دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال هجدهم، شماره‌ی ۶۴
زمستان ۱۳۹۷، صفحات ۱۵۷-۱۴۱

*غلام حسن جعفری [۱]
شیوا محمدی [۲]

برآورد ارتفاع خط تعادل آب‌وخشکی کواترنری
مطالعه موردی (دریاچه مهارلو)

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۰۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۲٤

چکیده

سطوح مستوی حاصل عملکرد آب‌های راکد مثل مانداب، دریاچه یا آبگیر، در نقشه‌های توپوگرافی با نقاط ارتفاعی منفرد مشخص می‌شوند؛ حدود این سطوح با ردیابی شبکه‌های آبراهه‌ای امکان‌پذیر است که ناگهان منقطع شده و به‌صورت دوشاخه‌های کوچک، نمادین می‌شوند. با توجه به این ویژگی‌ها حداکثر گسترش دریاچه مهارلو در کواترنری حدود ۱۱۹۰/۳ کیلومتر مربع برآورد گردید که نسبت به شرایط کنونی باید بیش از ۵ برابر بوده باشد که از نظر منطقی چنین تغییری با توجه به وسعت ٤۲۸۱ کیلومتر مربعی حوضه، بعید به نظر می‌رسد. برای آزمون شرایط هیدروژئومورفولوژیکی، شرایط کلیماتولوژیکی حوضه بازسازی و نوسانات سطح دریاچه با توجه به عوامل محیطی مؤثر بررسی گردید. بدین منظور داده‌های مورد نیاز از ایستگاه‌های اقلیمی داخل و مجاور حوضه استخراج شد. با استفاده از روابط بین دما و بارش با ارتفاع و لایه ارتفاعی حوضه، نقشه‌های هم‌بارش و هم‌دمای منطقه ترسیم گردید. با برآورد حجم آب ناشی از بارش کل حوضه و در نظر گرفتن میانگین بعضی از خصوصیات فیزیکی دریاچه مثل وسعت، مقدار تبخیر، حجم و عمق ماهانه، ضریب رواناب حوضه برآورد شد. از طرفی با محاسبه و اعمال ارتفاع وزنی در روابط برآورد شده از مراحل قبل، میانگین بارش و دمای ماهانه حوضه، محاسبه و بین آن‌ها با داده‌های مربوط به نوسان ماهانه سطح دریاچه، رابطه سنجی شد. با استفاده از روابط حاصله، می‌توان وسعت دریاچه را با هرگونه تغییر در بارش یا دما بازسازی نمود. سپس عکس‌العمل وسعت دریاچه در برابر تغییرات اقلیمی

*۱- گروه ژئومورفولوژی دانشگاه زنجان. (نویسنده مسئول). E-mail: Jafarihas@yahoo.com
۲- کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی دانشگاه زنجان.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

کواترنری در سه بازه‌ی دمایی ۵، ۸ و ۱۲ درجه سانتی‌گراد کم‌تر از میانگین دمای کنونی بررسی و ارتفاع خط تعادل آب‌وخشکی و وسعت دریاچه در شرایط مختلف برآورد گردید. نتایج، حاکی از آن است که با کاهش حداکثری دمای کواترنری، دریاچه امکان توسعه بیش از ۳۰۰ کیلومترمربع را نداشته است.

کلید واژه‌ها: مهارلو، ضریب رواناب، کواترنری، خط تعادل آب‌وخشکی.

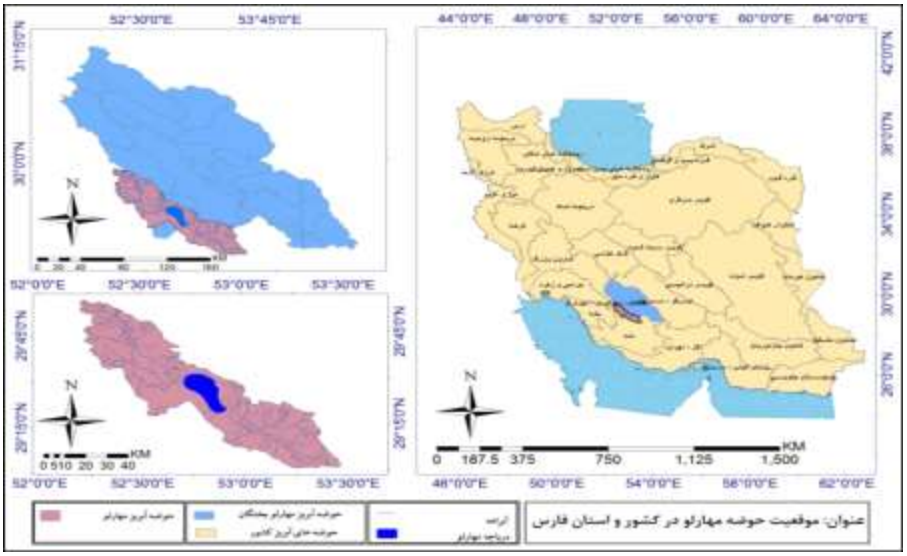
مقدمه

عکس‌العمل واحدهای مختلف ژئومورفولوژیکی در برابر تغییرات اقلیمی کواترنری، به عرض جغرافیایی، ارتفاع و موقعیت نسبی آن‌ها بستگی داشته است. واژه‌های خط برف مرز دائمی[3]، خط تعادل آب‌ویخ[4] و خط تعادل آب‌وخشکی[5] مضامین و مفاهیمی دارند که دربرگیرنده کنش‌ها و واکنش‌های مختلف عوامل اقلیمی بر روی محیط‌های متفاوت ژئومورفولوژیکی است. هرکدام از این واژه‌ها در جایگاه و مکان ژئومورفولوژیکی خاص، مصادیق عینی‌تر و مشهودتری پیدا می‌کنند. برای مثال در مناطق کوهستانی که ارتفاع بالاترین قله آن‌ها حداقل ۳۰۰ تا ٤۰۰ متر بیش‌تر از ارتفاع برف مرز دائمی باشد (Zomororian, 2013: 29)، خط برف مرز دائمی عینیت می‌یابد. در صورتی که خط تعادل آب‌ویخ در مورد یخچال‌های سیرکی کاربرد دارد که در بالاتر از ارتفاع برف مرز دائمی شکل گیرند، به‌خوبی تغذیه شوند و به پایین‌تر از برف مرز دائمی منتقل شوند. این‌گونه یخچال‌ها با توجه به میزان تغذیه، شرایط توپوگرافی و کلیماتولوژی محیط تا حد مشخصی پیشروی می‌کنند و بر روی محیط اثر می‌گذارند؛ این حد را خط تعادل آب‌ویخ و ارتفاع آن را به‌عنوان ارتفاع خط تعادل آب‌ویخ می‌شناسند (Ramesht and Shahzidi: 2011: 202). مناطق کم ارتفاع‌تر از خط تعادل آب‌ویخ در دوره‌های یخچالی، بارش بیش‌تر و دمای کم‌تری نسبت به امروز داشته‌اند؛ لذا این بیلان مثبت آب و آب ناشی از ذوب یخ‌های بالادست موجب تشکیل دریاچه‌هایی می‌شده‌اند که سواحل آن‌ها را اصطلاحا خط تعادل آب‌وخشکی می‌نامند (Abtahi, 2013: 191). این خطوط، با توجه به هدف محقق با مشخصه‌های دمایی، بارشی یا ارتفاعی معرفی و ارزیابی می‌گردند. Krinsley (1970: 54) در بررسی دریاچه مهارلو، به دلیل نبود سواحل کهن یا پادگانه‌های بسیار بلند، احتمال وجود این دریاچه در دوره قبل از پلئیستوسن را رد کرده است. Spencer et al (2005: 172) در بررسی دریاچه‌های عصر یخبندان نیومکزیکو، به این نتیجه رسیدند که این‌گونه دریاچه‌ها از طریق زهکش‌های اطراف مانند رواناب‌ها، آب‌های زیرزمینی و همچنین بارش و تبخیر، تغذیه می‌شوند. Kehl (2009: 4) معتقد است بسیاری از دریاچه‌ها در عصر پلئیستوسن و در زمان‌های یخچالی پرآب بوده و در حال حاضر خشک شده‌اند. Cumming et al (2012: 616) در ردیابی تغییر اقلیم با استفاده از باقی مانده بی‌مهرگان موجود در رسوبات دریاچه‌ای، به این نتیجه رسیده‌اند که وجود این‌گونه رسوبات در دریاچه‌ها

3- Equilibrium line altitude
4- Equilibrium line of water & ice
5- Equilibrium line Of water & driness

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

می‌تواند نشان‌دهنده افزایش دما در آن زمان باشد. Lewis and King (2012: 293) در بررسی سطح آب دریاچه‌های بزرگ لارنشین در دوره هولوسن، به این نتیجه رسیده‌اند که سطح اساس آن‌ها در دوره بین یخچالی، پایدار بوده و توسط جریان‌های خروجی کنترل می‌شده است. Mehrshahi (2002: 145) معتقد است که واکنش دریاچه‌ها نسبت به تغییرات (بلندمدت) و نوسان‌ها (کوتاه‌مدت) اقلیمی کواترنری با احتمال زیاد یکسان نبوده است. Kamaneh (2006: 147) کارستی بودن سواحل دریاچه بختگان را دلیلی برنداشتن آثار ناشی از خط تعادل آب‌وخشکی کواترنری می‌داند. Kamaneh et al (2011: 78) در تحلیل فضایی حوضه مهارلو، به این نتیجه رسیده‌اند که وضعیت تعادلی حوضه برآیند حالت‌های تعادل ایستا، دینامیکی و یکنواخت است که بر وضعیت حوضه مسلط هستند. Lashkari et al (2010: 314) از بررسی تغییرات اقلیمی دریاچه بختگان در هولوسن پایانی به این نتیجه رسیده‌اند که دو دوره آب‌وهوای گرم و معتدل، دو دوره آب‌وهوای سرد و خشک، دو دوره آب‌وهوای سرد و معتدل و پنج دوره آب‌وهوای گرم و خشک وجود داشته است. Ghohrouditaly et al (2011: 34) معتقدند دریاچه مهارلو در آخرین دوره‌ی سرد، باران بیش‌تری دریافت کرده و مساحتی معادل ۵۱۷/٦ کیلومترمربع داشته است. Seif and Abtahi (2014: 108) در بررسی تحولات اقلیمی حوضه دریاچه نمک در کواترنری پایانی، با بهره‌گیری از شواهد ژئومورفیک و بررسی‌های آماری، به این نتیجه رسیده‌اند که دمای حوضه ۵/٦ درجه سانتی‌گراد افزایش و بارش ۱/۵ برابر نسبت به آن زمان کاهش داشته است. حوضه‌ی هیدروژئومورفیک مهارلو جزء یکی از حوضه‌های منحصربه‌فرد بوده و شدیدا از تغییرات و نوسانات اقلیمی مسلط بر حوضه متأثر بوده است. این حوضه در بین طول‌های ۵۲ درجه و ۲۷ دقیقه و ٤۰ ثانیه تا ۵۲ درجه و ٥٤ دقیقه و ۲۵ ثانیه شرقی و عرض‌های ۲۹ درجه و ۹ دقیقه و ۵ ثانیه تا ۲۹ درجه و ۳۵ دقیقه و ۵۰ ثانیه شمالی، در غرب دریاچه بختگان واقع شده است. دریاچه مهارلو در شرقی‌ترین بخش حوضه، ۲۳ کیلومتری جنوب‌شرقی شهر شیراز قرار گرفته است (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه موقعیت حوضه مهارلو در کشور و استان فارس

Figure 1: Map of the position of maharlu basin in the country and fars province

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

مواد و روش‌ها

"حداکثر دوره دریاچه" به این معنی است که دریاچه در مرحله بیش‌ترین حد گسترش باشد (Bing-Yuan and Li-ping, 2001: 35). بیش‌ترین توسعه دریاچه‌های ایران به دوره‌های بارانی خیلی سرد و نیمه‌خشک وورم مربوط می‌شود (Zomorodiyan et al, 2012: 560). سطح آب اکثر دریاچه‌های دائمی، تعادل بین رواناب حاصل از حوضه‌های آبریز و کاهش مقدار آب دریاچه را نشان می‌دهد (Rasouli et al, 2009: 58). در یک حوضه آبی ورودی‌های اصلی را می‌توان انرژی خورشیدی و بارش و خروجی‌ها را به‌صورت رواناب، نفوذ، تبخیر و تعرق و غیره دانست. بارش به‌عنوان ورودی حوضه از اعمال رابطه رگرسیونی در لایه توپوگرافی به‌دست آمد و مقدار رواناب، معادل حجم آب محاسبه شده از نوسان ماهانه دریاچه در نظر گرفته شد. خروجی دریاچه با ضرب ارتفاع تبخیر ثبت‌شده‌ی نزدیک‌ترین ایستگاه دارای تشتک تبخیر در سطح دریاچه طی ماه‌های مختلف برآورد گردید. محدوده مورد مطالعه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ در نرم‌افزار Arc GIS، تعیین حدود و از مدل رقومی ارتفاع حوضه، اطلاعات و لایه‌های مورد نیاز استخراج گردید. داده‌های اقلیمی مورد نیاز از پایگاه اطلاعاتی ایستگاه‌های سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران‌سنجی اطراف و داخل حوضه جمع‌آوری شد (جدول ۱).

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های حوضه مهارلو

Table 1- Characteristics of the stations of maharlu basin

نام	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	نام	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
زرقان	۵۲/۷۱	۲۹/۷۸	۱۵۹۶	شیراز	۵۲/۵۳	۲۹/۶	۱۴۸۴
خرامه	۵۳/۳۱	۲۹/۴۹	۱۵۹۷	بند بهمن	۵۲/۶	۲۹/۲	۱۷۶۰
قلات	۵۲/۳۲	۲۹/۸۱	۲۰۵۰	علی‌آبادخفر	۵۳/۰۵	۲۹	۱۳۴۰
سد درودزن	۵۲/۴۵	۳۰/۱۸	۱۶۵۲	دوبنه	۵۲/۴۹	۲۹/۲۱	۱۵۲۰
فسا	۵۳/۶۳	۲۸/۹	۱۲۸۸	گشنگان	۵۲/۵۲	۲۹/۳۱	۱۴۵۰
بن‌رود	۵۱/۹۷	۲۹/۸۵	۲۲۱۷	سروستان	۵۳/۱۳	۲۹/۱۶	۱۵۷۰

برآورد داده‌های واحد اقلیمی، نیازمند محاسبه ارتفاع وزنی حوضه بود. به این منظور مدل رقومی ارتفاع حوضه در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی، بافاصله صد متری، طبقه‌بندی و ارتفاع میانه طبقات مشخص گردید. در جدول سیستم اطلاعات جغرافیایی، از ضرب تعداد پیکسل‌های هر طبقه ارتفاعی در مساحت واقعی یک پیکسل، مساحت هر طبقه ارتفاعی حاصل شد. سپس با ضرب مساحت هر طبقه در ارتفاع میانه همان طبقه و تقسیم مجموع این محاسبات بر مساحت کل حوضه، ارتفاع وزنی به‌دست آمد (رابطه ۱ و جدول ۲).

$$H = \frac{\sum(a.H)}{A}$$

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

که a مساحت هر طبقه ارتفاعی، H متوسط ارتفاع هر طبقه ارتفاعی و A مساحت کل حوضه است (Alizadeh, 2010: 502). با قرار دادن ارتفاع وزنی در روابط مربوطه، دما و بارش ماهانه وزنی حوضه، محاسبه گردید.

جدول ۲-ارتفاع متوسط (ارتفاع وزنی) حوضه در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی

Table 2- Average height (weights) of the basin in the GIS software

ارتفاع×مساحت	ارتفاع	مساحت	تعداد پیکسل‌ها	ردیف	ارتفاع×مساحت	ارتفاع	مساحت	تعداد پیکسل‌ها	ردیف
۰	۱۳٦٦	۰	۲۰	۱	٥۰٤۰۰۰	۲۲٥۰	۲۲٤	۲۹۰۸۳	۱۰
٦۳۸۰۰	۱٤٥۰	٤٤	٥٦۷۸	۲	۳۹۷۱٥۰	۲۳٥۰	۱٦۹	۲۱۸۹٥	۱۱
۱۳٤٦۹٥	۱٥٥۰	۸٦۹	۱۱۲۷۸۱	۳	۲٦۹٥۰۰	۲٤٥۰	۱۱۰	۱٤۲٥۷	۱۲
۱۲٥٥٦٥	۱٦٥۰	۷٦۱	۹۸۸۲٥	٤	۱۹۸۹۰۰	۲٥٥۰	۷۸	۱۰۱۱۸	۱۳
۸۲۰۷٥۰	۱۷٥۰	٤٦۹	٦۰۹۰٤	٥	۱٤۰٤٥۰	۲٦٥۰	٥۳	٦۹۳۱	۱٤
۸۱۹٥٥۰	۱۸٥۰	٤٤۳	٥۷٥۰۱	٦	۷۷۰۰۰	۲۷٥۰	۲۸	۳٦۹۳	۱٥
۸۳۰۷۰۰	۱۹٥۰	٤۲٦	٥٥۳۲۱	۷	۳۷۰٥۰	۲۸٥۰	۱۳	۱٦٥٤	۱٦
٦٦٤۲۰۰	۲۰٥۰	۳۲٤	٤۲۱۱۸	۸	۱۱۸۰۰	۲۹٥۰	٤	٥٥۱	۱۷
٥۷۱۹۰۰	۲۱٥۰	۲٦٦	۳٤٦۰۱	۹	۰	۳۰٥۰	۰	٦۰	۱۸

لازمه بررسی ضریب رواناب ماهانه آگاهی از عمق و وسعت ماهانه دریاچه است. با توجه به مساحت و عمق متوسط دریاچه و مساحت ماهانه آن، عمق ماهانه دریاچه محاسبه شد. توپوگرافی بسیار ملایم و کم شیب اراضی اطراف دریاچه به‌گونه‌ای است که با افزایش ورودی آب به دریاچه، سطح وسیعی از اراضی به زیرآب می‌رود. با داشتن وسعت و عمق دریاچه در ماه‌های مختلف حجم آب دریاچه به میلیون مترمکعب برآورد گردید. تفاوت ماهانه حجم دریاچه نشان‌دهنده تغییراتی است که براثر بارش و رواناب ازیک‌طرف و تبخیر از طرف دیگر در حوضه ایجاد می‌شود. از ابتدای پاییز که بارش‌ها شروع می‌شود، حجم آب دریاچه روند صعودی پیدا می‌کند. در یک حالت کلی، نوسان آب حوضه‌های بسته‌ای که دریاچه دائمی دارند، با ثابت در نظر گرفتن ضریب رواناب، در دو عنصر بارش خالص و تبخیر قابل ردیابی است؛ برآیند این‌ها تغییرات سطح اساس دریاچه را نشان می‌دهد. به این صورت که اگر تبخیر بر بارش غلبه کند، سطح دریاچه پایین رفته و در نهایت خشک می‌گردد. با توجه به وسعت دریاچه در ماه‌های مختلف، ارتفاع خط تعادل آب‌وخشکی ماهانه برآورد شد. در نهایت عکس‌العمل وسعت دریاچه در برابر تغییرات اقلیمی کواترنری در سه بازه‌ی دمایی ۵، ۸ و ۱۲ درجه سانتی‌گرادی کم‌تر از امروز، بررسی شد و ارتفاع خط تعادل آب‌وخشکی و وسعت دریاچه در شرایط مختلف مشخص شد. در این زمینه نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و

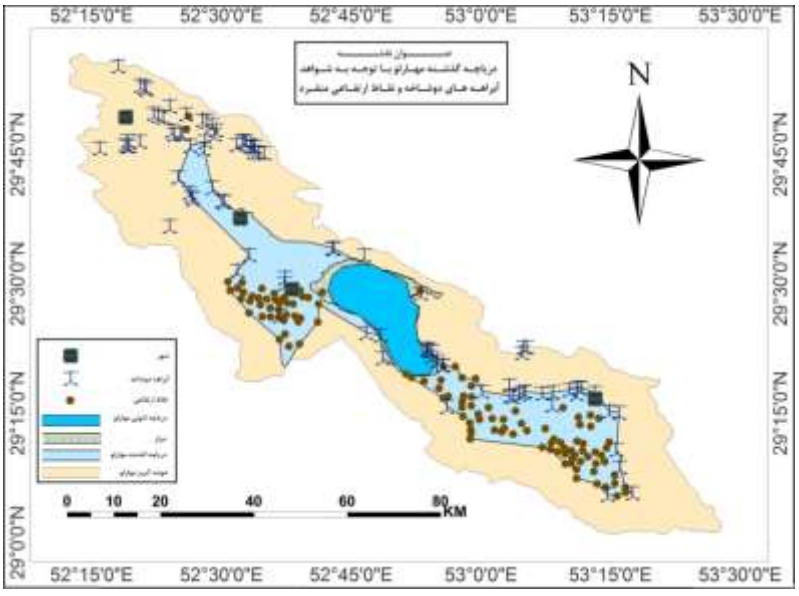
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ابزارهای فیزیکی خوبی برای برآیند خط تعادل آب‌وخشکی بودند. از کارهای میدانی و برداشت نیمرخ طولی و عرضی رودخانه‌ها و ثبت موقعیت‌های خاص مثل تغییر شیب‌های بسیار کم اما ناگهانی به‌وسیله سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) استفاده شده است.

یافته‌ها و بحث

ردیابی خط تعادل آب‌وخشکی با توجه به شواهد منعکس‌شده در نقشه‌های توپوگرافی

سطوح مستوی حاصل عملکرد آب‌های راکد مثل مانداب‌ها، دریاچه‌ها، آبگیرهاست. این سطوح در نقشه‌های توپوگرافی، معمولاً با نقاط ارتفاعی منفرد مشخص شده است. تحدید این سطوح، در نقشه‌های توپوگرافی، با ردیابی شبکه‌های آبراهه‌ای که به‌طور ناگهانی منقطع و در منتهی‌الیه جریان به دوشاخه کوچک تبدیل شده، امکان‌پذیر است. پدیده‌های ناشی از عملکرد آب‌های راکد با چهار شاخص اصلی در نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ قابل ردیابی است. نقاط ارتفاعی منفرد، آبراهه‌های منقطع، تغییر ناگهانی فرم خطوط تراز به سینوس پنجه‌ای و وجود احتمالی تپه شاهد منفرد در حد فاصل ترازهای تغییر فرم داده، سطوح پلایایی گذشته را منعکس می‌کنند (Ramesht, 2013: 60-61). این شاخص‌ها به کمک نقشه‌های توپوگرافی منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت. نواحی دشتی واقع در جنوب و جنوب‌شرق دریاچه مهارلو، شرایط متفاوتی را در منطقه نشان داده و همچنین بررسی آبراهه‌های دوشاخه نکاتی کلیدی را در این منطقه آشکار نموده است. از ارتفاع ۱۴۸۰ متر به پایین، ۱۳ آبراهه دوشاخه شناسایی گردید و به همراه نقاط ارتفاعی منفرد، محدوده سطح پلایای گذشته مهارلو تشخیص داده شد. در واقع منحنی میزان شروع نقاط ارتفاعی منفرد و آبراهه‌های دوشاخه، به‌عنوان ساحل گذشته دریاچه در نظر گرفته شده است (شکل۲).



شکل ۲: نقشه دریاچه گذشته مهارلو با توجه به شواهد آبراهه‌های دوشاخه و نقاط ارتفاعی منفرد

Figure 2: Maharlo lake's last map according to evidence of plumbers and single elevation

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

انطباق ساحل قدیمی دریاچه بر منحنی میزانی است که از آن به بعد تراکم نقاط ارتفاعی منفرد بیش‌تر می‌شود. از بررسی این موضوع در ارتفاع پایین‌تر از ۱٤۸۰ متری مشخص گردید که از ۱٤٦۰ متر به پایین هیچ نقطه ارتفاعی منفرد، چشمه و یا آبراهه دوشاخه‌ای وجود ندارد. در شرایط کنونی نیز در پرآب‌ترین حالت، ارتفاع خط تعادل آب‌وخشکی ۱٤٦۰ متر است. بین ۱٤۸۰-۱٤٦۰ بیش از پنج‌ششم نقاط ارتفاعی منفرد (٦۰ نقطه) و بین منحنی ۱۵۰۰-۱٤۸۰ متر ۱۲ نقطه ارتفاعی منفرد (یک‌ششم نقاط) وجود دارد.

ارتباط بین دما و بارش با خط تعادل آب‌وخشکی در شرایط کنونی

بین عناصر اقلیمی و خط تعادل آب وخشکی رابطه تنگاتنگی وجود دارد. به‌منظور بررسی این روابط، داده‌های مورد نیاز از ایستگاه‌های اقلیمی داخل و اطراف حوضه، استخراج گردید. بین دما و بارش سالانه با ارتفاع ایستگاه‌ها رابطه سنجی شد (روابط ۲ و ۳) و با استفاده از آن‌ها و همچنین نقشه توپوگرافی منطقه، نقشه‌های هم‌دما و هم‌بارش سالانه ترسیم گردید. بر اساس نقشه هم‌دما، میانگین سالانه دما در مرتفع‌ترین قسمت کوه‌های شمال‌غرب حوضه، ۸/۵ و در ساحل دریاچه مهارلو، ۱۸/۵ درجه سانتی‌گراد است؛ از نظر بارشی نیز ارتفاعات شمال‌غربی، بیش‌ترین بارش (۱۱۰۰ میلی‌متر) و مرکز دریاچه کم‌ترین بارش (۲۵۵ میلی‌متر) را دریافت می‌کنند.

رابطه (۲) $Y=-۰/۰۰۶۴x-۲۷/۰٦٦$ $R^2=۰/۸$

رابطه (۳) $Y=۰/۵۲۶x+۶/۳۶۵۸$ $R^2=۰/۷$

برای بررسی اثر نوسان سطح دریاچه در ارتباط با تغییر عناصر اقلیمی همچون دما و بارش، بین ارتفاع ایستگاه‌ها با دما و با بارش هرماه به‌طور جداگانه رابطه خطی گرفته شد. ضریب همبستگی روابط فوق برای بیش‌تر ماه‌های دارای بارش، بالا بود؛ سپس با قرار دادن ارتفاع وزنی در روابط ماهانه، بارش یا دمای وزنی ماهانه حوضه برآورد گردید. برای بررسی اثر دما بر روی خط تعادل آب‌وخشکی، بین میانگین دمای وزنی ماهانه با میانگین ماهانه سطح دریاچه رابطه رگرسیونی گرفته شد (رابطه ٤ و جدول ۳). بر اساس این رابطه، به ازای افزایش یک درجه دمای میانگین ماهانه حوضه، ٦/۹ کیلومترمربع از سطح دریاچه کاسته می‌شود. علاوه بر آن برای بررسی اثر تغییرات بارش بر وسعت دریاچه بین میانگین وزنی ماهانه بارش با میانگین ماهانه وسعت دریاچه، رابطه خطی برآورد گردید (رابطه ۵).

رابطه (٤) $Y=-۶/۹۰۶۵x+۲۵۵/۳۲$ $R^2=۰/۹۵$

رابطه (۵) $Y=۱/۳۱x+۹۸/۵۱۱$ $R^2=۰/۹۰$

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

بر اساس روابط (٤ و ٥) به ازای هر ده میلی‌متر بارش ماهانه، وسعت دریاچه در حدود ۱۳ کیلومترمربع افزایش خواهد داشت و وسعت دریاچه در ماه‌های خشک، به‌شرط ریزش به هنجار بارش در ماهای قبل، ۹۸ کیلومترمربع خواهد بود. نتایج حاکی از آن است که در ماه‌های آذر، دی و بهمن که معمولاً کم‌ترین دما (به ترتیب ۵/۲، ٤/۳ و ٤/۱ درجه سانتی‌گراد) و بیش‌ترین بارش‌ها (به‌ترتیب ۹۲/۷۳، ۱۱۱/۷۹ و ۱۰۰/٤٥ میلی‌متر) اتفاق می‌افتد، وسعت دریاچه به ۲۳۵ کیلومترمربع می‌رسد.

جدول ۳- روابط ارتفاع با بارش و دمای ماهانه حوضه مهارلو

Table 3- Relationships with rainfall and monthly temperature of Maharlu basin

ماه	رابطه بین ارتفاع و بارش ماهانه	بارش وزنی (mm)	رابطه بین ارتفاع و دمای ماهانه	دمای وزنی (°C)	سطح دریاچه (km^2)
مهر	$y=۰/۰۰۲x-۱/۷۵۲$ $R^۲=۰/۷$	۱۹/۳۷	$y=-۰/۰۱۲۳x+۳۸/۹۷٦$ $R^۲=۰/۹$	۱٦/۳٦۷	۱٤۰
آبان	$y=۰/۰۲٤۹x-۱۸/٤٦۹$ $R^۲=۰/۸$	۲۷	$y=-۰/۰۱۱۱x+۳۱/۲۱۸$ $R^۲=۰/۹$	۱۰/۸۱٥	۱۸۰
آذر	$y=۰/۰٥۸٤x-۱٤/٦۰۸$ $R^۲=۰/۸$	۹۲/۷۳	$y=-۰/۰۱٤x+۳۰/۹٤۹$ $R^۲=۰/۸$	٥/۲۱٥	۲۳٥
دی	$y=۰/۰٥٦۳x-۸/۳۱۲۲$ $R^۲=۰/۸$	۱۱۱/۷۹	$y=-۰/۰۰۹٦x+۲۱/۹۲$ $R^۲=۰/۷$	٤/۲۷	۲۳٥
بهمن	$y=۰/۰۸۲۱x-٥۰/٤٥٤$ $R^۲=۰/۹$	۱۰۰/٤٥	$y=-۰/۰۰۹٥x+۲۱/٥٤٦$ $R^۲=۰/۹$	٤/۰۸٤	۲۳٥
اسفند	$y=۰/۰۷٥۲x-٥٥/۰٥۹$ $R^۲=۰/۹$	۸۳/۱٦	$y=-۰/۰۰۹٤x+۲٤/۳٥٤$ $R^۲=۰/۹$	۷/۰۷٦	۱۸۰
فروردین	$y=۰/۰٦۳۱x-٥٤/۸۱٤$ $R^۲=۰/۹$	٦۱/۱٦۸	$y=-۰/۰۱۱۹x+۳۲/۳٦٥$ $R^۲=۰/۹$	۱۰/٤۹	۱۸۰
اردیبهشت	$y=۰/۰۱۸٦x-۱٦/۱٤۲$ $R^۲=۰/۹$	۱۸/۰٤	$y=-۰/۰۱۳٤x+٤۰/۳۰۸$ $R^۲=۰/۸$	۱٥/٦۷٦	۱٤۰
خرداد	$y=۰/۰۰۱۲x-۱/۲۷۰$ $R^۲=۰/۳$	۰/۹۳	$y=-۰/۰۱۳٤x+٤٥/۳٤$ $R^۲=۰/۸$	۲۰/۷۰۹	۱۰۰
تیر	$y=-۰/۰۰۰٥x-۱/۲٤۷$ $R^۲=۰/٤۳$	۰/۳۲۸	$y=-۰/۰۱۱۷x+٤٦/۰۱۳$ $R^۲=۰/۸$	۲٤/٥۰۷	۱۰۰
مرداد	$y=-۰/۰۰۱۷x-۳/٤٦٥$ $R^۲=۰/٤$	۰/۳٤۰	$y=-۰/۰۰۸x+٤۰/۸۲٤$ $R^۲=۰/٦$	۲٦/۸۲۳	۷٥
شهریور	$y=-۰/۰۰۰۷x-۱/٥۲۰$ $R^۲=۰/٦$	۰/۲۳٤	$y=-۰/۰۱۲۳x+٤٥/۹۷٦$ $R^۲=۰/۹$	۲۳/۸	۷٥

ارتباط بین دمای گذشته و خط تعادل آب‌وخشکی

یکی از روش‌های ژئومورفولوژیکی بازسازی دمای گذشته استفاده از برآورد ارتفاع برف مرز دائمی دوره‌های سرد کواترنری است (Brooks, 1989: 48؛ Hubbard and Glasser, 2005: 7؛ Knight, 2006: 7؛ Hambrey et al, 2007: 5). از آنجایی‌که بالاترین ارتفاع قسمت حوضه کم‌تر از ۳۰۰۰ متر است و در عرض جغرافیایی ۲۹ درجه واقع شده، مسلماً در هیچ دوره‌ای دما به آن اندازه کاهش نیافته که بتواند مواریث اقلیمی همچون دره‌های آبشخور مانند و مورن‌های سرگردان یخچالی در محیط برجا گذارد. هرچند امکان تشکیل یخچال‌های سیرکی در سردترین دوران

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

یخچالی در مرتفع‌ترین قسمت حوضه امکان‌پذیر بوده، ولی آثار باقی‌مانده از آن‌ها به حدی نیست که بتوان با کمک آن‌ها برف مرز دائمی و خط تعادل آب‌ویخ گذشته را برآورد نمود. به همین دلیل از یک روش مقایسه‌ای نسبت به نواحی اطراف که افت دمایی کواترنری آن‌ها مشخص‌شده و اعمال مقدار کاهش دمایی که برای کل ایران پیشنهاد شده، تغییرات خط تعادل آب‌وخشکی کواترنری بررسی گردید. کاهش دمای کواترنری برای بسیاری از مناطق ایران اثبات شده است. Crowley and North (1991: 2) به تشدید کاهش دما در زمستان‌های یخچالی به میزان ۲۰ درجه سانتی‌گراد و کاهش ۳ درجه دما در تابستان‌های یخچالی اشاره‌کرده، اما معیار دقیقی جهت تأیید این مسئله نداشته و کاهش میانگین ۸ درجه‌ای را برای کلیه ماه‌های سال معقول دانسته است.

ارقام برآوردی کاهش دمای کواترنری برخی از نواحی ایران عبارت‌اند از: Ramesht (2002: 75)، ۹ درجه برای زفره اصفهان، Shoshtarizadeh (2003: 127)، ۱٤/۲۵ درجه سانتی‌گراد برای سلفچگان، Na'matulahi and (2006: 158) Ramesht، ۱۰ درجه برای دشت نمدان اقلید، Pourdehghan(2004: 130)، ۱۳ درجه برای ده بکری بم، (2006: 140) Shahzidi، ۵ درجه برای کوه‌های سیرچ کرمان و Ma'soumi (2005: 125)، ۹ درجه برای نسران نطنز. به عقیده این محققان دامنه کاهش دمای کواترنری بین ۵ تا ۱٤ درجه و متوسط کاهش دما حدود ده درجه سانتی‌گراد بوده است؛ از طرفی در دوره‌های سرد پلئیستوسن، افت محیطی دما، برای عرض‌های میانه را بین ۵ تا ۷ درجه متغیر می‌دانند (Zomorodiyan, 2013: 18). بر این اساس برای حوضه مهارلو مقدار کاهش دمای کواترنری نسبت به امروز بین ۵ تا ۱۲ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. با کسر ۵، ۸ یا ۱۲ درجه از میانگین دمای ماهانه وزنی و جای‌گذاری اعداد به‌دست آمده به‌جای X در رابطه (٤)، حداکثر وسعت دریاچه در شرایط متفاوت بازسازی شد.

برای برآورد اثرگذاری تغییرات بارش گذشته بر وسعت دریاچه، ابتدا بین دما و بارش وزنی ماهانه کنونی رابطه سنجی شد رابطه (٦). با قرار دادن دماهای وزنی حاصل از کسر ۵، ۸ و ۱۲ درجه‌ای از دماهای وزنی ماهانه کنونی در رابطه (٦)، بارش گذشته برآورد شد و همچنین با قرار دادن بارش‌های برآوردی در رابطه (۵)، وسعت ناشی از بارش زمان گذشته محاسبه گردید. بررسی‌ها حاکی از آن است که وسعت‌های برآوردی دریاچه براثر تغییرات بارش با وسعت‌های برآوردی براثر تغییر دما، تفاوت چندانی نداشته و با بازسازی دمای گذشته می‌توان تغییرات دریاچه را ردیابی نمود.

$$Y=-٤/٩١١\ X+١١٢/٤ \qquad R^2=٠/٨٧٥$$ رابطه (٦)

با فرض کاهش ۵ درجه‌ای دما، بارش حدود ۱/۵، ارتفاع تبخیر از دریاچه ۰/٦۷ و وسعت دریاچه ۱/۱٤ برابر شرایط کنونی بوده است. با فرض دمای ۸ درجه کم‌تر از شرایط کنونی، بارش حدود ۱/۹۲، ارتفاع تبخیر از دریاچه ۰/۵۲ و سطح دریاچه ۱/۲ برابر امروزه بوده است. برای مثال اگر کاهش دمای گذشته نسبت به امروز ۸ درجه سانتی‌گراد فرض شود، وسعت دریاچه در پرآب‌ترین ماه سال ۲۷۰/۵ کیلومترمربع، دمای خط تعادل آب‌وخشکی آن ماه ۳/۹- و

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

میانگین سالانه دمای آن، ٦/١٥ درجه سانتی‌گراد بوده است. با فرض دمای ۱۲ درجه کم‌تر از شرایط کنونی، بارش حدود ۲/۳۷، ارتفاع تبخیر از دریاچه حدود ۰/۱۷، سطح دریاچه حدود ۱/۲٦ شرایط کنونی بوده است.

با توجه به رژیم بارندگی ایران (فصلی بودنش) نوسان شدیدی در سطح دریاچه در طول سال اتفاق می‌افتد و از ۲۳۵ کیلومترمربع طی ماه‌های آذر، دی و بهمن تا ۷۵ کیلومتر مربع در ماه‌های تیر و مرداد متغیر است. بیش‌ترین مساحت مربوط به سردترین و پرباران‌ترین ماه‌ها و کم‌ترین وسعت در گرم‌ترین و خشک‌ترین زمان سال است. در مطالعات ژئومورفولوژیکی آنچه اهمیت بیش‌تری دارد خط تعادل آب‌وخشکی در حداکثر وسعت دریاچه‌هاست که کم‌تر به زیر آب می‌رود و لندفرم‌های پایدارتری ایجاد می‌کند. بین ارتفاع ایستگاه‌ها و متوسط دماهای ماهانه آن‌ها برای هرماه جداگانه رابطه خطی گرفته شد و با توجه به رابطه (٤)، میانگین دمای لازم برای وسعت مورد نظر برآورد و با توجه به روابط (جدول ۳)، (روابط بین دمای ماهانه با ارتفاع) ارتفاع خط تعادل آب‌وخشکی وسیع‌ترین وضعیت دریاچه برآورد گردید. از تغییرات کنونی خط تعادل آب‌وخشکی ماهانه برای ردیابی ارتفاع خط تعادل آب‌وخشکی گذشته استفاده شد. سطح دریاچه کنونی در ماه‌های مختلف بیش از ١٦٥ کیلومترمربع بین مرطوب‌ترین ماه‌ها (آذر، دی و بهمن)، با خشک‌ترین ماه‌ها (مرداد و شهریور) نوسان دارد؛ در حالی که با توجه به وضعیت شیب و توپوگرافی دریاچه، اختلاف ارتفاع خط تعادل آب‌وخشکی در زمان پرآبی (١٤٦٠ متر) با پست‌ترین قسمت دریاچه (١٣٦٩ متر) ۹۱ متر است.

-بررسی لیتولوژی و خط تعادل آب‌وخشکی

وضعیت لیتولوژیک محل از عواملی است که خط تعادل آب‌وخشکی را متأثر می‌سازد. در لیتولوژی غالب آهک، یا آب ناشی از بارش حوضه‌های مجاور وارد دریاچه می‌شود و در بیلان آب و افزایش سطح دریاچه اثر مثبت می‌گذارد؛ یا کارست‌های آهکی، خود عامل جذب و مکش آب شده؛ و مانع از بالا آمدن آب و افزایش سطح دریاچه بر اثر بارش‌های دریافتی سطح حوضه می‌شود. توده‌های آهکی از ارتفاع ١٤٧٠ متری به بعد در قسمت‌هایی از شمال شرق و جنوب‌غرب دریاچه مهارلو به‌صورت بارزی رخنمون دارند. اگر شرایط اقلیمی مرطوبی نیز برای دریاچه فراهم شود، آب نمی‌تواند از این ارتفاع بالاتر رود و به درون آهک نفوذ می‌کند. چنین وضعیتی مانع از انعکاس واقعی خط تعادل آب‌وخشکی در محیط می‌گردد. اشکال کارستی شناسایی شده در حوضه همچون لاپیه، دولین و پونور می‌توانند با انتقال آب ناشی از بالا آمدن سطح دریاچه به درون زمین، مانع از ایجاد شواهد بازسازی خط تعادل آب‌وخشکی دوره‌های سرد کواترنری شوند. مساحت پلی گون محصور در منحنی هم ارتفاع ١٤٧٠ متر، حدود ٤٦٠ کیلومترمربع است؛ درحالی‌که در صورت کاهش ۱۲ درجه سانتی‌گرادی دمای کواترنری نسبت به امروز، وسعت دریاچه به کم‌تر از ۳۰۰ کیلومترمربع می‌رسد و با برخورد آب به سیستم کارستیک حوضه در ارتفاع ١٤٧٠ متری و حتی پایین‌تر از آن، امکان گسترش بیش‌تر دریاچه وجود نداشته و همین عامل مانع از باقی ماندن آثار دوره‌های پرآبی در سواحل دریاچه شده است. کمبود چنین شواهدی مبنای نظر Krinsley (1970: 54) شده و استقلال حوضه مهارلو را به پلئیستوسن نسبت داده است. اگر ورود آب حوضه بیش‌تر از وضعیت کنونی باشد، آب مازاد به‌وسیله

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

پونورها، آون‌ها و سایر اشکال کارستی از حوضه خارج می‌شود؛ از طرفی بالا آمدن سطح دریاچه بیش از ارتفاع ۱٤۷۰ متر نیز نمی‌تواند به‌طور قطعی اثر عوامل اقلیمی را در بیلان آب دریاچه بیان نماید؛ چرا که چنین بیلانی می‌تواند نتیجه اثرگذاری مثبت آهک بر حجم آب ورودی دریاچه باشد. چنانچه گسترش دریاچه به طرف جنوب شرق حوضه رخ‌داده باشد؛ با توجه به فرود ناهمواری‌ها و وجود یک ارتفاع بسیارکم نسبت به خط تعادل آب‌وخشکی (۱۵۱۷ متر)، آب از حوضه خارج و از طریق رود قره‌آغاج به خلیج‌فارس می‌ریخته است. محصور شدن بخش‌های جنوب‌غرب و شمال‌شرق دریاچه توسط توده‌های آهکی، دلیل گسترش شمال‌غرب–جنوب‌شرق دریاچه در کواترنری بوده است. نکته جالب توجه این است که به دلیل وجود ساحل گذشته در ارتفاع ۱٤۸۰، منحنی‌های بسته متعلق به این ارتفاع از تعدد و پراکندگی زیادی برخوردارند. وجود آثار کارستیک مثل آون‌ها، پولیه‌ها، پونورها و غیره در آهک‌های منطقه، به همراه ٤۵ درصد از نقاط ارتفاعی منفرد و ۵۸ درصد از آبراهه‌های دوشاخه‌ای در پایین‌تر از ارتفاع ۱٤۸۰ متر، تداعی‌کننده این نکته است که آب به‌محض بالا آمدن به درون زمین نفوذ می‌کرده است.

– خط تعادل آب‌وخشکی با توجه به وسعت منحنی میزان‌های بسته اطراف حوضه

برآورد ماهانه خط تعادل آب‌وخشکی دریاچه مهارلو، نیازمند ردیابی آثار ژئومورفولوژیکی در ماه‌های مختلف است. مطالعات میدانی و توجه به وضعیت رسوبی دریاچه، حاکی از وجود این‌گونه شواهد، فقط در وضعیت حداکثر وسعت دریاچه است. به دلیل متغیر بودن وسعت ماهانه دریاچه در سال‌های متمادی، آثاری از ارتفاع خط تعادل آب‌وخشکی ماهانه بر جا نمانده است، البته به کمک اطلاعات مربوط به مساحت میانگین ماهانه دریاچه، می‌توان ارتفاع خط تعادل آب‌وخشکی را برآورد نمود. پس از ترسیم لایه منحنی میزان با فاصله ۲۰ متر در سیستم اطلاعات جغرافیایی، از خطوط هم‌ارتفاع بین ۱۳۸۰ تا ۱٤٦۰ متر، پلی‌گون‌های مستقلی تهیه و وسعت آن‌ها محاسبه شد. ارتفاع خط تعادل آب‌وخشکی کنونی با مساحت ۲۳۵ کیلومتری، ۱٤٦۰ متر است؛ درصورتی‌که مساحت پلی گون محصور در این منحنی هم‌ارتفاع، ۲۰۲/٦ کیلومترمربع بود، پس باید مساحت مسطحاتی به مساحت توپوگرافیکی تبدیل شود. ضریب اصلاحی از رابطه (۷) به‌دست آمد و مساحت توپوگرافیکی پلیگون‌ها برآورد شد.

رابطه (۷) $E=A/a$ ۲۳۵ ÷۲۰۲/٦=۱/۱٦

که E ضریب خطا، a مساحت منحنی میزان به‌دست آمده از طریق نرم‌افزار و A مساحت دریاچه در حداکثر وسعت منطبق با منحنی میزان ۱٤٦۰ متر است. با استفاده از این ضریب، مساحت منحنی میزان‌های پایین‌تر از ارتفاع خط تعادل آب‌وخشکی کنونی ۱٤٦۰ متر به مساحت توپوگرافی تبدیل شد (جدول ٤). با مقایسه‌ی مساحت‌های اصلاح‌شده با مساحت‌های ماهانه سطح دریاچه، آن دسته از وسعت‌های ماهانه‌ای که عدد نزدیک به مساحت‌های ارتفاعی داشتند، انتخاب و بین ارتفاع به‌عنوان متغیر مستقل (x) با مساحت به‌عنوان متغیر وابسته (Y) رابطه سنجی گردید (رابطه ۸) با استفاده از آن می‌توان ارتفاع خط تعادل آب‌وخشکی را در هر وضعیت اقلیمی برآورد نمود.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

رابطه (۸) $R^2=۰/۹۲$

$Y=۰/۳۶۱X+۱۳۸۲/۶$

رابطه (۸) در برآورد ارتفاع خط تعادل آب‌وخشکی بالاتر از ارتفاع کنونی کاربرد دارد. با جایگزینی وسعت‌های برآوردی برای دوره‌های سرد کواترنری، ارتفاع خط تعادل آب و خشکی آن‌ها برآورد گردید (جدول ۵).

جدول ٤-ارتفاع منحنی‌ها و مساحت و محیط هر منحنی میزان

Table 4- Height of curves and the area and environment of each curve

ارتفاع	۱۳۸۰	۱٤۰۰	۱٤۲۰	۱٤٤۰	۱٤٦۰	۱٤۸۰	۱۵۰۰
مساحت واقعی	۱۵/۲۳	٤۳/۸۸۹	۷٤/۱٦٦	۱۱۰/۵٦	۲۰۲/٦۱	٦٤۹/۳۵	۹۱۵/۰۵
مساحت اصلاحی	۱۷/٦٦	۵۰/۹۱	۸٦/۰۳	۱۲۸/۲٤	۲۳۵/۰۲۷	۷۵۳/۲٤	۱۰٦۱/٤۵

جدول ۵-ارتفاع خط تعادل آب‌وخشکی و مساحت آن‌ها در ماه‌های مختلف

Table 5- Height of the absoil balance line and their area in different months

ماه	شرایط کنونی		با کاهش ۵ درجه		با کاهش ۸ درجه		با کاهش ۱۲ درجه	
	وسعت	ارتفاع	وسعت	ارتفاع	وسعت	ارتفاع	وسعت	ارتفاع
مهر	۱٤۰	۱٤۳۳/۱٦۸	۱۸۸/٦۷۷	۱٤۵۰/۷۵	۱۹۲/۲٦٦	۱٤۵۲/۰٤٦	۲۱۸/۰۹۰	۱٤٦۱/۳۷٤
آبان	۱۸۰	۱٤٤۷/٦۱٦	۲۲٤/۵۲۰	۱٤٦۳/٦۹	۲۲۸/۱۰۹	۱٤٦٤/۹۹۳	۲۵۳/۹۳۳	۱٤۷٤/۳۲۱
آذر	۲۳۵	۱٤٦۷/٤۸۲	۲٦۰/٦۷٤	۱٤۷٦/۷۵۵	۲٦٤/۲٦۳	۱٤۷۸/۰۵۱	۲۹۰/۰۸۷	۱٤۸۷/۳۷۹
دی	۲۳۵	۱٤٦۷/٤۸۲	۲٦٦/۷۷۵	۱٤۷۸/۹۵۹	۲۷۰/۳٦٤	۱٤۸۰/۲۵۵	۲۹۰/۱۸۷	۱٤۸۹/۵۸۳
بهمن	۲۳۵	۱٤٦۷/٤۸۲	۲٦۷/۹۷۵	۱٤۷۹/۳۹۲	۲۷۰/۵٦٤	۱٤۸۰/٦۸۹	۲۹۷/۳۸۸	۱٤۹۰/۰۷۱
اسفند	۱۸۰	۱٤٤۷/٦۱٦	۲٤۸/٦۵۹	۱٤۷۲/٤۱۵	۲۵۲/۲٤۸	۱٤۷۳/۷۱۲	۲۷۸/۰۷۲	۱٤۸۳/۰٤
فروردین	۱۸۰	۱٤٤۷/٦۱٦	۲۲٦/٦۱۹	۱٤٦٤/٤۵٤	۲۳۰/۲۰۷	۱٤٦۵/۷۵۱	۲۵٦/۰۳۱	۱٤۷۵/۰۷۹
اردیبهشت	۱٤۰	۱٤۳۳/۱٦۸	۱۹۳/۱۳۸	۱٤۵۲/۳٦۱	۱۹٦/۷۲۷	۱٤۵۳/٦۵۷	۲۲۲/۵۵۱	۱٤٦۲/۹۸۵
خرداد	۱۰۰	۱٤۱۸/۷۲	۱٦۰/٦٤۵	۱٤٤۰/٦۲۵	۱٦٤/۲۳٤	۱٤٤۱/۹۲۱	۱۹۰/۰۵۸	۱٤۵۱/۲٤۹
تیر	۱۰۰	۱٤۱۸/۷۲	۱۳٦/۱۲۵	۱٤۳۱/۷٦۸	۱۳۹/۷۱٤	۱٤۳۳/۰٦٤	۱٦۵/۵۳۸	۱٤٤۲/۳۹۳
مرداد	۷۵	۱٤۰۹/٦۹	۱۲۱/۱٦۷	۱٤۲٦/۳٦۵	۱۲٤/۷۵٦	۱٤۲۷/٦٦۱	۱۵۰/۵۸	۱٤۳٦/۹۹
شهریور	۷۵	۱٤۰۹/٦۹	۱٤۰/٦۹۰	۱٤۳۳/٤۱۷	۱٤٤/۲۷۹	۱٤۳٤/۷۱۳	۱۷۰/۱۰۲	۱٤٤٤/۰٤۱

نتیجه‌گیری

یکی از موضوعات مهم در ژئومورفولوژی توجه به تغییراتی است که براثر نوسان سطح آب دریاچه‌های داخلی در فرم زمین ایجاد می‌شود. مسلما زمانی که سطح اساس دریاچه‌ها بالا باشد، سطوح وسیع‌تری به زیرآب رفته و با

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

عقب‌نشینی آب، سطح پلایا مانندی برجا گذاشته که برای بسیاری از فعالیت‌های انسانی مثل سکونت، کشاورزی، ارتباطات و غیره موانعی ایجاد می‌کند و ممکن است سبب متروک ماندن بخش وسیعی از اراضی گردد.

اتصال آبراهه‌های دوشاخه در مناطق هم‌جوار، وسعت بیش از ۱۱۹۰ کیلومتر مربعی را برای گذشته دریاچه مهارلو نشان می‌دهد؛ هرچند آبراهه دوشاخه و شیب یکنواخت آثاری از حدود پلایای گذشته هستند، اما امکان دارد ساحل دریاچه واحدی را نشان ندهند. همان‌گونه که امروزه نیز مهارلو در مواقعی از سال به دو چاله تقسیم می‌شود؛ درگذشته نیز احتمال تشکیل آبگیرهای متعدد وجود داشته، یعنی در اطراف چاله اصلی مهارلو با تغییر وضعیت عناصر اقلیمی، آبگیرهای متعددی شکل می‌گرفته‌اند. سطوح پلایا مانند باقی‌مانده از آن‌ها در نقشه‌های توپوگرافی، به‌صورت آبراهه‌های دوشاخه و نقاط ارتفاعی منفرد منعکس شده‌اند. اگر برای مساحت ۱۱۹۰ کیلومتر مربعی، یک دریاچه واحد در نظر گرفته شود، احتمال ورود آب از مناطق دیگر بسیار زیاد بوده و چه‌بسا آب از طریق کارست‌ها وارد دریاچه شده، در این صورت سطح آب زیرزمینی بسیار بالاتر از زمان کنونی بوده است. کارست و گسل به‌صورت تیغه دو لبه در جذب یا دفع آب عمل می‌کنند؛ ممکن است آن‌ها در زمان گذشته، برعکس شرایط کنونی عمل کرده و منجر به افزایش حجم آب دریاچه و گسترش آن تا ۱۱۹۰ کیلومتر مربع شده باشند. در صورتی که بیش‌تر شواهد ژئومورفولوژیکی حاکی از آن است که ارتفاع ۱۴۸۰ متری، حد نهایی خط تعادل آب‌وخشکی بوده است. در قسمت‌هایی از شمال‌شرق و جنوب‌غرب دریاچه مهارلو بالاتر از ارتفاع ۱۴۷۰ متر، توده‌های آهکی رخنمون دارند که اگر سطح دریاچه به آن برسد، آب به درون اشکال کارستی نفوذ کرده و مانع از انعکاس واقعی خط تعادل آب‌وخشکی در محیط می‌شود. از طرفی تمام آبراهه‌های دوشاخه موجود در زمین‌های پست مهارلو به ارتفاع ۱۴۸۰ یا کم‌تر، ختم شده‌اند. بیش از پنج‌ششم از نقاط ارتفاعی برداشت‌شده از نقشه‌های توپوگرافی، در بین ارتفاع ۱۴۸۰–۱۴۶۰ متر قرار دارد. مسلماً واکنش دریاچه در مقابل تغییرات باید در مدل ترکیبی از وضعیت دما و بارش با شرایط توپوگرافیکی حوضه بررسی شود. نکته‌ای که نباید فراموش شود، توجه به زمان پاسخ دریاچه به بارش است. تا زمانی که بارش به‌صورت مایع باشد، زمان پاسخ بسیار کوتاه‌تر از زمانی است که بارش بخش عمده‌ای از حوضه، جامد باشد. بر این اساس و با توجه به این‌که بارش جامد معمولاً در دماهای پایین‌تر از صفر درجه اتفاق می‌افتد، ارتفاع خط هم‌دمای صفر درجه و مساحت بالاتر از آن برای شرایط مختلف اقلیمی، برآورد گردید (جدول ٦). بر اساس (جدول ٦) اگر دمای محیطی فقط ۵ درجه کم‌تر از امروز در نظر گرفته شود، در ماه‌های دی و بهمن بیش از ۷۸ درصد از حوضه، بارش جامد دریافت می‌کرده که ذوب و جاری شدن آن‌ها در ماه‌های گرم‌تر (فروردین و اردیبهشت) باعث افزایش سطح دریاچه به مقدار قابل توجه می‌شده است. به عبارتی در فصل بهار نه تنها رواناب ناشی از بارش همان زمان وارد دریاچه می‌شده، بلکه آب ناشی از ذوب بارش‌های بلوکه شده از فصول سرد نیز وارد سیستم دریاچه‌ای شده و در بیلان مثبت آب نقش بسیار مهمی داشته است. با کاهش ۱۲ درجه‌ای دمای کواترنری (حتی با احتمال بسیار ضعیف) چه بازه زمانی بارش جامد و چه سطح دریافت کننده آن، بسیار بیش‌تر و عکس‌العمل دریاچه نیز متفاوت‌تر می‌شده است. با چنین تغییراتی، نوسان ماهانه سطح دریاچه کم‌تر

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

از امروز بوده و هنگام حداکثر وسعت دریاچه به‌جای هم زمان شدن با حداکثر بارش ماهانه (در شرایط کنونی دی و بهمن) مصادف با زمانی بوده که دریاچه علاوه بر دریافت رواناب بارش مایع، بیش‌ترین آب ناشی از ذوب بارش‌های جامد را نیز دریافت می‌کرده است (اردیبهشت و خرداد).

جدول ٦-ارتفاع خط هم‌دمای صفر درجه، مساحت بالاتر از آن و مقدار بارش ماه‌های سرد سال در شرایط کنونی و کواترنری

Table 6- Height of the zero-level companion, the higher area and the amount of precipitation of the cold months of the year in the current and quaternary conditions

شرایط و پارامترها / ماه		مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت
کنونی	ارتفاع (متر)	۳۱٦۸/۷۸	۲۸۱۲/٤۳	۲۲۱۰/٦٤	۲۲۸۳/۳۳	۲۲٦۸	۲٥۹۰/۸٥	۲۷۱۹/۷٤	۳۰۰۸/۰٥
	مساحت (کیلومترمربع)	۰	٤٥	۹٤٥	٦۷۹	٦۷۹	۱۷٦	۹۸	٤
	درصدی از حوضه با بارش جامد	۰	۱/۰٥	۲۲/۰۷	۱٥/۸٦	۱٥/۸٦	٤/۱۱	۲/۲۹	۰
	بارش (میلی‌متر)	۱۹/۳۷	۲۷	۹۲/۷۳	۱۱۱/۷۹	۱۰۰/٤٥	۸۳/۱٦	٦۱/۱٦۸	۱۸/۰٤
دمای ٥-	ارتفاع (متر)	۲۷٦۲/۲۷	۲۳٦۱/۹۸	۱۸٥۳/٥	۱۷٤۱/٦۸	۱۷٤۱/٦۸	۲۰٥۸/۹۳	۲۲۹۹/٥۷	۲٦۳٤/۹۲
	مساحت (کیلومترمربع)	٤٥	٤٥٥	۲۱۳۸	۳۳٦۸	۳۳٦۸	۱۲٦۹	٦۷۹	۱۷٦
	درصدی از حوضه با بارش جامد	۱/۰٥	۱۰/٦۳	٥۰/٤٥	۷۸/٦۷	۷۸/٦۷	۲۹/٦٤	۱٥/۸٦	٤/۱۱
	بارش (میلی‌متر)	٥٦/٥۸	۸۳/۸٤	۱۱۱/۳٤	۱۱٥/۹۸	۱۱٦/۸۹	۱۰۲/۲	۸٥/٤٤	٥۹/۹۷
دمای ۸-	ارتفاع (متر)	۲٥۱۸/۳۷	۲۰۹۱/۷۱	۱٦۳۹/۲۱	۱٤٥۰	۱٤۲٥/۸۹	۱۷۳۹/۷۸	۲۰٤۷/٤۷	۲٤۱۱/۰٤
	مساحت (کیلومترمربع)	۲۸٦	۱۲٦۹	٤۲۳۷	٤۲۸۱	٤۲۸۱	۳۳٦۸	۱۲٦۹	۲۸٦
	درصدی از حوضه با بارش جامد	٦/٦۸	۲۹/٦٤	۹۸/۹۷	۱۰۰	۱۰۰	۷۸/٦۷	۲۹/٦٤	٦/٦۸
	بارش (میلی‌متر)	۷۱/۳۱	۹۸/٥۷	۱۲٦/۰۷	۱۳۰/۷۱	۱۳۱/٦۲	۱۱٦/۹۳	۱۰۰/۱۷۲	۷٤/۷
دمای ۱۲-	ارتفاع (متر)	۲۱۹۳/۱۷	۱۷۳۱/۳٥	۱۳٥۳/٥	۱۰۳۳/۳۳	۱۰۰٤/۸٤	۱۳۱٤/۲٥	۱۷۱۱/۳٤	۲۱۱۲/٥۳
	مساحت (کیلومترمربع)	۹٤٥	۲٦۰۷	٤۲۸۱	٤۲۸۱	٤۲۸۱	٤۲۸۱	۲٦۰۷	۹٤٥
	درصدی از حوضه با بارش جامد	۲۲/۰۷	٦۰/۸۹	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	٦۰/۸۹	۲۲/۰۷
	بارش (میلی‌متر)	۹۰/۹٥	۱۱۸/۲۱	۱٤٥/۷۱	۱٥۰/۳٥	۱٥۱/۲۷	۱۳٦/٥۷	۱۱۹/۸۱	۹٤/۳٤

تحلیل‌های فوق حاکی از آن است که بالا آمدن آب دریاچه با توجه به تغییر شرایط اقلیمی و بیلان مثبت آب در کواترنری امر مسلمی بوده، ولی پس از مقدار کمی بالا آمدن سطح دریاچه، آب به توده‌های آهکی اطراف حوضه برخورد کرده و از طریق کارست‌ها از دریاچه خارج می‌شده است. حتی در صورت اثر مثبت آهک در بیلان آب، امکان خارج شدن آن از پست‌ترین قسمت حوضه با ارتفاع ۱۵۱۷ متر در شمال‌شرقی دریاچه وجود داشته است. بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی حاکی از آن است که شرایط لیتولوژیکی هیچ‌گاه اجازه‌ی بالا آمدن آب را تا این حد

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

به حوضه نداده و ارتفاع خط تعادل آب‌وخشکی، حداکثر به ۱٤۸۰ متر منتهی می‌شده است. اگر دمای حوضه مهارلو ۵ درجه کم‌تر از شرایط کنونی شود، بارش حدود ۱/۵، ارتفاع تبخیر از دریاچه در حدود ۰/٦۷ و سطح دریاچه ناشی از آن ۱/۱٤ برابر شرایط کنونی می‌شود و با کاهش ۱۲ درجه سانتی‌گرادی دما، بارش حدود ۲/۳۷، ارتفاع تبخیر از دریاچه حدود ۰/۱۷ و سطح دریاچه حدود ۱/۲٦ برابر شرایط کنونی می‌گردد. به‌تبع این تغییرات، وسعت دریاچه در حالت حداقل ممکن برابر با ۱۲۱/۱۷ و ۲٦۷/۹۷ کیلومترمربع و در شرایط حداکثر برابر با ۱۵۰/۵۸ و ۲۹۷/۳۸ کیلومتر مربع می‌گردیده است. حتی با کاهش حداکثری دمای کواترنری، دریاچه امکان توسعه بیش از ۲۹۷/۳۸ کیلومتری را نداشته است (جدول ۷).

جدول ۷-ارتفاع حداقل، میانگین و حداکثر دمای خط تعادل آب‌وخشکی و ارتفاع آن‌ها

Table 7- Minimum height, mean and maximum temperature of the water balance line and their heights

متوسط دمای خط تعادل آب‌وخشکی	ارتفاع متوسط	حداقل دمای خط تعادل آب‌وخشکی	ارتفاع حداقل	دمای خط تعادل آب‌وخشکی	ارتفاع حداکثر	وسعت	دما
۱۷/۸۹	۱٤۳۳/۱٦۸	۱۸/۰٤	۱٤۰۹/٦۹	۱۸/۲۷	۱٤٦۷/٤	۲۳۵	کنونی
۱۷/۷۷	۱٤۵۲/۳٦	۱۷/۹۳	۱٤۲٦/۳٦	۱۳/۲	۱٤٦۸	۲٦٦/۹۷	-۵
۱۷/۷٦	۱٤۵۳/٦۵	۱۷/۹۲	۱٤۲۷/٦٦۱	۱۰/۲	۱٤۷۱	۲۷۱/۵٦	-۸
۱۷/۷۰	۱٤٦۲/۹۸۵	۱۷/۸٦	۱٤۳٦/۹۹	٦/۱۳	۱٤۸۰	۲۹۷/۳۸	-۱۲

در شرایط کنونی، ارتفاع خط تعادل آب‌وخشکی ۱٤٦۰ متر است و اگر دما ۵ درجه کاهش یابد، خط تعادل آب‌وخشکی حداکثر به ارتفاع ۱٤٦۸ متر می‌رسد. با کاهش ۸ درجه‌ای دما، خط تعادل آب‌وخشکی ارتفاع ۱٤۷۱ متر و با کاهش ۱۲ درجه سانتی‌گراد، ۱٤۸۰ متر می‌شده است. در نهایت باید اذعان کرد ترکیبی از شرایط اقلیمی و ژئومورفولوژیکی احتمال گسترش دریاچه را تا ارتفاع ۱٤۸۰ متر محدود می‌کرده است به‌طوری که شواهد منعکس شده در نقشه‌های توپوگرافیکی در پایین‌تر از این ارتفاع حاکی از پلایایی بودن سطوح ارضی است و در دوره‌های سرد، کارست در بیلان آب دریاچه نقش مثبت داشته است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

References

- Abtahi, M., (2013), "Monitoring scrutiny of bygone climate of Jajroud basin by using glacial evidences" ***Geographical exploration of desert areas***, 1: 185-201. [In Persian].
- Alizadeh, A., (2010), "***Principles of applied hydrology***", Mashhad: Astane Ghodse Razavi Press, 915. [In Persian].
- Bing-Yuan, L., Li-ping, Z., (2001), "Greatest lake period, and its paleo environment on the Tibetan Plateau", ***Journal of Geographical Sciences***, 11 (1): 34-42.
- Brooks, I., (1989), "The Physical Geography", ***geomorphology and late quaternary history of the mahidasht project area, qara su basin, central western Iran***", Rom Mahidasht Project Report.
- Crowley, T. J., North, G. R., (1991), "***Paleoclimatology***", Oxford University Press: New York.
- Cumming, B. F., Laird, K. R., Fritz, S. C., Verschuren, D., (2012), "***Tracking Holocene climatic change with aquatic biota from lake sediments: case studies of commonly used numerical techniques***", In tracking environmental change using lake sediments: 615-642.
- Ghohrouditaly, M., Shokri, H., Hosseini, Z., (2011), "Identification of sediment area from climate evolutions in Maharlu playas, using P.C.A tecnic and O.I.O.F index", ***Geographic research of arid regions***, 3: 21-36. [In Persian].
- Hambrey, M. J., Christoffersen, P., Neil, F., Glasser, B., (2007), "***Glacial sedimentary processes and products (special publication number of the international association of sedimentology)***", Blackwell publishing, London.
- Hubbard, B., Glasser, N. F., (2005), "***Field techniques in glaciology and glacial geomorphology***", John Wiley & Sons: London.
- Kamaneh, A., (2006), "The effect of chimatic and sea level chanes on geomorphological evaluation in Quaternary period, (Case study: Kor Basin River)", geomorphology Ph.D. thesis, Human faculty Esfahan University. [In Persian].
- Kamaneh, A., Nadery, S., Tahery, A., Saket, M., (2011), "Spatial Analysis of Maharlu Spatial Basin Using Geomorphic and Hydraulic Arguments", ***Regional Planning Quarterly***, 1 (1): 69-81.
- Kehl, M., (2009), "Quaternary climate change in Iran the state of knowledge", ***Erdkunde***, 18: 1-17.
- Knight, P. G., (Ed.)., (2008), "***Glacier science and environmental change***", New york John Wiley & Sons.
- Krinsley, D. B., (1970), "***A geomorphological and paleoclimatological study of the Playas of Iran***", Part II. geological survey reston: Melborn.
- Lashkari, H., Abutalebi Jahromi, F., Amirzadeh, M., (2010), "Investigation of bakhtegan lake climate change in the final holocene using clay mineralogy", Special edition of Nivar Scientific-Extension Journal. 309-318.
- Lewis, Michael, C.F., King, John, W., (2012), "Introduction to Holocene water levels & paleo-hydrology of the Laurentian Great Lakes", ***Journal Pale limnology***, 3 (47): 293-297.
- Ma'soumi, F., (2005), "Hydro geomorphology of basins in Nasran region", M. A. thesis, Geography Department, Islamic Azad University, Najaf-Abad unit. [In Persian].
- Mehrshahi, D., (2002), "Diagnosis of climatic changes at the end of the fourth period in iran through information from the study of lakes: new findings and views, and difficulties in existing evidence", ***Geographical Researches Quarterly Journal***, 1-4 (63-64): 133-148.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

- Na'matulahi, F., Ramesht, M. H., (2005), "Glacier evidences in Iran", ***Humanities educations***, 9 (4): 143-162. [In Persian].
- Pourdehghan, D., (2006), "Tracing of geomorphologic evidences of Quaternary climate evolutions in Dehbekry of Bam", M.A. thesis, Islamic Azad University, Najaf-Abad unit,. [In Persian].
- Ramesht, M. H., (2013), "***Symbols and images in geomorphology***", Tehran: SAMT's press. [In Persian].
- Ramesht, M. H., (2002), "***Glacial effects in Zefreh of Esfahan***", Research project of No.800305, Research council of Esfahan University. [In Persian].
- Ramesht, M. H., Shahzidi, S., (2011), "***Application of geomorphology in national, regional, financial, tourism planning***", Esfahan: Esfahan University press. [In Persian].
- Rasouli, A., Abbasian, S., Jahanbakhsh, S., (2008), "Monitoring of Uremia lake water surface fluctuations by processing of multi- sensors and multi-temporal imageries", ***MJSP***, 12 (2): 53-71. [In Persian].
- Seif, A., Abtahi, M., (2014), "A survey of climatic changes of namak lake basin in the late quaternary", ***Geography and planning***, 46: 99-111. [In Persian].
- Shahzidi, S., (2006), "The role of thermal and cryogenic isostasy in formation of fans in Derakhtangan River", M. A., thesis, Islamic Azad University, Najaf-Abad unit. [In Persian].
- Shoshtarizadeh, N., (2003), "Glaciers of central Iran in Salafchegan region", M.A. thesis, Islamic Azad University, Najaf-Abad unit. [In Persian].
- Spencer, G., Lucas Gary, S., Kate, E., Zeigler, Ed,. (2005), "New Mexico's ice Ages", New ***Mexico Museum of Natural History and Science***, ***Bulletin***, (28):171-183.
- Zomorodiyan, M. J., (2013), "***Geomorphology of Iran***", 2nd volume, Mashhad: Firdausi University press. [In Persian].
- Zomorodiyan, M. J., Khakpoor, M., Velayati, S. A., (2012), "Hydro geomorphologic analysis of Maharlu Basin based on interactive relationship of morph tectonic, morph climatic and hydromorphic processes", ***Journal of geography and regional development***, 19: 47-70. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]