

نقش تغییرات سامانه‌های بزرگ‌مقیاس جوّی در تکوین آب‌وهوای پلیستوسن

پسین و هولوسن در زاگرس

رضا صفایی‌راد؛ دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی دیرینه دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

قاسم عزیزی*؛ دانشیار آب‌وهواشناسی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

مهران مقصودی؛ دانشیار ژئومورفولوژی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۱۱

چکیده

کوهستان زاگرس، به منزله بخشی از هلال حاصلخیز که میزبان تمدن‌های دیرینه بوده است، گذشته تاریخی شکوهمندی دارد. با توجه به این مهم، پی بردن به شرایط آب‌وهوایی‌ای که این تمدن‌ها در آن می‌زیسته‌اند از اهمیت فراوان برخوردار است. در این پژوهش با به کار بردن روش‌های پذیرفتاری مغناطیسی و جرم‌گاهی گرمایشی بر روی مغزه رسوبی تالاب هشیلان کرمانشاه، داده‌هایی با کیفیت زمانی بالا برای بازه زمانی ۲۲,۰۰۰ تا ۲,۲۰۰ سال پیش تولید شد. نتایج نشان داد در پلیستوسن پسین، به دلیل شرایط آب‌وهوایی سرد و خشک، میزان تبخیر به شدت کاهش یافته و تالاب هشیلان تا ۱۵,۴۰۰ سال پیش حالت دریاچه‌ای داشته است و پس از آن، با افزایش دما، به تالاب تبدیل شده است. نتایج این پژوهش رابطه متضاد آب‌وهوایی بین زاگرس و منطقه آب‌وهوایی موسمی تابستانه هندوستان، به ویژه در هولوسن پیشین، را آشکار کرد. افزایش خورتابی تابستانه نیم‌کره شمالی در هولوسن پیشین، که مهم‌ترین واذاشت آب‌وهوایی است، از یک سو سبب تقویت موسمی‌ها و مرطوب شدن مناطق تحت نفوذ آن‌ها شده و از سوی دیگر با تقویت مراکز پرفشار جنب‌حاره‌ای و استقرار طولانی‌تر این مراکز بر زاگرس سبب خشکی آب‌وهوای آن شده است. بر اثر کاهش تدریجی میزان خورتابی از هولوسن پیشین به هولوسن میانی، موسمی‌ها تضعیف و به سمت عرض‌های جغرافیایی جنوبی‌تر جابه‌جا شده‌اند. این وضعیت سبب تضعیف و جابه‌جایی جنوب‌سوی پرفشارهای جنب‌حاره‌ای شده که نفوذ بیشتر بادهای غربی باران‌زا به زاگرس و مرطوب شدن آب‌وهوای آن از حدود ۶,۰۰۰ سال پیش را در پی داشته است.

کلیدواژگان: آب‌وهواشناسی دیرینه، خورتابی، کوهستان زاگرس، موسمی تابستانه هندوستان، هولوسن

مقدمه

کوهستان زاگرس با روند شمال‌غربی - جنوب‌شرقی بخش بزرگی از نیمه غربی ایران را در بر گرفته است. این رشته‌کوه همچون سدی در برابر توده‌های هوای مرطوب، که در بستر بادهای غربی به سوی ایران می‌وزند، عمل می‌کند و در

نتیجه سبب شکل‌گیری بارش‌های کوهستانی^۱ قابل توجه می‌شود (صفرراد و همکاران ۱۳۹۲). آب‌وهوای نسبتاً مرطوب این کوهستان به جنگل‌های بلوط امکان گسترش در بیشتر بخش‌های آن را داده است. این کوهستان، به منزله بخشی از هلال حاصلخیز^۲، از دیرباز سکونتگاهی برای جوامع انسانی و میزبانی برای تمدن‌های دیرینه بوده و از این جهت توجه پژوهشگران بسیاری را به خود جلب کرده است.

تا امروز محدود پژوهش‌هایی برای پی بردن به شرایط آب‌وهوای دیرینه زاگرس انجام شده است که توانسته‌اند اطلاعاتی درباره آب‌وهوای پلیستوسن پسین و هولوسن فراهم کنند. این پژوهش‌ها با بهره‌گیری از روش‌هایی همچون گرده‌شناسی (فن زئیست و رایت^۳ ۱۹۶۳؛ فن زئیست و بوتما^۴ ۱۹۷۷ و ۱۹۹۱؛ بوتما^۵ ۱۹۸۶؛ جمالی^۶ و همکاران ۲۰۰۸؛ صفایی‌راد و همکاران ۱۳۹۳)، آنالیز ایزوتوپ‌های پایدار (استیونز^۷ و همکاران ۲۰۰۱ و ۲۰۰۶)، آنالیز ژئوشیمی (هوتچینسون و کوگیل^۸ ۱۹۶۳)، آنالیز ماکروفسیل‌های گیاهی (واسیلیکوا^۹ ۱۹۶۷ و ۲۰۰۵؛ واسیلیکوا و والانوس^{۱۰} ۲۰۰۴؛ واسیلیکوا و همکاران ۲۰۰۶)، آنالیز دیاتومه‌ها (اشنایدر^{۱۱} و همکاران ۲۰۰۱)، آنالیز استراکودها (گریفیت^{۱۲} و همکاران ۲۰۰۱)، و آنالیز کلادوسرا (مگارد^{۱۳} ۱۹۶۷) بر رسوبات دریاچه‌ای انجام شده‌اند. نتایج پژوهش‌های گرده‌شناسی نشان می‌دهد شرایط آب‌وهوایی در پلیستوسن پسین سرد و خشک بوده که سبب گسترش استپ درمنه و اسفناجیان شده است. در نمودارهای گرده‌شناسی دریاچه‌های ارومیه (بوتما ۱۹۸۶)، زریبار (فن زئیست و رایت ۱۹۶۳؛ فن زئیست و بوتما ۱۹۷۷)، میرآباد (فن زئیست و بوتما ۱۹۷۷)، و تالاب هشیلان (صفایی‌راد و همکاران ۱۳۹۳) گسترش جنگل‌های بلوط با آغاز هولوسن هم‌زمان نبوده، بلکه تا حدود ۶۰۰۰ سال پیش با تأخیر همراه بوده است. برخی پژوهشگران دلیل این تأخیر را متفاوت بودن طول فصل‌ها در هولوسن پیشین در مقایسه با رژیم کنونی آب‌وهوای زاگرس می‌دانند و می‌گویند فصل تابستان خشک‌تر و طولانی‌تر از شرایط امروزی بوده است (استیونز و همکاران ۲۰۰۱ و ۲۰۰۶). جمالی و همکاران (۲۰۱۰) نیز دلیل این تأخیر را کاهش بارش بهار به دلیل استقرار طولانی‌تر پرفشارهای جنب‌حاره‌ای، به‌ویژه در اواخر فصل بهار، بر زاگرس می‌دانند. با وجود این، دلایلی همچون پایین بودن کیفیت زمانی^{۱۴} آنالیزهای انجام‌شده بر مغزه‌های رسوبی دریاچه‌ای و گاه‌شناسی‌های^{۱۵} ضعیف آن‌ها و همچنین ناهماهنگی بین نتایج پروکسی‌های مختلف، همچون گرده‌شناسی و آنالیز ایزوتوپ‌های پایدار، که اولی از آب‌وهوای خشک و دومی از آب‌وهوای مرطوب در هولوسن

1. Orographic precipitation
2. Fertile Crescent
3. Van Zeist and Wright
4. Van Zeist and Bottema
5. Bottema
6. Djamali
7. Stevens
8. Hutchinson and Cowgill
9. Wasylkova
10. Wasylkova and Walanus
11. Snyder
12. Griffiths
13. Megard
14. Temporal resolution
15. Chronology

پیشین در زاگرس حکایت دارند، سبب شده مکانیسم‌ها و واداشت‌های^۱ اصلی که سبب تغییر و تکوین آب‌وهوای پلیستوسن پسین و هولوسن در زاگرس شده‌اند تا حد زیادی ناشناخته بمانند.

عمده‌ دانش کنونی ما از وضعیت آب‌وهوای دیرینه زاگرس محصول پژوهش‌هایی است که از پروکسی‌گرده‌شناسی استفاده کرده‌اند. با وجود قابلیت‌هایی که این روش برای بازسازی شرایط آب‌وهوایی و محیطی دارد، از آنجا که معمولاً پاسخ پوشش گیاهی به تغییرات آب‌وهوایی بی‌درنگ و فوری نیست و با تأخیر زمانی همراه است، امکان مقایسه نتایج گرده‌شناسی با نتایج پروکسی‌هایی همچون آنالیزهای ژئوشیمی ممکن است از هماهنگی مناسب برخوردار نباشد. ازین‌رو، به‌کارگیری پروکسی‌هایی که بی‌درنگ به تغییرات آب‌وهوایی پاسخ می‌دهند می‌تواند امکان مقایسه تغییرات آب‌وهوایی زاگرس با دیگر مناطقی که واداشت‌های کنترل‌کننده آب‌وهوای آن‌ها به‌خوبی شناخته شده است را فراهم آورد. این موضوع می‌تواند در آشکارسازی واداشت‌ها و مکانیسم‌های اصلی کنترل‌کننده آب‌وهوای دیرینه زاگرس کمک شایانی کند. با توجه به آنچه آمد، در این پژوهش سعی شد، با بهره‌گیری از دو روش پذیرفتاری مغناطیسی^۲ و جرم‌کاهی گرمایشی^۳ با کیفیت زمانی بالا بر مغزه رسوبی تالاب هشیلان کرمانشاه، نقش سامانه‌های آب‌وهوایی مؤثر در تکوین آب‌وهوای دیرینه زاگرس آشکار شود.

منطقه مورد مطالعه

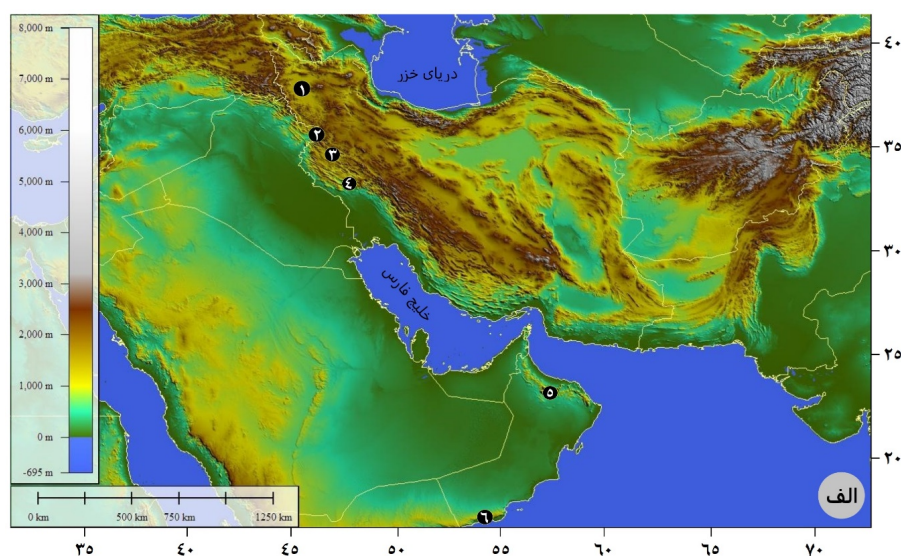
تالاب هشیلان (۳۴ درجه و ۳۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۵۲ دقیقه طول شرقی؛ با ارتفاع ۱۳۰۷ متر بالاتر از تراز دریاهای آزاد) با مساحتی نزدیک به ۴۵۰ هکتار در فاصله ۳۶ کیلومتری شمال‌غربی شهر کرمانشاه قرار داد (شکل ۱ الف). این تالاب در دشت الهیارخانی، که کوهستان خورین از سوی شمال و غرب و کوهستان ویس از سوی جنوب آن را احاطه کرده، واقع شده است. این تالاب با داشتن بیش از ۱۰۰ هوماک^۴، که با گودال‌های پر از آب احاطه شده‌اند (شکل ۱ ب)، از نظر سیمای ظاهری در زمره تالاب‌های الگویافته^۵ قرار می‌گیرد (شریفی و همکاران ۱۳۸۳). تالاب‌های الگویافته عمدتاً در مناطق واقع در عرض‌های شمالی نیم‌کره شمالی یافت می‌شوند (چارمن^۶ ۲۰۰۲). ازین‌رو، شکل‌گیری تالاب هشیلان با سیمایی همانند تالاب‌های الگویافته توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است و از آن با عنوان یک سوءتفاهم جغرافیایی یاد می‌کنند (شریفی و همکاران ۱۳۸۳). مهم‌ترین سرچشمه تأمین‌کننده آب تالاب هشیلان چشمه سبزعلی است که در حاشیه شمالی تالاب و در پای کوه کوهستان خورین قرار داد. در دوره‌های پربابی چشمه، که سبب افزایش سطح آب تالاب می‌شود، هوماک‌های کوچک زیر آب پنهان می‌شوند؛ اما هوماک‌های بزرگ همواره فراتر از سطح آب تالاب قرار دارند.

بر اساس سیستم طبقه‌بندی آب‌وهوایی کوپن (۱۹۳۱)، آب‌وهوای منطقه مورد مطالعه در تیپ مدیترانه‌ای قرار

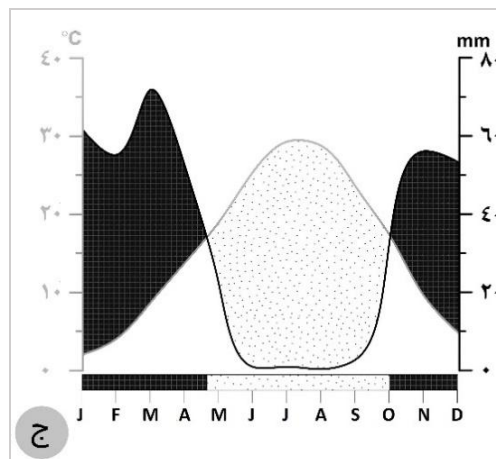
1. Forcing
2. Magnetic Susceptibility (MS)
3. Loss On Ignition (LOI)
4. Hummock
5. Patterned mire
6. Charman

می‌گیرد. طبق داده‌های میانگین ماهیانه بارش و دمای ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه (دوره آماری ۱۹۸۸ - ۲۰۱۷)، که با فاصله‌ای نزدیک به ۳۶ کیلومتری تالاب نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به شمار می‌رود، متوسط بارش سالیانه ۴۱۰ میلی‌متر است. مارس^۱ با ۱۷/۷ میلی‌متر و جولای^۲ با بارشی کمتر از ۱ میلی‌متر به ترتیب پر بارش‌ترین و کم‌بارش‌ترین ماه‌های سال‌اند. متوسط دمای سالیانه ۱۵/۵ درجه سلسیوس است. ژانویه^۳ با ۲ درجه سلسیوس و جولای با ۲۹/۳ درجه سلسیوس به ترتیب سردترین و گرم‌ترین ماه‌های سال در منطقه مورد مطالعه‌اند. فصل خشک در منطقه پنج ماه، از مه^۴ تا اکتبر^۵، طول می‌کشد (شکل ۱ ج).

چشمه سبزیلی چشمه‌ای کارستی است که با آبخوان کارستی خورین تغذیه می‌شود. این آبخوان در آهک توده‌ای بیستون، که از خالص‌ترین آهک‌های زاگرس است (باقری سیدشکری ۱۳۹۴)، شکل گرفته است. به دلیل فراهم بودن شرایط مناسب برای گسترش فرایندهای کارستی، از جمله لیتولوژی توده آهکی بیستون و زمین‌ساخت^۶ و همچنین شرایط آب‌وهوایی و ژئومورفولوژیکی لندفرم‌های کارستی متنوعی همچون کارن^۷، شافت^۸، و فروچاله^۹ در کوهستان خورین شکل گرفته است. ازین‌رو، اگرچه بین تالاب هشیلان و ارتفاعات پیرامون آن اختلاف ارتفاعی بیش از ۱۳۰۰ متر وجود دارد، به دلیل فرایندهای کارستی، شبکه زهکشی بارزی در منطقه گسترش نیافته است. آبخوان کارستی خورین با درزه‌ها و شکاف‌های افقی و عمودی و کارن‌ها و همچنین به طور مستقیم با شافت‌ها و فروچاله‌ها تغذیه می‌شود (باقری سیدشکری ۱۳۹۲). در پژوهشی که باقری و همکارانش (۱۳۹۲) بر ویژگی‌های هیدرودینامیکی آبخوان خورین انجام دادند مشخص شد، به دلیل توسعه‌یافتگی شدید فرایندهای کارستی و وجود فروچاله‌ها و درزه و شکاف‌های فراوان در سطح آبخوان، حجم ذخیره دینامیکی آبخوان کم و سرعت جریان آن زیاد است. ازین‌رو، چشمه سبزیلی، به منزله خروجی آبخوان خورین، خیلی سریع به تغییرات بارش پاسخ می‌دهد. مثلاً، به دنبال رخداد خشک‌سالی شدید در منطقه، در سال ۱۳۸۶، وسعت تالاب در مقایسه با سال پیش از خشک‌سالی نزدیک به ۴۷ درصد کاهش یافت (جعفری‌گلو و همکاران ۱۳۹۴). بنابراین، تغییرات سطح آب تالاب هشیلان می‌تواند بازتاب‌دهنده تغییرات میزان آب خروجی از چشمه سبزیلی و نشان‌دهنده دوره‌های خشک باشد.



1. March
2. July
3. January
4. May
5. October
6. Tectonic
7. Karren
8. Shaft
9. Sinkhole



شکل ۱. (الف) موقعیت منطقه مورد مطالعه و برخی از سایت‌هایی که در متن از آن‌ها نام برده شده است: ۱. دریاچه ارومیه ۲. دریاچه زریبار ۳. تالاب هشیلان ۴. دریاچه میرآباد ۵. غار هوتی در شمال عمان ۶. غار کنف در جنوب یمن؛ (ب) تصویر تالاب هشیلان (نگاه از سمت جنوب شرق)؛ (ج) نمودار آمبروترمیک ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه

مواد و روش‌ها

مغزه برداری رسوبی

در پاییز ۱۳۹۵، یک مغزه رسوبی به درازی ۸۰۰ سانتی‌متر از تالاب هشیلان برداشت شد. در مجموع، تعداد ۱۶ مغزه رسوبی ۵۰ سانتی‌متری، به کمک یک مغزه‌بردار روسی با قطر ۵ سانتی‌متر، از تالاب برداشت شد. پس از برداشت هر قطعه ۵۰ سانتی‌متری، عکس‌برداری از آن‌ها صورت گرفت و سپس به درون لوله‌های پولیکا، به درازی نیم متر، منتقل شدند و اطلاعات هر مغزه روی لوله پولیکا نوشته شد و همگی با لایه‌ای از پلاستیک پوشانده شدند. پس از پایان مغزه‌برداری، مغزه‌های رسوبی به دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران منتقل و درون یخچالی با دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند.

در این پژوهش، رسوبات بین ۸۵ تا ۴۰۰ سانتی‌متری مغزه رسوبی به دو روش به نام‌های پذیرفتاری مغناطیسی و

چرم‌کاهی گرمایشی بررسی شدند. در ادامه، افزون بر شناساندن مختصر این روش‌ها، فرایند بررسی و همچنین شیوه تفسیر نتایج به دست آمده از آن‌ها نیز آمده است.

پذیرفتاری مغناطیسی

اساساً پذیرفتاری مغناطیسی اندازه‌گیری قابلیت مغناطیسه شدن یک ماده است (دیرینگ^۱ ۱۹۹۹). این ماده می‌تواند سنگ باشد. سنگ‌ها از کانی‌ها یا کریستال‌های مختلف ساخته شده‌اند که اگر در معرض یک میدان مغناطیسی قرار بگیرند، با توجه به ساختار اتمی آن‌ها، رفتارهای ربایشی مختلف نشان می‌دهند. هر اتم از یک هسته و تعدادی الکترون تشکیل شده است. الکترون‌ها هم به گرد محور خود هم در یک مدار به گرد هسته اتم می‌چرخند. این را می‌توان به چرخیدن زمین به دور خورشید در حین آنکه به دور خود نیز می‌چرخد تشبیه کرد. چگونگی چپش الکترون‌ها به دور هسته اتم به میزان مغناطیسه شدن موادی که از آن اتم تشکیل شده است بستگی دارد. برخی از کانی‌ها، مانند اکسیدهای آهن، پذیرفتاری مغناطیسی بالایی دارند و چنانچه در معرض یک میدان مغناطیسی قرار بگیرند به سوی آن می‌جهند. برخی دیگر از کانی‌ها، همچون کوارتز و سنگ‌های کربناته، به دلیل آنکه فاقد کانی‌های مغناطیسی هستند، به میدان‌های مغناطیسی واکنش قابل توجهی نشان نمی‌دهند (هرودا^۲ و همکاران ۲۰۰۹). از این رو، با توجه به رفتارهای مغناطیسی متضاد کانی‌های مختلف، از پذیرفتاری مغناطیسی می‌توان به منزله یک پروکسی در آب‌وهواشناسی دیرینه استفاده کرد. پذیرفتاری مغناطیسی از دهه ۹۰ قرن بیستم به طور فزاینده در پژوهش‌های آب‌وهواشناسی دیرینه استفاده شده است (← کنت^۳ ۱۹۸۲؛ میید^۴ و همکاران ۱۹۸۶؛ تامپسون^۵ و همکاران ۱۹۸۰؛ سورگان^۶ و همکاران ۱۹۹۷؛ وندراورویت^۷ و همکاران ۱۹۹۹). وجود رابطه مستقیم بین پذیرفتاری مغناطیسی، میزان ورودی مواد تخریبی، و همچنین ایزوتوپ اکسیژن موجود در رسوبات سبب شده است از پذیرفتاری مغناطیسی به منزله یک پروکسی آب‌وهواشناسی دیرینه استفاده شود (← رایبسون^۸ و همکاران ۱۹۸۶ و ۱۹۹۳؛ کاری و همکاران ۱۹۹۵). از پذیرفتاری مغناطیسی به منزله یک پروکسی برای تشخیص رسوبات بادی که در دوره‌های گردوغباری در محیط‌های دریاچه‌ای نهشته می‌شوند استفاده شده است (← ماگیاری^۹ و همکاران ۲۰۱۴).

ویژگی‌های پذیرفتاری مغناطیسی مغزه رسوبی تالاب هشیلان به درازی ۳۱۵ سانتی‌متر، به کمک سنسور سنجنده مغناطیس، به نام Bartington MS2C، در پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوئی کشور اندازه‌گیری شد. مغزه رسوبی با فواصل ۱ سانتی‌متری اسکن و داده‌های آن در شکل ۳ آمده است. داده‌های پذیرفتاری مغناطیسی با واحد استاندارد بین‌المللی^{۱۰} (SI) نمایش داده شده‌اند.

1. Dearing
2. Hrouda
3. Kent
4. Mead
5. Thomson
6. Soreghan
7. Vanderaverot
8. Robinson
9. Magyari
10. Standard International

جرم کاهی گرمایشی

جرم کاهی گرمایشی روشی است که از آن برای برآورد میزان مواد آلی گیاهی و مواد غیرآلی یا کربناتی نمونه‌های رسوبی یا خاک استفاده می‌شود (← دین^۱ ۱۹۷۴؛ بنگتسون و اینل^۲ ۱۹۸۶). با توجه به این نکته که مواد آلی گیاهی در دمای بین ۵۰۰ تا ۵۵۰ درجه سلسیوس به دی‌اکسیدکربن تبدیل و خاکستر می‌شوند و همچنین مواد کربناتی در دمای بین ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سلسیوس به اکسید تبدیل می‌شوند (حیری^۳ و همکاران^۴ ۲۰۰۱)، با گرمایش^۴ (سوزاندن) نمونه‌ها در این دماها و محاسبه میزان وزنی که نمونه در هر بار گرمایش از دست می‌دهد می‌توان میزان (درصد) مواد آلی گیاهی و مواد کربناتی نمونه‌های رسوبی را برآورد کرد. جزئیات این روش در مقاله حیری و همکارانش (۲۰۰۱) آمده است.

در این پژوهش، برای برآورد میزان مواد آلی گیاهی و مواد کربناتی (یا کربنات کلسیم) و همچنین میزان مواد تخریبی^۵ موجود در مغزه رسوبی تالاب هشیلان تعداد ۸۵ نمونه رسوبی با وزن ۱ گرم از مغزه رسوبی برداشته و در آزمایشگاه پالئوکلیماتولوژی دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران آنالیز شد. هر یک از نمونه‌ها درون یک کروزه چینی منتقل شدند و نمونه‌ها به مدت ۱۰ ساعت درون آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار داده شدند تا به طور کامل خشک شوند. سپس، نمونه‌ها به مدت ۴ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس در کوره سوزانده شدند تا مواد آلی گیاهی آن‌ها به خاکستر تبدیل شود. در مرحله بعد، نمونه‌ها به مدت ۲ ساعت در کوره، با دمای ۹۵۰ درجه سلسیوس، سوزانده شدند تا مواد کربناتی آن‌ها به طور کامل از بین برود. در ادامه، با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲ و ۳ به ترتیب میزان (یا درصد) مواد آلی گیاهی و کربنات کلسیم و مواد تخریبی موجود در نمونه‌ها برآورد شد.

$$OM = \frac{(W105) - (W550)}{(W105) - (Wc)} * 100\%$$

رابطه ۱. شیوه برآورد میزان مواد آلی گیاهی رسوبات

در رابطه ۱، W105 وزن در دمای ۱۰۵ درجه، W550 وزن در دمای ۵۵۰ درجه، و Wc وزن کروزه خالی است.

$$CaCO_3 = \frac{(W550) - (W950)}{(W105) - (Wc)} * 100\%$$

رابطه ۲. شیوه برآورد میزان کربنات کلسیم رسوبات

در رابطه ۲، W950 وزن در دمای ۹۵۰ درجه است.

$$Min = 100 - (OM + CaCO_3)$$

رابطه ۳. شیوه برآورد میزان مواد تخریبی موجود در رسوبات

در رابطه ۳، Min میزان مواد تخریبی موجود در رسوبات است.

سن سنجی رادیوکربنی

به منظور سن‌یابی مغزه رسوبی، تعداد ۱۰ نمونه توده رسوبی از مغزه برداشته و در آزمایشگاه سن‌سنجی رادیوکربنی بتا آنالیتیک^۶ امریکا سن‌سنجی شدند. سن‌های کربن ۱۴ با استفاده از پایگاه داده Intcal13 (رایمر^۷ و همکاران ۲۰۱۳)، که

1. Dean
2. Bengtsson and Enell
3. Heiri
4. Combustion
5. Minerogenic
6. Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory
7. Reimer

ویژه کالیبره کردن سن‌های کربن ۱۴ است، کالیبره شدند. مدل سن - عمق با استفاده از نرم‌افزار Clam ورژن ۲/۲ (بلاو^۱ ۲۰۱۰) ایجاد شد. سن‌های کربن ۱۴ و مقادیر کالیبره‌شده آن‌ها در جدول ۱ می‌آید.

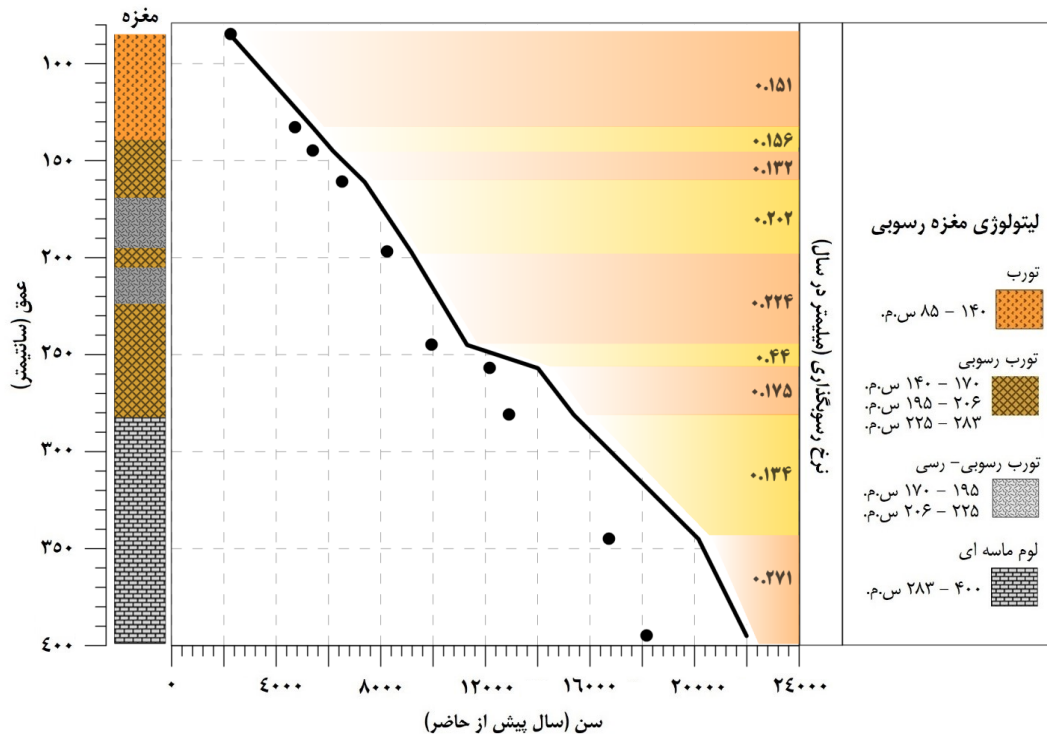
یافته‌های پژوهش

گاه‌شناسی مغزه رسوبی

مدل سن - عمق مغزه رسوبی تالاب هشیلان همراه لیتولوژی آن در شکل ۲ آمده است. بر اساس این مدل، مغزه رسوبی بازه زمانی بین ۲۲,۰۰۰ تا ۲,۲۰۰ سال پیش را پوشش می‌دهد. به ترتیب بیشترین و کمترین میزان رسوب‌گذاری در فواصل بین ۳۹۵ تا ۳۴۵ سانتی‌متری (۲۲,۰۰۰ تا ۲,۱۰۰ سال پیش) و ۲۵۷ تا ۲۴۵ سانتی‌متری (۱۴,۰۰۰ تا ۱۱,۳۰۰ سال پیش) قرار دارند.

جدول ۱. نتایج سن‌سنجی کربن ۱۴ و سن‌های کالیبره‌شده مغزه رسوبی تالاب هشیلان کرمانشاه

سن کالیبره‌شده (سال پیش)	سن کربن ۱۴ (سال پیش)	عمق نمونه (سانتی‌متر)	مواد سن‌سنجی شده	نام نمونه	کد آزمایشگاهی
۲۲۳۰	۳۰ ± ۲۲۳۰	۸۵	رسوبات آلی	HW2-85 OS	Beta - 482658
۵۴۰۰	۳۰ ± ۴۶۸۰	۱۳۳	رسوبات آلی	HW2-133 OS	Beta - 484596
۶۱۷۰	۳۰ ± ۵۳۷۰	۱۴۵	رسوبات آلی	HW2-145 OS	Beta - 486781
۷۳۸۰	۳۰ ± ۶۴۸۰	۱۶۱	رسوبات آلی	HW2-161 OS	Beta - 482659
۹۱۶۰	۳۰ ± ۸۲۰۰	۱۹۷	رسوبات آلی	HW2-197 OS	Beta - 482660
۱۱۳۰۰	۳۰ ± ۹۹۱۰	۲۴۵	رسوبات آلی	HW2-245 OS	Beta - 482661
۱۴۰۰۰	۴۰ ± ۱۲۱۳۰	۲۵۷	رسوبات آلی	HW2-257 OS	Beta - 486782
۱۵۳۸۰	۴۰ ± ۱۲۸۸۰	۲۸۱	رسوبات آلی	HW2-281 OS	Beta - 482662
۲۰۱۵۰	۴۰ ± ۱۶۷۰۰	۳۴۵	رسوبات آلی	HW2-345 OS	Beta - 484597
۲۱۹۹۰	۶۰ ± ۱۸۱۳۰	۳۹۵	رسوبات آلی	HW2-395 OS	Beta - 482663

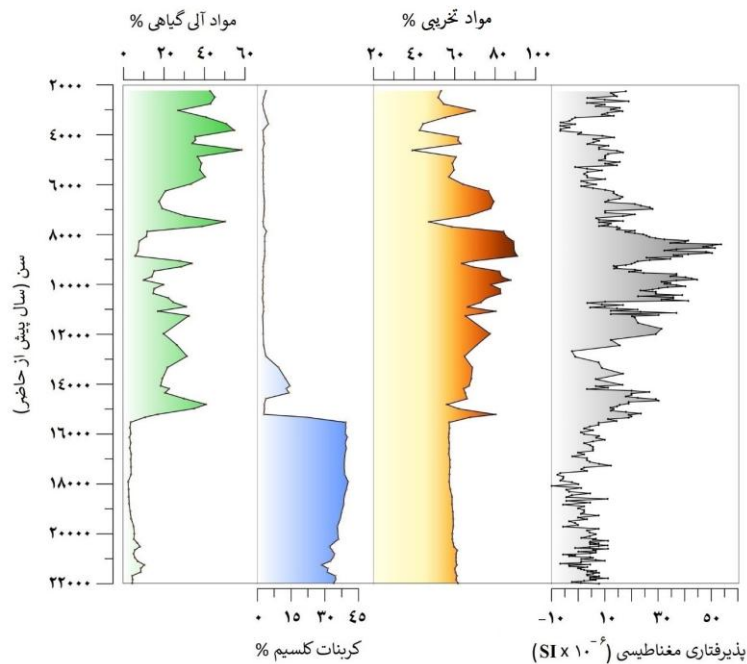


شکل ۲. مدل سن - عمق و لیتولوژی مغزه رسوبی تالاب هشیلان کرمانشاه. خط پررنگ سیاه بهترین برازش سن‌های کالیبره‌شده را نشان می‌دهد. دایره‌های سیاه‌رنگ سن‌های کربن ۱۴ را نمایش می‌دهند. در سمت راست نمودار، میزان رسوب‌گذاری بین نقاط سن‌سنجی شده به میلی‌متر در سال نشان داده شده است. س.م. کوتاه‌شده سانی متر است.

نتایج جرم‌گاهی گرمایشی و پذیرفتاری مغناطیسی

نتایج آنالیزهای جرم‌گاهی گرمایشی و پذیرفتاری مغناطیسی در شکل ۳ آمده است. به طور کلی، میزان مواد آلی موجود در مغزه رسوبی بین ۲/۲ درصد و ۵۸/۳ درصد، میزان کربنات کلسیم بین ۲/۳ درصد و ۴۰/۳ درصد، و میزان مواد تخریبی بین ۳۹/۱ درصد و ۹۰/۹۶ درصد نوسان دارد. مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی نیز بین اعداد $10^{-6} * 10^{-6}$ و $53 * 10^{-6}$ نوسان دارد.

همچنان که از شکل ۳ پیداست، تغییرات میزان مواد تخریبی موجود در مغزه رسوبی با پذیرفتاری مغناطیسی رابطه مستقیم دارد؛ به گونه‌ای که با افزایش میزان مواد تخریبی میزان پذیرفتاری مغناطیسی نیز افزایش می‌یابد و برعکس. از سوی دیگر میزان مواد تخریبی مغزه رسوبی با میزان مواد آلی گیاهی رابطه متضاد دارد. با توجه به این روابط، به طور کلی می‌توان مغزه رسوبی را به پنج قسمت تقسیم کرد که جزئیات آن در جدول ۲ آمده است.



شکل ۳. نتایج آنالیزهای جرم‌گاهی گرمایشی و پذیرفتاری مغناطیسی مغزۀ رسوبی تالاب هشیلان

جدول ۲. میزان مواد آلی گیاهی، کربنات کلسیم، مواد تخریبی، و پذیرفتاری مغناطیسی در بخش‌های مختلف مغزۀ رسوبی هشیلان

میزان پذیرفتاری مغناطیسی ($SI \times 10^{-6}$)			میزان مواد تخریبی %			میزان کربنات کلسیم %			میزان مواد آلی گیاهی %			دوره‌های زمانی (سال پیش)
میانگین	بیشینه	کمینه	میانگین	بیشینه	کمینه	میانگین	بیشینه	کمینه	میانگین	بیشینه	کمینه	
۶,۸	۱۹	-۶,۷	۶۰	۶۲	۵۷	۳۶	۴۰	۲۹	۴,۵	۱۰	۲	- ۲۲,۰۰۰ ۱۵,۴۰۰
۱۴	۲۸	۵,۶	۶۸	۸۰	۵۶	۶	۲۱	۲	۲۴	۴۰	۱۰	- ۱۵,۴۰۰ ۱۰,۵۰۰
۳۲	۵۴	۱۳	۸۱	۹۱	۶۳	۳	۴	۲	۱۶	۳۴	۶	- ۱۰,۵۰۰ ۷,۸۰۰
۱۶	۳۷	-۲,۲	۶۷	۷۹	۴۷	۳	۳,۲	۲,۶	۲۳	۵۰	۱۸	- ۷,۸۰۰ ۶,۰۰۰
۲,۶	۱۲	-۱۰	۵۶	۷۰	۳۹	۳	۵	۲,۴	۴۰	۵۸	۲۷	- ۶,۰۰۰ ۲,۲۰۰

بحث و نتیجه

تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی و میزان مواد تخریبی مغزۀ رسوبی روندهایی مشابه را نشان می‌دهند. این بدان معناست که تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی توسط مواد تخریبی وارده به تالاب کنترل می‌شود. مواد تخریبی می‌توانند به یکی از دو روش

انتقال با آب یا باد به تالاب هشیلان وارد شوند. منابع تأمین‌کننده آب تالاب هشیلان چشمه کارستی سبزعلی و همچنین باران است و هیچ‌گونه رود و رواناب قابل توجهی به آن نمی‌ریزد. چشمه سبزعلی خروجی آب‌خوان کارستی خورین است که در توده آهکی بیستون با درجه خلوص بالا توسعه یافته است. بنابراین، مواد تخریبی‌ای که از طریق چشمه سبزعلی به تالاب وارد می‌شوند ذرات کربنات کلسیم‌اند که پذیرفتاری مغناطیسی بسیار اندک تا منفی دارند (هرودا^۱ و همکاران ۲۰۰۹). ازین‌رو، چنانچه منشأ مواد تخریبی برگرفته از ذرات کربنات کلسیم کوهستان خورین باشد، پذیرفتاری مغناطیسی باید مقادیر اندک تا منفی را نشان دهد. اما اگر به ازای افزایش مواد تخریبی مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی نیز افزایش یابد، منشأ مواد تخریبی نمی‌تواند کوهستان خورین باشد؛ بلکه باید از مناطق دیگر به کمک باد به سوی تالاب رفته و آنجا نهشته شده باشد. از سوی دیگر، میزان مواد تخریبی با میزان مواد آلی گیاهی رابطه متضاد دارد. این رابطه را می‌توان چنین تفسیر کرد که در دوره‌های خشک، که میزان آب ورودی به تالاب کاهش می‌یابد، رویش گیاهان تالابی نیز محدود و در مقابل مواد تخریبی فراوان‌تری به تالاب وارد می‌شود. همچنان که پیش از این اشاره شد، از آنجا که رود یا رواناب قابل توجهی به تالاب وارد نمی‌شود می‌توان نتیجه گرفت منشأ مواد تخریبی نهشته‌شده در دوره‌های خشک در مغزه هشیلان ذرات گردوغباری است که با فرایندهای گردوغباری تشدیدشده به تالاب وارد شده‌اند.

می‌توان چنین نتیجه گرفت که روند مشابه پذیرفتاری مغناطیسی و مواد تخریبی بازتاب‌کننده میزان ورود ذرات گردوغبار به تالاب است؛ به نحوی که با افزایش ورود ذرات گردوغبار به تالاب در دوره‌های خشک میزان پذیرفتاری مغناطیسی نیز افزایش می‌یابد. در دوره‌های خشک، که بر اثر کاهش خروجی آب چشمه سبزعلی سطح آب تالاب پایین می‌افتد، رویش گیاهان تالابی محدود می‌شود و در نتیجه درصد مشارکت مواد آلی گیاهی در مغزه رسوبی کاهش می‌یابد. بر این اساس، دوره‌های مختلفی که جزئیات آن‌ها در جدول ۲ آمده است را می‌توان چنین تفسیر کرد:

الف) ۲۲/۰۰۰ تا ۱۵/۴۰۰ سال پیش: همچنان که از لیتولوژی مغزه رسوبی پیداست (شکل ۲) این بخش از مغزه رسوبی از رسوبات دریاچه‌ای ساخته شده است. بیشترین فراوانی میزان کربنات کلسیم در برابر کمترین میزان مواد آلی گیاهی نیز تأییدکننده شرایط دریاچه‌ای است. دریاچه‌های زریبار و ارومیه نیز در دوره یخبندان سطح آب بالاتری داشته‌اند (فن زئیست و رایت ۱۹۶۳؛ جمالی و همکاران ۲۰۰۸). نتایج پژوهش گرده‌شناسی انجام‌شده بر رسوبات دریاچه ارومیه (جمالی و همکاران ۲۰۰۸)، دریاچه زریبار (فن زئیست و رایت ۱۹۶۳؛ فن زئیست و بوتما ۱۹۷۷)، و تالاب هشیلان (صفایی‌راد و همکاران ۱۳۹۳) نشان می‌دهد در آخرین دوره یخبندان، که این بخش از مغزه رسوبی هشیلان نیز جزئی از آن است، استپ سرد و خشک درمنه و اسفناجیان پوشش گیاهی چیره زاگرس بوده است. ازین‌رو، دلیل اصلی دریاچه‌ای بودن هشیلان و بالا بودن سطح آب دریاچه‌های زاگرس در این شرایط آب‌وهوایی خشک و کم‌بارشی کاهش چشمگیر میزان تبخیر، به دلیل سردی آب‌وهوا، بوده است که به بارش‌های اندک امکان ماندگاری طولانی‌تری داده و سبب شکل‌گیری دریاچه در هشیلان و افزایش سطح آب سایر دریاچه‌های زاگرس شده است. این شواهد نظر بوبک^۲ (۱۹۳۷) و

کرینسلی^۱ (۱۹۷۰) و استیونز^۲ (۲۰۰۱) را مبنی بر اثر کاهش تبخیر و تعرق در افزایش سطح دریاچه‌ها در دوره‌های یخبندان تأیید می‌کند. اما، در تقابل با فرضیه وجود دوره‌های بارانی^۳ است که اهلرز^۴ (۱۹۷۱) مطرح کرده است. در چنین شرایط آب‌وهوایی سردی که به نظر می‌رسد بخش قابل توجهی از بارش‌ها به شکل برف بوده است (رایت^۵ ۱۹۶۲) آب ذوبان برف با دمای پایین (نزدیک به صفر درجه سلسیوس) باید نقش مهمی در تأمین آب آب‌خوان کارستی خورین ایفا کرده باشد. آب سرد به دلیل آنکه حاوی گاز کربنیک بیشتر است قابلیت انحلال بیشتری دارد و در تماس با توده آهکی خورین مقادیر قابل توجهی کربنات کلسیم را در خود حل و توسط چشمه سبزی به تالاب وارد و در آن نهشته کرده است. مقادیر نسبتاً پایین مواد تخریبی و پذیرفتاری مغناطیسی نشان‌دهنده عدم‌فعالیت قابل توجه گردوغبار در این دوره است.

ب) ۱۵/۴۰۰ تا ۱۰/۵۰۰ سال پیش: در ۱۵/۴۰۰ سال پیش یکباره لیتولوژی مغزه رسوبی از دریاچه‌ای به توربی رسوبی تغییر کرده که با افزایش قابل توجه میزان مواد آلی و کاهش شدید کربنات کلسیم مشخص است. نتایج آنالیز دایاتومه‌های دریاچه زریبار افزایش نسبی دما در همین زمان را نشان می‌دهد (واسیلیکوا و همکاران ۲۰۰۶). ازین‌رو، تغییر شرایط محیطی هشیلان از دریاچه‌ای به تالابی را می‌توان ناشی از افزایش تبخیر و تعرق به دلیل افزایش دما دانست. افزایش میزان کربنات کلسیم در فاصله زمانی ۱۴/۳۵۰ تا ۱۳/۳۳۰ سال پیش ممکن است در پی کاهش احتمالی دما و افزایش انحلال و ورود کربنات کلسیم از آب‌خوان خورین به تالاب هشیلان باشد. افزایش نسبی مواد تخریبی و همچنین پذیرفتاری مغناطیسی نشان‌دهنده افزایش ورود ذرات گردوغبار در این دوره نسبت به دوره قبلی است.

ج) ۱۰/۵۰۰ تا ۷/۸۰۰ سال پیش: در بازه زمانی بین ۱۰/۵۰۰ تا ۷/۸۰۰ سال پیش میزان مواد تخریبی و پذیرفتاری مغناطیسی افزایشی چشمگیر و میزان مواد آلی گیاهی کاهشی قابل توجه یافته است. لیتولوژی این قسمت از مغزه نیز نشان‌دهنده افزایش ورود ذرات رسی به تالاب است. در کل، این دوره که دربرگیرنده هولوسن پیشین در زاگرس میانی است شرایط خشک و گردوغباری را بازتاب می‌دهد. این شواهد با فازهای خشکیدگی تالاب هشیلان در هولوسن پیشین، که سبب از بین رفتن گرده‌های گیاهی شده است (صفایی‌راد و همکاران ۱۳۹۳)، در هماهنگی کامل است (شکل ۴، شماره ۴). افزایش نسبی میزان مواد آلی گیاهی در مقابل کاهش مواد تخریبی و پذیرفتاری مغناطیسی برای یک دوره ۳۰۰ ساله که در ۹/۲۰۰ سال پیش به اوج خود رسیده به گمان بسیار نشان‌دهنده کاهش شدت خشکی آب‌وهواست. در مقابل، بازه زمانی بین ۹/۲۰۰ تا ۷/۸۰۰ سال پیش بیشترین میزان ورود ذرات گردوغباری به تالاب هشیلان را بازتاب می‌دهد.

تغییرات ثبت‌شده در تالاب هشیلان آشکارکننده رابطه متضاد آب‌وهوایی بین منطقه آب‌وهوایی موسمی تابستانه هندوستان و زاگرس است. شواهد به‌دست‌آمده از پژوهش‌های انجام‌شده بر بایگانی‌های آب‌وهوایی^۶ مختلف، از جمله غارنهشته‌های^۷ عمان و یمن (برنز^۱ و همکاران ۲۰۰۱؛ فلایتمن^۲ و همکاران ۲۰۰۳ و ۲۰۰۷) و غرب فلات تبت (فوتنز^۳ و

1. Krinsley
2. Stevens
3. Pluvial periods
4. Ehlers
5. Wright
6. Climate archives
7. Speleothems

و همکاران (۱۹۹۶)، رسوبات دریایی عرب (گوپتا^۴ و همکاران ۲۰۰۳) و شمال خلیج بنگال (کوتتراز - روزالس^۵ و همکاران ۲۰۱۴)، و شمال عمان (فوجس و برکرت^۶؛ ۲۰۰۸) و شمال غربی شبه‌جزیره عربستان (انجل^۷ و همکاران ۲۰۱۲)، و شواهد ایزوتوپی شمال شرق فلات تبت (لیو^۸ و همکاران ۲۰۰۷) همگی نشان‌دهنده تقویت و گسترش شمال‌سوی سامانه موسمی تابستانه هندوستان در ۱۰/۵۰۰ سال پیش است. نتایج پژوهش‌های انجام‌شده بر غارنهبشته‌های عمان و یمن (فلايتمن و همکاران ۲۰۰۳ و ۲۰۰۷) نشان می‌دهد سامانه موسمی تابستانه هندوستان، حوالی ۹/۲۰۰ سال پیش، به شدت تضعیف شده است؛ حال آنکه این سامانه در بازه زمانی بین ۹/۰۰۰ تا ۷/۸۰۰ سال پیش در عمان و یمن به اوج گسترش خود رسیده است (فلايتمن و همکاران ۲۰۰۷). جمالی و همکارانش (۲۰۱۰) پیشنهاد داده‌اند که در هولوسن پیشین هم‌زمان با تقویت سامانه موسمی تابستانه هندوستان یک زبانه پرفشار بر کوهستان زاگرس قرار گرفته که با جلوگیری از ورود بادهای غربی حامل توده‌های هوای باران‌زا سبب کاهش بارش بهاره شده است. این وضعیت طولانی شدن فصل خشک تابستانه در زاگرس در هولوسن پیشین را در پی داشته است. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر به‌روشنی نشان می‌دهد هم‌زمان با اوج گسترش سامانه موسمی تابستانه هندوستان بین ۹/۰۰۰ تا ۷/۸۰۰ سال پیش زاگرس میانی خشک‌ترین دوره آب‌وهوایی خود را، که با گردوغبار شدید همراه بوده، پشت سر گذاشته است. در مقابل، در ۹/۲۰۰ سال پیش، که سامانه موسمی تابستانه هندوستان به شدت تضعیف شده، از شدت خشکی آب‌وهوا در تالاب هشیلان کاسته شده است. چنین تکامل رطوبتی متضادی بین زاگرس و منطقه آب‌وهوایی موسمی تابستانه هندوستان نشان می‌دهد، با تقویت هوای صعودکننده در سامانه موسمی تابستانه هندوستان و گسترش شمال‌سوی آن، پرفشارها ی جنب حاره‌ای نیز جابه‌جایی شمال‌سوی داشته و نزول دینامیکی هوا در آن‌ها تقویت شده است. چنین وضعیتی به کاهش بارش بهاره و همچنین افزایش تبخیر و تعرق در زاگرس انجامیده است. در این شرایط آب‌وهوایی، که تداوم زمانی فصل‌های آن با شرایط کنونی متفاوت بوده و تابستان‌های گرم و خشک تداوم بیشتری داشته است، درختان بلوط به صورت محدود در پناهگاه‌هایی که از رطوبت بیشتری برخوردار بوده‌اند روییده‌اند (صفاییراد ۱۳۹۲). پایین افتادن سطح آب دریاچه‌های زری‌بار (استیونز و همکاران ۲۰۰۱) و میرآباد (گریفیت و همکاران ۲۰۰۱) و خشکیدگی تالاب هشیلان (صفاییراد و همکاران ۱۳۹۳) نیز از دیگر شواهد خشکی زاگرس در هولوسن پیشین است.

(د) ۷/۸۰۰ تا ۶/۰۰۰ سال پیش: پس از ۷/۸۰۰ سال پیش، یکباره میزان ذرات گردوغباری نهشته‌شده در تالاب

هشیلان کاهش یافته و در مقابل میزان مواد آلی گیاهی افزایشی قابل توجهی داشته است. این شواهد نشان‌دهنده پایان دوره خشکی شدید آب‌وهوا و افزایش رطوبت در منطقه است. این اعتدال آب‌وهوایی، که از ۷/۸۰۰ سال پیش آغاز شده،

1. Burns
2. Fleitmann
3. Fontes
4. Gupta
5. Contreras-Rosales
6. Fuchs and Buerkert
7. Engel
8. Liu

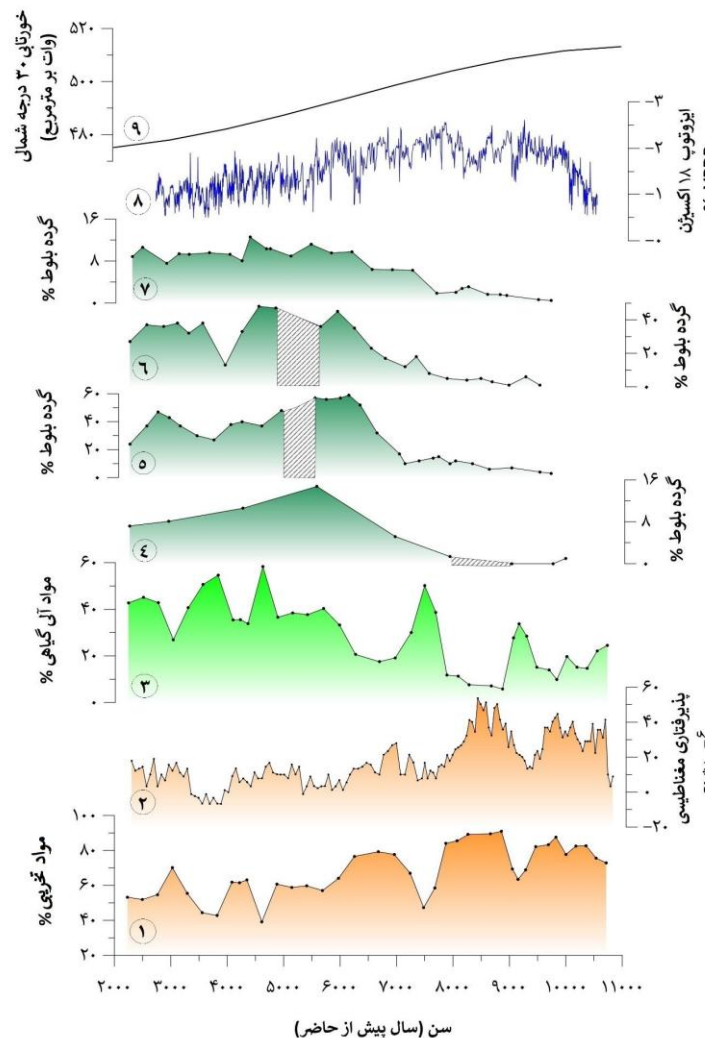
در ۷/۵۰۰ سال پیش به اوج خود رسیده و پس از آن شرایط آب‌وهوایی خشک‌تر شده است که در شواهدی همچون افزایش ذرات گردوغبار و کاهش میزان مواد آلی گیاهی بازتاب یافته است. این شرایط خشک به مدت ۱۰۰۰ سال، از ۷/۱۰۰۰ تا ۶/۰۰۰ سال پیش، طول کشیده است. این شرایط با افزایش تدریجی گسترش جنگل‌های بلوط در زاگرس میانی (فن زئیست و بوتما ۱۹۷۷؛ صفایی‌راد و همکاران ۱۳۹۳) در هماهنگی است. سامانه موسمی تابستان هندوستان از ۷/۸۰۰ سال پیش، به دلیل کاهش خورتابی^۱ تابستانه در نیم‌کره شمالی (شکل ۴، شماره ۹)، کم‌کم تضعیف شده و به سوی عرض‌های جنوبی عقب‌نشینی کرده است (فلایتمن و همکاران ۲۰۰۷) (شکل ۴، شماره ۸). اعتدال شرایط آب‌وهوایی در زاگرس میانی، که در کاهش گردوغبار در تالاب هشیلان پس از ۷/۸۰۰ سال پیش بازتاب یافته است از دیگر شواهد محکمی است که بر وجود ارتباط تنگاتنگ بین شدت عملکرد سامانه موسمی تابستانه هندوستان و تغییرات آب‌وهوایی زاگرس صحنه می‌گذارد.

۵) ۶/۰۰۰ تا ۲/۲۰۰ سال پیش: پس از ۶/۰۰۰ سال پیش، میزان مواد آلی گیاهی افزایشی قابل توجه یافته و صرف‌نظر از افت‌وخیزهایی که تا ۲/۲۰۰ سال پیش نشان می‌دهد به طور کلی یک دوره گسترش گیاهان تالابی اتفاق افتاده که سبب تغییر لیتولوژی مغزه رسوبی از تورب رسوبی^۲ به تورب^۳ شده است (شکل ۲). در این دوره میزان ذرات گردوغباری وارده به تالاب در مقایسه با سایر دوره‌ها کمتر است. این شرایط بازتاب‌دهنده مرطوب‌شدگی آب‌وهوا در زاگرس میانی است که با گسترش جنگل‌های بلوط در همین زمان (فن زئیست و رایت ۱۹۶۳؛ فن زئیست و بوتما ۱۹۷۷؛ صفایی‌راد و همکاران ۱۳۹۳) در هماهنگی کامل است. استیونز و همکاران (۲۰۰۱ و ۲۰۰۶) بر پایه نتایج آنالیزهای ایزوتوپ‌های پایدار مغزه‌های رسوبی زریبار و میرآباد بر آن‌اند که نزدیک به ۶/۵۰۰ سال پیش رژیم آب‌وهوایی تغییر کرده و باران‌های بهاری افزایش یافته است. نتایج آنالیز ایزوتوپ‌های پایدار غارنهدشته غار هوتی در شمال عمان نشان می‌دهد رژیم آب‌وهوایی در ۶/۳۰۰ سال پیش از موسمی تابستانه هندوستان به مدیترانه‌ای تغییر کرده است (فلایتمن و همکاران ۲۰۰۳ و ۲۰۰۷). دلیل این تغییر جابه‌جایی منطقه هم‌گرایی بین‌حاره‌ای^۴ و همچنین نوار بارشی موسمی وابسته به آن به عرض‌های پایین‌تر از غار هوتی در شمال عمان دانسته شده است (فلایتمن و همکاران ۲۰۰۷). با در نظر گرفتن عدم قطعیت سن‌سنجی‌های کربن ۱۴ مغزه‌های رسوبی زاگرس، می‌توان تغییر رژیم آب‌وهوایی در شمال عمان و گسترش جنگل‌های بلوط را هم‌زمان دانست و آن را ناشی از نفوذ بیشتر بادهای غربی به عرض‌های جنوبی‌تر به شمار آورد.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد تغییرات در شدت و جایگاه سامانه‌های آب‌وهوایی جنوب‌غربی آسیا، از جمله موسمی تابستانه هندوستان و بادهای غربی و پرفشارهای جنب‌حاره‌ای، عوامل اصلی کنترل‌کننده وضعیت آب‌وهوایی و محیطی زاگرس در هولوسن‌اند. تغییرات میزان خورتابی تابستانه نیم‌کره شمالی (مثلاً، افزایش آن در هولوسن پیشین) یکی از واداشتهای مهم آب‌وهوایی است که با تعیین شدت عملکرد سامانه موسمی تابستانه هندوستان نه‌تنها در تکامل شرایط

1. Insolation
2. Gytja
3. Peat
4. Inter-Tropical Convergence Zone

آب‌وهوایی مناطق موسمی نقشی مهم ایفا می‌کند، بلکه به دلیل اثر این سامانه بر جایگاه و شدت عملکرد پرفشارهای جنب‌حاره‌ای و بادهای غربی نقشی سازنده در تکامل شرایط آب‌وهوایی مناطق جنب‌حاره و از جمله زاگرس دارد.



شکل ۴. (۱) میزان مواد تخریبی مغزۀ رسوبی تالاب هشیلان (این پژوهش)؛ (۲) پذیرفتاری مغناطیسی مغزۀ رسوبی تالاب هشیلان (این پژوهش)؛ (۳) میزان مواد گیاهی تالاب هشیلان (این پژوهش)؛ (۴) درصد فراوانی گردۀ بلوط تالاب هشیلان (صفایی‌راد و همکاران ۱۳۹۳)؛ (۵) درصد فراوانی گردۀ بلوط دریاچه زریبار (فن زئیست و بوتما ۱۹۷۷)؛ (۶) درصد فراوانی گردۀ بلوط دریاچه میرآباد (فن زئیست و بوتما ۱۹۷۷)؛ (۷) درصد فراوانی گردۀ بلوط دریاچه ارومیه (بوتما ۱۹۸۶)؛ (۸) نمودار ایزوتوپ ۱۸ اکسیژن غارنهبشته کف جنوب یمن (فلایتمن و همکاران ۲۰۰۷)؛ (۹) خورتابی تابستانه در عرض ۳۰ درجه شمالی (برگر و لوتر ۱۹۹۱). قسمت‌های هاشورخورده در نمودارهای گرده حفظ نشدن گرده‌های گیاهی در مغزده‌های رسوبی را نشان می‌دهد.

سپاس‌گزاری

سن‌سنجی‌های کربن ۱۴ استفاده‌شده در این پژوهش از محل فاند پروژه باستان‌شناسی زاگرس مرکزی به سرپرستی دکتر راجر متیوز، پروفیسور باستان‌شناسی خاورمیانه دانشگاه ردینگ انگلستان، انجام شده‌اند. از این جهت از ایشان سپاس‌گزاریم.

منابع

- باقری سیدشکری، س. (۱۳۹۴). «تأثیر ژئومورفولوژی کارست بر ویژگی‌های کمی و کیفی آبخوان‌های کارستی حوضه رودخانه‌های قره‌سو و الوند در استان کرمانشاه»، رساله دکتری با گرایش ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، استادان راهنما: منصور جعفریگلو و مجتبی یمانی.
- باقری سیدشکری، س.، یمانی، م.، جعفریگلو، م.، کریمی، ح.، مقیمی، ا. (۱۳۹۲). «ارزیابی ویژگی‌های هیدرودینامیکی آبخوان‌های کارستی با استفاده از آنالیز سری‌های زمانی (مطالعه موردی: آبخوان‌های کارستی گیلان‌غرب و خورین در استان کرمانشاه)»، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۲(۳)، صص ۱-۱۶.
- جعفریگلو، م.، ویسی، ع.ک.، نورایی‌صفت، ا.، نادری، س. (۱۳۹۴). «ارزیابی تأثیرات خشک‌سالی بر تالاب هشیلان»، اکوبیولوژی تالاب، ۷(۳)، صص ۸۱-۹۲.
- شریفی، م.، رضایی‌چمنی، ف.، حسینی، س.م.م.، راجی، غ.ج. (۱۳۸۳). «تالاب هشیلان یک سوءتفاهم جغرافیایی: معرفی یک تالاب الگویافته»، محیط‌شناسی، ۳۰(۳۵)، صص ۹۹-۱۰۷.
- صفایی‌راد، ر. (۱۳۹۲). «شواهد گرده‌شناسی تغییرات اقلیمی هولوسن در زاگرس میانی (مطالعه موردی: تالاب هشیلان)»، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد با گرایش اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، استاد راهنما: قاسم عزیزی.
- صفایی‌راد، ر.، عزیزی، ق.، محمدی، ح.، علی‌زاده لاهیجانی، ح. (۱۳۹۳). «بازسازی تغییرات اقلیمی هولوسن و پلیستوسن پسین منطقه زاگرس میانی با استفاده از شواهد گرده‌شناسی تالاب هشیلان»، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۳(۱۱)، صص ۱-۱۹.
- صفرراد، ط.، فرجی‌سبکیار، ح.ع.، عزیزی، ق.، عباس‌پور، ر.ع. (۱۳۹۲). «تحلیل مکانی تغییرات بارش در زاگرس میانی از طریق روش‌های زمین‌آمار (۱۹۹۵-۲۰۰۴)»، جغرافیا و توسعه، ۱۱(۳۱)، صص ۱۴۹-۱۶۴.

Bagheri Seyedshokri, S. (2015). "The impact of karst geomorphology on the qualitative and quantitative characteristics of karst aquifers in Ghara Sou and Alvand basins in Kermanshah province". *PhD thesis in geomorphology*, Faculty of geography, University of Tehran, supervisors: Mansour JafarBigloo and Mojtaba Yamani. (in Persian)

Bagheri Seyedshokri, S., Yamani, M., JafarBigloo, M., karimi, H., & Moghimi., E. (2013). "Evaluation of hydrodynamic properties of karstic aquifers using time series analysis (Case studies: Karst aquifers of Gilan Gharb and Khorrin in Kermanshah province)". *Quantitative geomorphological researches*, 2(3): pp. 1-16. (in Persian)

Bengtsson, L. & Enell, M. (1986). "Chemical analysis". In Berglund, B. E. (ed.), "Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology". *John Wiley & Sons Ltd.*, Chichester, pp. 423-451.

Berger, A., & Loutre, M. F. (1991). "Insolation values for the climate of the last 10 million years". *Quaternary Science Reviews* 10, pp. 297-317.

- Blaauw, M. (2010). "Methods and code for 'classical' age-modelling of radiocarbon sequences". *Quaternary geochronology*, 5(5), pp. 512-518.
- Bobek, H. (1937). "Die rolle der Eiszeit in Nordwestiran". *Z. Gletscherk*, 25: pp. 130-183.
- Bottema, S. (1986). "A late Quaternary pollen diagram from Lake Urmia (northwestern Iran)". *Review of palaeobotany and palynology*, 47(3-4), pp. 241-261.
- Burns, S. J., Fleitmann, D., Matter, A., Neff, U., & Mangini, A. (2001). "Speleothem evidence from Oman for continental pluvial events during interglacial periods" *Geology*, 29(7), pp. 623-626.
- Charman, D. (2002). "Peatlands and environmental change". *John Wiley & Sons Ltd*.
- Contreras-Rosales, L. A., Jennerjahn, T., Tharammal, T., Meyer, V., Lückge, A., Paul, A. & Schefuß, E. (2014). "Evolution of the Indian Summer Monsoon and terrestrial vegetation in the Bengal region during the past 18 ka". *Quaternary Science Reviews*, 102, pp. 133-148.
- Dean, W. E. (1974). "Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition; comparison with other methods". *Journal of Sedimentary Research*, 44(1), pp. 242-248.
- Dearing, J. (1999). "Magnetic susceptibility". *Environmental magnetism: A practical guide*, pp. 35-62.
- Dixit, Y., Hodell, D. A., & Petrie, C. A. (2014). "Abrupt weakening of the summer monsoon in northwest India~ 4100 yr ago". *Geology*, 42(4), pp. 339-342.
- Djamali, M., Akhiani, H., Andrieu-Ponel, V., Braconnot, P., Brewer, S., de Beaulieu, J. L., Fleitmann, D., Fleury, J., Gasse, F., Guibal, F., & Jackson, S. T. (2010). "Indian Summer Monsoon variations could have affected the early-Holocene woodland expansion in the Near East". *The Holocene*, 20(5), pp. 813-820.
- Djamali, M., de Beaulieu, J. L., Shah-hosseini, M., Andrieu-Ponel, V., Ponel, P., Amini, A., Akhiani, H., Leroy, S. A., Stevens, L., Lahijani, H., & Brewer, S. (2008). "A late Pleistocene long pollen record from Lake Urmia, NW Iran". *Quaternary Research*, 69(3), pp. 413-420.
- Ehlers, E. (1971). "Südkaspisches Tiefland (Nordiran) und Kaspisches Meer: Beiträge zu ihrer Entwicklungsgeschichte und Jung-und Postpleistozän" (*Doctoral dissertation, Selbstverlag des Geographischen Instituts der Universität Tübingen*).
- Engel, M., Brückner, H., Pint, A., Wellbrock, K., Ginau, A., Voss, P., Grottker, M., Klasen, N., & Frenzel, P. (2012). "The early Holocene humid period in NW Saudi Arabia—Sediments, microfossils and palaeo-hydrological modelling". *Quaternary International*, 266, pp. 131-141.
- Fleitmann, D., Burns, S. J., Mangini, A., Mudelsee, M., Kramers, J., Villa, I., & Matter, A. (2007). "Holocene ITCZ and Indian monsoon dynamics recorded in stalagmites from Oman and Yemen (Socotra)". *Quaternary Science Reviews*, 26(1-2), pp. 170-188.
- Fleitmann, D., Burns, S. J., Mudelsee, M., Neff, U., Kramers, J., Mangini, A., & Matter, A. (2003). "Holocene forcing of the Indian monsoon recorded in a stalagmite from southern Oman". *Science*, 300(5626), pp. 1737-1739.
- Fontes, J. C., Gasse, F., & Gibert, E. (1996). "Holocene environmental changes in Lake Bangong basin (Western Tibet). Part 1: Chronology and stable isotopes of carbonates of a Holocene lacustrine core". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 120(1-2), pp. 25-47.
- Fuchs, M. & Buerkert, A. (2008). "A 20 ka sediment record from the Hajar Mountain range in N-Oman, and its implication for detecting arid-humid periods on the southeastern Arabian Peninsula". *Earth and Planetary Science Letters*, 265(3-4), pp. 546-558.
- Griffiths, H. I., Schwalb, A., & Stevens, L. R. (2001). "Environmental change in southwestern Iran: The Holocene ostracod fauna of Lake Mirabad" *The Holocene* 11(6), pp. 757-764.
- Gupta, A. K., Anderson, D. M., & Overpeck, J. T. (2003). "Abrupt changes in the Asian southwest monsoon during the Holocene and their links to the North Atlantic Ocean" *Nature*, 421(6921), p. 354.
- Heiri, O., Lotter, A. F., & Lemcke, G. (2001). "Loss on ignition as a method for estimating organic and

- carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results” *Journal of paleolimnology*, 25(1), pp. 101-110.
- Hrouda, F., Chlupacova, M., & Chadima, M. (2009). “The use of magnetic susceptibility of rocks in geological exploration” *Terraplust, Brno*, 2016.
- Hutchinson, G. F. & Cowgill, U. M. (1963). “Chemical examination of a core from Lake Zeribar. Iran” *Science* 140. pp. 67-69.
- Jafarbigloo, M., Veysi, A. K., Nooraie Seffat, I., & Naderi, S. (2015). Evaluation of Drought Effects on Hashelan Wetland. *Journal of Wetland Ecology*, 7(3), pp. 81-92. (in Persian)
- Kent, D. V. (1982). “Apparent correlation of palaeomagnetic intensity and climatic records in deep-sea sediments” *Nature*, 299(5883), p. 538.
- Köppen, W. P. (1931). “Grundriss der Klimakunde” *Walter de Gruyter*, Berlin.
- Krinsley, D. B. (1970). “A Geomorphological and Paleoclimatological Study of the Playas of Iran”. *Part II. GEOLOGICAL SURVEY RESTON VA*.
- Leg 154 Scientific Party (1995). “Ceara Rise sediments document ancient climate change” *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 76(5), pp. 41-45.
- Liu, X., Shen, J., Wang, S., Wang, Y., & Liu, W. (2007). ‘Southwest monsoon changes indicated by oxygen isotope of ostracode shells from sediments in Qinghai Lake since the late Glacial” *Chinese Science Bulletin*, 52(4), p. 539.
- Magyari, E. K., Veres, D., Wennrich, V., Wagner, B., Braun, M., Jakab, G., & Rethemeyer, J. (2014). “Vegetation and environmental responses to climate forcing during the Last Glacial Maximum and deglaciation in the East Carpathians: attenuated response to maximum cooling and increased biomass burning” *Quaternary Science Reviews*, 106, pp. 278-298.
- Mead, G. A., Tauxe, L., & LaBrecque, J. L. (1986). “Oligocene paleoceanography of the South Atlantic: Paleoclimatic implications of sediment accumulation rates and magnetic susceptibility measurements” *Paleoceanography*, 1(3), pp. 273-284.
- Megard, R. O. (1967). “Late-Quaternary Cladocera of Lake Zeribar, western Iran” *Ecology* 48, 179-89.
- Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Ramsey, C. B., Buck, C. E., Cheng, H., Edwards, R. L., Friedrich, M., & Grootes, P. M. (2013). “IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP” *Radiocarbon*, 55(4), pp. 1869-1887.
- Robinson, S. G. (1986). “The late Pleistocene palaeoclimatic record of North Atlantic deep-sea sediments revealed by mineral-magnetic measurements” *Physics of the Earth and Planetary interiors*, 42(1-2), pp. 22-47.
- Robinson, S. G. (1993). “Lithostratigraphic applications for magnetic susceptibility logging of deep-sea sediment cores: examples from ODP Leg 115” *Geological Society, London, Special Publications*, 70(1), pp. 65-98.
- Safaie-Rad, R. (2013). ‘Palynological evidence of the Holocene climate change in the Central Zagros, Case study: Hashilan Wetland” *Msc dissertation in climatology, Faculty of geography, University of Tehran*, supervisor: Ghasem Azizi. (in Persian)
- Safaie-Rad, R., Azizi, Gh., Mohammadi, H., & Alizadeh Lahijani, H. (2014). “Reconstructing the Holocene and Late-Pleistocene Climate Changes of the Central Zagros Using Palynological Evidences of the Hashilan Wetland” *Geography and environmental hazards*, 3(11): pp. 1-19. (in Persian)
- Safarrad, T., Farajisabokbar, H. A., Azizi, Gh., & Abbaspour, R. A. (2013). “Spatial Analysis of Precipitation Variations in Middle Zagros Using Geo-Statistical Methods (1995-2004)” *Geography and development*, 11(31): pp. 149-164. (in Persian)
- Sharifi, M., Chamani Rezaie, F., Hosseini, S. M. M., & Raji, Gh. (2004). “Introducing a patterned mire: Hashilan Wetland” *Environmental Studies*, 30(35): pp. 99-107. (in Persian)
- Snyder, J. A., Wasylik, K., Fritz, S. C., & Wright, H. E. Jr. (2001). “Diatom-based conductivity

- reconstruction and palaeoclimatic interpretation of a 40-ka record from Lake Zeribar, Iran” *The Holocene*, 11(6).
- Soreghan, G. S., Elmore, R. D., Katz, B., Cogoini, M., & Banerjee, S. (1997). “Pedogenically enhanced magnetic susceptibility variations preserved in Paleozoic loessite” *Geology*, 25(11), pp. 1003-1006.
- Stevens, L. R., Ito, E., Schwalb, A., & Wright Jr., H. E. (2006). “Timing of atmospheric precipitation in the Zagros Mountains inferred from a multi-proxy record from Lake Mirabad, Iran” *Quaternary Research* 66, pp. 494-500.
- Stevens, L. R., Wright Jr, H. E., & Ito, E. (2001). “Proposed changes in seasonality of climate during the Lateglacial and Holocene at Lake Zeribar, Iran” *The Holocene* 11.6, pp. 747-755.
- Thomson, D. J. (1982). “Spectrum estimation and harmonic analysis” *Proceedings of the IEEE*, 70(9), pp. 1055-1096.
- Van Zeist, W. & Bottema, S. (2016). “Palynological investigations in western Iran” *Palaeohistoria*, 19, pp. 19-85.
- Van Zeist, W. & Wright, H. E. (1963). “Preliminary pollen studies at Lake Zeribar, Zagros mountains, southwestern Iran” *Science*, 140(3562), pp. 65-67.
- van Zeist, W. & Bottema, S. (1991). “Late Quaternary Vegetation of the Near East” *Wiesbaden: Dr Ludwig Reichert Verlag*.
- Vanderaveroot, P., Averbuch, O., Deconinck, J. F., & Chamley, H. (1999). ‘A record of glacial/interglacial alternations in Pleistocene sediments off New Jersey expressed by clay mineral, grain-size and magnetic susceptibility data’ *Marine Geology*, 159(1-4), pp. 79-92.
- Wasylikowa, K. & Walanus, A. (2004). ‘Pace of aquatic and marsh plant succession in various parts of Lake Zeribar, Iran, during the Late Glacial and Holocene’ *Acta Palaeobotanica* 44, pp. 129-40.
- Wasylikowa, K., Witkowski, A., Walanus, A., Hutorowicz, A., Stefan W. A., & Jerzy, J. L. (2006). “Palaeolimnology of Lake Zeribar, Iran, and its climatic implications” *Quaternary Research* 66, pp. 477-493.
- Wasylikowa, K. (1967). “Late Quaternary plant microfossils from Lake Zeribar, western Iran” *Review of Palaeobotany and Palynology* 2, 3, pp. 13-18.
- Wright Jr, H. E. (1962). ‘Pleistocene glaciation in Kurdistan’ *E&G-Quaternary Science Journal*, 12(1).