

برآورد مساحت پهنه آبی دریاچه ارومیه طی سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۹۲ با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸

سهیلا یونس زاده جلیلی. کارشناس مرکز تحقیقات سنجش از دور (RSRC) دانشگاه صنعتی شریف.
مصطفی جوادیان*. کارشناس مرکز تحقیقات سنجش از دور (RSRC) دانشگاه صنعتی شریف.
مسعود تجریشی. استاد دانشکده مهندسی عمران و رئیس مرکز تحقیقات سنجش از دور (RSRC)،
دانشگاه صنعتی شریف.

حمید طاهری شهرآیینی. مشاور مرکز تحقیقات سنجش از دور (RSRC) دانشگاه صنعتی شریف.
*تلفن نویسنده اصلی: ۰۹۳۵۴۵۹۶۴۳۳، شماره: ۶۶۰۳۶۰۱۶، پست الکترونیکی: mostafa.javadian@yahoo.com

چکیده

دریاچه ارومیه یکی از مهم‌ترین پهنه‌های آبی داخلی ایران است که در دو دهه اخیر میزان مساحت سطحی و همچنین سطح تراز آن نوسانات زیادی داشته است. در این تحقیق مساحت سطحی دریاچه ارومیه طی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵ شمسی به صورت ماهیانه و با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و الگوریتم‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای تخمین زده شده است. جهت محاسبه مساحت سطحی دریاچه برای سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵، الگوریتم مرکب از باند قرمز با مادون قرمز نزدیک (شاخص NDVI) در شناسایی و محاسبه مساحت محدوده آبی دریاچه ارومیه مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه، الگوریتم پیشنهادی بر روی تصاویر سنجنده مادیس نیز پیاده‌سازی شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که الگوریتم مورد نظر برای تصاویر سنجنده مادیس نیز از دقت قابل قبولی برخوردار است. همچنین سطح دریاچه ارومیه بدست آمده از مطالعه حاضر با اطلاعات سطح دریاچه، استخراج شده از روابط بسیمتری موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو مقایسه گردیده است. مساحت بدست آمده نسبت به ارقام سطح بسیمتری سال ۱۳۹۲ دارای تخمین دست بالا و نسبت به ارقام سطح بسیمتری سال ۱۳۹۴ دارای تخمین دست پایین می‌باشد.
کلید واژه‌ها: دریاچه ارومیه، مساحت سطحی، ماهواره لندست ۸، الگوریتم‌های شناسایی آب و رطوبت، سنجنده مادیس.

۱- مقدمه

دریاچه‌ی ارومیه در شمال غربی ایران، یکی از بزرگ‌ترین دریاچه‌های دائمی فوق‌شور در جهان و بزرگ‌ترین دریاچه از این نوع در خاورمیانه است. حداکثر سطح دریاچه در دوران پرآبی در حدود ۶۱۰۰ کیلومتر مربع ارزیابی شده است؛ با این حال، از سال ۱۹۹۵ میلادی وسعت دریاچه کاهش داشته و مطابق اطلاعات به دست آمده از تحلیل داده‌های ماهواره‌ی لندست، در اوت سال ۲۰۱۱ میلادی به ۲۳۶۶ کیلومتر مربع رسیده است [1].



مدیریت جامع حوضه‌های آبخیز در گرو دانش عمیق از اطلاعات پایه حوضه و از جمله سطح روزانه و دقیق پیکره‌های آبی حوضه می‌باشد. تعیین سطح پیکره‌های آبی به روش‌های گوناگون نظیر روش نقشه برداری زمینی، برآورد از طریق بررسی روابط بسیمتری، استفاده از فن‌های سنجش‌ازدور و ... صورت می‌پذیرد؛ در بین فن‌های فوق روش استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به دلیل پوشش وسیع مکانی، قدرت تفکیک بالا، هزینه کم، آرشو زمانی غنی تصاویر ماهواره‌ای و سهولت روش‌های تعیین مساحت کاربرد فراوانی در مطالعات هیدرولوژیکی و منابع آب داشته است.

یکی از روش‌های مورد استفاده در سنجش از دور برای شناسایی پدیده‌ها استفاده از شاخص‌های طیفی است. مطالعات و تحقیقات بسیاری در گذشته صورت گرفته که پهنه آبی از سایر پدیده‌ها تفکیک و جدا سازی گردیده است. شاخص $NDWI^1$ که از آن به عنوان شاخص آب نیز یاد می‌شود، برای اولین بار توسط گائو در سال ۱۹۹۵ میلادی ارائه شد. این شاخص (رابطه ۱) از ساختار ریاضیاتی نرمال سازی شده و ترکیب دو باند مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی شکل گرفته است [2].

$$NDWI_{0.86\&1.24} = \frac{\rho_{0.86} - \rho_{1.24}}{\rho_{0.86} + \rho_{1.24}} \quad (1)$$

بعدها شاخص مبتنی بر رابطه (۱) در سال ۲۰۰۵ توسط دنیسون و همکاران برای بررسی شاخص‌هایی مربوط به میزان رطوبت گیاه^۲ نیز مورد استفاده قرار گرفت [3]. مک فیتز (۱۹۹۶) در مطالعه دیگری در ارتباط با تفکیک و تشخیص پهنه‌های آبی، $NDWI$ را به صورت رابطه (۲) ارائه نمود که ترکیبی از باندهای سبز و مادون قرمز نزدیک می‌باشد [4]. تا کنون از این شاخص توسط محققین مختلف در زمینه‌های بررسی مقدار رطوبت گیاه، شناسایی تالاب‌ها، شناسایی تغییرات زیست محیطی، جدا سازی پدیده‌های مختلف از یکدیگر در تصاویر ماهواره‌ای، استخراج پهنه‌های آبی و مطالعات ارزیابی ماند آبی استفاده شده است.

$$NDWI = \frac{\rho_{Green} - \rho_{NIR}}{\rho_{Green} + \rho_{NIR}} \quad (2)$$

در سال ۲۰۰۳ میلادی چن و همکاران در مطالعه‌ای مربوط به بررسی محتوای رطوبت گیاه، شاخص جدیدی را ارائه نمودند که ترکیبی از باندهای مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز طول موج کوتاه است (رابطه ۳) [5]. از این شاخص تا کنون در مطالعات مربوط به بررسی محتوای رطوبت گیاه در مناطق خشک، پایش چرخه فنولوژیکی گیاه، تهیه نقشه کاربری اراضی، مدل‌سازی اقلیمی و استخراج پهنه‌های آبی استفاده شده است [6].

$$NDWI_{NIR,SWIR} = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{SWIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{SWIR}}$$

در سال ۲۰۰۶ میلادی نیز ژو با کمی تغییر نسبت به الگوریتم‌های پیشین باند مادون قرمز میانی را جایگزین باند مادون قرمز نزدیک در رابطه ۲ نموده و رابطه (۴) را ارائه داد [7]. شاخص تصحیح شده $NDWI$ که توسط ژو ارائه شد در مطالعات گوناگون تنها در زمینه شناسایی و استخراج پهنه‌های آبی استفاده شده است [8].

$$MNDWI_{Green,MIR} = \frac{\rho_{Green} - \rho_{MIR}}{\rho_{Green} + \rho_{MIR}}$$

عموم الگوریتم‌هایی که در این بخش به آن‌ها اشاره شد، از ساختار نرمال سازی برخوردار بوده و همچنین ترکیبی از باندهای مرئی و مادون قرمز بازتابی هستند. در مطالعه دیگری که توسط ولف در سال ۲۰۱۲ میلادی صورت

^۱ Normalized Difference Water Index

^۲ Live fuel moisture (LFM)

گرفته است (رابطه ۵)، از باندهای آبی و مادون قرمز نزدیک سنجنده WorldView-2 multispectral imager به منظور شناسایی خط ساحل استفاده شده است [9].

(۵)

$$NDWI = \frac{\rho_{Coastal} - \rho_{NIR2}}{\rho_{Coastal} + \rho_{NIR2}}$$

لذا با توجه به مزایای روش سنجنش از دور و اهمیت تعیین سطح دریاچه‌ها، مطالعه حاضر به بررسی سطوح دریاچه ارومیه طی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و روش‌های مبتنی به فن‌آوری سنجنش از دور می‌پردازد. اهداف اصلی به طور خلاصه شامل موارد ذیل می‌باشد:

- برآورد مساحت سطحی دریاچه ارومیه طی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵ شمسی بطور ماهیانه با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و سنجنده MODIS
- بررسی دقت نتایج سطح حاصل از تصاویر سنجنده MODIS در مقایسه با نتایج Landsat
- مقایسه نتایج سطح دریاچه در مطالعه حاضر با نتایج بسیمتری انجام شده توسط موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- گردآوری و آماده‌سازی تصاویر

• ماهواره لندست

با توجه به اینکه بازه زمانی موردنظر برای ارزیابی تغییرات مساحت سطحی دریاچه ارومیه برای سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ میلادی است، لذا از تصاویر ماهواره لندست ۸ برای محاسبه مساحت سطحی در این رابطه استفاده گردید. لازم به ذکر است که برای تخمین ماهانه مساحت سطحی دریاچه ارومیه بایستی از تصاویر بدون ابر استفاده نمود. با توجه به موارد مذکور از هرماه تنها یک تصویر انتخاب گردید که فاقد ابر در محدوده دریاچه باشند. سایر تصاویری که به‌نوعی دربردارنده ابر بودند و بر روی دقت و صحت نتایج اثر داشتند، حذف شده و در فرایند محاسبه مورد استفاده قرار نگرفتند. به‌منظور اخذ داده‌های ماهواره لندست از وب‌سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا^۳ (www.Earthexplorer.usgs.gov) استفاده گردید. همان‌گونه که پیش‌تر نیز به آن اشاره شد تصاویری در این رابطه اخذ شدند که فاقد وجود ابر باشند تا بتوان از آن‌ها برای برآورد مساحت سطحی با دقت بالا استفاده نمود. در مجموع به تعداد ۳۰ تصویر در فاصله زمانی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵ اخذ گردید.

• سنجنده مادیس

در این مطالعه از تصاویر سنجنده مادیس نیز استفاده شده و نتایج برای سنجنده مادیس نیز مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. برای آنکه بتوان به صورت مقایسه‌ای محاسبه مساحت سطحی دریاچه ارومیه را بین ماهواره لندست و سنجنده مادیس مقایسه نمود، بایستی تصاویر هم‌زمان مورد استفاده قرار بگیرند، به‌گونه‌ای که از کمترین تأخیر زمانی نسبت به یکدیگر برخوردار باشند. برای اخذ داده‌های سنجنده مادیس نیز از وب‌سایت www.reverb.echo.nasa.gov استفاده و تصاویر در ۸ تاریخ متناظر اخذ گردید.

• داده‌های تراز دریاچه ارومیه

داده‌های تراز ارتفاعی دریاچه ارومیه و روابط بسیمتری موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو مربوط به سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ از ستاد احیای دریاچه ارومیه اخذ گردید. معتبرترین نقشه بسیمتری که تاکنون از بستر دریاچه ارومیه

^۳ USGS

استخراج گردیده، توسط موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو تهیه شده است. این موسسه ابتدا با عملیات زمینی در چهار مسیر اقدام به ترازبایی کف دریاچه نموده، سپس با برقراری رابطه رگرسیونی بین باندهای سنجنده لندست با داده های عمق اقدام به تولید نقشه بسیمتری دریاچه نموده است.

۲-۲- روش کار

• انتخاب باندها

با توجه به اینکه افزایش و کاهش بازتاب امواج در باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک برای پدیده های آب و شوره زار عکس یکدیگر است، بر همین اساس می توان از تفاوت ایجاد شده به منظور شناسایی هرچه بهتر پهنه آبی و جداسازی آن از شوره زار مرطوب استفاده نمود. بر همین اساس انتخاب باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک به عنوان بهترین باندها برای این کاربرد بخصوص در نظر گرفته شدند. با وجود آنکه استفاده از سایر باندهای مرئی مانند باندهای سبز و آبی نیز از خروجی هایی مشابه با باند قرمز برخوردار هستند، اما در عین حال از میزان بازتاب کمتری در محدوده شوره زار نسبت به باند قرمز برخوردار می باشد. بنابراین استفاده از باندهای قرمز نسبت به سایر باندهای مرئی ترجیح داده شد و به این ترتیب در این مطالعه از شاخص NDVI برای استخراج پهنه های آبی استفاده شد.

• استخراج مساحت سطحی

پس از اینکه شاخص طیفی پیشنهادی بر روی تصاویر ماهواره ای پیاده سازی شد، با استفاده از حد آستانه تعیین شده (اعداد کوچک تر از صفر) می توان نسبت به استخراج محدوده آبی از تصویر اقدام نمود. تصاویر مورد استفاده از ماهواره لندست با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر است. با استفاده از روش های ساده طبقه بندی مانند روش Density Slice و یا روش تصمیم گیری درختی^۴ می توان نسبت به جداسازی پوشش آب از تصویر اقدام و سپس کلاس آب تعیین شده را به یک لایه وکتوری تبدیل نموده و در نهایت نسبت به محاسبه میزان مساحت آب دریاچه ارومیه به صورت ماهیانه اقدام کرد.

• ارزیابی قابلیت سنجنده مادیس برای محاسبه مساحت سطحی

همان گونه که پیش تر در ارتباط با قابلیت های سنجنده مادیس صحبت شد، این سنجنده از توان تفکیک زمانی روزانه برخوردار است. به عبارت دیگر علاوه بر توان تفکیک طیفی از لحاظ توان تفکیک زمانی نیز نسبت به ماهواره لندست ۸ (۱۶ روزه) در وضعیت بسیار بهتری قرار دارد. بر همین اساس در صورتی که بتوان از روش ذکر شده برای استخراج مساحت سطحی دریاچه ارومیه برای سنجنده مادیس با توان تفکیک زمانی بالاتر استفاده نمود، این امکان فراهم خواهد شد که بتوان تغییرات مساحت سطحی دریاچه را در فواصل زمانی کوتاه تر پایش نمود. همچنین با استفاده از این روش می توان اثر برخی از فرایندهای کوتاه مدت بر پدیده هدف را در تصاویر ماهواره ای بهتر مورد ارزیابی قرارداد.

برای آنکه بتوان قابلیت و توانایی سنجنده مادیس را با استفاده از الگوریتم پیشنهادی مورد بررسی قرارداد، لازم است تا از تصاویری استفاده شود که از لحاظ زمانی به تصاویر ماهواره لندست بیشترین نزدیکی و انطباق را داشته باشند. باین حال ابری بودن آسمان در برخی از تاریخها به عنوان یک محدودیت مهم در ارتباط با اخذ اطلاعات محسوب می شود. الگوریتم استفاده شده جهت استخراج پهنه آبی از تصاویر MODIS با الگوریتم استفاده شده برای لندست یکسان بوده است.

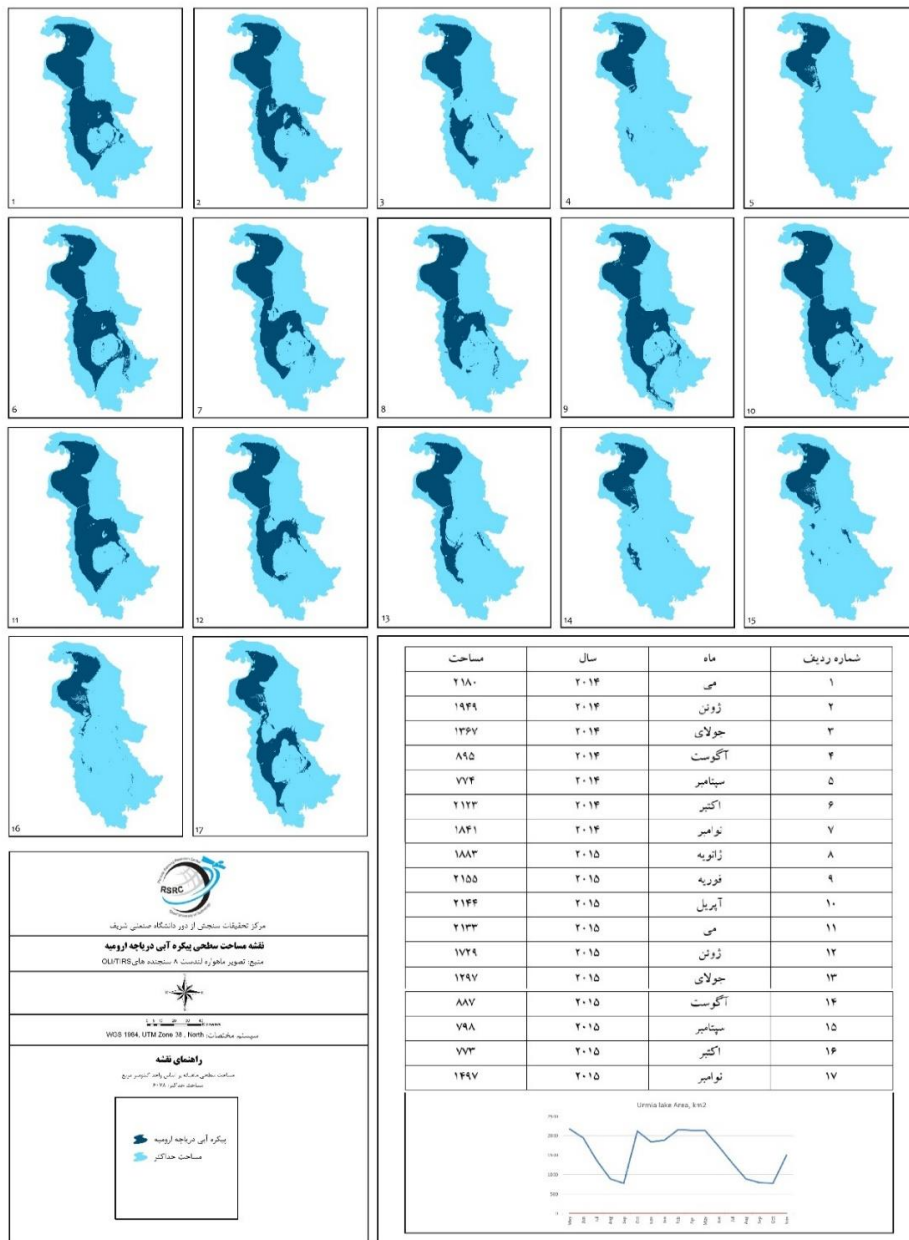
^۴ Decision Tree

• محاسبه مساحت با استفاده از روابط بسیمتری

در این مرحله با استفاده از داده‌های تراز دریاچه ارومیه و روابط بسیمتری موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو مساحت دریاچه بر اساس روابط بسیمتری سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ تخمین و در ادامه با نتایج مطالعه حاضر مقایسه گردید.

۳- نتایج

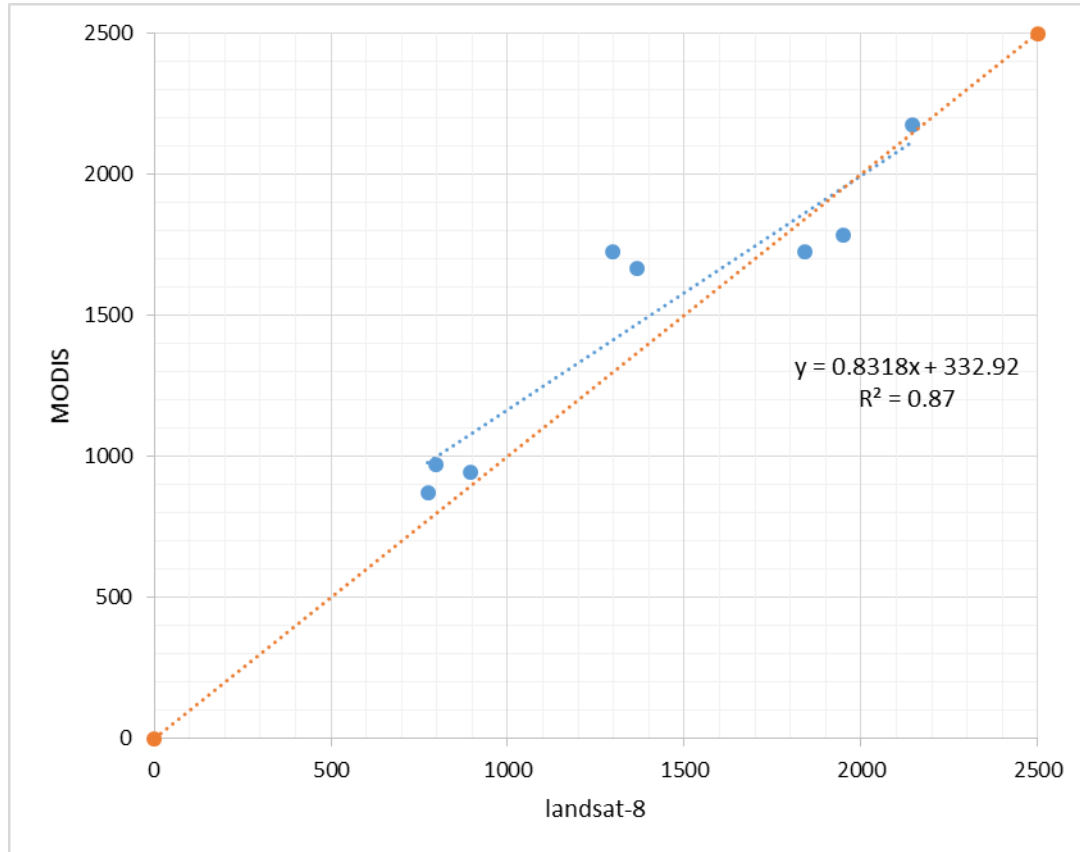
شکل ۱ تغییرات ماهیانه مساحت سطحی دریاچه ارومیه نسبت به مساحت حداکثری برای سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ میلادی بدست آمده توسط ماهواره لندست ۸ را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل قسمت جنوبی دریاچه بواسطه عمق کمتر خطرپذیری بیشتری برای خشکیدگی داشته و در ماه‌های آگوست و سپتامبر، قسمتی از دریاچه محو گردیده است.



شکل ۱- مساحت سطحی پیکره آبی دریاچه ارومیه

• نتایج بدست آمده از سنجنده مادیس

نتایج به دست آمده از سنجنده مادیس (۵ ماه از سال ۲۰۱۴ میلادی و ۳ ماه از سال ۲۰۱۵) در برآورد مساحت سطحی با مساحت های محاسبه گردیده از ماهواره لندست ۸ در شکل ۲ مقایسه گردیده است.



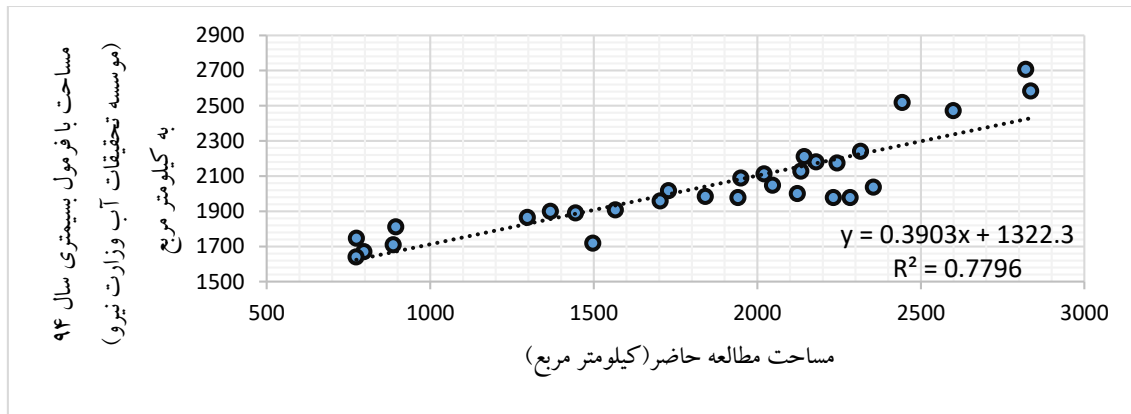
شکل ۲- رابطه رگرسیون خطی مساحت به دست آمده از ماهواره لندست و مادیس (برحسب km^2)

توجه به شیب و عرض از مبدا خط رگرسیون می تواند نشان دهد که داده های سطح حاصل از لندست و مادیس تا چه اندازه ای تشابه دارند. شیب $0/8$ رابطه نسبی بین مقادیر سطح دریاچه حاصل از دو تصویر را نشان می دهد و عرض از مبدا بدست آمده نیز نشانگر آن است که مقادیر مادیس دارای تقدمی 333 کیلومتر مربعی نسبت به مقادیر لندست هستند. ضریب تعیین به دست آمده (R^2) در ارتباط با مقادیر به دست آمده از ماه های متناظر سنجنده مادیس و ماهواره لندست ($0/87$) نشان دهنده آن است که نتایج سطح حاصل از دو سنجنده از هم بستگی مناسبی برخوردار است. میزان شاخص خطای RMSE استاندارد شده^۵ مقادیر سطح حاصل از مادیس در مقایسه با مقادیر لندست محاسبه گردید که مقدار $0/2$ بدست آمد. بنابراین طبق مشاهدات فوق، خطای مقادیر مادیس نسبت به لندست از دقت قابل قبولی برخوردار است. بر همین اساس با توجه به اینکه سنجنده مادیس از توان تفکیک زمانی بسیار بالاتری برخوردار است، لذا می توان با استفاده از آن مساحت سطحی دریاچه را در فواصل زمانی کوتاه تری مورد مطالعه و بررسی قرارداد.

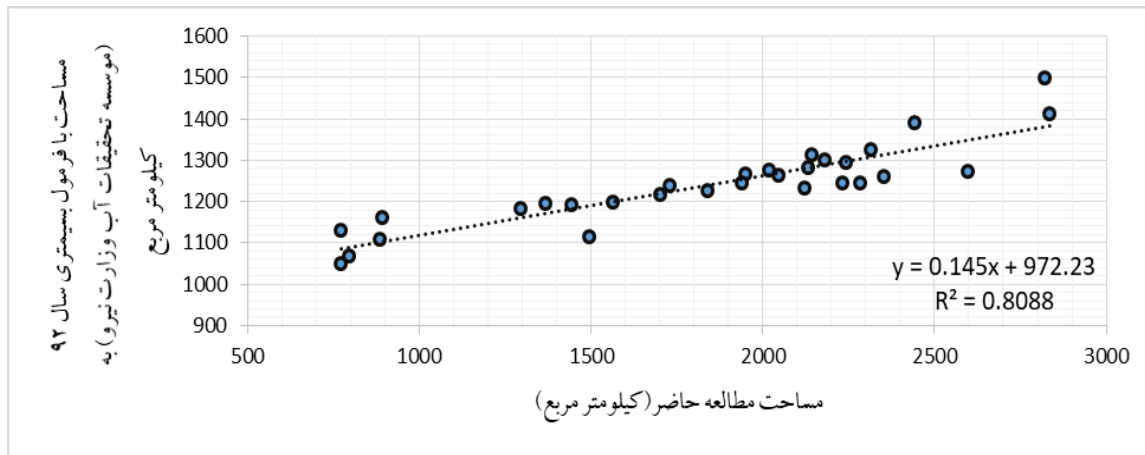
^۵ Root Mean Squared Standard deviation ratio (RSR)

• اعتبار سنجی نتایج مساحت سطحی بدست آمده از ماهواره لندست

مقایسه مساحت‌های محاسبه شده با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ با مساحت‌های به دست آمده از روابط بسیمتری سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ مربوط به موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو، نشان‌دهنده همبستگی مناسبی بین داده‌های مذکور است (شکل ۳ و ۴). رابطه خطی برقرار شده بین مساحت‌های محاسبه شده در مطالعه حاضر با مقادیر متناظر از روابط بسیمتری سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ به ترتیب دارای ضریب تعیین (R^2) معادل ۰/۸۰ و ۰/۷۸ می‌باشند.

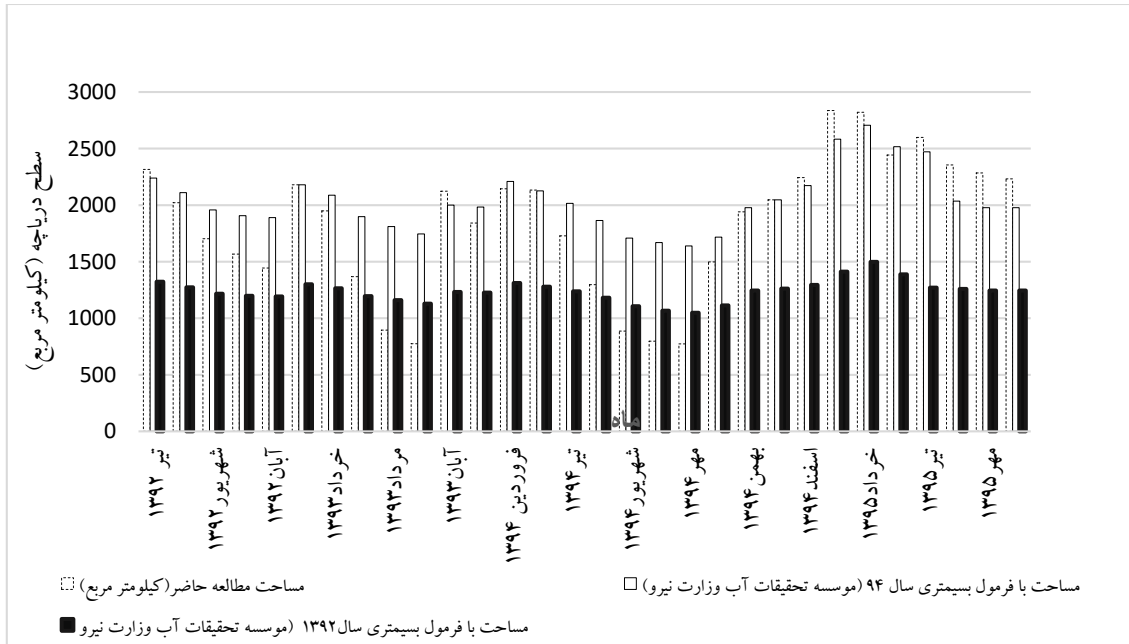


شکل ۳- مقایسه نتایج به دست آمده توسط این مطالعه و رابطه بسیمتری سال ۱۳۹۴ موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو



شکل ۴- مقایسه نتایج به دست آمده در این مطالعه و رابطه بسیمتری سال ۱۳۹۲ موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو

نتایج مقایسه مساحت‌های دریاچه در مطالعه حاضر با مساحت‌های مبتنی بر روابط بسیمتری نشان می‌دهد که علی‌رغم ترکیب توام روش‌های سنجش از دوری و برداشت‌های متعدد زمینی در روش بسیمتری، داده‌های سطح دریاچه در مطالعه حاضر، ضمن سادگی و سرعت روش محاسبه، با تقریب نسبتاً خوبی مساحت دریاچه را برآورد می‌کند. شکل ۵ روند تغییرات سطح دریاچه را بر اساس سه روش مورد بحث نشان می‌دهد. بررسی نتایج نشان می‌دهد که رابطه سال ۹۲ در اکثر تاریخ‌ها، مقادیر سطح را بسیار کمتر از نتایج رابطه ۱۳۹۴ و نتایج مطالعه حاضر برآورد نموده است.



شکل ۵- مقایسه روند محاسبات انجام شده توسط این مطالعه و روند به دست آمده از روابط بسیمتری سال های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو

• دلایل احتمالی اختلاف بین سطح دریاچه در مطالعه حاضر با مقادیر متناظر سطح بسیمتری

به دلایل زیر پیش بینی می شود که فناوری سنجش از دور و داده های ماهواره ای اطلاعات نسبتاً صحیح تری را در ارتباط با تغییرات مساحت سطحی ارائه می دهند:

در نتایج موسسه، داده های زمینی تراز تنها در یک یا چند زمان مشخص و ثابت برداشت می شوند و رابطه همبستگی آنها با نتایج سطح حاصل از تصاویر ماهواره ای بدست آمده و سپس رابطه فوق در کلیه تاریخ های آبی و بدون لحاظ نمودن شرایط خاص مرتبط با هر تاریخ استفاده می گردد، بنابراین از لحاظ زمانی نمی توانند پویایی کاربرد تصاویر ماهواره ای به روز را داشته باشند.

از لحاظ مکانی، داده های زمینی استخراج شده به صورت گسسته و پراکنده هستند و نمی توان از تمامی قسمت های دریاچه (با توجه به وسعت آن) به صورت جزئی در ارتباط با وجود یا عدم وجود آب نمونه برداری نمود. با این حال تصاویر ماهواره ای به خوبی تمام وسعت دریاچه را پوشش می دهند و می توان بر تمامی پیکره سطحی دریاچه احاطه داشته و در ارتباط با وجود و عدم وجود آب قضاوت نمود. در حقیقت در فرایند تخمین سطح از تصاویر ماهواره ای، از روش های مبتنی بر درون یابی و قواعد خود همبستگی مکانی برای رسیدن به مقادیر مجهول با استفاده از مقادیر معلوم استفاده نمی گردد.

در تصاویر ماهواره ای می توان اثر فرایندهای زیست محیطی قابل پیش بینی و غیر قابل پیش بینی مانند بارش را بر روی پدیده مورد مطالعه مورد بررسی قرارداد. این در حالی است که در روش استفاده از داده های زمینی تنها در یک زمان واحد نمونه ها برداشت شده و آنچه که در آینده ممکن است اتفاق بیفتد از روی روابط و فرمول های استخراج شده از داده های موجود پیش بینی می شود.

۴- جمع بندی و نتیجه گیری

در این مطالعه آشکار سازی تغییرات مساحت سطحی دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره ای لند ست ۸ برای سال های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵ شمسی صورت گرفته و نتایج حاکی از آن است که استفاده از NDVI در تصاویر ماهواره ای از قابلیت نسبتا بالایی در ارتباط با جداسازی و استخراج پهنه آبی دریاچه برخوردار است. شاخص NDVI به منظور استخراج پهنه آبی از داده های سنجنده مادیس نیز به کار برده شد و نتایج مناسب و قابل قبولی در این رابطه استخراج گردید. با توجه به اینکه سنجنده مادیس از توان تفکیک زمانی بالاتری برخوردار است، می توان از آن برای پایش تغییرات مساحت سطحی دریاچه ارومیه به صورت روزانه اقدام نموده و اثر تغییرات هواشناسی و اقلیمی بر روی میزان آب دریاچه را در فواصل زمانی کوتاه تری مورد ارزیابی قرارداد. نتایج به دست آمده از مقایسه مقادیر سطح دریاچه محاسبه شده توسط مطالعه حاضر با مقادیر متناظر سطح بسیمتری وزارت نیرو نشان دهنده همبستگی نسبتا بالا بین آن ها می باشد. هر چند روند تغییرات مساحت در مطالعه حاضر با روند تغییرات مساحت در روش بسیمتری و تغییرات تراز دریاچه بسیار شبیه است؛ اما این مساحت نسبت به ارقام سطح بسیمتری سال ۱۳۹۲ دارای تخمین دست بالا و نسبت به ارقام سطح بسیمتری سال ۱۳۹۴ داری تخمین دست پایین می باشد.

۵- مراجع

- [1] Pengra, B. (2012). The Drying of Iran's Lake Urmia and its Environmental Consequences. Article reproduced from United Nations Environment Programme (UNEP) Global Environmental Alert Service (GEAS). *Environmental Development* 2, 128-137.
- [2] Gao, B.-C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58, 257-266.
- [3] Dennison, P.E., Roberts, D., Peterson, S., & Rechel, J. (2005). Use of normalized difference water index for monitoring live fuel moisture. *International Journal of Remote Sensing*, 26, 1035-1042
- [4] McFeeters, S.K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17, 1425-1432
- [5] Chen, D., Jackson Li, F., Cosh, M., Walthall, C., & Anderson, M. (2003). Estimation of vegetation water content for corn and soybeans with a normalized difference water index (NDWI) using Landsat Thematic Mapper data. In, Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS'03. Proceedings. 2003 IEEE International (pp. 2853-2856): IEEE
- [6] Hüttich, C., Herold, M., Schmullius, C., Egorov, V., & Bartalev, S. (2006). SPOT-VGT NDVI and NDWI trends 1998–2005 as indicators of recent land cover change processes in northern Eurasia. In, *2nd workshop of the EARSeL SIG on land use and land cover, Bonn* (pp. 336-344)
- [7] Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27, 3025-3033
- [8] Singh, K.V., Setia, R., Sahoo, S., Prasad, A., & Pateriya, B. (2015). Evaluation of NDWI and MNDWI for assessment of waterlogging by integrating digital elevation model and groundwater level. *Geocarto International*, 30, 650-661
- [9] Wolf, A.F. (2012). Using Worldview-2 Vis-NIR multispectral imagery to support land mapping and feature extraction using normalized difference index ratios. In, *SPIE Defense, Security, and Sensing* (pp. 83900N-83900N-83908): International Society for Optics and Photonics