

پایش تغییرات مساحت سطح آب سدها با استفاده از پلاریزاسیون VH و VV تصاویر راداری مأموریت Sentinel-1 (مطالعه موردی: سد درودزن شیراز)

آرش طایفه رستمی^{۱*}، علیرضا آزموده اردلان^۲، شیرزاد روحی^۳، امیرحسین پورمینا^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروگرافی - دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های

فنی - دانشگاه تهران

ar.tayfehrostami@ut.ac.ir

^۲ استاد دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

ardalan@ut.ac.ir

^۳ استادیار گروه نقشه برداری - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب

shirzad.roohi@gis.uni-stuttgart.de

^۴ دانشجوی دکتری ژئودزی - دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

pourmina@email.kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت آبان ۱۳۹۹، تاریخ تصویب بهمن ۱۳۹۹)

چکیده

سدها به عنوان یکی از مهم‌ترین سازه‌های آبی ساخته دست بشر نیازمند پالایش پیوسته و دقیق می‌باشند. تغییرات سطح آب هر سد یکی از پارامترهایی است که در این مهم نقش اصلی را بازی می‌کند. در این مطالعه، به منظور پایش مساحت سطح آب سد درودزن از تصاویر راداری مأموریت سنتینل-۱ در دو پلاریزه VH و VV در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ استفاده شد. بررسی هیستوگرام‌ها در پیش‌پردازش تصاویر نشان داد که تمامی تصاویر دارای دو قله هستند و از این رو، حداقل مقدار بین دو قله به عنوان حدآستانه جدایی آب و غیرآب در تصاویر انتخاب شد. پس از آن بخش آبی و غیرآبی در تصاویر تفکیک شده و مساحت سطح آب مخزن سد محاسبه گردید. سپس، سری زمانی مساحت سطح آب بدست آمده از پلاریزه‌های VH و VV با سری زمانی بدست آمده از مساحت‌های محلی مخزن سد درودزن مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهد: (۱) مقدار حدآستانه‌ها برای طبقه‌بندی تصاویر و تفکیک آب از غیرآب برای پلاریزه VH از ۲۱/۳۶ تا ۲۳/۰۱ - دسی‌بل و برای پلاریزه VV از ۱۳/۴۷ تا ۱۹/۰۸ - دسی‌بل متغیر است. (۲) پلاریزه VV با RMSE نسبی ۵/۸۳٪ و ضریب همبستگی ۹۷/۵۵٪ نسبت به مساحت‌های محلی از پلاریزه VH که مقدار RMSE نسبی ۹/۲۱٪ و ضریب همبستگی ۸۳/۶۳٪ را در مقایسه با مساحت‌های محلی نتیجه می‌دهد، دقت بالاتری دارد. پلاریزه VV نسبت به پوشش آبی از پلاریزه VH حساس‌تر بوده و در اثر تغییرات فصلی پایدارتر از پلاریزه VH است. (۳) مساحت سطح آب مخزن سد درودزن در اسفند سال ۱۳۹۶ شروع به افزایش کرده و پس از آن در اردیبهشت سال ۱۳۹۷ شروع به کاهش کرده است؛ همچنین در آذر سال ۱۳۹۷ دوباره شروع به افزایش کرده و پس از آن در خرداد سال ۱۳۹۸ شروع به کاهش کرده است. مساحت سطح آب بدست آمده از پلاریزه VV برای مخزن سد درودزن در ۳۱ فروردین سال ۱۳۹۸ با ۴۳/۶۱۸۷ کیلومترمربع بیشترین و در ۶ مهر سال ۱۳۹۷ با ۲۴/۲۲۴۱ کیلومترمربع کمترین مقدار خود را داشته است که با نتایج میدانی سازگاری دارد.

واژگان کلیدی: سد درودزن، تصاویر راداری Sentinel-1، پلاریزاسیون VH و VV، مساحت سطح آب

۱- مقدمه

سدها از مهم‌ترین سازه‌های آبی ساخته دست بشر بوده که به منظور تنظیم و ذخیره آب، کنترل سیلاب، تأمین آب شهری و صنعتی، تولید انرژی برقابی، کنترل رسوب، تنظیم جریان زیست محیطی، مقاصد تفریحی و حمل و نقل آبی ساخته می‌شوند. زمانی که روی یک رودخانه سدی احداث می‌گردد، آب در پشت این سد جمع شده و با افزایش ارتفاع سد، حجم و سطح آب جمع شده مرتباً زیاد می‌شود. از آنجا که تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی ممکن است بر سطح آب مخازن سدها و دریاچه‌ها تأثیر گذارده و موجب تغییرات مساحت سطح آب شود که بر اقلیم، گوناگونی‌های زیست محیطی، و سلامت انسان تأثیر می‌گذارد [۱، ۲ و ۳]، بنابراین، پایش به موقع مساحت سطح آب‌های درون سرزمینی^۱ مانند مخازن سدها و دریاچه‌ها می‌تواند برای حفاظت از محیط زیست، مدیریت منابع مخازن سدها و دریاچه‌ها، پیش‌بینی سیل، و تاب‌آوری^۲ در برابر خشک‌سالی مؤثر باشد.

تصاویر سنجش‌ازدور سطح زمین را در گذر زمان و به صورت دقیق مشاهده می‌کنند، از این رو این تصاویر استفاده‌های گسترده‌ای در پایش تغییرات آب‌های سطحی پیدا کرده‌اند که برای نمونه می‌توان به این مقالات اشاره کرد: [۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰]. چندین محصول با پوشش سراسری زمین مانند MOD44W [۱۱]، GLOBCOVER2009 [۱۳]، GLCNMO2 [۱۴]، ۳۰ GlobalLand [۱۵] توزیع سطحی آب را ارائه کرده‌اند، آن‌ها با وجود پوشش سراسری از زمین اما به واسطه فرکانس زمانی پایین نمی‌توانند تغییرات سالانه سطحی آب را به درستی توصیف کنند. از داده‌های با توان تفکیک مکانی پایین ولی با توان تفکیک زمانی بالا، مثل داده‌های AVHRR و MODIS، نیز برای بدست آوردن نقشه تغییرات آب‌های سطحی استفاده شده است [۳، ۴، ۸، ۱۶ و ۱۷]، اما توان تفکیک مکانی پایین این تصاویر باعث می‌شود که پیکسل‌های آب و خشکی باهم ترکیب شده و طبقه‌بندی نادقیق شود. در مقابل تصاویر با توان تفکیک مکانی بالاتر مثل تصاویر سنتینل-۲، لندست و ماهواره‌های HJ چین همیشه به دلیل وجود ابرها در تصاویر، فرکانس زمانی کم و در نتیجه سری‌های زمانی

نامنظمی از تصاویر دارند [۱۸، ۱۹ و ۲۰]. بنابراین، ارائه روشی برای بدست آوردن مساحت سطح آب از تصاویری که تحت تأثیر ابر قرار نمی‌گیرند، برای پایش تغییرات سطحی آب‌ها، به ویژه در مناطقی که دارای پوشش بالای ابری هستند، اهمیت دارد [۲۱].

داده‌های رادار با روزه مصنوعی^۳ (SAR) به دلیل قابلیت تصویربرداری در روز و شب و همچنین عبور از ابر ابزاری مناسب برای پایش دینامیک آب هستند [۲۲ و ۲۳]. با این حال، داده‌های SAR کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند، زیرا برخی از داده‌های SAR با توان تفکیک مکانی بالا، مثل TerraSAR-X (باند X)، COSMO-SkyMed (باند X)، و رادارست-۲ (باند C) [۲۲ و ۲۴]، رایگان نبوده و دستیابی به آن‌ها پرهزینه بوده، به این دلیل استفاده از این داده‌ها در مقیاس بزرگ کمتر است. داده‌های کاملاً رایگان مثل ENVISAT ASAR دارای توان تفکیک مکانی ۱۵۰ متری بوده که نمی‌توانند تغییرات سالانه سطحی آب را به طور دقیق ارائه دهند [۲۵ و ۲۶]. اخیراً با راه‌اندازی مأموریت سنتینل-۱ و قابلیت دسترسی رایگان به محصولات آن [۲۷]، داده‌های SAR با توان تفکیک مکانی و زمانی بالا در دسترس بوده که می‌توان از آن‌ها برای بدست آوردن مساحت سطح آب و ارزیابی آن استفاده کرد [۲۸]. به علاوه، ماهواره‌های ارتفاع-سنج^۴ راداری نیز تحت تأثیر ابر نبوده و بنابراین می‌توان از آن‌ها نیز برای پایش آب‌های سطحی استفاده کرد [۲۹ و ۳۰]. سد مخزنی درودزن شیراز، بر روی رودخانه گر احداث گردیده است. مطالعات اندکی برای بدست آوردن مساحت سطح آب سدهای ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفته است. روحی و همکاران [۳۱]، تغییرات مساحت سطح آب سد ماملو تهران را با استفاده از تصاویر ماهواره لندست-۸ در بازه زمانی سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ در دو دوره ترسالی و خشکسالی مورد مطالعه قرار داده‌اند.

در مطالعه حاضر برای اولین بار از تصاویر دو پلاریزه^۵ مأموریت سنتینل-۱ با توان تفکیک مکانی ۱۰ متر، برای بدست آوردن مساحت سطح آب سد درودزن شیراز استفاده شده است. داده‌های سنتینل-۱ توان تفکیک مکانی و زمانی^۶ بالایی داشته، به طور رایگان قابل دریافت بوده، و همچنین

^۳ Synthetic Aperture Radar

^۴ Altimeter

^۵ Polarization

^۶ Spatiotemporal Resolution

^۱ Inland Water Bodies

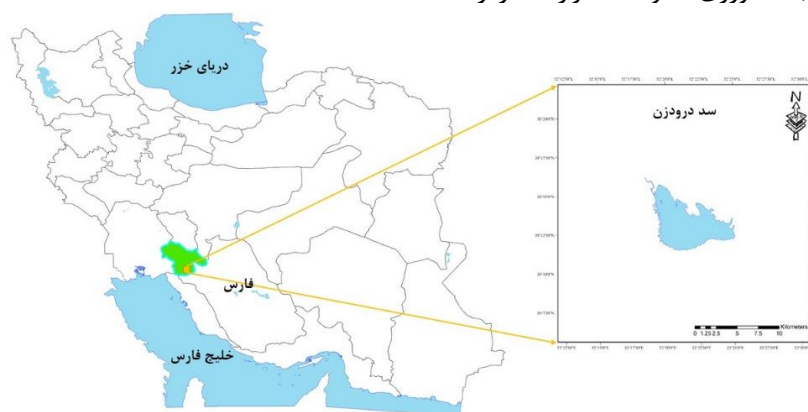
^۲ Resilience

اراضی بلوک رامجرد و حدود ۳۴ هزار هکتار از اراضی منطقه کربال و کناره مرودشت را تأمین کرده و همچنین نیروگاه این سد سالانه ۴۵/۵ گیگاوات ساعت برق تولید می‌کند.

توزیع آب در سطح رامجرد به روش مدرن و در سایر اراضی پایین دست سد به روش نیمه مدرن و سنتی صورت می‌گیرد، میزان اراضی رو به افزایش بوده و با تمام طرح‌های در دست اجرا به ۱۱۲ هزار هکتار خواهد رسید. همچنین از طریق سد درودزن آب شرب شهر شیراز - مرودشت و تعدادی از روستاهای بین راه و موسسات بزرگ صنعتی نزدیک و نیز آب صنعتی برای مصارف صنایع پتروشیمی نیز تأمین می‌شود.

پس از اتمام پروژه ساخت سد در سال ۱۳۵۱ پروژه‌های مختلفی جهت احداث کانال‌ها، زهکش‌ها و شبکه‌های آبیاری در دست اجرا بوده است که می‌توان به زهکش در مناطق رامجرد، کربال، بیضا، دشت آهوچر و بازسازی بندهای امیر، موان، تیلکان و پوشش بتنی کانال‌های اصلی، درجه یک، درجه دو، سه و چهار پایین دست سد اشاره کرد.

بنابراین، پایش کوتاه‌مدت تغییرات مساحت سطح آب سد درودزن تأثیر مستقیم و مؤثری در پیشگیری سیل، پایداری اکوسیستم منطقه و تنوع زیستی آن دارد. مکان و شکل سد درودزن در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

ماهواره سنتینل-B1 در آوریل ۲۰۱۶ با اختلاف فاز مداری ۱۸۰ درجه در مدار قرار گرفت. این مأموریت‌ها با بهره‌گیری از یک سیستم رادار با روزنه مصنوعی (SAR) در باند C، عملکردی مستقل از شرایط آب و هوایی و شبانه‌روزی دارند، که مزیت این تصاویر بر تصاویر نوری به شمار می‌آید. جدول (۱) ویژگی‌های مأموریت سنتینل-۱ را نشان می‌دهد [۳۴].

مشکل ابر را نیز ندارند، و در نتیجه جایگزین مناسبی محسوب می‌شوند. مطالعاتی در مورد استخراج مساحت سطح آب با استفاده از داده‌های مأموریت سنتینل-۱ انجام شده است [۳۲ و ۳۳]، اما اشکال این مطالعات روش‌های پیچیده آن‌ها است. بنابراین، اهداف اصلی این مطالعه (۱) ایجاد سری زمانی ماهانه مساحت سطح آب سد درودزن شیراز با استفاده از دو پلاریزه VV و VH تصاویر SAR مأموریت سنتینل-۱ برای سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹؛ (۲) پیدا کردن حدآستانه جدایی آب و غیرآب در تصاویر؛ (۳) پایش ماهانه مساحت سطح آب سد درودزن شیراز در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ براساس حدآستانه؛ (۴) تجزیه و تحلیل و مقایسه مساحت سطح آب بدست آمده از دو پلاریزه VV و VH با داده‌های محلی مساحت سطح آب سد درودزن شیراز و انتخاب پلاریزه مناسب برای تعیین مساحت، است.

۲- منطقه مورد مطالعه

سد مخزنی درودزن (عرض جغرافیایی $30^{\circ}12'28''$ و طول جغرافیایی $52^{\circ}25'5''$) در ۷۰ کیلومتری شمال غرب شیراز - مرودشت، بر روی رودخانه کُر در سال ۱۳۵۱ هجری شمسی احداث گردیده است و با تنظیم حدود ۷۶۰ میلیون مترمکعب آب در سال، آب کشاورزی حدود ۴۲ هزار هکتار از

۳- داده‌های مورد استفاده

۳-۱- تصاویر سنجش‌ازدور

مأموریت سنتینل-۱ اولین مأموریت از پنج مأموریتی است که آژانس فضایی اروپا (ESA) تحت برنامه گیرنیکوس طراحی نموده است. ماهواره سنتینل-A1 در آوریل ۲۰۱۴ و

^۱ European Space Agency
^۲ April

جدول ۱- مشخصات مأموریت سنتینل-۱ A و B [۳۴]

سنیتیل-۱ A و B	مأموریت
۳ آوریل ۲۰۱۴ و ۲۵ آوریل ۲۰۱۶	زمان ارسال
خورشید آهنگ - شبه قطبی (Near-Polar)	نوع مدار
۶۹۳	ارتفاع مداری (کیلومتر)
۹۸٫۱۸	میل مداری (درجه)
۶	دوره تکرار (Repeat Cycle) با دو ماهواره (روز)
C	باند
۵٫۴۰۵	فرکانس مرکزی (گیگاهرتز)
VV, HH, VV+VH, HH+HV	پلاریزاسیون

این مأموریت در چهار مد منحصربه‌فرد با حداقل توان تفکیک ۵ متر و حداکثر عرض برداشت ۴۰۰ کیلومتر عمل می‌کند. مد برداشت IW با یک توان تفکیک هندسی مناسب به طور پیش فرض جهت حصول داده از نواحی خشکی طراحی شده است. جدول (۲) ویژگی مدهای برداشت مختلف را نشان می‌دهد [۳۴].

داده‌های این مأموریت در سطوح صفر (Level-0)، یک (Level-1)، و دو (Level-2) پردازش شده‌اند. داده‌های سطح

صفر داده‌های خامی هستند که مبنای پردازش‌های سطح بالاتر قرار می‌گیرند. داده‌های سطح یک به دو فرمت ارائه می‌شوند. فرمت SLC (Single Look Complex) شامل داده-های ژئورفرنس شده و تک منظر در هندسه مایل است.

فرمت GRD (Ground Range Detected) شامل داده‌های SAR با پردازش چندمنظری و تبدیل شده از هندسه مایل به هندسه زمینی با استفاده از یک مدل بیضوی از زمین است. در این نوع داده‌ها علاوه بر کاهش نویز لکه‌ای و توان تفکیک مکانی، اطلاعات فاز وجود نداشته و فقط حاوی اطلاعات دامنه هستند. داده‌های سطح دو شامل مؤلفه‌هایی برای مطالعه وزش باد و وضعیت امواج در سطح اقیانوس هستند [۳۴].

در مطالعه حاضر، از تصاویر سطح یک GRD، در حالت IW با دو پلاریزه VV و VH [۲۸]، تولید شده توسط سنتینل-۱ A (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) در سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ استفاده شد. همچنین به دلیل مشخص بودن تمام محدوده سد درودزن در تک تصویر نیازی به موزاییک جفت یا چند تصویر نبود. تصاویر مورد استفاده در این مطالعه در جدول (۳) آمده است.

جدول ۲- مشخصات مدهای مختلف برداشت مأموریت سنتینل-۱ [۳۴]

پلاریزاسیون	عرض برداشت (کیلومتر)	توان تفکیک مکانی (متر)	زاویه فرود (درجه)	مد
HH+HV, VV+VH, HH, VV	۸۰	۵×۵	۱۸٫۳ – ۴۶٫۸	Stripmap
HH+HV, VV+VH, HH, VV	۲۵۰	۵×۲۰	۲۹٫۱ – ۴۶	Interferometric Wide Swath
HH+HV, VV+VH, HH, VV	۴۱۰	۲۰×۴۰	۱۸٫۹ – ۴۷	Extra Wide Swath
HH, VV	۲۰×۲۰	۵×۵	۲۱٫۶ – ۲۵٫۱ ۳۴٫۸ – ۳۸	Wave

جدول ۳- داده‌های مورد استفاده مأموریت سنتینل-۱ برای سد درودزن شیراز

Sentinel-1A		تصاویر مورد استفاده
ژانویه ۲۰۱۸ – نوامبر ۲۰۱۹	بازه مطالعاتی	
۲۹	تک تصویر	
۱	سطح	
GRD	مد	
IW	حالت	
۳۰ – ۳۹	زاویه فرود (درجه)	
صعودی ^۱	گذر	
۵×۲۰	توان تفکیک مکانی (متر)	
۲۵۰	عرض برداشت (کیلومتر)	
VV و VH	پلاریزاسیون	

^۱ Ascending



شکل ۲- پوشش مکانی تصاویر راداری مأموریت سنتینل-1A مورد استفاده در این مطالعه

۲-۳- داده‌های محلی مساحت و اعتبارسنجی

برای اعتبارسنجی و مقایسه مساحت‌های سطح آب بدست آمده از تصاویر مأموریت سنتینل-1A، داده‌های مساحت سطح آب سد درودزن شیراز از شرکت سهامی مدیریت منابع آب ایران (<https://www.wrm.ir/>) گرفته شد. این شرکت در گزارش دوره‌ای وضعیت هیدرولوژیکی و هواشناسی سدهای ایران که شامل اطلاعاتی مثل بارندگی، تبخیر، ورودی، تراز سطح آب، حجم مخزن، مساحت سطح آب مخزن سد و متوسط دما است، مقادیر مربوط به هر پارامتر را به صورت روزانه ارائه می‌کند. لذا با توجه به تاریخ هر تصویر و مساحت بدست آمده از آن، مساحت محلی مربوط به آن تاریخ را استخراج کرده و مقایسه بین مساحت بدست آمده از تصاویر و مساحت‌های محلی جهت اعتبارسنجی نتایج انجام شد.

۴- روش تحقیق

شکل (۳)، روش کلی استفاده شده در این مطالعه را نشان می‌دهد. ابتدا، از نرم افزار اسنپ (SNAP)^۱ برای پیش‌پردازش تصاویر سنتینل-1A و بدست آوردن ضرایب بازپراکنش^۲ پلاریزاسیون‌های VH و VV استفاده شد. با رسم هیستوگرام^۳ تصاویر مشاهده شد که تمامی آن‌ها

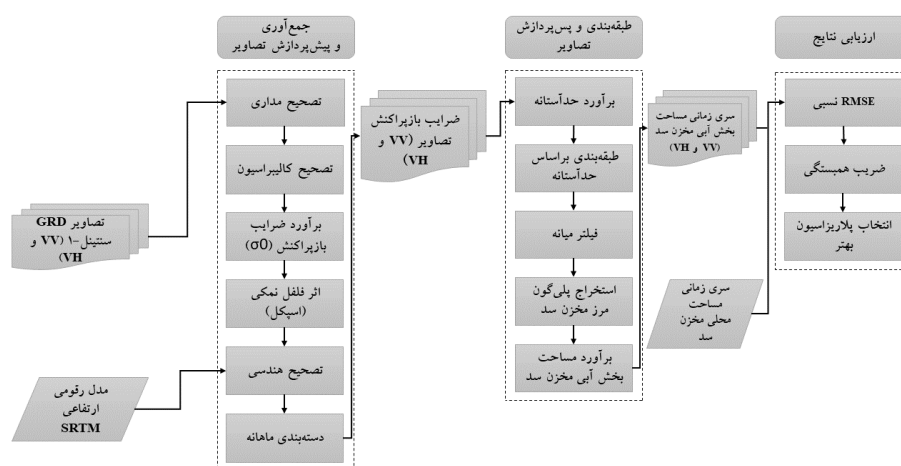
دارای دو قله هستند. لذا درجه خاکستری با کمترین فراوانی بین دو قله به عنوان حدآستانه تفکیک آب از غیر آب در نظر گرفته شده و تصاویر باینری (تشخیص بخش آب از خشکی) شدند. تعیین حدآستانه در باینری کردن تصاویر به منظور تشخیص مرز میان آب و خشکی انجام می‌شود که مقادیر کمتر از حدآستانه آب و بیشتر خشکی را نشان می‌دهد. فیلتر میانه^۴ با اندازه ۱۵ به منظور حذف پیکسل‌های منفرد از تصاویر طبقه‌بندی شده اعمال شد. سپس تصاویر برداری شده (تبدیل به Shapefile) و پلی-گون مرز مخزن سد درودزن استخراج شدند. پس از آن پلی‌گون‌های با مساحت کمتر حذف شده و مساحت بخش آبی مخزن سد درودزن محاسبه شد. مراحل پس‌پردازش در نرم‌افزارهای MATLAB و ArcMap صورت گرفت. درنهایت سری زمانی مساحت سطح آب مخزن سد درودزن تشکیل شده و با سری زمانی مساحت‌های محلی با دو پارامتر RMSE نسبی (نسبت مقدار RMSE به میانگین مساحت‌های محلی) و ضریب همبستگی برای پلاریزاسیون‌های VH و VV محاسبه و برای ارزیابی و مقایسه استفاده شد.

^۱ Sentinels Application Platform

^۲ Backscattering Coefficient

^۳ Histogram

^۴ Median



شکل ۳- فلوجارت روش تحقیق استفاده شده در این مطالعه

۴-۱- پیش‌پردازش تصاویر

هندسی با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی SRTM 1Sec HGT انجام شد. (۶) در نهایت، تمامی تصاویر به منظور وضوح بهتر به مقیاس لگاریتمی (دسی‌بل) انتقال یافتند.

۴-۲- طبقه‌بندی تصاویر براساس حدآستانه مستخرج از هیستوگرام

در طول دهه گذشته، روش‌های زیادی برای استخراج پهنه‌های آب از تصاویر SAR توسعه داده شده است، مانند تفسیر بصری^۳ [۳۵ و ۳۶]، تجزیه و تحلیل بافت تصویر^۴ [۳۷]، حدآستانه هیستوگرام [۳۸]، روش تشخیص لبه^۵ [۳۹]، و مدل‌های منحنی میزان فعال آمار مبنای عکس^۶ [۳۷ و ۴۰]. در برخی از مطالعات، از روش حدآستانه به عنوان یک روش کارآمد و ساده برای استخراج پهنه‌های آبی یاد شده است [۳۹]. به طور کلی، نکته اصلی تعیین مقدار حدآستانه است [۴۱]. اکثراً از روش‌های تجربی برای تعیین مقدار حدآستانه استفاده شده است [۲۲]. حد آستانه‌های سطح خاکستری تجربی تعریف شده برای طبقه‌بندی بستگی زیادی به توانایی اپراتور در تشخیص درجات خاکستری و اطلاع دقیق از ویژگی‌های تصویر پهنه آبی دارد که به دلیل ارزیابی شخص ممکن است منجر به دقت‌های متغیر شود. روش‌های دیگر برای انتخاب حدآستانه شامل روش اوتسو [۴۲]، روش حداکثر آنتروپی^۷ [۴۳] و روش حداقل واریانس بین طبقه‌ای^۸

زمانی که موج الکترومغناطیس به طور خاص از سطح آب‌های ساکن منعکس می‌شود، پیکسل‌های آب در مقایسه با پیکسل‌های خاک و پوشش‌های گیاهی کمترین میزان بازپراکنش را دارند. بنابراین، هرچاکه ضریب بازپراکنش کمترین مقدار باشد، رطوبت خاک بیشتر یا سطح روی زمین منعکس‌کننده آب است. در مطالعه ما، از ضرایب بازپراکنش پلاریزاسیون‌های VH و VV برای استخراج سطح آب سد درودزن شیراز استفاده شد.

از نرم‌افزار SNAP
(<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/toolboxes/sentinel-1>)

ارائه شده توسط آژانس فضایی اروپا (ESA) برای پیش-پردازش تصاویر سنتینل-۱A^۱ استفاده شد. مراحل پیش-پردازش تصاویر شامل ۶ مرحله به این صورت است: (۱) تصاویر پلاریزاسیون VH و VV از منطقه مطالعاتی جهت تشکیل تصاویر کوچک‌تر شامل سد درودزن به منظور کاهش حجم تصاویر و تسریع در پردازش با یک پنجره مستطیلی برش داده شدند. (۲) تصحیح مداری تصاویر سنتینل-۱A^۱ با استفاده از فایل‌های مداری مختص خود انجام شد. (۳) باندهای σ_0 تصاویر سنتینل-۱A^۱ از طریق اعمال تصحیح رادیومتریک کالیبراسیون ایجاد شد. (۴) از فیلتر لی (فیلترهای Frost، لی سیگما^۱ و لی تعمیم‌یافته^۲ نیز مورد ارزیابی قرار گرفتند که فیلتر لی نتیجه بهتری را بدست داد) با اندازه پنجره ۵×۵ جهت حذف نویزهای موجود در تصاویر (اثر فلفل نمکی) استفاده شد. (۵) تصحیح

^۳ Visual Interpretation

^۴ Image Texture

^۵ The Edge Detection Approach

^۶ Image Statistic-Based Active Contour Models

^۷ Maximum Entropy Method

^۸ Minimum Interclass Variance Method

^۱ Lee Sigma

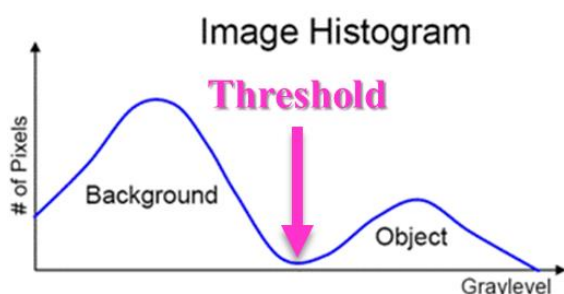
^۲ Refined Lee

تفکیک آب از غیر آب در نظر گرفته می‌شود. شکل (۴)، یک هیستوگرام بایمودال به همراه حدآستانه انتخابی را نشان می‌دهد. این الگوریتم به عنوان روشی نه چندان پیچیده بهره‌وری محاسباتی بالایی دارد [۴۶]. بیان ریاضی بخش‌بندی براساس حدآستانه را می‌توان برای تصویری با پوشش آب و غیر آب به صورت زیر (روابط (۲ و ۱)) نوشت:

$$\text{Background Pixels [non-water]} \\ \{f(m,n):f(m,n)>T\} = 1 \quad (1)$$

$$\text{Object Pixels [water]} \\ \{f(m,n):f(m,n)\leq T\} = 0 \quad (2)$$

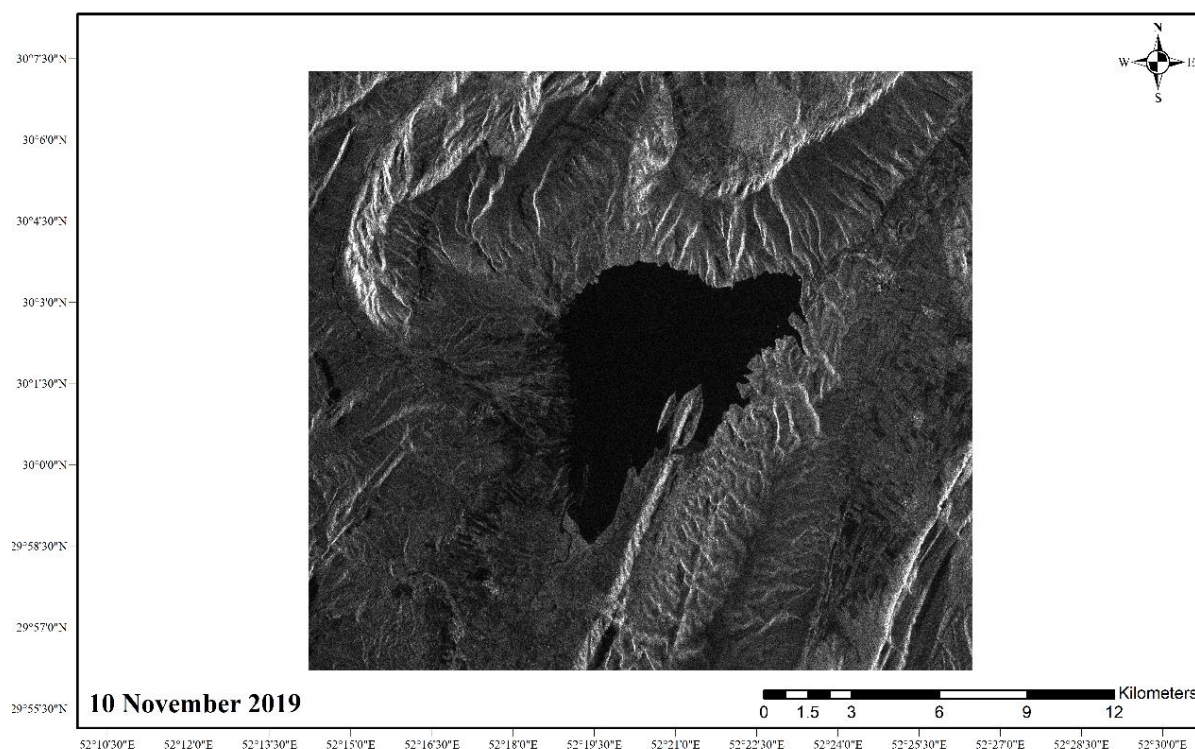
در روابط فوق: $f(m,n)$ مقدار پیکسل با سطر m و ستون n و T حدآستانه می‌باشد.



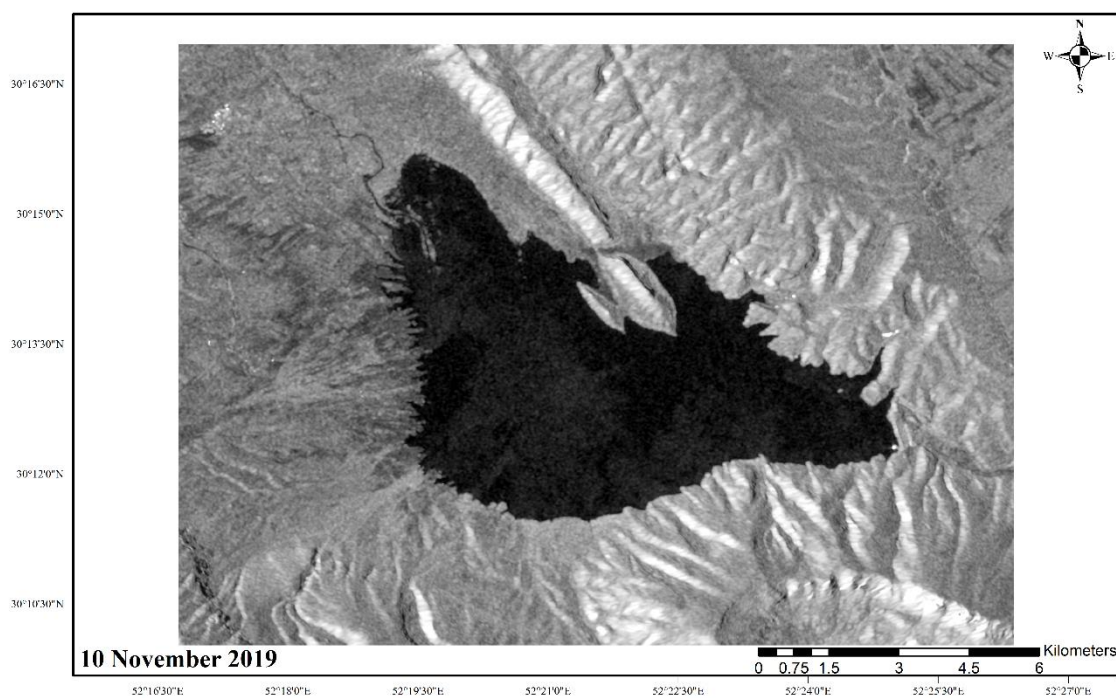
شکل ۴- هیستوگرام بایمودال و حدآستانه انتخابی [۴۷].

[۴۴] بوده که همگی محاسباتی، وقت‌گیر و پیچیده هستند. در این مطالعه، از روش کارآمد و ساده برای انتخاب حدآستانه استفاده شده است.

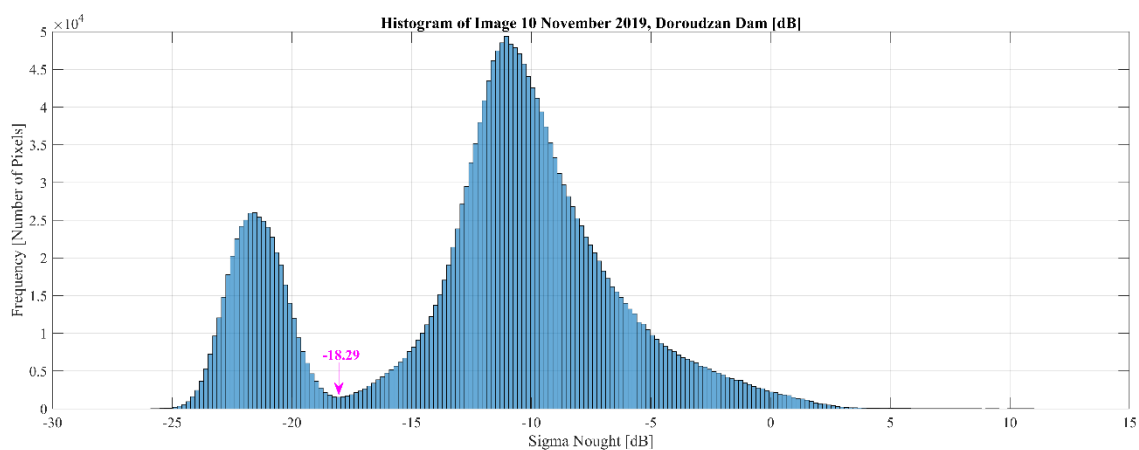
هدف از طبقه‌بندی تصاویر ساده‌سازی و تجزیه و تحلیل آسان آن‌ها است. روش حدآستانه ساده‌ترین روش برای طبقه‌بندی تصاویر بوده و مسئله مهم در آن نحوه انتخاب حدآستانه است. الگوریتم‌های بخش‌بندی تصویر براساس یکی از حالات ناپیوستگی در مقادیر شدت و یا شباهت در مقادیر شدت هستند. بخش‌بندی تصویر براساس حدآستانه مبتنی بر هیستوگرام در دسته دوم قرار می‌گیرد. هیستوگرام تصویر، فراوانی پیکسل‌ها را برای درجات خاکستری مختلف تصویر نمایش می‌دهد. در تصویری که هیستوگرام آن‌ها دارای دو قله است (بایمودال (Bimodal)، انتخاب یک حدآستانه برای طبقه‌بندی تصویر کافی است. در هیستوگرام تصاویر فوق می‌توان حداقل مقدار بین دو قله را به عنوان حدآستانه طبقه‌بندی تصویر انتخاب کرد [۴۵]. چون پیکسل‌های محل جدایی دو محیط آب و خشکی دارای کمترین فراوانی می‌باشد؛ تعداد زیادی پیکسل آب و خشکی داریم، لذا لبه دو محیط دارای درجه خاکستری بوده و کمترین تعداد را دارد به همین دلیل درجه خاکستری با کمترین فراوانی بین دو قله به عنوان حدآستانه



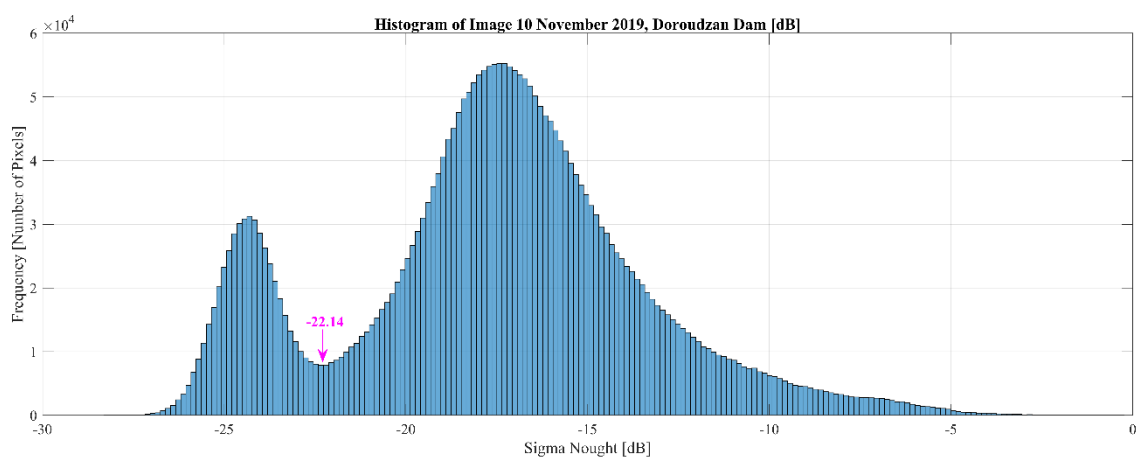
شکل ۵- تصویر برش داده شده مأموریت سنتینل-۱A از سد درودزن شیراز



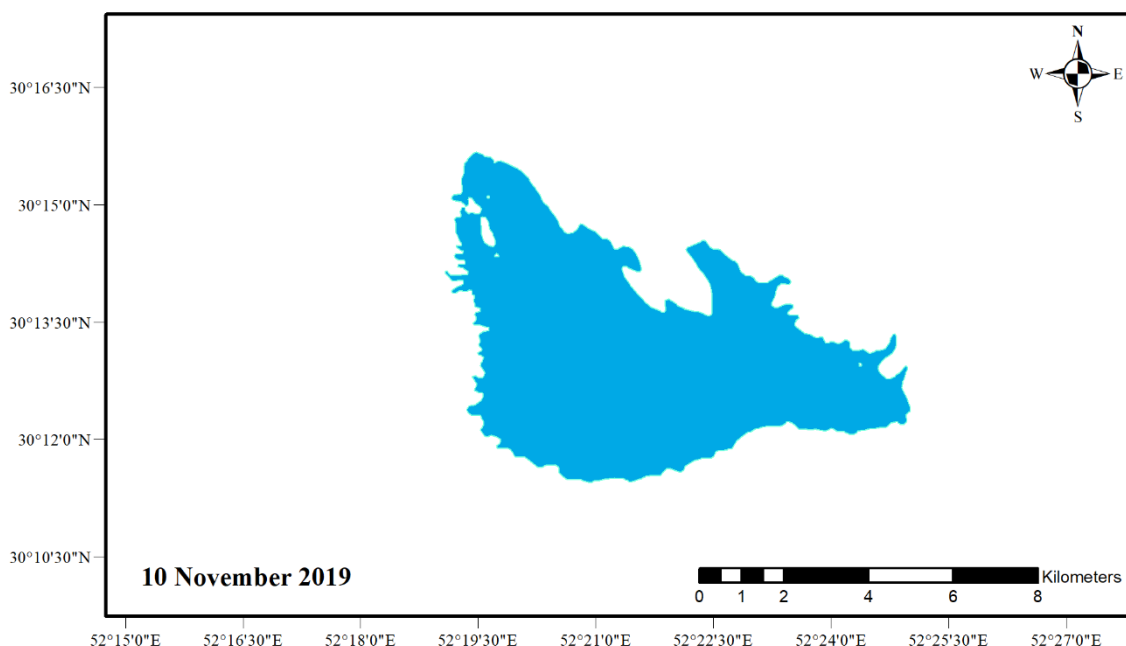
شکل ۶- خروجی نهایی تصویر پس از انجام مراحل پیش پردازش



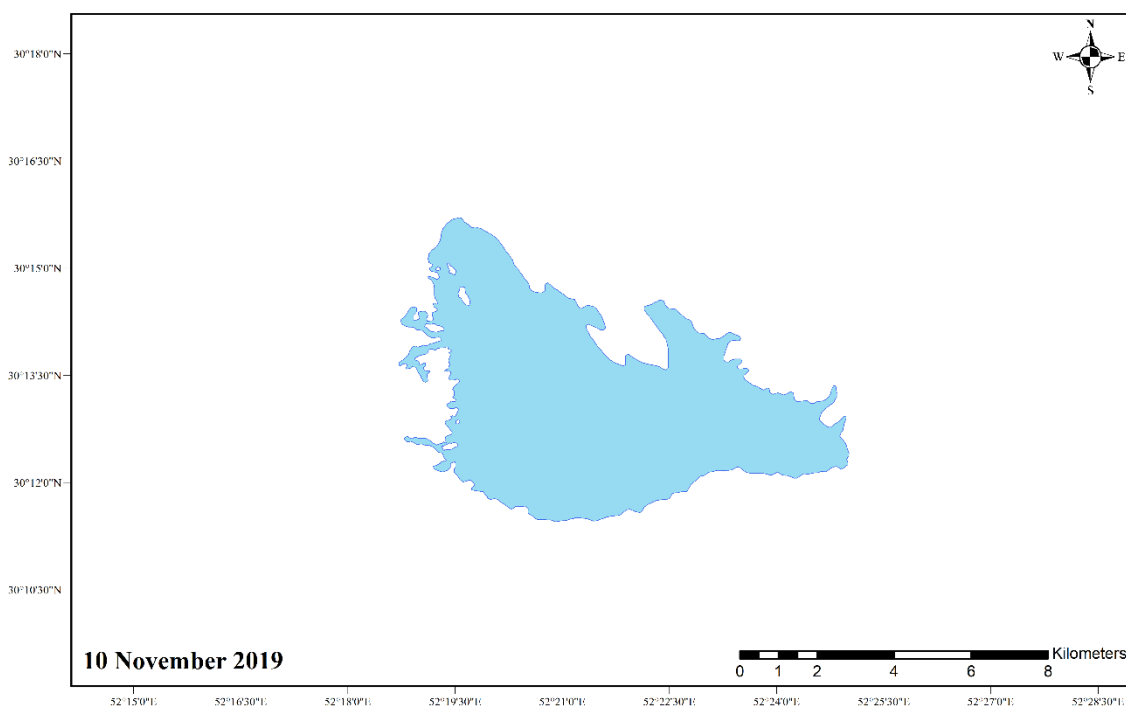
شکل ۷- هیستوگرام پلاریزه VH از سد درودزن در تاریخ ۱۰ نوامبر ۲۰۱۹. مقدار حدآستانه برای تفکیک بخش آب از غیر آب ۱۸/۲۹- است



شکل ۸- هیستوگرام پلاریزه VH از سد درودزن در تاریخ ۱۰ نوامبر ۲۰۱۹. مقدار حدآستانه برای تفکیک بخش آب از غیر آب ۲۲/۱۴- است



شکل ۹- استخراج بخش آبی سد درودزن حاصل از پلاریزه VV مأموریت سنتینل-A1 پس از اعمال فیلتر میانه با اندازه ۱۵ و برآورد مساحت سطح آب مخزن سد در تاریخ ۱۰ نوامبر ۲۰۱۹



شکل ۱۰- استخراج بخش آبی سد درودزن حاصل از پلاریزه VH مأموریت سنتینل-A1 پس از اعمال فیلتر میانه با اندازه ۱۵ و برآورد مساحت سطح آب مخزن سد در تاریخ ۱۰ نوامبر ۲۰۱۹

۳-۴- شاخص‌های ارزیابی نتایج

معرف میزان ارتباط مستقیم (خطی) نتایج و داده‌های مرجع ارزیابی، استفاده شده است. معادلات ریاضی این دو شاخص را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

$$RMSE_{x,y} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}} \quad (3)$$

در پژوهش حاضر به منظور ارزیابی نتایج، از دو شاخص متوسط ریشه میانگین مربعات (RMSE) به عنوان شاخص معرفی کننده دقت نتایج (رابطه (۳)) و همچنین ضریب همبستگی (R) (روابط (۴ و ۵)) به عنوان شاخص

میزان ارتباط (مستقیم یا معکوس) را نشان می‌دهد. همچنین مقدار RMSE هرچه کوچک‌تر باشد، بهتر است.

$$Cov(x,y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n} \quad (4)$$

$$R = \frac{Cov(x,y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (5)$$

۵- نتایج پردازش پلاریزاسیون VH و VV تصاویر مأموریت Sentinel-1A

پس از انجام مراحل پیش‌پردازش و پس‌پردازش روی تصاویر، سری زمانی مساحت سطح آب از پلاریزاسیون‌های VH و VV تصاویر منطقه مورد مطالعه استخراج گردید. جدول (۴) مقادیر حدآستانه جهت جداسازی بخش آبی از تصاویر به همراه مساحت محاسبه شده برای آن‌ها را نشان می‌دهد.

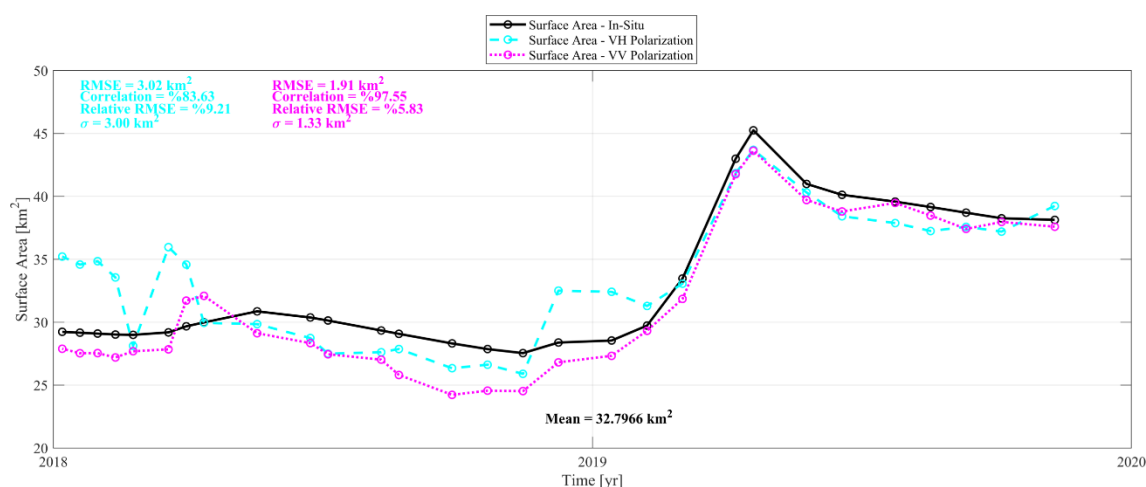
در روابط فوق: x_i نتایج حاصل و $\bar{x}$ میانگین آن، y_i داده‌های مرجع و $\bar{y}$ میانگین آن، n تعداد داده‌ها، σ_x انحراف معیار نتایج، σ_y انحراف معیار داده‌های مرجع و $Cov(x,y)$ کوواریانس دو سری داده است. ضریب همبستگی مقادیری بین ۱- تا ۱+ را اختیار می‌کند که هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد، همبستگی مستقیم بیشتری میان دو سری داده را معرفی خواهد کرد. از طرفی علامت این پارامتر،

جدول ۴- مقادیر حدآستانه جهت طبقه‌بندی تصاویر و مساحت‌های محاسبه شده

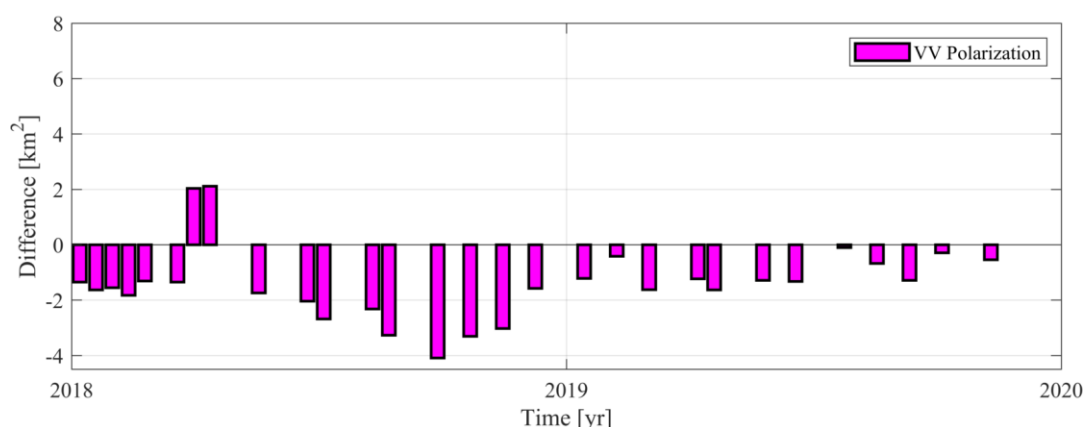
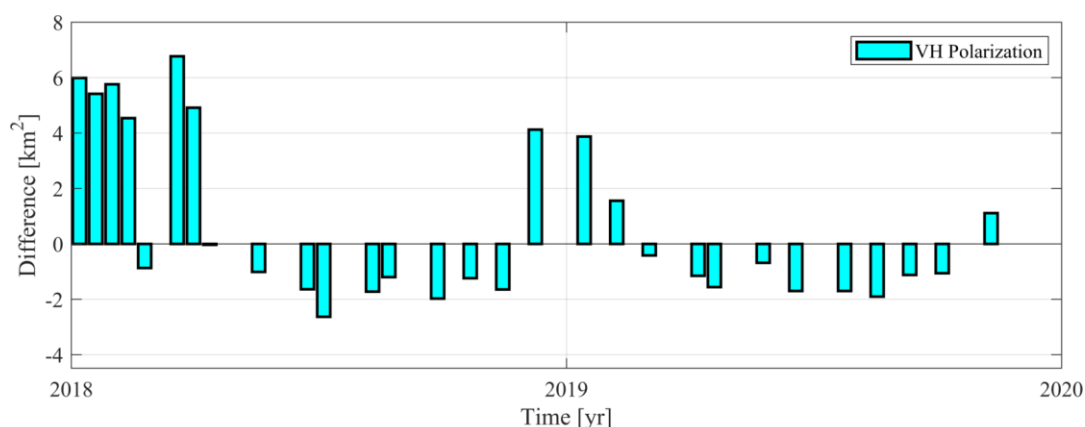
تاریخ	حد آستانه (دسی‌بل)	مساحت با پلاریزه VH (کیلومتر مربع)	حد آستانه (دسی‌بل)	مساحت با پلاریزه VV (کیلومتر مربع)
۷ ژانویه ۲۰۱۸	-۲۲٫۳۲	۳۵٫۲۱۷۹	-۱۶٫۴۰	۲۷٫۸۸۶۱
۱۹ ژانویه ۲۰۱۸	-۲۲٫۳۳	۳۴٫۵۷۴۶	-۱۷٫۶۷	۲۷٫۵۳۱۰
۳۱ ژانویه ۲۰۱۸	-۲۲٫۴۳	۳۴٫۸۴۴۳	-۱۷٫۶۰	۲۷٫۵۳۶۸
۱۲ فوریه ۲۰۱۸	-۲۲٫۴۸	۳۳٫۵۵۸۹	-۱۶٫۸۰	۲۷٫۱۹۶۶
۲۴ فوریه ۲۰۱۸	-۲۲٫۳۷	۲۸٫۱۱۴۹	-۱۶٫۹۸	۲۷٫۶۸۴۹
۲۰ مارس ۲۰۱۸	-۲۲٫۰۵	۳۵٫۹۶۰۲	-۱۷٫۳۲	۲۷٫۸۴۳۳
۱ آوریل ۲۰۱۸	-۲۱٫۹۱	۳۴٫۵۳۸۰	-۱۴٫۹۵	۳۱٫۷۰۷۰
۱۳ آوریل ۲۰۱۸	-۲۲٫۶۵	۲۹٫۹۴۳۰	-۱۴٫۶۷	۳۲٫۰۹۱۸
۱۹ مه ۲۰۱۸	-۲۲٫۲۱	۲۹٫۸۴۳۸	-۱۸٫۱۲	۲۹٫۱۲۳۹
۲۴ ژوئن ۲۰۱۸	-۲۲٫۱۳	۲۸٫۷۳۳۲	-۱۷٫۶۵	۲۸٫۳۳۱۴
۶ ژوئیه ۲۰۱۸	-۲۲٫۶۹	۲۷٫۴۹۵۶	-۱۹٫۰۸	۲۷٫۴۵۱۶
۱۱ آگوست ۲۰۱۸	-۲۲٫۲۱	۲۷٫۶۱۱۳	-۱۷٫۱۲	۲۷٫۰۲۰۸
۲۳ آگوست ۲۰۱۸	-۲۱٫۷۱	۲۷٫۸۶۷۷	-۱۸٫۰۸	۲۵٫۸۰۴۷
۲۸ سپتامبر ۲۰۱۸	-۲۲٫۱۳	۲۶٫۳۳۷۸	-۱۸٫۸۳	۲۴٫۲۲۴۱
۲۲ اکتبر ۲۰۱۸	-۲۲٫۱۷	۲۶٫۶۲۰۱	-۱۶٫۹۴	۲۴٫۵۵۴۹
۱۵ نوامبر ۲۰۱۸	-۲۲٫۰۲	۲۵٫۸۹۲۵	-۱۷٫۳۵	۲۴٫۵۱۸۴
۹ دسامبر ۲۰۱۸	-۲۲٫۵۷	۳۲٫۵۰۰۴	-۱۷٫۳۸	۲۶٫۸۰۸۵
۱۴ ژانویه ۲۰۱۹	-۲۲٫۹۷	۳۲٫۴۰۸۲	-۱۸٫۲۶	۲۷٫۳۲۶۵
۷ فوریه ۲۰۱۹	-۲۳٫۰۱	۳۱٫۲۸۵۸	-۱۷٫۷۰	۲۹٫۳۱۸۰
۳ مارس ۲۰۱۹	-۲۲٫۹۲	۳۳٫۰۵۵۴	-۱۶٫۴۴	۳۱٫۸۴۵۴
۸ آوریل ۲۰۱۹	-۲۲٫۱۵	۴۱٫۸۳۶۷	-۱۵٫۵۷	۴۱٫۷۵۷۴
۲۰ آوریل ۲۰۱۹	-۲۲٫۱۰	۴۳٫۶۹۲۵	-۱۶٫۰۰	۴۳٫۶۱۸۷
۲۶ مه ۲۰۱۹	-۲۱٫۳۶	۴۰٫۳۰۷۳	-۱۴٫۷۲	۳۹٫۷۰۸۲
۱۹ ژوئن ۲۰۱۹	-۲۲٫۰۷	۳۸٫۴۱۵۳	-۱۳٫۶۱	۳۸٫۷۹۶۰
۲۵ ژوئیه ۲۰۱۹	-۲۱٫۹۹	۳۷٫۸۷۷۴	-۱۳٫۴۷	۳۹٫۴۷۵۳
۱۸ آگوست ۲۰۱۹	-۲۲٫۱۹	۳۷٫۲۴۳۴	-۱۴٫۱۱	۳۸٫۴۷۷۵
۱۱ سپتامبر ۲۰۱۹	-۲۱٫۶۸	۳۷٫۵۷۷۶	-۱۵٫۴۴	۳۷٫۴۱۱۲
۵ اکتبر ۲۰۱۹	-۲۱٫۵۴	۳۷٫۱۹۹۰	-۱۵٫۱۷	۳۷٫۹۶۶۰
۱۰ نوامبر ۲۰۱۹	-۲۲٫۱۴	۳۹٫۲۳۸۰	-۱۸٫۲۹	۳۷٫۵۸۸۵

RMSE صورت پذیرفت (شکل ۱۱). همچنین، شکل (۱۲)، اختلاف بین مساحت‌های سطح آب بدست آمده از پلاریزه VH و VV با مساحت‌های محلی را نشان می‌دهد.

مقایسه سری زمانی مساحت سطح آب مخزن سد درودزن بدست آمده از پلاریزاسیون‌های VH و VV با سری زمانی مساحت‌های محلی، با دو پارامتر ضریب همبستگی و



شکل ۱۱- سری‌های زمانی مساحت‌های حاصل از پردازش پلاریزاسیون VH و VV تصاویر مأموریت سنتینل-۱A و مساحت‌های محلی برای سد درودزن شیراز



شکل ۱۲- اختلاف بین مساحت‌های سطح آب بدست آمده از پلاریزه VH و VV مأموریت سنتینل-۱A و مساحت‌های محلی مخزن سد درودزن

۵/۸۳٪ و همبستگی ۹۷/۵۵٪ را نشان می‌دهد. لذا مساحت‌های بدست آمده از پلاریزه VV دقیق‌تر از مساحت‌های بدست آمده از پلاریزه VH بوده و روش

نتایج مقایسه سری زمانی بدست آمده از داده‌های محلی با پلاریزه VH، مقدار RMSE نسبی ۹/۲۱٪ و همبستگی ۸۳/۶۳٪ و با پلاریزه VV، مقدار RMSE نسبی

کارآمد و ساده به کار گرفته شده در این پژوهش توانسته عملکرد خوبی را در استخراج مرز آبی و خشکی و برآورد مساحت سطح آب‌های درون سرزمینی کوچک مانند سد را نشان دهد.

۶- بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه، حد‌آستانه‌هایی برای استخراج مساحت سطح آب سد درودزن شیراز به صورت ماهانه براساس پلاریزاسیون‌های VV و VH تصاویر SAR مأموریت سنتینل-۱A با توان تفکیک مکانی ۱۰ متر محاسبه شده، و تغییرات مساحت سطح آب سد درودزن در بازه زمانی ژانویه ۲۰۱۸ تا نوامبر ۲۰۱۹ مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه‌گیری‌های اصلی به شرح زیر است:

۱- مقدار حد‌آستانه‌ها برای طبقه‌بندی تصاویر و تفکیک آب از غیرآب برای پلاریزه VH ۲۱/۳۶- تا ۲۳/۰۱- دسی‌بل و برای پلاریزه VV از ۱۳/۴۷- تا ۱۹/۰۸- دسی‌بل متغیر است.

۲- پلاریزه VV با RMSE نسبی ۵/۸۳٪ و همبستگی ۹۷/۵۵٪ نسبت به مساحت‌های محلی از پلاریزه VH که مقدار RMSE نسبی ۹/۲۱٪ و همبستگی ۸۳/۶۳٪ را در مقایسه با مساحت‌های محلی نتیجه داد، دقت بالاتری را نشان می‌دهد. مقدار ضریب بازپراکنش پلاریزه VH از پلاریزه VV در سطوح مسطح کمتر است زیرا تنها بخش کوچکی از سیگنال بازگشتی پلاریزه شده و به سنسور بازمی‌گردد. عموماً پلاریزه VH از پلاریزه VV حساس‌تر

نیست. اما اغلب برای توصیف تغییرات در بازپراکنش حجم (از پوشش گیاهی یا برف) مناسب‌تر است. پلاریزه VV نسبت به پوشش آبی از پلاریزه VH حساس‌تر بوده و در اثر تغییرات فصلی پایدارتر از پلاریزه VH است. همچنین در دو شرایط ممکن است پلاریزه VH نتیجه بهتری از پلاریزه VV دهد، (۱) باد آرام و (۲) هوای بارانی، با این همه این شرایط همواره صادق نیست و می‌بایست رفتار کلی پلاریزاسیون را باتوجه به شرایط خاص بیان داشت.

۳- مساحت سطح آب مخزن سد درودزن در اسفند ماه سال ۱۳۹۶ شروع به افزایش کرده، و پس از آن در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۷ شروع به کاهش کرده است؛ همچنین در آذر ماه سال ۱۳۹۷ دوباره شروع به افزایش کرده و پس از آن در خرداد ماه سال ۱۳۹۸ شروع به کاهش کرده است. مساحت سطح آب بدست آمده از پلاریزه VV برای مخزن سد درودزن در ۳۱ فروردین ماه سال ۱۳۹۸ با ۴۳/۶۱۸۷ کیلومترمربع بیشترین و در ۶ مهرماه سال ۱۳۹۷ با ۲۴/۲۲۴۱ کیلومترمربع کمترین مقدار خود را داشته است که با نتایج میدانی سازگاری دارد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از شرکت سهامی مدیریت منابع آب ایران برای در اختیار گذاشتن داده‌های محلی، جهت اعتبارسنجی و ارزیابی نتایج، و همچنین، آژانس فضایی اروپا (ESA) برای فراهم کردن تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این مطالعه کمال تشکر و قدردانی را داریم.

مراجع

- [1] Y. Cheng, R. ~J. Niemeyer, Y. Mao, J. ~R. Yearsley, and B. Nijssen, "Climate Change Impacts on River Temperature in the Southeastern United States: A Case Study of the Tennessee River Basin," in AGU Fall Meeting Abstracts, Dec. 2016, vol. 2016, pp. H33C-1545.
- [2] T. Y. Chiang, Y. H. Perng, and L. E. Liou, "Impact and Adaptation Strategies in Response to Climate Change on Taiwan's Water Resources," in Civil, Architectural, Structural and Construction Engineering, 2017, vol. 858, pp. 335-341, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.858.335.
- [3] I. Klein, U. Gessner, A. J. Dietz, and C. Kuenzer, "Global WaterPack - A 250 m resolution dataset revealing the daily dynamics of global inland water bodies," Remote Sens. Environ., vol. 198, pp. 345-362, Sep. 2017, doi: 10.1016/J.RSE.2017.06.045.
- [4] L. Feng, C. Hu, X. Chen, X. Cai, L. Tian, and W. Gan, "Assessment of inundation changes of Poyang Lake using MODIS observations between 2000 and 2010," Remote Sens. Environ., vol. 121, pp. 80-92, Jun. 2012, doi: 10.1016/J.RSE.2012.01.014.
- [5] C. Giardino, M. Bresciani, D. Stroppiana, A. Oggioni, and G. Morabito, "Optical remote sensing of lakes: an overview on Lake Maggiore," J. Limnol., vol. 73, no. 1s, 2013, doi: 10.4081/jlimnol.2014.817.
- [6] M. E. Hereher, "Environmental monitoring and change assessment of Toshka lakes in southern Egypt using remote sensing," Environ. Earth Sci., vol. 73, no. 7, pp. 3623-3632, 2015, doi: 10.1007/s12665-014-3651-5.

- [7] T. Kutser, D. C. Pierson, K. Y. Kallio, A. Reinart, and S. Sobek, "Mapping lake CDOM by satellite remote sensing," *Remote Sens. Environ.*, vol. 94, no. 4, pp. 535–540, 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.11.009>.
- [8] F. Sun, Y. Zhao, P. Gong, R. Ma, and Y. Dai, "Monitoring dynamic changes of global land cover types: fluctuations of major lakes in China every 8 days during 2000–2010," *Chinese Sci. Bull.*, vol. 59, no. 2, pp. 171–189, 2014, doi: 10.1007/s11434-013-0045-0.
- [9] B. K. Veetil, N. Bianchini, A. M. de Andrade, U. F. Bremer, J. C. Simões, and E. de Souza Junior, "Glacier changes and related glacial lake expansion in the Bhutan Himalaya, 1990–2010," *Reg. Environ. Chang.*, vol. 16, no. 5, pp. 1267–1278, 2016, doi: 10.1007/s10113-015-0853-7.
- [10] R. Wright and E. Pilger, "Satellite observations reveal little inter-annual variability in the radiant flux from the Mount Erebus lava lake," *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, vol. 177, no. 3, pp. 687–694, 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2008.03.005>.
- [11] O. Arino, P. Bicheron, F. Achard, J. Latham, R. Witt, and J. L. Weber, "GlobCover: The most detailed portrait of Earth," *Eur. Sp. Agency Bull.*, vol. 2008, no. 136, pp. 24–31, 2008.
- [12] M. L. Carroll, J. R. Townshend, C. M. DiMiceli, P. Noojipady, and R. A. Sohlberg, "A new global raster water mask at 250 m resolution," *Int. J. Digit. Earth*, vol. 2, no. 4, pp. 291–308, 2009, doi: 10.1080/17538940902951401.
- [13] S. Bontemps, P. Defourny, E. Van Bogaert, O. Arino, V. Kalogirou, and J. Ramos Perez, "GLOBCOVER 2009 Products Description and Validation Report." Accessed: Mar. 31, 2020. [Online]. Available: <http://dup.esrin.esa.it/invitations.asp>.
- [14] R. Tateishi, N. T. Hoan, T. Kobayashi, B. Alsaadeh, G. Tana, and D. X. Phong, "Production of Global Land Cover Data – GLCNMO2008," *J. Geogr. Geol.*, vol. 6, no. 3, 2014, doi: 10.5539/jgg.v6n3p99.
- [15] J. Chen et al., "Global land cover mapping at 30m resolution: A POK-based operational approach," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 103, pp. 7–27, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.09.002>.
- [16] S. K. Jain, A. K. Saraf, A. Goswami, and T. Ahmad, "Flood inundation mapping using NOAA AVHRR data," *Water Resour. Manag.*, vol. 20, no. 6, pp. 949–959, 2006, doi: 10.1007/s11269-006-9016-4.
- [17] S. Kang and S. Y. Hong, "Assessing Seasonal and Inter-Annual Variations of Lake Surface Areas in Mongolia during 2000-2011 Using Minimum Composite MODIS NDVI," *PLoS One*, vol. 11, no. 3, pp. 1–14, 2016, doi: 10.1371/journal.pone.0151395.
- [18] M. Feng, J. O. Sexton, S. Channan, and J. R. Townshend, "A global, high-resolution (30-m) inland water body dataset for 2000: first results of a topographic-spectral classification algorithm," *Int. J. Digit. Earth*, vol. 9, no. 2, pp. 113–133, 2016, doi: 10.1080/17538947.2015.1026420.
- [19] A. P. Liao et al., "High-resolution remote sensing mapping of global land water," *Sci. China Earth Sci.*, vol. 57, no. 10, pp. 2305–2316, 2014, doi: 10.1007/s11430-014-4918-0.
- [20] C. Verpoorter, T. Kutser, D. A. Seekell, and L. J. Tranvik, "A global inventory of lakes based on high-resolution satellite imagery," *Geophys. Res. Lett.*, vol. 41, no. 18, pp. 6396–6402, 2014, doi: 10.1002/2014GL060641.
- [21] J.-F. Pekel, A. Cottam, N. Gorelick, and A. S. Belward, "High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes," *Nature*, vol. 540, no. 7633, pp. 418–422, 2016, doi: 10.1038/nature20584.
- [22] V. Gstaiger, J. Huth, S. Gebhardt, T. Wehrmann, and C. Kuenzer, "Multi-sensoral and automated derivation of inundated areas using TerraSAR-X and ENVISAT ASAR data," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 33, no. 22, pp. 7291–7304, 2012, doi: 10.1080/01431161.2012.700421.
- [23] S. Long, T. E. Fatoyinbo, and F. Policelli, "Flood extent mapping for Namibia using change detection and thresholding with SAR," *Environ. Res. Lett.*, vol. 9, no. 3, 2014, doi: 10.1088/1748-9326/9/3/035002.
- [24] L. Pulvirenti, N. Pierdicca, M. Chini, and L. Guerriero, "An algorithm for operational flood mapping from Synthetic Aperture Radar (SAR) data using fuzzy logic," *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, vol. 11, no. 2, pp. 529–540, 2011, doi: 10.5194/nhess-11-529-2011.
- [25] C. Kuenzer, H. Guo, J. Huth, P. Leinenkugel, X. Li, and S. Dech, "Flood mapping and flood dynamics of the mekong delta: ENVISAT-ASAR-WSM based time series analyses," *Remote Sens.*, vol. 5, no. 2, pp. 687–715, 2013, doi: 10.3390/rs5020687.
- [26] P. Matgen, R. Hostache, G. Schumann, L. Pfister, L. Hoffmann, and H. H. G. Savenije, "Towards an automated SAR-based flood monitoring system: Lessons learned from two case studies," *Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C*, vol. 36, no. 7, pp. 241–252, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.12.009>.
- [27] R. Torres et al., "GMES Sentinel-1 mission," *Remote Sens. Environ.*, vol. 120, pp. 9–24, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.05.028>.

- [28] C. Cazals et al., "Mapping and characterization of hydrological dynamics in a coastal marsh using high temporal resolution Sentinel-1A images," *Remote Sens.*, vol. 8, no. 7, 2016, doi: 10.3390/rs8070570.
- [29] S. Sima and M. Tajrishy, "Using satellite data to extract volume–area–elevation relationships for Urmia Lake, Iran," *J. Great Lakes Res.*, vol. 39, no. 1, pp. 90–99, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2012.12.013>.
- [30] Z. Duan and W. G. M. Bastiaanssen, "Estimating water volume variations in lakes and reservoirs from four operational satellite altimetry databases and satellite imagery data," *Remote Sens. Environ.*, vol. 134, p. 403–416, Jul. 2013, doi: 10.1016/j.rse.2013.03.010.
- [31] Roohi Mohammad; Fattahi Yalda; Ghanbari Talouki Fatemeh, "Studying of surface and bathymetry changes using integrated LANDSAT-8 images case study: Mamlou Dam, Tehran, Iran," in *Third National Conference on Hydrology of Iran*, Sanandaj, Iran, 2019.
- [32] R. Satelitski and S. I. Automatsko, "RADAR SATELLITE IMAGERY AND AUTOMATIC DETECTION OF WATER BODIES," vol. 50, pp. 5–15, 2016.
- [33] B. Pham-Duc, C. Prigent, and F. Aires, "Surface Water Monitoring within Cambodia and the Vietnamese Mekong Delta over a Year, with Sentinel-1 SAR Observations," *Water*, vol. 9, no. 6, p. 366, May 2017, doi: 10.3390/w9060366.
- [34] ESA, ESA's radar observatory mission for GMES operational services, vol. 1, no. sp-1322/1. 2012.
- [35] P. A. Brivio, R. Colombo, M. Maggi, and R. Tomasoni, "Integration of remote sensing data and GIS for accurate mapping of flooded areas," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 23, no. 3, pp. 429–441, 2002, doi: 10.1080/01431160010014729.
- [36] H. MacIntosh and G. Profeti, "The use of ERS SAR data to manage flood emergencies at the smaller scale," *Eur. Sp. Agency, (Special Publ. ESA SP, no. 383, pp. 243–246, 1996.*
- [37] Schumann G et al., "Demonstrating the high potential of remote sensing in hydraulic modelling and flood risk management." In: *Annual Conference of the Remote Sensing and Photogrammetry Society With the NERC Earth Observation Conference*, Portsmouth, UK: Remote Sens and Photogramm Soc.
- [38] H. L. Matgen P, Henry J, Pappenberger F, Pfister L, de Fraipont P, "Uncertainty in Calibrating Flood Propagation Models With Flood boundaries derived from synthetic aperture radar imagery," in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 2004, vol. 35.
- [39] G. Schumann, G. Di Baldassarre, and P. D. Bates, "The Utility of Spaceborne Radar to Render Flood Inundation Maps Based on Multialgorithm Ensembles," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 47, no. 8, pp. 2801–2807, Aug. 2009, doi: 10.1109/TGRS.2009.2017937.
- [40] M. S. Horritt, D. C. Mason, and A. J. Luckman, "Flood boundary delineation from Synthetic Aperture Radar imagery using a statistical active contour model," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 22, no. 13, pp. 2489–2507, 2001, doi: 10.1080/01431160116902.
- [41] Y. Bazi, L. Bruzzone, and F. Melgani, "Image thresholding based on the EM algorithm and the generalized Gaussian distribution," *Pattern Recognit.*, vol. 40, no. 2, pp. 619–634, Feb. 2007, doi: 10.1016/J.PATCOG.2006.05.006.
- [42] N. Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms," *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.*, vol. 9, no. 1, pp. 62–66, Jan. 1979, doi: 10.1109/TSMC.1979.4310076.
- [43] J. N. Kapur, P. K. Sahoo, and A. K. C. Wong, "A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram," *Comput. Vision, Graph. Image Process.*, vol. 29, no. 3, pp. 273–285, Mar. 1985, doi: 10.1016/0734-189X(85)90125-2.
- [44] K. R. Radhika, G. N. Sekhar, and M. K. Venkatesha, "Pattern recognition techniques in on-line hand written signature verification - A survey," in *2009 International Conference on Multimedia Computing and Systems*, Apr. 2009, pp. 216–221, doi: 10.1109/MMCS.2009.5256701.
- [45] O. J. Tobias and R. Seara, "Image segmentation by histogram thresholding using fuzzy sets," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 11, no. 12, pp. 1457–1465, 2002, doi: 10.1109/TIP.2002.806231.
- [46] L. Zeng, M. Schmitt, L. Li, and X. X. Zhu, "Analysing changes of the Poyang Lake water area using Sentinel-1 synthetic aperture radar imagery," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 38, no. 23, pp. 7041–7069, 2017, doi: 10.1080/01431161.2017.1370151.
- [47] "Theory - Virtual Lab in Image Processing." <http://cse19-iiith.vlabs.ac.in/theory.php?exp=segment> (accessed Apr. 01, 2020).