

بررسی تحولات رسوبی و اقلیم دیرینه براساس رسوب شناسی و آنالیز عنصری در پلایای دامغان

عارفه شعبانی عراقی- پژوهشگر پسا دکتری اقلیم دیرینه، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
قاسم عزیزی*- استاد اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۱۲ تأیید نهایی: ۱۴۰۲/۰۲/۱۶

چکیده

اقلیم شناسی دیرینه شامل مطالعه اقلیم در هر قسمتی از تاریخ زمین است که از این میان مطالعه تغییرات کواترنری و به ویژه هولوسن که ارتباط بیشتری با شرایط اقلیم کنونی زمین دارد و در آن شواهد زیست شناختی انسانی با تغییرات اقلیمی ارتباط دارد از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. تغییرات محیطی و اقلیمی، سیگنال‌های ژئوشیمیایی را در رسوبات دریاچه‌ای به جای می‌گذارند که می‌تواند در تفسیر شرایط محیطی و اکولوژیکی گذشته استفاده شود. پلایای دامغان واقع در مرکز چاله دامغان در استان سمنان واقع در نیمه شمالی کشور است. هدف از این پژوهش تحلیل تحولات اقلیم دیرینه در این پلایا با استفاده از داده‌های رسوبی، آنالیزهای دانه سنجی و آنالیز عنصری به روش ارزیابی شاخص‌های اقلیمی و تحلیل شرایط رسوبی و عناصر رسوبات است. براین اساس نتایج آنالیزهای رسوبی و ژئوشیمیایی در پلایای دامغان نشان می‌دهد در انتهای گمانه شرایط محیطی مرطوب بوده و با گذشت زمان در انتهای این دوره در این منطقه با روند تدریجی کاهش رطوبت مواجه بوده است. در رخساره بعدی شرایط اقلیمی شدیداً سرد و خشکی در منطقه حاکم می‌شود بعد از مشخص شدن این دوره سرد و خشک در انتهای این دوره شرایط گرم و مرطوب آب‌وهوایی در دامغان مسلط بوده است. در ابتدای گمانه نیز روند خشک شدگی دریاچه آغاز و بتدریج دریاچه‌ای شور و کم عمق در حوضه جایگزین می‌شود که نهایتاً شرایط پلایایی در منطقه ایجاد شده و تا امروز ادامه دارد. نتایج نشان می‌دهند تفسیر ژئوشیمی (آنالیز عنصری) نوسانات رطوبت، خشکی و دمای محیط را در توالی‌های مختلف در منطقه دامغان به خوبی مشخص می‌کند. همچنین دانه سنجی و شاخص‌های اقلیمی در تفسیر محیط رسوبی در منطقه دامغان بسیار مفید عمل کرده است و روشن کننده شرایط اقلیمی دیرینه در این محیط رسوبی است.

واژگان کلیدی: تحولات رسوبی، تغییرات اقلیمی، آنالیز عنصری، پلایا، دامغان.

مقدمه

امروزه تغییرات اقلیمی و مکانیسم ردیابی آن در کواترنری از جمله موضوعاتی است که توجه پژوهشگران را به خود معطوف داشته است. این تحولات اقلیمی ناشی از نوسانات قابل توجه و دراز مدت دما در سطح کره زمین است. اگرچه تغییرات اقلیمی پدیده‌ای جهانی است ولی روند و آثار آن در مقیاس‌های محلی متفاوت است، در این صورت بررسی این تغییرات در مقیاس محلی باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد (شارما و شاگما، ۲۰۰۶، ۱۸). برای شناخت اقلیم گذشته، امروزه ابزارهای دقیق همراه با فناوری بالا برای مطالعه ترکیبات و حرکات جو قابل دسترس می‌باشد. اما این ابزارها جدید هستند و بنابراین داده‌های اقلیمی را تنها برای دوره‌های کوتاهی تهیه و ثبت کرده‌اند. از طرفی فهم کامل جو و پیش‌بینی تغییر اقلیم در آینده باید به طریقی کشف شود که چگونه اقلیم در گستره وسیع زمان تغییر نموده است. قسمت قابل توجهی از این عمل با بررسی شواهد و مدارکی که از نوسانات و تغییرات اقلیم گذشته حکایت دارند، میسر می‌شود (عزیزی، ۱۳۸۳، ۱۱۳). داده‌های حاصل از ابزارهای هواشناسی با آنکه دقیق‌ترین داده‌ها برای مطالعه وضعیت آب‌وهوایی می‌باشند اما از حیث زمانی ما را از وضعیت آب‌وهوایی حدود ۶۰ سال گذشته ایران آگاه می‌سازند و با تکیه بر این نوع داده‌ها اطلاعات ما از وضعیت آب‌وهوایی ایران به همین چند دهه محدود می‌شود. از اینرو انجام پژوهش‌های آب‌وهواشناسی دیرینه که منجر به تولید داده‌های طولانی‌مدت می‌شوند ضروری می‌باشد. از سوی دیگر داده‌های حاصل از چنین پژوهش‌هایی یکی از اساسی‌ترین ورودی‌ها در مدل‌سازی آب‌وهوای دیرینه هستند و به بازسازی و کشف علت تغییرات آب‌وهوای دیرینه کمک شایانی می‌کنند. انسان همواره در پی کشف و آشکارسازی پیشینه، شواهد، علل و آینده دگرگونی‌های آب‌وهوایی بوده است. از اینرو پژوهش‌های انجام شده با تفکیک زمانی و سن‌سنجی‌های دقیق بر روی آرشیوهای دیرینه در دهه‌های اخیر نشان داد که آب‌وهوای هولوسن پایدار نبوده و تغییراتی در بازه‌های زمانی صد ساله تا هزار ساله هم در مناطق واقع در عرض‌های جغرافیایی بالا (کوبین ۱۹۹۶، بوند ۱۹۹۷) و هم در مناطق واقع در عرض‌های جغرافیایی پایین را تجربه کرده است (گوپتا و همکاران ۲۰۰۳، ۲۲۸، هانگ و همکاران، ۲۰۰۳، ۳۷۸). با توجه به اینکه شرایط آب‌وهوایی و تحولات آن در شکل‌گیری نخستین تمدن‌های انسانی و گزینش سبک‌های مختلف زندگی همچون غارنشینی، شکار، جمع‌آوری دانه‌های خوراکی، یکجانشینی، اهلی‌سازی حیوانات و گیاهان و روی آوردن به زندگی‌های دامپروری و کشاورزی و ... نقش بسزایی داشته است. ظهور و سقوط برخی از تمدن‌های دیرینه مستقیماً در ارتباط با تحولات آب‌وهوایی بوده است (کالن و همکاران، ۲۰۰۰، ویس و همکاران، ۱۹۹۳، ۱۰۰۱) و بسیاری از قوم‌ها در طول تاریخ بدلیل شرایط اقلیمی نامناسب مجبور به مهاجرت گردیده‌اند، برای مثال در پی رخداد خشکسالی‌های شدید در ۴۲۰۰ سال پیش تمدن اکدی‌ها در منطقه خاورمیانه از بین رفته است. جوامع پیش از تاریخ ایران، به ویژه منطقه فرهنگی شمال ایران مرکزی، از آغاز هولوسن تاکنون بارها تحت تاثیر تغییرات و نوسانات اقلیمی قرار گرفته است در نتیجه انجام پژوهش‌های دیرینه محیط‌شناسی و دیرینه آب‌وهواشناسی در مناطقی از کشور همچون منطقه پلایای دامغان که از وضعیت دیرینه آنها اطلاعات مستندی در دست نیست، ضروری می‌باشد. چرا که تنها با درک تغییرات زمانی و مکانی آب‌وهوا در یک منطقه خاص می‌توان بینشی را نسبت به مکانیسم‌های تغییر دهنده آب‌وهوای آن شناسایی نمود و در مطالعات باستان‌شناسی و شناخت ظهور و افول تمدن‌های این منطقه و الگویی از تغییرات آب‌وهوایی آن را شناسایی کرد (کوهن و همکاران، ۲۰۰۸، ۶۶۷). در همین راستا و به منظور آشکارسازی چنین تأثیرات و تغییراتی در گذشته و حال، این پژوهش به دنبال بررسی آب‌وهوای دیرینه در این منطقه از طریق به‌کارگیری آنالیزهای آزمایشگاهی دانه‌سنجی، عنصری و شاخص‌های آنها بر روی داده‌های رسوب‌شناسی است.

در این زمینه پژوهشگران زیادی تحقیقاتی را انجام داده‌اند که از میان آنها می‌توان به مواردی اشاره کرد:

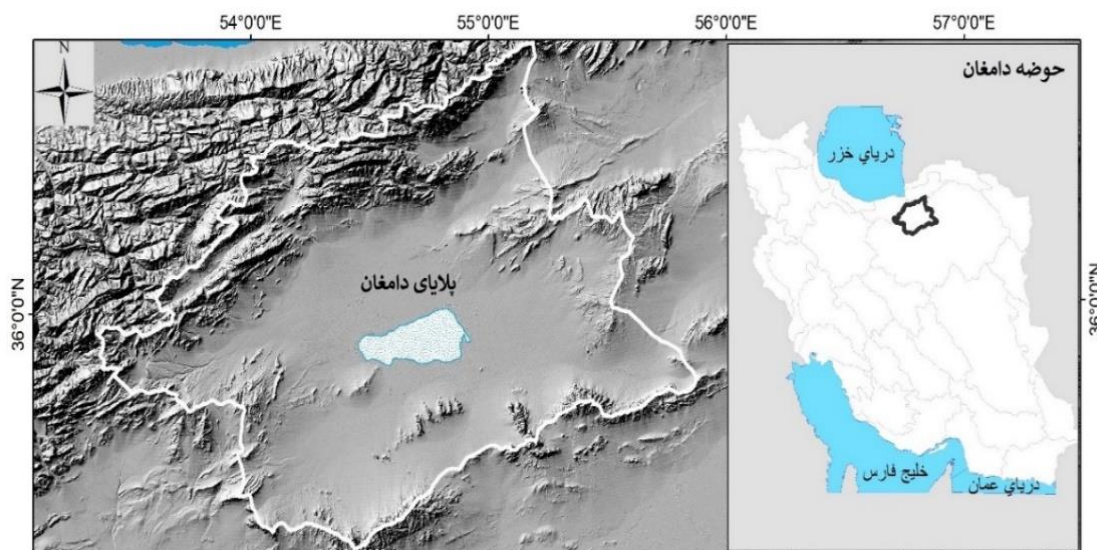
طیبی (۱۳۹۰) در مطالعات رسوبات تالاب گاوخونی وجود دوره‌های خشک و تر با استفاده از آنالیز عنصری و شاخص‌های اقلیمی در این تالاب ثابت کرد. رحیمی (۱۳۹۱) با بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی تغییرات سطح اساس دریاچه زریبار در

طی دوره هولوسن با مطالعه ترکیب کانی‌شناسی رسوبات و دانه‌بندی رسوبات دریاچه به منظور بررسی نوسات سطح آب تغییرات آب‌وهوایی محیطی در طی دوره هولوسن با استفاده از اطلاعات مغزه وجود شرایط آب‌وهوایی خشک شرایط پایین تغییرات جزرومدی و وجود تغییرت نامنظم در سطح آب دریاچه در اواخر هولوسن را مشخص کرد. تقوی و همکاران (۱۳۹۲) به تحلیل اقلیم دیرینه بخش شمالی تالاب گاوخونی با استفاده از ژئوشیمی عناصر اصلی و فرعی با استفاده از داده‌های مغزه رسوبی پرداختند و نتایج حاکی از آنست که در مقاطع ۱۰۰ و ۱۴۰ سانتیمتری، دوره‌های خشک و در مقاطع ۶۰ و ۲۰۰ سانتیمتری دوره‌های مرطوب تجربه شده است و در ۲۰ سانتیمتر اول مغزه‌ها یعنی رسوبات زمان حاضر شرایط بینابین یا نیمه‌خشک وجود دارد. عزیزی و داوودی (۱۳۹۸) به بررسی تغییرات اقلیمی ایران در دوره هولوسن پرداختند و به این نتیجه رسیدند بین دوره‌های گرم و سرد بازسازی شده در مطالعات مرتبط با آب‌وهوای دیرینه کره زمین در دیگر کشورها، به‌ویژه منطقه اروپا و آب‌وهوای دیرینه ایران ارتباط خوبی وجود دارد. فاصله زمانی بازسازی شده این دوره‌ها ایران با شمال اروپا و آمریکا تفاوت زمانی تقریباً ۲۰۰-۳۰۰ ساله را نشان می‌دهد که این دوره‌ها با تأخیر در ایران آغاز شده‌اند. سبک خیز و همکاران (۱۳۹۸) به بازسازی تغییرات اقلیمی دریاچه مهارلو از هولوسن تا عهد حاضر با تأکید بر ردیابی دوره‌های گرم و سرد با استفاده از داده‌های مغزه رسوبی و آنالیزهای ژئوشیمیایی پرداختند. شعبانی عراقی (۱۳۹۹) به بازیابی قلمرو دریاچه‌های پلوویال ایران طی هولوسن در پلایای جازموریان و دامغان با استفاده از آنالیزهای رسوب‌شناسی، و ژئوشیمیایی و ایزوتوپی پرداختند و شباهت‌ها و تفاوت‌های شرایط اقلیمی و ویژگی‌های مورفولوژیکی در دو منطقه بیان و باهم مقایسه کردند. جلیلیان و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی تغییرات اقلیمی و محیطی کواترنری پایانی با استفاده از کانی‌شناسی رس‌ها در پلایای گاوخونی به این نتیجه رسیدند که در پلیوستوسن پسین اقلیم منطقه گاوخونی مرطوب تر از زمان حال بوده است با شروع هولوسن دوره خشک بصورت تدریجی ایجاد شده است و در هولوسن میانی و پسین مجدداً شرایط رطوبتی بصورت تدریجی است. ژان جوزه پوئیو (۲۰۱۱) به بررسی رسوبات کربناته، مواد آلی و نشانه‌های ایزوتوپی دریاچه شیلی در طول ۱۲ هزار سال گذشته پرداختند آنها از روش‌های آزمایشگاهی مختلفی بهره بردند و با استفاده از آنها تغییرات اقلیمی را در این دوره در منطقه بررسی کردند. کارمن کاستانداو و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی منشا و تکامل دریاچه سارینینا در حوضه مرکزی ابرو پرداختند و با استفاده از داده‌ها و شواهد محیطی در بازدیدهای میدانی و آنالیزهای گوناگون رسوبی نحوه تشکیل و تکامل را در گذر زمان شرح دادند. مارتا مارچیچونا و همکاران (۲۰۱۸) به ثبت فازهای خشک و مرطوب در مرکز ایتالیا با استناد به آنالیزهای ژئوشیمی در اواخر پلیوستوسن بر روی دریاچه ترسمیز جهت بازسازی تاریخ تکاملی آب‌وهوا انجام گرفته است. واعظی و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی شواهد تنوع آب‌وهوایی در دوره پلیوستوسن-هولوسن در جازموریان واقع در جنوب شرقی پلایا پرداختند و با استناد به آنالیزهای گوناگون ژئوشیمی و تحلیل آنها موضوع را تشریح کردند و نتایج حاکی از آن است که نتایج نشان‌دهنده همزمانی بین خشکسالی ۴/۲ هزار سال پیش در پلایای جازموریان و افول تمدن عصر برنز جیرفت است.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

چاله دامغان در استان سمنان در جنوب شرقی شهر دامغان واقع در نیمه شمالی کشور است. حوضه آبریز دامغان مساحتی در حدود ۴۰۰۰ کیلومتر مربع را در طول جنوب شرقی کوه‌های البرز است. حوضه دامغان دارای امتداد شرقی غربی بوده است و از چهار حوضه مستقل و بخش مرکزی تشکیل شده است که عبارت‌اند از: حوضه چشمه‌علی در شمال غرب، کال شور در غرب، دامکو و بیارجمند در جنوب و شرق، شاهرود در شمال شرق و چاله دامغان (کویر و پیرامون آن) در مرکز حوضه قرار دارد (کرینسلی، ۱۳۸۱، ۷۲). به دلیل موقعیت این حوضه در جنوب رشته‌کوه البرز، همجواری با دشتهای خشک ایران مرکزی، دوری از مراکز رطوبتی، عدم نفوذ توده‌های باران‌زا، جهت و امتداد رشته‌کوه‌های مجاور و بادهای خشک محلی، این منطقه در ردیف نواحی با اقلیم خشک قرار گرفته است (حسنی و رحیم‌پور بناب، ۱۳۸۲، ۴). دو رودخانه

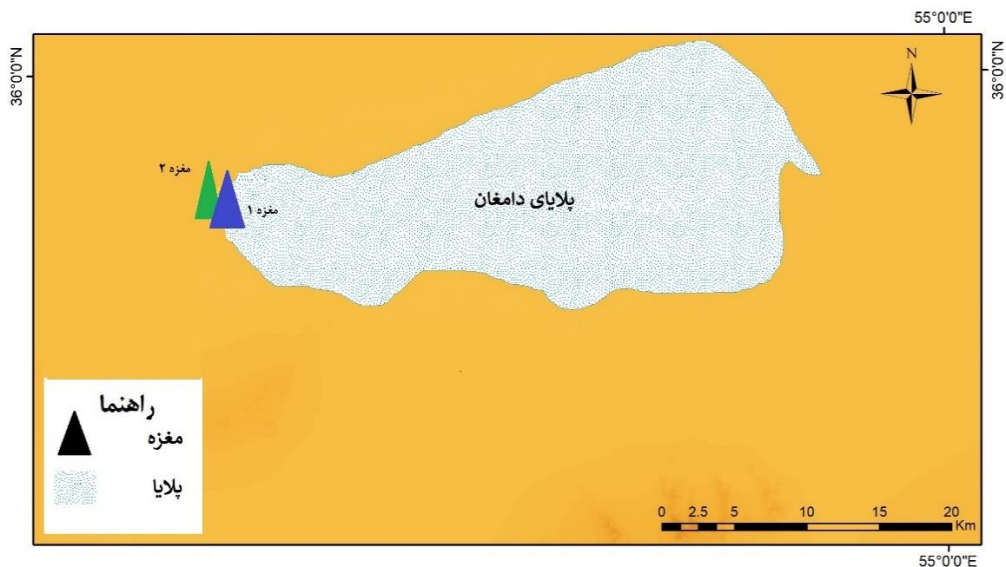
اصلی این کویر که هر دو از کوه‌های البرز سرچشمه می‌گیرند، عبارت‌اند از رودخانه دامغان و رودخانه حسن‌آباد است که از حاشیه شمال شرقی وارد کویر می‌شود. علاوه بر این دو رودخانه رودخانه‌های دیگری نیز از طرف جنوب غربی و شرقی به این کویر وارد می‌شوند که نسبت به رودخانه‌های اصلی آب کمتری داشته و عموماً در اوایل فصل تابستان خشک می‌شوند.



شکل ۱: حوضه دامغان

مواد و روش‌ها

روش این پژوهش روش میدانی، آزمایشگاهی و تحلیلی است که در آن با جمع‌آوری داده‌ها از سطح زمین، سپس انجام آنالیزهای موردنظر و در نهایت تحلیل آنها و بررسی عوامل تأثیرگذار با ادغام نتایج صورت می‌گیرد. داده‌های پژوهش عبارت‌اند از داده‌های کتابخانه‌ای و منابع نوشتاری، داده‌های تصویری، داده‌های رسوبی برداشت شده در بازدید میدانی منطقه و آنالیزهای آزمایشگاهی است. داده‌های کتابخانه‌ای و منابع نوشتاری: این مدارک شامل کتاب‌های فارسی و لاتین، مقالات فارسی و لاتین، پایان‌نامه‌ها و رساله‌های دانشجویی و گزارشات سازمان‌های مختلف که با مراجعه به کتابخانه‌ها و سازمان‌ها به صورت مستقیم و غیرمستقیم جمع‌آوری شده‌اند. از اطلاعات فوق جهت تدوین پیشینه پژوهش در مورد موضوع و منطقه، مبانی نظری، روش‌شناسی و تجزیه و تحلیل موضوع استفاده شده است. داده‌های تصویری: این منابع به دو دسته تقسیم شده‌اند: منابع چاپی و منابع رقومی که شامل نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰۰، نقشه ژئومورفولوژی با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰۰، مدل رقومی ارتفاع ۳۰-۱۰۰ متر و تصاویر ماهواره‌ای (Google Earth) است. داده‌های میدانی: در این پژوهش مطالعات میدانی به‌عنوان پایه و اساس قرار گرفته است. مراحل این مطالعات به‌طور خلاصه عبارت‌اند از بازدید اولیه و نمونه‌برداری است. در رابطه با بررسی شواهد اقلیمی و آب‌وهوای مناطق مورد مطالعه در بازدید میدانی، اقدام به شناسایی مکان مناسب برای حفر گمانه‌های رسوبی و برداشت نمونه در فواصل مختلف برای بررسی دوره‌های مختلف اقلیمی. در پلایای دامغان برای بررسی وضعیت اقلیمی و رسوب‌شناسی دیرینه اقدام به برداشت ۲ مغزه رسوبی با مغزه‌گیر دستی شکل (۳) گردیده است. این دو مغزه هر دو در حاشیه پلایای فعلی در قسمت غربی واقع شده‌اند و موقعیت مکانی آنها از هم حدود نیم کیلومتر فاصله دارد. مغزه اول با عمق ۱۵۶ سانتی‌متر از سطح خاک آغاز شده است و دارای ۱۳ سطح می‌باشد و مغزه دوم با عمق ۱۷۰ سانتی‌متر از سطح خاک آغاز شده و دارای ۱۰ سطح می‌باشد. موقعیت و مختصات آنها در شکل (۲) مشخص گردیده است.



شکل ۲: موقعیت مغزه‌های رسوبی در پلایای دامغان



شکل ۳: تصاویر مغزه گیر دستی و محل مغزه‌برداری پلایای دامغان

داده‌های آزمایشگاهی: در این پژوهش مطالعات آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های رسوبی برداشت شده در بازدهی‌های میدانی انجام گردیده است. نمونه‌برداری برای تعیین ویژگی‌های رسوبی دریاچه و بررسی شرایط اقلیمی درگذشته از لایه‌های عمقی (مغزه‌های رسوبی). آنالیزهای انجام گرفته بر روی نمونه‌ها برداشت شده و شاخص‌های اقلیمی مورد استفاده در این پژوهش عبارت‌اند از:

آزمایش دانه‌سنجی (Granulometry): این مرحله جهت مشخص نمودن محیط رسوب‌گذاری و نحوه رسوب‌گذاری در محیط‌های کم یا پرانرژی استفاده می‌شود. در واقع اندازه ذرات موجود در رسوبات در واقع موید انرژی عامل حمل و نقل می‌باشد. چنانچه در یک توده از رسوبات فراوانی با دانه‌های درشت (در حد گراول) باشد، این فراوانی می‌تواند نشانگر حداکثر سرعت جریان در هنگام رسوب‌گذاری باشد. همچنین مسافتی را که این رسوبات طی کرده‌اند اندک می‌باشد چون با زیاد شدن مسافت حمل و نقل از انرژی، عامل حمل و نقل کاسته شده و ذرات درشت‌تر رسوب می‌کنند و این ذرات درشت به دلیل برخورد با یکدیگر و یا با بستر، شکسته و ریز می‌شوند. در واقع با تعیین مقدار ذرات گراولی، ماسه‌ای و گلی تعبیر و تفسیر انرژی محیط امکان پذیر می‌شود. در ابتدا با استفاده از الک شیکر نمونه‌های رسوبی به

۳ سطح زیر ۶۳ میکرون، سطح ۶۳-۲۰۰۰ میکرون و بالای ۲۰۰۰ میکرون سطح‌بندی و بر اساس مثلث فولک تیپ رسوبی نمونه‌ها مشخص خواهد گردید.

آنالیز (ICP): ر سوبات برای برآورد نوع و مقدار وجود عناصر مختلف در هر نمونه است. در روش ICP به‌غیر از گازها، تمامی عناصر پایدار جدول تناوبی قابل شناسایی است (پوتز، ۱۹۸۷). در این روش مقداری از نمونه پودر شده در درون یک پلاسمای آرگونی القاء شده با فرکانس بالا و درجه حرارت ۱۰۰۰۰ درجه کلون قرار می‌گیرد. نمونه‌ها تحت تأثیر این درجه حرارت تحریک شده است و از خود نور ساطع می‌کنند که هر عنصری طیف مشخصی از نور را تولید می‌کند که شده است نور ساطع شده است با مقدار عنصر موجود در نمونه متناسب است، این آنالیز توسط آزمایشگاه زمین شناسی کشور انجام گرفته است. استفاده از ژئوشیمی عنصری برای تعیین شرایط محیط دیرینه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. توزیع عناصر اصلی و فرعی در رسوبات به ترکیب مینرالوژی، دما، ترکیب سیالات، شرایط اکسیداسیون و احیاء بستگی دارد (آدابی، ۱۳۸۳، ۱۲۳). ژئوشیمی عنصری به واسطه میزان عناصر موجود در هر نمونه، راهنمای خوبی برای تغییرات اقلیمی خواهد بود زیرا برخی از عناصر در خاک به شرایط محیطی و به‌ویژه اقلیم حساسند (نکو، ۱۳۸۲، ۱۴). از درصد عناصر گوناگون و شاخص‌های اقلیمی عناصر در هر نمونه رسوبی می‌توان به آب‌وهوای دیرینه و تغییر آن در طول زمان پی برد و در مطالعات پالئوژئومورفولوژی و پالئوکلیماتولوژی استفاده می‌شود. رسوبات با روشن کردن پراکندگی و توزیع آنها راه را برای درک شرایط محیطی رسوب‌گذاری شان باز می‌کند در این پژوهش از عناصر $-Ti/Al-K/Al-Mn/Ca-Sr/Ca-Mg/Ca$ و شاخص‌های اقلیمی $-Na-Mn-Ca-Sr-Ti-Al-Mg$ استفاده شده است.

بحث و نتایج

نتایج آنالیز دانه‌سنجی نمونه‌های گمانه‌های رسوبی

اندازه ذرات رسوب نشان‌دهنده شرایط بیرونی و ذاتی محیطی که در پاسخ به تغییرات ژئومورفولوژیکی محیط رسوبی است (گوپتا و همکاران، ۲۰۰۲، ۲۲۸). باتوجه به اینکه دانه‌ها و اندازه آنها و همچنین شکل عمومی آنها با یکدیگر متفاوت خواهد بود؛ بنابراین دانه‌سنجی و تحلیل نمونه‌های رسوبی و مطالعه آنها در بستر دریاچه‌ها می‌تواند اطلاعات اقلیمی و محیطی مناسبی از شرایط رسوب‌گذاری آنها در اختیار پژوهشگران قرار دهد (ویندنبگر، ۲۰۰۳، ۲۰۵۵). بر اساس هدف پژوهش اندازه و درصد رسوبات نمونه‌ها به طبقات (زیر ۶۳ میکرون، ۶۳ تا ۲۰۰۰ میکرون و بالای ۲۰۰۰ میکرون) تقسیم شده است. سپس بر اساس معیارهای سطح‌بندی مثلث فولک (فولک، ۱۹۶۰، ۱۹۸۰)، تیپ رسوبی هر نمونه تعیین گردیده است. جدول شماره (۱) اندازه ذرات و تیپ رسوبی نمونه‌های مغزه شماره ۱ را با عمق هر نمونه نشان می‌دهد. عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر تیپ رسوبی سیلت است. در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متر تیپ رسوبی سیلت ماسه‌ای و در عمق ۲۰-۴۰ سانتی‌متر به تیپ رسوبی سیلت تغییر می‌کند. همچنین از عمق ۴۰-۷۰ سانتی‌متر تیپ رسوبی رسوبات سیلت ماسه‌ای است و از عمق ۷۰-۱۰۰ سانتی‌متر تیپ رسوبی به گل ماسه‌ای تغییر پیدا می‌کند. عمق ۱۰۰-۱۱۵ سانتی‌متر تیپ رسوبی سیلت ماسه‌ای است و از عمق ۱۱۵-۱۴۵ سانتی‌متر تیپ رسوبی رسوبات گل ماسه‌ای است. سپس به یک‌لایه نمکی نازک وجود دارد بعد از آن در عمق ۱۲۵-۱۴۵ سانتی‌متر تیپ رسوبی سیلت ماسه‌ای قرار دارد و سپس مجدداً به یک‌لایه سخت نمکی تغییر پیدا می‌کند.

1. Gupta

2. Vendenberghe

3. Folk

جدول ۱: اندازه ذرات و تیپ رسوبی نمونه‌های مغزه شماره ۱ دامغان

(شماره نمونه)	عمق (سانتی‌متر)	<63 μ درصد	>63 μ درصد	مثلت فولک
1	0-10	91.03	8.97	سیلت
2	20-10	82.57	17.43	سیلت ماسه‌ای
3	20-30	92.59	7.41	سیلت
4	30-40	91.67	8.33	سیلت
5	40-50	82.86	17.14	سیلت ماسه‌ای
6	50-60	81.52	18.48	سیلت ماسه‌ای
7	60-70	75.52	24.48	سیلت ماسه‌ای
8	70-80	60.36	39.64	گل ماسه - ای
9	80-100	61.13	38.87	گل ماسه‌ای
10	100-115	73.40	26.6	سیلت ماسه‌ای
11	115-125	59.06	40.94	گل ماسه‌ای
12	125-145	66.51	33.49	گل ماسه‌ای
13	145-156	75.55	24.45	سیلت ماسه‌ای

جدول شماره (۲) اندازه ذرات و تیپ رسوبی نمونه‌های مغزه شماره ۲ با عمق هر نمونه را نشان می‌دهد. تیپ رسوبی رسوبات از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر سیلت ماسه‌ای و در عمق ۳۰-۷۵ سانتی‌متر تیپ رسوبی سیلت و در عمق ۷۵-۹۰ سانتی‌متر تیپ رسوبی سیلت ماسه‌ای می‌باشد. عمق ۹۰-۱۳۰ سانتی‌متر تیپ رسوبی سیلت قرار دارد. سپس در عمق ۱۳۰-۱۵۰ سانتی‌متر به سیلت ماسه‌ای تغییر پیدا می‌کند و از عمق ۱۵۰-۱۷۰ سانتی‌متر تیپ رسوبی گل ماسه‌ای است و سپس لایه سخت نمکی قرار دارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود.

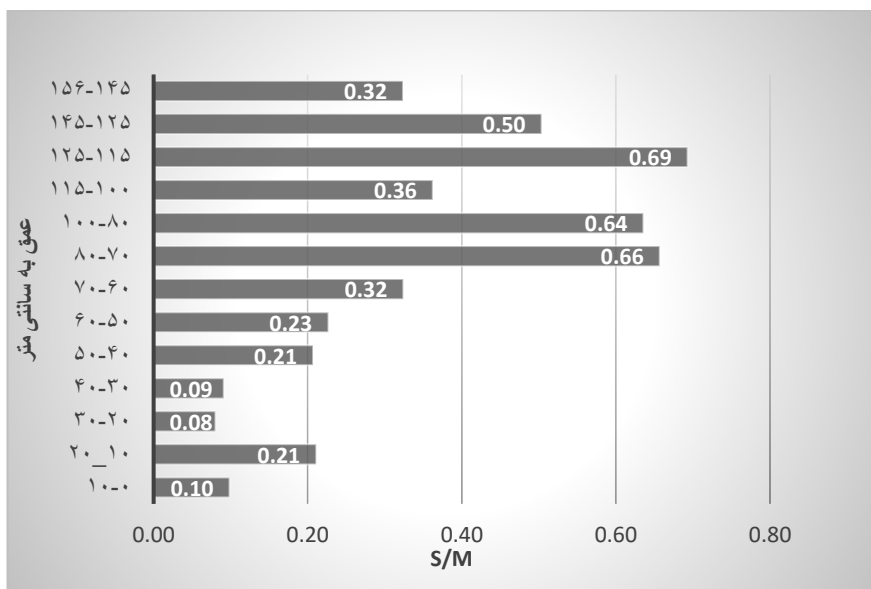
جدول ۲: اندازه ذرات و تیپ رسوبی نمونه‌های مغزه شماره ۲ دامغان

(شماره نمونه)	عمق (سانتی‌متر)	<63 μ درصد	>63 μ درصد	مثلت فولک
1	0-10	80.04	19.56	سیلت ماسه‌ای
2	20-10	69.82	30.18	سیلت ماسه‌ای
3	20-30	74.77	25.23	سیلت ماسه‌ای
4	30-75	92.77	7.23	سیلت
5	75-90	87.23	12.77	سیلت ماسه‌ای
6	90-113	94.41	5.59	سیلت
7	113-130	96.87	3.13	سیلت
8	130-150	76.47	23.53	سیلت ماسه‌ای
9	150-160	61.51	38.49	گل ماسه‌ای
10	160-170	63.40	36.6	گل ماسه‌ای

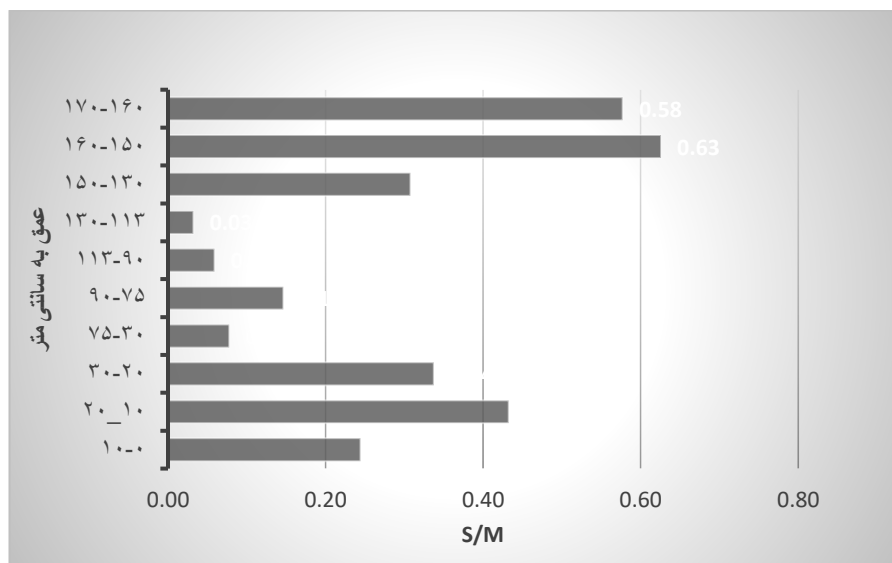
شاخص S/M که اصطلاحاً به آن نسبت ماسه‌ای بودن می‌گویند. این نسبت از تقسیم مقدار درصد بالای ۶۳ میکرون به مقدار درصد زیر ۶۳ میکرون به دست می‌آید و عدد نهایی هرچقدر بزرگ‌تر باشد رسوب ماسه‌ای‌تر و هرچقدر کوچک‌تر باشد رسوب گلی‌تر است. اگر رسوب ماسه‌ای باشد به دلیل درشت‌دانه بودن نیاز به انرژی بیشتری برای حمل دارد و در نتیجه نشان می‌دهد ورودی آب‌ها بیشتر بوده است و اقلیم مرطوب‌تر است اما اگر رسوب گلی بیشتر باشد ورودی آب‌ها کم است زیرا رسوبات در محیطی آرام رسوب کرده‌اند و آب‌های ورودی تلاطمی را به وجود نیاورده است، در نتیجه اقلیم با کاهش رطوبت همراه است.

نتایج شاخص S/M (نسبت ماسه‌ای بودن) گمانه‌های رسوبی

نمودار مغزه شماره ۱ دامغان شکل (۴) نشان می‌دهد، نسبت S/M از سطح زمین تا عمق ۶۰ سانتی‌متر نسبت رسوبات گلی است و نشان‌دهنده محیط آرام و بدون تلاطم برای رسوب‌گذاری است زیرا ورودی آب کم است. سپس از عمق ۶۰ سانتی‌متر به سمت ماسه‌ای شدن پیش می‌رود و این روند تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متر ادامه دارد. افزایش درصد رسوبات ماسه‌ای نشان‌دهنده ورودی و طبعاً نیروی بیشتر آب است و دوره‌های پرآب‌تری را مشخص می‌کند. از عمق ۱۰۰ تا ۱۱۵ سانتی‌متر به سمت رسوب گلی و دوباره روند مجددش در عمق ۱۱۵-۱۲۵ سانتی‌متر به سمت ماسه‌ای شدن است و سپس تا عمق ۱۵۶ سانتی‌متر روند آرام کاهشی به سمت گلی شدن دارد. نمودار مغزه شماره ۲ دامغان شکل (۵) نشان می‌دهد نسبت S/M از سطح زمین تا عمق ۳۰ سانتی‌متر یک‌روند افزایشی میزان انرژی محیطی دارد و رسوبات ماسه‌ای‌تر هستند. سپس از عمق ۲۰ تا ۱۳۰ سانتی‌متر رسوبات روند کاهشی ماسه را نشان می‌دهند و رسوبات گلی در منطقه رسوب‌گذاری می‌کند که نشان‌دهنده کاهش انرژی محیطی است. از عمق ۱۳۰ تا ۱۷۰ سانتی‌متر روند ماسه‌ای شدن ادامه پیدا می‌کند و این شرایط نشان می‌دهد ورودی آب بیشتر و شرایط محیطی مرطوب‌تر است.



شکل ۴: نمودار نسبت ماسه‌ای بودن نمونه‌های مغزه ۱ دامغان



شکل ۵: نمودار نسبت ماسه‌ای بودن نمونه‌های مغزه ۲ دامغان

تحلیل آنالیز عنصری^۱ (ICP) نمونه‌های گمانه‌های رسوبی

یکی از اهداف آزمایشات ژئوشیمی، تفسیر محیط رسوب‌گذاری است. از داده‌های ICP باهدف تعیین عناصر موجود در رسوبات دریاچه‌ای و تفکیک محیط‌های آواری، تبخیری و دریاچه‌ای استفاده شده است. از میان عناصری که در نمونه‌ها وجود داشته است برخی از آنان باتوجه به اهداف پژوهش استفاده شده است.

مطالعات نشان می‌دهند که ترکیب و میزان عناصر به شرایط محیطی حساس است (ساعی، ۲۰۰۴). تحلیل عناصر Ca, Mg, Sr, Mn, Na رسوب‌ها با روشن کردن پراکندگی و توزیع آنها راه را برای درک شرایط محیطی رسوب‌گذاری شان باز می‌کند. مثلاً بالا بودن میزان Mn نشانگر محیط احیایی می‌باشد (نکو، ۱۳۸۲، ۸۷). همچنین عنصر سدیم بالا به عللی چون تبخیر زیاد، ورودی کم آب به حوضه، کمبود بارش یا مجموعه‌ای از این عوامل است. عنصر کلسیم نیز مانند سدیم خشکی محیط را نشان می‌دهد و وجود هر دو در کنار هم نشان‌دهنده خشکی محیطی بیشتر و تبخیر شدید است. دو عنصر منگنز و منیزیم نشان‌دهنده شرایط احیایی، بارش بیشتر، ورود آب بیشتر و تبخیر کمتر است. عنصر منیزیم در شرایط احیایی افزایش می‌یابد و نشان‌دهنده شرایط مرطوب‌تر در محیط می‌باشد (پورمعافی، ۱۳۸۷، ۱۱۲). افزایش تمرکز عنصر منگنز نیز نشان‌دهنده شرایط احیایی و مرطوب در محیط دریاچه است. تمرکز عنصر استرانسیم نیز ارتباط مستقیمی با دمای آب دارد. همبستگی مثبتی بین نسبت Sr/Ca و دمای آب را به دست آورده‌اند (آدابی، ۱۳۸۳). عناصر مختلف با هوازدگی پوسته قاره‌ها و فرسایش به دریاها و دریاچه‌ها اضافه می‌شود و به صورت کربنات‌های مختلف رسوب می‌کنند. معمولاً افزایش استرانسیم را با ورودی از خشکی و ناشی از فرسایش در سرزمین‌های منشأ در نظر می‌گیرند. جانشینی استرانسیم به کربنات کلسیم به طور خطی با افزایش دما کاهش می‌یابد از طرفی با افزایش بارش Sr افزایش Ca کاهش می‌یابد. پس میزان Sr/Ca با افزایش بارش افزایش می‌یابد، مقدار بالای آن به شرایط گرم و مرطوب و مقدار پایین آن را به شرایط سرد و خشک نسبت می‌دهند (فیض‌نیا، ۱۳۷۷، ۵۲). با افزایش بارش و دوره‌های احیایی مقدار Mg افزایش می‌یابد و در این شرایط کلسیم کاهش می‌یابد، سپس با افزایش بارش Mg/Ca زیاد می‌شود. بین مقدار Mg/Ca و دمای آب همبستگی مثبتی وجود دارد بنابراین این نسبت می‌تواند

^۱.Inductively Coupled Plasma

شاخص دمای دیرینه باشد با افزایش بارش میزان Mn/Ca با افزایش رطوبت افزایش می‌یابد، نسبت Sr/Mn در مقابل Mn شاخص مهمی برای شرایط آب‌وهوایی است (موسویان و همکاران، ۲۰۱۹، ۶۳۹). افزایش عنصر Ti تیتانیوم نیز می‌تواند ناشی از فرسایش باشد. Al یک شاخص قابل اعتماد برای بازسازی تغییرات دیرینه محیطی است، زیرا بینشی در مورد شرایط آب‌وهوایی غالب و مکانیسم‌های دیگر در حمل‌ونقل مواد در حوضه فراهم می‌کند. افزایش مقادیر Al در رسوبات نشان‌دهنده افزایش در نتیجه ورود بیشتر مواد آواری به محیط است (تقوی و همکاران، ۱۳۹۲، ۱۰). شاخص Ti/k بیانگر رژیم هوازدگی تغییرات مواد آواری حمل شده به حوضه رسوبی است. افزایش در نسبت این شاخص حاکی از افزایش ورود رسوبات آواری به دریاچه‌ها به واسطه فرسایش زیاد در بالادست رودخانه‌ها در نتیجه بارش‌های مناسب در منطقه و کاهش آن نشان‌دهنده دوره خشک یا کاهش ورود مواد آواری است. شاخص K/Al شاخصی برای افزایش رسوبات رودخانه‌ای در پلایا است (گاوین^۱ و همکاران، ۲۰۱۲). در دوره‌های مرطوب میزان هوازدگی شیمیایی افزایش یافته و در نتیجه این نسبت در رسوبات بیشتر می‌شود. شاخص Ti/Al در دوره گرم و مرطوب افزایش می‌یابد و برعکس. این شرایط با مطالعات انجام شده حاصل از نسبت‌های عنصری در سایر حوضه‌های رسوبی دریاچه ای نیز صادق است (چین^۲ و همکاران، ۲۰۱۳، ۴۵۲).

جدول ۳: عناصر نمونه‌های مغزه ۱ دامغان

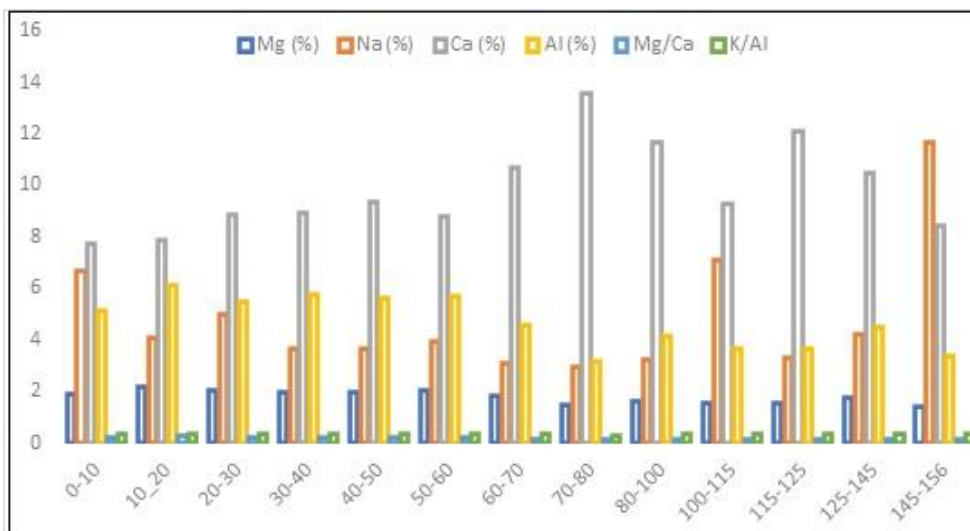
شماره نمونه	عمق نمونه	Mg (%)	Na (%)	Mn (ppm)	Ca (%)	Sr (ppm)	Ti (ppm)	Al (%)
1	0-10	1.89	6.72	509	7.72	274	3002	5.13
2	10-20	2.15	4.07	955	7.88	297	3475	6.10
3	20-30	2.01	5.00	801	8.86	359	3260	5.49
4	30-40	1.96	3.68	705	8.94	360	3406	5.75
5	40-50	1.99	3.66	690	9.34	351	3280	5.62
6	50-60	2.05	3.92	875	8.82	343	3375	5.68
7	60-70	1.80	3.12	714	10.7	552	2922	4.59
8	70-80	1.46	2.96	604	13.6	474	2054	3.20
9	80-100	1.60	3.26	1199	11.7	436	2402	4.16
10	100-115	1.53	7.08	569	9.30	445	2151	3.63
11	115-125	1.57	3.29	1996	12.1	373	2199	3.68
12	125-145	1.73	4.19	875	10.5	411	2673	4.53
13	145-156	1.43	11.7	396	8.44	389	2038	3.35

¹. govin

². Chen

جدول ۴: شاخص‌های آنالیز عنصری مغزه ۱ دامغان

شماره نمونه	عمق نمونه	Mg/Ca	Sr/Ca	Mn/Ca	K/Al	Ti/Al	Ti/k
1	0-10	0.24	35.46	65.99	0.329	585.6	1777.8
2	10_20	0.27	37.62	121.16	0.328	569.8	1735.7
3	20-30	0.23	40.53	90.30	0.333	593.7	1785.1
4	30-40	0.22	40.25	78.92	0.331	592.4	1788.5
5	40-50	0.21	37.56	73.91	0.332	583.8	1758.0
6	50-60	0.23	38.91	99.11	0.331	593.8	1796.7
7	60-70	0.17	51.79	66.90	0.319	637.0	1999.7
8	70-80	0.11	34.75	44.32	0.315	642.7	2040.8
9	80-100	0.14	37.20	102.39	0.327	577.1	1767.5
10	100-115	0.16	47.81	61.18	0.319	591.9	1852.6
11	115-125	0.13	30.80	164.96	0.326	597.9	1831.9
12	125-145	0.16	39.23	83.41	0.318	590.8	1858.3
13	145-156	0.17	46.11	46.90	0.327	608.4	1862.1



شکل ۶: نمودار عناصر منیزیم، پتاسیم، کلسیم، آلومینیوم و شاخص‌های اقلیمی Mg/Ca, k/Al در مغزه شماره ۱



شکل ۷: نمودار عناصر منیزیم، پتاسیم، کلسیم، آلومینیوم و شاخص‌های اقلیمی Mg/Ca, k/Al در مغزه شماره ۱

سطح سیزدهم در عمق ۱۴۵-۱۵۶ سانتی‌متر است، در این لایه مقدار سدیم بالاست و کلسیم نیز با مقدار نسبتاً بالایی با آن همخوانی دارد که نشانه خشکی شدید محیط است. مقدار منیزیم و منگنز در کمترین مقدار خود در این مغزه قرار دارد که رطوبت، بارش و ورودی بسیار کم آب را در محیط نشان می‌دهند. استرانسیم نیز تقریباً درصد کمی را نشان می‌دهد و نسبت تیتانیوم و آلومینیوم نیز بسیار کم بوده و نشان از فرسایش محیطی کم است. مقدار Sr/Ca بیانگر افزایش بارش شرایط گرم و مرطوب است اما Mn/Ca افزایش رطوبت را تأیید نمی‌کند چون مقدار این شاخص بسیار کم است. شاخص Mg/Ca هم افزایش بارش را به طور محسوس نشان نمی‌دهد. شاخص‌های K/Al و Ti/Al شرایط مرطوب و شاخصی را تأیید نمی‌کنند. **سطح دوازدهم** در عمق ۱۲۵ - ۱۴۵ سانتی‌متر است مقدار سدیم کاهش و کلسیم افزایش بسیار کمی را نشان می‌دهد، منیزیم افزایش محسوسی داشته که نشان از رطوبت محیطی بیشتر است، اما منگنز کاهش داشته است. همچنین تیتانیوم و آلومینیوم نیز افزایش را نشان می‌دهند که ناشی از فرسایش است. شاخص Mg/Ca این افزایش رطوبت را نشان نمی‌دهد اما Mg/Ca این رطوبت را نشان می‌دهد. استرانسیم نیز اندکی افزایش داشته است و شاخص Sr/Ca کاهش کمی دارد و نشان‌دهنده پیشروی به شرایط سرد و خشک است. شاخص‌های K/Al Ti/Al Ti/k کاهش را نشان می‌دهند و شرایط مرطوب و شاخصی را تأیید نمی‌کنند. **سطح یازدهم** در عمق ۱۰۰-۱۱۵ سانتی‌متر است و نشان می‌دهد که مقدار سدیم کاهش دارد و کلسیم کمی افزایش را مشخص می‌کند. منگنز کاهش بسیار کمی را نشان می‌دهد اما منیزیم افزایش قابل توجهی دارد. عنصر Sr کاهش و تیتانیوم و آلومینیوم نیز کاهش یافته (نشانه فرسایش کمتر) است. شاخص Mg/Ca نیز کاهش را نشان می‌دهد، اما شاخص Mn/Ca افزایش رطوبت را نشان می‌دهد. شاخص Sr/Ca کاهش داشته که نشان می‌دهد احتمالاً شرایط رو به سردی می‌رود اما خشکی محیط دقیقاً مشخص نیست. شاخص‌های K/Al Ti/Al Ti/k تقریباً روند ثابتی دارند. **سطح دهم** در عمق ۱۰۰-۱۱۵ سانتی‌متر است مقدار سدیم افزایش پیدا کرده و کلسیم کاهش دارد. همچنین نسبت منیزیم و منگنز نیز کاهش یافته است و شرایط بارشی و مرطوبی را نشان نمی‌دهد. مقدار عنصر تیتانیوم و آلومینیوم نیز افزایش داشته است، شاخص Mg/Ca کمی افزایش یافته و بارش بیشتر را نشان می‌دهد البته Mn/Ca افزایش رطوبتی را نشان نمی‌دهد و کاهش دارد. شاخص Sr/Ca نیز افزایش یافته که نسبت به گذشته شرایط گرم و مرطوب‌تری را نشان می‌دهد. شاخص‌های K/Al Ti/Al Ti/k کاهش و Ti/k افزایش را نشان می‌دهد. **سطح نهم** در عمق ۸۰-۱۰۰ سانتی‌متر است، مقدار سدیم کاهش یافته اما کلسیم روند افزایشی دارد. عنصر منگنز افزایش زیادی دارد و خشکی محیط را تأیید نمی‌کند

و با افزایش منیزیم که رطوبت بیشتر محیط را نشان می‌دهد، همخوانی دارد. تیتانیوم و آلومینیوم نشان از فرسایش بیشتر محیطی است. شاخص Mg/Ca کاهش بسیار کمی نسبت به گذشته دارد که محسوس نیست اما Mn/Ca افزایش قابل توجهی دارد و نشانگر شرایط مرطوب‌تر محیطی است. شاخص Sr/Ca نیز با کاهش مقدار خود شرایط سرد و خشک را نشان می‌دهد. شاخص $Ti/k-Ti/Al$ کاهش و K/Al افزایش را نشان می‌دهد. **سطح هشتم** در عمق ۷۰-۸۰ سانتی‌متر است، مقدار سدیم و کلسیم از روند قبلی پیروی می‌کنند و نسبتاً خشکی محیط را نشان می‌دهد، اما منگنز و منیزیم هر دو کاهش یافته‌اند و شرایط خشک و کم‌بارش را تأیید می‌کنند. شاخص Mn/Ca و Mg/Ca نیز کاهش بارش و رطوبت را نشان می‌دهند. شاخص Sr/Ca نیز با کاهش مقدار خود شرایط سرد و خشک را نشان می‌دهد، عنصر تیتانیوم و آلومینیوم نیز کاهش دارند. شاخص $Ti/Al-Ti/k$ افزایش و K/Al کاهش را نشان می‌دهد. **سطح هفتم** عمق ۶۰-۷۰ سانتی‌متر است. میزان سدیم افزایش یافته است اما کلسیم کاهش پیدا کرده است. روند منگنز و منیزیم هر دو رطوبت بیشتر را نشان می‌دهند. عنصر تیتانیوم و آلومینیوم نیز افزایش قابل توجهی دارد که نشان از فرسایش بیشتر است. شاخص Mn/Ca و Mg/Ca هر دو افزایش دارند و رطوبت محیطی بیشتر یا ورودی آب بیشتری را نشان می‌دهند. شاخص Sr/Ca نیز افزایش قابل توجه شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب را نشان می‌دهد. اما سه شاخص Ti/Al K/Al Ti/k کاهش ناچیزی را نشان می‌دهند. **سطح ششم** در عمق ۵۰-۶۰ سانتی‌متر است. میزان سدیم افزایش دارد که نشانه خشکی و تبخیر محیط است اما با کاهش کلسیم همخوانی ندارد در نتیجه خشکی تأیید نمی‌شود. منگنز و منیزیم نیز افزایش یافته که نشان از بارش و رطوبت بیشتر است. عنصر تیتانیوم و آلومینیوم نیز روند افزایشی خود را طی کرده است. شاخص Mn/Ca و Mg/Ca هر دو افزایش دارند و رطوبت محیطی بیشتر یا ورودی آب بیشتری را نشان می‌دهند. شاخص Sr/Ca نیز افزایش قابل توجه دارد و مانند روند قبلی شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب را نشان می‌دهد. شاخص $Ti/Al-Ti/k$ کاهش و K/Al افزایش را نشان می‌دهد. **سطح پنجم** ۴۰-۵۰ سانتی‌متر است. در این مرحله سدیم و کلسیم از روند قبلی پیروی می‌کنند. عنصر منگنز و منیزیم کاهش کمی دارد که بیانگر ثبات شرایط رطوبتی و بارشی با اندکی کاهش است که این موضوع در شاخص Mn/Ca و Mg/Ca با کاهش بسیار کم تأیید می‌شود. شاخص Sr/Ca نیز در محدوده تقریبی توالی رسوبی قبل است. این مرحله ثبات شرایط آب‌وهوایی قبلی با اندکی کاهش رطوبت حاکم است. سه شاخص Ti/k Ti/Al K/Al روند محسوسی را نشان نمی‌دهند. عنصر تیتانیوم و آلومینیوم اندکی افزایش دارند. **سطح چهارم** ۳۰-۴۰ سانتی‌متر است. مقدار سدیم مانند توالی قبل کاهش و کلسیم نیز اندکی افزایش دارد. عنصر منگنز و منیزیم تقریباً مشابه قبل و نسبت افزایشی (فرسایش) تیتانیوم و آلومینیوم نیز همچنان ادامه دارد. مقدار شاخص Mg/Ca مانند قبل است اما Mn/Ca کاهش رطوبتی را نشان می‌دهد و شاخص Sr/Ca با اندکی افزایش تقریباً مشابه شرایط قبلی است. سه شاخص K/Al Ti/Al Ti/k روند محسوسی را نشان نمی‌دهند. **سطح سوم** در عمق ۲۰-۳۰ سانتی‌متر است. در این لایه افزایش سدیم و افزایش نسبی کلسیم مشخص است که گویای شرایط خشک‌تر بوده است. همچنین افزایش نامحسوس منگنز و منیزیم نیز که گویای رطوبت و بارش محیط است در آن نمود دارد. مقدار استرانسیم تغییری نکرده است. عنصر تیتانیوم و آلومینیوم اندکی کاهش دارند. شاخص Mn/Ca و Mg/Ca هر دو افزایش دارند و رطوبت محیطی بیشتر یا ورودی آب بیشتری را نشان می‌دهند. شاخص Sr/Ca روند قبلی را نشان می‌دهد و شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب را نشان می‌دهد. سه شاخص K/Al Ti/Al Ti/k روند محسوسی را نشان نمی‌دهند. **سطح دوم** عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متر است. مقدار سدیم و کلسیم که نشان‌دهنده کاهش خشکی و تبخیر است، اما تغییرات دو عنصر منگنز و منیزیم با افزایش شدید شرایط به سمت رطوبت بیشتر پیش رفته است. در این میان شاخص Sr/Ca افزایش دارد که نشان‌دهنده رطوبت بیشتر است، شاخص Mg/Ca نیز که نشان از رطوبت بیشتر دارد نیز افزایش پیدا کرده است و دما هم افزایش یافته است. شاخص Mn/Ca که نشان از افزایش رطوبت است در نتیجه در این توالی ما شاهد بارش و خشکی کمتر است. افزایش شاخص Sr/Ca نشان از شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب است.

البته عنصر تیتانیوم و آلومینیوم نیز افزایش داشته است که نشان از فرسایش بیشتر از محیط است. شاخص $Ti/Al-Ti/k$ کاهش و K/Al افزایش را نشان می‌دهد. **سطح اول** مغزه دامغان در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر است نشان‌دهنده مقدار بسیار بالای سدیم است و مطابقت نسبی با مقدار بالا کلسیم را نشان می‌دهد که شرایط خشکی را در محیط بیان می‌کند. در این توالی مقدار کم عنصر منگنز و منیزیم نشان‌دهنده خشکی محیطی است زیرا مقدار زیاد آنها محیطی احيایی و پربارش و مرطوبی را مشخص می‌کند. مقدار استرانسیم نیز کم است و با مقدار کم شاخص Sr/Ca کاهش بارش را نشان می‌دهد. همچنین شاخص Mn/Ca نیز نشان‌دهنده کاهش رطوبت است. شرایط آب‌وهوایی این توالی بر اساس شاخص Sr/Ca نیز معرف شرایط خشک است و البته دمای بالایی را هم‌نشان نمی‌دهد. نسبت تیتانیوم و آلومینیوم نیز کاهش داشته اند. شاخص $Ti/Al-Ti/k$ افزایش و K/Al نوسان خاصی را نشان نمی‌دهد.

جدول ۵: عناصر نمونه‌های مغزه ۲ دامغان

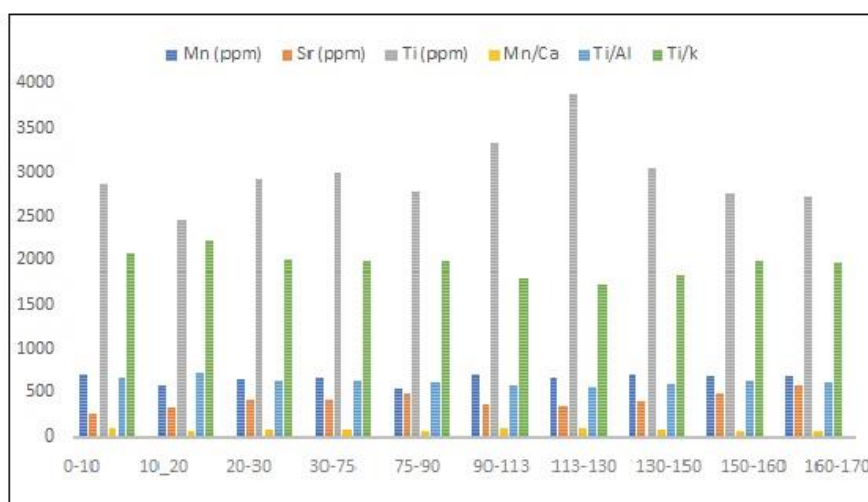
شماره نمونه	عمق نمونه	Mg (%)	Na (%)	Mn (ppm)	Ca (%)	Sr (ppm)	Ti (ppm)	Al (%)
1	0-10	1.90	8.36	713	7.84	257	2866	4.25
2	20-10	1.81	6.13	570	9.24	322	2460	3.42
3	20-30	2.00	2.82	659	10.2	409	2921	4.58
4	30-75	2.00	2.98	672	10.2	418	3000	4.80
5	75-90	1.84	6.02	537	9.31	484	2777	4.48
6	90-113	2.10	4.09	707	7.88	358	3340	5.77
7	113-130	2.10	3.51	664	7.35	344	3888	6.98
8	130-150	1.98	3.83	697	9.93	405	3049	5.16
9	150-160	1.86	3.01	694	11.8	482	2764	4.41
10	160-170	1.73	3.24	692	11.9	571	2730	4.42

جدول ۶: شاخص‌های آنالیز عنصری مغزه ۲ دامغان

شماره نمونه	عمق نمونه	Mg/Ca	Sr/Ca	Mn/Ca	K/Al	Ti/Al	Ti/k
1	0-10	0.24	32.73	90.94	0.325	673.7	2072.6
2	10_20	0.20	34.79	61.63	0.324	719.2	2219.8
3	20-30	0.20	39.99	64.54	0.318	637.6	2002.9
4	30-75	0.20	40.97	65.82	0.315	625.1	1985.9
5	75-90	0.20	51.91	57.64	0.313	619.4	1980.9
6	90-113	0.27	45.40	89.81	0.319	578.6	1811.9
7	113-130	0.29	46.76	90.34	0.322	557.1	1729.4
8	130-150	0.20	40.76	70.16	0.321	591.3	1842.3
9	150-160	0.16	40.72	58.65	0.317	626.7	1978.4
10	160-170	0.15	48.02	58.18	0.312	617.0	1975.7



شکل ۸: نمودار عناصر منیزیم، پتاسیم، کلسیم، آلومینیوم و شاخص های اقلیمی Mg/Ca, k/Al در مغزه شماره ۲



شکل ۹: نمودار عناصر منیزیم، پتاسیم، کلسیم، آلومینیوم و شاخص های اقلیمی Mg/Ca, k/Al در مغزه شماره ۲

سطح دهم عمق ۱۶۰-۱۷۰ سانتی متر است. مقدار کلسیم در این سطح دارای بیشترین مقدار خود در این مغزه است، اما مقدار سدیم قابل توجه نیست و عنصر منگنز و منیزیم نیز مقدار متوسطی را در کل مغزه نشان می‌دهند. استرانسیم دارای بیشترین مقدار است که می‌تواند نشانه شوری و یا در صورت وجود دریاچه کاهش عمق آب را نشان دهد. مقدار شاخص Mg/Ca و Mn/Ca کمترین مقدار را دارند و افزایش رطوبت یا دوره پربارانی را نشان نمی‌دهند. شاخص Sr/Ca دارای میزان بالایی است اما با توجه به شاخص‌های دیگر رطوبت زیاد نیست. سه شاخص Ti/Al, K/Al, Ti/k روند متوسطی را در این مغزه دارند. سطح نهم عمق ۱۵۰-۱۶۰ سانتی متر است. مقدار سدیم کاهش نامحسوسی دارد اما در مقدار کلسیم، منگنز، منیزیم و تیتانیوم تغییراتی نمی‌باشد. همچنین شاخص Mg/Ca و Mn/Ca نیز تأیید می‌کنند اگرچه شاخص Sr/Ca کاهش نشان می‌دهد که گویای تغییر شرایط یا مرحله آغاز تغییر از محیط گرم به سرد و خشک شاید باشد البته هر دو توالی مربوط به ۱۱۸۶۸ سال قبل می‌باشند. شاخص Ti/k تغییری ندارد اما دو شاخص Ti/Al, K/Al افزایش کمی دارند. سطح هشتم عمق ۱۳۰-۱۵۰ سانتی متر است. مقدار سدیم کمی افزایش و کلسیم اندکی کاهش را نشان می‌دهد. عنصر منگنز و منیزیم نیز اندکی افزایش دارند که با افزایش شاخص‌های رطوبتی و شرایط

احیایی Mg/Ca و Mn/Ca مطابقت دارد. اما روند Sr/Ca همان روند قبلی است. عنصر تیتانیوم و آلومینیوم افزایش را نشان می‌دهند. شاخص $Ti/k Ti/Al$ کاهش دارند و شاخص K/Al افزایش را نشان می‌دهد. **سطح هفتم** ۱۱۳-۱۳۰ سانتی‌متر است. کاهش مقدار کلسیم و سدیم در این توالی وجود دارد که نشانه خشکی کمتر محیط است و با افزایش منیزیم نیز همخوانی دارد. عنصر تیتانیوم و آلومینیوم افزایش قابل توجهی نشان می‌دهد که ناشی از فرسایش در محیط است. همچنین شاخص Mn/Ca و Mg/Ca افزایش قابل توجهی دارد و شرایط رطوبتی و احیایی محیطی را نشان می‌دهد. همچنین شاخص Sr/Ca نیز با روند افزایشی گویای آب‌وهوای گرم و مرطوب محیطی است. شاخص $Ti/AlTi/k$ کاهش دارند و شاخص K/Al تغییراتی را نشان نمی‌دهد. **سطح هشتم** عمق ۹۰-۱۱۳ سانتی‌متر است. روند عنصر سدیم و کلسیم افزایشی است که نشان از خشکی و تبخیر محیط است. روند عنصر منیزیم تغییر نکرده اما عنصر منگنز کمی افزایش را نشان می‌دهد. عنصر تیتانیوم و آلومینیوم نیز کاهش یافته است. روند شاخص Mg/Ca و Mn/Ca کاهش نامحسوسی یافته است. به‌طور کلی تحلیل شاخص‌ها در این عمق نشان‌دهنده شرایط تقریباً مشابه توالی قبل است. شاخص $Ti/k Ti/Al$ افزایش دارند و شاخص K/Al اندکی کاهش را نشان می‌دهد. **سطح نهم** عمق ۷۵-۹۰ سانتی‌متر است عنصر سدیم و کلسیم افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد، همچنین منگنز و منیزیم نیز کاهش شدیدی دارد و هر دو نشان‌دهنده شرایط خشک و رطوبتی بسیار پایین است. عنصر تیتانیوم و آلومینیوم نیز کاهش یافته که فرسایش محیطی کمتری را نسبت به گذشته مشخص می‌کند. البته شاخص Sr/Ca مقدار کمی افزایش دارد که احتمالاً نشانه گرم بودن محیط است زیرا شاخص‌های رطوبتی مانند شاخص Mg/Ca و Mn/Ca روند کاهشی را نشان می‌دهد. شاخص $Ti/k Ti/Al$ افزایش دارند و شاخص K/Al کاهش را نشان می‌دهد. **سطح چهارم** عمق ۷۵-۳۰ سانتی‌متر است. این توالی با کاهش شدید سدیم همراه است، البته روند کلسیم کمی افزایشی است، اما منیزیم و منگنز روند افزایشی دارد و نشان‌دهنده افزایش نسبی بارش نسبت به دوره قبل است. البته این مسئله با افزایش شاخص Mn/Ca نیز همراه است اما شاخص Mg/Ca تغییر نکرده است و روند شاخص Sr/Ca کاهشی است. عنصر تیتانیوم و آلومینیوم افزایش دارد. سه شاخص $Ti/Al K/Al$ اندکی افزایش را نشان می‌دهد این شاخص Ti/k تغییری ندارد. **سطح سوم** عمق ۲۰-۳۰ سانتی‌متر است. همان‌طور که داده‌ها و میزان عناصر و شاخص‌ها نشان می‌دهد، روند سدیم، کلسیم، منیزیم و منگنز و شاخص‌های رطوبتی Mg/Ca و Mn/Ca کاملاً با روند قبلی هماهنگ و تفاوت معناداری را نشان نمی‌دهد. شاخص Sr/Ca نیز روند قبلی را دنبال می‌کنند که نشان‌دهنده ثبات شرایط آب‌وهوایی قبل است. عنصر تیتانیوم و آلومینیوم اندکی کاهش دارد. سه شاخص $Ti/AlTi/k K/Al$ روند افزایش ناچیزی را در این مغزه دارند. **سطح دوم** در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متر است. در این توالی سدیم افزایش قابل توجهی را داشته است و کلسیم کاهش نامحسوسی را نشان می‌دهد. اما منگنز و منیزیم هر دو کاهش دارند که نشانه رطوبت و بارش کمتر نسبت به دوره قبل است. شاخص‌های Mg/Ca و Sr/Ca نیز همین موضوع را بیان می‌کنند. سه شاخص $Ti/k Ti/Al K/Al$ روند افزایشی را در این مغزه دارند. عنصر تیتانیوم و آلومینیوم کاهش را نشان می‌دهند. **سطح اول** عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر است. مقدار سدیم افزایش یافته اما مقدار کلسیم کمی کاهش را نشان می‌دهد و شرایط بارشی بهتری را نسبت به قبل بیان می‌کند، اما Sr/Ca آب‌وهوای گرم و خشکی را بیان می‌کند. همچنین میزان عنصر تیتانیوم و آلومینیوم نیز افزایشی است. دو شاخص $Ti/k Ti/Al$ روند کاهشی را در این مغزه دارند و شاخص K/Al تغییر خاصی ندارد.

نتیجه‌گیری

تحلیل شرایط رسوبی و آنالیز عنصری در گمانه‌های برداشت شده رسوبات دامغان به شرح زیر است: درگمانه شماره ۱ دامغان تپ رسوبی (سیلت، سیلت ماسه‌ای، گل ماسه‌ای) است که نشان‌دهنده رسوبات دریاچه‌ای و ساحل آن است

چون در محدوده رسوبات ریزدانه است و رسوبات درشت‌دانه را شامل نمی‌شود. تیپ رسوبی گمانه شماره ۲ نیز (سیلت، سیلت ماسه‌ای، گل ماسه‌ای) است و مانند مغزه شماره ۱ رسوبات درشت‌دانه در نمونه‌ها یافت نشده است و ریزدانه بودن رسوبات نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در محیطی دریاچه‌ای می‌باشد. در نمودار مغزه شماره ۱ دامغان، مقادیر نسبت S/M بین ۰,۱۰ تا ۰,۶۹ است. ابتدای گمانه روند کم بودن شاخص S/M نشان‌دهنده انرژی کم محیط و آرام بودن آن است که نشان از اقلیم خشک تر دارد. در اواسط گمانه روند ماسه‌ای بودن این نسبت بیشتر می‌شود که نشان‌دهنده شرایط بیشتر محیط همراه با حمل رسوبات و اقلیم مرطوبتر است. در نمودار مغزه شماره ۲ دامغان نسبت S/M مقادیر نسبت S/M بین ۰,۰۸ تا ۰,۶۳ است، این نسبت در ابتدای گمانه روند متوسطی دارد در اواسط گمانه روند کاهش می‌یابد که نشان از شرایط محیطی کم انرژی و اقلیم خشک تر است اما در انتهای گمانه شرایط مرطوبتر بوده و انرژی محیط بیشتر که این مسئله با افزایش شاخص S/M مشخص شده است. نتایج آنالیز عنصری نشان می‌دهد میزان شاخص‌ها و عناصر مختلف در رسوبات گمانه شماره ۱ به شرح زیر است، در سطح ۱۳-۱۲-۱۱-۱۰ در عمق بین ۱۵۶ تا ۱۰۰ سانتی متر نشان‌دهنده محیط سرد و خشک است (شرایط کم انرژی) البته این مطلب از تحلیل شرایط همه شاخص‌ها و عناصر استنباط می‌شود. در رخساره شماره ۹ در عمق ۸۰-۱۰۰ سانتی متری مقدار کمی شرایط رطوبتی و انرژی محیط افزایش می‌یابد. در سطح هشتم مجدداً روند خشکی و شرایط عدم رطوبت نمود دارد اما در سطح هفتم و ششم افزایش رطوبت و محیط مرطوبتری نسبت به محیط قبل دارد. سطح پنجم و چهارم افزایش و کاهش محسوس رطوبتی یا سردی و گرمی را نشان نمی‌دهد. سطح سوم، دوم و اول روند خشکی محیط و عدم وجود رطوبت در شاخص‌ها و عناصری کاملاً محسوس است که با شرایط محیط خشک در اواخر هولوسن مطابقت دارد. در گمانه شماره ۲ دامغان عناصر و شاخص‌های آن‌ها در سطح دهم و نهم (عمق ۱۵۰-۱۷۰ سانتی متر) شرایط گذار بین سرد و خشک به گرم و مرطوب را مشخص می‌کند. در سطح هشتم و هفتم و ششم عمق ۹۰ تا ۱۵۰ سانتی متری رسوبات نشان از شرایط مرطوبتر محیطی دارد و فرسایش و شرایط محیط بیشتر است. در سطح پنجم کاهش محسوس شرایط رطوبتی و افزایش خشکی محیط مشخص است. در سطح چهارم و سوم نیز روند کلی مانند قبل است اما افزایش بسیار کمی رطوبت مشاهده نمی‌شود. در سطح دوم و اول هم روند شرایط خشک و کم رطوبتی را نشان می‌دهد و گرمی محیط نیز افزایش یافته است که با شرایط انتهایی هولوسن مطابقت دارد.

سپاسگزاری

این اثر تحت حمایت مادی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) برگرفته از طرح شماره ۹۹۰۲۹۶۶۸ انجام شده است. بدین وسیله از حمایت این صندوق تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- آدابی، م.ح. ۱۳۸۳، ژئوشیمی رسوبی، انتشارات آراین زمین، تهران.
- پور معافی، م. ۱۳۸۷، ژئوشیمی، انتشارات آراین زمین، تهران، ص ۱۸-۲۱۱
- تقوی، ل، طیبی، ص، طیبی، س، کریمیان، ب، ۱۳۹۲، تحلیل اقلیم دیرینه بخش تالاب گاوخونی با استفاده از ژئوشیمی عناصر اصلی و فرعی، فصلنامه علمی پژوهشی تالاب اکوبیولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز
- جلیلیان، ط، تقیان، ع، لک، ر، درویشی خاتونی، ج، ۱۴۰۰، بررسی تغییرات اقلیمی و محیطی کوتانری پایانی با استفاده از کانی‌شناسی رس‌ها در پلایای گاوخونی، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال نهم، شماره ۴، صص ۲۵-۴۱.

- رحیمی، ا، ۱۳۹۱، شواهد ژئومورفولوژی تغییرات سطح دریاچه زریبار در طی دوره هولوسن، به راهنمایی مهران مقصودی و منصور جعفری‌بگلو، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
- سبک‌خیز، ف، سیف، ع، رامشت م ح، جمالی م، ۱۳۹۸، بازسازی تغییرات اقلیمی دریاچه مهارلو از هولوسن تا عهد حاضر با تاکید بر ردیابی دوره‌های گرم و سرد، مجله کواترنری ایران، دوره ۵، شماره ۲، ص ۱۴۳-۱۶۱
- شعبانی عراقی، ع، ۱۳۹۹، بازیابی قلمرو دریاچه‌های پلوویال ایران طی هولوسن و پتانسیل آن در تولید گردوغبار مطالعه موردی (پلایای جازموریان و دامغان)، رساله دکتری به راهنمایی مجتبی یمانی و راضیه لک، رشته ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- طیبی، ص، ۱۳۹۰، استفاده از شاخص‌های رسوب‌شناسی برای توصیف شرایط اقلیمی دیرینه در بخش شمالی تالاب گاوخونی، رساله کارشناسی ارشد، گرایش اقلیم‌شناسی در برنامه ریزی محیطی، دانشگاه شهید بهشتی
- فیض نیا، س، ۱۳۷۷. سنگ‌های رسوبی کربناته، انتشارات آستان قدس رضوی، دانشگاه امام رضا، مشهد، صفحات ۱۱۲-۱
- کرینسلی، د، ۱۹۷۰، کویرهای ایران و خصوصیات ژئومورفولوژیکی و پالئوکلیماتولوژی آن، مترجم عباس پاشایی، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، چاپ دوم، ۱۳۸۸
- نکوخو، م، ۱۳۸۲، ژئوشیمی و محیط رسوبی نهشته‌های کربناته پرمین در جنوب شرق شهرضا، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی دانشکده علوم- زمین دانشگاه شهید بهشتی، صفحات ۱۰۸-۲۷
- عزیززی، ق، ۱۳۸۳، تغییر اقلیم، انتشارات قومس
- عزیززی، ق، داودی، م، ۱۳۹۸، تغییرات اقلیمی ایران در دوره هولوسن، فصلنامه کواترنری ایران، دوره ۵، شماره ۱، ص ۲۵-۱
- یمانی، م، لک، ر، گورابی، ا، شهبازی، ر، شعبانی عراقی، ع، ۱۳۹۸، تحلیل پتانسیل فرآیند فرسایش بادی و گردوغبار با تطبیق سیستم الگوی چرخندی بادها در چاله دامغان، مجله فرسایش محیطی هرمزگان، جلد ۹، شماره ۳، صص ۸۲-۱۰۱.
- شعبانی عراقی، ع، ۱۳۹۹، بازیابی قلمرو دریاچه‌های پلوویال ایران طی هولوسن و پتانسیل آن در تولید گردوغبار مطالعه موردی (پلایای جازموریان و دامغان)، به راهنمایی دکتر مجتبی یمانی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- *Carmen Castañeda, F. Javier Gracía, Rafael Rodríguez-Ochoa, Mario Zarroca, Carles Roqué, Rogelio Linares, Gloria Desi, Origin and evolution of Sariñena Lake (central Ebro Basin) A piping-based model.*
- *Chen, F., Liu, J., Xu, Q., Li, Y., Chen, J., Wei, H., et al., 2013., Environmental magnetic studies of sediment cores from Gonghai Lake: implications for monsoon evolution in North China during the late glacial and Holocene. J. Paleolimnol. 49, 447-464. <https://doi.org/10.1007/s10933-012-9677-3>*
- *sai, K., 2004. Geochemistry of Lake Sediments as a Record of Environmental Change in a High Arctic Watershed, Chemie der Erde 64, pp257-275.*
- *Folk, R.L., 1960. "Petrology and origin of the Tuscarora, Rose Hill, and Keefer Formations, Lower and Middle Silurian of Eastern West Virginia", Journal of Sedimentary Petrology, 30, p. 1-58.*
- *Folk, R.L., 1980. "Petrology of Sedimentary Rocks", 3rd ed., Hemphill Publication Co., Austin, Texas, 182 p*
- *Gupta, A., Hock, L., Xiaojing, H. and Ping, C., ۲۰۰۲. Evaluation of part of the Mekong River using satellite imagery. Geomorphology, ۴۴(۲۰۰۲): ۲۲۱-۲۳۹*
- *Govin, A., Holzwarth, U., Heslop, D., Ford Keeling, L., Zabel, M., Mulitza, S., Collins, J.A. and Chiessi, C.M, 2012, Distribution of major elements in Atlantic*

surface sediments (36 N 49 S): Imprint of terrigenous input and continental weathering. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 13(1).

- Vaezia Alireza, Fereydoun Ghazbana, Vahid Tavakolib, Joyanto Routhc,* , Abdolmajid Naderi Benid, Thomas S. Bianchie, Jason H. Curtise, Henrik Kylinec, A Late Pleistocene-Holocene multi-proxy record of climate variability in the Jazmurian playa, southeastern Iran.
- Moosavian, S.M., Karbassi, A. R., Sabzalipour, S., Amirnezhad, R., Daneshian, J. 2019. Determination of sedimentation rate of Hoor-Al-Azim wetland by carbon-14 method and analysis of its past climate using element geochemistry, *Environmental Earth Sciences* 78:658. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8666-5>
- Vendenbergh, J., 2003. Climate forcing of fluvial system development: an evolution of ideas. *Quaternary Science Reviews*, 22: 2053-2060.
- Weiss, H., Courty, M-A., Wetterstrom, W., Guichard, F., Senior, L., Meadow, R. and Curnow, A. 1993: The genesis and collapse of third millenium North Mesopotamian civilization. *Science* 261, 995–1004.
- Bond, G., Showers, W., Cheseby, M., Lotti, R., Almasi, P., Priore, P., & Bonani, G. (1997). A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates. *science*, 278(5341), 1257-1266.
- Hong, Y. T., et al. (2003), Correlation between Indian Ocean summer monsoon and North Atlantic climate during the Holocene, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 211, 371–380.
- Keigwin, L. D. (1996), The little ice age and medieval warm period in the Sargasso Sea, *Science*, 274, 1504–1508.