالی که در روند شکل‌گیری اشکال ژئومورفولوژی درون غارها ایجاد می‌کنند و هم‌چنین به سبب تراکم بالای غارها در ایران و حجم بالای گردشگران و بازدیدکنندگان از آن‌ها، شناسایی پیامدهای ورود بی‌رویهٔ گردشگران به درون غارها ضروری به نظر می‌رسد.

نتایج

ورود گردشگران به درون غارها سبب بروز یک رشته تغییرات در این محیط‌ها از قبیل تأثیر بر آب (افت سطح ایستابی آب‌های درون غارها به سبب پمپاژ چاه‌های اطراف غارها در جهت تأمین آب مورد نیاز گردشگران، تغییرات در محتوای املاح موجود در قطرات چکنده به درون غارها

و...)، هـوا (افزایش درجه حرارت، تمرکز گاز کربنیک و هم‌چنین کاهش رطوبت نسبی)، رشـد و توسعهٔ پوشش گیاهی (عمدتاً ناشی از سیسـتم‌های تأمین روشنایی غار) و غیره می‌شود (pulido, 1997: 142). از سوی دیگر به راحتی می‌توان فشـرده شدن سنگ‌های آهکی مسیر حرکت گردشگران را مثلاً در غار علی‌صدر مشاهده کرد که فرایند نفوذ طبیعی در سنگ‌ها را مختل کرده است. با نگاهی به دیوارهای درون غار کرفتو در کردستان نیز به روشنی تأثیرات مخرب و نبود نظارت کافی بر حضور گردشگران را بر دیوارهای طبیعی و مصنوعـی داخـل غار کـه تخریب بخش اعظم آثار و شواهد باستانی چندهزارساله را در پی داشـته است، می‌توان مشاهده کرد و البته ده‌ها تأثیر مخرب دیگر، که در اینجا به بخشی از آن‌ها اشاره می‌شود.

۱. تمرکـز گاز کربنیـک یـا دی‌اکسیدکربن (co_2): به دو دلیل محاسبهٔ دی‌اکسـیدکربن موجـود در درون غارهـا ضروری به‌نظر می‌رسد.

الـف. کیفیـت پاییـن (تمرکـز دی‌اکسیدکربن بالای ۵۰۰۰ppmv) هوای درون غارها سـلامت بازدیدکننـدگان را به خطر می‌اندازد.

ب. تمرکـز دی‌اکسـیدکربن در هوای غارهای کارستی، شرایط توسعهٔ فرایندهای مختلف در درون غارها را با تأثیر مسـتقیم بـر فرایند تراکـم انحلال، تحـول طبیعی کربنات‌هـا را تحـت تأثیـر قـرار می‌دهد (Linon et al, 2008, 99).

درصد دی‌اکسید کربن خارج شده از بازدم انسان‌ها به میزان فعالیت فیزیکی، جنس و سن آن‌ها بستگی دارد. سهم دی‌اکسیدکربن حاصل از بازدم انسـانی در درون غارها مهم و به تعداد اشـخاص، زمـان حضور، حجم و موقعیت غار بستگی دارد. براساس برآوردهای صورت‌گرفته سهم دی‌اکسیدکربن ناشی از حضور بازدیدکننـدگان درون غارها به کل دی‌اکسیدکربن موجود در درون غار، به بیش از ۵۰ درصد یا حتی به ۱۰۰ درصد می‌رسد (Faimon et al, 2012: 23). عمومـاً پنـج منبع برای دی‌اکسیدکربن موجود در غارها در نظر گرفته می‌شـود که شـامل خاک‌ها، اپی‌کارسـت‌ها، بازدیدکننـدگان از غارهـا، رسوبات غارها و گیاهان درون‌رو است. برای محاسبهٔ میزان دی‌اکسـیدکربن موجود در غارها در دههٔ ۱۹۶۰ از شیوهٔ الکترولیتیک[1] استفاده می‌کردند، اما این روش به‌تدریج به علت سنگینی و کندی عمل منسوخ شد. در دههٔ (۸۰-۱۹۷۰) استفاده از روش «سیستم پمپ گازتک»[2] که هم سبک‌تر و هم سریع‌تر بود، رایج شد. امروزه از ابزارهای بسیار دقیق‌تر و پیشرفته‌تری استفاده می‌شود. به روشنی استنباط می‌شود که حضور دی‌اکسیدکربن در غارها عمدتاً ناشی از فعالیت‌های ارگانیکی اسـت. پدیده‌هایی مانند نوسـانات اقلیمی، تغییرات فصول، حجم و ابعاد شکاف‌ها و خلل و فرج خاک‌ها و سنگ‌های روی غارها و عوامل دیگر، تعیین‌کنندهٔ میزان دی‌اکسـیدکربن موجـود در غارها هسـتند. در بعضی موارد، حضور بالای دی‌اکسـیدکربن عمدتاً ناشی از آشـفتگی‌های انسانی اسـت. در غارهایی که مورد بازدید گردشـگران قرار می‌گیرند، تأثیرات انسـانی بر میزان دی‌اکسـیدکربن موجود، غیر قابل اجتناب است و هر انسان به طور متوسط ۴۰/۱۰۳ ppm دی‌اکسیدکربن از طریـق تنفس آزاد می‌کند. معمولاً میزان دی‌اکسیدکربن موجود در درزها و شکاف‌ها، به‌ویژه شـکاف‌هایی که در زیردولین‌ها قرار گرفته‌اند، بیشـتر از فضاهای بزرگ‌تر غارها همچـون تالارهاسـت. در درون یـک غار معمولاً میزان دی‌اکسـیدکربن در سـقف بیشتر از کف است، هرچند دی‌اکسیدکربن سنگین‌تر از هواست. این مسئله ممکن است ناشـی از نزدیکی به ریشه‌های گیاهان روی سقف غار باشد و در یک مقطع افقی میزان دی‌اکسـیدکربن در انتهای غارها بیشـتر از سایر نقاط است (Ek et al, 1985: 183).

محاسبات مرن‌وشـومیک[3](۱۹۷۵) در غـار ریموچامپس[4] نشـان می‌دهد که تنها با حضـور بیسـت گردشـگر در درون غار، میزان دی‌اکسـیدکربن در تالارهای باریک ۲۵mg/l افزایش یافته است.این مقدار بیش از ۶ درصد مقدار اولیه است و در طول تمام روز در فصول توریسـت‌پذیر به بیش از ۳۰ درصد می‌رسد.

لینان و همکاران[5] (۱۹۹۸) به محاسـبهٔ میزان تمرکـز دی‌اکسـیدکربن موجود در درون و بیرون غار نرجا[6] در اسپانیا پرداختند و میزان آن را در بیرون از غار در فصول پاییز، زمستان و بهار پایدار و بین ۳۲۰ تا ۳۴۰ppm برآورد کردند. در فصل تابستان مقدار تمرکز دی‌اکسـیدکربن را کمتر از میانگین سـایر فصول، یعنی در حدود ۲۹۰ppm محاسـبه کردنـد، در حالی‌کـه در درون غـار مقدار تمرکز دی‌اکسیدکربن را در فصول مختلف، متفاوت برآورد کردند. کمترین مقدار تمرکز در زمستان و بیشـترین مقدار تمرکز را در تابسـتان محاسـبه کردند. میانگین ماهانهٔ دی‌اکسـیدکربن در درون غـار در پاییـز و زمسـتان را ۵۲۵ppm و در بهار و تابسـتان بیـش از ۷۵۰ppm برآورد کردند. نکتهٔ قابل توجه افزایش مقدار تمرکز دی‌اکسـیدکربن مقارن با فصول، ماه‌ها و روزهای با تراکم بالای بازدیدکنندگان بوده اسـت. دی‌اکسیدکربن یکی از مهم‌تریـن متغیرهای کنترل‌کنندهٔ رشد عناصر کلسیتی درون غارهاست. همهٔ کارشناسـان اتفاق نظر دارند که تفاوت بین دی‌اکسـیدکربن موجود در خاک‌ها و فشار جزئی درون غارها سبب خروج گاز از آب‌های چکنده می‌شـوند و پی‌درپـی، قطرات آب چکنده در واکنش به کلسیت به حالت فوق اشباع می‌رسند.

براسـاس تحقیقات کرمود[7] (۱۹۷۴) در نیوزیلند، بالا رفتن دی‌اکسید کربن تولیدی از بـازدم ۵۰۰ نفر بازدید کننده از غاری در این کشور به صورت روزانه، تعادل شیمیایی تزیینـات داخلی غار را برهم زده و سـالانه مقدار سه میلی‌متر از ضخامت آن‌ها را کاسته و سبب پوسته‌پوسته شدن سطح کربنات‌های کریستالیزه شده است (توسلی، ۱۳۹۰).

۲. درجه حرارت: سـهم هر فرد از هر ساعت حضور در درون یک غار، تولید بیش از ۶۰ کالری گرما و ۴۰ گرم تبخیر اسـت. بنابرایـن حضور بازدیدکننـدگان در غارها سبب افزایش درجهٔ حرارت و رطوبت موجود در درون غارها می‌شود (Hotzl, 1999: 180).

در غار ریموچامپـس بلژیک یک گروه ۸۷ نفـری از گردشـگران درجه حـرارت غار را در طـی پنج دقیقه ۱/۵ درجهٔ سـانتی‌گراد بالا بردند. این مقـدار افزایش درجه حرارت تغییرات وسـیعی را در میزان رطوبت ایجاد می‌کنـد، زیرا هوای گـرم می‌تواند بخار آب بیشتری را نسبت به هوای سرد در خود جای

دهد و در نتیجه رطوبت نسبی بسیار کاهش می‌یابد و هوای درون غار خشک می‌شود. به‌طور متوسط هر توریست به تنهایی در درون یک غار، حرارتی بین ۸۲ تا ۱۱۶ وات ایجاد (آزاد) می‌کند (Gillieson, 1996: 3).

در پژوهش جالبی در غار کواوای[8] اسپانیا که کالافورا و همکاران[9] (۲۰۰۳) انجام داده‌اند، زمان واکنش درجه حرارت درون غار به حضور بازدیدکنندگان و درجه حرارت بیرون از غار مورد بررسی قرار گرفته است. بازدیدکنندگان در دو گروه ۹۸۰ و ۲۰۸۸ نفری وارد غار شدند و مدت زمان واکنش درجه حرارت غار به حضور هر دو گروه تنها ۱۵۰ ثانیه (۲/۵ دقیقه) بعد از ورود آن‌ها طول کشیده و بیشترین اختلال در درجه حرارت با گروه ۹۸۰ نفری بعد از ۷۰ دقیقه و با گروه دیگر بعد از ۳۰ دقیقه ظاهر شده است. نکتهٔ قابل توجه دیگر مدت زمان لازم برای یکسان شدن درجه حرارت غار با درجه حرارت بیرون از غار- با باز کردن ورودی‌های غار - بیش از یک هفته زمان نیاز داشته، در صورتی که با حضور گردشگران در درون غار، درجه حرارت داخل غار بعد از ۵، ۶ ساعت با درجه حرارت بیرون از غار یکسان شده است. هم‌چنین اندازه‌گیری‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهد که تنها با حضور ۵۳ بازدید کننده در درون غار، می‌توان درجه حرارت را بعد از ۴ تا ۵ ساعت به حالت طبیعی برگرداند و در نتیجه غار ظرفیت پذیرش تعداد معدودی گردشگر را داراست. گردشگران با تغییرات ناشی از متابولیسم خویش سبب افزایش بخار آب و در نتیجه افزایش رطوبت مطلق هوای درون غار می‌شوند و به طور غیرمستقیم بر دینامیک اشکال درون غارها تأثیر می‌گذارند (Pulido, 1996: 146).

۳. آب: گردشگرانی که وارد غارها می‌شوند می‌توانند باعث تغییراتی در کیفیت و کمیت آب‌های درون غارها شوند و ویژگی‌های هیدروشیمیایی قطرات چکنده را تغییر دهند به سبب شکل‌گیری غارها در محیط‌های کارستی طبیعتاً اغلب نواحی پیرامونی غارها دارای آب‌های جاری برای تأمین آب مورد نیاز حجم زیادی از گردشگران نیستند و به همین دلیل مجبور به حفر چاه و استخراج آب‌های زیرزمینی می‌شوند و به این ترتیب سطح آب‌های درون غارهای آبی افت می‌کند و تغییراتی در اکوسیستم این غارها پدیدار می‌شود. عمده‌ترین تأثیر ورود حجم عظیمی از گردشگران به درون غارها، تغییر در ویژگی‌های هیدروشیمیایی قطرات آب چکنده در درون غارهاست.

با حضور بازدیدکنندگان و تغییر در پارامترهایی از قبیل مقدار تمرکز دی‌اکسیدکربن درجه حرارت، تبخیر، تراکم، رطوبت درون غارها و هم‌چنین آلودگی‌های میکروبیولوژی که ایجاد می‌کنند، در اغلب موارد قطرات چکنده شکل می‌گیرند که از نظر املاح و کانی‌های $Mg\ -Ca\ ,\ H_2co_3$ فقیرند. کمبود کانی‌های کلسیتی در درون قطرات آب چکنده، اختلالاتی را در فرایند رسوب‌گذاری در درون غارها به‌وجود می‌آورد و روند تکاملی اشکالی مانند استالاگتیت‌ها و استالاگمیت‌ها و غیره را به خطر می‌اندازد. این پدیده اغلب در فصل تابستان که تعداد بازدیدکنندگان افزایش می‌یابد، روی می‌دهد. به‌علاوه آب‌های چکنده در بخش‌هایی از غارهای توریست‌پذیر که در معرض بازدید مستقیم عموم قرار می‌گیرند نسبت به آب‌های چکنده در سایر بخش‌های غار که مورد بازدید مستقیم مردم قرار نمی‌گیرند، میزان دی‌اکسیدکربن بیشتری دارند. وجود دی‌اکسیدکربن درجهٔ اشباع کلسیت را پایین می‌آورد و تغییراتی را در فرایند رسوب‌گذاری داخل غارها ایجاد می‌کند. در این شرایط فرایند تراکم نیز ممکن است روی دهد، زیرا در طی بعضی از روزهای تابستان رطوبت هوای داخل غار به ۹۵ درصد می‌رسد که می‌تواند آب غیر اشباع شده و تغییراتی را در برخی اجزای درون غارها به‌وجود آورد (Hotzl, 1999: 183). افزایش درجه حرارت به سبب حضور گردشگران کاهش رطوبت نسبی هوا را در پی دارد و این مسئله منطقی به نظر می‌رسد. در بسیاری از غارها به‌ویژه در بخش‌های میانی، با افزایش فاصله از محل ورودی غار همیشه درصد رطوبت مطلق بالا و نزدیک به اشباع است (رطوبت نسبی نزدیک ۱۰۰ درصد است) به همین سبب در اغلب موارد پدیدهٔ تراکم مشاهده می‌شود و در رشد طبیعی اشکال درون غار سهیم است (pulido, 1996: 146). مسیرهای حرکت گردشگران، به‌ویژه در غارهای خشک مانند غار کرفتو در کردستان و مسیرهای خشک غارهای آبی مانند غار علی‌صدر همدان به‌سبب تردد بی‌رویهٔ گردشگران کاملاً فشرده شده و سیستم طبیعی نفوذ قطرات آب چکنده از سقف را مختل کرده است.

۴. تأثیرات سیستم‌های روشنایی تأمین نور درون غارها: اغلب غارها برای روشن شدن فضای داخل غارها نور کافی ندارند. به همین دلیل از سیستم‌هایی برای تأمین نور مورد نیاز درون غارها استفاده می‌شود. بسیاری از غارهای کشور مانند علی‌صدر، چال نخجیر، دربند مهدی شهر و... به سبب استفاده از پروژکتورهای قوی، با تعداد زیاد و غیر کارشناسی شده در معرض خطر قرار گرفته‌اند. این سیستم‌های تأمین روشنایی علاوه بر بالا بردن درجه حرارت غارها سبب شکل‌گیری پوشش‌های گیاهی در درون غارها می‌شوند. «جامعهٔ گیاهی لامپی» اصطلاحی است که در نتیجهٔ رشد و نمو گیاهان، خزه‌ها و گل‌سنگ‌ها در اثر تابش مداوم نور لامپ‌های روشنایی در دیواره و سقف غارها به‌وجود می‌آیند. نفوذ ریشهٔ این جوامع گیاهی و نیز مواد حاصل از فرایندهای بیولوژیکی آن‌ها مانند آزاد شدن گاز متان و دی‌اکسیدکربن در نتیجهٔ تجزیهٔ بقایای آن‌ها موجب تخریب پوشش طبیعی دیواره و سقف غارها می‌شود (توسلی، ۱۳۹۰).

در چند سال اخیر، رشد جلبک‌ها در غار علی‌صدر به یک معضل اساسی تبدیل شده است. ورود نور به داخل غار مساوی است با ظهور حیات. هم‌زیستی بین قارچ و جلبک، گل‌سنگ‌ها را پدیدار می‌کند. گل‌سنگ‌ها برای حیات نیازمند صخره‌ها هستند؛ گیاهانی با ریشه‌های سطحی که صخره را تجزیه و خاک را تولید می‌کنند و به حفظ رطوبت می‌انجامند. افزایش عمق خاک، پیدایش گیاهانی با ریشهٔ عمیق‌تر را در پی دارد که ادامهٔ چنین روندی سبب ظهور خزه‌ها و گیاهان علفی و آبزی در جای‌جای اکوسیستم می‌شود. ورود گونه‌های مهاجم با رفت و آمد به غار به وسیلهٔ لباس و کفش سبب تخریب آهک‌ها و تغییر فضای داخلی غار و حذف دکوراسیون و جذابیت آن می‌شود.

به‌تدریج سقف دوجدارهٔ غار مقاومت خود را از دست می‌دهد و لایه‌های نازک‌تر ریزش می‌کنند(سایت خبرگزاری فردا، ۱۳۹۱/۸/۷ به نقل از دکتر عشقی ملایری). با مراجعه به غار علی‌صدر و کمی دقت می‌توان بیشترین تراکم گل‌سنگ‌ها بر دیواره‌ها و سقف‌ها را در مسیرهایی که تراکم پروژکتورهای قوی افزایش یافته است، مشاهده کرد (شکل شمارهٔ ۱).

درون غارها مختل می‌شود و در بعضی مواقع تخریب و شکسته شدن این اشکال را در پی دارد. دی‌اکسیدکربن ناشی از بازدم گردشگران همراه با نور حاصل از لامپ‌های روشنایی حجم عظیمی از گاز را وارد غارها می‌کند که این مسئله نه تنها افزایش دمای غار را در پی دارد بلکه زمینهٔ مساعدی را برای رشد جلبک‌ها فراهم می‌کند. رشد جلبک‌ها و سایر

شکل ۱: تصویری از غار علی‌صدر و رشد گل‌سنگ‌ها در محل تابش نور پروژکتور

بحث و نتیجه‌گیری

با اینکه انسان‌های اولیه ساکن غارها بوده‌اند، اما از آغاز تاریخ بشریت تاکنون تعداد افراد وارد شده به غارها به اندازهٔ عصر حاضر نبوده است. سالانه بیش از بیست میلیون نفر تنها از ۶۵۰ غار دیدن می‌کنند. آمار بی‌رویهٔ بازدیدکنندگان، سبب آشفتگی در محیط طبیعی غارها و به‌تدریج تخریب کامل اکوسیستم غارها می‌شود (Hutacharern, 2004: 17). ورود گردشگران به درون غارها ریزاقلیم‌هایی را به‌وجود می‌آورد که در آن تمرکز دی‌اکسیدکربن افزایش می‌یابد، درجه حرارت غار بالا می‌رود، رطوبت نسبی کاهش می‌یابد و سرانجام به کمک سیستم‌های روشنایی درون غارها، جوامع گیاهی مختلف برحسب شرایط محیطی و سایر عوامل شکل می‌گیرند. در اثر این تغییرات روند شکل‌گیری اشکال ژئومورفولوژی جوامع گیاهی تخریب اشکال کلسیتی داخل غارها را در پی دارد. اکوسیستم غارها بسیار شکننده است و کوچک‌ترین تغییری آن را در معرض نابودی قرار می‌دهد. از این‌رو هرگونه برنامه‌ریزی برای غارها، ظرفیت گردشگران، محل نصب، تعداد و میزان نور سیستم‌های تأمین روشنایی و غیره، باید با دقت و شناخت کافی از اکوسیستم‌های مسلّط در غارها صورت پذیرد.

پی‌نوشت‌ها

1. Electroletic
2. Gustec pump system
3. Merrenne & Shomake
4. Remochamps
5. Linan et al
6. Nerja cave
7. Kermod
8. Cueva cave
9. Calaffora et al

منابع

۱. آیلدرمی، علیرضا و میرمهرداد، سنجری (۱۳۹۰)، «بررسی پتانسیل‌های زیست‌محیطی ژئوپارک غار علی‌صدر در جهت توسعهٔ پایدار اقتصادی، اجتماعی منطقه» مجلهٔ محیط‌زیست و توسعه، شمارهٔ ۳، تهران، صص ۱۲۲-۱۱۶.

۲. توسلی، عباس (۱۳۹۰)، «عوامل مخرب اکوسیستم‌های کارستی» (۹۱/۱۰/۲۵)، http://www.irancave.ir.

۳. ذوالفقاری، حسن (۱۳۸۹)، *آب و هواشناسی توریسم*، تهران: انتشارات سمت.

٤. علیپور، مهدی(۱۳۹۱)، جلبک‌ها به غار علی‌صدر حمله کردند (۹۱/۱۰/۲۵)، http://www.fardanews.com.

5. Calaforra, J. M (2003), "Environmental control for determining human impact and permanent visitor capacity in potential show cave before tourist use", Environmental Conservao n, vol, 30. pp, 160-167.

6. Ek, Camille & Gewelt, Mitchel (1985), "Carbon dioxide in cave atmospheres", new result in Belgium and comparison with some other countries, Earth surface processes and landforms, vol, 10. pp, 173-187.

7. Faimon, Jeri et al (2012), "Relationship between carbon dioxide in Balkarka cave and adjacent soils in the Moravian Karst region of the Czech Republic", International journal of speology, vol 41(1), pp 17-25.

8. Giliesen, D. (1996), "Ecosystem at risk: limeston cave", http://www.caves.org/.p,7.

9. Hoyos, M. et al (1998), "Microclimac characterizao n of a karsc cave", Human impact on microenvironmenal parameters of a prehistoric rock art cave (Andamo cave, spain), Environmental Geology, vol 33, pp 231-242.

10. Hotzl, H. (1999). "Industrial and urban produced impacts", UNESCO project IGCP379, karst processes and the carbon cycle. pp, 178-183.

11. Hutacharern, Chaweewan (2004), "The Effects of human impacts on cave and karst Biodiversity Thailand components", in funded the ASEAN Regional centre for biodiversity conservation and the European commission, p 149.

12. Linan, cristian et al (2008), "carbon dioxide concentrao n air within the narja cave. lnternational journal of speleology", vol 37, pp 99-106.

13. pulido, A et al (1997), "Human impact in a tourist karsc cave (Arecena, spain)", Environmental Geology, vol 31, pp 142-149.