

شناسایی نواحی مستعد سیلاب در استان گلستان با استفاده از تصاویر سنتینل و مدل‌سازی هیدرولیکی

اکرم نمازی راد- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد.
ندا محسنی* - استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد.
سید رضا حسین زاده- دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۲۵ تأیید نهایی: ۱۴۰۰/۰۷/۱۶

چکیده

هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی بازه زمانی عقب نشینی آب از پهنه‌های سیلابی مربوط به سیلاب سال ۱۳۹۸ استان گلستان با استفاده از تصاویر سنتینل و همچنین مدل‌سازی پاسخ مناطق مستعد به سیلاب به تغییرات دبی رودخانه در بخشی از گرگانرود با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS می‌باشد. با استفاده از تصاویر Sentinel-1 در بازه‌های قبل، حین و بعد از سیلاب، تغییر جریانات سطحی و روند آب گرفتگی بررسی شده است. در مرحله بعد به کمک داده‌هایی نظیر ضریب مانینگ و مقادیر دبی پیک سیلاب برای دوره‌های بازگشت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله از نرم افزار HEC-RAS استفاده شد. مقایسه تصاویر سه ماه بعد از وقوع سیلاب با تصاویر یک ماه بعد از وقوع نشان می‌دهد که کانال‌ها و مجاری، مزارع و دشت‌های سیلابی واقع در نواحی مرکزی دشت گرگان بین یک تا سه ماه بعد از اتمام سیل همچنان تحت آب گرفتگی قرار داشتند. ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی حوضه گرگانرود، شیب زمین و کاربری اراضی مهم‌ترین عوامل موثر بر وسعت پهنه‌های سیل گرفته و بازه‌ی زمانی عقب نشینی سیلاب می‌باشند. رواناب‌های تولید شده در امتداد مناطقی با شیب زیاد به سمت مراکز جمعیتی هدایت شده، سپس به دلیل کم شیب بودن زمین به سمت شمال آق قلا پخش شده‌اند. بطوریکه این محدوده‌ها را به کانون بحرانی پهنه‌های سیل گیر تبدیل کرده‌اند. نتایج مدل نیز در تطابق با یافته‌های حاصل از پردازش تصویر، نشان داد که سرعت جریان در دشت‌های سیلابی سمت راست که میزان شیب آن‌ها از دشت‌های سیلابی سمت چپ بیشتر بوده، افزایش داشته است. خارج شدن سیلاب از بستر رودخانه و پیشروی این حجم از آب به سمت شمال آق قلا، باعث آب گرفتگی پهنه‌ی وسیعی از زمین‌ها شده است که عامل موثر در این زمینه شیب بیشتر زمین‌های اطراف به سمت شهر آق قلا بوده است. همچنین در دوره‌های بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله، اگر بستر کانال رودخانه به طور مرتب لایروبی شود و رسوبات از کف آن حذف شوند، حجم سیلاب از بستر اصلی رودخانه تجاوز نمی‌کند، و فقط در دوره بازگشت ۱۰۰ سال و بالاتر از آن شاهد آب گرفتگی محدوده‌های خارج از بستر رودخانه خواهیم بود. به کارگیری دو تکنیک سنجش از دور و مدل‌سازی هیدرولیکی می‌تواند برای انجام اقدامات مدیریتی در راستای کاهش شدت سیل گرفتگی و پیامدهای ناشی از آن راه گشا باشد.

واژگان کلیدی: مدیریت سیلاب، برنامه ریزی محیطی، Sentinel-1 HEC-RAS.

مقدمه

سیلاب به عنوان یکی از شایع‌ترین بلایای محیطی زمانی اتفاق می‌افتد که جریان‌های سطحی ناشی از بارندگی‌های شدید بیشتر از ظرفیت زهکشی بوده و در نتیجه منجر به مغروق شدن نواحی خشکی شود. آمار و اطلاعات بدست آمده از سیلاب در ایران و جهان نشان دهنده وسعت صدمات مخرب این مخاطره با آثار منفی طولانی مدت بر جنبه‌های مختلف زندگی انسان، سایر موجودات زنده و منابع طبیعی می‌باشد. از جمله عوامل موثر بر وقوع و شدت سیلاب‌ها در دهه‌های گذشته می‌توان به نقش و دخالت فعالیت‌های انسانی در تغییر شکل مورفولوژی رودخانه‌ها اشاره کرد (همیایون و رشنی^۱، ۲۰۲۰). پتانسیل سیل در حوضه‌های زهکشی به طور قابل توجهی تحت تاثیر ویژگی‌های مورفولوژیکی آن‌ها قرار دارد (گان و لیانگ^۲، ۲۰۱۸). بطوریکه پارامترهای مورفومتریک می‌توانند ابزاری مفید برای ارائه درک عمومی از ویژگی‌های فیزیکی حوضه زهکشی و میزان حساسیت آن‌ها به سیلاب‌های احتمالی باشند. بعلاوه افزایش استفاده از زمین‌های دشت‌های سیلابی و حاشیه رودخانه‌ها، بروز خسارات ناشی از سیل را تشدید می‌کنند. اندازه‌گیری متغیرهای هیدرولیکی مانند ارتفاع آب و میزان تخلیه در طول دوره سیل بسیار چالش برانگیز است (بالاش و همکاران^۳، ۲۰۱۹). در چنین شرایطی، تکنیک‌های سنجش از دور می‌توانند اطلاعاتی سریع و قابل اعتماد را برای پهنه بندی مناطق پرخطر سیلاب و ارزیابی آسیب سیل فراهم آورند (مارچی و همکاران^۴، ۲۰۱۶؛ آگنیهورتی و همکاران^۵، ۲۰۱۹). به منظور تعیین میزان سیلاب، وسعت پهنه‌های سیل گرفته و مهمتر، ارزیابی تفاوت مناطق مختلف از لحاظ بازه عقب نشینی آب، اطلاعات جمع‌آوری شده از طریق تصاویر رادار می‌تواند تفکیک مکانی و زمانی خوبی در اختیار قرار دهند (آنوشا و بهاراتی^۶، ۲۰۱۹). اگر چه جلوگیری از خطر سیل و یا جلوگیری از وقوع آن‌ها غیر ممکن است، اما این امکان وجود دارد که بتوان با اقدامات مدیریتی از شدت اثرات مخرب آن‌ها کاست. سنسورهای فعال و غیرفعال، که در بخش‌های الکترومغناطیسی طیف مرئی، مادون قرمز، حرارتی و مایکروویو فعالیت می‌کنند، اطلاعات موثر و حیاتی را در مناطق متأثر از سیل فراهم می‌آورند (سانیال و لو^۷، ۲۰۰۴). محققان بسیاری از داده‌های سنجش از دور یا مدلسازی‌های هیدرولیکی برای پایش، تحلیل و نقشه‌برداری از جریان پیوسته سیل در بخش‌های مختلف ایران و جهان استفاده کرده‌اند. با توجه به اینکه استفاده از تصاویر سنتینل برای پایش و پیش بینی سیلاب مربوط به چند سال اخیر می‌باشد، اکثر مطالعات انجام شده مربوط به کمتر از یک دهه اخیر است. مصری علمداری (۱۴۰۰) با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-HMS به تحلیل و پهنه بندی سیلاب در حوضه آبریز قلعه چای در عجب شیر پرداخت. بر اساس نتایج این مطالعه، شبیه سازی بارش - رواناب نشان داد که بارش‌هایی با دوره بازگشت بیشتر می‌توانند باعث ایجاد دبی‌های پیک سیلاب شوند. زیرحوضه‌های میانی حوضه به دلیل عواملی مانند پوشش گیاهی ضعیف، فراوانی برونزدهای سنگی، شیب زیاد، کشیدگی اندک، زمان تمرکز و تاخیر پایین از سیل خیزی بالایی برخوردار می‌باشند. مختاری و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از مدل دینامیکی HEC-RAS به تحلیل دینامیکی مخاطره سیل در مخروط افکنه‌های فعال واقع در شمال غربی ایران پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که با وقوع سیلابی با دوره بازگشت ۲۵ سال، حدود ۱۲۰/۲ هکتار از زمین‌های کشاورزی و حدود ۹/۱ هکتار از مناطق مسکونی واقع در حاشیه رودخانه لیلان چای تحت تأثیر خطر سیل گرفتگی قرار دارند. روستائی و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از تکنیک MIKE 11 به شبیه سازی دو بعدی جریان سیلاب رودخانه ليقوان در دشت‌های سیلابی

1. Himayoun and Roshni

2. Guan & Liang

3. Balasch et al

4. Marchi et al

5. Agnihotri et al

6. Anusha and Baharathi

7. Sanyal & Lu

اقدام نمودند. نتایج بدست آمده از شبیه سازی شبه دوبعدی نشان داد که سرعت سیلاب بر اساس دامنه شیب رودخانه کنترل شده و از آنجا که رودخانه ليقوان شیب نسبتاً بالایی دارد سیلاب‌های آن از زمان تمرکز کمتر و سرعت بسیار بالا برخوردار است که منجر به افزایش توان تخریب با وجود دبی کم می‌شود. فتحعلی زاده و همکاران (۱۳۹۹) علل وقوع سیلاب در حوضه آبریز زونوچای را با استفاده از مدل HEC-HMS و منطق فازی بررسی کردند. نتایج این مطالعه بیانگر اثرات سازنده‌های زمین شناسی، خاک‌هایی با نفوذپذیری کم، ضعف پوشش گیاهی، شیب زیاد، و زمان تاخیر اندک بر افزایش ضریب رواناب در این زیرحوضه‌ها است. سلیمانی و همکاران (۱۳۹۹) الگوریتم آشکارسازی پهنه خسارات سیل را با استفاده از تصاویر سنتینل ۲ برای بررسی سیلاب فروردین سال ۱۳۹۸ در استان گلستان انجام دادند. به این نتیجه رسیدند که داده‌های راداری و انطباق آن با واقعیت‌های زمینی، نشان‌دهنده این موضوع است که الگوریتم آسیب سیل دقت مناسبی در تشخیص خسارت‌های سیل در محدوده مکانی و زمانی مورد مطالعه داشته است. شفیع مطلق و عبادتی (۱۳۹۹) پهنه بندی سیلاب و شبیه سازی رفتار هیدرولیک رودخانه را با استفاده از نرم افزار HEC-RAS در رودخانه مارون واقع در جنوب غرب ایران مورد پژوهش قرار دادند. به طوریکه در این تحقیق مدل‌های ترکیبی به کار گرفته از جمله HEC-RAS، GIS و HEC-HMS نتایجی بسیار نزدیک به واقعیت را نشان می‌دهد. طهماسبی و همکاران (۱۳۹۶) مهمترین عوامل موثر بر وقوع سیل در شهر ایلام را مورد پژوهش قرار دادند. نتایج آن‌ها بیانگر چند نکته است که می‌توان به مدیریت بهینه، تقویت پوشش گیاهی، انجام فعالیت‌های آبخیزداری، تغییر مکان سکونتگاه‌هایی که در مسیر سیلاب هستند و رعایت بهره‌برداری در حریم رودخانه اشاره کرد. حجازی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی مناطق حساس به وقوع سیلاب در حوضه ليقوان چای با استفاده از تکنیک تصمیم گیری چند معیاره و سنجش از دور پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که با توجه به آسیب پذیری بالای مناطق ورودی تبریز، نیازمند انجام اقدامات مدیریتی و پیشگیرانه در بخش‌های بالادست حوضه آبریز می‌باشیم. هیمایون و رشنی (۲۰۲۰) تغییرات ژئومورفیک رودخانه جهلوم که منجر به وقوع سیل بزرگ شده است را مورد پژوهش قرار دادند. نتایج این مطالعه درک درستی نسبت به اقدامات مدیریتی پوشش ساحلی می‌دهد که یک دلیل اصلی برای خسارت‌های اقتصادی عظیم در طول سیل است. آگنیهوتری و همکاران (۲۰۱۹) به نقشه‌برداری و پایش سیل با استفاده از داده‌های SAR و تاثیر آن بر رودخانه Ramganga در حوضه Ganga پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که وقوع سیل شدید منجر به تغییر در مورفولوژی رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی شده است. همچنین می‌تواند به طور قابل توجهی باعث تغییر در عرض کانال رودخانه و سواحل آن شود. این مطالعه بی شک به کاهش تاثیر خطر سیل در منطقه Doab و افزایش انعطاف در فرآیند مدیریت سیل کمک خواهد کرد. آنوشا و بهاراتی (۲۰۱۹) به شناسایی و نقشه برداری سیلاب با استفاده از رادار دریاچه مصنوعی و داده‌های اپتیکی اقدام نمودند. آن‌ها در این مطالعه به این نتیجه رسیدند که شناسایی نواحی مستعد سیل می‌تواند به ورودی‌های بحرانی برای مدل‌سازی سیل، تجزیه و تحلیل و در نتیجه به مدیریت بحران سیل کمک کنند. کریشناونی و تیرومورگان^۱ (۲۰۱۹) با استفاده از تکنیک‌های مکانی و تصاویر ماهواره‌ای در منطقه تامیل نادو، نقشه خطر سیلاب را تهیه کرده که نتایج آن‌ها در تحلیل و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سیلاب توانسته به برنامه‌ریزان شهری برای ارزیابی خطر سیل و آمادگی برای کاهش اثرات سیل کمک نماید. هودسون و کلدیز^۲ (۲۰۰۳) با استفاده از ترکیب رویکردهای ژئومورفیک و سنجش از دور به بررسی گستره پهنه‌های سیل گیر در منطقه‌ای در مکزیکو پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد اگرچه داده‌های سنجش از دور قابلیت بالایی در مشخص کردن گستره پهنه‌های سیل گیر دارند، با این وجود نمی‌توان رویکردهای

1. Thirumurugan & Krishnaveni

2. Dutta et al

3. Hudson & Colditz

ژئومورفیک را در آنالیزهای سنجش از دوری حذف کرد. دوتا و همکاران^۱ (۲۰۰۰) با استفاده از مدل‌های هیدرولیکی به شبیه‌سازی محدوده‌های آب گرفته متاثر از وقوع سیلاب در ژاپن پرداختند. نتایج آن‌ها بیانگر کارایی بالای مدل در پیش بینی پهنه‌های متاثر از سیلاب‌های آینده بوده است.

بارندگی‌های مکرر در روزهای پایانی اسفند ۱۳۹۷ در استان گلستان موجب وقوع سیل شد. به‌طوریکه باعث سرریز شدن دو سد بوستان و گلستان در قسمت شرقی این استان گردید و طغیان شدید رودخانه‌های گرگان‌رود و چهل چای را به دنبال داشت. برآورد بارش طی دو روز، ۳۰۰ میلی متر گزارش شده است که بیش از ۶۶ درصد میانگین بارندگی یک سال و معادل ۴۵۰ میلی متر در استان بوده است. مابقی مناطق در استان، بارشی حدود ۵۰ تا ۷۰ درصد بارندگی سالانه در مدت زمان کمتر از ۵ روز را تجربه کرده‌اند. شهرهای آق‌قلا، بندرترکمن، گنبد کاووس، گمیشان و سایر شهرها که در مسیر و بستر رودخانه‌های چهل چای، قره‌سو و گرگان‌رود استقرار داشتند، به دلیل طغیان خسارات جانی و مالی زیادی را متحمل شدند. بهره‌برداری‌های غیر مجاز از جنگل‌ها و مراتع که باعث فرسایش خاک شده است، بارش‌های پی در پی و آزاد کردن حجم آب پشت سدها، سبب تشدید سیل استان شد. علاوه بر موارد نامبرده، ضعف مدیریتی، عدم لایروبی سه رودخانه اترک، گرگان‌رود و قره‌سو و عوامل طبیعی دخیل در این واقعه در شهرهای ترکمن صحرا و به خصوص آق‌قلا بر شدت سیل و خسارات افزودند (رجبی زاده و همکاران، ۱۳۹۸).

به منظور بررسی و پایش دقیق جریان‌ات سطحی و انجام اقدامات ضروری و مدیریت به موقع جهت رسیدگی و جلوگیری از مشکلات و خسارات ناشی از سیلاب، بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای برای رسیدن به اهداف مورد نظر، ابزاری کاربردی و مفید به نظر می‌رسد. بطور کلی اهداف جزئی این پژوهش به شرح زیر است: ۱- بررسی بازه زمانی عقب نشینی آب از پهنه‌های سیلابی با استفاده تصاویر سنتینل به منظور شناسایی مناطقی با ریسک بالای این مخاطره و ۲- مدل‌سازی پاسخ مناطق مستعد به سیلاب (از لحاظ مساحت پهنه‌های سیل گرفته در دوره‌های بازگشت مختلف) به تغییرات دبی رودخانه در بخشی از رودخانه گرگان‌رود واقع در منطقه آق‌قبر تا انتهای آق‌قلا با استفاده از HEC-RAS. شایان ذکر است در این پژوهش منظور از شناسایی نواحی مستعد سیلاب به نوعی شناسایی پهنه‌های آسیب پذیر به سیل بر اساس پاسخ گذشته منطقه به سیلاب سال ۹۸ استان گلستان می‌باشد.

مواد و روش تحقیق

توصیف منطقه مورد مطالعه

استان گلستان با مرکزیت شهر گرگان در شمال ایران واقع شده است. مساحت استان ۲۰۸۹۳ کیلومتر مربع حدود یک سوم از مساحت کشور می‌باشد. این استان در موقعیت جغرافیایی ۵۳ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۱۹ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۰۸ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). ۴۸ درصد از مساحت آن متعلق به حوضه گرگان‌رود با مساحت ۱۰۱۲۰ کیلومتر مربع می‌باشد. حوضه آبریز گرگان‌رود از شمال به حوضه آبریز اترک، از جنوب و جنوب غربی به حوضه‌های آبریز ایران مرکزی و قره‌سو و از غرب به دریای خزر منتهی می‌شود. حدود ۶۷ درصد از مقدار آب‌های سطحی استان، معادل ۸۲۸ میلیون متر مکعب در این حوضه جاری است. سطح حوضه در جنوب و شرق در ارتفاعات البرز توسط جنگل پوشیده شده است و قسمت شمال و غرب آن به وسیله دشت آبرفتی با کاربری‌های مسکونی، زراعی و مراتع مشخص می‌شود. گرگان‌رود به دلیل اتصال با برخی سرشاخه‌ها مانند ساری سو و جاری بودن آن که از

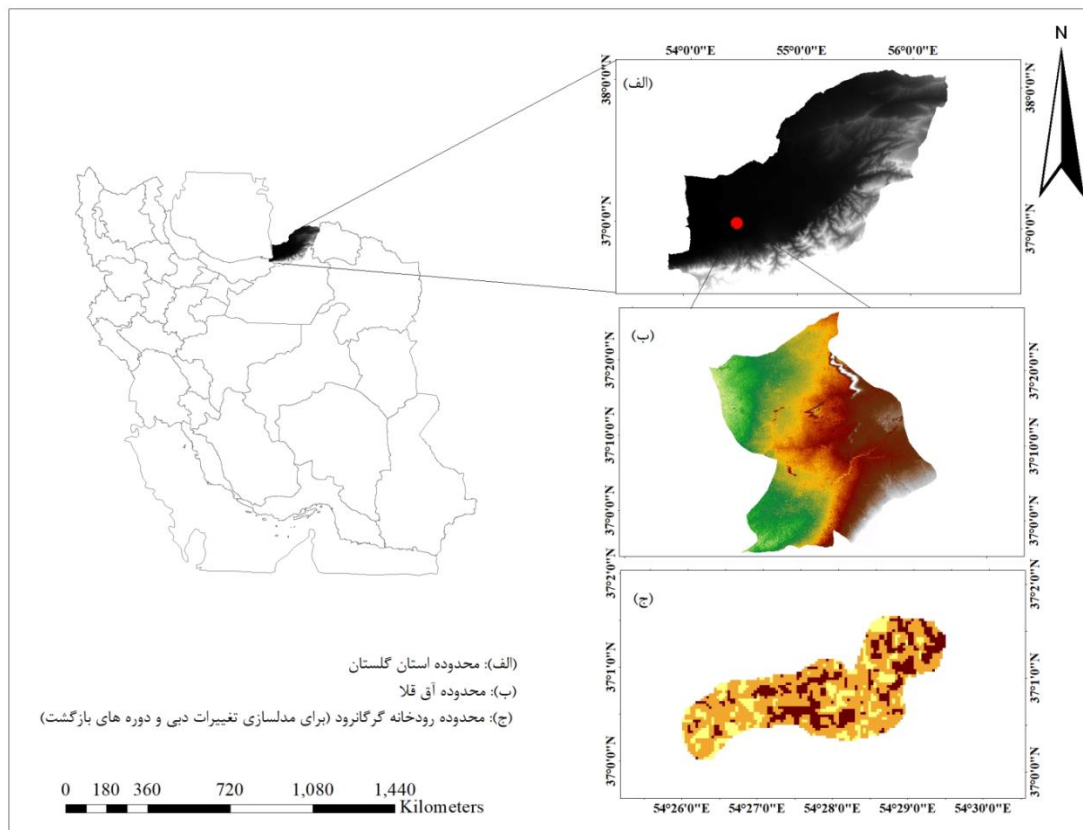
ارتفاعات لسی عبور می‌کند، دارای رسوبات سیلیکاتی ورقه‌ای می‌باشد و به دلیل اختلاف ارتفاع کم با دریای خزر و فرم مانداری خود و سرعت کم، در بیشتر مواقع جریان آن گلی می‌باشد.

داده‌ها و روش پژوهش

پایش سیلاب با استفاده از تصاویر Sentinel-1

در پژوهش حاضر به منظور پایش سیل و مقایسه بازه زمانی عقب نشینی آب از پهله‌های سیل گرفته از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-1 استفاده شده است. چهار تصویر در بازه‌های زمانی متفاوت قبل، حین و بعد از وقوع سیلاب از سایت کوپرنیکوس جمع‌آوری و پردازش شدند. اولین تصویر از نظر زمانی مربوط به دو ماه قبل از سیل است. تصویر حین سیلاب متعلق به زمانی که منطقه در وضعیت بحرانی و آب‌گرفتگی شدید سیل بوده است. در نهایت، دو تصویر بعد از سیل نیز با دو بازه متفاوت، که تاریخ ۲۰۱۹/۶/۹ طولانی‌تر از ۲۰۱۹/۴/۲۲ است، داندود و مورد پردازش قرار گرفتند تا تغییرات ناشی از سیلاب را در سطح منطقه نمایش داده شود. ۴ تصویر تهیه شده از Sentinel-1، بازه‌های یک ماهه تا حداکثر دو ماه را شامل می‌شوند. این فواصل زمانی به منظور بررسی تغییرات حجم آب سیلابی و عقب نشینی آن در سطح منطقه بوده است. بعلاوه سعی شد تا فریم انتخابی سطح وسیعی از مناطقی که مورد هجوم این مخاطره قرار گرفتند، از جمله مناطق مسکونی پایین دست ارتفاعات البرز، شهرهای آق‌قلا و گرگان را پوشش دهد.

بعد از جمع‌آوری تصاویر ماه‌های ژانویه، مارس، آوریل و ژوئن سال ۲۰۱۹، به کمک نرم افزار SNAP به تولید نقشه سیلاب پرداخته و در GIS نقشه‌ها به صورت خروجی به دست آمد. در مرحله اول Subset انتخاب شد، تا تصویر ورودی از لحاظ مکانی برش خورده و پردازش شود. برای برش تصویر در این قسمت و از لحاظ طیفی، قطبش‌های VV انتخاب شد، چون میزان انرژی در دسترس آن نسبت به VH یا HV بیشتر است. در مرحله دوم به منظور استخراج اطلاعات مداری از گزینه Apply Orbit File کمک گرفته شد. به طوریکه به صورت اتوماتیک اطلاعات مداری را جمع‌آوری می‌کند و در تصحیحات رادیومتریک و هندسی بسیار موثر است. مرحله سوم استفاده از Thermal Noise Removal بود. سپس، با انجام Speckle-Filter نویزهای اسپکل را که بر روی داده‌های بک‌اسگتر شده به وجود آمده برطرف شد. با انتخاب Terrain-correction در مرحله بعد، تصحیحات هندسی انجام گردید.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

بعد از تلفیق تصاویر و به دست آوردن یک تصویر، جهت تفکیک و تشخیص مناطق آبی از مناطق غیرآبی، آستانه‌ای بدین منظور تعیین و اجرا شد. بیان این نکته لازم است که مقدار سیگمانات در تصاویر رادار در مناطق آبی تغییر کرده و به میزان صفر نزدیک می‌شود. بدین منظور آستانه‌ای برای این تصاویر تعریف و به صورت یک شرط بیان شد. شرط تعیین شده بدین صورت بود، آن دسته از مناطقی که مقادیر سیگمانات آن‌ها کمتر از 0.1 است را به عنوان محدوده‌ی آبی در نظر بگیرد.

If $\text{Sigma} 0 - \text{VV} - \text{mst} < 0.1$ Then 1.0 else 0 (تصویر مورد نظر)

بعد از تعیین آستانه، تصویر دسی بل تولید شد، که با این روش پهنه‌های آبی با وضوح بالا قابل مشاهده هستند. دو مرحله قبل را برای هر یک از تصاویر به صورت جداگانه انجام داده و مجدد به کمک یک شرط، دو تصویر از هم تفریق شده تا نقاط سیل زده را نمایش دهد ($\text{Water2} - \text{Water1}$). در مرحله بعد، تصویر به دست آمده با استفاده از ترکیب باندی، مناطق سیلابی را از مناطق عادی یا همان پهنه‌های آبی که قبلاً در سطح منطقه وجود داشتند، متمایز ساخته و به تصویر RGB تبدیل شدند. در گام‌های بعدی یک طبقه‌بندی انجام شد تا از مناطق سیل زده نقشه‌ای تهیه شده و بر اساس الگوریتم رندم فارست، مناطق سیل زده را از سایر پوشش‌ها متمایز سازد. فلوچارت مراحل پردازش تصاویر در شکل ۲ نشان داده شده است.

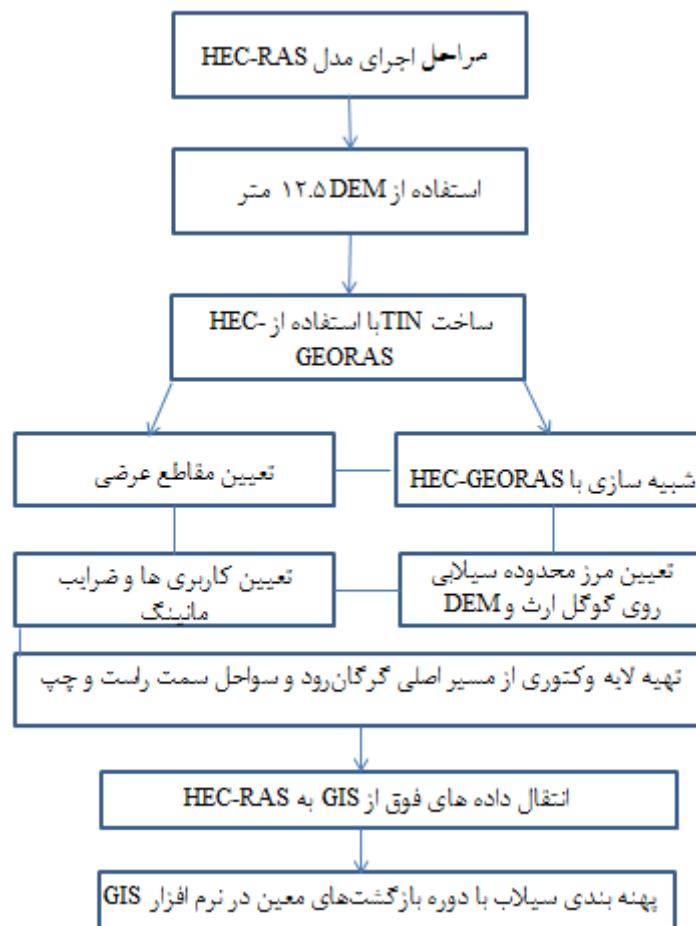


شکل ۲: فلوچارت مراحل انجام تهیه نقشه‌های RGB سیل

پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS

با استفاده از لایه DEM محدوده با وضوح ۱۲/۵ متر و اپلیکیشن HEC-GEORAS در نرم افزار GIS، لایه TIN منطقه آق‌قلا در استان گلستان ساخته شد. محدوده مورد مطالعه بر اساس مرز شهر آق‌قلا و با توجه به حریم رودخانه از Google Earth تهیه شد. بعلاوه مسیر اصلی رودخانه گرگان‌رود و سواحل سمت راست و چپ نیز مشخص گردید، تا لایه وکتوری آن نیز به دست آید. پس از تعیین مسیر اصلی رودخانه و سواحل دو طرف آن، از HEC-GEORAS داده خروجی

گرفته و در نرم افزار HEC-RAS فراخوانی شدند. بعد از وارد کردن اطلاعات و داده‌های مدل‌سازی در HEC-RAS که شامل مقاطع عرضی و کاربرهای تعیین شده بودند، ضریب مانینگ و دوره‌های بازگشت سیلاب بررسی شد. ضریب مانینگ یک شاخص مهم در بررسی سطح آب رودخانه‌ها می‌باشد، که به عواملی مانند پوشش گیاهی، وضعیت نامساعد هندسی رودخانه، زبری سطوح، شکل و ابعاد رودخانه، تراز، شرایط رسوبگذاری، تغییرات حرارتی فصول مختلف، و مواد معلق در مسیر بستر آبراهه بستگی دارد. ضریب مانینگ در این مطالعه بر اساس اطلاعات کتاب چاو، نشریه ۶۸۸ و سایر مطالعات صورت گرفته به دست آمد. مقادیر ضریب مانینگ برای مسیر اصلی رودخانه و سیلاب‌دشت‌های سمت راست و چپ تعیین شد. مقادیر دبی پیک سیلاب برای دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله و با توجه به گزارشات اداره آبخیزداری استان گلستان برای آبراهه اصلی استخراج و مورد تحلیل قرار گرفت. با وارد کردن این اطلاعات، مدل در نرم افزار HEC-RAS به مرحله اجرا رسیده و برای گام نهایی که همان پهنه بندی سیلاب با دوره بازگشت‌های معین بود در نرم افزار GIS خروجی گرفته شد. فلوجارت مراحل انجام مدل در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: فلوجارت مراحل انجام مدل‌سازی هیدرولیکی

یافته‌ها و بحث

شناسایی محدوده‌های پرخطر سیلاب و مقایسه بازه زمانی عقب نشینی آب از پهنه‌های سیلاب گرفته در پژوهش پیش رو متناسب با هدف اول، به بررسی بازه زمانی عقب نشینی آب از پهنه‌های سیلابی با استفاده از تصاویر سنتینل به منظور شناسایی مناطقی با ریسک بالای این مخاطره و ارزیابی عوامل موثر بر آن پرداخته شد. تصاویر تهیه شده در بازه‌های مشخص پس از دانلود و پردازش در نرم‌افزار SNAP به صورت تصاویر RGB تهیه شده‌اند. بطوریکه در

این تصاویر رنگ قرمز نشان دهنده مناطق سیل گرفته می‌باشد (شکل ۴). محدوده‌هایی که به روشنی تغییرات حجم آب سیلابی را از اواسط فروردین سال ۱۳۹۸ تا اواسط خرداد ماه همان سال نمایش می‌دهند. لازم به ذکر است که تصویر (الف) در شکل ۴ از تلفیق دو تصویر که یکی در بازه‌ی قبل از سیلاب در تاریخ بهمن ماه ۱۳۹۶ و تصویر وقوع سیل در تاریخ ۱ فروردین ماه ۱۳۹۸ است، تولید شده است. همانطور که در شکل ۴ الف مشاهده می‌شود حجم سیلاب وارد شده در منطقه بسیار بالا بوده و به عبارتی بیشترین مساحت منطقه را در بر گرفته است. همچنان که در تصویر مشاهده می‌گردد بیشترین محدوده‌های تحت پوشش سیلاب، نواحی مسکونی و زمین‌های کشاورزی می‌باشند.

تصویر (ب) در شکل ۴ که از پردازش دو تصویر در بازه‌های حین سیلاب در تاریخ ۱ فروردین ماه ۱۳۹۸ و بعد از سیلاب در تاریخ ۳۱ فروردین ماه همان سال تهیه شده است و تصویر (ج) در شکل ۴ مربوط به بازه‌ی ۳۱ فروردین و ۱۵ خرداد ۱۳۹۸ می‌باشد، نشان‌دهنده تغییرات بارزی در حجم آب گرفتگی بعد از گذشت یک تا سه ماه از وقوع اولیه سیلاب در منطقه است. علاوه بر این تصویر گویای این موضوع است که حجم پراکنده آبی که در تصویر ۳ الف در تمام نقاط استان مشاهده می‌شود، در تصاویر ۴ ب و ج به کانال‌ها و مجاری، مزارع و دشت‌های سیلابی واقع در نواحی مرکزی دشت گرگان هدایت شده است. این نتایج نشان‌دهنده اثرات چشمگیر کاربری اراضی بر وسعت پهنه‌های سیل گرفته و بازه‌ی زمانی عقب نشینی سیلاب می‌باشد. عبارتی دیگر یک ماه بعد از وقوع سیلاب بخش‌های عمده‌ای از آب گرفتگی خارج شده‌اند ولی نواحی مرکزی دشت گرگان که در مجاورت رودخانه‌های اصلی و فرعی بوده‌اند، همچنان مغروق از آب بوده‌اند. بنابراین مناطقی که بیشترین حجم آب گرفتگی را در زمان وقوع سیل نشان داده‌اند، همچنان یک ماه بعد از اتمام سیلاب، زیر آب قرار داشته‌اند. وجود گل و لای حاصل از فرسایش در مناطق مسکونی و بویژه در هنگام وقوع سیلاب باعث افزایش میزان انعکاس امواج در باند مادون قرمز شده و این مخاطره در مناطق مسکونی نیز قابل رویت است. در برخی موارد امکان خطای تصاویر رادار در تشخیص و تعیین مقادیر بگ‌اسکتر شده نیز مزید بر علت شده و آن‌ها را به صورت پهنه‌های سیلابی نمایش می‌دهد.

مدلسازی پاسخ مناطق مستعد به سیلاب به تغییرات دبی رودخانه (رودخانه گرگانرود)

در این مطالعه جهت مدلسازی و نمایش دوره‌های بازگشت سیل برای قسمتی از رودخانه گرگانرود که از شهر آق قلا به طول تقریبی ۱۴ کیلومتر عبور می‌کند، اقدام شد. به منظور انجام این عملیات از نرم‌افزارهای HEC-RAS و GIS استفاده گردید. با بهره‌گیری از نقشه‌های توپوگرافی و وارد نمودن مشخصات رودخانه مانند طول، مسیر، محدوده‌ی آبراهه، و مقاطع عرضی، مشخصات مورد نظر در GIS مدل سازی و به نرم‌افزار HEC-RAS منتقل گردید (شکل ۵). مقاطع عرضی رودخانه به روش اتوماتیک از کناره چپ به کناره سمت راست رودخانه بر روی لایه TIN و عمود بر جریان رودخانه و در جهت جریان رسم شدند.

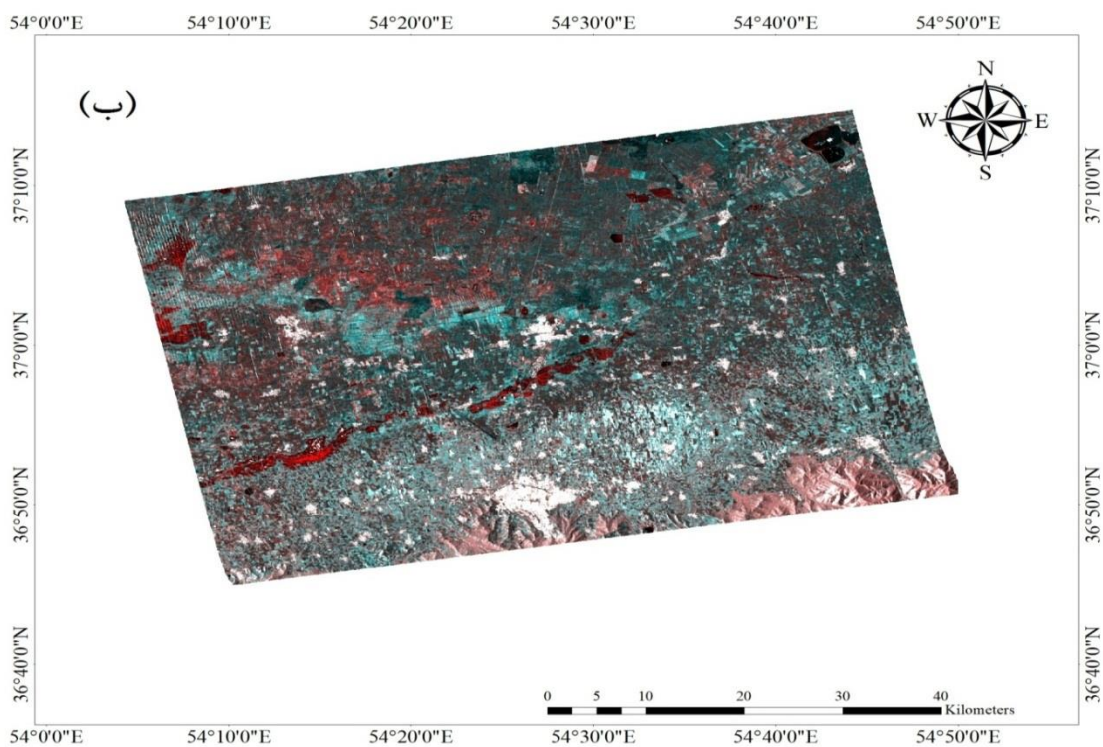
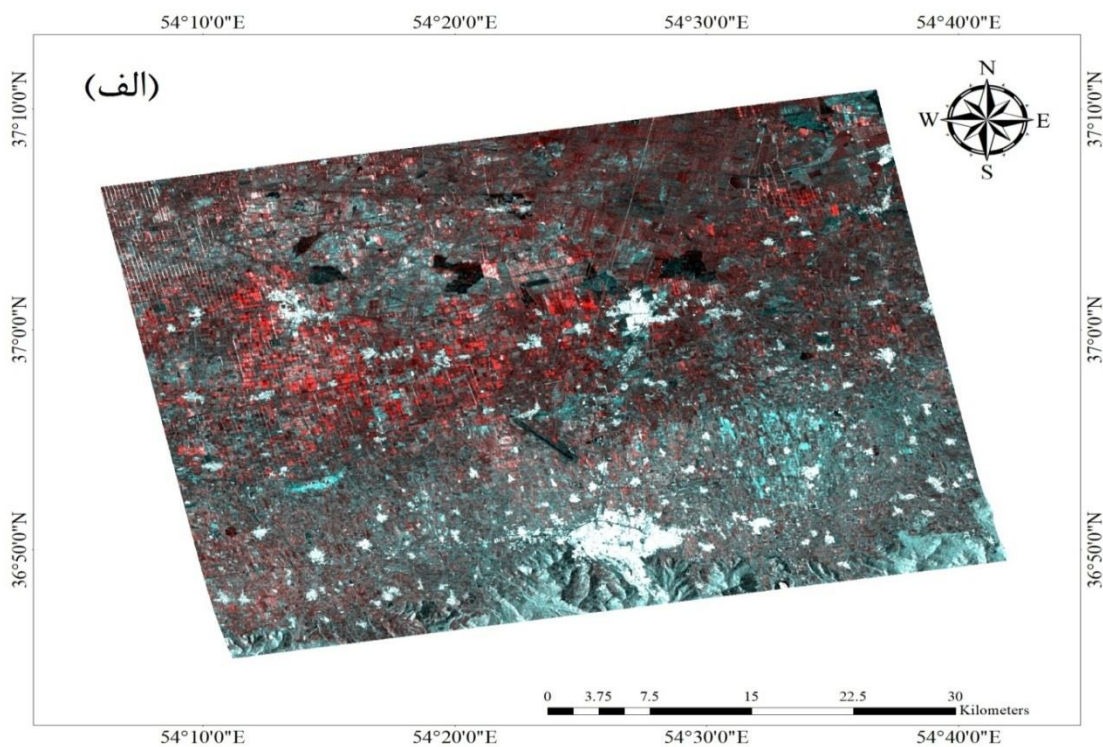
پس از تهیه خروجی از مدل بدست آمده، همه مشخصه‌ها و فاکتورهای مدل رودخانه وارد نرم‌افزار HEC-RAS شده و تعداد مقاطع نیز ۱۴۳ عدد ثبت شد. همانطور که قبلاً نیز بیان شد، مقاطع به صورت اتوماتیک در فاصله ۵۰ متری و عرضی معادل ۳۵۰ متر طراحی شده است. ضریب مانینگ یکی دیگر از فاکتورهای اساسی در تشخیص سطح آب رودخانه‌ها است که عواملی از جمله پوشش گیاهی، زبری سطوح، تراز رودخانه، شکل و ابعاد رودخانه، شرایط رسوبگذاری، وضعیت نامنظم هندسی رودخانه، مواد معلق جامد و تغییرات حرارتی فصلی بر آن تاثیرگذار هستند. مقدار ضریب مانینگ در دو ساحل راست و چپ و در محدوده‌ی شهری آق قلا با استفاده از نشریه ۶۸۸ و کتاب چاو تهیه شد. بعد از ترسیم و وارد کردن مقاطع عرضی رودخانه، مقدار ضریب مانینگ برای کانال اصلی رودخانه و دشت‌های سیلابی راست و چپ قید شد. پس از آن دبی‌ها با دوره‌های بازگشت متفاوت در آبراهه اصلی وارد گردید.

مطابق با آمار سازمان آب منطقه‌ای استان گلستان دبی حداکثر اندازه‌گیری شده از ایستگاه هیدرومتری واقع در شهر آق‌قلا در سال ۱۳۹۸ برای دوره بازگشت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب ۳۸۶/۸، ۴۸۳/۸، ۵۹۳/۳ متر مکعب بر ثانیه محاسبه شده است، که بر اساس آمار بدست آمده شبیه سازی سیلاب صورت گرفت. اما در پروفیل طولی رودخانه که ۱۴ کیلومتر است، شیب کمی با جهت شرقی و غربی رویت می‌شود. این امر موجب تجمع حجمی از آب گرفتگی که به دلیل جریان نداشتن سیلاب، رخ می‌دهد، اتفاق می‌افتد. نتایج بدست آمده از مدل هیدرولیکی نشان می‌دهد که با افزایش دوره‌های بازگشت سیلاب، بر میزان دبی رودخانه گرگنرود نیز اضافه شده و متناسب با آن مقدار آبگرفتگی و محدوده‌های زیر سلطه سیل نیز افزایش یافته است.

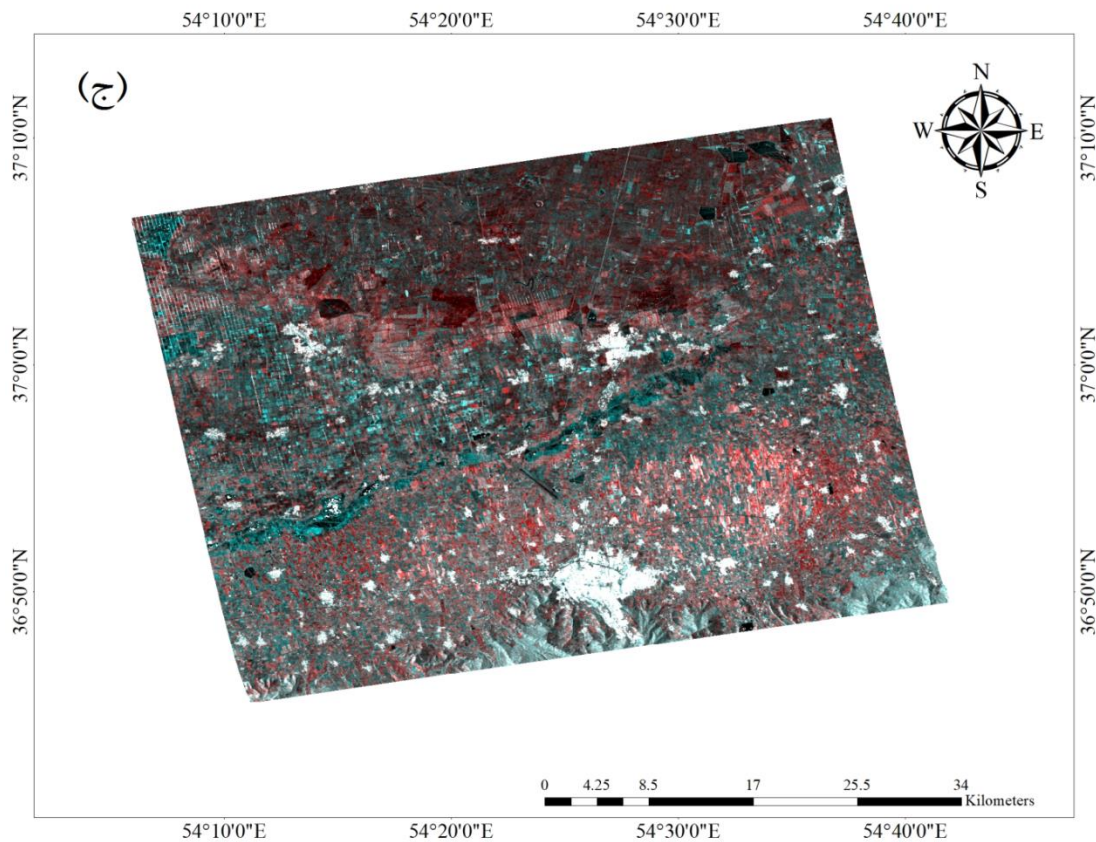
بررسی انجام شده روی نتایج بدست آمده (اشکال ۵ و ۶) گویای این مطلب است که سرعت جریان در دشت‌های سیلابی سمت راست با میزان شیب بیشتر از دشت‌های سیلابی سمت چپ، روند افزایشی داشته است. خارج شدن سیلاب از بستر رودخانه و پیشروی این حجم از آب به سمت شمال شهر، باعث آب گرفتگی پهنه‌ی وسیعی از زمین‌ها شده است که عامل موثر در این زمینه شیب بیشتر زمین‌های اطراف است که به سمت آق‌قلا امتداد دارند. خروجی نهایی از پهنه‌بندی سیلاب در نرم‌افزار HEC-RAS در شکل ۵ بر روی تین و در شکل ۶ نیز نشان دهنده این موضوع است.

همانطور که در شکل ۶ نیز نشان داده شده است، نتایج این پژوهش با استفاده از داده‌های بدست آمده از نرم افزار HEC-RAS نشان می‌دهد که در دوره‌های بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله، اگر بستر کانال رودخانه به طور مرتب لایروبی و رسوبات تجمعی از کف آن حذف شوند، حجم سیلاب از بستر اصلی رودخانه تجاوز نمی‌کند، و فقط در دوره بازگشت ۱۰۰ سال و بالاتر از آن شاهد آب گرفتگی محدوده‌های خارج از بستر رودخانه خواهیم بود. از طرفی شهر آق‌قلا بیشترین حجم ورودی سیلاب را از سمت شمال به خود راه داده است که از بخش‌های خارجی شهر وارد شهر شده‌اند. بنابراین حجم زیادی از سیلاب در نواحی بیرون شهر از بستر رودخانه خارج شده و در بستر داخل شهر وارد شده است. بعلاوه بر اساس دیواره‌سازی‌ها و بسترسازی انجام شده در داخل شهر بر روی رودخانه گرگنرود، می‌توان گفت که این محدوده در برابر سیل‌های ۵۰ سال به بالا دچار بحران می‌شود. لذا به منظور جلوگیری از آب گرفتگی در نواحی خارج از شهر به ویژه در محدوده‌ی شرقی شهر آق‌قلا که بیشترین ظرفیت جذب آب و نگهداری سیلاب را دارد، باید تصمیمات لازم برای مقاوم سازی آن در برابر سیلاب اتخاذ گردد (گنجی و همکاران، ۱۳۹۸).

انطباق نتایج حاصل از مدل (شکل ۶) و نتایج بدست آمده از پردازش تصاویر سنتینل بیانگر این موضوع است که بخش‌هایی از شهر آق‌قلا که در تصاویر مربوط به بعد از وقوع سیلاب، همچنان زیر آب بوده‌اند و با تاخیر زمانی نسبت به سایر بخش‌ها حجم آب عقب نشینی کرده است، دقیقاً در نتایج مدل‌سازی نیز این بخش‌ها شاهد بیشترین سرعت جریان هستند. بطوریکه عملاً در سیلاب‌های مربوط به دوره‌های بازگشت مختلف، حجم آب گرفتگی به سمت شمال آق‌قلا عملاً افزایش یافته است. مهم‌ترین علت این اتفاق، ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی حوضه گرگان‌رود و شیب زمین است. به طوری که رواناب‌های تولید شده در امتداد زمین‌هایی با شیب زیاد به سمت مراکز جمعیتی هدایت شده سپس به دلیل کم شیب بودن مناطق و ارتفاع پائین آن‌ها، به‌آسانی به سمت شمال آق‌قلا پخش شده‌اند. بنابراین این محدوده‌ها را به کانون بحرانی پهنه‌های سیل گیر تبدیل کرده‌اند. در ادامه تجزیه و تحلیلی از دلایل نتایج بدست آمده و اقدامات بالقوه در راستای مدیریت و کنترل این مخاطره در منطقه ارائه شده است.



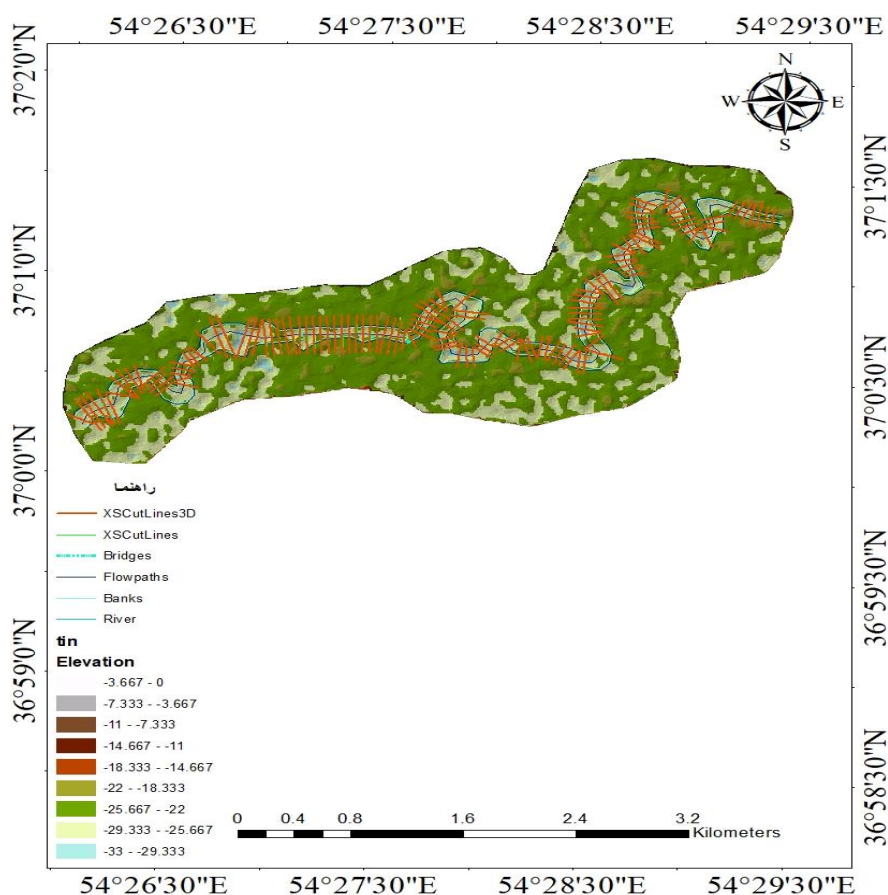
شکل ۴: تصاویر RGB بدست آمده از Sentinel-1 جهت نمایش پهنه‌های سیلابی (پهنه‌های قرمز رنگ محدوده‌های سیل گرفته را نمایش می‌دهد). الف: تصویر مربوط به حین وقوع سیلاب. ب: تصویر مربوط به یک ماه بعد از وقوع سیل. ج: تصویر مربوط به سه ماه بعد از اتمام سیل



ادامه شکل ۴

بر اساس مطالعات انجام شده توسط مرکز تحقیقات راه و مسکن وزارت راه و شهرسازی و همچنین مرکز امور اجتماعی منابع آب و انرژی وزارت نیرو، حجم آب گرفتگی در محدوده شهر آق قلا ۶۶۶ متر مکعب بر ثانیه برآورد شده است که با توجه به آستانه ظرفیت عبوری کانال‌ها، آنچه که موجب آب گرفتگی دشت سیلابی در منطقه آق قلا شده است، مازاد ۵۴۶ متر مکعب بر ثانیه بوده است. آب‌های ناشی از بارندگی ممتد تقریباً ۳۵ ساعته، در مساحت ۸۵۰۰ کیلومتر مربع در جهات شیب جنوب-شمال و شرق-غرب به سمت کانال‌های زهکشی گرگانرود و رودخانه‌های مرتبط با آن روان شده و در مسیری از گنبدکاووس (شرق) به آق قلا (غرب) سیلاب چشمگیری را ایجاد کرده که در ادامه از آق قلا تا نزدیکی سواحل شرقی دریای خزر نیز امتداد یافته و مراکز جمعیتی مسیر را متاثر ساخته است. در سیلاب سال ۹۸، شهرهای آق قلا و گنبد با توجه به موقعیت ژئومورفیک خاص و شیبی که دارند بیشترین میزان آب گرفتگی و تخریب را تجربه کرده‌اند. آق قلا در مرکز تجمع رواناب‌های گرگانرود و شاخه‌های جنوبی آبراه‌های مشرف به آن قرار دارد. بطوریکه این موقعیت ژئومورفیک خاص باعث شد که ارتفاع آبگرفتگی در شهر آق قلا بخصوص در بخش‌های شمالی آن از ۲ متر تجاوز کند. دلیل اصلی حجم زیاد آب گرفتگی و خسارات بالا در این محدوده، طولانی شدن ماندگاری آب و به عبارت دیگر تأخیر در عقب نشینی آب (همچنان که در نتایج تصاویر نیز دیده می‌شود) از محدوده‌های سیلابی به دلیل نوع کاربری آن بوده است که عمده این بخش‌ها کاربری‌های متعدد مسکونی، جاده و کشاورزی داشته‌اند، که زمینه کاهش نفوذ آب را فراهم آوردند. از سوی دیگر، حداکثر شیب در مسیر حرکت سیلاب ۱/۶ تا ۲ درصد بوده است. وجود چنین شیب کم در مسیر حرکت رواناب‌ها باعث شد که سیلاب در محدوده‌های وسیعی پخش شود. با توجه به توضیحات فوق، می‌توان گفت که از مهم‌ترین دلایل تأخیر در عقب نشینی آب از پهنه‌های سیلابی که در تصاویر رادار رصد شده است و همچنین نتایج مدلسازی نشان داده

است، شیب کم منطقه، نفوذپذیری پائین به دلیل عمدتاً نوع کاربری و در نهایت عدم تخلیه آب‌های سیلابی به سمت خارج از محدوده سیل گیر بوده است. به غیر از دلایل مذکور، یکی دیگر از عوامل موثر در تاخیر بازه زمانی عقب نشینی آب از برخی محدوده‌ها ناشی از لایروبی نشدن کانال، عدم وجود دایک‌ها و سازه‌های محافظت کننده در این مسیرهای بحرانی بوده است.



شکل ۵: مدل سازی بخشی از رودخانه گرگانرود در نرم افزار GIS با افزونه HEC-GEO-RAS

بنابراین با توجه به این مورد که چنین محدوده‌های به دلایل ذکر شده احتمال آب گرفتگی بیشتری نسبت به سایر مناطق دارند، اقداماتی نظر لایروبی به موقع کانال‌ها، ساخت دایک‌ها و سایر سازه‌های سیل گیر می‌تواند اقدامی موثر در کنترل این مخاطره در چنین محدوده‌های آسیب پذیری باشد. به طوری که در طول ده سال از مجموع طول رودخانه‌های استان که حدود ۲۸۰۰ کیلومتر امتداد دارند، و نیاز به لایروبی حداقل ۱۷۰۰ کیلومتر آن وجود داشته، فقط ۱۸۰ کیلومتر لایروبی شده‌اند. این موضوع در شرق و غرب آق‌قلا بیشتر نمایان بوده است. باید توجه داشت که لایروبی کردن رودخانه‌ها باعث افزایش ظرفیت آبگذری آبراهه‌ها و در نتیجه کاهش حجم سیلاب می‌شود. از سوی دیگر ۲۰۰ کیلومتر از طول رودخانه‌های استان در محدوده مراکز جمعیتی نیازمند دیوارکشی بوده است و بنابراین عدم وجود چنین اقدامات پیشگیرانه و مدیریتی منجر به افزایش ریسک سیلاب شده است. بیشتر، همچنانکه در بالا نیز اشاره شد، ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی حوضه گرگانرود و شیب زمین از سایر عوامل موثر در این رخداد بوده است. به طوری که رواناب‌های تولید شده با شیب زیاد به سمت مراکز جمعیتی هدایت شده سپس به دلیل کم شیب بودن مناطق و ارتفاع پائین آن‌ها، به آسانی در مناطق پخش شده‌اند. بطوریکه این محدوده‌ها به کانون بحرانی پهنه‌های سیل گیر تبدیل شده‌اند. سیلاب سال ۹۸ علاوه بر خسارات

وارد شده به سازه‌ها و تاسیسات زیر بنایی بسیاری از مخاطرات ژئومورفولوژیک نظیر زمین لغزش و ریزش را به دلیل اشباع شدگی خاک، جنگل زدایی، شیب دامنه و عدم اقدامات پایدارسازی دامنه‌ها در بسیاری از مناطق استان فعال کرد.



شکل ۶: پهنه بندی سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از نرم افزار HEC-RAS

یکی از مهم‌ترین راهکارهای مدیریتی و پیشگیرانه برای کنترل سیلاب و سایر مخاطرات مرتبط با آن مانند ریزش و زمین لغزش اجرای کامل طرح‌های آبخیزداری در منطقه می‌باشد. بطوریکه فقط ۳۴ درصد از کل برنامه جامع آبخیزداری در استان محقق شده است. بر اساس گزارش سیلاب سال ۹۸ که توسط وزارت راه و وزارت نیرو تهیه شده است، از کل حجم آب سیلاب ۱۳۹۸، ۷۵ میلیون متر مکعب آن (حدود ۲۵ درصد از کل حجم سیلاب) در پشت بندها و از طریق پروژه‌های آبخیزداری مدیریت شد. این مقدار بیانگر نقش اجرای طرح‌های آبخیزداری، در کنترل و مدیریت سیلاب می‌باشد. همچنین طرح‌های آبخیزداری تا میزان قابل توجهی منجر به کاهش سرعت جریان، افزایش نفوذپذیری، افزایش زمان تمرکز، تأخیر در جریان سیل و متعاقباً کاهش پیک سیلاب خواهند شد. سایر راهکارهای مدیریتی در کنار طرح‌های آبخیزداری می‌تواند به حفاظت از منابع طبیعی اشاره کرد. بحرانی شدن وضعیت سیلاب سال ۹۸ تحت تأثیر جنگل‌زدایی کاملاً مشهود بوده است. بطوریکه در فاصله سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۵ حدود ۳۳۰۰۰ هکتار از سطوح جنگلی نابود شده‌اند. یکی از مهمترین عوامل انسانی که منجر به تشدید تجمع آب در استان به‌خصوص در آق‌قلا شد، عبور جاده و راه آهن از زمین‌های کم ارتفاع و کم شیب بود. در نتیجه، آب در حدفاصل خطوط راه آهن و جاده که از تراز ارتفاعی بیشتری نسبت به سایر بخش‌های اطراف برخوردار بودند محصور شده و در نظر نگرفتن کالورت جهت هدایت آب در مسیر صحیح شیب و در موقعیت‌های مناسب، باعث شد بخش‌هایی از این محورهای ارتباطی همچون سد عمل کنند و زمینه تجمع آب را فراهم آورند. همچنین تجاوز به حریم رودخانه و مسیل‌ها و ساخت‌وساز در حریم بستر آن‌ها از دلایل دیگر موثر بر بروز این سیل غیر قابل کنترل بوده است. از آنجا که انجام فعالیت‌های مدیریتی برای مهار مخاطرات و کاهش پیامدهای آن‌ها قبل از هر چیزی نیازمند شناخت دقیق منطقه از ابعاد مختلف طبیعی و انسانی و همچنین شناسایی دقیق عواملی که بر بروز مخاطرات

گذشته اثرگذار بوده‌اند، می‌باشد، بنابراین همه مواردی که به عنوان دلایل تشدید سیلاب و تاخیر در بازه زمانی عقب نشینی آب در محدوده مورد مطالعه بر اساس نتایج بدست آمده ذکر شد، می‌توانند به نوبه خود پیشنهادات و اقداماتی بالقوه در راستای کنترل چنین مخاطراتی در آینده باشند.

نتیجه‌گیری

تصاویر سنتینل می‌توانند ابزاری مناسب برای شناسایی محدوده‌های پرخطر سیلاب به خصوص از لحاظ تعیین مناطق حساس باشند. کانال‌ها و مجاری، مزارع و دشت‌های سیلابی واقع در نواحی مرکزی دشت گرگان بین یک تا سه ماه بعد از اتمام سیل همچنان تحت آب گرفتگی قرار داشتند. این امر نشان‌دهنده اثرات چشمگیر کاربری اراضی بر وسعت پهنه‌های سیل گرفته و بازه‌ی زمانی عقب نشینی سیلاب می‌باشد. بررسی انجام شده بر روی نتایج بدست آمده از مدل‌سازی گویای این مطلب است که سرعت جریان در دشت‌های سیلابی سمت راست بیشتر از دشت‌های سیلابی سمت چپ بوده است. خارج شدن سیلاب از بستر رودخانه و پیشروی این حجم از آب به سمت شمال شهر، باعث آب گرفتگی پهنه‌ی وسیعی از زمین‌ها شده است که عامل موثر در این زمینه شیب بیشتر زمین‌های اطراف است که به سمت شهر آق‌قلا امتداد می‌یابند. بیشتر، نتایج این پژوهش با استفاده از داده‌های بدست آمده از HEC-RAS نشان داده است در دوره‌های بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله، اگر بستر کانال رودخانه به طور مرتب لایروبی شود و رسوبات تجمعی از کف آن حذف شوند، حجم سیلاب از بستر اصلی رودخانه تجاوز نمی‌کند، و فقط در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله و بالاتر از آن شاهد آب گرفتگی محدوده‌های خارج از بستر رودخانه خواهیم بود. لذا به منظور جلوگیری از آب گرفتگی در نواحی خارج از شهر به ویژه در محدوده‌ی شرقی شهر آق‌قلا که به عبارتی بیشترین ظرفیت جذب و نگهداری سیلاب را دارد، باید تصمیمات لازم جهت مقاوم سازی آن در برابر سیلاب اتخاذ شود. یکی از مهم‌ترین راهکارهای مدیریتی و پیشگیرانه برای کنترل سیلاب و سایر مخاطرات مرتبط با آن مانند ریزش و زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه اجرای کامل طرح‌های آبخیزداری در منطقه می‌باشد. بطوریکه فقط ۳۴ درصد از کل برنامه جامع آبخیزداری در استان محقق شده است. بر اساس گزارش سیلاب سال ۹۸ که توسط وزارت راه و وزارت نیرو تهیه شده است، از کل حجم آب سیلاب، حدود ۲۵ درصد آن در پشت بندها و از طریق پروژه‌های آبخیزداری مدیریت شد. این مقدار بیانگر نقش اجرای کامل طرح‌های آبخیزداری، در تأخیر جریان سیل و متعاقباً کاهش پیک سیلاب می‌باشد. یکی از مهمترین عوامل انسانی که منجر به تشدید تجمع آب در استان به خصوص آق‌قلا شد، عبور جاده و راه آهن از زمین‌های کم ارتفاع و کم شیب بود. بطوریکه آب در حدفاصل این خطوط ارتباطی که تراز ارتفاع بیشتری نسبت به اطراف دارند، متمرکز شده و از طرف دیگر در نظر نگرفتن کالورت جهت هدایت آب در مسیر صحیح شیب و در موقعیت‌های مناسب، باعث شد این محورهای ارتباطی همچون سد عمل کرده و زمینه بالآمدگی جریان سیل را فراهم آورند. در نهایت، ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی گرگان‌رود و شیب زمین از سایر عوامل موثر در این رخداد بوده است. به طوری که رواناب‌های تولید شده با شیب زیاد به سمت مراکز جمعیتی هدایت شده سپس به دلیل کم شیب بودن مناطق و ارتفاع پائین آن‌ها، به‌آسانی در مناطق پخش شده‌اند. بطوریکه این محدوده‌ها را به کانون بحرانی پهنه‌های سیل گیر تبدیل کرده‌اند.

منابع

- حجازی، ا.، اندریانی، ص.، الماس پور، ف.، مختاری اصل، ا.، ۱۳۹۴. استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و سنجش از دور در محیط GIS برای بررسی مناطق حساس به وقوع سیلاب درحوضه ليقوان چای. هیدروژئومورفولوژی، دوره ۲، شماره ۳، صص ۶۱-۸۰.

- روستائی، ش.، ایاسه، ف.، و رضائی مقدم، م.ح.، ۱۳۹۹. شبیه سازی شبه دو بعدی جریان سیلاب رودخانه لیقوان با تاکید بر دشت سیلابی با استفاده از تکنیک MIKE11. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۹، شماره ۱، صص ۲۸-۴۱.
- رجیبی زاده، ی.، ایوب زاده، س.ع.، و ظهیری، ع.، ۱۳۹۸. بررسی سیل استان گلستان در سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸ و ارائه راه کارهای کنترل و مدیریت آن در آینده. اکوهیدرولوژی، دوره ۶، شماره ۴، صص ۹۲۱-۹۴۲.
- سلیمانی، ک.، شریفی پور، م.، و عبدلی بوژانی، س.، ۱۳۹۹. الگوریتم آشکارسازی پهنه خسارت سیل با استفاده از تصاویر سنتینل ۲ (مطالعه موردی: سیلاب فروردین ۱۳۹۸ استان گلستان)، اکوهیدرولوژی، دوره ۷، شماره ۲، صص ۳۰۳-۳۱۲.
- شفیع مطلق، خ.، و عبادتی، ن.، ۱۳۹۹. پهنه‌بندی سیلاب و شبیه‌سازی رفتار هیدرولیک رودخانه با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS (مطالعه موردی: رودخانه مارون - جنوب غرب ایران)، اکوهیدرولوژی، دوره ۷، شماره ۲، صص ۳۹۷-۴۰۹.
- طهماسبی، ق.، عزیزی، ک.، و فرجی، م.، ۱۳۹۶. مهمترین عوامل موثر بر وقوع سیل در شهر ایلام، کنفرانس سالانه پژوهش‌های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- گنجی، ک.، قره‌چلو، س.، و احمدی، ا.، ۱۳۹۸. پهنه‌بندی سیلاب رودخانه گرگانرود بر اساس حریم کمی و کیفی با استفاده از HEC-RAS و GIS. دومین همایش ملی مدیریت منابع طبیعی (آب، سیل و محیط زیست).
- فتحعلی زاده، ب.، عابدینی، م.، و رجیبی، م.، ۱۳۹۹. بررسی علل وقوع سیلاب و مخاطرات آن در حوضه آبریز زونزچای با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و منطق فازی. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۹، شماره ۱، صص ۱۵۵-۱۳۴.
- مصری علمداری، پ.، ۱۴۰۰. تحلیل مکانی مخاطره سیلاب در حوضه آبریز قلعه چای عجب شیر با استفاده از GIS و مدل HEC-HMS. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۱۰، شماره ۱، صص ۹۳-۱۱۱.
- مختاری، د.، رضائی مقدم، م.ح.، و معزز، س.، ۱۴۰۰. تحلیل دینامیکی مخاطره سیلاب در مخروط افکنه‌های فعال با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS و تکنیک GIS (مطالعه موردی: مخروط افکنه لیلان، شمال غرب ایران). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۹، شماره ۴، صص ۱۶۹-۱۸۵.
- Dutta, D., Herath, S. and Musiaka, K., 2000. Flood inundation simulation in a river basin using a physically based distributed hydrologic model. *Hydrological Processes*, 14(3), 497-519.
- Marchi, L., Cavalli, M., Amponsah, W., Borga, M. and Crema, S., 2016. Upper limits of flash flood stream power in Europe. *Geomorphology*, 272, 68-77.
- Agnihotri, A. K., Ohri, A., Gaur, S., Das, N. and Mishra, S., 2019. Flood inundation mapping and monitoring using SAR data and its impact on Ramganga River in Ganga basin. *Environmental monitoring and assessment*, 191(12), 1-16.
- Anusha, N. and Bharathi, B., 2020. Flood detection and flood mapping using multi-temporal synthetic aperture radar and optical data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 23(2), 207-219.
- Balasch, J. C., Pino, D., Ruiz-Bellet, J. L., Tuset, J., Barriendos, M., Castelltort, X. and Peña, J. C., 2019. The extreme floods in the Ebro River basin since 1600 CE. *Science of the total environment*, 646, 645-660.
- Guan, M. and Liang, Q., 2017. A two-dimensional hydro-morphological model for river hydraulics and morphology with vegetation. *Environmental Modelling & Software*, 88, 10-21.
- Himayoun, D. and Roshni, T., 2020. Geomorphic changes in the Jhelum river due to an extreme flood event: a case study. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(1), 1-15.
- Hudson, P. F. and Colditz, R. R., 2003. Flood delineation in a large and complex alluvial valley, lower Panuco basin, Mexico. *Journal of Hydrology*, 280(1-4), 229-245.

- *Marchi, L., Cavalli, M., Amponsah, W., Borga, M. and Crema, S., 2016. Upper limits of flash flood stream power in Europe. Geomorphology, 272, 68-77.*
- *Sanyal, J. and Lu, X. X., 2004. Application of remote sensing in flood management with special reference to monsoon Asia: a review. Natural Hazards, 33(2), 283-301.*