



پایش نقشه‌های گسترش سیلاب با استفاده از تصاویر راداری (SAR) (مطالعه موردی: سیل فروردین ۱۳۹۸، شهرستان آق قلا)

سمیه عمادالدین^{۱*}، مسعود محمدقاسمی^۲

^۱استادیار گروه جغرافیای دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

^۲دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۱

چکیده

سیلاب‌ها از مهم‌ترین مخاطراتی هستند که بسته به شدت بارندگی‌ها و سایر عوامل موثر سبب وارد آمدن خسارات زیادی به نواحی شهری و روستایی می‌شوند. استفاده از داده‌های راداری یکی از جدیدترین و موثرترین روش‌ها در مطالعه سیلاب است. می‌توان جزئیات دقیق سیلاب‌ها را مطالعه و حد گسترش آن را مشخص کرد تا در برنامه‌ریزی‌های آتی بتوان از آن استفاده کرد. در این تحقیق به شناسایی مناطق سیل‌زده شهرستان آق قلا و روستاهای اطراف آن به وسیله داده‌های سنتینل ۱ از تاریخ ۲۳ مارس تا ۴ آوریل پرداخته شده است. هدف پژوهش حاضر تولید نقشه‌هایی است که گسترش سیلاب را از تصاویر راداری (SAR) استخراج و محدوده گسترش سیلاب را در فروردین ۱۳۹۸ نشان می‌دهد. از نرم افزار SNAP، ARCGIS و ENVI به عنوان ابزارهای تحقیق استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان داد در محدوده مورد مطالعه در تاریخ ۲۳ مارس، ۱۱۵ کیلومتر مربع و در تاریخ ۲۹ مارس، ۱۰۷ کیلومتر مربع در اثر سیل فروردین ۹۸ به زیر آب رفته است. همچنین نتایج بررسی تصاویر راداری و بازدیدهای میدانی نشان داد دلایل اصلی سیلابی شدن منطقه، بارندگی شدید طی چند روز، پر شدن سد و شمشگیر، شیب کم منطقه، عدم لایروبی رودخانه، وجود پل‌های زیاد بر روی رودخانه و ارتفاع کم پل‌ها و درصد بالای رس در خاک منطقه بوده است.

واژه‌های کلیدی: سیل، تصاویر رادار، سنتینل، رودخانه گرگانرود، آق قلا.

مقدمه

افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی در دهه‌های اخیر موجب افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و به ویژه گاز CO₂ در جو کره زمین و به تبع آن سبب شکل‌گیری پدیده تغییر اقلیم گردیده است. از جمله اثرات مهم تغییر اقلیم و شاخص‌های آن چون دما و بارش، تغییر در چرخه هیدرولوژی و منابع آبی است. که خود افزایش احتمال وقوع رخداد‌های حدی چون بارش‌های سیل آسا در نقاط مختلف کره زمین را در پی دارد (بینش و همکاران، ۱۳۹۷). سیل یکی از

خطرات زیست محیطی برای جامعه بشری است (چن^۲ و همکاران، ۲۰۱۲؛ دی ریزی^۳ و همکاران، ۲۰۱۵) و از مخاطرات محیطی شایع و گسترده در سطح جهان به‌شمار می‌رود. بسته به شدت بارندگی‌ها و سایر عوامل موثر در وقوع سیلاب، ممکن است موجب وارد آمدن خسارت‌های شدید جانی و مالی برای افراد درگیر با آن شود. این خسارت‌ها می‌تواند حوزه‌های اقتصادی، کشاورزی، اجتماعی و... را تحت تاثیر قرار دهد (پائول^۴ و شریف^۵، ۲۰۱۸؛ روبلینو^۱ و همکاران، ۲۰۱۹).

2. Chen
3. Di Risi
4. Paul
5. Sharif

*نویسنده مسئول: s.emadodin@gu.ac.ir

براساس مطالعات مرکز تحقیقات اپیدمیولوژی بلایا، پایگاه حوادث اضطراری (CRED EMDAT، ۲۰۱۵) در سطح جهان، بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷ میلادی، بیش از ۲ میلیارد نفر به طور مستقیم یا غیر مستقیم تحت تاثیر سیل و اثرات آن قرار گرفته‌اند (سازمان بهداشت جهانی^۲، ۲۰۲۰). قرار گرفتن در معرض سیل، خطر این مخاطره طبیعی را افزایش می‌دهد، بنابراین تهیه نقشه‌های مربوط به محدوده گسترش سیلاب‌ها و نواحی که تحت تاثیر آن قرار می‌گیرند، می‌تواند در برنامه‌ریزی توسعه و همچنین سیاست‌های مقابله با سیلاب بسیار موثر واقع شود (روزا^۳ و همکاران، ۲۰۱۹). از این رو نقشه‌های زمانی مناطقی که به هنگام سیل، زیر آب می‌روند، داده‌هایی را در اختیار تصمیم‌گیران قرار می‌دهند که به کمک آن‌ها می‌توان عکس‌العمل‌های مناسبی را در مقابل سیل‌های احتمالی آینده، بویژه در مناطق شهری، نشان داد. (کلماس^۴، ۲۰۱۵) اگر چنین نقشه‌هایی برای یک دوره زمانی طولانی تهیه شوند به محققان در زمینه رزایی خطر سیلاب، مدیریت بهداشت عمومی، حفاظت از تنوع زیستی، مدیریت آب و مدیریت شهری کمک فراوانی خواهد کرد (اپینک^۵ و همکاران، ۲۰۰۴؛ گسنر^۶، ۲۰۱۴؛ موئل^۷ و همکاران، ۲۰۰۹؛ ویالا^۸، ۲۰۰۸). آمارها حاکی از آن است که سیلاب از نظر تلفات در میان حوادث دیگر نقش زیانباری را دارا است. این امر کشور ایران را در مقام هفتم در دنیا از لحاظ سیل‌خیزی قرار داده است (نصری، ۱۳۸۹). کشور ایران به واسطه شرایط اقلیمی، توپوگرافی و ژئومورفولوژی در بسیاری از مناطق، همه ساله در معرض خطر این بلای طبیعی است، به طوری که بیش از ۸۰ درصد وسعت شهرهای ایران در معرض وقوع سیل قرار دارند (معیری و انتظاری، ۲۰۰۸).

تعیین پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها از جمله مطالعات پایه و اساسی است که می‌تواند گامی مهم در زمینه بسترسازی جهت کاهش بلایا باشد. مشخصات فیزیکی یک حوضه آبخیز از عوامل تعیین کننده در رخداد این حادثه بوده و اغلب مسائل هواشناسی، هیدرولوژی و حفاظت آب و خاک با آن در ارتباط مستقیم و غیرمستقیم است (داونس^۹، ۲۰۰۰). روش‌های متعددی برای پایش سیلاب وجود دارد، می‌توان این روش‌ها را به دو بخش اصلی تقسیم کرد. گروه اول مبتنی بر روش‌ها و مدل سازی‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی است و گروه دوم بر پایه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استوار است (خان^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۱؛ باتس^{۱۱}، ۲۰۰۴). با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی داده‌هایی در اختیار ما قرار می‌گیرد که به کمک آن‌ها در لحظه وقوع سیلاب می‌توان آن را کنترل و خطرات آن را کاهش داد. البته این امر زمانی میسر می‌شود که مدل به خوبی کالیبره شده و قابلیت اجرا داشته باشد (گلیسون^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۴). یکی دیگر از روش‌های بررسی سیلاب، استفاده از داده‌های سنجش از دور است که با سرعت زیادی در حال رشد می‌باشد. امروزه سنجنده‌های متعددی وجود دارد که با اهداف مختلفی به فضا پرتاب شده‌اند. تعدادی از این سنجنده‌ها اطلاعات لازم در مورد سطح زمین را در اختیار محققان قرار می‌دهند که با استفاده از آن می‌توان به مطالعه سیل پرداخت. برای مثال تصاویر ۲۵۰ متر مودیس و ۳۰ متر ماهواره لندست را می‌توان نام برد (کرول^{۱۳} و همکاران، ۲۰۰۹؛ برکنریج^{۱۴} و اندرسون^{۱۵}، ۲۰۰۶) اما باید به این نکته توجه داشت که یکی از ضعف‌های استفاده از داده‌های اپتیکی مذکور، وجود پوشش ابر در آسمان است. با توجه به اینکه قبل و همزمان با وقوع سیلاب معمولاً پوشش ابری وسیعی

1. Revellino
2. WHO
3. Ruzza
4. Klemas
5. Eppink
6. Gessner
7. Moel
8. Viala

9. Dovonce
10. Khan
11. Bates
12. Gleason
13. Carrol
14. Brakenridge
15. Anderson

سنتینل ۱ انجام دادند به این نتیجه رسیدند که بیش از ۶۰۰۰ هکتار از زمین‌ها، در ۳ روز زیر آب رفت. حوضه رودخانه سن پدرو یک حوضه ساحلی است و با میانگین بارندگی ۲۰۰۰ میلی متر در سال یک حوضه پر خطر در هنگام بارندگی‌های شدید است. این نتیجه به واسطه باند C از تصاویر GRD رادار سنتینل ۱ به دست آمده است. رحمان^۸ و تاکور^۹ در ۲۰۱۷ با نقشه برداری و تجزیه و تحلیل گستردگی سیلاب با استفاده از داده‌های ماهواره ای رادار و GIS منطقه کندراپارا در ایالت اوریسا هند را مورد بررسی قرار دادند، که نتیجه این پژوهش نشان داد که داده‌های SAR همراه GIS می‌توانند به طور موثری برای نقشه برداری، سنجش و تجزیه و تحلیل انتشار سیلاب در مناطق مستعد سیل استفاده شود و یافته‌های این مطالعه به ابتکار عمل برای کاهش اثرات سیل و افزایش انعطاف‌پذیری در روند مدیریت سیل کمک می‌کند. پنجه کوبی و همکاران (۱۳۹۹) در رابطه با واکاوی شدت-مدت-مساحت بارش و تاثیر آن در سیل با استفاده از تصاویر و داده‌های رادار به این نتیجه رسیدند شدت، مدت و پراکنش بارش تعیین کننده مقدار رواناب حوضه است. زمان سیل با زمان تمرکز و بیشینه رواناب حوضه اختلاف دارد و واکاوی تصور رادار نشان داد که بیشینه رواناب، علاوه بر مجموع بارش حوضه، به پراکنش بارش نیز مرتبط است. اگر مجموع و پراکنش بارش هم سو باشند، شدت سیلاب افزایش و اگر شدت و مجموع سیلاب ناهم‌سو باشند، شدت سیلاب کاهش خواهد یافت. رجب زاده و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی سیل ۱۳۹۷-۱۳۹۸ استان گلستان پرداختند و مهم‌ترین و ضروری ترین اقدامات برای پیشگیری و بهبود مدیریت و کنترل بهتر را موارد زیر عنوان کردند: ایجاد نوعی سامانه فرا قوه ای نظام مدیریت کنترل سیل، توجه هر چه بیشتر به اقدامات آبخیزداری و آبخوان‌داری و نیز توجه به اصول مهندسی روخانه زیستی، اجرای دقیق حد حریم بستر و در صورت افزایش حدود بستر،

در آسمان وجود دارد و این ابرها مانع از رسیدن امواج الکترومغناطیسی سطح زمین به سنجنده می‌شود در نتیجه تصویری از سطح زمین تولید نخواهد شد و یا تصویر تولید شده بسیار ناقص خواهد بود بنابراین این تصاویر برای مواقعی که پوشش ابری وجود ندارد مناسب خواهند بود. برای حل مشکل وجود پوشش ابر می‌توان از تصاویر راداری^۱ SAR، استفاده کرد. از این داده‌ها می‌توان جهت مطالعه سیلاب استفاده کرد. چرا که تصاویر راداری در هر شرایط آب و هوایی و هر لحظه از شبانه‌روز اطلاعات دقیقی را از شرایط سطح زمین در اختیار ما قرار داده (متگن^۲ و همکاران، ۲۰۰۷) و همچنین دارای قدرت تفکیک مکانی مناسبی نیز هستند (شین^۳ و همکاران، ۲۰۱۹؛ بان^۴ و همکاران، ۲۰۱۵). استان گلستان در طول چند دهه اخیر شاهد وقوع سیلاب‌های متعددی بوده که از خود خسارت‌های سنگینی بر بخش زیرساخت‌ها، ابنیه، تاسیسات زیربنایی و واحدهای مسکونی بر جای گذاشتند به نحوی که همچنان خرابی‌های ناشی از این بلای طبیعی در بسیاری از مناطق روستایی و شهری باقی است. بنابراین استفاده از تصاویر راداری برای پایش نقشه‌های گسترش سیلاب می‌تواند بسیار مفید باشد

در زمینه سیل در ایران و جهان تحقیقات بسیاری انجام شده است که از جمله می‌توان به تحقیق آلبرتو رفیک^۵ و همکاران (۲۰۲۰) اشاره کرد. آن‌ها از SAR و InSAR برای پایش سیل با داده COSMO/SkyMed در باسیلیکاتا^۶ جنوب ایتالیا استفاده کردند و به این نتیجه رسیده‌اند که داده‌های رادار در تشخیص مناطقی که تحت تاثیر سیل قرار گرفته اند می‌تواند بسیار کمک کند. هروکواسی^۷ و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی که در مورد سیل روخانه سن پدرو ساحل عاج با استفاده از داده‌های راداری

1. Synthetic Aperture Radar
2. Matgen
3. Shen
4. Ban
5. Alberto Refice
6. Basilicata
7. Hervé Kouassi

بازنگری و طراحی اصولی سازه‌های تقاطعی، بازسازی و احیای هر چه بیشتر مسیل‌ها، چالاب‌ها و تالاب‌های طبیعی باشد. هدف از انجام این تحقیق بررسی سیل فروردین سال ۱۳۹۸ آقلا با استفاده از تصاویر راداری و عوامل موثر در وقوع سیل می‌باشد.

محدوده مورد مطالعه

حوضه آبریز گرگانرود یکی از حوضه‌های مهم دریای خزر است و در منطقه گرگان و دشت استان گلستان جریان دارد. این رودخانه از منتهی الیه غربی کوه‌های خراسان سرچشمه می‌گیرد و پس از عبور از مسیرهای پر پیچ و خم کوهستانی وارد منطقه کلاله می‌شود. تا این محل، عمق بستر آن زیاد است ولی به تدریج از میزان آن کاسته می‌شود. در نهایت از صحرای ترکمن و شمال گرگان می‌گذرد و وارد خلیج گرگان می‌شود. شاخه‌های اولیه آن به نام‌های قرناوه و مارس پس از آن که در شمال دهکده صوفیان به هم پیوستند (در یازده کیلومتری شمال کلاله)، و در

مسیری پرپیچ و خم از شهرهای کلاله و گنبدکاووس می‌گذرد. پس از عبور از گنبد کاووس، شاخه‌های دیگری مانند تیل آباد، رامیان، زرین گل، رودبار محمدآباد و امامزاده را دریافت می‌کند و وارد آق قلا می‌شود. پس از مشروب کردن صفحات شمالی دشت گرگان در غرب خواجه نفس (صیدگاه خواجه نفس) وارد دریای خزر می‌شود (افشین، ۱۳۷۳).

حوضه آبخیز گرگانرود یکی از حوضه‌های سیل خیر کشور می‌باشد. در جدول ۱ روند تغییرات فراوانی سیلاب حوضه گرگانرود در سه دوره متوالی مشاهده می‌شود، فراوانی سیلاب در هشت ایستگاه دبی سنجی حوضه در دوره دوم کاهش و در دوره سوم افزایش یافته است. در ۹ ایستگاه دبی سنجی از دوره اول تا آخر بر تعداد سیلاب‌ها افزوده شده که در مجموع در ۱۷ ایستگاه در دوره آخر بر تعداد سیلاب‌ها افزوده شده است (در حدود ۷۱ درصد ایستگاه‌ها) (گل پرنیان، ۱۳۹۳).

جدول ۱ - روند تغییرات فراوانی سیلاب حوضه گرگانرود در طول دوره آماری هر ایستگاه ۱۳۴۷ تا ۱۳۷۷ (گل پرنیان، ۱۳۹۳)

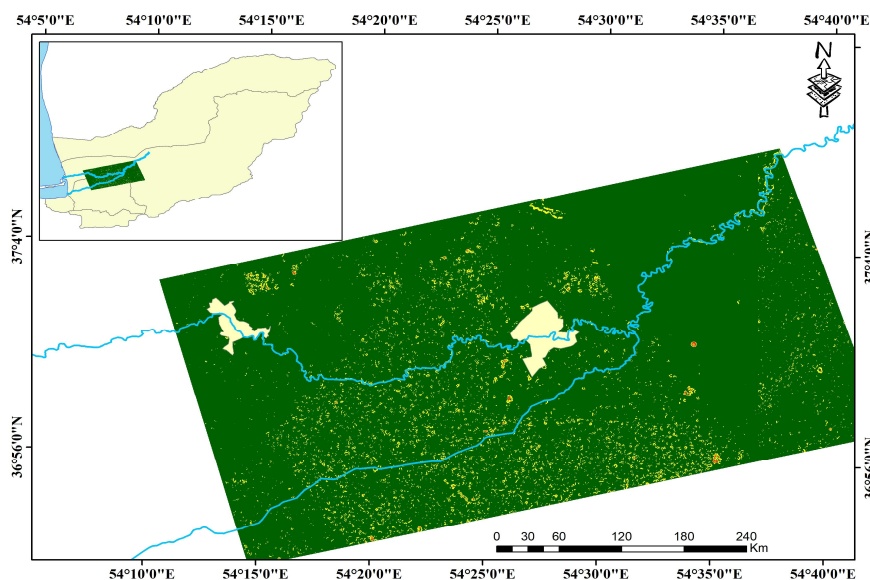
ایستگاه	تعداد سیلاب			ایستگاه	تعداد سیلاب		
	اول	دوم	سوم		اول	دوم	سوم
تنگراه	۲۰	۸	۱۸	سالیان تپه	۲۹	۳۲	۳۲
تمر	۱۵	۱۹	۲۴	آق قلا	۴۷	۷۰	۸۵
گالیکش	۱۸	۹	۲۳	بضیر آباد	۳۶	۴۹	۵۸
قلی تپه	۳	۱	۳	حاجی قوشان	۲۰	۱۸	۲۸
گنبد	۲۹	۲۴	۴۳	کسک	۱	۱۶	۷
لرزه	۱۳	۱۴	۲۵	تقی آباد	۲۱	۹	۳۱
پس پشته	۴۷	۴۵	۳۴	زرین گل	۲۶	۲۵	۳۷
نوده	۱۳	۲۱	۱۴	سرمو	۱۳	۱۶	۱۹
ارازکوسه	۲۸	۳۴	۵۹	سنگرسوار	۳۴	۳۳	۳۲
رامیان	۲۵	۲۰	۲۰	اونق یلقلی	۲۱	۲۶	۴۲
قزاقلی	۳۰	۲۴	۴۳	شیر آباد	۴	۱۹	۴
وشمگیر	۱۴	۲۱	۲۳				

محدوده مورد مطالعه حدود ۵۰ کیلومتر از مسیر رودخانه گرگانرود است که در ۱۸ کیلومتری شمال شهر گرگان بر جلگه‌ای هموار در کنار گرگانرود با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۸ دقیقه و ۵۴ درجه و ۱۶ دقیقه طول جغرافیایی قرار گرفته است. (شکل ۱)

شهرستان آق قلا شامل ۲ بخش، ۲ شهر، ۵ دهستان و ۸۶ آبادی با وسعت ۱۷۶۳،۵۲ کیلومتر مربع و جمعیت ۱۳۲۷۳۳ نفر و تراکم نسبی جمعیت ۷۵ نفر در کیلومتر مربع می‌باشد (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان گلستان، ۱۳۹۵) که در سیلاب سال ۹۸

سالانه آق‌قلا ۳۳۰ میلی‌متر است که در حدود ۴ روز از ۲۷ اسفند تا ۲ فروردین شاهد بارشی برابر یک سوم میانگین بارش سالانه خود بوده است.

مستقیم و غیر مستقیم تحت تاثیر سیل بودند. آق‌قلا بر سر راه بندر ترکمن به گنبد قابوس قرار گرفته است. گفته می‌شود این شهر توسط شاه عباس در سال ۱۰۲۰ هجری قمری بنا شده است. میانگین بارندگی



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

دریا، تغییرات کاربری اراضی و پایش مخاطرات محیطی مانند سیل و زلزله است. با توجه به اینکه این ماهواره در تمام شرایط آب و هوایی و تمام ساعات شبانه‌روز قادر به تصویربرداری از سطح زمین است، به همین دلیل نقش بسیار مهمی در تهیه نقشه‌های موردنیاز پایش سیل دارد.

تصاویر ماهواره سنتینل در هر ردیف تصویر برداری ASCENDING و DESCENDING به صورت هر ۱۲ روز می‌باشد و به علت این‌که سیلاب سال ۹۸ گلستان بیشتر از یک ماه به طول انجامید برای بررسی دقیق‌تر و رصد سیلاب، از تصاویر هر دو ردیف برای کم کردن فاصله زمانی استفاده شده است و در نهایت ۳ تصویر از ردیف ASCENDING و ۳ تصویر از ردیف DESCENDING که در جدول ۲ مشخصات آن‌ها ذکر شده است، استفاده شده است.

برای تحلیل تصاویر برداشت شده، تصاویر هم جهت را با یکدیگر مقایسه کردیم، یعنی تصاویر DESCENDING با هم و ASCENDING نیز با

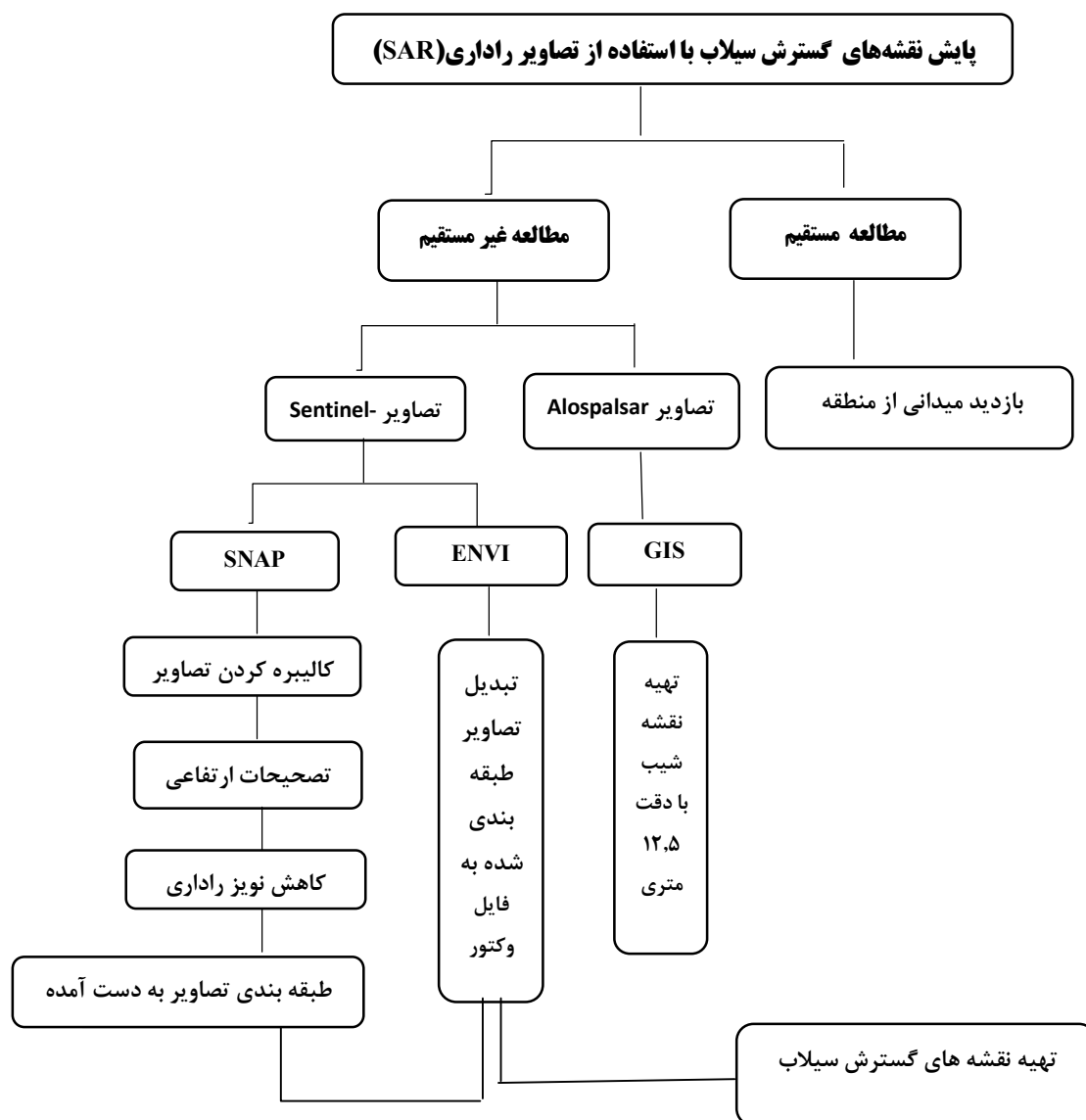
روش تحقیق

در این پژوهش برای بررسی سیلاب منطقه مورد مطالعه از تصاویر Sentinel-1 استفاده شده است. ماهواره ماموریت راداری آژانس فضایی اروپا است که اولین سری از مجموعه ماهواره‌های سنجشی اروپا با نام Programme Copernicus است. این ماموریت از دو ماهواره با نام‌های Sentinel-1-A و Sentinel-1-B تشکیل شده است. Sentinel-1A در سال ۲۰۱۴ و Sentinel-1B در سال ۲۰۱۶ در مدار قرار گرفتند. این ماهواره‌ها در ارتفاع ۶۹۳ کیلومتری از سطح زمین در مداری قطبی و خورشیدآهنگ قرار دارند. یک سنجنده رادار دهانه مصنوعی باند C (با فرکانس 4/5 GHz) بر روی هر یک از این ماهواره‌ها قرار دارد. قدرت تفکیک مکانی تصاویر این ماهواره در حالت تصویربرداری عریض (250 km) بین ۵ تا ۲۰ متر است. همچنین این ماهواره می‌تواند در دو پولاریزاسیون VV و VH تصویربرداری نماید. از مهمترین کاربردهای آن پایش یخ‌های دریایی، لکه‌های نفتی، جریان‌ات و امواج

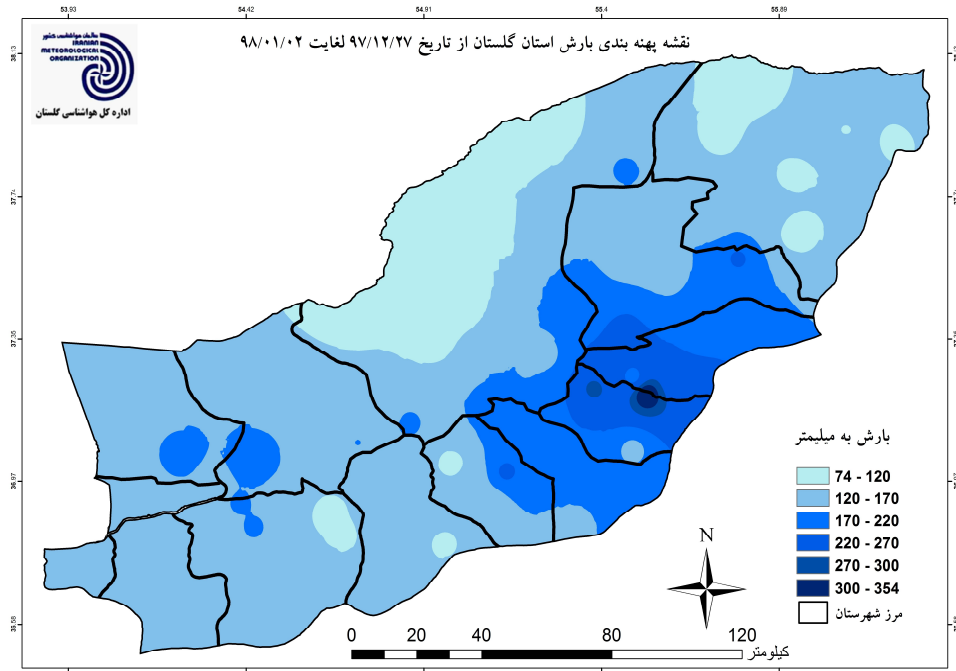
یکدیگر مقایسه شده‌اند. مقایسه تصاویر هم به این صورت که تصاویر DESCENDING تاریخ اول با تصویر تاریخ دوم مقایسه و مجدداً تصویر تاریخ دوم با تصویر تاریخ سوم مقایسه شدند و به همین ترتیب نیز در تصاویر ASCENDING انجام شده است. تصاویر SAR مورد استفاده برای استخراج پهنه‌های سیلابی از نوع سطح یک (IW) و پروداکت (GRD)، با پولاریزاسیون VV-VH است.

جدول ۲- مشخصات تصاویر مورد استفاده

Sentinel 1A (SAR)					
Acquisition Date	Level 1. P	Mode	Orbit	Pixel spacing	Polarization
2019/03/11	GRD	IW	DESCENDING	10*10	VV-VH
2019/03/17	GRD	IW	ASCENDING	10*10	VV-VH
2019/03/23	GRD	IW	DESCENDING	10*10	VV-VH
2019/03/29	GRD	IW	ASCENDING	10*10	VV-VH
2019/04/04	GRD	IW	DESCENDING	10*10	VV-VH



شکل ۲- مراحل انجام تحقیق



شکل ۳- نقشه پهنه بندی بارش استان گلستان از ۲۷ اسفند تا ۲ فروردین.

ماخذ: سازمان هواشناسی استان گلستان. ۱۳۹۸

با انجام فرمول نویسی ساده از یکدیگر تفريق کرده تا نقشه پهنه‌بندی سیلاب مشخص شد. سپس با استفاده از تصویر رنگ کاذب و با استفاده از کلاس‌بندی نظارت شده منطقه سیلاب را از محیط‌های غیر سیلابی و محیط‌هایی که قبلاً آب در آن وجود داشته را تفکیک و در محیط نرم افزار ENVI به صورت پلی‌گون محاسبه گردید. همچنین برای ایجاد نقشه شیب با استفاده از تصاویر ماهواره Alos Palsar لایه رقومی ارتفاعی (DEM) با دقت ۱۲٫۵ متر، مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۲ مراحل انجام تحقیق را نشان می‌دهد.

بحث و یافته‌ها

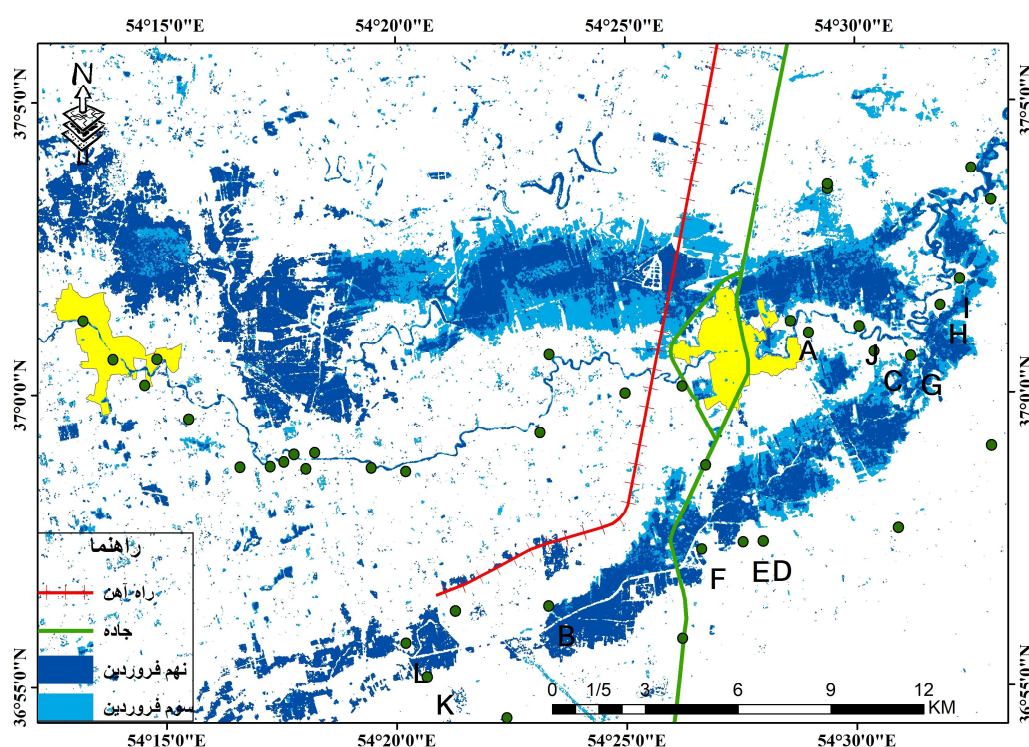
بر طبق داده‌های اداره کل هواشناسی استان گلستان ظرف حدود ۴ روز بارش، از تاریخ ۱۳۹۷/۱۲/۲۷ تا ۱۳۹۸/۰۱/۰۲ میزان بارندگی به شدت افزایش پیدا کرد به طوری که در یکی از ایستگاه‌ها به ۳۵۴ میلی‌متر رسید (شکل ۳) (ایستگاه توسک‌چال مینودشت) که در نتیجه باعث وقوع سیل در بسیاری از نقاط استان گلستان گردید. در تصاویر رادار سنتینل ۱ در نهایت بعد از انجام فرایندهای یاد شده در روش

تصاویر دریافتی وارد نرم افزار SNAP^۱ شد و فرایند پیش پردازش روی آن‌ها اعمال گردید. این فرایند به صورت اتوماتیک و با استفاده از افزونه‌های نرم‌افزار اجرا شد که شامل کالیبراسیون رادیومتریک تصاویر و تبدیل آن‌ها به سیگمای صفر، تصحیحات ارتفاعی به روش Range Doppler و با استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاعی و اعمال فیلتر نقطه‌ای (Speckle Filtering)، است. به منظور کاهش نویز داده‌های راداری از فیلتر (Refined Lee) استفاده شد. این فیلتر با اعمال بر روی سطوح همگن و حفظ لبه‌های عناصر تصویر، موجب حفظ ساختار تصویر می‌شود. در واقع در ارتباط با سیلاب با اعمال این فیلتر، الگوها و ساختار و مورفولوژی سیلاب مشخص می‌شود. در نهایت پس از اعمال این پردازش‌ها قادر هستیم تا چندین تصویر با زمان‌های متفاوت را باهم دسته‌بندی کنیم. (تسیگانس‌کایا^۲ و همکاران، ۲۰۱۸) در نتیجه انجام مراحل فوق در نرم افزار SNAP، تصاویر به دست آمده از هر دوره را در محیط نرم افزار

1. Sentinels Applicatin Platform
2. Tsyganskaya

قانقرمه، سقر یلقی، سلاق یلقی و میرزعلی توسط آب شده است (شکل ۴) و در ادامه باعث بسته شدن شهر آق قلا در شمال و جنوب شد. در شمال شهر آب گرفتگی زیادی قابل مشاهده بود که قسمت شمالی آق قلا را کامل در بر می‌گرفت. عوامل اصلی این اتفاق علاوه بر شیب کم، عدم لایروبی مسیر رودخانه بود که باعث حرکت آب به سمت شیب شمالی شده و وجود ارتفاع در جاده و همچنین در مسیر راه‌آهن به دلیل نداشتن خروجی مناسب برای انتقال آب بوده است.

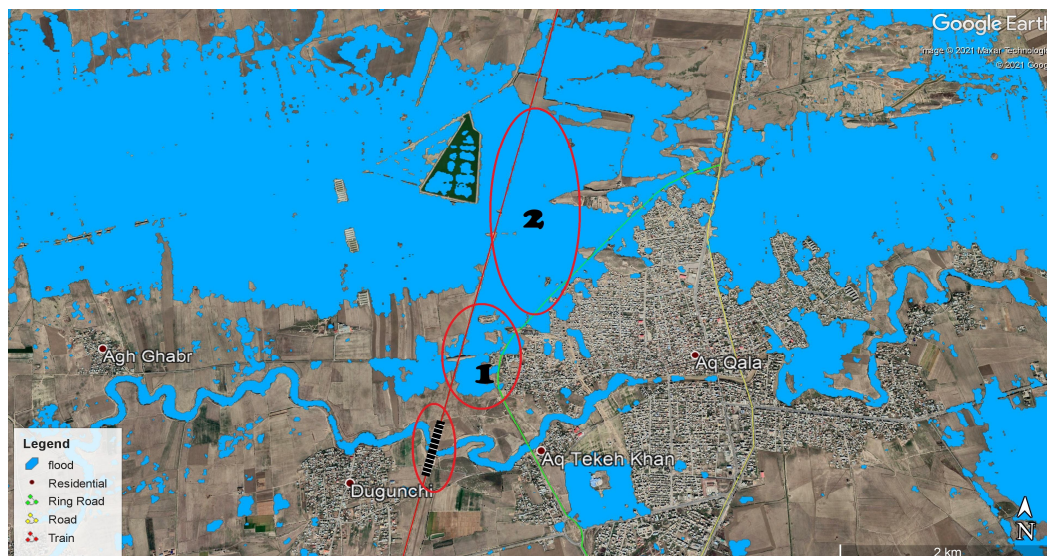
کار، در دو تصویر با استفاده از ابزار Band Math عمل تفریق انجام شد تا پهنه‌های آبی موجود در تاریخ قبلی از پهنه‌های آبی موجود در تصویر جدید حذف شود تا پهنه‌بندی مشخصی از سیلاب داشته باشیم. در اولین تصویر پهنه سیلاب روز ۲۳ مارس ۲۰۱۹ (۳) فروردین ۱۳۹۸) به‌دست آمد. در تصویر ۲۳ مارس (شکل ۴) آب‌گرفتگی‌های وسیعی در قسمت شرقی آق قلا قابل مشاهده است که دلیل اصلی آن دو قسمت شدن رودخانه اصلی و کم بودن شیب منطقه می‌باشد، و همین امر باعث محاصره روستاهایی مثل



شکل ۴- تصویر سیلاب دوم و نهم فروردین در منطقه مورد مطالعه، A(افغان محله)، B(یامپی)، C(قانقرمه)، D(دلیجه)، E(شور حیات)، F(حاجی قره)، G(سقر یلقی)، H(سلاق یلقی)، I(میرزا علی یلقی)، J(یلمه خندان)، L(آق سین تپه)، K(سلیمان تپه)

باشد که به سمت شمال و در قسمت شمالی رودخانه وجود دارد. نکته دیگر که در مورد جمع شدن آب در آن قسمت وجود دارد دیوار شدن یا سد شدن ریل و در عین حال عدم وجود خروجی‌های مناسب برای خروج آب می‌باشد و در بازدید میدانی که از محل آب گرفتگی انجام شد، این مورد به وضوح مشخص گردید که محل‌های خروجی آبی که در زیر ریل قرار داشتند بسیار کوچک هستند.

در شکل ۵ و ۶ محل شکستن ریل راه‌آهن توسط مسئولین که دقیقاً بر روی رودخانه قرار دارد و محل جمع شدگی آب مشخص شده است، که در پشت ریل راه‌آهن مقدار زیادی آب جمع شده است، محلی که با شماره ۱ علامت گذاری شده محلی است که بازدید میدانی از محل مورد نظر انجام شده و در شکل ۷ قابل مشاهده است و اینکه آب در قسمت شمالی و با فاصله از رودخانه جمع شده، می‌تواند به علت شیب ملایمی



شکل ۵- محل شکستن ریل و تجمع آب در منطقه آق قلا



شکل ۶- محل شکستن ریل راه آهن بعد از بازسازی



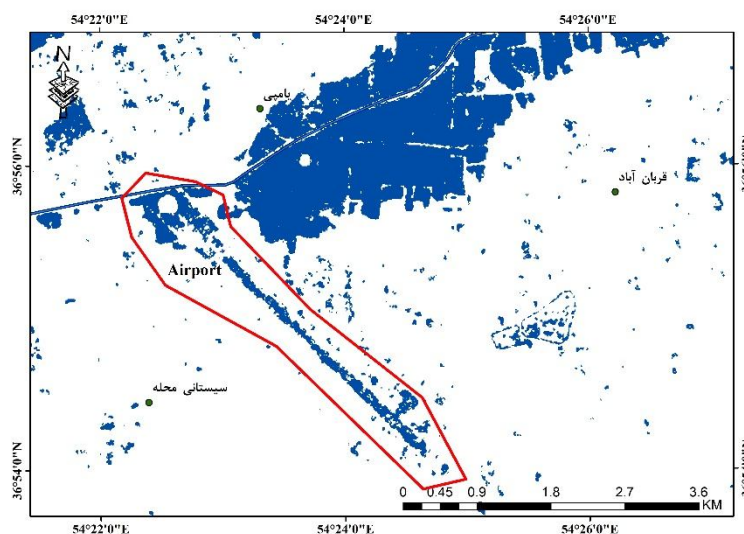
شکل ۷- محل جمع شدن آب در شمال رودخانه و در کنار محل خروجی آب

در شکل ۴ تاریخ ۲۹ مارس (۹ فروردین) منطقه‌ای که با رنگی تیره‌تر نمایش داده شده است، نشان دهنده بیشتر شدن حجم آبی است که به آب‌های موجود در ۲۳ مارس اضافه شد. در جاهایی که پهنه‌های آبی بر روی یکدیگر قرار گرفته‌اند به علت حرکت کند جریان آب برای خروج از منطقه، عمق آب

افزایش یافته همچنین در قسمت شمالی آب به سمت سیمین شهر پیشروی داشته و در قسمت جنوبی با نزدیک شدن آب به فرودگاه گرگان باعث درگیر شدن فرودگاه با سیلاب شده است. شکل ۸ و ۹ گرفتگی در اطراف آنتن فرودگاه در قسمت انتهایی شمالی باند فرودگاه را نشان می‌دهد.



شکل ۸- تصویر هوایی از قسمت انتهایی باند فرودگاه (ماخذ گزارش مقدماتی سیلاب ۱۳۹۸)



شکل ۹- تصویر قسمت انتهایی باند فرودگاه گرگان

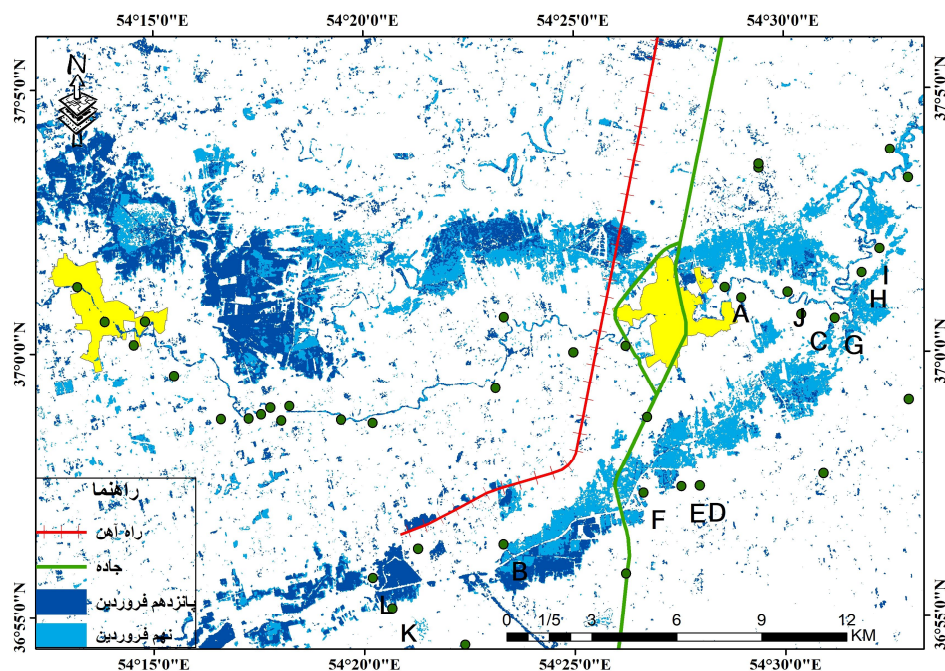
در شکل ۱۰ تاریخ ۴ آوریل (۱۵ فروردین) حرکت آب را به سمت سیمین شهر در شمال و نزدیک شدن سیلاب به فرودگاه گرگان را شاهد هستیم.

دلایل وقوع سیل در منطقه مورد مطالعه: یکی از دلایل اصلی وقوع سیل، شیب کم منطقه بوده است. در حوضه گرگانرود مورفولوژی حوضه، از سمت شمال شرقی در دو جهت اصلی و عمده جنوب به شمال و شرق به غرب شیب دارد، همگرایی جهت شیب زمین از

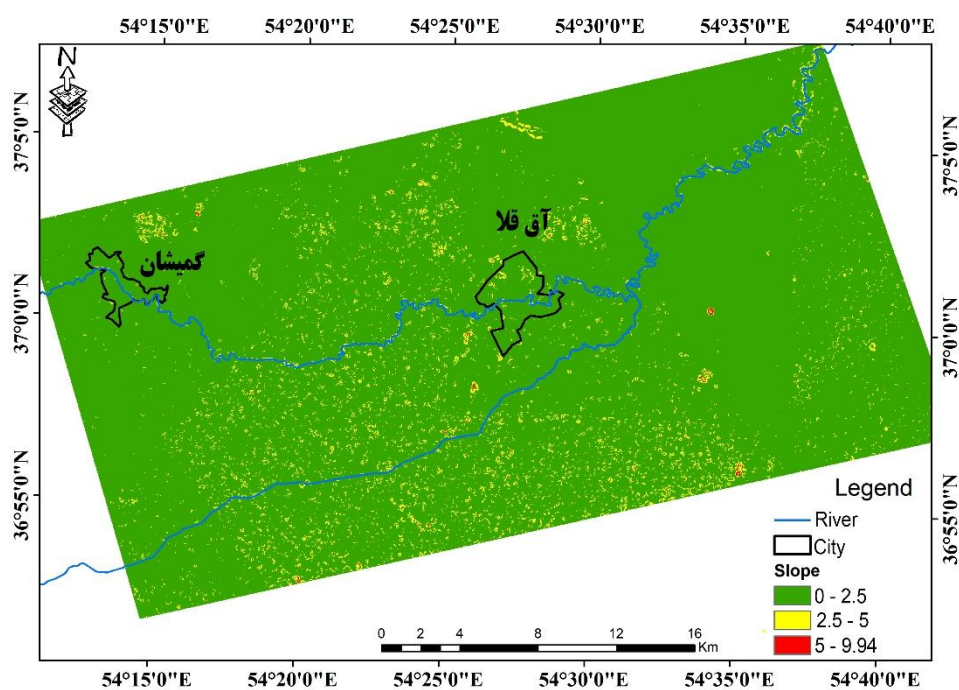
جنوب به شمال و از شرق به غرب موجب تجمع آب در نوار شرق به غرب و در امتداد مسیر بین شهرهای گنبد و آق قلا گردید. شیب از جنوب به شمال در امتداد جنوب گرگان - گرگان - آق قلا تجمع آبی فراوانی را در گستره هموار آق قلا موجب گردید که باعث آب گرفتگی بخش وسیعی از این شهر ۳۵,۱۱۶ نفری گردید (شکل ۱۱).

گسترده‌ای در مراکز جمعیتی و مسیرهای جاده ای و راه آهن رخ دهد که کم سابقه بوده است.

همچنین شیب ملایم و زمین هموار در محدوده بین گنبد تا غرب آق قلا امکان پخش شدگی آب سیلاب را فراهم آورد و باعث شد آب گرفتگی



شکل ۱۰- تصویر سیلاب نهم و پانزدهم فروردین در منطقه مورد مطالعه

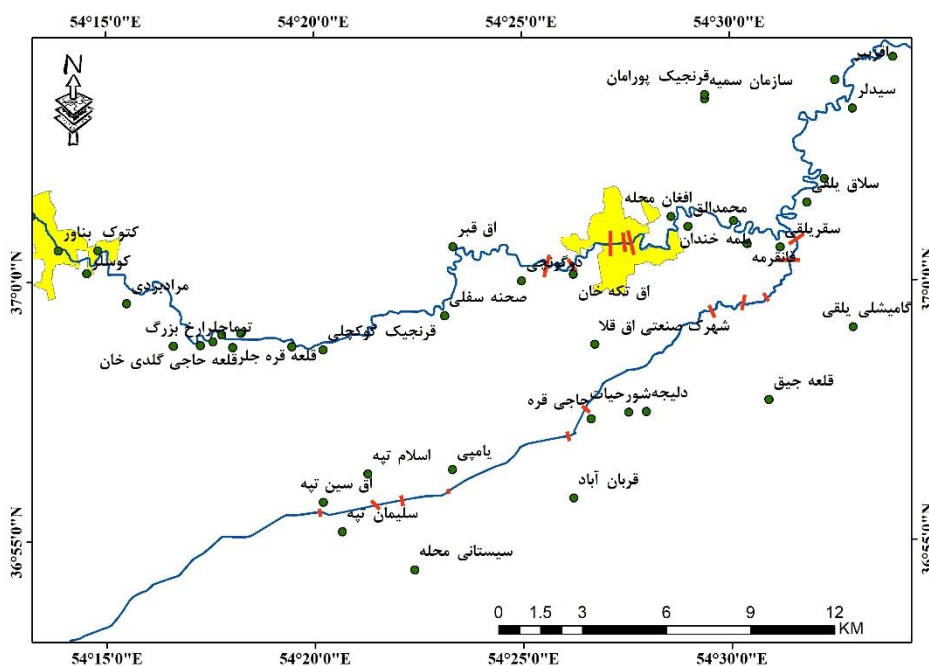


شکل ۱۱- شیب منطقه مورد مطالعه

آق قلا می‌توان مشاهده نمود (گزارش مقدماتی سیلاب، ۱۳۹۸). چنین حالتی از آن‌جا که جذب آب سطحی بدلیل اشباع شدگی ناشی از بارش‌های روزهای پیشین و ریز دانه بودن نهشته‌های سطحی، در زمین صورت نمی‌گیرد، اثر مخرب سیلاب و آب گرفتگی‌های ناشی از آن را تشدید می‌کند.

از دیگر عوامل سیل‌خیزی منطقه می‌توان به مئاندري بودن رودخانه و پیچ و خم‌های زیادی که مخصوصاً در قسمت شمالی وجود دارد اشاره کرد و همچنین عواملی نظیر احداث پل‌های متعدد بر روی رودخانه که باعث جمع شدن آب در پشت آن‌ها مانند سد شده بودند، اشاره کرد (شکل ۱۲). عدم لایروبی و کم بودن عمق آبراهه مزید بر علت بوده (شکل ۱۳) و همچنین تجاوز بیش از اندازه مناطق مسکونی به حریم رودخانه (شکل ۱۴) باعث شکل‌گیری سیلاب و ورود آب به مناطق مسکونی شد. در واقع می‌توان گفت یکی از دلایل مهم آبگرفتگی در سمت جنوبی شهر، عدم وجود عمق مناسب برای عبور آب و وجود پل‌های متعدد بر روی رودخانه است.

دشت سیلابی از لحاظ توپوگرافیک و زمین‌شناسی، سطح نسبتاً صافی است که قسمت‌های زیادی از کناره دره رودخانه یا انتهای آن را اشغال کرده و اغلب روی آن توسط رسوبات منفصل پوشیده شده است (معمد و مقیمی، ۱۳۷۸). از نظر ژئومورفولوژیک، دشت سیلابی به منطقه مجاور کانال رودخانه گفته می‌شود که به وسیله رودخانه موجود در اقلیم کنونی و طغیان‌های عظیم تغییر می‌کند (مقیمی، ۱۳۸۸). شوم (۱۹۸۱) معتقد است که وجود درصد زیاد رس و سیلت در بستر و پیکره سواحل و همچنین بار معلق زیاد از ویژگی‌های همه رودخانه‌های مئاندري است و تاکید دارد که در رودخانه‌های مئاندري بار معلق خیلی بیشتر از بار بستر حمل می‌شود. سطح مسیر سیلاب و اراضی اطراف آن را نهشته‌های ریز دانه لس با ۳۰٪ تقریبی رس پوشانده است. نهشته‌های ریز دانه با درصد بالای رس، در اثر اشباع شدگی، نفوذپذیری و قابلیت انتقال بسیار پائینی خواهند داشت که این امر، ماندگاری آب سیلاب و پخش شدگی آن را در سطح زمین موجب می‌شود. مصداق این نکته را در کل مسیر بین گنبد تا



شکل ۱۲- تعدد پل‌های احداث شده بر روی رودخانه



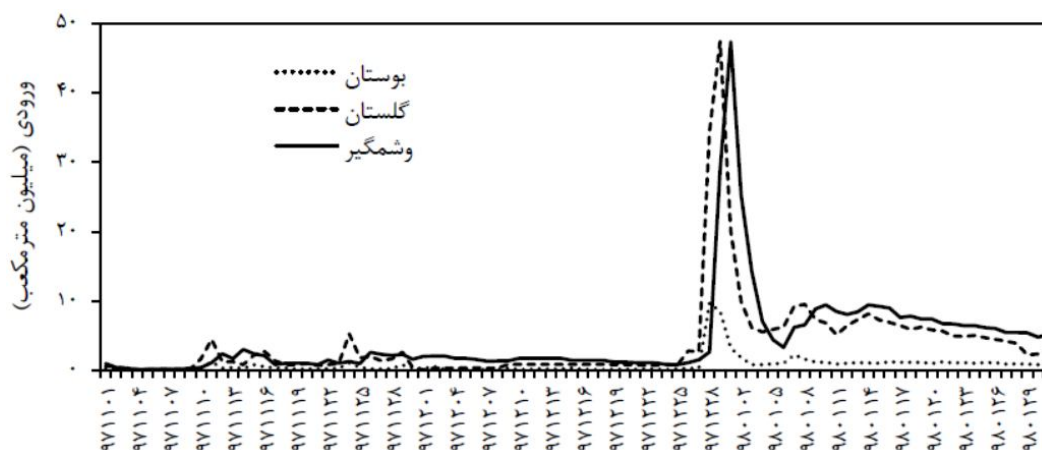
شکل ۱۳- کوچک بودن و کم عمق بودن پل های احداث شده بر روی رود (تصویر سمت راست پل ابتدای روستای شور حیات- تصویر سمت چپ پل انتهای روستای قانقرمه)



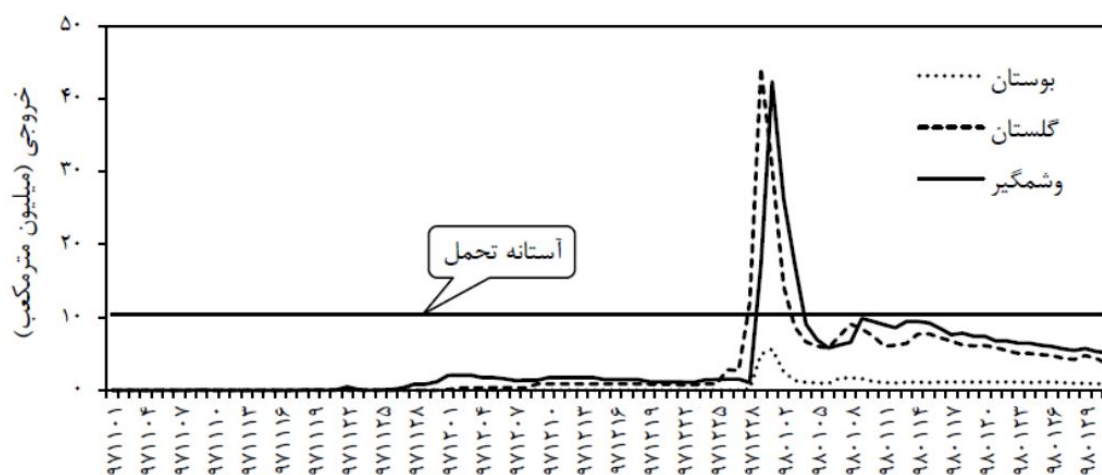
شکل ۱۴- تجاوز به حریم رودخانه با ساخت و ساز غیر مجاز و دیواره های ایجاد شده در حاشیه رودخانه (روستای قانقرمه)

وشمگیر می‌شود و پس از تعدیل جزئی با حجم ۱۲۷ میلیون مترمکعب و دبی حداکثر ۶۶۶ مترمکعب بر ثانیه از سد وشمگیر خارج می‌شود. به حجم خروجی از سد وشمگیر، حجم آب نای از رودخانه‌های در مسیر و حوضه بینابینی اضافه می‌شود و در نهایت سیلاب ۱۶۰ میلیون مترمکعبی در روز ۱۳۹۸/۰۱/۰۱ وارد شهر آق‌قلا می‌شود. شکل‌های ۱۴ و ۱۵ ورودی و خروجی سدهای روی رودخانه گرگانرود را از تاریخ ۱۳۹۷/۱۱/۰۱ تا ۱۳۹۷/۱۰/۳۱ نشان می‌دهد (گزارش عملکردی سازمان هلا احمر، ۱۳۹۸).

بعد از سیل سال ۹۸ گلستان دولت اقدام به عریض‌تر کردن مسیر رودخانه و بلندتر کردن دیواره‌های رودخانه تا ارتفاع بیش از ۲٫۵ متر کرده است. اما باز با این حال طبق مشاهده میدانی انجام شده از منطقه در محل پل‌ها هنوز ارتفاع پل‌ها مناسب نیستند و همچنین در محل پل، عرض رودخانه نیز کاهش پیدا می‌کند (شکل ۱۳). یکی از عوامل انسانی تاثیر گذار و مهم در سیل آق‌قلا سد وشمگیر بوده است، طبق گزارش منتشر شده از سازمان هلال احمر استان گلستان در سال ۹۸، سیلاب ساعت ۶ صبح ۱۳۹۷/۱۲/۲۷ با دبی حداکثر ۶۹۰ مترمکعب بر ثانیه و حجم ۱۳۵ میلیون مترمکعب وارد مخزن سد



شکل ۱۴- میزان ورودی به سدها در استان گلستان



شکل ۱۵- میزان خروجی سدها در استان گلستان

نتیجه‌گیری

سیلاب‌ها از مهم‌ترین مخاطراتی هستند که بسته به شدت بارندگی‌ها و سایر عوامل موثر سبب وارد آمدن خسارات زیادی به نواحی شهری و روستایی می‌شوند. روش‌های متعددی برای پایش سیلاب وجود دارد، روش‌های مبتنی بر مدل سازی‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای است. با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولژیکی داده‌هایی در اختیار ما قرار می‌گیرد که به کمک آن‌ها در لحظه وقوع سیلاب می‌توان آن را کنترل و خطرات آن را کاهش داد. البته این امر زمانی میسر می‌شود که مدل به خوبی کالیبره شده و قابلیت اجرا داشته باشد. استفاده از داده‌های سنجش از دور با

سرعت زیادی در حال رشد می‌باشد. یکی از ضعف‌های استفاده از داده‌های اپتیک، وجود پوشش ابر در آسمان است. اما برای حل مشکل وجود پوشش ابر می‌توان از تصاویر راداری SAR، استفاده کرد که در هر شرایط آب و هوایی و هر لحظه از شبانه‌روز اطلاعات دقیقی را از شرایط سطح زمین در اختیار ما قرار می‌دهد. در حال حاضر در کشور ایران برای مطالعات سیلاب به ندرت از تصاویر سنتینل ۱ استفاده می‌شود. پژوهش حاضر به تهیه نقشه محدوده گسترش سیلاب در شهرستان آق‌قلا با استفاده از تصاویر راداری (SAR)، ماهواره سنتینل ۱ پرداخته است. نتایج تحقیق نشان داد در محدوده مورد مطالعه در تاریخ ۲۳ مارس، ۱۱۵ کیلومتر مربع و در تاریخ ۲۹ مارس، ۱۰۷ کیلومتر مربع

مشخص کرد تا در برنامه‌ریزی‌های آتی بتوان از آن استفاده کرد. همچنین نتایج بررسی تصاویر راداری و بازدیدهای میدانی نشان داد دلایل اصلی سیلابی شدن منطقه، بارندگی شدید طی چند روز، پر شدن سد وشمگیر، شیب کم منطقه، عدم لایروبی رودخانه، وجود پل‌های زیاد بر روی رودخانه، ارتفاع کم پل‌ها و درصد بالای رس در خاک منطقه بوده است.

در اثر سیل فروردین ۹۸ به زیر آب رفته است. نتایج این پژوهش با مطالعات سلیمانی و همکاران (۱۳۹۹) که در زمینه سیل آق قلا منتشر شده تطابق زیادی را نشان می‌دهد. استفاده از داده‌های راداری، محدودیت‌های زمانی و مکانی مطالعه و برآورد سیل را از بین می‌برد و یکی از جدیدترین و موثرترین روش‌ها در مطالعه سیلاب است. می‌توان جزئیات دقیق سیلاب‌ها را مطالعه و حد گسترش آن را

منابع

۱۰. معتمد، احمد، مقیمی، ابراهیم. ۱۳۸۷. کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه ریزی، انتشارات سمت.
۱۱. مقیمی، ابراهیم، ۱۳۸۸. اکوژئومورفولوژی و حقوق رودخانه. انتشارات دانشگاه تهران.
۱۲. نصری، مسعود، سلیمانی سارود، فرشاد، ۱۳۸۹. اولویت بندی مناطق موثر بر دبی اوج سیلاب با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HMS-HEC درحوضه آبخیز سد شیخ بهایی. فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی، سال ششم، شماره ۳ ص ۱۵-۱.
13. Bates, P.D. 2004. Remote sensing and flood inundation modelling. Hydrol. Process. 18(13): 2593-2597.
14. Ban. Y., Jacob, A., and Gamba, P. 2015. Spaceborne SAR data for global urban mapping at 30 m resolution using a robust urban extractor. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 103: 28-37.
15. Brakenridge, R., and Anderson, E. 2006. MODIS-based flood detection, mapping and measurement: the potential for operational hydrological applications. In Transboundary floods: reducing risks through flood management. Springer, Dordrecht, pp. 1-12.
16. Carroll. M.L., Townshend. J.R., DiMiceli. C.M., Noojipady. P., and Sohlberg, R.A. 2009. A new global raster water mask at 250 m resolution. Int. J. Digit. Earth. 2 (4): 291-308.
17. Chen, S.A, Evans, B., Djordjevic, S., Savic, A., Dragan, 2012. Multi-layered coarse grid modeling in 2D urban flood simulations, Journal of Hydrology 470-471, 1-11
18. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, Emergency
۱. افشین، یدالله. ۱۳۷۳. رودخانه های ایران، جلد اول، چاپ اول، تهران، وزارت نیرو.
۲. بینش، نگین، نیک سخن، محمد حسین، سارنگ، امین. ۱۳۹۷. تحلیل تاثیر تغییر اقلیم بر بارش‌های حدی حوزه سیل برگردان غرب تهران، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، شماره ۱۷ ص ۲۳۴-۲۲۶.
۳. پنجه کوبی، پرویز، ریحانی پروری، محمد، جاوردی، مهدی، رحمن نیا، محمد رضا، (۱۳۹۹). واکاوی شدت-مدت-مساحت بارش و تاثیر آن در سیل با استفاده از تصاویر و داده‌های رادار. سنجش از دور و GIS ایران. سال دوازدهم؛ شماره اول، ص ۷۳-۸۶.
۴. سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان گلستان، ۱۳۹۵. گزارش اقتصادی-اجتماعی و فرهنگی استان گلستان، ناشر سازمان برنامه و بودجه کشور، مرکز اسناد، چاپ اول، ۳۹۶ ص.
۵. سلیمانی، کریم، شریفی پور، مهدی، عبدلی بوژانی، سپیده، ۱۳۹۹. الگوریتم آشکارسازی پهنه خسارت سیل با استفاده از تصاویر سنتینل ۲ (مطالعه موردی: سیلاب فروردین ۱۳۹۸ استان گلستان)، مجله اکو هیدرولوژی، دوره ۷، شماره ۲، ص ۳۰۳-۳۱۲.
۶. دفتر اطلاعات و تحقیقات سازمان هواشناسی استان گلستان. ۱۳۹۸.
۷. گزارش مقدماتی سیل گلستان، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی. ۱۳۹۸.
۸. گزارش عملکرد جمعیت هلال احمر استان گلستان در برف، کولاک، سیل و آبگرفتگی، بهار. ۱۳۹۸.
۹. گل پرنیان، طواق، ۱۳۹۳. سیلاب های مخرب استان گلستان. مجله رشد آموزش جغرافیا، دوره ۲۳، شماره ۳.

29. Liang, J., and Liu, D. 2020. A local thresholding approach to flood water delineation using Sentinel-1 SAR imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 159: 53-62.
30. Moel, H.D., Alphen, J.V., and Aerts, J.C.J.H. 2009. Flood maps in Europe: methods, availability and use. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 9: 289-301
31. Moayeri, M., and Entezari, M. 2008. Floods and review floods in province of Esfahan. *Journal of Geographic perspective*. 3(6): 110-124. [Persian]
32. Paul, S.H., Sharif, H.O. 1960-2016. Analysis of Damage Caused by Hydrometeorological Disasters in Texas, *Res.* 31: 1005-1013.
33. Rahman, R., and Thakur, P. 2017. Detecting, mapping and analysing of flood water propagation using synthetic aperture radar (SAR) satellite data and GIS: A case study from the Kendrapara District of Orissa State of India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*. 10.2
34. Rahman, S., and Liping, Di. 2020. A Systematic Review on Case Studies of Remote-Sensing-Based Flood Crop Loss Assessment. *Agriculture* 2020, 10, 131
35. Rajabizadeh, Y., Ayyoubzadeh, S.A., Zahiri, A., (2019) Flood survey of Golestan province in 2017-2018 and providing solutions for its control and management in the future. *Iranian Journal of Ecohydrology*. (a); 6(4): 921-942. [Persian].
36. Revellino, P., Guerriero, L., Mascellaro, N., Fiorillo, F., Grelle, G., Ruzza, G., and Guadagno, F.M. 2019. Multiple Effects of Intense Meteorological Events in the Benevento Province, Southern Italy. *Water*, 11(8):1560.
37. Ruzza, G., Guerriero, L., Grelle, G., Guadagno, F.M., and Revellino, P. 2019. Multi-Method Tracking of Monsoon Floods Using Sentinel-1 Imagery. *Water*, 11(11): 2289.
38. Shen, X., Wan, D., Mao, K., Anagnostou, E., and Hong, Y. 2019. Inundation extent mapping by synthetic aperture radar: a review. *Remote Sensing*, 11(7): 879.
- Events Database (CRED EMDAT), <http://www.emdat.be/>.
19. Dovonce, E. 2000. A physically based distributed hydrologic model, Master of Science Thesis, the Pennsylvania State University;
20. De Risi, R., Jalayer, F., and De Paola, F. 2015. Meso-scale hazard zoning of potentially flood prone areas. *Journal of Hydrology* 527: 315-325.
21. Eppink, F.V., Van Den Bergh, J.C., and Rietveld, P. 2004. Modelling biodiversity and land use: Urban growth, agriculture and nature in a wetland area. *Ecol. Econ.* 51: 201-216.
22. Gessner, M.O., Hinkelmann, R., Nützman, G., Jekel, M., Singer, G., Lewandowski, J., Nehls, T., and Barjenbruch, M. 2014. Urban water interfaces. *J. Hydrol.* 514: 226-232.
23. Gleason, C.J., Smith, L.C., and Lee, J. 2014. Retrieval of river discharge solely from satellite imagery and at-many-stations hydraulic geometry: Sensitivity to river form and optimization parameters. *Water Res.* 50(12): 9604-9619.
24. <https://scihub.copernicus.eu>.
25. <https://search.asf.alaska.edu/>
26. Hong Quang, N., Anh Tuan, V., Thu Hong, L., Manh Hung, N., Thi The, D., Thi Dieu, D., Duc Anh, N., and Hackney, C. 2020. Hydrological /Hydraulic Modeling - Based Thresholding of Multi SAR Remote Sensing Data for Flood Monitoring in Regions of the Vietnamese Lower Mekong River Basin. *Journal Water*. 12.71
27. Klemas, V. 2015. Remote sensing of floods and flood-prone areas: an overview. *Journal of Coastal Research*, 31(4): 1005-1013
28. Khan, S.I., Hong, Y., Wang, J., Yilmaz, K.K., Gourley, J.J., Adler, R.F., and Irwin, D. 2011. Satellite remote sensing and hydrologic modeling for flood inundation mapping in Lake Victoria basin: Implications for hydrologic prediction in ungauged basins. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 49 (1): 85-95

- Sentinel-1 time series data. Remote Sensing, 10(8):1286.
41. Viala, E. 2008. Water for food, water for life a comprehensive assessment of water management in agriculture. Springer.
39. Schumm, S.A. (1981) evolution and response of the fluvial system, sedimentological implications, society of economic paleontologist and mineralogists special publication 31, 19-29.
40. Tsyganskaya, V., Martinis, S., Marzahn, P., and Ludwig, R. 2018. Detection of temporary flooded vegetation using

