

شناسایی پهنه‌های رسوبی ناشی از تحولات اقلیمی در پلایای مهارلو با به کارگیری تکنیک PCA و شاخص OIF

منیژه قهرودی تالی*، دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی
حسن لشگری، دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی
زهرا سادات حسینی، کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی

چکیده

ایران کشوری است که در بخش‌های داخلی آن، شواهد ژئومورفولوژیکی متعددی را، از تغییرات اقلیمی به صورت تناوب اقلیم خشک و بارانی دارا است. دریاچه مهارلو، یکی از بسترهایی است که این شواهد را به صورت سطوحی از رسوبات آواری و تبخیری حفظ کرده است. این دریاچه، حوضه آبریز خود به مساحت حدود ۴۲۶۶ کیلومترمربع را زهکشی می‌کند و در حال حاضر دارای اقلیمی خشک، با تبخیر بیش از بارش است. شرایط اقلیمی و همچنین شرایط زمین‌شناسی آن، سبب شده است که این دریاچه به شکل پلایا تحول یابد. در حالی که بسترهای سیلابی و تراس‌های کم ارتفاع اطراف دریاچه، حکایت از اقلیم با بارش بیش‌تر را در این حوضه دارد. این پژوهش با هدف شناسایی تغییرات دریاچه مهارلو انجام شده است. از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، داده‌های ارتفاعی Aster، تصاویر ماهواره‌ای ETM+ و IRS6، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و مشاهدات میدانی استفاده شده است. تکنیک‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی و شاخص OIF برای شناسایی سطوح اطراف دریاچه انجام شده است و نتایج آنالیز به کمک مشاهدات میدانی و نمونه‌گیری، ارزیابی شده است. نتایج به دست آمده نشان داد که دریاچه‌ی مهارلو در آخرین دوره‌ی سرد، باران بیش‌تری دریافت نموده است و مساحتی معادل ۵۱۷.۶ کیلومترمربع را داشته است. به دلیل وجود کانی‌های تبخیری از جمله کلسیت، ژپس و هالیت در بستر زمین‌شناسی حوضه و با تغییر اقلیم، کاهش بارش و افزایش تبخیر، دریاچه کوچک‌تر شده و کانی‌های تبخیری براساس میزان حلالیت خود رسوب نموده‌اند و سطوح آهکی، گچی و نمکی را در اطراف دریاچه تشکیل داده‌اند و دریاچه‌ی مهارلو به صورت پلایا تحول یافته است. وجود کانی‌های هالیت در سایر سطوح بیانگر این است که تغییرات اقلیمی بعد از اولین دوره خشکی، تنها سبب تغییر سطوح نمکی شده است و تحول ژئومورفولوژیکی پلایای مهارلو را مختل نموده است.

واژگان کلیدی

تحولات اقلیمی، پلایا، دریاچه مهارلو، PCA، شاخص OIF

۱ - مقدمه

تغییرات اقلیمی، از حوادث مهم دوره کواترنر می باشد که سبب تحولات ژئومورفولوژیکی، در پیکره ایران شده است. قلمرو ایران مرکزی اکنون تحت تأثیر اقلیم گرم و خشک قرار دارد، اما شواهد متعددی از جمله فرسایش شدید آب های جاری، مخروط افکنه های عظیم، پادگانه های آبرفتی وسیع و رسوبات سیلابی، حکایت از شرایط اقلیمی سردتر و مرطوب تر را در این قلمرو دارند (محمودی، ۱۳۶۷)، و شواهد تغییرات آب و هوای کواترنری به صورت رسوبات آواری و تبخیری عمدتاً دریاچه ها ثبت می شوند، (برادلی^۱، ۱۹۹۹، کروفورد و پدوانی^۲ ۱۹۸۹) این دریاچه ها که حوضه ی انتهایی رودها می باشند، به بیلان تبخیر و بارش در کواترنر حساسیت زیادی نشان داده به طوری که سبب تغییر سیستم هیدرولوژیکی حوضه شده اند. به بیان دیگر هیدرولوژی حوضه با شکل حوضه، نفوذپذیری و شرایط اقلیمی تغییر می کند. چون شکل حوضه و نفوذپذیری حوضه ها در قلمرو خشک، از اواخر پلیستوسن ثابت مانده است، پس تغییرات هیدرولوژیکی در ارتباط با تغییرات اقلیمی می باشد. (کرینسلی^۳، ۱۹۷۰) در ایران مرکزی دریاچه های متعددی وجود دارد که به صورت حوضه ی انتهایی در قلمرو خشک و نیمه خشک می باشند. در حال حاضر تبخیر از این دریاچه ها از میزان آب ورودی بیش تر است در نتیجه کانی های محلول که در دوره های مرطوب تر وارد این حوضه ها شده است، بر اثر ادامه خشکی رسوب می نمایند و زون های متعدد از کانی های تبخیری ایجاد می کنند. این دریاچه های شور، پلایا نامیده می شوند.

کرینسلی (۱۹۷۰) از اولین کسانی بود که به صورت کامل پلایاهای ایران را، از دیدگاه ژئومورفولوژی و پالئوکلیماتولوژی، مورد بررسی قرار داد و پس از آن رسوب شناسانی از جمله شهبابی^۴ (۱۹۸۶) و دیگر محققان به طور پراکنده محیط های پلایاها را مورد مطالعه قرار دادند. استفاده از تکنیک های سنجش از دور به ویژه تحلیل مؤلفه های اصلی (PCA^۵) و استفاده از ترکیب های بانندی در شناسایی پدیده ها، می توان به پژوهش های متعدد علوی پناه^۶ در سال های ۱۹۹۷، ۲۰۰۲، ۲۰۰۳، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ اشاره نمود. بیشتا^۷ (۲۰۰۵) و مصطفی^۸ و بیشتا^۹ (۲۰۰۹)، مصطفی^۸ و بیشتا^۹ (۲۰۰۴) نیز از تحلیل مؤلفه های اصلی در شناسایی سنگ ها و قهرودی تالی^۹ (۲۰۱۰) و گونلو^{۱۰} (۲۰۰۸) نیز همین روش را در شناسایی تغییرات بسترهای رسوبی استفاده نموده اند. البته از روش طبقه بندی نظارت شده خوشه بندی، فیل تر Sieve و نسبت گیری طیفی در تصاویر ETM, TM, MSS, LISSIII, MODIS نیز تغییرات رسوبی و تغییرات سطح آب دریاچه ی ارومیه شناسایی شده است. (شایان، جنتی، ۱۳۸۶ و رسولی و همکاران، ۱۳۸۷)

پلایای مهارلو، بخش انتهایی حوضه ی آبریز مهارلو در استان فارس در محدوده ی N - ۲۹°۱' ۵.۷۳" N - ۵۳°۲۸' ۲۷.۶۸" E و ۲۹°۵۶' ۳۳.۲۲" E - ۵۲°۱۳' ۱.۴۲" E قرار دارد. (شکل ۱) این حوضه از شمال به

¹- Bradley

²- Crowford and Padovani

³- Krinsley

⁴- Shahrabi

⁵- Principal Component Analyze

⁶- Alavi Panah

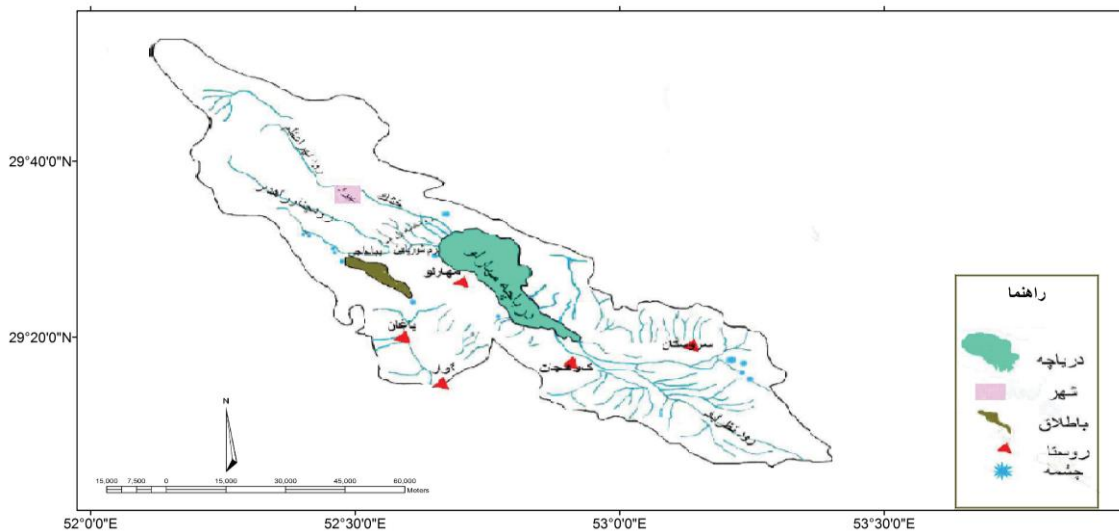
⁷- Bishta

⁸- Mostafa

⁹- Ghahroudi Tali

¹⁰- Günlü

دریاچه‌ی بختگان و از جنوب و غرب به حوضه‌ی آبریز قره آغاج محدود می‌شود. روند عمومی حوضه، شمال غربی - جنوب شرقی است. وسعت حوضه، حدود ۴۲۶۶۰۵.۹۹ هکتار است. حداکثر ارتفاع در حوضه ۳۱۸۲ متر و حداقل ارتفاع ۱۳۷۴ متر می‌باشد و از سه زیرحوضه سروستان، گشنگان و حوضه‌ی غربی مهارلو تشکیل شده است. دریاچه‌ی مهارلو در یک فرونشست ناودیزی مانند، شکل گرفته که گسل سروستان از آن می‌گذرد. به نظر می‌رسد که حرکات این گسل به ویژه از زمان پلیستوسن پسین به بعد، موجب تشکیل این فرونشست ناودیس مانند شده باشد. خاکسار و همکاران در سال ۱۳۸۵ حساسیت سازندهای حوضه‌ی مهارلو، نسبت به فرسایش را براساس شاخص‌های هوازدگی، استحکام سنگ، ناپیوستگی‌ها، پوشش گیاهی، شیب و اقلیم محاسبه نمودند و به این نتیجه رسیدند که سری هرمز، بنگستان، پابده، گوربی و مارن‌های پابده و گوربی حساسیت زیادی به فرسایش و تخریب دارند و مابقی سازندهای این حوضه از این فرسایش در رنج متوسط هستند. بهرامی و پروانه زاده‌ی شیرازی (۲۰۱۰) با مطالعه رخساره‌ها و رسوبات در استان فارس پی بردند که کف دریاچه مهارلو، از سازندهای گوربی و پابده تشکیل شده است. از طرفی فیاضی و همکاران (۱۳۸۶) با برداشت ۳۲۰ نمونه از دوره‌های خشک، کم آبی و پرآبی از دریاچه‌ی مهارلو به این نتیجه رسیدند که برخلاف پلایاهای دیگر در این دریاچه شور، مقدار کربنات از میزان کلسیم و منیزیم کم‌تر است و علت آن را وجود آب‌های بی‌کربناتی دانستند که از چشمه‌های کارستی کف دریاچه وارد آن می‌شوند و از محل گسل در کف دریاچه خارج می‌شوند، بنابر این می‌توان نتیجه گرفت که اولاً بیش‌تر سازندهای این حوضه نسبت به فرسایش و تخریب حساس هستند و در ثانی شکستگی کف دریاچه، مانع از ایجاد پادگانه‌ها شده است. به عبارت دیگر با این‌که شرایط فرسایش و تولید رسوب در دوره‌های بارانی کواترنر در این منطقه وجود داشته است، اما به دلیل بالا نیامدن سطح آب دریاچه امکان تشکیل پادگانه وجود نداشته است، به طوری که به نظر کرینسلی (۱۹۷۰) عدم وجود سواحل کهن یا پادگانه‌های بلند، امکان وجود دریاچه‌ای در زمان پیش از پلیستوسن ناچیز است و اگر دریاچه‌ای هم وجود داشته، در نقاطی بوده که امروزه در حاشیه‌ی دریاچه‌ی فعلی قرار می‌گیرد. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که تغییرات سطح دریاچه مهارلو بسیار جدید و مربوط به تحولات اقلیمی اخیر و یا آخرین دوره‌ی سرد می‌باشد و هم‌چنین به دلیل عدم وجود شواهد ژئومورفولوژیکی و شوری ۲۲۰ گرم نمک در لیتر، (کفیل زاده و همکاران، ۲۰۰۷) مطالعه‌ی تغییرات دریاچه‌ی مهارلو با شواهد مرفولوژیکی، رسوب شناسی و فسیل شناسی مشکل است. بنابراین تکنیک‌های دورسنجی می‌تواند ابزار مفیدی برای شناسایی سطوح باقیمانده از تغییرات اقلیمی در این منطقه باشد. در حال حاضر تأمین کننده‌ی اصلی آب این دریاچه رودها و آبراهه‌هایی هستند که از شمال غربی و جنوب شرقی در آن تخلیه می‌شوند و مهم‌ترین آن‌ها رودهای خشک و باباحاجی می‌باشند. مساحت دریاچه مهارلو در فصول مختلف متفاوت و تابع بارش‌های جوی است. در سال‌های پرآبی مساحت سطح آب تا ۲۸۰ کیلومتر مربع می‌رسد، و بخشی از بستر آن را لایه‌ای از نمک می‌پوشاند. عمق دریاچه مهارلو بسیار کم است. در دوره‌ی پر آبی دامنه تغییرات عمق بین ۱/۹-۰ متر اندازه‌گیری شده، متوسط عمق در دوره‌های مرطوب، ۱/۳ متر بوده است.



شکل شماره ۱: حوضه دریاچه مهارلو

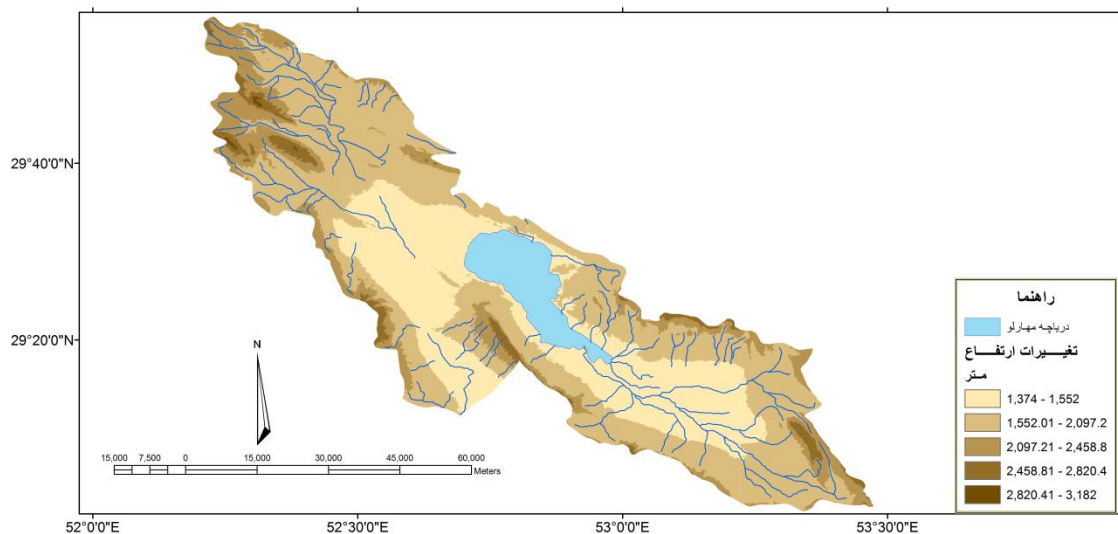
۲ - مواد و روش تحقیق

محدوده‌ی حوضه‌ی آبریز مهارلو، براساس مدل رقومی ارتفاع^۱ و نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ تعیین شده است. مدل رقومی ارتفاع از داده‌های راداری سنجنده ASTER^۲ با ابعاد پیکسل ۳۰ متر استخراج گردیده است (شکل ۲). داده‌های زمین‌شناسی حوضه، از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ برداشت شده است (شکل ۳). براساس این نقشه سازندهای موجود در این حوضه، شامل: سازندهای تاربور، از آهک انیدریت‌دار توده‌ای حاوی صدف؛ سازند آسماری، از آهک شدیداً درزه‌دار کرم، تا خرمایی رنگ هوازده، با میان لایه‌هایی از شیل؛ سازند جهرم، دولومیت توده‌ای خاکستری و قهوه‌ای هوازده، دولومیت نازک تا متوسط لایه کمی هوازده و توده‌ای، دولومیت آهک‌دار نخودی رنگ؛ سازند بختیاری، از کنگلومرای توده‌ای سیمانی با دگرسانی شدید و ماسه سنگ کمی هوازده، با چینه‌بندی متقاطع؛ سازند گوربی که از مارن خاکستری مایل به آبی و شیل به صورت فرعی حاوی آهک آرژیلی نازک لایه؛ سازند ساچوان از مارن قرمز کم رنگ، مارن سنگ، آهک، ژئپس و دولومیت و سازند آقاجاری از ماسه سنگ آهک‌دار قهوه‌ای مایل به خاکستری و کمی هوازده، ژئپس حفره دار، مارن قرمز و سیلتستون، تشکیل شده‌اند و هم‌چنین ذخایر غنی رسوبات جدید کوتاه‌تر را به صورت سطوح کم ارتفاع و مخروط‌افکنه‌ها، دارا است. وجود نهشته‌های آهکی، گچی و نمکی در سازندهای این حوضه و تبخیر زیاد، سبب شوری دریاچه‌ی مهارلو شده است.

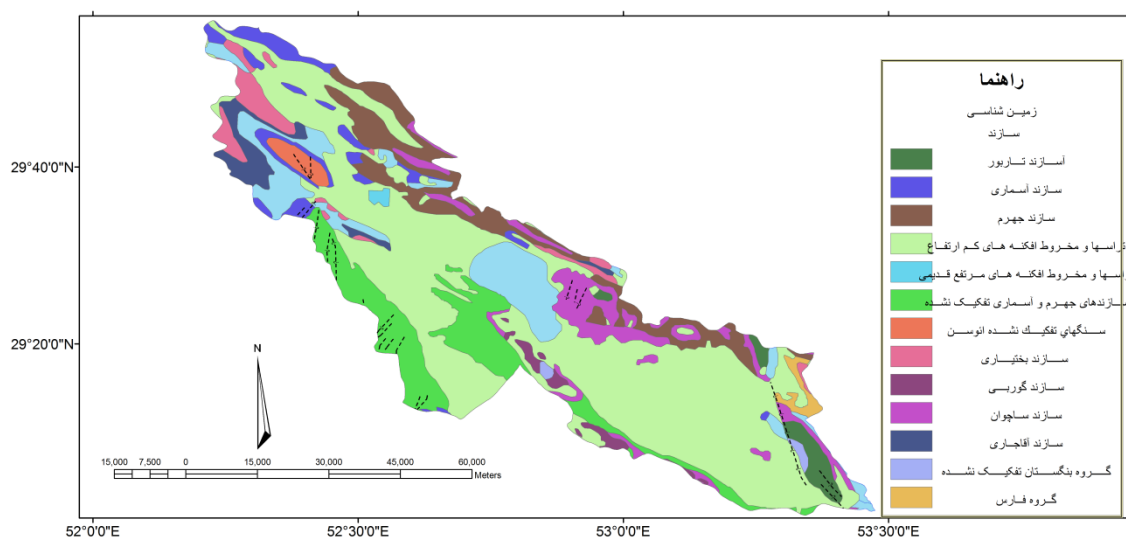
برای مطالعه‌ی تغییرات رسوب‌گذاری در اطراف دریاچه در کوتاه‌تر، از انطباق مدل ارتفاعی و نقشه زمین‌شناسی استفاده شد و بازه ۱۳۷۴ متر تا ارتفاع ۱۵۵۲ متر که شامل ۳۴.۶۷ درصد مساحت حوضه می‌شود، انتخاب گردید. براساس مشاهدات میدانی و نیم‌رخ‌های ارتفاعی، در سطوح بالاتر از این ارتفاع، مخروط‌افکنه‌های قدیمی رودها و دامنه‌های کوهستان قرار دارد که هیچ‌گاه، نمی‌توانسته محدودده‌ی دریاچه در کوتاه‌تری باشد.

¹ Digital Elevation Model (DEM)

² The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)



شکل شماره ۲: تغییرات ارتفاع در حوضه مهارلو (استخراج از تصویر راداری استر)



شکل شماره ۳: پراکنش سازندها در حوضه مهارلو (برداشت از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰)

برای به دست آوردن تغییرات سطح دریاچه در کواترنری، از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) مبتنی بر ماتریس همبستگی استفاده شد. در این روش هدف شناسایی سطوحی بود که بر اثر تغییرات کانی به وجود آمده بودند. به این منظور، داده‌های ۶ باند انعکاسی از تصویر ETM^+ در ابعاد 1997×2814 پیکسل و در اندازه‌ی سلول ۳۰ متر، مربوط به فصل تابستان که میزان رطوبت کم‌تر است، مورد بررسی قرار گرفت. برای افزایش تفکیک مکانی ابتدا با تصویر باند پانکروماتیک همان سنجنده، با ابعاد پیکسل ۱۵ متر ترکیب شدند^۲. سپس ماتریس همبستگی آن‌ها محاسبه شد. جدول شماره ۱ ضریب همبستگی بین درجه‌ی روشنایی

^۱- Enhanced Thematic Mapper

^۲- Merge Resolution

باندها را نشان می‌دهد. بیشترین همبستگی که معادل ۰.۹۸۹ می‌باشد، بین باندهای ۲ و ۳ از تصویر ETM است. به طور کلی بین باندهای ETM1, ETM2, ETM3 همبستگی قوی وجود دارد و هم‌چنین باندهای ETM3 با ETM4 و ETM5 با ETM7 نیز همبستگی دارند که اولاً از تکرار اطلاعات حکایت می‌کند، درثانی این تکرار در باندهای مجاور بیش‌تر است. مؤلفه‌های شش‌گانه مبتنی بر باندهای ۱ تا ۷ سنجنده ETM (به استثنای باند ۶) محاسبه شد و سهم هر یک از PC از کل تغییرات تحت عنوان درصد واریانس (یا مقدار ویژه^۱) مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج به دست آمده (جدول ۲) نشان می‌دهد که هرچه در مراتب پایین‌تری قرار گیرد. اطلاعات کم‌تری را دارا است. ۹۸.۷۲ درصد از واریانس در سه PC اولیه قرار می‌گیرد. در PCA1 دو سطح عمده قابل شناسایی بود (شکل ۴) یک سطح آن با بستر آبرفتی اطراف دریاچه انطباق داشت و سطح دوم محدوده‌ی کنای‌های تبخیری دریاچه را نشان می‌داد.

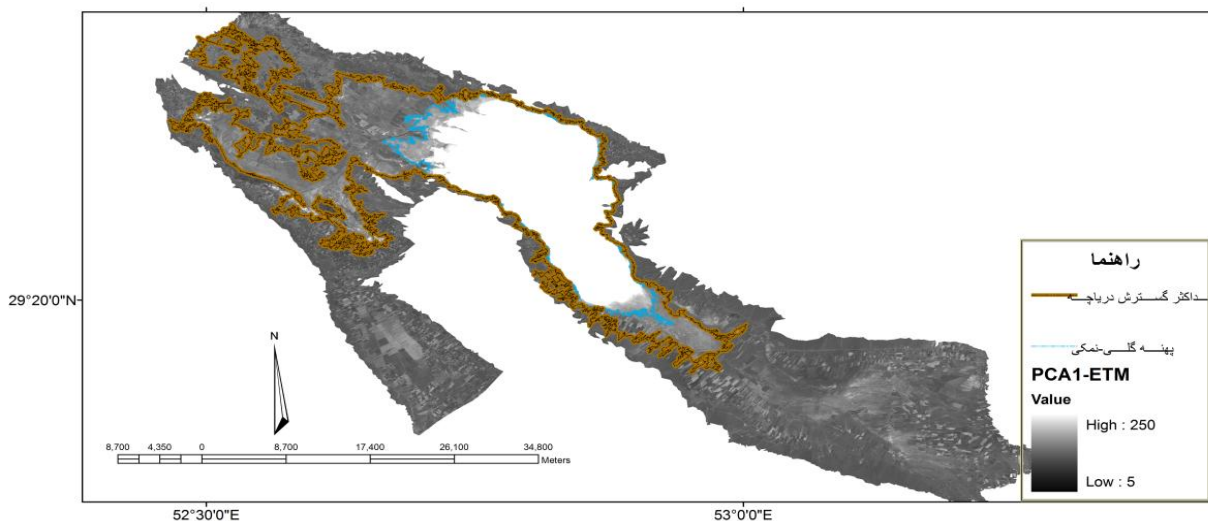
جدول شماره ۱: ماتریس همبستگی^۲ شش باند انعکاسی ETM

	ETM1	ETM2	ETM3	ETM4	ETM5	ETM7
ETM1	۱					
ETM2	۰.۹۶۷	۱				
ETM3	۰.۹۶۳	۰.۹۸۹	۱			
ETM4	۰.۸۹۱	۰.۹۱۲	۰.۹۱۰	۱		
ETM5	-۰.۴۲۳	-۰.۴۸۳	-۰.۴۱۶	-۰.۳۵۵	۱	
ETM7	-۰.۴۷۵	-۰.۵۱۵	-۰.۴۴۹	-۰.۴۵۱	۰.۹۶۷	۱

جدول شماره ۲: ضرایب بردارهای ویژه (λ) برای باندهای انعکاسی در PC ها

	ETM1	ETM2	ETM3	ETM4	ETM5	ETM7	Eigenvector	Variances%
PC1	۰.۱۵۸	۰.۷۲۸	۰.۲۷۳	-۰.۳۰۳	-۰.۵۱۶	۰.۱۰۳	۶۴۴۰.۲۰۱	۷۲.۹۵
PC2	۰.۲۴۴	-۰.۰۷۵	-۰.۱۷۱	-۰.۳۵۷	۰.۸۷۸	-۰.۰۷۲۶	۲۱۵۶.۹۵۸۴	۲۴.۴۳
PC3	۰.۳۸۹	-۰.۵۳۴	-۰.۱۵۵	-۰.۳۲۳	-۰.۵۱۹	۰.۴۰۴	۱۱۸.۴۱۵	۱.۳۴
PC4	۰.۴۰۶	۰.۰۶۳	-۰.۸۳۹	۰.۱۸۲	-۰.۲۷۷	۰.۱۲۷	۸۵.۷۷۱	۰.۹۷
PC5	-۰.۴۵۹	-۰.۱۹۸	۰.۲۳۷	۰.۷۱۳	-۰.۴۰۴	-۰.۱۳۹	۱۹.۳۳۱	۰.۲۲
PC6	۰.۶۶۴	۰.۲۸۳	-۰.۳۶۷	-۰.۴۸۰	-۰.۳۰۷	-۰.۱۳۴	۷.۵۷	۰.۰۹

^۱ - Eigen value^۲ - Correlation matrix



شکل شماره ۴: PCA1 در تصویر ETM

مشاهدات میدانی در اطراف دریاچه مهارلو، سطحی از کانی‌های مختلف را نشان می‌داد؛ لذا برای این‌که تحلیل فوق با دقت بالاتری انجام شود، از تصاویر IRS-p6(LISS¹-III) با ابعاد پیکسل ۲۷ متر و ۴ باند انعکاسی و یک باند پانکروماتیک با ابعاد پیکسل ۵.۷ متر، استفاده شد. ابتدا برای افزایش دقت مکانی تصاویر ترکیب شدند^۲، سپس ماتریس همبستگی بین باندها محاسبه شد. جدول ۳، همبستگی بین باندهای IRS را نشان می‌دهد، این همبستگی بین باندهای ۱ و ۲، یعنی سبز و قرمز قوی می‌باشد. مؤلفه‌های چهارگانه در این تصاویر تهیه شد (جدول ۴) که ۹۶.۹ درصد واریانس در PC1 و PC2 متمرکز شده است. نتایج تحلیل در تصویر IRS سه سطح را استخراج نمود (شکل ۵) که بزرگ‌ترین سطح آن با تصویر ETM انطباق داشت.

جدول شماره ۳: ماتریس همبستگی چهار باند انعکاسی IRS(LISSIII)

	IRS1	IRS2	IRS3	IRS4
IRS1	۱			
IRS2	۰.۹۷۰	۱		
IRS3	۰.۶۲۲	۰.۷۲۹	۱	
IRS4	-۰.۱۸۸	-۰.۰۳۶	۰.۴۶۹	۱

جدول شماره ۴: ضرایب بردارهای ویژه (λ) برای باندهای انعکاسی تصویر IRS(LISS)

	IRS1	IRS2	IRS3	IRS4	Variences%
PC1	۰.۶۷۵	۰.۲۵۱	۰.۲۱۶	۰.۶۵۸	۷۴.۵
PC2	۰.۷۲۳	۰.۱۸۲	۰.۰۱۷	۰.۶۶۵	۲۲.۴
PC3	۰.۱۰۸۷	۰.۷۹۸	۰.۴۷۶	۰.۳۵۰	۲.۵
PC4	۰.۹۶	۰.۵۱۴	۰.۸۵۱	۰.۰۱۴	۰.۰۵

¹- Linear Imaging Self-Scanning

²- Merge Resolution

برای به دست آوردن بهترین ترکیب باندی، نمودار همبستگی بین باندها ترسیم شد، شکل ۶ تغییرات ضرایب همبستگی را نشان می‌دهد. بین باندهای ETM1, ETM2, ETM3, ETM7 ضرایب همبستگی بالا است و ETM4, ETM5 دارای ضرایب همبستگی منفی، با سایر باندها می‌باشند. برای بررسی اطلاعات موجود در باندها و به منظور نمایش مناسب سطوح تغییرات دریاچه‌ی مهارلو، از شاخص OIF^۱ (رابطه ۱) استفاده شده است. عامل OIF براساس ضرایب همبستگی باندها و پراکنش اطلاعات در باندها محاسبه می‌گردد. جدول ۵ به ترتیب ۲۰ ترکیب باندی را براساس شاخص فوق دارا است که ترکیب ETM1, ETM3, ETM5 مناسب‌ترین نمایش رنگی کاذب (FCC^۲) را نشان می‌دهد. شکل ۴ این ترکیب را نشان می‌دهد. سطوح به دست آمده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی از تصویر ETM و IRS با این تصویر انطباق داده شدند و از نمونه‌های برداشت شده از مشاهدات میدانی برای تحلیل و ارزیابی نتایج به دست آمده، استفاده شد.

رابطه ۱

معادله محاسبه OIF

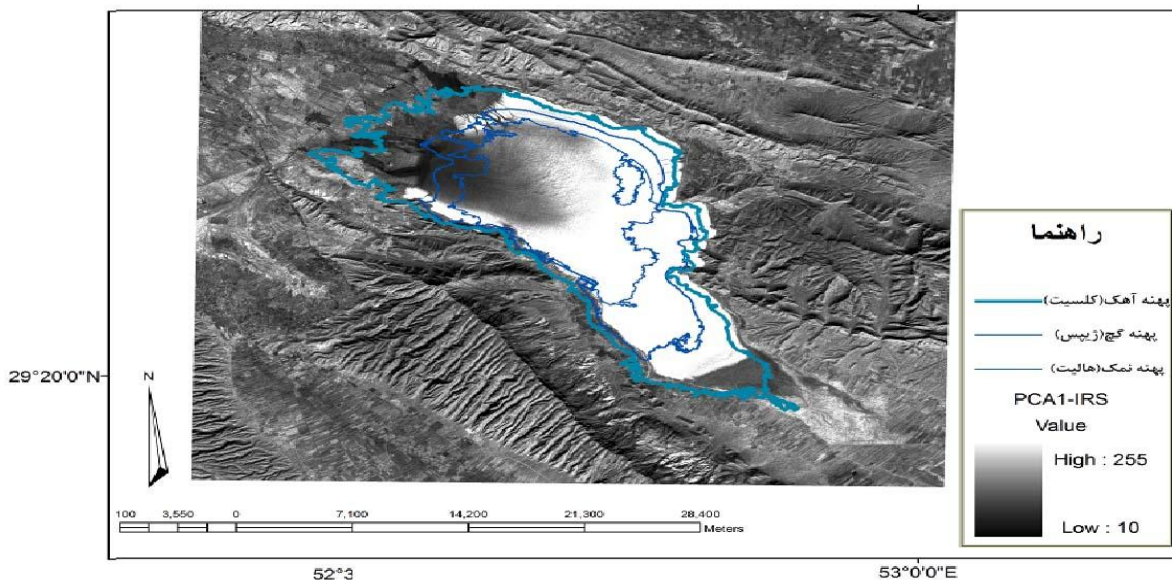
$$OIF = \frac{\sum_{i=1}^3 SD_i}{\sum_{j=1}^3 |CC_j|}$$

مجموع انحراف معیار سه باند

$$\sum_{j=1}^3 SD_i$$

مجموع قدر مطلق همبستگی دو باند از مجموع سه باند

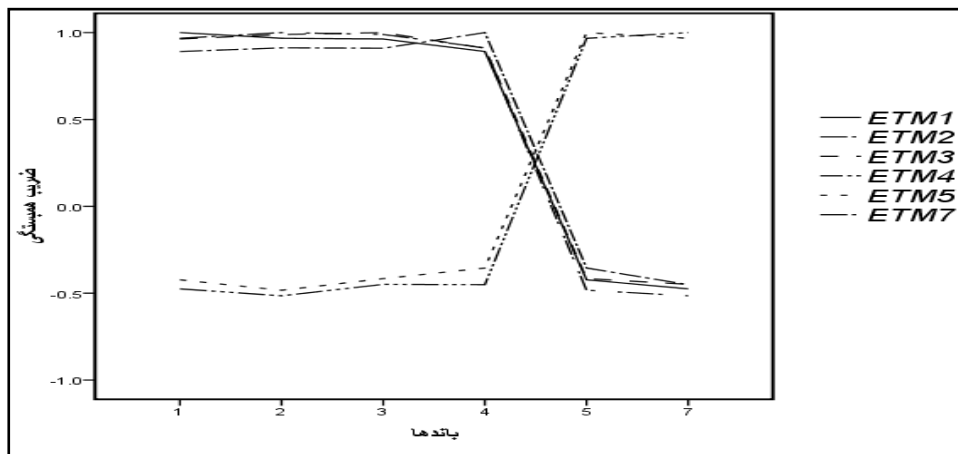
$$\sum_{j=1}^3 |CC_j|$$



شکل شماره ۵: PCA1 در تصویر IRS(LISSIII)

1- Optimum Index Factor (OIF)

2- False Color Composite



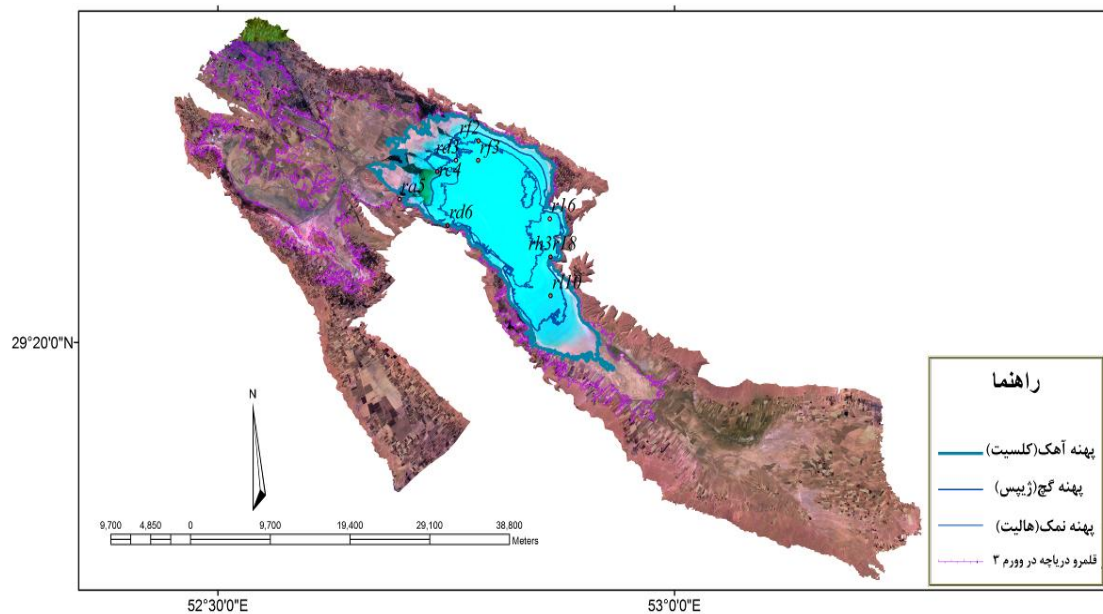
شکل شماره ۶: ضریب همبستگی بین باندهای تصویر ETM

جدول شماره ۵: ترکیب باندی براساس شاخص OIF

فاکتور OIF	$\sum_{j=1}^3 SD_i$	$\sum_{j=1}^3 CCj $	ترکیب باندی	رتبه
۷۵.۳۰۱۳	۱۳۵.۶۹۳	۱.۸۰۲	ETM1,ETM3,ETM5	۱
۶۹.۸۵۶	۱۱۶.۵۹	۱.۶۶۹	ETM1,ETM4,ETM5	۲
۶۹.۴۸۹	۱۱۶.۸۱۲	۱.۶۸۱	ETM3,ETM4,ETM5	۳
۶۸.۲۲۳	۱۲۴.۹۸۶	۱.۸۳۲	ETM3,ETM5,ETM7	۴
۶۶.۸۹۷	۱۲۴.۷۶۴	۱.۸۶۵	ETM1,ETM5,ETM7	۵
۶۵.۰۹۸	۱۲۲.۸۴۱	۱.۸۸۷	ETM1,ETM3,ETM7	۶
۶۴.۶۰۲	۱۲۱	۱.۸۷۳	ETM1,ETM2,ETM5	۷
۶۴.۲۰۶	۱۲۱.۲۲۲	۱.۸۸۸	ETM2,ETM3,ETM5	۸
۵۹.۷۱۹	۱۰۵.۸۸۳	۱.۷۷۳	ETM4,ETM5,ETM7	۹
۵۸.۳۵۳	۱۰۲.۱۱۹	۱.۷۵	ETM2,ETM4,ETM5	۱۰
۵۷.۴۳۶	۱۰۳.۹۶	۱.۸۱	ETM3,ETM4,ETM7	۱۱
۵۷.۰۹۳	۱۰۳.۷۳۸	۱.۸۱۷	ETM1,ETM4,ETM7	۱۲
۵۶.۱۲۸	۱۱۰.۲۹۳	۱.۹۶۵	ETM2,ETM5,ETM7	۱۳
۵۵.۴۸۸	۱۰۸.۳۷	۱.۹۵۳	ETM2,ETM3,ETM7	۱۴
۵۵.۲۶۲	۱۰۸.۱۴۸	۱.۹۵۷	ETM1,ETM2,ETM7	۱۵
۴۷.۵۳۳	۸۹.۲۶۷	۱.۸۷۸	ETM2,ETM4,ETM7	۱۶
۴۱.۴۸۵	۱۱۴.۶۶۷	۲.۷۶۴	ETM1,ETM3,ETM4	۱۷
۴۰.۷۹۳	۱۱۹.۰۷۷	۲.۹۱۹	ETM1,ETM2,ETM3	۱۸
۳۶.۰۹۱	۹۹.۹۷۴	۲.۷۷	ETM1,ETM2,ETM4	۱۹
۳۵.۶۴۴	۱۰۰.۱۹۶	۲.۸۱۱	ETM2,ETM3,ETM4	۲۰

۳ - یافته‌های تحقیق

حوضه‌ی آبریز مهارلو از حوضه‌های داخلی ایران که در حال حاضر در اقلیم گرم و خشک قرار گرفته است، شواهد متعددی از تحولات اقلیمی را دارا است؛ که به صورت بسترهای رسوبی و بسترهای تبخیری در اطراف دریاچه مهارلو، واقع شده‌اند بیانگر تغییرات اقلیم در کواترنری می‌باشند. با توجه به انطباق دوره‌های مرطوب با دوره‌های یخچالی در ایران، حوضه‌ی مهارلو در دوره‌های یخچالی بارش بیش‌تری را دریافت می‌نموده است و هم‌چنین تبخیر کم‌تری نیز داشته و از طرفی چون دریاچه‌ی مهارلو یک دریاچه‌ی بارانی است؛ لذا سطح دریاچه مهارلو، گسترش بیش‌تری را دارا بوده است. بزرگ‌ترین سطح به دست آمده از مؤلفه اول از تصویر ETM می‌تواند با این سطح انطباق داشته باشد. شواهد آن این است که مخروط‌افکنه‌های قدیمی بالاتر از این سطح قرار دارند و هم‌چنین در نقشه زمین‌شناسی (شکل ۳)، این سطح با بستر آبرفتی کواترنری مطابقت دارد؛ بنابراین در آخرین دوره‌ی سرد (وورم ۳) سطح دریاچه‌ی مهارلو در حداکثر گسترش خود (شکل ۷) بوده است.



شکل شماره ۷: ترکیب باندهای ۱-۳-۷ از تصویر ETM

براساس نوع سنگ‌های تشکیل دهنده این حوضه‌ی کانی‌های تبخیری به صورت محلول وارد این دریاچه می‌شدند. بخش مهم آن، کانی کلسیت از سنگ‌های آهکی و کانی ژیپس و نمک بود؛ لذا در دوره‌های گرم که میزان تبخیر بیش از آب‌های وارده به این دریاچه می‌باشد، شوری دریاچه افزایش می‌یابد و کانی‌های تبخیری شروع به رسوب‌گذاری می‌کنند، بنابراین به دلیل بسته بودن سیستم هیدرولوژیکی این حوضه، دریاچه مهارلو به صورت پلایا متحول می‌شود. (جونز و دوکمپو، ۲۰۰۴) چون در اثر افزایش تبخیر ابتدا کانی‌هایی مانند کربنات کلسیم که انحلال‌پذیری کم‌تری دارند رسوب می‌کنند؛ بنابراین دومین سطحی که از مؤلفه اصلی تصویر ETM به دست آمده، می‌تواند محدوده رسوب کانی کلسیت باشد. نمونه‌های برداشت شده نیز بیانگر وجود سطح آهکی (جدول ۶ و شکل ۸) است. با استمرار اقلیم خشک و با افزایش تبخیر، کانی‌ها براساس میزان

¹ - Wurm III

حلالیت خود رسوب می‌کنند. کانی ژیپس درجه‌ی حلالیت بیش‌تری نسبت به کربنات کلسیم دارد، با افزایش خشکی در دریاچه مهارلو رسوب نموده، نمونه‌های برداشت شده میزان کانی ژیپس را در محدوده‌ای نشان می‌دهد که از PC1 در تصویر IRS به دست آمده است (شکل ۹). ادامه خشکی سبب می‌شود که کلرورها به ویژه کلرور سدیم بسترهای نمکی را تشکیل دهد (شکل ۱۰). این پدیده در حال حاضر در آب‌های دریاچه مهارلو دیده می‌شود و در مرکز دریاچه نمک به صورت محلول است. در سال‌های خشک‌تر، محدوده‌ی آب کوچک‌تر و زون نمکی گسترش می‌یابد.

جدول شماره ۶: نمونه‌های برداشت شده از سطح پلایای مهارلو

شماره نمونه	ra0	ra5	rh3 - rh10	rl10 - rh3	- rd3- rc4
نوع کانی غالب	کلسیت	کلسیت-آرگونیت	کلسیت - ژیپس	کلسیت-هالیت	ژیپس-هالیت



شکل شماره ۸: سطح کلسیت به همراه نمک از پلایای مهارلو



شکل شماره ۹: بستر ژئوپس همراه با رس از پلایای مهارلو



شکل شماره ۱۰: سطح نمکی در پلایای مهارلو

۴- بحث و نتیجه‌گیری

دریاچه‌های موجود در حوضه‌های مرکزی ایران، شواهد تغییرات اقلیمی کواترنری را در خود ثبت کرده‌اند. در دوران سرد که با افزایش باران و کاهش تبخیر مواجه بودند، شواهد را به صورت پادگانه‌های مطبق و بسترهای سیلابی نگه داشته‌اند که بیانگر گستردگی این دریاچه‌ها در دوران سرد است. در دوران گرم با افزایش تبخیر و کاهش باران، کانی‌های محلول رسوب می‌نماید و پهنه‌های سخت از تجمع کانی‌های تبخیری

را ایجاد می‌نمایند که شواهد دوره‌های گرم است. دریاچه‌ی مهارلو حوضه‌ای به مساحت ۴۲۶۶۰۵.۹۹ هکتار را زهکشی می‌کند که در آخرین دوره‌ی سرد که حجم آب بیش‌تری را دریافت می‌نموده است، گسترده‌گی بیش‌تری را داشته است. با توجه به وجود بخش قابل ملاحظه‌ای از سنگ‌های آهکی، ترکیبات گچی و نمکی در سنگ‌های این حوضه، در دوره‌های سرد که دما پایین‌تر بوده و بارش بیش‌تری دریافت می‌شده است، این کانی‌ها با جریان آب حل شده و به سمت حوضه‌های انتهایی زهکشی شده است. با گرم شدن هوا و افزایش تبخیر نسبت به بارش، کانی‌های محلول رسوب‌گذاری نموده‌اند که براساس قابلیت انحلال سطوح، سله‌های سخت آهکی، گچی و نمکی را ایجاد نموده‌اند و در نتیجه دریاچه مهارلو به صورت یک پلایا تحول یافته است. (وارن، ۲۰۰۶)

تحلیل مؤلفه‌های اصلی، برای شناسایی سطوح ناشی از تحولات اقلیمی در تصویر ETM با تفکیک مکانی ۱۵ متر و تفکیک طیفی، ۶ باند انعکاسی انجام شد و سه مؤلفه‌ی اول با دارا بودن ۹۸.۷۲ درصد واریانس، دو سطح از گسترش دریاچه را نشان داد که با توجه به مشاهدات میدانی و نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی سطح بزرگ‌تر با پهنه‌های رسوبی و تراس‌های کم ارتفاع مطابقت داشت که می‌تواند حداکثر گسترش دریاچه را در آخرین دوره‌ی سرد یا یخچالی نشان دهد. (شکل ۴) سطح کوچک‌تر به دست آمده از مؤلفه‌ی اول با بخشی از رسوبات تبخیری کنار دریاچه مطابقت دارد که مشاهدات میدانی بخشی را، با حداکثر تجمع کانی کلسیت نشان داد (شکل ۸) که می‌تواند بیانگر شروع تحول دریاچه مهارلو به صورت پلایا باشد و یا به بیانی دیگر شروع شور شدن این دریاچه و حاکمیت اقلیمی با تبخیر بیش از بارش باشد.

مشاهدات میدانی و آزمایشگاهی علاوه بر رسوب آهک، پهنه‌هایی با تجمع غالب کانی‌های ژپس و هالیت را در اطراف دریاچه نشان داد که برای بررسی دقیق‌تر آن، تحلیل مؤلفه‌های اصلی در تصویر IRS با تفکیک مکانی ۵.۷ متر و تفکیک طیفی ۴ باند انعکاسی، انجام شد و دو مؤلفه‌ی اول با ۹۶.۹ درصد واریانس، سطوح مختلفی در پلایای مهارلو، نشان داد که بزرگ‌ترین سطح آن با گسترش غالب کانی کلسیت مطابقت دارد. (شکل ۵) این سطح می‌تواند بیانگر آخرین دوره‌ی سرد باشد که بارش از زمان حال بیش‌تر بوده و یا دما نسبت به زمان حاضر کاهش داشته است. مطالعات میدانی، بسترهای آبرفتی و مخروط‌افکنه‌های قدیمی را در این محدوده نشان دادند و هم‌چنین هیچ شاهده‌ی ژئومورفولوژیکی که بیانگر ابعاد دریاچه در این حد یا بزرگ‌تر از این محدوده بوده است، نیز وجود ندارد. مسأله‌ی فوق می‌تواند به دلیل حساسیت سازنده‌های کف دریاچه (خاکسار و همکاران، ۱۳۸۵) و شکسته بودن کف دریاچه باشد (بهرامی، پروانه زاده شیرازی، ۲۰۱۰). با حرکت به سمت دریاچه، میزان رسوب آهک کاهش می‌یابد و مقدار ژپس افزایش می‌یابد که بیانگر استمرار اقلیم خشک در دریاچه مهارلو است (شکل ۹). مرکز دریاچه اگرچه هنوز پر آب است اما با هاله‌ای از نمک پوشانده شده (شکل ۱۰) که هر سال بر مساحت آن افزوده می‌شود. نوسانات اقلیمی به صورت سال‌های خشک و مرطوب در حال حاضر در دریاچه مهارلو به صورت تغییرات سطوح نمکی و مرطوب و خشک بودن پهنه گچی نمایان می‌شوند.

این دریاچه کم عمق است و حداکثر اختلاف ارتفاع عمیق‌ترین نقطه‌ی این دریاچه‌ی با بزرگ‌ترین سطح به دست آمده از آنالیزهای فوق، ۱۴۸ متر است؛ اما خطوط منحنی میزان، با پهنه‌های به دست آمده مطابقت ندارد. زیرا تغییر سطح دریاچه به دلیل گرم شدن هوا و کاهش باران و افزایش تبخیر بوده است و در مرطوب‌ترین شرایط به علت شکستگی کف دریاچه، سطح دریاچه مهارلو در حد مشخصی بوده که انطباق با

بزرگ‌ترین سطح به دست آمده داشته است (شکل ۴)؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نظر کرینسلی در مورد عدم وجود این دریاچه، قبل از پلیستوسن قابل بحث به نظر می‌رسد، اما تحول آن به صورت پلایا با شروع اقلیمی با تبخیر بیش از بارش در کل حوضه انطباق دارد؛ زیرا حوضه‌ی مهارلو سیستم زهکشی بسته‌ای است که به سمت دریاچه مهارلو زهکشی می‌شود و از طرفی هم‌چنان که شکل ۱ نشان می‌دهد شبکه‌ی آبراهه‌های اندکی به سمت این دریاچه وجود دارد. تحولات ژئومورفولوژیکی پلایا گونه‌ی در این دریاچه با اولین دوره‌ی حاکمیت اقلیم خشک شروع شده است. کرینسلی (۱۹۷۰) معتقد است که سطح آب دریاچه مهارلو از ۶۰۰۰۰ سال پیش تاکنون در حال کاهش است. نتایج تحلیل مولفه‌های اصلی علاوه بر وجود سطوح مختلف در اطراف دریاچه، نشان داد که بستر این دریاچه ناهموار است، که می‌تواند به دلیل نوسانات اقلیمی و عدم یک نواختی در انحلال و رسوب‌گذاری نمک باشد، و این با مطالعات فیاضی و همکاران در سال ۱۳۸۶، مبتنی بر وجود آب‌های بی‌کربناته که از چشمه‌های کف دریاچه خارج می‌شود، نیز منطبق است. آن‌چه مسلم است، دریافت بارش بیش‌تر حوضه‌ی مهارلو، نتوانسته تحول دریاچه مهارلو را به صورت پلایا متوقف سازد. هرزمان که اقلیم مرطوب‌تر و بارش بیش‌تر بوده، بخش مرکزی مرطوب و شور دریاچه‌ی مهارلو، گسترش یافته و در دوره‌های خشک‌تر نمک‌های محلول رسوب نموده‌اند؛ بنابراین در پهنه‌های آهک و ژئپس اطراف دریاچه نیز رسوب نمک ملاحظه می‌شود. چون سطوح اطراف این دریاچه را با کمک مدل ارتفاعی نمی‌توان نمایش داد لذا از شاخص OIF برای نمایش رنگی کاذب سطوح اطراف دریاچه استفاده شده است. جدول ۵، ۲۰نوع ترکیب‌بندی را نشان می‌دهد که به ترتیب از ترکیب‌های مناسب‌تر چیده شده است که سطوح مختلف در اطراف و داخل پلایا را نشان می‌دهند و هر یک از آن‌ها شاهده‌ی بر تحولات اقلیمی در این پلایا می‌باشند.

۵ - فهرست منابع

- (۱) خاکسار، ک.، گودرزی، م.، غریب رضا، م. ر.، رحمتی، م. (۱۳۸۵)، تعیین حساسیت سازندهای زمین‌شناسی به فرسایش، مجله‌ی علوم زمین، سال شانزدهم، شماره‌ی ۶۲، ص ۱۱۶-۱۲۹.
- (۲) شایان، س. جنتی، م. (۱۳۸۶)، شناسایی نوسانات مرز پیرامونی و ترسیم نقشه پراکنش مواد معلق دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (سنجندهای ETM, TM & LISSIII)، مجله‌ی پژوهش‌های جغرافیایی، شماره‌ی ۶۲، ص ۲۵-۳۹.
- (۳) رامشت، محمدحسین (۱۳۸۰)، دریاچه‌های دوران چهارم، بستر مدنیت در ایران، فصل‌نامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره‌ی ۶۰ ص ۹۰-۱۱۱.
- (۴) رسولی، ع.ا.، عباسیان، ش.، جهانبخش، س.، (۱۳۸۷)، پایش نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه با پردازش تصاویر ماهواره‌ای چند سنجندهای و چند زمانی‌ها، فصل‌نامه‌ی مدرس، دوره‌ی ۱۲، شماره‌ی ۲، ص ۵۴-۷۱.
- (۵) فیاضی، ف.، نخعی، م.، لک، ر.، (۱۳۸۶)، پیشنهاد تغییرات جزئی در نمودار تکامل شورابه، ارائه شده توسط آگوس تر وهاردی با بررسی شورابه دریاچه مهارلو، سال شانزدهم، شماره‌ی ۶۳.
- (۶) کرینسلی، (۱۹۷۰)، کویرهای ایران و خصوصیات ژئومورفولوژیکی و پالئوکلیماتولوژی آن، مترجم عباس پاشایی، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، چاپ دوم، ۱۳۸۸.
- (۷) محمودی، فرج‌ا. (۱۳۶۷)، تحول ناهمواری‌های ایران در کواترنر، مجله پژوهش‌های جغرافیایی دانشگاه تهران، شماره ۲۳، صفحه ۴۳ - ۵.
- (8) Alavi Panah, S.K. Komaki, Ch. B. Goorabi, A. Matinfar, H.R.(2007)., *Characterizing Land Cover Types and Surface Condition of Yardang Region in Lut Desert (Iran) Based upon Landsat Satellite Images*, World Applied Sciences Journal 2 (3): 212-228,
- (9) Alavi Panah, S.K., (2006). *Thermal remote sensing and its application in the earth sciences*, University of Tehran Press, pp: 523.
- (10) Alavi Panah, S.K., (2003), *Study of surface temperature Lut Desert based upon Landsat thermal band and field measurement*, Biaban, 7: 67-79.
- (11) Alavi Panah, S.K., M.R. Sarajian and Ch.B. Komaki,(2002), *Temperature map of Lut Desert using thermal band of Landsat satellite*. Biaban, 7: 85-99.
- (12) Alavi Panah, S.K.,(1997), *Study of soil salinity in the Ardakan area, Iran, based upon field observations*, remote sensing and a GIS, Gent, University of Gent Ph.D Thesis, pp: 292.
- (13) Bahrami, M., Parvanehnezhad Shirazi, M.(2010), *Microfacies and sedimentary environments of Gurpi and Pabdeh Formations and the type of Mesozoic- Cenozoic boundary in Fars province*, Iran, Journal of Applied Geology, 5(4):330-335.
- (14) Bishta, A.Z.,(2009)., *Assessing Utilization of Multi-Resolution Satellite Imageries in Geological Mapping, A Case Study of Jabal Bani Malik Area, Eastern Jeddah City Kingdom of Saudi Arabia*, Earth Sci., Vol. 21, No. 1, pp: 27-52
- (15) Bishta, A.Z. (2005), *Using selective image processing techniques of Landsat-7 data in structural lineaments interpretation of Esh El Mellaha range, North Eastern Desert, Egypt*, The fourth International Symposium on Geophysics, Tanta University, Tanta, Egypt.

- (16) Bradley , R. (1999), *Paleoclimatology Reconstructing climates of the Quaternary*, International Geophysics Series, Volumee 68, Elsivier.
- (17) Bobek, H., (1969), *Zur Kenntnis der sudlichen Lut. Mitteilungen der Ostereicher geograpischen Gesselschaft*, Wein, 3: 155-192.
- (18) Crawford, M.L, Padovani, E, (1989), *Brines and Evaporates, short course series editors*, printed in United States of America, 126p
- (19) Ghahroudi Tali M., (2010), *Assessment of Climate Change in Southern Caspian Sea (Khazar Sea)*, Climate and Water Balance Changes in the Caspian Region ,Astrakhan, Russian Federation, 19-20 October 2010
- (20) Günlü,A., Sivrikaya, F., Baskent, E. Z., Keles, S., Çakir, G., Kadiogullari, A. Đ(2008), *Estimation of Stand Type Parameters and Land Cover Using Landsat-7 ETM Image: A Case Study from Turkey*, Sensors 2008, 8, 2509-2525.
- (21) Jones, B.F. & Deocampo, D.M., (2004), *Geochemistry of saline lakes*, In Treatise on Geochemistry. US Geological Survey,PP393-424.
- (22) Kafilzadeh F.,Mohammadi H.,Kadivar E. (2007), *Isolation Of Bacteria Degrading Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (Pabs) From The Maharloo Lake And The Effect Of Salt Concentration On Pab Degradation*, Journal of School of Public Health And Institute of Public Health Research, 5(3):67-77.
- (23) Krinsley, H. G. (1970), *A Geomorphological and Paleoclimatological Study of the Playas of Iran, Part 1*,Geological Survey of USA.
- (24) Millington, A.C. et al., (1989), *Monitoring salt playa dynamic using thematic mapper data. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 27: 745-761.
- (25) Mostafa, M.E. and Bishta A.Z. (2004),*Significiance of lineament patterns in rock unit classification and designation: A pilot study on the Gharib-Dara area, northern Estern Desert, Egypt*, International Journal of Remote Sensing”, 26(7): 1463-1475
- (26) Shahrabi, K., K., Shahrabi, M., (1986), *Holocene sedimentology of hypersaline Lake Urmia, northwestern Iran*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 54, 105-130.
- (27) Warren, J., (1999), *Evaporites: Their Evolution and Economics*, Blackwell Science, 438p.
- (28) Warren, J.,(2006), *Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbons*, Springer, 1035p.