

محاسبه دمای سطح آب (SST) و عمق آب با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و برآورد ارتباط بین آنها مطالعه موردی: دریاچه‌های ارومیه و وان

محمد کاظمی قراجه^۱

خلیل ولی زاده کامران^۲

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۰۳/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۱۱/۳۰

چکیده

اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی آب از جمله دمای سطح آب و عمق آب با استفاده از روش‌های معمولی نیازمند صرف هزینه و زمان زیادی می‌باشد. در سال‌های اخیر، فناوری سنجنش از دور به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ابزارهای محاسبه دمای سطح آب و عمق آب، روند روبه‌رشدی در مطالعات مربوط به دریاچه‌ها داشته است. از این رو، هدف پژوهش حاضر محاسبه دمای سطح آب و عمق آب و بررسی ارتباط بین این دو در دریاچه ارومیه واقع در کشور ایران و وان واقع در کشور ترکیه می‌باشد. بدین منظور، در ابتدا تصاویر ماهواره لندست ۸ سال ۲۰۱۸ برای مناطق مورد مطالعه تهیه شدند. تصحیح اتمسفری با استفاده از روش فلش (FLAASH) بر روی تصاویر اعمال شد. سپس دمای سطح زمین با استفاده از روش الگوریتم پنجره مجزاء برای هر دو منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. در نهایت با اعمال ضریب گسیل مندی آب (۰/۹۸) بر روی دمای سطح زمین، دمای سطح آب به‌دست آمد. برای محاسبه عمق نسبی آب نیز روش استامپ مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از محاسبات مربوط به ارزیابی صحت نتایج بیانگر مقادیر RMSE ۱/۲، ۱/۱ و ۱/۲ برای محاسبه دمای سطح آب به ترتیب برای ایستگاه‌های قالقاچی، مالک‌اشتر و اشکو همچنین مقادیر ۱/۶، ۱/۵ و ۱/۶۷ برای محاسبه عمق آب به ترتیب برای ایستگاه‌های قالقاچی، مالک‌اشتر و اشک می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از بررسی ضریب همبستگی به‌دست آمده بین دمای سطح آب با عمق نسبی آب (۰/۲۴-) برای دریاچه ارومیه و (۰/۵۲-) برای دریاچه وان) نشانگر وجود رابطه معکوس بین عمق آب و دمای سطح آب است، به‌طوری که با افزایش عمق، دمای سطح آب کاهش یافته و کاهش عمق آب، افزایش دمای سطح آب و در نتیجه افزایش تبخیر و تعرق را در پی دارد.

واژه‌های کلیدی: دمای سطح آب، عمق نسبی آب، ماهواره لندست، دریاچه وان، دریاچه ارومیه

۱- کارشناس ارشد سنجنش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول) kazemi20.0432@gmail.com

۲- دانشیار گروه سنجنش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز valizadeh@tabrizu.ac.ir

۱- مقدمه

و (Maritorea et al, 1994) گسترش یافته است (Stumpf et

2003: 547) اندازه‌گیری‌های مستقیم عمق و پارامترهای فیزیکی آب مثل دمای سطح آب به کمک روش‌های مستقیم بسیار زمانبر و پرهزینه می‌باشد (صفری و همکاران، ۱۳۹۳). در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های نوین، کم‌هزینه و سریع مانند فناوری سنسور از دور، به‌علت توانایی در شناسایی پدیده‌ها همواره مورد توجه متخصصین، مدیران و تصمیم‌گیران بوده است. اطلاعات به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای کمک زیادی به مطالعه پدیده‌های مختلف می‌کند و می‌تواند در تشخیص تغییرات پدیده‌ها و درک شرایط محیط بسیار راه‌گشا باشد (Feizizade, 2014; Fernandez, 2006). تصاویر ماهواره‌ای به‌لحاظ ویژگی‌های خاص خود همچون وسعت منطقه تحت پوشش، دسترسی آسان و چندزمانه بودن قابلیت بررسی تغییرات را در مطالعات محیطی به آسانی فراهم می‌کنند و امکانات مفیدی را برای مطالعه پدیده‌های دینامیک ارائه می‌دهند (شایان و جنتی، ۱۳۸۶). یکی از کاربردهای تصاویر ماهواره‌ای محاسبه دمای سطح آب و عمق آب است. ماهواره‌های سری لندست از جمله ماهواره‌هایی هستند که برای مطالعات محیطی مختلف از جمله محاسبه دمای سطح آب و عمق نسبی آب طراحی شده‌اند. به‌دلیل در دسترس بودن تصاویر این ماهواره‌ها در ایران و همچنین پوشش و قدرت تفکیک مناسب آن‌ها، در این پژوهش از تصاویر لندست ۸ برای محاسبه دمای سطح آب و عمق آب استفاده شد. با توجه به اهمیت بالای دریاها و اقیانوس‌ها به‌عنوان مهم‌ترین منابع رطوبتی و تشکیل سامانه‌های مختلف جوی، بررسی ویژگی‌های گرمایی آب و ارتباط متقابل آن با عمق آب دارای اهمیت بسیاری می‌باشد (Brown and Minett, 1999; Abdalsatar, 2014). در حال حاضر منبع اصلی جمع‌آوری داده‌های مربوط به دمای سطح آب و عمق آب به‌صورت دستی می‌باشد که با استفاده از ابزارهایی به جمع‌آوری اطلاعات می‌پردازند. هزینه‌ی بالای جمع‌آوری داده‌ها و همچنین مشکلات مرتبط با آن باعث شده است تا نیاز به استفاده از تکنولوژی‌ی مانند سنسور از دور در این

اقیانوس‌ها در چرخه آب جهانی نقش ارزنده‌ای دارند. یکی از ویژگی‌های مهم اقیانوس‌ها درجه حرارت آن‌ها می‌باشد که از متغیرهای اساسی و مهم در کاربردهای مربوط به هواشناسی و شیلات می‌باشد. این ویژگی دربرگیرنده اطلاعات اقلیمی اساسی است که به‌طور مستقیم بر روی سلامتی انسان، اقتصاد و امثال این امور تأثیر می‌گذارد. درجه حرارت سطح دریا برای توصیف جریان‌های اقیانوسی، دینامیک دریاها، ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی اقیانوس‌ها کاربرد دارد و از عوامل مهم برای مطالعات مربوط به تغییرات اقلیمی محسوب می‌شود (Donlon et al, 2002) حرارت همان انرژی خورشیدی جذب شده به‌وسیله مواد است که تبدیل به انرژی گرمایی می‌شود. در این بین، آب جذب‌کننده بسیار خوب تابش خورشیدی است؛ این جذب تا اعماق زیادی در آب نفوذ می‌کند و نسبت به شفافیت آب متغیر است. ضخامت لایه‌های جاذب انرژی در اقیانوس‌ها به دو تا سه متر می‌رسد و در بخش وسیعی از آن توزیع می‌شود (Sur et al, 2000). ضریب جذب بالای آب به همراه گرمای ویژه بالای آن و انتقال سریع گرما به سایر قسمت‌های آب باعث شده است که پهنه‌های آبی موجود در سطح زمین به‌عنوان ذخیره‌کننده حرارتی عمل کنند. حجم مناسب و تغییرات زمانی و مکانی پهنه‌های آبی نقش مهمی در فعالیت‌های سیستم‌های جوی، زندگی آبزیان، جریان‌های دریایی، شوری و دیگر خصوصیات آب دریاها و دریاچه‌ها دارند (معمار راست و مجدلی، ۱۳۹۴). علاوه بر دمای سطح آب، عمق نسبی آب نیز یکی از متغیرهای مهمی است که نقش مهمی در مدیریت و بهره‌برداری بهینه از منابع طبیعی دریاها ایفا می‌کند، به‌طوری که آگاهی از میزان عمق نسبی آب امکان برنامه‌ریزی برای محافظت از دریاها را فراهم می‌سازد. اولین تلاش برای محاسبه عمق نسبی آب از طریق عکس‌های هوایی در آب‌های شفاف کم‌عمق بود، و نظریه محاسبه عمق آب با استفاده از فناوری سنسور از دور توسط (Philpot, 1989)، (Lyzenga, 1978)

کاظمی قراجه و فیضی زاده (۱۳۹۸) در پژوهشی به بررسی تغییرات دمای سطح آب دریاچه ارومیه طی بازه زمانی ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۸ پرداختند. در این مطالعه تصاویر سری های ماهواره های لندست ۵، ۷ و ۸ به منظور محاسبه دمای سطح آب مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از پژوهش آن ها بیانگر دقت بالای تصاویر سری های ماهواره های لندست به منظور محاسبه دمای سطح آب است.

(*Komail and Takewake, 2015*)، در پژوهشی به منظور تجزیه و تحلیل تغییرات جزر و مد در سواحل شرقی ژاپن تصاویر باند X داده های رادار را به منظور محاسبه عمق آب مورد استفاده قرار داده اند.

صفری و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه ای تصاویر فراطیفی سنجنده هایپریون از ماهواره EO1 و همچنین الگوریتم های لایزینگا و استامپ را به منظور محاسبه عمق سواحل جزیره قشم مورد استفاده قرار دادند. نتایج ارزیابی دقت این پژوهش نشان می دهد که میزان همبستگی تصویری که پس از انجام پیش پردازش ها، بر روی آن الگوریتم استامپ استفاده شده با دقت ۸۹/۳ درصد و مقدار انحراف معیار مقادیر عمق به دست آمده با عمق واقعی ۱/۳۸ متر به دست آمد.

کاظمی قراجه و فیضی زاده (۱۳۹۸) در پژوهشی تصاویر سری های ماهواره های لندست را به منظور محاسبه عمق نسبی آب مورد استفاده قرار دادند. نتایج پژوهش آن ها نشان دهنده کاهش تدریجی عمق آب از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۸ می باشد.

(*Cao et al, 2020*) در مطالعه ای نسبت به ارائه الگوریتم جدیدی به منظور محاسبه عمق نسبی آب با استفاده از تکنولوژی سنجنش از دور اقدام کرده اند. نتایج پژوهش نشان دهنده آن است که الگوریتم پیشنهادی قابلیت بهبود بخشیدن دقت میانگین مربع خطا الگوریتم های محاسبه عمق آب را در حدود ۰/۲۲، ۰/۲۹ و ۰/۲۴ دارا می باشد.

جمع بندی پیشینه تحقیق بیانگر آن است که در تمام پژوهش های انجام گرفته فقط به محاسبه دمای سطح آب

زمینه احساس شود. بعد از سال ۱۹۸۰ بود که ماهواره ها استفاده فزاینده ای در اندازه گیری دمای سطح آب داشتند که قابلیت های آن تحول بزرگی از مشاهدات در تغییرات جزئی SST داشته است. دمای آب سطحی مهم ترین پارامتر در تعامل آب و هوا و فیزیک و فرآیندهای بیوشیمیایی که در آب اتفاق می افتد است. با توجه به توان تشعشعی آب که نزدیک به یک است (علوی پناه، ۱۳۹۵) می توان دمای سطح آب را در طول روز و شب با استفاده از سنجنش از دور مادون قرمز حرارتی تعیین نمود. دمای سطح آب یک مقدار بحرانی در مطالعه اقیانوس و اتمسفر محسوب می شود، زیرا به طور مستقیم به مبادلات حرارتی، حرکت و گاز بین اقیانوس و اتمسفر مربوط می شود (*Emery et al, 2001*).

به دلیل اهمیت بالای دمای سطح آب و عمق نسبی آب مطالعات متعددی برای برآورد این دو کمیت تاکنون صورت گرفته است:

(*Merchanr et al, 2009*) در پژوهشی از باندهای حرارتی متوسط ۹ جهت محاسبه دمای سطح آب استفاده کرده اند. این مطالعه در طول دوره زمانی ۲۰ روزه و مقیاس فضایی ۲/۵ درجه در طول و عرض جغرافیایی انجام شده است. نتایج پژوهش آن ها بیانگر دقت ۰/۳۸ کلوین برای محاسبه دمای سطح آب می باشد.

(*Lamaro et al, 2013*) در مطالعه ای باندهای حرارتی لندست را به منظور محاسبه دمای سطح آب در مخزنی در کشور آرژانتین مورد استفاده قرار دادند. به منظور ارزیابی دقت نتایج، داده های زمینی حاصل از برداشت میدانی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج پژوهش بیانگر مقدار میانگین مربع خطای ۱/۲۲ برای محاسبه دمای سطح آب می باشد.

(*Sobrin et al, 2020*)، به منظور محاسبه دمای سطح آب، تصاویر نسل دوم *Spinning Enhanced Visible (MSG)* و *InfraRed Imager* ماهواره متوست، داده های ساعتی ۴ ایستگاه زمینی و ۱۱ شناور را مورد استفاده قرار دادند. نتایج پژوهش آن ها بیانگر میانگین داده خط ۰/۶۷ کلوین برای محاسبه دمای سطح آب بود.

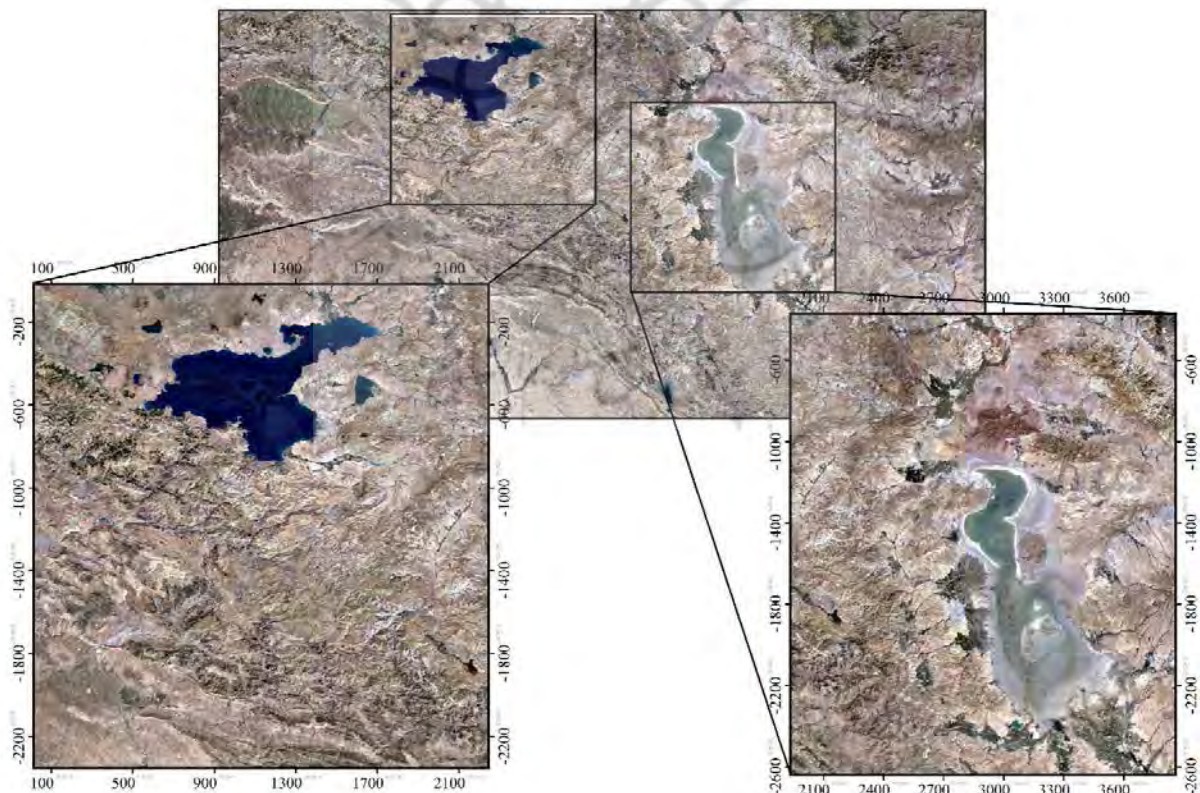
از سطح آب‌های آزاد است. دریاچه ارومیه از طرف غرب، جنوب و شرق به وسیله کوه‌هایی احاطه شده است ولی از سمت شمال ارتفاعات مهمی وجود ندارد. حداکثر ارتفاع در غرب ۳۶۰۸ متر، در شرق ۳۱۷۳ متر و در جنوب ۴۸۱۱ متر از سطح آب‌های آزاد می‌باشد. دریاچه وان به عنوان منطقه مطالعه دوم بزرگ‌ترین دریاچه کشور ترکیه با وسعتی معادل ۳/۷۷۵ کیلومتر مربع از نظر موقعیت نسبی در غرب شهر وان و شرق ترکیه قرار دارد. این دریاچه (وان) عمقی در حدود ۱۷۱ تا ۴۰۰ متر دارد و ۱/۶۴۰ متر بالاتر از سطح دریا قرار گرفته است (Cukur et al., 2014; Stockhecke et al., 2014)

بخش غربی دریاچه نسبت به بخش شرقی دریاچه که کم‌عمق‌تر است عمیق‌تر بوده و عمقی در حدود ۴۵۱ متر دارد. دریاچه وان دارای شکل مثلثی بوده و به شدت قلیایی است به طوری که مقدار PH آن در حدود ۹/۷ تا ۹/۸ است.

و عمق آب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پرداخته‌اند و به بررسی ارتباط بین این دو توجهی نشده است. این در حالی است که وجود رابطه بین این دو متغیر توسط فاضل‌پور و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی به اثبات رسیده است. از این رو هدف پژوهش حاضر علاوه بر محاسبه دمای سطح آب و عمق آب، بررسی رابطه بین دمای سطح آب با عمق آب نیز است.

۲- منطقه مورد مطالعه

دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران در استان آذربایجان غربی قرار دارد. مساحت دریاچه در سال ۲۰۱۸ حدود ۲۱۲ هزار هکتار برآورد شده است (Gorji et al, 2020). این دریاچه بزرگ‌ترین دریاچه در داخل ایران و یکی از دریاچه‌های فوق شور در جهان محسوب می‌شود. دریاچه ارومیه از نوع بسته با حداکثر عمق ۱۶ متر و تراز کف آن زیر ۱۲۷۰ متر



نگاره ۱- موقعیت مناطق مورد مطالعه

می‌شود. از این رو، به دلیل ماهیت متفاوت داده‌های سنجش‌ازدور حرارتی با داده‌های سنجش‌ازدور انعکاسی و همچنین قدرت تفکیک مکانی متفاوت این دو نوع داده، در بسیاری از موارد مانند طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای از سنجش‌ازدور حرارتی استفاده نشده است. این درحالی است که امروزه به دلیل اهمیت سنجش‌ازدور حرارتی در مطالعات محیطی، بسیاری از محققان تحقیقات پایه‌ای در این زمینه و توسعه بیشتر این فناوری را ضروری می‌دانند (Kerr et al, 2000).

در این بین، دمای سطح زمین به‌عنوان یکی از متغیرهای کلیدی در مطالعات اقلیمی و محیطی سطح زمین محسوب می‌شود (کاظمی‌قراچه و همکاران، ۱۳۹۹). روش برآورد دمای سطح زمین براساس ثابت بودن توان تشعشعی در یک باند و وجود شاخص‌های جوئی توسط کاهل و همکاران (۱۹۸۴) ارائه گردید.

در این روش دمای به‌دست آمده برای برآورد توان تشعشعی در سایر باندها به کار می‌رفته است. براساس نظریه تابش حرارتی، هر قدر بازتاب اشیاء و یا پدیده‌های یکنواخت قوی‌تر باشند، انرژی کمتری جذب می‌کنند، بنابراین انرژی کمتری در مادون‌قرمز حرارتی تابش می‌کنند، در نتیجه این پدیده‌ها دمای سطح پایین‌تری خواهند داشت (Wan et al, 2004). رابطه ۱ بیانگر ارتباط بین دما و تابش یک جسم براساس قانون استفان بولتزمن است:

$$B = \sigma T^4 \quad (1)$$

در رابطه ۱، B: تابش جسم سیاه، T: دمای سطح جسم سیاه، σ : ثابت استفان بولتزمن ($5/67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$) می‌باشد. در سنجش‌ازدور حرارتی عرض برداشت باندهای حرارتی تصاویر ماهواره‌ای کمتر از آن است که بتوانند بیان‌کننده تابش جسم سیاه (B) باشند. همچنین محدوده طیف الکترومغناطیس تابش استفاده شده در رابطه بولتزمن ۳ تا ۳۰۰ میکرومتر می‌باشد.

از این رو برای کاربردهای کشاورزی استفاده چندانی ندارد. نگاره ۱ نشان‌دهنده مناطق مورد مطالعه است.

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- مواد

داده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر به‌منظور محاسبه دمای سطح آب و عمق آب به دو بخش داده‌های ماهواره‌ای و زمینی تقسیم می‌شوند. در این بین، تصاویر ماهوره لندست ۸ به‌عنوان داده‌های ماهواره‌ای برای دریاچه ارومیه و وان به‌ترتیب برای روز ۱۶ آگوست ۲۰۱۸ (۲۵ مرداد ۱۳۹۸) و ۲۳ آگوست ۲۰۱۸ (۱ شهریور ۱۳۹۸) تهیه شدند. همچنین اطلاعات مربوط به مقادیر درجه حرارت آب و عمق آب از ۳ ایستگاه هواشناسی موجود در منطقه مورد مطالعه برای یک دوره سه ماهه از مرکز تحقیقات آرتیمیا و سازمان هواشناسی استان آذربایجان غربی تهیه شدند.

۳-۲- روش پژوهش

پس از تهیه تصویر، انواع تصحیحات هندسی و اتمسفری بر روی تصاویر مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار ENVI5.3 انجام شد. آب جذب‌کننده انرژی الکترومغناطیس مخصوصاً در طول موج‌های بلند است، بنابراین مقدار انرژی ساطع شده از سطح آب پایین و معمولاً اثر اتمسفری در مناطق آبی قابل توجه است (فاطمی و رضایی، ۱۳۹۱). از این رو در پژوهش حاضر روش FLAASH برای انجام تصحیح اتمسفری مورد استفاده قرار گرفت. نگاره ۲ بیانگر روند کلی پژوهش می‌باشد.

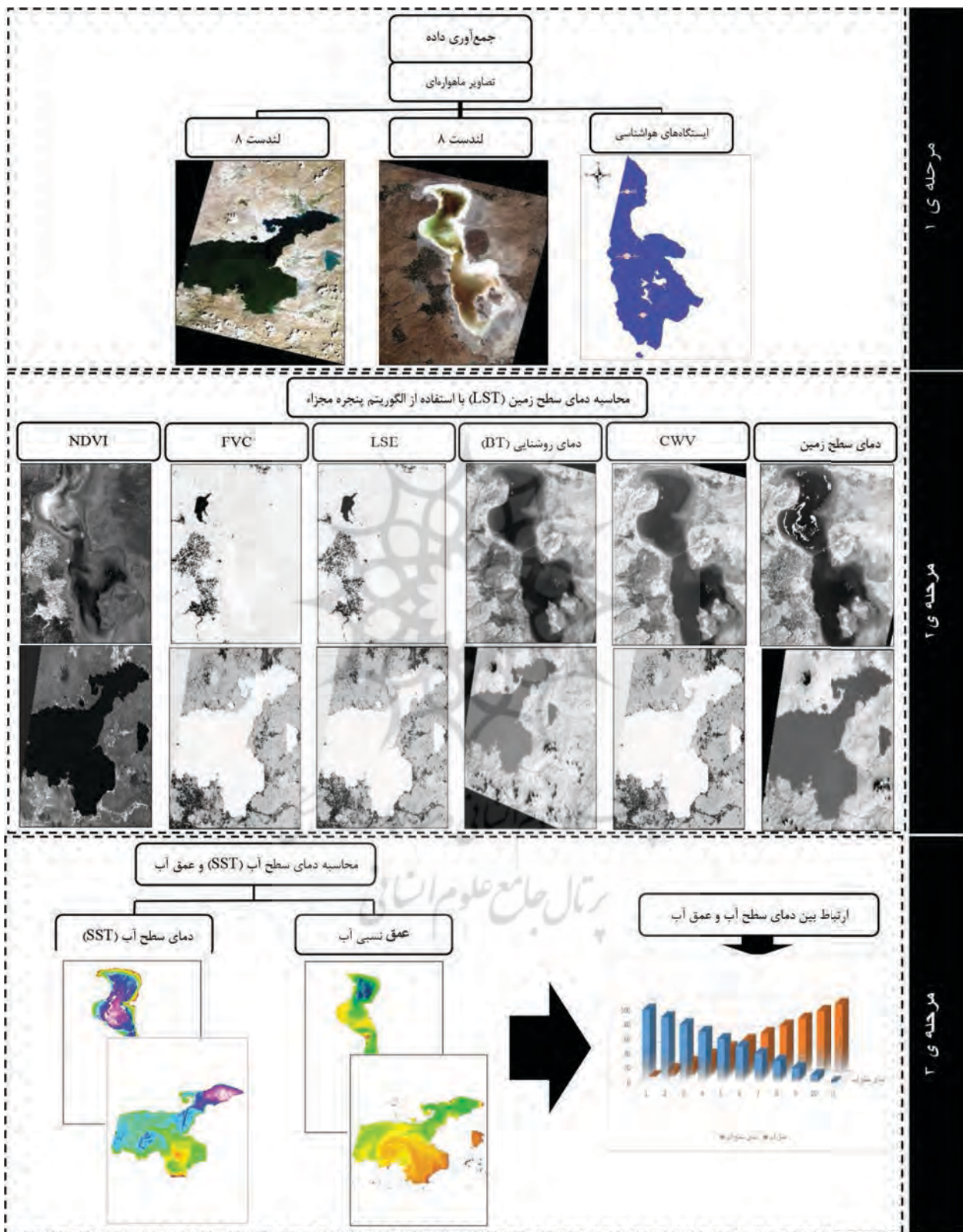
۳-۲-۱- محاسبه دمای سطح زمین (LST) با استفاده از

الگوریتم پنجره مجزاء (SW)^۲

برخلاف سنجش‌ازدور انعکاسی، در سنجش‌ازدور حرارتی تشعشع ساطع شده از سطح پدیده اندازه‌گیری

1- Land Surface Temperature

2- Split Window



نگاره ۲: روند کلی انجام پژوهش

(NDVI>0/2) خاک = NDVI (SOIL)

(NDVI>0/2) پوشش گیاهی = NDVI (Vegetation)

۳-۲-۱-۳- برآورد قابلیت انتشار سطح زمین (LSE)^۳
 قابلیت انتشار یک جسم واقعی در مقایسه با جسم سیاه
 سنجیده می‌شود.

هر پدیده بسته به مواد تشکیل‌دهنده خود بازتاب‌های
 متفاوتی در هر یک از طیف‌های الکترومغناطیس دارد
 (ولی‌زاده کامران و همکاران، ۱۳۹۶).

از این‌رو این مفهوم قابل دریافت است که با اندازه‌گیری
 قابلیت انتشار انرژی اجسام در طول موج‌های مختلف
 مقادیر متفاوتی به دست خواهد آمد. رابطه ۴ بیانگر روند
 محاسباتی قابلیت انتشار سطح زمین است. همچنین جدول
 ۱ نشان‌دهنده مقادیر قابلیت انتشار خاک و گیاه در باندهای
 مختلف می‌باشد.

$$LSE = \epsilon_s \times (1 - FVC) + \epsilon_v \times F \quad (4)$$

جدول ۱: قابلیت انتشار برای خاک و گیاه
 (کاظمی قراجه، ۱۳۹۸)

قابلیت انتشار	باند ۱۱	باند ۱۰
ϵ_s	۰/۹۷۱	۰/۹۷۷
ϵ_v	۰/۹۷۸	۰/۹۸۹

رابطه ۵ و ۶ برای محاسبه دمای روشنایی باندهای
 حرارتی (باند ۱۰ و ۱۱) لندست ۸ استفاده شد:
 تبدیل ارزش رقومی به دمای روشنایی برای باند ۱۰ و ۱۱:

$$L_\lambda = ML \times Q_{cal} + AL \quad (5)$$

ML= دمای روشنایی باند ۱۰ و ۱۱

Q_{cal} = باند ۱۰ و ۱۱

AL= Radiance Add Band 10_11

مقادیر ML و AL در فایل متادیتای تصویر موجود می‌باشد.

این درحالی است که محدوده طیفی حرارتی سنجنده‌های
 حرارتی عموماً بین ۱۰/۵ تا ۱۲/۵ میکرومتر می‌باشد از
 این‌رو برای محاسبه دمای سطح زمین از روش الگوریتم
 پنجره مجزاء استفاده شد.
 مراحل محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم
 پنجره مجزاء به صورت زیر است:

۳-۲-۱-۱- برآورد شاخص پوشش گیاهی (NDVI)^۱

شاخص NDVI با استفاده از نسبت تفاوت بین
 بازتاب باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک به دست
 می‌آید. از ویژگی‌های مثبت این شاخص در مقایسه با
 سایر شاخص‌های موجود فرآیند محاسباتی ساده آن
 است، همچنین این شاخص دارای بهترین توان دینامیک
 نیز می‌باشد (Kogan, 1993). رابطه ۲ بیانگر روند محاسباتی
 شاخص NDVI می‌باشد:

$$NDVI = \frac{(Band\ 5 - Band\ 4)}{(Band\ 5 + Band\ 4)} \quad (2)$$

مقادیر حاصل از شاخص NDVI در بازه بین -۱ تا +۱ قرار
 می‌گیرند. مقادیر منفی در این شاخص بیانگر مناطق دارای
 عدم پوشش گیاهی و مقادیر مثبت مناطق دارای پوشش
 گیاهی را نشان می‌دهند.

۳-۲-۱-۲- برآورد کسری پوشش گیاهی (FVC)^۲

هدف از محاسبه شاخص کسری پوشش گیاهی
 یکنواخت کردن تأثیرات قابلیت انتشار خاک و پوشش
 گیاهی است (فیضی‌زاده، ۱۳۹۴).

از این‌رو برای محاسبه شاخص کسری پوشش گیاهی
 رابطه ۳ مورد استفاده قرار گرفت:

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI(SOIL)}{NDVI(VEGETATION) - NDVI(SOIL)} \quad (3)$$

NDVI = شاخص پوشش گیاهی

1- Normalized Different Vegetation Index

2- Fraction of Vegetation Cover

3- Land Surface Emissivity

$$C^0 = -9/674$$

$$C^1 = 0/653$$

$$C^2 = 9/087$$

۳-۲-۱-۷- الگوریتم پنجره مجزاء (SW)

الگوریتم پنجره مجزاء از جمله روش‌های مهم در برآورد دمای سطح زمین می‌باشد که از طریق تلفیق باندهای حرارتی مجاور سعی در کاهش تأثیرات اتمسفری دارد. این الگوریتم براساس اختلاف جذب بین دو باند حرارتی مجاور در محدوده حرارتی ۱۰ تا ۱۲/۵ میکرومتر براساس خطی‌سازی معادله انتقال تشعشعی برحسب دما یا طول موج عمل می‌کند (Jimenez-Munoz and Sobrino, 2010). ضرایب ثابت این الگوریتم برای تصاویر ماهواره لندست ۸ به دلیل فقدان یک پایگاه داده مرجع از طریق شبیه‌سازی با اعداد مختلف از شرایط اتمسفر و سطح زمین به دست آمده است که جدول ۳ بیانگر مقادیر ثابت آن است:

جدول ۳: ضرایب الگوریتم پنجره مجزاء

(Garcia et al, 2005)

مقادیر	ضرایب ثابت
-۰/۲۶۸	C^0
۱/۳۷۸	C^1
۰/۱۸۳	C^2
۵۴/۳۰۰	C^3
-۲/۲۳۸	C^4
-۱۲۹/۲۰۰	C^5
۱۶/۴۰۰	C^6

با جایگذاری ضرایب بالا در رابطه ۱۰، دمای سطح زمین برحسب درجه کلونین با استفاده از الگوریتم پنجره مجزاء برای مناطق مورد مطالعه محاسبه شد:

$$LST = TB^{10} + C^1(TB^{10} - TB^{11}) + C^2(TB^{10} - TB^{11}) + C^0 + (C^3 + C^4 \times CWV) \times (1 - \epsilon) + (C^5 + C^6 \times CWV) \times \Delta M \quad (10)$$

۳-۲-۱-۴- دمای روشنایی (BT)

برای تبدیل مقادیر تابش طیفی به دمای جسم سیاه از رابطه پلانک و ثابت حرارتی موجود در فایل متادیتا (جدول ۲) استفاده شد که مقدار آن مطابق رابطه ۶ محاسبه شد:

$$T_{bb} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{\rho\lambda} + 1\right)} \quad (6)$$

دمای روشنایی بالای اتمسفر = BT(°C)

درخشندگی اتمسفر بالا = $\rho\lambda$

ثابت حرارتی موجود در متادیتای تصویر برای هر دو K_1 باند حرارتی

ثابت حرارتی موجود در متادیتای تصویر برای هر دو K_2 باند حرارتی

جدول ۲: مقادیر K_1 و K_2

باند	K_1	K_2
باند ۱۰	۷۷۴/۸۹	۱۳۲۱/۰۸
باند ۱۱	۴۸۰/۸۹	۱۲۰۱/۱۴

۳-۲-۱-۵- همچنین به منظور محاسبه میانگین و اختلاف دو باند حرارتی روابط ۷ و ۸ مورد استفاده قرار گرفت که به شرح زیر هستند:

$$\text{Mean of LSE} = \frac{LSE_{10} + LSE_{11}}{2} \quad (7)$$

$$\text{Difference of LSE} = LSE_{10} - LSE_{11} \quad (8)$$

۳-۲-۱-۶- برآورد ستون بخار آب (CWV)

از عوامل مؤثر در بهبود دقت و بازیابی دمای سطح زمین شاخص ستون بخار آب است (جویباری مقدم و همکاران، ۱۳۹۴) که مقادیر C^0, C^1, C^2, \dots آن ضرایب ثابت به دست آمده از داده‌های شبیه‌سازی شده هستند. CWV با استفاده از رابطه ۹ قابل محاسبه است:

$$CWV = C^0 + C^1 \times (T^j / T^i) + C^2 \times (T^j / T^i)^2 \quad (9)$$

میانگین دمای روشنایی باند ۱۰ و ۱۱ $T^j/T^i = 11$

نهایتاً به منظور محاسبه دمای سطح آب پیکسل‌های کلاس آب (دریاچه)، دمای سطح آب محاسبه شده در مرحله قبل را در آن ضرب کردیم و دمای سطح آب برحسب درجه سانتی‌گراد به دست آمد (نگاره ۳: الف و ب).

۳-۲-۴- محاسبه عمق نسبی آب

عمق آب به عنوان یکی از ویژگی‌های دینامیک آب نقش ارزنده‌ای در مدیریت و بهره‌برداری بهینه از منابع طبیعی دریایی را دارا می‌باشد. در این بین اصطلاح عمق‌سنجی به مطالعه عمقی زیر آب اقیانوس‌ها، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و جریان‌های آبی اشاره دارد (کاظمی قراجه و فیضی زاده، ۱۳۹۸). از این رو در پژوهش حاضر، برای محاسبه عمق آب از روش استامپ استفاده شد. در این روش عمق‌های نسبی با استفاده از مقادیر لگاریتم بازتاب در باندهای قرمز و آبی محاسبه می‌شود (Stump and Holderied, 2003). رابطه ۱۲ بیانگر معادله استامپ برای محاسبه عمق نسبی آب است:

$$Relative\ Depth = \frac{\ln(1000 \times b1)}{\ln(1000 \times b2)} \quad (12)$$

B1 باند سبز و B2 باند قرمز تصویر است.

عمق نسبی آب محاسبه شده بین بازه صفر و یک می‌باشد، که هر چه عدد به یک نزدیکتر باشد عمق بیشتر و هر چه به صفر نزدیک باشد عمق کمتر را نشان می‌دهد. از این رو، در پژوهش حاضر مقادیر عمق آب در مناطق مورد مطالعه به طور نسبی به طبقه‌هایی برای مطابقت با مقادیر حاصل از روش استامپ گروه‌بندی شد و نتایج استخراج گردید.

۳-۲-۵- ارزیابی دقت

همان‌طور که در قسمت‌های بالا اشاره شد، به منظور برآورد صحت محاسبات انجام شده (رابطه ۱۳) اطلاعات مربوط به دمای سطح آب و عمق نسبی آب در سه ایستگاه موجود در دریاچه ارومیه، یعنی ایستگاه‌های قالقچی، مالک‌اشتر و اشک از مرکز تحقیقات آرتمیا و سازمان هواشناسی استان آذربایجان غربی تهیه شد.

دمای روشنایی = $TB^{10} - TB^{11}$

ضرایب الگوریتم = $C^6 \dots C^0$

ستون بخار آب = CWV

اختلاف میانگین قابلیت انتشار سطح زمین در دو $\Delta M =$

باند حرارتی

۳-۲-۲- محاسبه دمای سطح آب (SST)

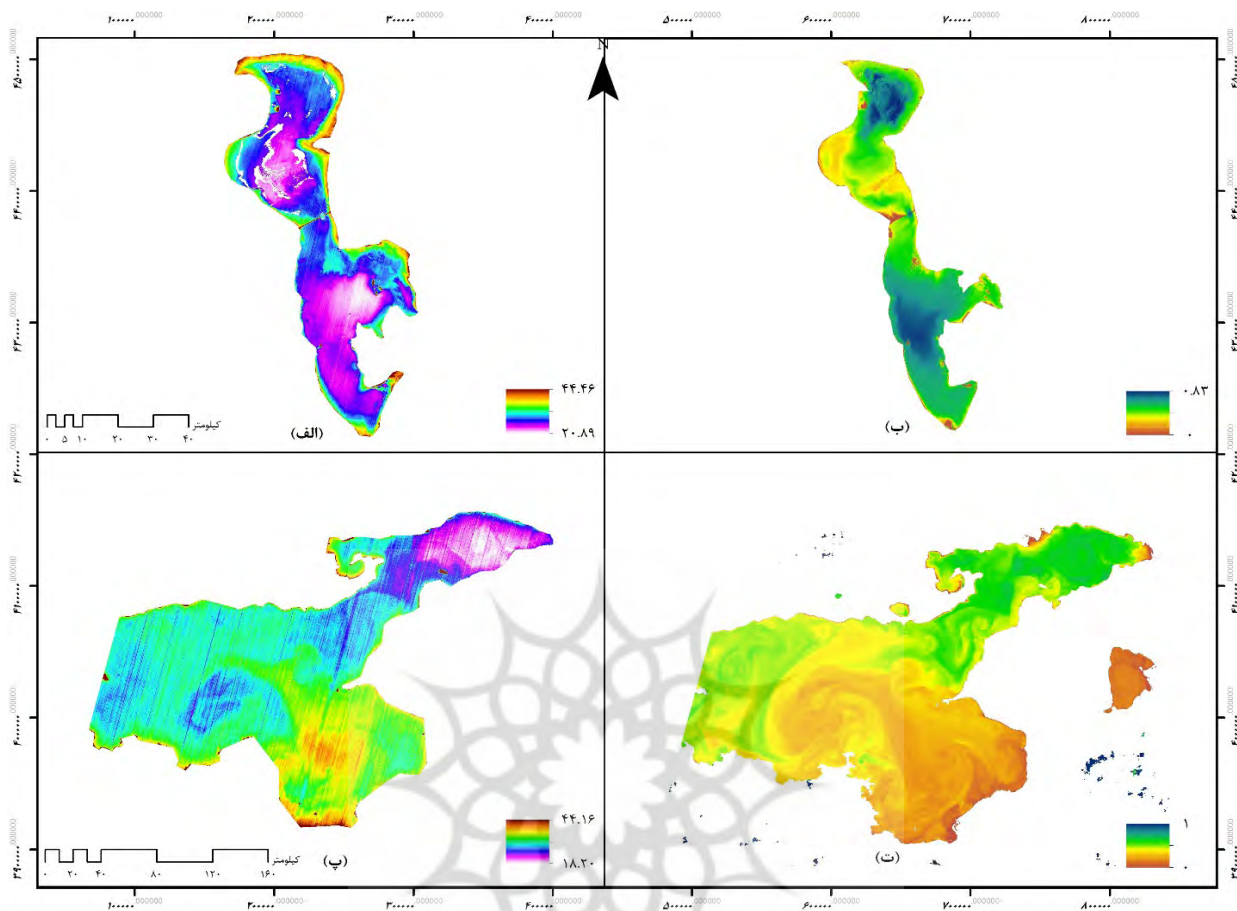
مقدار ضریب گسیل‌مندی آب برابر با ۰/۹۸ است. با ضرب مقدار گسیل‌مندی آب در مقدار دمای سطح زمین (LST) محاسبه شده و همچنین تفریق نتایج حاصل از نقطه صفر کلوین (۲۷۳-) می‌توان به دمای سطح آب برحسب درجه سانتی‌گراد دست یافت که این کار با استفاده از رابطه ۱۱ انجام شد:

$$SST = (LST \times 0.98) - 273 \quad (11)$$

۳-۲-۳- طبقه‌بندی تصاویر

طبقه‌بندی یک فرآیند تصمیم‌گیری است که در آن داده‌های تصویری به کلاس‌های مشخص انتقال می‌یابند (فاطمی و رضایی، ۱۳۹۱) و در واقع یک نگاهت از فضای چندطیفی به فضای عوارض است. فضای چندطیفی را باندهای مختلف تصویر ایجاد می‌کنند و هر پیکسل در این فضا به صورت یک بردار تعریف می‌شود، که هر عضو این بردار مقدار پیکسل را در یک باند خاص نشان می‌دهد. در فضای چندطیفی باندهای تصویر در مقابل یکدیگر قرار می‌گیرند و یک فضای چند بعدی ایجاد می‌کنند. روش‌های طبقه‌بندی از پرکاربردترین روش‌های استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشند (فاطمی و رضایی، ۱۳۹۱).

بر این اساس برای جداسازی پیکسل‌های آب از تصویر اصلی یک طبقه‌بندی نظارت نشده بر روی باندهای غیرحرارتی اعمال شد که سطح زمین را به طبقه‌هایی تقسیم کرد که این امکان را به ما داد تا بتوانیم طبقه آب را از طبقات دیگر تصویر جدا کنیم که طبقه ۱ پیکسل‌های آب و صفر پیکسل‌های No data را به خود اختصاص دادند.



نگاره ۳: الف) دمای سطح آب (SST) دریاچه ارومیه. ب) عمق نسبی دریاچه ارومیه. پ) دمای سطح آب (SST) دریاچه وان. ت) عمق نسبی دریاچه وان.

روابط رگرسیونی به یکدیگر مرتبط شدند (نگاره ۴).

نگاره ۳ نشان‌دهنده دمای سطح آب و عمق آب استخراج شده برای دریاچه ارومیه و وان می‌باشد. همچنین جداول ۴ و ۵ نتایج حاصل از ارزیابی صحت و ضریب همبستگی بین دو متغیر دمای سطح آب و عمق آب را نشان می‌دهد. نتایج مربوط به جدول ۴ بیانگر دقت بالای روش‌های سنجش‌ازدوری به‌منظور محاسبه دمای سطح آب و عمق آب است، به‌طوری که کمترین مقدار RMSE به‌دست آمده برای محاسبه دمای سطح آب مربوط به ایستگاه مالک‌آشتر (۱/۱) می‌باشد. این ایستگاه همچنین کمترین مقدار RMSE (۱/۵) به‌دست آمده را برای محاسبه عمق آب دارا می‌باشد. با توجه به نتایج جدول ۵ ضریب همبستگی منفی

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}}$$

(۱۳)

A_t = مقدار واقعی دما در ایستگاه‌های هواشناسی
 F_t = مقدار پیش‌بینی شده و به‌دست آمده از الگوریتم‌های پنجره مجزا
 N = تعداد کل ایستگاه‌ها هواشناسی

۴- نتایج

برای تعیین دمای سطح آب و عمق آب تصاویر لندست ۸ و اطلاعات همزمان در سه ایستگاه زمینی در منطقه مطالعاتی مورد استفاده قرار گرفتند و اطلاعات مربوط به دمای سطح آب، عمق آب و اطلاعات ایستگاه‌های زمینی با استفاده از

عمق زیاد نسبت به قسمت‌های پایین دست دریاچه است و همچنین مقدار شوری قسمت‌های بالادست نیز نسبت به پایین دست بیشتر است و این عوامل یعنی عمق و شوری زیاد بالادست دریاچه نسبت به پایین دست از عوامل کاهش تبخیر و تعرق قسمت‌های بالای دریاچه نسبت به قسمت‌های پایین دریاچه است. در نتیجه قسمت بالادست دریاچه نسبت به پایین دست کمتر دچار خشکی شده است. ضریب همبستگی به دست آمده بین دمای سطح آب با عمق آب برای دریاچه‌ی وان نیز نشان‌دهنده این است که این دریاچه به علت عمق بیشتر نسبت به دریاچه ارومیه (نگاره ۳، ت) دارای دمای سطح آب نسبتاً کمتری نسبت به دریاچه‌ی ارومیه می‌باشد، در نتیجه میزان تبخیر و تعرق در این دریاچه نسبت به دریاچه‌ی ارومیه کمتر بوده و روند خشک شدن نیز در آن ناچیز است. با توجه به این موضوع که دریاچه ارومیه و وان در یک اقلیم آب و هوایی قرار دارند، بالا بودن دمای سطح آب دریاچه ارومیه به علت عمق کمتر نسبت به دریاچه وان می‌تواند یکی از علل خشک شدن دریاچه ارومیه باشد. همچنین با توجه به رابطه معکوس بین دمای سطح آب با عمق آب، افزایش مقدار آب دریاچه که می‌تواند از طریق افزایش حجم آب‌های ورودی به دریاچه که آن نیز می‌تواند به وسیله‌ی انهدام تعدادی از سدهای احداث شده موجود بر روی رودخانه‌های منتهی به دریاچه یا به وسیله انتقال آب از نقاط آبی مجاور انجام پذیرد که باعث افزایش عمق آب شده و کاهش دمای سطح آب را نتیجه می‌دهد، می‌تواند در جلوگیری از خشک شدن دریاچه ارومیه یکی از راه‌حل‌های اساسی باشد. همچنین نتایج این تحقیق نشان‌دهنده دقت و توانایی بالای تکنولوژی سنجش‌ازدور در محاسبات مربوط به دمای سطح آب و عمق آب می‌باشد. از مزایای این پژوهش کاربردهای آن در زمینه‌های مختلف مهندسی از جمله هواشناسی، آبخیزداری و سایر رشته‌های مرتبط به دریاها می‌باشد که می‌تواند یاری‌گر برنامه ریزان و مدیران به منظور برنامه‌ریزی جهت انجام امور کشتیرانی، ماهیگیری و احداث بنادر باشد.

باشد. تکنولوژی سنجش‌ازدور امکانات بسیاری را به منظور تخمین پارامترهای فیزیکی آب در مقیاس‌های منطقه‌ای تا جهانی فراهم می‌کند. در پژوهش حاضر تکنولوژی سنجش‌ازدور با هدف محاسبه دمای سطح آب و عمق آب و برآورد ارتباط بین این دو متغیر مورد استفاده قرار گرفت. بررسی نتایج این پژوهش بیانگر قابلیت بالای تکنولوژی سنجش‌ازدور به منظور محاسبه پارامترهای فیزیکی آب مانند دمای سطح و عمق می‌باشد. در این راستا سطوح کم عمق آب بیشترین دمای سطح را به خود اختصاص داده‌اند و سطوح با عمق بیشتر دماهای پایین تری را نشان می‌دهند. نتایج پژوهش ما همچنین بیانگر آن است که نوسانات در مقدار دمای سطح آب و عمق آب می‌تواند افزایش یا کاهش‌دهنده مقدار ضریب همبستگی بین این دو متغیر باشد. این در حالی است که ضریب همبستگی بالا بین دمای سطح آب و عمق آب برای دریاچه وان نسبت به دریاچه ارومیه ناشی از عمق آب بیشتر این دریاچه نسبت به دریاچه ارومیه می‌باشد که می‌تواند تغییردهنده مقادیر همبستگی بین این دو متغیر باشد.

۶- نتیجه‌گیری

بررسی مقدار کمی تبخیر و تعرق و تأثیر عوامل مؤثر بر آن به ویژه عوامل هواشناسی از جمله دمای سطح آب و عمق آب که بر میزان تبخیر و تعرق تأثیر مستقیمی دارند، اهمیت زیادی دارا می‌باشد، که در این تحقیق پس از محاسبه دمای سطح آب و عمق آب ارتباط بین این دو بررسی شد. نتایج نگاره ۳ بیان‌کننده‌ی آن است که دریاچه ارومیه دارای عمق کمی نسبت به دریاچه وان می‌باشد، در نتیجه عمق کم آب افزایش دمای سطح آب را به همراه دارد که باعث افزایش تبخیر و تعرق در آب شده و نهایتاً باعث خشکی آب در قسمت‌های با عمق کمتر می‌شود. در این بین، طبق محاسبات انجام شده توسط امامی و امیری (۱۳۸۷) میزان تبخیر سالانه از سطح دریاچه ارومیه، حدود ۱/۲ متر می‌باشد. قسمت‌های بالادست دریاچه ارومیه دارای

۹- کاظمی قراجه، فیضی زاده؛ محمد، بختیار، (۱۳۹۸)، ارزیابی تغییرات دمای سطح آب دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر سری ماهواره‌های لندست از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۸، چهاردهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ارومیه، دانشگاه ارومیه - انجمن آبخیزداری ایران.

۱۰- کاظمی قراجه، فیضی زاده؛ محمد، بختیار، (۱۳۹۸)، محاسبه‌ی عمق نسبی آب با استفاده از تکنولوژی سنجش‌ازدور (مطالعه موردی: دریاچه ارومیه)، چهاردهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ارومیه، دانشگاه ارومیه - انجمن آبخیزداری ایران.

۱۱- کاظمی قراجه، سلمانی، فیضی زاده؛ محمد، بهنام، بختیار، (۱۳۹۹)، ارزیابی انواع الگوریتم‌های پنجره مجزاء برای محاسبه دمای سطح زمین جهت تعیین بهترین الگوریتم برای تصاویر سنجنده مودیس، سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۱(۲)، ۱۲۷-۱۰۶.

۱۲- کاظمی قراجه؛ محمد، (۱۳۹۸)، بررسی دمای سطح زمین در رابطه با کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم پنجره مجزاء (مطالعه موردی: شهرستان بستان‌آباد)، سومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران، تبریز، دانشگاه تبریز.

۱۳- معماراست، مجدی؛ فریبا، رسول، (۱۳۹۴)، بکارگیری باند حرارتی تصویر ماهواره لندست، جهت تعیین دمای آب منطقه مورد مطالعه دریاچه ارومیه، دهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، تبریز، دانشگاه تبریز دانشکده مهندسی عمران.

۱۴- ولی‌زاده کامران، غلام‌نیا، عینالی، موسوی؛ خلیل، خلیل، گلزار، محمد، (۱۳۹۶)، برآورد دمای سطح زمین و استخراج جزایر حرارتی با استفاده از الگوریتم پنجره مجزاء و تحلیل رگرسیون چند متغیره (مطالعه موردی شهر زنجان)، نشریه پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، ۸(۳۰)، ۵۰-۳۵.

15- Abdalsatar, Aldabaa, Weindorf, Chakraborty, Sharma, Li; Abdalsamad, Ali, David, Somsubhra, Aakriti, Bin, (2014), Combination of proximal and remote sensing methods for rapid soil salinity quantification, Geoderma, 239, 34-46.

16- Benali, Carvalho, Nunes, Carvalhais, Santos; A, A. C, J. P, N, A, (2012), Estimating air surface temperature

۷- منابع و مآخذ

۱- امامی، امیری؛ سیدمرتضی، سارا، (۱۳۸۷)، بررسی اکوسیستم دریاچه ارومیه، اولین همایش منطقه‌ای اکوسیستم‌های آبی داخلی ایران، بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر.

۲- جویباری مقدم، آخوندزاده، سراجیان؛ یاسر، مهدی، محمدرضا، (۱۳۹۴)، ارائه یک الگوریتم پنجره مجزاء نوین به منظور تخمین دمای سطح زمین از داده‌های ماهواره لندست ۸، نشریه علمی پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری، ۵(۱)، ۲۱۵-۲۲۶.

۳- شایان، جنتی؛ سیاوش، مهدی، (۱۳۸۶)، شناسایی نوسانات مرز پیرامونی و ترسیم نقشه پراکنش مواد معلق دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌های (ETM, TM, LISSIII)، پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۹(۶۲)، ۱۳-۱.

۴- صفری، آوریده، همایونی، خزایی؛ رضا، حمیدرضا، سعید، صفا، (۱۳۹۳)، برآورد عمق آب‌های ساحلی به کمک تصاویر سنجش‌ازدور فراطیفی، نشریه علمی - ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، ۶(۱)، ۹-۱.

۵- علوی‌پناه؛ سیدکاظم، (۱۳۹۵)، سنجش‌ازدور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین، ویراست ۳، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۲۲ صص.

۶- فاضل‌پور، دادااهی، علمی‌زاده، محمد عسگری، خزاعی؛ خسرو، علی، هیوا، حسین، سیدحسین، (۱۳۹۵)، ارزیابی برآورد دمای سطح آب و ارتباط سنجی پارامتر دما با عمق در خلیج فارس با استفاده از سنجنده مودیس، مجله علوم و فنون دریایی، ۱۵، ۱۳۰-۱۴۲.

۷- فاطمی، رضایی؛ سیدباقر، یوسف، (۱۳۹۱)، مبانی سنجش‌ازدور، ویراست ۲، تهران، انتشارات آزاده، ۲۵۶ صص.

۸- فیضی‌زاده، دیده‌بان؛ بختیار، خلیل، (۱۳۹۴)، برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزاء (مطالعه موردی: حوضه آبریز مهاباد)، فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۲۵(۹۸)، ۱۸۱-۱۷۱.

- 26- Jiménez-Muñoz, Sobrino; Juan-Carlos, Jose, (2010), Split-Window Coefficients for Land Surface Temperature retrieval from Low-Resolution Thermal Infrared Sensors, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 5, 806–809.
- 27- Kerr, Y.H., J. P. Lagouarde, F. Nerry and C. Otle. 2000. Land surface temperature retrieval techniques and applications: Case of the AVHRR. In: Quattrochi, D.A. and J.C. Luvall (Eds.), Thermal Remote Sensing in Land Surface Processes, CRC Press, Boca Raton, F.L., U.S.A., 33-109.
- 28- Kogan, F, (1993), United States droughts of late 1980's as seen by NOAA polar orbiting satellites, In Geoscience and Remote Sensing Symposium, Better Understanding of Earth Environment, International, 197-199.
- 29- Komail, Takewaka; Rafiei, Satoshi, (2015), Estimation of Cross-shore Water Depth Profiles and Evaluation of Their Near-shore Fluctuation, Using X-band Radar Data, Procedia Engineering, 116, 1057-1062.
- 30- Lamaro, Mariñelarena, Torrusio, Sala; Anabel, Alejandro, Sandra, Silvia, (2012), Water surface temperature estimation from Landsat 7 ETM+ thermal infrared data using the generalized single-channel method: Case study of Embalse del Río Tercero (Córdoba, Argentina), Advances in Space Research, 51, 492-502.
- 31- Lyzenga; David, (1978), Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features, Applied Optic, 17, 379–383.
- 32- Maritorena, Morel, Gentili; Stephana, Andre, Bernard, (1994), Diffuse reflectance of oceanic shallow waters: Influence of water depth and bottom albedo, Limnology and Oceanography, 39(7), 1689-1703.
- 33- Merchant, Borgne, Roquet, Marsouin; C.J, P. Le, H, A, (2009), Sea surface temperature from a geostationary satellite by optimal estimation, Remote Sensing of Environment, 113, 445-457.
- 34- Philpot; W, (1989), Bathymetric mapping with passive multispectral Imagery, Applied Optic, 28, 1569–1578.
- 35- Sobrino, Julien, Jiménez-Muñoz, Skokovic, Sòria; José A, Yves, Juan-Carlos, Drazen, Guillem, (2020), Near real-time estimation of Sea and Land surface temperature for MSG SEVIRI sensors, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 89, 102096.
- 36- Stockhecke, Sturm, Brunner, Schmincke, Sumita, in Portugal using MODIS LST data, Remote Sensing of Environment, 124, 108-121.
- 17- Brown, Minnett; Otis, Peter, (1999), MODIS Infrared Sea Surface Temperature Algorithm, Algorithm Theoretical Basis Document, University of Miami.
- 18- Cao, Deng, Zhu; Bin, Ruru, Shulong, (2020), Universal algorithm for water depth refraction correction in through-water stereo remote sensing, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 91, 102108.
- 19- Cukur, Krastel, Schmincke, Sumita, Tomonaga, Çağatay; Deniz, Sebastian, Hans Ulrich, Mari, Yama, Namik, (2014), Water level changes in Lake Van, Turkey, during the past ca. 600 ka: climatic, volcanic and tectonic controls, Paleolimnol, 52, 201–214.
- 20- Donlon, Minnett, Gentemann, Nightingale, Barton, Ward, Murry; C. J, P. J, C, T. J, I. J, M. J, (2002), Toward Improved Validation of Satellite Sea Surface Skin Temperature Measurements for Climate Research, Climate, 15, 353-369.
- 21- Emery, Castro, Wick, Schlüssel, Donlon; W. J, Sandra, G. A, Peter, Craig, (2001), Estimating Sea Surface Temperature from Infrared Satellite and In Situ Temperature Data, Bull. Amer. Meteor. Soc, 82, 2773–2786.
- 22- Feizizadeh, Shadman Roodposhti, Jankowski, Blaschke; Bakhtiar, Majid, Piotr, Thomas, (2014), A GIS-based extended fuzzy multi-criteria evaluation for landslides susceptibility mapping, Computers & Geosciences, 73, 208-221.
- 23- Fernandez-Buces, Siebe, Cram, Palacio; N, C, J, (2006), Mapping soil salinity using a combined spectral response index for bare soil and vegetation: A case study in the former lake Texcoco, Mexico, Journal of Arid Environments, 65(4), 644-667.
- 24- García-Haro, Sommer, Kemper; F, S, T, (2005), Variable multiple endmember spectral mixture analysis (VMESMA), International Journal of Remote Sensing, 26, 2135-2162.
- 25- Gorji, Yildirim, Hamzehpour, Tanik, Sertel; Taha, Aylin, Nikou, Aysegul, Elif, (2020), Soil salinity analysis of Urmia Lake Basin using Landsat-8 OLI and Sentinel-2A based spectral indices and electrical conductivity measurements, Ecological Indicators, 112, 106173.

Kipfer, Cukur, Kwiecien, Anselmetti; Mona, Michael, Irene, HansUlrich, Mari, Rolf, Deniz, Ola, Flavio S, (2014), Sedimentary evolution and environmental history of Lake Van (Turkey) over the past 600,000 years, *Sedimentology*, 61, 1830-1861.

37- Stumpf, Holderied, Sinclair; Richard, Kristine, Mark, (2003), Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types, *American Society of Limnology and Oceanography*, 48, 547-556.

38-Stumpf, Holderied; Richard, Kristine, (2003), Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom depths, *Limnology and Oceanography*, 48, 547-556.

39- Sur, Ozsoy, Ibrayev; Halil, Emin, Rashit, (2000), Chapter 16 Satellite-derived flow characteristics of the Caspian Sea, Editor(s): David Halpern, Elsevier Oceanography Series, Elsevier, Volume 63, Pages 289-297, ISSN 0422-9894.

40- Wan, Wang, Li; Z, P, X, (2004), Using MODIS Land Surface Temperature and Normalized Difference Vegetation Index Products For Monitoring Drought In The Southern Great Plains USA, *International Journal of Remote Sensing*, 25(1), 61-72.



پرویشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی