جغرافیا و توسعه شمارهٔ ۵۵ تابستان ۱۳۹۸
وصول مقاله : ۹۶/۰۵/۱۵
تأیید نهایی : ۹۷/۰۶/۲۴
صفحات: ۱۳۲-۱۰۹

شواهد ژئومورفولوژیکی رویداد های هنریچ در شمال غرب ایران

دکتر علیرضا صالحی‌پور میلانی[۱]*، دکتر راضیه لک[۲]، دکتر مجتبی یمانی[۳]

چکیده

تغییر شرایط اقلیمی در محیط‌های دریایی و دریاچه‌ای، تأثیر مستقیمی بر نوسان سطح آب آن‌ها دارد. در محیط‌های دریاچه‌ای عرض‌های میانهٔ کرهٔ زمین، دوره‌های سرد با کاهش درجه حرارت هوا، افزایش میزان بارش و کاهش تبخیر همراه است و یک دورهٔ بارانی به‌همراه دارد که نتیجهٔ آن بالا آمدن سطح آب دریاچه‌هاست و برعکس در دوره‌های گرم با افزایش میزان دما، کاهش بارش و افزایش میزان تبخیر در یک بازهٔ زمانی طولانی، می‌توان شاهد کاهش آب دریاچه‌ها در دوره‌های زمانی مختلف بود این تحقیق با هدف شناسایی و بازسازی تغییرات اقلیمی در پلیوستوسن پایانی و بررسی شواهد دوره های سرد هنریچ در شمال غرب ایران از طریق مطالعهٔ پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه به‌عنوان شاخصهٔ تغییرات اقلیمی صورت گرفته‌است.در طول مطالعات میدانی، تعداد ۲۴ پادگانهٔ دریاچه‌ای 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 به‌دست‌آمده از این بررسی‌ها نشان می‌دهد، بالا آمدن سطح آب دریاچهٔ ارومیه در پلیوستوسن پایانی هم‌زمان با دورهٔ یخچالی وورم در شمال اروپاست. ۴ پادگانهٔ دریاچه‌ای تعیین سن‌شده در این تحقیق با رویدادهای اقلیمی هنریچ ۴ و ۵ هم‌زمان می‌باشند. این رویدادها با گسترش یخچال‌ها در اروپای شمالی در پلیوستوسن پایانی ارتباط بوده و نشان‌دهندهٔ تأثیرپذیری شرایط اقلیمی ایران از دوره های سرد هنریچ است. شواهد دوره های سرد هنریچ در ایران برای اولین بار در این تحقیق مورد شناسایی قرار گرفت. در دریاچهٔ ارومیه هم‌زمان با رویدادهای هنریچ، سطح آب دریاچه افزایش یافته که نشان‌دهندهٔ تأثیرگذاری این تغییرات اقلیمی بر این منطقه از کشور است. نتایج نشان می‌دهد، احتمالاً محیط نیمه‌خشک کنونی منطقه مورد مطالعه همزمان با دوره‌های سرد هنریچ، به اقلیمی مرطوب‌تر تغییر یافته و این رویدادها هم‌زمان با وقوع دوره‌های بارانی و به‌همراه افزایش بارش و کاهش میزان تبخیر و دما در این منطقه از کشور بوده‌است. این امر موجب افزایش میزان آب ورودی رودخانه‌های حوضهٔ آبریز دریاچه، بالا آمدن سطح آب دریاچه و تشکیل پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه در پلیوستوسن پایانی شده‌است. بالا آمدن سطح آب دریاچهٔ ارومیه در پلیوستوسن پایانی و هم‌زمان با دوره‌های سرد هنریچ ۴ و ۵، با افزیش سطح آب دریاچهٔ «مرده» و تشکیل پادگانه‌های دریاچه‌ای این دریاچه در ارتباط است که این امر تأییدی بر صحت نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق است.

واژه‌های کلیدی: شمال‌غرب ایران، پلیوستوسن پایانی، رویدادهای اقلیمی هنریچ.

۱- استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران Ar_salehipour@Sbu.ac.ir
۲- دانشیار پژوهشکدهٔ علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران، ایران * Lak_ir@yahoo.com
۳- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران Myamani@ut.ac.ir

مقدمه

آخرین دورهٔ یخچالی به‌واسطهٔ فراوانی بافت‌های نامنظم از رسوبات در اطلس شمالی که به‌وسیلهٔ 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 تنگهٔ هوستون ردیابی کرد *(عزیزی، ۱۳۸۳: ۱۸۵)*. تعدادی از فازهای بسیار سرد و خشک، به‌طور ناگهانی تاریخ اروپا را در طول دورهٔ بین ۱۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰۰۰ سال تحت‌تأثیر 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 نشان‌دهندهٔ شرایط سرد، نیمه‌بیابانی یا استپ‌های خشک همانند اسپانیا هستند، مشخص شده است *(Burjachs & Julia,1994:314)*.اگرچه‌تاریخ‌نگاری‌های 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 مبتنی‌بر 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 دورهٔ 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 جبههٔ قطبی به سمت جنوب، 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 تحت‌تأثیر 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 جبههٔ قطبی را در دورهٔ 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 *(مقیمی، ۱۳۸۹: ۱۹۷)*.

در مرحلهٔ 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 *(مقیمی، ۱۳۸۹: ۱۹۶)*. بنا به نظر عیوضی *(۱۳۷۶: ۸۷)*، دوره‌هایی که در آن‌ها دما و تبخیر نسبت‌به 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 *(مقیمی، ۱۳۸۹: ۱۹۶)*.

تاکنون مطالعات زیادی بر روی دریاچه‌ها در دنیا و ایران انجام شده‌است؛ 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 *عزیزی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۳)* به شرایط دیرینهٔ دریاچه‌ها و آب و هوای گذشته پی‌برد.

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

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

جمالی *(۲۰۰۹: ۱۲۳)* مطالعات جامعی را در رابطه با گرده‌شناسی بر روی یک مغزهٔ یک‌صد متری در دریاچهٔ ارومیه انجام داده‌است. به عقیدهٔ او در آخرین دورهٔ یخچالی (در حدود ۶۸ تا ۱۲ هزار سال قبل) ترکیب پوشش گیاهی با دورهٔ ماقبل یخچالی شامل «گَندِواش» یا «کینگیا خاراگوش چینی»[1] مشابه بوده‌است؛ درحالی که ترکیب پوشش گیاهی کمی متفاوت بوده و «سنجد تلخ»[2] در طول آخرین دورهٔ یخچالی غلبه داشته‌است. امروزه این گونه در ارتفاعات بالاتر شمال دریاچهٔ 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[3]» بوده و می‌تواند در خاک‌های ناپایدار و بستر و حاشیهٔ رودخانه‌ها رشد کند. حضور آن در آخرین دورهٔ یخچالی در منطقهٔ دریاچهٔ ارومیه نشان‌دهندهٔ پایین‌تر بودن دمای زمستان نسبت‌به زمان کنونی است و دمای جولای، بالای ۱۰ تا ۱۲ درجهٔ سانتی‌گراد بوده‌است *(Djamali et al, 2009: 123)*.

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

دمای آخرین دورهٔ یخچالی در حدود ۱۳ تا ۱۴ درجه خنک‌تر از شرایط امروزی منطقهٔ ارومیه در ماه جولای بوده است و احتمالاً فعالیت‌های رودخانه‌ای و درنتیجه فرسایش شدید به‌دلیل نبود پوشش گیاهی متراکم، زیاد بوده‌است. در این منطقه در طول این دوره رسوب‌گذاری بیشتر به‌واسطهٔ دامنه‌هایی با پوشش گیاهی فقیر و فرسایش شدید با غلبهٔ سیلیکات‌ها بوده‌است. بالاترین سطح ایستابی هم‌زمان با رسوب‌گذاری کربنات‌ها و مواد آلی و حداکثر رویش گیاهان آبزی[4] همراه بوده‌است و آب دریاچه حاوی شوری کمتر بوده و دمای سطحی بالاتری داشته‌است *(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 به‌خصوص در حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه در دورهٔ کواترنری کمک کند، پادگانه‌های دریاچه‌ای است. در رابطه با نوسانات دیرینهٔ سطح آب دریاچهٔ ارومیه و عوامل آن، مطالعات و اظهارنظرهای متعددی انجام گرفته‌است. پادگانه‌های دریاچه‌ای توسعهٔ کمتری نسبت به پادگانه‌های دریایی داشته است *(Pirazzoli, 2005: 632)*. مطالعات متعددی در سایر نقاط جهان در رابطه با پادگانه‌های دریاچه‌ای و نرخ بالاآمدگی آن‌ها با استفاده از کربن ۱۴ انجام گرفته‌است.

کزوقلو (۲۰۱۰) در دریاچهٔ وان ترکیه تعداد ۱۰ پادگانهٔ دریاچه‌ای یافته‌است که پایین‌ترین سطح تراس دریاچه‌ای در ارتفاع ۷ متری از سطح دریاچه و

1-Artemisia
2-Hippophaerhamnoides
3-Pioneer species
4-pediastrum

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 جلگهٔ «ماس ادا»[1] 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.

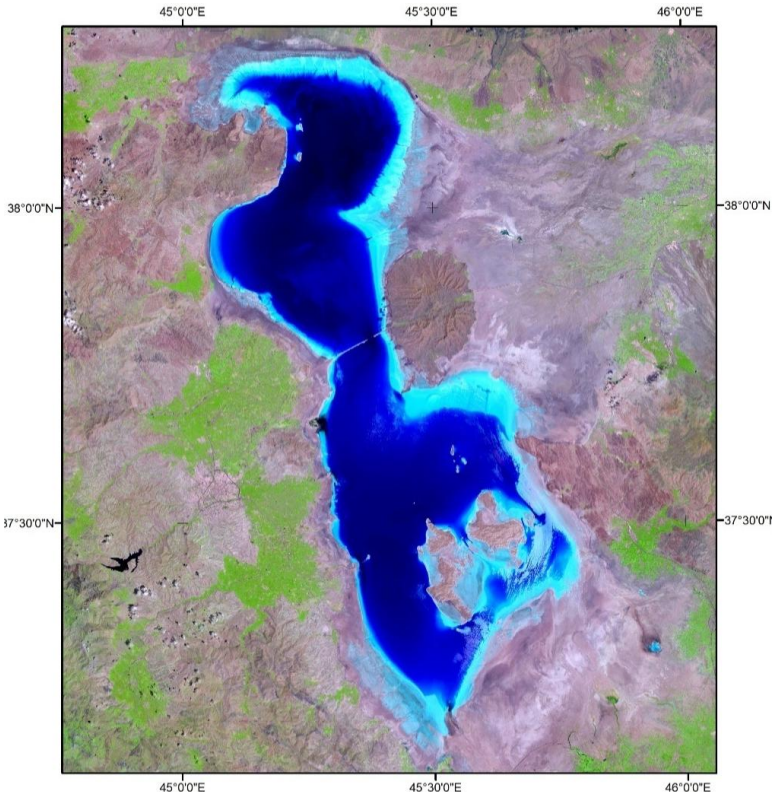
بوتزر[2] مراحل گسترش دریاچهٔ ارومیه را مربوط به دوره‌های بارانی کواترنری می‌دانستند. به‌نظر آنان دریاچه زمانی به حداکثر گسترش خود می‌رسیده که دوره‌های یخبندان به حداکثر توسعهٔ خود می‌رسیدند *(سیاهپوش، ۱۳۵۲: ۷)*.به‌نظر بوبک، علت توسعهٔ دریاچه در دورهٔ پلیوپلیستوسن و دوره‌های سرد پلیستوسن، پایین‌آمدن حرارت متوسط هوا به میزان ۵ درجهٔ سانتی‌گراد کمتر از امروز بوده‌است*(سیاهپوش،۱۳۵۲: ۷)*. نظریهٔ دیگر دربارهٔ پیدایش و گسترش دریاچه مبتنی‌بر این فرض است که در دوره‌های سرد پلیستوسن، بعد از گسترش دریاچه، سردی هوا موجب توقف گسترش گیاهان شده‌است و درنتیجه عوامل بازدارندهٔ فرسایش یعنی گیاهان مانعی در برابر جریان‌های متناوب سیلابی ایجاد نمی‌کرده‌است. به‌نظر می‌رسد که دریاچهٔ ارومیه همانند سایر دریاچه‌های داخلی ایران، به‌علت کاهش میزان تبخیر پدید آمده‌باشد. از دورهٔ وورم به این طرف، بالاآمدن میزان درجه حرارت به‌ویژه در فصل تابستان، موجب شده‌است که مقداری از آب دریاچه خشک شود و قشر نمکی بر جای بماند که این پدیده از پایان دورهٔ وورم تا به حال ادامه داشته‌است؛ بنابراین در دورهٔ 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 دریاچهٔ 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.

منطقهٔ 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 دریاچهٔ ارومیه در سال‌های اخیر، این دریاچه بزرگ‌ترین دریاچهٔ داخلی ایران و دومین دریاچهٔ بزرگ آب شور دنیا بود که درمجموع توسط ۶۰ رودخانه سیرآب می‌شد که ۲۱ رودخانه دائمی یا فصلی و ۳۹ رودخانه فصلی بودند. از این میان «زرینه‌رود» و «آجی‌چایی» ورودی‌های اصلی به دریاچهٔ ارومیه بودند *(Ghaheri et al, 1999: 21)* . یون‌های اصلی موجود در آب دریاچهٔ ارومیه شامل Na^{+}، K^{+}، Ca^{+2}، Li^{+}، و Mg^{+2} است که Cl^{-}، SO_4^{-2}، و HCO_3^{-} آنیون‌های اصلی است. غلظت Na^{+} و Cl^{-} به‌طور تقریبی چهار برابر آب دریاهای آزاد و غلظت سدیم در بخش جنوبی دریاچه اندکی بیشتر از غلظت آن در بخش شمالی دریاچه بوده‌است. این دریاچه از اواسط دههٔ ۸۰ شمسی شروع به خشک‌شدن کرد و امروزه در خطر خشک‌شدن کامل قرار دارد. بررسی تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۵، دریاچه ۸۸ درصد از مساحت خود را از دست

1-Massada
2-Butzer

داده‌است. دلایل بسیاری برای خشک‌شدن دریاچه ذکر شده‌است؛ ازجمله خشکسالی، احداث بزرگراه بر روی دریاچه و استفادهٔ بی‌رویه از منابع آب حوضهٔ آبریز دریاچه. نتایج تحقیق جدیدی که توسط چند محقق در آمریکای شمالی بر روی دریاچهٔ ارومیه انجام گرفته‌است نشان می‌دهد که «خشک‌سالی»، فقط باعث کاهش ۵ درصدی بارش در حوضهٔ آبریز دریاچه شده و عوامل انسانی شامل پروژه‌های جاه‌طلبانهٔ توسعهٔ اقتصادی- آبی به‌همراه ساخت بزرگراه ۱۵ کیلومتری بر روی دریاچه با دریچهٔ کوچک ۱/۲ کیلومتری، وضعیت دریاچه را به بحران کشانیده است *(AghaKouchak et al, 2015: 309)* علاوه‌بر نمک، بسیاری از آلودگی‌ها شامل فلزات سمی سنگینِ مورداستفاده در صنعت و مواد سمی مورداستفاده در کشاورزی، به آب‌های سطحی و زیرسطحی مرتبط با دریاچه نفوذ کرده‌اند و در صورت خشک‌شدن دریاچه، بسیاری از مواد سمی هوازی خواهد شد و خطرات ناشی از بیماری‌های تنفسی را برای زیست‌بوم و مردم منطقه به‌وجود خواهد آورد *(Hassanzadeh et al, 2012:131)* (شکل ۱).



شکل ۱: تصویر ماهواره‌ای دریاچهٔ ارومیه

(لندست، ۸، تیر ۱۳۹۶)

روش‌شناسی

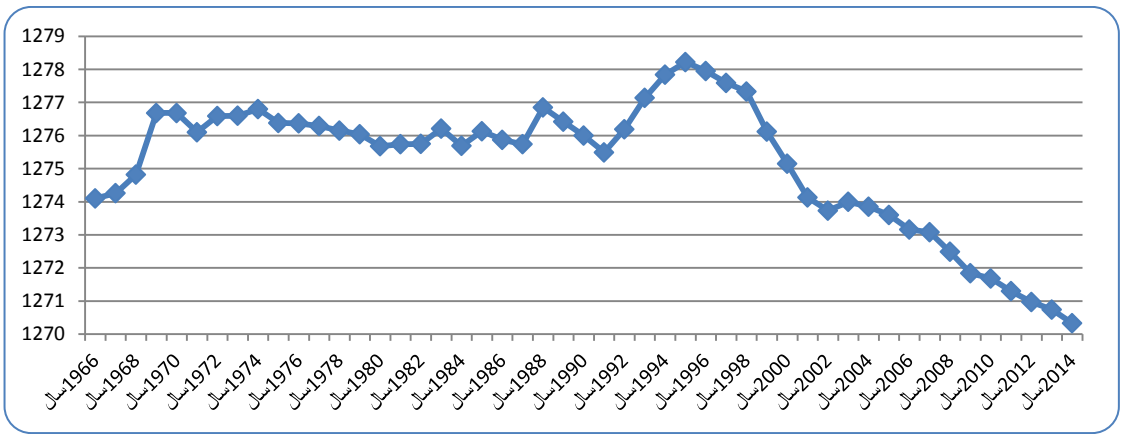
به‌منظور بررسی تأثیر تغییرات عناصر اقلیمی بر نوسانات کنونی سطح آب دریاچهٔ ارومیه، داده‌های آماری هواشناسی سه ایستگاه ارومیه، تبریز و مهاباد در حدفاصل سال‌های ۱۹۶۶ تا ۲۰۱۳ مورد بررسی قرار گرفت. با هدف بررسی و شناسایی نوسانات سطح آب دریاچهٔ ارومیه در کواترنری، پادگانهٔ دریاچه مورد بررسی قرار گرفت. این پادگانه‌ها حاوی پوسته‌های صدف متعددی ازجمله گاستروپود، استراکد، فرامین فرا و همچنین دوکفه‌ای هستند. برای تعیین سن از گاستروپودهای (گونه هیدروبیا) موجود در رسوبات پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه استفاده شد. با استفاده

از الک 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 نسبت‌به 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، به‌منظور تعیین سن به روش کربن ۱۴، به آزمایشگاه رادیو کربن دانشگاه پزنان[1] لهستان ارسال شد و نتایج آن در تحلیل بررسی نوسانات دیرینهٔ دریاچهٔ ارومیه مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه نتایج حاصل از تعیین سن نوسانات دیرینهٔ سطح آب دریاچهٔ ارومیه با رویدادهای اقلیمی در پلیوستوسن پایانی مطابقت داده‌شد 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. علاوه‌بر آن، به‌منظور تأیید نتایج این مطالعه و راستی‌آزمایی آن، نتایج به‌دست‌آمده از بررسی نوسانات دیرینهٔ سطح آب دریاچهٔ ارومیه با نتایج نوسانات سطح آب دریاچهٔ «مرده» تطبیق داده‌شد.

بحث

نوسانات کنونی سطح آب دریاچهٔ ارومیه

متوسط ارتفاع سطح آب دریاچه در سال ۱۳۴۵ (۱۹۶۶ میلادی) معادل با ۱۲۷۴ متر بوده‌است که در سال ۱۳۷۳ (۱۹۹۵ میلادی) تا ۱۲۷۹ متر (۵ متر) افزایش یافته‌بود. در این سال اکثر تأسیسات موجود در سواحل دریاچه به زیر آب رفت. پس از این تاریخ، سطح آب دریاچه به‌شدت کاهش یافت. آمارها نشان می‌دهد از سال ۱۳۷۳، تاکنون تراز آب دریاچهٔ ارومیه سیر نزولی داشته‌است، به‌طوری که در شهریور ۱۳۸۸ به‌سطح ۱۲۷۱/۴ متر از سطح آب‌های آزاد رسیده‌است 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 سالهٔ 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 دریاچهٔ ارومیه ۱۲۷۰/۵۵متر است(شکل۲).

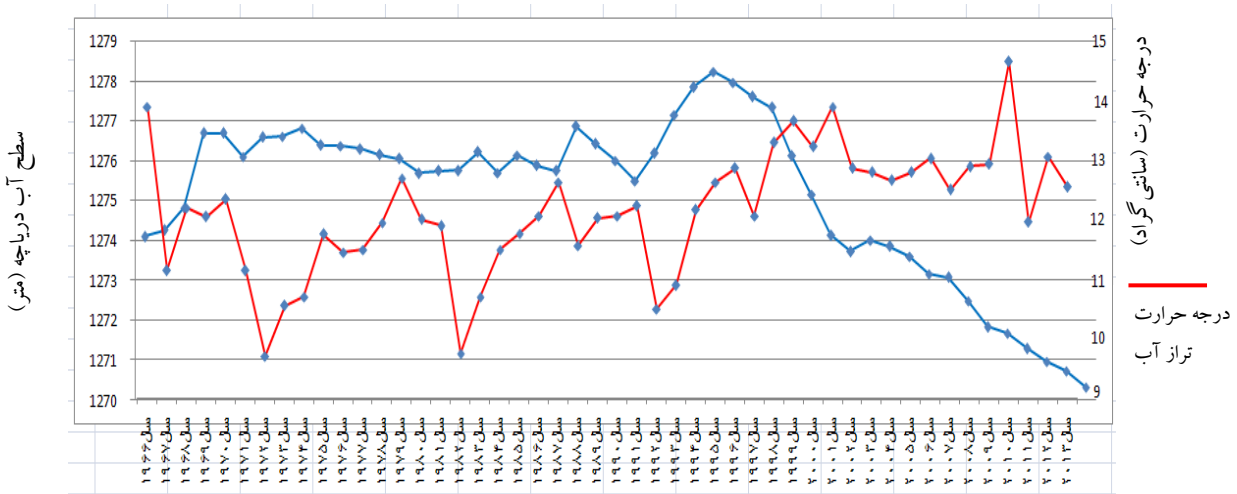


شکل ۲: نوسانات سطح تراز آب دریاچهٔ ارومیه در سال‌های ۲۰۱۴-۱۹۶۶ (۱۳۴۵- تیر ۱۳۹۳) *صالحی‌پور (۱۳۸۹: ۱۴۵)، مدت زمانی ۳۵ ساله (۲۰۱۱-۱۹۷۶) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست MSS، TM ETM در شش دورهٔ ۱۹۷۶، ۱۹۸۹، ۲۰۰۰، ۲۰۰۶، ۲۰۰۹، ۲۰۱۰، ۲۰۱۱ به پایش تغییرات خطوط ساحلی دریاچهٔ ارومیه پرداخته‌است. با بررسی تصاویر ماهواره‌ای مشخص شد که وسعت دریاچه در شهریور سال۱۳۹۲حدود ۴۷۴۰ کیلومتر مربع نسبت‌به سال ۱۹۸۹ کاهش یافته‌است و مساحت آن به ۷۵۰ کیلومتر مربع رسیده‌است.*

نوسانات کنونی سطح آب دریاچهٔ ارومیه با ارتباط آن با تغییرات عناصر اقلیمی

دما

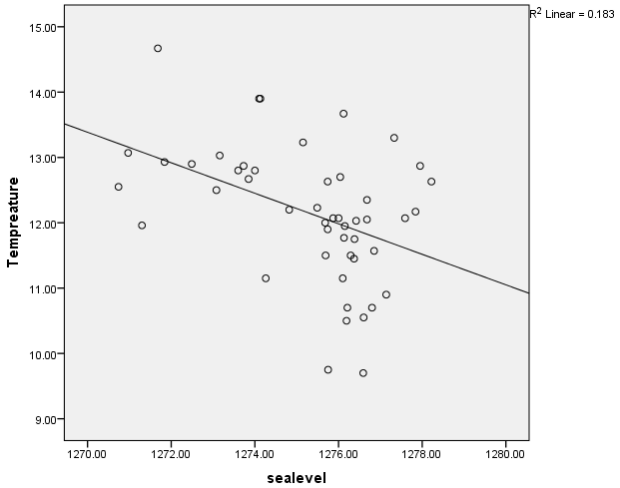
میانگین درجه حرارت سالانهٔ این سه ایستگاه در طول دورهٔ آماری، ۱۲/۱۵ درجه سانتی‌گراد بوده‌است. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، بیشینه‌های حرارتی سالانهٔ دما در ایستگاه‌های تبریز، ارومیه و مهاباد همیشه با کاهش شدید سطح آب دریاچه روبه‌رو بوده‌است. بیشینهٔ دمایی سال ۱۹۶۶ (۱۳/۹ درجهٔ سانتی‌گراد) با افزایشی معادل ۱/۷۵ درجهٔ سانتی‌گراد نسبت‌به میانگین درجه حرارت سالانه همراه بوده‌است که این امر با بیشترین اُفت سطح آب دریاچهٔ ارومیه (۱۲۷۴/۱ متر) تا قبل از سال ۲۰۰۰ همراه بوده‌است. این دمای بیشینه در سال بعدی خود با کاهشی در حدود ۲/۷۵ درجهٔ سانتی‌گرادی همراه بوده‌است که به‌تبع آن در سال بعد، سطح آب دریاچهٔ ارومیه روند افزایشی به خود گرفته و در سال ۱۹۶۹ سطح آب دریاچه به ۱۲۷۶/۶۸ متر رسیده و در این سال نسبت‌به 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 درجهٔ سانتی‌گراد (۲/۴۵ درجهٔ سانتی‌گراد کاهش نسبت‌به میانگین سالانه) و سال ۱۹۸۲ با ۹/۷۵ درجهٔ سانتی‌گراد (۲/۴ درجهٔ سانتی‌گراد کاهش نسبت‌به میانگین سالانه)، سطح آب دریاچهٔ ارومیه تغییرات قابل‌توجهی پیدا نمی‌کند؛ ولی درسال ۱۹۹۲ با کاهش دما به ۱۰/۵ درجهٔ سانتی‌گراد (با ۱/۶۵ درجهٔ سانتی‌گراد کاهش نسبت‌به 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 درجهٔ سانتی‌گراد، افزایش سطح آب دریاچه را به‌همراه داشته‌است. این روند افزایشی سطح آب دریاچهٔ ارومیه به گونه‌ای بوده‌است که در سال ۱۹۹۵ به ۱۲۷۸/۲۲ متر رسیده که بالاترین سطح آب دریاچهٔ ارومیه در دورهٔ آماری ثبت‌شدهٔ خود است؛ ولی با ادامه‌یافتن بالا رفتن میانگین درجه حرارت تا سال ۲۰۰۱ و رسیدن آن به ۱۳/۹ درجهٔ سانتی‌گراد (۱/۷۵ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش نسبت‌به میانگین سالانه) روند کاهشی شدید سطح آب دریاچه آغاز شده و با ادامه‌یافتن روند دمای هوا در بالای میانگین دمای سالانهٔ ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول دورهٔ آماری تا سال ۲۰۱۳، روند کاهشی سطح آب دریاچه همچنان با شدت بیشتری ادامه می‌یابد.



شکل ۳: رابطهٔ بین میانگین سالانهٔ دمای ایستگاه‌های تبریز، ارومیه و مهاباد و نوسانات سطح آب دریاچهٔ ارومیه (۲۰۱۳-۱۹۶۶)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، روند تغییرات سطح آب دریاچهٔ ارومیه با درجه حرارت هوا همبستگی معکوسی را نشان می‌دهد که خود مبحث بالا را تأیید می‌کند، ولی رابطهٔ معنی‌دار تا حدی ضعیف است.

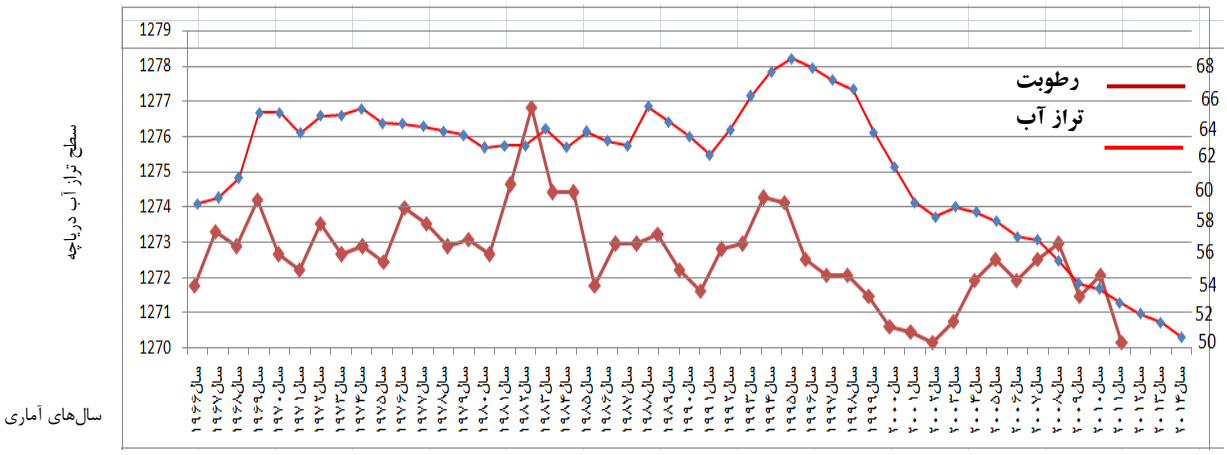


شکل ۴: همبستگی بین دما و تغییرات سطح آب دریاچهٔ ارومیه (۲۰۱۳-۱۹۶۶)

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۶

رطوبت نسبی

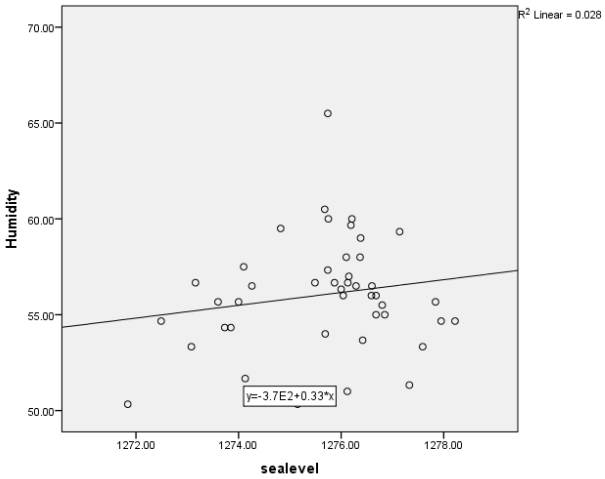
همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، می‌توان تا حدودی رابطهٔ مشخصی را بین درصد رطوبت با نوسانات سطح آب دریاچهٔ ارومیه برقرار کرد. البته درصد رطوبت تابعی از میزان بارش و دماست. در سال ۱۹۶۶ که یکی از بالاترین دماها را در بین دوره‌های آماری با ۱۳/۹ به خود اختصاص داده، میزان رطوبت کاهش یافته و به‌تبع سطح آب دریاچه (۱۲۷۴/۱ متر) نیز کاهش یافته‌است؛ ولی به‌تدریج بعد از این دوره، در درصد رطوبت در سال‌های ۱۹۶۷تا۱۹۹۱ نوساناتی مشاهده شده‌است؛ ولی با وجود این، تغییر قابل‌توجهی در نوسانات سطح آب دریاچه مشاهده نمی‌شود. حتی در سال ۱۹۸۲ که درصد رطوبت هوا به ۶۰/۵ درصد (بالاترین درصد رطوبت ثبت‌شده در دورهٔ آماری) می‌رسد، تغییر قابل‌توجهی در سطح آب دریاچه مشخص نمی‌شود. افزایش و کاهش درصد رطوبت ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره‌های زمانی بین ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۲ نشان‌دهندهٔ 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 نشان‌دهندهٔ تأثیرگذاری بسیار زیاد سایر عوامل اقلیمی و انسانی بر روی نوسانات سطح آب دریاچهٔ ارومیه است



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

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۶

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

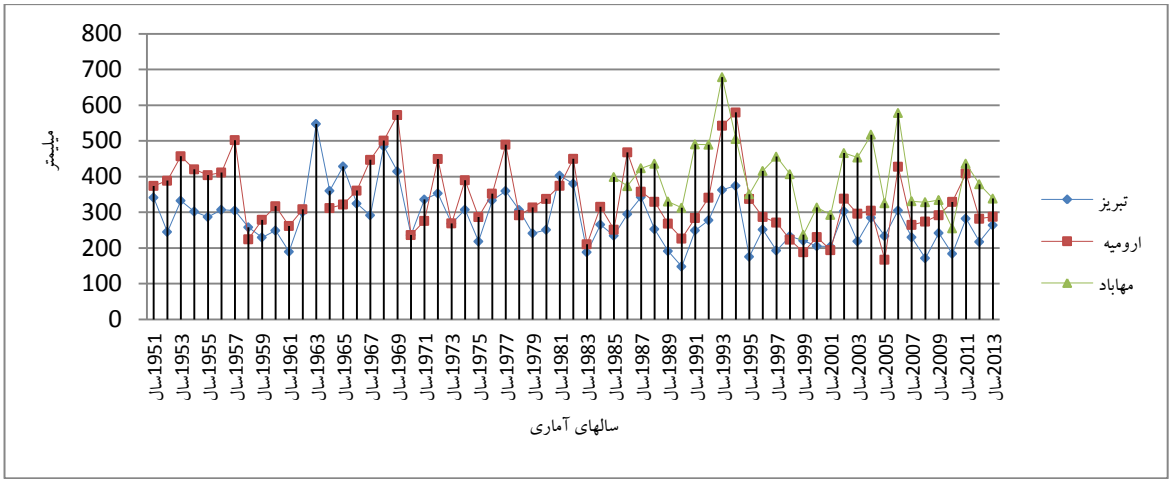


شکل ۶: همبستگی بین رطوبت و تغییرات سطح آب دریاچهٔ ارومیه (۱۹۶۶-۲۰۱۳)

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۶

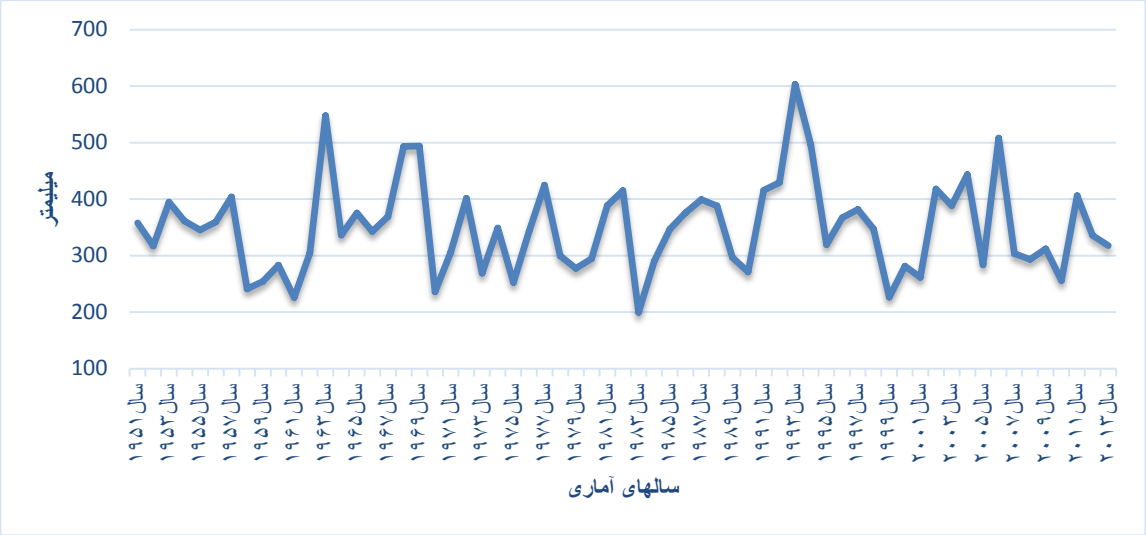
بارش

میانگین بارش در دورهٔ آماری مورد مطالعه، ۳۴۹ میلی‌متر است. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، بیشترین میزان بارش در طول دورهٔ آماری مربوط به سال ۱۹۹۳ است که در این سال ۶۰۳ میلی‌متر بارش (۲۶۱ میلی‌متر افزایش نسبت‌به میانگین سالانه) بالاترین پیک بارشی دورهٔ مورد مطالعه مشاهده شده‌است. بعد از این دوره، میزان بارش در سال ۱۹۶۳ با ۵۴۳ میلی‌متر (۲۰۱ میلی‌متر افزایش نسبت‌به میانگین سالانه) بیشترین میزان بارشی است که در دورهٔ آماری ثبت شده‌است. سال ۱۹۸۳ با ۱۹۹/۴ میلی‌متر (۱۴۲/۶ میلی‌متر کاهش نسبت‌به میانگین سالانه) کم‌بارش‌ترین سال دورهٔ آماری موردنظر است.



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

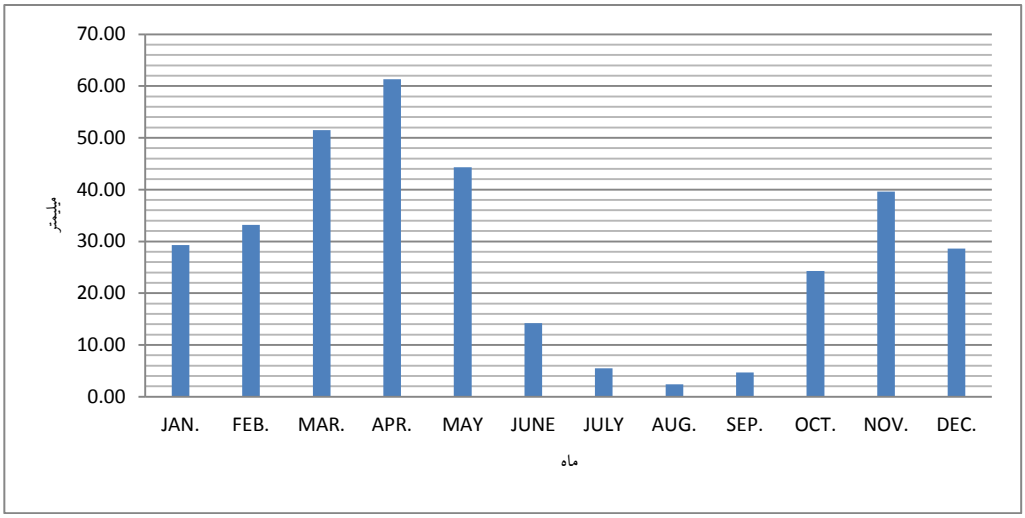
تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۶



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

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۶

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

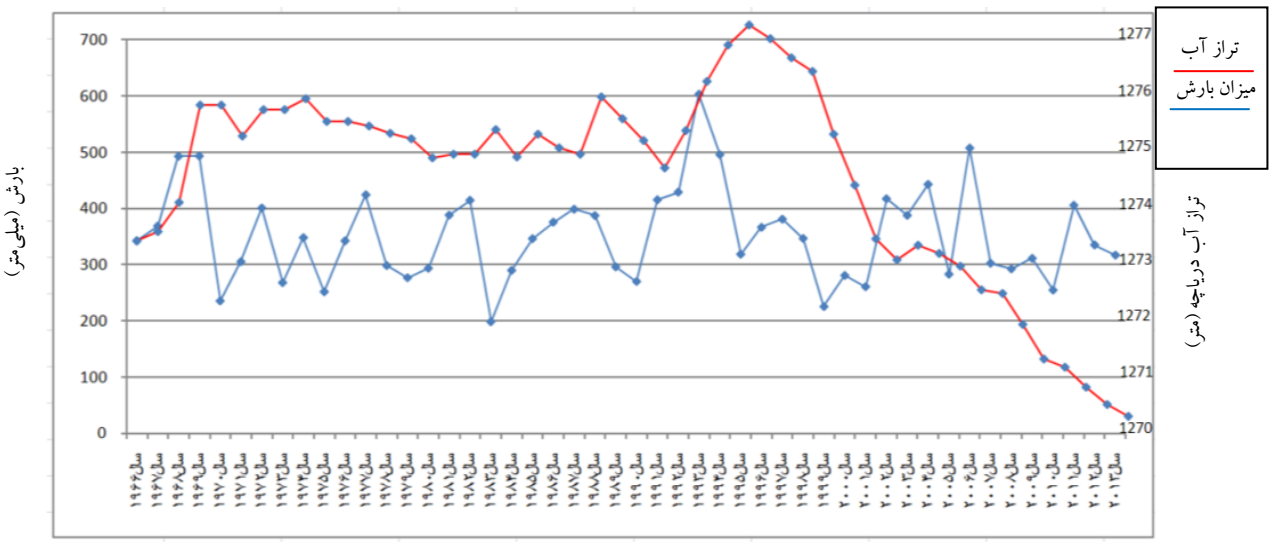


شکل ۹: تغییرات میزان بارش ماهانهٔ سه ایستگاه تبریز، ارومیه و مهاباد

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۶

رابطهٔ بین میانگین سالانهٔ بارش ایستگاه‌های تبریز، ارومیه و مهاباد و نوسانات سطح آب دریاچهٔ ارومیه

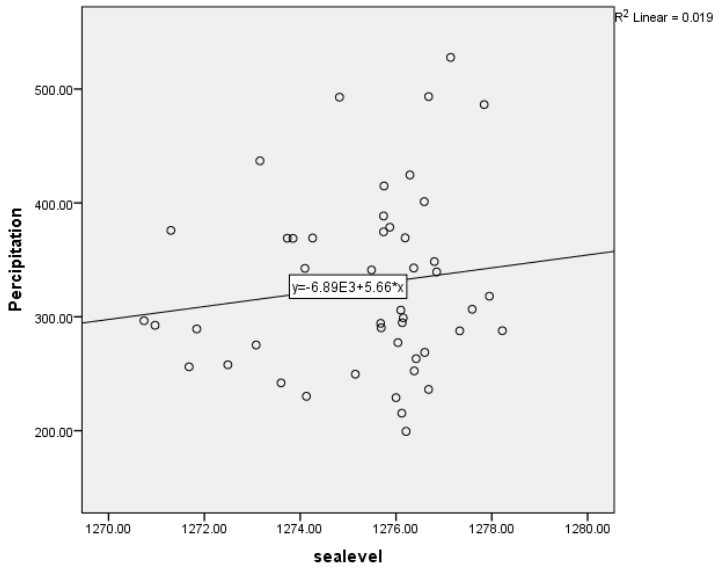
با توجه به شکل ۱۰ رابطهٔ بین بارش و نوسانات سطح آب دریاچه را می‌توان به دو بازهٔ زمانی تقسیم کرد. دورهٔ اول از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۱ است. در این دوره رابطهٔ بارش و نوسانات سطح آب دریاچه مستقیم است و با افزایش میزان بارش سطح آب دریاچه نیز افزایش می‌یابد. در این دوره در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۴ بیشترین میزان بارش دریافتی حوضه مشاهده می‌شود که اوج بارش‌های حوضه در سال‌های ۱۹۹۳ با ۵۲۰ میلی‌متر و ۱۹۹۴ با ۵۰۰ میلی‌متر روی داده است. با مقایسهٔ میزان بارش و نوسان سطح آب، مشاهده می‌شود که با افزایش میزان بارش، سطح آب دریاچه در نتیجهٔ بارش‌های بیشینهٔ متوالی عکس‌العمل نشان داده و تراز به ۱۲۷۹ متر رسیده‌بود. پس از آن با کاهش شدید میزان بارش از سال ۱۹۹۴ تا سال ۲۰۰۱ (۲۳۰ میلی‌متر) سطح آب دریاچه نیز به‌تبع آن کاهش شدیدی داشته‌است و به تراز (۱۲۷۳٫۸) رسیده که نسبت‌به سال ۱۹۹۵ حدود ۲/۴ متر کاهش داشته‌است. دورهٔ دوم که حدفاصل سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ را دربر می‌گیرد، هرچند افزایش میزان بارش در حوضهٔ آبریز دریاچه مشاهده می‌شود، ولی سطح آب دریاچه همچنان به روند کاهشی خود ادامه می‌دهد و در این دوره رفتار سطح آب دریاچه مستقل از بارش عمل می‌کند و همچنان به روند کاهشی خود ادامه می‌دهد؛ به‌صورتی که در تیر ۱۳۹۳ (جولای ۲۰۱۴) تراز آب دریاچه به ۱۲۷۱/۱ متر می‌رسد که نسبت‌به سال ۱۹۹۵ سطح آب حدود ۷٫۸ متر کاهش یافته‌است و باعث شده منحنی‌های بارش و تراز سطح آب دریاچه هر ساله بیش از پیش از هم فاصله بگیرند. این امر نشان‌دهندهٔ این است که علاوه‌بر عوامل اقلیمی، سایر عوامل به‌خصوص فعالیت‌های انسانی، در این دوره بر کاهش سطح آب دریاچه و بر هم خوردن رژیم آبی آن تأثیر گذاشته‌است.



شکل ۱۰: رابطهٔ بین میانگین سالانهٔ بارش ایستگاه‌های تبریز، ارومیه و مهاباد و نوسانات سطح آب دریاچهٔ ارومیه (۲۰۱۳-۱۹۶۶)

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۶

با توجه به شکل ۱۱ مشاهده می‌شود که در طـول دورهٔ آماری میزان بارش و نوسانات سطح آب دریاچـه همبستگی مثبت وجود دارد و معنی‌دار است.



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

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۶

نوسانات دیرینهٔ سطح آب دریاچهٔ ارومیه

در بررسی‌های میدانی تعداد ۲۴ پادگانهٔ دریاچه‌ای در رسوبات کواترنری حاشیهٔ دریاچهٔ ارومیه مورد شناسایی و مطالعه قرار گرفت. بیشترین پراکندگی پادگانه‌های دریاچه‌ای به‌ترتیب در بخش جنوبی، میانی و شمالی مشاهده می‌شود.

از لحاظ ارتفاع، کم‌ارتفاع‌ترین پادگانه در «جزیرهٔ اسلامی» (ارتفاع ۱۲۹۷ متر از سطح دریاهای آزاد) و

مرتفع‌ترین پادگانهٔ «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 به‌ترتیب در ارتفاع ۱۳۲۰-۱۳۴۰ از سطح دریاهای آزاد با ۱۰ پادگانه، ۱۳۲۰-۱۲۹۷ متر از سطح دریاهای آزاد (۶ پادگانه) و بیش از ۱۳۶۰ متر از سطح دریاهای آزاد (۳ پادگانه) است (شکل ۱۲). همهٔ پادگانه‌ها را می‌توان ازلحاظ ارتفاعی در سطوح ارتفاعی زیر، با درنظر گرفتن ارتفاع کنونی سطح آب دریاچه (۱۲۷۰ متر) طبقه‌بندی کرد (جدول ۱).

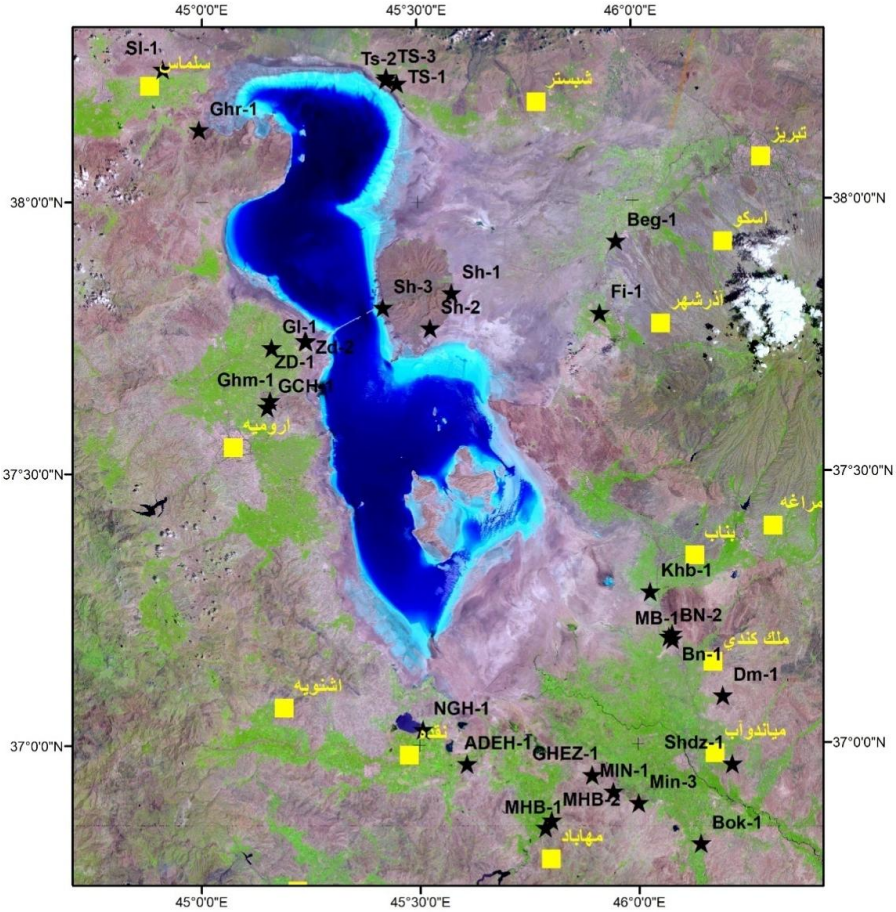
جدول ۱: سطح‌بندی ارتفاعی پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه با توجه به ارتفاع از سطح کنونی دریاچه (۱۲۷۰)

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

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

نوسانات سطح آب‌دریاچهٔ ارومیه در پلیوستوسن پایانی

از بین پادگانه‌های دریاچه‌ای تعداد پنج پادگانه تعیین سن مطلق شد. علاوه‌بر تعیین سن این پادگانه‌ها از دادهٔ تعیین سن پادگانهٔ کچه‌باشی نیز که توسط صبوری در سال ۱۳۸۹ انجام گرفته‌بود، استفاده شد. نتیجهٔ تعیین سن صورت‌گرفته نشان می‌دهد، سن پادگانه‌ها مربوط‌به دورهٔ یخچالی وورم است. پایین‌ترین ارتفاع پادگانهٔ دریاچه‌ای ارومیه که در این تحقیق تعیین سن شد، پادگانهٔ دریاچه‌ای جزیرهٔ اسلامی ۳ (Sh-3) بوده که در ارتفاع ۱۳۱۳ متری از سطح دریاهای آزاد قرار گرفته‌است. سن این پادگانه مربوط به ۳۵۸۵۰ سال قبل است و ازاین‌رو پایین‌ترین سن را در بین پادگانه‌های تعیین‌سن‌شدهٔ ارومیه دارد. با بالارفتن ارتفاع پادگانه‌ها سن آن‌ها نیز بالاتر می‌رود. پادگانهٔ 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 منطقهٔ 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 پادگانهٔ جزیرهٔ اسلامی ۳، سن پادگانهٔ نقده تقریباً ۲۶۷۰ سال قدیمی‌تر است. ارتفاع‌یافتن پادگانه با افزایش سن آن‌ها همبستگی مستقیم دارد.



شکل ۱۲: پراکندگی پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه (ستاره‌ها نشان‌دهندهٔ محل پادگانه‌های دریاچه‌ای است)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

پادگانه‌ای که در ارتفاع بالاتر نسبت‌به پادگانهٔ نقده قرار داشته، پادگانهٔ «کچه‌باشی» است. ارتفاع این پادگانه ۱۳۳۴/۲ متر از سطح دریا و در ارتفاع ۶۴ متری از سطح کنونی دریاچهٔ 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 پادگانهٔ «نقده»، این پادگانه از لحاظ ارتفاع تقریباً ۱۶ متر بالاتر از پادگانهٔ دریاچه‌ای نقده قرار گرفته‌است و سن این پادگانه نیز نسبت‌به پادگانهٔ دریاچه‌ای نقده، ۷۴۸۰ سال قدیمی‌تر است.

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

ارتباط مستقیمی ندارد و با وجود افزایش ارتفاع نسبت‌به پادگانهٔ کچه‌باشی سن کمتری دارد.

پادگانهٔ «سلماس» در ارتفاع ۱۳۵۴/۶ متری از سطح آب دریاهای آزاد و ۸۴ متر بالاتر از سطح کنونی دریاچهٔ ارومیه قرار داشته‌است. سن این پادگانه مربوط به ۵۴۱۵۰ سال قبل است. ارتفاع این پادگانه تقریباً ۱۰/۷ متر بالاتر از پادگانهٔ دریاچه‌ای زنبیل‌داغی قرار دارد و سن آن در حدود ۱۳۰۸۰ سال قدیمی‌تر از آن است. بالاترین پادگانهٔ شناسایی‌شده دریاچهٔ ارومیه در ارتفاع ۱۳۶۶/۶ از سطح دریاهای 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 پادگانهٔ سلماس بوده و ارتفاع آن در حدود ۱,۳/۵ متر بالاتر از پادگانهٔ سلماس است. سطح ارتفاعی این پادگانه را می‌توان معادل پادگانهٔ ارتفاعی ۸۰ تا ۸۵ متری دریاچهٔ ارومیه دانست که شوایتزر (۱۹۷۵) به آن اشاره کرده‌بود (جدول ۱ و شکل ۱۳).

تحلیل تحولات اقلیمی جهان در پلیوستوسن پایانی و تأثیر آن بر نوسانات سطح آب دریاچهٔ ارومیه

ارتباط نوسانات سطح آب دریاچهٔ 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 نسبت‌به امروز وجود داشته‌است؛ ولی زمستان‌های احتمالاً معتدل‌تر از مراحل با جنگل‌هایی با گونه‌های نسبتاً حساس همانند ماته[1] و پاپیتال[2] بسیار گسترده‌تر از شرایط کنونی در اروپا بوده‌است. این دورهٔ زمانی با ساخته‌شدن یخ در عرض‌های جغرافیایی شمالی هم‌زمان بوده که در شاخصه‌های ایزوتوپی ثبت شده‌است.

سردشدن ناگهانی در ۱۱۰ تا ۱۰۵۰۰۰ سال قبل

رخداد سردشدن سریع و اُفت 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)*. پایین‌افتادن سطح آب دریا در این دوره احتمالاً نشان‌دهندهٔ افزایش شدید حجم یخ‌های جهان است و در این زمان صفحه یخ اسکاندیناوی تشکیل می‌شد *(Van Andel, T.H., Tzedakis, 1996: 485)*

یک دورهٔ سرد شدید بین ۵۸ تا ۷۵ هزار سل قبل

در طول یک مرحلهٔ به‌شدت سرد بین ۵۸ تا ۷۵ هزار سال قبل، یک دورهٔ 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 تودهٔ یخ بزرگ بر روی فونا اسکاندیناوی و جنگل کاج در جنوب اروپا و ترکیه مستقر شد. تأثیر این دورهٔ 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 دریاچهٔ ارومیه و شکل‌گیری پادگانه‌های دریاچه‌ای در این منطقه باشد. هرچند از لحاظ زمانی این دوره با سن پادگانهٔ سلماس در ۵۴۱۵۰ سال گذشته هم‌زمان نیست؛ ولی به‌واسطهٔ نزدیکی زمانی این دوره با سن پادگانهٔ

1-Ilex
2-Hedera

دریاچه‌ای سلماس و بالاآمدن سطح آب دریاچهٔ 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 دریاچهٔ ارومیه و شکل‌گرفتن پادگانه‌های دریاچه‌ای باشد.

دورهٔ هنریچ ۵۲ تا ۴۵ هزار سال قبل

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، پادگانهٔ 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 دورهٔ 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 صفحهٔ یخی بزرگ، شرایط خشک با پوشش گیاهی تنک‌تر و با فعالیت صفحات ماسه‌ای بادی هم‌زمان است. این دورهٔ زمانی در شمال آتلانتیک با یکی از سردترین و خشک‌ترین مراحل، ۱۰۰ هزار سال گذشته در اروپای غربی همراه بوده‌است. بالا آمدن سطح آب دریاچهٔ ارومیه شکل‌گیری پادگانهٔ «زنبیل‌داغی» در ارتفاع ۱۳۴۲/۷ متری از سطح دریاهای آزاد (۴۱۰۷۰ سال قبل) و افزایش ارتفاع این پادگانه نسبت‌به پادگانهٔ «کچه‌باشی» با ارتفاع ۱۳۳۴ متر از سطح دریاهای آزاد در ۴۶۰۰۰ سال قبل به 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 نسبت‌به دوره‌های سرد قبلی و بعدی خود و بین بازهٔ زمانی ۲۶۰۰۰ تا ۵۸۰۰۰ سال قبل معتدل‌ترین شرایط اقلیمی را دارند *(وناندل و زاداکیس، ۱۹۹۶)*؛ ازاین‌رو تأثیراتی که می‌توانسته بر سطح آب دریاچه بگذارد، به‌تبع کمتر بوده‌است و شکل‌گیری این پادگانه‌های دریاچهٔ ارومیه را در ارتفاعی پایین‌تر نسبت‌به پادگانه‌های پیشین خود توجیه می‌کند.

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

پادگانه‌های جزیرهٔ 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 دورهٔ سرد (۳۶ هزار سال قبل) هم‌زمان بوده و شواهد ثبت‌شده از آن نشان‌دهندهٔ پایان یک دورهٔ سرد و هم‌زمان با آن کاهش سطح آب دریاچه رخ داده‌است.

ارتباط بین وقایع هنریچ و نوسانات سطح آب دریاچهٔ ارومیه

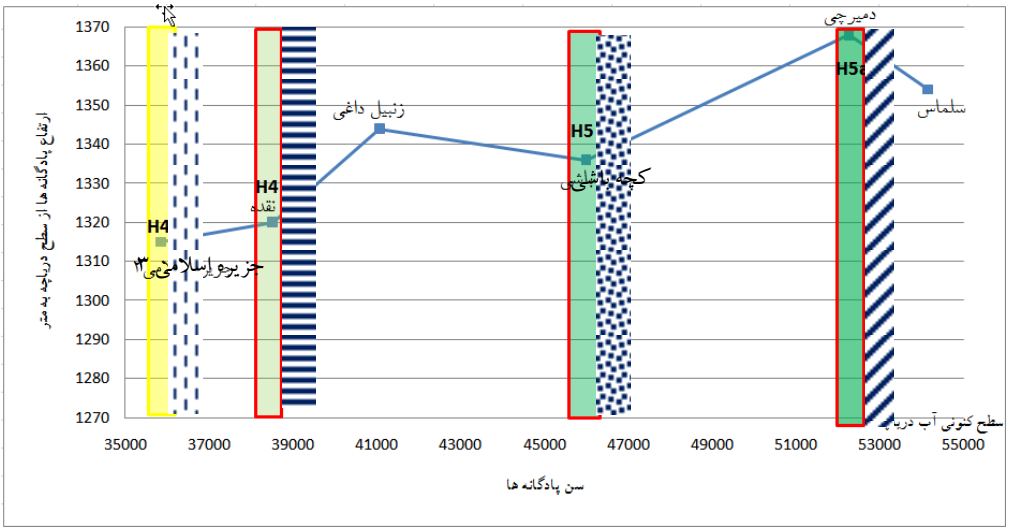
با توجه به تعیین سن‌های صورت‌گرفته بر روی پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه، تعدادی از این پادگانه‌ها با اختلاف کمی با بعضی از وقایع هنریچ هم‌زمان هستند. پادگانهٔ «جزیرهٔ اسلامی ۳» با سن ۳۵۸۵۰ سال با اختلاف ۵۰ سال با شواهدی که باند و همکاران (۱۹۹۷) در رابطه با رویداد هنریچ ۴ به‌دست

آورده‌اند، از لحاظ زمانی هم‌خوانی دارد. پادگانهٔ «نقده» نیز در ۳۸۵۲۰ سال قبل، با یافته‌های ون کریدل و همکاران (۲۰۰۰) مطابقت دارد. پادگانهٔ «کچه‌باشی» از لحاظ سنی با توجه به شواهد ون کریدل و همکاران (۲۰۰۰) با دورهٔ هنریچ ۵ با اختلاف کمی هم‌زمان است. پادگانهٔ دریاچه‌ای «دمیرچی»، از لحاظ زمانی با اختلاف کمی (۵۰ سال) با مطالعات ون کریدل و همکاران (۲۰۰۰) در رابطه با دورهٔ هنریچ 5a نیز هم‌زمانی نشان می‌دهد (شکل ۱۳). تاکنون شواهدی از وقایع هنریچ ۴، ۵ و 5a در ایران گزارش نشده‌است و نتایج حاصل از این تحقیق و هم‌زمانی آن با تغییرات سطح آب دریاچهٔ 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).

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

پادگانه‌های ارومیه	هیمینگ (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	۲۳/۵ تا ۲۴/۵	۲۲۰۰۰	۲۳۰۰۰		۲۴۱۰۰۰	هنریچ دو
	۳۱۰۰۰	۲۹/۲ تا ۳۰		۲۹۰۰۰		۳۰۱۰۰	هنریچ سه
«جزیرهٔ اسلامی ۳» (۳۵۸۵۰ سال قبل و هم‌زمان با باند و همکاران، ۱۹۹۷) و «نقده» (۳۸۵۲۰) (ون کریدل و همکاران، ۲۰۰۰)	۳۸۰۰۰	۳۸/۴۵ تا ۳۹/۴	۳۵۰۰۰	۳۷۰۰۰	۳۵۹۰۰		هنریچ چهار
«کچه‌باشی» (۴۶۰۰۰ سال قبل و هم‌زمان با ون کریدل و همکاران،۲۰۰۰)	۴۵۰۰۰	۴۵/۴۵ تا ۴۵/۷۵	۴۵۰۰۰		۵۰۰۰۰		هنریچ پنج
«دمیرچی» (۵۲۲۷۰ سال قبل و هم‌زمان با ون کریدل و همکاران،۲۰۰۰)		۵۲ تا ۵۲/۲۳					هنریچ 5a
	۶۰۰۰۰				۶۶۰۰۰		هنریچ شش

مأخذ : نگارندگان، ۱۳۹۶

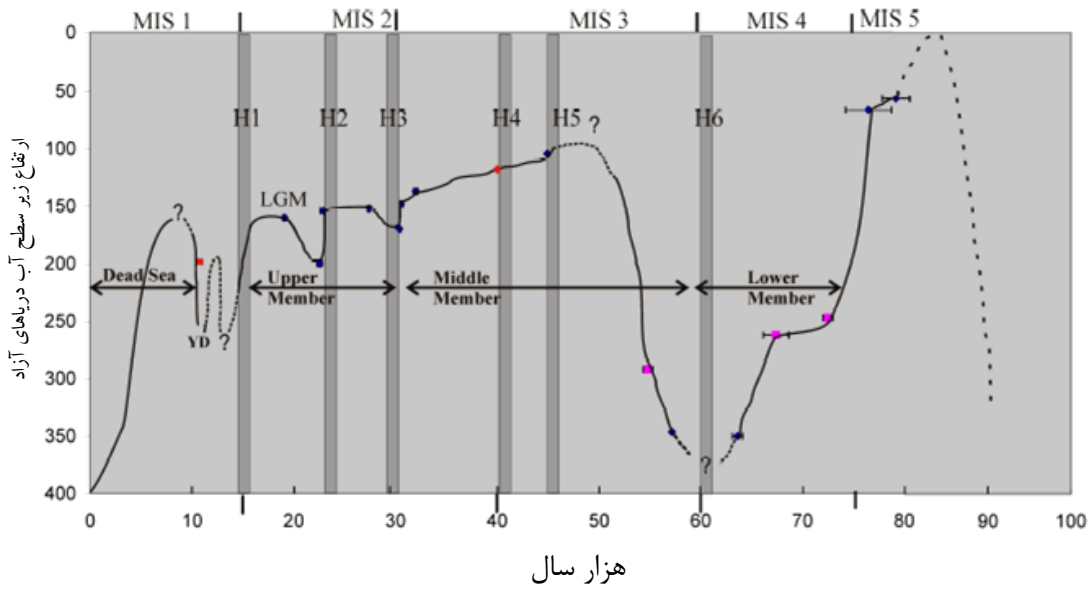


شکل ۱۳: هم‌زمانی سن پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه با وقایع هنریچ

مأخذ: (وقایع هنریچ، کادر قرمز، ون کریدل و همکاران، ۲۰۰۰؛ کادر زرد، باند و همکاران، ۱۹۹۷)

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؛ ازاین‌رو نشان می‌دهد که شرایط اقلیمی برای افزایش سطح آب دریاچه در 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 کچه‌باشی 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).



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).

یکی از معدود مطالعاتی که در سطح جهان دربارهٔ 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[1] به‌دست آورد. در منطقهٔ 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 نسبت‌به شرایط کنونی نشان می‌دهد و دما در این منطقه نسبت‌به شرایط کنونی ۶,۱ درجهٔ سانتی‌گراد کاهش داشته‌است.

در منطقهٔ «زاراگالاس[2]» شواهد دورهٔ هنریچ ۵ در ۴۵ تا ۴۸ هزار سال قبل نشان‌دهندهٔ افزایش میزان بارش ۲۶۶ میلی‌متر (۳۵,۱ درصد) در این دوره نسبت‌به شرایط کنونی و کاهش ۶,۰۵- درجهٔ سانتی‌گراد دما در این منطقه نسبت‌به شرایط کنونی است. در همین دوره در منطقهٔ رومانی[3] شواهد منتسب به هنریچ ۵ در ۴۶ هزار سال قبل نشان‌دهندهٔ افزایش ۹۰ میلی‌متر میزان بارش نسبت‌به 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 محدودهٔ دریای مدیترانه همراه با کاهش دما و افزایش بارش بوده‌است. این همزمانی می‌تواند نشان‌دهندهٔ وقوع دوره‌های بارانی در این منطقه باشد. مکانیسم عملکرد اقلیم در شمال‌غرب ایران و محدودهٔ حوضهٔ دریاچهٔ ارومیه در دورهٔ هنریچ می‌تواند شرایطی شبیه مدیترانه داشته‌باشد. این شرایط با بارش بیشتر، دمای کمتر و وقوع دوره‌های بارانی در منطقه همراه

1-Canyars
2-Xaragalls
3-A. Romani

بوده‌است که بالاآمدن سطح آب دریاچهٔ ارومیه و دوره‌های هنریچ هم‌زمان است.

تعیین دقیق نوسانات و تغییرات اقلیمی وقایع هنریچ ۴ و ۵ در دریاچهٔ ارومیه نیاز به مطالعات بسیار گسترده در زمینهٔ پالئوکلیماتولوژی و مطالعات جامع ایزوتوپی در این منطقه است.

هر چند شرایط محیطی دریاچهٔ ارومیه با منطقهٔ مورد مطالعهٔ لوپز گارسیا (۲۰۱۳) در اسپانیا متفاوت است، ولی عرض جغرافیایی و سیستم‌های اقلیمی همانند بادهای غربی که شمال‌غربی ایران را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد، مشابه است. در صورتی که شرایطی اقلیمی مشابه شرایط منطقهٔ مورد مطالعه در اسپانیا را برای دریاچهٔ ارومیه در نظر بگیریم، امکان بازسازی احتمالی از نوسانات اقلیمی حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه وجود دارد تا مشخص شود این تغییرات در صورتی که در دریاچهٔ ارومیه روی می‌داد، اقلیم منطقه نسبت‌به شرایط کنونی چه تغییراتی پشت سر گذاشته که منجر به افزایش سطح آب دریاچهٔ ارومیه شده‌است.

میزان بارش میانگین در سه ایستگاه مهاباد، تبریز و ارومیه ۳۴۹ میلی‌متر و میانگین دما در این سه ایستگاه ۱۲/۱۵ درجهٔ سانتی‌گراد است. داده‌های آماری لوپز گارسیا (۲۰۱۳) در کانیارس، زاراگالای وای روانی، کاهش میزان دما در هر منطقه و همچنین درصد افزایش بارش نسبت‌به شرایط کنونی بازسازی شد و با استفاده از روش دمارتن نسبت‌به طبقه‌بندی اقلیمی دریاچهٔ ارومیه در زمان وقایع هنریچ اقدام شد.

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

اقلیم احتمالی دریاچهٔ ارومیه در هنریچ	احتمال وقوع میانگین دمای دوره‌های هنریچ در دریاچهٔ ارومیه (سانتی‌گراد)	احتمال بارش دوره‌های هنریچ در دریاچهٔ ارومیه (میلی‌متر)	اقلیم کنونی دریاچهٔ ارومیه (روش دمارتن)	میانگین دمای کنونی دریاچهٔ ارومیه (سانتی‌گراد)	میانگین بارش کنونی دریاچهٔ ارومیه (میلی‌متر)	
مرطوب	۶/۰۷	۴۵۷	نیمه‌خشک	۱۲/۱۵	۳۴۹	دورهٔ هنریچ ۴ (کانیارس)
بسیار مرطوب	۶/۱	۶۱۵	نیمه‌خشک	۱۲/۱۵	۳۴۹	دورهٔ هنریچ ۵ (زاراگالاس)
مرطوب	۵,۷۵	۳۹۰/۵	نیمه‌خشک	۱۲/۱۵	۳۴۹	دورهٔ هنریچ ۵ (ای. رومانی)

مأخذ: نگارندگان،۱۳۹۶

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، در دورهٔ سرد هنریچ ۵ که هم‌زمان با تشکیل پادگانهٔ دریاچه‌ای «کچه‌باشی» است، اقلیم منطقه با تطبیق الگوی منطقه‌ای رومانی، مرطوب و با توجه به الگوی منطقهٔ زاراگالاس، بسیار مرطوب است و این امر می‌تواند دلیلی بر بالابودن سطح آب دریاچهٔ ارومیه باشد که اقلیم دریاچهٔ ارومیه از یک اقلیم نیمه‌خشک در شرایط کنونی، به اقلیم مرطوب و بسیار مرطوب تبدیل شده‌بود که میزان بارش افزایش یافته و از میزان دما و تبخیر کاسته شده‌است. اگر فرض اقلیم بسیار مرطوب را بپذیریم، ارتفاع بیشتر سطح آب دریاچهٔ ارومیه هم‌زمان با وقایع هنریچ ۵ در پادگانهٔ «کچه‌باشی» نسبت‌به پادگانه در هنریچ ۴ را که در شرایط اقلیمی مرطوب قرار دارد، می‌تواند توجیه کند.

نتیجه

پیدایش و تراکم طبقات عظیم یخ در مناطق شمالی کرهٔ زمین در پلیوستوسن پایانی طبعاً در آب و هوای مناطق جنوبی‌تر ازجمله 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 همهٔ قاره‌ها آثار و علائمی از دریاچه‌های باستانی باقی است که در دوره‌ای وجود داشته و سپس از بین رفته‌اند و دریاچهٔ ارومیه از جملهٔ آن است. وجود تعداد ۲۴ پادگانهٔ دریاچه‌ای در رسوبات کواترنری حاشیهٔ دریاچهٔ ارومیه و در ارتفاع‌های مختلف نشان‌دهندهٔ تغییرات اقلیمی حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه در پلیوستوسن پایانی است. بالاترین سطح ارتفاعی پادگانه‌های شناسایی‌شده حدود ۹۵ متر بالاتر از سطح کنونی دریاچه قرار دارد. سؤالی که در این تحقیق به‌دنبال آن بودیم این است که بالا آمدن سطح آب دریاچهٔ 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 دریاچهٔ ارومیه در پلیوستوسن پایانی هم‌زمان با دورهٔ یخچالی وورم در شمال اروپاست. این تعیین سن همچنین نشان می‌دهد، بالا آمدن سطح آب دریاچهٔ ارومیه با دوره‌های سرد هنریچ ۴، هنریچ ۵ و 5a هم‌زمان است. داده‌های ثبت‌شده از تاریخ تحولات اقلیمی دورهٔ هنریچ، مبتنی‌بر مغزه‌های آتلانتیک شمالی و گرینلند، نشان‌دهندهٔ سردترین شرایط دورهٔ 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 دریاچهٔ ارومیه با دوره‌های هنریچ ۴ و ۵ می‌تواند نشان‌دهندهٔ 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 دریاچهٔ ارومیه را می‌توان با هم‌زمانی با دوره‌های بارانی در این زمان توجیه کرد. در صورت پذیرش نتایج بالا برای دریاچهٔ ارومیه، فرضیه های عیوضی (۱۳۷۶) و بوتزر دربارهٔ هم‌زمانی بالا آمدن سطح آب دریاچهٔ ارومیه در دوره‌های بارانی -که در آن‌ها دما و تبخیر نسبت‌به امروز اندکی کمتر و مقدار بارش اندکی بیشتر بوده‌است- تأیید می‌شود.

هم‌زمانی بالا آمدن سطح آب دریاچهٔ ارومیه در دورهٔ هنریچ با بالا آمدن سطح آب دریاچهٔ مرده نیز نشان‌دهندهٔ صحت نتایج به‌دست‌آمده در مطالعات دریاچهٔ 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 لوپز گارسیا (۲۰۱۳) با منطقهٔ مورد مطالعه، دلیل اصلی بالا آمدن سطح آب دریاچهٔ ارومیه تغییر اقلیم منطقه از شرایط نیمه‌خشک کنونی به اقلیم مرطوب و نیمه‌مرطوب بوده‌است. کاهش میزان دما و به‌تبع آن کاهش میزان تبخیر آب دریاچهٔ ارومیه هم‌زمان با دوره‌های سرد هنریچ منجر به افزایش سطح آب دریاچهٔ ارومیه در این دوره بوده‌است و این نتایج برای اولین بار شواهدی از تأثیر دوره‌های سرد هنریچ را در ایران به نمایش می‌گذارد.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از طرح تحقیقاتی با عنوان «علل نوسان تراز آب دریاچهٔ ارومیه و ارائهٔ راهکارهای احیای دریاچهٔ ارومیه با توجه به تجربیات جهانی» است که در پژوهشکدهٔ علوم‌زمین سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به اجرا درآمده‌است.

منابع

- سیاهپوش. محمدتقی (۱۳۵۲). پیرامون آب و هوای باستانی فلات ایران، ابن‌سینا. تهران.
- شایان، سیاوش. جنتی، مهدی. ۱۳۸۶، شناسایی نوسانات مرز پیرامونی و ترسیم نقشهٔ پراکنش مواد معلق دریاچهٔ ارومیه با استفاده ازتصاویر ماهواره‌ای، سنجنده‌های ETM, TM & LIssIII، پژوهش‌های جغرافیایی. شمارهٔ ۶۲.
- خیام، مقصود (۱۳۶۴). ملاحظاتی چند در سفره‌های آبرفتی و نهشته‌های کواترنر جلگهٔ تبریز، مجموعه مقالات‌سمینار جغرافیایی، انتشارات آستان قدس رضوی.
- صالحی‌پورمیلانی، علیرضا؛ علی محمدی؛ جواد درویشی‌خاتونی؛ راضیه لک (۱۳۸۹). بازسازی نوسانات سطح آب دریاچهٔ ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ارومیه.
- صبوری، جعفر؛ حبیب علیمحمدیان؛ اسماعیل مغفوری‌مقدم؛راضیه لک (۱۳۸۸). مطالعهٔ سنگواره‌ها، محیط رسوبی و تعیین سن مطلق پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه، چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ارومیه.
- عزیزی، قاسم (۱۳۸۳). تغییر اقلیم. انتشارات قومس.
- عزیزی، قاسم؛ طیبه اکبری؛ حسین هاشمی؛ مجتبی یمانی؛ مهران مقصودی؛ عباسی جغناب (۱۳۹۲). تحلیل پالینولوژیکی رسوبات دریاچهٔ نئور به‌منظور بازسازی فازهای رطوبتی دیرینهٔ دریاچه نئور در اواخر پلئیستوسن و اوایل هولوسن، فصلنامهٔ پژوهش‌های جغرافیایی. شمارهٔ 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 دریاچهٔ ارومیه، زمین‌شناسی ژئوتکنیک (زمین‌شناسی‌کاربردی). دورهٔ ۷. شمارهٔ ۴. ۳۴۳ تا ۳۵۸.
- مقصودی، مهران (۱۳۹۰). شواهد ژئومورفولوژیکی تغییرات سطح اساس در پلایای حوض‌سلطان، 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.
- 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.

- 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, NewYork, 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, l. 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.
- Djamali, M, de Beaulieu, J. L., Miller N. F, Andrieu-Ponel, V., Ponel, P., Lak, R., Sadeddin, N., Akhani, 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, Catrherina., Christol, Aurelien., Mouralis, Damase, Dog˘ u, Ali-Fuat, Akko¨ Pru., Ebru , Fort,Monique. , Brunstein, DANIEL, Zorer, Halil., Fontugne, Michel., Karabiyk lu, ,Mustafa.,Scallet, Stephane., Reyss, Jean-Louis and Guilou, Herve (2010). Formation of the Upper Pleistocene terracesof Lake Van (Turkey), Journal of Quaternary SSciences, 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.
- L´opez-Garc´ıa, H.-A. Blain, M. Benn`asar, M. Sanz, and J. Daura (2013). Heinrich event 4 characterized by terrestrial proxies in southwestern EuropeC .lim. Past, 9, 1053-1064.

Geography and Development
17nd Year-No.55–Summer 2019
Received: 06/08/2017 Accepted: 15/09/2018

Geomorphological Evidences of Heinrich Events in North West of Iran

Dr. Alireza Salehipour Milani
Assistant Professor of Natural Geography
University of Shahid Beheshti, Tehran

Dr.Razyeh Lak
Associated professor,Phd in Sedimentology
Research Institute for Earth Sciences

Dr. Mojtaba Yamani
Professor of Faculty of Natural Geography
University of Tehran

Introduction

Changing climatic conditions in marine and lake environments has a direct impact on their water level changes. In the lake environment and middle latitudes of the Earth, cold periods accompanied with decreasing air temperatures, increasing rainfall and decreasing evaporation. This situation leads to a Pluvial period, which is the result of rising lake water levels. Conversely, during warm periods, with increasing temperature, decreasing rainfall and increasing evapotranspiration over a long period of time, it is possible to see lake water level decrease. According to data from the history of climate change based on the northern Atlantic and Greenland cores, as well as the historiography of Henrich event from the Cold era, Henrich 1 and 2 may portray the coldest climatic conditions in the last glacial period in quaternary. If this is true, more moderate phases (still dryer than current ones) may overcome the region's conditions in parts of the course. The younger Dryas is also a form of Henrich's event, and it can be considered the latest era of Heinrichs events. This research was carried out with the aim of identifying and rehabilitating climatic changes in the late Pleistocene and finding the evidence of cold weather in the northwest of Iran by studying the Urmia Lake terraces as an indicator of climate change.

Methodology

During field studies, 24 lake terraces were identified at a height of 1298 meters to 1365 meters above global mean sea level. Determining the age of 6 terraces was achieved using carbon 14 method. The results of the determination of the age of the fluctuations in the Urmia Lake water level were matched with the climatic events in the late Pleistocene, and the climate conditions in the region were reconstructed by linking the time between the lake water fluctuation event and the climate change in this period. In addition, in order to confirm the results of this study and its verification, the results of the review of the long-term fluctuations in the water level of Urmia Lake were adapted with the results of the lake level fluctuations of the "Dead Sea.

Discussion

The rise of the Urmia Lake water level in the late Pleistocene coincides with the northern glacial period of Worm. The four dated lake terraces in this study synchorn with the Henrich 4 and 5 climate events. These events have been linked to the expansion of glaciers in northern Europe at the end of the Pleistocene, reflecting the impact of the climatic conditions of Iran on the cold times of Henrich.

The evidence of the Henrich Cold Periods in Iran was identified for first in this research. At the Urmia Lake, During Heinrich event, lake water level has increased, indicating the impact of these climate changes on the area of the country.

Results

The results indicate that the present semi-arid region of the studied area, possibly in the cooler periods of Henrich, may have changed to a more humid climate and these events coincided with the occurrence of pluvial periods and the increase in precipitation, reduced evaporation and temperature in this region of the country. This has led to an increase in the amount of water entering the rivers in the catchment area of the Urmia lake, and the formation of lakes terraces in the Pleistocene. The rise of Urmia Lake water level in the late Pleistocene synchronic with 4th and 5th Heinrichs Cold periods and associated with the rise of the "dead sea " lake water. This evidence confirms the verity of the results obtained from this study.

Keywords: Northwest of Iran, late Pleistocene, Heinrichs Events .

Refrences

- Siyahpoosh. Mohammad Taghi (1973). About the ancient climate of Iran's Plateau, Avicenna, Tehran.
- Shayan, Siavash. Jannati, Mahdi 2007, Identifying the fluctuations of the peripheral boundary and drawing a map of the distribution of suspended matter in Urmia using satellite, ETM, TM & LIssIII sensors, Geographic research, No. 62
- Khayyam, Maghsood (1985). Some considerations in alluvial reservoirs and Quaternary deposits of Tabriz, articles of the Geographical Seminar, Astan Quds Razavi Publications.
- Salehpourmilani, AliReza; Ali Mohammadi; Javad Darvishhehtouni; Razieh Lak (2010). Reconstruction of Urmia Lake water level fluctuations using satellite imagery. Fourteenth Congress of Iranian Geological Society, Urmia.
- Saboori, Jafar; Habib Ali Mohammadian; Ismaeel Maghfoori Moghadam; Razieh Lak (2009). The study of fossils, sedimentary environment and determination of absolute age of the tundra basins of Urmia, 14th congress of Iran Geological Society, Urmia.
- Azizi, Qasim (2004). Climate change, Qomes Publications
- Azizi, Ghasem; Tayebeh Akbari; Hossein Hashemi; Mojtaba Yamani; Mehran Maghsoudi; Abbasi Janghab (2013). Palynological analysis of Neur sea sediments in order to reconstruct the long-lived Neur reservoir moisture phases in the late Plastyocene and early Holocene, Geosciences Research. Number 1 (83) Page 1 to Page 20.
- Eyvazi, Jamshid (1997). Geomorphology of Iran, Payame Noor University Press.
- Lak, Razieh; Javad Darvishkhatooni; Ali Mohammadi (2011). Paleolymologic studies and causes of sudden decrease in water level in Urmia, geotechnical geology (geological survey). Period 7, Number 4. 343 to 358.
- Maghsoudi, Mehran (2011). Geomorphologic Evidences of Level-Based Evolution in Playgrounds of the Hoze Soltan, Geography-Geographic Society of Iran. 9, 2811- . Moghimi, Ibrahim (2010). Geomorphology of Iran, Tehran University Press. Tehran.1.
- 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.
- 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., Akhani, 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, Catrherina., Christol, Aurelien., Mouralis, Damase, Dogˇ u, Ali-Fuat, Akko¨ Pru., Ebru , Fort,Monique. , Brunstein, DANIEL, Zorer, Halil., Fontugne, Michel., Karabiyk lu, ,Mustafa.,Scallet, Stephane., Reyss, Jean-Louis and Guilou, Herve (2010). Formation of the Upper Pleistocene terracesof Lake Van (Turkey), Journal of Quaternary SSciences, 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.
- L´opez-Garc´ıa, H.-A. Blain, M. Benn`asar, M. Sanz, and J. Daura (2013). Heinrich event 4 characterized by terrestrial proxies in southwestern EuropeC .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, NewYork, 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, l. 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.