

شهر آق‌قلا می‌شود. شاخص MNDWI برای محاسبه مساحت پهنه‌های سیلاب هنگامی که سیلاب همراه با گل‌ولای باشد، ۵۲ درصد نتایج بهتری نسبت به NDWI ارائه می‌کند.

واژه‌های کلیدی: آق‌قلا، پهنه‌بندی، سیل، گرگانرود، Sentinel-2, Landsat-8, NDWI, MNDWI.

استخراج پهنه‌های سیلابی با استفاده از نسبت‌گیری طیفی داده‌های ماهواره‌های Landsat-8 و Sentinel-2 (مطالعه موردی: سیل آق‌قلا)

کامران گنجی^۱، سعید قره‌چلو^۲ و احمد احمدی^۳
 تاریخ دریافت: ۹۸/۰۹/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۰۱

مقدمه

سیل یکی از پیچیده‌ترین و مخرب‌ترین رویدادهای طبیعی است و بیش از هر بلای دیگری، جان و مال انسان و شرایط اجتماعی و اقتصادی جامعه را به مخاطره می‌اندازد، هر چند مدیریت صحیح آن می‌تواند منبع بزرگی جهت تامین نیازهای آبی یک منطقه باشد [۲۱]. رودخانه‌های شهری به‌عنوان یک شریان مهم در وجود آمدن شهرها نقش اساسی داشته‌اند، لذا شناسایی رفتار رودخانه‌ها در مواقع سیلابی می‌تواند کمک شایانی به کاهش خسارات کند. اولین اقدام برای شناسایی و کنترل سیلاب‌ها، پهنه‌بندی آن‌ها می‌باشد. نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب را می‌توان برای توسعه تدابیر امداد جامع بلافاصله پس از وقوع سیل مورد استفاده قرار داد. تکنولوژی سنسجش از دور یک روش کارآمد و مؤثر برای تولید داده‌های مورد نیاز برای ایجاد نقشه‌های پهنه‌بندی می‌باشد [۲۲]. از مزایای نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب بدست آمده با استفاده از تصاویر ماهواره‌های سنسجش از دور می‌توان به سری زمانی بودن آن‌ها و هزینه کم اشاره کرد که با مقایسه آن‌ها با مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی می‌توان به صحت سنسجی آن‌ها پی برد [۱۸]. پژوهشگران زیادی در داخل و خارج از کشور در زمینه پهنه‌بندی سیلاب تحقیق کرده‌اند از جمله، خلیلی‌زاده و همکاران [۸]، نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب برای طول ۱۰/۵ کیلومتر از رودخانه زیارت را بدست آورد و به این نتیجه رسید که دوره بازگشت ۵۰ ساله دوره بازگشتی بحرانی برای این حوزه آبریز است. کاردان‌مقدم و همکاران [۷]، پهنه‌های پتانسیل سیل‌خیزی شهر بیرجند را با استفاده از تصاویر ماهواره لندست-۷ و به کمک روش راسمیلر ضریب جریان سیلابی را بدست آوردند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش تداوم شدت بارندگی از میزان ضریب جریان سیلابی کاسته می‌شود. سیان و همکاران [۲]، نقشه‌های پهنه‌بندی سیل را برای شهرهای ونتو (ایتالیا) و ملاوی (اوغاندا) با استفاده از تصاویر Sentinel-1, COSMO-SkyMED, TerraSAR-X و Radarsat-2 بدست آوردند، سپس نقشه‌های پهنه‌بندی بدست آمده

چکیده

امروزه با تغییرات به‌وجود آمده در ساختار محیط‌زیست شاهد وقوع روزافزون بلایای طبیعی از جمله سیلاب‌های ناگهانی در برخی نقاط کشور می‌باشیم. شهرستان آق‌قلا به دلیل عبور رودخانه گرگانرود همواره سیلاب‌های مخربی را تجربه کرده است. در تحقیق حاضر به‌منظور پهنه‌بندی سیلاب رخ داده در فروردین ماه ۱۳۹۸ و برآورد مساحت و تغییرات سری زمانی پهنه‌های سیلابی از تصاویر ماهواره‌های سنتینل-۲ و لندست-۸ به دلیل توان تفکیک مکانی نسبتاً بالا، رایگان و در دسترس بودن استفاده شده است. بعد از پیش پردازش‌های انجام شده بر روی تصاویر، شاخص NDWI و MNDWI بر تصاویر اعمال گردید. مساحت پهنه‌های سیلاب برای سری زمانی مورد نظر بر اساس دو شاخص ذکر شده برای شهرستان و شهر آق‌قلا به تفکیک محاسبه گردید. شاخص MNDWI نسبت به شاخص NDWI برای شناسایی پهنه‌های سیلابی دارای گل‌ولای و پهنه‌های با رطوبت بالا مناسب‌تر است، به همین دلیل مساحت پهنه‌های بدست آمده برای شهرستان و شهر آق‌قلا با استفاده از شاخص MNDWI به ترتیب ۳۸/۵ و ۸۸ درصد از مساحت پهنه‌های بدست آمده از شاخص NDWI بیش‌تر است. بیش‌ترین مساحت پهنه‌های سیلاب مربوط به شاخص MNDWI در تاریخ چهاردهم فروردین ۱۳۹۸ بود که برای شهرستان و شهر آق‌قلا به ترتیب برابر ۲۶۲/۴۵۳ و ۵۱/۰۹۱ کیلومتر مربع می‌باشد، نقشه‌های پهنه‌بندی در این تاریخ ناشی از دبی پیک ۷۳۹ مترمکعب بر ثانیه با دوره بازگشت ۵۰ ساله می‌باشد. با توجه به نقشه‌های بدست آمده بارش با دوره بازگشت ۵۰ ساله باعث آبگرفتگی شمال و شرق

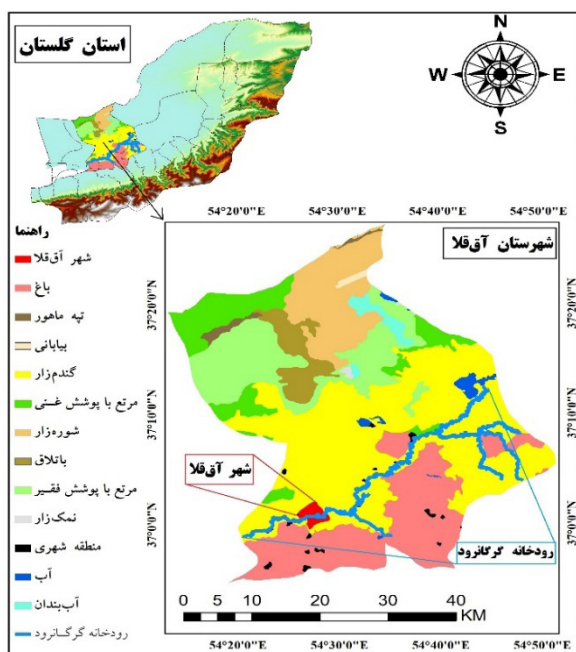
۱- کارشناس ارشد آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه صنعتی شاهرود و نویسنده مسئول؛ ایمیل: Kamraneganji@gmail.com
 ۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود.
 ۳- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود.

با استفاده از سنجنده‌ها را با یکدیگر مقایسه کردند که ۹۶/۷ درصد تطابق بین نقشه‌های پهنه‌بندی سیل اوگاندا و ۹۶/۵ درصد تطابق بین نقشه‌های پهنه‌بندی سیل ونتو وجود داشت، که از آن نقشه‌ها برای مدیریت اضطراری بحران سیلاب استفاده شد. یان‌دو و همکاران [۴]، با استفاده از تصاویر اپتیکی ماهواره سنتینل-۲ و شاخص‌های MNDWI و NDWI و فیلترهای IHS و HPF مساحت آب‌های سطحی را برای مناطق ساحلی و نیز بدست آوردند، نتایج آنان نشان می‌داد که شاخص MNDWI نسبت به شاخص NDWI از دقت بالاتری برخوردار است. کالکان و همکاران [۶]، در حوزه آبریز نینسیفتلیک^۱ ترکیه با استفاده از تصاویر ماهواره IKONOS و نرم‌افزار HEC-RAS نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب را برای دوره بازگشت‌های ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ بدست آوردند. استانکالی و همکاران [۱۹]، به مطالعه حوزه آبریز رودخانه کریسوری^۲ در کشور رومانی با استفاده از تصاویر ماهواره SPOT و TERRA SAR پرداختند و مناطق آسیب دیده و از بین رفته بعد از سیل را با استفاده از نقشه‌های پهنه‌بندی شناسایی کردند. کومار [۹]، برای حوزه آبریز رودخانه راپتی، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ی Sentinel-1 نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب را بدست آورد که مشخص شد در ۸۰ درصد شهر ارتفاع سیلاب به ۱۰۰ سانتی‌متر می‌رسد. مارتینز و همکاران [۱۱]، با استفاده از داده‌های TerraSAR-X در منطقه مونتنگرو و استفاده از الگوریتم حد آستانه و منطق فازی نقشه‌ی پهنه‌های سیلاب را با دقت ۷۸/۵ درصد آوردند. پولویرنتی و همکاران [۱۵]، به کمک داده‌های COSMO-SkyMed بر روی منطقه روماگانا^۳ ایتالیا با استفاده از الگوریتم شناسایی تغییرات، نقشه‌های پهنه‌بندی و کمیت سیلاب را شناسایی کردند. شلفر و همکاران [۱۷]، با مطالعه بر روی رودخانه سورن^۴ انگلستان به کمک تصاویر ماهواره ENVISAT-1 و الگوریتم شناسایی تغییرات، نقشه‌های پیش‌بینی مناطق سیلابی و مقدار آب‌های سطحی در دشت‌ها را محاسبه کردند. کوانگ و همکاران [۱۰]، مساحت آب‌های سطحی رودخانه وولتا^۵ را با استفاده از داده‌های ماهواره‌ی سنتینل-۲ و لندست-۸ به کمک الگوریتم NDWI بدست آوردند و به این نتیجه رسیدند که برای شناسایی آب‌های سطحی تصاویر ماهواره‌ی سنتینل-۲ از دقت بالاتری برخوردار است. گنجی و همکاران [۵]، با استفاده از داده‌های سری زمانی ماهواره‌ی سنتینل-۱ مساحت پهنه‌های سیلابی مربوط به سیل ۱۳۹۸ شهر آق‌قلا را محاسبه کردند، بر اساس نتایج آن‌ها، بیش‌ترین مساحت پهنه‌های سیلاب مربوط به روز سوم فروردین، برابر ۹۶٫۸ کیلومتر مربع بود که ۸۰ درصد شهر دچار آبگرفتگی شده بود. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور در راستای طرح ملی سیمای حوزه‌های آبخیز کشور به‌منظور شناسایی اولویت‌بندی

1. Yeniciftlik
2. Crisuri
3. Romagna
4. Severn
5. Volta River

حوزه‌های آبخیز کشور با نگرش به موضوعات سیل و کاربری اراضی، اطلس جامع سیل را در سال ۱۳۸۵ برای حوزه آبخیز گرگانرود تهیه نمود، بر اساس این اطلس زیرحوزه‌های قره‌سو، گرگانرود میانی و پایاب گرگانرود به ترتیب در طبقه خطر سیل خفیف، خیلی شدید و خفیف دسته‌بندی شده‌اند [۲۵]. به‌طور کلی روش‌های موجود برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب را می‌توان به چهار گروه عمده تقسیم‌بندی کرد که شامل مشاهده و استفاده از داغاب سیلاب برجای مانده، مقایسه تصاویر هوایی منطقه، به کارگیری از روابط و فرمول‌های ساده حاکم و استفاده از مدل‌های ریاضی می‌باشد، کلیه روش‌های ذکر شده جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی سیل احتیاج به تعیین تراز جریان سیلاب و انتقال رقوم سطح آب روی نقشه‌های توپوگرافی دارند. در دهه‌های اخیر با گسترش علم سنجش از دور و استفاده از داده‌های ماهواره‌ای راداری و اپتیکی یک رویکرد نوین و کم‌هزینه و در عین حال دقیق و سریع را در شناسایی پهنه‌های سیلاب بوجود آورده است. در مورد پایش سیل، داده‌های با اندازه تفکیک مکانی بالا و چندزمانه یک شانس خوبی برای ارتقای عملکرد پیش‌بینی، هشدار و نظارت‌های قبل از وقوع واقعه می‌باشد [۳]. داده‌های سنجش از دور اپتیکی به‌طور گسترده به معنی داده‌های بدست آمده بوسیله سنسورهایی که در محدوده طیف مادون قرمز کوتاه و محدوده مرئی تا فرابنفش می‌باشد. داده‌های اپتیکی منبع مفیدی را برای ارزیابی و توسعه نقشه‌های سیلاب تشکیل می‌دهند. سطوح آب‌های تمیز مگر در موارد خاص بیش‌ترین انرژی را جذب می‌کنند، بنابراین در تصاویر اپتیکی آن‌ها به‌عنوان مناطق تاریک به آسانی قابل تشخیص هستند. در بعضی از این موارد، تکرار با چندین باند طیفی می‌تواند کمک کند. اصلی‌ترین مانع استفاده از داده‌های اپتیکی برای پایش سیلاب حساسیت آن‌ها نسبت به ابرها می‌باشد که معمولاً در زمان وقایع سیلاب وجود دارد. این فاکتور خود به تنهایی ایجاد مزاحمت می‌کند، و علت دیگر تاریخ تصویربرداری می‌باشد که در زمینه‌های عملیاتی پایش سیلاب با داده‌های اپتیکی باید این موانع گسترده را پذیرفت [۱۳]. در دهه‌های اخیر استان گلستان شاهد سیل‌های بزرگی چون، سال ۱۳۸۰ در حوزه آبریز بالادست رودخانه گرگانرود که با خسارت‌ها جانی و مالی سنگینی در شهرستان کلاله همراه شد. هم‌چنین می‌توان به سیل‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۸۴ در حوزه آبریز رودخانه گرگانرود اشاره کرد که باعث از بین رفتن ۱۵۰۰ هکتار از اراضی و از بین رفتن ۱۵۰ روستا شد. در سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۲، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۶ سیل خسارت زیادی را در شهرستان‌های آزادشهر، گنبدکاووس و بندرگز به بار آورد، که فقط در سال ۱۳۹۳ باعث ۱۷۵ میلیارد تومان خسارت مالی شد. شهرستان آق‌قلا به دلیل عبور رودخانه گرگانرود همواره مورد تهدید سیل‌های چون ۱۳۸۰، ۱۳۸۱، ۱۳۸۶، ۱۳۹۱، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۸ واقع شده است. طبق گزارش اداره آب منطقه‌ای استان گلستان ۳۵۰ میلی‌متر بارش فقط طی ۴۸ ساعت که معادل ۶۶ درصد بارش سالانه استان گلستان بود در حوزه آبریز گرگانرود در فرودین ۱۳۹۸ رخ داد. لذا شناسایی پهنه‌های

مناسب است، هم‌چنین مناطق جنوبی شهر آق‌قلا مناطق صنعتی و باغ می‌باشد که به شهرستان گرگان متصل می‌شود. اقلیم شهرستان آق‌قلا مانند منطقه ترکمن صحرا بیابانی گرم و مرطوب می‌باشد. رودخانه گرگانرود یکی از مهم‌ترین شاخه‌های سیل‌خیز استان گلستان می‌باشد. طول رودخانه گرگانرود حدود ۲۵۱ کیلومتر می‌باشد که تقریباً ۸۵ کیلومتر آن از شهرستان آق‌قلا و به‌طور خاص حدوداً ۱۲ کیلومتر آن از محدوده شهری آق‌قلا عبور می‌کند. حوزه آبریز این رودخانه ۱۰۲۵۰ کیلومترمربع است که از دامنه‌های شمالی البرز شرقی و دامنه‌های غربی ارتفاعات استان خراسان شمالی سرچشمه می‌گیرد. جهت جریان آب این رودخانه از شرق به غرب می‌باشد، و زیرشاخه‌های آن از رشته کوه البرز شرقی سرچشمه گرفته و از جنوب به شمال جریان دارد. رودخانه گرگانرود پس از عبور از شهرهای گنبد کاووس و آق‌قلا در غرب خواجه‌نفس با تشکیل دلتای بزرگی به دریای خزر می‌ریزد. متوسط آبدهی سالانه رودخانه گرگانرود حدود ۹۲۰ میلیون مترمکعب می‌باشد. موقعیت و کاربری اراضی شهرستان آق‌قلا در (شکل ۱) نشان داده شده است.



شکل ۱: موقعیت و کاربری اراضی شهرستان آق‌قلا

داده‌های مورد استفاده در تحقیق

ماهواره‌ی اپتیکی Sentinel-2A از سری ماهواره‌های سنتینل می‌باشد که توسط سازمان فضایی اروپا در سال ۲۰۱۵ به فضا پرتاب شد، و در ۱۳ باند در محدوده طیف مرئی، فرورسرخ نزدیک و موج کوتاه فرورسرخ از طیف الکترومغناطیسی تصویربرداری می‌کند. قدرت تفکیک این تصاویر در سه دسته ۱۰، ۲۰، ۶۰ متر می‌باشد [۴]. در تحقیق حاضر برای تولید نقشه‌های پهنه‌بندی سری زمانی سیلاب، نیاز به داده‌های متعددی در بازه‌ی وقوع سیلاب بود، به‌دلیل این‌که در زمان وقوع سیلاب درصد ابر زیادی در برخی از تصاویر Sentinel-2

سیلاب ناشی از رودخانه گرگانرود کمک بزرگی به کنترل سیلاب این رودخانه می‌کند. به کمک نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب می‌توان مساحت و نوع اراضی تحت پوشش سیلاب را شناسایی و مورد مطالعه و کارشناسی قرار داد. هدف از این تحقیق استخراج پهنه‌های سیلاب رخ داده در فروردین ماه ۱۳۹۸ شهرستان و شهر آق‌قلا به کمک تصاویر اپتیکی ماهواره‌های سنتینل-۲ لندست-۸ با استفاده از شاخص‌های NDWI و MNDWI می‌باشد.

روش تحقیق

به‌طور کلی مراحل انجام تحقیق را می‌توان در سه گام بیان نمود: گام اول، در تحقیق حاضر با توجه به این‌که تصاویر اپتیکی ماهواره‌های لندست-۸ و سنتینل-۲ از توان تفکیک مکانی نسبتاً بالا و دسترسی رایگان برخوردار هستند استفاده شد، که به‌ترتیب از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا^۱ و سایت سازمان فضایی اروپا^۲ Copernicus، دانلود شدند. با توجه به این‌که درصد ابرناکی بسیار زیادی در برخی تصاویر سنتینل-۲ هنگام وقوع آبگرفتی وجود داشت، از تصویر با درصد ابرناکی بسیار کم ماهواره لندست-۸، برای پایش کامل سیلاب فروردین ماه ۱۳۹۸ شهرستان آق‌قلا استفاده شده است.

گام دوم، اعمال پیش‌پردازش‌های رادیومترکی رادیانس و اتمسفریک بر روی تصاویر جهت بهبود کیفیت تصاویر و افزایش بازتاب و حذف حاشیه‌های تصاویر به‌منظور حذف بدپیکسل‌ها برای کاهش خطای نتایج خروجی، سپس اعمال شاخص‌های NDWI^۳ و MNDWI^۴ بر تمام تصاویر، و انتخاب آستانه‌ی مناسب با سعی و خطا جهت تفکیک و آشکارسازی پهنه‌های سیلاب در نرم افزار ENVI-5.3.

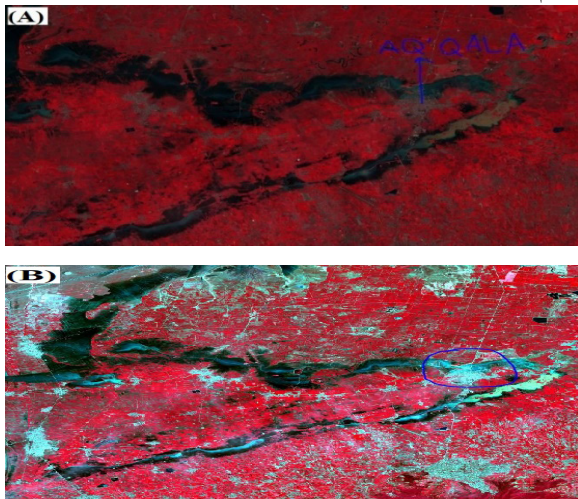
گام سوم، همپوشانی نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب بدست آمده با لایه پلی‌گون مرز سیاسی شهرستان و شهر آق‌قلا و لایه خطی رودخانه گرگانرود در نرم‌افزار GIS^۵ (ArcMap)، و محاسبه مساحت پهنه‌های سیلاب به تفکیک برای شهرستان و شهر آق‌قلا.

محدوده مورد مطالعه

شهر آق‌قلا در استان گلستان و مرکز شهرستان آق‌قلا می‌باشد، که در محدوده مختصات جغرافیایی ۳۷ درجه شمالی و ۵۴ درجه شرقی قرار دارد. شهرستان آق‌قلا در طرفین رودخانه گرگانرود و در شمال شهر گرگان قرار دارد. تقریباً ۵۰ درصد اراضی شهرستان آق‌قلا به‌دلیل عبور رودخانه گرگانرود دارای کاربری کشاورزی، گندم و جو می‌باشد، و مناطق شمالی و شمال‌غربی شهر آق‌قلا بیش‌تر از نوع باتلاقی و شورزار می‌باشد که فاقد پوشش گیاهی و درختان

1. United States Geological Survey, <https://earthexplorer.usgs.gov/>
2. <https://scihub.copernicus.eu/>
3. Normalized Difference Water Index
4. Modified Normalized Difference Water Index
5. Geographical Information System

عددی آن‌ها به ترتیب به ۰/۲۴، ۰/۳۶ و ۰/۳۹ کاهش یافت. میزان ارزش عددی پیکسل‌هایی که بالاتر از یک و کم‌تر از صفر بودند، به‌عنوان بدپیکسل شناخته شده و برابر صفر در نظر گرفته شدند. برای نمونه تصویر قبل و بعد از اعمال تصحیح‌های رادیومتریک و اتمسفریک برای تاریخ ۱۴ فروردین ۱۳۹۸ در (شکل ۲) نمایش داده شده است. به دلیل این‌که تصاویر ماهواره Sentinel-2, L2A، تصحیح رادیومتریک و اتمسفریک به صورت پیش‌فرض توسط سازمان فضایی اروپا بر روی آن‌ها اعمال شده [۲۶ و ۲۰]، جهت بهبود کیفیت تصاویر، تصحیح اتمسفری⁴ QUAC و تصحیح رادیومتریک رادیانس بر روی آن‌ها انجام شد، اما تغییری محسوس در افزایش کیفیت تصاویر مشاهده نشد، که این نشان می‌دهد تصاویر ماهواره Sentinel-2, L2A در صورتی که درصد پوشش ابر و میزان پراکنش اتمسفر کم‌تر از پنج درصد باشد، بسیار مناسب‌تر از تصاویر Landsat-8 برای پایش سیلاب و پهنه‌بندی سیلاب می‌باشد. در انتخاب تصاویر ماهواره Sentinel-2 به‌منظور پایش سیلاب، تصاویری که درصد پوشش ابر و میزان پراکنش اتمسفر در آن‌ها کم‌تر از ده درصد بود، در این تحقیق استفاده شد.



شکل ۲: تصحیح‌های رادیومتریک رادیانس و اتمسفریک، تصویر FCC₅₄₃ ماهواره Landsat-8، ۱۴ فروردین، (A) قبل و (B) بعد

شاخص‌های NDWI و MNDWI

شاخص NDWI اولین شاخص شناسایی آب می‌باشد که توسط مک فترز در سال ۱۹۹۶ [۱۲]، ارائه شد که برای پهنه‌بندی و آشکارسازی آب‌های آزاد با استفاده از داده‌های سنجنش از دور بکار می‌رود [۱۲]، این شاخص از ترکیب باند مادون قرمز نزدیک (NIR⁵) با طول موج ۸۴۲ نانومتر و باند سبز (GREEN) با طول موج ۵۶۰ نانومتر بدست می‌آید که در رابطه ۱ نشان داده شده است.

وجود داشت و با توجه به دوره بازگشت ده روزه آن دو تصویر مناسب از واقعه سیلاب وجود داشت. به همین دلیل از داده‌های ماهواره‌ی Landsat-8 که محدوده باندهای تصویربرداری آن مشابه Sentinel-2 بود و هم‌چنین با توجه دوره بازگشت شانزده روزه آن [۱۴]، به‌عنوان مکمل برای تولید نقشه‌های پهنه‌بندی سری زمانی سیلاب استفاده شد. به‌منظور اطمینان از عملکرد مناسب شاخص‌های انتخاب شده برای استخراج پهنه‌های سیلاب، دو تصویر از ماهواره‌های Sentinel-2 و Landsat-8 قبل از وقوع سیلاب دانلود شد و هم‌چنین چهار تصویر هم مربوط به زمان وقوع سیلاب دانلود شد که مشخصات آن‌ها در جدول ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱: مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در تحقیق

درصد ابرناکی	تاریخ	تصاویر
۵/۱۹	۱۱ اسفند ۱۳۹۷	LC08_L1T P
۴/۳۰	۲۰ اسفند ۱۳۹۷	S2A-MSIL2A
۸/۳۲	۱۴ فروردین ۱۳۹۸	LC08_L1T P
۳/۸۷	۱۶ فروردین ۱۳۹۸	S2B-MSIL2A
۲۲/۷۲	۲۶ فروردین ۱۳۹۸	S2B-MSIL2A
۳/۴۵	۵ اردیبهشت ۱۳۹۸	S2B-MSIL2A

پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای

خطای رادیومتریک بر اثر تغییرات انرژی الکترومغناطیسی رسیده به سنجنده ناشی از سایه‌ی پستی و بلندی‌های سطح زمین یا پخش و جذب امواج الکترومغناطیسی بوجود می‌آید، که اغلب نتایج نهایی را دچار مشکل می‌کند. در گام دوم بعد از حذف خطاهای رادیومتریک نیاز است که خطاهای ناشی از جذب و پخش اتمسفری از روی تصاویر حذف گردند [۲۳]. به‌منظور حذف اثر جذب و پخش امواج الکترومغناطیسی در محدوده امواج مرئی و مادون‌قرمز و جهت بالا بردن کیفیت و افزایش بازتاب تصاویر ماهواره Landsat-8، تصحیح رادیومتریکی رادیانس^۱، سپس تصحیح اتمسفری^۲ FLAASH بر تصاویر اعمال گردید و هم‌چنین حاشیه‌های تصویر که ارزش پیکسل صفر داشتند، حذف گردید. با بررسی نمودار تغییر طیفی، مقدار پخش اتمسفر در تصاویر Landsat-8، بین پنج تا ده درصد بود، که بعد از اعمال تصحیح اتمسفری به دو درصد کاهش یافت. جهت بررسی رفتار طیفی مؤلفه‌های مؤثر در سیلاب، میزان ارزش عددی پیکسل‌ها قبل از اعمال الگوریتم تغییرمقیاس^۳ برای مؤلفه‌های آب، مناطق مرطوب و پوشش گیاهی به ترتیب برابر ۲۷۰۰، ۲۱۰ و ۳۸۰۰ بود، که بعد از اعمال الگوریتم تغییرمقیاس میزان ارزش

1. Radiance
2. Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes
3. Rescale

4. QUick Atmospheric Correction
5. Near InfraRed

اردیبهشت (شکل ۳ و شکل ۵) تصویر (F)، با شکست سد کیسه‌ای یلمه‌خندان، در شمال شرقی شهر آق‌قلا سیلاب آن از دشت‌های شمالی به سمت شهر آق‌قلا جریان پیدا کرده و موجب آبگرفتگی شمال شهر آق‌قلا شد. این شاخص دقیقاً پهنه‌های سیلابی که فاقد گل‌ولای می‌باشند و در تصاویر ماهواره‌ای به رنگ آبی نمایش داده می‌شوند در نظر می‌گیرد. مساحت پهنه‌های سیلاب سری زمانی مورد نظر برای شهرستان و شهر آق‌قلا به تفکیک در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: مساحت پهنه‌های سیلاب استخراج شده به کمک شاخص NDWI مربوط به شهرستان و شهر آق‌قلا

NDWI		
تاریخ	شهرستان آق‌قلا (km ²)	شهر آق‌قلا (km ²)
۱۱ اسفند ۱۳۹۷	۳۰/۶۵۸	۰
۲۰ اسفند ۱۳۹۷	۱۴/۳۶۴	۰
۱۴ فروردین ۱۳۹۸	۲۰۶/۵۵۳	۸/۹۵۳
۱۶ فروردین ۱۳۹۸	۱۹۳/۰۴۳	۹/۴۹۰
۲۶ فروردین ۱۳۹۸	۳۷/۳۶۴	۰/۰۲۹
۱۵ اردیبهشت ۱۳۹۸	۸۵/۳۱۵	۱/۳۰۸

پهنه‌های استخراج شده به کمک شاخص MNDWI

با اعمال این شاخص هم مقادیر ارزش پیکس‌ها در محدوده ۱- تا ۱+ قرار می‌گیرند. اما با توجه به جذب زیاد امواج باند مادون قرمز طول موج کوتاه توسط آب‌های تمیز و آب‌های حاوی گل‌ولای و هم‌چنین زمین‌های مرطوب، حساسیت بیشتری نسبت به باند مادون قرمز نزدیک دارد [۱]. به همین دلیل با اعمال این شاخص علاوه بر شناسایی سیلاب‌های به رنگ آبی، تمام پهنه‌های سیلابی که همراه با گل‌ولای بود شناسایی شد. این شاخص پهنه‌هایی را که سیلاب در آنجا فروکش کرده و یک پهنه‌ی با رطوبت بسیار بالا بوجود آورده که در تصاویر ماهواره‌ای به رنگ قهوه‌ای مایل به سیاه دیده می‌شوند را هم به‌عنوان پهنه‌ی سیلاب در نظر می‌گرفت، (شکل ۵) تصویر (F). این شاخص مناطق با پوشش گیاهی متراکم را که در تصاویر ماهواره‌ای سبز پررنگ مایل به سیاه دیده می‌شوند را هم به‌عنوان پهنه‌ی سیلاب در نظر می‌گیرد، که باید با اعمال حد آستانه‌ی مناسب از این عمل جلوگیری شود. حد آستانه مورد نظر در شاخص MNDWI به‌منظور تفکیک مرز بین پوشش گیاهی متراکم و پهنه‌های سیلاب با سعی و خطا در محدوده ۰/۴ تا ۰/۶ در نظر گرفته شد. پهنه‌های بدست آمده در (شکل ۵) نشان داده شده و هم‌چنین مساحت آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

$$NDWI = \frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)} \quad (1)$$

در شاخص NDWI با کاهش بازتاب ویژگی‌های غیر آب مانند گیاه و خاک در طول موج باند مادون قرمز نزدیک (NIR) و هم‌زمان با افزایش بازتاب آب در طول موج باند سبز (Green) باعث آشکارسازی مناطق سیلابی از غیرسیلابی می‌شود. با اعمال این شاخص مقدار ارزش بازتاب پیکسل‌ها در محدوده بین ۱- تا ۱+ قرار می‌گیرند، که مقادیر ۱- تا صفر نشان دهنده مناطق غیرسیلابی و مقادیر صفر تا ۱+ نشان دهنده پهنه‌های سیلابی می‌باشد. این شاخص قادر به شناسایی آب‌های کدر و گل‌آلود نمی‌باشد [۱۲]. اصلی‌ترین مشکل این شاخص ناتوانی در تشخیص مناطق ساختمانی از آب‌های سطحی می‌باشد [۲۴]. باند سبز در ماهواره‌های Landsat-8 و Sentinel-2 باند شماره ۳ و باند مادون قرمز نزدیک در ماهواره Landsat-8 باند ۵ و ماهواره Sentinel-2 باند ۸ می‌باشد. ژو در سال ۲۰۰۶ با جایگزین کردن باند SWIR-1 با محدوده طول موج ۱۶۰۰ نانومتر به جای باند مادون قرمز نزدیک با طول موج ۸۴۲ نانومتر شاخص MNDWI را ارائه کرد؛ اصلی‌ترین مزیت این شاخص، کاهش و حذف خطاهای ناشی از سایه‌ی ساختمان‌ها می‌باشد که باعث تمیز دادن مناطق ساختمانی از مناطق سیلابی می‌شود [۲۳]. این شاخص در رابطه ۲ نشان داده شده است.

$$MNDWI = \frac{(Green - SWIR1)}{(Green + SWIR1)} \quad (2)$$

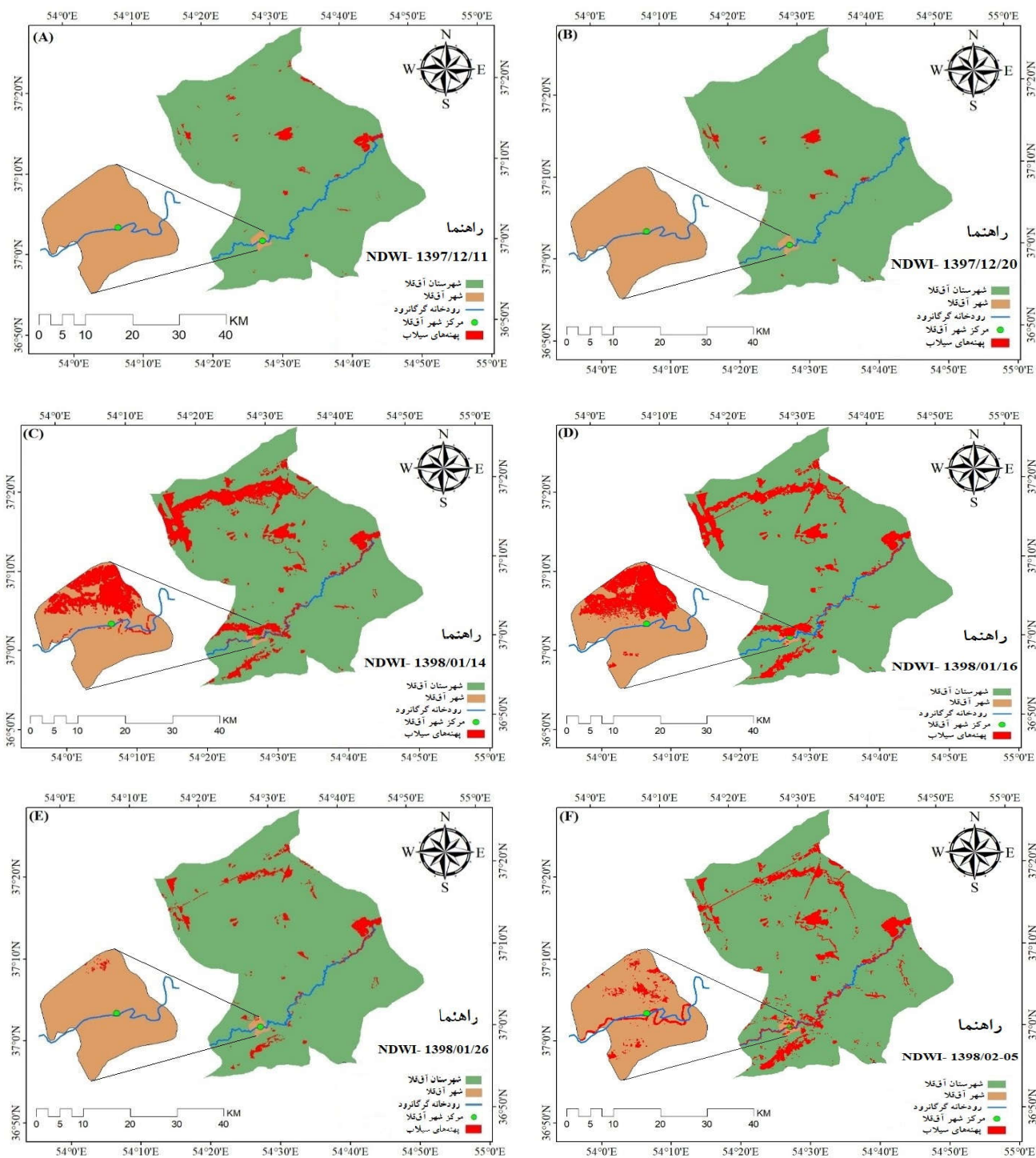
در این شاخص باند SWIR1 برای ماهواره Landsat-8 باند ۶ و ماهواره Sentinel-2 باند ۱۱ می‌باشد.

با اعمال این شاخص سه نتیجه قابل انتظار است: (۱) مقادیر مثبت بیش‌تر برای آب و آب‌های خالص در باند SWIR-1 نسبت به NIR؛ (۲) مقادیر منفی برای مناطق ساختمانی به‌دلیل بازتاب بیش‌تر در باند SWIR-1 نسبت به NIR؛ (۳) خاک و گیاهان هم‌چنان مقادیر بازتاب منفی دارند.

نتایج

پهنه‌های استخراج شده به کمک شاخص NDWI

با اعمال این شاخص مقادیر ارزش پیکس‌ها در محدوده ۱- تا ۱+ قرار می‌گیرند. مقادیر منفی نشان دهنده مناطق خشک و فاقد آبگرفتگی، و مقادیر مثبت نشان دهنده پهنه‌های سیلابی است. در (شکل ۳) تصاویر (A) و (B) مربوط به زمان قبل از سیلاب می‌باشد، که به‌ترتیب مربوط به ۱۱ اسفند و ۲۰ اسفند ۱۳۹۷ می‌باشد، در آن زمان پهنه‌های بدست آمده مربوط به آب‌های دائمی موجود در شهرستان آق‌قلا از جمله سد و شمشگیر و آب‌بندان‌های اطراف می‌باشد. (شکل ۳) تصاویر (C) و (D) به‌ترتیب مربوط به ۱۴ فروردین و ۱۶ فروردین ۱۳۹۸ می‌باشد که اوج روزهای سیلابی است، در تاریخ ۲۶ فروردین (شکل ۳) تصویر (E)، حجم عمده‌ی سیلاب فروکش کرده و پهنه‌های شناسایی شده در این تاریخ فقط پهنه‌هایی که در آن آب وجود دارد را نشان می‌دهد. اما در تاریخ ۵



شکل ۳: پهنه‌های سیلاب استخراج شده به کمک شاخص NDWI برای سری زمانی مورد نظر؛ (A) و (B) به ترتیب مربوط به ۱۱ و ۲۰ اسفند ۱۳۹۷ قبل از وقوع سیلاب؛ (C) و (D) بیش‌ترین پهنه‌های سیلاب به ترتیب مربوط به ۱۴ و ۱۶ فروردین ۱۳۹۸؛ (E) و (F) به ترتیب مربوط به ۲۶ فروردین ۱۳۹۸ فروکش کردن سیلاب و ۵ اردیبهشت ۱۳۹۸ آبگرفتگی مجدد شهر آق‌قلا

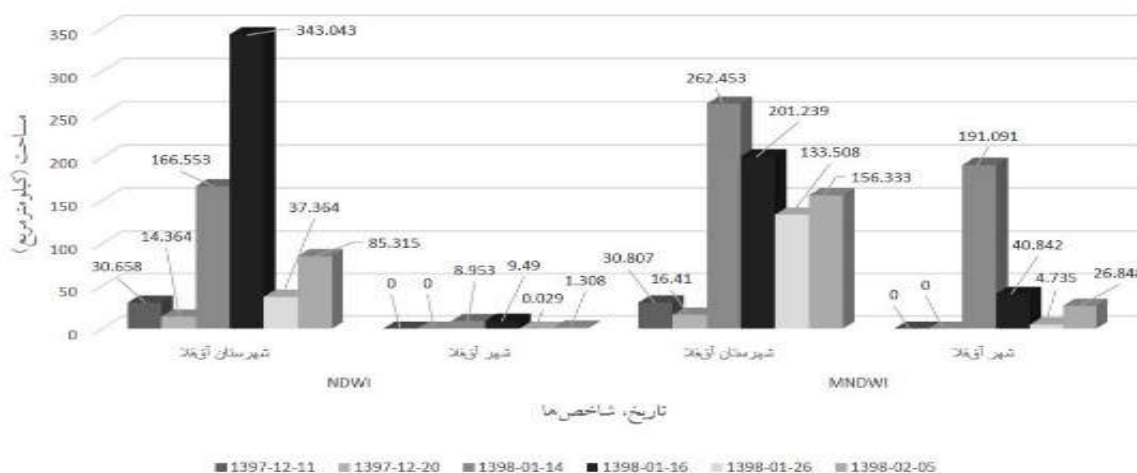
جدول ۳: مساحت پهنه‌های سیلاب استخراج شده به کمک شاخص

MNDWI مربوط به شهرستان و شهر آق‌قلا		
MNDWI		
تاریخ	شهرستان آق‌قلا (کیلومتر مربع)	شهر آق‌قلا (کیلومتر مربع)
۱۱ اسفند ۱۳۹۷	۳۰/۸۰۷	۰
۲۰ اسفند ۱۳۹۷	۱۶/۴۱۰	۰
۱۴ فروردین ۱۳۹۸	۲۶۲/۴۵۳	۵۱/۰۹۱
۱۶ فروردین ۱۳۹۸	۲۳۱/۲۳۹	۴۰/۸۴۲
۲۶ فروردین ۱۳۹۸	۱۳۳/۵۰۸	۴/۷۳۵
۵ اردیبهشت ۱۳۹۸	۱۵۶/۳۳۳	۲۶/۸۴۸

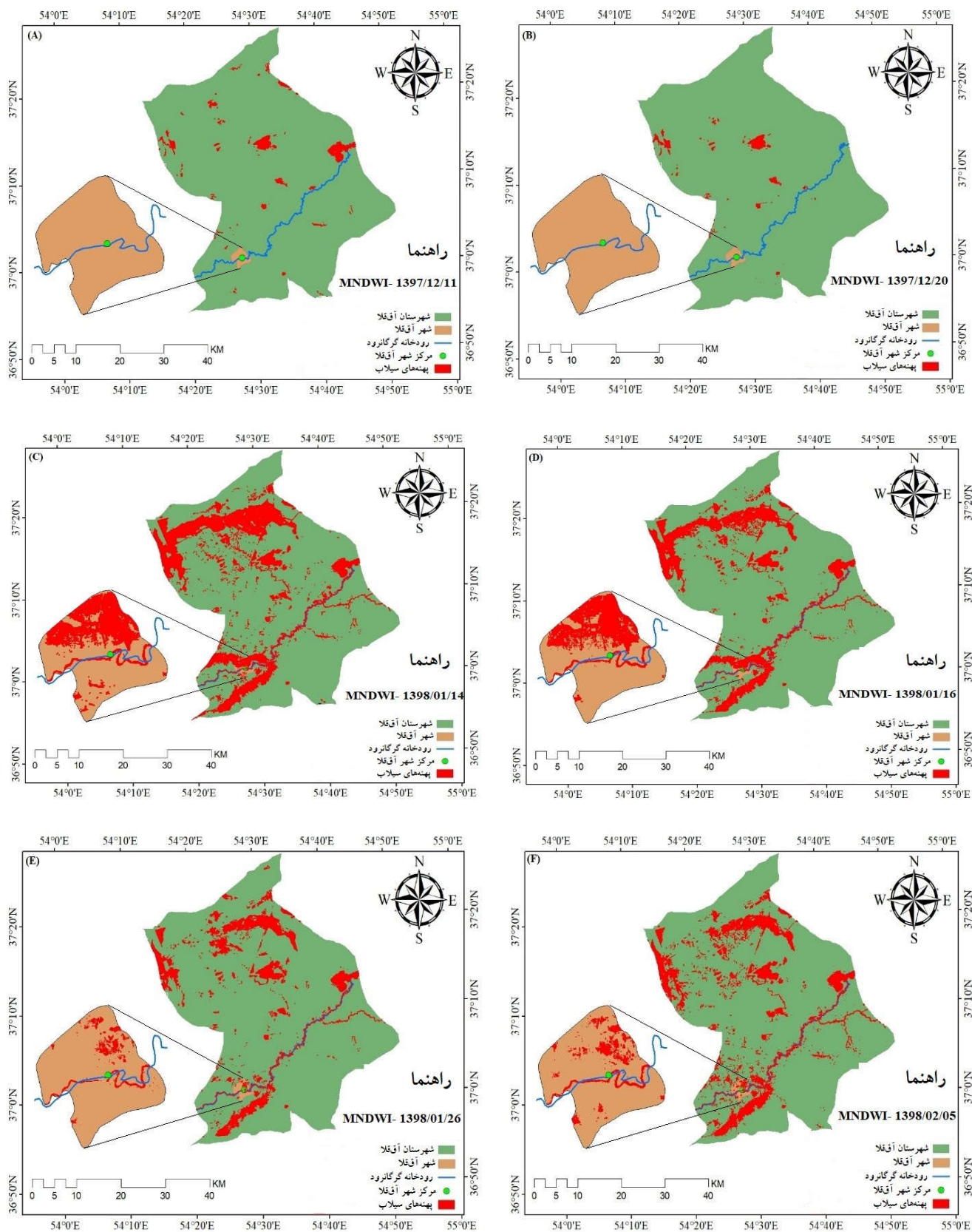
به همین دلیل توانایی نفوذ در عمق آب‌های کدر و گل‌آلود را ندارد. استفاده از شاخص MNDWI زمانی که پهنه‌های سیلاب حاوی گل‌ولای باشد بسیار مناسبتر از شاخص NDWI می‌باشد. به همین دلیل مساحت پهنه‌های سیلاب بدست آمده با استفاده از شاخص MNDWI بیش‌تر از مساحت پهنه‌های سیلاب بدست آمده با استفاده از شاخص NDWI است. مساحت پهنه‌های بدست آمده برای شهرستان و شهر آق‌قلا با استفاده از شاخص MNDWI به‌ترتیب ۳۸/۵ و ۸۸ درصد از مساحت پهنه‌های بدست آمده از شاخص NDWI بیش‌تر است. علت درصد کم‌تر مساحت پهنه‌های سیلاب برای شهرستان آق‌قلا نسبت به شهر آق‌قلا برای مقایسه دو شاخص MNDWI و NDWI این است که، پهنه‌های حاوی گل‌ولای که از رودخانه قره‌سو وارد رودخانه گرگانرود شده بود، به سمت شهر آق‌قلا جریان پیدا کرده و وارد مناطق شمال شهرستان آق‌قلا نشده است. لذا اختلاف زیاد در درصدها نشان دهنده این است که پهنه‌های حاوی گل‌ولای فقط در حومه شهر آق‌قلا وجود داشته است. حد آستانه تفکیک پهنه‌های سیلابی و مناطق مرطوب بر اساس سعی و خطا برای شاخص NDWI برای تصاویر سنتینل-۲ برابر ۰/۳۵+ و برای تصاویر لندست-۸ برابر ۰/۲۵+ بدست آمد. همچنین حد آستانه تفکیک برای شاخص MNDWI برای تصاویر سنتینل-۲ برابر ۰/۵۵+ و برای تصاویر لندست-۸ برابر ۰/۴۵+ بدست آمد. حد آستانه تفکیک پهنه‌های سیلاب و غیرسیلاب برای تصاویر سنتینل-۲ به دلیل رزولوشن مکانی بالاتر نسبت به تصاویر لندست-۸ کمی بیش‌تر است. نمودار تغییرات مساحت پهنه‌های سیلاب به تفکیک شاخص‌ها و سری زمانی برای شهرستان و شهر آق‌قلا در (شکل ۴) نشان داده شده است.

مقایسه بین شاخص‌های MNDWI و NDWI و انتخاب حد آستانه شناسایی سیلاب

در سیلاب فروردین ۱۳۹۸، دو نوع پهنه‌ی سیلاب که شامل پهنه‌های به رنگ آبی پررنگ و مشکی (سیلاب فاقد گل‌ولای) که از خروجی جنوبی سد و شمشگیر وارد رودخانه گرگانرود شده بود، و پهنه‌های به رنگ آبی کم‌رنگ (سیلاب حاوی گل‌ولای) که از زیرشاخه‌های رودخانه قره سو وارد رودخانه گرگانرود شده بود، وجود داشت. هر کدام از این پهنه‌ها دارای طیف بازتاب و طول موج متفاوتی داشتند، که شناسایی کامل پهنه‌های سیلاب با استفاده از شاخص NDWI را دچار مشکل می‌کرد (شکل ۲، B). باند مادون قرمز نزدیک در شاخص NDWI به دلیل این که طول موج کوتاه‌تری نسبت به طول موج باند SWIR-1 در شاخص MNDWI دارد،



شکل ۳: تغییرات مساحت آبگرفتگی به تفکیک شاخص‌ها و سری زمانی برای شهرستان و شهر آق‌قلا



شکل ۴: پهنه‌های سیلاب استخراج شده به کمک شاخص MNDWI برای سری زمانی مورد نظر؛ (A) و (B) به ترتیب مربوط به ۱۱ و ۲۰ اسفند ۱۳۹۷ قبل از وقوع سیلاب؛ (C) و (D) بیش‌ترین پهنه‌های سیلاب به ترتیب مربوط به ۱۴ و ۱۶ فروردین ۱۳۹۸؛ (E) و (F) به ترتیب مربوط به ۲۶ فروردین ۱۳۹۸ فروکش کردن سیلاب و ۵ اردیبهشت ۱۳۹۸ آبگرفتگی مجدد شهر آق‌قلا

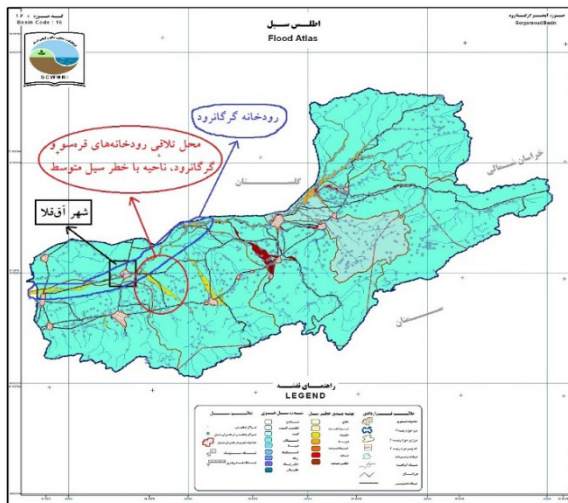
بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به تغییرات زیست محیطی شاهد سیلاب‌هایی هستیم که خسارت‌های بسیاری را به اموال و جان مردم وارد کرده است، یکی از بزرگترین مشکلات، عدم شناسایی دقیق مناطق تحت سیلاب و کشف مناطق دارای آبگرفتگی و اختلاط آب و گل می‌باشد. یکی از مطمئن‌ترین، ارزانترین و سریعترین راه‌ها برای شناسایی پهنه‌های سیلاب تکنولوژی سنجش از دور می‌باشد که به کمک داده‌های ماهواره‌ای صورت می‌گیرد. هر چند داده‌های اپتیکال محدودیت ابرناکی دارند ولیکن ممکن است از بین سنجنده‌های موجود گاه‌ها تصویر مناسب را یافت و با تکنیک‌های رادیومتریک و تصحیح اتمسفریک کیفیت آن‌ها را بهبود بخشید. نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب در مطالعات مدیریت سیلاب‌دشت‌ها خصوصاً در راهبرد سیستم‌های هشدار سیل کاربرد وسیعی دارند [۱۶]. یکی از مهم‌ترین کاربردهای نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب برای شهرستان آق‌قلا تعیین حدود گذرگاه سیل و اراضی سیل‌گیر حاشیه رودخانه گرگانرود در مناطق شرقی شهر آق‌قلا می‌باشد، خصوصاً آن‌که این اراضی از یک سو به علت دسترسی به منابع آبی بسیار پرارزش بوده و از سوی دیگر به علت مجاورت با رودخانه گرگانرود در معرض خطر سیلاب و طغیان این رودخانه در فصول بهار و تابستان که اغلب محصولات کشاورزی در این فصول به بار می‌آید می‌شود. از سوی دیگر اغلب روستاهای شهرستان آق‌قلا از جمله سلاق‌یلقی، گنگیرما، سیدلر، دوگونچی و شهر آق‌قلا در حاشیه خطر این رودخانه قرار دارند. در تحقیق حاضر با توجه به سیلاب رخ داده در فروردین ماه ۱۳۹۸ شهرستان آق‌قلا، تصاویر ماهواره‌های سنتینل-۲ و لندست-۸ به دلیل رزولوشن زمانی و مکانی بالا و رایگان و در دسترس بودن انتخاب گردید، با توجه به وجود ابر در زمان سیلاب برخی از تصاویر دارای مه غلیظ یا ابر بودند که این موضوع باعث کمی خطا در محاسبات می‌شد اما با اعمال پردازش‌های رادیومتریکی و اتمسفری بر آن‌ها تا حد قابل قبولی برطرف شدند. با بررسی‌های انجام شده بر روی گراف‌های بازتاب-طول موج برای آب، پوشش گیاهی، خاک، مناطق مسکونی این نتیجه حاصل شد که مناسب‌ترین بازتاب-طول موج برای شناسایی پهنه‌های سیلاب مربوط به باند های سبز (B3) با طول موج ۵۶۰ نانومتر و مادون قرمز نزدیک (NIR) با طول موج ۸۴۲ نانومتر و مادون قرمز طول موج کوتاه (SWIR-1) با طول موج ۱۶۱۰ نانومتر می‌باشد، سپس شاخص‌های (NDWI، MNDWI) بر آن‌ها اعمال گردید. با توجه به این‌که باندهای (B3، B8، B11) ماهواره سنتینل-۲ از رزولوشن مکانی بالاتری نسبت به باندهای مشابه (B3، B5، B6) ماهواره لندست-۸ دارد، پهنه‌های سیلاب شناسایی شده در تصاویر سنتینل-۲ از دقت بالاتری نسبت به پهنه‌های سیلاب شناسایی شده در تصاویر لندست-۸ دارد. با توجه مرور تحقیقات پیشین [۴، ۲۲، ۲۳]، حدود آستانه‌های شناسایی پهنه‌های سیلاب مربوط به شاخص NDWI برای تصاویر سنتینل-۲ در محدوده ۰/۲+ تا ۰/۴+ و برای تصاویر لندست-۸ در محدوده

۰/۳+ تا ۰/۵+ قرار داشت که این حدود آستانه با سعی و خطا در بازه‌ی ۱- تا ۱+ بدست آمده‌اند؛ حدود آستانه‌ای که هم سیلاب آبی رنگ و قهوه‌ای رنگ را هم‌زمان در نظر بگیرد با استفاده از شاخص MNDWI در سنجنده سنتینل-۲ در محدوده ۰/۳+ تا ۰/۶+ و برای سنجنده لندست-۸ در محدوده ۰/۴+ تا ۰/۶+ قرار داشت. برای هر دو سنجنده و هر دو شاخص مقادیر زیر صفر نشان دهنده مناطق خشک و فاقد آبگرفتگی بود. به‌طور کلی تصاویر مجموعه L2A سنجنده سنتینل-۲ به دلیل عدم نیاز به تصحیحات اتمسفری و بالا بودن رزولوشن مکانی نسبت به سنجنده لندست-۸ در بدست آوردن پهنه‌ها از سرعت و کیفیت بالاتری برخوردار است.

بعد از شناسایی پهنه‌های سیلاب با استفاده از شاخص NDWI و MNDWI این نتیجه حاصل شد که شاخص NDWI برای زمانی که سیلاب فاقد گل‌ولای می‌باشد مناسب است، اما زمانی که سیلاب با گل‌ولای همراه باشد این شاخص مناسب نمی‌باشد، بلکه باید از شاخص MNDWI برای شناسایی پهنه‌های سیلاب همراه با گل‌ولای استفاده کرد. به دلیل استفاده از باند SWIR-1 با طول موج بلندتر و نفوذ بیشتر نسبت به باند GREEN زمانی که بخواهیم مناطق با رطوبت بالا (مکان‌هایی که سیلاب به داخل زمین نفوذ کرده) و سیلاب‌هایی که از دو طیف رنگی متفاوتی مانند آبی و قهوه‌ای می‌باشد را شناسایی کنیم شاخص MNDWI از شاخص NDWI نتایج بهتری نشان می‌دهد. برای صحت‌سنجی شاخص‌ها دو تصویر قبل از وقوع سیلاب دانلود شد و با توجه به این‌که در آن زمان تصاویر فاقد هرگونه آبگرفتگی بود هیچ پهنه‌ی سیلابی شناسایی نشد. آنالیز پهنه‌های سیلاب نشان می‌دهد بیش‌ترین حجم سیلاب وارد شده به شهر آق‌قلا از شمال و شرق شهر آق‌قلا می‌باشد، به دلیل پیچانرود زیاد و شیب کم بستر رودخانه و تراز منفی دشت‌های اطراف رودخانه، اگر سیلاب با دبی بالاتر از ۳۵۰ متر مکعب بر ثانیه وارد رودخانه شود از بستر خارج شده و با ورود به دشت‌های اطراف به سمت شهر آق‌قلا جریان می‌یابد. در تاریخ یازدهم و بیستم اسفند ۱۳۹۷ که به ترتیب یازده روز و ده روز قبل از طغیان رودخانه گرگانرود می‌باشد، پهنه‌های آبی مشخص شده تقریباً بین ۱۴/۳۶ تا ۱۶/۴ کیلومتر مربع می‌باشد که این مقدار، پهنه‌های آبی است که در سد و شمشگیر و رودخانه گرگانرود وجود دارد، این مقدار برای شهرستان آق‌قلا تقریباً صفر می‌باشد. به علت این‌که شاخص MNDWI هر دو سیلاب آبی و قهوه‌ای را در نظر گرفت، بیش‌ترین مساحت پهنه‌های سیلاب با استفاده از شاخص MNDWI بدست آمد [۴]، که برای شهرستان و شهر آق‌قلا در تاریخ‌های چهاردهم فروردین ۱۳۹۸ به ترتیب برابر ۲۶۲/۴۵۳ و ۵۱/۰۹۱ کیلومتر مربع بود. بعد از بررسی این پهنه‌ها مشخص شد روستاهای دوگونچی و گنگیرما در معرض خطر سیلاب این رودخانه با توجه سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ ساله قرار ندارند، اما روستاهای سیدلر، سلاق‌یلقی و مناطق شمالی شهر آق‌قلا در معرض خطر سیلاب این رودخانه برای دوره بازگشت‌های ۵۰ ساله به بالا قرار دارند. برای جلوگیری از ورود سیلاب به مناطق شهری، شهر آق‌قلا باید وضعیت

دشت‌های پست مجاور می‌شود (شکل ۷، محدوده قرمز رنگ). در نقشه‌های پهنه‌بندی سیل بدست آمده (شکل ۳ و شکل ۵) بیش‌ترین مساحت پهنه‌های سیلاب در ناحیه شرقی شهر آق‌قلا در محدوده روستای سلاق‌یلقی تا روستای گنگیرما وجود دارد. با توجه به این‌که بیش‌ترین حجم سیلاب در این ناحیه با گل‌ولای همراه بود این پهنه‌ها توسط شاخص MNDWI شناسایی شده (شکل ۵)، که براساس نقشه‌های پهنه‌بندی سیل بدست آمده به کمک شاخص MNDWI ناحیه گرگانرود میانی در طبقه خطر سیل خیلی شدید قرار دارد، که با اطلس سیل تهیه شده توسط پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری [۲۵] (شکل ۷) تطابق بسیار زیادی دارد.

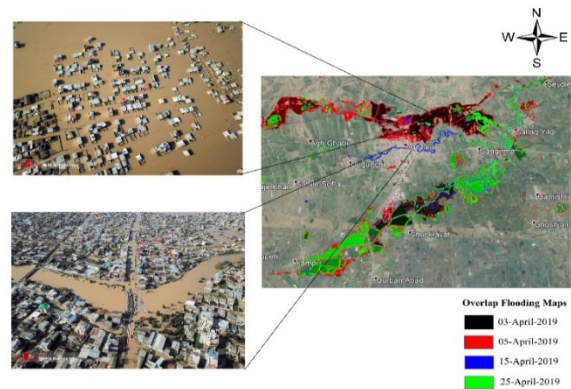


شکل ۷: اطلس سیل حوزه آبخیز گرگانرود [۲۵]
(منبع: پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۳۸۵)

هم‌چنین برای صحت‌سنجی مساحت پهنه‌های سیلاب، نتایج این تحقیق با نتایج گنجی و همکاران [۵] که در سال ۱۳۹۸، مساحت پهنه‌های سیلاب فروردین ۱۳۹۸ شهر آق‌قلا را به کمک تصاویر ماهواره راداری سنتینل-۱ بدست آوردند، مورد مقایسه قرار گرفت، که در جدول ۴ نشان داده شده است.

با توجه به دوره بازگشت‌های متفاوت ماهواره‌های سنتینل-۲ و لندست-۸ با ماهواره سنتینل-۱ [۵] مقایسه مساحت پهنه‌ها فقط در روزهای مشابه انجام گرفت. مساحت پهنه‌های بدست آمده به کمک شاخص‌های NDWI و MNDWI برای شهر آق‌قلا به ترتیب ۸۴ درصد و ۳۲ درصد با نتایج [۵] اختلاف دارد. شاخص MNDWI به دلیل استفاده از باندهای با طول موج بلندتر نسبت به شاخص NDWI نتایج نزدیک‌تری به نتایج ماهواره سنتینل-۱ دارد که با امواج ماکروویو با طول موج بلند تصویر برداری می‌کند. زمانی که پهنه‌های سیلاب از دو طیف رنگی متفاوت تشکیل شده باشند، پهنه‌های بدست آمده به کمک شاخص NDWI، با خطای زیادی همراه است، در حالی که پهنه‌های بدست آمده به کمک شاخص MNDWI با خطای کم‌تری می‌باشد.

رودخانه در حد فاصل روستای سلاق‌یلقی تا گنگیرما به علت وجود پیچانرود زیاد و عدم وجود دیواره‌سازی مناسب و لایروبی نشدن رودخانه، ملاحظات جدی صورت گیرد؛ حجم زیادی از سیلاب اخیر از این مناطق با توجه به شیب و توپوگرافی منطقه از سمت شرقی و شمال‌شرقی وارد محیط شهری آق‌قلا شده است. با توجه به این‌که میانگین عرض رودخانه گرگانرود در محدوده شهری برابر ۳۰ متر می‌باشد، و هم‌چنین با توجه به تصاویر ماهواره‌ی سنتینل-۲ با رزولوشن ۱۰ متر در زمان سیلاب، پهنه‌ی سیلاب قابل توجهی برای رودخانه گرگانرود در محدوده‌ی شهری شناسایی نشد، که این نشان می‌دهد پهنه‌های سیلاب در محدوده شهری مربوط به طغیان رودخانه گرگانرود در محدوده شهری نمی‌باشد. پهنه‌های سیلاب بدست آمده با بازبیدهای میدانی، عکس‌ها و گزارشات میدانی گرفته شده از زمان وقوع سیلاب به صورت کیفی مقایسه گردید (شکل ۶)، که همپوشانی قابل قبولی بین آن‌ها وجود داشت که نشان می‌دهد پهنه‌بندی به کمک تصاویر ماهواره‌ای از اطمینان خوبی برخوردار است. شکل ۶ مقایسه پهنه‌های بدست آمده را نشان می‌دهد.



شکل ۵: مقایسه پهنه‌های سیلاب بدست آمده برای سری زمانی مورد نظر با تصویر میدانی-هوایی از وقوع سیلاب

نقشه‌های پهنه‌بندی سیل بدست آمده (شکل ۳ و شکل ۵) با اطلس سیل تهیه شده توسط پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری [۲۵] که در (شکل ۷) نشان داده شده مقایسه گردید. براساس نتایج پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، رودخانه گرگانرود به سه قسمت سراب گرگانرود، گرگانرود میانی و پایاب گرگانرود تقسیم‌بندی شده است که از نظر سیل‌خیز گرگانرود میانی که در محدوده شهر گنبدکاووس تا شهر آق‌قلا قرار دارد در طبقه خطر شدید سیل قرار دارد [۲۵]. از مهم‌ترین علل آن می‌توان به ورود سیلاب زیرشاخه‌های رودخانه قره‌سو به رودخانه گرگانرود در محدوده روستای سلاق‌یلقی اشاره کرد که بار رسوبی بسیار زیادی را از بالادست حوزه آبخیز قره‌سو وارد رودخانه گرگانرود می‌کند، این امر موجب تنگ‌شدگی و کاهش شدید عرض مقطع رودخانه در محدوده روستای سلاق‌یلقی تا روستای یامپی شده و به همین دلیل حجم سیلاب زیادی از این بستر رودخانه خارج شده و وارد

جدول ۴: مقایسه مساحت پهنه‌های بدست آمده برای شهر آق‌قلا با نتایج گنجی و همکاران [۵]

تاریخ	شاخص NDWI (کیلومتر مربع)	شاخص MNDWI (کیلومتر مربع)	نتایج گنجی و همکاران [۵] (کیلومتر مربع)	اختلاف نتایج [۵] با شاخص NDWI	اختلاف نتایج [۵] با شاخص MNDWI
۱۳۹۷/۱۲/۲۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۳۹۸/۰۱/۱۴	۸/۹۵۳	۵۱/۰۹۱	۳۳/۴۷۰	۷۳/۲۵۰ %	۳۴/۴۸۹ %
۱۳۹۸/۰۱/۱۶	۹/۴۹۰	۴۰/۸۴۲	۳۳/۴۷۰	۷۱/۶۴۶ %	۱۸/۰۵۰ %
۱۳۹۸/۰۱/۲۶	۰/۰۲۹	۴/۷۳۵	۱/۸۳۶	۹۸/۴۱۵ %	۶۱/۳۵۱ %
۱۳۹۸/۰۲/۰۵	۱/۳۰۸	۲۶/۸۴۸	۲۲/۳۷	۹۴/۱۵۰ %	۱۶/۷۱۶ %

M. and Malekian, A. 2010. Potential Flood Zoning in Urban Areas Using Capability of Remote Sensing (Case Study: Birjand City), First National Conference on Urban Flood Management, USWM01_079 (In Persian)

8. Khalilzadeh, M. 2003. Risk assessment and flood management in Gorgan. Master's thesis Gorgan University of agricultural sciences and natural resources (In Persian)

9. Kumar, R. 2017. Flood Inundation and Hazard Mapping of 2017 Floods in the Rapti River Basin Using Sentinel-1A Synthetic Aperture Radar Images. Chapter 6, ISBN: 9783319998824.

10. Kwang, C. Matthew, E. Jnr, O. and Amoah, AS. 2018. Comparing of Landsat 8 and Sentinel 2A using Water Extraction Indexes over Volta River. Journal of Geography and Geology; Vol. 10(1):1-7. ISSN 1916-9779.

11. Martinis, S. Kersten, J. and Twele, A. 2015. A fully automated TerraSAR-X based flood service. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Inc. (ISPRS) 104:203-212. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.07.014>

12. McFeeters, SK. 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing 17(7):1425-1432

13. Musa, ZN. Popescu, I. and Mynett, A. 2015. A review of applications of satellite SAR, optical, altimetry and DEM data for surface water modelling, mapping and parameter estimation. Hydrology and Earth System Sciences 19(9):3755-3769

14. Nandi, I. Srivastava, PK. and Shah, K. 2017.

منابع

1. Ali Baig, MH. Zhang, L. Wang, S. Jiang, G. Lu, S. and Tong, Q. 2013. Comparison of MNDWI and DFI for Water Mapping in Flooding. Season Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing-100101, Chin. 2876-2879

2. Cian, F. Marconcini, M. and Ceccato, P. 2018. Remote Sensing of Environment Normalized Difference Flood Index for rapid flood mapping: Taking advantage of EO big data Flood mapping. Remote Sensing of Environment 209 (2018):712-730

3. Di, Baldassarre. and Uhlenbrook, S. 2012. Is the current flood of data enough? A treatise on research needs for the improvement of flood modelling. Hydrological Processes 26(1):153-158

4. Du, Y. Zhang, Y. Ling, F. Wang, Q. LiW. and Li, X. 2016. Water Bodies' Mapping from Sentinel-2 Imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m Spatial Resolution Produced by Sharpening the SWIR Band. Remote Sensing 2016, 8, 354; doi: 10.3390/rs8040354

5. Ganji, K. Gharachelou, S. and Ahmadi, A. 2019. URBAN'S RIVER FLOOD ANALYSING USING SENTINEL-1 DATA CASE STUDY: (GORGANROOD, AQ'QALA), GeoSpatial Conference 2019 - Joint Conferences of SMPR and GI Research, 12-14 October 2019, Karaj, Iran. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W18-415-2019>

6. Kalkan, K. Akar, I. Maktav, D. and Ozdemir, Y. 2009. Determination of Land Use on Flood Risk by Using Integration of GIS and Remote Sensing. IEEE 05158202. 23-26

7. Kardanmoghadam, H. Rahim zadeh, Z. Dehghani,

20. Szantoi, Z. and Strobl, P. 2019. Copernicus Sentinel-2 Calibration and Validation. *European Journal of Remote Sensing*. Taylor & Francis 52(1):253–255. Available at: <https://doi.org/10.1080/22797254.2019.1582840>
21. Telvari, A. 1998. Flood management and containment workshop on flood control of rivers. Iranian Hydraulic Association (In Persian)
22. Wang, Y. Colby, JD. and Mulcahy, KA. 2002. An efficient method for mapping flood extent in a coastal floodplain using Landsat TM and DEM data. *International Journal of Remote Sensing* 23(18):3681–3696
23. Xu, H. 2006. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing* 27(14):3025–3033
24. Zhou, Y. He, B. Xiao, F. Feng, Q. Kou, J. and Liu, H. 2019. Retrieving the lake trophic level index with landsat-8 image by atmospheric parameter and RBF: A case study of Lakes in Wuhan, China. *Remote Sensing* 11(4). doi: 10.3390/rs11040457
25. <http://atlas.scwmri.ac.ir/fa-IR/atlas.scwmri.ac/31840/page/%D8%A7%D8%B7%D9%84%D8%B3-%D8%B3%DB%8C%D9%84>
26. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/processing-levels/level-2>
- Floodplain Mapping through Support Vector Machine and Optical / Infrared Images from Landsat 8 OLI/TIRS Sensors: Case Study from Varanasi. *Water Resources Management*. Water Resources Management. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-017-1568-y>
15. Pulvirenti, L. Chini, M. Pierdicca, N. and Boni, G. 2016. Use of SAR data for detecting floodwater in urban and agricultural areas: The role of the interferometric coherence. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 54(3):1532–1544
16. Romanescu, G. and Stoleriu, C. 2014. An inter-basin backwater over flow the Buhai Brook and the Ezer reservoir on the Jijia River Romania. *Hydrological Processes*, vol. 28, pp. 3118, 2014
17. Schlaffer, S. Chini, M. Giustarini, L. and Matgen, P. 2017. Probabilistic mapping of flood-induced backscatter changes in SAR time series. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo information*. Elsevier B.V. 56:77–87. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2016.12.003>
18. Schumann, GJP. Frye, S. Wells, G. Adler, R. Brakenridge, R. Bolten, J. Murray, J. Slayback, D. Policelli, F. Kirschbaum, D. and Jones, B. 2016. Unlocking the full potential of Earth observation during the 2015 Texas flood disaster. *Water Resources Research* 52(5):3288–3293
19. Stancalie, G. Craciunescu, V. Nertan, A. and Mihailescu, D. 2012. Contribution of Satellite Data to Flood Risk Mapping in Romania, *IGARSS, IEEE*, 978-1-4673-1159-5/15/\$31.00



Abstract

Flooding Zone Extracting Using Spectrum Proportionality of Sentinel-2 and Landsat-8 Satellite Data (Case Study: Aq'Qala County Flooding)K. Ganji¹, S. Gharechelou² and A. Ahmadi³

Received: 2019/12/12 Accepted: 2020/08/22

Nowadays, the environmental structure has been changing and natural disasters, including sudden floods increasing. Due to the crossing of Gorganrood River in the city of Aq'qala, it has always been in the risk of flood in the spring and summer. In this study for time series flood zones and flood's map area calculating which occurred in 23rd March 2019, we used Sentinel-2 and Landsat-8 data because of high spatial resolution and free accessibility. For removing noise and clouds applied the atmospheric and radiometric correction on images and then used MNDWI and NDWI indexes for identifying of water and high moisture soil. The results shown the MNDWI index was better than the NDWI index for identify the moody water and high moisture zones. Flood zones maps produced by MNDWI index are shown more flooding area than NDWI index map. The area of flood maps for Aq'qala county and Aq'qala city were 262.453 and 51.091 Km², respectively. The maximum flow rate discharge with 50 years returns period was 739 m³/s that the northern and eastern of Aq'qala city were flooded. When the flood is muddy, using MNDWI index is 50 percent better than NDWI index.

Keywords: Aq'qala, Flood, Mapping, MNDWI, NDWI, Landsat-8, Sentinel-2.

1 M.Sc. Water and Hydraulic Structures, Shahrood University of Technology. Corresponding Author Email: kamraneganji@gmail.com

2 Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Shahrood University of Technology.

3 Associate Professor, Department of Civil Engineering, Shahrood University of Technology.