

جغرافیا و توسعه شماره ۵۵ تابستان ۱۳۹۸

وصول مقاله: ۹۶/۰۵/۱۵

تأیید نهایی: ۹۷/۰۶/۲۴

صفحات: ۱۰۹-۱۲۲

شواهد ژئومورفولوژیکی رویداد های هنریج در شمال غرب ایران

دکتر علیرضا صالحی پور میلانی^{۱*}، دکتر راضیه لک^۲، دکتر مجتبی یمانی^۳

چکیده

تغییر شرایط اقلیمی در محیط های دریایی و دریاچه ای، تأثیر مستقیمی بر نوسان سطح آب آن ها دارد. در محیط های دریاچه ای عرض های میانه کره زمین، دوره های سرد با کاهش درجه حرارت هوا، افزایش میزان بارش و کاهش تبخیر همراه است و یک دوره بارانی به همراه دارد که نتیجه آن بالا آمدن سطح آب دریاچه هاست و برعکس در دوره های گرم با افزایش میزان دما، کاهش بارش و افزایش میزان تبخیر در یک بازه زمانی طولانی، می توان شاهد کاهش آب دریاچه ها در دوره های زمانی مختلف بود این تحقیق با هدف شناسایی و بازسازی تغییرات اقلیمی در پلیوستوسن پایانی و بررسی شواهد دوره های سرد هنریج در شمال غرب ایران از طریق مطالعه پادگانه های دریاچه ای ارومیه به عنوان شاخصه تغییرات اقلیمی صورت گرفته است. در طول مطالعات میدانی، تعداد ۲۴ پادگانه دریاچه ای در ارتفاع ۱۲۹۸ متر تا ۱۳۶۵ متر از سطح دریا شناسایی شد. تعداد ۶ پادگانه با استفاده از روش کربن ۱۴ تعیین سن مطلق شد. نتایج به دست آمده از این بررسی ها نشان می دهد، بالا آمدن سطح آب دریاچه ارومیه در پلیوستوسن پایانی هم زمان با دوره یخچالی وورم در شمال اروپاست. ۴ پادگانه دریاچه ای تعیین سن شده در این تحقیق با رویدادهای اقلیمی هنریج ۴ و ۵ هم زمان می باشند. این رویدادها با گسترش یخچال ها در اروپای شمالی در پلیوستوسن پایانی ارتباط بوده و نشان دهنده تأثیرپذیری شرایط اقلیمی ایران از دوره های سرد هنریج است. شواهد دوره های سرد هنریج در ایران برای اولین بار در این تحقیق مورد شناسایی قرار گرفت. در دریاچه ارومیه هم زمان با رویدادهای هنریج، سطح آب دریاچه افزایش یافته که نشان دهنده تأثیرگذاری این تغییرات اقلیمی بر این منطقه از کشور است. نتایج نشان می دهد، احتمالاً محیط نیمه خشک کنونی منطقه مورد مطالعه هم زمان با دوره های سرد هنریج، به اقلیمی مرطوب تر تغییر یافته و این رویدادها هم زمان با وقوع دوره های بارانی و به همراه افزایش بارش و کاهش میزان تبخیر و دما در این منطقه از کشور بوده است. این امر موجب افزایش میزان آب ورودی رودخانه های حوضه آبریز دریاچه، بالا آمدن سطح آب دریاچه و تشکیل پادگانه های دریاچه ای ارومیه در پلیوستوسن پایانی شده است. بالا آمدن سطح آب دریاچه ارومیه در پلیوستوسن پایانی و هم زمان با دوره های سرد هنریج ۴ و ۵، با افزایش سطح آب دریاچه «مرده» و تشکیل پادگانه های دریاچه ای این دریاچه در ارتباط است که این امر تأییدی بر صحت نتایج به دست آمده از این تحقیق است.

واژه های کلیدی: شمال غرب ایران، پلیوستوسن پایانی، رویدادهای اقلیمی هنریج.

Ar_salehipour@Sbu.ac.ir

Lak_ir@yahoo.com

Myamani@ut.ac.ir

۱- استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- دانشیار پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی کشور، تهران، ایران *

۳- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران

مقدمه

محور پرفشار جنب‌مداری (سلول هدلی) نیز پس‌روی کرده و کم‌فشارهای غربی نیز به عرض‌های جنوبی‌تر (دست‌کم به بخش‌هایی از مدیترانه جنوبی) رانده شده‌است. در دوره‌های یخچالی، مناطق نیمه‌مرتفع شمالی و غربی ایران تحت تأثیر پرفشار قطبی قرار داشته و دارای اقلیمی سردتر بوده‌است. بارندگی در آن زمان بیشتر به‌صورت برف بود. آثار برجای‌مانده از یخچال‌های قدیمی به‌ویژه توسعه و گسترش یخچال‌ها در کردستان، آذربایجان، طالش و البرز غربی، پیوستگی نسبی یخچال‌ها را در شمال و شمال غرب ایران و تسلط کامل جبهه قطبی را در دوره سرد در این نواحی تأیید می‌کند. در دوره‌های بین‌یخچالی نیز، رانش کم‌فشار غربی به عرض‌های بالاتر ایران و پیشروی کم‌فشار غربی به عرض‌های بالاتر، موجب تسلط اقلیم خشک و نیمه‌خشک به‌ویژه در نواحی پست داخلی و جنوبی شد و شرایط اقلیمی تا حدودی مشابه آب و هوای کنونی، بر ایران حاکم شد (مقیم، ۱۳۸۹: ۱۹۷).

در مرحله بارش (یخچالی) سطح پلایاها گسترش یافته و شوری آب آن‌ها کمتر بود. رسوب‌ها در مرکز بیشتر رسی سیلتی و در کناره‌ها درشت‌دانه‌تر بودند و در بین یخبندان مانند امروز سطح پلایاها کوچک‌تر و شوری آب بیشتر و رسوب‌ها بیشتر تبخیری هستند (مقیم، ۱۳۸۹: ۱۹۶). بنا به نظر عیوضی (۱۳۷۶: ۸۷)، دوره‌هایی که در آن‌ها دما و تبخیر نسبت به امروز اندکی کمتر و مقدار بارش اندکی بیشتر بوده‌است، «دوره‌های بارانی» نام دارد. مقدار زیاد بارش و تداوم و پیوستگی آن می‌تواند مهم‌ترین شاخص دوره‌های بارانی باشد. امکان تطابق اقلیم بارانی با اقلیم یخچالی در بعضی نقاط ایران به‌صورت یک فرض مطرح است. یکی از شواهد دوره‌های بارانی (پلوویال) در ایران، شواهد «دریاچه‌ای» است. در ایران دریاچه‌های ارومیه، حوض سلطان، گاوخونی و بختگان نمونه‌ای از آن به‌شمار می‌آیند (مقیم، ۱۳۸۹: ۱۹۶).

آخرین دوره یخچالی به‌واسطه فراوانی بافت‌های نامنظم از رسوبات در اطلس شمالی که به‌وسیله آیسبرگ‌های جداشده از کلاهک یخی گرینلند و شمال آمریکا حمل شده‌اند، مشخص می‌شوند. این مواد رسوبی را می‌توان تا ۳۰۰۰ کیلومتر به غرب و همین‌طور به‌سمت تنگه هوستون ردیابی کرد (عزیزی، ۱۳۸۳: ۱۸۵). تعدادی از فازهای بسیار سرد و خشک، به‌طور ناگهانی تاریخ اروپا را در طول دوره بین ۱۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰۰۰ سال تحت تأثیر قرار داده‌است. این فازهای سرد و خشک با ثبت گرده‌های گیاهی در شمال و جنوب اروپا و هم‌زمان با کاهش ناگهانی درصد گرده‌های گیاهی درختان و ظهور درختانی که نشان‌دهنده شرایط سرد، نیمه‌بیابانی یا استپ‌های خشک همانند اسپانیا هستند، مشخص شده است (Burjachs & Julia, 1994: 314). اگرچه تاریخ‌نگاری‌های صورت‌گرفته در بعضی موارد روایی کمی دارد، ولی این فازهای سرد در اروپا عموماً با وقایع هنریچ در شمال آتلانتیک ارتباط دارد. با توجه به داده‌های ثبت‌شده از تاریخ تحولات اقلیمی مبتنی بر مغزه‌های آتلانتیک شمالی و گرینلند و همچنین تاریخ‌نگاری وقایع بزرگ هنریچ از بین دوره‌های سرد هنریچ، وقایع هنریچ ۱ و ۲ ممکن است سردترین شرایط اقلیمی را در آخرین دوره یخچالی به تصویر بکشد. اگر این امر درست باشد، فازهای معتدل‌تری (که هنوز خشک‌تر از شرایط کنونی هستند) ممکن است در بخش‌هایی از این دوره بر شرایط منطقه غلبه داشته‌باشد. رویداد یانگر دریاس (۱۰ تا ۱۱ هزار سال قبل) نیز شکلی از رویداد هنریچ است و می‌توان آن را جدیدترین دوره از رویدادهای هنریچ دانست (عزیزی، ۱۳۸۳: ۱۵۰).

در دوره‌های سرد، سلول‌های قطبی به حداکثر گسترش خود رسیده و مناطق مختلفی از شمال و مرکز ایران را با شدت‌های مختلف دربر گرفته‌است. هم‌زمان با پیشروی جبهه قطبی به سمت جنوب،

بودن دمای زمستان نسبت به زمان کنونی است و دمای جولای، بالای ۱۰ تا ۱۲ درجه سانتی‌گراد بوده است (Djamali et al, 2009: 123).

لک و همکاران (۱۳۹۰: ۳۴۳) پالئو کلیماتولوژی دریاچه ارومیه را با استفاده از مطالعات مغزه‌های رسوبی مورد مطالعه قرار داده‌اند.

دمای آخرین دوره یخچالی در حدود ۱۳ تا ۱۴ درجه خنک‌تر از شرایط امروزی منطقه ارومیه در ماه جولای بوده است و احتمالاً فعالیت‌های رودخانه‌ای و در نتیجه فرسایش شدید به دلیل نبود پوشش گیاهی متراکم، زیاد بوده است. در این منطقه در طول این دوره رسوب‌گذاری بیشتر به واسطه دامنه‌هایی با پوشش گیاهی فقیر و فرسایش شدید با غلبه سیلیکات‌ها بوده است. بالاترین سطح ایستایی هم‌زمان با رسوب‌گذاری کربنات‌ها و مواد آلی و حداکثر رویش گیاهان آبی^۴ همراه بوده است و آب دریاچه حاوی شوری کمتر بوده و دمای سطحی بالاتری داشته است (Djamali et al, 2009: 123). در کنار مغزه‌های رسوبی، یکی از شواهد ژئومورفولوژیکی که می‌تواند به ما در تحلیل شرایط اقلیمی گذشته در شمال غرب کشور به خصوص در حوضه آبریز دریاچه ارومیه در دوره کواترنری کمک کند، پادگانه‌های دریاچه‌ای است. در رابطه با نوسانات دیرینه سطح آب دریاچه ارومیه و عوامل آن، مطالعات و اظهارنظرهای متعددی انجام گرفته است. پادگانه‌های دریاچه‌ای توسعه کمتری نسبت به پادگانه‌های دریایی داشته است (Pirazzoli, 2005: 632). مطالعات متعددی در سایر نقاط جهان در رابطه با پادگانه‌های دریاچه‌ای و نرخ بالآمدگی آن‌ها با استفاده از کربن ۱۴ انجام گرفته است.

کزوقلو (۲۰۱۰) در دریاچه وان ترکیه تعداد ۱۰ پادگانه دریاچه‌ای یافته است که پایین‌ترین سطح تراس دریاچه‌ای در ارتفاع ۷ متری از سطح دریاچه و

تاکنون مطالعات زیادی بر روی دریاچه‌ها در دنیا و ایران انجام شده است؛ از آن جمله می‌توان با مطالعه بر روی محتوای فسیلی و ویژگی‌های بیولوژیکی (WasyliKoWa et al, 2006: 477) یا با مطالعات گرده‌شناسی (Stevens, l. r et al, 2006: 497) و عزیززی و همکاران، (۱۳۹۲: ۱۳) به شرایط دیرینه دریاچه‌ها و آب و هوای گذشته پی‌برد.

مقصودی (۱۳۹۰) شواهد ژئومورفولوژیکی تغییرات سطح اساس در پلایای «حوض سلطان» را مورد بررسی قرار داده است. در بین دریاچه‌های داخلی ایران، بیش از همه دریاچه ارومیه مورد توجه قرار گرفته است. در زمینه مطالعات تغییرات سطح کنونی دریاچه ارومیه در دهه‌های اخیر، مطالعات متعددی انجام گرفته است.

شایان و همکاران (۱۳۸۶: ۴۶) مطالعاتی را در زمینه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در بررسی تغییرات تراز آب دریاچه ارومیه داشته‌اند.

جمالی (۲۰۰۹: ۱۲۳) مطالعات جامعی را در رابطه با گرده‌شناسی بر روی یک مغزه یک‌صد متری در دریاچه ارومیه انجام داده است. به عقیده او در آخرین دوره یخچالی (در حدود ۶۸ تا ۱۲ هزار سال قبل) ترکیب پوشش گیاهی با دوره ماقبل یخچالی شامل «گندواش» یا «کینگیا خاراگوش چینی»^۱ مشابه بوده است؛ در حالی که ترکیب پوشش گیاهی کمی متفاوت بوده و «سنجد تلخ»^۲ در طول آخرین دوره یخچالی غلبه داشته است. امروزه این گونه در ارتفاعات بالاتر شمال دریاچه ارومیه، البرز مرکزی و با فراوانی بیشتر در قزاقستان و افغانستان یافت می‌شود

(Browicz et al, 1976: 121; Meusel et al, 1978: 224) این درخت جزو گونه‌های «پیشاهنگ»^۳ بوده و می‌تواند در خاک‌های ناپایدار و بستر و حاشیه رودخانه‌ها رشد کند. حضور آن در آخرین دوره یخچالی در منطقه دریاچه ارومیه نشان‌دهنده پایین‌تر

1-Artemisia
2-Hippophaerhamnoides
3-Pioneer species

نمکی بر جای بماند که این پدیده از پایان دوره وورم تا به حال ادامه داشته‌است؛ بنابراین در دوره پلیستوسن تأثیر دقیق میزان دما در میزان تبخیر و اهمیت مقدار بارندگی‌های محلی (نه میزان بارندگی سالیانه) در پیدایش و گسترش دریاچه بی‌تأثیر نبوده‌اند (خیام، ۱۳۶۴: ۳۵). در این تحقیق سعی شده‌است تا با استفاده از مطالعه بر روی پادگانه‌های دریاچه‌ای تعیین سن مطلق آن‌ها، به تحولات زمانی و مکانی نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه پرداخته شود و با برقراری هم‌زمانی بین این نوسانات با رویدادهای اقلیمی جهانی، شرایط اقلیمی این منطقه از کشور در پلیوستوسن پایانی بازسازی شود.

منطقه مورد مطالعه

دریاچه ارومیه در شمال‌غربی ایران و مطابق با تقسیمات کشوری، میان دو استان آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی قرار گرفته‌است. قبل از کاهش شدید سطح آب دریاچه ارومیه در سال‌های اخیر، این دریاچه بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران و دومین دریاچه بزرگ آب شور دنیا بود که در مجموع توسط ۶۰ رودخانه سیراب می‌شد که ۲۱ رودخانه دائمی یا فصلی و ۳۹ رودخانه فصلی بودند. از این میان «زرنه‌رود» و «آجی‌چایی» ورودی‌های اصلی به دریاچه ارومیه بودند (Ghaaheri et al, 1999: 21). یون‌های اصلی موجود در آب دریاچه ارومیه شامل Na^+ ، K^+ ، Ca^{+2} ، Li^+ و Mg^{+2} است که SO_4^{2-} ، Cl^- و HCO_3^- آنیون‌های اصلی است. غلظت Na^+ و Cl^- به‌طور تقریبی چهار برابر آب دریاچه آزاد و غلظت سدیم در بخش جنوبی دریاچه اندکی بیشتر از غلظت آن در بخش شمالی دریاچه بوده‌است. این دریاچه از اواسط دهه ۸۰ شمسی شروع به خشک شدن کرد و امروزه در خطر خشک شدن کامل قرار دارد. بررسی تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۵، دریاچه ۸۸ درصد از مساحت خود را از دست

بالاترین سطح ارتفاعی تراس دریاچه‌ای در ارتفاع ۸۸ متری از سطح دریاچه قرار دارد و سن تراس‌های دریاچه‌ای در پایین‌ترین تراس، ۲۷۹۰۰ سال قبل و بالاترین آن سنی در حدود ۳۴۰۰۰ سال قبل را دارد (Kuzucuog Lu et al, 2010: 1124)

ماچلوس و همکاران (۲۰۰۰)، منحنی تغییرات سطح آب دریای «مرده» بین ۱۵ تا ۵۵ هزار سال قبل از جلگه «ماس ادا»^۱ را با استفاده از پادگانه‌های دریای «مرده» مورد مطالعه قرار دادند (Machlus et al, 2000: 137).

شرمن و همکاران (۲۰۰۰) و بارتو و همکاران (۱۹۹۹: ۹) تعیین سن‌ها از نمونه‌های آراگونیتی براساس اورانیوم ۲۳۴ و کربن ۱۴ از نمونه‌های آراگونیتی انجام داده‌اند.

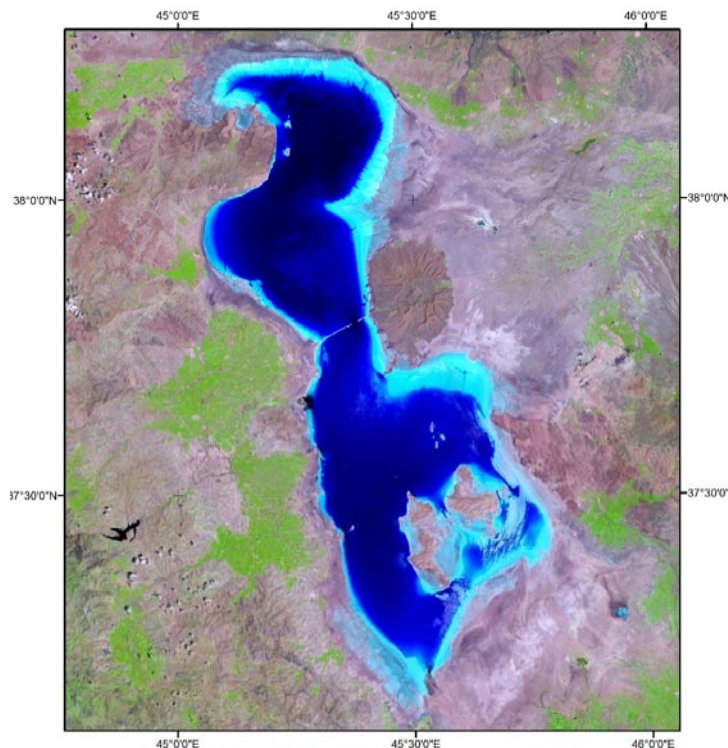
بوتزر^۲ مراحل گسترش دریاچه ارومیه را مربوط به دوره‌های بارانی کواترنری می‌دانستند. به نظر آنان دریاچه زمانی به حداکثر گسترش خود می‌رسیده که دوره‌های یخبندان به حداکثر توسعه خود می‌رسیدند (سیاهپوش، ۱۳۵۲: ۷). به نظر بوبک، علت توسعه دریاچه در دوره پلیوپلیستوسن و دوره‌های سرد پلیستوسن، پایین آمدن حرارت متوسط هوا به میزان ۵ درجه سانتی‌گراد کمتر از امروز بوده‌است (سیاهپوش، ۱۳۵۲: ۷). نظریه دیگر درباره پیدایش و گسترش دریاچه مبتنی بر این فرض است که در دوره‌های سرد پلیستوسن، بعد از گسترش دریاچه، سردی هوا موجب توقف گسترش گیاهان شده‌است و در نتیجه عوامل بازدارنده فرسایش یعنی گیاهان مانعی در برابر جریان‌های متناوب سیلابی ایجاد نمی‌کرده‌است. به نظر می‌رسد که دریاچه ارومیه همانند سایر دریاچه‌های داخلی ایران، به علت کاهش میزان تبخیر پدید آمده‌باشد. از دوره وورم به این طرف، بالآمدن میزان درجه حرارت به‌ویژه در فصل تابستان، موجب شده‌است که مقداری از آب دریاچه خشک شود و قشر

1-Massada

2-Butzer

کوچک ۱/۲ کیلومتری، وضعیت دریاچه را به بحران کشانیده است (AghaKouchak et al, 2015: 309) علاوه بر نمک، بسیاری از آلودگی‌ها شامل فلزات سمی سنگین مورد استفاده در صنعت و مواد سمی مورد استفاده در کشاورزی، به آب‌های سطحی و زیرسطحی مرتبط با دریاچه نفوذ کرده‌اند و در صورت خشک شدن دریاچه، بسیاری از مواد سمی هوازی خواهد شد و خطرات ناشی از بیماری‌های تنفسی را برای زیست‌بوم و مردم منطقه به وجود خواهد آورد (Hassanzadeh et al, 2012:131) (شکل ۱).

داده‌است. دلایل بسیاری برای خشک شدن دریاچه ذکر شده‌است؛ از جمله خشکسالی، احداث بزرگراه بر روی دریاچه و استفاده بی‌رویه از منابع آب حوضه آبریز دریاچه. نتایج تحقیق جدیدی که توسط چند محقق در آمریکای شمالی بر روی دریاچه ارومیه انجام گرفته‌است نشان می‌دهد که «خشکسالی»، فقط باعث کاهش ۵ درصدی بارش در حوضه آبریز دریاچه شده و عوامل انسانی شامل پروژه‌های جاه‌طلبانه توسعه اقتصادی- آبی به همراه ساخت بزرگراه ۱۵ کیلومتری بر روی دریاچه با دریاچه



شکل ۱: تصویر ماهواره‌ای دریاچه ارومیه (لندست، ۸، تیر ۱۳۹۶)

آب دریاچه ارومیه در کوتاه‌ترینی، پادگانۀ دریاچه مورد بررسی قرار گرفت. این پادگانها حاوی پوسته‌های صدف متعددی از جمله گاستروپود، استراکد، فرامین فرا و همچنین دوکفهای هستند. برای تعیین سن از گاستروپودهای (گونه هیدروبیا) موجود در رسوبات پادگانهای دریاچه‌ای ارومیه استفاده شد. با استفاده

روش‌شناسی

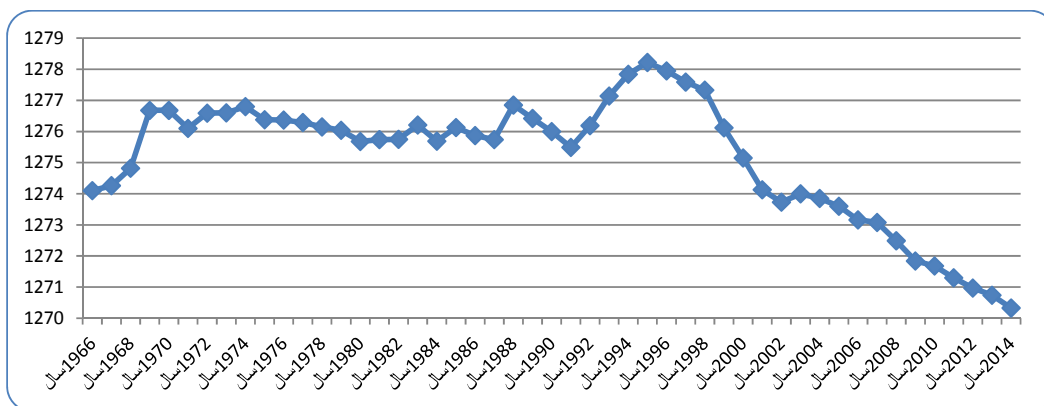
به منظور بررسی تأثیر تغییرات عناصر اقلیمی بر نوسانات کنونی سطح آب دریاچه ارومیه، داده‌های آماری هواشناسی سه ایستگاه ارومیه، تبریز و مهاباد در حدفصل سال‌های ۱۹۶۶ تا ۲۰۱۳ مورد بررسی قرار گرفت. با هدف بررسی و شناسایی نوسانات سطح

بحث

نوسانات کنونی سطح آب دریاچه ارومیه

متوسط ارتفاع سطح آب دریاچه در سال ۱۳۴۵ (۱۹۶۶ میلادی) معادل با ۱۲۷۴ متر بوده است که در سال ۱۳۷۳ (۱۹۹۵ میلادی) تا ۱۲۷۹ متر (۵ متر) افزایش یافته بود. در این سال اکثر تأسیسات موجود در سواحل دریاچه به زیر آب رفت. پس از این تاریخ، سطح آب دریاچه به شدت کاهش یافت. آمارها نشان می‌دهد از سال ۱۳۷۳، تاکنون تراز آب دریاچه ارومیه سیر نزولی داشته است، به طوری که در شهریور ۱۳۸۸ به سطح ۱۲۷۱/۴ متر از سطح آب‌های آزاد رسیده است که این میزان ۲/۷ متر کمتر از سطح تراز اکولوژیک، ۶/۹ متر کمتر از تراز حداکثری و ۴/۳ متر کمتر از متوسط درازمدت ۴۰ ساله آن است. البته با توجه به بارندگی‌های زمستان ۱۳۸۸ و بهار ۱۳۸۹ سطح آب دریاچه بالا آمده و به ارتفاع ۱۲۷۱/۹۲ متر افزایش یافت. تا سال ۱۳۹۲ نیز روند کاهش ادامه یافته و سطح آب دریاچه به ۱۲۷۰/۳۳ متر رسیده است. تراز کنونی آب دریاچه ارومیه ۱۲۷۰/۵۵ متر است (شکل ۲).

از الگ شیکر مرطوب، دانه‌بندی رسوبات انجام گرفت و از این طریق فسیل‌ها و میکرو فسیل‌ها از مواد و رسوبات چسبیده به آن‌ها پاک‌سازی شد. با استفاده از بیناکولار نسبت به برداشتن میکرو فسیل‌ها اقدام شد و برای انجام تعیین سن آماده‌سازی شد. در این پژوهش تعداد ۵ نمونه از میکرو فسیل‌های گاستروپود از پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه، به منظور تعیین سن به روش کربن ۱۴، به آزمایشگاه رادیو کربن دانشگاه پزنان^۱ لهستان ارسال شد و نتایج آن در تحلیل بررسی نوسانات دیرینه دریاچه ارومیه مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه نتایج حاصل از تعیین سن نوسانات دیرینه سطح آب دریاچه ارومیه با رویدادهای اقلیمی در پلیوستوسن پایانی مطابقت داده شد تا از طریق برقراری ارتباط زمانی بین رویداد نوسانات سطح آب دریاچه و تغییرات اقلیمی در پلیوستوسن پایانی، شرایط اقلیمی در این منطقه از کشور بازسازی شود. علاوه بر آن، به منظور تأیید نتایج این مطالعه و راستی‌آزمایی آن، نتایج به دست آمده از بررسی نوسانات دیرینه سطح آب دریاچه ارومیه با نتایج نوسانات سطح آب دریاچه «مرده» تطبیق داده شد.

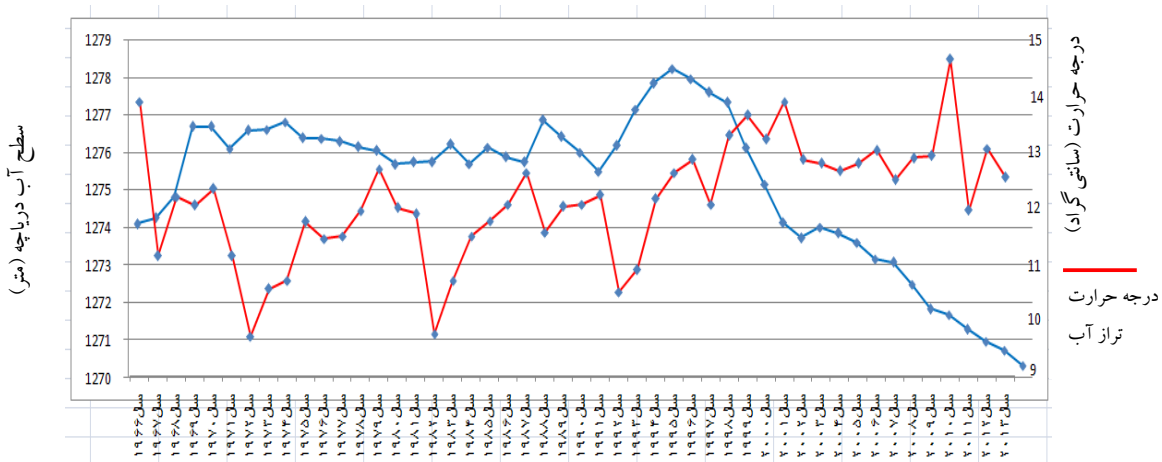


شکل ۲: نوسانات سطح تراز آب دریاچه ارومیه در سال‌های ۲۰۱۴-۱۹۶۶ (۱۳۴۵- تیر ۱۳۹۳) صالحی‌پور (۱۳۸۹: ۱۴۵)، مدت زمانی ۳۵ ساله (۱۹۷۶-۲۰۱۱) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست TM ETM MSS در شش دوره ۱۹۷۶، ۱۹۸۹، ۲۰۰۰، ۲۰۰۶، ۲۰۰۹، ۲۰۱۰، ۲۰۱۱ به پایش تغییرات خطوط ساحلی دریاچه ارومیه پرداخته است. با بررسی تصاویر ماهواره‌ای مشخص شد که وسعت دریاچه در شهریور سال ۱۳۹۲ حدود ۴۷۴۰ کیلومتر مربع نسبت به سال ۱۹۸۹ کاهش یافته است و مساحت آن به ۷۵۰ کیلومتر مربع رسیده است.

نوسانات کنونی سطح آب دریاچه ارومیه با ارتباط آن با تغییرات عناصر اقلیمی دما

میانگین درجه حرارت سالانه این سه ایستگاه در طول دوره آماری، ۱۲/۱۵ درجه سانتی‌گراد بوده‌است. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، بیشینه‌های حرارتی سالانه دما در ایستگاه‌های تبریز، ارومیه و مهاباد همیشه با کاهش شدید سطح آب دریاچه روبه‌رو بوده‌است. بیشینه دمایی سال ۱۹۶۶ (۱۳/۹ درجه سانتی‌گراد) با افزایشی معادل ۱/۷۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به میانگین درجه حرارت سالانه همراه بوده‌است که این امر با بیشترین افت سطح آب دریاچه ارومیه (۱۲۷۴/۱ متر) تا قبل از سال ۲۰۰۰ همراه بوده‌است. این دمای بیشینه در سال بعدی خود با کاهشی در حدود ۲/۷۵ درجه سانتی‌گرادی همراه بوده‌است که به تبع آن در سال بعد، سطح آب دریاچه ارومیه روند افزایشی به خود گرفته و در سال ۱۹۶۹ سطح آب دریاچه به ۱۲۷۶/۶۸ متر رسیده و در این سال نسبت به سال ۱۹۶۶ سطح آب دریاچه به میزان ۲/۵۸ متر افزایش یافته‌است. پس از این دوره تقریباً تا سال ۱۹۹۲ با وجود کاهش میانگین دمای این سه ایستگاه به ۹/۷ درجه سانتی‌گراد (۲/۴۵ درجه

سانتی‌گراد کاهش نسبت به میانگین سالانه) و سال ۱۹۸۲ با ۹/۷۵ درجه سانتی‌گراد (۲/۴ درجه سانتی‌گراد کاهش نسبت به میانگین سالانه)، سطح آب دریاچه ارومیه تغییرات قابل توجهی پیدا نمی‌کند؛ ولی در سال ۱۹۹۲ با کاهش دما به ۱۰/۵ درجه سانتی‌گراد (با ۱/۶۵ درجه سانتی‌گراد کاهش نسبت به میانگین سالانه) شروع روند افزایشی شدید سطح آب دریاچه مشاهده می‌شود که این کاهش در سال‌های بعد اثرات خود را نشان داده و با وجود افزایش درجه حرارت و رسیدن آن به ۱۲/۸۷ درجه سانتی‌گراد، افزایش سطح آب دریاچه را به همراه داشته‌است. این روند افزایشی سطح آب دریاچه ارومیه به گونه‌ای بوده‌است که در سال ۱۹۹۵ به ۱۲۷۸/۲۲ متر رسیده که بالاترین سطح آب دریاچه ارومیه در دوره آماری ثبت شده خود است؛ ولی با ادامه یافتن بالا رفتن میانگین درجه حرارت تا سال ۲۰۰۱ و رسیدن آن به ۱۳/۹ درجه سانتی‌گراد (۱/۷۵ درجه سانتی‌گراد افزایش نسبت به میانگین سالانه) روند کاهشی شدید سطح آب دریاچه آغاز شده و با ادامه یافتن روند دمای هوا در بالای میانگین دمای سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول دوره آماری تا سال ۲۰۱۳، روند کاهشی سطح آب دریاچه همچنان با شدت بیشتری ادامه می‌یابد.

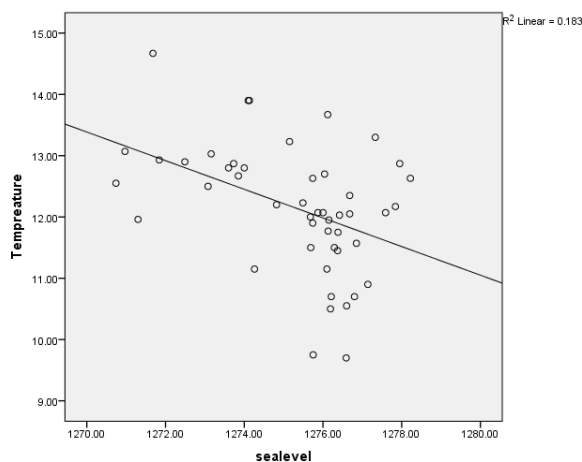


شکل ۳: رابطه بین میانگین سالانه دمای ایستگاه‌های تبریز، ارومیه و مهاباد و نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه (۱۹۶۶-۲۰۱۳)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

بالا را تأیید می‌کند، ولی رابطه معنی‌دار تا حدی ضعیف است.

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، روند تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه با درجه حرارت هوا همبستگی معکوسی را نشان می‌دهد که خود مبحث



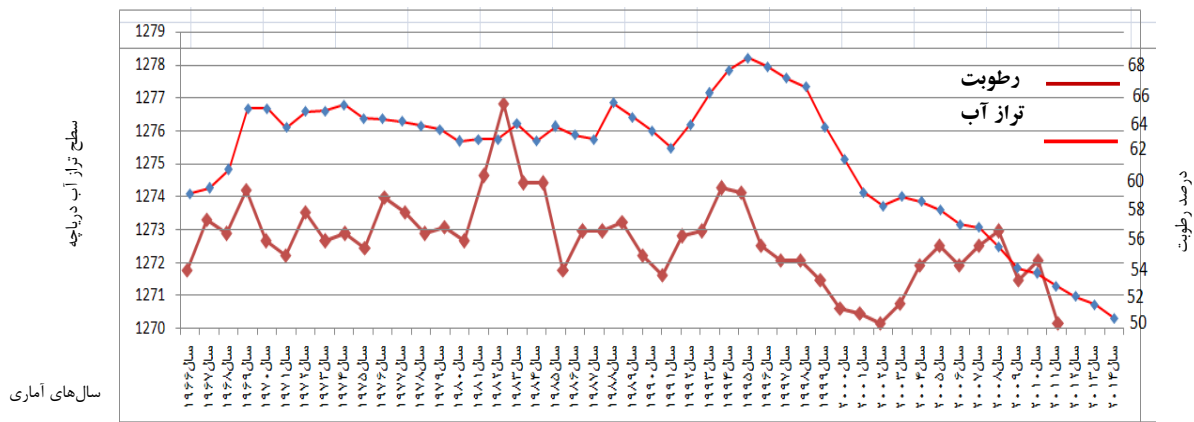
شکل ۴: همبستگی بین دما و تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه (۱۹۶۶-۲۰۱۳)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره‌های زمانی بین ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۲ نشان‌دهنده هم‌راستایی تغییرات سطح آب و درصد رطوبت است. از سال ۱۹۹۱ تا سال ۱۹۹۳ درصد رطوبت از ۵۳/۳۳ درصد به ۵۹/۶۷ درصد افزایش می‌یابد. هم‌زمان سطح آب دریاچه نیز بالا می‌آید. هرچند روند افزایش درصد رطوبت بیشترین تأثیر خود را یک سال بعد بر روی دریاچه می‌گذارد، ولی کاهش سطح آب دریاچه هم‌زمان با کاهش درصد رطوبت نسبی از سال ۱۹۹۳، از ۵۹/۶۷ درصد به ۵۰/۳۳ درصد در سال ۲۰۰۱ ادامه پیدا می‌کند. از سال ۲۰۰۱ به بعد با وجود افزایش میزان درصد رطوبت نسبی تا سال ۲۰۰۸، همچنان سطح آب دریاچه کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده تأثیرگذاری بسیار زیاد سایر عوامل اقلیمی و انسانی بر روی نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه است

رطوبت نسبی

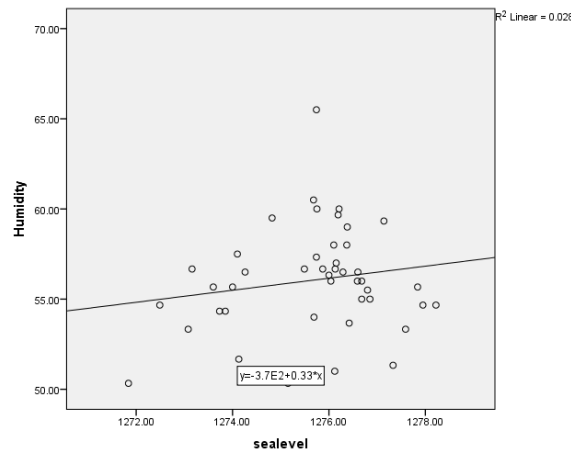
همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، می‌توان تا حدودی رابطه مشخصی را بین درصد رطوبت با نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه برقرار کرد. البته درصد رطوبت تابعی از میزان بارش و دماست. در سال ۱۹۶۶ که یکی از بالاترین دماها را در بین دوره‌های آماری با ۱۳/۹ به خود اختصاص داده، میزان رطوبت کاهش یافته و به تبع سطح آب دریاچه (۱/۱۲۷۴ متر) نیز کاهش یافته است؛ ولی به تدریج بعد از این دوره، در درصد رطوبت در سال‌های ۱۹۶۷ تا ۱۹۹۱ نوساناتی مشاهده شده است؛ ولی با وجود این، تغییر قابل توجهی در نوسانات سطح آب دریاچه مشاهده نمی‌شود. حتی در سال ۱۹۸۲ که درصد رطوبت هوا به ۶۰/۵ درصد (بالاترین درصد رطوبت ثبت شده در دوره آماری) می‌رسد، تغییر قابل توجهی در سطح آب دریاچه مشخص نمی‌شود. افزایش و کاهش درصد رطوبت



شکل ۵: ارتباط بین تغییرات درصد رطوبت و نوسانات سالیانه سطح آب دریاچه ارومیه (۱۹۹۶-۲۰۱۴)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

همچنین با بررسی شکل ۶ مشاهده می‌شود که سطح آب دریاچه با تغییرات میزان رطوبت وجود همبستگی مثبت و معناداری هرچند کم بین تغییرات دارد.



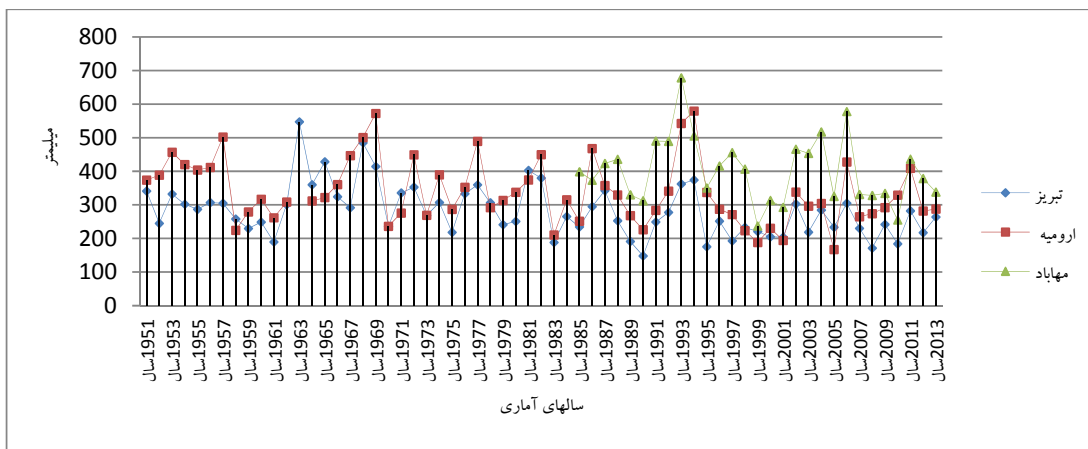
شکل ۶: همبستگی بین رطوبت و تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه (۱۹۶۶-۲۰۱۳)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

مطالعه مشاهده شده است. بعد از این دوره، میزان بارش در سال ۱۹۶۳ با ۵۴۳ میلی‌متر (۲۰۱ میلی‌متر افزایش نسبت به میانگین سالانه) بیشترین میزان بارشی است که در دوره آماری ثبت شده است. سال ۱۹۸۳ با ۱۹۹/۴ میلی‌متر (۱۴۲/۶ میلی‌متر کاهش نسبت به میانگین سالانه) کم‌بارش‌ترین سال دوره آماری موردنظر است.

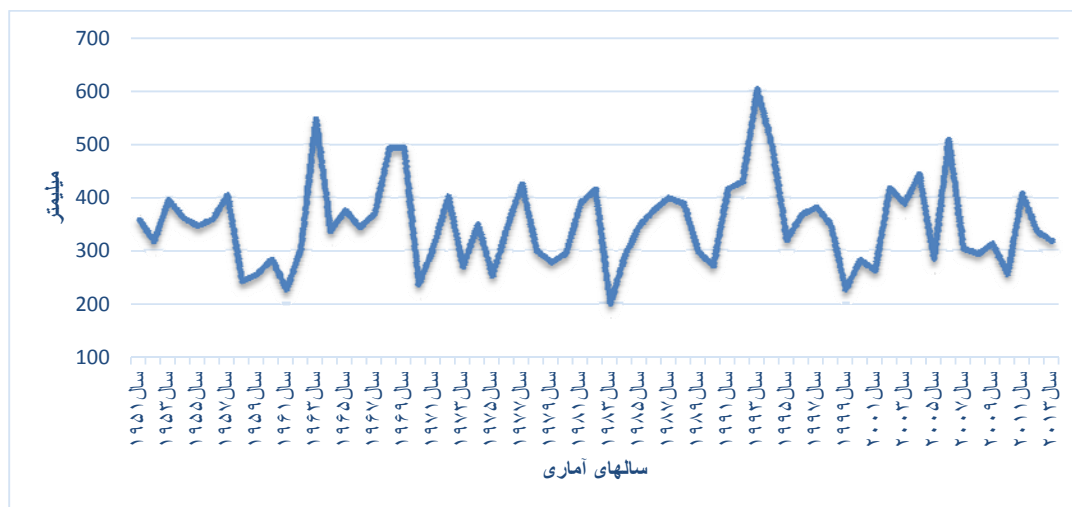
بارش

میانگین بارش در دوره آماری مورد مطالعه، ۳۴۹ میلی‌متر است. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، بیشترین میزان بارش در طول دوره آماری مربوط به سال ۱۹۹۳ است که در این سال ۶۰۳ میلی‌متر بارش (۲۶۱ میلی‌متر افزایش نسبت به میانگین سالانه) بالاترین پیک بارشی دوره مورد



شکل ۷: تغییرات بارش سالانه در ایستگاه‌های تبریز، ارومیه و مهاباد

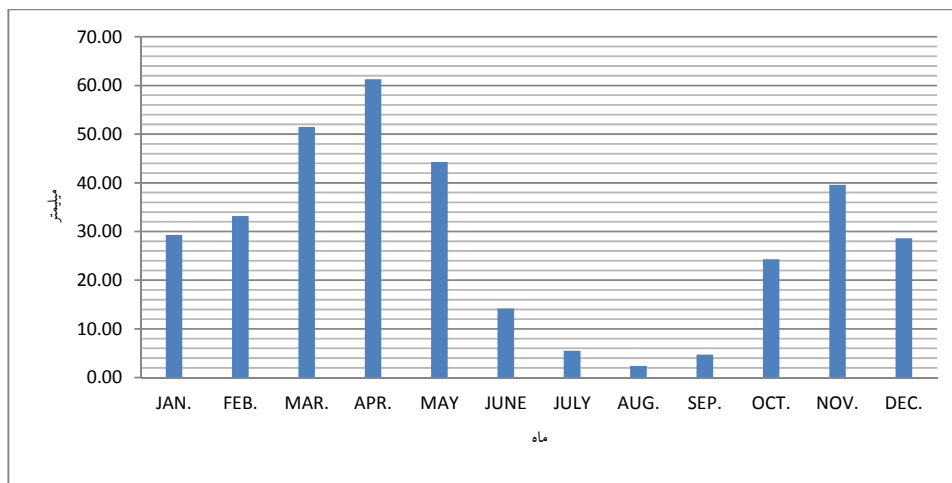
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶



شکل ۸: میانگین تغییرات سالانه بارش در ایستگاه‌های تبریز، ارومیه و مهاباد

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

با توجه به شکل ۹، بیشینه بارش مربوط به ماه آوریل با $۶۱/۳$ میلی‌متر و کمینه بارش در آگوست، $۲/۴$ میلی‌متر است.

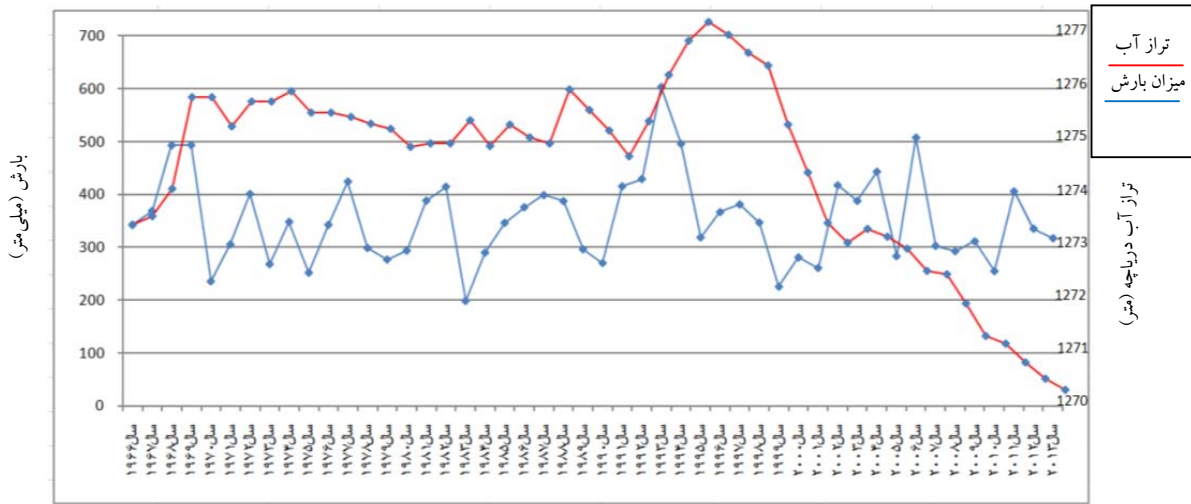


شکل ۹: تغییرات میزان بارش ماهانه سه ایستگاه تبریز، ارومیه و مهاباد

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

(۱۲۷۳،۸) رسیده که نسبت به سال ۱۹۹۵ حدود ۲/۴ متر کاهش داشته است. دوره دوم که حداقل سالهای ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ را دربر می گیرد، هرچند افزایش میزان بارش در حوضه آبریز دریاچه مشاهده می شود، ولی سطح آب دریاچه همچنان به روند کاهشی خود ادامه می دهد و در این دوره رفتار سطح آب دریاچه مستقل از بارش عمل می کند و همچنان به روند کاهشی خود ادامه می دهد؛ به صورتی که در تیر ۱۳۹۳ (جولای ۲۰۱۴) تراز آب دریاچه به ۱۲۷۱/۱ متر می رسد که نسبت به سال ۱۹۹۵ سطح آب حدود ۷،۸ متر کاهش یافته است و باعث شده منحنی های بارش و تراز سطح آب دریاچه هر ساله بیش از پیش از هم فاصله بگیرند. این امر نشان دهنده این است که علاوه بر عوامل اقلیمی، سایر عوامل به خصوص فعالیت های انسانی، در این دوره بر کاهش سطح آب دریاچه و بر هم خوردن رژیم آبی آن تأثیر گذاشته است.

رابطه بین میانگین سالانه بارش ایستگاه های تبریز، ارومیه و مهاباد و نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه با توجه به شکل ۱۰ رابطه بین بارش و نوسانات سطح آب دریاچه را می توان به دو بازه زمانی تقسیم کرد. دوره اول از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۱ است. در این دوره رابطه بارش و نوسانات سطح آب دریاچه مستقیم است و با افزایش میزان بارش سطح آب دریاچه نیز افزایش می یابد. در این دوره در سال های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۴ بیشترین میزان بارش دریافتی حوضه مشاهده می شود که اوج بارش های حوضه در سال های ۱۹۹۳ با ۵۲۰ میلی متر و ۱۹۹۴ با ۵۰۰ میلی متر روی داده است. با مقایسه میزان بارش و نوسان سطح آب، مشاهده می شود که با افزایش میزان بارش، سطح آب دریاچه در نتیجه بارش های بیشینه متوالی عکس العمل نشان داده و تراز به ۱۲۷۹ متر رسیده بود. پس از آن با کاهش شدید میزان بارش از سال ۱۹۹۴ تا سال ۲۰۰۱ (۲۳۰ میلی متر) سطح آب دریاچه نیز به تبع آن کاهش شدیدی داشته است و به تراز

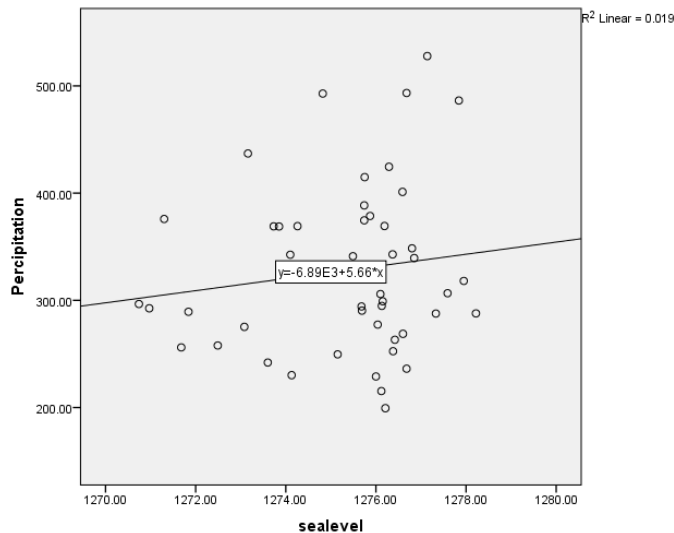


شکل ۱۰: رابطه بین میانگین سالانه بارش ایستگاه‌های تبریز، ارومیه و مهاباد و نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه (۱۹۶۶-۲۰۱۳)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

همبستگی مثبت وجود دارد و معنی دار است.

با توجه به شکل ۱۱ مشاهده می‌شود که در طول دوره آماری میزان بارش و نوسانات سطح آب دریاچه



شکل ۱۱: همبستگی بین بارش و تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه (۱۹۶۶-۲۰۱۳)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

پادگانه‌های دریاچه‌ای به ترتیب در بخش جنوبی، میانی و شمالی مشاهده می‌شود. از لحاظ ارتفاع، کم‌ارتفاع‌ترین پادگانه در «جزیره اسلامی» (ارتفاع ۱۲۹۷ متر از سطح دریاهای آزاد) و

نوسانات دیرینه سطح آب دریاچه ارومیه
در بررسی‌های میدانی تعداد ۲۴ پادگانه دریاچه‌ای در رسوبات کواترنری حاشیه دریاچه ارومیه مورد شناسایی و مطالعه قرار گرفت. بیشترین پراکندگی

از سطح دریاهای آزاد (۶ پادگانه) و بیش از ۱۳۶۰ متر از سطح دریاهای آزاد (۳ پادگانه) است (شکل ۱۲). همه پادگانه‌ها را می‌توان از لحاظ ارتفاعی در سطوح ارتفاعی زیر، با در نظر گرفتن ارتفاع کنونی سطح آب دریاچه (۱۲۷۰ متر) طبقه‌بندی کرد (جدول ۱).

مرتفع‌ترین پادگانه «جنوب ملکان» (در ارتفاع ۱۳۶۶ متر از سطح دریاهای آزاد) قرار دارد و اختلاف ارتفاعی بین این پادگانه‌ها بیش از ۷۰ متر است. بیشترین تراکم پادگانه‌ها به ترتیب در ارتفاع ۱۳۲۰-۱۳۴۰ از سطح دریاهای آزاد با ۱۰ پادگانه، ۱۳۲۰-۱۲۹۷ متر

جدول ۱: سطح‌بندی ارتفاعی پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه با توجه به ارتفاع از سطح کنونی دریاچه (۱۲۷۰)

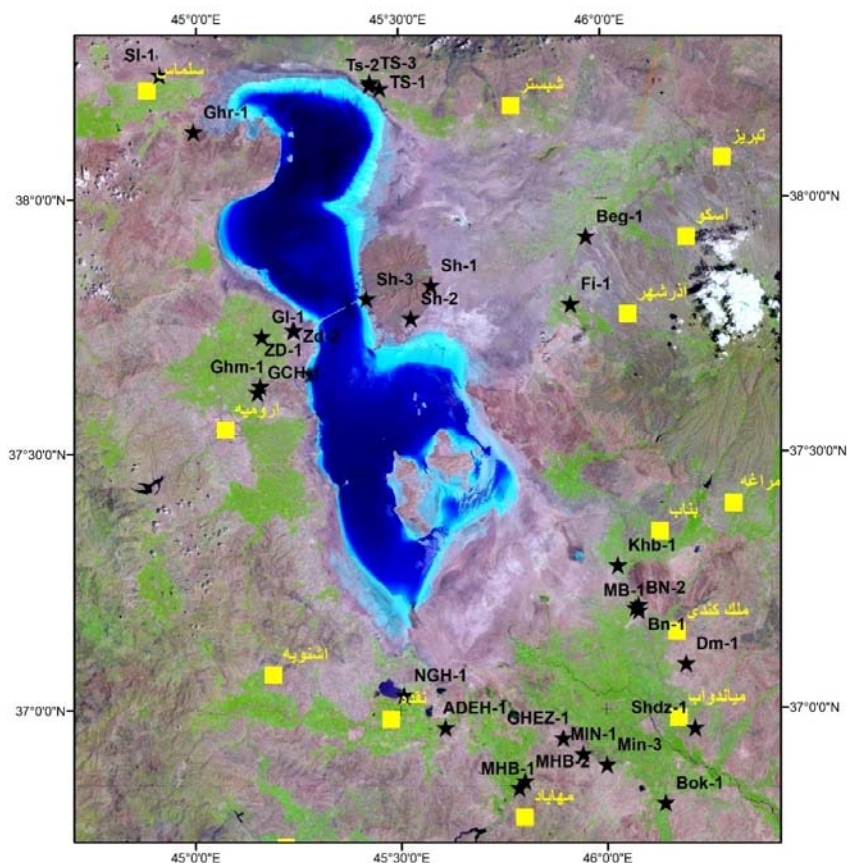
نام پادگانه‌ها	سطوح ارتفاع پادگانه‌ها از سطح کنونی دریاچه ارومیه به متر	
جزیره اسلامی ۱	۳۰-۲۰	۱
خانه برق ۱	۳۰-۴۰	۲
جزیره اسلامی ۳، ملکان ۳، ملکان ۶، ملکان ۵، ملکان ۴، گل‌مانخانه	۴۰-۵۰	۳
بوکان ۱، قز قلعه ۱، میاندوآب ۳، قره ضیا، بیگلو ۱، نقده ۱، ملکان ۳، میاندوآب ۱	۵۰-۶۰	۴
جزیره اسلامی ۲، کچه‌باشی، مهاباد ۱، شاهیندژ ۱، ملکان ۳	۶۰-۷۰	۵
زنبیل داعی ۱	۷۰-۸۰	۶
سلماس ۱	۸۰-۹۰	۷
تسوج ۳، دمیچی ۱	۹۰-۱۰۰	۸

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه در پلیوستوسن پایانی

سن را در بین پادگانه‌های تعیین‌سن‌شده ارومیه دارد. با بالا رفتن ارتفاع پادگانه‌ها سن آن‌ها نیز بالاتر می‌رود. پادگانه دریاچه‌ای نقده در ارتفاع ۱۳۲۲/۵ متر از سطح دریاهای آزاد شکل گرفته بود. همان‌طور که در بحث مربوط به رسوب‌شناسی پادگانه‌های دریاچه‌ای اشاره شد، این پادگانه یکی از مهم‌ترین پادگانه‌های دریاچه‌ای منطقه مورد مطالعه از لحاظ رسوب‌شناسی و فسیل‌شناسی است. با توجه به تعیین سن صورت گرفته، این پادگانه مربوط به ۳۸۵۲۰ سال گذشته است. در مقایسه با سن پادگانه جزیره اسلامی ۳، سن پادگانه نقده تقریباً ۲۶۷۰ سال قدیمی‌تر است. ارتفاع یافتن پادگانه با افزایش سن آن‌ها همبستگی مستقیم دارد.

از بین پادگانه‌های دریاچه‌ای تعداد پنج پادگانه تعیین سن مطلق شد. علاوه بر تعیین سن این پادگانه‌ها از داده تعیین سن پادگانه کچه‌باشی نیز که توسط صبوری در سال ۱۳۸۹ انجام گرفته بود، استفاده شد. نتیجه تعیین سن صورت‌گرفته نشان می‌دهد، سن پادگانه‌ها مربوط به دوره یخچالی وورم است. پایین‌ترین ارتفاع پادگانه دریاچه‌ای ارومیه که در این تحقیق تعیین سن شد، پادگانه دریاچه‌ای جزیره اسلامی ۳ (Sh-3) بوده که در ارتفاع ۱۳۱۳ متری از سطح دریاهای آزاد قرار گرفته است. سن این پادگانه مربوط به ۳۵۸۵۰ سال قبل است و از این رو پایین‌ترین



شکل ۱۲: پراکندگی پادگان‌های دریاچه‌ای ارومیه (ستاره‌ها نشان‌دهنده محل پادگان‌های دریاچه‌ای است) تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

پادگان‌های که در ارتفاع بالاتری نسبت به پادگان‌ه نقده قرار دارد، پادگان‌ه «زن‌بیل‌داغی» است که ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۴۲/۷ متر و در ارتفاع ۷۳ متری از سطح کنونی دریاچه ارومیه قرار دارد و ارتفاع آن نسبت به پادگان‌ه کچه‌باشی تقریباً ۸ متر بیشتر است. این پادگان‌ه را می‌توان معادل پادگان‌های دانست که شواپتیز در سال ۱۹۷۵ شناسایی کرده‌بود. سن این پادگان‌ه ۴۱۰۷۰ سال است و در حدود ۵۰۰۰ سال جدیدتر از پادگان‌ه کچه‌باشی است. این تعیین سن می‌تواند نشان‌دهنده این امر باشد که روند افزایش ارتفاع پادگان‌ها همیشه با افزایش سن پادگان‌ها

پادگان‌های که در ارتفاع بالاتر نسبت به پادگان‌ه نقده قرار داشته، پادگان‌ه «کچه‌باشی» است. ارتفاع این پادگان‌ه ۱۳۳۴/۲ متر از سطح دریا و در ارتفاع ۶۴ متری از سطح کنونی دریاچه ارومیه قرار دارد. برش کچه‌باشی را صبوری و همکاران (۱۳۸۹) مورد مطالعه قرار داده و سن آن را با استفاده از کربن ۱۴، ۴۶۰۰۰ سال برآورد کرده‌است.

در مقایسه با پادگان‌ه «نقده»، این پادگان‌ه از لحاظ ارتفاع تقریباً ۱۶ متر بالاتر از پادگان‌ه دریاچه‌ای نقده قرار گرفته‌است و سن این پادگان‌ه نیز نسبت به پادگان‌ه دریاچه‌ای نقده، ۷۴۸۰ سال قدیمی‌تر است.

مراحل با جنگلهایی با گونه‌های نسبتاً حساس همانند ماته^۱ و پاپیتال^۲ بسیار گسترده‌تر از شرایط کنونی در اروپا بوده‌است. این دوره زمانی با ساخته شدن یخ در عرض‌های جغرافیایی شمالی هم‌زمان بوده که در شاخص‌های ایزوتوپی ثبت شده‌است.

سرد شدن ناگهانی در ۱۱۰ تا ۱۰۵۰۰۰ سال قبل

رخداد سرد شدن سریع و آفت سطح آب دریا در حدود ۱۱۰ هزار سال گذشته رخ داد و برای هزاران سال ادامه یافت. در «گرند پیل» در مرکز فرانسه، درختان کاج در این زمان وجود داشته‌است (بیالیو و ریل، ۱۹۹۲). پایین افتادن سطح آب دریا در این دوره احتمالاً نشان‌دهنده افزایش شدید حجم یخ‌های جهان است و در این زمان صفحه یخ اسکاندیناوی تشکیل می‌شد (Van Andel, T.H., Tzedakis, 1996: 485)

یک دوره سرد شدید بین ۵۸ تا ۷۵ هزار سال قبل در طول یک مرحله به شدت سرد بین ۵۸ تا ۷۵ هزار سال قبل، یک دوره سرد شدید و خشک در ۶۵ هزار سال قبل وجود داشته‌است. ون اندل و زداکیس (۱۹۹۶) معتقدند سطح آب دریاها در این دوره حدود ۷۵ متر پایین‌تر از سطح کنونی بود. یک توده یخ بزرگ بر روی فونا اسکاندیناوی و جنگل کاج در جنوب اروپا و ترکیه مستقر شد. تأثیر این دوره یخچالی در شمال غرب ایران همراه با کاهش دما و تبخیر و همچنین افزایش میزان بارش بوده‌است که می‌توانسته منجر به بالا آمدن سطح آب دریاچه ارومیه و شکل‌گیری پادگانه‌های دریاچه‌ای در این منطقه باشد. هرچند از لحاظ زمانی این دوره با سن پادگانه سلماس در ۵۴۱۵۰ سال گذشته هم‌زمان نیست؛ ولی به‌واسطه نزدیکی زمانی این دوره با سن پادگانه

ارتباط مستقیمی ندارد و با وجود افزایش ارتفاع نسبت به پادگانه کچه‌باشی سن کمتری دارد.

پادگانه «سلماس» در ارتفاع ۱۳۵۴/۶ متری از سطح آب دریاچه آزاد و ۸۴ متر بالاتر از سطح کنونی دریاچه ارومیه قرار داشته‌است. سن این پادگانه مربوط به ۵۴۱۵۰ سال قبل است. ارتفاع این پادگانه تقریباً ۱۰/۷ متر بالاتر از پادگانه دریاچه‌ای زنبیل‌داغی قرار دارد و سن آن در حدود ۱۳۰۸۰ سال قدیمی‌تر از آن است. بالاترین پادگانه شناسایی شده دریاچه ارومیه در ارتفاع ۱۳۶۶/۶ از سطح دریاچه آزاد و ۹۶ متر بالاتر از سطح کنونی دریاچه و نزدیک به روستای «دمیرچی» (DM-1) در جنوب شرقی ملکان قرار دارد. با وجود این، سن این پادگانه ۵۲۲۷۰ سال قبل و جدیدتر از پادگانه سلماس بوده و ارتفاع آن در حدود ۱,۳/۵ متر بالاتر از پادگانه سلماس است. سطح ارتفاعی این پادگانه را می‌توان معادل پادگانه ارتفاعی ۸۰ تا ۸۵ متری دریاچه ارومیه دانست که شواپتزر (۱۹۷۵) به آن اشاره کرده‌بود (جدول ۱ و شکل ۱۳).

تحلیل تحولات اقلیمی جهان در پلیوستوسن پایانی و تأثیر آن بر نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه ارتباط نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه و تغییرات اقلیمی در پلیوستوسن پایانی در اروپا

دانشمندان (کوکال و همکاران، ۱۹۹۷؛ بیالیو و ریل، ۱۹۹۲؛ ون اندل و زداکیس، ۱۹۹۶؛ هیجزر و ایزاین، ۱۹۹۷) به بررسی شرایط اقلیمی در پلیوستوسن پایانی پرداخته‌اند و معتقدند دوره‌های یخبندان و بین یخبندان متعددی از ۱۱۵ هزار سال گذشته تاکنون در اروپا شکل گرفته‌است و بخشی از این تغییرات با دوره‌های هنریچ هم‌خوانی دارد.

از ۱۱۵ هزار سال گذشته تاکنون یک‌صد سال تابستان‌های سردتر و مرطوب‌تر نسبت به امروز وجود داشته‌است؛ ولی زمستان‌های احتمالاً معتدل‌تر از

1-Ilex
2-Hedera

میزان ۸ متر را می‌توان با اندکی اختلاف با شرایط اقلیمی در شمال آتلانتیک در ارتباط دانست.

۳۹ تا ۳۶ هزار سال قبل

در این دوره میزان سردی هوا نسبت به دوره‌های سرد قبلی و بعدی خود و بین بازه زمانی ۲۶۰۰۰ تا ۵۸۰۰۰ سال قبل معتدل‌ترین شرایط اقلیمی را دارند (وناندل و زاداکیس، ۱۹۹۶)؛ از این رو تأثیراتی که می‌توانسته بر سطح آب دریاچه بگذارد، به تبع کمتر بوده‌است و شکل‌گیری این پادگان‌های دریاچه ارومیه را در ارتفاعی پایین‌تر نسبت به پادگان‌های پیشین خود توجیه می‌کند.

پادگان‌های دریاچه‌ای نرده با سن ۳۸۵۲۰ سال با ۱۳۲۰ متر ارتفاع از سطح دریاهای آزاد (۴۹,۲ متر بالاتر از سطح کنونی دریاچه) در این دوره زمانی قرار دارد و بالابودن سطح آب دریاچه را در رابطه با شرایط اقلیمی آن زمان نسبت به شرایط کنونی توجیه می‌کند.

پادگان‌های جزیره اسلامی ۳ با سنی برابر با ۳۵۸۵۰ سال و در ارتفاع ۱۳۱۵,۳ متر از سطح دریاهای آزاد (۴۵ متر بالاتر از سطح کنونی آب دریاچه) با پایان دوره سرد (۳۶ هزار سال قبل) هم‌زمان بوده و شواهد ثبت‌شده از آن نشان‌دهنده پایان یک دوره سرد و هم‌زمان با آن کاهش سطح آب دریاچه رخ داده‌است.

ارتباط بین وقایع هنریچ و نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه

با توجه به تعیین سن‌های صورت‌گرفته بر روی پادگان‌های دریاچه‌ای ارومیه، تعدادی از این پادگان‌ها با اختلاف کمی با بعضی از وقایع هنریچ هم‌زمان هستند. پادگان‌های «جزیره اسلامی ۳» با سن ۳۵۸۵۰ سال با اختلاف ۵۰ سال با شواهدی که باند و

دریاچه‌ای سلماس و بالآمدن سطح آب دریاچه ارومیه در این فاز یخچالی به‌شدت سرد، می‌توان شرایط سرد این دوره بر تغییر شرایط اقلیمی در این منطقه از کشور تأثیر گذاشته باشد. این شرایط اقلیمی می‌تواند با کاهش درجه حرارت و تبخیر و همچنین افزایش میزان بارش همراه بوده باشد. این شرایط منجر به بالا آمدن سطح آب دریاچه ارومیه و شکل‌گرفتن پادگان‌های دریاچه‌ای باشد.

دوره هنریچ ۵۲ تا ۴۵ هزار سال قبل

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، پادگان‌های دریاچه‌ای «کچه‌باشی» در ارتفاع ۱۳۳۴,۲ متر (۶۴ متر بالاتر از سطح آب دریاچه) دارای سنی معادل ۴۶۰۰۰ سال است که با توجه به طبقه‌بندی دوره‌های سرد هنریچ در دوره هنریچ ۵ قرار دارد.

۴۱ تا ۳۹ هزار سال قبل

هیجزر و ایزاین (۱۹۹۷) شرایط عمومی اقلیم و اکولوژیکی برای شمال‌غربی و مرکز اروپا را برای این فاز براساس رده‌بندی شاخصه‌های شامل فسیل گیاهان، حشرات و اشکال پرمافروست جمع‌بندی کرد. هیجزر و ایزاین چنین فرض می‌کنند که در این دوره، در جنوب صفحه یخی بزرگ، شرایط خشک با پوشش گیاهی تنک‌تر و با فعالیت صفحات ماسه‌ای بادی هم‌زمان است. این دوره زمانی در شمال آتلانتیک با یکی از سردترین و خشک‌ترین مراحل، ۱۰۰ هزار سال گذشته در اروپای غربی همراه بوده‌است. بالا آمدن سطح آب دریاچه ارومیه شکل‌گیری پادگان‌های «زنبیل‌داغی» در ارتفاع ۱۳۴۲/۷ متری از سطح دریاهای آزاد (۴۱۰۷۰ سال قبل) و افزایش ارتفاع این پادگان نسبت به پادگان‌های «کچه‌باشی» با ارتفاع ۱۳۳۴ متر از سطح دریاهای آزاد در ۴۶۰۰۰ سال قبل به

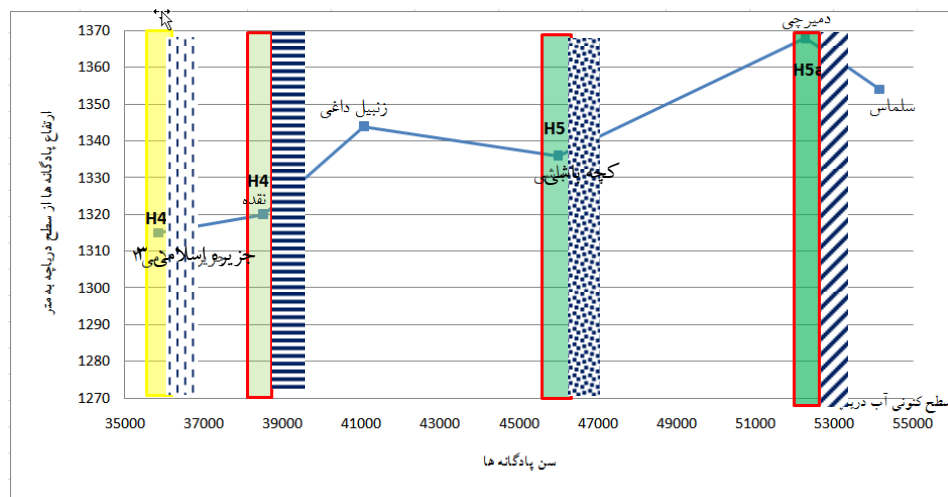
۵a نیز هم‌زمانی نشان می‌دهد (شکل ۱۳). تاکنون شواهدی از وقایع هنریچ ۴، ۵ و ۵a در ایران گزارش نشده‌است و نتایج حاصل از این تحقیق و هم‌زمانی آن با تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه را می‌توان به‌عنوان اولین شواهد این وقایع در ایران دانست که می‌تواند به شاخصی در تحلیل این وقایع و تأثیر آن در تحولات اقلیمی ایران در ۳۵ تا ۵۴ هزار سال قبل مورد استفاده قرار گیرد (جدول ۲).

همکاران (۱۹۹۷) در رابطه با رویداد هنریچ ۴ به‌دست آورده‌اند، از لحاظ زمانی هم‌خوانی دارد. پادگانه «نقده» نیز در ۳۸۵۲۰ سال قبل، با یافته‌های ون کریدل و همکاران (۲۰۰۰) مطابقت دارد. پادگانه «کچه‌باشی» از لحاظ سنی با توجه به شواهد ون کریدل و همکاران (۲۰۰۰) با دوره هنریچ ۵ با اختلاف کمی هم‌زمان است. پادگانه دریاچه‌ای «دمیرچی»، از لحاظ زمانی با اختلاف کمی (۵۰ سال) با مطالعات ون کریدل و همکاران (۲۰۰۰) در رابطه با دوره هنریچ

جدول ۲: تعیین سن دوره‌های سرد هنریچ و ارتباط آن با پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه

پادگانه‌های ارومیه	همینگ (۲۰۰۴)	ون کریولد و همکاران (۲۰۰۰)	ویدال و همکاران (۱۹۹۹)	باند و لوتی (۱۹۹۵)	باند و همکاران (۱۹۹۷)	باند و همکاران، (۱۹۹۳)	دوره‌های یانگر دریاس و هنریچ
	۱۲۰۰۰					۱۲۰۰۰	یانگر دریاس یا هنریچ صفر
	۱۶۸۰۰		۱۴۰۰۰			۱۶۸۰۰	هنریچ یک
	۲۴۰۰۰	۲۴/۵ تا ۲۳/۵	۲۲۰۰۰	۲۳۰۰۰		۲۴۱۰۰۰	هنریچ دو
	۳۱۰۰۰	۳۰ تا ۲۹/۲		۲۹۰۰۰		۳۰۱۰۰	هنریچ سه
«جزیره اسلامی ۳» (۳۵۸۵۰ سال قبل و هم‌زمان با باند و همکاران، ۱۹۹۷) و «نقده» (۳۸۵۲۰) ون کریدل و همکاران، (۲۰۰۰)	۳۸۰۰۰	۳۹/۴ تا ۳۸/۴۵	۳۵۰۰۰	۳۷۰۰۰	۳۵۹۰۰		هنریچ چهار
«کچه‌باشی» (۴۶۰۰۰ سال قبل و هم‌زمان با ون کریدل و همکاران، ۲۰۰۰)	۴۵۰۰۰	۴۵/۷۵ تا ۴۵/۴۵	۴۵۰۰۰		۵۰۰۰۰		هنریچ پنج
«دمیرچی» (۵۲۲۷۰ سال قبل و هم‌زمان با ون کریدل و همکاران، ۲۰۰۰)		۵۲ تا ۵۲/۲۳					هنریچ ۵a
	۶۰۰۰۰				۶۶۰۰۰		هنریچ شش

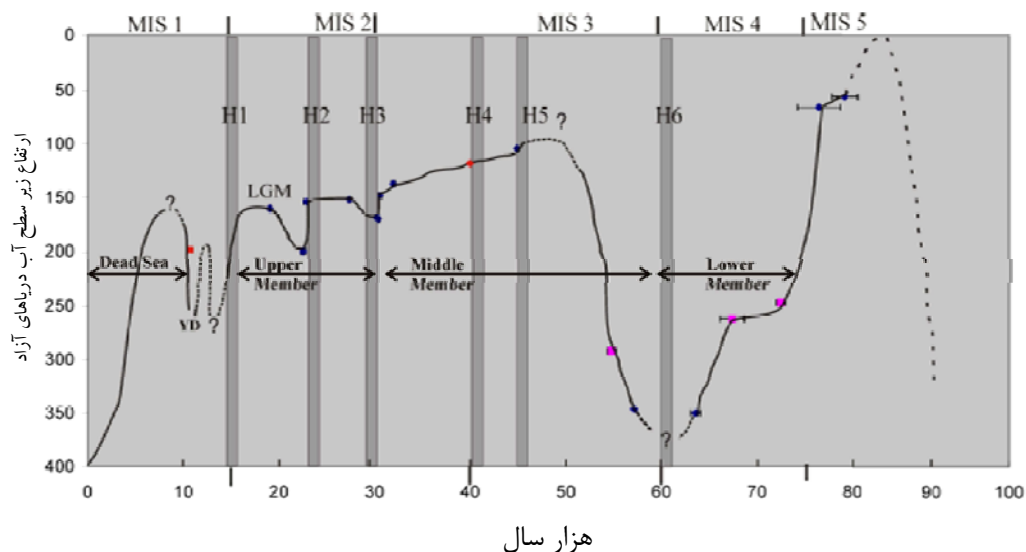
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶



شکل ۱۳: هم‌زمانی سن پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه با وقایع هنریچ
 مأخذ: (وقایع هنریچ، کادر قرمز، ون کریدل و همکاران، ۲۰۰۰؛ کادر زرد، باند و همکاران، ۱۹۹۷)

دورهٔ هنریچ ۵ (حدود ۴۶ هزار سال قبل)، مساعدتر از دورهٔ هنریچ ۴ (حدود ۴۰ تا ۴۱ هزار سال قبل) بوده‌است. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، پادگانهٔ «جزیرهٔ اسلامی ۳» با ارتفاع ۱۳۱۳ متر از سطح دریاهای آزاد و «نقده» با ارتفاع ۱۳۲۲ متر از سطح دریاهای آزاد در دورهٔ سرد هنریچ ۴، از لحاظ ارتفاعی از دورهٔ هنریچ ۵ (پادگانه‌های کچه‌باشلی با ۱۳۳۴ متر از سطح دریاهای آزاد) ارتفاع کمتری دارد. این اختلاف ارتفاع با یافته‌های کمپ (۲۰۱۱) در دریای مرده همخوانی دارد و می‌تواند تأییدی بر صحت نتایج به‌دست‌آمده از تعیین سن پادگانه‌های دریاچه‌ای در دریاچهٔ ارومیه باشد (شکل ۱۴).

نوسانات سطح آب دریاچهٔ ارومیه و مرده در پلیوستوسن پایانی به‌منظور بررسی و راستی‌آزمایی نتایج به‌دست‌آمده از نوسانات سطح آب دریاچهٔ ارومیه با تغییرات اقلیمی در پلیوستوسن پایانی و دوره‌های هنریچ، نوسان سطح آب دریاچهٔ مرده در پلیوستوسن پایانی مورد مقایسه قرار گرفت. در بررسی‌های کمپ (۲۰۱۱) که بر روی پادگانه‌های دریاچه‌ای دریای مرده انجام گرفته‌بود، دو پادگانه با دوره‌های سرد هنریچ ۴ و ۵ هم‌زمانی دارد. پادگانهٔ دریاچه‌ای که در دورهٔ هنریچ ۵ شناسایی شده‌است، از لحاظ ارتفاعی حدود ۱۰ متر بالاتر از پادگانهٔ دورهٔ هنریچ ۴ قرار دارد؛ از این‌رو نشان می‌دهد که شرایط اقلیمی برای افزایش سطح آب دریاچه در



شکل ۱۴: بازسازی منحنی تغییرات سطح آب دریای مرده در طول ۸۰ هزار سال با توجه به تعیین سن اورانیوم توریم (نقاط آبی)، OSL (نقاط قرمز)، نقاط صورتی از استراماتولیت‌های دریاچه از ساحل غربی (لیسکر و همکاران، ۲۰۰۹)، رویدادهای هنریچ (H) با توجه به همینگ (۲۰۰۴)، ویدال و همکاران، (۱۹۹۹) و (GISP2).

سانتی‌گراد دما در این منطقه نسبت به شرایط کنونی است. در همین دوره در منطقه رومانی^۳ شواهد منتسب به هنریچ ۵ در ۴۶ هزار سال قبل نشان‌دهنده افزایش ۹۰ میلی‌متر میزان بارش نسبت به شرایط کنونی و کاهش دمایی معادل ۶٫۴- نسبت به شرایط کنونی بوده‌است.

همان‌طور که در این مطالعه نشان می‌دهد، دوره‌های سرد هنریچ در عرض‌های بالا با گسترش یخچال همراه بوده‌است؛ ولی در عرض‌های پایین‌تر در محدوده دریای مدیترانه همراه با کاهش دما و افزایش بارش بوده‌است. این همزمانی می‌تواند نشان‌دهنده وقوع دوره‌های بارانی در این منطقه باشد. مکانیسم عملکرد اقلیم در شمال غرب ایران و محدوده حوضه دریاچه ارومیه در دوره هنریچ می‌تواند شرایطی شبیه مدیترانه داشته‌باشد. این شرایط با بارش بیشتر، دمای کمتر و وقوع دوره‌های بارانی در منطقه همراه

یکی از محدود مطالعاتی که در سطح جهان درباره تغییرات اقلیمی در دوره‌های هنریچ ۴ و ۵ بر روی خشکی‌های جهان انجام گرفته‌است، مطالعاتی است که لوپز گارسیا (۲۰۱۳) در اسپانیا انجام داده‌است. او در مطالعات خود با استفاده از مطالعات ایزوتوپی، الگویی را برای تغییرات اقلیمی با مبنا قراردادن شرایط دمایی کنونی ایستگاه کانیارس^۱ به‌دست آورد. در منطقه کانیارس که شواهد مربوط به هنریچ ۴ در ۳۵ تا ۳۹ هزار سال قبل شناسایی شده‌بود، میزان بارش در این دوره، ۹۸٫۶ میلی‌متر (۱۳٫۱ درصد) افزایش را نسبت به شرایط کنونی نشان می‌دهد و دما در این منطقه نسبت به شرایط کنونی ۶٫۱ درجه سانتی‌گراد کاهش داشته‌است.

در منطقه «زاراگلاس»^۲ شواهد دوره هنریچ ۵ در ۴۵ تا ۴۸ هزار سال قبل نشان‌دهنده افزایش میزان بارش ۲۶۶ میلی‌متر (۳۵٫۱ درصد) در این دوره نسبت به شرایط کنونی و کاهش ۶٫۰۵ درجه

3-A. Romani

1-Canyars
2-Xaragalls

احتمالی از نوسانات اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه وجود دارد تا مشخص شود این تغییرات در صورتی که در دریاچه ارومیه روی می‌داد، اقلیم منطقه نسبت به شرایط کنونی چه تغییراتی پشت سر گذاشته که منجر به افزایش سطح آب دریاچه ارومیه شده است. میزان بارش میانگین در سه ایستگاه مهاباد، تبریز و ارومیه ۳۴۹ میلی‌متر و میانگین دما در این سه ایستگاه ۱۲/۱۵ درجه سانتی‌گراد است. داده‌های آماری لوپز گارسیا (۲۰۱۳) در کانپارس، زاراگالاس و ای روانی، کاهش میزان دما در هر منطقه و همچنین درصد افزایش بارش نسبت به شرایط کنونی بازسازی شد و با استفاده از روش دمارتن نسبت به طبقه‌بندی اقلیمی دریاچه ارومیه در زمان وقایع هنریچ اقدام شد.

بوده است که بالآمدن سطح آب دریاچه ارومیه و دوره‌های هنریچ هم‌زمان است. تعیین دقیق نوسانات و تغییرات اقلیمی وقایع هنریچ ۴ و ۵ در دریاچه ارومیه نیاز به مطالعات بسیار گسترده در زمینه پالئوکلیماتولوژی و مطالعات جامع ایزوتوپی در این منطقه است.

هر چند شرایط محیطی دریاچه ارومیه با منطقه مورد مطالعه لوپز گارسیا (۲۰۱۳) در اسپانیا متفاوت است، ولی عرض جغرافیایی و سیستم‌های اقلیمی همانند بادهای غربی که شمال غربی ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد، مشابه است. در صورتی که شرایطی اقلیمی مشابه شرایط منطقه مورد مطالعه در اسپانیا را برای دریاچه ارومیه در نظر بگیریم، امکان بازسازی

جدول ۳: شرایط اقلیمی احتمالی دریاچه ارومیه در زمان وقایع هنریچ ۴ و ۵

اقلیم احتمالی دریاچه ارومیه در هنریچ	احتمال وقوع میانگین دمای دوره‌های هنریچ در دریاچه ارومیه (سانتی‌گراد)	احتمال بارش دوره‌های هنریچ در دریاچه ارومیه (میلی‌متر)	اقلیم کنونی دریاچه ارومیه (روش دمارتن)	میانگین دمای کنونی دریاچه ارومیه (سانتی‌گراد)	میانگین بارش کنونی دریاچه ارومیه (میلی‌متر)
مرطوب	۶/۰۷	۴۵۷	نیمه خشک	۱۲/۱۵	۳۴۹ (کانپارس)
بسیار مرطوب	۶/۱	۶۱۵	نیمه خشک	۱۲/۱۵	۳۴۹ (زاراگالاس)
مرطوب	۵,۷۵	۳۹۰/۵	نیمه خشک	۱۲/۱۵	۳۴۹ (رومانی)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

شرایط کنونی، به اقلیم مرطوب و بسیار مرطوب تبدیل شده بود که میزان بارش افزایش یافته و از میزان دما و تبخیر کاسته شده است. اگر فرض اقلیم بسیار مرطوب را بپذیریم، ارتفاع بیشتر سطح آب دریاچه ارومیه هم‌زمان با وقایع هنریچ ۵ در پادگان «کچه‌باشی» نسبت به پادگان در هنریچ ۴ را که در شرایط اقلیمی مرطوب قرار دارد، می‌تواند توجیه کند.

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، در دوره سرد هنریچ ۵ که هم‌زمان با تشکیل پادگان دریاچه‌ای «کچه‌باشی» است، اقلیم منطقه با تطبیق الگوی منطقه‌ای رومانی، مرطوب و با توجه به الگوی منطقه زاراگالاس، بسیار مرطوب است و این امر می‌تواند دلیلی بر بالابودن سطح آب دریاچه ارومیه باشد که اقلیم دریاچه ارومیه از یک اقلیم نیمه‌خشک در

نتیجه

پیدایش و تراکم طبقات عظیم یخ در مناطق شمالی کره زمین در پلیوستوسن پایانی طبعاً در آب و هوای مناطق جنوبی‌تر از جمله فلات ایران و مناطق هم‌عرض آن نیز تأثیر زیادی داشته‌است. در نواحی خشک و مناطقی که در عرض‌های جغرافیایی متوسط و پایین واقع شده‌اند، در همه قاره‌ها آثار و علائمی از دریاچه‌های باستانی باقی است که در دوره‌ای وجود داشته و سپس از بین رفته‌اند و دریاچه ارومیه از جمله آن است. وجود تعداد ۲۴ پادگانه دریاچه‌ای در رسوبات کواترنری حاشیة دریاچه ارومیه و در ارتفاع‌های مختلف نشان‌دهنده تغییرات اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در پلیوستوسن پایانی است. بالاترین سطح ارتفاعی پادگانه‌های شناسایی شده حدود ۹۵ متر بالاتر از سطح کنونی دریاچه قرار دارد. سؤالی که در این تحقیق به دنبال آن بودیم این است که بالا آمدن سطح آب دریاچه ارومیه در پلیوستوسن پایانی در چه زمانی روی داده و چه رویدادهای اقلیمی منجر به تغییر شرایط محیطی در این منطقه شده‌است. نتایج تعیین سن پادگانه‌های دریاچه‌ای زمانی بین ۳۵۸۵۰ تا ۵۴۱۵۰ هزار سال قبل را نشان می‌دهد. نتایج حاصل این بررسی‌ها نشان می‌دهد، بالا آمدن سطح آب دریاچه ارومیه در پلیوستوسن پایانی هم‌زمان با دوره یخچالی وورم در شمال اروپاست. این تعیین سن همچنین نشان می‌دهد، بالا آمدن سطح آب دریاچه ارومیه با دوره‌های سرد هنریچ ۴، هنریچ ۵ و ۵a هم‌زمان است. داده‌های ثبت‌شده از تاریخ تحولات اقلیمی دوره هنریچ، مبتنی بر مغزه‌های آتلانتیک شمالی و گرینلند، نشان‌دهنده سردترین شرایط دوره یخچالی وورم است. این کاهش شدید دما در عرض‌های جغرافیایی بالاتر هم‌زمان با جابه‌جایی

سیستم‌های اقلیمی به عرض‌های پایین‌تر و تغییر شرایط اقلیمی در این مناطق شده‌است. هم‌زمانی بالا آمدن سطح آب دریاچه ارومیه با دوره‌های هنریچ ۴ و ۵ می‌تواند نشان‌دهنده این امر باشد که رژیم دمایی و بارش در شمال غرب ایران در آن دوره، با دمایی کمتر و بارش بیشتری همراه بوده‌است. از آنجایی که پیدایش و گسترش دریاچه‌ها مولود ازدیاد بارندگی بوده‌است، مراحل گسترش دریاچه ارومیه را می‌توان با هم‌زمانی با دوره‌های بارانی در این زمان توجیه کرد. در صورت پذیرش نتایج بالا برای دریاچه ارومیه، فرضیه‌های عیوضی (۱۳۷۶) و بوتزر درباره هم‌زمانی بالا آمدن سطح آب دریاچه ارومیه در دوره‌های بارانی - که در آن‌ها دما و تبخیر نسبت به امروز اندکی کمتر و مقدار بارش اندکی بیشتر بوده‌است - تأیید می‌شود. هم‌زمانی بالا آمدن سطح آب دریاچه ارومیه در دوره هنریچ با بالا آمدن سطح آب دریاچه مرده نیز نشان‌دهنده صحت نتایج به‌دست‌آمده در مطالعات دریاچه ارومیه است. همچنین نشان می‌دهد، سیستم‌های اقلیمی که بر بارش و دمای این دو دریاچه تأثیرگذار بوده، در طول دوره‌های یخچالی عملکردی مشابه داشته‌است. در صورت مطابقت نتایج حاصل از مطالعات لویز گارسیا (۲۰۱۳) با منطقه مورد مطالعه، دلیل اصلی بالا آمدن سطح آب دریاچه ارومیه تغییر اقلیم منطقه از شرایط نیمه‌خشک کنونی به اقلیم مرطوب و نیمه‌مرطوب بوده‌است. کاهش میزان دما و به تبع آن کاهش میزان تبخیر آب دریاچه ارومیه هم‌زمان با دوره‌های سرد هنریچ منجر به افزایش سطح آب دریاچه ارومیه در این دوره بوده‌است و این نتایج برای اولین بار شواهدی از تأثیر دوره‌های سرد هنریچ را در ایران به نمایش می‌گذارد.

تشریح و قدردانی

این مقاله برگرفته از طرح تحقیقاتی با عنوان «علل نوسان تراز آب دریاچه ارومیه و ارائه راهکارهای احیای دریاچه ارومیه با توجه به تجربیات جهانی» است که در پژوهشکده علوم زمین سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به اجرا درآمده است.

منابع

- عزیز، قاسم؛ طیبه اکبری؛ حسین هاشمی؛ مجتبی یمانی؛ مهران مقصودی؛ عباسی جغناپ (۱۳۹۲). تحلیل پالینولوژیکی رسوبات دریاچه نئور به منظور بازسازی فازهای رطوبتی دیرینه دریاچه نئور در اواخر پلیستوسن و اوایل هولوسن، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۱ (۸۳) صفحه ۱ تا صفحه ۲۰.
- عیوضی، جمشید (۱۳۷۶). ژئومورفولوژی ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- لک، راضیه؛ جواد درویشی‌خاتونی؛ علی محمدی (۱۳۹۰). مطالعات پالئولیمنولوژی و علل کاهش ناگهانی تراز آب دریاچه ارومیه، زمین‌شناسی ژئوتکنیک (زمین‌شناسی کاربردی). دوره ۷. شماره ۴. ۳۴۳ تا ۳۵۸.
- مقصودی، مهران (۱۳۹۰). شواهد ژئومورفولوژیکی تغییرات سطح اساس در پلایای حوض سلطان، جغرافیا-انجمن جغرافیایی ایران. ۹، ۲۸.
- مقیمی، ابراهیم (۱۳۸۹). ژئومورفولوژی ایران، انتشارات دانشگاه تهران. تهران.
- AghaKouchak, Amir.Norouzi.Hamid. Madani, Kaveh.AliMirchi. Azarderakhsh,Marzi.. Nazemi, Ali. Nasrollahi,Nasrin. Farahmand Alireza. Mehran,Ali. Hasanzadeh, Elmira (2015). Aral Sea syndrome desiccates Lake Urmia: Call for action,Journal of Great Lakes Research, Volume 41, Issue 1, March 2015, Pages 307-311.
- Bartov, Y (1999). The Geology of the Lisan Formation at the Massada Plain and the Lisan Peninsula."Unpublished M.Sc. thesis. The Hebrew University of Jerusalem [In Hebrew with an English abstract].
- Bond, G.C.; Lotti, R (1995-02-17). "Iceberg Discharges into the North Atlantic on Millennial Time Scales during the Last Glaciation" (abstract). Science 267 (5200) : 1005-10.
- Bond, G., Heinrich, H., Broecker, W., Labeyrie, L, McManus, J., Andrews, J., Huon, S., Jantschik, R., Clasen, S., Simet, C., Tedesco, K., Klas, M., Bonani, G., and Ivy, S (1993). Evidence for massive discharges of icebergs into the North Atlantic Ocean during the last glacial period. Nature, 360, 245-249.
- سیاهپوش. محمدتقی (۱۳۵۲). پیرامون آب و هوای باستانی فلات ایران، ابن‌سینا، تهران.
- شایان، سیاوش. جنتی، مهدی. ۱۳۸۶، شناسایی نوسانات مرز پیرامونی و ترسیم نقشه پراکنش مواد معلق دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، سنجنده‌های ETM, TM & LISSIII. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۲
- خیام، مقصود (۱۳۶۴). ملاحظات چند در سفره‌های آبرفتی و نهشته‌های کواترنر جلگه تبریز، مجموعه مقالات سمینار جغرافیایی، انتشارات آستان قدس رضوی.
- صالحی‌پورمیلانی، علیرضا؛ علی محمدی؛ جواد درویشی‌خاتونی؛ راضیه لک (۱۳۸۹). بازسازی نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ارومیه.
- صبوری، جعفر؛ حبیب‌علیمحمدیان؛ اسماعیل مغفوری‌مقدم؛ راضیه لک (۱۳۸۸). مطالعه سنگواره‌ها، محیط رسوبی و تعیین سن مطلق پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه، چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ارومیه.
- عزیز، قاسم (۱۳۸۳). تغییر اقلیم. انتشارات قومس.

- L'opez-Garc'ia, H.-A. Blain, M. Benn'asar, M. Sanz, and J. Daura (2013). Heinrich event 4 characterized by terrestrial proxies in southwestern Europe. *Lim. Past*, 9, 1053-1064.
- Machlus M., Enzel, Y., Goldstein, S., Marco, S., Stein, M (2000). Reconstructing low levels of Lake Lisan by correlating fan delta and lacustrine deposits. *Quaternary International* 73-74, PP.137-144.
- Meusel, H., Jäger, E., Rauschert, S., Weinert, E (1978). *Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora*, Band II. Fischer. Jena.
- Pirazzoli, P. A (2005). Marine Terraces. in M. L. Scheartz, ed., PP.632-633. *Encyclopedia of Coastal Science*. Springer, New York, New York.
- Schramm, A., Stein, M., and Goldstein S. L. (2000). Calibration of 14C time scale to >40 ka by 234U-230Th dating of Lake Lisan sediments (last glacial Dead Sea). *Earth and Planetary Science Letters* 175, PP.27-40.
- Stevens, I. r.; Ito, e.; Schwalb, a. and Wright, h. e.Jr. (2006). Timing of atmospheric precipitation in the Zagros Mountains inferred from a multi-proxy record from Lake Mirabad, Iran. In: *Quat. Res.* 66, 494-500.
- Van Andel, T.H., Tzedakis, P.C (1996). Palaeolithic landscapes of Europe and environs 150,000-25,000 years ago: an overview. *Quaternary Science Reviews* 15, 481-500
- Van Kreveld, S., Sarnthein, M., Erlenkeuser, H., Grootes, P., Jung, S., Nadeau, M.J., Pflaumann, U., and Voelker, A (2000). Potential links between surging ice sheets, circulation changes, and the Dansgaard-Oeschger cycles in the Irminger Sea, 60-18 kyr. *Paleoceanography*, 15(4), 425- 442.
- Vidal, L.; Schneider, R.R.; Marchal, O.; Bickert, T.; Stocker, T.F.; Wefer, G. (1999). "Link between the North and South Atlantic during the Heinrich events of the last glacial period". *Climate Dynamics* 15 (12) : 909-919.
- WasyliKoWa, K.; WitKoWsKi, A.; Walanus, A.; hutoroWicZ, A.; alexan DroWic Z, S. W. and langer, J. J. (2006). Palaeolimnology of Lake Zeribar, Iran, and its climatic implications. In: *Quat. Res.* 66, 477- 493.
- Browicz, K. (1976). Juglandaceae. In: Rechinger, K.- H.(Ed.), *Flora Iranica* Lfg. 121. Akademische Druck u. Verlaganstalt, Gra.
- Burjachs, F., & Julia, R. (1994). Abrupt climatic changes during the last glaciation based on pollen analysis of the Abric Romani, Catalonia, Spain. *Quaternary Research*, 42, 308-315.
- Djamali, M., de Beaulieu, J. L., Miller N. F., Andrieu-Ponel, V., Ponel, P., Lak, R., Sadeddin, N., Akhiani, H., Fazeli, H (2009) b, Vegetation History of the SE Section of the Zagros Mountains During the Last Five Millennia; a Pollen Record from the Maharlou Lake, Iran, *Veget Hist Archaeobot*, No.18, PP.123-136.
- Ghaheri M., Baghal-Vayjooee M., Naziri J, Lake Urmia, Iran: A summary review (1999). *International Journal of Salt Lake Research*, March (1999) . Volume 8, Issue 1, PP.19-22
- Hassanzadeh Elmira, Zarghami, Mahdi, Hassanzadeh, Yousef (2012). Determining the Main Factors in Declining the Urmia Lake Level by Using System Dynamics Modeling, *Water Resources Management*, January, (2012) Volume 26, Issue 1, PP. 129-145.
- Hemming, Sidney R (2004). "Heinrich events: Massive late Pleistocene detritus layers of the North Atlantic and their global climate imprint". *Reviews of Geophysics* 42 (1).
- Huijzer AS, Isarin RFB (1997). The reconstruction of past climates using multi-proxy evidence; an example of the Weichselian Pleniglacial in northwestern and central Europe. *Quat Sci Rev* 16:513- 533.
- Kuzucuog Lu, Catherina., Christol, Aurelien., Mouralis, Damase, Dog'u, Ali-Fuat, Akko' Pru., Ebru, Fort, Monique., Brunstein, DANIEL, Zorer, Halil., Fontugne, Michel., Karabiylu, Mustafa., Scallet, Stephane., Reyss, Jean-Louis and Guilou, Herve (2010). Formation of the Upper Pleistocene terraces of Lake Van (Turkey), *Journal of Quaternary Sciences*, 25(7) 1124-1131.
- Lisker, S., Vaks, A., Bar-Matthews, M., Porat, R., Frumkin, A (2009). Stromatolites in caves of the Dead Sea Fault Escarpment: implications to latest Pleistocene lake levels and tectonic subsidence. *Quaternary Science Reviews* 28, 80e92.

