

پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال هشتم، شماره ۲، پاییز ۱۳۹۸
صص. ۱۷۲-۱۸۸

بررسی تغییرات عناصر اقلیمی ناشی از حضور گردشگران در غارهای سهولان و کتله خور و نقش آن در

روند شکل‌گیری اشکال کارستی درون غارها

داود مختاری - استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز.
محمدحسین رضایی مقدم - استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز.
پیمان کریمی سلطانی - دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی کرمانشاه.
طیبه عبدالملکی* - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۰/۱۷ تأیید نهایی: ۱۳۹۸/۰۵/۲۱

چکیده

ورود گردشگران به غارهای توریست‌پذیر تغییراتی را در مقادیر عناصر اقلیمی درون غارها مانند دما و درصد رطوبت نسبی و همچنین غلظت دی‌اکسیدکربن به وجود می‌آورد. افزایش غلظت دی-اکسیدکربن ناشی از حضور گردشگران سبب کاهش PH محیط و شکل‌گیری یک محیط اسیدی می‌شود. ایجاد محیط اسیدی در درون غارها، انحلال و پوسته پوسته شدن اشکال کارستی درون آنها را به دنبال دارد. جهت بررسی این تغییرات، غارهای کتله خور و سهولان، دو نمونه از غارهای کشور که پذیرای تعداد بالای گردشگر می‌باشند، انتخاب شدند. برای مقایسه و بررسی نقش گردشگران در تغییر عناصر اقلیمی و غلظت دی‌اکسیدکربن درون غارها، برداشت‌ها در بهمن ماه به سبب تعداد کم گردشگر و ماه فروردین به دلیل حضور بالای گردشگر در درون غارها با استفاده از دستگاه سه کاره دما، رطوبت و CO₂ سنج، مدل (AZ 77535) انجام شد. نتایج مقایسه‌ی دو ماه بهمن و فروردین نشان می‌دهد که در هر دو غار در فروردین ماه همزمان با افزایش تعداد گردشگر در درون غارها، مقدار غلظت دی‌اکسیدکربن بالا رفته و درصد رطوبت نسبی کاهش یافته و دما نیز افزایش یافته است. بطور مثال میانگین بیشترین غلظت دی‌اکسیدکربن در ماه فروردین در هر دو غار مربوط به دالانهای کم ارتفاع می‌باشد و مقدار آن در غار سهولان ۱۵۰۳ PPM و در غار کتله خور ۱۲۴۸ PPM است. میزان تاثیر حضور گردشگران بر کاهش درصد رطوبت نسبی در دالان‌های کم ارتفاع در غار سهولان ۲/۵ درصد و در غار کتله خور ۱/۲ درصد است.

واژگان کلیدی: غار، گردشگر، غار سهولان، غار کتله خور.

مقدمه

یکی از تماشایی ترین نتایج عمل فرسایش آبهای زیرزمینی در سنگهای آهکی، تشکیل غارها است. غارها از دیرباز برای بشر، بعنوان پناهگاه، تامین آب و غذا و یا بعنوان تندیسی شگفت آور مورد توجه بوده اند. بهره برداریهای اخیر از غارها، مانند معدن کالوم سازه های غاری و فضولات خفایش ها (بویژه در طی جنگلهای داخلی آمریکا)، برق آبی از غار رودها و چشمه ها و استفاده بصورت آسایشگاه، توسعه یافته است (گیلیسون^۱، ۱۳۸۶، ۳۵۹). غارها به عنوان مهم ترین ژئوسایت^۲ زیرزمینی، از جمله اشکال ژئومورفولوژیکی حساس و شکننده هستند (مختاری، ۱۳۹۴، ۱۱۸). سالانه بیش از ۲۰ میلیون نفر تنها از ۶۵۰ غار دیدن می کنند. آمار بی رویه بازدیدکنندگان، سبب آشفستگی در محیط طبیعی غارها شده و به تدریج تخریب کامل اکوسیستم غارها را در پی دارد (هوتاچارن^۳، ۲۰۰۴، ۱۷) هر انسان بطور متوسط PPM ۱۰۳ / ۴۰ دی اکسید کربن از طریق تنفس آزاد می کند (اک^۴ و همکاران، ۱۹۸۵، ۱۷۴). فرایندهای دم و بازدم گردشگران سبب تجمع حجم زیادی از گاز دی اکسید کربن در غارها می شود. ورود تعداد زیاد گردشگران به درون غارها، سبب افزایش غلظت دی اکسید کربن درون غارها می شود. هرچه تعداد بازدیدکنندگان و مدت زمان حضور آنها در درون غارها افزایش یابد، غلظت و تجمع دی اکسید کربن نیز افزایش پیدا می کند (ملکی و همکاران، ۱۳۹۴، ۳). مطالعات انجام یافته در ایران نشان می دهد؛ سهم گردشگران در تغییرات مقادیر دی اکسید کربن، درجه حرارت و رطوبت نسبی به شکل روزانه و ماهانه مشهود است بطوریکه حضور گردشگران در غار علی صدر همدان و فعالیت دم و بازدم آنها مقادیر عناصر اقلیمی درون غارها را تغییر داده و سبب دگرگون شدن ریز اقلیم درون غار شده است. به عنوان مثال، در صد دی اکسید کربن با منشأ انسانی، بیش از ۷ برابر درصد دی اکسید کربن با منشأ طبیعی در درون غار می باشد (ملکی و همکاران، ۱۳۹۳، ۱). بیشترین تغییرات روزانه و ماهانه در درصد دی اکسید کربن مربوط به تالارهای بزرگ و کمترین تغییرات به دالانهای کوچک مربوط می شود (کریمی سلطانی و رضایی، ۱۳۹۳، ۱). در پژوهش ملکی و همکاران، ۱۳۹۴، با شبیه سازی و باز سازی شرایط اقلیمی درون غار در محیط آزمایشگاهی کنترل شده، مقدار انحلال سالانه اشکال ثانویه درون غار به تفکیک سهم گردشگران، به شیوه وزنی محاسبه شده است. طبق نتایج این پژوهش مقدار انحلال و پوسته پوسته شدن اشکال ثانویه درون غار علی صدر ۰/۰۷۸ گرم بر سانتی متر مکعب در سال است. همچنین مطالعات انجام گرفته در سایر نقاط جهان شامل: نتایج حاصل از پژوهش کرمود^۵ (۱۹۷۴) در غار گلوورم^۶ نیوزیلند نشان داد که بالارفتن دی اکسید کربن ناشی از بازدم ۵۰۰ نفر بازدیدکننده به صورت روزانه، تعادل شیمیایی تزئینات داخلی غارها را برهم زده و سالانه مقدار ۰/۳ میلی متر از ضخامت آنها کاسته می شود. سانگ^۷ و همکاران، (۲۰۰۰)، به بررسی تاثیرات گردشگری غار بر CO₂ و دما در غار بایون^۸ در استان هبی چین، در دو زمان اوج بازدید از غار، تعطیلات یک می تا هفت می ۲۰۰۰ و زمان معمولی بازدید از غار اگوست و اکتبر ۲۰۰۰، پرداخته اند، نتایج این بررسی نشان داد که بازدیدکنندگان شدیداً بر روی نوسانات مقادیر CO₂ و دما تاثیر می گذارند. کالافورا^۹ و همکاران، (۲۰۰۳)، در زمینه ی کنترل محیطی جهت تعیین تاثیر انسان در غاری در گراناا اسپانیا پژوهشی انجام دادند. آنها تاثیر دو گروه بازدیدکننده ۹۸۰ و ۲۰۸۸ نفری به درون غار را مورد

^۱ Gillieson^۲ Geo sites^۳ Hutaeharen^۴ Ek et al^۵ Kermod^۶ Glowworm Cave^۷ Song et al^۸ BAIYUN^۹ Calaforra et al

بررسی قراردادند. طبق نتایج تاثیر هر دو گروه بازدید کننده بر دمای غار بسیار سریع بود (۲/۵ دقیقه). نتایج پژوهش لینان^۱ و همکاران، (۲۰۰۸)، در غار نرجا^۲ نشان داد میانگین ماهانه‌ی دی‌اکسیدکربن در درون غار در فصل پاییز و زمستان ۵۲۵ PPM و در بهار و تابستان بیش از ۷۵۰ PPM می‌باشد. افزایش مقدار تمرکز دی‌اکسیدکربن همزمان با فصول و روزهایی با تراکم بالای بازدیدکنندگان بوده است. دی فریتس^۳ (۲۰۱۰)؛ در این پژوهش، نقش و اهمیت ریز اقلیم غار در استفاده پایدار و مدیریت غارهای توریستی نیوزیلند مورد بررسی قرار گرفته است. طبق نتایج، مدیریت غار، اولاً با تعیین سطح مطلوب یا رنج شرایط زیست‌محیطی و دوماً حفظ آنها باید مورد توجه قرار گیرد. در پژوهش مورونی^۴ (۲۰۱۳) به بررسی نقش گردشگران در تغییر برخی از عناصر اقلیمی درون غارها پرداخته و در زمینه مدیریت این گونه غارها نیز، پیشنهادات مفیدی ارائه نموده است. در پژوهش ایبلا^۵ و همکاران (۲۰۱۳)؛ دمای هوای غار، غلظت دی‌اکسیدکربن در هوای غار در چندین محل غار پو ستوجنا در طول شش دوره از تعطیلات در ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ آنالیز شده است. طبق نتایج این پژوهش افزایش تعداد بازدیدکنندگان در یک روز از ۲۰۰ نفر به ۳۵۰ نفر، دمای هوای غار ۰/۵ درجه سانتی‌گراد بالا رفته است. افزایش ۵ برابری در تعداد بازدیدکنندگان منجر به افزایش غلظت دی‌اکسید کربن شده است و غلظت دی‌اکسیدکربن از ۴۵۰ PPM به ۱۷۵۰ PPM (دسامبر ۲۰۰۹-ژانویه ۲۰۱۰) افزایش یافته است. پژوهش بی‌کر^۶ (۲۰۱۴) در غارهای جینولان^۷ طی سالهای (۲۰۰۹-۲۰۱۲) که خلاصه‌ی نتایج کلیدی از چهار سال نظارت بر اتمه سفر درون غار است. طبق نتایج افزایش ناگهانی دمای غار از ۰/۹ درجه سانتی‌گراد در کمتر از ۱۲ دقیقه که با حضور بازدیدکنندگان و تورهای تجاری مرتبط است. پژوهشهای لنگ و همکاران (۲۰۱۶)، (۲۰۱۷)؛ تغییرات فصلی در مقادیر دی‌اکسیدکربن در غار و نیز اثر انسان روی مقادیر دی‌اکسیدکربن در غار ویب پاستک^۸، در موراوایان کارست^۹ (جمهوری چک)، مطالعه شده است. نتایج این پژوهش نشان داد در زمان حضور گردشگران، جریان دی‌اکسیدکربن ناشی از حضور بازدیدکنندگان در تالار به بیش از 0.13 mol s^{-1} می‌رسد و از دیگر جریان‌های طبیعی دی‌اکسیدکربن غار بیشتر بود. فاصله بین گروه‌های بازدید از غار، برای اینکه محیط غار به شرایط طبیعی برگشت کند، باید بیش از ۶ ساعت باشد. هر افزایشی در غلظت CO_2 باعث افزایش هجوم آب به کلسیت خواهد شد. در این پژوهش، غار سهولان به عنوان دومین غار آبی کشور و همچنین غار کتله خور، به عنوان طولانی‌ترین غار ایران و دومین غار مهم توریستی کشور که سالانه پذیرای تعداد زیادی از گردشگران می‌باشند، به سبب اثراتی که تغییرات دما، رطوبت نسبی و دی‌اکسید کربن بر تحول و تکامل اشکال کارستی در درون غارها بوجود می‌آورند در این مقاله تغییرات این عناصر اقلیمی و همچنین غلظت دی‌اکسید کربن درون غارهای کتله خور و سهولان و نقش ورود و حضور گردشگران در این تغییرات بررسی شده است.

مبانی نظری

اکوسیستم‌های کارستی بسیار حساس و شکننده هستند و با توجه به شدت و وسعت آسیب‌های وارده نیازمند زمان بسیار طولانی برای ترمیم و بازسازی خود می‌باشند و همین امر حساسیت موضوع را افزایش داده است. (کریمی سلطانی، ۱۳۹۵، ۱۳۸). فعالیتهای بازدیدکنندگان هم در محیط غار و نیز هم بر مواد طبیعی و مبادله انرژی بین درون و بیرون غارها تاثیر

¹ Linan et al

² Nerja Cave

³ De Freitas

⁴ Moroni

⁵ Šebela et al

⁶ Baker

^۷ Jenolan

⁸ Vypustek Cave

⁹ Moravian Karst

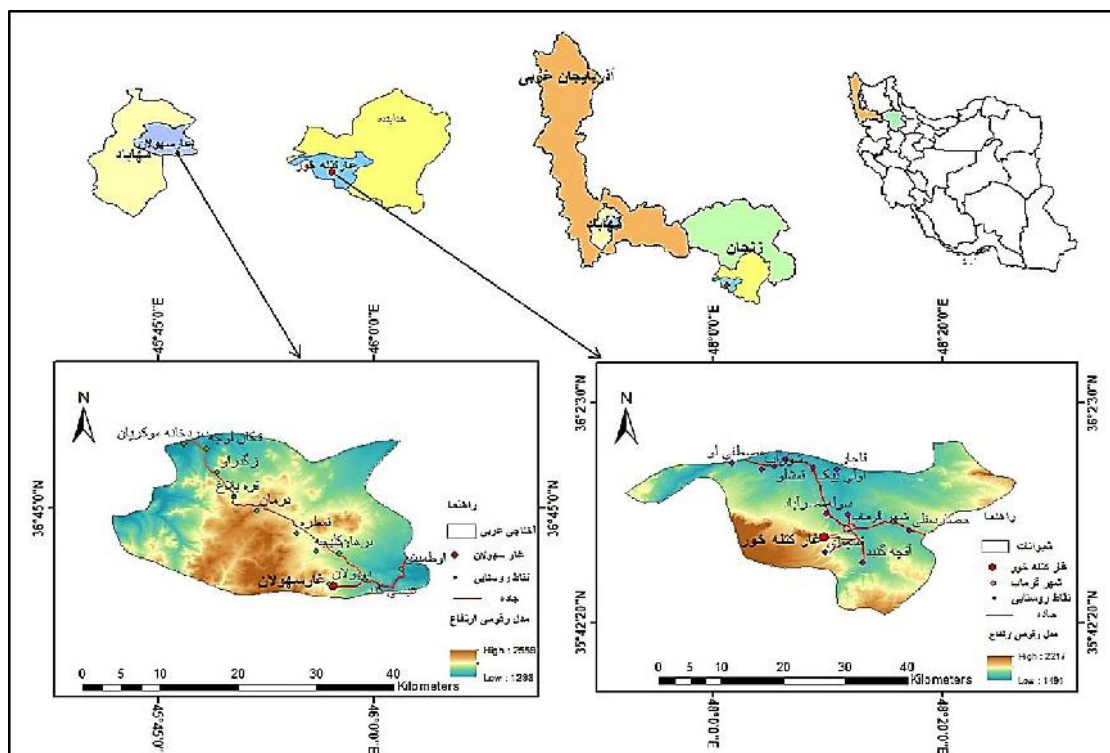
دارد. بازدید از غارها موجب هوازگی جدی اسپلئودمها (غارنهدشته‌ها) و تغییر یافتن رنگهای اصلی شان و گاهی اوقات بطور کامل آسیب دیده یا تخریب می‌شوند (سانگ و همکاران، ۲۰۰۰، ۷۷). هر جهانگرد وارده به غار مقدار گرمایی برابر ۸۰ تا ۱۲۰ وات ساطع می‌کند که در نتیجه منجر به افزایش دمای غار خواهد شد. در بعضی از غارها درجه حرارت گذرگاه‌ها هنگام ورود جهانگردان ۱/۵ تا ۲ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. بنابراین ورود جمعیت به‌صورت گروهی به درون غارها مشکلات جدی را برای موجودات غارزی به‌وجود می‌آورد. زیرا اقلیم غار به‌شدت تغییر می‌کند. افزایش دی‌اکسیدکربن در اثر ورود جهانگردان موجب تغییرات وسیع در فرایند انحلالی خواهد شد. زیرا غلظت CO₂ در بعضی از غارها به چهار برابر می‌رسد (بهنیافر و قنبرزاده، ۱۳۹۵، ۵۶۷). افزایش CO₂ ناشی از جهانگردان غار و ازدحام آن‌ها در اطراف اسپلئودم‌های غاری منجر به تجزیه آن‌ها خواهد شد. عبور سیاحان از غار آلتامیرا^۲ (اسپانیا) منجر به افزایش درجه حرارت هوا به مقدار ۲ درجه سانتی‌گراد، سه برابر شدن مقدار CO₂، از ۰/۴ درصد تا ۱/۲ درصد و نیز منجر به کاهش رطوبت نسبی از ۹۰٪ به ۷۵٪ گردید. این امر بخصوص در پوسته پوسته‌ای شدن دیواره‌های غار موثر است (گیلیسون، ۱۳۸۶، ۳۶۹، ۳۶۸).

معرفی منطقه مورد مطالعه

غار آبی سهولان در جنوب استان آذربایجان غربی و جنوب شرق شهر ستان مهاباد در ۳۶ درجه، ۳۹ دقیقه و ۲۱ ثانیه عرض شمالی و ۴۵ درجه، ۵۷ دقیقه و ۱۳ ثانیه طول شرقی واقع شده است. دسترسی به این غار از طریق جاده مهاباد - بوکان تا سه راهی روستای عیسی کندی و از آن پس از جاده فرعی به سمت روستای سهولان امکان پذیر بوده که طول آن حدود ۴۰ کیلومتر است. غار در دامنه کوهی به نام کونه کوتر به ارتفاع ۲۲۲۲ متر قرار گرفته و دارای دو بخش خشک و آبدار است که سطح آبدار آن در داخل غار حدود ۱۷۵۰ متر بالاتر از سطح دریاهای آزاد و تقریباً ۲۰ متر پایین تر از ورودی اصلی غار است (اصغری مقدم، ۱۳۸۵، ۵۹)؛ (شکل ۱). غار سهولان از لحاظ زمین‌شناسی ساختاری در زون خوی - مهاباد قرار دارد و از نظر لیتولوژیکی کوه دربرگیرنده غار، از دولومیت‌ها و آهک‌های دولومیتی به سن پرمین (سازند روتنه) تشکیل یافته است. براساس طبقه بندی اقلیمی به روش‌های دومارتن و آمبرژه، منطقه قرارگیری غار به ترتیب در حد واسط بین اقلیم‌های خشک و مدیترانه‌ای و نیمه مرطوب سرد تعیین شده است (همان، ۱۳۹۰، ۶۷، ۶۴). غار کتله خور در موقعیت جغرافیایی ۴۸ درجه و ۸ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی در جنوب شهر کوچک گرماب شهرستان خدابنده و در ۱۴۰ کیلومتری جنوب استان زنجان در شمال غرب ایران قرار گرفته است. این غار از طریق جاده زنجان - سلطانیه - خدابنده و همچنین جاده اصلی زنجان بیجار قابل دسترسی است (احمدی، خوشرفتار، ۱۳۹۰: ۶۴). این غار در آهک‌های دوره الیگومیوسن و در سازند آهکی قم در کوه سقزلو قرار گرفته است. اقلیم محلی نیمه خشک با زمستان سرد می‌باشد. متوسط بارندگی سالیانه حدود ۳۰۰ میلی‌متر و عمدتاً به شکل برف است. غار کتله خور یک غار سه طبقه می‌باشد. محدوده ارتفاعی طبقات از ۱۷۰۵ تا ۱۷۴۲، ۱۶۸۵ تا ۱۷۰۵ و ۱۶۷۰ تا ۱۶۸۵ متر بالای سطح دریا می‌باشد. (رضایی و نخعی، ۱۳۸۷، ۱۲)؛ (شکل ۱).

¹ Speleothems

² Altamira cave



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه: غار کتله خور و غار سهولان.

روش تحقیق

در این پژوهش جهت بررسی میزان تغییرات مقادیر عناصر اقلیمی درون غارها، داده‌های مربوط به غلظت دی اکسیدکربن، درجه حرارت و رطوبت نسبی موجود درون غارهای سهولان و کتله خور در دو زمان بهمن ماه و فروردین ماه جمع‌آوری شد. برای مقایسه مقادیر و درصد طبیعی عناصر اقلیمی و دی‌اکسیدکربن درون غارها با مقادیر و تغییراتی که به سبب حضور گرد شکران ایجاد گردیده است، برداشته‌ها در ماه فروردین به عنوان زمان حداکثر تردد گرد شکران به عنوان زمان آزمایش و ماه بهمن به عنوان زمان حداقلی تردد گردشکران به عنوان زمان کنترل (گواه یا شاهد) در نظر گرفته شد و مقادیر طبیعی عناصر اقلیمی و دی‌اکسیدکربن در ماه بهمن با مقادیر و تغییرات در نتیجه حضور گردشکران در ماه فروردین مقایسه شد. به سبب تنوع در ابعاد دالانها در هر دو غار از نظر طول و عرض و به سبب حضور گردشکران در تمام فضای غار برداشته‌ها و اندازه‌گیری‌های روزانه به شکل نقطه‌ای و با تعیین نقاط خاصی از درون غار صورت نگرفته‌است و با حرکت در غارها چه در مسیرهای آبی و چه در مسیرهای خشکی، با فواصل ۳۰ تا ۴۰ متری مقادیر ثابت و در نهایت برای آن زمان خاص، از آنها میانگین گرفته شده‌است. با توجه به تغییرات درجه حرارت، درصد رطوبت نسبی و غلظت دی اکسیدکربن در دالان‌ها و تالارها با ابعاد مختلف و همچنین بالا رفتن دقت کار، فضای درون غار به سه بخش منطقه کم ارتفاع (ارتفاع سقف بین ۲-۰ متر از سطح زمین و آب)، متوسط ارتفاع (ارتفاع سقف بین ۵-۲ متر) و مرتفع (ارتفاع سقف بیش از ۵ متر) تقسیم گردید. برداشته‌ها با استفاده از دستگاه سه کاره دما، رطوبت و CO₂ سنج، مدل (AZ 77535) در دو دوره پانزده روزه، همزمان با تردد حداقلی گردشکران در درون غارها (غارکتله خور) و (غار سهولان) در ماه بهمن و تردد حداکثری گردشکران در درون غارها در ماه فروردین صورت پذیرفت. برداشته‌ها به شکل روزانه و در سه نوبت صبح (قبل از ورود گردشکران)، ظهر و شب (بعد از خروج گردشکران)، در هر دو غار صورت گرفته است. در نهایت، با بدست آوردن تفاضل بین برداشته‌ها و اندازه‌گیری‌های حاصل از ماه فروردین، از برداشته‌ها و اندازه‌گیری‌های حاصل از ماه بهمن، نقش و تاثیر گرد شکران در تغییرات مقادیر دی‌اکسیدکربن، درجه حرارت و رطوبت

نسبی در هر دو دوره برداشت‌ها به دست آورده شد. در جدول (۱) آمار تعداد گردشگر پانزده روزه ماه فروردین برای هر دو غار آورده شده است. لازم به ذکر است برداشت‌ها با استفاده از دو دستگاه و همزمان برای هر دو غار انجام گرفته است. تعداد آمار گردشگر در ۳۰ روز ماه بهمن سال ۱۳۹۶ غار کتله‌خور طبق آمار اداره کل میراث فرهنگی و گردشگری زنجان ۶۴ نفر و در غار سهولان در ۳۰ روز ماه بهمن سال ۱۳۹۶ طبق آمار اداره کل میراث فرهنگی و گردشگری مهاباد ۱۱۵۰ نفر، می‌باشد.

جدول ۱: آمار تعداد گردشگر ماه فروردین غار سهولان و کتله‌خور

ردیف	تاریخ	تعداد گردشگر غار کتله‌خور	ردیف	تاریخ	تعداد گردشگر غار سهولان
۱	۱۳۹۷/۱/۱	۳۰۵	۱	۱۳۹۷/۱/۱	۱۲۰۰
۲	۱۳۹۷/۱/۲	۷۱۰	۲	۱۳۹۷/۱/۲	۲۳۵۰
۳	۱۳۹۷/۱/۳	۹۵۱	۳	۱۳۹۷/۱/۳	۳۲۵۶
۴	۱۳۹۷/۱/۴	۱۱۵۱	۴	۱۳۹۷/۱/۴	۲۸۰۰
۵	۱۳۹۷/۱/۵	۹۷۴	۵	۱۳۹۷/۱/۵	۱۳۸۰
۶	۱۳۹۷/۱/۶	۱۰۳۹	۶	۱۳۹۷/۱/۶	۲۴۰۰
۷	۱۳۹۷/۱/۷	۱۱۸۲	۷	۱۳۹۷/۱/۷	۲۷۳۶
۸	۱۳۹۷/۱/۸	۱۲۹۸	۸	۱۳۹۷/۱/۸	۲۶۰۰
۹	۱۳۹۷/۱/۹	۸۴۱	۹	۱۳۹۷/۱/۹	۲۰۰۰
۱۰	۱۳۹۷/۱/۱۰	۱۳۰۴	۱۰	۱۳۹۷/۱/۱۰	۳۰۶۵
۱۱	۱۳۹۷/۱/۱۱	۱۴۱۰	۱۱	۱۳۹۷/۱/۱۱	۳۵۶۰
۱۲	۱۳۹۷/۱/۱۲	۱۵۶۸	۱۲	۱۳۹۷/۱/۱۲	۲۶۰۰
۱۳	۱۳۹۷/۱/۱۳	۱۲۵۱	۱۳	۱۳۹۷/۱/۱۳	۲۳۰۰
۱۴	۱۳۹۷/۱/۱۴	۱۲۵	۱۴	۱۳۹۷/۱/۱۴	۴۲۴
۱۵	۱۳۹۷/۱/۱۵	۱۱۵	۱۵	۱۳۹۷/۱/۱۵	۳۸۰
۱۶	جمع	۱۴۲۲۴	۱۶	جمع	۳۳۰۵۱

بحث و یافته‌ها

تغییرات دی اکسید کربن

بخشی از مکانیسم‌های اساسی تغییرات ناشی از فعالیت‌های انسانی در درون غارها ناشی از افزایش تمرکز CO_2 می‌باشد که سبب زوال پذیری اشکال درون غارها از قبیل استالاکتیت، استالاکمیت‌ها و غیره می‌شود. اصولاً تراکم CO_2 موجود در غارها منشأ طبیعی و بیولوژیک داشته اما در غارهایی که با حجم بالایی از گردشگران روبه‌روست فرآیندهای دم و بازدم آنها نیز سبب تجمع حجم زیادی از گاز دی اکسید کربن در غارها می‌شود. (ملکی و همکاران، ۱۳۹۳، ۳).

الف- سهم روزانه گردشگران در تولید CO_2

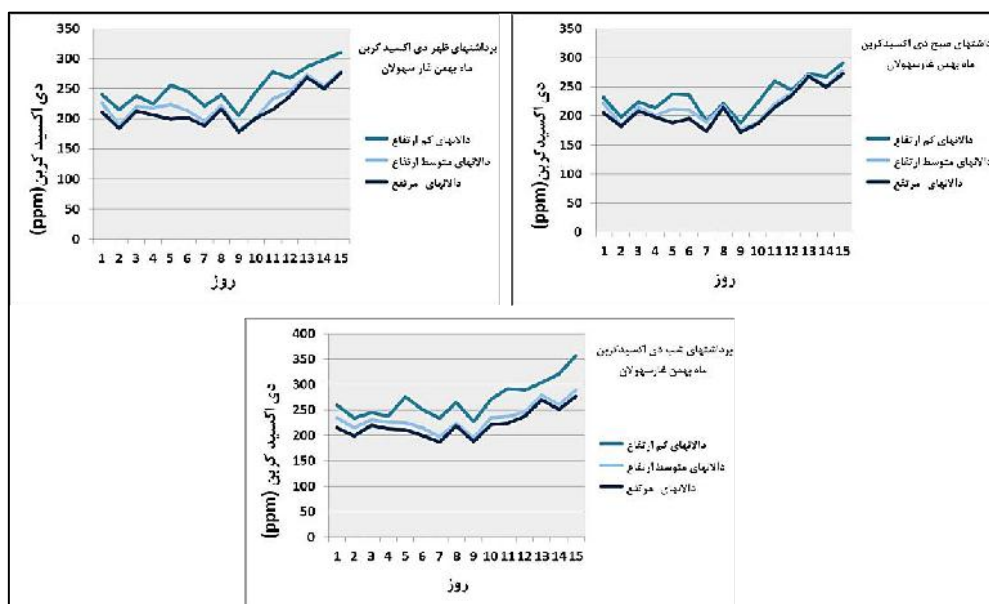
در جدول (۲) میانگین پانزده روزه دی اکسید کربن (برحسب ppm) برداشت شده در دو زمان حداقلی و حداکثری حضور گردشگر (ماه بهمن و ماه فروردین) در درون غارهای سهولان و کتله‌خور آمده است. همانگونه که در جدول (۲) مشاهده می‌شود میانگین پانزده روزه دی اکسید کربن در دالانهای کوچک، متوسط و بزرگ درون غار سهولان در بهمن ماه به ترتیب مقادیر ۲۲۶، ۲۵۲، ۲۱۶ و در غار کتله‌خور به ترتیب مقادیر ۲۱۱، ۲۳۰، ۱۸۸ بوده است. میانگین پانزده روزه دی اکسید کربن در دالانهای کوچک، متوسط و بزرگ درون غار سهولان در فروردین به ترتیب مقادیر ۱۴۹۰، ۱۵۰۳، ۱۴۶۶ و در غار کتله‌خور به ترتیب مقادیر ۱۱۱۸، ۱۱۰۸، ۱۰۹۶ می‌باشد. تفاضل بین مقادیر دی اکسید کربن در ماه بهمن و ماه فروردین، مقدار دی اکسید کربن تولید شده توسط گردشگران در فضای درون غار به ترتیب مقادیر ۱۲۵۱، ۱۲۶۴، ۱۲۵۰ در غار سهولان و مقادیر ۸۸۸، ۸۹۷، ۹۰۸ در غار کتله‌خور می‌باشد.

جدول ۲: میانگین دی اکسیدکربن برداشت شده در دو ماه بهمن و فروردین (غار کتله خور و سهولان).

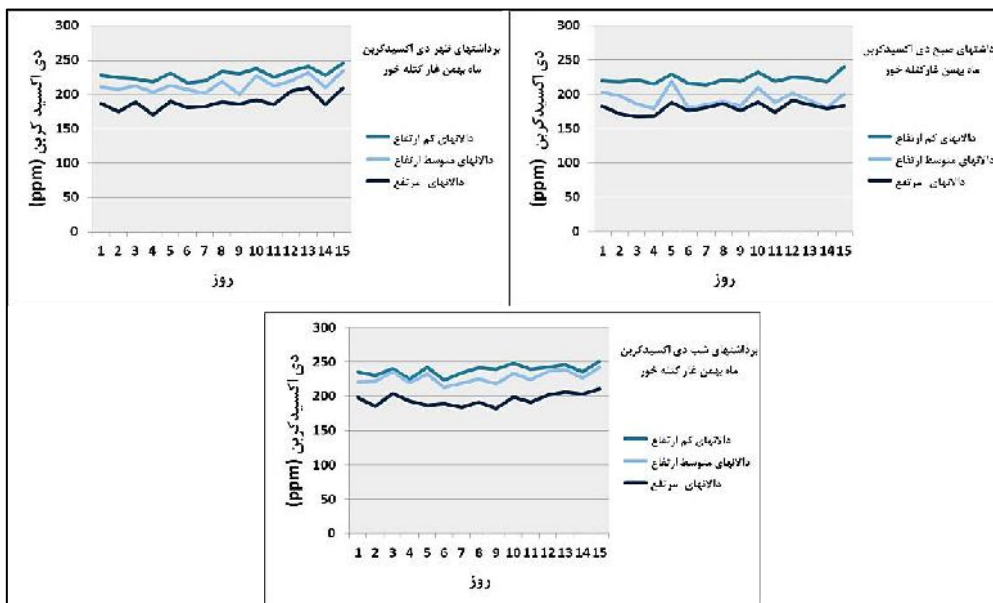
ردیف	زمان برداشت	ابعاد دالانها			ردیف	زمان برداشت	ابعاد دالانها			
		کوچک	متوسط	بزرگ			کوچک	متوسط	بزرگ	
۱	صبح	بهمن	۲۳۳	۲۱۸	۲۱۱	فروردین	بهمن	۲۲۲	۱۹۳	۱۸۰
		فروردین	۱۰۵۹	۱۰۵۴	۱۰۴۵		فروردین	۹۶۸	۹۶۰	۹۵۱
۲	ظهر	بهمن	۲۵۱	۲۲۵	۲۱۶	فروردین	بهمن	۲۲۹	۲۱۴	۱۸۹
		فروردین	۱۶۰۶	۱۵۹۱	۱۵۸۱		فروردین	۱۱۳۸	۱۱۲۸	۱۱۱۴
۳	شب	بهمن	۲۷۱	۲۳۴	۲۲۲	فروردین	بهمن	۲۳۸	۲۲۷	۱۹۵
		فروردین	۱۸۴۵	۱۸۲۴	۱۷۷۳		فروردین	۱۲۴۸	۱۲۳۶	۱۲۲۳
۴	میانگین کل	بهمن	۲۵۲	۲۲۶	۲۱۶	فروردین	بهمن	۲۳۰	۲۱۱	۱۸۸
		فروردین	۱۵۰۳	۱۴۹۰	۱۴۶۶		فروردین	۱۱۱۸	۱۱۰۸	۱۰۹۶
۵	سهام گردشگران (غار کتله خور)	۱۲۵۱	۱۲۶۴	۱۲۵۰	سهام گردشگران (غار کتله خور)	۸۸۸	۸۹۷	۹۰۸		

ب- نقش تعداد گردشگران در غلظت CO2

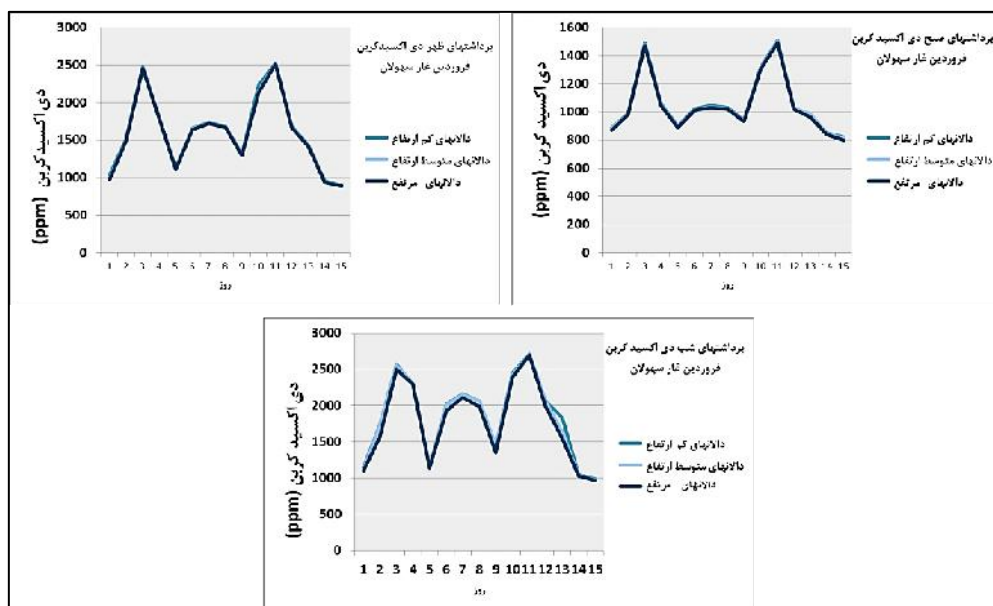
تعداد گردشگران، سن، مدت زمان حضور و نوع فعالیت فیزیکی آنها، تعیین کننده مقدار دی اکسیدکربن تولید شده از طریق بازدم آنها می باشد (ملکی و همکاران، ۱۳۹۳، ۳). در شکل‌های (۲) و (۳) تغییرات و نوسانات مقادیر برداشت شده دی اکسیدکربن هنگام صبح، ظهر، شب در غار سهولان و کتله خورد در مدت ۱۵ روز ماه بهمن نشان داده شده است. با توجه به اشکال، مقادیر دی اکسید کربن نسبت به ماه فروردین از نوسانات کمتری برخوردار می باشد. شکل‌های (۴) و (۵) تغییرات و نوسانات مقادیر برداشت شده دی اکسید کربن هنگام صبح، ظهر، شب و بعد از خروج گردشگران در غار سهولان و کتله خورد در مدت ۱۵ روز ماه فروردین نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود، بیشترین مقادیر مربوط به دالانهای کوچک و در هر سه دالان نوسانات و تغییرات دیده می شود. در مجموع نقاط اوج در مقادیر دی اکسید کربن ثبت شده در مناطق مختلف مشاهده می شود. این نقاط پیک، دقیقاً منطبق بر روزهایی با حداکثر گردشگر می باشد.



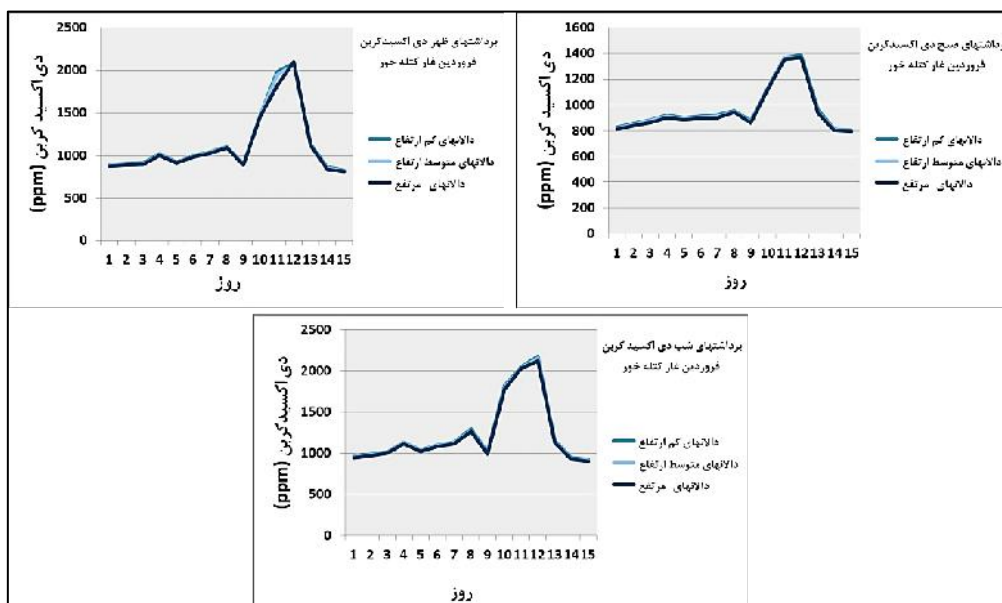
شکل ۲: تغییرات و نوسانات مقادیر دی اکسید کربن برداشت شده در صبح، ظهر و شب، ماه بهمن (غار سهولان).



شکل ۳: تغییرات و نوسانات مقادیر دی اکسید کربن برداشت شده در صبح، ظهر و شب، ماه بهمن (غار کتله خور).



شکل ۴: تغییرات و نوسانات مقادیر دی اکسید کربن برداشت شده در صبح، ظهر و شب، ماه فروردین (غار سهولان).



شکل ۵: تغییرات و نوسانات مقادیر دی اکسید کربن برداشت شده در صبح، ظهر و شب، ماه فروردین (غار کتله خور).

تغییرات دما

سهام هر فرد در هر ساعت حضور در درون یک غار، تولید بیش از ۶۰ کالری گرما و ۴۰ گرم تبخیر می‌باشد. بنابراین حضور بازدیدکنندگان در غارها سبب افزایش درجه حرارت در درون غارها می‌شود (هاتزل^۱، ۱۹۹۹: ۱۸۰). همانگونه که در جدول (۳) دیده می‌شود میانگین ۱۵ روزه ثبت شده، صبح، ظهر و شب برای دالانهای کوچک، متوسط و بزرگ در غار سهولان در ماه بهمن به ترتیب ارقام ۱۲/۲، ۱۴/۱۴، ۱۳/۹ درجه سانتیگراد و در غار کتله خور به ترتیب ۱۲/۱۲، ۱۴/۵، ۱۲/۱ درجه سانتیگراد می‌باشد. در فروردین به ترتیب ارقام ۱۵/۱۵، ۱۵/۴، ۱۵/۳ درجه سانتیگراد و در غار کتله خور به ترتیب ۱۵/۸، ۱۵/۷، ۱۵/۵ درجه سانتیگراد می‌باشد. بالا رفتن درجه حرارت درون غارها از یک سو سبب افزایش بخار آب در غارها شده و از سوی دیگر، کاهش درصد رطوبت نسبی را به دنبال دارد. کاهش درصد رطوبت نسبی در درون غارها خشکی محیط غار و شکنندگی اشکال کلسیتی را به دنبال دارد (ملکی و همکاران، ۱۳۹۳، ۴).

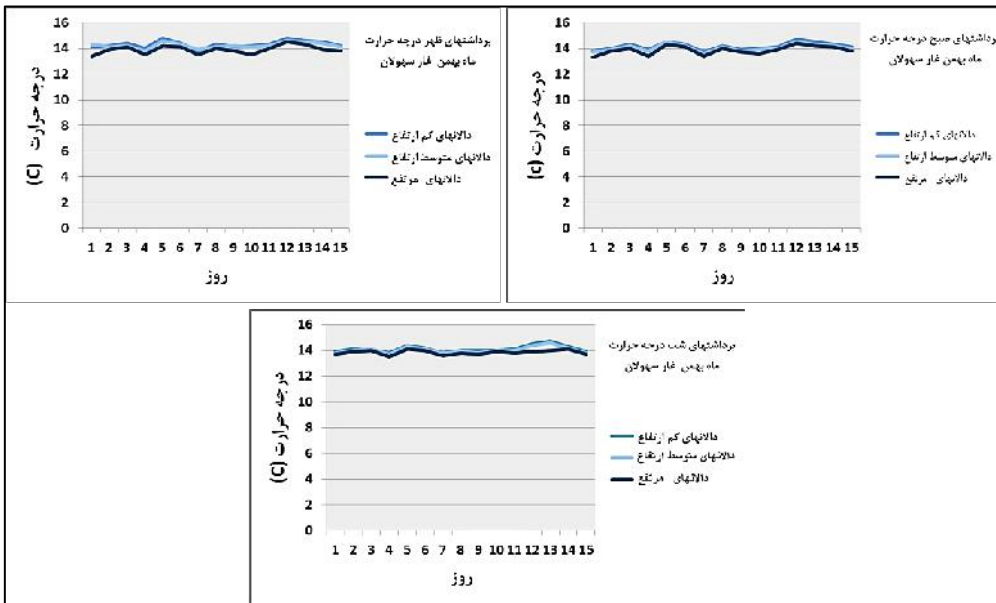
جدول ۳: میانگین درجه حرارت برداشت شده در دو ماه بهمن و فروردین (کتله خور و غار سهولان).

ردیف	زمان برداشت	ابعاد دالانها			ردیف	زمان برداشت	ابعاد دالانها		
		کوچک	متوسط	بزرگ			کوچک	متوسط	بزرگ
۱	صبح	۱۴.۲	۱۴	۱۳.۹	۱	صبح	۱۲.۵	۱۲.۴	۱۲
		فروردین	۱۵	۱۴.۸			۱۵.۵	۱۵.۴	۱۵.۳
۲	ظهر	۱۴.۳	۱۴.۲	۱۳.۹	۲	ظهر	۱۲.۶	۱۲.۵	۱۲.۱
		فروردین	۱۵.۵	۱۵.۴			۱۵.۳	۱۵.۷	۱۵.۵
۳	شب	۱۴.۱	۱۴	۱۳.۸	۳	شب	۱۲.۴	۱۲.۲	۱۲.۱
		فروردین	۱۶	۱۵.۷			۱۶	۱۵.۹	۱۵.۸
۴	میانگین کل(غار سهولان)	۱۴.۲	۱۴.۱	۱۳.۹	۴	میانگین کل(غار کتله خور)	۱۲.۵	۱۲.۴	۱۲.۱
		فروردین	۱۵.۵	۱۵.۴			۱۵.۳	۱۵.۷	۱۵.۵

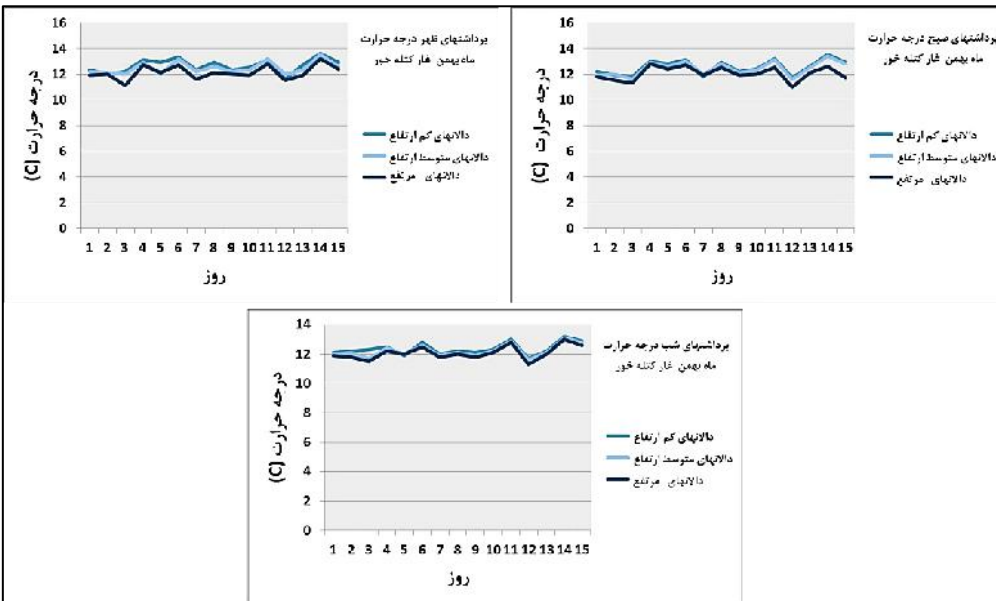
^۱ Hotzl

نقش تعداد گردشگران در افزایش دما

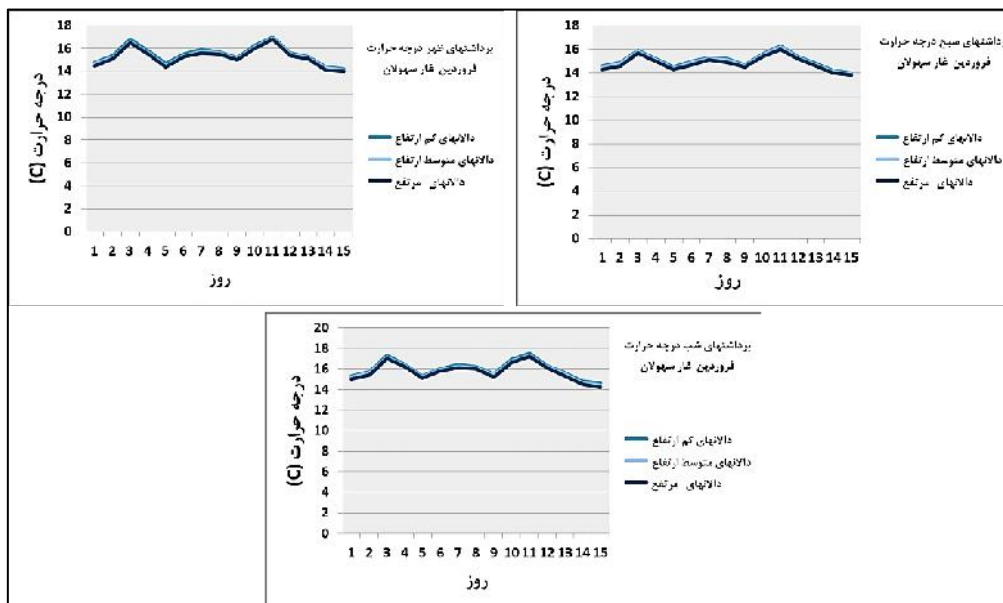
در شکل‌های (۶) و (۷) تغییرات و نوسانات مقادیر برداشت شده‌ی درجه حرارت هنگام صبح، ظهر، شب در غار سهولان و کتله خورد مدت ۱۵ روز ماه بهمن نشان داده شده است. با توجه به اشکال نوسانات و تغییرات مقادیر درجه حرارت زمستان نسبت به ماه فروردین کمتر می‌باشد. در شکل‌های (۸) و (۹) تغییرات و نوسانات درجه حرارت در طی برداشت‌های ۱۵ روزه هنگام صبح، ظهر، شب و بعد از خروج گردشگران در غار سهولان و کتله خورد فروردین نشان داده شده است. همانگونه که در شکل‌های (۸) و (۹) در غارهای سهولان و کتله خور مشاهده می‌شود، دامنه تغییرات از صبح تا شب روند افزایشی داشته است. همچنین در شکل‌ها نقاط پیک دیده می‌شود که این نقاط دقیقاً منطبق بر روزهایی با تعداد بالای گردشگر به درون غار می‌باشد.



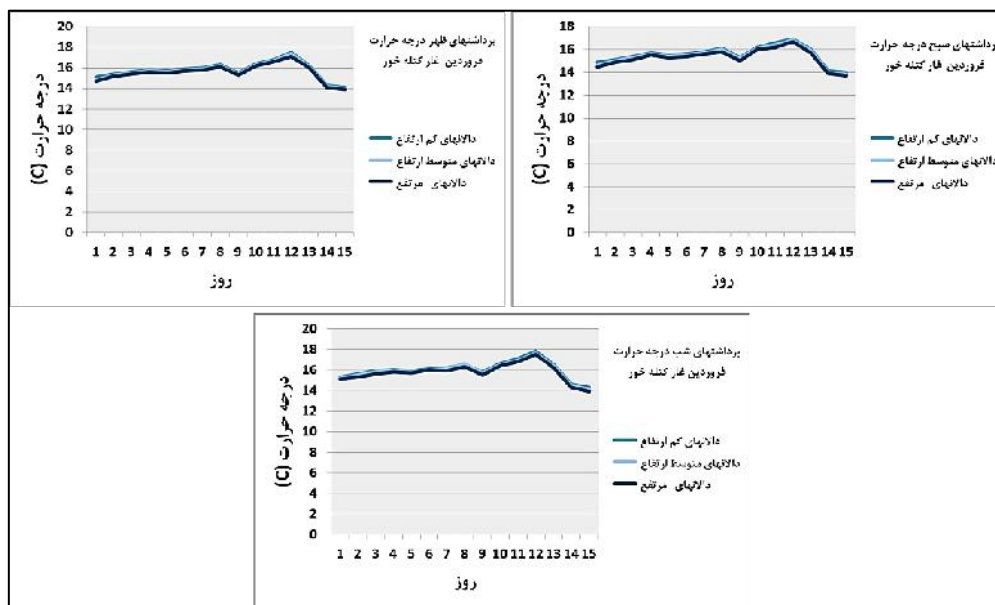
شکل ۶: تغییرات و نوسانات مقادیر درجه حرارت برداشت شده در صبح، ظهر و شب، ماه بهمن (غار سهولان).



شکل ۷: تغییرات و نوسانات مقادیر درجه حرارت برداشت شده در صبح، ظهر و شب، ماه بهمن (غار کتله خورد).



شکل ۸: تغییرات و نوسانات مقادیر درجه حرارت برداشت شده در صبح، ظهر و شب، ماه فروردین (غار سهولان).



شکل ۹: تغییرات و نوسانات مقادیر درجه حرارت برداشت شده در صبح، ظهر و شب، ماه فروردین (غار کتله خور).

تغییرات رطوبت نسبی

رطوبت در غارها یکی از مهم‌ترین جنبه‌ها و عنا صر اقلیمی درون غارها می‌باشد. برخلاف هوای آزاد و جو پیرامون زمین که معمولاً دارای رطوبت زیر اشباع بوده و تغییرات و نوسانات بسیار زیادی را در درصد رطوبت نشان می‌دهد، غارها غالباً دارای رطوبت بالا و تغییرات جزئی روزانه و سالانه می‌باشند (میکس^۱، ۱۹۹۰، ۴۸). در جدول (۵)، مقادیر رطوبت نسبی اندازه گیری شده در غارهای سهولان و کتله خور طی برداشتهای ۱۵ روزه در ماههای بهمن و فروردین آمده است. همانطور که قبلاً ذکر شد، برداشت‌ها در تمام نقاط غارها و به فواصل مشخص در دالان‌ها و تالارهای غارها صورت

^۱ Michie

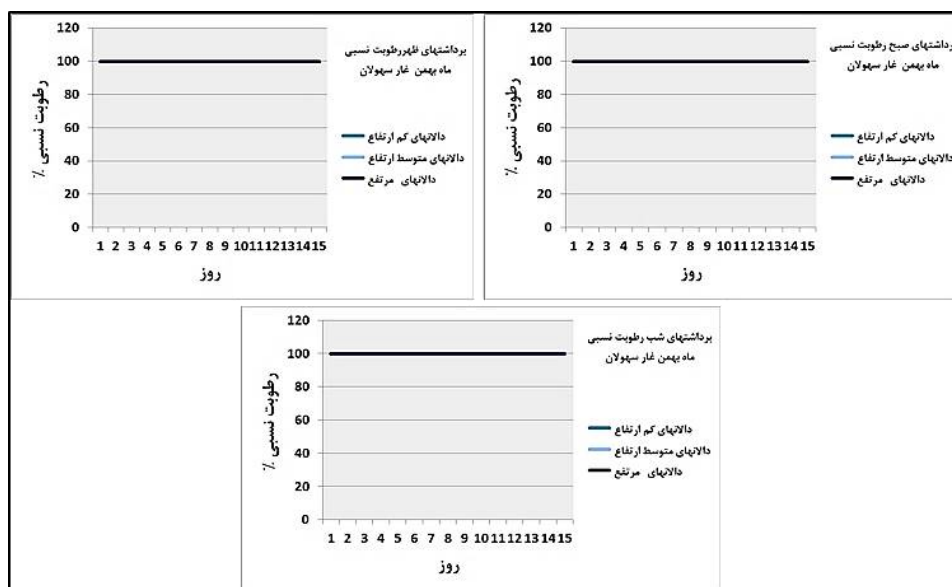
گرفته است و در نهایت از برداشتهای میانگین گرفته شده و به عنوان مقادیر صبح، ظهر و شب در نظر گرفته شده است. همین دلیل است که میانگینهای رطوبت بدست آمده زیر ۱۰۰٪ است در حالیکه در بسیاری از برداشتهای رطوبت نسبی اندازه گیری شده، ۱۰۰٪ بوده است. همانگونه که در جدول (۵) مشاهده می شود میانگین برداشتهای رطوبت نسبی صبح، ظهر و شب در دالانهای کوچک، بزرگ و متوسط در غار سهولان در بهمن ماه به ترتیب مقادیر ۹۹/۹، ۹۹/۹، ۹۹/۹ درصد و در غار کتله خور به ترتیب مقادیر ۹۹/۹، ۹۹/۹، ۹۹/۹ درصد می باشد. میانگین پانزده روزه رطوبت نسبی در دالانهای کوچک، متوسط و بزرگ درون غار سهولان در فروردین به ترتیب ۹۷/۴، ۹۷/۶، ۹۷/۷ درصد و در غار کتله خور به ترتیب ۹۸/۷، ۹۸/۸، ۹۸/۹ درصد می باشد. به عبارت دیگر، برخلاف دو عنصر اقلیمی دیگری یعنی درجه حرارت و دی اکسید کربن که حضور گردشگران منجر به افزایش مقادیر آنها در داخل غارهای سهولان و کتله خور شده است، حضور گردشگران در درون غارهای سهولان و کتله خور سبب کاهش درصد رطوبت نسبی شده است. دلیل این قضیه همانگونه که در بالا نیز گفته شد افزایش درجه حرارت درون غارها می باشد چراکه با افزایش درجه حرارت مقدار در صد رطوبت نسبی کاهش می یابد.

نقش گردشگران در تغییرات درصد رطوبت نسبی

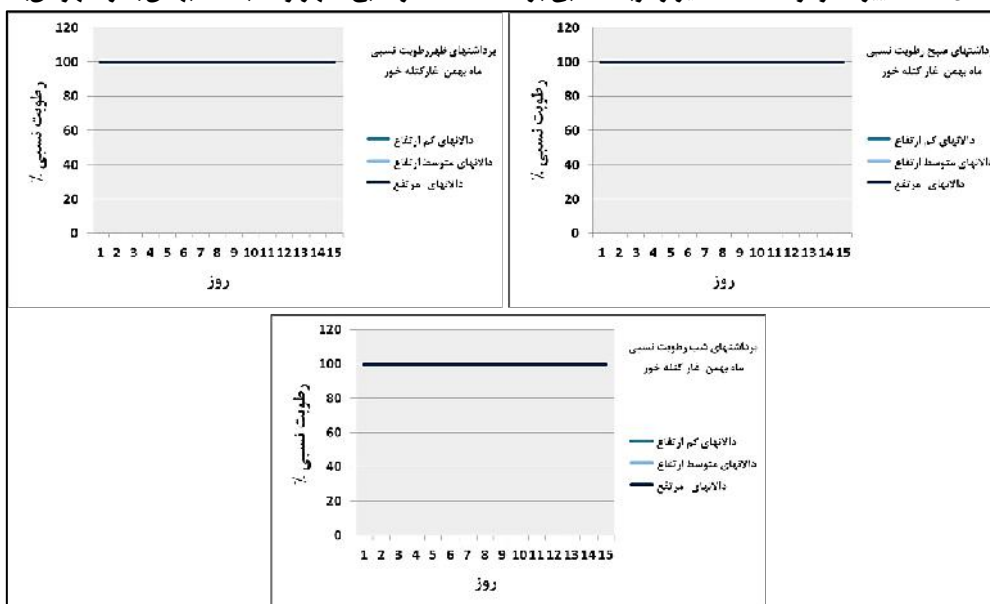
با افزایش تعداد گردشگران به درون غارها، روند کاهش یا افزایش مقادیر عناصر اقلیمی درون غار تسریع می گردد (ملکی و همکاران، ۱۳۹۳، ۵). به این ترتیب که با افزایش تعداد گردشگران به درون غار در روزهای حداکثر گردشگر، مقادیر دی اکسید کربن و درجه حرارت افزایش یافته است (شکلهای (۴)، (۵) و (۸)، (۹). در حالیکه در صد رطوبت نسبی کاهش یافته است (شکل (۱۲) و (۱۳). در شکلهای (۱۰) و (۱۱) نمودار تغییرات و نوسانات مقادیر درصد رطوبت نسبی طی برداشتهای صبح ظهر شب (بعد از خروج گردشگران از درون غار) در دالانهای کوچک، متوسط و تالارهای مرتفع در غار سهولان و کتله خور در مدت ۱۵ روز ماه بهمن نشان داده شده است. با توجه به اشکال نوسانات و تغییرات مقادیر رطوبت نسبی در بهمن ماه نسبت به فروردین کم می باشد. در شکلهای (۱۲) و (۱۳) تغییرات و نوسانات رطوبت نسبی در طی برداشتهای ۱۵ روزه هنگام صبح، ظهر، شب و بعد از خروج گردشگران در غار سهولان و کتله خور در ماه فروردین نشان داده شده است. حضور گردشگران در درون غارهای سهولان و کتله خور سبب کاهش درصد رطوبت نسبی به ترتیب در دالانهای کوچک، متوسط و مرتفع در غار کتله خور ۱،۱/۱، ۱/۲ درصد و در غار سهولان ۲/۲، ۲/۲، ۲/۵ درصد شده است. دلیل این قضیه همانگونه که قبلاً نیز گفته شد افزایش درجه حرارت درون غارها به دلیل حضور گردشگران می باشد چراکه با افزایش درجه حرارت مقدار درصد رطوبت نسبی کاهش می یابد. همانگونه که در شکل دیده می شود در نمودارها نقاط افت مشاهده می شود، که این نقاط افت و کاهش درصد رطوبت نسبی، دقیقاً منطبق با زمان حداکثر گردشگر و افزایش تعداد گردشگران به درون غار می باشد. مقادیر درصد رطوبت نسبی در درون غار از نوسان زیادی برخوردار نمی باشد با این وجود، تغییرات و نوسان درصد رطوبت نسبی در دالانهای کوچک، کمتر از دالانهای متوسط و بزرگ می باشد. همچنین مقادیر درصد رطوبت نسبی در تالارهای بزرگ بیشتر از دالانهای متوسط درون غار می باشد.

جدول ۵: میانگین رطوبت نسبی برداشت شده در دو ماه بهمن و فروردین (غار کتله خور و سهولان).

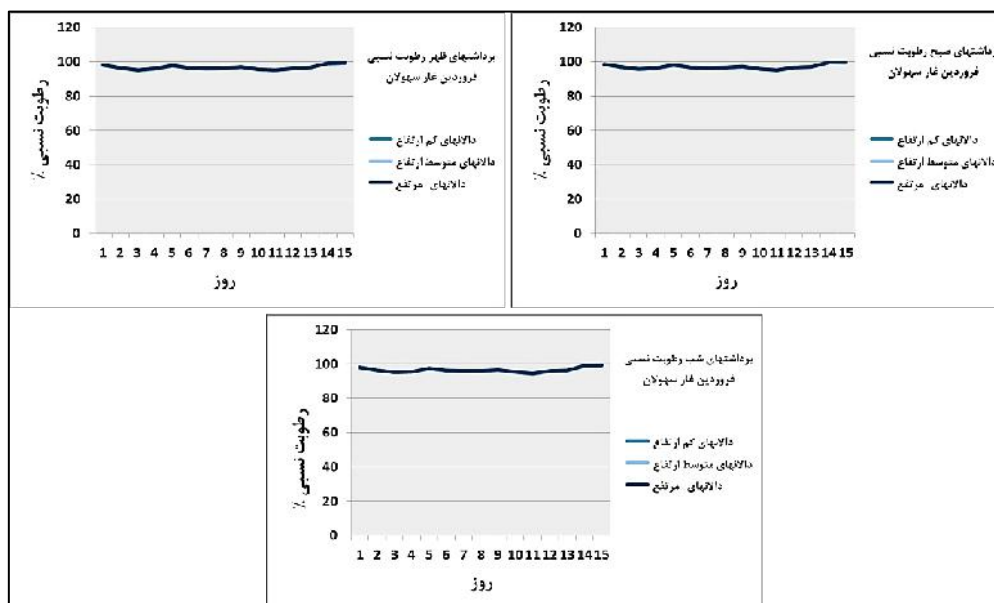
ردیف	زمان برداشت	ابعاد دالانها			زمان برداشت	ردیف	ابعاد دالانها		
		کوچک	متوسط	بزرگ			کوچک	متوسط	بزرگ
۱	صبح	۹۹.۹	۹۹.۹	۹۹.۹	۱	صبح	۹۹.۹	۹۹.۹	۹۹.۹
		بهمن	فروردین	۹۸.۱			۹۸	۹۷.۸	
۲	ظهر	۹۹.۹	۹۹.۹	۹۹.۹	۲	ظهر	۹۹.۹	۹۹.۹	۹۹.۹
		بهمن	فروردین	۹۸.۹			۹۸.۷	۹۸.۶	
۳	شب	۹۹.۹	۹۹.۹	۹۹.۹	۳	شب	۹۹.۹	۹۹.۹	۹۹.۹
		بهمن	فروردین	۹۸.۴			۹۸.۵	۹۸.۶	
۴	میانگین کل	۹۹.۹	۹۹.۹	۹۹.۹	۴	میانگین کل	۹۹.۹	۹۹.۹	۹۹.۹
		بهمن	فروردین	۹۸.۷			۹۸.۸	۹۸.۹	
۵	سهیم گردشگران (غار کتله خور)	۱.۲	۱.۱	۱	۵	سهیم گردشگران (غار سهولان)	۲.۵	۲.۳	۲.۲



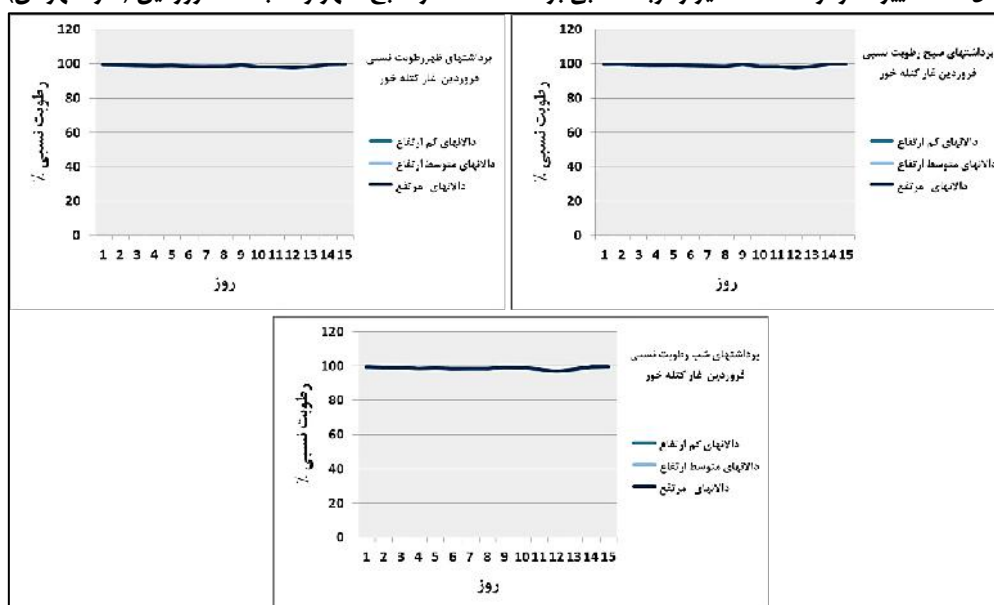
شکل ۱۰: تغییرات و نوسانات مقادیر رطوبت نسبی برداشت شده در صبح، ظهر و شب، ماه بهمن (غار سهولان).



شکل ۱۱: تغییرات و نوسانات مقادیر رطوبت نسبی برداشت شده در صبح، ظهر و شب، ماه بهمن (غار کتله خور).



شکل ۱۲: تغییرات و نوسانات مقادیر رطوبت نسبی برداشت شده در صبح، ظهر و شب، ماه فروردین (غار سهولان).



شکل ۱۳: تغییرات و نوسانات مقادیر رطوبت نسبی برداشت شده در صبح، ظهر و شب، ماه فروردین (غار کتله خور).

تأثیرات تغییرات عناصر اقلیمی ناشی از حضور گردشگران بر اشکال کارستی درون غارها

تغییرات عناصر اقلیمی و همچنین غلظت دی اکسید کربن درون غارها ناشی از حضور گردشگران بر تحول اشکال کارستی درون غارها تأثیر می‌گذارد. فرایندهای دم و بازدم گردشگران سبب تجمع حجم زیادی از گاز دی‌اکسید کربن در غارها می‌شود. همانطور که در پژوهش حاضر در غارهای کتله‌خور و سهولان مشاهده شد غلظت بالای دی‌اکسید کربن ناشی از حضور گردشگران، کاهش رطوبت نسبی و بالا رفتن درجه حرارت را به دنبال داشته و نتیجه‌ی این تغییرات در ریزاقلیم غار سبب ایجاد محیط اسیدی درون غارها و به تدریج خوردگی، انحلال، پوسته پوسته شدن، تغییر رنگ و کاهش شفافیت و زیبایی اشکال کارستی درون غارها می‌شود (شکل ۱۴). نتایج این پژوهش نشان می‌دهد تغییرات وسیع بوده و در آینده ای نزدیک روند تخریب بیشتر نیز می‌گردد زیرا هیچ برنامه ریزی و مطالعه جامعی در مورد ظرفیت غارها در پذیرش تعداد گردشگران صورت نگرفته است.



شکل ۱۴: خوردگی، تغییر رنگ، روپیدن خزه و کاهش شفافیت اشکال کارستی درون غارهای سهولان و کتله خور

نتیجه‌گیری

هرچند جذب گرد شگر به درون غارها یک فرصت مناسب برای احیا و تقویت اقته‌صادهای محلی می‌باشد اما پیامدها و خطراتی را برای اکوسیستم غارها نیز به دنبال دارد. محیط غارها به سبب طبیعت بسته‌ای که دارند بدون حضور و دخل و تصرف انسان چندان مورد تهدید واقع نمی‌شوند اما با حضور و دخل و تصرف انسانی این اکوسیستم‌های طبیعی مورد تهدید قرار می‌گیرند (مورونی^۱، ۲۰۱۳، ۸). نتایج تجزیه و تحلیل داده‌های مورد بررسی نشان داد که حضور گردشگران در درون غارها در ماه فروردین همزمان با تردد حداکثری گردشگر سبب بالارفتن غلظت دی‌اکسیدکربن در درون دالانها می‌شود و بیشترین مقادیر مربوط به دالانهای کوچک می‌باشد. در مجموع نقاط اوج در مقادیر دی‌اکسید کربن ثبت شده در مناطق مختلف دقیقاً منطبق بر روزهایی با حداکثر گرد شگر است. در رابطه با دما دامنه تغییرات از صبح تا شب روند افزایشی داشته و دماهای بالا در دالانها منطبق بر روزهایی با تعداد بالای گردشگر به درون غارها است. تغییر دمای درون غار به سبب حضور گردشگران به تدریج سبب خشک شدن اشکال کارستی درون غارها شده و شکنندگی آنها را در پی دارد. در مورد درصد رطوبت نسبی زمانهایی همراه با افت و کاهش درصد رطوبت نسبی وجود دارد که دقیقاً منطبق با زمان حداکثر گردشگر و افزایش تعداد گردشگران به درون غارها می‌باشد. از جمله پیامدهای تغییر در عناصر اقلیمی درون غارها؛ خوردگی اشکال کارستی درون غارها و نیز تاثیر بر سلامت گردشگران می‌باشد. هوای ناسالم و تمرکز دی‌اکسیدکربن در هوای درون غارها سلامت بازدیدکنندگان را به خطر می‌اندازد. تمرکز دی‌اکسیدکربن در هوای غارهای کارستی، با تاثیر مستقیم بر فرایندهای تراکم - انحلال تحول طبیعی کربنات‌ها را تحت‌تاثیر قرار می‌دهد. ورود حداکثری گردشگران به درون غارها ریز اقلیم‌هایی را به وجود می‌آورد که طبق نتایج بدست‌آمده در هر دوغار، غلظت دی‌اکسیدکربن افزایش‌یافته، درجه حرارت غار بالا می‌رود، رطوبت نسبی کاهش می‌یابد. این تغییرات سبب پو سته پو سته شدن و تغییر رنگ و از بین رفتن زیبایی اشکال درون غار می‌شود و در بعضی از مواقع تخریب و شکسته شدن این اشکال را به دنبال دارد. از بین رفتن تدریجی اشکال کارستی زیبا و جالب درون غارها بتدریج باعث تخریب و متروکه شدن غار شده و از طرف دیگر بر هم خوردن تعادل درون غار و مقادیر ناچیز انرژی سبب مختل شدن کل اکوسیستم غار خواهد شد. این امر موقعیت غارهای توریست پذیر کشورمان از جمله غار سهولان و کتله خور را به خطر می‌اندازد. بنابراین توجه به غارهای توریستی کشور از جمله سهولان و کتله خور و هرگونه برنامه‌ریزی برای آنها و ورود گردشگران، باید به دقت و شناخت کافی از اکوسیستم‌های غار صورت بگیرد. در بسیاری از کشورها ورود تعداد گردشگران به درون غارهای

^۱Moroni

توریست پذیر را کنترل می‌کنند. با توجه به شرایط کنونی غارهای کتله‌خور و سهولان انجام تحقیقات جامع در زمینه ارزیابی پتانسیل روزانه و سالانه این غارها در جذب گردشگر و همچنین تشکیل کارگروه‌هایی برای بررسی وضعیت کنونی غارهای کتله‌خور و سهولان و دیگر غارهای توریست پذیر کشور ضروری می‌باشد.

منابع

- احمدی، منیژه؛ خوش رفتار، رضا ۱۳۹۰، ارزیابی توانهای زمین گردشگری غار کتله‌خور زنجان با استفاده از تکنیک *SWOT*، اندیشه جغرافیایی، سال پنجم، شماره نهم، صص ۶۱-۷۴.
- اصغری مقدم، اصغر؛ مؤید، محسن، ندیری، عطالله ۱۳۸۵، مطالعه ژئومورفولوژی و زمین شناسی غار آبی سهولان، نشریه دانشکده علوم اجتماعی و انسانی دانشگاه تبریز، صص ۵۹-۹۱.
- بهنیافر، ابوالفضل؛ قنبرزاده، هادی، ۱۳۹۵، ژئومورفولوژی کارست (فرایندها و فرم‌های کارستی فیکاسیون با رویکرد مدیریت کاربری قلمروهای کارستی)، چاپ اول، انتشارات نگاران سبز، مشهد.
- خداوردیزاده، محمد؛ کاوسی کلاشمی، محمد، شهبازی، حبیب، ملکیان، آرش، ۱۳۹۰، برآورد ارزش های اکوتوریسمی با استفاده از روش ارزش گذاری مشروط، مطالعه موردی: غار آبی سهولان، فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۳۳، صص ۲۱۶-۲۰۳.
- رضایی، محسن؛ نخعی، محمد، ۱۳۸۷، نحوه تشکیل غار کارستی کتله خور در استان زنجان، فصلنامه زمین شناسی ایران، سال دوم، شماره ششم، صص ۱۹-۱۱.
- دیوید گیلیسون، ۱۳۸۶، غار شناسی (فرایندها، توسعه، مدیریت)، ولایتی، سعدالله؛ بهنیافر، ابوالفضل. چاپ اول، مشهد، انتشارات سخن گستر و معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد.
- کریمی سلطانی پیمان، ۱۳۹۵، نقش گردشگران در انحلال پذیری اشکال کارستی ثانویه درون غار علیصدر همدان، ملکی، امجد، رساله دکتری، رشته جغرافیای طبیعی؛ گرایش ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی کرمانشاه، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه جغرافیا.
- کریمی سلطانی پیمان؛ رضایی، کیومرث، ۱۳۹۳، نوسان روزانه و ماهانه مقادیر دی اکسید کربن درون غار علیصدر همدان و سلامت گردشگران، همایش ملی زمین شناسی و اکتشاف منابع، شیراز.
- مختاری، داود، ۱۳۹۴، ژئوتوریسم، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تبریز، تبریز.
- ملکی، امجد؛ قبادی، محمدحسین؛ کریمی سلطانی، پیمان، ۱۳۹۴، نقش گردشگران در انحلال اشکال کارستی ثانویه درون غارها (مطالعه موردی: غار علیصدر همدان)، جغرافیا و پایداری محیط، دوره پنجم، شماره ۱۶، صص ۱-۱۵.
- ملکی، امجد؛ کریمی سلطانی، پیمان، عبدالملکی، علی اکبر، ۱۳۹۳، گرد شگران و نقش آنها در تغییرات ریزاقلیم درون غارها (مطالعه موردی: غار علیصدر همدان)، همایش ملی زمین شناسی و اکتشاف منابع، شیراز.
- Baker, A. W., 2014. The Jenolan environmental monitoring program. *Proceedings of the Linnean Society of New South Wales* 136, pp 19-34.
- Calaforra J.M., Fernández-Cortés A., Sánchez- Martos F., Gisbert J. & Pulido-Bosch A., 2003. Environmental control for determining human impact and permanent visitor capacity in a potential show cave before tourist use, *Environmental Conservation*, 30(2):pp 160-16.
- De Freitas, C. R., 2010. The role and importance of cave microclimate in the sustainable use and management of show caves. *Acta Carsologica*, 39(3):pp477-489.

- Ek, C., Gewalt, 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.
- Šebela, S., Prelovšek, M., & Turk, J., 2013. Impact of peak period visits on the Postojna Cave (Slovenia) microclimate. *Theoretical and Applied Climatology*, 111(1-2):pp 51-64.
- Hotzl, H. (1999). Industrial and urban produced impacts. UNESCO project IGCP379, karst processes and the carbon cycle. 178-183.
- Hutacharern, C., 2004. The Effects of Human impacts on Cave and Karst Biodiversity Thailand Component, ARCBC, Thailand. pp1-123.
- Kermode, L., 1974. Glowworm Cave, Waitomo, Conservation Study. NZ, *Speleological Bulletin*, 5: pp. 329-344.
- Lang, M., Faimon, J., Godissart, J., & Ek, C., 2016. Carbon dioxide seasonality in dynamic caves: the roles of ventilation modes and advective fluxes. *Theoretical and Applied Climatology*, <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-016-1858-y>.
- Lang, M., Faimon, J., Pracny, P., Kejiková, S., 2017. A show cave management: Anthropogenic CO₂ in atmosphere of Vypustek Cave (Moravian Karst, Czech Republic), *Journal for Nature Conservation* 35:pp 40-52.
- Linan, C., Vadilo, I., Carrasco, F., 2008. Carbon Dioxide Concentration Air within the Narja Cave, *International journal of speleology*, 37:pp 99-106.
- Maleki, A., Karimi Soltani, P., 2015. Tourists and their role in microclimatic changes inside the caves case study: Ali Sadr Cave (Hamedan, Iran), *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)*, Vol. 6, No. 3:pp 535-541.
- Michie, Neville Alexander., 1990. An Investigation of the Climate, Carbon Dioxide and Dust in Jenolan Caves, N.S.W., A Thesis presented for the degree of Doctor of Philosophy in the School of Earth Sciences Macquarie University :298.
- Moroni, M., 2013. Radon and Carbon Dioxide Monitoring as approach to touristic exploitation of Caves, 5eme Colloque National du Patrimoine Geologique, Tunis :pp1-11.
- Smith, M.J., Leah Burns, G., 2011. Australia's Crystalline Heritage: Issues in Cave Management at Jenolan Caves, *Helictite*, 40 (2):pp 27-34.
- Song L., Wei X. & Liang F., 2000. The influences of cave tourism on CO₂ and Cave, temperature in Baiyun Hebei, China, *International Journal of Speleology*, 29 B (1/4):pp 77-87.