

بازسازی تغییرات محیط دیرینه با استفاده از گوانو خفاش و رسوبات غار کوله تاریکه، دیوان دره، کردستان از اواسط تا اواخر هولوسن

فریبا اسفندیاری درآباد*؛ دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران
مهران مقصودی؛ دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، ایران
امید رحیمی؛ دانشجوی دکتری جغرافیای طبیعی، ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۱۳

چکیده

روی ۱۶۰ سانتی متر از توالی لایه‌های گوانو خفاش و رسوبات غار کوله تاریکه واقع در شهر دیوان دره، استان کردستان آزمایش‌های ژئوشیمی و مطالعات آماری انجام شد. چهار نمونه به روش کربن ۱۴ تعیین سن گردید. سن توالی لایه‌های رسوبی و گوانو خفاش بین ۵۶۸۶ سال قبل^۱ تا سال ۱۹۵۵ میلادی تخمین زده می‌شود. نتایج نشان داد که بین ۵۵۱۳ الی ۵۸۱۴ سال قبل منطقه دارای آب‌وهوای گرم و مرطوب و بین ۴۴۰۰ الی ۵۵۱۳ سال قبل دارای آب‌وهوای گرم و خشک بوده است. خفاش‌ها از حدود ۴۳۹۹ سال قبل با بهتر شدن شرایط محیطی در غار ساکن شده‌اند. بیشترین میزان تجمع آن‌ها مربوط به ۶۰۸ الی ۱۱۲۲ سال قبل منطبق با دوره ناهنجاری آب‌وهوایی سده میانی (MCA) است که نشان از وجود آب‌وهوای گرم و مرطوب بوده است. بعد از این دوره یعنی در حدود ۳۸۰ الی ۱۹۱ سال قبل منطبق با عصر یخبندان کوچک (LIA) به تدریج به دلیل سرد شدن هوا از تجمع خفاش‌ها در غار کاسته شد. کمترین تجمع آن‌ها ۲۹۱ سال قبل با دوره حداقلی ماندر هم‌زمان است.

کلیدواژه‌ها: رسوبات غار، عصر یخبندان کوچک، گوانو خفاش، ناهنجاری آب‌وهوایی سده میانی، هولوسن.

مقدمه

طی دوره کواترنر پسین، زمین تحت تأثیر تغییرات محیطی و نوسانات آب‌وهوای بسیار شدیدی قرار گرفته است (کاسر و اوسماستون، ۲۰۰۲). روندهای طولانی‌مدت در طول این دوره، شرایط یخچالی و سرد در طول پلیستوسن تا شرایط بین یخچالی و گرم هولوسن را شامل می‌شود. این روندهای طولانی‌مدت با چندین واقعه آب‌وهوایی و تغییرات محیطی کوچک‌تر از هم گسیخته شده است، شامل واقعه‌های هنریچ^۲، یانگر دریاس^۳ و واقعه سردشدگی ۸۲۰۰ سال قبل^۴، دوره آنومالی آب‌وهوای سده میانی (MCA) یا دوره گرم سده میانی (MWP) و عصر یخبندان کوچک (LIA) (رابینسون و همکاران، ۲۰۰۶).

مواد ته‌نشین شده در غارها به‌طور ویژه‌ای مورد علاقه و توجه است، زیرا غارها محیط‌های تا اندازه‌ای جداگانه را

E-mail: fariba.darabad@gmail.com, Esfandyari@uma.ac.ir

*نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۲۸۵۷۹۸۴۸

۱. در اینجا سن‌ها به‌صورت سن کالیبره‌شده تقویمی نسبت به سال ۱۹۵۰ میلادی در نظر گرفته شده است (۱۹۵۰ میلادی = ۰ سال قبل).

2. Henrich events
3. Younger Dryas
4. 8.2 ka cold event

تشکیل می‌دهند که شرایط فیزیکی و شیمیایی آن‌ها در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت نسبت به سطح زمین بیشتر ثابت است (لاوریتزن، ۱۹۹۳) و ته‌نشست‌های حفظ‌شدهٔ بهتری را آرشبوهایی برای بازسازی شرایط محیطی فراهم می‌سازد (برای مثال، غار سنگ‌ها، گوانو و رسوبات). استفاده از این آرشبو و اشکال موجود در غارها در بازسازی محیط‌های دیرینه و آب‌وهوای دیرینه در مناطق فاقد داده‌های آب‌وهوایی دیرینه بسیار با اهمیت محسوب می‌شود (اوناک و همکاران، ۲۰۱۴).

در غارهای سرتاسر جهان، خفاش‌ها با جمعیت کافی مقادیر فراوانی فضولات (گوانو) تولید می‌کنند که گاهی میزان تجمع آن‌ها تا ۱۰ سانتی‌متر در سال گزارش شده است (هاتچینسون، ۱۹۵۰). این ته‌نشست‌های گوانو را، به‌منظور بازسازی محیط‌های دیرینه، افراد زیادی بررسی کرده‌اند؛ برای مثال، مطالعات ژئوشیمی گوانو غار سنگ‌ها و رسوبات غارها در بازسازی محیط‌های دیرینه شامل ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ۱۸، کربن ۱۳، گرده‌های گیاهی و میکرو زغال‌چوب (فورای و همکاران، ۲۰۱۵)، تعیین سن رادیوکربن نهشته‌های گوانو (جانستون و همکاران، ۲۰۱۰)، ایزوتوپ‌های پایدار کربن ۱۳ و هیدروژن، کانی‌شناسی، بیوژئوشیمی و ژئوشیمی (ورستر و همکاران، ۲۰۱۷)، ایزوتوپ‌های کربن و نیتروژن (رویرو و همکاران، ۲۰۱۵)، رسوب‌شناسی، ژئوشیمی، مغناطیس کانی، ایزوتوپ پایدار کربن، زغال‌چوب و گرده‌های گیاهی (اوناک و همکاران، ۲۰۱۵)، پالینولوژی (گینتا و همکاران، ۲۰۱۲)، پترولوژی، ژئوشیمی عناصر و ژئوشیمی ایزوتوپی (لیو و همکاران، ۲۰۰۸)، فسیل خفاش (اشتوتزل و همکاران، ۲۰۱۶)، گرده گیاهی (باتینا و ریسه، ۲۰۱۱)، دیرینه‌شناسی و دیرینه‌اکولوژی (ویدگا و کولبورن، ۲۰۱۵)، گرده گیاهی، مغذی‌ها (کربن، نیتروژن، فسفر) و ایزوتوپ‌های پایدار کربن ۱۳، نیتروژن ۱۵ (کامبل و همکاران، ۲۰۱۷).

مناطق غربی کردستان یکی از مناطق بسیار اساسی و بنیادی در بازسازی و بررسی محیط‌های دیرینه و تغییرات آب‌وهوای دیرینه طی کواترنر پسین، به‌ویژه در طول هولوسن، است. مطالعات بسیار خوبی با توجه به شاخص‌های متعدد در بازسازی محیط‌های دیرینه و آب‌وهوای دیرینه در منطقهٔ مورد مطالعه انجام شده است؛ از جمله رکوردهای ثبت‌شده در رسوبات دریاچهٔ زریبار، شامل تحلیل گرده‌های گیاهی (فونزیست و رایت، ۱۹۶۳)، دیاتومه‌ها (اسنایدرو و همکاران، ۲۰۰۱) ایزوتوپ‌های پایدار (استیونس و همکاران، ۲۰۰۱) دریاچه‌شناسی دیرینه و اکولوژی دیرینه (واسی‌لیکوا و همکاران، ۲۰۰۶)، دانه‌بندی و کانی‌های رسی (مقصودی و همکاران، ۲۰۱۳a، ۲۰۱۳b؛ ۲۰۱۴). نتایج این مطالعات افزایش میزان رطوبت در اوایل هولوسن و شرایط آب‌وهوایی مرطوب و افزایش بارش‌های بهاری را در طول دورهٔ هولوسن میانی در منطقهٔ مورد مطالعه نشان می‌دهد.

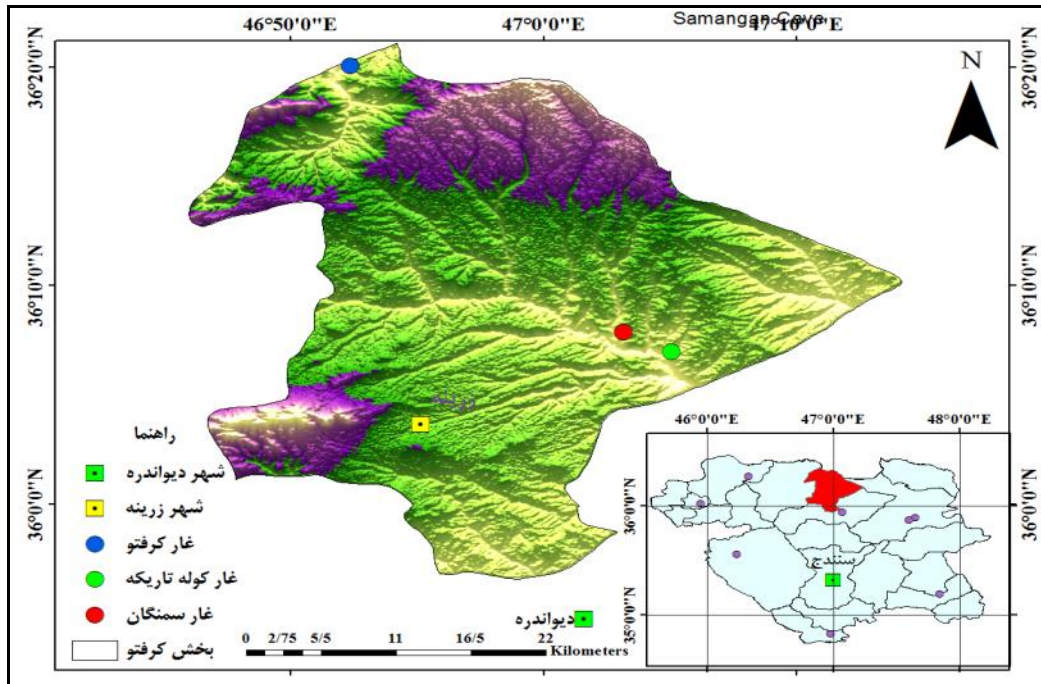
شرایط محیطی و آب‌وهوایی مهم‌ترین فاکتور در تغییرات اقتصادی-اجتماعی، مهاجرت و حتی سقوط و اضمحلال تمدن‌هاست (دموکال، ۲۰۰۱). اگرچه این مسئله‌ای جهانی است، در برخی مناطق نیمه‌خشک جهان شبیه جنوب غربی آسیا که آب منبعی کلیدی در فعالیت تمدن‌هاست اهمیت بیشتری دارد (کیلی و همکاران، ۲۰۱۵). این مطالعه به‌منظور بازسازی تغییرات محیطی و آب‌وهوایی در طول اواسط تا اواخر هولوسن در استان کردستان با استفاده از داده‌های چندین پروکسی به‌دست‌آمده از مطالعات ژئوشیمی (LOI، اکسیدها، عناصر اصلی و فرعی و داده‌های آماری) و تعیین سن دقیق گوانو خفاش و رسوبات ته‌نشین‌شده در غار کوله تاریکه روستای قالوجه واقع در شهرستان دیوان دره انجام شده است.

مواد و روش‌ها

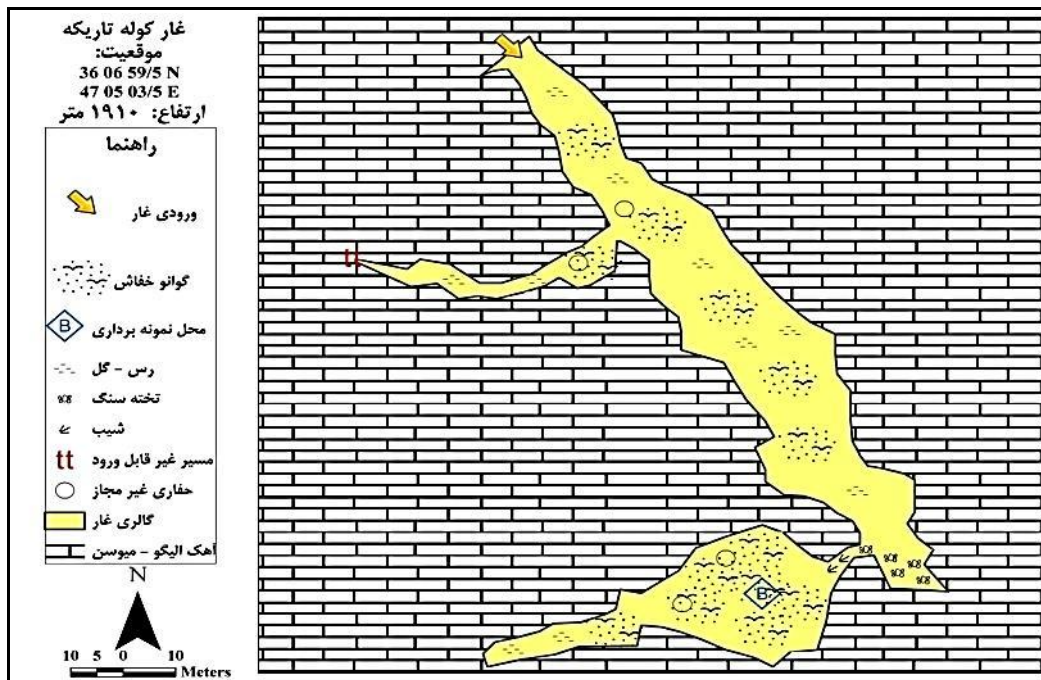
ویژگی‌های جغرافیایی غار و نمونه‌برداری از آن

غار کوله تاریکه (به‌معنای غار تاریک) غاری در روستای قالوجه در ۳۵ کیلومتری شهر دیواندره با موقعیت جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵ دقیقه ۳/۵ ثانیه طول جغرافیایی و ۳۶ درجه و ۶ دقیقه ۵۹/۵ ثانیه عرض شمالی قرار دارد. طول این غار ۵۶ متر و در ارتفاع ۱۹۱۰ متری از سطح دریا در منطقهٔ کوچک کارستی واقع شده است. دسترسی به این غار از سنندج با عبور از شهر دیوان دره و روستاهای رشیدآباد، زمان، گل‌تپه، قره‌دره و قالوجه ممکن است. منطقهٔ غار توپوگرافی تپه‌ماهوری دارد که بخشی از حوضهٔ آبریز قزل‌اوزن است که رودخانهٔ یول کشتی از غرب آن عبور می‌کند (شکل ۱). میانگین بارش سالیانه ۳۹۵/۸ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۷/۹ درجهٔ سانتی‌گراد است. از مشخصات کلی آن

زمستان‌های بسیار سرد و تابستان‌های معتدل است. فصل بهار بسیار کوتاه، و برعکس پاییز و زمستانی بسیار طولانی دارد. با توجه به تقسیمات اقلیمی دمارتن، این منطقه نوعی آب‌وهوای مدیترانه‌ای دارد (حنفی و حاتمی، ۱۳۹۲). از نظر زمین‌شناسی این غار در درون لایه‌های آهکی فسیل‌دار کرمی تا صورتی در همبری با واحد مارن با میان‌لایه‌های آهک خاکستری نازک لایه مربوط به سازند قم با سن الیگو-میوسن تشکیل شده است (فنودی و همکاران، ۱۳۷۷) و در حال حاضر هیچ‌گونه آبی در دالان‌ها و گالری‌های آن جریان ندارد (شکل ۲).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی غار کوله تاریکه و غارهای مهم منطقه



شکل ۲. نقشه غار کوله تاریکه همراه با محل نمونه برداری

پس از چندین بازدید مقدماتی در فصول مختلف از غار و انتخاب دالان مناسب دارای گوانو خفاش یا به‌اصطلاح اتاق خفاش‌ها در فاصله ۵۰ متری از ورودی غار و در بخش انتهایی غار پس از کسب مجوزهای لازم از فرمانداری شهرستان دیوان‌دره، اداره میراث فرهنگی و بخش‌داری کرفتو، گودالی به‌صورت دیواره عمودی و به عمق ۱۶۰ سانتی‌متر با بیل باغبانی در داخل گوانو خفاش و رسوبات کف غار تا رسیدن به سنگ بستر حفر گردید (شکل ۳C) و پس از رخنمون شدن لایه‌ها و تمیز کردن دقیق دیواره عمودی گودال با استفاده از لوله‌های آلومینیومی مستطیلی شکل تهیه‌شده به ابعاد ۵×۴×۲۰ سانتی‌متر (شکل ۳D)، از طرف دیواره گودال تعداد هشت قالب در مجموع ۱۶۰ سانتی‌متر گوانو و رسوب برداشت شد (شکل ۳E). نمونه‌های تهیه‌شده پس از پوشیده‌شدن و بسته‌بندی با سلفون برای انجام آزمایش‌های ژئوشیمی و تعیین سن در داخل یخچال نگهداری شد.



شکل ۳. (A) دهانه غار، (B) سقف غار همراه با تعدادی از خفاش‌ها، (C) گودال حفرشده در داخل لایه‌های گوانو و رسوبات غار، (D) نیم‌رخ عمودی گودال و موقعیت نمونه‌های تعیین سن‌شده، (E) نمونه‌برداری از لایه‌های گوانو و رسوبات با استفاده از قالب‌های آلومینیومی مستطیلی شکل، (F) نمونه‌های ارسالی برای تعیین سن کربن ۱۴

کرونولوژی

به‌منظور اندازه‌گیری و تعیین سن رادیوکربن، تعداد چهار نمونه، شامل سه نمونه توده گوانو خفاش و یک نمونه توده رسوب به‌ترتیب در اعماق ۱۲-۱۴، ۴۴-۴۵، ۸۱/۵-۸۳، ۱۴۷-۱۴۹ سانتی‌متری از نیم‌رخ عمودی دیواره گودال حفرشده در غار کوله‌تاریکه روستای قالوجه برداشته شد (شکل ۳D). نمونه‌ها پس از بسته‌بندی در داخل نایلون زیپ‌کیپ و کسب مجوزهای لازم برای تعیین سن به روش کربن ۱۴ به آزمایشگاه رادیوکربن پوزنان^۱ کشور لهستان ارسال شد (شکل ۳F). نمونه‌ها در آزمایشگاه رادیوکربن پوزنان طی مراحل آماده‌سازی نمونه‌ها شامل پیش‌درمان شیمیایی، تولید کربن دی‌اکسید و گرافیت با استفاده از اندازه‌گیری میزان کربن ۱۴ به‌وسیله طیف‌سنج جرمی شتابنده (AMS)^۲ تعیین سن شد (گوسلار و همکاران، ۲۰۰۴). سپس، با استفاده از نرم‌افزار OxCal 4.3.1 (برونک رمزی و همکاران، ۲۰۱۳) و مجموع داده‌ها و

1. Poznan

2. Accelerator Mass Spectrometry

منحنی اتمسفری IntCal13 (ریمر و همکاران، ۲۰۱۳) کالیبره و به سن تقویمی به صورت BC/AD قبل از میلاد مسیح و بعد از میلاد مسیح تبدیل شد.

آزمایش‌های ژئوشیمی

بعد از برداشت لایه‌ای عمودی به طول ۱۶۰ سانتی‌متر شامل لایه‌های نازک (میلی‌متری و سانتی‌متری) گوانوهای قهوه‌ای تیره و سیاه و لایه‌های رسوبی از دیواره عمودی چاه، تعداد ۷۳ نمونه به فواصل و اینتروال‌های $2\text{cm} \pm 2\text{mm}$ پس از توزین با ترازوی دیجیتال و بسته‌بندی داخل نایلون زیپ کیپ برای انجام آزمایش‌های ژئوشیمی به آزمایشگاه حسگر مواد صبا (HMS) ارسال شد و در آنجا مورد آزمایش XRF قرار گرفت. میزان اکسیدها، درصد مواد فرار L.O.I^۱ و مقادیر عناصر اصلی و فرعی اندازه‌گیری شد، زیرا روش XRF به دلیل سرعت بالا، دقت زیاد و استقلال از وابستگی به شخص آنالیزکننده، جایگزین مناسبی برای سایر روش‌های آنالیز شیمی در شناسایی مواد است (پوتس و وست، ۲۰۰۸).

مطالعات آماری چند متغیره

روش‌های چند متغیره، امکان آنالیز آماری هم‌زمان چندین متغیر را فراهم می‌کند. مسائل مربوط به یک، دو یا حتی سه متغیر را می‌توان تصور کرد یا به‌طور گرافیکی نمایش داد، ولی گاهی در بعضی مسائل با فضای ۱۰ یا حتی ۲۰ متغیره روبه‌رویم که بررسی روابط بین آن‌ها را دشوار می‌کند. مطالعه آماری چند متغیره شامل محاسبه ضریب همبستگی^۲، آنالیز خوشه‌ای^۳، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)^۴ در عناصر اصلی و فرعی، LOI و اکسیدها در گوانو و رسوبات غار کوله تاریکه روستای قالوجه با استفاده از نرم‌افزار PAST^۵ (هامر و همکاران، ۲۰۰۱) تعیین شد. به‌منظور تعیین ضریب همبستگی از دو روش پیرسون و اسپیرمن و در نهایت مقایسه آن‌ها استفاده شد. ضریب همبستگی پیرسون بین دو متغیر تصادفی برابر با کوواریانس آن‌ها تقسیم بر انحراف معیار آن‌ها تعریف می‌شود. در تحلیل خوشه‌ای، هدف دست‌یافتن به ملاکی برای طبقه‌بندی هر چه مناسب‌تر متغیرها یا نمونه‌ها بر اساس تشابه هر چه بیشتر درون گروهی و اختلاف هر چه بیشتر بین گروهی است. این خصوصیت به ما کمک می‌کند تا بتوانیم متغیرها و نمونه‌ها را به‌صورت خوشه‌هایی با حداکثر تشابه ممکن در درون خود و حداکثر اختلاف بین خود، طبقه‌بندی کنیم. هدف تحلیل مؤلفه‌های اصلی تبدیلی در فضای برداری است که بیشتر برای کاهش ابعاد مجموعه داده‌ها استفاده شده است. تحلیل مؤلفه‌های اصلی را در سال ۱۹۰۱ کارل پیرسون مطرح کرد. این تحلیل شامل تجزیه مقادیرهای ویژه ماتریس کواریانس است.

یافته‌های پژوهش

نتایج تعیین سن کربن ۱۴

پس از تعیین سن کربن ۱۴ برای چهار نمونه (Gh1poz-87227, Gh2 poz-87228, Gh3poz-87229, Gh4 poz-) (87230) در آزمایشگاه کربن ۱۴ پوزنان کشور لهستان سن کربن ۱۴ به‌دست‌آمده برای سه نمونه Gh2، Gh3 و Gh4 با استفاده از نرم‌افزار OxCal 4.3.1 (برونک رمزی و همکاران، ۲۰۱۳) و مجموع داده‌ها و منحنی اتمسفری IntCal13 (ریمر و همکاران، ۲۰۱۳) کالیبره و به سن تقویمی به صورت BC/AD قبل از میلاد مسیح و بعد از میلاد مسیح تبدیل شد (شکل ۴). سن کربن ۱۴ نمونه Gh1 با فعالیت بالای رادیوکربن (pMC) با استفاده از نرم‌افزار OxCal 4.3.1 (برونک رمزی و همکاران، ۲۰۱۳) با مجموع داده‌ها و منحنی اتمسفری IntCal13 (ریمر و همکاران، ۲۰۱۳) و با منحنی الحاقی Post-Bomb04NH2.14c و Post-Bomb13NH2.14c (هوا و بارتی، ۲۰۰۴؛ هوا و همکاران، ۲۰۱۳) کالیبره و به سن تقویمی به‌صورت AD بعد از میلاد مسیح تبدیل شد (جدول ۱).

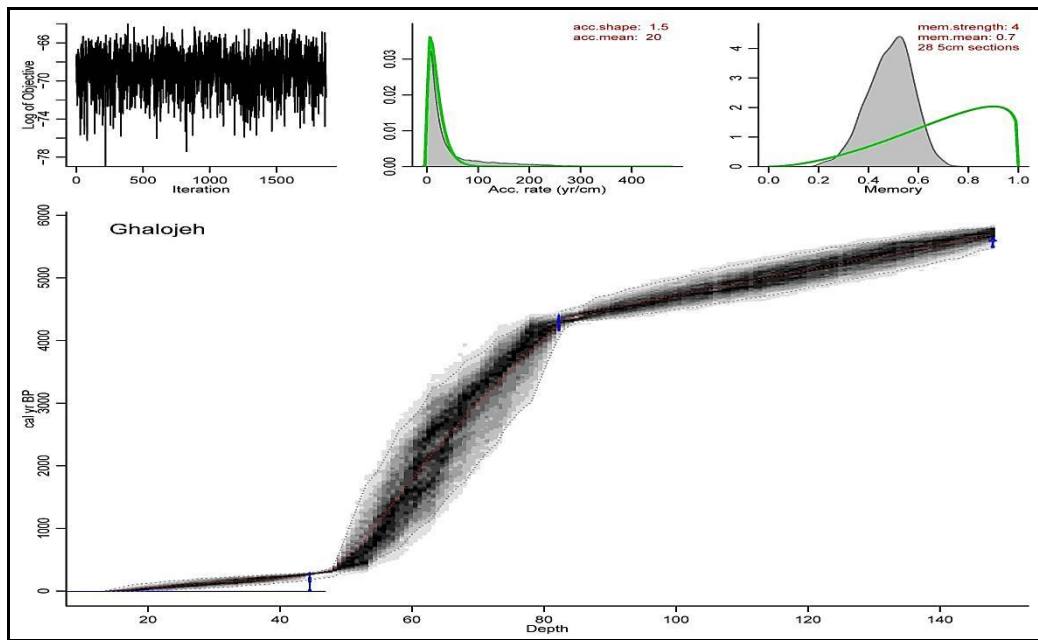
1. Loss On Ignition
2. correlation coefficient
3. cluster analysis
4. Principal Component Analysis
5. Paleontological Statistics

جدول ۱. مشخصات نمونه‌های تعیین سن شده به همراه سن AMS کربن ۱۴، سن کالیبره شده به صورت (AD/BC) و سن استفاده شده در ترسیم مدل سن به عمق لایه‌های گوانو و رسوبات غار کوله تاریکه روستای قالوجه

نام نمونه	شماره آزمایشگاه	عمق (سانتی متر)	ماده تعیین سن شده	سن کربن ۱۴ (14C yrs BP)	ملاحظات	فعالیت کربن ۱۴ (pMC)	سن‌های کالیبره شده (AD/BP)
Gh 1	Poz-87227	۱۲-۱۴	گوانو	Modern	pMC	100 ± 29	calAD ۱۹۵۵-۱۹۵۳ (۶۸/۲٪) calAD ۱۹۵۳-۱۹۵۶ (۹۵/۴٪) calAD ۱۹۵۲-۱۹۵۶ (۹۹/۷٪) calAD ۱۶۸۳-۱۶۶۸ (۱۱/۵٪) calAD ۱۷۳۵-۱۷۸۲ (۳۶/۴٪) calAD ۱۷۹۸-۱۸۰۶ (۵/۹٪) calAD ۱۹۵۰-۱۹۳۰ (۱۴/۴٪) calAD ۱۶۵۶-۱۶۹۷ (۱۸٪) calAD ۱۷۲۵-۱۸۱۵ (۵۱/۲٪) calAD ۱۸۳۵-۱۸۷۸ (۶٪) calAD ۱۹۱۶-... (۲۰/۱٪) calAD ۱۶۴۹-۱۸۹۲ (۷۹/۱٪) calAD (۱۹۰۸-...) ۲۰/۶٪
Gh 2	Poz-87228	۴۵-۴۴	گوانو	175 ± 30	-	-	calBC ۲۴۲۰-۲۴۵۱ (۱۰/۸٪) calBC ۲۴۰۵-۲۳۷۸ (۱۱/۶٪) calBC ۲۳۵۰-۲۲۸۱ (۳۷/۹٪) calBC ۲۲۳۲-۲۲۴۹ (۶/۷٪) calBC ۲۲۱۸-۲۲۱۴ (۱/۲٪) calBC ۲۴۶۰-۲۲۷۳ (۷۹/۹٪) calBC ۲۲۵۷-۲۲۰۸ (۱۵/۵٪) calBC ۲۴۷۰-۲۱۹۸ (۹۹/۵٪) calBC ۲۱۶۲-۲۱۵۳ (۱/۲٪) calBC ۳۶۹۱-۳۱۸۶ (۳/۲٪) calBC ۳۶۶۲-۳۶۳۳ (۴۹/۴٪) calBC ۳۵۳۹-۳۵۵۶ (۱۵/۶٪) calBC ۳۷۰۳-۳۶۲۸ (۶۸/۱٪) calBC ۳۵۸۴-۳۵۳۲ (۲۷/۳٪) calBC ۳۷۶۱-۳۷۴۲ (۱/۲٪) calBC ۳۷۱۵-۳۵۱۸ (۹۹/۵٪)
Gh 3	Poz-87229	۸۱/۸۳-۵	گوانو	2855 ± 30	-	-	
Gh 4	Poz-87230	۱۴۹-۱۴۷	رسوب	4845 ± 35	TOC	-	

مدل سن - عمق^۱

مدل‌های سن - عمق پایه و اساس بیشتر مطالعات محیط‌های دیرینه را تشکیل می‌دهد. مدل‌های سن - عمق به منظور برآورد و تخمین سن‌های تقویمی (سن کالیبره شده) در اعماق مغزه یا لایه از مدت زمان ته‌نشین شدن آن با توجه به تعداد محدودی از زمان و تاریخ موجود در دسترس (در اینجا چهار نمونه تعیین سن شده) و مربوط به اعماق مشخص ساخته شده است. با توجه به نتایج چهار نمونه تعیین سن شده از طریق روش AMS کربن ۱۴، مدل سن عمق بر اساس درون‌یابی خطی بین تمام سنین کربن ۱۴ با استفاده از آخرین نسخه نرم‌افزار Bacon2.2 (بالو، ۲۰۱۰؛ بالو و کریستن، ۲۰۱۱؛ ۲۰۱۳) قابل اجرا در نرم‌افزار محیطی R و R-Studio (تیم، ۲۰۱۰) ترسیم شد (شکل ۴). براساس مدل سن - عمق با استفاده از چهار سن کربن ۱۴ لایه‌های رسوبی (۱۶۰-۸۵ سانتی متری) بین ۵۶۸۶ تا ۴۳۹۹ سال قبل و لایه‌های گوانو (۰-۸۵ سانتی متری) بین ۴۳۹۹ تا امروز در غار کوله تاریکه ته‌نشین شده است.



شکل ۴. مدل سن-عمق لایه‌های گوانو و رسوبات غار کوله تاریکه روستای قالوجه

نتایج حاصل از داده‌های ژئوشیمی

نتایج ژئوشیمی شامل میزان اکسیدها به صورت درصد (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , Na_2O , MgO , K_2O , TiO_2 , MnO , P_2O_5)، درصد مواد فرار (LOI) و عناصر اصلی و فرعی به صورت قسمت در میلیون (ppm) (Cl , S , As , Ba , Ce , Co , Cr , Cu , Nb , Ni , Pb , Rb , Sr , V , Y , Zr , Zn , Mo) در گوانو خفاش و رسوبات غار کوله تاریکه به همراه نیمرخ لایه‌ها، سن کربن ۱۴ و سن کالیبره شده نسبت به عمق نشان داده شده است (شکل ۵ و ۶). مجموع مواد آلی و مواد فرار در نیمرخ مورد مطالعه به طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به عمق تغییر می‌کند. شروع ته‌نشین شدن گوانوها در غار کوله تاریکه مربوط به عمق ۸۵ سانتی متری بوده است؛ یعنی، حدود ۴۳۹۹ سال قبل این غار به محل تجمع خفاش‌ها تبدیل شده است. بنابراین، ضخامت و عمق لایه‌های گوانو ۸۵ سانتی متر و عمق لایه‌های رسوبی ۷۵ سانتی متر است. میزان تغییرات درصد LOI، درصد اکسیدها در طول زمان تقریباً ۶۰۰۰ ساله در شکل ۷ نشان داده شده است.

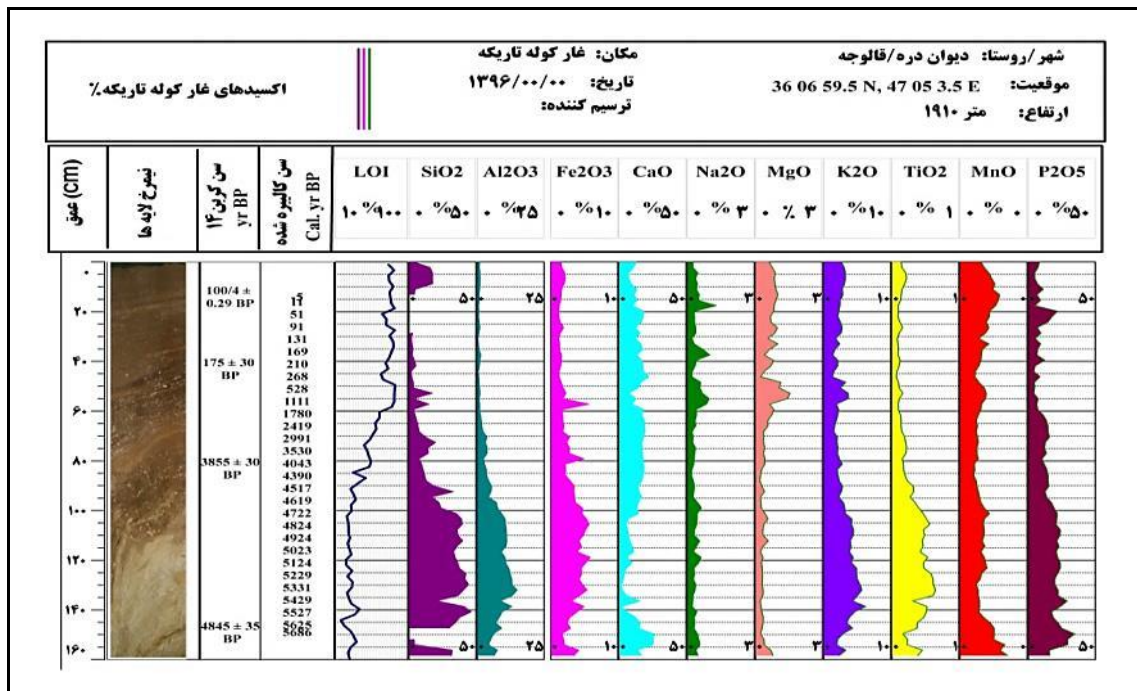
نتایج حاصل از مطالعات آماری

الف) نتایج محاسبه ضریب همبستگی اکسیدها و عناصر

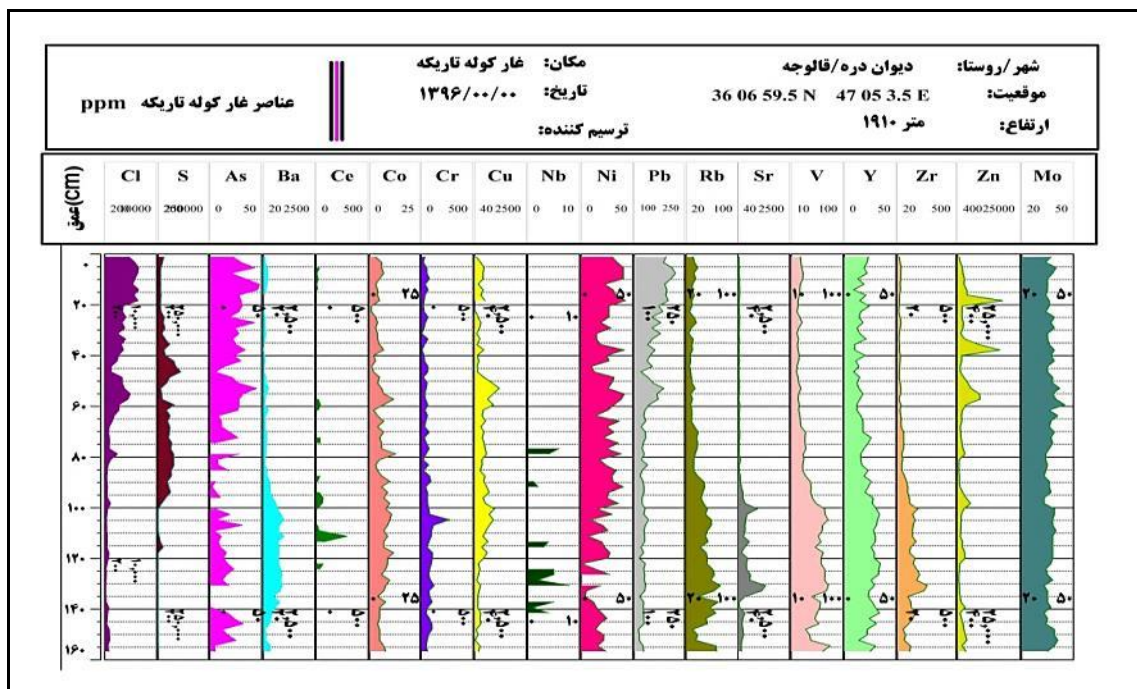
در لایه‌های گوانو بین LOI با اکسیدهای (Na_2O (۰/۵)، MgO (۰/۷۴)، K_2O (۰/۴۳)، MnO (۰/۶۴)، و عناصر (۰/۷۷) Cl ، As (۰/۶۳)، Cu (۰/۰۵)، Ni (۰/۲)، Pb (۰/۶۶) و Zn (۰/۴) همبستگی مثبت وجود دارد که نشان می‌دهد این عناصر زیستی است و از گوانو منشأ گرفته است، زیرا براساس نظر دایووی و همکاران (۲۰۰۰) تعداد بیشتری از دیگر عناصر نخست داخل گوانوها قرار دارد. این عناصر شامل کانی‌های مغذی مثل فسفر (P) و پتاسیم (K) است. همچنین، این عناصر فقط به مقدار بسیار کم در سنگ‌های دیواره‌های غار وجود دارد، اما فلزات واسطه‌ای در شرایط ویژه‌ای به اندازه کافی توسط اکثر موجودات دفع می‌شود. همچنین، مواد مغذی بیش از میزان مورد نیاز برای سوخت‌وساز بدن توسط ارگانیسم‌ها دفع می‌شود. بنابراین، بسیاری از این عناصر روندی مشابه عناصر بی‌حرکت را دنبال می‌کند و تا حد زیادی بیش از فراوانی طبیعی در گوانو وجود دارد (برای مثال، مس (Cu)، روی (Zn) و کروم (Cr)).

در لایه‌های گوانو بین LOI با اکسیدهای (SiO_2 (۰/۳۳)، Al_2O_3 (۰/۸۶)، Fe_2O_3 (۰/۳)، CaO (۰/۶۲)، P_2O_5 (۰/۶۲)، TiO_2 (۰/۴۹) و عناصر (Rb (۰/۳۴)، V (۰/۶)، Y (۰/۳)، Zr (۰/۷۴)، S (۰/۶۲)، Ba (۰/۱۱)) همبستگی منفی وجود دارد که نشان می‌دهد این عناصر یا از بیرون از غار یا از هوازدگی محیط‌های اطراف منشأ گرفته‌اند، زیرا بر اساس نظر برد و همکاران (۲۰۰۷)، تعدادی از عناصر از جمله کلسیم (Ca) در درجه نخست از هوازدگی

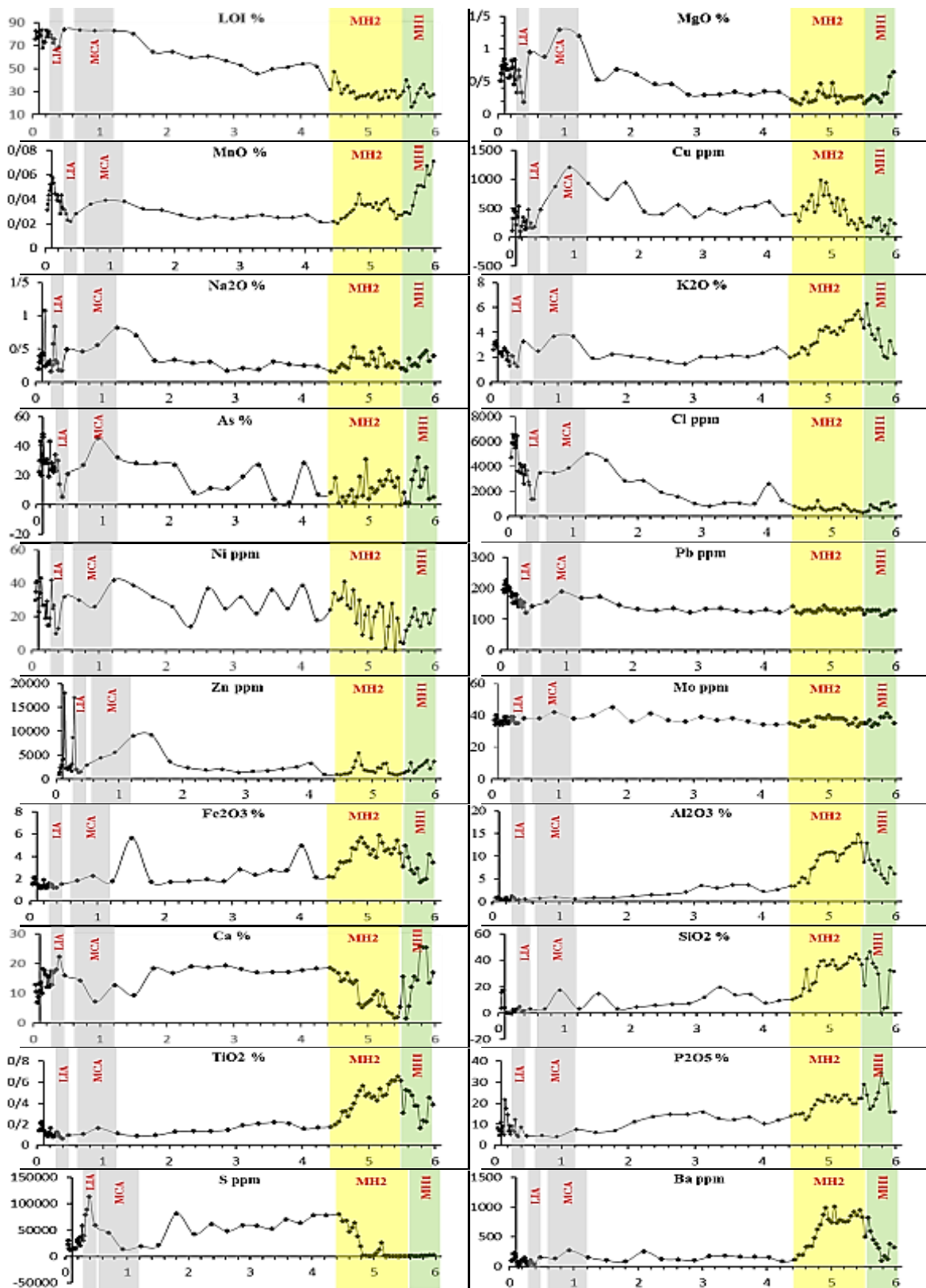
محیط‌های اطراف ایجاد می‌شود و عناصر دیگری مثل سیلیس (Si)، زیرکن (Zr) و تیتانیوم (Ti) از هوازدگی سنگ‌های محلی و از ذرات کانی موجود در گوانو یا از وزش به داخل تالارهای غار همانند گردوغبار از بیرون غار منشأ می‌گیرند.

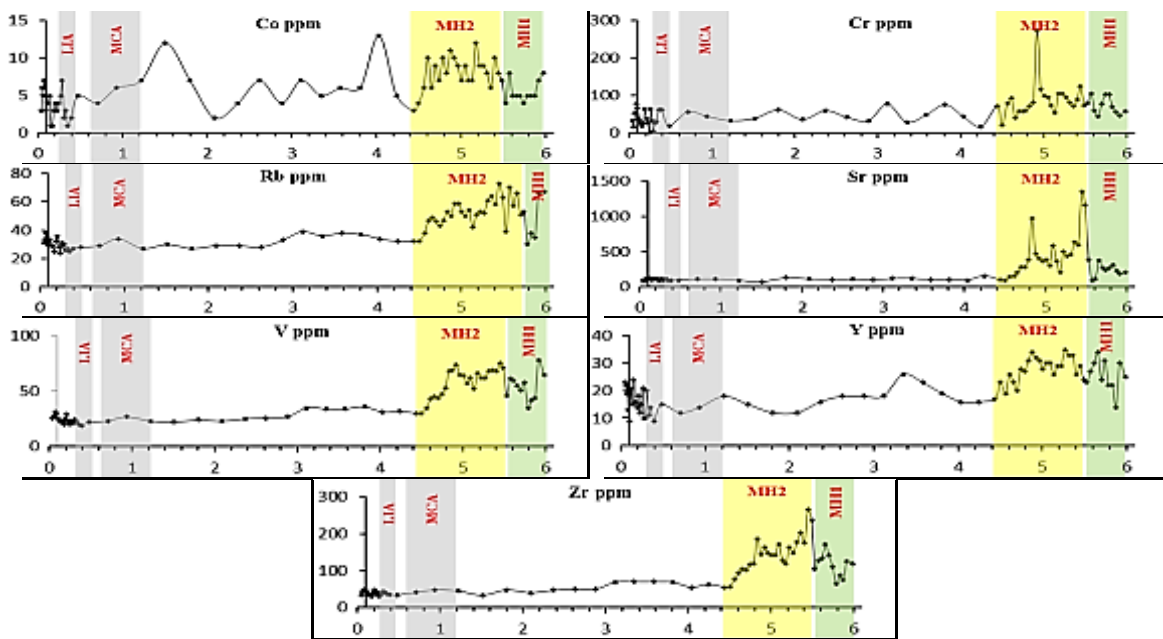


شکل ۵. نمودار درصد اکسیدها همراه با نیمرخ لایه‌ها، سن کربن ۱۴ و سن کالیبره شده نسبت به عمق در لایه‌های گوانو و رسوبات غار کوله تاریکه



شکل ۶. نمودار میزان عناصر اصلی و فرعی (ppm) همراه با سن کربن ۱۴ و سن کالیبره شده نسبت به عمق در لایه‌های گوانو و رسوبات غار کوله تاریکه





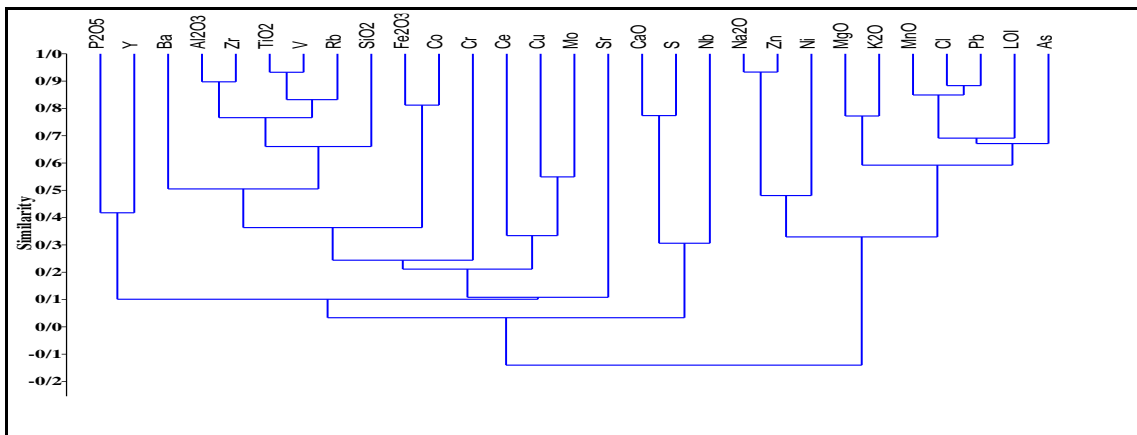
شکل ۷. میزان اکسیدها و عناصر (محور عمودی) در غار کوله تاریکه نسبت به زمان (محور عمودی هر واحد معادل هزار سال) به همراه دوره تغییرات محیطی و آب‌وهوایی (LIA معادل عصر یخبندان کوچک (رنگ قرمز توسی)، MCA معادل ناهنجاری آب‌وهوایی سده میانی (رنگ توسی)، MH1 معادل هولوسن میانی ۱ (رنگ سبز) و MH2 (رنگ زرد) معادل هولوسن میانی ۲)

بین LOI و عناصر Sr ($-0/2$), Nb ($-0/24$), Cr ($-0/22$), Co ($-0/4$), Ce ($-0/15$), Mo تقریباً هیچ همبستگی قوی وجود ندارد. در لایه‌های رسوبی بین تمامی اکسیدها و عناصر Fe_2O_3 , TiO_2 , K_2O , Al_2O_3 , SiO_2 , Ba , Co , Cr , Nb , Pb , Rb , Sr , V , Y , Zr همبستگی مثبت (بیش از $0/5$) وجود دارد. همچنین، CaO با ($-0/89$) Co , Ba ($-0/34$), Co ($-0/49$), Ba ($-0/89$), Fe_2O_3 ($-0/83$), TiO_2 ($-0/92$), K_2O ($-0/88$), Al_2O_3 ($-0/88$), SiO_2 ($-0/43$), Nb ($-0/43$), Pb ($-0/68$), Rb ($-0/71$), Sr ($-0/37$), V ($-0/75$), Y ($-0/67$), Zr ($-0/72$) همبستگی منفی دارد. همچنین، در لایه‌های رسوبی CaO با MnO ($0/57$), Cl ($0/6$), Zn ($0/48$) و Na_2O ($0/59$), MgO ($0/55$), Cl ($0/51$) و Zn ($0/42$) و LOI با S ($0/42$) و P_2O_5 با As ($0/44$), Mo ($0/36$) و Na_2O با MgO ($0/33$), MnO ($0/42$), Cl ($0/77$), Zn ($0/73$), Mo ($0/33$) همبستگی مثبت دارد.

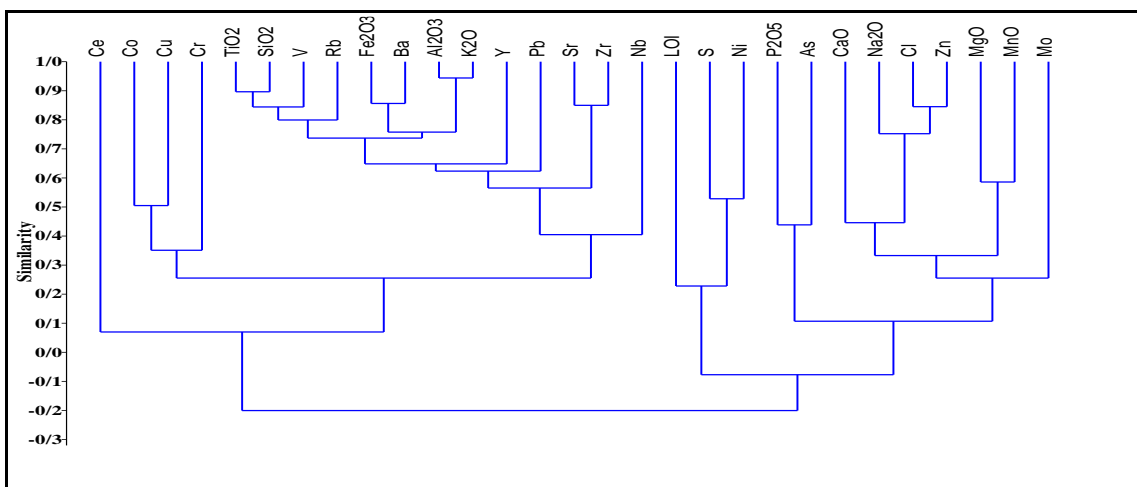
ب) نتایج آنالیز خوشه‌ای دندروگرام

نتایج حاصل از آنالیز خوشه‌ای دندروگرام برای لایه‌های گوانو نشان می‌دهد که دو جامعه کلی از عناصر تفکیک‌پذیر وجود دارد. در جامعه نخست، عناصر As , LOI , Pb , Cl , MnO , K_2O , MgO , Na_2O و Ni و Zn با توجه به قرار گرفتن این عناصر با LOI در یک گروه نشان‌دهنده این است که این عناصر، عناصر زیستی‌اند و از گوانو خفایش‌ها منشأ گرفته‌اند. در جامعه دوم Nb , Sr , CaO , S , Ba , Al_2O_3 , Zr , TiO_2 , V , Rb , SiO_2 , Fe_2O_3 , Co , Cr , Ce , Cu , Mo ، در جامعه دوم، Y , P_2O_5 قرار می‌گیرد که نشان می‌دهد این عناصر منشأ زیستی ندارند و احتمالاً یا از بیرون غار یا از هوازدگی محیط‌های اطراف منشأ گرفته‌اند (شکل ۸).

نتایج حاصل از آنالیز خوشه‌ای دندروگرام برای لایه‌های رسوبی نشان می‌دهد که دو جامعه کلی از عناصر تفکیک‌پذیر وجود دارد. در گروه نخست، عناصر Mo , MnO , MgO , Zn , Cl , As , CaO , Na_2O , S و Ni با LOI با توجه به وجود LOI و کلسیم در این گروه احتمالاً لایه‌های دارای بیشترین میزان این عناصر در شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب تشکیل شده است. در گروه دوم، Nb , Sr , Cu , Ce , Cr , Co , Fe_2O_3 , SiO_2 , Rb , V , TiO_2 , Zr , Ba , Y , Pb , K_2O قرار می‌گیرد. با توجه به قرارگیری بیشتر عناصر سنگین در این گروه احتمالاً لایه‌های دارای بیشترین میزان این عناصر در شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک تشکیل شده است (شکل ۹).



شکل ۸. دندروگرام حاصل از آنالیز خوشه‌ای برای اکسیدها، عناصر و LOI در لایه‌های گوانو خفاش غار کوله تاریکه



شکل ۹. دندروگرام حاصل از آنالیز خوشه‌ای برای اکسیدها، عناصر و LOI در لایه‌های رسوب غار کوله تاریکه

ج) نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی

نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی به همراه رسم نمودار صخره‌ای^۱ حدود ۳۰/۵۶ درصد اطلاعات مربوط به مؤلفه اصلی شماره ۱ در لایه‌های گوانو را دربرمی‌گیرد. رسم نمودار نمایش مقادیر بردارهای ویژه اکسیدها، عناصر و LOI در مؤلفه اصلی شماره ۱ در لایه‌های گوانو نشان می‌دهد که عناصر و اکسیدهای MgO ، K_2O ، MnO ، Cl ، Pb ، LOI ، As ، Mo و Cu دارای وزن (بار) منفی است، و با نتایج آنالیز خوشه‌ای دندروگرام منطبق است؛ یعنی، دارای منشأ زیستی است و از گوانو خفاش‌ها منشأ گرفته است. سایر عناصر و اکسیدهای Co ، Cr ، Ce ، Sr ، CaO ، S ، Nb ، P_2O_5 و Y ، Ba ، Al_2O_3 ، Zr ، TiO_2 ، V ، Rb ، SiO_2 ، Fe_2O_3 دندروگرام منطبق است و احتمالاً یا از بیرون غار یا از هوازدگی محیط‌های اطراف منشأ گرفته است.

رسم نمودار صخره‌ای حدود ۳۹/۰۷۹ درصد اطلاعات مربوط به مؤلفه اصلی شماره ۱ در لایه‌های رسوبی را دربرمی‌گیرد. رسم نمودار نمایش مقادیر بردارهای ویژه اکسیدها، عناصر و LOI در مؤلفه اصلی شماره ۱ در لایه‌های رسوبی نشان می‌دهد که عناصر و اکسیدهای MgO ، K_2O ، SiO_2 ، Fe_2O_3 ، Al_2O_3 ، Cu ، Co ، Cr ، Ce ، Ba ، As ، MnO ، Cl ، P_2O_5 ، LOI ، CaO ، S ، Mo و Zn ، Ni ، Na_2O ، MnO ، Cl ، P_2O_5 ، LOI ، CaO ، S ، Mo و Zn دارای وزن (بار) مثبت است. با توجه به قرارگیری عناصر سنگین احتمالاً لایه‌های دارای بیشترین میزان این عناصر در شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک تشکیل شده است. سایر عناصر و اکسیدهای Mo و Zn ، Ni ، Na_2O ، MnO ، Cl ، P_2O_5 ، LOI ، CaO ، S ، Mo و Zn دارای وزن (بار) منفی است. با توجه به وجود

LOI و کلسیم احتمالاً لایه‌های دارای بیشترین میزان این عناصر در شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب تشکیل شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از تعیین سن کربن ۱۴ AMS، رسم نمودار سن-عمق، نتایج ژئوشیمی به‌دست‌آمده از طریق XRF شامل تعیین اکسیدها، عناصر اصلی و فرعی، LOI و نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری شامل تعیین ضرایب همبستگی، آنالیز خوشه‌ای دندروگرام و تحلیل مؤلفه‌های اصلی در لایه‌های گوانو و رسوبات غار کوله تاریکه مهم‌ترین تغییرات محیطی و آب‌وهوایی قابل اثبات در این منطقه در اواخر هولوسن را می‌توان به چهار دوره مهم به شرح زیر تقسیم کرد (شکل ۷).

الف) ۵۸۱۴ تا ۵۵۱۳ سال قبل منطبق با اواسط هولوسن (MH1)

در این دوره آب‌وهوایی از نظر میزان LOI، اکسیدها و عناصر اصلی و فرعی، میزان LOI (۲۷/۸ درصد)، آلومینیم اکسید (کرنوم) یا آلومینا (۶/۹ درصد)، سیلیسیم دی‌اکسید (سیلیس) یا کوارتز (۲۷/۴ درصد)، اکسید آهن، هماتیت (۲/۸ درصد)، پتاسیم اکسید (۳/۷ درصد)، و سدیم اکسید (۰/۳۴ درصد) بیشترین میزان درصد کلسیم اکسید (۱۷/۱ درصد)، بیشترین میزان فسفر اکسید (۲۳/۱ درصد)، بیشترین میزان منگنز اکسید (۰/۰۵ درصد)، بیشترین میزان درصد کلسیم اکسید (۱۶/۸ درصد)، کمترین میزان عنصر سولفور، گوگرد (۱۰۷۵ ppm)، کمترین میزان عنصر مس (۲۲۷ ppm)، کمترین میزان عنصر نیکل (۱۹/۵ ppm)، کمترین میزان عنصر سرب (۱۲۳ ppm)، و کمترین میزان عنصر وانادیم (۵۴/۲ ppm) را دارد. همچنین، میزان منیزیم اکسید (۰/۳۴ درصد)، تیتانیم دی‌اکسید (۰/۳۵ درصد)، عنصر کلر (۸۴۴/۴ ppm)، آرسنیک (۱۵/۱ ppm)، عنصر باریم (۳۱۴/۲ ppm)، کبالت (۵/۴ ppm)، کروم (۶۸/۸ ppm)، روییدیم (۵۱/۴ ppm)، استرانسیم (۲۴۳/۹ ppm)، عنصر ایتیریم (۲۵/۸ ppm)، زیرکونیم (۱۱۴/۴ ppm)، و روی (۲۸۱۲/۵ ppm) است (شکل ۷).

با توجه به نتایج همبستگی بین اکسیدها و عناصر و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و با توجه به کاهش میزان برخی عناصر مانند سیلیس، آلومینیم، آهن و پتاسیم و عناصر سنگینی مانند تیتانیم، باریم، کروم، وانادیم، ایتیریم و زیرکونیم و افزایش در میزان کلسیم و کاهش نسبت Mg/Ca و Sr/Ca در لایه‌های رسوبی، این بازه زمانی آب‌وهوای گرم و مرطوب داشته است، زیرا مقادیر پایین‌تر نسبت Mg/Ca و Sr/Ca با سطوح بالاتر نفوذ عمقی به داخل آبخوان کارستی مرتبط می‌شود، بنابراین چنین شرایطی به کاهش حجم رسوب‌گذاری کلسیت در منطقه اشباع‌نشده بالای غار در طول دوره‌های آب‌وهوایی گرم و مرطوب منجر می‌شود (کروز و همکاران، ۲۰۰۷؛ هوانگ و همکاران، ۲۰۰۱). همچنین، در طول دوره‌های مرطوب‌تر میزان رسوب کلسیت در طول مسیرهای جریان افزایش می‌یابد و نسبت Mg/Ca و Sr/Ca در آب‌های تشکیل‌دهنده رسوبات و غارسنگ‌ها را افزایش می‌دهد (فایرچیلد و همکاران، ۲۰۰۰؛ ۲۰۰۱؛ ۲۰۰۶؛ کارمان و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین، عناصر سنگین Si، Ti، Zr، پروکسی‌ها و شاخص‌های عناصر ورودی بادی تحت شرایط خشک است، زیرا میزان کانی‌های زیرکن حاوی عنصر Zr، کوارتز حاوی Si، کانی رتیل، کانی ایلمنیت و کانی اسفن حاوی Ti به‌واسطه چگالی زیاد با باد حمل می‌شوند و میزان آن‌ها در رسوبات تحت شرایط آب‌وهوای عمدتاً خشک افزایش می‌یابد (مارتینز رویز و همکاران، ۲۰۱۵؛ گروست و همکاران، ۱۹۸۹؛ سارنتین و همکاران، ۱۹۸۲). بنابراین، با توجه به کاهش این عناصر احتمالاً رسوبات این بازه زمانی تحت شرایط گرم و مرطوب تشکیل شده است.

این نتایج، یعنی وجود شرایط آب‌وهوای گرم و مرطوب در این بازه زمانی، با دیگر نتایج دیرینه آب‌وهوایی به‌دست‌آمده از مطالعات دیگر در ایران منطبق است. از جمله، شریفی و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از بررسی عناصر اصلی و فرعی، تحلیل امواج کوچک، چگالی حجمی، میزان انباشتگی کربن، TOC، δD، δ¹³C دریافتند که در اوایل و اواسط هولوسن در دریاچه نئور اردبیل شرایط آب‌وهوایی مرطوب‌تر و میزان گردوغبار کمتر همراه با انباشتگی میزان کربن بیشتر غلبه داشته است. گریفیتس و همکاران (۲۰۰۱) با بررسی شواهد رسوب‌شناسی و تحلیل استراکود به این نتیجه رسیدند که سطح آب دریاچه میرآباد در طول هولوسن میانی افزایش یافته است. استیونس و همکاران (۲۰۰۶)، با

بررسی ایزوتوپ $\delta O18$ ، شرایط آب شیرین، سطح بالا و ثابت آب دریاچه زیربار بین ۶۰۰۰ و ۵۵۰۰ سال قبل را ناشی از وجود آب‌وهوای مرطوب‌تر دانستند. همچنین، استیونس و همکاران (۲۰۰۱) با استفاده از شواهد گرده گیاهی، ژئوشیمی، تحلیل استراکود، LOI، کانی‌شناسی، عناصر کمیاب و ایزوتوپ $\delta 18O$ دریافتند که بارش‌های بهاری بعد از ۶۵۰۰ سال قبل در دریاچه میرآباد افزایش تدریجی داشته است.

هیورت و بیتن (۲۰۰۷)، با استفاده از شواهد سنگ‌شناسی، ساختارهای رسوبی، ماکروفسیل و رخساره‌های اولیه وجود خلیج فارس با قدرت جزر و مدی کم تحت شرایط خلیج دهانه‌ای در بخش پایینی جلگه خوزستان در اوایل و اواسط را اثبات کردند. فون‌زایست و بوتیما (۱۹۷۷)، با تجزیه و تحلیل گرده‌های گیاهی، وجود شرایط آب شیرین، اوج گرده گیاهی کورسس، افزایش و سطح ثابت آب را ناشی از غلبه شرایط آب‌وهوای مرطوب‌تر بین ۶۰۰۰ و ۵۵۰۰ سال قبل در دریاچه زیربار دانستند. واسی‌لیکوا و همکاران (۲۰۰۶)، با بررسی ماکروفسیل‌های گیاهی وجود شرایط آب شیرین، افزایش سطح ثابت آب، همراه با کاهش فراوانی چنوپودیوم روبریم در بین ماکروفسیل‌ها، ناپدیدشدن کامل دیاتومه‌های آب شور در دریاچه زیربار را در ارتباط با غلبه آب‌وهوای مرطوب‌تر بین ۶۰۰۰ و ۵۵۰۰ سال قبل دانستند.

غلبه شرایط آب‌وهوای گرم و مرطوب در این بازه زمانی با دیگر نتایج به‌دست‌آمده از شرایط دیرینه آب‌وهوایی غرب و جنوب‌غربی آسیا و گرینلند منطبق است، از جمله با افزایش میزان و شدت بارش بین ۹۶۰۰ و ۵۴۰۰ سال قبل در غار سوفولار ترکیه (فلایتمن و همکاران، ۲۰۰۹)، وقوع بارش‌های بالای موسمی بین ۹۶۰۰ و ۵۵۰۰ سال قبل در غار کنف عمان (فلایتمن و همکاران، ۲۰۰۷)، غلبه شرایط گرم و مرطوب از ۸۰۰۰ تا ۵۰۰۰ سال قبل در دریاچه $14N$ گرینلند (اندرسن و همکاران، ۲۰۰۴)، وجود شرایط مرطوب‌تر و گرم هولوسن میانی ۵۰۰۰ تا ۸۵۰۰ سال قبل در جنوب دریای سیاه (شومیلوسکیخ و همکاران، ۲۰۱۲)، میزان رطوبت بیش از امروز از ۶۸۰۰ تا ۵۲۰۰ سال قبل در دریاچه گول هیسار ترکیه (ایست‌وود و همکاران، ۲۰۰۷)، گسترش دریاچه‌های بزرگ آب شیرین در دشت‌های بیابانی یمن و عمان در اوایل و اواسط هولوسن، دشت‌های جنوب عربی (لزین و همکاران، ۲۰۱۰)، شرایط بیشتر مرطوب در اواسط هولوسن در هلال خصیب (پوستوویتو و همکاران، ۲۰۰۷).

ب) ۵۵۱۳ تا ۴۰۰۰ سال قبل منطبق با اواسط هولوسن (MH2)

این دوره آب‌وهوایی از نظر میزان LOI، اکسیدها و عناصر اصلی و فرعی، و میزان LOI (۳۱/۳ درصد) بیشترین میزان درصد آلومینیم اکسید (۸/۹ درصد)، بیشترین میزان سیلیسیم دی‌اکسید (۲۹/۹ درصد)، بیشترین میزان اکسید آهن (۴/۲ درصد)، بیشترین میزان پتاسیم اکسید (۳/۸ درصد)، بیشترین میزان تیتانیوم دی‌اکسید (۰/۴۲ درصد)، بیشترین میزان عنصر باریوم (۶۲۱/۷ ppm)، بیشترین میزان کروم (۸۳/۶ ppm)، بیشترین میزان استرانسیم (۴۱۳/۵ ppm)، بیشترین میزان عنصر وانادیم (۵۵/۳ ppm)، بیشترین میزان عنصر ایتیریم (۲۶/۶ ppm)، بیشترین میزان عنصر زیرکونیم (ppm)، کمترین میزان سدیم اکسید (۰/۲۹ درصد)، کمترین میزان درصد منیزیم (۰/۲۶ درصد)، کمترین میزان عنصر کلر (۶۹۲/۶ ppm)، کمترین میزان عنصر مس (۴۷۸/۷ ppm)، کمترین میزان آرسنیک (۱۲/۵ ppm)، کمترین میزان عنصر روی (۱۹۰۸/۶ ppm)، میزان درصد کلسیم اکسید (۱۰/۱ درصد)، میزان فسفر اکسید (۱۹/۵ درصد)، میزان منگنز اکسید (۰/۰۳ درصد)، میزان عنصر سولفور (۲۲۸۷۳ ppm)، میزان کبالت (۷/۹ ppm)، میزان عنصر نیکل (۲۲ ppm)، میزان عنصر سرب (۱۲۸ ppm)، میزان روییدیم (۵۰/۱ ppm) را دارد (شکل ۷).

نتایج همبستگی بین اکسیدها و عناصر و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و افزایش میزان حداکثری برخی عناصر مانند سیلیس، آلومینیم، آهن و پتاسیم و عناصر سنگینی مانند تیتانیوم، باریوم، کروم، وانادیم، ایتیریم و زیرکونیم و کاهش در میزان کلسیم و افزایش نسبت Mg/Ca و Sr/Ca در لایه‌های رسوبی نشان می‌دهد این بازه زمانی دارای آب‌وهوای گرم و خشک است، زیرا مقادیر بالاتر نسبت Mg/Ca و Sr/Ca در ارتباط با آثار ترکیبی شستشوی انتخابی Mg و Sr نسبت به Ca از خاک‌ها، و ته‌نشینی اولیه کلسیم بالای غار در ارتباط با شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک است (فایرچیلد و همکاران، ۲۰۰۰؛ هوانگ و همکاران، ۲۰۰۱). همچنین، فایرچیلد و همکاران (۱۹۹۶) استدلال می‌کنند که مدت زمان طولانی‌تر اقامت آب در سیستم‌های کارستیک تحت تأثیر شرایط آب‌وهوایی خشک‌تر میزان انحلال دولومیت را نسبت به انحلال کلسیت افزایش می‌دهد. از این‌رو، نسبت Mg/Ca و Sr/Ca در آب‌های غارها و میزان Mg و Sr در غارسنگ‌ها

و رسوبات ته‌نشین شده در غارها افزایش می‌یابد. همچنین، عناصر سنگین Si، Ti، Zr، پروکسی‌ها و شاخص‌های عناصر ورودی بادی تحت شرایط خشک است، زیرا میزان کانی‌های زیرکن حاوی عنصر Zr، کوارتز حاوی Si، کانی رتیل، کانی ایلمنیت و کانی اسفن حاوی Ti به‌واسطه چگالی زیاد با باد حمل می‌شود و میزان آن‌ها در رسوبات تحت شرایط آب‌وهوای عمدتاً خشک افزایش می‌یابد (مارتینز رویز و همکاران، ۲۰۱۵؛ گروست و همکاران، ۱۹۸۹؛ سارتین و همکاران، ۱۹۸۲). بنابراین، با توجه به افزایش قابل توجه این عناصر در رسوبات احتمالاً در این بازه زمانی شرایط گرم و خشک غلبه داشته است.

این نتایج، یعنی وجود شرایط آب‌وهوای خشک با دیگر نتایج دیرینه آب‌وهوای به‌دست‌آمده در ایران منطبق است. از جمله، شریفی و همکاران (۲۰۱۵)، با استفاده از بررسی عناصر اصلی و فرعی، تحلیل امواج کوچک، چگالی حجمی، میزان انباشتگی کربن، TOC، δD و $\delta^{13}C$ به غلبه شرایط خشک‌تر و گردوغباری‌تر در طول هولوسن میانی در دریاچه نئور اردبیل پی بردند. کولن و همکاران (۲۰۰۰) با استفاده از حساسیت مغناطیسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی، و ایزوتوپ $\delta^{18}O$ فروپاشی ناگهانی امپراتوری توسعه‌یافته اکاد در خلیج عمان را ناشی از وجود شرایط بسیار خشک در ۴۷۰۰ سال قبل دانستند.

اشمیت و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی شواهد زمین‌شناسی، ژئومورفیکی و کرونولوژی به اوج خشکی در ۴۵۵۰ سال قبل طی شکاف سکونتگاه‌ها در دشت قزوین پی بردند. کاکرودی و همکاران (۲۰۱۲؛ ۲۰۱۵) با استفاده از کاروفیت، ردپای فسیل، دیاتومه، تحلیل دانه‌بندی، ایزوتوپ‌های پایدار و شواهد گرده‌شناسی، وجود محیط دریایی کم‌عمق در دریای خزر در هولوسن میانی بین ۵۷۰۰ و ۴۹۰۰ سال قبل را ناشی از غلبه آب‌وهوای گرم و خشک دانستند. استیونس و همکاران (۲۰۰۱)، با بررسی ایزوتوپ $\delta^{18}O$ درجه‌حرارت گرم‌تر و برگشت به شرایط اوایل هولوسن بین ۴ و ۵/۳ هزار سال قبل در دریاچه زریبار مریوان را پیش‌بینی کردند.

استیونس و همکاران (۲۰۰۶) با تجزیه و تحلیل گرده گیاهی، ژئوشیمی، تحلیل استراکود، LOI، کانی‌شناسی، عناصر نادر و ایزوتوپ $\delta^{18}O$ در دریاچه میرآباد دریافتند که خشکی شدیدی به مدت ۶۰۰ سال در ۵۵۰۰ سال قبل رخ داده است. هیورت و بیتمن (۲۰۰۷) با استفاده از شواهد سنگ‌شناسی، ساختارهای رسوبی، ماکروفسیل و رخساره‌های اولیه، دریافتند که بعد از ۵۵۰۰ سال، شرایط بسیار خشک در جلگه خوزستان کاهش بالآمدگی سطح دریا را به‌همراه داشته است.

بروتنس و همکاران (۲۰۰۶)، با بررسی تراس‌های دریایی، سن رادیواکتیو و میزان ایزوتوپ‌های $\delta^{13}C$ ، $\delta^{18}O$ در کربنات‌ها دریافتند که دریا در بیشتر پادگانه‌های دریایی بعد از ۵۰۰۰ سال قبل در خلیج فارس عقب‌نشینی کرده است. فون‌زایست و بوتیما (۱۹۷۷) با بررسی گرده‌های گیاهی دریافتند که سطح آب دریاچه زریبار در حدود ۳۸۰۰-۴۵۰۰ سال قبل کاهش یافته است. والکر و فتحی (۲۰۱۱) با بررسی مخروط‌افکنه‌ها، تراس‌های رودخانه‌ای و رسوبات دریاچه‌ای شرایط خشکی را در اواسط هولوسن در شرق ایران پیش‌بینی کردند.

همچنین، حاکمیت شرایط آب‌وهوای گرم و خشک در این بازه زمانی با دیگر نتایج به‌دست‌آمده از شرایط دیرینه آب‌وهوایی سایر نقاط مختلف جهان نیز منطبق است؛ از جمله، وجود دوره خشکی در هولوسن میانی، شروع آب‌وهوای مدیترانه‌ای در ۵۳۰۰ سال قبل در ایبری اسپانیا (والکزاک و همکاران، ۲۰۱۵)، کاهش ناگهانی شدت موسمی آسیا در ۴۴۰۰ سال قبل در غار دونگی چین (دایکوسکی و همکاران، ۲۰۰۵)، رسیدن صفحه یخی گرینلند به کمترین میزان گسترش هولوسن در حدود ۴ هزار سال قبل و مشارکت در بالآمدن MSL جهانی به میزان کمتر از ۰/۲ متر نسبت به حال حاضر در گرینلند (واسکوگ و همکاران، ۲۰۱۵)، شرایط بسیار خشک اواخر هولوسن در حدود ۴۷۰۰ سال قبل در دریاچه تانگانیکا آفریقا (تیرنی و همکاران، ۲۰۰۸)، پایین‌بودن سطح دریاچه چالا در آفریقا بین ۴۷۰۰-۵۹۰۰ سال قبل (تیرنی و همکاران، ۲۰۱۱)، دوره خشک هولوسن میانی بین ۴۰۰۰-۴۸۰۰ سال قبل در دریاچه استانیا اسپانیا (مورلون و همکاران، ۲۰۰۹)، کاهش جنگل از ۵۴۰۰ سال قبل در دریای البوران (فلنچر و گونی، ۲۰۰۸)، شروع شرایط خشک‌تر بعد از ۵۷۰۰ سال قبل در لاگونا ده ریو سکو، سیرا نوادا، اسپانیا (آندرسن و همکاران، ۲۰۱۱)، رخ‌دادن واقعه بی‌نهایت خشک در ۵۵۰۰-۵۵۰۰ سال قبل در دریاچه چنکو، چین (ژو و همکاران، ۲۰۰۹)، ثبت پایین‌ترین سطح آب بین ۴۵۰۰-۵۵۰۰ سال قبل در لاگو پایکسبان، گوآتمالا (واهل و همکاران، ۲۰۱۶)، جریان گردوغبار بادی برای ۵۰۰۰ سال قبل در دهانه

رود میورای (گینگل و همکاران، ۲۰۰۷)، شروع آبوهوای خشک مشابه با حال حاضر در ۵۰۰۰ سال قبل در غار یودنامیوتانا (کویگلی و همکاران، ۲۰۱۰).

ج) ۱۱۲۲-۶۰۸ سال قبل (۸۲۸-۱۳۴۲ میلادی) منطبق با دوره نابهنجاری آبوهوایی سده میانی (MCA) یا دوره گرم میانی (MWP)

دوره گرم سده میانی، بهینه آبوهوای سده میانی یا نابهنجاری آبوهوایی سده میانی، و دوره آبوهوایی گرم در نواحی اطلس شمالی ممکن است با واقعه آبوهوایی دیگر نقاط جهان در آن زمان در ارتباط باشد (لی و کو، ۲۰۰۲). این دوره از حدود ۹۵۰ میلادی تا ۱۲۵۰ میلادی طول کشیده (مان و همکاران، ۲۰۰۹) و با دوره سردتر عصر یخبندان کوچک پس از آن همراه بوده است. برخی در واقعه نابهنجاری آبوهوایی سده میانی در این مدت به اهمیت آثار درجه حرارت بیشتر تأکید کرده‌اند (برادلی و همکاران، ۲۰۰۳).

این دوره آبوهوایی از نظر میزان LOI، اکسیدها و عناصر اصلی و فرعی دارای بیشترین میزان LOI (۸۳/۶ درصد)، بیشترین میزان پتاسیم اکسید (۳/۷ درصد)، بیشترین میزان سدیم اکسید (۰/۷ درصد)، بیشترین میزان منیزیم اکسید (۱/۲۴ درصد)، بیشترین میزان آرسنیک (۳۸/۵ ppm)، بیشترین میزان عنصر مس (۱۰۶۴ ppm)، بیشترین میزان عنصر روی (۷۲۹۶ ppm) و کمترین میزان درصد کلسیم اکسید (۹/۸ درصد) است (شکل ۷). اوج عناصر و اکسیدهای حداکثری مربوط به ۸۲۵ سال قبل (۱۱۱۵ میلادی) این دوره هم‌زمان با سلسله سلجوقیان در ایران است (رضایی، ۱۳۷۸).

نتایج ضریب همبستگی و آنالیز خوشه‌ای دندروگرام و تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان می‌دهد که این عناصر و اکسیدها منشأ زیستی دارند و از گوانو خفاش‌اند. با توجه به اینکه خفاش‌های منطقه مورد مطالعه از خانواده *Rhinolophidae* (خفاش نعل‌اسبی) و از گونه *Rhinolophus Mehely* (نعل اسبی مهلی) است، رژیم غذایی این گونه در غار بیشتر شامل رده حشرات و عمدتاً راسته *Lepidoptera* (پروانه‌سانان) و مواد گیاهی است (شریفی و همتی، ۲۰۰۴). ارتباط بسیار آشکاری بین شرایط آبوهوای غالب، رشد و تعداد تجمع خفاش با توجه به تراکم و فراوانی حشرات به‌منزله مواد غذایی وجود دارد (رانسم، ۱۹۸۹؛ ۱۹۹۸؛ مک‌اوات و آندریوس، ۱۹۹۵؛ هوینگ و کونز، ۱۹۹۸؛ کوهرل و بارکلی، ۲۰۰۰؛ کونز و هود، ۲۰۰۰؛ هود و همکاران، ۲۰۰۲؛ ریتز، ۲۰۰۴)، به طوری که شرایط آبوهوای گرم‌تر و بارش ملایم فراوانی حشرات را افزایش می‌دهد (ویلیامز، ۱۹۶۱؛ تیلور، ۱۹۶۳). افزایش مصرف مواد غذایی به افزایش تولید شیر مادران و افزایش میزان رشد نوزادان می‌انجامد. این گونه خفاش‌ها فقط یک فصل تولیدمثل در سال دارند (توتل و استیونسون، ۱۹۸۲) و سیکل زایمان و شیردهی آن‌ها منطبق با حداکثر غذای در دسترس در فصل تابستان است (بارکلی و هاردر، ۲۰۰۳). همچنین، خفاش‌های جوان باید ذخایر چربی را سریعاً قبل از شروع نخستین فصل زمستان ذخیره کنند (توتل و استیونسون، ۱۹۸۲؛ کونز و همکاران، ۱۹۹۸). بنابراین، با توجه به بیشترین میزان LOI و دیگر عناصر با منشأ زیستی در این بازه زمانی، به احتمال زیاد منطقه دارای شرایط آبوهوایی گرم و مرطوب بوده است که موجب فراوانی تراکم تعداد حشرات، مواد گیاهی و فراهم کردن شرایط مناسب برای رشد فیزیولوژیکی و افزایش تعداد تجمع خفاش‌ها در غار در این دوره نسبت به دوره‌های قبل و بعد از آن شده است.

این نتایج، یعنی غلبه شرایط آبوهوای گرم و مرطوب در این دوره با دیگر نتایج دیرینه آبوهوای به‌دست‌آمده در ایران منطبق است. از جمله، رضانی و همکاران (۲۰۱۶)، با بررسی شواهد گرده‌شناسی، بالا آمدن سطح آب دریاچه خزر بین ۷۵۰-۱۱۵۰ میلادی را ناشی از وجود فاز مرطوب دانسته‌اند. شریفی و همکاران (۲۰۱۳)، با آنالیز ژئوشیمی عناصر، قرارگرفتن فاز مرطوب بدون گردوخاک بین سال‌های ۸۰۰-۱۳۵۰ میلادی را بین دو فاز خشک و غنی از گردوخاک ۶۵۰-۸۰۰ و ۱۳۵۰-۱۵۰۰ میلادی در دریاچه آملالو اثبات کردند. رضانی و همکاران (۲۰۰۸)، با تجزیه و تحلیل گرده‌های گیاهی دریافتند که آبوهوای مرطوب بین ۱۰۰۰-۱۳۵۰ میلادی در دامنه‌های شمالی البرز میانی غلبه داشته است.

فلاح و همکاران (۲۰۱۵)، با استفاده از شبیه‌سازی آبوهوایی دیرینه و مدل‌های آبوهوایی، شروع شرایط مرطوب‌تر حدود ۳۰۰۰ سال قبل و رسیدن به میزان حداکثر آن در نابهنجاری آبوهوای غیرمتعارف سده میانی در یک

هزار سال قبل را اثبات کردند. طالبی و همکاران (۲۰۱۶)، با استفاده از تحلیل‌های فیزیکی و شیمیایی و گرده‌شناسی در دریاچه ارومیه پی‌بردند که شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک در طول ۸۰۰-۱۱۰۰ سال قبل غلبه داشته است. کاکرودی و همکاران (۲۰۱۲؛ ۲۰۱۵)، با بررسی کاروفیت، ردپای فسیل، دیاتومه، تحلیل دانه‌بندی، ایزوتوپ‌های پایدار و گرده‌شناسی دریافتند که پایین‌رفتن سطح دریای خزر ناشی از وقوع فاز خشک بین ۵۰۰-۱۳۰۰ میلادی است. میلر و همکاران (۲۰۱۶)، به وسیله فراوانی گرده‌های گیاهی بیابانی Asteraceae، Amaranthaceae و Centaurea دانه‌بندی، حساسیت مغناطیسی، گرده‌شناسی و تحلیل دیوتاژکدار دریافتند که شرایط خشک از سال ۹۰۰ تا ۱۴۵۰ در خلیج عمان حاکم بوده است. نادری‌بنی و همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از مدارک تاریخی و شواهد زمین‌شناسی در دریای خزر میزان پایین‌رفتن سطح دریاچه خزر به میزان ۲۸- متر را ناشی از جود فاز خشک بین ۱۰۰۰-۱۲۵۰ میلادی دانستند. شریفی و همکاران (۲۰۱۵)، با استفاده از عناصر اصلی و فرعی، تحلیل امواج کوچک، چگالی حجمی، میزان انباشتگی کربن و ایزوتوپ‌های TOC، δD ، غلبه فاز گرم و خشک بین ۸۰۰-۱۴۰۰ میلادی در دریاچه نئور را ثابت کردند.

غلبه شرایط آب‌وهوای گرم و مرطوب در طول این دوره با دیگر نتایج به‌دست‌آمده از شرایط دیرینه آب‌وهوایی غرب، جنوب‌غربی آسیا و گرینلند منطبق است، از جمله درجه حرارت یک درجه بیشتر در طول دوره ناهنجاری آب‌وهوایی سده میانی ۷۰۰-۱۲۰۰ میلادی نسبت به عصر یخبندان کوچک در گرینلند (GRIP³Dye (داهل‌جنسن و همکاران، ۱۹۹۸)، وجود فاز گرم متمرکز در حدود سال ۱۰۰۰ میلادی در گرینلند، $\delta^{18}O$ ، Renland، NGRIP، Camp، GRIP³، Dye، Century (جانسن و همکاران، ۱۹۹۲؛ ۲۰۰۱؛ ۲۰۰۴)، گرم‌شدگی ملایم بین ۱۴۰۰ و ۹۰۰ سال قبل در ارتباط با آنومالی آب‌وهوای سده میانی در دیسکو بوگت، گرینلند (پرنر و همکاران، ۲۰۱۳)، فاز مرطوب ۹۰۰-۱۴۰۰ میلادی در دریاچه نار ترکیه (دین و همکاران، ۲۰۱۵)، شرایط آب‌وهوای مرطوب‌تر از حدود ۱۰۰۰ تا ۱۲۵۰ میلادی در سوریه (کانیوسکی و همکاران، ۲۰۱۱)، آب‌وهوای مرطوب در ۱۰۰۰-۱۳۰۰ میلادی همراه با بالآمدن سطح آب دریاچه در بحریمیت (میگوسکی و همکاران، ۲۰۰۶)، فاز مرطوب ۷۰۰-۱۶۰۰ میلادی در بحریمیت (لیت و همکاران، ۲۰۱۲)، دوره مرطوب بین ۸۳۰-۱۴۰۰ میلادی در تل‌لیلان، وادی جراح، سوریه (کانیوسکی و همکاران، ۲۰۱۱)، دوره گرم و مرطوب بین ۱۰۰۰-۱۲۵۰ میلادی در جبله سوریه (کانیوسکی و همکاران، ۲۰۱۱)، فاز مرطوب بین ۱۰۰۰-۱۲۰۰ میلادی در دریاچه تسر، ترکیه (کوزوکوگلو و همکاران، ۲۰۱۱)، فاز مرطوب ۹۵۰-۱۴۰۰ میلادی در دریاچه نارگولو، ترکیه (وودبریج و روبرتس، ۲۰۱۱)، دوره‌های مرطوب بین ۸۰۰-۱۳۵۰ میلادی در دریاچه چوبوک ترکیه (اوجاکوگلو و همکاران، ۲۰۱۶)، دوره‌های مرطوب بین ۱۰۰۰-۱۲۰۰ میلادی در دریای سیاه، ترکیه (مرتس و همکاران، ۲۰۱۲)، دوره‌های مرطوب بین ۱۰۰۰-۱۴۰۰ در دریای سیاه ترکیه (لمی و همکاران، ۲۰۰۶)، دوره گرم و مرطوب بین ۷۰۰-۱۱۵۰ سال قبل در دریاچه ازینیک ترکیه (اولگن و همکاران، ۲۰۱۲)، شرایط مرطوب بین ۷۰۰-۱۴۰۰ میلادی در دریاچه نمکی لارناکا، قبرس (کانیوسکی و همکاران، ۲۰۱۳)، شرایط مرطوب در وادی فاینان، جنوب اردن (هانت و همکاران، ۲۰۰۷)، فاز مرطوب در طول ناهنجاری آب‌وهوایی سده میانی ۷۰۰-۱۳۰۰ میلادی در سواحل دریای سیاه گرجستان (دی کلرک و همکاران، ۲۰۰۹).

د) ۳۸۰-۱۹۱ سال قبل (۱۷۵۹-۱۵۷۰ میلادی) منطبق با عصر یخبندان کوچک (LIA)

عصر یخبندان کوچک دوره‌ای سردشدگی است که بعد از دوره گرم سده میانه رخ داده است. اگرچه این دوره عصر یخبندان واقعی نبوده است، این اصطلاح را در سال ۱۹۳۹ فرانسوا مانتس وارد متون علمی کرد و دوره گسترش‌یافته از قرن ۱۶ تا قرن ۱۹ تعریف شده است (مان، ۲۰۰۳؛ لامب، ۱۹۷۲). اما، برخی کارشناسان ترجیح می‌دهند بازه‌ای زمانی از حدود سال ۱۳۰۰ میلادی تا ۱۸۵۰ میلادی را جایگزین آن کنند (میلر و همکاران، ۲۰۱۲).

در این دوره آب‌وهوایی از نظر میزان LOI، اکسیدها و عناصر اصلی و فرعی، میزان LOI (۷۶/۸ درصد) که نسبت به دوره ناهنجاری آب‌وهوایی سده میانی حدود ۶/۵ درصد کاهش یافته است: کمترین میزان پتاسیم اکسید (۲ درصد)، کمترین میزان سدیم اکسی (۰/۴ درصد)، کمترین میزان درصد منیزیم اکسید (۰/۵۸ درصد)، کمترین میزان تیتانیم دی‌اکسید (۰/۰۹ درصد)، کمترین میزان منگنز اکسید (۰/۰۲ درصد)، کمترین میزان عنصر مس (۳۳۴/۱ ppm)،

کمترین میزان عنصر وانادیم (۲۱/۹ ppm)، کمترین میزان عنصر ایتريم (۱۳/۵ ppm)، کمترین میزان عنصر زیرکونیم (۳۷/۷ ppm)، کاهش در میزان عنصر کلر (به ۲۸۹۳ ppm)، کاهش در میزان آرسنیک (به ۲۲/۳ ppm)، کاهش در میزان عنصر روی (به ۴۷۸۱/۵ ppm)، کاهش در میزان عنصر سرب (به ۱۴۵/۸ ppm)، میزان عنصر نیکل (۳۳/۷ ppm)، بیشترین میزان درصد کلسیم اکسید (۱۶/۸ درصد)، و بیشترین میزان عنصر سولفور (۶۰۵۵۴ ppm) (شکل ۷).

کمترین میزان عناصر و اکسیدهای حداقلی مربوط به ۲۹۱ سال قبل (۱۶۵۹ میلادی) است. این دوره منطبق با دوره حداقل ماندگاری است؛ دوره‌ای طولانی‌مدت با حداقل میزان لکه‌های خورشیدی شناخته شده که از سال ۱۶۴۵ میلادی شروع و تا سال ۱۷۱۵ ادامه داشته و لکه‌های خورشیدی بسیار نادر بوده (ماندر، ۱۹۲۲؛ ادی، ۱۹۷۶) و هم‌زمان با سلسله صفویان در ایران (رضایی، ۱۳۷۸) است.

نتایج ضریب همبستگی و آنالیز خوشه‌ای دندروگرام و تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان می‌دهد که این عناصر و اکسیدها منشأ زیستی دارد و از گوانو خفاش است. غذای در دسترس به شکل فراوانی حشرات به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای از سالی به سال دیگر عمدتاً تابعی از آب‌وهواست و تغییر می‌کند (ویلیامز، ۱۹۴۰؛ ۱۹۶۱؛ راتنباچ، ۱۹۸۸). برای مثال، درجه‌حرارت‌های پایین‌تر و بارش‌های قوی فراوانی حشرات را کاهش می‌دهد (تایلور، ۱۹۶۳). همچنین، هوینگ و کونز (۱۹۹۸) میزان کاهش رشد قابل‌توجهی در مرحله بعد از تولد در خفاش‌ها را در ارتباط با تابستان‌های با درجه‌حرارت‌های نسبتاً سردتر همراه با مقدار بارش بیشتر ثابت کردند. علاوه بر این، آب‌وهوای شدید و ناملایم استفاده از خواب زمستانی را در خفاش‌های ماده آبستن و شیرده افزایش می‌دهد (هوینگ و کونز، ۱۹۹۸). همچنین، خواب زمستانی سوخت‌وساز و فرایندهای مرتبط با حفظ جنین در حال رشد (راکی، ۱۹۷۴) و تولید شیر (ویلند و همکاران، ۱۹۹۵) را کاهش می‌دهد، بنابراین به کاهش نرخ زاد و ولد خفاش‌ها می‌انجامد.

هود و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که با افزایش بارش در ماه قبل از تولد، توده بدن و طول ساعد خفاش‌ها هنگام تولد کمترین بوده است. علاوه بر این، با کاهش درجه حرارت محیط اطراف در طول اواخر بارداری، توده بدن خفاش‌ها هنگام تولد به‌طور قابل‌توجهی کمتر بوده است. بنابراین، به احتمال زیاد منطقه در طول این دوره شرایط آب‌وهوایی سرد و مرطوب داشته است که این کاهش درجه حرارت، سردی هوا و افزایش میزان رطوبت سبب کاهش مواد غذایی (فراوانی حشرات)، کاهش نرخ زادوولد و تغییر در خصوصیات فیزیولوژیکی خفاش‌ها شده است. در نتیجه، تعداد تجمع خفاش‌ها در غار نسبت به دوره ناپهنجاری آب‌وهوایی سده میانی به‌طور چشمگیری کاهش یافته است. در دوره‌های بعدی، با بهتر شدن شرایط محیطی، از جمله گرم‌تر شدن هوا، به‌تدریج تجمع خفاش‌ها در غار افزایش یافته است. این نتایج، یعنی وجود آب‌وهوای سرد و مرطوب در طول عصر یخبندان کوچک با دیگر نتایج دیرینه اقلیم به‌دست‌آمده در ایران منطبق است. از جمله، رضانی و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی گرده‌های گیاهی، بالآمدن سطح آب دریای خزر در دامنه‌های شمالی البرز میانی را ناشی از آب‌وهوای سرد و مرطوب در طول عصر یخبندان کوچک دانسته‌اند. حقانی و همکاران (۲۰۱۶)، با استفاده از شواهد رسوب‌شناسی و گرده‌شناسی به بالآمدن سطح آب دریای خزر تا ۴۴/۲۱- متر (بیش از ۶ متر بالای سطح آب حاضر) در ابتدای عصر یخبندان کوچک پی‌بردند.

کاکرودی و همکاران (۲۰۱۲؛ ۲۰۱۵)، با استفاده از نتایج تجزیه و تحلیل کاروفیت، ردپای فسیل، دیاتومه، تحلیل دانه‌بندی، ایزوتوپ‌های پایدار و گرده‌شناسی نتیجه گرفتند که آخرین بالآمدگی دریای خزر در (۶۱۵-۵۰۴ و ۶۷۰-۵۵۶ سال قبل) رخ داده است. میلر و همکاران (۲۰۱۶)، با استفاده از نتایج دانه‌بندی، حساسیت مغناطیسی، گرده‌شناسی و تحلیل دیوتاژکداران، حاکمیت شرایط مرطوب‌تر در خلیج عمان در طول عصر یخبندان کوچک را ثابت کردند. کرونینرگ و همکاران (۲۰۰۸)، با استفاده از نیمرخ رادار نفوذ زمینی نتیجه گرفتند که آخرین بالآمدگی اصلی در ۲۶۰۰ سال قبل و در عصر یخبندان کوچک در دریای خزر رخ داده است.

لروی و همکاران (۲۰۱۱)، با استفاده از نتایج رسوب‌شناسی و گرده‌شناسی، غلبه آب‌وهوای سرد و مرطوب و بالآمدن سطح آب دریای خزر در طول عصر یخبندان کوچک از ۱۶۵۰ تا ۱۸۰۰-۱۸۳۰ در تالاب انزلی و امیرکلا را اثبات کردند. دجمالی و همکاران (۲۰۰۹)، با استفاده از نتایج گرده‌شناسی، سطوح بالاتر آب دریاچه آملو را نتیجه درجه حرارت پایین تابستانی یا میزان بالای بارش سالیانه در طول عصر یخبندان کوچک دانستند.

نادری بنی و همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از مدارک تاریخی و شواهد زمین‌شناسی نتیجه گرفتند که میزان بالآمدگی دریای خزر در طول عصر یخبندان کوچک تا ۲۱- متر بوده است. دجمالی و همکاران (۲۰۰۹)، با استفاده از شواهد گرده‌شناسی به این نتیجه رسیدند که سطوح بالاتر آب دریاچه آملو به واسطه پایین‌تر بودن درجه حرارت تابستان و بارش سالیانه بیشتر در طول عصر یخبندان کوچک بوده است. رضانی و همکاران (۲۰۰۸)، با استفاده از تجزیه و تحلیل نتایج گرده‌شناسی نتیجه گرفتند که شروع عصر یخبندان کوچک ۱۵۶۰-۱۶۰۰ میلادی در دامنه‌های شمالی البرز میانی رخ داده است.

طالبی و همکاران (۲۰۱۶)، با استفاده از تحلیل‌های فیزیکی-شیمیایی و گرده‌شناسی پی بردند که افزایش سطح دریاچه ارومیه در نتیجه آب‌وهوای سردتر و بسیار خشک طی ۱۵۰-۵۵۰ سال قبل بوده است و غلبه شرایط آب‌وهوای سرد و مرطوب در طول عصر یخبندان کوچک با دیگر نتایج به دست آمده از شرایط دیرینه آب‌وهوایی گرینلند، غرب و جنوب‌غربی آسیا- از جمله وجود فاز مرطوب ۱۰۵۰-۱۱۵۰، فاز خشک ۱۱۵۰-۱۲۵۰ و فاز مرطوب ۱۲۵۰-۱۴۰۰ میلادی در غار گجگار شمال عراق (فلوهر و همکاران، ۲۰۱۷)، غلبه آب‌وهوای مرطوب‌تر در طول عصر یخبندان کوچک در غار هوتی، عمان (فلایتمن و همکاران، ۲۰۰۷؛ ۲۰۰۹)، کاهش درجه حرارت به میزان ۰/۵ تا ۰/۷ درجه کلون در طول عصر یخبندان کوچک نسبت به زمان حال حاضر در گرینلند GRIP³Dye (داهل جنسن و همکاران، ۱۹۹۸)- علامت مشخص برای عصر یخبندان کوچک، علامت مشخص برای گرم شدن هوا در قرون اخیر در گرینلند، ۲GISP، GRIP³، Dye، Century، Camp، Renland، NGRIP (جانسن و همکاران، ۱۹۹۲؛ ۲۰۰۱؛ آندرسن و همکاران، ۲۰۰۴) است و با رسیدن مساحت پهنه یخی گرینلند به حداکثر میزان نئوگلاسیر در عصر یخبندان کوچک در اواخر ۱۸۸۰ و اوایل ۱۹۰۰ میلادی (فوندر و همکاران، ۲۰۱۱)، پیشرفت صفحات یخی بیش از حد کنونی در طول عصر یخبندان کوچک در گرینلند (واسکوگ و همکاران، ۲۰۱۵)، وجود دوره سرد و مرطوب عصر یخبندان کوچک در دریاچه تسر، ترکیه (کوزوگولو و همکاران، ۲۰۱۱)، شرایط مرطوب در طول عصر یخبندان کوچک در دریاچه گولحصار گولو، ترکیه (ایستوود و همکاران، ۲۰۰۷)، نیز منطبق است.

منابع

- حنفی، ع. و حاتمی، ا. (۲۰۱۳). تهیه نقشه اقلیمی استان کردستان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر. ۲۲(۸۷): ۲۴-۲۸.
- رضایی، ع. (۱۳۷۸). تاریخ ده‌هزار ساله ایران. جلد سوم، انتشارات اقبال.
- فنودی، م. و حیدری، ع. (۱۳۷۷). نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰. کتاب. سازان زمین‌شناسی ایران.
- Anderson, R.S., Jiménez-Moreno, G., Carrión, J.S. and Pérez-Martínez, C. (2011). Postglacial history of alpine vegetation, fire, and climate from Laguna de Río Seco, Sierra Nevada, southern Spain. *Quaternary Science Reviews*, 30(13): 1615-1629. doi:10.1016/j.quascirev. 2011.03.005.
- Andresen, C.S., Björck, S., Bennike, O. and Bond, G. (2004). Holocene climate changes in southern Greenland: evidence from lake sediments. *Journal of Quaternary Science*, 19(8): 783-795.
- Barclay, R.M.R. and Harder, L.D. (2003). Life histories of bats: life in the slow lane. In: *Bat Ecology*. Ed. by T.H. Kunz and M.B. Fenton. Chicago: University of Chicago Press: 209-253.
- Batina, M.C. and Reese, C.A. (2011). A Holocene pollen record recovered from a guano deposit: Round Spring Cavern, Missouri, USA. *Boreas*, 40(2): 332-341.
- Bird, M.I., Boobyer, E.M., Bryant, C., Lewis, H.A., Paz, V. and Stephens, W.E. (2007). A long record of environmental change from bat guano deposits in Makangit Cave, Palawan, Philippines. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 98(01): 59-69.
- Blaauw, M. and Christen, J.A. (2013). Bacon Manual v2. 2. Blaauw, M., Wohlfarth, B., Christen, J.A., Ampel, L., Veres, D., Hughen, K.A., Preusser, F., et al. (2010).—Were last glacial climate events simultaneous between Greenland and France, 387e394.
- Blaauw, M. and Christen, J.A. (2011). Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis*, 6(3): 457-474.
- Blaauw, M. (2010). Methods and code for 'classical' age-modelling of radiocarbon sequences. *Quaternary Geochronology*, 5(5): 512-518.
- Bradley, R.S., Briffa, K.R., Cole, J., Hughes, M.K. and Osborn, T.J. (2003). The climate of the last millennium. In *Paleoclimate, global change and the future* (pp. 105-141). Springer Berlin Heidelberg.
- Bruthans, J., Filippi, M., Geršl, M., Zare, M., Melková, J., Pazdur, A. and Bosák, P. (2006). Holocene marine terraces on two salt diapirs in the Persian Gulf, Iran: age, depositional history and uplift rates. *Journal of Quaternary Science*, 21(8): 843-857.
- Campbell, J.W., Waters, M.N. and Rich, F. (2017). Guano core evidence of palaeoenvironmental change and Woodland Indian inhabitation in Fern Cave, Alabama, USA, from the mid-Holocene to present. *Boreas*.

- Cruz, F.W., Burns, S.J., Jercinovic, M., Karmann, I., Sharp, W.D. and Vuille, M. (2007). Evidence of rainfall variations in Southern Brazil from trace element ratios (Mg/Ca and Sr/Ca) in a Late Pleistocene stalagmite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71(9): 2250-2263.
- Cullen, H.M., Hemming, S., Hemming, G., Brown, F.H., Guilderson, T. and Sirocko, F. (2000). Climate change and the collapse of the Akkadian empire: Evidence from the deep sea. *Geology*, 28(4): 379-382.
- Dahl-Jensen, D., Mosegaard, K., Gundestrup, N., Clow, G.D., Johnsen, S.J., Hansen, A.W. and Balling, N. (1998). Past temperatures directly from the Greenland ice sheet. *Science*, 282(5387): 268-271.
- Dauwe, T.; Bervoets, L.; Blust, R.; Pinxten, R. and Eens, M. (2000). Can excrement and feathers of nestling songbirds be used as biomonitors for heavy metal pollution?. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39(4): 541-546.
- Dean, J.R., Jones, M.D., Leng, M.J., Noble, S.R., Metcalfe, S.E., Sloane, H.J., ... and Roberts, C.N. (2015). Eastern Mediterranean hydroclimate over the late glacial and Holocene, reconstructed from the sediments of Nar lake, central Turkey, using stable isotopes and carbonate mineralogy. *Quaternary Science Reviews*, 124: 162-174.
- De Klerk, P., Haberl, A., Kaffke, A., Krebs, M., Matchutadze, I., Minke, M., ... and Joosten, H. (2009). Vegetation history and environmental development since ca 6000 cal yr BP in and around Ispani 2 (Kolkheti lowlands, Georgia). *Quaternary Science Reviews*, 28(9-10), 890-910.
- DeMenocal, P.B. (2001). Cultural responses to climate change during the late Holocene. *Science (New York, NY)*, 292(5517): 667-673.
- Djamali, M., de Beaulieu, J.L., Andrieu-Ponel, V., Berberian, M., Miller, N.F., Gandouin, E., and Guiter, F. (2009). A late Holocene pollen record from Lake Almalou in NW Iran: evidence for changing land-use in relation to some historical events during the last 3700 years. *Journal of Archaeological Science*, 36(7): 1364-1375.
- Dykoski, C.A., Edwards, R.L., Cheng, H., Yuan, D., Cai, Y., Zhang, M., ... and Revenaugh, J. (2005). A high-resolution, absolute-dated Holocene and deglacial Asian monsoon record from Dongge Cave, China. *Earth and Planetary Science Letters*, 233(1): 71-86.
- Eastwood, W.J., Leng, M.J., Roberts, N. and Davis, B. (2007). Holocene climate change in the eastern Mediterranean region: a comparison of stable isotope and pollen data from Lake Golhisar, southwest Turkey. *Journal of Quaternary Science*, 22(4): 327-342.
- Eddy J.A. (1976). The Maunder Minimum. *Science*. 192(4245): 1189-1202.
- Fairchild, I.J., Tuckwell, G.W., Baker, A. and Tooth, A.F. (2006). Modelling of dripwater hydrology and hydrogeochemistry in a weakly karstified aquifer (Bath, UK): implications for climate change studies. *Journal of Hydrology*, 321(1): 213-231.
- Fairchild, I.J., Baker, A., Borsato, A., Frisia, S., Hinton, R.W., McDermott, F.R.A.N.K. and Tooth, A.F. (2001). Annual to sub-annual resolution of multiple trace-element trends in speleothems. *Journal of the Geological Society*, 158(5): 831-841.
- Fairchild, I.J., Borsato, A., Tooth, A.F., Frisia, S., Hawkesworth, C.J., Huang, Y., ... and Spiro, B. (2000). Controls on trace element (Sr-Mg) compositions of carbonate cave waters: implications for speleothem climatic records. *Chemical Geology*, 166(3): 255-269.
- Fairchild, I.J., Tooth, A.F., Huang, Y., Borsato, A., Frisia, S. and McDermott, F. (1996). Spatial and temporal variations in water and stalactite chemistry in currently active caves: a precursor to interpretations of past climate. In Proc. 4th International Symposium on Geochemistry of the Earth's Surface. Bottrell SH (ed) Ilkley, Yorkshire, University of Leeds, UK p: 229-233.
- Fallah, B., Sodoudi, S., Russo, E., Kirchner, I., & Cubasch, U. (2015). Towards modeling the regional rainfall changes over Iran due to the climate forcing of the past 6000 years. *Quaternary International*.
- Fleitmann, D., Cheng, H., Badertscher, S., Edwards, R.L., Mudelsee, M., Göktürk, O.M., ... and Kramers, J. (2009). Timing and climatic impact of Greenland interstadials recorded in stalagmites from northern Turkey. *Geophysical Research Letters*, 36(19).
- Fleitmann, D., Mudelsee, M., Bradley, R.S., Pickering, P., Kramers, J., Burns, S.J., ... and Matter, A. (2009). Megadroughts at the dawn of Islam recorded in a 2600-year long stalagmite from Northern Oman. In EGU General Assembly Conference Abstracts, 11: 8174.
- Fleitmann, D., Burns, S.J., Mangini, A., Mudelsee, M., Kramers, J., Villa, I., ... and Matter, A. (2007). Holocene ITCZ and Indian monsoon dynamics recorded in stalagmites from Oman and Yemen (Socotra). *Quaternary Science Reviews*, 26(1): 170-188.
- Fletcher, W.J. and Goñi, M.F.S. (2008). Orbital-and sub-orbital-scale climate impacts on vegetation of the western Mediterranean basin over the last 48,000 yr. *Quaternary Research*, 70(3): 451-464.
- Flohr, P., Fleitmann, D., Zorita, E., Sadekov, A., Cheng, H., Bosomworth, M., ... and Matthews, R. (2017). Late Holocene droughts in the Fertile Crescent recorded in a speleothem from northern Iraq. *Geophysical Research Letters*, 44(3): 1528-1536.
- Forray, F.L., Onac, B.P., Tanțău, I., Wynn, J.G., Tămaș, T., Coroiu, I. and Giurgiu, A.M. (2015). A Late Holocene environmental history of a bat guano deposit from Romania: an isotopic, pollen and microcharcoal study. *Quaternary Science Reviews*, 127: 141-154.
- Funder, S., Kjeldsen, K.K., Kjær, K.H. and Cofaigh, C.Ó. (2011). The Greenland Ice Sheet during the past 300,000 years: A review. *Developments in Quaternary Science*, 15: 699-713.
- Geantă, A., Tanțău, I., Tămaș, T. and Johnston, V.E. (2012). Palaeoenvironmental information from the palynology of an 800-year old bat guano deposit from Măgurici Cave, NW Transylvania (Romania). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 174: 57-66.
- Gingele, F., De Deckker, P. and Norman, M. (2007). Late Pleistocene and Holocene climate of SE Australia reconstructed from dust and river loads deposited offshore the River Murray Mouth. *Earth and Planetary Science Letters*, 255(3): 257-272.
- Goslar, T., Czernik, J. and Goslar, E. (2004). Low-energy 14 C AMS in Poznań Radiocarbon Laboratory, Poland. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*,

- 223: 5-11.
- Griffiths, H.I., Schwalb, A. and Stevens, L.R. (2001). Environmental change in southwestern Iran: the Holocene ostracod fauna of Lake Mirabad. *The Holocene*, 11(6): 757-764.
- Grousset, F., Buatmenard, P., Boust, D., Tian, R.C., Baudel, S., Pujol, C. and Vergnaudgrazzini, C. (1989). Temporal changes of aeolian Saharan input in the Cape Verde abyssal-plain since the last glacial period. *Oceanologica acta*, 12(2): 177-185.
- Haghani, S., Leroy, S.A., Khdir, S., Kabiri, K., Naderi Beni, A., and Lahijani, H.A.K. (2016). An early 'Little Ice Age' brackish water invasion along the south coast of the Caspian Sea (sediment of Langarud wetland) and its wider impacts on environment and people. *The Holocene*, 26(1): 3-16.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T. and Ryan, P.D. (2001). Paleontological statistics software: package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 9 p.
- Heyvaert, V.M.A. and Baeteman, C. (2007). Holocene sedimentary evolution and palaeocoastlines of the Lower Khuzestan plain (southwest Iran). *Marine Geology*, 242(1), 83-108.
- Hood, W.R., Bloss, J. and Kunz, T.H. (2002). Intrinsic and extrinsic sources of variation in size at birth and rates of postnatal growth in the big brown bat *Eptesicus fuscus* (Chiroptera: Vespertilionidae). *J. Zool. (London)*, 258: 355-363.
- Hoying, K.M. and Kunz, T.H. (1998). Variation in size at birth and post-natal growth in the insectivorous bat *Pipistrellus subflavus* (Chiroptera: Vespertilionidae). *Journal of Zoology*, 245(1): 15-27.
- Hua, Q., Barbetti, M. and Rakowski, A.Z. (2013). Atmospheric radiocarbon for the period 1950–2010. *Radiocarbon*, 55(4): 2059-2072.
- Hua, Q. and Barbetti, M. (2004). Review of tropospheric bomb ¹⁴C data for carbon cycle modeling and age calibration purposes. *Radiocarbon*, 46(03): 1273-1298.
- Huang, Y., Fairchild, I.J., Borsato, A., Frisia, S., Cassidy, N.J., McDermott, F. and Hawkesworth, C.J. (2001). Seasonal variations in Sr, Mg and P in modern speleothems (Grotta di Ernesto, Italy). *Chemical Geology*, 175(3): 429-448.
- Hunt, C.O., Gilbertson, D.D. and El-Rishi, H.A. (2007). An 8000-year history of landscape, climate, and copper exploitation in the Middle East: the Wadi Faynan and the Wadi Dana National Reserve in southern Jordan. *Journal of Archaeological Science*, 34(8): 1306-1338.
- Hutchinson, G.E. (1950). Survey of existing knowledge of biogeochemistry. The biogeochemistry of vertebrate excretion. *Bulletin of the AMNH*; v. 96.
- Johnsen, S.J., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N., Steffensen, J.P., Clausen, H.B., Miller, H. and White, J. (2001). Oxygen isotope and palaeotemperature records from six Greenland ice-core stations: Camp Century, Dye-3, GRIP, GISP2, Renland and NorthGRIP. *Journal of Quaternary Science*, 16(4): 299-307.
- Johnsen, S.J., Clausen, H.B., Dansgaard, W., Fuhrer, K., Gundestrup, N., Hammer, C.U., ... and Stauffer, B. (1992). Irregular glacial interstadials, recorded in a new Greenland. *Nature*, 3: 24.
- Johnston, V.E., McDermott, F. and Tâmaş, T. (2010). A radiocarbon dated bat guano deposit from NW Romania: Implications for the timing of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 291(3): 217-227.
- Kakroodi, A.A., Leroy, S.A.G., Kroonenberg, S.B., Lahijani, H.A.K., Alimohammadian, H., Boomer, I. and Goorabi, A. (2015). Late Pleistocene and Holocene sea-level change and coastal paleoenvironment evolution along the Iranian Caspian shore. *Marine Geology*, 361: 111-125.
- Kakroodi, A.A., Kroonenberg, S.B., Hoogendoorn, R.M., Khani, H.M., Yamani, M., Ghassemi, M.R. and Lahijani, H.A.K. (2012). Rapid Holocene sea-level changes along the Iranian Caspian coast. *Quaternary International*, 263: 93-103.
- Kaniewski, D., Van Campo, E., Guiot, J., Le Burel, S., Otto, T. and Baeteman, C. (2013). Environmental roots of the Late Bronze Age crisis. *PLoS One*, 8(8): e71004.
- Kaniewski, D., Van Campo, E., Paulissen, E., Weiss, H., Bakker, J., Rossignol, I. and Van Lerberghe, K. (2011). The medieval climate anomaly and the little Ice Age in coastal Syria inferred from pollen-derived palaeoclimatic patterns. *Global and Planetary Change*, 78(3): 178-187.
- Karmann, I., Cruz, F.W., Viana, O. and Burns, S.J. (2007). Climate influence on geochemistry parameters of waters from Santana-Pérolas cave system, Brazil. *Chemical Geology*, 244(1): 232-247.
- Kaser, G. and Osmaston, H. (2002). *Tropical glaciers*. Cambridge University Press.
- Kelley, C.P., Mohtadi, S., Cane, M.A., Seager, R. and Kushnir, Y. (2015). Climate change in the fertile crescent and implications of the recent Syrian drought. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 112: 3241-3246.
- Koehler, C.E. and Barclay, R.M.R. (2000): Post-natal growth and breeding biology of the hoarybat (*Lasiurus cinereus*). *J. Mammalogy*, 81: 234-244.
- Kroonenberg, S.B., Abdurakhmanov, G.M., Badyukova, E.N., Van der Borg, K., Kalashnikov, A., Kasimov, N.S., ... and Wesselingh, F.P. (2008). Solar-forced 2600 BP and Little Ice Age highstands of the Caspian sea. *Quat. Int.*, 173-174: 137-143.
- Kunz, T.H. and Hood, W.R. (2000). Parental care and postnatal growth in the Chiroptera. In: *Reproductive Biology of Bats*. Ed. by E.G. Crichton and P.H. Krutzsch. San Diego: Academic Press: 415-468.
- Kunz, T.H., Wrazen, J.A. and Burnett, C.D. (1998). Changes in body mass and fat reserves in pre-hibernating little brown bats (*Myotis lucifugus*). *Ecoscience*, 5: 8-17.
- Kuzucuoğlu, C., Dörfler, W., Kunesch, S. and Goupille, F. (2011). Mid-to late-Holocene climate change in central Turkey: the Tecer Lake record. *The Holocene*, 21(1): 173-188.
- Lamb, H.H. (1972). *The cold Little Ice Age climate of about 1550 to 1800. Climate: present, past and future*. London: Methuen. p. 107. ISBN 0-416-11530-6.
- Lamy, F., Arz, H.W., Bond, G.C., Bahr, A. and Pätzold, J. (2006). Multicentennial-scale hydrological changes in the Black Sea and northern Red Sea during the Holocene and the Arctic/North Atlantic Oscillation. *Paleoceanography*, 21(1).

- Lauritzen, S.E. (1993). Natural environmental change in karst: the Quaternary record. *Catena supplement*, 25: 21-21.
- Leroy, S.A.G., Lahijani, H.A.K., Djmal, M., Naqinezhad, A., Moghadam, M.V., Arpe, K., and Habibi, P. (2011). Late Little Ice Age palaeoenvironmental records from the Anzali and Amirkola Lagoons (south Caspian Sea): Vegetation and sea level changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 302(3): 415-434.
- Lézine, A.M., Robert, C., Cleuziou, S., Inizan, M.L., Braemer, F., Saliège, J.F., ... and Charpentier, V. (2010). Climate change and human occupation in the Southern Arabian lowlands during the last deglaciation and the Holocene. *Global and Planetary Change*, 72(4): 412-428.
- Li, H. and Ku, T. (2002). Little ice age and medieval warm periods in Eastern China as read from the Speleothem Records. In AGU Fall Meeting Abstracts.
- Litt, T., Ohlwein, C., Neumann, F.H., Hense, A. and Stein, M. (2012). Holocene climate variability in the Levant from the Dead Sea pollen record. *Quaternary Science Reviews*, 49: 95-105.
- Liu, X.D., Sun, L.G., Cheng, Z.Q., Zhao, S.P., Liu, K.X., Wu, X.H., ... and Fu, D.B. (2008). Paleoenvironmental implications of the guano phosphatic cementation on Dongdao Island in the South China Sea. *Marine Geology*, 247(1): 1-16.
- Maghsoudi, M., Azizi, Gh. and Jafarbeglou, M. (2013a). Geomorphological evidence of the level and climate changes of Zaribar Lake in the Holocene. *Rapidly Changing Large Lakes and Human Response*, Tehran, January 5-12.
- Maghsoudi, M., Jafarbeglou, M. and Azizi, Gh. (2013b). Clay mineralogical evidence of climate change in Zaribar Lake in Holocene. *The First IRAG Conference*, Tehran, February 27-27.
- Maghsoudi, M., Beglou, M.J. and Rahimi, O. (2014). Sedimentary evidence of climate changes in Holocene, Zeribar Lake. *Physical Geography*, 46(1): 7.
- Mann, M.E., Zhang, Z., Rutherford, S., Bradley, R.S., Hughes, M.K., Shindell, D., ... and Ni, F. (2009). Global signatures and dynamical origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly. *Science*, 326(5957): 1256-1260.
- Mann, M. (2003). Little Ice Age. In Michael C MacCracken; John S Perry. *Encyclopedia of Global Environmental Change, Volume 1, The Earth System: Physical and Chemical Dimensions of Global Environmental Change*.
- Martinez-Ruiz, F., Kastner, M., Gallego-Torres, D., Rodrigo-Gámiz, M., Nieto-Moreno, V. and Ortega-Huertas, M. (2015). Paleoclimate and paleoceanography over the past 20,000 yr in the Mediterranean Sea Basins as indicated by sediment elemental proxies. *Quaternary Science Reviews*, 107: 25-46.
- Matthes, F.E. (1939). Report of committee on glaciers, April 1939. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 20(4): 518-523.
- Maunder, E.W. (1922). The prolonged sunspot minimum, 1645-1715. *British Astronomical Association*.
- McOwat, T.P. and Andrews, P.T. (1995). The influence of climate on the growth rate of *Rhinolophus ferrumequinum* in West Wales. *Myotis*, 32/33: 69-79.
- Mertens, K.N., Bradley, L.R., Takano, Y., Mudie, P.J., Marret, F., Aksu, A.E., ... and Bagheri, S. (2012). Quantitative estimation of Holocene surface salinity variation in the Black Sea using dinoflagellate cyst process length. *Quaternary Science Reviews*, 39: 45-59.
- Migowski, C., Stein, M., Prasad, S., Negendank, J.F. and Agnon, A. (2006). Holocene climate variability and cultural evolution in the Near East from the Dead Sea sedimentary record. *Quaternary Research*, 66(3): 421-431.
- Miller, C.S., Leroy, S.A., Collins, P.E. and Lahijani, H.A. (2016). Late Holocene vegetation and ocean variability in Gulf of Oman. *Quaternary Science Reviews*, 143, 120-132.
- Miller, G.H., Geirsdóttir, Á., Zhong, Y., Larsen, D.J., Otto-Bliesner, B.L., Holland, M.M., ... and Anderson, C. (2012). Abrupt onset of the Little Ice Age triggered by volcanism and sustained by sea-ice/ocean feedbacks. *Geophysical Research Letters*, 39(2).
- Morellon, M., Valero-Garcés, B., Vegas-Vilarrubia, T., Gonzalez-Samperiz, P., Romero, O., Delgado-Huertas, A., ... and Corella, J.P. (2009). Lateglacial and Holocene Palaeohydrology in the western Mediterranean region: the Lake Estanya record (NE Spain). *Quaternary Science Reviews*, 28(25): 2582-2599.
- Naderi Beni, A.B.D.O.L.M.A.J.I.D., Lahijani, H., Mousavi Harami, R., Arpe, K., Leroy, S.A.G., Marriner, N., ... and Reimer, P.J. (2013). Caspian sea-level changes during the last millennium: historical and geological evidence from the south Caspian Sea. doi: 10.5194/cp-9-1645-2013.
- Ocañoğlu, F., Dönmez, E.O., Akbulut, A., Tunoğlu, C., Kır, O., Açıkalın, S., ... and Leroy, S.A. (2016). A 2800-year multi-proxy sedimentary record of climate change from Lake Çubuk (Göynük, Bolu, NW Anatolia). *The Holocene*, 26(2): 205-221.
- Onac, B.P., Hutchinson, S.M., Geantă, A., Forray, F.L., Wynn, J.G., Giurgiu, A.M. and Coroiu, I. (2015). A 2500-yr late Holocene multi-proxy record of vegetation and hydrologic changes from a cave guano-clay sequence in SW Romania. *Quaternary Research*, 83(3): 437-448.
- Onac, B.P., Forray, F.L., Wynn, J.G. and Giurgiu, A.M. (2014). Guano-derived $\delta^{13}C$ -based paleo-hydroclimate record from Gaura cu Musca Cave, SW Romania. *Environmental Earth Sciences*, 71(9): 4061-4069.
- Perner, K., Moros, M., Jennings, A., Lloyd, J.M. and Knudsen, K.L. (2013). Holocene palaeoceanographic evolution off West Greenland. *The Holocene*, 23(3): 374-387. doi: 10.1177/0959683612460785.
- Potts, P.J. and West, M. (2008). Portable X-ray fluorescence spectrometry: Capabilities for in situ analysis. *Royal Society of Chemistry*.
- Pustovoytov, K., Schmidt, K. and Taubald, H. (2007). Evidence for Holocene environmental changes in the northern Fertile Crescent provided by pedogenic carbonate coatings. *Quaternary Research*, 67(3): 315-327.
- Quigley, M.C., Horton, T., Hellstrom, J.C., Cupper, M.L. and Sandiford, M. (2010). Holocene climate change in arid Australia from speleothem and alluvial records. *The Holocene*, 20(7): 1093-1104.
- Racey, P.A. (1974). Ageing and assessment of reproductive status of pipistrelle bats, *Pipistrellus pipistrellus*. *Journal of Zoology*, 173: 264-271.
- Ramezani, E., Mrotzek, A., Mohadjer, M.R.M., Kakroodi, A.A., Kroonenberg, S.B. and Joosten, H. (2016). Between the mountains and the sea: Late Holocene Caspian Sea level fluctuations and vegetation history of the lowland

- forests of northern Iran. *Quaternary International*, 408: 52-64.
- Ramezani, E., Marvie Mohadjer, M.R., Knapp, H.D., Ahmadi, H. and Joosten, H. (2008). The late-Holocene vegetation history of the Central Caspian (Hyrcanian) forests of northern Iran. *The Holocene*, 18(2): 307-321.
- Ramsey, C.B. and Lee, S. (2013). Recent and planned developments of the program OxCal. *Radiocarbon*, 55(2-3): 720-730.
- Ransome, R.D. (1998). The impact of maternity roost conditions on populations of greater horseshoe bats. *English Nature Research Reports*, 292, 80 pp. English Nature.
- Ransome, R.D. (1989). Population changes of greater horseshoe bats studied near Bristol over the past twenty-six years. *Biol. J. Linn. Soc.*, 38: 71-82.
- Rautenbach, I.L., Kemp, A.C. and Scholtz, C.H. (1988). Fluctuations in availability of arthropods correlated with microchiropteran and avian predator activities. *Koedoe*, 31: 77-90.
- Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., ... and Grootes, P.M. (2013). IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 year's cal BP.
- Reiter, G. (2004). Postnatal growth and reproductive biology of *Rhinolophus hipposideros* (Chiroptera: Rhinolophidae). *J. Zool. (London)*, 262: 231-241.
- Robinson, S.A., Black, S., Sellwood, B.W. and Valdes, P.J. (2006). A review of palaeoclimates and palaeoenvironments in the Levant and Eastern Mediterranean from 25,000 to 5000 years BP: setting the environmental background for the evolution of human civilisation. *Quaternary Science Reviews*, 25(13): 1517-1541.
- Royer, A., Queffelec, A., Charlier, K., Puech, E., Malaizé, B. and Lenoble, A. (2015). Seasonal changes in stable carbon and nitrogen isotope compositions of bat guano (Guadeloupe). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 440: 524-532.
- Sarnthein, M., Thiede, J., Pflaumann, U., Erlenkeuser, H., Fütterer, D., Koopmann, B., ... and Seibold, E. (1982). Atmospheric and oceanic circulation patterns off Northwest Africa during the past 25 million years. In *Geology of the Northwest African continental margin* (pp. 545-604). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Schmidt, A., Quigley, M., Fattahi, M., Azizi, G., Maghsoudi, M. and Fazeli, H. (2011). Holocene settlement shifts and palaeoenvironments on the Central Iranian Plateau: investigating linked systems. *The Holocene*, 21(4): 583-595.
- Sharifi, A., Pourmand, A., Canuel, E.A., Ferer-Tyler, E., Peterson, L.C., Aichner, B., ... and Lahijani, H.A. (2015). Abrupt climate variability since the last deglaciation based on a high-resolution, multi-proxy peat record from NW Iran: The hand that rocked the Cradle of Civilization?. *Quaternary Science Reviews*, 123: 215-230.
- Sharifi, A., Pourmand, A., Canuel, E.A., Naderi Beni, A. and Lahijani, H.A. (2013). A 2400-year record of abrupt climate change from Almalouh Lake in NW Iran: Investigating the potential influence of solar variability on the climate of West Asia during late Holocene. In *AGU Fall Meeting Abstracts*.
- Sharifi, M. and Hemmati, Z. (2004). Variation in the diet of Mehely's horseshoe bat, *Rhinolophus mehelyi*, in three contrasting environments in western Iran. *Zoology in the Middle East*, 33(1): 65-72.
- Shumilovskikh, L.S., Tarasov, P., Arz, H.W., Fleitmann, D., Marret, F., Nowaczyk, N., ... and Behling, H. (2012). Vegetation and environmental dynamics in the southern Black Sea region since 18kyr BP derived from the marine core 22-GC3. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 337: 177-193.
- Snyder, J.A., Wasylik, K., Fritz, S.C. and Wright Jr. H.E. (2001). Diatom-based conductivity reconstruction and palaeoclimatic interpretation of a 40-ka record from Lake Zeribar, Iran. *The Holocene*, 11(6): 737-745.
- Stevens, L.R., Wright, Jr. H.E. and Ito, E. (2001). Proposed changes in seasonality of climate during the Lateglacial and Holocene at Lake Zeribar, Iran. *The Holocene*, 11(6): 747-755.
- Stoetzel, E., Royer, A., Cochard, D. and Lenoble, A. (2016). Late Quaternary changes in bat palaeobiodiversity and palaeobiogeography under climatic and anthropogenic pressure: new insights from Marie-Galante, Lesser Antilles. *Quaternary Science Reviews*, 143: 150-174.
- Talebi, T., Ramezani, E., Djamali, M., Lahijani, H.A.K., Naqinezhad, A., Alizadeh, K. and Andrieu-Ponel, V. (2016). The Late-Holocene climate change, vegetation dynamics, lake-level changes and anthropogenic impacts in the Lake Urmia region, NW Iran. *Quaternary International*, 408: 40-51.
- Taylor, L.R. (1963). Analysis of the effect of temperature on insects in flight. *J. Anim. Ecol.*, 32: 99-117.
- Team, R.D.C. (2010). R Development Core Team (2013) R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Tierney, J.E., Russell, J.M., Damsté, J.S.S., Huang, Y. and Verschuren, D. (2011). Late Quaternary behavior of the East African monsoon and the importance of the Congo Air Boundary. *Quaternary Science Reviews*, 30(7): 798-807.
- Tierney, J.E., Russell, J.M., Huang, Y., Damsté, J.S.S., Hopmans, E.C. and Cohen, A.S. (2008). Northern hemisphere controls on tropical southeast African climate during the past 60,000 years. *Science*, 322(5899): 252-255.
- Tuttle, M.D. and Stevenson, D. (1982). Growth and survival of bats. In: *Ecology of bats*. Ed. By T.H. Kunz. New York: Plenum Publishing Corporation: 105-150.
- Ülgen, U.B., Franz, S.O., Biltekin, D., Çagatay, M.N., Roeser, P.A., Doner, L. and Thein, J. (2012). Climatic and environmental evolution of Lake Izmit (NW Turkey) over the last ~ 4700 years. *Quaternary International*, 274: 88-101.
- Van Zeist, W. and Bottema, S. (1977). Palynological investigations in western Iran. *Palaeohistoria* Bussum, 19: 19-85.
- Van Zeist, W. and Wright, H.E. (1963). Preliminary pollen studies at Lake Zeribar, Zagros mountains, southwestern Iran. *Science*, 140(3562): 65-67.
- Vasskog, K., Langebroek, P.M., Andrews, J.T., Nilsen, J.E.Ø. and Nesje, A. (2015). The Greenland Ice Sheet during the last glacial cycle: Current ice loss and contribution to sea-level rise from a palaeoclimatic perspective. *Earth-Science Reviews*, 150: 45-67.
- Wahl, D., Hansen, R.D., Byrne, R., Anderson, L. and Schreiner, T. (2016). Holocene climate variability and

- anthropogenic impacts from Lago Paixban, a perennial wetland in Peten, Guatemala. *Global and Planetary Change*, 138: 70-81.
- Walczak, I.W., Baldini, J.U., Baldini, L.M., McDermott, F., Marsden, S., Standish, C.D., ... and Slater, J. (2015). Reconstructing high-resolution climate using CT scanning of unsectioned stalagmites: A case study identifying the mid-Holocene onset of the Mediterranean climate in southern Iberia. *Quaternary Science Reviews*, 127: 117-128.
- Walker, R.T. and Fattahi, M. (2011). A framework of Holocene and Late Pleistocene environmental change in eastern Iran inferred from the dating of periods of alluvial fan abandonment, river terracing, and lake deposition. *Quaternary Science Reviews*, 30(9): 1256-1271.
- Wasylikowa, K., Witkowski, A., Walanus, A., Hutorowicz, A., Alexandrowicz, S.W. and Langer, J.J. (2006). Palaeolimnology of Lake Zeribar, Iran, and its climatic implications. *Quaternary Research*, 66(3): 477-493.
- Widga, C. and Colburn, M. (2015). Paleontology and paleoecology of guano deposits in Mammoth Cave, Kentucky, USA. *Quaternary Research*, 83(3): 427-436.
- Wilde, C.J., Kerr, M.A., Knight, C.H. and Racey, P.A. (1995). Lactation in vespertilionid bats. *Symp. Zool. Soc. Lond.*, 67: 139-149.
- Williams, C.B. (1961). Studies in the effect of weather conditions on the activity and abundance of insect populations. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 244: 331-378.
- Williams, C.B. (1940). An analysis of four years captures of insects in a light trap. Part II. The effect of weather conditions on insect activity; and estimation and forecasting of changes in the insect population. *Trans. R. Entomol. Soc. Lond.*, 90: 227-306.
- Woodbridge, J. and Roberts, N. (2011). Late Holocene climate of the Eastern Mediterranean inferred from diatom analysis of annually-laminated lake sediments. *Quaternary Science Reviews*, 30(23): 3381-3392.
- Wurster, C.M., Rifai, H., Haig, J., Titin, J., Jacobsen, G. and Bird, M. (2017). Stable isotope composition of cave guano from eastern Borneo reveals tropical environments over the past 15,000 calyr BP. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 473: 73-81.
- Zhu, L., Zhen, X., Wang, J., Lü, H., Xie, M., Kitagawa, H. and Possnert, G. (2009). A~ 30,000-year record of environmental changes inferred from Lake Chen Co, Southern Tibet. *Journal of Paleolimnology*, 42(3): 343-358.