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

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 تائید 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 به‌وجودمی‌آورد. افزایش غلظت دی-اکسیدکربن ناشی از حضور گردشگران سبب، کاهش PH محیط و شکل گیری یک محیط اسیدی می‌شود. ایجاد محیط اسیدی در درون غارها، انحلال و پوسته پوسته شدن اشکال کارستی درون آنها را به‌دنبال دارد. جهت بررسی این تغییرات، غارهای کتله‌خور 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 دی اکسید کربن درون غارها، برداشت ها در بهمن ماه به سبب تعداد کم گردشگر و ماه فروردین به دلیل حضور بالای گردشگر در درون غارها با استفاده از دستگاه سه کارهٔ 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 PPM ۱۵۰۳ و در غار کتله خورPPM ۱۲۴۸ 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 ۱/۲درصد است.

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

---

* نویسنده مسئول: E-mail: ta.abdolmaleki@gmail.com

مقدمه

یکی از تماشایی ترین نتایج عمل فرسایش آبهای زیرزمینی در سنگهای آهکی، تشکیل غارها است . غارها از دیرباز برای بشـر، بعنوان پناهگاه، تامین آب و غذا و یا بعنوان تندیسـی شـگفت‌آور مورد توجه بوده‌اند. بهره‌برداریهای اخیر از غارها، مانند معدن‌کاوی سـازندهای غاری و فضـولات خفاش‌ها (بویژه در طی جنگلهای داخلی آمریکا)، برق آبی از غار رودها و چشمه‌ها و استفاده بصورت آسایشگاه، توسعه یافته‌است (گیلیسون[۱]،۱۳۸۶، ۳۵۹). غارها به عنوان مهم‌ترین ژئوسایت[۲] زیرزمینی، از جمله اشکال ژئومورفولوژیکی حساس و شکننده هستند(مختاری، ۱۳۹۴، ۱۱۸). سالانه بیش از ۲۰ میلیون نفر تنها از۶۵۰ غار دیدن می‌کنند. آمار بی رویهٔ بازدیدکنندگان، سـبب آشـفتگی در محیط طبیعی غارها شـده و به تدریج تخریب کامل اکوسـیسـتم غارها را در پی دارد (هوتاچارن[۳]،۲۰۰۴، ۱۷) هر انسـان بطور متوسـط PPM ۱۰۳ /۴۰ دی اکسیدکربن از طریق تنفس آزاد می‌کند(اک[۴] و همکاران، ۱۹۸۵، ۱۷۴). فرایندهای دم و بازدم گرد شگران سبب تجمّع حجم زیادی از گاز دی اکسید کربن در غارها می‌شود. ورود تعداد زیاد گردشگران به درون غارها، سبب افزایش غلظت دی اکسید کربن درون غارها می شود. هرچه تعداد بازدیدکنندگان و مدّت زمان حضور آنها در درون غارها افزایش یابد، غلظت و تجمّع دی اکسـید کربن نیز افزایش پیدا می‌کند (ملکی و همکاران، ۱۳۹۴، ۳). مطالعات انجام‌یافته در ایران نشان می‌دهد؛ سهم گردشگران در تغییرات مقادیر دی اکسیدکربن، درجه حرارت و رطوبت نسبی به شکل روزانه و ماهانه مشهود است بطوریکه حضور گرد شگران در غار علیصدر 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،درصد دی اکسیدکربن با منشأ انسـانی، بیش از ۷ برابر درصـد دی اکسـید کربن با منشـأ طبیعی در درون غار می‌باشـد(ملکی و همکاران، ۱۳۹۳، ۱). بیشـترین تغییرات روزانه و ماهانه در درصـد دی اکسـیدکربن مربوط به تالارهای بزرگ و کمترین تغییرات به دالانهای کوچک مربوط می‌شـود (کریمی سـلطانی و رضـایی، ۱۳۹۳ ، ۱). در پژوهش ملکی و همکاران،۱۳۹۴، با شـبیه سـازی 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 شده است. طبق نتایج این پژوهش مقدار انحلال و پوسته پوسته شدن اشکال ثانویه دورن غار علیصدر ۰/۰۷۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب در سال است. همچنین مطالعات انجام‌گرفته در سایر نقاط جهان شامل: نتایج حاصل از پژوهش کرمود[۵](۱۹۷۴) در غار گلوورم[۶] نیوزیلند نشان داد که بالارفتن دی‌اکسیدکربن ناشی 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 کاسته‌می‌شود. سانگ[۷] و همکاران، (۲۰۰۰) ، به بررسی تاثیرات گردشگری غار بر CO_2 و دما در غار بایون[۸] در اسـتان هبی چین، در دو زمان اوج بازدید از غار، تعطیلات یک می تا هفت می۲۰۰۰ و زمان معمولی بازدید از غار اگوست و اکتبر ۲۰۰۰، پرداخته اند، نتایج این بررسی نشان داد که بازدیدکنندگان شدیدا بر روی نوسانات مقادیر CO_2 و دما تاثیر می‌گذارند. کالافورا[۹] و همکاران، (۲۰۰۳)، در زمینه‌ی کنترل محیطی جهت تعیین تاثیر انسان در غاری در گرانادا اسـپانیا پژوهشـی انجام دادند. آنها تاثیر دو گروه بازدیدکننده ۹۸۰ و ۲۰۸۸ نفری به درون غار را مورد

---

۱ Gillieson

۲ Geo sites

۳ Hutacharen

4 Ek et al

۵ Kermode

6 Glowworm Cave

7Song et al

8 BAIYUN

9 Calaforra et al

بررســی قراردادند. طبق نتایج تاثیر هر دو گروه بازدید کننده بر دمای غار بســیار ســریع بود (۲/۵ دقیقه). نتایج پژوهش لنین[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 ۷۵۰PPM می‌با شد. افزایش مقدار تمرکز دی‌اک سیدکربن همزمان با ف صول و روزهایی با تراکم بالای بازدیدکنندگان بوده است. دی فریتس[۳] (۲۰۱۰)؛ در این پژوهش، نقش و اهمیت ریز اقلیم غار در ا ستفاده پایدار و مدیریت غارهای توریستی نیوزیلند مورد برر سی قرارگرفته ا ست. طبق نتایج، مدیریت غار، اولا با تعیین ســطح مطلوب یا رنج شــرایط زیســت‌محیطی و دوما حفظ آنها باید مورد توجه قرار گیرد. در پژوهش مورونی[۴] (۲۰۱۳) به بررســی نقش گردشــگران در تغییر برخی از عناصــر 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 شده‌ا ست. طبق نتایج این پژوهش افزایش تعداد بازدیدکنندگان در یک روز از ۲۰۰نفر به ۳۵۰۰نفر، دمای هوای غار ۰/۵درجه ســانتی‌گراد بالارفته اســت. افزایش ۵ برابری در تعداد بازدیدکنندگان منجر به افزایش غلظت دی‌اکسـید کربن شـده اسـت و غلظت دی‌اکسیدکربن از ۴۵۰ PPM به ۱۷۵۰ PPM (دسامبر ۲۰۰۹–ژانویه ۲۰۱۰) افزایش یافته‌است. پژوهش بی‌کر[۶] ،(۲۰۱۴) در غارهای جینولان[۷] طی سالهای (۲۰۰۹–۲۰۱۲) که خلا صه‌ی نتایج کلیدی از چهار سال نظارت بر اتم سفر درون غار اســت. طبق نتایج افزایش ناگهانی دمای غار از ۰/۹درجه ســانتیگراد در کمتر از ۱۲ دقیقه که با حضــور بازدیدکنندگان و تورهای تجاری مرتبط است. پژوهشهای لنگ و همکاران (۲۰۱۶)، (۲۰۱۷)؛ تغییرات فصلی در مقادیر دی‌اکسیدکربن در غار و نیز اثر انســان روی مقادیر دی‌اکســیدکربن در غار ویی پاســتک[۸]، در موراویان کارســت[۹] (جمهوری چک)، مطالعه شده‌است. نتایج این پژوهش نشان داد در زمان حضور گردشگران، جریان دی‌اکسیدکربن نا شی از حضور بازدیدکنندگان در تالار به بیش از $\sim 0.13\ \mathrm{mol\ s^{-1}}$ می‌ر سد و از دیگر جریان های طبیعی دی‌اک سیدکربن غار بی شتر بود. فا صله بین گروه‌های بازدید از غار، برای‌اینکه محیط غار به شرایط طبیعی برگشت کند، باید بیش از ۶ ساعت باشد. ، هر افزایشی در غلظت CO_2 باعث افزایش هجوم آب به کلســیت خواهد شــد. در این پژوهش، غار ســهولان به عنوان دومین غار آبی ک شور و همچنین غار کتله خور، به عنوان طولانی‌ترین غار ایران و دومین غار مهم توری ستی ک شور که سالانه پذیرای تعداد زیادی از گردشگران می‌باشند، به سبب اثراتی که تغییرات دما ، رطوبت نسبی و دی اکسید کربن بر تحول و تکامل ا شکال کار ستی در درون غارها بوجود می آورند در این مقاله تغییرات این عنا صر اقلیمی و همچنین غلظت دی اک سید کربن درون غارهای کتله خور و سهولان و نقش ورود و حضور گردشگران در این تغییرات بررسی شده است.

مبانی نظری

اکو سیستم‌های کار ستی 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 داده‌است. (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] V´ypustek Cave
[9] Moravian Karst

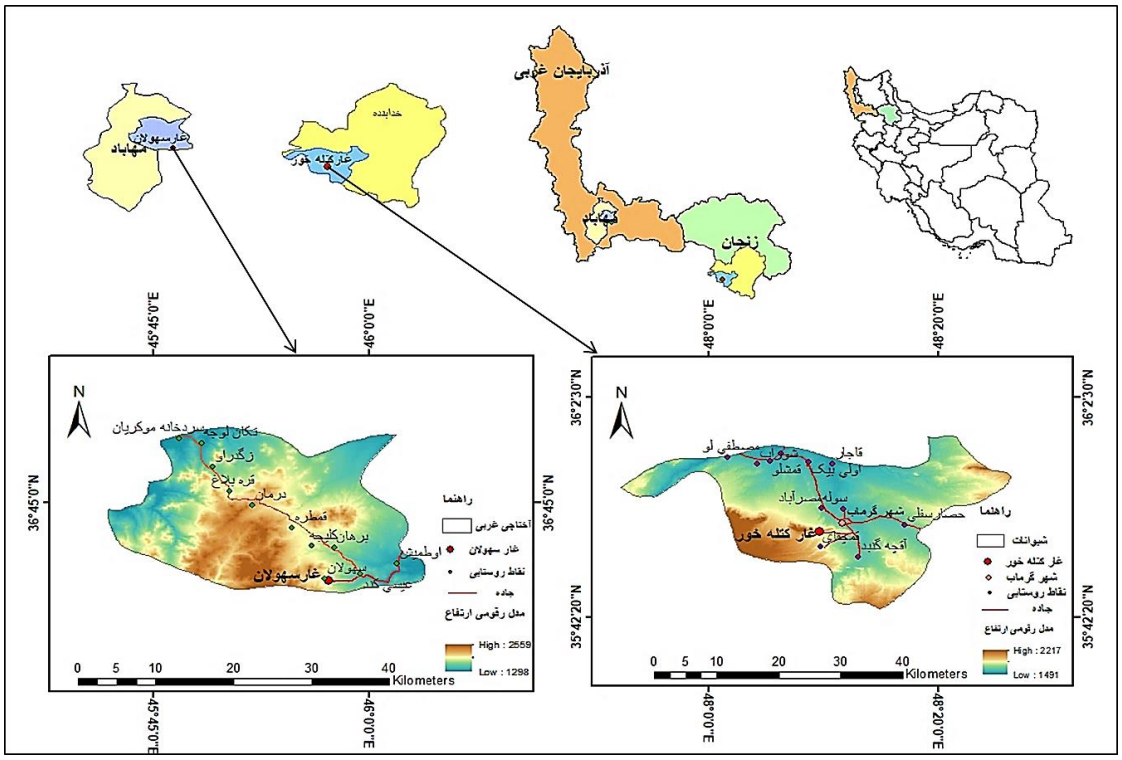
دارد. بازدید از غارها موجب هوازدگی جدی ا سپلئودم‌ها[1](غارنه شته‌ها) و تغییر یافتن رنگهای ا صلی شان و گاهی اوقات بطور کامل آسیب دیده یا تخریب می شوند (سانگ و همکاران، ۲۰۰۰، ۷۷). هر جهانگرد وارده به غار مقدار گرمایی برابر ۸۰ تا ۱۲۰ وات ساطع می‌کند که در نتیجه منجر به افزایش دمای غار خواهد شد. در بعضی 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 Co_2 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 خواهدشد . عبور سیاحان از غار آلتامیرا۲ (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 ، ۳۶۸،۳۶۹).

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 ارتفاع۲۲۲۲ 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 تقریبا 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 قراردارد و ازنظر لیتولوژیکی کوه دربرگیرنده غار، از دولومیت‌ها و آهکهای دولومیتی به سن پرمین (سازند روته) 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،۶۴،۶۷). 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 سازندآهکی قم در کوه سقزلو قرارگرفته است. اقلیم محلی نیمه خشک با زمستان سرد می‌باشد. متوسط بارندگی سالیانه حدود ۳۰۰میلیمتر و عمدتا به شکل برف است. غار کتله خور یک غار سه طبقه می‌باشد. محدوده ارتفاعی طبقات از۱۷۰۵ 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، داده های 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 گردشگران ایجاد گردیده است، برداشت‌ها در ماه فروردین به عنوان زمان حداکثر تردد گردشگران به عنوان زمان آزمایش و ماه بهمن به عنوان زمان حداقلی تردد گردشگران 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 گردشگران در ماه فروردین مقایسه شد. به سبب تنوع در ابعاد دالانها در هر دو غار از نظر طول و عرض و به سبب حضور گردشگران در تمام فضای غار برداشت‌ها و اندازه‌گیری‌های روزانه به شکل نقطه‌ای و با تعیین نقاط خاصی از درون غار صورت نگرفته‌است و با حرکت در غارها چه درمسیرهای آبی و چه در مسیرهای خشکی، با فواصل ۳۰تا ۴۰متری مقادیر ثبت 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 دالان ها 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 ۵متر) تقسیم گردید. برداشت ها با استفاده از دستگاه سه کارهٔ دما، رطوبت و Co_2 سنج، مدل (AZ 77535) در دو دوره پانزده روزه، همزمان با تردد حداقلی گردشگران در درون غارها (غارکتله خور) و (غار سهولان) در ماه بهمن و تردد حداکثری گردشگران در درون غارها در ماه فروردین صورت پذیرفت. برداشت ها به شکل روزانه و در سه نوبت صبح (قبل از ورود گردشگران)، ظهر و شب (بعد از خروج گردشگران)، در هر دو غار صورت گرفته است. در نهایت، با بدست آوردن تفاضل بین برداشت‌ها و اندازه‌گیری‌های حاصل از ماه فروردین، از برداشت‌ها و اندازه‌گیری‌های حاصل از ماه بهمن، نقش و تاثیر گرد شگران در تغییرات مقادیر دی‌اکسیدکربن، درجه حرارت و رطوبت

نسبی در هردو دوره برداشت‌ها به دست آورده شد. در جدول (۱) آمارتعداد 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 ۱۳۹۶غار 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: آمارتعداد گردشگر ماه فروردین غار سهولان و کتله‌خور

ردیف	تاریخ	تعداد گردشگر غار کتله خور
۱	۱۳۹۷/۱/۱	۳۰۵
۲	۱۳۹۷/۱/۲	۷۱۰
۳	۱۳۹۷/۱/۳	۹۵۱
۴	۱۳۹۷/۱/۴	۱۱۵۱
۵	۱۳۹۷/۱/۵	۹۷۴
۶	۱۳۹۷/۱/۶	۱۰۳۹
۷	۱۳۹۷/۱/۷	۱۱۸۲
۸	۱۳۹۷/۱/۸	۱۲۹۸
۹	۱۳۹۷/۱/۹	۸۴۱
۱۰	۱۳۹۷/۱/۱۰	۱۳۰۴
۱۱	۱۳۹۷/۱/۱۱	۱۴۱۰
۱۲	۱۳۹۷/۱/۱۲	۱۵۶۸
۱۳	۱۳۹۷/۱/۱۳	۱۲۵۱
۱۴	۱۳۹۷/۱/۱۴	۱۲۵
۱۵	۱۳۹۷/۱/۱۵	۱۱۵
۱۶	جمع	۱۴۲۲۴

ردیف	تاریخ	تعداد گردشگر غار سهولان
۱	۱۳۹۷/۱/۱	۱۲۰۰
۲	۱۳۹۷/۱/۲	۲۳۵۰
۳	۱۳۹۷/۱/۳	۳۲۵۶
۴	۱۳۹۷/۱/۴	۲۸۰۰
۵	۱۳۹۷/۱/۵	۱۳۸۰
۶	۱۳۹۷/۱/۶	۲۴۰۰
۷	۱۳۹۷/۱/۷	۲۷۳۶
۸	۱۳۹۷/۱/۸	۲۶۰۰
۹	۱۳۹۷/۱/۹	۲۰۰۰
۱۰	۱۳۹۷/۱/۱۰	۳۰۶۵
۱۱	۱۳۹۷/۱/۱۱	۳۵۶۰
۱۲	۱۳۹۷/۱/۱۲	۲۶۰۰
۱۳	۱۳۹۷/۱/۱۳	۲۳۰۰
۱۴	۱۳۹۷/۱/۱۴	۴۲۴
۱۵	۱۳۹۷/۱/۱۵	۳۸۰
۱۶	جمع	۳۳۰۵۱

بحث و یافته‌ها

تغییرات دی اکسید کربن

بخشی از مکانیسم‌های اساسی تغییرات ناشی از فعّالیّتهای انسانی در درون غارها ناشی از افزایش تمرکز Co_2می باشد که سبب زوال پذیری اشکال درون غارها از قبیل استالاگتیت، استالاگمیت‌ها و غیره می شود. اصولاً تراکم Co_2 موجود در غارها منشأ طبیعی و بیولوژیک داشته اما در غارهایی که با حجم بالایی از گرد شگران روبه‌رو ست فرآیندهای دم و بازدم آنها نیز سبب تجمع حجم زیادی از گاز دی اکسید کربن در غارها می شود. (ملکی و همکاران، ۱۳۹۳، ۳).

الف- سهم روزانه گردشگران در تولیدCO_2

در جدول (۲) میانگین پانزده روزه دی‌اکسیدکربن(برحسب ppm) برداشت شده در دو زمان حداقلی و حداکثری حضور گردشگر (ماه بهمن و ماه فروردین) در درون غارهای سهولان و کتله خور آمده است. همانگونه که در جدول (۲) مشاهده می‌شود میانگین پانزده روزه دی اکسیدکربن در دالانهای کوچک،متوسط و بزرگ درون غار سهولان در بهمن ماه به ترتیب مقادیر ۲۵۲،۲۲۶، ۲۱۶و در غار کتله خور به ترتیب مقادیر۲۳۰،۲۱۱ ،۱۸۸ بوده است. میانگین پانزده روزه دی‌اکسیدکربن در دالانهای کوچک،متوسط و بزرگ درون غار سهولان در فروردین به ترتیب مقادیر ۱۵۰۳،۱۴۹۰ ، ۱۴۶۶ و در غار کتله خور به ترتیب مقادیر۱۱۱۸ ،۱۱۰۸ ، ۱۰۹۶ می باشد. تفاضل بین مقادیر دی اکسید کربن در ماه بهمن و ماه فروردین ، مقدار دی اکسیدکربن تولید شده توسط گردشگران در فضای درون غار به ترتیب مقادیر۱۲۵۱، ۱۲۶۴، ۱۲۵۰ در غار سهولان و مقادیر ۸۸۸، ۸۹۷ ، ۹۰۸در غار کتله خور می‌باشد.

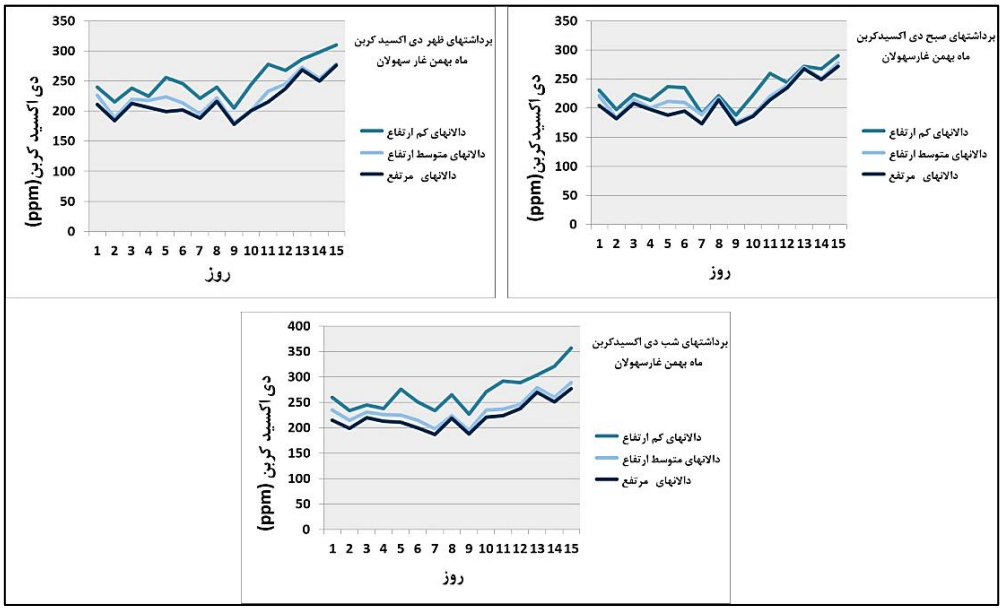
جدول ۲ : میانگین دی اکسیدکربن برداشت شده در دو ماه بهمن و فروردین (غار کتله خور و سهولان).

ردیف	زمان برداشت	ابعاد دالانها / ماه	کوچک	متوسط	بزرگ
۱	صبح	بهمن	۲۲۲	۱۹۳	۱۸۰
		فروردین	۹۶۸	۹۶۰	۹۵۱
۲	ظهر	بهمن	۲۲۹	۲۱۴	۱۸۹
		فروردین	۱۱۳۸	۱۱۲۸	۱۱۱۴
۳	شب	بهمن	۲۳۸	۲۲۷	۱۹۵
		فروردین	۱۲۴۸	۱۲۳۶	۱۲۲۳
۴	میانگین کل	بهمن	۲۳۰	۲۱۱	۱۸۸
		فروردین	۱۱۱۸	۱۱۰۸	۱۰۹۶
۵	سهم گردشگران (غار کتله خور)		۸۸۸	۸۹۷	۹۰۸

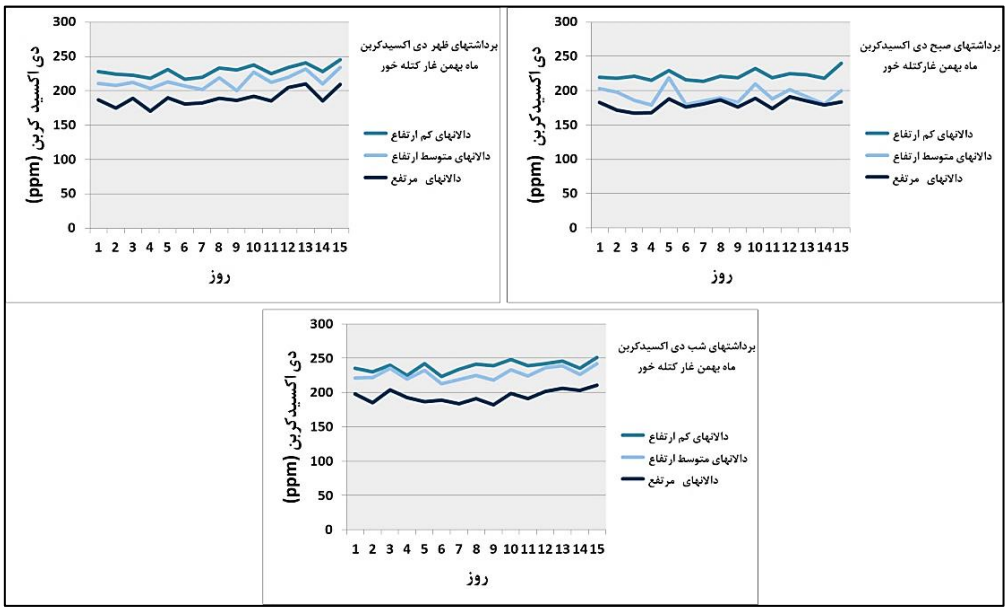
ردیف	زمان برداشت	ابعاد دالانها / ماه	کوچک	متوسط	بزرگ
۱	صبح	بهمن	۲۳۳	۲۱۸	۲۱۱
		فروردین	۱۰۵۹	۱۰۵۴	۱۰۴۵
۲	ظهر	بهمن	۲۵۱	۲۲۵	۲۱۶
		فروردین	۱۶۰۶	۱۵۹۱	۱۵۸۱
۳	شب	بهمن	۲۷۱	۲۳۴	۲۲۲
		فروردین	۱۸۴۵	۱۸۲۴	۱۷۷۳
۴	میانگین کل	بهمن	۲۵۲	۲۲۶	۲۱۶
		فروردین	۱۵۰۳	۱۴۹۰	۱۴۶۶
۵	سهم گردشگران (غار سهولان)		۱۲۵۱	۱۲۶۴	۱۲۵۰

ب- نقش تعداد گردشگران در غلظت co2

تعداد گردشگران، سن،مدت زمان حضور و نوع فعالیّت فیزیکی آنها، تعیین کننده مقدار دی‌اکسیدکربن تولید شده از طریق بازدم آنها می باشد(ملکی و همکاران، ۱۳۹۳، ۳). در شکلهای (۲) و (۳) تغییرات و نوسانات مقادیر برداشت شده دی‌اکسیدکربن هنگام صبح، ظهر، شب در غار سهولان و کتله خوردر مدت ۱۵ روز ماه بهمن نشان داده‌شده‌است. با توجه به اشکال، مقادیر دی‌اکسید کربن نسبت به ماه فروردین از نوسانات کمتری برخوردار می‌باشد. شکلهای (۴) و (۵) تغییرات و نوسانات مقادیر برداشت‌شده دی‌اکسید کربن هنگام صبح، ظهر، شب و بعد از خروج گردشگران در غار سهولان و کتله خوردر مدت ۱۵ روز ماه فروردین نشان داده‌شده‌است. همانگونه که مشاهده می‌شود، بیشترین مقادیر مربوط به دالانهای کوچک و در هرسه دالان نوسانات و تغییرات دیده می‌شود. 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 می‌باشد.



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 درصبح،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 (غارکتله خور).

تغییرات دما

سـهم هر فرد در هر سـاعت حضـور در درون یک غار، تولید بیش از ۶۰کالری گرما و ۴۰گرم تبخیر می‌باشـد. بنابراین حضور بازدیدکنندگان در غارها سبب افزایش درجه حرارت در درون غارها می‌شود(هاتزل[۱]، ۱۹۹۹: ۱۸۰). همانگونه که در جدول (۳) دیده می شود میانگین ۱۵ روزه ثبت شده، صبح، ظهر و شب برای دالانهای کوچک، متو سط و بزرگ در غار سـهولان در ماه بهمن به ترتیب ارقام۱۴/۱۴،۱/۲، ۱۳/۹ درجه سـانتیگراد و در غار کتله خور به ترتیب۱۲/۱۲،۴/۵، ۱۲/۱درجه سانتیگراد می‌باشد. در فروردین به ترتیب ارقام ۱۵/۱۵،۴/۵ ، ۱۵/۳درجه سانتیگراد و در غار کتله خور به ترتیب ۱۵/۸، ۱۵/۷، ۱۵/۵ درجه سـانتیگراد می‌باشـد. بالارفتن درجه حرارت درون غارها از یک سـو سـبب افزایش بخار آب در غارها شـده و از سـوی دیگر،کاهش درصـد رطوبت نسـبی را به دنبال دارد.کاهش درصـد رطوبت نسـبی 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).

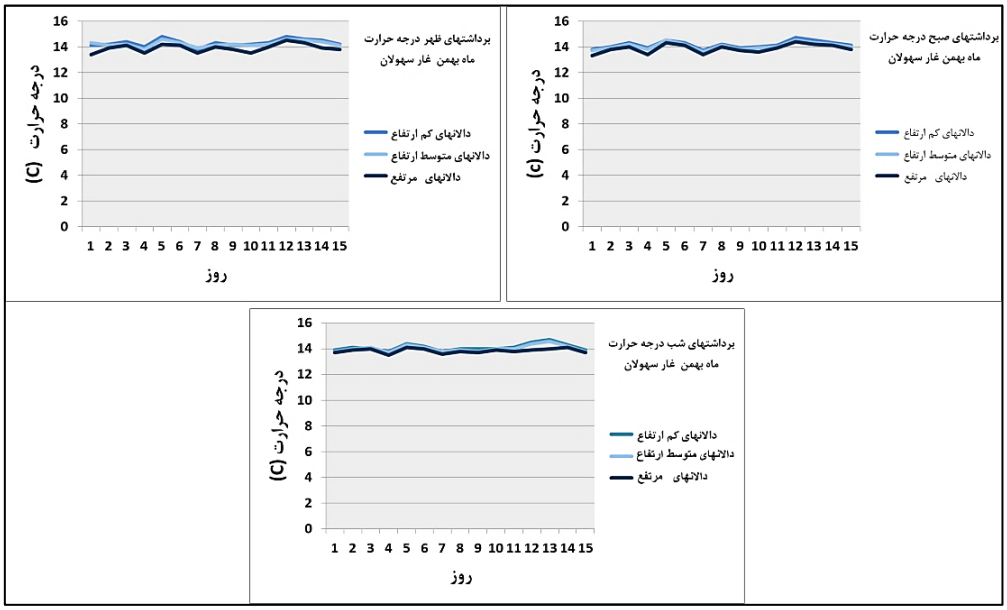
ردیف	زمان برداشت	ابعاد دالانها / ماه	کوچک	متوسط	بزرگ
۱	صبح	بهمن	۱۲.۵	۱۲.۴	۱۲
		فروردین	۱۵.۵	۱۵.۴	۱۵.۳
۲	ظهر	بهمن	۱۲.۶	۱۲.۵	۱۲.۱
		فروردین	۱۵.۸	۱۵.۷	۱۵.۵
۳	شب	بهمن	۱۲.۴	۱۲.۲	۱۲.۱
		فروردین	۱۶	۱۵.۹	۱۵.۸
۴	میانگین کل(غار کتله خور)	بهمن	۱۲.۵	۱۲.۴	۱۲.۱
		فروردین	۱۵.۸	۱۵.۷	۱۵.۵

ردیف	زمان برداشت	ابعاد دالانها / ماه	کوچک	متوسط	بزرگ
۱	صبح	بهمن	۱۴.۲	۱۴	۱۳.۹
		فروردین	۱۵	۱۴.۹	۱۴.۸
۲	ظهر	بهمن	۱۴.۳	۱۴.۲	۱۳.۹
		فروردین	۱۵.۵	۱۵.۴	۱۵.۳
۳	شب	بهمن	۱۴.۱	۱۴	۱۳.۸
		فروردین	۱۶	۱۵.۸	۱۵.۷
۴	میانگین کل(غار سهولان)	بهمن	۱۴.۲	۱۴.۱	۱۳.۹
		فروردین	۱۵.۵	۱۵.۴	۱۵.۳

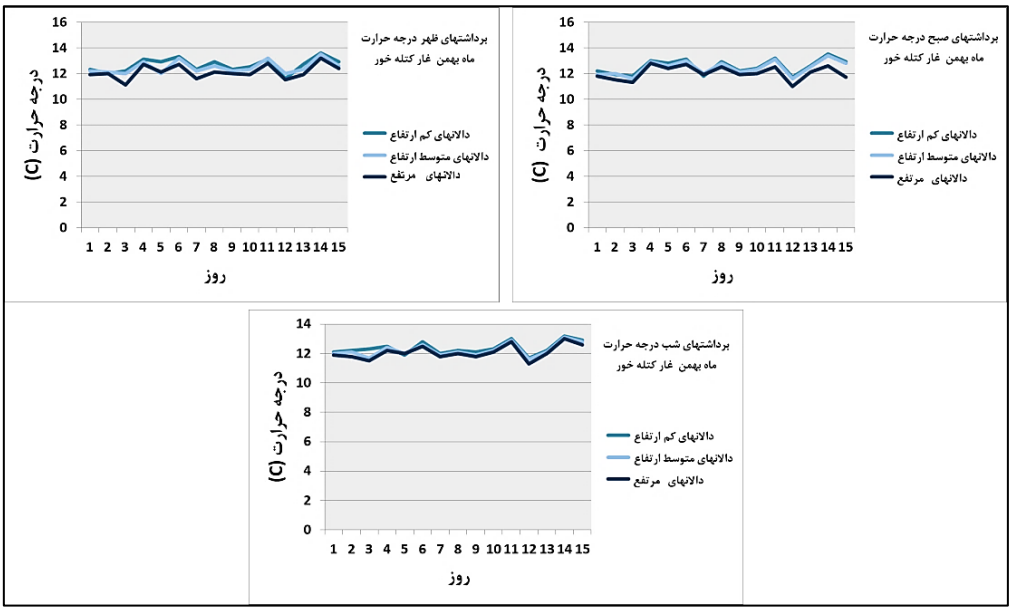
[۱] Hotzl

نقش تعداد گردشگران در افزایش دما

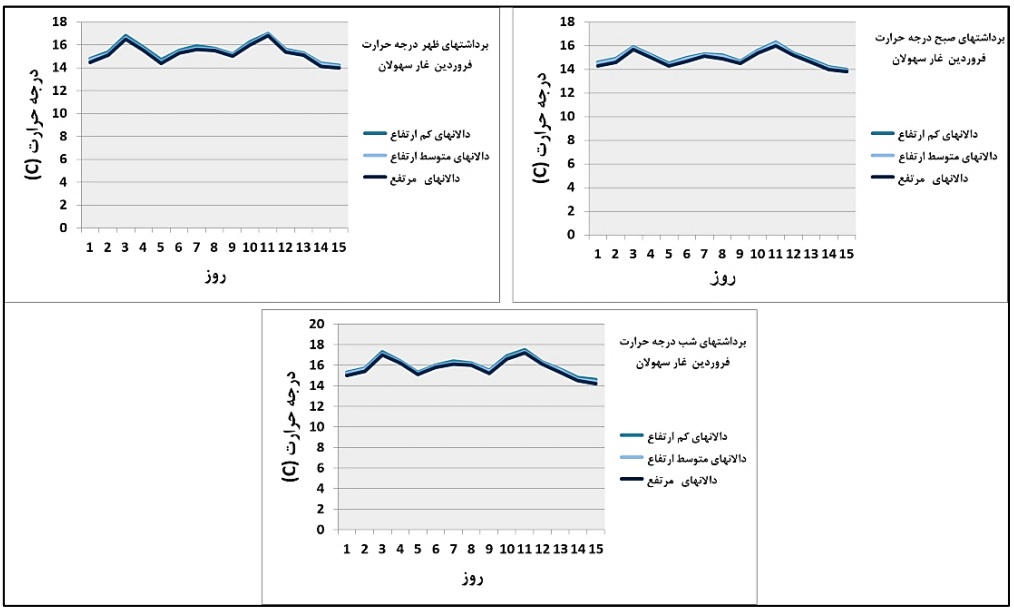
در شکلهای (۶) و (۷) تغییرات و نوسانات مقادیر برداشت شده‌ی درجه حرارت هنگام صبح، ظهر، شب در غار سهولان و کتله خوردر مدت ۱۵ روز ماه بهمن نشـان داده‌شـده اسـت. با توجه به اشـکال نوسـانات و تغییرات مقادیر درجه حرارت زمستان نسبت به ماه فروردین کمتر می‌باشد. در شکلهای (۸) و(۹) تغییرات و نوسانات درجه حرارت در طی برداشت‌های ۱۵ روزه هنگام صبح، ظهر، شب و بعد از خروج گردشگران در غار سهولان و کتله خوردر فروردین نشان داده شده‌است. همانگونه که در شکلهای (۸) و(۹) در غارهای سهولان و کتله خور مشاهده می شود، دامنه تغییرات از صبح تا شب روند افزایشی داشته است. همچنین در شکلها نقاط پیک دیده می شود 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 خور).



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 می‌با شد. برخلاف هوای آزاد و جو پیرامون زمین که معمولاً دارای رطوبت زیر ا شباع بوده و تغییرات و نو سانات بسیار زیادی را در در صد رطوبت نشان می‌دهد،غارها غالباً دارای رطوبت بالا و تغییرات جزیی روزانه و سالانه می‌با شند(میکی[۱]، ۱۹۹۰ ، ۴۸). در جدول (۵)، مقادیر رطوبت ن سبی اندازه گیری شـده در غارهای سـهولان و کتله خور طی برداشـتهای ۱۵ روزه در ماههای بهمن و فروردین آمده اسـت. همانطور که قبلا ذکر شد، بردا شت ها در تمام نقاط غارها و به فوا صل م شخص در دالان ها و تالارهای غارها صورت

[۱] Michie

گرفتهاست و در نهایت از بردا شتها میانگین گرفته شده و به عنوان مقادیر صبح، ظهر و شب در نظر گرفته شدهاست. همین دلیل است که میانگین های رطوبت بدست آمده زیر ۱۰۰٪ است در حالیکه در بسیاری از برداشت ها رطوبت نسبی اندازهگیری شده،۱۰۰٪ بودهاست. همانگونه که در جدول (۵) مشاهده می‌شود 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، ۹۹/۹درصد و در غار کتله خور به ترتیب مقادیر۹۹/۹، ۹۹/۹، ۹۹/۹درصد 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 می‌باشد. به عبارت دیگر، برخلاف دو عنصر اقلیمی دیگریعنی درجه حرارت و دی‌اکسیدکربن که حضور گردشگران منجر به افزایش مقادیر آنها در داخل غارهای سهولان و کتله خور شده‌است، 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 می‌با شد چراکه با افزایش درجه حرارت مقدار در صد رطوبت نسبی کاهش می‌یابد.

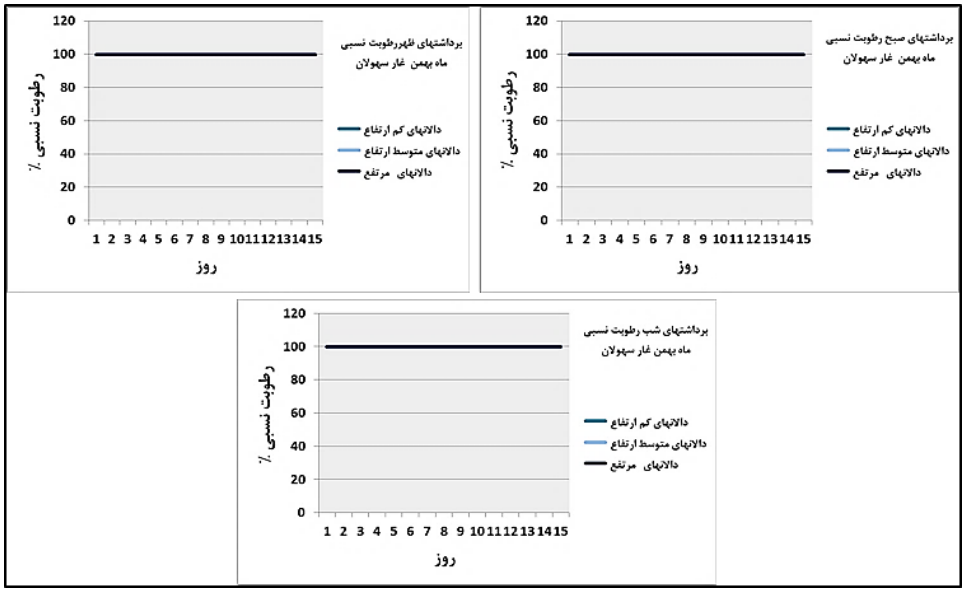
نقش گردشگران در تغییرات درصد رطوبت نسبی

با افزایش تعداد گردشگران به درون غارها، روند کاهش یا افزایش مقادیر عناصر اقلیمی درون غار تسریع می‌گردد(ملکی و همکاران، ۱۳۹۳، ۵). به این ترتیب که با افزایش تعداد گردشگران به درون غاردر روزهای حداکثر گردشگر، مقادیر دی‌اکسیدکربن 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 برداشت های صبح ظهر شب(بعد از خروج گردشگران از درون غار)در دالانهای کوچک، متوسط و تالارهای مرتفع در غار سهولان و کتله خوردر مدت ۱۵ روز ماه بهمن نشان داده شده‌است. با توجه به اشکال نوسانات و تغییرات مقادیر رطوبت نسبی در بهمن ماه نسبت به فروردین کم می‌با شد. در شکلهای (۱۲) و (۱۳) تغییرات و نوسانات رطوبت نسبی در طی بردا شت های ۱۵ روزه هنگام صبح، ظهر، شب و بعد از خروج گردشگران در غار سهولان و کتله خوردر ماه فروردین نشان داده شده است. حضور گردشگران در درون غارهای سهولان و کتله خور سبب کاهش در صد رطوبت نسبی به ترتیب در دالانهای کوچک، متوسط و مرتفع در غار کتلهخور ۱،۱/۱،۱/۲ درصد و در غار سهولان ۲/۲،۲/۵، ۲/۲ درصد شده است . دلیل این قضیه همانگونه که قبلا نیز گفته شد افزایش درجه حرارت درون غارها به دلیل حضور گردشگران می‌با شد چراکه با افزایش درجه حرارت مقدار درصد رطوبت نسبی کاهش می‌یابد. همانگونه که در شکل دیده می شود در نمودارها نقاط افت مشاهده می‌شود، که این نقاط افت و کاهش درصد رطوبت نسبی،دقیقاً منطبق با زمان حداکثر گردشگر و افزایش تعداد گردشگران به درون غار می‌باشد. مقادیر درصد رطوبت نسبی در درون غار از نوسان زیادی برخوردار نمی‌باشد با این وجود، تغییرات و نوسان درصد رطوبت نسبی در دالانهای کوچک، کمتر از دالانهای متوسط و بزرگ می‌باشد.همچنین مقادیر درصد رطوبت نسبی در تالارهای بزرگ بیشتر از دالانهای متوسط درون غار می‌باشد.

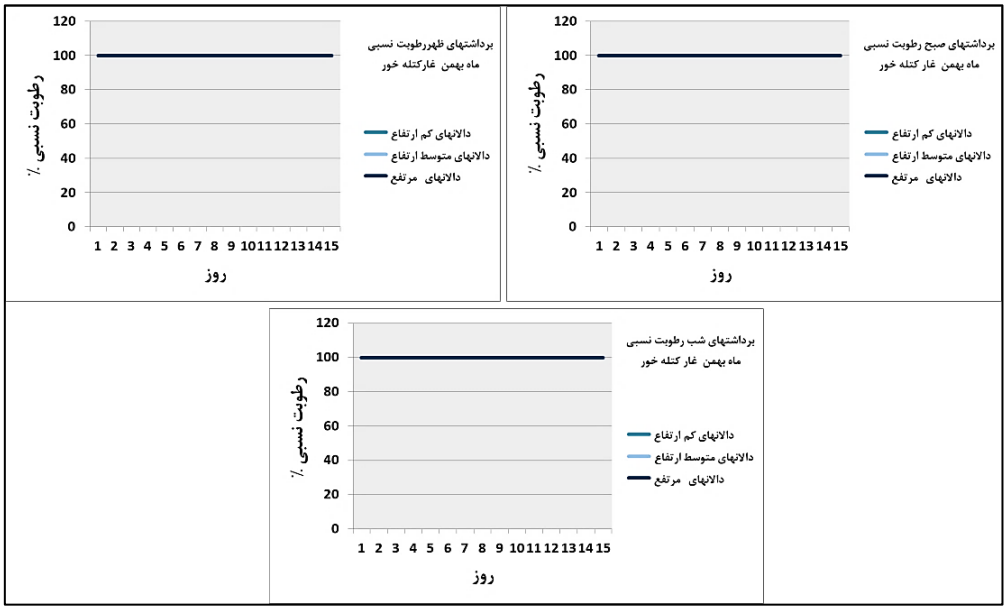
جدول۵ : میانگین رطوبت نسبی برداشت شده در دو ماه بهمن و فروردین (غار کتله‌خور و سهولان).

ردیف	زمان برداشت	ابعاد دالانها / ماه	کوچک	متوسط	بزرگ
۱	صبح	بهمن	۹۹.۹	۹۹.۹	۹۹.۹
		فروردین	۹۸.۹	۹۹	۹۹.۱
۲	ظهر	بهمن	۹۹.۹	۹۹.۹	۹۹.۹
		فروردین	۹۸.۷	۹۸.۹	۹۸.۹
۳	شب	بهمن	۹۹.۹	۹۹.۹	۹۹.۹
		فروردین	۹۸.۴	۹۸.۵	۹۸.۶
۴	میانگین کل	بهمن	۹۹.۹	۹۹.۹	۹۹.۹
		فروردین	۹۸.۷	۹۸.۸	۹۸.۹
۵	سهم گردشگران(غار کتله خور)		۱.۲	۱.۱	۱

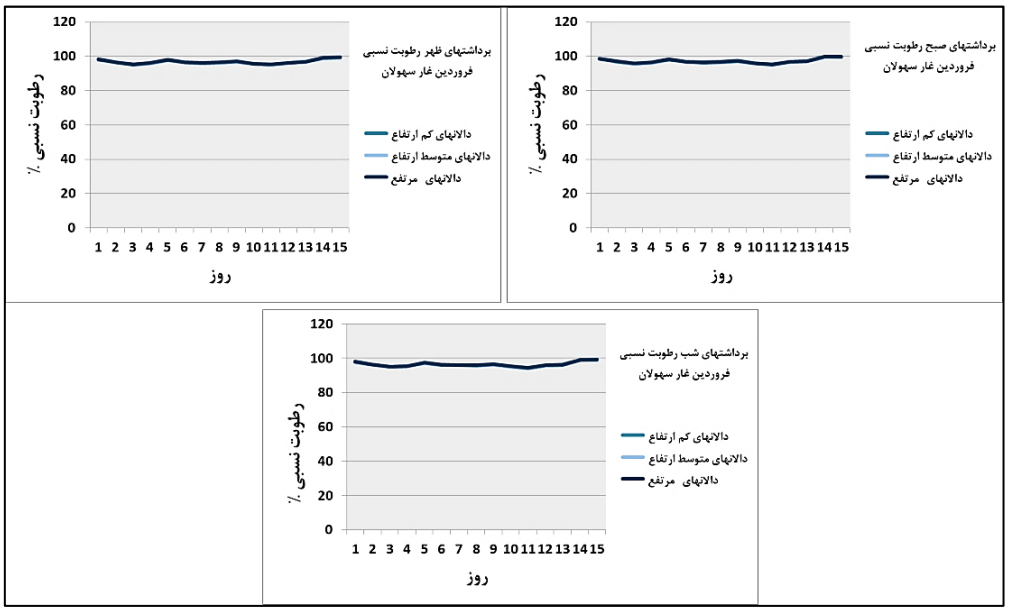
ردیف	زمان برداشت	ابعاد دالانها / ماه	کوچک	متوسط	بزرگ
۱	صبح	بهمن	۹۹.۹	۹۹.۹	۹۹.۹
		فروردین	۹۷.۸	۹۸	۹۸.۱
۲	ظهر	بهمن	۹۹.۹	۹۹.۹	۹۹.۹
		فروردین	۹۷.۴	۹۷.۶	۹۷.۷
۳	شب	بهمن	۹۹.۹	۹۹.۹	۹۹.۹
		فروردین	۹۶.۹	۹۷.۱	۹۷.۲
۴	میانگین کل	بهمن	۹۹.۹	۹۹.۹	۹۹.۹
		فروردین	۹۷.۴	۹۷.۶	۹۷.۷
۵	سهم گردشگران(غار سهولان)		۲.۵	۲.۳	۲.۲



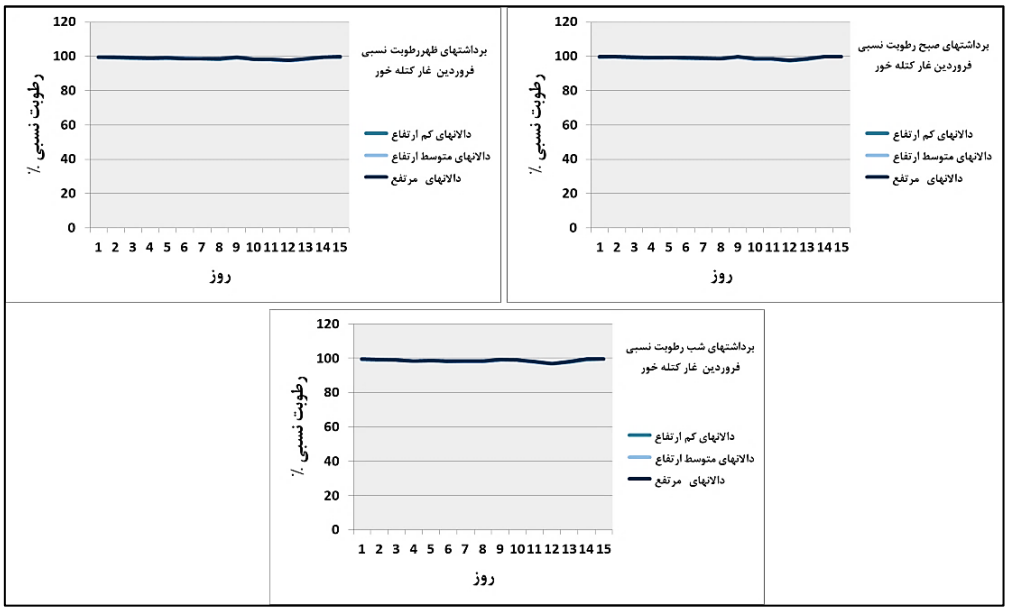
شکل ۱۰: تغییرات و نوسانات مقادیر رطوبت نسبی برداشت شده در صبح، ظهر و شب، ماه بهمن(غار سهولان).



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).

تاثیرات 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 حضورگردشگران بر تحول اشکال کارستی درون غارها تاثیر می‌گذارد. فرایند های دم و بازدم گردشگران سبب تجمّع حجم زیادی از گاز دی‌اکسیدکربن در غارها می شود .همانطور که در پژوهش حا ضر در غارهای کتله‌خور و سهولان مشاهده شد غلظت بالای دی‌اکسیدکربن نا شی از ح ضورگرد شگران، کاهش رطوبت ن سبی و بالارفتن درجه حرارت را به دنبال دا شته 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 می شود (شکل۱۴). نتایج این پژوهش نشان می‌دهد تغییرات وسیع بوده و در آینده ای نزدیک روند تخریب بیشتر نیز می گردد زیرا هیچ برنامه ریزی و مطالعه جامعی در مورد ظرفیت غارها در پذیرش تعداد گردشگران صورت نگرفته است.

شکل۱۴: خوردگی، تغییر رنگ، روییدن خزه و کاهش شفافیت اشکال کارستی درون غارهای سهولان و کتله خور

نتیجه‌گیری

هرچند جذب گرد شگر به درون غارها یک فر صت منا سب برای احیا و تقویت اقت صادهای محلی می با شد اما پیامدها و خطراتی را برای اکوسیستم غارها نیز به دنبال دارد. محیط غارها به سبب طبیعت بسته ای که دارند بدون حضور و دخل و تصرف انسان چندان مورد تهدید واقع نمی شوند اما با حضور و دخل و تصرف انسانی این اکوسیستم های طبیعی مورد تهدید قرارمی‌گیرند (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 می باشد. در مجموع نقاط اوج در مقادیر دی اکسید کربن ثبت شده در مناطق مختلف دقیقاً منطبق بر روزهایی با حداکثر گرد شگر ا ست. 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 می باشد. 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 دی اکسیدکربن افزایش‌یافته، درجهٔ حرارت غار بالا می رود، 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 اکو سیتم غار خواهد شد. این امر موقعیت غارهای توریست پذیر کشورمان ازجمله غار سهولان و کتله خور را به خطر می اندازد. بنابراین توجه به غارهای توریستی کشور ازجمله سهولان و کتله خور و هرگونه برنامه‌ریزی برای آن‌ها و ورود گردشگران، باید به دقت و شناخت کافی از اکوسیستم های غار صورت بگیرد. در بسیاری از کشورها ورود تعداد گردشگران به درون غارهای

[۱] Moroni

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

منابع

- احمدی،منیژه؛ خوش رفتار،رضا ۱۳۹۰، ارزیابی توانهای زمین‌گردشگری غار کتله‌خور زنجان با استفاده از تکنیک *SWOT*، اندیشه جغرافیایی، سال پنجم، شماره نهم، صص۷۴-۶۱.
- ا صغری مقدم، ا صغر؛ مؤید، مح سن، ندیری، عطاالله ۱۳۸۵، مطالعه ژئومورفولوژی و زمین شنا سی غار آبی سهولان، نشریه دانشکده علوم اجتماعی و انسانی دانشگاه تبریز، صص ۹۱-۵۹.
- بهنیافر، ابوالفضل؛ قنبرزاده، هادی، ۱۳۹۵، ژئومورفولوژی کارست (فرایندها وفرم‌های 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 ۲۳، صص۲۱۶-۲۰۳.
- رضایی، محسن؛ نخعی، محمد، ۱۳۸۷، نحوه تشکیل غار کارستی کتله خور در استان زنجان، فصلنامه زمین-شناسی ایران، سال دوم، شماره ششم، صص۱۹-۱۱.
- دیوید گیلیسون، ۱۳۸۶، غار شنا سی (فرایندها، تو سعه، 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 ثانویهٔ 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 غارعلیصدر 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 ثانویهٔ درون غارها(مطالعهٔ موردی: غار علیصدر همدان)،جغرافیا و پایداری محیط، دوره پنجم، شمارهٔ۱۶، صص۱۵-۱.
- ملکی، امجد؛کریمی سلطانی، پیمان، عبدالملکی، علی اکبر، ۱۳۹۳، گرد شگران و نقش آنها در تغییرات ریزاقلیم درون غارها(مطالعه موردی: غارعلیصدر 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., 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.*
- *ˇSebela, S., Prelovˇsek, M., & Turk, J., 2013. Impact of peak period visits on thePostojna Cave (Slovenia) microclimate. Theoretical and Applied Climatology,111(1–2:pp 51–64.*
- *Hotzl,H. (1999). Industerial 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 indynamic caves: the roles of ventilation modes and advective fluxes. Theoreticaland Applied Climatology, http://dx.doi.org/10.1007/s00704-016-1858-y.*
- *Lang, M., Faimon, J., Pracny´,P., Kejíková,S., 2017. A show cave management: Anthropogenic CO2in atmosphere ofV´ypustek 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 Philosoplly 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.*