



ارزیابی قابلیت سنجنده‌های اپتیک و راداری جهت برآورد وسعت دریاچه ارومیه

رسول عدلی عتیق^{*}، سید محمد توکلی صبور^۲، برویز خساییان فیروزآبادی^۳، حسن حسنی مقدم^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی

۲- استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران

۳- دانشیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی

چکیده:

تاکنون روش‌های متعددی در زمینه مطالعه و محاسبه مساحت پیکره‌های آبی با بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور مورد آزمون قرار گرفته است. هدف این تحقیق مقایسه توان تصاویر SAR از ماهواره سنتینل ۱ و مادون قرمز نزدیک و میانی از ماهواره سنتینل ۲ جهت محاسبه وسعت دریاچه ارومیه است. ماهواره سنتینل ۱ در باند C با فرکانس مرکزی 5.405GHz تصویربرداری می‌کند. تصاویر از نوع IW با سطح پردازش GRDH بوده و با استفاده از تفسیر بصری قطبیش VV انتخاب شد. برای حذف لکه‌ها در تصاویر سنتینل ۱ از فیلتر مکانی Lee Sigma استفاده شد. از ماهواره سنتینل ۲ که سنجنده MSI را حمل می‌کند و سنجنده‌ای اپتیکی است باند مادون قرمز نزدیک (باند ۸) و باند مادون قرمز میانی (باند ۱۱) انتخاب شدند برای جداسازی منطقه آبی از دیگر کاربری‌ها روش طبقه‌بندی حداقل احتمال تشابه بر روی باندها اعمال گردید. سپس به منظور حذف پیکسل‌های منفرد و پراکنده در سطح تصویر طبقه‌بندی شده و همچنین به دست آوردن تصویر مطلوب، فیلتر Majority با اندازه کرنل 3×3 استفاده شد. از داده‌های شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی برای بررسی میزان دقت وسعت دریاچه استفاده شد. در نهایت، باند ۸، سواحل نمکی و مناطق آبی به طور دقیق تمایز می‌دهد اما تحت تاثیر املأح زیاد دریاچه و عمق کم آن در بخش جنوب و جنوب شرقی قرار می‌گیرد. باند ۱۱ توانایی جداسازی سواحل نمکی را از مناطق آبی را نداشته و سبب خطای زیاد در تعیین محدوده دریاچه می‌شود. اما نتیجه به دست آمده با بهره‌گیری از باند C ماهواره سنتینل ۱ علاوه بر نویدبخشی، دارای خطاهای کمتری نسبت به نتایج سنجنده اپتیکی سنتینل ۲ بوده است.

واژه‌های کلیدی: سنتینل ۱، سنتینل ۲، طبقه‌بندی حداقل احتمال تشابه، وسعت سطح، دریاچه ارومیه.

١- مقدمه

سنجهش از دور براساس طیف الکترومغناطیسی به سه قسمت سنجهش از دور اپتیکی (مرئی، مادون قرمز نزدیک و میانی)، سنجهش از دور حرارتی و سنجهش از دور مایکروویو تقسیم‌بندی می‌شود. در ادامه سنجهش از دور اپتیکی و مایکروویو و ویژگی‌های آب را در آنها مورد بررسی قرار می‌دهیم.

در منحنی بازتابش طیفی و در محدوده مادون قرمز نزدیک (NIR) که از ۰.۷۶ تا ۱ یک میکرومتر است. با افزایش طول موج بازتابش بازتاب آب کاهش می‌یابد به طوریکه در محدوده مادون قرمز نزدیک بازتاب به حدود صفر کاهش می‌یابد به عبارت دیگر تمام انرژی تابشی را جذب می‌کند و تقریباً شیوه یک جسم سیاه عمل می‌کند [۱]. در نتیجه این باند برای تعیین محدوده پدیده‌های آبی بسیار مفید است. با افزایش گل آلودگی آب، بازتاب مادون قرمز افزایش می‌یابد و در نتیجه این باند، برای برآورد عوامل کیفیت آب، مانند مواد معلق که سبب کاهش شفافیت آب می‌شود، کاربرد دارد [۲].

مادون قرمز موج کوتاه (SWIR) در محدوده یک میکرومتر تا سه میکرومتر می‌باشد. کاپرد این محدوده به علت وجود باندهای جذب آب برای تجزیه و تحلیل رطوبت خاک و پایش رشد گیاه و وضعیت محصول مناسب است. این باند همچنین برای تفکیک اینها بازخمناک است [۲۹].

از طرفی، مهم‌ترین ویژگی‌های سنجش از دور راداری، قابلیت تصویربرداری در تمامی شرایط آب و هوایی، تصویربرداری در شب هنگام، حساسیت به شکل هندسی، زبری سطح و محتوای رطوبتی عوارض، قابلیت نفوذ سیگنال رادار در عوارض مختلف و به دست آوردن اطلاعات زیرسطحی است [۳]. توانایی هدایت الکتریکی یک محیط را ثابت دی الکتریک^۳ می‌گویند. اصلی‌ترین فاکتوری که روی هدایت الکتریکی اثر می‌گذارد میزان رطوبت است بنابراین میزان رطوبت تاثیر قابل توجهی روی میزان انرژی پراکنده شده دارد. بازتاب پذیری یک سطح با ضریب دی الکتریک یا میزان رطوبت آن رابطه‌ی مستقیم دارد. اگر اشعه راداری به سطح آب راکد بخورد کند مقدار بازتابش، بسیار بزرگ خواهد بود به علاوه چون سطح آب راکد صاف است نوع بازپراکنش امواج راداری از سطح آب راکد آینه‌ای است بنابراین مقدار بسیار کمی از انرژی توسط سنجنده ثبت خواهد شد [۳] و بصورت سیاه رنگ در تصاویر^۴ SAR ثبت می‌شود.

Falconer و Tadesse (۲۰۱۴) داده های ماهواره PALSAR و ماهواره لندست برای طبقه بندی پوشش زمین در شمال مرکزی اتیوپی استفاده کردند. از روش طبقه بندی حداکثر تشابه و الگوریتم طبقه بندی C4.5 برای طبقه بندی استفاده و دقت طبقه بندی در داده های اصلی راداری - بدون پیش پردازش- با صحت کلی ۶۶ درصد به دست آورند. برای بهتر شدن دقت طبقه بندی و بازرسازی تصویر از روش های آنالیز بافت و حذف لکه ها استفاده کردند. برای حذف لکه ها از فیلتر های میانه، Lee-Sigma و Gamma-MAP استفاده کردند. این مطالعه نشان داد که روش های آنالیز بافت و حذف لکه ها در اصلاح طبقه بندی داده های راداری نقش مهمی دارند. بنابراین، داده های راداری می توانند آنالیز بافت و حذف لکه ها در اصلاح طبقه بندی داده های راداری نقش مهمی دارند. بنابراین، داده های راداری می توانند به عنوان حاگنگ بن مناسب برای داده های، ابتدک، جهت طبقه بندی، پوشش، زمین، استفاده شود [۴].

و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی از طبقه‌بندی حداکثر احتمال تشابه به منظور استخراج نوع محصول استفاده کردند. سنجنده‌های راداری مختلف، تصاویری با خصوصیت چندزمانه و در قطبش‌های متفاوت استفاده و از داده‌های ماهواره ایتیک Formosat-2 برای مقایسه و ترکیب استفاده کرد و به این نتیجه رسیدند که نتایج

¹ Near infrared

² shortwave infrared

³ Dielectric Constant

⁴ Synthetic aperture radar

بسیار دقیق زمانی حاصل می‌شود که داده‌های با قدرت تفکیک فضایی ۸ متر و از ترکیب باند C و X داده‌های مایکروویو به صورت چند زمانه و چند قطبیتی ماهواره TerraSAR-X استفاده شود^[۵].

Sheoran و Haack (۲۰۱۳) در پژوهشی کاربرد داده‌های ماهواره‌های ALOS PALSAR و TM را در تهیه نقشه کاربری اراضی کنیا با استفاده از روش طبقه‌بندی حداقل تشابه بررسی کردند. آنان نتیجه گرفتند که داده‌های راداری بدون پیش پردازش اولیه با دقت ۷۷ درصد بدست آوردند. اما دقت طبقه‌بندی برای داده‌های لندست ۸۶ درصد بدست آمد. ادغام لندست با بافت رادار بود دقت کلی را افزایش نمی‌دهد اما باعث بهبود دقت تولید کننده برای کاربری شهری می‌شود^[۶].

با توجه به نتایج بدست آمده در تحقیقات فوق الذکر، این پژوهش با هدف ارزیابی و مقایسه تصاویر SAR باند سنتینل^۱ و باندهای مادون قرمز میانی و نزدیک سنتینل^۲-۲ جهت محاسبه وسعت دریاچه اورمیه انجام گردید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- خصوصیات دریاچه ارومیه

دریاچه ارومیه در ۴۵ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۴۵ دقیقه طول شرقی و ۳۷ تا ۳۸ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی در غرب فلات ایران واقع شده است. دریاچه ارومیه بیستمین دریاچه بزرگ جهان و دومین دریاچه فوق شور جهان می‌باشد. این دریاچه دارای اهمیت و نقش استراتژیک در زمینه‌های مختلفی چون زیست محیطی، گردشگری و توریستی است و توسط سازمان یونسکو به عنوان پارک ملی شناخته می‌شود. متوسط تراز دریاچه ارومیه در نیم سال اول ۱۳۹۵ برابر ۱۲۷۰.۶ متر و عمق متوسط دریاچه ۴.۵ متر برآورده شده است^[۷]. [http://ulrp.sharif.ir/]

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

سازمان فضایی اروپا^۳ (ESA) در حال گسترش پروژه خانواده ماهواره‌های سنتینل‌ها تحت برنامه کوپرنیک می‌باشد که هر یک از آنها از دو ماهواره با اختلاف ۱۸۰ درجه و باهدف به حداقل رساندن فاصله زمانی تصویربراری از هم قرار داده شده‌اند. در این تحقیق از داده‌های ماهواره‌های سنتینل ۱ و سنتینل ۲ استفاده شد.

ماهواره سنتینل ۱: ماهواره‌ای خورشید آهنگ است که سکوی سنجنده-C SAR می‌باشد و در محدوده مایکروویو در باند C با فرکانس مرکزی در ۵.۴۰۵ گیگاهرتز فعالیت می‌کند و در تمامی شرایط آب و هوایی و شباهه روز تصویربرداری می‌کند. سنتینل-1B در تاریخ ۳ آوریل ۲۰۱۴ سنتینل-1B در ۲۵ آوریل ۲۰۱۶ در مدار قرار گرفت. ویژگی‌های ماهواره سنتینل یک در جدول یک آورده شده است. در مقایسه با دیگر ماهواره‌های SAR، قدرت تفکیک زمانی کوتاه (دوازده روز خود سنجنده، و شش روز هر دو سنجنده) و خطوط اسکن کوتاه سبب شده سنجنده SAR-C یک پروژه امیدواره کننده باشد^[۷]. عرض نوار اینتروفرمیک ۲۵۰ کیلومتری و قدرت تفکیک زمانی کوتاه سبب شده این ماهواره در پاییش و نظارت بر سطح زمین، از قدرت بالایی برخوردار باشد. ماهواره سنتینل ۱

¹ sentinel-1a

² Sentinel-2a

³ european space agency

در چهار حالت اختصاصی^۱ EM، IW^۲، EW^۳ و WV^۴ تصویربرداری میکن [https://sentinel.esa.int]. که در این تحقیق از داده‌های روش تصویربرداری IW و در سطح پردازش GRDH^۵ به تاریخ ۱۱/۱۱/۲۰۱۶ استفاده شد.

جدول ۱: مشخصات ماهواره سنتینل یک

پارامتر(واحد)	مقدار
زاویه آزیمут سنجنده(درجه)	۹/۷
زاویه فرود (درجه)	۴۹-۲۹
قدرت تفکیک در جهت برد(متر)	۲.۳
قدرت تفکیک در جهت آزیموت(متر)	۱۳.۹
اندازه طول موج(سانتی متر)	۵.۶
قطبیش	VV+VH,HH+HV,HH,VV
عرض نوار برداشت (کیلومتر)	۲۵۰
ارتفاع تقریبی ماهواره(کیلومتر)	۶۹۳

ماهواره سنتینل ۲: ماهواره‌ای خورشید آهنگ است که سنجنده^۶ MSI را حمل می‌کند و در ۲۳ ژوئن سال ۲۰۱۵ در مدار گرفته است. این سنجنده بصورت پوش بروم^۷ تصویر برداری انجام می‌دهد که در محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک و میانی به صورت چند طیفی با دید لحظه‌ای^۸ ۱۰، ۲۰ و ۶۰ متری ماموریت تصویربرداری از سطح زمین را بر عهده دارد. عرض نوار مداری ۲۹۰ کیلومتر است و دارای قدرت تفکیک رادیومتریک ۱۲ بیتی می‌باشد. قدرت تفکیک زمانی ۱۰ روزه دارد. ساعت عبور محلی این ماهواره ۱۰:۳۰ می‌باشد. و ماهواره سنتینل ۲B در سال ۲۰۱۷ به فضا پرتاب خواهد شد. در آن زمان قدرت تفکیک زمانی این ماهواره‌ها ۵ روز در استوا خواهد بود. برای این مطالعه از سایت زمین شناسی امریکا^۹ داده‌های سنجنده MSI با سطح پردازش L1-C به تاریخ 14/10/2016 دریافت شد.

سطح پردازش C-L1: شامل اصلاحات رادیومتری و هندسی با هدف اصلاح برای دید سه بعدی و تعریف یک سیستم مختصات مرجع جهانی با دقت زیر پیکسل می‌باشد و فشرده‌سازی تصاویر از طریق الگوریتم JPEG2000^{۱۰} و GML انجام می‌شود که با فرمت JP2 قابل خواندن در نرم‌افزارهای پردازش تصویر می‌باشد [https://sentinel.esa.int].

۲- نرم افزارهای مورد استفاده در این تحقیق

در این پژوهش از نرم افزار SNAP جهت انتخاب قطبیش و اعمال فیلتر و کاهش لکه‌ها روی تصاویر SAR استفاده شد. و از نرم افزار ArcGIS10.2 و برای موزاییک کردن تصاویر، طبقه بندي، تبدیل فرمت و تهیه نقشه واقعیت زمینی استفاده شد و از نرم افزار Excel از مجموعه نرم افزار Office برای تولید جدول داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

¹ stripmap

² interferometric wide swath

³ extra wide swath

⁴ wave mode

⁵ ground range detected high-resolution

⁶ Multi spectral instrument

⁷ Pushbroom

⁸ IFOV

⁹ USGS

¹⁰ Joint photographic experts group

جدول ۲: مشخصات باندهای ماهواره سنتینل ۲

قدر تفکیک (متر)	طول موج مرکزی باند (میکرومتر)	عرض باند (نانومتر)	ویژگی	باندها
60	0.443	۲۰	تشخیص آیروسول	باند ۱
10	0.490	۶۵	باند آبی	باند ۲
10	0.560	۳۵	باند سبز	باند ۳
10	0.665	۳۰	باند قرمز	باند ۴
20	0.705	۱۵	لبه قرمز پوشش گیاهی	باند ۵
20	0.740	۱۵	لبه قرمز پوشش گیاهی	باند ۶
20	0.783	۲۰	لبه قرمز پوشش گیاهی	باند ۷
10	0.842	۱۱۵	مادون قرمز تزدیک	باند ۸
20	0.865	۲۰	لبه قرمز پوشش گیاهی	باند ۸-A
60	0.945	۲۰	بخار آب	باند ۹
60	1.375	۳۰	ماodon قرمز میانی	باند ۱۰
20	1.610	۹۰	ماodon قرمز میانی	باند ۱۱
20	2.190	۱۸۰	ماodon قرمز میانی	باند ۱۲

۴-۲- پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای

تصاویر سنتینل ۱: پس از بررسی بصری قطبش‌های مختلف، قطبش ۷۷V انتخاب شد برای کاهش و حذف لکه‌ها از فیلتر Lee-sigma با کرنل 7×7 استفاده شد. این فیلتر جزء فیلترهای مکانی و بر روی مدل توزیع گوسین^۱ است. و تنها پیکسل‌های همسایه‌ای را انتخاب می‌کند که دارای ویژگی‌های پراکنشی مشابه با پیکسل مرکزی هستند [۳]. براساس فیلتر لی سیگما ۹۵.۵ درصد از پیکسل‌ها در محدوده دو سیگما از متوسط آن توزیع شده است [۸]. فیلتر لی بر این فرض استوار است که میانگین و واریانس پیکسل هدف برابر با میانگین و واریانس تمام پیکسل‌های محلی در داخل کرنل متحرک است [۹].

تصاویر سنتینل ۲: تصاویر سنجنده MSI با سطح پردازش C-L1 دریافت شد به علت اینکه در این سطح تصحیحات رادیومتریکی و هندسی روی داده‌ها توسط تولید کننده انجام می‌شود هیچ تصحیحی روی داده‌ها انجام شد.

برای بررسی و محاسبه وسعت دریاچه ارومیه باید از باندهای استفاده شود که میزان بازتاب در آن باندها تقریباً صفر باشد بنابراین در سنجنده MSI از باند ۸ در با طول موج مرکزی ۰.۸۴ میکرومتر و با قدرت تفکیک ۱۰ متر و باند ۱۱ با طول موج مرکزی ۱.۶۱ و با قدرت تفکیک ۲۰ متر انتخاب شد.

۵-۲- طبقه بندی تصویر

برای طبقه بندی ابتدا نمونه تعلیمی از دو پوشش آبی و غیر آبی برداشت شد. سپس تصاویر را با الگوریتم حداقل احتمال تشابه^۲ طبقه بندی قرارشندند و به منظور حذف پیکسل‌های منفرد و پراکنده در خروجی تصویر طبقه بندی شده و همچنین بدست آوردن تصویر مطلوب از فیلتر Majority با کرنل 3×3 استفاده شد. و برای افزایش دقت، مساحت‌های کمتر از ۰.۰۵ هکتار از تمامی نقشه‌ها حذف شدند. برای ارزیابی دقت مساحت

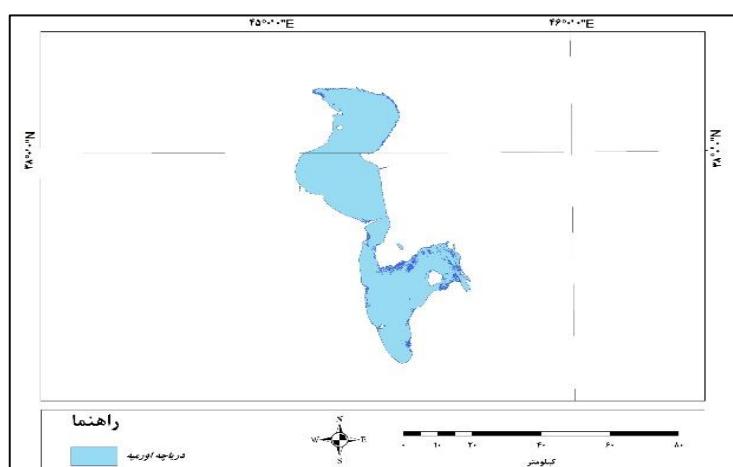
¹ Gaussian

² Maximum Likelihood

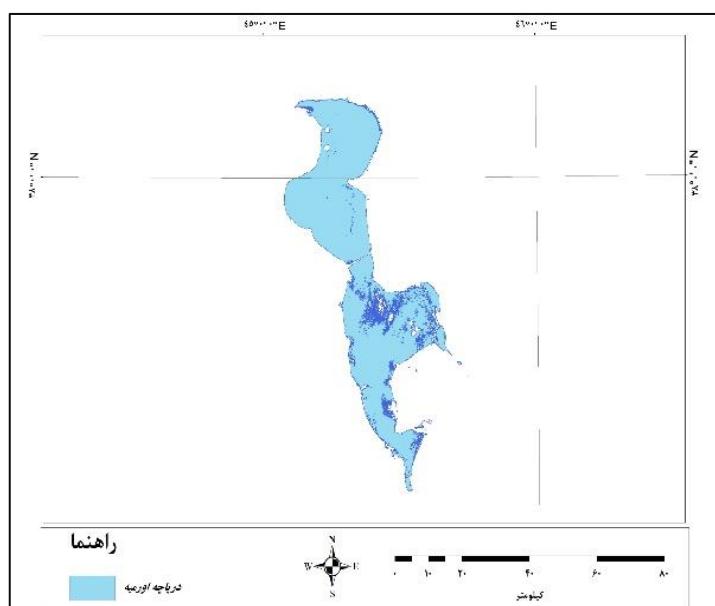
به دست آمده برای پوشش آبی از داده‌های آنلاین شرکت آب منطقه آذربایجان شرقی موجود در سایت (<http://lakes.azarwater.ir>) استفاده شد.

۳- نتایج

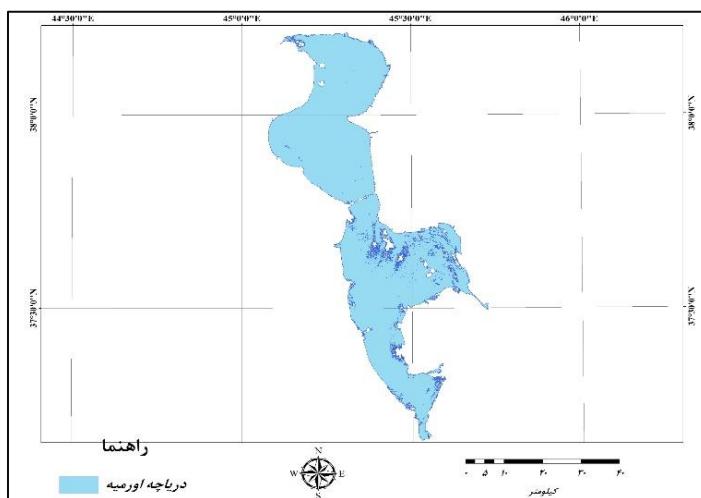
تاریخ تصاویر SAR و اپتیک به ترتیب ۱۹ مهر ۱۳۹۵ و ۱۶ آبان ۱۳۹۵ است که وسعت دریاچه بر مبنای داده‌های شرکت آب منطقه آذربایجان شرقی، در هر دو تاریخ ۲۳۳۳.۷۶ کیلومتر است (جدول ۳). و مقدار وسعت محاسبه شده در باند C تصاویر سنتینل یک ۱۹۲۰.۲ کیلومتر مربع و در باند ۸ و ۱۱ سنتیل دو به ترتیب ۱۵۵۸ و ۱۸۱۲.۳ کیلومتر مربع برآورد شد که میزان اختلاف با داده‌های آب منطقه‌ای در جدول (۳) نشان داده شده است. همچنین در شکل‌های (۱، ۲ و ۳)، نقشه وسعت دریاچه ارومیه در باندهای ۸ و ۱۱ و C حاصل شده از طبقه‌بندی MLC، نمایش داده می‌شود.



شکل ۲: وسعت دریاچه ارومیه در باند ۸



شکل ۳: وسعت دریاچه ارومیه در باند ۱۱



شکل ۳: وسعت و محدوده دریاچه ارومیه در باند SAR-C سنتنل ۱

جدول ۳: شرکت آب منطقه آذربایجان شرقی هم‌مان با برداشت تصاویر

تاریخ	واسع دریاچه (کیلومتر مربع)	حجم آب (میلیارد متر مکعب)	تراز سطح آب (متر)
۱۳۹۵ آبان ۱۶	۲۳۳۳.۷۶	۲.۲۸	۱۲۷۰.۴۸
۱۳۹۵ مهر ۱۹	۲۳۳۳.۷۶	۲.۲۸	۱۲۷۰.۴۸

جدول ۴: وسعت برآورده شده با تصویر ماهواره و میزان اختلاف با داده‌های شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی

سنجدنده	باند	مساحت برآورده شده (کیلومتر مربع)	میزان اختلاف (کیلومتر مربع)
SAR-C	C	1920.21	-410.56
MSI	8	1557.93	-772.83
	11	1812.32	-518.43

۴- بحث و نتیجه گیری

عواملی که در برآورد وسعت دریاچه ارومیه با استفاده از داده‌های ماهواره می‌تواند تاثیرگذار باشد شامل سواحل گسترده نمکی، آب تقریباً راکد دریاچه، آب دارای املاح زیاد (متوسط ۵۰۰ گرم در لیتر) و کم عمق بودن دریاچه است.

با استفاده از باند مادون قرمز نزدیک به سهولت می‌توان سواحل نمکی را از مناطق آبی جدا کرد بنابراین بخش مادون قرمز برای جداسازی دریا از سواحل مناسب است اما در دریاچه ارومیه جهات جنوب و جنوب شرقی که بیشترین تغییرات سطح آب و دارای املاح زیاد بوده سبب شد این منطقه در طبقه‌بندی جزء مناطق سواحلی محسوب شود بنابراین این باندها برای مطالعه آبهای با عمق زیاد و دارای املاح کم مناسب است.

سواحل نمکی در باند مادون قرمز قابل تشخیص نیست. مطابق طبقه‌بندی MLC و تفسیر بصری بازتاب نمکها در محدوده ۱.۶۱ میکرومتر تقریباً صفر است به رنگ تیره دیده می‌شود و الگوریتم طبقه‌بندی پوشش آبی و نمکی را در یک کاربری قرار داده است. علت آن شاید وجود رطوبت در نمک‌های سواحل باشد. لازم به ذکر است که باند ۱۱ در ماهواره اپتیک در محدوده دو باند جذب آب قرار دارد. بنابراین این باند از دقت مناسب برای برآورده محدوده دریاچه مناسب نیست.

امواج مایکروویو قادر به نفوذ در آب نیستند بنابراین در آب‌های زلال و راکد به صورت آبینه‌ای عمل می‌کنند و مقدار بسیار کمی از انرژی توسط سنجنده ثبت می‌شود [۳]. بنابراین در تصاویر SAR به صورت تیره رنگ

مشاهده می شود. در جهات جنوب و جنوب شرقی دریاچه ارومیه املاح و مواد معلق زیادی در آب وجود دارد که دقیق طبقه بندی تصاویر باند C سنتینل ۱ را تحت تاثیر قرار داده است. این باند تحت تاثیر بازتاب سواحل نمکی قرار نگرفته است. بنابراین نتیجه می گیریم دقیق برآورد وسعت دریاچه ارومیه توسط تصاویر راداری سنتینل ۱ نسبت به تصاویر اپتیکی سنتینل ۲ بیشتر است.

سپاسگزاری

از همکاری آقایان مسلم امیر طاهری، فرزاد بیات، مهدی یعقوبی و حسین راستاد در این تحقیق کمال تشکر را داریم.

مراجع

- [1] S.Khazai, Principles Of Remote Sensing Reconnaissance and Surveillance Perspective, Tehran,Imam Hossein University Press,2010 (Persian).
- [2] A.Aronoff, Remte sensing for GIS Managers, Tehran ,Tehran University Press, 2011(Persian).
- [3] Y.Moghsoudi, S. Mahdavi, The principles of Radar Remote sensing, Tehran,Khaje Nasireddin Tosi Publication,2015 (Persian).
- [4] H. K. Tadesse,A. Falconer, “Land Cover Classification and Analysis Using Radar and Landsat Data in North Central Ethiopia”. In Proceedings of the ASPRS Annual Conference, pp. 23-28, 2014.
- [5] C. Hütt, W. Koppe,Y.Miao, G. Bareth, “Best Accuracy Land Use/Land Cover (LULC) Classification to Derive Crop Types Using Multitemporal, Multisensor, and Multi-Polarization SAR Satellite Images”. Remote Sensing, Vol. 8(8), pp. 684. 2016.
- [6] A.Sheroran, B. Haack,”Optical and radar data comparison and integration: Kenya example”. Geocarto International,Vol. 29(4), 370-382,2014.
- [7] K.Dai, Z.Li, R.Tomás, G. Liu, B.Yu, X.Wang,.... & J.Stockamp,”Monitoring activity at the Daguangbao mega-landslide (China) using Sentinel-1 TOPS time series interferometry”. Remote Sensing of Environment,Vol. 186, 501-513, 2016.
- [8] H. Zhang, W.Lu, C.Wang, J.Chen, & B.Zhang,” Improved Sigma Filter for Speckle Filtering of PolinSAR Imagery”. Session 4P3 Microwave Remote Sensing and Polarimetry, SAR, 769, 2011.
- [9] A.V. Meenakshi, V. Punitham, “Performance of speckle noise reduction filters on active radar and sar images”. Gopalax-International Journal of Technology and Engineering System (IJTES), Vol.(1), 112-114, 2011.