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 کاظمی‌قراجه[۱] خلیل ولی‌زاده‌کامران[۲]

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۰۳/۲٤ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۱۱/۳۰

****

چکیده

اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی آب ازجمله دمای سطح آب و عمق آب با استفاده از روش‌های معمولی نیازمند صرف هزینه و زمان زیادی می‌باشد. در سال‌های اخیر، فناوری سنجش‌ازدور به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ابزارهای محاسبه دمای سطح آب و عمق آب، روند روبه رشدی در مطالعات مربوط به دریاها داشته است. از این‌رو، 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) برروی 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 گسیل‌مندی آب (۰/۹۸) برروی 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 به‌ترتیب برای ایستگاه‌های قالقاچی، مالک‌اشتر و اشکو همچنین مقادیر ۱/٦، ۱/۵ و ۱/٦۷ برای محاسبه عمق آب به‌ترتیب برای ایستگاه‌های قالقاچی، مالک‌اشتر و اشک می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از بررسی ضریب همبستگی به‌دست آمده بین دمای سطح آب با عمق نسبی آب (۰/۲٤- 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 درنتیجه افزایش تبخیر و تعرق را درپی دارد.

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

****

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

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

۱- مقدمه

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 برروی 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، جریانات دریایی، شوری و دیگر خصوصیات آب دریاها و دریاچه‌ها دارند *(معمارراست و مجدی، ۱۳۹٤)*. 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 سنجش‌ازدور توسط (Philpot, 1989)،(Lyzenga, 1978) و(Maritorena et al, 1994)گسترش یافته‌است *(Stumpf et al,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 سنجش‌ازدور، 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، ۱۳۸٦)*. یکی از کاربردهای تصاویر ماهواره‌ای محاسبه دمای سطح آب و عمق آب است. ماهواره‌های سری لندست ازجمله ماهواره‌هایی هستند که برای مطالعات محیطی مختلف ازجمله محاسبه دمای سطح آب و عمق نسبی آب طراحی شده‌اند. به‌دلیل دردسترس 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 وعمق 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)*. درحال 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 سنجش‌ازدور در این

زمینه احساس شود. بعد از سال ۱۹۸۰ بود که ماهواره‌ها استفاده فزاینده‌ای در اندازه‌گیری دمای سطح آب داشتند که قابلیت‌های آن تحول بزرگی از مشاهدات در تغییرات جزیی SST داشته است. دمای آب سطحی مهم‌ترین پارامتر در تعامل آب و هوا و فیزیک و فرآیندهای بیوشیمیایی که در آب اتفاق می‌افتد است. باتوجه به توان تشعشعی آب که نزدیک به یک است *(علوی‌پناه، ۱۳۹۵)* می‌توان دمای سطح آب را در طول روز و شب با استفاده از سنجش‌ازدور مادون‌قرمز حرارتی تعیین نمود. دمای سطح آب یک مقدار بحرانی در مطالعه اقیانوس و اتمسفر محسوب می‌شود، زیرا به‌طور مستقیم به مبادلات حرارتی، حرکت و گاز بین اقیانوس و اتمسفر مربوط می‌شود ***(Emery et al, 2001)***.

به‌دلیل 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 متوست ۹ جهت محاسبه دمای سطح آب استفاده کرده‌اند. این مطالعه در طول دوره زمانی ۲۰ روزه و مقیاس فضایی ۲/۵ درجه در طول و عرض جغرافیایی انجام شده است. نتایج پژوهش آن‌ها بیانگر دقت ۰/۳۸ کلوین برای محاسبه دمای سطح آب می‌باشد.

(Lamaro et al, 2013)، در مطالعه‌ای باندهای حرارتی لندست را به‌منظور محاسبه دمای سطح آب در مخزنی در کشور آرژانتین مورد استفاده قرار دادند. به‌منظور ارزیابی دقت نتایج، داده‌های زمینی حاصل از برداشت میدانی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج پژوهش بیانگر مقدار میانگین مربع خطای ۱/۲۲ برای محاسبه دمای سطح آب می‌باشد.

(Sobrino et al, 2020)، به‌منظور محاسبه دمای سطح آب، تصاویر نسل دوم ***Spinning Enhanced Visible(MSG)*** و InfraRed Imager ماهواره متوست، داده‌های ساعتی ٤ ایستگاه زمینی و ۱۱ شناور را مورد استفاده قراردادند. نتایج پژوهش آن‌ها بیانگر میانگین داده خط۰/٦٧ کلوین برای محاسبه دمای سطح آب بود.

کاظمی‌قراجه و فیضی‌زاده (۱۳۹۸) در پژوهشی به بررسی تغییرات دمای سطح آب دریاچه ارومیه طی بازه زمانی ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۸ پرداختند. در این مطالعه تصاویر سری‌های ماهواره‌های لندست ۵، ۷ و ۸ به منظور محاسبه دمای سطح آب مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها بیانگر دقت بالای تصاویر سری‌های ماهواره‌های لندست به منظور محاسبه دمای سطح آب است.

(Komail and Takewake, 2015)، در پژوهشی به‌منظور تجزیه و تحلیل تغییرات جزر و مد در سواحل شرقی ژاپن تصاویر باند X داده‌های رادار را به‌منظور محاسبه عمق آب مورد استفاده قرار داده‌اند.

صفری و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای تصاویر فراطیفی سنجنده هایپریون از ماهواره EO1 و همچنین الگوریتم‌های لایزینگا و استامپ را به منظور محاسبه عمق سواحل جزیره قشم مورد استفاده قرار دادند. نتایج ارزیابی دقت این پژوهش نشان می‌دهد که میزان همبستگی تصویری که پس از انجام پیش‌پردازش‌ها، برروی آن الگوریتم استامپ استفاده شده با دقت ۸۹/۳ درصد و مقدار انحراف معیار مقادیر عمق به‌دست آمده با عمق واقعی ۱/۳۸ متربه‌دست آمد.

کاظمی‌قراجه و فیضی‌زاده (۱۳۹۸) در پژوهشی تصاویر سری‌های ماهواره‌های لندست را به‌منظور محاسبه عمق نسبی آب مورد استفاده قرار دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان‌دهنده کاهش تدریجی عمق آب از سال ۱۹۸٤ تا ۲۰۱۸ می‌باشد.

(Cao et al, 2020)، در مطالعه‌ای نسبت به ارائه الگوریتم جدیدی به‌منظور محاسبه عمق نسبی آب با استفاده از تکنولوژی سنجش‌ازدور اقدام کرده‌اند. نتایج پژوهش نشان‌دهنده آن است که الگوریتم پیشنهادی قابلیت بهبود بخشیدن دقت میانگین مربع خطا الگوریتم‌های محاسبه عمق آب را در حدود ۰/۲۲، ۰/۲۹ و ۰/۲٤ دارا می‌باشد.

جمع‌بندی پیشینه تحقیق بیانگر آن است که در تمام پژوهش‌های انجام گرفته فقط به محاسبه دمای سطح آب

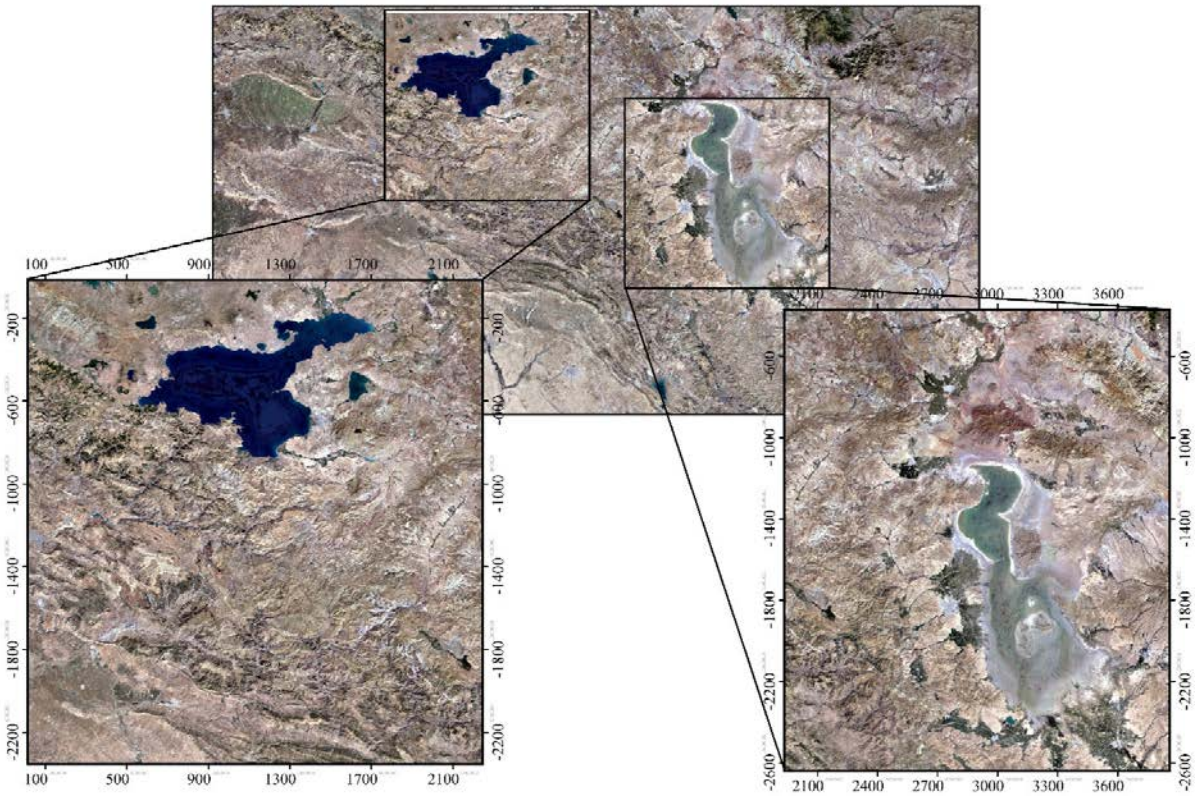
و عمق آب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پرداخته‌اند و به بررسی ارتباط بین این دو توجهی نشده است. این در حالی است که وجود رابطه بین این دو متغیر توسط فاضل‌پور و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی به اثبات رسیده است. از این‌رو هدف پژوهش حاضر علاوه بر محاسبه دمای سطح آب و عمق آب، بررسی رابطه بین دمای سطح آب با عمق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

۲- منطقه مورد مطالعه

دریاچه ارومیه در شمال‌غربی 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 از سطح آب‌های آزاد است.

دریاچه ارومیه از طرف غرب، جنوب و شرق به‌وسیله 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 به‌عنوان 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 به‌شدت قلیایی است به‌طوری که مقدار PH آن در حدود ۹/۷ تا ۹/۸ است.



نگاره ۱- موقعیت مناطق مورد مطالعه

از این‌رو 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 محاسبه‌ی دمای سطح آب و عمق آب به دو بخش داده‌های ماهواره ای و زمینی تقسیم می‌شوند. در این بین، تصاویر ماهواره 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 آرتمیا 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 این‌رو 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)[1] با استفاده از الگوریتم پنجره مجزاء (SW)[2]

برخلاف سنجش‌ازدور انعکاسی، در سنجش‌ازدور حرارتی تشعشع ساطع شده از سطح پدیده اندازه‌گیری می‌شود. از این‌رو، به‌دلیل 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 (کاظمی‌قراجه و همکاران، ۱۳۹۹). روش برآورد دمای سطح زمین براساس ثابت بودن توان تشعشعی در یک باند و وجود شاخص‌های جوّی توسط کاهل و همکاران (۱۹۸٤) ارائه گردید.

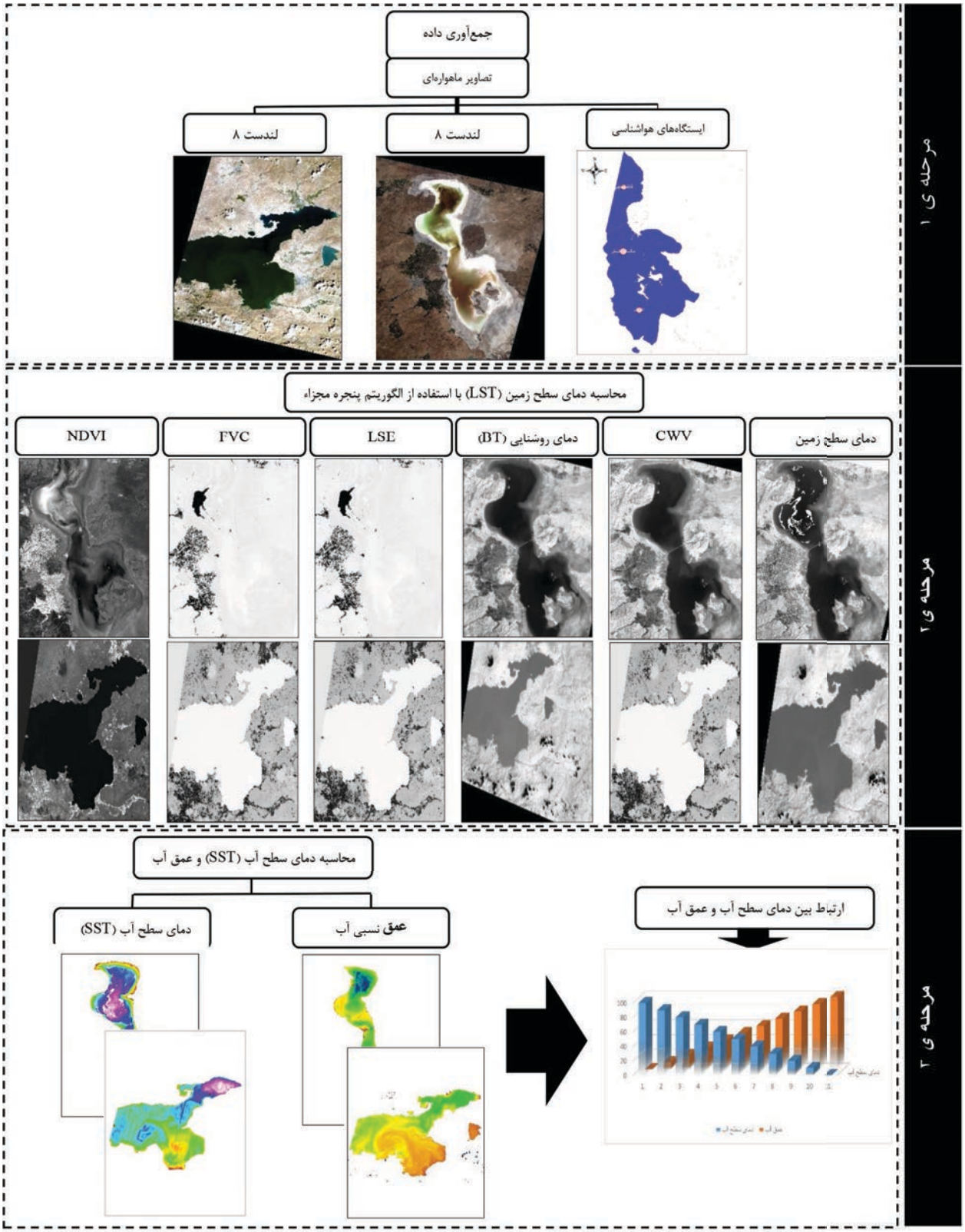
در این روش دمای به‌دست آمده برای برآورد توان تشعشعی در سایر باندها به کار می‌رفته است. براساس نظریه تابش حرارتی، هر قدر بازتاب اشیاء و یا پدیده‌های یکنواخت قوی‌تر باشند، انرژی کمتری جذب می‌کنند، بنابراین انرژی کمتری در مادون‌قرمز حرارتی تابش می‌کنند، در نتیجه این پدیده‌ها دمای سطح پایین‌تری خواهند داشت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

$$B = \sigma T^4 \qquad (۱)$$

در رابطه ۱، B؛ تابش جسم سیاه، T؛ دمای سطح جسم سیاه، σ؛ ثابت استفان بولتزمن ($۵/۶۷\times۱۰^{-۸}\ W/m^2/K^4$) می‌باشد. در سنجش‌ازدور حرارتی عرض برداشت باندهای حرارتی تصاویر ماهواره ای 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.

1- Land Surface Temperature

2- Split Window



نگاره ۲: روند کلی انجام پژوهش

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)[1]

شاخص NDVI با استفاده از نسبت تفاوت بین بازتاب باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک به‌دست 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:

$$NDVI = \frac{(Band\ 5 - Band\ 4)}{(Band\ 5 + Band\ 4)} \qquad (۲)$$

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)[2]

هدف از محاسبه شاخص کسری پوشش گیاهی یکنواخت کردن تأثیرات قابلیت انتشار خاک و پوشش گیاهی است ***(فیضی‌زاده، ۱۳۹٤)***.

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

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI(SOIL)}{NDVI(VEGETATION) - NDVI(SOIL)} \qquad (۳)$$

NDVI = شاخص پوشش گیاهی

NDVI (SOIL)= خاک (NDVI>0/2)

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

۳-۲-۱-۳- برآورد قابلیت انتشار سطح زمین (LSE)[3]

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 ***(ولی‌زاده‌کامران و همکاران، ۱۳۹٦)***.

از این‌رو این مفهوم قابل دریافت است که با اندازه‌گیری قابلیت انتشار انرژی اجسام در طول موج‌های مختلف مقادیر متفاوتی به‌دست خواهد آمد. رابطه ٤ بیانگر روند محاسباتی قابلیت انتشار سطح زمین است. همچنین جدول ۱ نشان دهنده مقادیر قابلیت انتشار خاک و گیاه در باندهای مختلف می‌باشد.

$$LSE = \epsilon s \times (1 - FVC) + \epsilon v \times F \qquad (٤)$$

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

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

رابطه ۵ و ٦ 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:

$$L_\lambda = ML \times Q_{cal} + AL \qquad (۵)$$

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.

1- Normalized Different Vegetation Index

2-. Fraction of Vegetation Cover

3- Land Surface Emissivity

۳-۲-۱-٤- دمای روشنایی (BT)[1]

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 ٦ محاسبه شد:

$$Tbb = \frac{K2}{Ln(\frac{K1}{\rho\lambda}+1)} \quad (٦)$$

دمای روشنایی بالای اتمسفر = BT(°C)

$\rho\lambda$ = درخشندگی اتمسفر بالا

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

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

جدول ۲: مقادیر K_1 و K_2

باندها	K_1	K_2
باند ۱۰	۷۷٤/۸۹	۱۳۲۱/۰۸
باند ۱۱	٤۸۰/۸۹	۱۲۰۱/۱٤

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:

$$Mean\ of\ LSE = \frac{LSE\ 10 + LSE\ 11}{2} \quad (٧)$$

$$Difference\ of\ LSE = LSE\ 10 - LSE\ 11 \quad (٨)$$

۳-۲-۱-٦- 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، ۱۳۹٤) که مقادیر C^2, C^o..... آن ضرایب ثابت به‌دست آمده از داده‌های شبیه‌سازی شده هستند. CWV با استفاده از رابطه ۹ قابل محاسبه است:

$$CWV = C^0 + C^1 \times (T^j / T^i) + C^2 \times (T^j / T^i)\text{^}2 \quad (٩)$$

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

C^o = −۹/٦۷٤

C^1 = ۰/٦۵۳

C^2 = ۹/۰۸۷

۳-۲-۱-۷- الگوریتم پنجره مجزاء (SW)

الگوریتم پنجره مجزاء ازجمله 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-Munozand Sobrino, 2010)***. ضرایب ثابت این الگوریتم برای تصاویر ماهواره لندست ۸ به‌دلیل فقدان یک پایگاه داده مرجع از طریق شبیه‌سازی با اعداد مختلف از شرایط اتمسفر و سطح زمین به‌دست آمده است که جدول ۳ بیانگر مقادیر ثابت آن است:

جدول ۳: ضرایب الگوریتم پنجره مجزاء

(Garcia et al, 2005)

مقادیر	ضرایب ثابت
−۰/۲٦۸	C^o
۱/۳۷۸	C^1
۰/۱۸۳	C^2
۵٤/۳۰۰	C^3
−۲/۲۳۸	C^4
−۱۲۹/۲۰۰	C^5
۱٦/٤۰۰	C^6

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

$$LST = TB^{10} + C^1(TB^{10} - TB^{11}) + C^2(TB^{10} - TB^{11}) + C^0 + (C^3 + C^4 \times CWV) \times (1 - \epsilon) + (C^5 + C^6 \times CWV) \times \Delta M \quad (١٠)$$

1- Brightness Temperature

دمای روشنایی = $TB^{10} - TB^{11}$
ضرایب الگوریتم = $C^{0}.....C^{6}$
ستون بخار آب = CWV
اختلاف میانگین قابلیت انتشار سطح زمین در دو باند حرارتی = ΔM

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 نگاشت از فضای چندطیفی به فضای عوارض است. فضای چندطیفی را باندهای مختلف تصویر ایجاد می‌کنند و هر پیکسل در این فضا به‌صورت 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.

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

۳-۲-٤- محاسبه عمق نسبی آب

عمق آب به‌عنوان 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 زیرآب اقیانوس‌ها، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و جریان‌های آبی اشاره دارد *(کاظمی‌قراجه و فیضی‌زاده، ۱۳۹۸)*. از این‌رو 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:

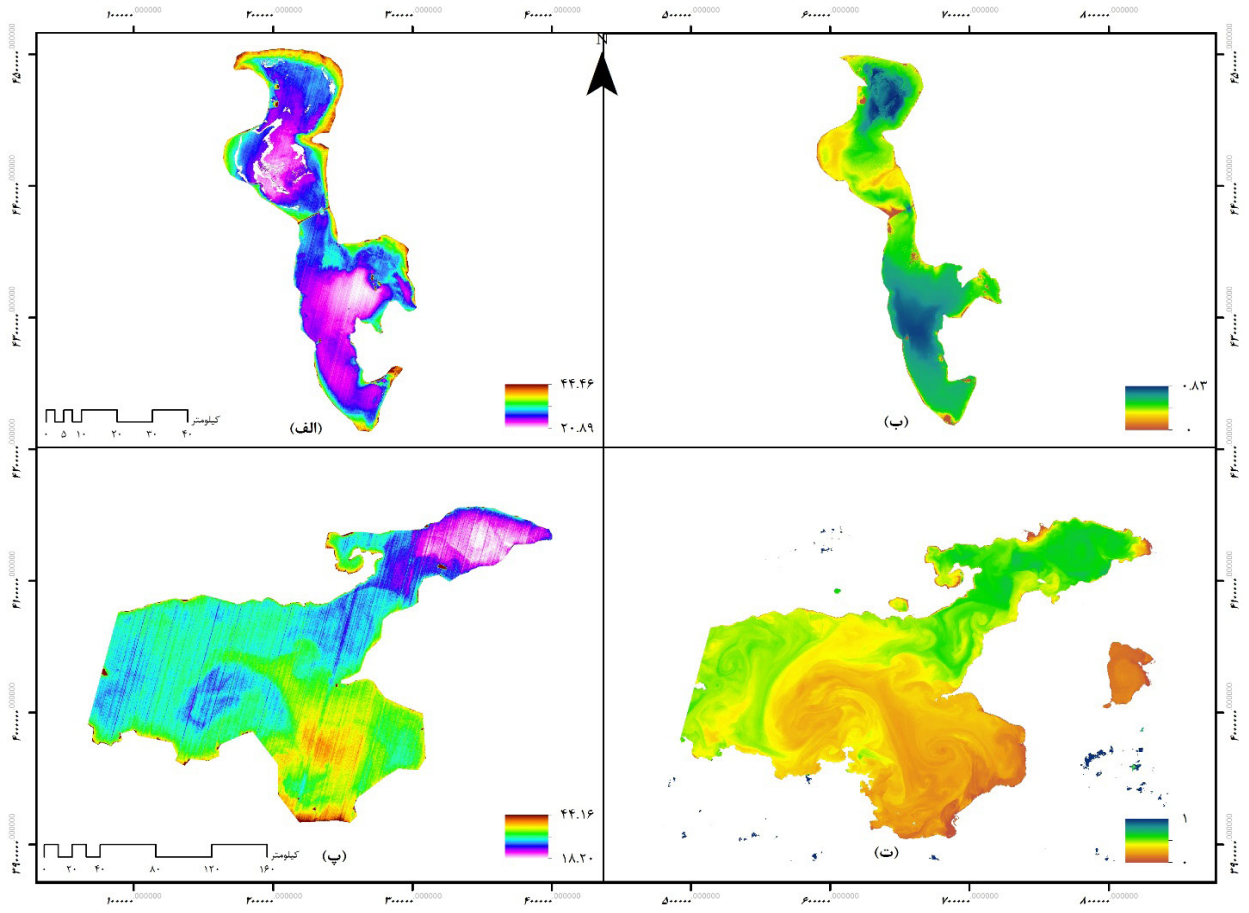
$$Relative\ Depth = \frac{\ln(1000 \times b1)}{\ln(1000 \times b2)} \quad (12)$$

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 این‌رو، 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 قالقاچی، مالک‌اشتر و اشک از مرکز تحقیقات آرتمیا و سازمان هواشناسی استان آذربایجان غربی تهیه شد.



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.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n}(A_t - F_t)^{\wedge}2}{n}} \quad (۱۳)$$

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

٤- 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 روابط رگرسیونی به یکدیگر مرتبط شدند (نگاره ٤).

نگاره ۳ نشان‌دهنده دمای سطح آب و عمق آب استخراج شده برای دریاچه ارومیه و وان می‌باشد. همچنین جداول ٤ و ٥ نتایج حاصل از ارزیابی صحت و ضریب همبستگی بین دو متغیر دمای سطح آب و عمق آب را نشان می‌دهد. نتایج مربوط به جدول ٤ 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 مالک‌اشتر (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

بین مقادیر متغیرهای دمای سطح آب و عمق آب مشاهده می‌شود. به‌طوری که مقادیر همبستگی بین دمای سطح با عمق آب برای دریاچه وان ۰/۵۲- و این همبستگی برای دریاچه ارومیه بین دمای سطح با عمق آب ۰/۲٤- می‌باشد. ضرایب همبستگی به‌دست آمده بیانگر ارتباط بین دمای سطح آب و عمق آب می‌باشند. در این بین، مقادیر ضریب همبستگی منفی بین دمای سطح آب و عمق آب رابطه معکوس بین این دو متغیر را بیان می‌کند، به‌طوری که با افزایش عمق آب دمای سطح آب کاهش می‌یابد و برعکس، با کاهش عمق آب دمای سطح آب افزایش پیدا می‌کند.

جدول ٤: میزان RMSE به‌دست آمده از مقایسه نتایج حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و ایستگاه‌های هواشناسی برای دمای سطح آب و عمق آب.

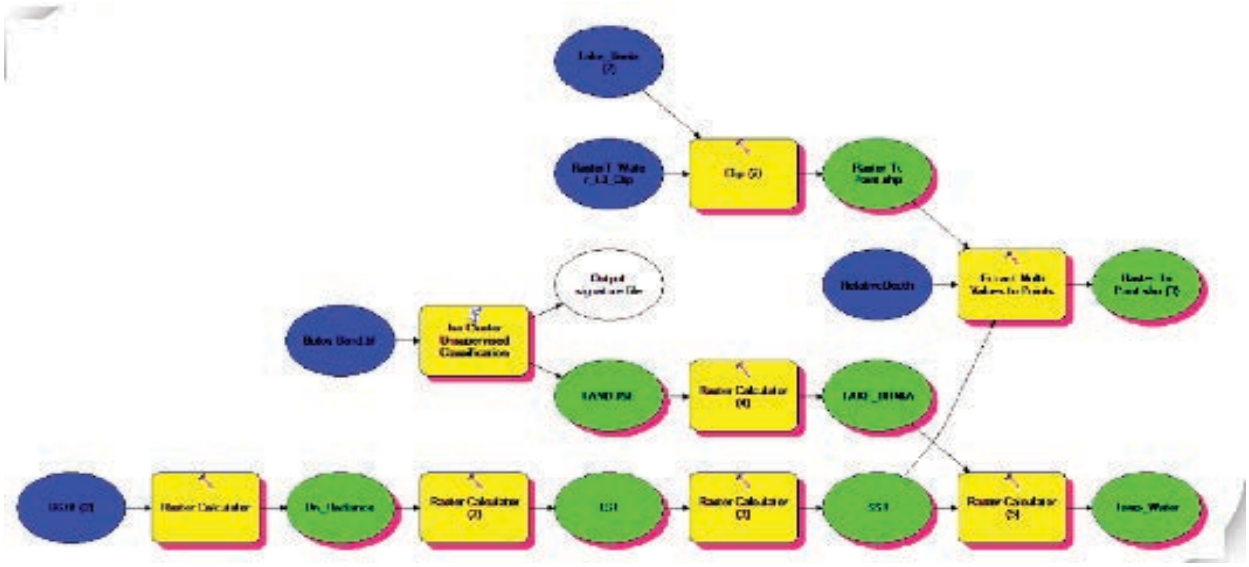
RMSE	ایستگاه قالقاچی	ایستگاه مالک‌اشتر	ایستگاه اشک
دمای سطح آب (SST)	۱/۲	۱/۱	۱/۲
عمق نسبی آب	۱/٦	۱/۵	۱/٦۷

جدول ۵: مقادیر به‌دست آمده از محاسبه همبستگی بین دمای سطح آب با عمق آب

محدوده‌ی مورد مطالعه	ضریب همبستگی بین دما و عمق آب
دریاچه وان (ترکیه)	-۰/۵۲۰۸۸
دریاچه اورمیه (ایران)	-۰/۲٤۹۷۳

۵- بحث

استفاده از ایستگاه‌های زمینی به‌منظور محاسبه پارامترهای فیزیکی آب مانند دمای سطح آب و عمق آب، علیرغم دقت نسبتاً مناسب آن‌ها دارای محدودیت‌هایی می‌باشد. در این بین گسسته بودن اطلاعات حاصل یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های این ایستگاه‌ها محسوب می‌شود که به‌وجود آورنده‌ی خطای درون‌یابی در محاسبه پارمترهای فیزیکی آب برای قسمت‌هایی از سطح آب که با ایستگاه هواشناسی فاصله دارند است ***(Benali et al, 2012)***. علاوه‌بر این، مشکل صعب‌العبور بودن بخش‌هایی از دریاها و اقیانوس‌ها از دیگر محدودیت‌های ایستگاه‌های هواشناسی می‌باشند. بنابراین، استفاده از تکنولوژی‌های نوین مانند سنجش‌ازدور می‌تواند برطرف‌کننده‌ی محدودیت‌های روش‌های سنتی



نگاره ٤: مدل استفاده شده برای محاسبه دمای سطح آب و عمق آب

باشد. تکنولوژی سنجش‌ازدور امکانات بسیاری را به‌منظور تخمین پارامترهای فیزیکی آب در مقیاس‌های منطقه‌ای تا جهانی فراهم می‌کنند. 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 پارمترهای فیزیکی آب مانند دمای سطح و عمق می‌باشد. در این راستا سطوح کم‌عمق آب بیشترین دمای سطح را به خود اختصاص داده‌اند و سطوح با عمق بیشتر دماهای پایین‌تری 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 درحالی 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.

٦- نتیجه‌گیری

بررسی مقدار کمی تبخیر و تعرق و تأثیر عوامل مؤثر بر آن به‌ویژه 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 عمق زیاد نسبت به قسمت‌های پایین دست دریاچه است و همچنین مقدار شوری قسمت‌های بالادست نیز نسبت به پایین‌دست بیشتر است و این عوامل یعنی عمق و شوری زیاد بالادست دریاچه نسبت به پایین‌دست از عوامل کاهش تبخیر و تعرق قسمت‌های بالای دریاچه نسبت به قسمت‌های پایین دریاچه است. در نتیجه قسمت بالادست دریاچه نسبت به پایین‌دست کمتر دچار خشکی شده است. ضریب همبستگی به‌دست آمده بین دمای سطح آب با عمق آب برای دریاچه‌ی وان نیز نشان‌دهنده این است که این دریاچه به‌علت عمق بیشتر نسبت به دریاچه ارومیه (نگاره۳، 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 به‌علت 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 به‌وسیله‌ی 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 به‌منظور برنامه‌ریزی جهت انجام امور کشتیرانی، ماهیگیری و احداث بنادر باشد.

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، (۱۳۹٤)، ارائه یک الگوریتم پنجره مجزا نوین به منظورتخمین دمای سطح زمین از داده‌های ماهواره لندست۸، نشریه علمی پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری. ۵ (۱)، ۲۱۵-۲۲٦.

۳- شایان، جنتی؛ سیاوش، مهدی، (۱۳۸٦)، شناسایی نوسانات مرز پیرامونی و ترسیم نقشه پراکنش مواد معلق دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌های ***(ETM, TM, LISSIII)***، پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۹ (٦۲)، ۱۳-۱.

٤- 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، ٦(۱)، ۹-۱.

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

٦- فاضل‌پور، دادالهی، 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، ۱۳۰-۱٤۲.

۷- فاطمی، رضایی؛ سیدباقر، یوسف، (۱۳۹۱)، مبانی سنجش‌ازدور، ویراست ۲، تهران، انتشارات آزاده، ۲۵٦ صص.

۸- فیضی‌زاده، دیده‌بان؛ بختیار، خلیل، (۱۳۹٤)، 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.

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

۱۰- کاظمی‌قراجه، فیضی‌زاده؛ 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- کاظمی‌قراجه، سلمانی، فیضی‌زاده؛ 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)، ۱۲۷-۱۰٦.

۱۲- کاظمی‌قراجه؛ 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- معمارراست، مجدی؛ فریبا، رسول، (۱۳۹٤)، بکارگیری باند حرارتی تصویر ماهواره لندست، جهت تعیین دمای آب منطقه مورد مطالعه دریاچه ارومیه، دهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، تبریز، دانشگاه تبریز دانشکده مهندسی عمران.

۱٤- ولی‌زاده کامران، غلام‌نیا، عینالی، موسوی؛ خلیل، خلیل، گلزار، محمد، (۱۳۹٦)، 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

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. Ottle. 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 Statesdroughts of late 1980's as seen by NOAA polar orbiting satellites, In Geoscience andRemote Sensing Symposium, Better Understanding of EarthEnvironment, 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 EarthObservation and Geoinformation,91,102108.

19- Cukur, Krastel, Schmincke, Sumita, Tomonaga, Cağatay; 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, Schlussel, 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 extendedfuzzy multi-criteria evaluation for landslidesusceptibility mapping, Computers & Geosciences, 73, 208-221.

23- Fernandez-Buces, Siebe, Cram, Palacio; N, C, J, (2006), Mapping soil salinity using acombined spectral response index for bare soiland vegetation: A case study in the formerlake 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, Hans Ulrich, 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 PlainsUSA, International Journal of Remote Sensing, 25(1), 61-72.