

تحلیل ژئوشیمی و پالینولوژیکی رسوبات دریاچه گهر و شناسایی آب‌وهوای دیرین زاگرس مرتفع

طیبه اکبری*؛ استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی | محقق دوره پسادکتری، پژوهشکده مطالعات علوم گیاهی، گرده‌شناسی و دینامیک جو، دانشگاه جورج آگوست گوتینگن، آلمان
راضیه لک؛ استادیار پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، تهران
رضا شهبازی؛ دکتری مهندسی منابع طبیعی گرایش بیابان‌زدایی دانشگاه تهران، مسئول اداره پژوهش‌های کاربردی علوم زمین، مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، البرز
مهرنوش قدیمی؛ استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
اشرف اسدی؛ استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه پیام نور
فریبا کرمی؛ دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
پیترو ویگاندا؛ دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه نوادا و مرکز تحقیقات بیابان دانشگاه کالیفرنیا، ایالات متحده آمریکا
کمال‌الدین علیزاده؛ دانشجوی دکتری دیرینه محیط‌شناسی، دانشگاه گوتینگن، آلمان
هرمان بهلینگ؛ استاد پژوهشکده مطالعات علوم گیاهی، گرده‌شناسی و دینامیک جو، دانشگاه جورج آگوست گوتینگن، آلمان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۲۵

چکیده

در این تحقیق با مطالعه مغزه رسوبی سه متری از دریاچه گهر واقع در زاگرس مرتفع، محیط رسوبی گذشته با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمی و پالینولوژی بررسی و با تفسیر تغییرات پوشش گیاهی به دست آمده از نمودار گرده دریاچه گهر، تغییرات آب‌وهوایی گذشته بازسازی شد. نتایج نشان داد که منطقه مورد مطالعه به طور متناوب شرایط آب‌وهوایی سرد و مرطوب و خشک و گرم را در گذشته تجربه کرده است. از مهم‌ترین دستاوردهای این تحقیق می‌توان به کاربرد شاخص ژئوشیمی نسبت وانادیوم به کروم (V/Cr) در تفسیر شرایط آب‌وهوای گذشته اشاره کرد. وجود سه بیشینه در شاخص V/Cr و هماهنگی آن با درصد فراوانی گرده‌های گیاهان مانداب و درختی نظیر بلوط و علفی مانند خانواده چتریان شاهدهی است بر وجود سه دوره با افزایش بارش در منطقه مرتفع زاگرس. به نظر می‌رسد که سن نسبی مغزه رسوبی بر اساس تطابق داده‌های بارش و دمای بازسازی شده حاصل از مدل کلان مقیاس طبیعی MCM و تغییرات فراوانی گرده درختان بلوط، حدود هولوسن میانی تا زمان کنونی را پوشش دهد. تحلیل خوشه‌ای فراوانی گرده‌های گیاهی درختی و درختچه‌ای و علفی، چهار زون مجزا در طول مغزه رسوبی به صورت GHA، GHB، GHC و GHD را نشان داد. منطقه هم‌زمان با دو زون GHA و GHB دارای پوشش گیاهی از نوع جنگلی- استپی با چیرگی بلوط بوده است. در مجموع، به نظر می‌رسد تغییرات فراوانی گرده‌های بلوط و ریش بز در طول مغزه رسوبی ناشی از تغییرات شرایط رطوبتی و دمایی محیط باشد. همچنین، شواهدی همانند گرده‌های درختی دست‌کاشت به همراه گرده‌های گیاه بارهنگ نشانه دخالت انسان در منطقه مورد مطالعه است.

کلیدواژه‌ها: آب‌وهوای گذشته، ایران، تحلیل رسوب، شاخص وانادیوم به کروم، گرده‌شناسی.

مقدمه

بررسی رسوبات از دیدگاه ژئوشیمی اهمیت بسیار زیادی دارد، زیرا از این طریق امکان بازسازی روابط آب‌وهوایی و

جغرافیایی گذشته زمین ممکن است (پورمعافی، ۱۳۸۷). دوره کواترنری با تغییرات اقلیمی مهمی در کره زمین همراه بوده است، همچون دوره‌های یخبندان و بین‌یخبندان و دوره‌های متناوب سرد و گرم. ارتباط تغییرات آب‌وهوا با تغییرات هندسی و وضعیت مدار گردش زمین به دور خورشید نسبت به هم در چرخه‌های صدهزار ساله، چهل هزار ساله و بیست و سه هزار ساله را اخترشناس مشهوری به نام میلانکوویچ تأیید کرده است. این تغییرات به ترتیب ناشی از خروج مداری، تغییر در کجی محور زمین و رقص محوری یا تغییر جهت محور است (برگر، ۱۹۹۴).

پژوهش‌های دیرین آب‌وهواشناسی در جهان نشان می‌دهد که دوره هولوسن به دنبال ذوب یخچال‌ها در دوره دیریخبندان و گرم شدن هوا، حدود یازده هزار سال پیش شروع شده است. در این دوره، با بالا آمدن سطح آب دریاها، شرایط برای رشد درختان و گسترش جنگل‌ها مناسب‌تر شد. دوره بهینه اقلیمی نیز از دوره‌های مشهود در هولوسن است. این دوره در مناطق معتدله نیمکره شمالی در حدود ۵۵۰۰ سال پیش به پایان رسید. در این زمان تمدن‌های بشری نیز در مناطقی از کره زمین مانند آفریقا و آسیا، شروع به گسترش کرد تا اینکه دوره گرم سده‌های میانه از حدود قرن دهم تا چهاردهم حاکم شد (الی و همکاران، ۱۹۹۷؛ کوفی و کلو، ۱۹۹۷). در تحقیق جدیدی در حوضه دریای مدیترانه مشخص شد که در هولوسن پیشین شرایط نسبتاً مرطوبی در نواحی جنوبی-مرکزی و شرقی مدیترانه رخ داد، در حالی که به‌طور هم‌زمان شرایط خشک‌تری در شمال عرض ۴۵ درجه شمالی در مدیترانه حاکم بود. این الگوهای بارشی در طول هولوسن پسین برعکس بوده است؛ یعنی، بخش شمالی مدیترانه مرطوب‌تر و بخش شرقی و جنوبی خشک‌تر بوده است. با توجه به تغییر غرب به شرق الگوی بارش در حوضه مدیترانه در طول هولوسن و براساس نتایج مطالعات گرده‌شناسی در منطقه مدیترانه، می‌توان قدرت این حالت دوقطبی بارش را به پارامتر فصلی نسبت داد، به‌طوری که بارش در تابستان‌های هولوسن پیشین دارای تغییر واضح شرق به غرب با بیشترین بارش تابستانه در جنوب و شرق و کمترین بارش در بخش غربی مدیترانه بوده است، در حالی که بارش زمستانه دارای سیگنال‌هایی است که کمتر مرتبط با موقعیت مکانی در مدیترانه است. روند کلی خشکی به‌طور خاص در مرکز و شرق مدیترانه از هولوسن پیشین تا پسین ادامه داشته است، اگرچه بارندگی تابستانه در شرق مدیترانه حتی در طول بازه‌های هولوسن پسین دارای مقادیر بیشتر نسبت به بارش کنونی بوده است (پایرون و همکاران، ۲۰۱۶).

بررسی‌های انجام شده در نواحی مرتفع مرکزی ایران و تهنشست‌های بادرفتی جنوب کشور نشان داد که وضعیت اقلیمی خشک از دوره دیریخبندان تا هولوسن پیشین ادامه داشته است. شواهد همچنین نشان داد که در شمال کشور و زاگرس در دوره دیریخبندان شرایط اقلیمی، خشک و تاحدودی سرد بوده است (کل، ۲۰۰۹). شرایط آب‌وهوایی پس از دوره دیریخبندان در ایران در مطالعات گرده‌شناسی و ژئومورفولوژیکی حاصل از رسوبات دریاچه‌های غرب زاگرس نظیر زریوار و میرآباد را می‌توان جزو اولین مطالعات آب‌وهوای گذشته ایران دانست. احتمالاً در هولوسن پیشین درجه حرارت در منطقه افزایش و به دنبال آن، پوشش گیاهی استپی با جنگل‌های باز پسته و بلوط استقرار یافت. در منطقه زاگرس پوشش گیاهی ساوانی پسته-بلوط جایگزین پوشش استپی درمنه و اسفنجیان و به‌طور ناگهانی پوشش گندمیان در هولوسن پیشین جایگزین پوشش درمنه-اسفنجیان شد. بنابراین، وجود پوشش استپی در دوره‌های یخبندان و پوشش درختان بلوط در میانه هولوسن از ویژگی‌های مشترک منطقه زاگرس و محدوده‌های نزدیک نظیر دریاچه وان ترکیه است.

خشکی منطقه‌ای در طول هولوسن پیشین احتمالاً زمینه تأخیر در گسترش جنگل‌های بلوط تا دوره هولوسن میانی را فراهم کرده است (جمالی و همکاران، ۲۰۰۸). در دوره هولوسن میانی و پسین استقرار پوشش گیاهی متراکم بلوط هم‌زمان با افزایش سطح آب دریاچه زریوار رخ داده است. به تدریج در این دوره با افزایش فرسایش و کاهش بارندگی فصل بهار، فراوانی درختان بلوط کاهش یافت و به‌طور کلی در دوره هولوسن پسین، روند خشک اقلیمی شناسایی شده است (واسیلیکوا و واسیلیکوا، ۲۰۰۸). تحقیقات جدیدتر گرده‌شناسی درباره سایر دریاچه‌ها در ایران نظیر دریاچه هشیلان در کرمانشاه نشان داد که آب‌وهوای هولوسن پیشین در زاگرس مرکزی با یک فصل سرد و مرطوب و یک فصل گرم و خشک طولانی مشخص می‌شود و جنگل‌های بلوط در هولوسن میانی با محدود شدن فصل خشک، گسترش یافت، بنابراین رژیم آب‌وهوای کنونی منطقه زاگرس از هولوسن میانی تثبیت شده است (صفایی‌راد و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین، شواهد تغییرات پوشش گیاهی و فراوانی زغال در رسوبات دریاچه پریشان واقع در زاگرس جنوبی نشان داد که در هولوسن پیشین با کاهش گیاهان آبری و افزایش زغال می‌توان حاکمیت آب‌وهوای گرم و خشک و آب‌وهوای

گرم و مرطوب در هولوسن میانی را در منطقه استنباط کرد. همچنین، گرم‌تر بودن هولوسن پسین نسبت به هولوسن میانی از شواهدی نظیر کاهش بلوط و افزایش پسته- بادام در زاگرس جنوبی شناسایی شد (داوودی و همکاران، ۱۳۹۳). در تحقیق دیگری، با استفاده از یافته‌های سایت‌های مهم دیرینه بوم‌شناسی موجود، اختلافات فصلی شدید آب‌وهوایی در هولوسن پیشین در منطقه بری خاورمیانه سبب تأخیر در گسترش جنگل‌های بلوط در منطقه زاگرس- آنتی‌توروس بیان شده و علت تغییرات فصلی شدید در هولوسن پیشین به تغییرات هندسه زمین- خورشید نسبت داده شده است. همچنین، از دیدگاه موجودیت رطوبت نسبی این ادعا شده است که احتمالاً پوشش درختی بلوط در هولوسن پیشین به‌صورت ساوان نیست، بلکه به‌صورت مجتمع در مناطق مرتفعی رویش داشته که رطوبت مؤثر بیشتری داشته است (عزیزی و صفایی‌راد، ۱۳۹۴).

نمودن اطلاعات کافی در مورد تغییرات آب‌وهوای گذشته زاگرس مرتفع و اهمیت جنگل‌های بلوط در زاگرس از انگیزه‌های اصلی این مقاله است. این پژوهش با بررسی ژئوشیمی و گرده‌شناسی رسوبات دریاچه گهر، به‌دنبال تبیین تغییرات حوضه رسوبی و شرایط آب‌وهوایی منطقه مورد مطالعه واقع در رشته‌کوه‌های اشترانکوه زاگرس است. از اهداف این تحقیق تعریف شاخص‌های مناسب ژئوشیمی و پالینولوژیکی، در تبیین تغییرات محیطی و آب‌وهوایی زاگرس مرتفع است.

مواد و روش‌ها

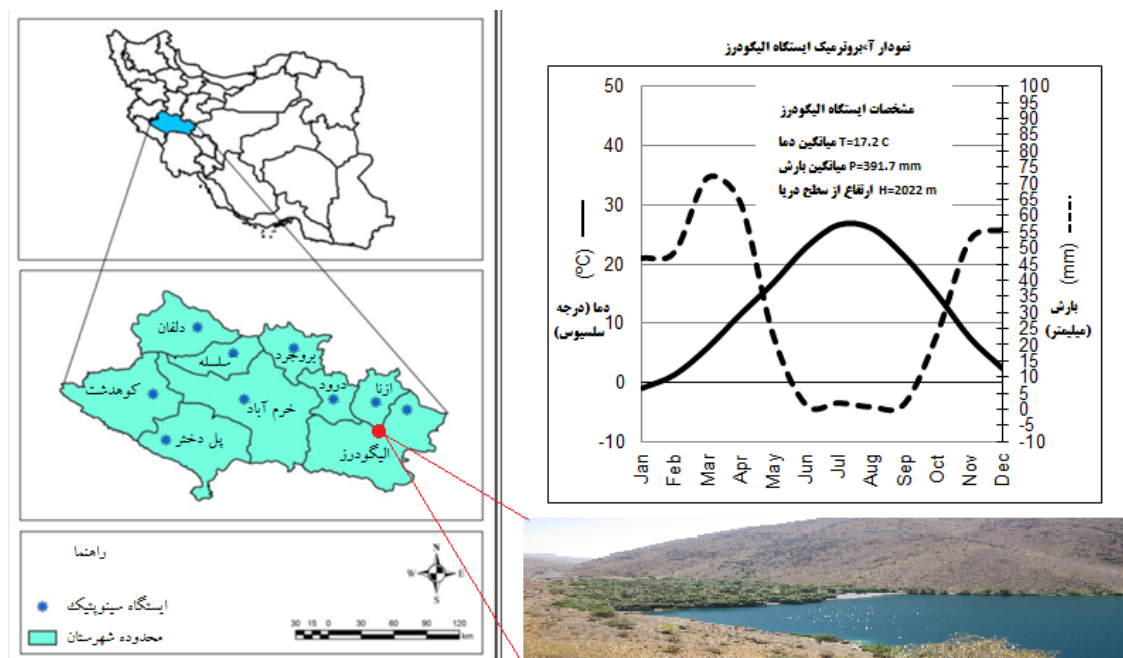
منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز دریاچه گهر از لحاظ جغرافیایی در ۴۹ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی در ۱۳ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان درود و در مجاورت شهرستان الیگودرز در استان لرستان واقع شده است. این استان به‌ترتیب از شمال با استان‌های همدان و مرکزی، از شرق با استان اصفهان، از جنوب با استان خوزستان و از غرب با استان‌های کرمانشاه و ایلام همسایه است. همچنین، از طریق باریکه‌ای در سمت جنوب شرقی دارای مرز بسیار کمی با استان چهارمحال و بختیاری است.

ارتفاع متوسط دریاچه از سطح دریا ۲۵۰۰ متر است و در دامنه جنوبی رشته‌کوه‌های اشترانکوه زاگرس قرار دارد. بیشترین طول دریاچه ۲۱۰۰ متر و بیشترین عرض آن ۳۵۵ متر است. به‌علت کاهش نسبی بارش‌های سالانه و استفاده زیاد از منابع آب دریاچه، معمولاً سطح دریاچه به‌ندرت به وضعیت حداکثر می‌رسد. مساحت متوسط دریاچه حدود ۷۵ هکتار، بیشترین عمق دریاچه ۲۸ متر و حداقل ژرفای آن ۴ متر است. منبع آب دریاچه حاصل ذوب برف، همچنین چشمه‌های سرد کف دریاچه است. بیشتر این چشمه‌ها در اعماق بیش از ۲۰ متر دریاچه قرار دارد (نبوی، ۱۳۶۵؛ سازمان محیط زیست، ۱۳۷۸). براساس داده‌های بارندگی سازمان هواشناسی، میزان میانگین سالانه بارندگی ایستگاه خرم‌آباد، به‌عنوان مرکز استان، ۴۹۳ میلی‌متر و سایر ایستگاه‌های نزدیک به دریاچه گهر، شامل الیگودرز، درود به ترتیب ۳۹۱ و ۶۲۰ میلی‌متر است که بیشتر در فصل بهار، پاییز و زمستان به‌صورت برف و باران می‌بارد. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در زاگرس مرتفع و اختلاف توپوگرافی در سطح استان لرستان علت اصلی توزیع ناهمگن بارش در ایستگاه‌های مختلف است (شکل ۱).

بر اساس جدیدترین پهنه‌بندی‌های استان لرستان بر مبنای روش‌های تحلیل چندمتغیره، منطقه گهر و شهرستان الیگودرز در پهنه نیمه‌مرطوب با تابستان معتدل و زمستان سرد قرار گرفته است (لشنی‌زند و همکاران، ۱۳۹۰). بخش عمده بارش‌های استان لرستان حاصل سامانه‌های ادغامی مدیترانه‌ای و کم‌فشارهای سودانی است که با ناپایداری هوا و عبور از پهنه‌های مرطوب همانند دریای مدیترانه و دریای سرخ پس از تغذیه رطوبتی به استان لرستان وارد می‌شود و در فصل سرد سال معمولاً در مناطق مرتفع استان منجر به بارش برف می‌شود (حسنوند، ۱۳۹۴).

متوسط سالیانه بارش حوضه معادل ۶۰۰ میلی‌متر به‌صورت برف و باران است. همچنین، دامای متوسط این حوضه ۴ درجه سانتی‌گراد و در نتیجه دارای پوشش گیاهی متنوعی از گیاهان خشکی‌زی و آبزی است. از نظر ژئوبوتانیکی، منطقه گهر منطقه جنگلی تخریب‌شده همراه با درختان پراکنده محسوب می‌شود که جامعه کلیماکس آن مناطق استپی- جنگلی بلوط شاخص ایران و تورانی همراه با پوشش غالب پسته- بادام و درختان بادام است (زه‌ری و مجنونیان، ۱۳۸۳).



شکل ۱. موقعیت دریاچه گهر در رشته کوه‌های اشترانکوه زاگرس به همراه نمودار آمبروترمیکی ایستگاه الیگودرز در نزدیکی دریاچه گهر در استان لرستان بر اساس داده‌های میانگین بلندمدت (۱۹۵۱-۲۰۱۴)

خاک منطقه حاشیه شمالی دریاچه زهکشی ضعیفی دارد و پوشش گیاهی غالب شامل نی (*Phragmites australis*) و خانواده جگن (*Cyperaceae*) است. خاک سطحی در حاشیه جنوبی دریاچه گهر کوچک (محل نمونه برداری) که در فاصله حدود ۱ کیلومتری از دریاچه گهر قرار دارد از نوع شنی گلی تا سنگریزه‌ای است. پوشش گیاهی غالب امروزی در حاشیه دریاچه گهر شامل خانواده گل سرخیان (*Rosaceae*) و درختان بید (*Salix sp.*) و خانواده گندمیان (*Poaceae*) و میخک (*Caryophyllaceae*) است. پوشش سطحی دریاچه در بعضی نقاط دیده می‌شد که محدود به خانواده جگن و نیزارهای پراکنده می‌شود.

روشن‌شناسی

نمونه‌های مورد مطالعه در این پژوهش به وسیله مغزه‌گیر دستی^۱ با همکاری سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی ایران^۲ در فصل تابستان سال ۱۳۹۳ هم‌زمان با حداکثر کاهش سطح آب از قسمت جنوبی دریاچه گهر کوچک به مختصات ۳۳° ۱۸' ۰۰" شمالی و ۴۹° ۱۶' ۲۳" شرقی برداشت شده است. با توجه به امکان انتقال مغزه‌گیر دستی در مسیرهای دسترسی نامناسب، همچنین احتمال یافتن رسوبات ریزدانه در بستر تالاب و دریاچه، این نوع مغزه‌گیر برای حفاری انتخاب شد. از سوی دیگر، امکان برداشت مغزه‌های کم‌عمق از بستر دریاچه با استفاده از لوله‌های پلی‌اتیلنی نیز با پیمایش با قایق بررسی شد که به دلیل بستر قلوه‌سنگی میسر نشد. هر چند در بعضی نواحی حاشیه دریاچه، با وجود پوشش گیاهی، امکان پایین رفتن مغزه مغزه‌گیر وجود داشت، در مجموع به دلیل درشت‌دانه بودن رسوبات (سنگریزه و ماسه درشت)، همچنین مزاحمت ریشه گیاهان نی، نمونه برداری در بستر و حاشیه گهر بزرگ موفقیت‌آمیز نبود. این تلاش‌ها در حاشیه پیکره آبی گهر کوچک نیز ادامه داشت. این دریاچه در واقع آبگیر پرشده‌ای از رسوبات در بخش مرتفع اشترانکوه با ارتفاع ۲۳۳۵ و در فاصله حدود ۱ کیلومتری بالادست دریاچه گهر بزرگ است. سرانجام، دو مغزه رسوبی در مجاور هم از حاشیه جنوبی آن استخراج شد.

عمق مغزه‌های برداشت شده ۳ متر بود که یکی با هدف رسوب‌شناسی (مغزه GH2) به آزمایشگاه ژئوشیمی

1. hand auger (corer)

2. Geological Survey of Iran (GSI)

سازمان زمین‌شناسی و دیگری (مغزه GH1) در مجاورت همان نقطه با هدف پالینولوژی به آزمایشگاه پالینولوژی پژوهشکده مطالعات علوم گیاهی، گرده‌شناسی و دینامیک جو، دانشگاه جورج آگوست گوتینگن^۱ آلمان منتقل شد. برای سن‌سنجی نمودار گرده در این پژوهش، از چهار بخش مغزه مورد بررسی، نمونه رسوبی و تکه‌ای چوب جمع‌آوری و برای تعیین سن به روش رادیوکربن AMS به آزمایشگاه دانشگاه ملی تایوان^۲ ارسال شد.

به‌منظور تجزیه و تحلیل‌های ژئوشیمیایی، نمونه‌برداری از مغزه GH2 با فواصل ۲۰ سانتی‌متر انجام شد و به روش طیف‌سنجی نشری پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP)^۳ آنالیزها انجام شد. این روش از روش‌های تجزیه در زمین‌شناسی است که توانایی اندازه‌گیری بیشتر عنصرهای جدول تناوبی را با حد آشکارسازی پایین و دقت خوب در گستره چند توان ۱۰ دارد. در این روش عناصر هم‌زمان اندازه‌گیری می‌شود و روشی بسیار سریع است که روی مواد به‌صورت محلول انجام می‌شود (رولینسون، ۱۹۷۳). این روش برای تجزیه عناصر فرعی متعددی در محلولی واحد و مقادیر بسیار کم کاربرد دارد (آدابی، ۱۳۹۰).

برای عملیات پالینولوژی، تعداد سی نمونه با فواصل ۱۰ سانتی‌متر از مغزه رسوبی GH1 گرفته شد. آماده‌سازی نمونه‌های گرده به‌روش استاندارد مور و همکاران (۱۹۹۱) با اندکی تغییر انجام گرفت. نمونه‌ها با استفاده از ژلاتین روی اسلاید قرار گرفت. سپس، با میکروسکوپ نوری Zeiss با بزرگ‌نمایی ۴۰۰ برابر، گرده‌های گیاهی شناسایی و شمارش شد.

تحلیل میکروسکوپی و شناسایی گرده‌های موجود در نمونه با کمک اطلس‌های گرده‌شناسی مربوط به منطقه اروپا و شمال آفریقا انجام شد. *اطلس Reille* در سه جلد، *اطلس Beug* همچنین مجموعه اسلایدهای گرده‌های امروزی از جمله مراجع موجود در آزمایشگاه میکروسکوپی پژوهشکده مطالعات علوم گیاهی، گرده‌شناسی و دینامیک جو، دانشگاه جورج آگوست گوتینگن است که در شناسایی گرده‌ها تا سطح خانواده، جنس یا گونه استفاده شد (ریلی، ۱۹۹۲، ۱۹۹۵، ۱۹۹۸؛ بویگ، ۲۰۰۴).

طی مرحله شمارش، حداقل سیصد گرده بدون احتساب گیاهان محلی نظیر جنس بید و خانواده میخک شمرده شد. در بعضی لایه‌ها به دلیل حفظ‌نشده‌گی گرده‌ها، بین ۱۰۰ تا ۲۵۰ گرده در هر لایه شمارش شد. پس از شمارش گرده‌ها، اطلاعات به‌دست آمده وارد نرم‌افزار Tilia 2011 نسخه ۱/۷/۱۶ (گریم، ۲۰۱۱) شد و نمودار گرده‌شناسی مغزه رسوبی ترسیم شد. در این تحقیق زون‌بندی نمودار با استفاده از درصد گرده‌های گیاهی به‌روش تحلیل خوشه‌ای انجام شد.

نتایج و بحث

تغییرات محیط رسوبی دیرین زاگرس مرتفع

شیمی رسوبات تابع شرایط هوازدگی و این خود تابع شرایط آب‌وهوایی حاکم در محیط قاره‌ای است. معمولاً با تعریف شاخص مناسب و بررسی شرایط رطوبتی که در آن رسوبات شکل می‌گیرد، آب‌وهوای گذشته تعیین می‌شود (پورمعافی، ۱۳۸۷). در این تحقیق شاخص‌هایی مانند نسبت وانادیوم به کروم (V/Cr)، وانادیوم به مولیبدن (V/Mo) و کبالت به نیکل (Co/Ni) بررسی شده است (شرول، ۱۹۷۵). تفاوت‌های این شاخص‌ها در استنباط شرایط رطوبتی موجود در رسوبات دریاچه‌ای در زمان گذشته کارایی دارد.

بر اساس جدول ۱، سه نسبت یادشده در سیزده نمونه از مغزه رسوبی دریاچه گهر محاسبه و نتایج در شکل ۲، ۳ و ۴ تحلیل شد. این نسبت‌ها بیانگر نوسان محیط از محیط رسوبی دریاچه‌ای یا ماندابی تحت تأثیر اکسایش یا محیط رسوبی که پس از رسوبگذاری خشک شده است و در معرض هوازدگی قرار دارد به سمت محیط‌هایی پیش‌رفته است که هیچ‌گاه اکسیده نشده و کاملاً زیرآب بوده است (کالانچین و همکاران، ۱۹۹۶؛ ریکوئیر و همکاران، ۲۰۰۶؛ وانگ و زای،

1. Georg-August-University of Göttingen, Albrecht-von-Haller-Institute for Plant Sciences, Palynology and Climate Dynamics.

2. National Taiwan University (The NTUAMUS Lab)

3. Inductively Coupled Plasma emission spectrometry

۲۰۰۷). مقدار بیشینه شاخص در نسبت‌های مربوط به وانادیوم به سایر عناصر نشان‌دهنده محیط رسوبی نزدیک به محیط نسبتاً آبرفته است که با توجه به بسته‌بودن حوضه رسوبی احتمالاً با شرایط مرطوب‌تر محیط همراه بوده است. از بین سه شاخص مورد بررسی، منحنی نسبت V/Cr به دلیل داشتن تغییرات متمایز نسبت به سایر نسبت‌های وانادیوم برای تفسیر محیط رسوبی مناسب‌تر به نظر می‌رسد. این منحنی به خوبی سه دوره با سه پیک رطوبتی را نشان می‌دهد که به ترتیب به سمت گذشته هم دوره‌های خشک شدیدتر و هم دوره‌های مرطوب شدیدتر را نشان می‌دهد.

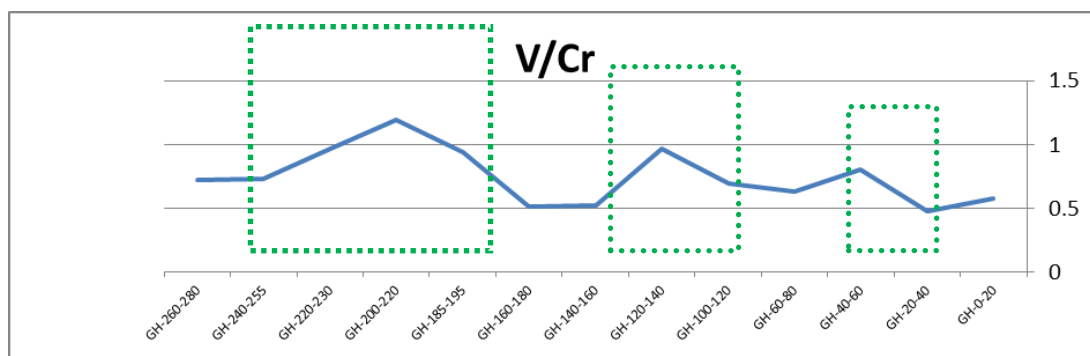
چینه‌شناسی مغزه گهر و ویژگی‌های شیمیایی آب دریاچه گهر
خصوصیات چینه‌شناختی مغزه مورد بررسی در شکل ۵ نشان داده شده است.

نتایج سن‌سنجی به روش رادیوکربن

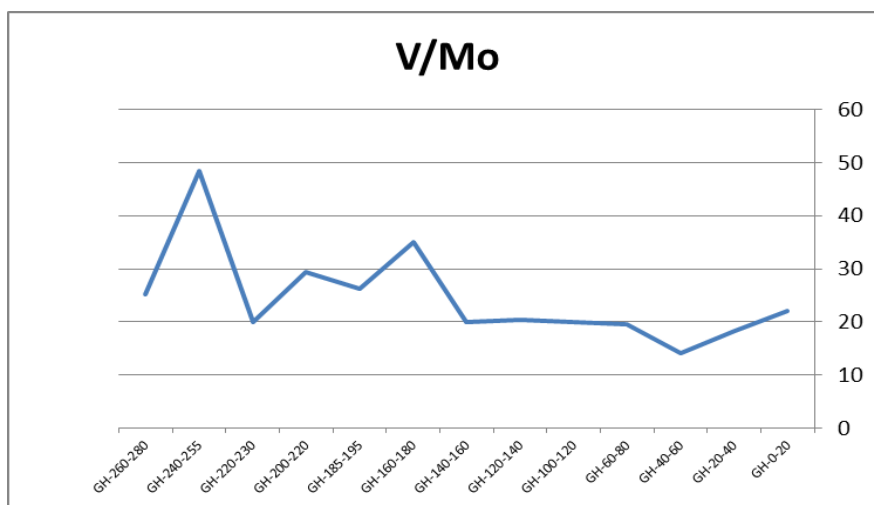
سن‌سنجی مغزه GH1 گهر به روش رادیوکربن در شکل ۵ نشان داده شده است. مطابق شکل ۵، نتیجه سن‌سنجی به صورت سن کالیبره شده در عمق ۱۱۰ سانتی‌متر و در قسمت راهنما مشخص شده است. به نظر می‌رسد در تفسیر سن

جدول ۱. شاخص‌های مورد بررسی بر اساس رخساره شیمیایی موجود در رسوبات (مغزه GH2) دریاچه گهر (شرویل، ۱۹۷۵)

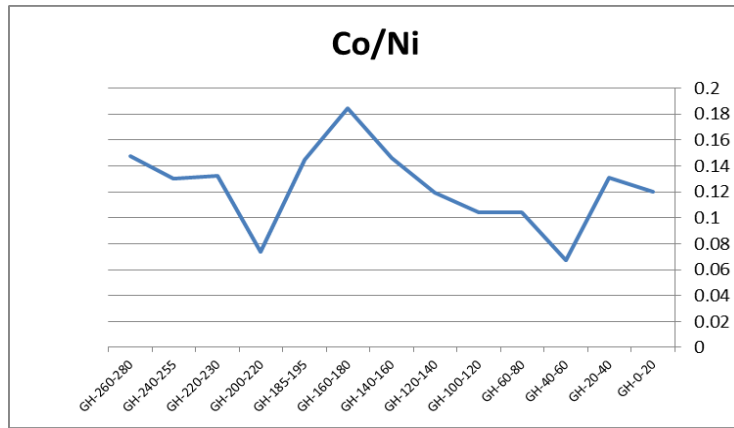
ردیف	نسبت عناصر	علت انتخاب شاخص‌های ژئوشیمیایی
۱	V/Cr	در محدوده ۲ الی ۱۰ نشان‌دهنده شرایط بی‌هوازی لجن‌های پوسنده
۲	V/Mo	در محدوده ۵ الی ۱۰ نشان‌دهنده شرایط بی‌هوازی لجن‌های پوسنده
۳	Co/Ni	در محدوده ۱ نشان‌دهنده شرایط بی‌هوازی لجن‌های پوسنده



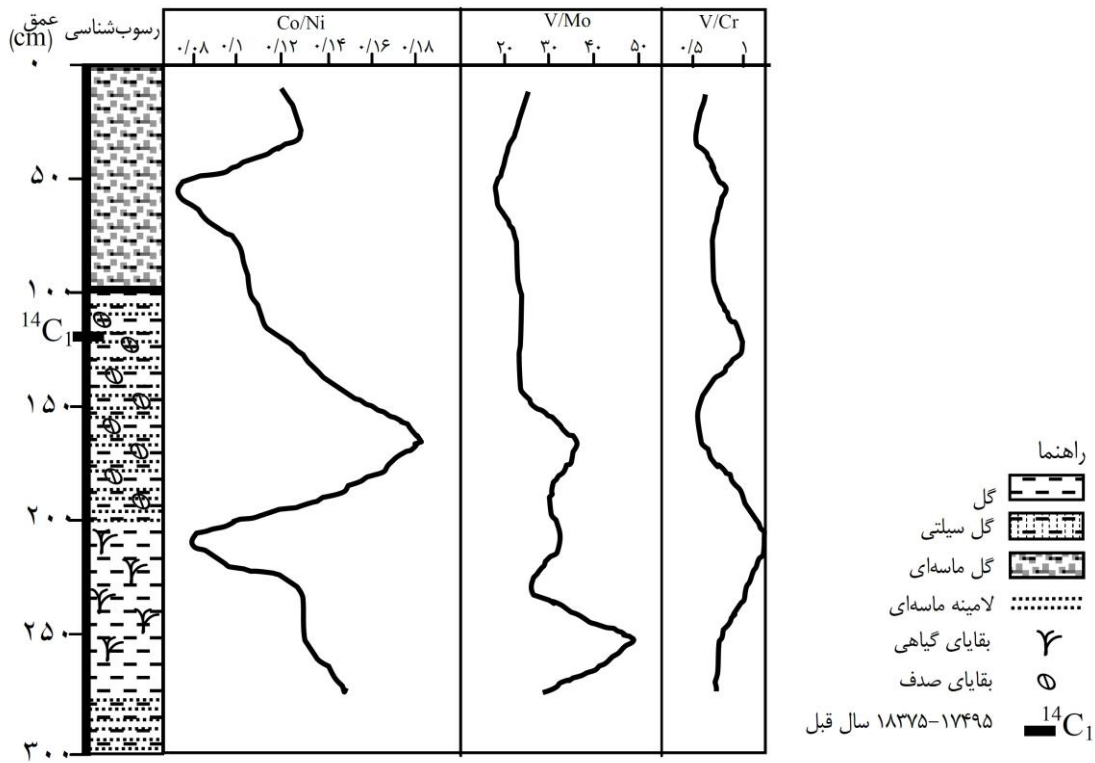
شکل ۲. نمودار تغییرات شاخص نسبت وانادیوم به کروم (V/Cr). اشکال چهارگوش سبزرنگ نشان‌دهنده شرایط همراه با رطوبت بالاتر در رخساره رسوبی (مغزه GH2) دریاچه گهر است.



شکل ۳. نمودار تغییرات شاخص نسبت وانادیوم به مولیبدن (V/Mo) (مغزه GH2)



شکل ۴. نمودار تغییرات شاخص نسبت کبالت به نیکل (Co/Ni) (مغزه GH2)



شکل ۵. خصوصیات چینه‌شناختی و سن‌سنجی مغزه GH1 گهر

مغزه رسوبی گهر با داده‌های موجود باید احتیاط کرد. به‌همین دلیل این پژوهش بیشتر به تفسیر تغییرات ژئوشیمی رسوبی و گرده‌شناسی پرداخته و از نتایج مدل‌سازی و بازسازی داده‌های بارش و دما در تبیین بعد زمانی تغییرات استفاده شده است.

تفسیر نمودار گرده مغزه رسوبی دریاچه گهر واقع در زاگرس مرتفع

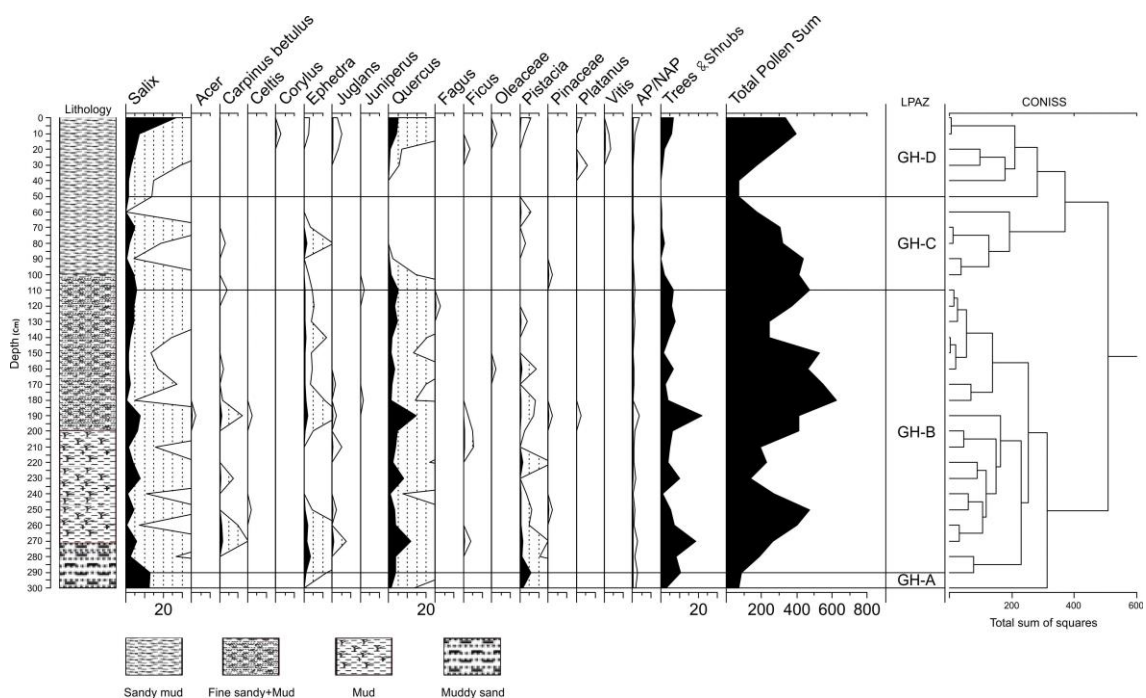
گرده‌های گیاهی شناسایی شده در مغزه GH1 دریاچه گهر، طی مرحله میکروسکوپی، در جدول ۲ با ذکر نام علمی خانواده، جنس یا گونه نوشته شده است. در مورد گرده‌هایی که بیش از یک گونه گیاهی تولید کرده‌اند واژه type به‌کار برده شده است. گرده‌های گیاهی به‌طور کلی به‌صورت سه دسته گرده‌های درختی، علفی و آب‌پسند در نمودار گرده دریاچه گهر بر اساس درصد نسبی فراوانی گرده‌های گیاهی مشخص شد. مقادیر گرده‌ای دسته گرده‌های درختی و علفی

غیر از گرده‌های محلی منطقه نظیر گرده‌های بید و میخک برای محاسبه درصد فراوانی گرده‌ها (pollen sum) استفاده شده است (شکل ۶ و ۷ و ۸).

مطابق نمودار گرده، فراوانی گرده‌های علفی بیش از گرده‌های درختی است و از بین گرده‌های علفی، خانواده گندمیان، اسفناجیان و چتریان نسبت به سایر گرده‌های علفی فراوان‌تر و تغییرات درصد فراوانی بین ۴۰ تا ۶۰ درصد است. بر اساس تغییرات عمده در گرده‌های گیاهی، با استفاده از تحلیل خوشه‌ای چهار زون اصلی اجتماع گرده‌ای به دست آمد. برای تفسیر نمودار گرده به ترتیب از پایین‌ترین عمق مغزه دو زون اصلی اجتماع گرده‌ای قدیمی‌تر شامل GHA (عمق ۳۰۰ تا ۲۹۰ سانتی‌متر) و GHB (عمق ۲۹۰ تا ۱۱۰ سانتی‌متر) و دو زون اصلی اجتماع گرده‌ای جدیدتر شامل GHD (عمق ۱۱۰ تا ۵۰ سانتی‌متر) و GH-C (عمق ۵۰ تا ۰ سانتی‌متر) است (شکل ۶ و ۷ و ۸).

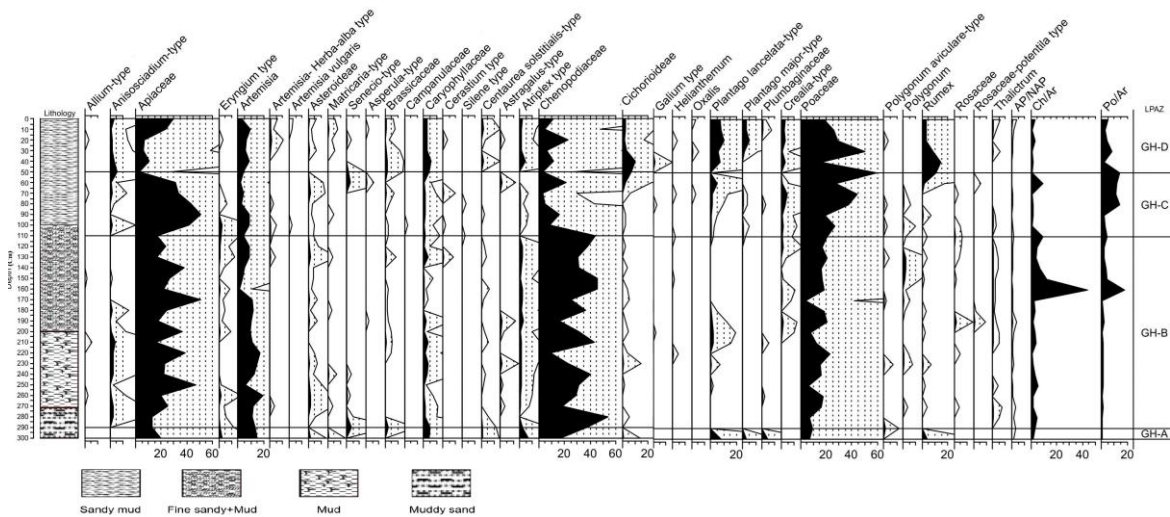
جدول ۲. نام علمی گرده‌های گیاهی اصلی شناسایی شده در رسوبات دریاچه گهر

گیاهان درختی	گیاهان علفی	گیاهان علفی (ادامه)	گیاهان علفی (ادامه)	گیاهان مانداب
<i>Ephedra</i>	Apiaceae	<i>Cerastium type</i>	Poaceae	Cyperaceae
<i>Fagus</i>	<i>Artemisia</i>	<i>Silene type</i>	<i>Cerialia type</i>	<i>Myriophyllum</i>
<i>Juniperus</i>	<i>Artemisia herba alba t.</i>	Chenopodiaceae	Polygonaceae	<i>Sparganium type</i>
<i>Pistacia</i>	<i>Artemisia vulgaris</i>	Cichorioideae	<i>Polygonum aviculare type</i>	<i>Typha latifolia</i>
<i>Pinaceae</i>	<i>Atriplex type</i>	Fabaceae	Ranunculaceae	
<i>Quercus</i>	Asteroidaeae	<i>Galium type</i>	<i>Rumex</i>	
<i>Salix</i>	<i>Matricaria type</i>	<i>Helianthemum</i>	Rosaceae	
<i>Juglans</i>	<i>Senecio type</i>	<i>Oxalis</i>	Campanulaceae	
<i>Platanus</i>	<i>Asperula type</i>	<i>Plantago</i>	<i>Salvia type</i>	
<i>Vitis</i>	Brassicaceae	<i>Lancelata type</i>	<i>Thalictrum</i>	
	<i>Centaurea solstitialis</i>	<i>Major type</i>		
	Caryophyllaceae	Plumbaginaceae		

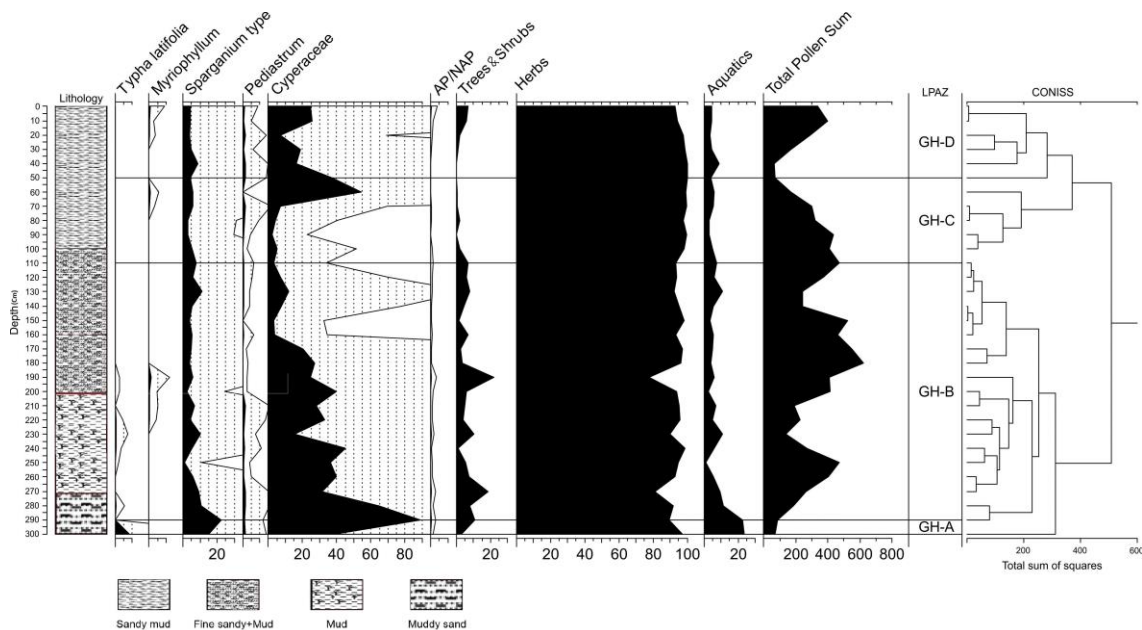


شکل ۶. نمودار درصد گرده درختی و درختچه‌ای دریاچه گهر، مقادیر نسبی گرده به صورت درصد (قسمت‌های سیاه) و با ده برابر بزرگ‌نمایی (قسمت‌های هاشورخورده) نشان داده شده است. در محاسبه نسبت گرده گیاهان درختی به غیردرختی و ترسیم نمودار AP/NAP فراوانی گرده‌های بید و میخک در نظر گرفته نشده است.

مطابق نمودار گرده مشخص شد که در منطقه گهر واقع در زاگرس، گرده‌های درختی و درختچه‌ای به‌طور عمده شامل بید، بلوط، ریش‌بز، پسته، سرو کوهی (*Juniperus*)، گردو، چنار، انگور، زیتون، راش و کاج است. همچنین، به‌نظر می‌رسد گرده‌های با فراوانی بسیار کم نظیر انگور، زیتون، راش و کاج از مناطق دور به منطقه آمده باشد. گرده‌های علفی نیز به‌طور عمده شامل خانواده‌های چتریان، اسفناجیان، گندمیان، گیاه درمنه، خانواده میخک، *Asteroideae*، *Brassicaceae* و گیاهان بارهنگ، علف هفت‌بند و ترشک است. گیاهانی همچون جگن، *Typha latifolia* و *Myriophyllum* از جمله گرده‌های اصلی گیاهان مانداب است (شکل ۷ و ۸).



شکل ۷. نمودار درصد گرده گیاهان علفی دریاچه گهر، مقادیر نسبی گرده به صورت درصد (قسمت‌های سیاه) و با ده برابر بزرگ‌نمایی (قسمت‌های هاشورخورده) نشان داده شده است. نسبت گرده گیاهان خانواده اسفناجیان به درمنه Ch/Ar و گرده‌های خانواده گندمیان به درمنه Po/Ar نیز به ترتیب شاخص دوره خشکی و مرطوب در تفسیر نمودار گرده استفاده شده است.



شکل ۸. نمودار درصد گرده گیاهان مانداب دریاچه گهر، مقادیر نسبی گرده به صورت درصد (قسمت‌های سیاه) و با ده‌برابر بزرگ‌نمایی (قسمت‌های هاشورخورده) نشان داده شده است.

تغییرات درصد فراوانی گرده‌های درختی و درختچه‌ای نیز نشان می‌دهد که در قسمت بالایی مغزه رسوبی منطقه گهر، از بین گرده‌های درختی و درختچه‌ای، گرده‌های درختان بید، بلوط و درختچه‌های ریش‌بز دارای بیشترین فراوانی در مقایسه با سایر گرده‌هاست. همچنین، دریاچه گهر در منطقه جامع پوشش گیاهی تخریب‌شده منطقه استپی-جنگلی گیاهان پراکنده خزان‌کننده بلوط، پسته و بادام، همچنین استپ‌های درمنه قرارداد (زهری و مجنونیان، ۲۰۰۵). بنابراین، دور از انتظار نیست که فراوانی گونه‌های درختی و درختچه‌ای یادشده در نیمه بالایی مغزه رسوبی کم باشد که از نظر سنی به زمان حال نزدیک‌تر است.

زون GH-A (۲۹۰-۳۰۰ سانتی‌متر). زون GH-A از عمق ۳۰۰ تا ۲۹۰ سانتی متری مغزه، اولین زون در انتهایی‌ترین قسمت مغزه رسوبی سه متری از سایر زون‌ها متمایز شده است. مجموع فراوانی گرده‌های درختی و درختچه‌ای در این زون ۱۱/۴ درصد است. گرده‌های پسته با ۷/۴ درصد، بلوط با ۵ درصد و ریش‌بز با ۱/۲ درصد شناسایی شده است (شکل ۶). گونه‌های علفی این زون شامل خانواده گندمیان، اسفناجیان، چتریان، میخک، *Asteroidae*, *Brassicaceae* و گیاه درمنه است. گیاهان مانداب به ترتیب شامل جگن، *Sparganium type* و *Thypha latifolia* است (شکل ۷ و ۸).

زون GH-B (۲۹۰-۱۱۰ سانتی‌متر). بزرگ‌ترین زون اختصاص به این قسمت از مغزه رسوبی و حدود ۱۸۰ سانتی متر از مغزه را در بر دارد. بر اساس تحلیل خوشه‌ای، رفتار مقادیر فراوانی گونه‌های درختی و علفی و مانداب در این زون قابل توجه است. در این زون گرده‌های درختی و درختچه‌ای متعددی شامل بلوط، بید، پسته، ریش‌بز، کاج، زیتون، راش، سروکوهی، ممرز، گردو و افرا شناسایی شد. از نظر فراوانی می‌توان این زون را دارای تعداد گرده‌های درختی بیشتری دانست. در این زون همچنین گرده‌های علفی خانواده گندمیان به‌ویژه غلات، اسفناجیان، چتریان، درمنه، ترشک، علف هفت‌بند و میخک گرده‌های غالب این زون است. گرده‌های گیاهان مانداب به ترتیب شامل جگن، *Sparganium type* و *Thypha latifolia* است. همچنین، در قسمت‌های میانی این زون درصد کمی از گرده‌های *Myriophyllum* نیز قابل شناسایی است (شکل ۶، ۷ و ۸).

زون GH-C (۱۱۰-۵۰ سانتی‌متر). یکی از مهم‌ترین تغییرات در این زون وجود تعداد کم گرده در عمق‌های ۵۰ و ۶۰ سانتی‌متری است، به طوری که مجموع نهایی تعداد گرده‌هایی که برای محاسبه درصد فراوانی گرده‌ها (sum pollen) به کار می‌رود در حدود صد گرده است. در نمونه‌هایی که پس از شمارش زیاد علایمی از تکراری بودن گرده‌های گیاهی علی‌رغم تعداد کم محتوای گرده وجود داشته باشد خود معیاری برای کافی بودن تعداد گرده‌های شمارش شده و توقف شمارش گرده‌هاست (رول، ۱۹۸۷). در این زون برای نمونه‌های عمق ۵۰ و ۶۰ سانتی‌متری به شمارش بیش از صد گرده اقدام شد. بنابراین، تعداد گرده گیاهان درختی، علفی و مانداب و تنوع آن کمتر از بخش‌های دیگر نمودار گرده است. گرده‌های بلوط در نیمه اول این زون رو به کاهش است و در نیمه دوم زون با کاهش محتوای گرده در نمونه‌ها، گرده‌های درختی و درختچه‌ای این زون محدود به ریش‌بز و بید می‌شود. فراوانی گرده‌های پسته و ممرز نسبت به زون‌های قبلی بسیار کم شده است. کاهش گرده‌های بید نیز در انتهای این زون قابل توجه است.

در این زون گونه‌های عمده علفی بر اساس فراوانی شامل گرده گیاهان خانواده گندمیان، چتریان، اسفناجیان، *Asteroidae*, *Cichorioideae*, *Brassicaceae* و میخک و گرده‌های گیاهی بارهنگ گیاهان غالب این زون است. حضور بیشینه گرده گیاهان خانواده گندمیان و چتریان و کاهش گرده گیاهان خانواده اسفناجیان به همراه حضور گرده گیاه بارهنگ و ترشک از خصوصیات این زون به شمار می‌رود. گرده‌های گیاهان مانداب شامل جگن، *Sparganium type* و *Myriophyllum* است. همچنین، گرده جلبک‌های *Pediastrum* نیز در این زون شناسایی شد (شکل ۶، ۷ و ۸).

زون GH-D (۵۰-۰ سانتی‌متر). در این زون گرده‌های درختی و درختچه‌ای با فراوانی کم اما تنوع بیشتر ظاهر شده است. از تغییرات این زون نیز به محتوای کم گرده‌های نمونه‌های این بخش مغزه رسوبی می‌توان اشاره کرد که فراوانی گرده‌ها کاهش یافته ولی تنوع آن‌ها بیشتر شده است؛ گرده‌هایی شامل بید، بلوط، ریش‌بز، چنار، پسته، انجیر، انگور، زیتون، گردو و فندق با فراوانی اندک. در انتهای این زون، برخلاف ابتدای آن، گرده‌های گیاهان از جمله بلوط در حال افزایش است. خانواده گندمیان، چتریان، اسفناجیان، درمنه، بارهنگ و میخک گرده‌های گیاهی غالب این زون است. گرده‌های گیاهان مانداب شامل جگن، *Sparganium type* و *Myriophyllum* است (شکل ۶، ۷ و ۸).

بر اساس نتایج گرده‌شناسی مغزه رسوبی GH1 به ترتیب از قدیم به جدید در زون‌های GHA، GHB و GHC تغییرات شاخص گرده‌های گیاهان درختی به غیردرختی حاکی از تفاوت شرایط دمایی و رطوبتی در این سه مقطع زمانی در طول مغزه رسوبی است. افزایش گرده‌های گیاهی درختی و درختچه‌ای نسبت به غیردرختی را می‌توان به شرایط گرم‌تر محیط نسبت داد. بر اساس تغییرات فراوانی گرده‌های گیاهی درختی و غیردرختی می‌توان زون GHB را از نظر شرایط رطوبتی متمایز از زون‌های دیگر دانست. همچنین، تفاوت دو شاخص رطوبتی نسبت گیاهان خانواده اسفناجیان به درمنه (C/A) و گندمیان به درمنه (P/A) حاکی از شرایط متفاوت رطوبتی محیط است، زیرا بیشترین تغییرات شاخص‌های P/A و C/A در این زون مشاهده می‌شود. بیشینه شاخص اسفناجیان به درمنه (C/A) شاخص خشکی محیط است، زیرا هم‌زمان با آن گرده‌های درختان بلوط کاهش قابل توجهی نشان می‌دهد.

در این پژوهش اطلاعات سن‌سنجی با احتیاط باید تفسیر شود و دوره‌های همراه با بیشینه گرده‌های درختی بلوط در زون اجتماع گرده‌ای GHB و گرده‌های گیاهان ماندابی نظیر جگن و *Myriophyllum* در عمق حدود ۲۰۰ سانتی‌متری هم‌زمان با دوره‌های مرطوب یادشده در هولوسن میانی است.

مقایسه نتایج ژئوشیمی و پالینولوژی

از مقایسه منحنی شاخص‌های ژئوشیمی نظیر V/Cr با تغییرات نمودار گرده می‌توان قضاوت بهتری در خصوص تفسیر نمودار داشت. این مقایسه در قالب سه عمق دارای بیشینه مقدار شاخص V/Cr قابل بررسی است:

- عمق ۲۰۰-۲۲۰ سانتی‌متر. در میانه زون GHB تغییرات اصلی عبارت است از افزایش فراوانی گرده‌های گیاهی درختی و درختچه‌ای شامل بلوط، ریش‌بز، بید، بادام و ممرز و گرده‌های گیاهان ماندابی خانواده جگن یا Cyperaceae و جنس *Myriophyllum* که همراه با افزایش گرده‌های علفی خانواده چتریان است. به نظر می‌رسد افزایش دما در این بخش از زون GHB به همراه افزایش بارش باعث پوشش گیاهی بهتر منطقه در این زمان شده است.
- عمق ۱۲۰-۱۴۰ سانتی‌متر. در این عمق تغییرات فراوانی گرده‌های گیاهی در انتهای زون GHB به صورت افزایش فراوانی گرده‌های گیاهان درختی نظیر بلوط و ریش‌بز و گرده‌های گیاهان ماندابی نظیر خانواده Cyperaceae، همچنین *Sparganium type* است. به نظر می‌رسد هم‌زمانی افزایش فراوانی گرده‌های گیاهان ماندابی به همراه گرده‌های درختی و درختچه‌ای نیز دلیلی بر افزایش بارندگی دمای سالانه باشد. بر اساس داده‌های بازسازی شده بارش در دوره هولوسن پیشین، حدود ۷۰۰۰ تا ۸۰۰۰ سال پیش، هم‌زمان با افزایش بارش سالانه، دمای سالانه منطقه نیز نسبت به سایر دوره‌های مرطوب مشابه بیشتر بوده است (شکل ۹).
- عمق ۴۰-۶۰ سانتی‌متر. این عمق روی نمودار گرده معادل مرز بین دو زون GHB و GHD است. بر اساس نمودار گرده‌های درختی و درختچه‌ای، تنها گرده‌های گیاهان حاشیه آب نظیر بید با فراوانی کم در این زون قابل توجه است. همچنین، افزایش قابل توجهی در گرده‌های گیاهی خانواده گندمیان در نمودار گرده‌های علفی و خانواده Cyperaceae و *Sparganium type* در نمودار گرده‌های ماندابی نماینده محیط‌های مرطوب‌تر و آبی است. از طرف دیگر، کاهش تمامی انواع گرده‌های گیاهان درختی و درختچه‌ای، علفی و ماندابی در این ناحیه از نمودار گرده قابل توجه است. به نظر می‌رسد با وجود رطوبت بالای محیط به دلیل محدودکننده‌ای نظیر کاهش دما، شرایط مناسب برای گسترش انواع پوشش گیاهی در این زون وجود ندارد.
- تغییرات آب‌وهوایی و محیطی طی هولوسن در دریاچه زریبار نیز از طریق رسوب‌شناسی بررسی شده است و شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب و افزایش بارش بهاره و سطح آب دریاچه در مقاطع زمانی ۸۹۴۴ تا ۷۸۷۸، ۶۸۵۰ تا ۶۷۰۰، ۶۱۰۰ تا ۵۵۰۰ و ۲۵۰۰ تا ۲۱۰۰ سال پیش استنباط شد در حالی که شرایط گرم و خشک در بازه‌های زمانی ۷۸۷۸ تا ۶۱۰۰ و ۵۵۰۰ تا ۳۱۵۰ سال پیش و تغییرات نامنظم سطح دریاچه در اواخر هولوسن حدود ۳۰۰۰ تا ۱۳۰۰ سال پیش شناسایی شد (رحیمی، ۱۳۹۱). به نظر می‌رسد می‌توان تغییرات آب‌وهوایی استنباط شده در عمق ۱۲۰ تا ۱۴۰ سانتی‌متری رسوبات دریاچه گهر را با شرایط رطوبتی و دمایی در حدود هفت تا هشت هزار سال گذشته در دریاچه زریبار هم‌زمان دانست.

نتیجه گیری

در این پژوهش دو مغزه رسوبی سه متری از دریاچه گهر (مغزه‌های GH1 و GH2) در ارتفاعات زاگرس مرتفع با هدف شناسایی تغییرات آب‌وهوای گذشته منطقه به دو روش ژئوشیمی رسوبی و پالینولوژی بررسی شد. بر اساس نتایج گرده‌شناسی رسوبات، چهار زون اصلی GHA (عمق ۳۰۰ تا ۲۹۰ سانتی‌متر)، GHB (عمق ۲۹۰ تا ۱۱۰ سانتی‌متر)، GHC (عمق ۱۱۰ تا ۵۰ سانتی‌متر) و GHD (عمق ۵۰ تا ۰ سانتی‌متر) در مغزه رسوبی شناسایی شد. فراوانی حضور گرده‌های گیاهان درختی و علفی در دو زون قدیمی‌تر نسبت به دو زون جدیدتر قابل ملاحظه است.

از مهم‌ترین نتایج این پژوهش می‌توان به نتایج حاصل از تحلیل ژئوشیمی رسوبی اشاره کرد. از میان شاخص‌های ژئوشیمی شاخص نسبت وانادیم به کروم (V/Cr) به دلیل در برداشتن اطلاعات بیشتر در تفسیر محیط رسوبی گذشته مناسب‌تر تشخیص داده شد. تغییرات این شاخص در طول مغزه رسوبی سه محدوده بیشینه را نشان می‌دهد. بیشینه مقدار شاخص ژئوشیمی V/Cr در سه بخش مغزه رسوبی به ترتیب از قدیمی‌ترین عمق، عمق‌های ۲۰۰-۲۲۰ سانتی‌متر، ۱۲۰-۱۴۰ سانتی‌متر و ۴۰-۶۰ سانتی‌متر و مقایسه آن با تغییرات فراوانی گرده‌های گیاهی نشان می‌دهد که در انتهای زون GHB و نزدیک زون GHC احتمالاً متغیر اقلیمی بارش و دما هر دو بیشتر بوده و به استقرار بهتر پوشش گیاهی علفی و درختی کمک کرده است. همچنین، به نظر می‌رسد با افزایش شاخص V/Cr به بیش از یک در بخش میانی زون GHB همچنان بیشتر بودن بارش و دما و به دنبال آن بیشتر بودن فراوانی گرده‌های گیاهان درختی و علفی و مانداب مشهود است، در حالی که در مرز دو زون GHC و GHD به نظر می‌رسد افزایش فراوانی گرده‌های گیاهان مانداب و کاهش فراوانی گرده‌های گیاهان درختی دلالت بر مناسب نبودن شرایط محیط شامل هم‌زمانی شرایط مناسب دمایی و رطوبتی محیط جهت گسترش انواع گیاهان درختی در منطقه است.

همچنین، کاهش شاخص ژئوشیمی V/Cr با افزایش فراوانی گرده‌های اسفناجیان معرف شرایط خشک نسبتاً کوتاه‌مدت در محیط رسوبی در عمق حدود ۱۶۰ سانتی‌متری در زون اجتماع گرده‌ای GHB است که با کاهش فراوانی گرده‌های گونه‌های درختی نظیر بلوط نیز همراه است. بنابراین، هماهنگی کمینه شاخص V/Cr در عمق حدود ۱۶۰ سانتی‌متری نشانه وجود دوره گرم و خشک با کاهش بارندگی سالانه است. البته، بحث در مورد تفاوت‌های فصلی شرایط بارشی و دما نیاز به مطالعات آینده دارد (شکل ۲).

با مقایسه نتایج زون‌های اجتماع گرده در مغزه رسوبی گهر و سایر مناطق ایران به‌ویژه میرآباد و زریوار، به نظر می‌رسد پوشش گیاهی حاکم در دو زون GHA و GHB با شروع افزایش گرده‌های درختی بلوط، همچنین پسته در دوره هولوسن در میرآباد و زریوار هم‌زمان باشد. وجود پوشش گیاهی درختی در این دو زون نشان‌دهنده حاکمیت پوشش گیاهی از نوع جنگلی-استپی با گونه غالب بلوط در منطقه مرتفع زاگرس است. از دیگر نتایج این مطالعه می‌توان به تغییرات فراوانی گرده‌های بلوط و ریش‌بز در طول مغزه رسوبی اشاره کرد که به نظر می‌رسد ناشی از تغییرات شرایط رطوبتی و دمایی فصلی محیط در منطقه مرتفع زاگرس باشد که تأییدکننده نتایج عزیززی و صفایی‌راد (۱۳۹۴) مبنی بر تأثیر محتوای رطوبت نسبی در مناطق مرتفع زاگرس بر رویش درختان بلوط است. همچنین، با تحلیل نمودار گرده، حذف گرده‌های گیاهی درختی، به‌ویژه بلوط و گرده‌های علفی در مرز بین دو زون اجتماع گرده GHB و GHC احتمالاً با شرایط نامساعد رشد گیاهان در هولوسن پسین در ارتباط است. به نظر می‌رسد فراوانی گرده‌های درختچه ریش‌بز شاهدی بر خشکی محیط در زون GHC باشد و پوشش گیاهی در منطقه گهر همانند زریوار پس از دوره خشک حدود چند صد سال مجدداً در منطقه مستقر شده است.

از میان شاخص‌های گرده محاسبه‌شده شامل نسبت خانواده گندمیان به درمنه (P/A)، اسفناجیان به درمنه (C/A) و گرده‌های درختی به علفی (AP/NAP)، به نظر می‌رسد شاخص (C/A) و (AP/NAP) در تفسیر با سایر پراکسی‌ها نظیر داده‌های ژئوشیمی و داده‌های اقلیمی بازسازی‌شده هماهنگی بیشتری دارد. افزایش شاخص اسفناجیان به درمنه معرف شرایط خشکی محیط در میانه زون GHB همراه با کاهش گرده‌های درختی نظیر بلوط است. همچنین، تغییرات فراوانی گرده‌های علفی در دو زون GHC و GHD، نشان‌دهنده تغییراتی همچون تخریب پوشش گیاهی و چرای بی‌رویه است که به افزایش گرده‌های گیاهی مهاجم نظیر بارهنگ در منطقه و جایگزینی آن به همراه سایر گرده‌های گیاهان علفی مانند علف هفت‌بند در اثر چرای شدید می‌انجامد. به نظر می‌رسد افزایش گرده‌های گیاهی بارهنگ در دو

زون اخیر به همراه حضور هر چند ناچیز گرده گیاهان درختی دست کاشت نظیر گردو و چنار که از مناطق دیگر به منطقه آورده شده است شاهد دیگری بر دخالت انسان در منطقه زاگرس در این زمان باشد.

گرده‌های درختی نظیر بلوط شاهدهی بر شرایط گرم‌تر در هولوسن پسین است که احتمالاً هم‌زمان با افزایش دما به کمک تغییر فصلی بارش، شرایط مساعدی برای رشد بلوط فراهم شده است. به‌نظر می‌رسد دوره‌های مرطوب با افزایش گرده‌های گیاهی خانواده گندمیان یا گیاهان ماندابی توجیه‌پذیر است (شکل ۷ و ۸). بنابراین، تطابق نتایج ژئوشیمی و پالینولوژی مغزه‌های رسوبی GH1 و GH2 دریاچه گهر و نتایج رسوب‌شناسی دریاچه زریبار (رحیمی، ۱۳۹۱) نشان داد که با تغییرات اقلیمی بازسازی شده طی دوره هولوسن همخوانی بیشتری دارد. هر چند مطالعه آب‌وهوای گذشته منطقه مرتفع زاگرس همراه با تناوبی از شرایط محیطی مرطوب و سرد، و گرم و خشک در دوره هولوسن، نیازمند مطالعه بیشتر منطقه با استفاده از نتایج سن‌سنجی دقیق‌تر و شاخص‌ها یا پراکسی‌های بیشتر برای یافتن تفاوت‌های فصلی متغیرهای آب‌وهوایی در مطالعات آینده است.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از همکاری اساتید و کارکنان محترم مؤسسه تحقیقات دینامیک اقلیم و دیرین اقلیم‌شناسی دانشگاه گوتینگن آلمان، همچنین سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران که در انجام این پژوهش ما را یاری کردند قدردانی می‌کنیم. همچنین، از معاونت پژوهشی دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی و آقایان ظهرا و سجاد جهانخشی و سایر دوستانی که در نمونه‌برداری طی دو سفر ما را یاری کردند صمیمانه قدردانی می‌کنیم.

این پروژه مستخرج از طرح پژوهشی شماره ۱۲۹۶-۱۶۴-۹۳ است که بین سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی و دانشگاه شهید بهشتی اجرا شد.

منابع

- آدابی، م. ح. (۱۳۹۰). ژئوشیمی رسوبی، انتشارات آرین زمین، چاپ دوم، تهران، ۵۴۴ ص.
- آقانبانی، س. ع. (۱۳۸۵). زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، چاپ دوم.
- اکبری ازیرانی، ط. (۱۳۹۴). مدل‌سازی و اعتبارسنجی متغیرهای آب‌وهوایی گذشته، دومین کنفرانس انجمن کواترنری ایران، اصفهان، ایران.
- پورمعافی، س. م. (۱۳۸۷). ژئوشیمی، انتشارات آرین زمین، تهران، ایران، ۲۲۷ ص.
- حسنوند، ز. (۱۳۹۴). تحلیل سینوپتیکی-ترمودینامیکی بارش برف سنگین لرستان، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد اقلیم‌شناسی سینوپتیک، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
- داوودی، م.؛ عزیزی، ق. و مقصودی، م. (۱۳۹۳). بازسازی تغییرات اقلیمی هولوسن در جنوب زاگرس، شواهد گرده و زغال در رسوبات دریاچه پربشان، مجله پژوهش‌های کمی ژئومورفولوژی، ۳(۱)، تابستان: ۶۵-۷۹.
- رحیمی، ا. (۱۳۹۲). شواهد تغییرات سطح دریاچه زریبار در طول هولوسن، رساله دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران.
- زهری، م. مجنونیان (مترجم) (۱۳۸۳). درباره ساختار ژئوبوتانیکی ایران، دایره سبز، ۸۷ ص.
- سازمان محیط زیست (۱۳۷۸). مطالعه جامع اکوسیستم حساس دریاچه گهر، گزارش زمستان.
- صفری‌راد، ر.؛ عزیزی، ق.؛ محمدی، ح. و علیزاده لاهیجی، ح. (۱۳۹۳). بازسازی تغییر آب‌وهوا در طول هولوسن و پلیستوسن پیشین در زاگرس مرکزی به‌وسیله شواهد گرده‌شناسی در تالاب هشیلان، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۱، پاییز: ۱-۱۹.
- عزیزی، ق. و صفری‌راد، ر. (۱۳۹۴). شرایط اقلیمی در کوه‌های زاگرس در طی هولوسن پیشین و اثرات آن در محدود کردن پوشش بلوط، دومین همایش انجمن کواترنری ایران، اصفهان، ایران.
- لشنی‌زند، م. و پروانه، ب. (۱۳۷۹). پهنه‌بندی اقلیم استان لرستان، مجله جغرافیای طبیعی، ۴(۱۱)، بهار: ۲۳-۴۵.
- نبوی، م. ح. (۱۳۶۵). اولین طرح مطالعه دریاچه گهر در اشرانکوه، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، تهران، ایران.

- Adabi, M.H. (2011). Sedimentary Geochemistry, Arian Zamin Pub., 2nd Ed., Tehran, 544 pp. [in Persian]
- Alley, R.B.; Mayewski, P.A.; Sowers, T.; Stuiver, M.; Taylor, K.C., and Clark, P.U. (1997). Holocene climatic instability: A prominent, widespread event 8,200 years ago. *Geology* 25: 483-486.
- Azizi, GH. and Safairad, R. (2016). Climatic Condition in Zagros Mountains During Early Holocene and Its Effect on Restriction of Oak Vegetation. The second Iranian Quaternary Conference, Isfahan, Iran. [in Persian]
- Berger, W.H. (1994). Quaternary fourier stratigraphy; orbital templates and Milankovitch anomalies, *Math. Geol.* 26, 769-781.

- Beug, H.J. (2004). Atlas: Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete, published by verlag Dr Friedrich Pfeil, ISBN 3-89937-043-0, Göttingen.
- Calanchini, N.; Dinelli, E.; Lucchini, D. and Mordenti A. (1996). Chemostratigraphy of late Quaternary sediments from Lake Albano and central Adriatic Sea cores (PALICLAS Project), Palaeoenvironmental Analysis of Italian Crater Lake and Adriatic Sediments Mem. Ist. ital. Idrobiol., 55: 247-263.
- Cuffey, K.M. and Clow, G.D. (1997). Temperature, accumulation, and ice sheet elevation in central Greenland through the last deglacial transition. *Journal of Geophysical Research* 102: 26383-26396.
- Davoudi, M.; Azizi, Gh. and Maghsoudi, M. (2014). Reconstruction of Holocene Climatic Changes in Southern Zagros: Pollen and Charcoal Evidences in Parishan Lake Sediments, *Journal of Quantitative Geomorphological Researches*, 3(1) Summer: 65-79 [in Persian].
- Djamali, M.; de Beaulieu, J.L.; Shah-Hosseini, M.; Andrieu-Ponel, V.; Ponel, P.; Amini, A.; Akhiani, H.; Leroy, A.S.; Stevens, L.; Alizadeh, H. and Brewer, S. (2008). A late Pleistocene long pollen record from Lake Urmia, NW Iran. *Quat Res* 69: 413-420.
- Environmental Organization of Iran (1999). Comprehensive Study of Sensitive Ecosystem in Gahar Lake Report, Winter.
- Grimm, E.C. (2011). Tilia. Illinois State Museum.
- Hasanvand Z. (2015). Synoptic and thermodynamic analysis of heavy precipitation in Lorestan Province. Master Thesis. Climatology. Shahid Beheshti University. Tehran, Iran, p.143.
- Kehl, M. (2009). Quaternary climate change in Iran, *Erdkunde*, 63(1): 1-17.
- Lashanizand, M. and Parvaneh, B. (2000). Regionalization of climate in Lorestan Province, *Journal of Physical Geography*, 4(1) Spring: 23-45.
- Moore, P.D.; Webb J.A. and Collinson M.E. (1991). Pollen Analysis, second edition, Oxford: Blackwell, 216.
- Nabavi, M.H. (1986). The first overview on origin of Lake Gahar: Oshtorankuh in Lorestan Province. Iran. Iranian Geological Survey. [in Persian]
- Peyron, O.; Combourieu-Nebout, N.; Brayshaw, D.; Goring, S.; Andrieu-Ponel, V.; Desprat, S.; Fletcher, W.; Gambin, B.; Ioakim, C.; Joannin, S.; Kotthoff, U.; Kouli, K.; Montade, V.; Pross, J.; Sadori, L. and Magny, M. (2016). The climate of the Mediterranean basin during the Holocene from terrestrial and marine pollen records: A model/data comparison, *Journal Clim. Past Discuss*, 28 June, doi:10.5194/cp-2016-65.
- Pourmoafi, S.M. (1998). Geochemistry, Arian Zamin Pub, Tehran, Iran, 227 pp. [In Persian].
- Rahimi O. (2012). The Evidences of Surface Level Changes of Zeribar Lake During Holocene, PhD Thesis, University of Tehran, Tehran, Iran. [in Persian]
- Reille, M. (1998). Pollen et Spores D'Europe et D'Afrique du Nord, Laboratoire de Botanique historique et Palynologie, BOITE 451, 13397 Marseille cedex 20, France, Supplement 2.
- Reille, M. (1995). Pollen et Spores D'Europe et D'Afrique du Nord, Laboratoire de Botanique historique et Palynologie, BOITE 451, 13397 Marseille cedex 20, France, Supplement 1.
- Reille, M. (1992). Pollen et Spores D'Europe et D'Afrique du Nord, Laboratoire de Botanique historique et Palynologie, Marseille, France, ISBN 2-9507175-0-0.
- Riquier L.; Tribouvillard, N.; Averbuch, O.; Devleeschouwer, X. and Riboulleau, A. (2006). The Late Frasnian Kellwasser horizons of the Harz Mountains (Germany): Two oxygen-deficient periods resulting from different mechanisms, *Chemical Geology* 233: 137-155.
- Rollinson, H. (1993). Using Geochemical Data, Evaluation, Presentation, and Interpretation, Pearson Education Limited, 384pp.
- Rull, V. (1987). A note on pollen counting in palaeoecology, I.V.I.C. Centro de Ecología y Ciencias Ambientales, Apartado 21827, Caracas 1020-A, Venezuela.
- Safairad, R.; Azizi, Gh.; Mohammadi, H. and Alizadeh Lahiji, H. (2014). Reconstruction of Climate Change During Holocene and late-Pleistocene in Central Zagros by Palynological Evidences in Hashilan Lagona, *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11, Autumn: 1-19. [in Persian]
- Schroll, E. (1975). Analytische geochemie, Band I, Grundlagen and anwendungen, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart.
- Van Zeist, W. and Bottema, S. (1977). Palynological investigations in Iran. *Palaeohistoria* 19: 19-85.
- Wang, G.P. and Zhai, Z.L. (2007). Geochemical data as indicators of environmental change and human impact in sediments derived from downstream marshes of an ephemeral river, Northeast China, *Environ Geol*, 53: 1261-1270, doi: 10.1007/s00254-007-0714-x.
- Wasylikowa, K. and Witkowski, A. (2008). Diatom Monographs, Vol.8, The paleoecology of Lake Zeribar and surrounding areas; Western Iran; during the last 48000 years, A.R.G. Gantner Verlag K.G., Koeltz Science books, Germany, ISBN-13978-3-906166-55-1.
- Zohary M, Majnounian (translator) (2005). The geobotanical structure of Iran, Dayereh sabz publication. first pub. 87.