

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی

پهنه بندی و کنترل سیلاب رودخانه شهری با استفاده از GIS

نگارنده: کامران گنجی

اساتید راهنما

دکتر احمد احمدی

دکتر سعید قره چلو

بهمن ۹۸

فرم شماره ۳

تقدیم‌نامه

سر تا پایم را خلاصه کنند می‌شوم "مشتی خاک"، بی‌اغراق فقط مشتی خاک

که ممکن بود "خشتی" باشد در دیوار یک خانه...

یا "سنگی" در دامان یک کوه...

شاید "خاکی" از گلدان یا حتی "غباری" بر پنجره...

اما مرا از این میان برگزیدند

برای "نهایت" برای "شرافت" برای "انسانیت" برای آدم بودن و پروردگارم بزرگوارانه

اجازه‌ام داد

و ارزنده‌ام کرد بابت نفسی که در من دمید

من منتخب گشته‌ام

پس تقدیم به خداوندی که مرا برگزید

و آنان که عشقشان را در وجودم دمید...

تقدیم به پدر و مادر و خواهر عزیزتر از جانم.

سپاس‌گزاری

سپاس بی‌کران پروردگار یکتا را که هستی‌مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمون‌مان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه‌چینی از علم و معرفت را روزی‌مان ساخت.

پس از ارادت خاضعانه به درگاه پروردگار بی‌همتا، لازم است از اساتید ارجمند آقایان دکتر احمد احمدی و دکتر سعید قره‌چلو به خاطر سعه‌صدر و رهنمودهای دلسوزانه‌شان که در تهیه این تحقیق مرا مورد لطف خود قرار دادند و راهنمایی‌های لازم را نمودند، تشکر و قدردانی نمایم.

همچنین وظیفه‌ی خود می‌دانم تشکر ویژه خود را به جناب آقای دکتر سعید قره‌چلو بابت راهنمایی‌های دلسوزانه و مستمرشان تقدیم نمایم.

با تقدیر و درود بی‌شمار از اساتید بزرگوار جناب آقایان دکتر امیرعباس عابدینی و دکتر رمضان واقعی که با لطف بی‌دریغشان زحمت داوری این پایان‌نامه را متقبل شدند.

و با تشکر خالصانه خدمت همه کسانی که به نوعی مرا در انجام رساندن این مهم یاری نموده‌اند؛ باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

تهیه‌نامه

اینجانب کامران گنجی دانشجوی دوره‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی عمران گرایش آب و سازه‌های هیدرولیکی دانشکده‌ی مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده‌ی پایان‌نامه‌ی پهنه‌بندی و کنترل سیلاب رودخانه شهری با استفاده از GIS تحت راهنمایی دکتر احمد احمدی و دکتر سعید قره‌چلو متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه‌ی حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه‌ی مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه‌ی مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه‌ی اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه‌ی حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

هدف از تحقیق حاضر پهنه‌بندی سیل و شناسایی پهنه‌های خطر در برابر سیل در شهرستان آق‌قلا می‌باشد. به منظور پهنه‌بندی سیل رخ داده در فروردین ماه ۱۳۹۸ و برآورد مساحت و تغییرات سری زمانی پهنه‌های سیلابی از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۱، سنتینل-۲ و لندست-۸ به دلیل رزولوشن مکانی بالا و رایگان و در دسترس بودن استفاده شده است. بعد از پردازش‌های انجام شده بر روی تصاویر، شاخص‌های شناسایی آب، NDWI و MNDWI بر تصاویر اعمال گردید. بیشترین مساحت پهنه‌های سیل 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 بدست آمد. سپس پهنه‌های سیل برای دوره بازگشت‌های ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله به کمک نرم افزار HEC-RAS شبیه‌سازی گردید. نتیجه نشان داد رودخانه گرگانرود در صورت عدم لایروبی برای دوره بازگشت‌های ۵۰۰ ساله به بالا دچار بیرون‌زدگی جریان از کانال رودخانه می‌شود. به منظور بررسی اثر مرفولوژی کانال رودخانه گرگانرود بر پهنه‌های سیل، شاخص طول کانال، عرض کانال، شاخص خمیدگی و میانگین شعاع پیچانرودهای کانال در چهار بازه در حدفاصل روستای سلاق‌یلقی تا روستای دوگونچی محاسبه گردید. در حدفاصل روستای سلاق‌یلقی تا ابتدای شهر آق‌قلا شاخص سینوزیته برابر ۳,۸۸ می‌باشد که نشان دهنده کانال با پیچانرودی شدید است و همچنین میانگین عرض بستر کم و وجود شیب کم در حدفاصل شهر آق‌قلا تا روستای دوگونچی باعث برگشت سیلاب به محدوده شهری آق‌قلا می‌شود. در گام آخر با تعیین معیارها و زیرمعیارها موثر در ایجاد سیل رودخانه گرگانرود و شهرستان آق‌قلا، با بازدیدهای میدانی و مشورت با کارشناسان خبره سیل استان گلستان شناسایی و به کمک روش سلسله مراتبی AHP وزن‌دهی و در نرم‌افزار GIS همپوشانی و نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل تهیه شد. معیارهای توپوگرافی و مرفولوژی به ترتیب با اوزان ۰,۳۵۳ و ۰,۳۳۳ بیشترین تاثیر در بوجود آمدن سیلاب در شهرستان آق‌قلا دارند. به منظور صحت‌سنجی نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر سیلاب با پهنه‌های سیلاب بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای و تصاویر هلی‌شات آرشویی از سیل مقایسه گردید. ۴,۴۵ درصد از مساحت

شهرستان آق‌قلا در پهنه خطر خیلی کم، ۲۱,۴۳ درصد در پهنه‌ی خطر کم، ۲۰,۹۵ درصد در پهنه خطر متوسط، ۳۵,۲۷ درصد در پهنه خطر زیاد و ۱۷,۹ درصد از شهرستان آق‌قلا در پهنه پرخطر قرار گرفت. کانالیزه کردن و لایروبی کانال رودخانه در محدوده روستای سلاق‌یلقی تا روستای گنگیرما، بهسازی پل‌ها و کانالیزه کردن رودخانه در محدوده روستای یامپی، لایروبی کردن و بسترسازی مناسب در محدوده شهری رودخانه گرگانرود از اقداماتی است که می‌تواند به کاهش خطر سیل در شهرستان آق‌قلا کمک نماید.

واژگان کلیدی: آق‌قلا، پهنه‌بندی سیل، رودخانه گرگانرود، داده‌های سنتینل، مرفولوژی، GIS

فهرست عنوان‌ها

- ۱- فصل اول: کلیات ۱
- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۲-۱- نقشه‌های پهنه‌بندی سیل ۴
- ۱-۲-۱- کاربرد نقشه‌های پهنه‌بندی در مدیریت سیل ۴
- ۲-۲-۱- روش‌های متداول در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیل ۵
- ۳-۱- کاربرد تکنیک‌های سنجش از دور و GIS در پهنه‌بندی سیل ۶
- ۱-۳-۱- قابلیت GIS در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیل ۶
- ۲-۳-۱- داده‌های سنجش از دور در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیل ۷
- ۴-۱- ضرورت انجام تحقیق ۸
- ۵-۱- اهداف کلی و سوالات تحقیق ۱۰
- ۶-۱- اهداف جزئی پایان‌نامه ۱۱
- ۷-۱- ساختار کلی پایان‌نامه ۱۲
- ۲- فصل دوم: پیشینه تحقیق ۱۳
- ۱-۲- مقدمه ۱۴
- ۲-۲- پژوهش‌های انجام شده در داخل کشور ۱۴
- ۳-۲- پژوهش‌های انجام شده در خارج از کشور ۱۷
- ۴-۲- جمع‌بندی ۲۱
- ۵-۲- فرضیات تحقیق ۲۲
- ۳- فصل سوم: مواد و روش‌ها ۲۵
- ۱-۳- مقدمه ۲۶
- ۲-۳- منطقه مورد مطالعه ۲۶
- ۱-۲-۳- شهرستان آق‌قلا ۲۶
- ۲-۲-۳- حوزه آبریز گرگانرود ۲۷
- ۳-۳- استخراج پهنه‌های سیل به کمک داده‌های ماهواره‌ای ۳۰
- ۱-۳-۳- داده‌های SAR و پردازش تصاویر ماهواره سنتینل-۱ ۳۰

۳۳	۴-۳- داده‌های اپتیکال و پردازش تصاویر سنتینل-۲ و لندست-۸
۳۵	۳-۴-۱- شاخص NDWI
۳۶	۳-۴-۲- شاخص MNDWI
۳۶	۳-۵- شبیه‌سازی سیلاب رودخانه گرگانرود با استفاده از HEC-RAS و GIS
۳۶	۳-۵-۱- استخراج حوزه‌آبریز و مسیر رودخانه گرگانرود
۳۸	۳-۵-۲- شبیه‌سازی سیلاب در محیط HEC-RAS
۴۲	۳-۶- استخراج پارامترهای مرفولوژیکی کانال
۴۳	۳-۶-۱- استخراج شاخص‌های طول، مساحت و محیط کانال
۴۴	۳-۶-۲- شاخص خمیدگی (سینوزیته)
۴۶	۳-۷- تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیلاب در محیط GIS
۴۸	۳-۷-۱- ایجاد پایگاه داده و انتخاب گزینه‌ها
۴۹	۳-۷-۲- روش تحلیل سلسله مراتبی AHP و تهیه پرسشنامه
۵۱	۳-۷-۳- مراحل تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها
۵۵	۳-۷-۴- تبدیل داده‌ها به فرمت رستری
۵۶	۳-۷-۵- هم‌پوشانی لایه‌ها و وزن‌دهی به معیارها
۵۷	۴- فصل چهارم: نتایج
۵۸	۴-۱- مقدمه
۵۸	۴-۲- پهنه‌های سیلاب استخراج شده با استفاده از تصاویر سنتینل-۱
۶۲	۴-۳- پهنه‌های سیلاب استخراج شده با استفاده از تصاویر سنتینل-۲ و لندست-۸
۶۲	۴-۳-۱- پهنه‌های سیلاب استخراج شده به کمک شاخص NDWI
۶۴	۴-۳-۲- پهنه‌های سیلاب استخراج شده به کمک شاخص MNDWI
۶۶	۴-۳-۳- مقایسه بین شاخصهای NDWI و MNDWI و انتخاب حد آستانه شناسایی سیلاب
۶۷	۴-۴- پهنه‌های سیلاب شبیه‌سازی شده به کمک نرم افزار HEC-RAS
۷۲	۴-۵- اثرات مرفولوژی کانال رودخانه بر پهنه‌های سیلاب
۷۷	۴-۶- نقشه نهایی زیرمعیارهای طبقه‌بندی شده در محیط GIS
۷۷	۴-۶-۱- معیار توپوگرافی
۷۸	۴-۶-۲- معیار هیدرواقليم
۸۰	۴-۶-۳- معیار عوامل انسانی

۸۳	۴-۶-۴- معیار زمین‌شناسی.....
۸۳	۴-۶-۵- معیار عوامل مورفولوژی.....
۸۵	۴-۷- نقشه‌های خروجی پهنه‌بندی خطر سیلاب به کمک GIS.....
۸۷	۴-۸- ارزیابی صحت‌سنجی نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب.....
۸۴	۴-۹- مهمترین علل وقوع سیلاب در حوزه آبریز گرگانرود.....
۸۹	۴-۱۰- پیشنهادات کنترل سیل.....
۹۳	۴-۱۱- آزمون فرضیات پژوهش.....
۹۴	۴-۱۲- نتایج و بحث.....
۹۷	۵- فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....
۹۸	۵-۱- مقدمه.....
۹۸	۵-۲- نتیجه‌گیری.....
۹۹	۵-۳- پیشنهادات برای مطالعات آتی.....

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: سیلاب رودخانه گرگانرود و آبگرفتگی محیط شهری آق‌قلا، فروردین ۱۳۹۸..... ۹
- شکل ۱-۳: محدوده مورد مطالعه، شهرستان و شهر آق‌قلا..... ۲۷
- شکل ۲-۳: حوزه آبریزهای استان گلستان..... ۲۸
- شکل ۳-۳: فلوچارت مراحل کلی تحقیق..... ۲۹
- شکل ۴-۳: فلوچارت مراحل پردازش تصاویر ماهواره سنتینل-۱ در نرم افزار SNAP..... ۳۱
- شکل ۵-۳: فلوچارت مراحل پردازش تصاویر سنتینل-۲ و لندست-۸ و استخراج پهنه‌های سیلاب..... ۳۴
- شکل ۶-۳: فلوچارت استخراج حوزه و زیرحوزه‌های رودخانه گرگانرود..... ۳۷
- شکل ۷-۳: فلوچارت استخراج مسیر و سواحل چپ و راست رودخانه گرگانرود براساس حریم کمی و کیفی..... ۳۸
- شکل ۸-۳: مقاطع عرضی ترسیم شده بر روخانه گرگانرود در محدوده روستای سلاق‌یلقی تا روستای دوگونچی..... ۳۹
- شکل ۹-۳: پل‌های موجود بر روی رودخانه گرگانرود در محدوده شهر آق‌قلا..... ۳۹
- شکل ۱۰-۳: هیدروگراف‌های سیل رودخانه گرگانرود در محل ایستگاه آب‌سنجی آق‌قلا..... ۴۱
- شکل ۱۱-۳: بازه‌های مورد بررسی برای عوامل مرفولوژی..... ۴۳
- شکل ۱۲-۳: تعداد و شعاع پیچانرودها در طول رودخانه گرگانرود..... ۴۵
- شکل ۱۳-۳: فلوچارت مراحل تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیلاب..... ۴۷
- شکل ۱۴-۳: درخت سلسله مراتبی معیارها و زیرمعیارهای پژوهش..... ۴۸
- شکل ۱-۴: هیستوگرام شدت بازتاب پیکسل‌ها در باند Intensity-VV..... ۵۹
- شکل ۲-۴: پهنه‌های سری زمانی سیلاب استخراج شده از تصاویر ماهواره سنتینل-۱..... ۵۹
- شکل ۳-۴: تصاویر فازی پهنه‌های سیلاب..... ۶۱
- شکل ۴-۴: روند تغییرات مساحت پهنه‌های سیلاب مربوط شهر آق‌قلا..... ۶۲
- شکل ۵-۴: پهنه‌های سیلاب استخراج شده به کمک شاخص NDWI..... ۶۳
- شکل ۶-۴: پهنه‌های سیلاب استخراج شده به کمک شاخص MNDWI..... ۶۵
- شکل ۷-۴: تغییرات مساحت آبگرفتگی براساس شاخص‌ها، سری زمانی مربوط به شهرستان و شهر آق‌قلا..... ۶۷
- شکل ۸-۴: پروفیل طولی ۱۰ کیلومتر از بستر کانال و سطح جریان سیلاب..... ۶۷

- شکل ۹-۴: مقاطع عرضی پل‌های موجود بر رودخانه گرگانرود، ۶۸
- شکل ۱۰-۴: پهنه‌های سیلاب رودخانه گرگانرود، شبیه‌سازی شده به کمک نرم افزار HEC-RAS ۶۸
- شکل ۱۱-۴: مقایسه مساحت پهنه‌های سیلاب براساس دوره بازگشت و حریم کمی و کیفی ۶۹
- شکل ۱۲-۴: پهنه‌های سیلاب شبیه‌سازی شده رودخانه گرگانرود ۷۰
- شکل ۱۳-۴: ارتفاع سیلاب در محدوده شهری رودخانه گرگانرود ۷۱
- شکل ۱۴-۴: ارتفاع سیلاب در شهر آق‌قلا ۷۲
- شکل ۱۵-۴: تعداد و شعاع پیچانرودها در طول رودخانه گرگانرود ۷۳
- شکل ۱۶-۴: پهنه‌های سیلاب سری زمانی با توجه به تعداد پیچانرودها و شعاع ۷۴
- شکل ۱۷-۴: صحت‌سنجی سری زمانی پهنه‌های سیلاب بدست آمده با تصاویر هوایی ۷۶
- شکل ۱۸-۴: لایه زیرمعیارهای توپوگرافی ۷۸
- شکل ۱۹-۴: لایه زیرمعیارهای هیدرواقلیم ۸۰
- شکل ۲۰-۴: لایه زیرمعیارهای فاصله از مناطق مسکونی ۸۲
- شکل ۲۱-۴: لایه زیرمعیارهای بافت خاک ۸۳
- شکل ۲۲-۴: لایه زیرمعیار عوامل مرفولوژی ۸۵
- شکل ۲۳-۴: نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب مربوط به شهرستان و شهر آق‌قلا ۸۶
- شکل ۲۴-۴: مقایسه پهنه‌های پرخطر با پهنه‌های سیلاب استخراج شده به کمک تصاویر ماهواره سنتینل-۲ ۸۷
- شکل ۲۵-۴: مقایسه پهنه‌های پرخطر استخراج شده با تصاویر هوایی-میدانی ۸۸
- شکل ۲۶-۴: نقشه تفکیک شده مناطق نسبت به خطر سیل ۹۰
- شکل ۲۷-۴: راهکارهای کنترل سیل، در حد فاصل روستای سلاق یلقی تا شهر آق‌قلا ۹۱

فهرست جدول‌ها

- جدول ۳-۱: مشخصات تصاویر ماهواره سنتینل-۱..... ۳۰
- جدول ۳-۲: مشخصات تصاویر ماهواره‌های سنتینل-۲ و لندست-۸..... ۳۴
- جدول ۳-۳: مقادیر ضریب مانینگ محاسبه شده برای محدوده مورد مطالعه..... ۴۰
- جدول ۳-۴: حداکثر دبی لحظه‌ای ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری آق‌قلا برای دوره بازگشت‌های مختلف..... ۴۱
- جدول ۳-۵: مقادیر طول، مساحت و حجم کانال در چهار بازه از کانال رودخانه گرگانرود..... ۴۴
- جدول ۳-۶: مقادیر تعداد پیچانرود و ضریب سینوزیه کانال رودخانه گرگانرود در بازه های مورد مطالعه..... ۴۵
- جدول ۳-۷: مقادیر شعاع پیچانرودها در چهار بازه مورد بررسی..... ۴۶
- جدول ۳-۸: نمونه پرسشنامه AHP طراحی شده جهت ارائه به کارشناسان..... ۵۰
- جدول ۳-۹: جدول مقایسه نسبی معیارها..... ۵۰
- جدول ۳-۱۰: ماتریس مقایسات زوجی معیارها..... ۵۰
- جدول ۳-۱۱: جدول شاخص ناسازگاری تصادفی..... ۵۰
- جدول ۳-۱۲: اوزان نهایی بدست آمده با استفاده از نرم افزار Expert Choice..... ۵۱
- جدول ۴-۱: مساحت پهنه‌های سیلاب مربوط به شهر آق‌قلا..... ۶۲
- جدول ۴-۲: مساحت پهنه‌های سیلاب استخراج شده به کمک شاخص NDWI..... ۶۴
- جدول ۴-۳: مساحت پهنه‌های سیلاب استخراج شده به کمک شاخص MNDWI..... ۶۵
- جدول ۴-۴: مساحت پهنه‌های سیلاب براساس حریم کمی و کیفی رودخانه گرگانرود..... ۶۹
- جدول ۴-۵: مساحت و درصد پهنه‌های خطر سیل، شهرستان آق‌قلا..... ۹۰

فصل اول

کلیات

بدون شک سیلاب بعنوان یک بلای طبیعی شناخته شده است و سیلاب هم از نظر تلفات جانی و هم از نظر خسارات مالی مهیب‌ترین بلای طبیعی در جهان محسوب می‌شود. در سال‌های اخیر افزایش خسارت ناشی از سیل در سیلاب‌دشت‌ها و مناطق مجاور رودخانه‌ها، سبب شده که هیدرولوژیست‌ها و محققان مهندسی رودخانه رفتار هیدرولیکی رودخانه‌های طغیانی را به طور جدی مورد بررسی قرار دهند. افزایش جمعیت و دارایی‌ها در سیلاب‌دشتهای، تغییرات هیدروسیستم‌ها و اثرات مخرب فعالیت‌های انسانی از دلایل عمده این روند افزایش بوده است (آذرنگ، ۱۳۹۵).

در کشور ایران، وقوع سیلاب هر ساله باعث خسارات مالی فراوان و حتی تلفات انسانی می‌گردد، بطوریکه در طی دوره آماری ۱۳۳۱ تا ۱۳۸۰ تعداد ۳۷۰۰ سیل در کشور سبب وارد آمدن صدمات قابل ملاحظه‌ای به مردم کشورمان شده است. کشور ایران با توجه به اقلیم مدیترانه‌ای به لحاظ سیل‌خیزی هفتمین کشور دنیاست و سالانه خسارات زیادی را در این زمینه متحمل می‌شود. روند افزایش سیل در پنج دهه‌ی اخیر نشان می‌دهد که تعداد وقوع سیل در دهه ۸۰ نسبت به دهه ۴۰ تقریباً ۱۰ برابر شده است (عبدی نژاد، ۱۳۹۴). سیلاب‌ها نه تنها در نواحی برون شهری بلکه در نواحی شهری نیز آسیب‌های فراوانی به بار می‌آورد. شدت این آسیب‌ها گاهی در نواحی شهری بیش از نواحی برون شهری است. از زمان گذشته به سیلاب‌های رودخانه‌ای و دشت‌های سیلابی توجه خاصی شده، درحالی که در محیط شهری به سیلاب کمتر توجه شده است. عواقب اجتماعی و اقتصادی سیلاب در محیط شهری به طور اجتناب ناپذیری بیش از ۴۹/۲ درصد از ساکنان جهان را تحت تاثیر قرار داده است (بدیعی‌زاده، ۱۳۹۱).

بررسی دقیق مجموعه عوامل طبیعی که زمینه ساز این بلایا هستند، نشان می‌دهد که دخالت انسان در چرخه طبیعت از طریق تخریب پوشش گیاهی، کاربری غیر اصولی اراضی، توسعه سطوح غیر قابل نفوذ و دیگر موارد، احتمال سیل‌خیزی را در مناطق گوناگون افزایش داده است. در نتیجه پهنه جریان

سیلاب‌ها گسترش یافته و زمین‌های بیشتری در هنگام طغیان رودخانه‌ها تحت تاثیر قرار می‌گیرند و گاهی خسارت جانی و مالی زیادی را به بار می‌آورد (حسین زاده، ۱۳۹۴).

تاکنون تعاریف متعددی برای سیل مطرح شده که هر یک از آن‌ها ویژگی متفاوتی از سیل را برای اهداف خاص بیان می‌کند. برخی از سیل‌ها فصلی هستند به طوری که در فصل‌های خاصی از سال مقادیر قابل توجهی آب حاصل از بارش و ذوب برف به سرعت وارد کانال‌ها و رودخانه‌های موجود در حوزه‌ها می‌شوند. برخی دیگر از سیل‌ها ناگهانی بوده به گونه‌ای که بعد از بارندگی‌های شدید و یا تخریب سازه‌های آبی یا سرریز شدن سدها بوقوع می‌پیوندد و باعث طغیان رودخانه‌ها شده و خسارات سنگینی را بوجود می‌آورند (مهدوی، ۱۳۸۲). پیش‌بینی رفتار هیدرولیکی رودخانه‌ها در مقابل سیلاب‌های احتمالی برای کاهش خسارات وارده بر مناطق شهری و روستایی، تاسیسات در حال ساخت، مزارع و سایر کاربری‌های موجود، در اطراف رودخانه دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشند (عسگری، ۱۳۹۴).

تغییرات انسانی ایجاد شده در الگوی طبیعی سیستم‌های زهکشی در نواحی شهری و حاشیه شهرها عامل اصلی بروز سیلاب و آسیب‌های وارده است. بالا بودن آسیب‌های سیلاب در شهرها عمدتاً به دلیل قرارگیری برخی از بخش‌های قدیمی شهرها در حاشیه رودخانه، تغییر الگوی زهکشی طبیعی حوزه‌ها به دلیل گسترش شهری، تخریب پوشش گیاهی و منابع طبیعی در حوزه‌های بالادست شهری است (درخشان، ۱۳۸۵). افزایش سطوح نفوذناپذیر، که ناشی از احداث ساختمان در خاک‌های نفوذپذیر است، طبعاً از سطوح نفوذپذیر حوزه، که قادر به جذب بخشی از بارندگی است، کاسته و در نتیجه بر حجم کل رواناب شهر افزوده است و باعث ازدیاد حجم و شدت رواناب و وقوع سیلاب در مناطق پایین‌دست می‌شود (صالحی، ۱۳۹۲).

۱-۲- نقشه‌های پهنه‌بندی سیل

نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب در مطالعات مدیریت دشت‌های سیلابی خصوصا در راهبری سیستم‌های هشدار سیل کاربرد وسیعی دارد. امروزه این نقش‌ها یکی از اطلاعات پایه و مهم در مطالعات طرح‌های عمرانی در دنیا محسوب شده و قبل از هر گونه سرمایه‌گذاری و یا اجرای طرح‌های توسعه، بررسی آن در دستور کار سازمان‌های ذیربط قرار دارد (حیدری، ۱۳۸۵). نخستین گام در طرح‌های مدیریتی سیلاب داشتن نقشه‌های پهنه‌بندی سیل می‌باشد. این نقشه‌ها آگاهی‌هایی درباره گستردگی و عمق منطقه سیلگیر در دوره بازگشت‌های مختلف را در اختیار مدیران قرار داده و بدین ترتیب اجرای اقدامات حفاظتی مناسب در برابر آسیب‌های مالی و جانی سیل را آسان می‌سازد. در پهنه‌بندی سیلاب کوشش بر آن است تا همه ویژگی‌های پیرامون رودخانه و سیلاب برای مهار کاربری و توسعه اراضی به بخش‌هایی با خطرپذیری مختلف تقسیم شود. برای تهیه این نقشه‌ها روش‌های متفاوتی وجود دارد. یکی از روش‌های نسبتا نوین بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS و تلفیق آن با مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی است (خلیلی زاده، ۱۳۸۲). پهنه‌بندی خطر سیلاب با هدف به کارگیری در برنامه‌ریزی و مدیریت در کنترل و مهار سیل تا کنون به صورت جدی در چند شهر برخی استان‌ها انجام شده، لذا به منظور پیش‌بینی دامنه خسارات ناشی از سیلاب در شرایط مختلف و توجیه اقتصادی و اجتماعی، برنامه کنترل و مهار سیلاب در پهنه‌بندی خطر سیل ضروری می‌باشد. پهنه‌بندی سیلاب و شناسایی مناطق در معرض خطر سیل، به‌عنوان یک ابزار اساسی برای برنامه‌ریزی مدیران که در ارائه الگوهای مناسب برای کاهش خطر شهرها و روستاهایی که در فاصله نزدیک به رودخانه‌ها قرار دارند و در دوره بازگشت‌های کوتاه مدت سیل دائما در معرض خطر سیلاب قرار دارند بسیار سودمند می‌باشد.

۱-۲-۱- کاربرد نقشه‌های پهنه‌بندی در مدیریت سیل

- تعیین بستر و حریم رودخانه‌ها و تعیین حدود گذرگاه سیل و اراضی سیل‌گیر حاشیه رودخانه، این اراضی از یک سو به علت دسترسی به منابع آبی بسیار پر ارزش بوده و از سوی دیگر به علت مجاورت با رودخانه در معرض خطر سیل و طغیان قرار دارند.
 - مطالعه و توجیه اقتصادی طرح‌های عمرانی با توجه به پهنه سیل در دوره بازگشت‌های متعدد و برآورد خسارت، در این نوع مطالعه کاربری اراضی هر منطقه با توجه به دوره بازگشت سیل و مقدار خسارات تعیین می‌شود تا حالت بهینه اقتصادی داشته باشند.
 - بیمه سیل، تعیین نرخ آسیب‌پذیری مناطق مختلف حاشیه رودخانه و دریافت حق بیمه متناسب با خطرپذیری هر منطقه.
 - پیش‌بینی و هشدار و عملیات امداد و نجات، این نقشه‌ها با توجه به آسیب‌پذیری هر منطقه با رنگ‌های متمایز، این امکان را به مسئولین می‌دهد تا نسبت به برنامه‌ریزی عملیات امداد و نجات اقدام فوری نمایند.
- همچنین از نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل می‌توان به منزله ابزاری موثر در برنامه‌ریزی مسیر توسعه آینده شهر و همچنین شناخت نواحی‌ای که توسعه زیرساخت‌های تخلیه و زهکشی سیل مورد نیاز است استفاده کرد.

۱-۲-۲- روش‌های متداول در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیل

روش‌های موجود برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی را می‌توان به چهار گروه عمده به شرح زیر تقسیم‌بندی کرد:

- مشاهده و استفاده از داغاب سیلاب
- مقایسه تصاویر هوایی منطقه
- به کارگیری روابط و فرمول‌های ساده حاکم
- استفاده از مدل‌های ریاضی

کلیه روش‌های فوق جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی سیل احتیاج به تعیین تراز جریان سیلاب و انتقال رقوم سطح آب روی نقشه‌های توپوگرافی دارند. همه این روش‌ها اصولاً از همان روند یکسان استفاده از رقوم

تعیین شده سطح آب در هر مقطع عرضی برای پهنه‌بندی کمک می‌گیرند که البته بین مقاطع عرضی با درون‌یابی نقاط، گستره پخش سیلاب مشخص می‌گردد (حیدری، ۱۳۸۵).

۱-۳- کاربرد تکنیک‌های سنجش از دور و GIS در پهنه‌بندی سیل

۱-۳-۱- قابلیت GIS در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیل

امروزه با استفاده از تکنیک‌ها و ابزار GIS علاوه بر سرعت محاسبات، می‌توان محدوده پخش سیلاب را با دقت بیشتری تعیین نمود. در این روش دقت محاسبات عمدتاً بستگی به دقت نقشه‌های توپوگرافی دارد، در صورت عدم وجود نقشه‌های ریز مقیاس محاسبات GIS نیز ممکن است با خطای زیادی همراه شوند. مدل‌های GIS به دلیل موجود بودن نقشه‌های رقومی رودخانه‌ها در کشورهای پیشرفته، کاربرد فراوان یافته‌اند. به کارگیری این روش در ایران در مراحل اولیه قرار دارد که از دلایل عمده آن می‌توان دسترسی کم به نقشه‌های رقومی با دقت مناسب را عنوان نمود. سامانه اطلاعات جغرافیایی قابلیت‌ها و توانایی‌های زیادی در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیل دارد که برای نمونه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (حیدری، ۱۳۸۵):

- سهولت اعمال تغییرات و اصلاحات مورد نیاز در صورت تغییر طول دوره آماری
- در نظر گرفتن تغییرات عوارض جغرافیایی و توپوگرافی دشت‌های سیلابی
- امکان نمایش و مقایسه سطوح غرقاب توسط سیلاب برای دوره بازگشت‌های مختلف
- نمایش اطلاعات عمق آبگرفتگی در هر نقطه دشت‌های سیلابی

مدیریت سیل نیازمند تحلیل‌هایی از انواع داده‌های مکانی و توصیفی است. با بهره‌گیری از GIS قدرت تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی همراه با داده‌های توصیفی به منظور ارزیابی از شرایط، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری مناسب فراهم گردد. امروزه در هر سه بخش یاد شده یعنی سیستم‌های هشدار سیل با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و برقراری سامانه‌های هشدار سریع و دفع سیل با بهره‌گیری از آنالیز مدل‌های مکانی و شبیه‌سازی‌های مجازی برای یافتن مکان‌ها و تاسیسات در معرض خطر در مناطق

حادثه‌خیز و کاربرد مدل‌های توسعه برای مکان‌یابی مناسب مناطق امن از اقدامات موثر سامانه اطلاعات مکانی GIS می‌باشد (حیدری، ۱۳۸۵).

۱-۳-۲- داده‌های سنجش از دور در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیل

در دهه‌های اخیر با گسترش علم سنجش از دور و استفاده از داده‌های ماهواره‌های راداری و اپتیکی یک رویکرد نوین و کم هزینه 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 چند زمانه یک شانس خوبی برای ارتقای عملکرد پیش‌بینی، هشدار و نظارت‌های قبل از وقوع واقعه می‌باشد (Di Baldassarre and Uhlenbrook, 2012). داده‌های سنجش از دور اپتیکی به طور 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 به عنوان 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 خطای ابرناکی وجود دارد. این فاکتور به تنهایی ایجاد مزاحمت می‌کند، علت دیگر تاریخ تصویربرداری می‌باشد، که در زمینه‌های عملیاتی پایش سیلاب با داده‌های اپتیکی باید این موانع گسترده را پذیرفت (Musa et al., 2015). در تصاویر ماهواره‌های راداری مشکلات ذکر شده وجود ندارد و می‌توان در هر شرایط آب و هوایی با دوره بازگشت‌های کوتاه‌تر به پایش سطح زمین پرداخت. در حال حاضر داده‌های ماهواره سنتینل-۱ با دسترسی رایگان برای استفاده عموم در پرتال سازمان فضایی اروپا قرار دارد. در تحقیق حاضر با توجه به اینکه تصاویر اپتیکی سنتینل-۲ و لندست-۸ از رزولوشن مکانی بالا و دسترسی رایگان برخوردار هستند استفاده شد، با توجه به وجود ابر

در تصاویر سنتینل-۲ و دوره بازگشت آن از تصاویر لندست-۸ و تصاویر راداری ماهواره سنتینل-۱ برای پایش کامل سیلاب فروردین ماه ۱۳۹۸ شهرستان آق قلا استفاده شده است.

۱-۴- ضرورت انجام تحقیق

با توجه به رشد سریع شهرسازی در ایران، مشکلاتی از جمله آب گرفتگی معابر سطح شهر، انتشار آلودگی‌های زیست محیطی و خطرات ناشی از گسترش سیلاب به واسطه عدم وجود سیستم زهکشی مناسب و نابسامانی کانال‌ها و مسیل‌ها، از معضلات اساسی بسیاری از حوزه‌های شهری ایران به شمار می‌آیند. به منظور رفع مشکلات ناشی از جاری شدن سیلاب در مناطقی از شهر که دارای ریسک بالایی هستند، بایستی ابتدا نقاط پرخطر در شهر شناسایی شده و در جهت رفع خطر کردن این نقاط چاره اندیشیده شود.

متأسفانه بروز سیلاب شهری پس از رخداد رگبارهای با شدت نسبتاً بالا، با اختلال در رفت و آمد و تاثیرات منفی بر چشم اندازهای شهری و اختلال در روابط تجاری، گردشگری، اقتصادی و اجتماعی منفی بسیاری را بر جای می‌گذارد. شناسایی مناطق شهری مستعد خطر سیل‌گیری و ارائه راهکارهایی جهت کاهش خسارات سیل ناشی از رودخانه‌های شهری، از ضروریات انجام این گونه تحقیقات می‌باشد.

در بوجود آمدن سیلاب‌های شهری علل مختلفی وجود دارد که می‌توان به:

- عبور روخانه‌های حفاظت نشده از میان شهرها
- تجاوز به حریم رودخانه‌ها و از بین بردن مرفولوژی آن
- تغییرات اقلیمی و بارش با شدت بالا در مدت زمان کم
- افزایش زبری سطوح و ایجاد رواناب در محیط شهری
- نبود یا نامناسب بودن سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی و موارد دیگر اشاره کرد.

از مهمترین و تاثیرگذارترین علل در بوجود آمدن سیلاب‌های شهری، رودخانه‌هایی هستند که از حومه شهرها و گاهی از میان شهرها عبور می‌کنند. اکثریت این رودخانه‌ها به علت برداشت بی‌رویه شن و ماسه از بستر آنها در بالادست و نامناسب و ناکافی بودن سازه‌های کنترل‌کننده جریان و به طور کلی از بین بردن مرفولوژی رودخانه و برخی عوامل انسانی، دیگر توان رویارویی با سیلاب وارده را نداشته و سیل از بستر رودخانه خارج شده و محیط اطراف خود را تحت خطر قرار می‌دهد (نظریها، ۱۳۹۲). در شکل ۱-۱، تصاویر سیلاب رودخانه گرگانرود و آبگرفتگی شهر آق‌قلا نشان داده شده است.



شکل ۱-۱: سیلاب رودخانه گرگانرود و آبگرفتگی محیط شهری آق‌قلا، فروردین ۱۳۹۸

با افزایش دوره بازگشت سیل‌ها پهنه‌های سیل‌گیر و خسارات بوجود آمده افزایش می‌یابد و به تبع آن راهکارهای کنترل و مدیریت سیل متفاوت و منحصر به منطقه مورد نظر می‌باشد. در دهه‌های اخیر

اقدامات مهم و قابل توجهی در جهت توسعه روش‌ها در روخانه‌هایی که دارای سیلاب‌های پرخطر می‌باشند، صورت گرفته است. این اقدامات شامل روش‌های سازه‌ای کنترل سیلاب می‌باشد. از جمله روش‌های سازه‌ای می‌توان به احداث سدها و مخازن، احداث کانال‌ها سیل‌بر، احداث دایک‌های حفاظتی و مواردی از این قبیل اشاره نمود که این روش‌ها نیازمند به صرف هزینه زیادی در زمان ساخت و اجرای این سازه می‌باشد که در این روش به جای دورکردن سیلاب از مناطق در معرض خطر، با روش‌هایی نظیر مدیریت بحران خسارات ناشی از سیل را کاهش می‌دهند. انحراف سیل، آبخیزداری، تغییر الگوی کشت و شخم زدن در جهت خطوط تراز از جمله روش‌های غیرسازه‌ای کنترل سیلاب به شمار می‌آیند. یکی از روش‌های سازه‌ای ساخت دایک‌های حفاظتی در محل‌هایی می‌باشد که در هنگام وقوع سیل خسارات زیادی را متحمل می‌شوند. برای جلوگیری از اثرات مخرب اجتماعی و اقتصادی سیل در عوامل و عناصر جوی نمی‌توان تغییری ایجاد نمود. بنابراین برای کاهش این اثرات باید از یکی از روش‌های کنترل سیلاب استفاده نمود (بزرگ حداد، ۱۳۹۲).

۱-۵- اهداف کلی و سوالات تحقیق

با توجه به اینکه شهرستان آق‌قلا از مناطق سیل‌خیز استان گلستان می‌باشد، بنابراین نقشه‌های پهنه‌بندی سیل می‌تواند یک ابزار بسیار کاربردی برای مسیر توسعه شهرستان آق‌قلا در سال‌های آتی باشد، همچنین با شناسایی مناطق حساس و پرخطر رودخانه از نظر مرفولوژی و پهنه‌های سیلاب ناشی از آن می‌توان راهکارهایی را برای جلوگیری از بروز خسارات جانی و مالی ارائه کرد و در نهایت نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب و راهکارهای پیشنهادی از جمله ساخت بندهای انحرافی، تغییر کاربری اراضی، اصلاح ساختار رودخانه در نقاط بحرانی و بهبود ساختار مرفولوژی کانال و غیره را در اختیار سازمان‌های مرتبط قرار داد تا تصمیم‌گیری‌های مناسب را اتخاذ کنند. بطور کلی در این تحقیق سعی خواهد شد به سوالات زیر پاسخ داده شود:

- آیا با داده‌های اپتیکال مانند لندست و سنتینل می‌توان به پهنه‌بندی سیل مناسب دست یافت؟

- دقت داده‌های راداری سنتینل-۱ در مقایسه با داده‌های اپتیکال از چه دقتی برخوردارند و دارای چه مزیت‌هایی نسبت به اجرای نسبت گیری‌های طیفی در داده‌های اپتیکال می‌باشند؟
- نقش مرفولوژی کانال و بستر رودخانه در ایجاد پهنه‌های سیلابی چیست؟ و آیا شبیه‌سازی‌های سیلاب با دوره بازگشت‌های سیلابی نسبت به پیش‌بینی رفتار سیل کمک می‌نماید؟
- آیا با بررسی‌های انجام شده می‌توان در بازه‌های خطر سیلاب راهکارهای مناسب کنترل سیلاب را پیشنهاد داد؟

۱-۶- اهداف جزئی پایان‌نامه

- شناسایی پهنه‌های سیلاب بهار ۱۳۹۸ شهرستان آق‌قلا با استفاده از تصاویر ماهواره‌های سنتینل-۱، سنتینل-۲ و لندست-۸
- مقایسه عملکرد شاخص‌های NDWI و MNDWI با توجه به تغییر طیف رنگ سیلاب
- شبیه‌سازی سیلاب رودخانه گرگانرود برای دوره بازگشت‌های ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله با استفاده از نرم افزارهای ArcMap، HEC-RAS و HEC-GeoRAS
- بررسی تاثیر مرفولوژی کانال رودخانه گرگانرود بر پهنه‌های سیلاب بهار ۱۳۹۸ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ و نرم افزار Google Earth
- بدست آوردن شاخص‌های موثر در بوجود آمدن سیلاب رودخانه گرگانرود و شهرستان آق‌قلا با بازدیدهای میدانی و مشورت با کارشناسان خبره سیل استان گلستان
- تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیلاب شهرستان و شهر آق‌قلا با استفاده از روش AHP و نرم‌افزار ArcMap
- ارزیابی صحت‌سنجی نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب تهیه شده با پهنه‌های سیلاب استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای به کمک ماتریس درهم‌ریختگی^۱

^۱ Confusion Matrix

۱-۷- ساختار کلی پایان نامه

این پایان نامه در پنج فصل تنظیم شده است که در فصل اول مقدمه، تعاریف و اهداف تحقیق پیش‌رو، در فصل دوم به ارائه سوابق پژوهش‌ها و مطالعات انجام شده در زمینه پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و GIS پرداخته خواهد شد. در فصل سوم معرفی منطقه، نحوه دانلود داده‌های ماهواره‌ای و روش تحقیق و پردازش‌های انجام شده بر آنها و شبیه‌سازی سیل در محیط HEC-RAS و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل تشریح خواهد شد. همچنین روش تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP در راستای وزندهی به شاخص‌ها معرفی خواهد شد. در فصل چهارم نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و شبیه‌سازی سیلاب و نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیلاب و تشریح نتایج و ارائه راهکارها در راستای کنترل سیلاب رودخانه گرگانرود ارائه خواهد شد و در فصل پنجم جمع‌بندی و پیشنهادات ارائه خواهد شد.

فصل دوم

پیشینه تحقیق

رودخانه‌های شهری به عنوان یک شریان مهم در بوجود آمدن شهرها نقش اساسی داشته‌اند، لذا شناسایی رفتار رودخانه‌ها در مواقع سیلابی می‌تواند کمک شایانی به کاهش خسارات کند. رودخانه‌ها با توجه به ماهیتشان و دخالت انسان در مرفولوژی و تجاوز به حریم آنها به مرور دچار تغییرات می‌شوند. اولین گام برای شناخت رفتار رودخانه در مواقع سیلابی بررسی پهنه‌های سیل و تعیین حد بستر آنها با توجه به دوره بازگشت‌های متفاوت سیل می‌باشد. علم سنجش از دور و تکنولوژی‌های بوجود آمده برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای، روشی نوین، کم هزینه، سریع و در عین حال دقیق را برای محققان بوجود آورده است. بررسی و شناسایی رفتار رودخانه و سیل یک رویکرد چندرشته‌ای می‌باشد، به همین دلیل محققان زیادی از رشته‌های متفاوتی در سراسر دنیا از جمله ایران به مطالعه شناخت رفتار رودخانه‌ها در مواقع سیلابی و پهنه‌بندی سیل پرداخته‌اند. بنابراین در ادامه سعی شده است به پیشینه تحقیقات مرتبط انجام شده در داخل و خارج کشور پرداخته شود.

۲-۲ - پژوهش‌های انجام شده در داخل کشور

خلیلی زاده (۱۳۸۲)، در تحقیقی با نام ارزیابی خطر و مدیریت سیل در شهر گرگان با استفاده از نرم‌افزارهای HEC-RAS و GIS اقدام به پهنه‌بندی خطر سیل در طول ۱۰٫۵ کیلومتر از مسیر رودخانه زیارت کرد و علاوه بر ترسیم نقشه‌های پهنه‌های خطر سیل به ازای دوره‌های بازگشت مختلف، مقدار خسارت ناشی از سیل را نیز برآورد کرد. وی در تحقیقات خود نتیجه گرفت که دوره بازگشت ۵۰ ساله دوره بازگشت بحرانی حوزه آبخیز شهری گرگان است. در نهایت با رسم منحنی‌های تراز - خسارت نتیجه گرفت که با افزایش دوره بازگشت عمق متوسط سیل‌گیری، وسعت اراضی سیل‌گیر و خسارت ناشی از سیل به شدت افزایش می‌یابد. (خلیلی زاده، ۱۳۸۲)

قهرودی تالی و همکاران (۱۳۹۱)، بمنظور ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در شهر تهران اقدام به پهنه‌بندی سیلاب در این شهر کردند. در این پژوهش به منظور دستیابی به الگویی در تفاوت‌های آسیب‌پذیری متغیرهای بلوک‌های با بافت فرسوده، تراکم جمعیت، کاربری اراضی و پل‌ها به عنوان عناصر فیزیکی در معرض خطر و متغیرهای شیب و شبکه آبراهه به عنوان متغیرهای تشدید کننده آسیب‌پذیری بکار گرفته شد. (قهرودی تالی، ۱۳۹۱)

یمانی و همکاران (۱۳۹۱)، در منطقه مطالعاتی بالادست سد طالقان از پل گلینک تا پل وشته پهنه‌های سیل‌گیر را با استفاده از مدل HEC-RAS و GIS انجام دادند. آنها در این پژوهش با هدف تعیین پهنه‌های سیل‌گیر در امتداد بازه ای به طول حدود ۶٫۵ کیلومتر با استفاده از نرم افزار HEC-RAS سعی کردند اراضی سیل‌گیر را در دوره بازگشت‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ ساله محاسبه و مساحت این سطوح سیل‌گیر در هر دوره را مشخص کنند. اطلاعات اولیه مورد نیاز آنها که جهت شبیه‌سازی پهنه‌بندی سیل با استفاده از HEC-RAS استفاده کردند، شامل اطلاعات هیدرولیکی (ضریب زبری، وضعیت مسیر رودخانه‌ها)، اطلاعات توپوگرافیک (پروفیل طولی و عرضی و اراضی حاشیه)، اطلاعات جریان سیل (هیدروگراف ورودی سیل، منحنی دبی-اشل) بود. آنها با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS و GIS توانستند محاسبات سطوح آب در دوره بازگشت‌های مختلف حساب کنند، آنها مشاهده کردند با دوره بازگشت‌های بالاتر دبی بیشتر شده و پهنه سیلابی نیز وسعت بیشتری یافته است. نتایج نشان داد از کل مساحت تحت پوشش سیل، ۸۸٫۰۶٪ مستعد سیل‌گیری با دوره بازگشت ۲۰۰ ساله است. (یمانی، ۱۳۹۱)

صالحی و همکاران (۱۳۹۲)، پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری را با استفاده از نرم افزار GIS و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی AHP در منطقه تهران را با استفاده از سه منبع اصلی داده، مدل رقومی ارتفاعی DEM به منظور فراهم کردن لایه‌های تجمع جریان، شیب و ارتفاع و تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست، به منظور استخراج اراضی نفوذپذیر و نفوذناپذیر و فایل رقومی شبکه آبراهه‌ها و زهکشی

آب‌های سطحی در سطح شهر را با روش فرایند سلسله مراتبی فازی (باکلی) مورد ارزیابی و تحلیل قرار داده که نتایج آن را بصورت نقشه‌های پهنه‌بندی سیل در محیط نرم افزار GIS ارائه کردند. (صالحی، ۱۳۹۲)

محمودزاده و همکاران (۱۳۹۴)، با استفاده از کاربردهای تکنیک سنجش از دور و GIS اقدام به پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر ارومیه با رویکرد تحلیل چند معیاره کردند. آنها برای پهنه‌بندی خطر سیلاب از لایه‌های ضریب رواناب، تراکم مسکونی، تراکم جمعیت، فاصله از رودخانه، ضریب CN، کاربری اراضی، شیب، تراکم پوشش گیاهی که از ماهواره لندست ۸ استخراج کردند. روش مورد استفاده آنها در این تحقیق، روش ترکیب خطی وزن دار WLC بود، که این روش رایج ترین تکنیک در تحلیل ارزیابی چند معیاره است. با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی و ارجحیت لایه‌ها ترسیم نقشه‌های آسیب‌پذیری بر روی لایه‌ها اعمال شد. آنها به این نتیجه رسیدند که مناطق مرکزی شهر به دلیل ساخت و سازهای بی رویه بیشتر پتانسیل سیل‌خیزی را داراست. (محمودزاده، ۱۳۹۴)

نیری و همکاران (۱۳۹۶)، به ارزیابی تعادل مرفولوژیکی رودخانه تروال (کردستان) با استفاده از روش‌های رزگن و چهارچوب استیل رود پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مناطقی از رودخانه که بر اساس روش استیل رود دارای ظرفیت تعادل بالایی است معمولاً نتایج روش رزگن حاکی از ناپایداری وضعیت آن بخش از رودخانه است. (نیری، ۱۳۹۶)

جوکار سرهنگی و همکاران (۱۳۹۶)، به بررسی تغییرات مورفومتری رودخانه چهل‌چای نرماب با تاکید بر پیچانرودها با استفاده از تصاویر هوایی و تصاویر گوگل ارث مربوط به سال‌های ۱۳۴۵ تا ۱۳۹۲ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که پارامتر طول کانال این رودخانه ۶۲۰۰ متر، سینوزیته ۰٫۳، تعداد پیچانرود ۳۱ حلقه، میانگین زاویه مرکزی ۱٫۴ درجه و میانگین عرض کانال آن ۹ متر نسبت به سال ۱۳۴۵ کاهش یافته است. (جوکار سرهنگی، ۱۳۹۶)

حسن زاده و همکاران (۱۳۹۶)، به مطالعه شبیه‌ساز دوبعدی جریان‌های سیلابی شهری با مدل CCHE2D در برخورد با سیلاب ۱۰۰ ساله رودخانه گرگانرود در شهر آق‌قلا پرداختند و با استفاده از شاخص مخاطره ورودی لازم برای تدوین برنامه واکنش سریع به این نتیجه رسیدند که با توجه به الگوی جریان شکل گرفته در سیلاب مذکور، تخلیه کلی شهر امری ضروری به نظر می‌رسد و از طرفی با توجه به مساحت پهنه پرخطر، میزان خسارات وارده سنگین خواهد بود.

حجازی و همکاران (۱۳۹۸)، اقدام به پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در حوزه آبریز ورکش‌چای با استفاده از مدل HEC-RAS و الحاقیه HEC-GEORAS برای دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله کردند و به این نتیجه رسیدند که ۱۰۰ کیلومتر از مساحت کل حوزه آبریز تحت تاثیر سیلابی با دوره بازگشت ۵۰ ساله قرار می‌گیرد. (حجازی، ۱۳۹۸)

۲-۳- پژوهش‌های انجام شده در خارج از کشور

کالکان (۲۰۰۹)، در حوزه آبریز نیسفلیک ترکیه با استفاده از تصاویر ماهواره IKONOS و نرم افزار HEC-RAS پهنه‌بندی سیلاب را برای دوره بازگشت‌های ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ بدست آوردند. (Kalkan, 2009)

دو و همکاران (۲۰۱۶)، 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 ونیز بدست آوردند، نتایج آنان نشان می‌داد که شاخص MNDWI نسبت به شاخص NDWI از دقت بالاتری برخوردار است و برای شناسایی آب‌های سطحی تصاویر ماهواره‌ی سنتینل-۲ از دقت بالاتری برخوردار است. (Du et al., 2016)

بورگهین و همکاران (۲۰۱۶)، تغییرات مرفولوژیکی رودخانه لوهیت (هندوستان) با استفاده از داده‌های SRTM DEM و نرم افزار GIS بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که بخش‌های جنوبی این رودخانه در بین سال‌های ۱۹۷۳ تا ۱۹۸۷ به اندازه ۱,۶ کیلومتر و سمت جنوب و در سال‌های ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۰

به اندازه ۴٫۱ کیلومتر به سمت جنوب جابه‌جا شده است که این بزرگترین جابه‌جایی مربوط رودخانه لوهیت بوده است. (Borgohain et al., 2016)

اوزکان و همکاران (۲۰۱۶)، به منظور پیش‌بینی پتانسیل خسارات سیل در استان ازمیر (ترکیه) با استفاده از داده‌های DEM و شاتل رادار و مدل دیجیتالی راه‌ها، که بر روی رودخانه‌های گدیز و کوک مندرس و باکیرسی مطالعات خود را انجام دادند توانستند نقشه‌های سیلاب شهری را بدست بیاورند. پنج فاکتور اصلی در پخش سیلاب در منطقه مورد مطالعه تاثیر بسزایی داشتند که عبارتند از سیستم جمع‌آوری سیلاب، کاربری زمین‌ها، شیب منطقه، تراز منطقه. طبق مطالعات آنها شدت بارندگی تجمعی و مشکلات طبیعی و انسانی، دلتای نزدیک سواحل، بستر روخانه، قوانین و آیین نامه‌های اشتباه، زمین‌های نامناسب، نواحی با شیب زیاد، تغییر شکل‌ها و فرسایش خاک، ساخت و سازهای غیراصولی، انحراف خطوط آب و آبراهه‌ها از علل تشکیل سیلاب در ناحیه شهری بودند. آنها در این تحقیق با استفاده از این اطلاعات و نرم‌افزار GIS و با توجه به اصل بر هم نهی لایه‌های وزنی توانستند نواحی پرخطر که پتانسیل سیلاب داشته بدست آورند. (Ozkan et al., 2016)

کومار (۲۰۱۷)، در شهر هوچی مین کشور ویتنام با استفاده از داده‌های ماهواره‌ی Sentinel-1 نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب را بدست آوردند که مشخص شد در ۸۰ درصد شهر ارتفاع سیلاب به ۱۰۰ سانتی متر می‌رسد. (Kumar, 2017)

اسماعیل الخارچی (۲۰۱۷)، در تحقیق خود که شهر نجران وادی در کشور عربستان بود ارزیابی و مدیریت خطر سیل را با استفاده از GIS و RS به انجام رساند. اطلاعات هندسی که در مرحله پیش پردازش استفاده کرد شامل اطلاعات DEM و لایه‌های GIS شامل خط مرکزی رودخانه، خطوط ذخیره آب، شبکه جریان، مقاطع عرضی رودخانه، اطلاعات نقشه‌برداری و ضریب زبری مانینگ بود. در مرحله پس پردازش از نرم‌افزار HEC-RAS استفاده شد که نتایج آن به صورت، تراز سطح آب در هر مقطع عرضی، دبی در هر مقطع، حداقل تراز کانال، تراز سطح آب، سرعت جریان در کانال، مساحت جریان، سطح

بحرانی آب بود. در نهایت برای تهیه نقشه سیلاب با داشتن تراز سطح آب و تراز راه‌های مربوط و با محاسبه اختلاف آن دو توانست مقدار ارتفاع سیلاب را در هر مقطع بدست بیاورد. او نتایج بدست آمد از HEC-RAS و GIS را با عکس‌های ماهواره‌ای SAR با رزولوشن ۱۰ متر مقایسه کرد که بین ۵۲ تا ۸۶ درصد همپوشانی بین آنها وجود داشت. (Elkharchi, 2017)

سیان و همکاران (۲۰۱۸)، نقشه‌های پهنه‌بندی سیل برای شهرهای ونتو ایتالیا و مالاوی و اوگاندا را با استفاده از تصاویر سنتینل-۱ بدست آوردند، سپس نقشه‌های پهنه‌بندی بدست آمده را با تصاویر موجود از سیلاب مقایسه کردند که ۹۶٫۷ درصد تطابق میان آنها وجود داشت، نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب بدست آمده برای مدیریت اضطراری بحران سیلاب استفاده شد. (Cian et al., 2018)

دووری (۲۰۱۸)، در استان آندراپرادش (هند)، حوزه آبریز رودهای، ناگارجونا ساگار و پراکاسام بارایج را مورد مطالعه قرار دادند. وی نقشه پخش سیلاب و عمق سیلاب را با استفاده از نرم‌افزارهای HEC-RAS و ARC GIS برای کل حوزه بدست آورد و با استفاده از مدل هیدرولیکی توانست تراز سطح آب را محاسبه نماید. داده‌هایی که در تحقیق استفاد شد شامل نقشه توپوگرافی، کاربری زمین، نوع خاک منطقه، اطلاعات هواشناسی، مدیریت اراضی، بودند. در روش SWAT، پنج پردازش اصلی مورد استفاده قرار گرفت که عبارت بودند از، تصویرسازی پخش سیلاب، کاربری زمین‌ها و ویژگی‌های خاک، واحد پاسخ هیدرولوژیکی (HRU)، اطلاعات هواشناسی، اطلاعات مدیریت زمین‌ها، که او این اطلاعات را از ماهواره های ASTER و LANDSAT با رزولوشن ۳۰ متر دریافت کرد. پروفیل سطح آب با استفاده از معادلات انرژی و روش تکرار محاسبه شد. با توجه به کمبود اطلاعات منحنی‌های جریان، از عمق طبیعی در شرایط پایین‌دست استفاده شد و فرض شد که جریان در پایین‌دست یکنواخت است. کمبود اطلاعات ذکر شده اثرات ناچیزی و قابل چشم پوشی در نتایج داشتند. در پایان به‌عنوان خروجی، نقشه سیلاب با دوره بازگشت های ۲، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ ساله ایجاد نمودند. (Duvvuri, 2018)

لین و همکاران (۲۰۱۹)، آنها با استفاده از داده‌های سری زمانی ماهواره راداری سنتینل-۱ به شناسایی مناطق سیلابی کارولینای شمالی (ایالت متحده آمریکا) پرداختند. نقشه‌های سیلاب آنها نشان داده که در مناطق شهری با توجه به یک الگوی مرتبط پیچیده، شدت پیکسل‌های تصاویر SAR کاهش می‌یابد و پیکسل‌های نشان دهنده شدت افزایش پیدا می‌کنند و همچنین پیکسل‌ها بدون شدت چشمگیر تغییر می‌کنند. همچنین نتایج آنها نشان داده الگوریتم استفاده شده برای مناطق شهری و دشت‌ها بسیار مناسب می‌باشد. (Lin et al., 2019)

اودین و همکاران (۲۰۱۹)، نقشه‌های عملیاتی سیلاب را برای بنگلادش با استفاده از داده‌های سری زمانی ماهواره سنتینل-۱ بدست آوردند. آنها یک تصویر قبل از وقوع سیل و یک تصویر هنگام سیل را استفاده کردند و برای شناسایی پوشش زمین از تصاویر لندست-۸ بهره جستند. براساس نتایج آنها دقت نقشه‌های سیلاب بدست آمده برابر ۹۶,۴۴ درصد و دقت پوشش زمین برابر ۸۷,۵۱ درصد بدست آمد. مساحت کلی مناطق آبرگرفته برای ماه‌های آپریل، ژوئن و آگوست به ترتیب برابر ۲,۰۱ و ۴,۵۳ و ۷,۰۱ درصد از ناحیه بود و همچنین براساس تصاویر لندست-۸ بیشترین خسارت مربوط به زمین‌های کشاورزی در ناحیه رانگپور و سیهت بود. (Uddin et al., 2019)

لانگات و همکاران (۲۰۱۹)، به پایش تغییرات دینامیکی کانال رودخانه‌ی تانا (کنیا) با استفاده از رویکردهای سنجش از دور و GIS پرداختند، آنها مقدار افزایش و تغییرات فرسایش در یک بازه از تصاویر اپتیکی سری زمانی لندست محاسبه کردند و آنها به این نتیجه رسیدند که عوامل رژیم جریان هیدرولیکی، کاربری زمین‌های بالادست جریان، شیب طبیعی کانال و پوشش گیاهی اطراف کانال بیشترین تاثیر در این تغییرات را داشته‌اند. (Langat et al., 2019)

محمد و ال رایبی (۲۰۱۹)، به منظور ارزیابی خسارات ناشی از سیلاب در شهر ال آریش (شمال مصر) ارزیابی سریع هشدار سیلاب براساس داده‌های هیدرواقليمی و مولفه‌های آسیب‌پذیری فیزیکی را بدست آوردند. آنها از شاخص‌های شیب، تراز، بارش، جهت جریان، نوع خاک، ژئومرفولوژی و پوشش گیاهی

استفاده کردند. نتایج آنها نشان داده که مولفه‌های مناطق شهری، پوشش گیاهی، خاک رس اشباع، تراز پایین ناحیه و شیب مسطح از مهمترین علل وجود آمدن سیلاب در منطقه مورد مطالعه بود. به ترتیب ۴۲ درصد، ۴۵ درصد و ۱۳ درصد شهر ال آرایش به ترتیب در ناحیه کم خطر، خطر متوسط و پرخطر قرار دارد. (Mohamed and El-Raey, 2019)

چاکرابورتی و موخوپادیای (۲۰۱۹)، نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیلاب FRI و نقشه‌های آسیب‌پذیری FVI شهر کوچبهار (هندوستان) را به کمک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP و GIS بدست آوردند. شاخص‌های استفاده شده در این تحقیق شامل تراز، شیب سطوح، تراکم زهکشی، فاصله از رودخانه، حداکثر بارش، ویژگی‌های ژئومورفیکی و غیره بودند. براساس نتایج آنها ۴،۹۱ درصد و ۱۲،۲۹ درصد و ۳۸،۶۴ درصد شهر به ترتیب در مناطق پرخطر، خطر متوسط و کم خطر قرار دارد. (Chakraborty and Mukhopadhyay, 2019)

علی و همکاران (۲۰۱۹)، با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP و مدل نرخ بازگشت نقشه‌های آسیب‌پذیری و خطر سیلاب را برای ناحیه سونداریان (هندوستان) بدست آوردند. آنها ابتدا یک لیستی از مولفه‌های موجود آورنده سیلاب تهیه کردند سپس هفت شاخص مهم که شامل تراز ارتفاعی زمین، درصد شیب، شاخص رطوبت، پراکندگی بارش، کاربری زمین و پوشش گیاهی و فاصله از رودخانه استفاده کردند. ۲۷۰ نقطه در ناحیه مطالعاتی نشان گذاری شد که ۲۰۰ نقطه از آنها به طور تصادفی برای آزمایش و اعتبارسنجی مدل استفاده شده، انتخاب گردید که تقریباً ۷۰ درصد آنها با موفقیت پیش‌بینی شده بود. مطالعات آنها نشان داد که فاصله از رودخانه و پراکندگی بارش و کاربری زمین و پوشش زمین از مهمترین علل وجود آورنده سیلاب در این منطقه هستند. (Ali et al., 2019)

۲-۴- جمع‌بندی

بر اساس تحقیقات صورت گرفته در سال‌های پیشین روش‌ها و داده‌های متفاوتی از جمله پایش ماهواره‌های راداری و اپتیکی سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به منظور شبیه‌سازی و تهیه

نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل استفاده شده است. داده‌های ماهواره سنتینل-۱ به دلیل کاهش اثرات خطای ابرناکی و داده‌های سنتینل-۲ به دلیل رزولوشن مکانی مناسب نسبت به داده‌های لندست-۸ و همچنین رایگان بودن آنها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در تحقیقات پیشین رابطه بین اثرات مرفولوژی کانال رودخانه بر ایجاد پهنه‌های سیل و همچنین معیارهای موثر رودخانه در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیل در نظر گرفته نشده بود. شهرستان آق‌قلا به دلیل عبور رودخانه گرگانرود همواره مورد تهدید سیلاب‌های مخرب از جمله سیلاب بهار ۱۳۹۸ قرار داشته است. در تحقیق حاضر به منظور استخراج سری زمانی پهنه‌های سیلاب بهار ۱۳۹۸ رودخانه گرگانرود، از تصاویر سنتینل-۱، سنتینل-۲ و لندست-۸ به عنوان داده‌های راداری و اپتیکال استفاده شده است. برای شبیه‌سازی سیلاب با دوره بازگشت‌های متفاوت از نرم‌افزارهای GIS، HEC-GeoRAS و HEC-RAS و برای بررسی تاثیر مرفولوژی کانال رودخانه گرگانرود بر پهنه‌های سیلاب، نرم‌افزار Google Earth مورد استفاده قرار گرفته است. در نهایت از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP و نرم‌افزار Expert Choice برای وزن‌دهی و برای هم پوشانی لایه‌ها از نرم‌افزار GIS استفاده شد. راهکارها و پیشنهادات کنترل سیلاب براساس نقشه‌های پهنه‌بندی خطر ارائه خواهد شد، در فصول آتی به تشریح گام‌های ذکر شده خواهیم پرداخت.

۲-۵- فرضیات تحقیق

در این تحقیق در راستای سوالات مطرح شده برای دستیابی به اهداف مورد نظر تحقیق که در فصل اول اشاره گردید فرضیاتی مطرح شد که حین تحقیق با انجام روش‌های مطالعاتی آنها به آزمون گذاشته شدند. فرضیات تحقیق در زیر ارایه شده‌اند.

۱- تصاویر ماهواره راداری سنتینل-۱ نسبت به تصاویر ماهواره سنتینل-۲ و لندست-۸ و همچنین شاخص MNDWI نسبت به شاخص NDWI عملکرد بهتری در استخراج پهنه‌های سیلاب دارد.

۲- عوامل مرفولوژیکی رودخانه گرگانرود و شرایط توپوگرافی شهرستان آق‌قلا بیشترین تاثیر در بوجود آمدن سیلاب در شهرستان آق‌قلا دارد.

۳- با استفاده از نرم‌افزار GIS و روش AHP می‌توان با تعریف شاخص‌ها و معیارهای مناسب به نقشه‌های نهایی پهنه‌بندی خطر سیل دست یافت و نتایج آن همپوشانی مناسبی با مناطق خطر سیل دارد.

فصل سوم

مواد و روش‌ها

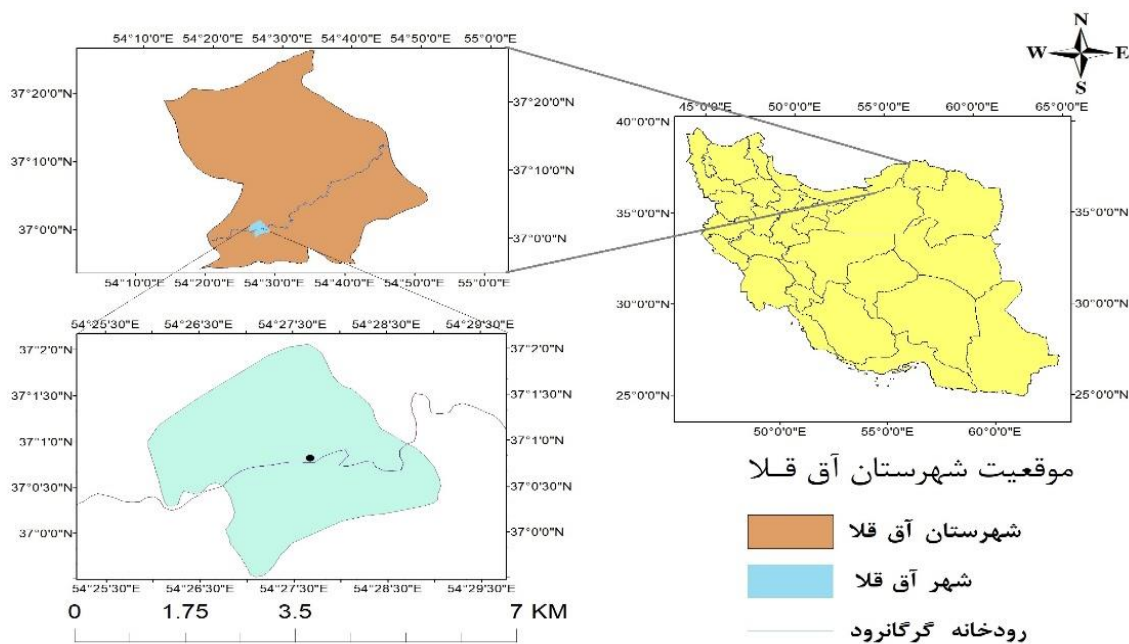
۳-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا به معرفی شهرستان آق‌قلا، حوزه آبریز و رودخانه گرگانرود پرداخته خواهد شد، سپس داده‌های ماهواره‌ای و پردازش‌های انجام شده و شاخص‌های مورد استفاده معرفی خواهند شد. روش تحقیق استخراج حوزه و زیرحوزه‌های رودخانه گرگانرود و شبیه‌سازی سیلاب به کمک نرم‌افزار HEC-RAS و پارامترهای مرفولوژی کانال رودخانه گرگانرود ارائه شده است. در پایان معیارها و زیرمعیارها موثر در ایجاد سیلاب شهرستان و شهر آق‌قلا و لایه‌های ایجاد شده در نرم‌افزار GIS به تفصیل بیان شده است.

۳-۲- منطقه مورد مطالعه

۳-۲-۱- شهرستان آق‌قلا

شهر آق‌قلا در استان گلستان و مرکز شهرستان آق‌قلا می‌باشد، که در محدوده مختصات جغرافیای ۳۷ درجه شمالی و ۵۴ درجه شرقی قرار داد. جمعیت شهر آق‌قلا با توجه به سرشماری ۱۳۹۵ برابر ۴۵ هزار نفر می‌باشد. شهرستان آق‌قلا در طرفین رودخانه گرگانرود و در شمال شهر گرگان قرار دارد. بیشترین کاربری اراضی در دشت‌های شرقی و شمال شرقی به دلیل وجود رودخانه گرگانرود زمین‌های کشاورزی حاصل خیز می‌باشد و در مناطق شمالی شهر آق‌قلا بیشتر از نوع باتلاقی و شورزار می‌باشد که فاقد پوشش گیاهی و درختان مناسب می‌باشد و همچنین مناطق جنوبی شهر آق‌قلا مناطق صنعتی و شهری می‌باشد که به شهرستان گرگان متصل می‌شود، اقلیم شهرستان آق‌قلا مانند منطقه ترکمن صحرا بیابانی گرم و مرطوب با میانگین بارش سالانه ۳۵۰ میلی‌متر می‌باشد. شکل ۳-۱ محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

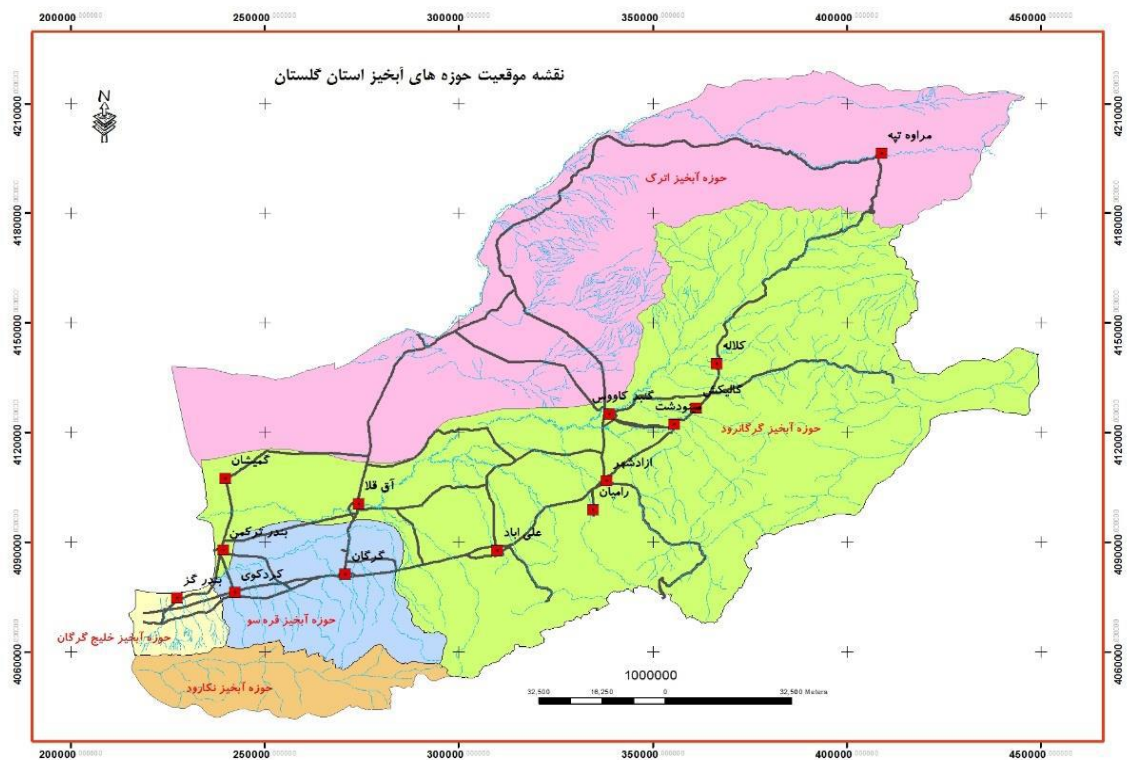


شکل ۳-۱: محدوده مورد مطالعه، شهرستان و شهر آق قلا

۳-۲-۲- حوزه آبریز گرگانرود

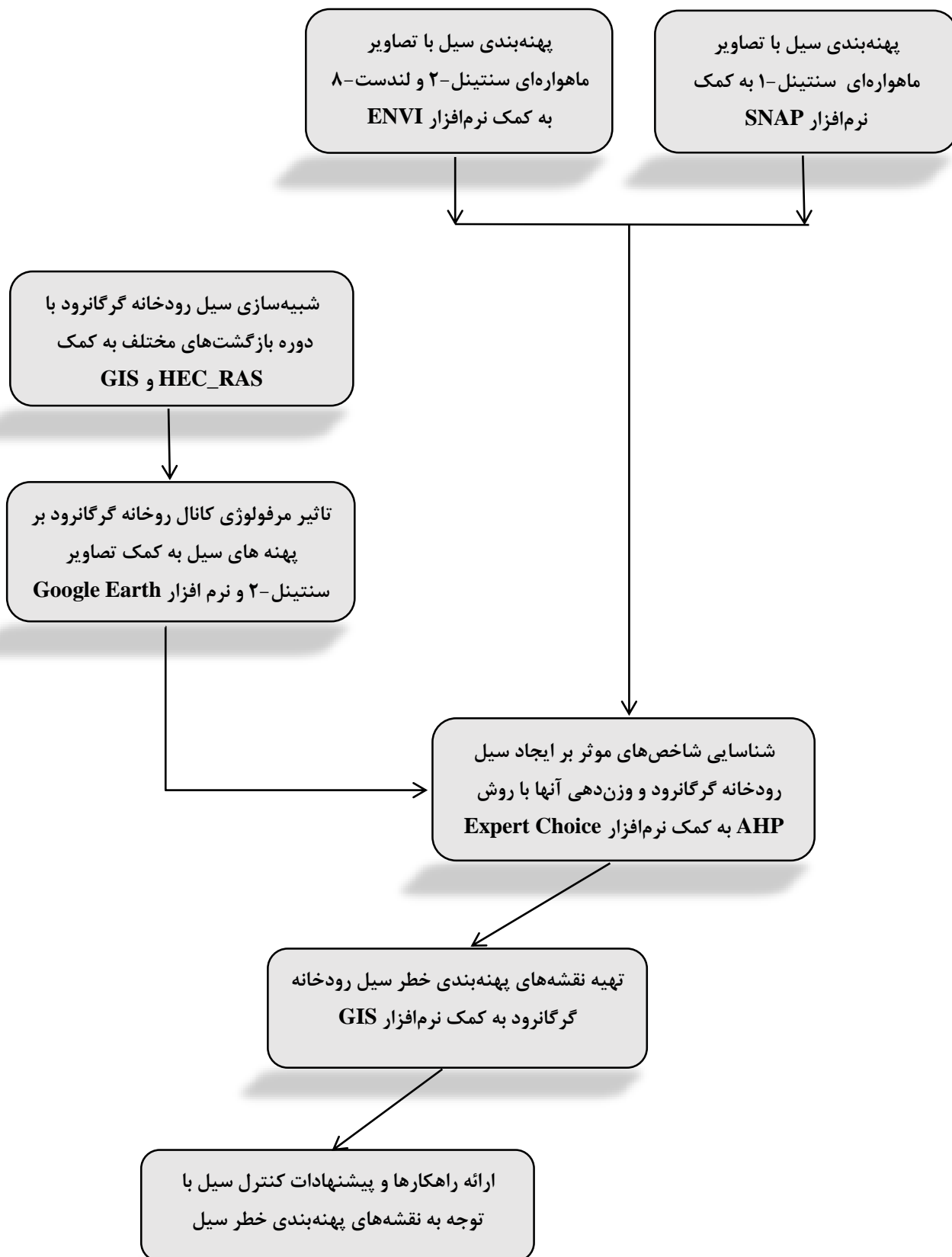
بیشترین سطح استان و به تبع آن حداکثر آب موجود در استان گلستان مربوط به حوزه آبخیز گرگانرود است. این حوزه حدود ۴۷ درصد از سطح استان را با مساحت ۱۱۶۰۰۰۰ هکتار تشکیل می‌دهد. حوزه آبخیز گرگانرود از شمال به حوزه آبخیز اترک، از جنوب به حوزه آبریز اصلی ایران مرکزی در استان سمنان، از جنوب غرب به حوزه آبخیز قره‌سو محدود می‌شود. ۶۷ درصد آب سطحی استان گلستان حدود ۸۲۸ میلیون مترمکعب در این حوزه جریان دارد. این حوزه با توجه به وسعت زیاد و تغییر در شرایط در دو بخش گرگانرود غربی و سد وشمگیر مورد بررسی قرار می‌گیرد. رودخانه گرگانرود یکی از مهمترین شاخه‌های سیل‌خیز استان گلستان که طول آن حدود ۲۵۱ کیلومتر می‌باشد. رودخانه گرگانرود از دامنه‌های شمالی البرز شرقی و دامنه‌های غربی ارتفاعات استان خراسان شمالی، کوه‌های آلاداغ در خراسان شمالی و کوه‌های نارچی با ارتفاع ۱۸۷۵ متر و بیلی کوه با ارتفاع ۱۵۹۸ متر واقع در حدود ۴۰ کیلومتری شمال شرقی شهر کلاله سرچشمه می‌گیرد. جهت جریان آب این رودخانه از شرق به غرب می‌باشد و زیرشاخه‌های آن از رشته کوه البرز سرچشمه گرفته و از جنوب به شمال جریان

دارد و پس از عبور از شهرهای گنبد کاووس و آق قلا در غرب خواجه نفس با تشکیل دلتای بزرگی به دریای خزر می‌ریزد. تقریباً ۸۵ کیلومتر آن از شهرستان آق قلا و به طور خاص حدوداً ۱۲ کیلومتر آن از داخل شهر آق قلا عبور می‌کند. متوسط آبدهی سالانه آن حدود ۹۲۰ میلیون مترمکعب می‌باشد. در شکل ۲-۳ حوزه آبریزهای استان گلستان و حوزه آبریز گرگانرود نشان داده شده است. (گزارشات شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان، ۱۳۹۵)



شکل ۲-۳: حوزه آبریزهای استان گلستان، حوزه آبریز گرگانرود (رنگ سبز) (منبع: شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان، ۱۳۹۵)

فلوچارت مراحل کلی تحقیق به طور شماتیک در شکل ۳-۳ نشان داده شده است.



شکل ۳-۳: فلوچارت مراحل کلی تحقیق

۳-۳- استخراج پهنه‌های سیل به کمک داده‌های ماهواره‌ای

۳-۳-۱- داده‌های SAR و پردازش تصاویر ماهواره سنتینل-۱

ماهواره سنتینل-۱ شامل دو ماهواره (Sentinel-1A/B) که طی دو ماموریت در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۶ توسط سازمان فضایی اروپا به فضا پرتاب شد. این ماهواره مجهز به رادار دهانه ترکیبی SAR^۲ می‌باشد که در باند C با طول موج $\lambda = 5.6 \text{ CM}$ توانایی تصویربرداری در تمامی ساعات شبانه روز و همه شرایط آب و هوایی دارد (Tsyganskaya et al., 2018). دوره بازگشت هر کدام از ماهواره‌ها (A و B) دوازده روز می‌باشد که با پوشش همدیگر دوره بازگشت آن به شش روز کاهش می‌یابد. این داده‌ها به طور رایگان در سایت سازمان فضایی اروپا ESA^۳ در اختیار کاربران قرار داده شده است.

اغلب در زمان وقوع سیل، پوشش ابر زیادی در آسمان وجود دارد به همین دلیل تصویربرداری با کیفیت مناسب از سطح زمین توسط ماهواره‌های اپتیکال هنگام وقوع سیل غیرممکن می‌باشد، در این زمان ماهواره‌های راداری بهترین انتخاب برای پایش سطح زمین علی‌الخصوص پهنه‌های سیلاب می‌باشد. در پژوهش حاضر به دلیل پوشش ابر زیاد هنگام وقوع سیل بهار ۱۳۹۸ آق‌قلا از تصاویر راداری ماهواره سنتینل-۱ استفاده گردید. یک تصویر مربوط به ده روز قبل از وقوع سیل و چهار تصویر از زمان آبرگرفتنی دانلود گردید که مشخصات آنها در جدول ۳-۱ آورده شده است.

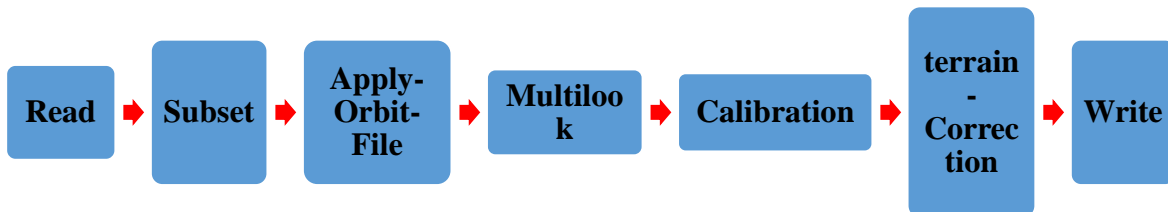
جدول ۳-۱: مشخصات تصاویر ماهواره سنتینل-۱

نوع گذر	تاریخ تصویربرداری	تصاویر
DESCENDING	MAR-11-2019 02:27:23.44	S1A-IW-GRDH-1SDV-20190311T022830
DESCENDING	MAR-23-2019 02:27:23.62	S1A-IW-GRDH-1SDV-20190323T022830
ASCENDING	MAR-29-2019 14:18:48.18	S1A-IW-GRDH-1SDV-20190329T141953
DESCENDING	APR-04-2019 02:27:23.90	S1A-IW-GRDH-1SDV-20190404T022831
DESCENDING	APR-16-2019 05:17:32.19	S1A-IW-GRDH-1SDV-20190416T022831

² Synthetic Aperture Radar

³ European Space Agency, <https://scihub.copernicus.eu/>

به منظور افزایش دقت در نتایج تصاویر خام ماهواره‌ی سنتینل-۱ نیاز به پردازش‌هایی از جمله تصحیح اتمسفری، کالیبراسیون، تصحیح رادیومتریک، و زمین مرجع کردن دارند که توسط نرم‌افزار SNAP^۴ این پردازش‌ها صورت گرفت. در شکل ۳-۴ مراحل انجام پردازش‌ها نشان داده شده است.



شکل ۳-۴: فلوچارت مراحل پردازش تصاویر ماهواره سنتینل-۱ در نرم‌افزار SNAP

تصاویر ماهواره سنتینل-۱ در باندهای VV^۵، VH^۶، تصویربرداری می‌کند، با مطالعه تحقیقات پیشین و مقایسه باندها این نتیجه حاصل شد که در باند VV پهنه‌های سیلاب و مناطق مرطوب به آسانی قابل شناسایی هستند به همین دلیل از این باند برای ادامه مراحل پردازش استفاده گردید. در ادامه پردازش‌های صورت گرفته به طور مختصر توضیح داده خواهد شد.

دستور SUBSET: ابعاد هر تصویر ماهواره سنتینل-۱، ۱۰۰*۱۰۰ کیلومتر می‌باشد، به منظور کاهش حجم محاسبات و دقت در انجام پردازش‌ها منطقه مورد نظر با استفاده از این دستور برش داده شد.

دستور Apply Orbit File: به منظور انجام تصحیح مختصات هندسی تصاویر از این دستور استفاده گردید. تصاویر جمع‌آوری شده از سال ۲۰۱۶ به بعد نیاز به انجام این تصحیح ندارند.

دستور Multilook: به منظور تبدیل داده تک دیداری (Single Look Complex) داده‌ای SAR به داده‌های چند دیداری (Multilook) و افزایش کیفیت تصاویر و پیکسل‌ها و کاهش نویز تصاویر انجام

⁴ SentiNel Application Platform

⁵ Vertical-Vertical

⁶ Vertical-Horizontal

می‌شود. در این دستور از تعداد Look سه به یک پیکسل، 10×10 برای هر محدوده پیکسل استفاده گردید که ابعاد پیکسل‌ها به 30×30 متر مربع افزایش یافت.

دستور Calibration: هدف از کالیبراسیون افزایش شدت بازتاب پیکسل‌ها می‌باشد برای آنکه تصویر واضح‌تر و روشن‌تری داشته باشیم. با انجام این دستور مناطق آبرگرفته و مرطوب و خشک به آسانی قابل تفکیک می‌باشد.

دستور Linear to/from dB: با انجام این دستور مقادیر ماکسیمم و مینیمم بازتاب پیکسل‌ها که بالاتر از حد مشخص هستند در یک بازه‌ی خاصی قرار می‌گیرد، برای تبدیل ارزش بازتاب پیکسل‌ها از حالت دسی-بل^۷ به حالت خطی از این دستور استفاده شد. مقدار دسی-بل یک کمیت، ده برابر لگاریتم در پایه ده نسبت مقدار واقعی آن به مقدار مرجع است. این مقدار از رابطه ۱-۳ محاسبه می‌شود.

$$\sigma_{dB}^0 = 10 \log_{10} \sigma^0 \quad (\text{رابطه ۱-۳})$$

σ_{dB}^0 -پراکنش پیکسل‌ها در حالت دسی-بل و σ^0 مقدار پیکس‌های نامناسب.

دستور Terrain Corection: تصاویر خام ماهواره‌ای فاقد مختصات جغرافیایی بوده و برای برطرف کردن این خطا از دستور ذکر شده استفاده گردید. در این دستور از DEM^۸، SRTM 3Sec و حالت زمین مرجع WGS84(DD) و از درونیابی برای محاسبه خطی ارزش پیکسل‌ها، به منظور رفع مشکل مختصات جغرافیایی استفاده گردید.

دستور Create Stack: پس از انجام پردازش بر روی تصاویر، برای هم‌پوشانی تصاویر قبل از وقوع سیل و هنگام وقوع سیل از دستور ذکر شده استفاده می‌کنیم. بعد از چند مرحله سعی و خطا مقدار حداقل و حداکثر ارزش بازتاب پیکسل‌ها به ترتیب برابر 3.28 و 17.56 - بدست آمد.

⁷ decibel

⁸ Digital Elevation Model

دستور Select RGB Image: در گام آخر به منظور آشکارسازی پهنه‌های سیلاب از غیرسیلاب در تاریخ ۲۳ مارچ ۲۰۱۹ (سوم فروردین ۱۳۹۸) از این دستور برای تبدیل تصاویر از حالت HSV^۹ به حالت RGB^{۱۰} به ترتیب از تصاویر Sigma0_VV_db_slv2_11Mar2019 و Sigma0_VV_db_mst_23March2019 برای کانال‌های قرمز، سبز و آبی استفاده گردید. تمام دستورات ذکر شده برای تمامی تصاویر تکرار شده و پهنه‌های سیلاب سری زمانی مشخص گردیدند.

۳-۴- داده‌های اپتیکال و پردازش تصاویر سنتینل-۲ و لندست-۸

ماهواره‌ی سنتینل-۲ توسط آژانس فضایی اروپا ESA به منظور بهبود مأموریت‌های مشاهداتی زمین و پشتیبانی از خدماتی مانند پایش جنگل‌ها، بررسی تغییرات پوشش زمین و مدیریت پوشش زمین و مدیریت بلایای طبیعی توسعه یافته است. این پروژه شامل دو ماهواره یکسان Sentinel-2A و Sentinel-2B که به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۷ به فضا پرتاب شدند و در ۱۳ باند در محدوده طیف مرئی، مادون قرمز نزدیک و موج کوتاه فروسرخ از طیف الکترومغناطیسی تصویربرداری می‌کند. قدرت تفکیک تصاویر ماهواره سنتینل-۲ در سه دسته ۱۰، ۲۰ و ۶۰ متر و دوره بازگشت آنها پنج روز می‌باشد (سایت آژانس فضایی اروپا، ۲۰۱۹).

ماهواره لندست-۸ توسط سازمان فضایی آمریکا NASA^{۱۱} و سازمان زمین شناسی آمریکا USGS^{۱۲} در سال ۲۰۱۳ به فضا پرتاب شد و در ۱۱ باند در محدوده طیف مرئی، فروسرخ نزدیک و موج کوتاه فروسرخ از طیف الکترومغناطیسی تصویربرداری می‌کند. قدرت تفکیک تصاویر ماهواره لندست-۸ در دو دسته ۱۵ و ۳۰ متر و دوره بازگشت آن ۱۶ روز می‌باشد (سایت زمین شناسی آمریکا، ۲۰۱۹).

^۹ Hue, Saturation, Value

^{۱۰} Red, Green, Blue

^{۱۱} National Aeronautics and Space Administration

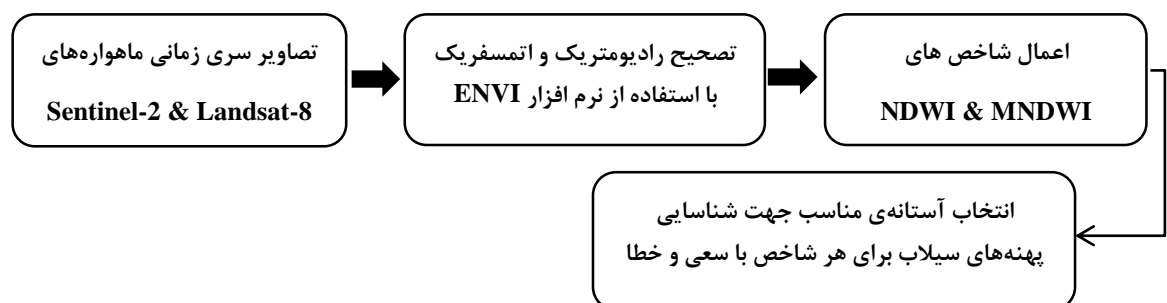
^{۱۲} United States Geological Survey

به منظور پایش کامل سری زمانی پهنه‌های سیلاب بهار ۱۳۹۸ آق‌قلا چهار تصویر از ماهواره سنتینل-۲ و دو تصویر از ماهواره لندست-۸ دانلود گردید. با توجه به محدودیت تصویربرداری ماهواره‌های اپتیکی در شرایط ابری، درصد پوشش ابر تصاویر دانلود شده برای هر دو ماهواره کمتر از ۱۰ درصد بود. مشخصات تصاویر دانلود شده در جدول ۳-۲ نشان داده شده است.

جدول ۳-۲: مشخصات تصاویر ماهواره‌های سنتینل-۲ و لندست-۸

تصاویر	تاریخ	درصد ابر
LC08_L1TP	۰۲-۰۳-۲۰۱۹	۵,۱۹
S2A-MSIL2A	۱۱-۰۳-۲۰۱۹	۴,۳۰
LC08_L1TP	۰۳-۰۴-۲۰۱۹	۸,۳۲
S2B-MSIL2A	۰۵-۰۴-۲۰۱۹	۳,۸۷
S2B-MSIL2A	۱۵-۰۴-۲۰۱۹	۲۲,۷۲
S2B-MSIL2A	۲۵-۰۴-۲۰۱۹	۳,۴۵

مراحل استخراج پهنه‌های سیلاب در شکل ۳-۵ نشان داده شده است.



شکل ۳-۵: فلوچارت مراحل پردازش تصاویر سنتینل-۲ و لندست-۸ و استخراج پهنه‌های سیلاب

خطای رادیومتریک بر اثر تغییرات انرژی الکترومغناطیسی رسیده به سنجنده ناشی از سایه‌های پستی و بلندی‌های سطح زمین یا پخش و جذب امواج الکترومغناطیسی بوجود می‌آیند که اغلب نتایج نهایی را دچار مشکل می‌کند، در گام دوم بعد از حذف خطاهای رادیومتریک خطاهای ناشی از جذب و پخش اتمسفری از روی تصاویر حذف می‌گردند (Yunus et al., 2019). جهت بهبود کیفیت تصاویر ماهواره

لندست-۸ تصحیح رادیومتریکی رادیانس^{۱۳} و همچنین حاشیه‌های تصویر که ارزش پیکسل صفر دارند حذف گردید، سپس تصحیح اتمسفری QUAC^{۱۴} بر تصاویر اعمال گردید. تصحیح رادیومتریکی رادیانس نیز بر تصاویر سنتینل-۲ انجام شد، بدلیل اینکه تصاویر ماهواره Sentinel-2, L2A, تصحیح اتمسفری به صورت پیش فرض توسط سازمان فضایی اروپا بر روی آنها اعمال شده (Szantoi and Strobl, 2019)، برای اطمینان تصحیح اتمسفری QUAC بر روی آنها اعمال گردید اما تغییر محسوسی حاصل نشد.

۳-۴-۱- شاخص NDWI

شاخص NDWI اولین شاخص شناسایی آب می‌باشد که توسط مک فترز در سال ۱۹۹۶ ارائه شد که برای پهنه‌بندی و آشکارسازی آب‌های آزاد با استفاده از داده‌های سنجش از دور بکار می‌رود، این شاخص از ترکیب باند مادون قرمز نزدیک NIR^{۱۵} با طول موج ۸۴۲ نانومتر و باند سبز GREEN با طول موج ۵۶۰ نانومتر بدست می‌آید که در رابطه ۳-۲ نشان داده شده است (McFeeters, 1996).

$$NDWI = \frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)} \quad (\text{رابطه ۳-۲})$$

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 گل آلود نمی‌باشد

¹ Radiance 3

¹ QUick Atmospheric Correction 4

¹ Near Infra Red 5

(McFeeters, 1996). باند سبز در ماهواره‌های لندست-۸ و سنتینل-۲ باند شماره ۳ و باند مادون قرمز

نزدیک در ماهواره لندست-۸ باند ۵ و ماهواره سنتینل-۲ باند ۸ می باشد (Xu, 2006).

۳-۴-۲- شاخص MNDWI

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 بوجود می‌آید (Ali Baig, 2013). اصلی‌ترین مزیت این شاخص، کاهش و حذف خطاهای ناشی از سایه‌ی ساختمان‌ها می‌باشد که باعث تمیز دادن مناطق ساختمانی از مناطق سیلابی و باعث در نظر گرفتن آب‌های کدر و گل‌آلود می‌شود (Xu, 2006). این شاخص در رابطه ۳-۳ نشان داده شده است.

$$MNDWI = \frac{(Green-SWIR1)}{(Green+SWIR1)} \quad (\text{رابطه ۳-۳})$$

در این شاخص باند SWIR1 برای ماهواره لندست-۸ باند ۶ و ماهواره سنتینل-۲ باند ۱۱ می‌باشد. با اعمال این شاخص سه نتیجه قابل انتظار است: (۱) مقادیر مثبت بزرگتر برای آب و آب‌های خالص در باند SWIR-1 نسبت به NIR؛ (۲) مقادیر منفی برای مناطق ساختمانی بدلیل بازتاب بیشتر در باند SWIR-1 نسبت به NIR دارد؛ (۳) خاک و گیاهان همچنان مقادیر بازتاب منفی دارند.

۳-۵- شبیه‌سازی سیلاب رودخانه گرگانود با استفاده از GIS و HEC-RAS

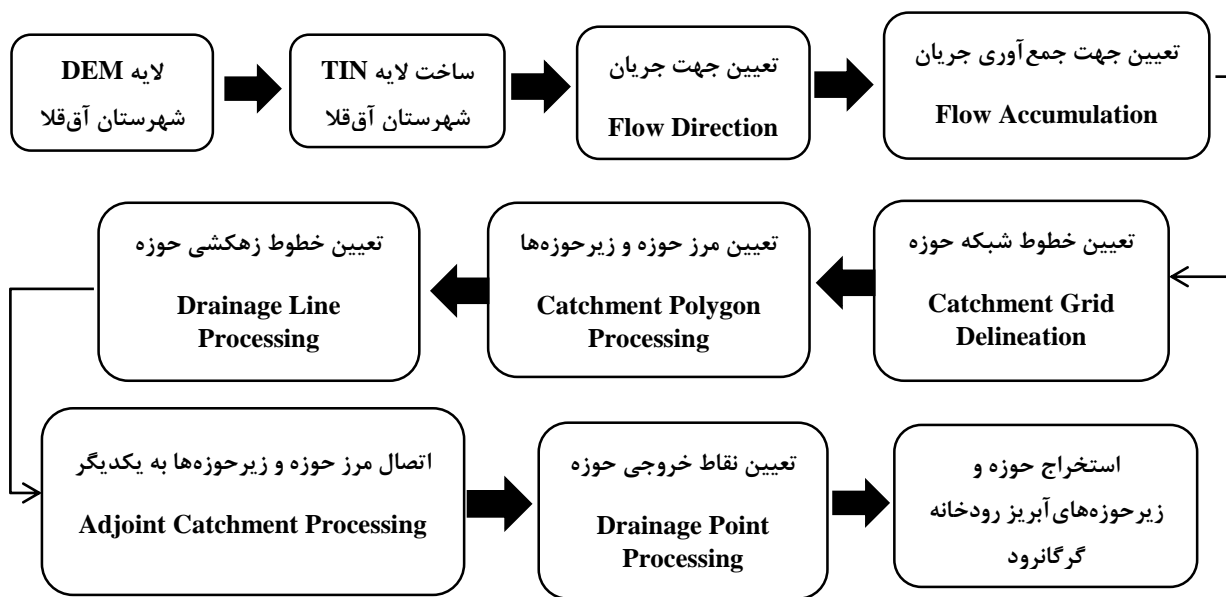
۳-۵-۱- استخراج حوزه آبریز و مسیر رودخانه گرگانود

پس از استخراج پهنه‌های سیل به کمک تصاویر ماهواره‌ای، نیاز است تا پهنه‌های سیل رودخانه گرگانود برای دوره بازگشت‌های مختلف شبیه‌سازی گردد. بدین منظور ابتدا فایل^۱ DEM, ALOS-PALSAR

^۱ Digital Elevation Model 6

شهرستان آق قلا با رزولوشن ۱۲,۵ متر از سایت ASF.ALASKA^۷ دانلود گردید. برای استخراج حوزه آبریز و مسیر رودخانه گرگانرود از افزونه Arc-Hydro در محیط Arc-Map استفاده گردید، سپس بدلیل کمبود اطلاعات توپوگرافی به منظور استخراج تراز سواحل چپ و راست و خطالقعر رودخانه گرگانرود از افزونه HEC-GeoRAS در محیط نرم افزار Arc-Map استفاده گردید.

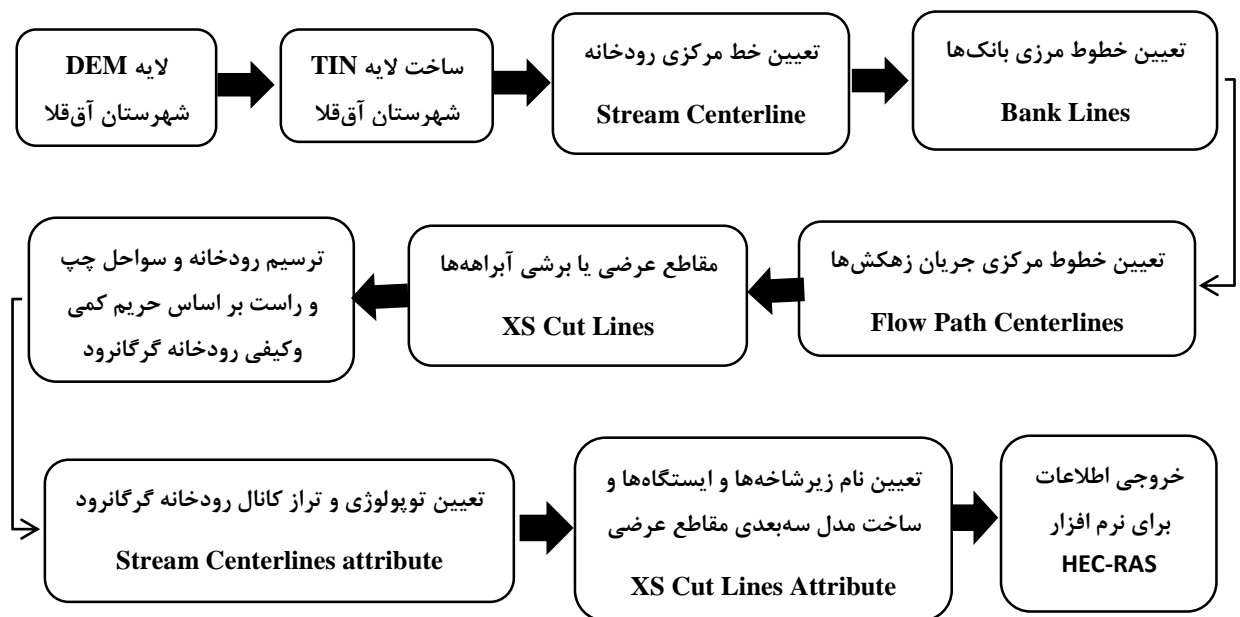
برای استخراج اطلاعات فیزیوگرافی حوزه آبریز و تعیین سواحل سمت چپ و راست و حریم‌های کمی و کیفی رودخانه گرگانرود از لایه شبکه‌ی نامنظم مثلثی TIN^۸ استفاده گردید. ادامه مراحل استخراج اطلاعات به کمک افزونه‌های Arc-Hydro و HEC-GeoRAS به ترتیب در شکل‌های ۳-۶ و ۳-۷ نشان داده شده است.



شکل ۳-۶: فلوچارت استخراج حوزه و زیرحوزه‌های رودخانه گرگانرود با استفاده از افزونه Arc-Hydro در محیط Arc-Map

^۷ <https://search.asf.alaska.edu/>

^۸ Triangular Irregular Network

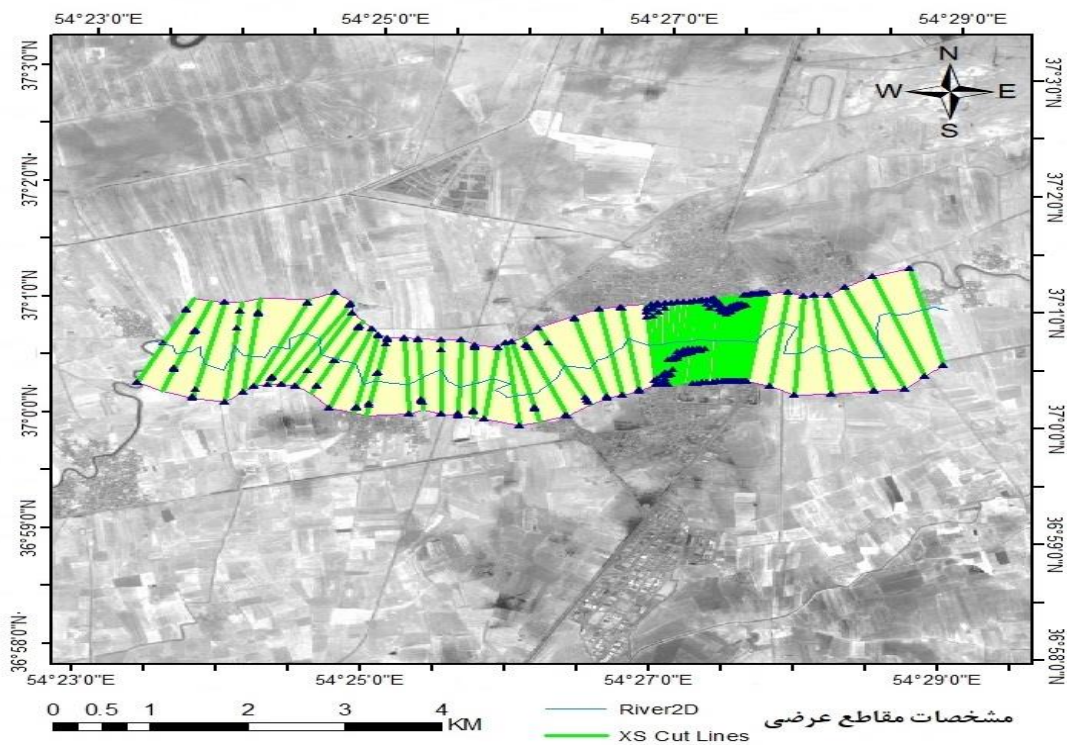


شکل ۳-۷: فلوچارت استخراج مسیر و سواحل چپ و راست رودخانه گرگانرود براساس حریم کمی و کیفی با استفاده از افزونه HEC-GeoRAS در محیط Arc-Map

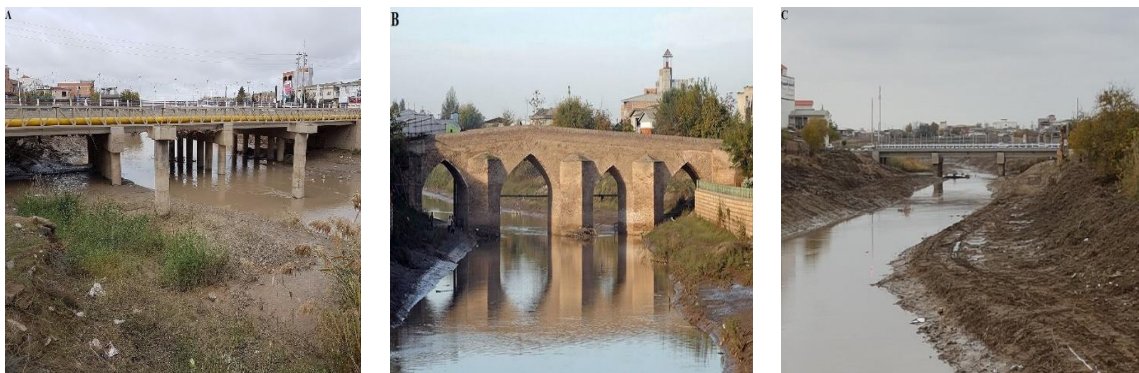
۳-۵-۲- شبیه‌سازی سیلاب در محیط HEC-RAS

دستور Geometry:

اطلاعات فیزیوگرافی حوزه آبریز، خط مرکزی مسیر رودخانه و سواحل چپ و راست رودخانه گرگانرود با استفاده از لایه TIN در محیط نرم افزار Arc-Map استخراج و به محیط نرم افزار HEC-RAS وارد گردید. ۱۲ کیلومتر از مسیر رودخانه گرگانرود در حدفاصل روستای سلاق‌یلقی تا روستای دوگونچی به منظور شبیه‌سازی سیلاب در نظر گرفته شد، برای بدست آوردن تراز ارتفاعی سواحل چپ و راست و خط‌القعر کانال رودخانه گرگانرود ۴۰ مقطع عرضی با فاصله ۳۰۰ متر عمود بر مسیر جریان در محدوده مورد مطالعه ترسیم شد. دو پل بتنی و یک پل آجری در محدوده شهری رودخانه گرگانرود قرار دارد که مقاطع عرضی با فاصله ۵ متر در محدوده‌ی پل‌ها ترسیم و مدل‌سازی شدند. مقاطع عرضی ترسیم شده و پل‌های موجود در محدوده شهری رودخانه گرگانرود به ترتیب در شکل ۳-۸ و ۳-۹ نشان داده شده‌اند.



شکل ۳-۸: مقاطع عرضی ترسیم شده بر روخانه گرگانرود در محدوده روستای سلاق یلقی تا روستای دوگونچی



شکل ۳-۹: (A) پل بتنی در ابتدای شهر آق قلا، (B) پل آجری تاریخی آق قلا در مرکز شهر آق قلا، (C) پل بتنی در انتهای شهر آق قلا

ضریب زبری مانینگ:

ضریب زبری مانینگ یک فاکتور بسیار مهم در شناسایی سطح آب در رودخانه‌ها می‌باشد که به عوامل بسیاری از جمله زبری سطوح، پوشش گیاهی، شرایط نامنظمی هندسی رودخانه، تراز رودخانه، سایز و شکل رودخانه، شرایط رسوب رودخانه، تغییرات حرارتی فصلی و مواد معلق جامد در بستر رودخانه و غیره بستگی دارد (حجازی، ۱۳۹۸). مقادیر ضریب مانینگ برای سواحل سمت چپ و راست رودخانه

در دو بازه خارج از محیط شهری و محدوده شهری آق قلا با توجه به بازدیدهای میدانی و (نشریه ۶۸۸، راهنمای تعیین ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه‌ها، ۱۳۹۴) محاسبه شد. ضرایب مانینگ بر اساس جداول تجربی چاو برای بستر کانال با توجه به شرایط میدانی، در محیط شهری به صورت مستقیم و یکنواخت با گیاه کوتاه و کمی علف هرز و برای خارج از محیط شهری به صورت پلکانی یا پیچاپیچ با پوشش علف و کمی علف هرز بدست آمد؛ همچنین برای سواحل چپ و راست در محیط شهری به صورت بدون درختچه با علف بلند و خارج از محیط شهری به صورت بوته‌زار با علف هرز زیاد در نظر گرفته شد، این ضرایب در جدول ۳-۳ نشان داده شده است.

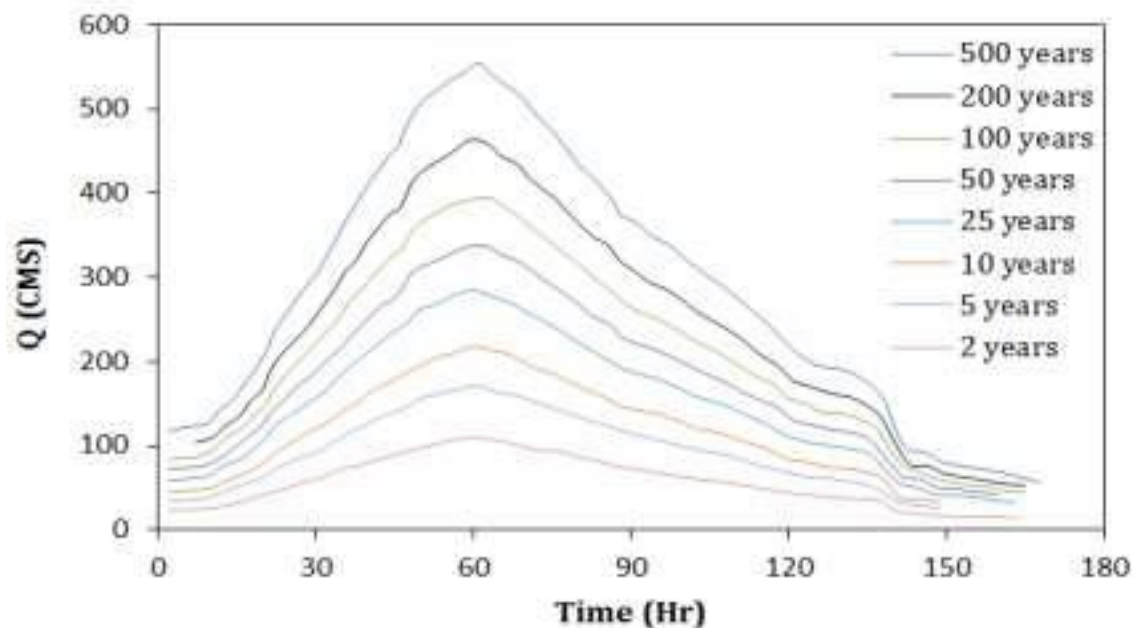
جدول ۳-۳: مقادیر ضریب مانینگ محاسبه شده برای محدوده مورد مطالعه

سواحل سمت چپ و راست و بستر رودخانه	ساحل سمت راست کانال	بستر کانال	ساحل سمت چپ کانال
ضریب زبری مانینگ (خارج از محیط شهری)	۰,۰۳۵	۰,۰۳۵	۰,۰۳۵
ضریب زبری مانینگ (محیط شهری)	۰,۰۵	۰,۰۳۳	۰,۰۵

مدل‌سازی Steady Flow:

بدلیل کمبود اطلاعات کافی از شرایط جریان و شرایط مرزی جریان، جریان در حالت دائمی مدل‌سازی گردید. با در نظر گرفتن جریان به صورت یکنواخت شیب کف رودخانه، شیب سطح آب و شیب خط انرژی یکسان فرض شده و جریان به صورت زیربحرانی مدل شد. سپس دبی‌ها با دوره بازگشت‌های مختلف در آبراهه اصلی وارد گردید (قلی نژاد، ۱۳۹۱). بر اساس آمار شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان دبی پیک اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری آق قلا برای دوره بازگشت‌های مختلف در جدول ۳-۴ آورده شده است و همچنین هیدروگراف سیل رودخانه گرگانرود در شکل ۳-۱۰ آورده شده است. در پژوهش حاضر با استناد به این آمارها شبیه‌سازی سیلاب در حالت یکنواخت انجام شده است. با در نظر گرفتن عمق نرمال به عنوان شرایط مرزی که بر اساس شیب رودخانه و عمق جریان بالادست و پایین

دست بدست می‌آید، می‌توان با تقریب خوبی از شیب متوسط بالادست و پایین دست رودخانه استفاده نمود (قلی نژاد، ۱۳۹۱). در این تحقیق شیب متوسط کف کانال بر اساس آمار (گزارش شرکت آب منطقه ای استان گلستان، ۱۳۹۶) برای بالادست و پایین دست به ترتیب ۰,۰۰۰۳ و ۰,۰۰۰۱ اعمال گردید.



شکل ۳-۱۰: هیدروگراف‌های سیل رودخانه گرگانرود در محل ایستگاه آب‌سنجی آق‌قلا (منبع: شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان، ۱۳۹۶)

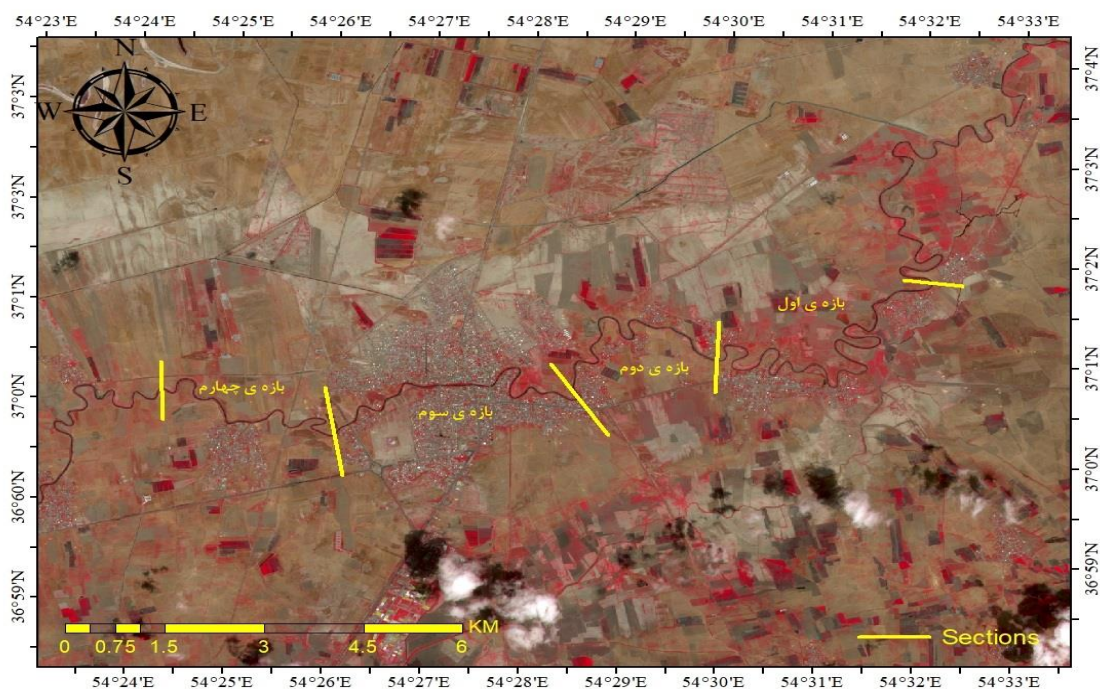
جدول ۳-۴: حداکثر دبی لحظه‌ای ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری آق‌قلا برای دوره بازگشت‌های مختلف، (منبع: شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان، ۱۳۹۶)

دوره بازگشت به سال							ایستگاه هیدرومتری
۱۰۰۰	۵۰۰	۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۲	گرگانرود، آق‌قلا
۸۵۹,۹	۵۶۶,۰	۴۹۳,۳	۳۸۳,۷	۲۸۶,۸	۲۰۵,۹	۱۰۴,۸	دبی حداکثر لحظه‌ای (m ³ /s)

۳-۶- استخراج پارامترهای مرفولوژیکی کانال

نظارت بر تغییرات مرفولوژیکی، اساس و پایه حل مشکلات و مسائل در ژئومورفولوژی کاربردی می‌باشد، بیشترین تغییرات مرفولوژیکی آبراهه‌ها در مسیر رودخانه‌های پیچانرودی مشاهده می‌شود. اغلب این کانال‌ها متحرک هستند و با ایجاد حلقه‌های پیچانرودی و مهاجرت و جابه‌جایی کانال در جهت پایین‌دست در داخل دشت‌های سیلابی، باعث تغییرات قابل توجهی در چشم‌انداز محیط می‌گردند. این تغییرات در بازه‌های زمانی مختلف صورت می‌گیرد، اما زمانی که میزان این تغییرات زیاد باشد می‌تواند مشکلاتی برای فعالیت‌ها و سازه‌های احداث شده مسیر رودخانه بوجود آورد (جوکار سرهنگی، ۱۳۹۶). بنابراین خصوصیات مرفولوژیکی رودخانه‌ها ارتباط و اثرگذاری مهمی در خروج سیلاب از مدخل رودخانه‌ها و ایجاد سیلاب دارد و اگر چنانچه رودخانه شهری باشد از اهمیت دوچندانی برخوردار می‌شود. در این راستا کشف این تغییرات ظاهری، پایش و نقشه‌بندی آن به تحلیل مناطق سیل‌خیز و سرعت عمل این تغییرات در طی زمان کمک می‌کند و می‌تواند به برنامه‌ریزی‌های کنترل و کاهش خسارت سیلاب منجر شود.

به منظور مشخص کردن محدوده مورد مطالعه و مسیر رودخانه گرگانرود و همچنین برای محاسبه مقدار عرض بستر و تعداد پیچانرودها و شعاع آنها از نرم افزار Google Earth، برداشت‌های GPS و مشاهدات میدانی کمک گرفته شد. محدوده مورد مطالعه به چهار بازه، دو بازه قبل از شهر در حدفاصل روستای سلاق یلقی تا شهر آق‌قلا و یک بازه در محدود شهری آق‌قلا و یک بازه بعد از شهر در حدفاصل شهر آق‌قلا تا روستای دوگونچی تقسیم‌بندی شد. برای ارزیابی اثرات مرفولوژیکی کانال رودخانه گرگانرود در بوجود آمدن سیلاب، پارامترهای شاخص خمیدگی (سینوزیته)، میانگین عرض بستر، و تعداد پیچانرودها و شعاع آنها در محدوده مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت و مقدار هر کدام برای بازه‌های ذکر شده محاسبه گردید. بازه‌های مورد مطالعه در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۱: بازه‌های انتخاب شده، بازه‌ی اول در حدفاصل روستای سلاق یلقی تا روستای گنگیرما، بازه دوم در حدفاصل روستای گنگیرما تا شهر آق‌قلا، بازه سوم در محدوده شهری آق‌قلا و بازه چهارم در حدفاصل شهر آق‌قلا تا روستای دوگونچی بر روی تصویر FCC ماهواره سنتینل-۲

۳-۶-۱- استخراج شاخص‌های طول، مساحت و محیط کانال

از مهمترین شاخص‌های مهم جهت بررسی مورفولوژی کانال‌ها، شاخص طول کانال یا طول دره آبراهه و مساحت پلان افقی کانال‌ها می‌باشد، برای محاسبه طول، مساحت و محیط کانال رودخانه گرگانرود در بازه‌های مورد بررسی از نرم‌افزار Google Earth استفاده گردید. همچنین برای محاسبه مساحت کانال در پلان افقی، با استفاده در هر بازه پنج نقطه به طور تصادفی از لبه‌های چپ و راست کناری کانال با استفاده از GPS مختصات نقاط برداشت شد و در نرم‌افزار Google Earth وارد گردید و محدوده دقیق کانال مشخص گردید و همچنین برای محاسبه حجم کانال در پنج نقطه تصادفی در هر بازه مقدار عمق کانال مشخص گردید و در نهایت حجم کانال در هر بازه مشخص گردید، این مقادیر در جدول ۳-۵ نشان داده شده است.

جدول ۳-۵: مقادیر طول، مساحت و حجم کانال در چهار بازه از کانال رودخانه گرگانرود

بازه سوم (داخل شهر)	بازه دوم (قبل از شهر)	بازه اول (قبل از شهر)	بازه چهارم (بعد از شهر)	رودخانه گرگانرود
۵,۳۷۴	۴,۶۵۰	۹,۲۷۴	۴,۳۴۹	طول کانال (کیلومتر)
۱۹۱۹۵۰,۶۰	۱۸۵۷۱۰,۷۷	۱۵۷۷۰۶,۱۴	۱۵۱۴۷۴,۵۴	مساحت کانال (مترمربع)
۱۴۳۹۶۲۹,۵	۱۲۰۷۱۲۰,۰۱	۹۴۶۲۳۶,۸۵	۱۱۳۶۰۵۹,۰۵	حجم کانال (مترمکعب)

۳-۶-۲- شاخص خمیدگی (سینوزیته)

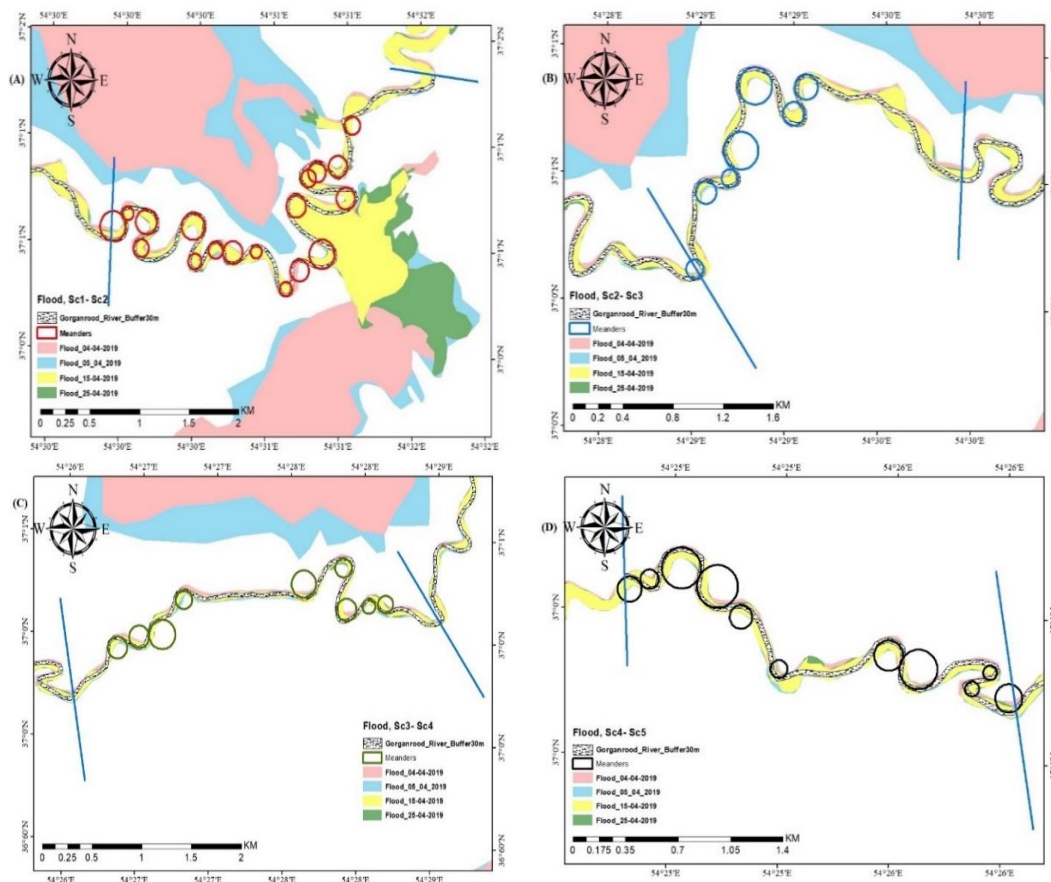
این شاخص برای نشان دادن میزان شکستگی و انحنای کانال بکار می‌رود که مقدار آن از تقسیم مقدار طول کانال با احتساب پیچ و خم‌های موجود در هر بازه بر طول مستقیم کانال در هر بازه با فاصله مستقیم که ابتدا و انتهای هر بازه را به یکدیگر متصل می‌کند مشخص می‌گردد. بر اساس این شاخص، اگر ضریب سینوزیته یک رودخانه بین ۱ تا ۱,۰۵ باشد رودخانه از نوع مستقیم است، اگر بین ۱,۰۶ تا ۱,۲۵ باشد از نوع سینوسی است، بین ۱,۲۶ تا ۲ باشد از نوع پیچانرودی است و اگر بیشتر از ۲ باشد، از نوع پیچانرودی شدید است (یمانی، ۱۳۸۹). رابطه ۳-۴ نحوه محاسبه این شاخص را نشان می‌دهد (بیگلو، ۱۳۹۱).

$$S = \frac{C}{V} \quad (\text{رابطه ۳-۴})$$

در این رابطه S ضریب سینوزیته، C طول رودخانه با احتساب پیچ و خم‌ها در بخش مورد بررسی و V طول دره رودخانه با خط مستقیم. مقادیر تعداد پیچانرودها و شاخص سینوزیته محاسبه شده برای کانال رودخانه گرگانرود در جدول ۳-۶ و تصویر پیچانرودها در شکل ۳-۱۲ نشان داده شده است.

جدول ۳-۶: مقادیر تعداد پیچانرود و ضریب سینوزیه کانال رودخانه گرگانرود در بازه های مورد مطالعه

بازه چهارم (بعد از شهر)	بازه سوم (داخل شهر)	بازه دوم (قبل از شهر)	بازه اول (قبل از شهر)	رودخانه گرگانرود
۱۱	۹	۷	۱۸	تعداد پیچانرود
۱,۶۰۴	۱,۴۱۴	۲,۰۳۹	۳,۸۸۰	شاخص سینوزیته



شکل ۳-۱۲: تعداد و شعاع پیچانرودها در طول رودخانه گرگانرود، (A) و (B) حدفاصل روستای سلاق یلقی تا شهر آق قلا، (C) بازه شهری آق قلا، بازه (D) حدفاصل شهر آق قلا تا روستای دوگونچی

مقدار شعاع پیچانرودها در بازه های مورد بررسی در جدول ۳-۷ آورده شده است.

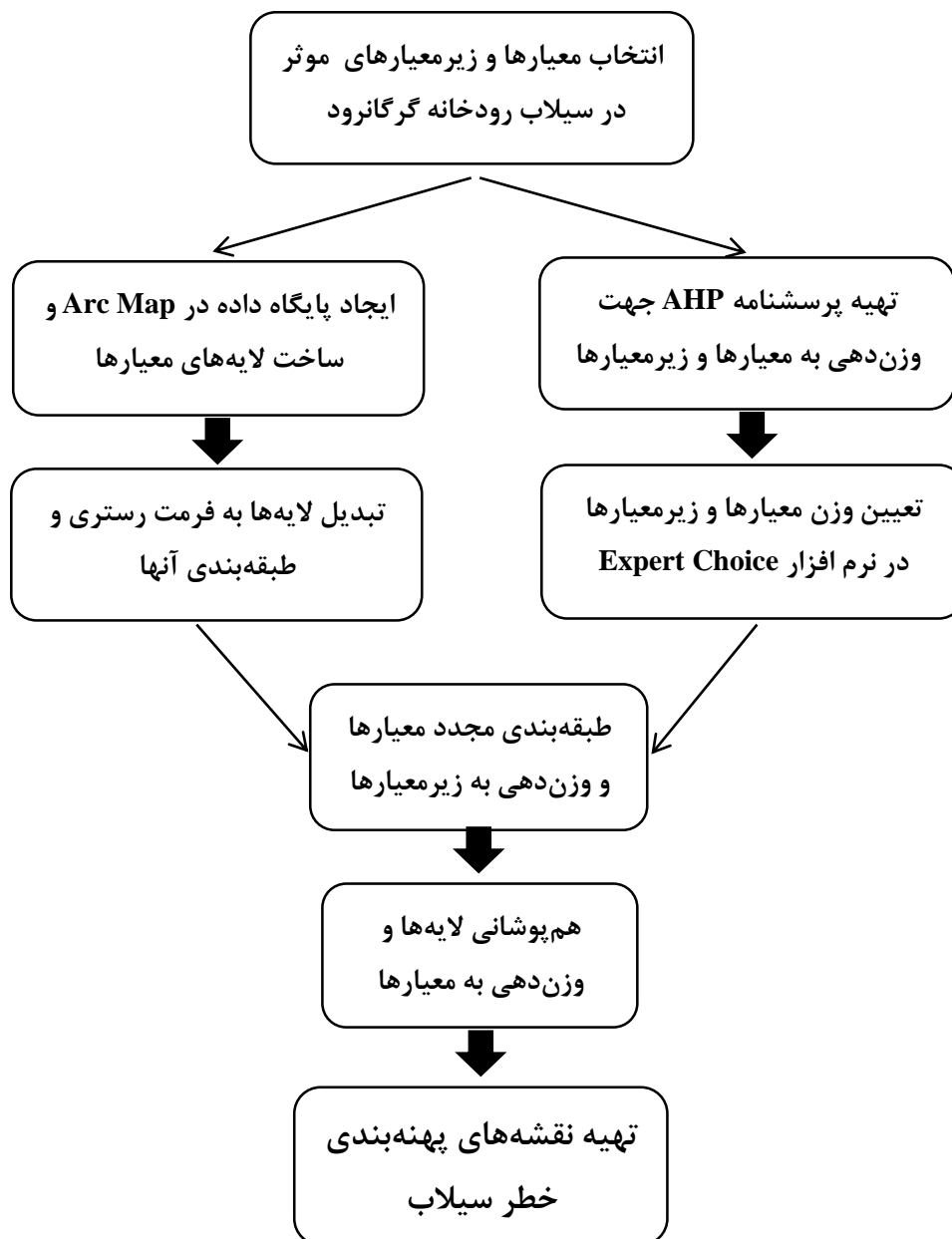
جدول ۳-۷: مقادیر شعاع پیچانودها در چهار بازه مورد بررسی

تعداد پیچانودها	بازه اول (قبل شهر) شعاع پیچانود (متر)	بازه دوم (قبل شهر) شعاع پیچانود (متر)	بازه سوم (داخل شهر) شعاع پیچانود (متر)	بازه چهارم (بعد شهر) شعاع پیچانود (متر)
۱	۷۹,۸۴۲	۹۰,۸۲۱	۷۶,۴۷۱	۹۰,۲۲۲
۲	۹۴,۳۰۹	۸۶,۰۶۰	۶۴,۸۵۵	۴۷,۱۹۲
۳	۸۹,۰۴۲	۱۳۵,۹۰۵	۱۰۰,۶۸۴	۴۶,۱۳۸
۴	۷۶,۹۴۷	۶۵,۷۲۴	۸۴,۹۹۸	۱۲۶,۴۱۴
۵	۹۵,۳۱۹	۸۴,۳۸۷	۱۲۳,۰۸۸	۹۶,۵۸۰
۶	۹۸,۷۸۰	۶۹,۶۳۶	۸۴,۳۵۹	۵۶,۶۵۹
۷	۱۲۸,۱۷۹	۱۳۷,۱۲۴	۱۳۲,۷۱۱	۷۵,۲۹۱
۸	۹۳,۸۹۳		۱۰۰,۸۴۴	۱۳۶,۴۱۵
۹	۶۱,۸۳۱		۹۷,۸۶۶	۱۳۰,۵۶۷
۱۰	۵۷,۲۳۵			۶۱,۳۱۹
۱۱	۹۹,۰۳۰			۸۰,۳۹۲
۱۲	۷۳,۸۵۴			
۱۳	۶۸,۱۹۲			
۱۴	۱۱۶,۶۰۸			
۱۵	۷۷,۸۵۹			
۱۶	۱۰۸,۳۶۸			
۱۷	۵۸,۵۴۱			
۱۸	۱۲۹,۹۴۷			
میانگین شعاع (متر)	۸۹,۳۲۱	۹۵,۶۶۱	۹۶,۲۰۹	۸۶,۱۰۹

۳-۷- تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیلاب در محیط GIS

به منظور پهنه‌بندی خطر سیلاب رودخانه گرگانود واقع در شهرستان آق‌قلا، در حدفاصل سد وشمگیر تا شهر آق‌قلا بعنوان محدوده مورد مطالعه در نظر گرفته شد. با مطالعه مقاله‌های مرتبط حدود ۲۵ شاخص که در بوجود آمدن سیلاب نقش اساسی داشتند شناسایی گردید. سپس با بازدیدهای میدانی صورت گرفته از منطقه مطالعاتی با دید کارشناسی و مشاوره گرفتن از کارشناسان خبره‌ی سیلاب ادارات آبخیزداری و آب منطقه‌ای استان گلستان ۱۸ شاخص که در بوجود آمدن سیلاب در رودخانه گرگانود

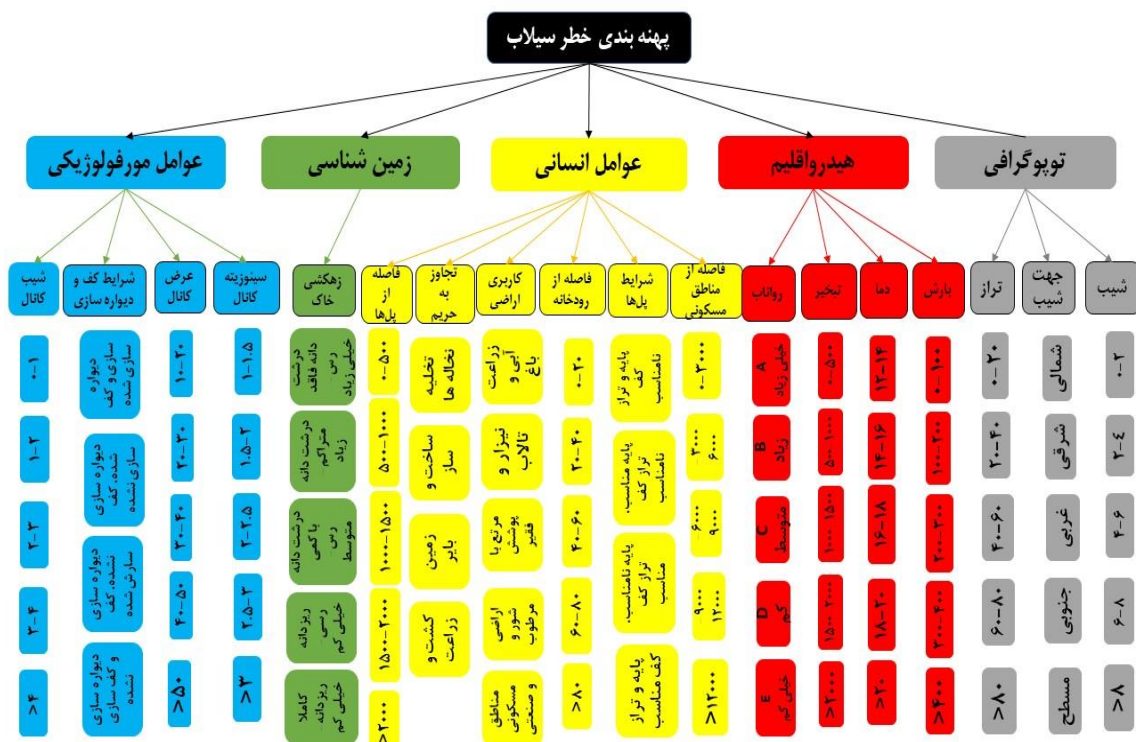
موثر بودند انتخاب گردید. مراحل شماتیک تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیلاب در شکل ۳-۱۳ نمایش داده شده است.



شکل ۳-۱۳: فلوچارت مراحل تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیلاب

۳-۷-۱- ایجاد پایگاه داده و انتخاب گزینه‌ها

به منظور ایجاد پایگاه داده در نرم افزار Arc Map اطلاعات دقیق در مورد شاخص‌های مورد نظر از سازمان‌های مرتبط مانند شرکت آب منطقه‌ای، اداره آبخیزداری، اداره هواشناسی و اداره منابع طبیعی استان گلستان جمع‌آوری گردید. همچنین اطلاعات مربوط به مرفولوژی کانال رودخانه گرگانود از جمله عرض بستر، تجاوز به حریم رودخانه، شرایط کف و دیواره‌های کانال رودخانه و شرایط پل‌های موجود بر رودخانه با بازدیدهای میدانی و سایر اطلاعات به کمک نرم افزار Google Earth بدست آورده شد. این اطلاعات که شامل لایه‌های وکتوری و رستری بودند در نرم افزار Arc Map جمع‌آوری گردیدند. در ادامه برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیلاب رودخانه گرگانود نیاز است تا تمام لایه‌های موجود تبدیل به فرمت رستری شوند تا طبقه‌بندی، وزن‌دهی و در نهایت هم‌پوشانی صورت گیرد. درخت سلسله مراتبی معیارها و زیرمعیارهای مورد نظر در شکل ۳-۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۴: درخت سلسله مراتبی معیارها و زیرمعیارهای پژوهش

۳-۷-۲- روش تحلیل سلسله مراتبی AHP و تهیه پرسشنامه

یکی از روش‌های ارزیابی و وزن‌دهی به معیارها و زیرمعیارها، روش تحلیل سلسله مراتبی است که به وسیله ساعتی در سال ۱۹۸۰ مطرح شد و با استفاده از نرم افزار اکسپرت چویس این امکان را فراهم می‌سازد تا تصمیمات مستدل و منطقی جهت انتخاب مطلوب برای تصمیم گیرندگان فراهم شود (آقایی، ۱۳۸۶). برای پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری، ابتدا عوامل موثر بر شدت سیل‌خیزی شناسایی می‌شود، که هر یک از این فاکتورها از میزان اهمیت خاصی برخوردار هستند. در تحقیق حاضر به منظور شناسایی پهنه‌های خطر سیلاب شهرستان آق‌قلا، فاکتورهای شیب، جهت شیب، تراز یا ارتفاع، بارش، دما، تبخیر، رواناب، فاصله از مناطق مسکونی، شرایط پل‌ها، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، تجاوز به حریم رودخانه، فاصله از پل‌ها، زهکشی خاک، سینوزیه کانال، پهنای کانال، شرایط کف و دیواره های کانال و شیب کف کانال به عنوان عوامل تاثیرگذار شناسایی شدند. برای بررسی اهمیت و درجه تاثیر هر یک بر وقوع سیلاب در شهرستان آق‌قلا و بخصوص محیط شهری آق‌قلا از فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP استفاده گردید. بدین منظور با استفاده از طراحی پرسشنامه AHP برای فاکتورهای مورد نظر در مقیاس ۱ تا ۹ بر حسب میزان اهمیت و مقایسه دودویی و ضریب اهمیت هر یک از فاکتورهای مورد بررسی در اختیار ۱۰ متخصص در زمینه سیلاب قرار داده شد و میانگین نظرات کارشناسان به منظور وزن‌دهی در نرم افزار اسپرت چویس وارد گردید. وزن‌های دست آمده بر اساس مقایسه دودویی و زوجی هر یک از معیارها با یکدیگر بر اساس نظر کارشناسان می‌باشد. میزان ناسازگاری در حالت کلی باید کمتر از ۰,۱ باشد تا وزن‌های بدست آمده قابل قبول باشد. پرسشنامه تهیه شده جهت ارائه به کارشناسان، برای مثال معیار توپوگرافی در جدول ۳-۸ نشان داده شده است.

نحوه‌ی پر کردن پرسشنامه به این صورت می‌باشد که برای نمونه در جدول ۳-۸، بطور مثال معیار توپوگرافی پنج برابر نسبت به معیار هیدرواقليم در "بوجود آمدن سیلاب در رودخانه گرگانرود" ارجحیت دارد. همچنین جدول مقایسه نسبی معیارها در جدول ۳-۹ نشان داده شده است.

جدول ۳-۸: نمونه پرسشنامه AHP طراحی شده جهت ارائه به کارشناسان

معیار ز	اولویت‌ها													معیار ا				
	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵		۶	۷	۸	۹
هیدرواقلیم	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	توپوگرافی
عوامل انسانی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	توپوگرافی
زمین شناسی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	توپوگرافی
عوامل مرفولوژی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	توپوگرافی
عوامل انسانی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	هیدرواقلیم
زمین شناسی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	هیدرواقلیم
عوامل مرفولوژی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	هیدرواقلیم
زمین شناسی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	عوامل انسانی
عوامل مرفولوژی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	عوامل انسانی
عوامل مرفولوژی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	زمین شناسی

جدول ۳-۹: جدول مقایسه نسبی معیارها

توضیح	اولویت‌ها	ارزش
گزینه یا شاخص A نسبت به Z اهمیت برابر دارد و یا ارجحیتی نسبت به هم ندارند.	ترجیح یکسان	۱
گزینه یا شاخص A نسبت به Z کمی مهمتر است.	کمی مرجح	۳
گزینه یا شاخص A نسبت به Z مهمتر است.	خیلی مرجح	۵
گزینه یا شاخص A دارای ارجحیت خیلی بیشتری از Z است.	خیلی زیاد مرجح	۷
گزینه یا شاخص A از Z مطلقا مهمتر و قابل مقایسه با Z نیست.	کاملا مرجح	۹
ارزشهای بین ارزش‌های ترجیحی را نشان می‌دهد.	بینابین	۲،۴،۶،۸

محاسبه دستی وزن معیارها و زیرمعیارها براساس روش AHP، زمانی که تعداد معیار و زیرمعیارها زیاد باشد بسیار وقت‌گیر و پیچیده می‌باشد. برای نمونه ماتریس مربعی ۵*۵ مقایسات زوجی برای معیارهای تحقیق در جدول ۳-۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۳-۱۰: ماتریس مقایسات زوجی معیارها

	دما	بارش	ارتفاع	جهت شیب	شیب
دما	۱	۱/۵	۱/۳	۱/۳	۱
بارش	۵	۱	۱/۵	۱/۳	۱/۵
ارتفاع	۳	۵	۱	۱/۲	۱/۳
جهت شیب	۳	۳	۲	۱	۱/۴
شیب	۱	۵	۳	۴	۱

این ماتریس یک ماتریس مربعی بالا مثلثی یا پایین مثلثی است که قطر اصلی آن برابر یک می‌باشد، یعنی هر معیار در مقایسه به خودش ارزش یکسان دارد، سایر مقادیر بین ۱ تا ۹ است که توسط کارشناسان تکمیل می‌شود.

با در نظر گرفتن درخت سلسله مراتبی، به تدوین و تعیین اولویت‌های بین عناصر هر سطح نسبت به سطح بالاتر خود پرداخته می‌شود. چهار اصل در اصول فرایند تحلیل سلسله مراتبی وجود دارد که عبارتند از:

اصل معکوسی: اگر اولویت شاخص A بر شاخص B برابر n باشد، اولویت شاخص B بر شاخص A برابر $1/n$ می‌باشد.

اصل همگنی: شاخص‌ها با یکدیگر همگن هستند، یعنی اولویت یک شاخص بر شاخص دیگر صفر یا بی‌نهایت نیست.

اصل وابستگی: هر شاخص نسبت به شاخص‌های در سطوح بالاتر خود وابسته است و این وابستگی می‌تواند تا بالاترین سطوح ادامه یابد .

اصل انتظارات: هرگاه تغییری در ساختار سلسله مراتبی رخ دهد، تجزیه و تحلیل مساله باید از ابتدا صورت گیرد (مومنی، ۱۳۹۱).

۳-۷-۳- مراحل تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها

برای مثال مراحل محاسبات وزن‌دهی که در نرم‌افزار Expert Choice صورت می‌گیرد در ادامه به منظور آشنایی با مراحل محاسبات آورده شده است.

محاسبه اوزان:

بعد از اینکه مقایسات زوجی صورت گرفت و ارجحیت معیارها و زیرمعیارها نسبت به یکدیگر و نسبت به سطوح بالاتر خود بدست آمد و ماتریس‌های مقایسات زوجی تکمیل گردید، نیاز است تا وزن هر سطر یا ستون را محاسبه کنیم. روش‌های مختلفی برای محاسبه اوزان معیارها وجود دارد که شامل:

- روش حداقل مربعات
- روش مجموع ستونی
- روش میانگین حسابی
- روش حداقل مربعات لگاریتمی
- روش مجموع سطری
- روش میانگین هندسی

برای مثال روش میانگین حسابی ۱- ابتدا عناصر هر ستون را نرمال می‌کنیم ۲- محاسبه بردار وزن از میانگین سطری عناصر بدست می‌آید.

نرمال‌سازی:

یعنی اینکه مقدار معیارها از یک جنس شده که نرمال‌سازی از تقسیم مقدار هر معیار بر مجموع مقدار سایر معیارها بدست می‌آید. a_{ij} مقدار سطر i ام و ستون j ام.

$$n = \frac{a_{ij}}{\sum a_{ij}} \quad (\text{رابطه ۳-۵})$$

محاسبه بردار وزن:

از تقسیم مقدار سطر i ام بر مجموع مقادیر سطر i ام بدست می‌آید.

$$W = \frac{a_i}{\sum a_i} \quad (\text{رابطه ۳-۶})$$

نرخ ناسازگاری:

پس از بدست آوردن وزن نهایی هر معیار، باید به محاسبه نرخ ناسازگاری پرداخت، ناسازگاری به معنی میزان ارتباط منطقی بین ایده‌های مختلف با یکدیگر با توجه به یک ملاک معین است. در صورتی که جواب بدست آمده کوچکتر از 0.1 باشد ($CR < 0.1$) سازگاری وجود دارد و در غیر این صورت باید در مقدار ارجحیت‌ها تجدید نظر شود (اصغرپور، ۱۳۹۷). محاسبات مربوط به نرخ ناسازگاری به ترتیب زیر است:

۱- ابتدا بردار وزن نسبی W را با یکی از روش‌های گفته شده بدست می‌آوریم.

۲- بردار مجموع وزنی WSV ^۱ را بدست می‌آوریم: $WSD = D * W$ که در آن D ماتریس مقایسات زوجی است.

۳- محاسبه بردار سازگاری: (CV) عناصر بردار مجموع وزنی (WSV) را بر بردارهای وزنه‌ای نسبی (W) تقسیم می‌کنیم.

۴- محاسبه λ_{max} : برابر است با میانگین عناصر بردار سازگاری.

۵- محاسبه شاخص ناسازگاری CI ^۲:

$$CI = \frac{\lambda_{Max} - n}{n - 1} \quad (\text{رابطه ۳-۷})$$

جدول ۳-۱۱: جدول شاخص ناسازگاری تصادفی

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IRI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.51

¹ Weighted Sum Vector 9

² Consistency Index 0

$$CR = \frac{CI}{IRI} \quad (\text{رابطه ۳-۸})$$

در صورتی که بعد از محاسبات فوق مقدار $CR < 0.1$ بدست آمد نشان دهنده این است که ارجحیت‌های وارد شده صحیح می‌باشد (عطایی، ۱۳۸۸).

بعد از اینکه مقایسات زوجی توسط کارشناسان صورت گرفت، با جمع‌بندی و میانگین‌گیری از ارجحیت‌های انجام شده، پرسشنامه نهایی براساس مقایسات نهایی وارد نرم افزار Expert Choice گردید. اوزان نهایی بدست آمده معیارها و زیرمعیارها و گزینه‌ها نسبت به همدیگر و نسبت به سطح بالاتر خود و در نهایت نسبت به هدف نهایی که شناسایی مناطق پرخطر در برابر سیلاب می‌باشد بدست آمد. اوزان بدست آمده در جدول ۳-۱۲ نشان داده شده است.

جدول ۳-۱۲: اوزان نهایی بدست آمده با استفاده از نرم افزار Expert Choice

معیارها و زیرمعیارها	وزن نهایی معیار و زیرمعیار	نرخ ناسازگاری
توپوگرافی	۰/۳۵۳	۰/۰۴
شیب	۰/۱۹۶	۰/۰۵
جهت شیب	۰/۳۱۱	
تراز- ارتفاع	۰/۴۹۳	
هیدرواقلیم	۰/۱۰۲	۰/۰۴
بارش	۰/۴۱۰	۰/۰۲
دما	۰/۰۶۶	
تبخیر	۰/۰۹۸	
رواناب	۰/۴۲۶	
عوامل انسانی	۰/۱۶۲	۰/۰۴
فاصله از مناطق مسکونی	۰/۰۵۹	۰/۰۳
شرایط پل‌ها	۰/۲۸۰	
فاصله از رودخانه	۰/۲۹۰	
کاربری اراضی	۰/۰۹۹	
تجاوز به حریم رودخانه	۰/۱۳۵	
فاصله از پل‌ها	۰/۱۳۶	
زمین شناسی	۰/۰۴۹	۰/۰۴

² Consistency Ratio

زهکشی خاک	۱	۰
مرفولوژی	۰/۳۳۳	۰/۰۴
سینوزیته کانال	۰/۳۵۱	۰/۰۳
عرض کانال	۰/۳۱۲	
شرایط کف و دیواره کانال	۰/۰۹۰	
شیب بستر کانال	۰/۲۴۷	

در زیرمعیار زمین‌شناسی بدلیل اینکه فقط گزینه زهکشی خاک وجود دارد، تمام وزن زمین‌شناسی که برابر یک می‌باشد به زهکشی خاک می‌رسد و نرخ ناسازگاری آن برابر صفر می‌باشد. مقدار نرخ ناسازگاری برای معیارها برابر ۰,۰۴ و برای زیرمعیار توپوگرافی برابر ۰,۰۵ و برای زیرمعیار هیدرواقلیم برابر ۰,۰۲ و برای زیرمعیار عوامل انسانی برابر ۰,۰۳ و برای زیرمعیار مرفولوژی برابر ۰,۰۳ می‌باشد که تمام آنها کمتر از ۰,۱ می‌باشند که نشان دهنده انتخاب درست ارجحیت‌ها بوده است.

۳-۷-۴- تبدیل داده‌ها به فرمت رستری

داده‌های وارده شده به نرم افزار Arc Map از نوع وکتوری و رستری بوده که برای طبقه‌بندی تصاویر نیاز است تمام داده‌ها به فرمت رستری تبدیل شوند. در فرمت رستری هر کدام از گزینه‌های موجود در لایه‌ها به پیکسل تبدیل شده که هر کدام از پیکسل‌ها دارای ارزش می‌باشد. برای طبقه‌بندی نیاز است تا بر اساس ارزش هر کدام از گزینه‌ها یک ارزش به آنها داده شود تا در نهایت تصاویر خروجی، بر اساس ارزش پیکسل سیمبولوژی^{۲۲} شوند که نشان دهنده اهمیت گزینه مورد نظر می‌باشد.

از میان لایه‌های استفاده شده در پژوهش، لایه‌های شیب، جهت شیب و تراز چون مستقیم از فایل DEM استخراج می‌گردند دارای فرمت رستری می‌باشند. اما داده‌های بارش، دما، تبخیر، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از پل‌ها، تجاوز به حریم رودخانه، سینوزیته، عرض کانال، شرایط کف و دیواره و شیب کف کانال بدلیل اینکه از نوع نقطه‌ای بودند و تمام اطلاعات آنها در Attribute Table ذخیره شده بود

² Symbology

با استفاده از دستور IDW^{۲۳} برای تبدیل آنها به فرمت رستری استفاده گردید. IDW یک روش زمین آمار می‌باشد که با تکنیک وزن عکس-فاصله مقادیر بین نقاط وارد شده را درونیابی می‌کند. در زمین آمار فرض بر این است که بین نمونه‌ها وابستگی مکانی وجود دارد. بدین مفهوم که نمونه‌هایی که با فاصله نزدیکتر به نمونه‌ی ما قرار گرفته‌اند همبستگی بیشتری را در مقایسه با نمونه‌هایی که با فاصله دورتر قرار گرفته‌اند را دارد. یکی از بارزترین ویژگی‌های زمین آمار این است که با استفاده از آن می‌توان مقادیر یک خصوصیت را در نقاط اندازه‌گیری نشده با استفاده از پارامترهای مدل تغییرنا (واریوگرام) برآورد کرد (Pradhan, 2009). برای تبدیل لایه‌ی خطی فاصله از رودخانه، از دستور فاصله اقلیدوسی^{۲۴} و لایه‌های پلی‌گون رواناب، کاربری اراضی و زهکشی خاک به فرمت رستری از دستور طبقه‌بندی مجدد^{۲۵} استفاده گردید.

۳-۷-۵- هم پوشانی لایه‌ها و وزن دهی به معیارها

بعد از اینکه تمام لایه‌ها به ۱۰ کلاس تقسیم‌بندی گردید، طبقه‌بندی مجدد لایه‌ها به پایان می‌رسد. در طبقه‌بندی، کلاس یک کمترین ارزش در بوجود آمدن سیلاب و کلاس ۱۰ بیشترین ارزش در بوجود آمدن سیلاب در شهرستان آق‌قلا و رودخانه گرگانرود را دارد. سپس با استفاده از دستور Weighted Sum لایه‌ها هم‌پوشانی می‌شوند و وزن‌های نهایی که با استفاده از نرم افزار Expert Choice بدست آمده‌اند، وارد می‌شوند. نقشه‌ی طبقه‌بندی شده زیرمعیارها و نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی خطر سیلاب در فصل چهارم ارائه و تحلیل شده است.

² Inverse Distance Weight 3
² Euclidean Distance 4
² Reclassify 5

فصل چہارم

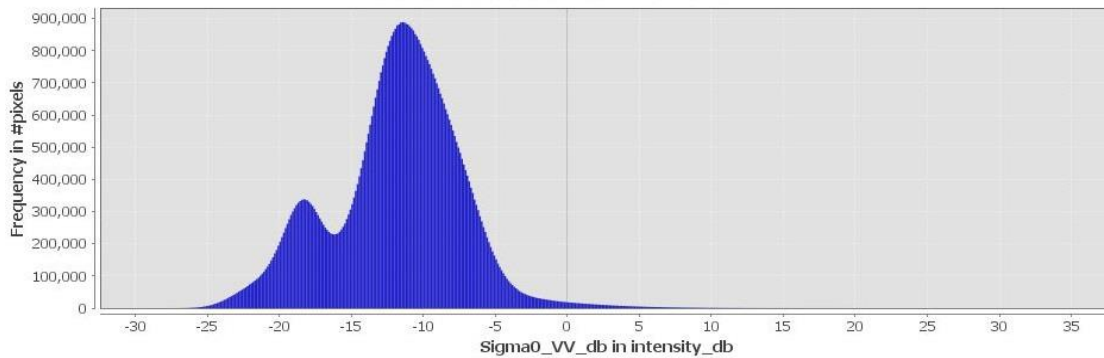
نتائج

۴-۱ - مقدمه

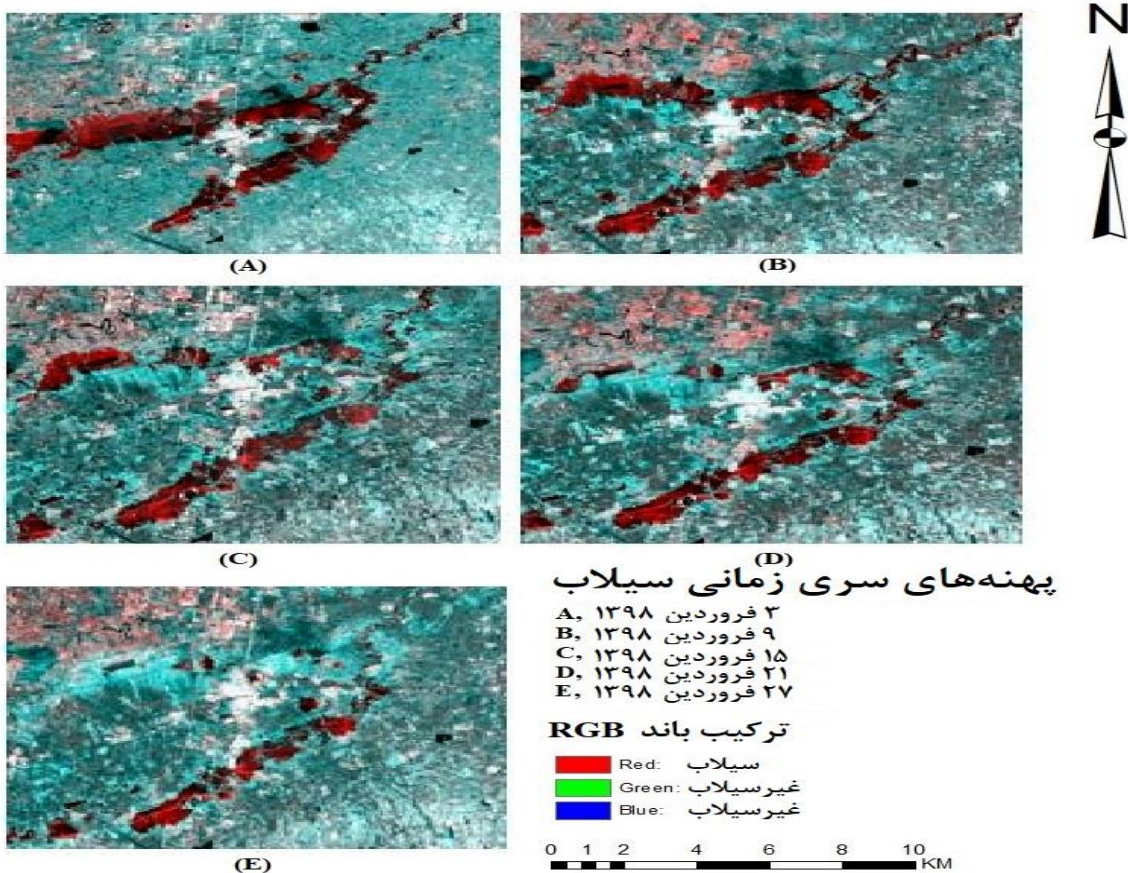
در این فصل مساحت پهنه‌های سیلاب بهار ۱۳۹۸ شهرستان آق‌قلا شده که به کمک تصاویر ماهواره‌های سنتینل-۱، سنتینل-۲ و لندست-۸ استخراج شده ارائه شده است، سپس پهنه‌های سیلاب و عمق سیلاب رودخانه گرگانود که با استفاده از نرم افزار HEC-RAS برای دوره بازگشت‌های ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله مدل‌سازی شده بود ارائه می‌شود. در ادامه به بررسی اثرات مرفولوژی کانال رودخانه گرگانود بر ایجاد پهنه‌های سیلاب پرداخته می‌شود، سپس لایه‌های طبقه‌بندی شده زیرمعیارها و مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل که به کمک روش تحلیل سلسله مراتبی AHP و نرم افزار GIS تهیه شده‌اند، با پهنه‌های سیلاب بدست آمده به کمک تصاویر ماهواره‌ای پرداخته شده است و در گام آخر ارزیابی صحت‌سنجی نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ و تصاویر هلی‌شات آرشویی-میدانی از سیلاب ارائه می‌شود.

۴-۲ - پهنه‌های سیلاب استخراج شده با استفاده از تصاویر سنتینل-۱

به دلیل اینکه مقادیر بازتاب پیکسل‌ها در باند Amplitude VV بیشتر از باند Amplitude VH می‌باشد، تفاوت میان پهنه‌های سیلاب و غیرسیلاب بیشتر نمایان می‌شود. شدت بازتاب پیکسل‌ها در باندهای Intensity VV در مقایسه با Amplitude VV بیشتر می‌باشد. با آنالیز هیستوگرام تصاویر مشخص شد مرز بین پهنه‌های سیلاب و غیرسیلاب برای تمام تصاویر سری زمانی مقدار ۱۶- دسی-بل می‌باشد. هیستوگرام شدت بازتاب پیکسل‌ها مربوط به پهنه‌ی سیلاب نهم فروردین ۱۳۹۸، در شکل ۴-۱ نشان داده شده است، با توجه به هیستوگرام نقطه عطف بین پهنه‌های سیلاب و غیر سیلاب مقدار ۱۶- دسی-بل می‌باشد.



شکل ۴-۱: هیستوگرام شدت بازتاب پیکسل‌ها در باند Intensity-VV مربوط به تاریخ نهم فروردین ۱۳۹۸ بعد از ترکیب باندهای قرمز، آبی و سبز پیکسل‌هایی که مقدار بازتاب آنها کمتر از ۱۶- دسی‌بل بودند به رنگ سیاه که نشان دهنده پهنه‌های غیرسیلابی و پیکسل‌هایی که مقدار بازتاب آنها بیشتر از ۱۶- دسی‌بل بودند به رنگ سفید که نشان دهنده پهنه‌های سیلابی می‌باشند. پهنه‌های سیلاب سری زمانی مورد نظر در شکل ۴-۲ نشان داده شده است.

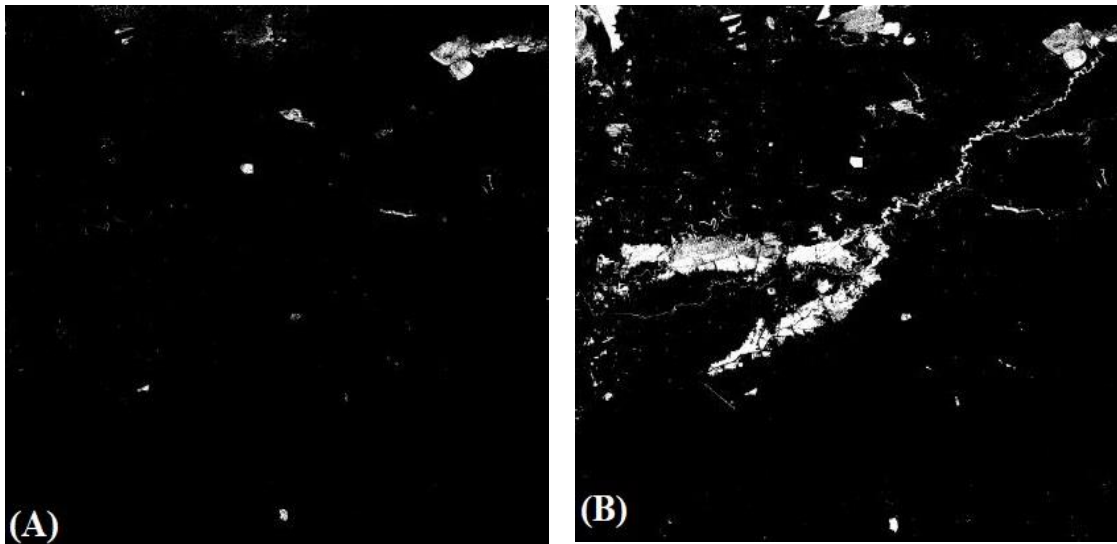


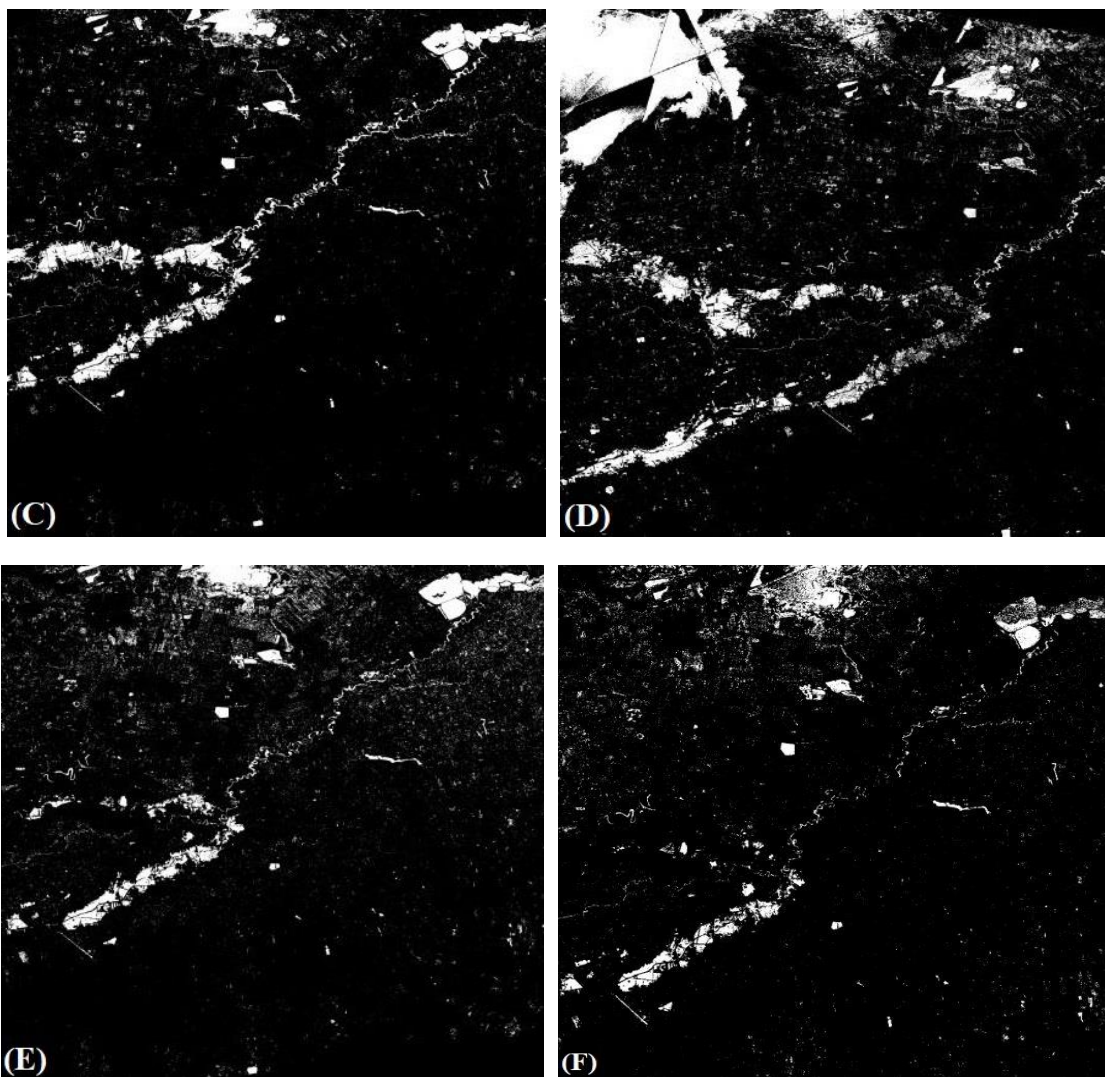
شکل ۴-۲: پهنه‌های سری زمانی سیلاب استخراج شده از تصاویر ماهواره سنتینل-۱

به منظور تبدیل پهنه‌ها به حالت غیرفازی باند Sigma0_vv_db را در Band Math انتخاب کرده سپس رابطه ۱-۴ را اعمال می‌کنیم تا مقادیر کوچکتر از ۱۶- دسی-بل را تبدیل به ارزش صفر که نشان دهنده پهنه‌های غیرسیلابی و مقادیر بزرگتر از ۱۶- دسی-بل را به ارزش یک که نشان دهنده پهنه‌های سیلابی است تبدیل کند.

if sigma0_vv_db < -16 then 1 else NaN (رابطه ۱-۴)

پهنه‌های سیلاب در حالت فازی در شکل ۳-۴ برای سری زمانی مورد نظر نشان داده شده است، سپس این تصاویر با فرمت GeoTIFF ذخیره شدند و برای محاسبه مساحت پهنه‌های سیلاب به نرم افزار Arc-Map منتقل شدند.



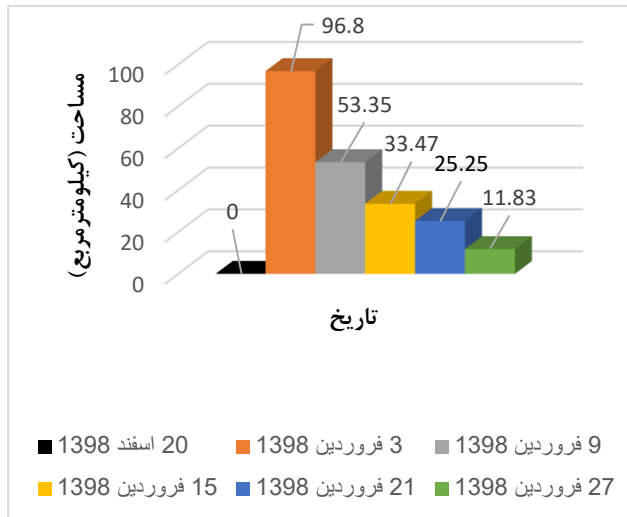


شکل ۴-۳: تصاویر فازی پهنه‌های سیلاب، (A) ۲۰ اسفند ۱۳۹۷ قبل از وقوع سیل، (B) ۳ فروردین ۱۳۹۸، (C) ۲۷ فروردین ۱۳۹۸، (D) ۱۵ فروردین ۱۳۹۸، (E) ۲۱ فروردین ۱۳۹۸، (F) ۲۷ فروردین ۱۳۹۸

بعد از فراخوانی تصاویر به محیط نرم افزار Arc-Map با استفاده از دستور Raster to Polygon تصاویر به فرمت وکتوری تبدیل می‌شوند، سپس پلی‌گون‌های با مساحت کمتر از ۵۰۰ مترمربع که به عنوان بدییکسل شناخته می‌شدند از تصاویر حذف گردیدند. با هم‌پوشانی لایه مرز سیاسی شهر آق‌قلا و پهنه‌های سیلاب، مساحت پلی‌گون پهنه‌های سیلاب مربوط به شهر آق‌قلا برای سری زمانی مورد نظر محاسبه گردید که در جدول ۴-۱ نشان داده شده است و همچنین شکل ۴-۴ روند تغییرات مساحت سیلاب را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱: مساحت پهنه‌های سیلاب مربوط به شهر آق‌قلا

تاریخ	مساحت پهنه‌های سیلاب (کیلو متر مربع)
۲۰ اسفند ۱۳۹۷	۰/۰
۳ فروردین ۱۳۹۸	۹۶/۸
۹ فروردین ۱۳۹۸	۵۳/۳۵
۱۵ فروردین ۱۳۹۸	۳۳/۴۷
۲۱ فروردین ۱۳۹۸	۲۵/۲۵
۲۷ فروردین ۱۳۹۸	۱۱/۸۳

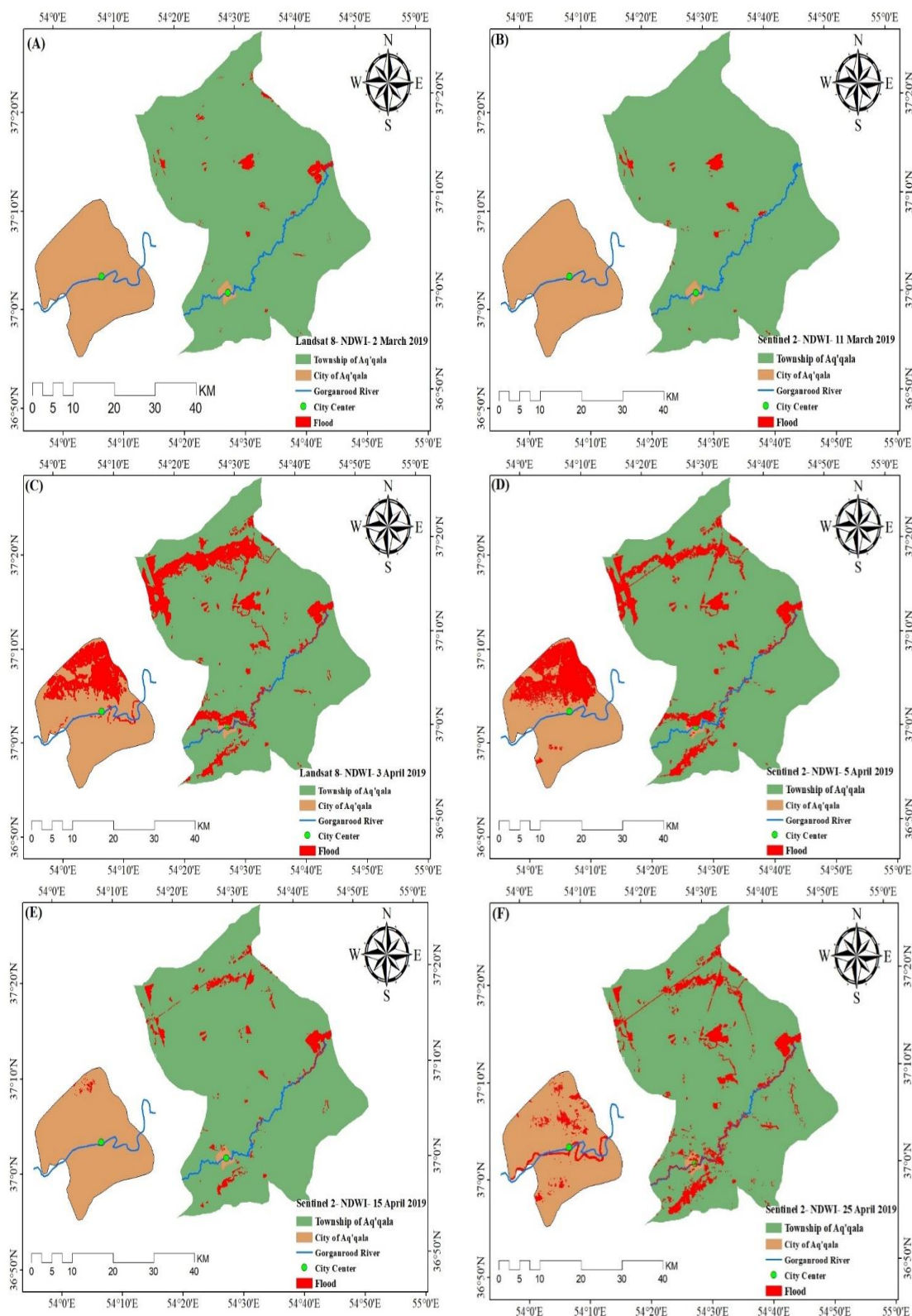


شکل ۴-۴: روند تغییرات مساحت پهنه‌های سیلاب مربوط شهر آق‌قلا

۴-۳- پهنه‌های سیلاب استخراج شده با استفاده از تصاویر سنتینل-۲ و لندست-۸

۴-۳-۱- پهنه‌های سیلاب استخراج شده به کمک شاخص NDWI

باند سبز در این شاخص بیشترین بازتاب را برای پهنه‌های سیلابی و کمترین بازتاب را برای پوشش گیاهی دارد و بر خلاف آن باند مادون قرمز نزدیک بیشترین بازتاب را پوشش‌های گیاهی و کمترین بازتاب را پهنه‌های سیلابی دارند. بعد از اعمال این شاخص پهنه‌های سیلابی به رنگ سیاه نمایان می‌شود. این شاخص دقیقاً پهنه‌هایی که در آنها آب وجود دارد را در نظر می‌گیرد. در شکل ۴-۵ تصاویر (A) و (B) مربوط به زمان قبل از سیلاب می‌باشد، که به ترتیب 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. تصاویر (C) و (D) که به ترتیب مربوط به ۱۴ فروردین و ۱۶ فروردین ۱۳۹۸ می‌باشد که اوج روزهای سیلابی است، و در تصاویر (E) و (F) با فروکش کردن سیلاب مقدار پهنه‌های سیلابی کاهش یافته است، مساحت پهنه‌های سیلاب سری زمانی مورد نظر برای شهرستان و شهر آق‌قلا به تفکیک در جدول ۴-۲ آورده شده است.



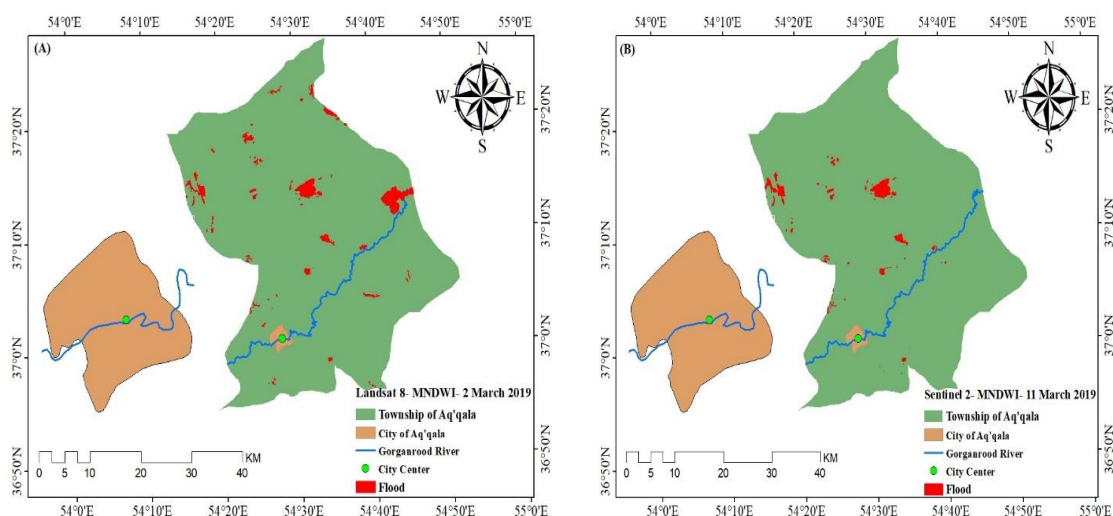
شکل ۴-۵: پهنه‌های سیلاب استخراج شده به کمک شاخص NDWI برای سری زمانی مورد نظر؛ (A) و (B) به ترتیب مربوط به ۱۱ و ۲۰ اسفند ۱۳۹۷ قبل از وقوع سیلاب؛ (C) و (D) بیشترین پهنه‌های سیلاب به ترتیب مربوط به ۱۴ و ۱۶ فروردین ۱۳۹۸؛ (E) و (F) به ترتیب مربوط به ۲۶ فروردین ۱۳۹۸ فروکش کردن سیلاب و ۵ اردیبهشت ۱۳۹۸ آبگرفتگی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

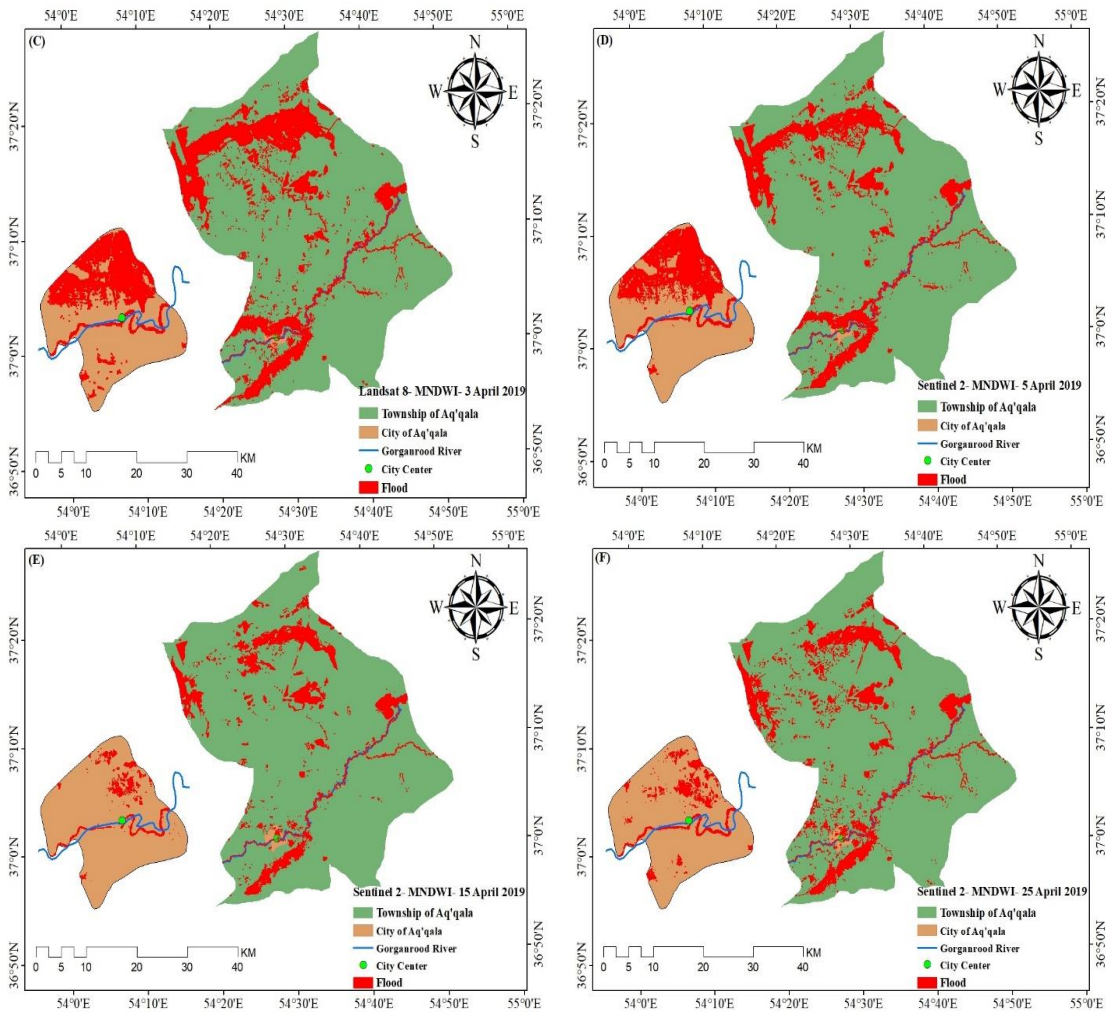
جدول ۴-۲: مساحت پهنه‌های سیلاب استخراج شده به کمک شاخص NDWI مربوط به شهرستان و شهر آق‌قلا

تاریخ	NDWI	
	شهرستان آق‌قلا (کیلومتر مربع)	شهر آق‌قلا (کیلومتر مربع)
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
۵ اردیبهشت ۱۳۹۸	۳۸,۳۱۵	۱,۳۰۸

۴-۳-۲- پهنه‌های سیلاب استخراج شده به کمک شاخص MNDWI

در این شاخص باند مادون قرمز طول موج کوتاه (SWIR-1) که طول موج آن در محدوده ۱۵۷۰ تا ۱۶۱۰ نانومتر جایگزین باند مادون قرمز نزدیک (NIR) شد، 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 به همین دلیل با اعمال این شاخص علاوه بر شناسایی سیلاب‌های به رنگ آبی، تمام پهنه‌های سیلابی که همراه با گل‌ولای به رنگ قهوه‌ای بود شناسایی شد. پهنه‌های بدست آمده در شکل ۴-۶ و همچنین مساحت آنها در جدول ۴-۳ ارائه شده است.





شکل ۴-۶: 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

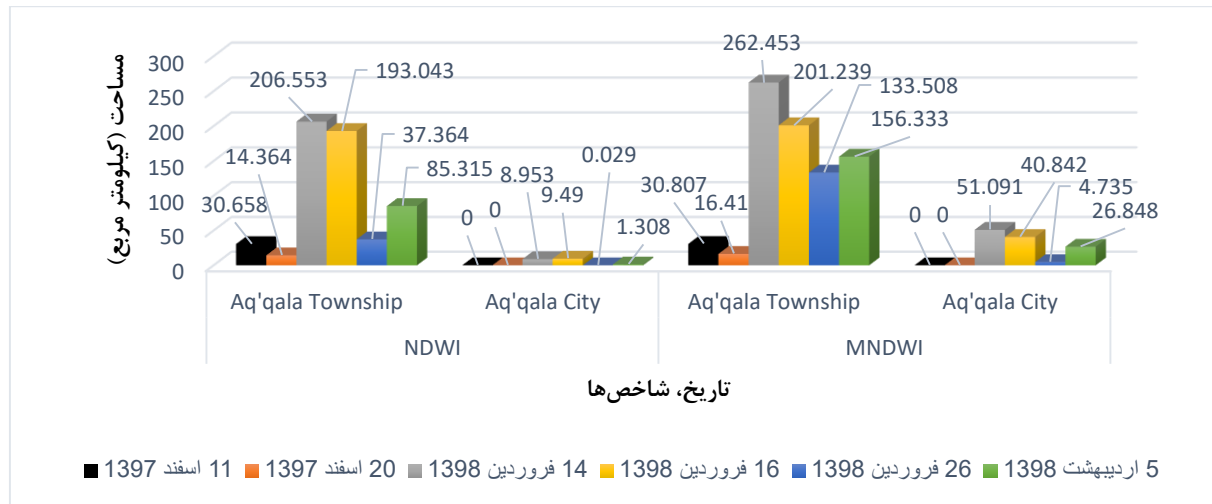
جدول ۴-۳: مساحت پهنه‌های سیلاب استخراج شده به کمک شاخص MNDWI مربوط به شهرستان و شهر آق‌قلا

تاریخ	MNDWI	
	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	۲۰۱,۲۳۹	۴۰,۸۴۲
۲۶ فروردین ۱۳۹۸	۱۳۳,۵۰۸	۴,۷۳۵
۵ اردیبهشت ۱۳۹۸	۱۵۶,۳۳۳	۲۶,۸۴۸

۴-۳-۳- مقایسه بین شاخص‌های MNDWI و NDWI و انتخاب حد آستانه شناسایی سیلاب

بعد از اعمال هر دو شاخص مقدار ارزش بازتاب پیکسل‌ها بین ۱- تا ۱+ قرار گرفت، پیکسل‌هایی که مقدار ارزش بازتاب آنها منفی بود به رنگ سیاه و پیکسل‌هایی که مقدار ارزش بازتاب آنها مثبت بود به رنگ سفید مشخص شد، به طوری که مقدار صفر مرز بین پهنه‌های سیلاب و غیر سیلاب در نظر گرفته شد. با توجه مرور تحقیقات پیشین 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. حدود آستانه‌ای که همزمان سیلاب آبی رنگ و قهوه‌ای رنگ را در نظر بگیرد با استفاده از شاخص MNDWI برای 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 منفی نشان دهنده مناطق خشک و فاقد آبگرفتگی بود. به طور کلی تصاویر مجموعه L2A سنجنده سنتینل-۲ بدلیل 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. بدلیل استفاده از باند SWIR-1 با طول موج بلندتر و نفوذ بیشتر نسبت به باند GREEN زمانی که بخواهیم مناطق با رطوبت بالا و سیلاب‌هایی که از دو طیف رنگی متفاوتی مانند آبی و قهوه‌ای تشکیل شده است را شناسایی کنیم شاخص MNDWI از شاخص NDWI نتایج بهتری نشان می‌دهد. 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. نمودار تغییرات

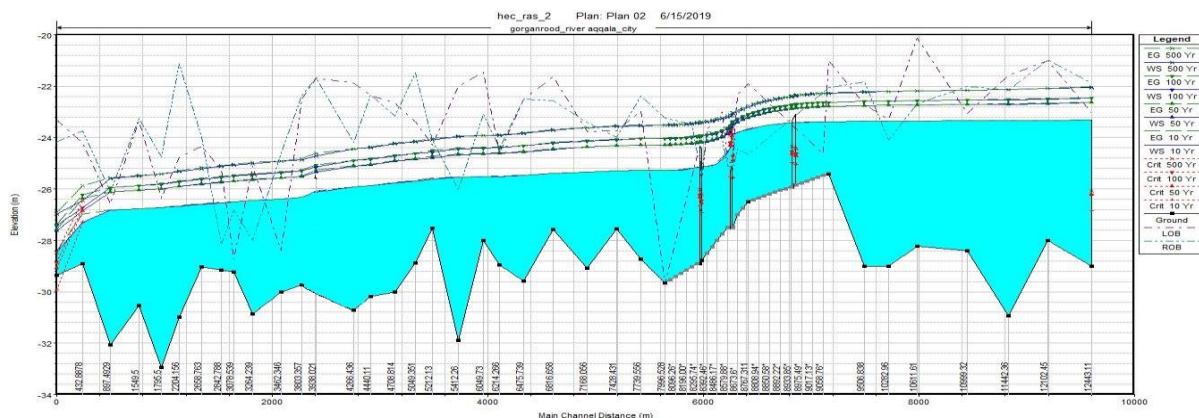
مساحت پهنه‌های سیلاب بر اساس شاخص‌ها، سری زمانی برای شهرستان و شهر آق‌قلا در شکل ۴-۷ نشان داده شده است.



شکل ۴-۷: تغییرات مساحت آبرفتگی بر اساس شاخص‌ها، سری زمانی مربوط به شهرستان و شهر آق‌قلا

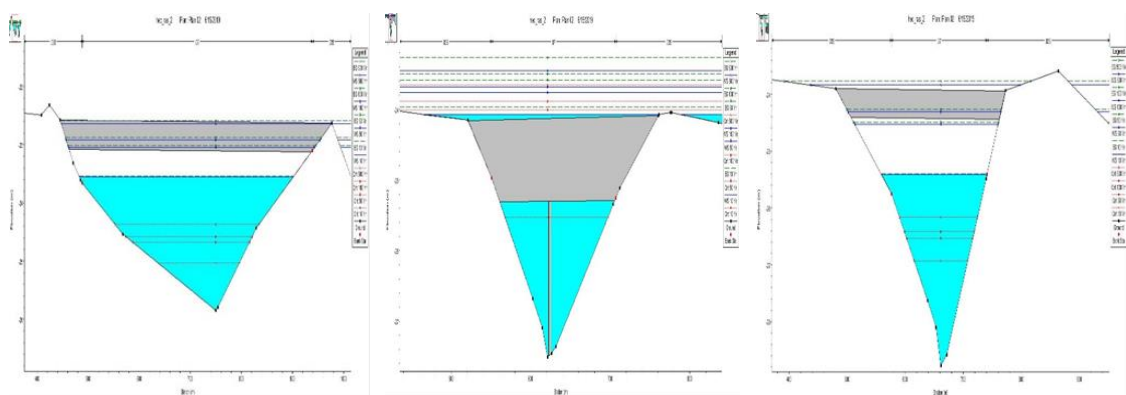
۴-۴- پهنه‌های سیلاب شبیه‌سازی شده به کمک نرم افزار HEC-RAS

بسیاری از خصوصیات از جمله رقوم سطح آب به ازای دبی در دوره بازگشت ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله، پروفیل سطح آب در هر بازه، نحوه توزیع سرعت، منحنی سنجه دبی، عمق بحرانی جریان، سطح و محیط خیس شده، شعاع هیدرولیکی، میانگین عمق، عدد فرود و رژیم جریان در مقاطع مختلف استخراج گردید.



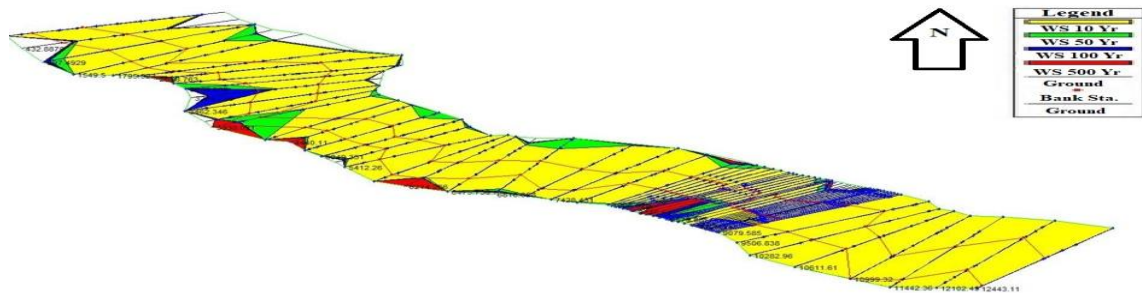
شکل ۴-۸: پروفیل طولی ۱۰ کیلومتر از بستر کانال و سطح جریان سیلاب برای دوره بازگشت‌های ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله

تراز رودخانه در مقطع اول تقریبا برابر ۲۹- متر و تراز رودخانه در مقطع آخر برابر ۳۰- متر می باشد. همانطور که در شکل ۴-۸ مشخص می باشد در طول حدود ۱۰ کیلومتر از رودخانه گرگانود شیب شرقی- غربی بسیار کمی وجود دارد، که این موضوع خود باعث عدم حرکت سیلاب شده و در مقطعی که پل وجود دارد مخصوصا پل تاریخی آق قلا به دلیل وجود دهانه های کوچک تراز سطح آب به ناگهان افزایش پیدا می کند. شکل ۴-۹ مقاطع عرضی پلهایی است که از بر روی رودخانه گرگانود در محدوده شهری قرار دارند را نشان می دهد.



شکل ۴-۹: مقاطع عرضی پلهای موجود بر رودخانه گرگانود، تصویر وسط پل تاریخی آجری آق قلا و تصاویر چپ و راست پلهای بتنی

با ارسال نتایج بدست آمده از HEC-RAS به GIS، این نرم افزار مناطق سیل گیر اطراف رودخانه و اراضی تحت تاثیر سیل را به خوبی نمایش می دهد و می توان حریم اطراف رودخانه را از زوایای مختلف مورد بررسی قرار دارد و نتیجه گیری کرد. شکل ۴-۱۰ پهنه های سیلاب رودخانه گرگانود را در طول حدود ۱۰ کیلومتر که در محدوده شهری قرار دارد را نمایش می دهد.



شکل ۴-۱۰: پهنه های سیلاب رودخانه گرگانود، شبیه سازی شده به کمک نرم افزار HEC-RAS، زرد دوره بازگشت ۱۰ ساله، سبز دوره بازگشت ۵۰ ساله، آبی دوره بازگشت ۱۰۰ ساله و قرمز دوره بازگشت ۵۰۰ ساله

با توجه به افزایش دوره بازگشت سیلاب، بر مقدار دبی عبوری رودخانه افزوده شده و به تبع آن میزان آبگرفتنی و مساحت تحت پوشش سیلاب افزایش یافته است. مساحت پهناهای سیلاب برای دوره بازگشت‌های ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰ ساله در سواحل سمت چپ و راست رودخانه بر اساس حریم (کمی) ۲۰ متری و (کیفی) ۱۵۰ متری (رودخانه گرگانرود) در جدول ۴-۴ و شکل ۴-۱۱ نشان داده شده است.

جدول ۴-۴: مساحت پهناهای سیلاب براساس حریم کمی و کیفی رودخانه گرگانرود، دوره بازگشت ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله

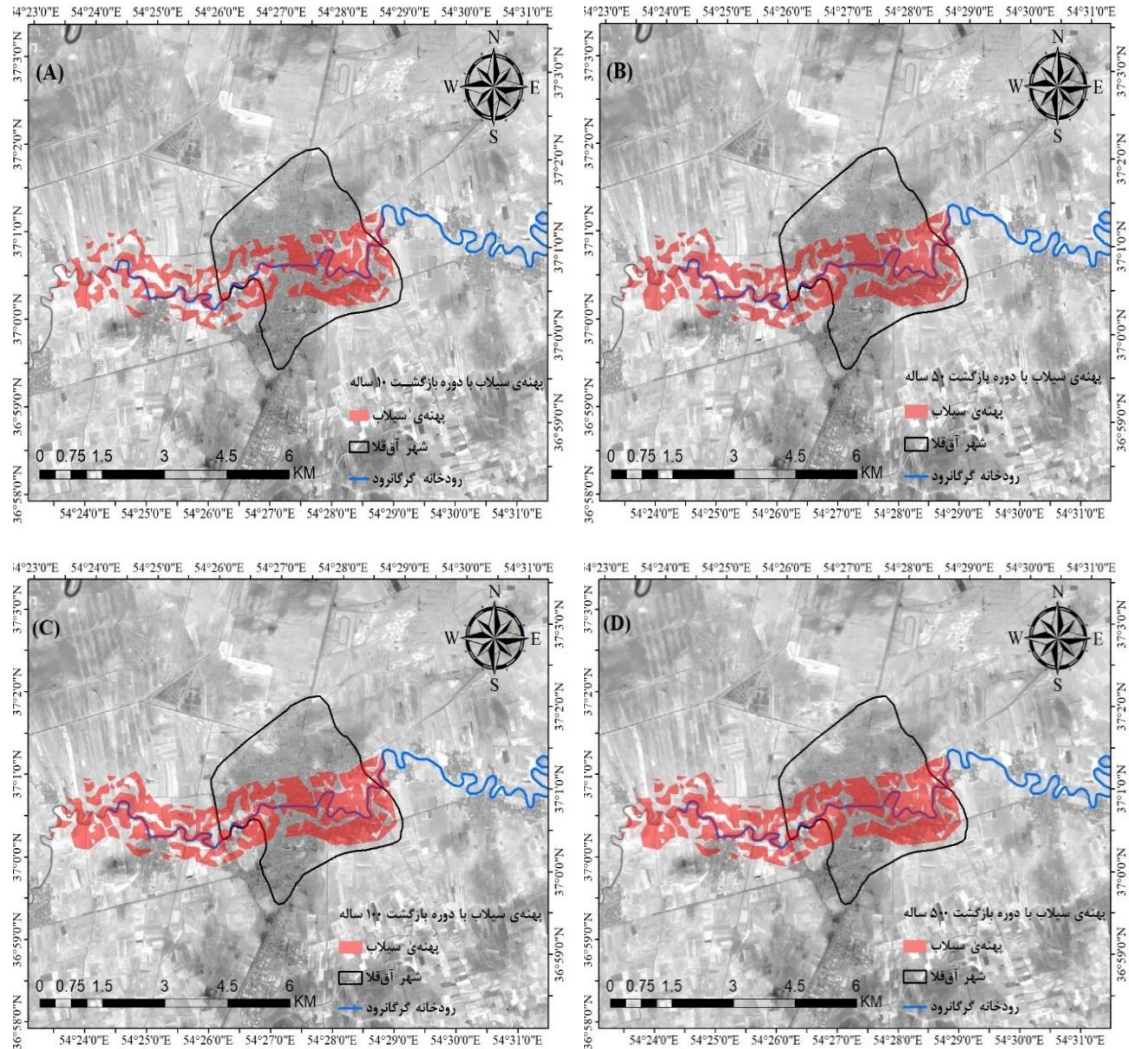
دوره بازگشت ۵۰۰ ساله	دوره بازگشت ۱۰۰ ساله	دوره بازگشت ۵۰ ساله	دوره بازگشت ۱۰ ساله	مساحت سیلاب
۷/۰۷۴	۶/۲۷۷	۶/۰۱۵	۴/۸۸۱	حریم کمی ۲۰ متری (کیلومتر مربع)
۷/۷۹۷	۷/۱۲۳	۶/۸۱۱	۵/۵۷۳	حریم کیفی ۱۵۰ متری (کیلومتر مربع)



شکل ۴-۱۱: مقایسه مساحت پهناهای سیلاب براساس دوره بازگشت و حریم کمی و کیفی

با توجه به اینکه جریان سیلاب در کانال‌های طبیعی یک جریان غیریکنواخت و غیردائم می‌باشد، لذا مقدار دبی و مقدار عدد فرود در مقاطع مختلف کانال متفاوت بوده. با توجه به اینکه جریان با حالت بحرانی مدل گردید لذا در بیشتر مقاطع عدد فرود کمتر از ۱ می‌باشد که نشان دهنده جریان زیربحرانی ($Fr < 1$)، و تنها در ۲۰۰ متر ابتدای کانال عدد فرود نزدیک به بحرانی ($Fr = 1$) بود. پهناهای سیلاب

با توجه به حریم ۱۵۰ متری رودخانه گرگانرود در محدوده شهری برای دوره بازگشت های ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰ ساله در شکل ۴-۱۲ نشان داده شده است.

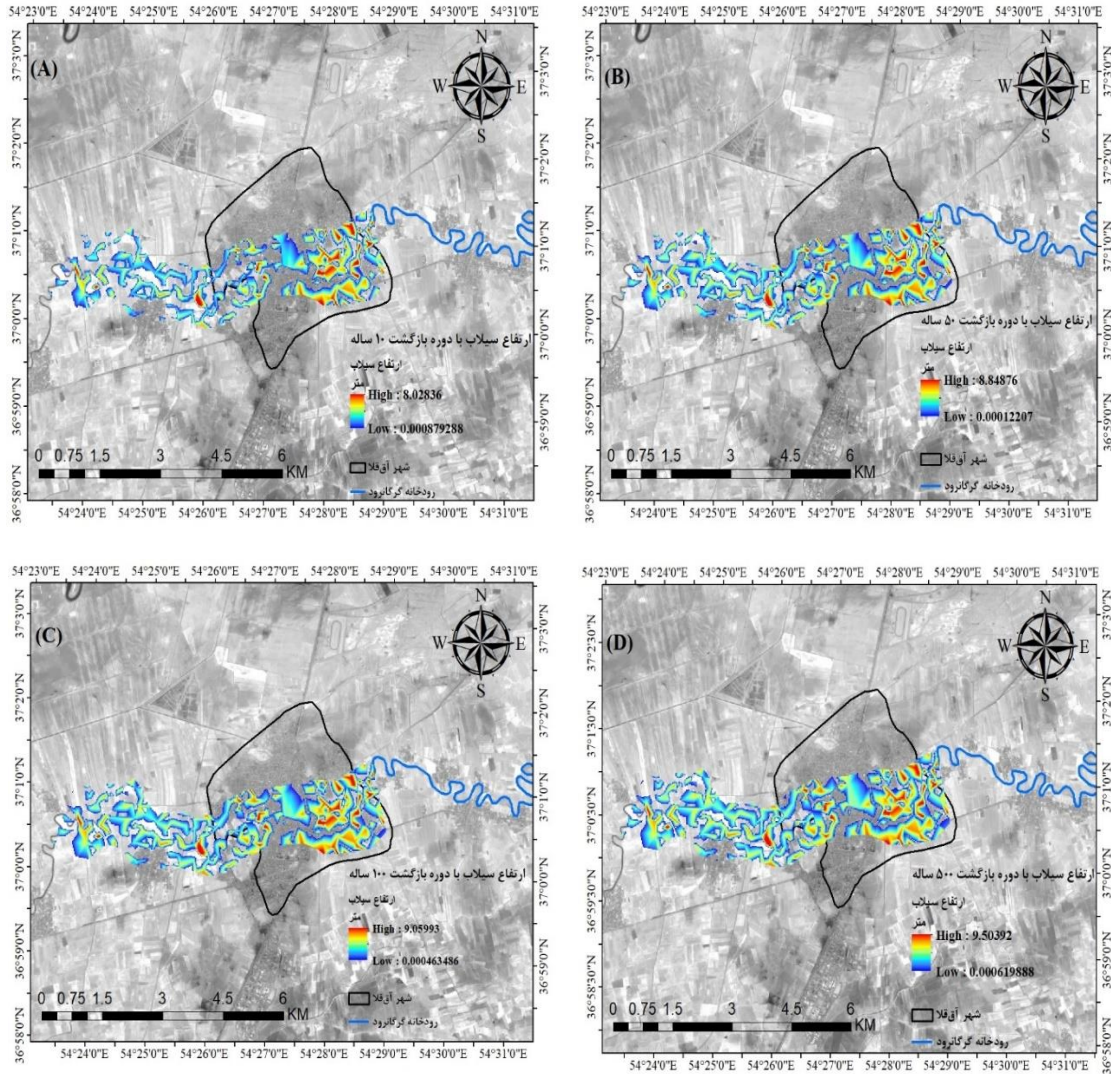


شکل ۴-۱۲: پهنه‌های سیلاب شبیه‌سازی شده رودخانه گرگانرود، (A) دوره بازگشت ۱۰ ساله، (B) دوره بازگشت ۵۰ ساله، (C) دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، (D) دوره بازگشت ۵۰۰ ساله

همچنین مقدار عمق سیلاب بر اساس دوره بازگشت‌های مذکور با توجه به نقشه مدل رقومی ارتفاعی و دبی سیلاب محاسبه گردید. بیشترین عمق سیلاب مربوط به دوره بازگشت ۵۰۰ ساله به ارتفاع نه متر بود که در حدفاصل روستای یامپی تا شهر آق‌قلا قرار دارد، علت ارتفاع زیاد سیل در این ناحیه تراز

پایین تر نسبت به نقاط اطراف خود می باشد. ارتفاع سیلاب برای دوره بازگشت های مذکور در شکل ۴-

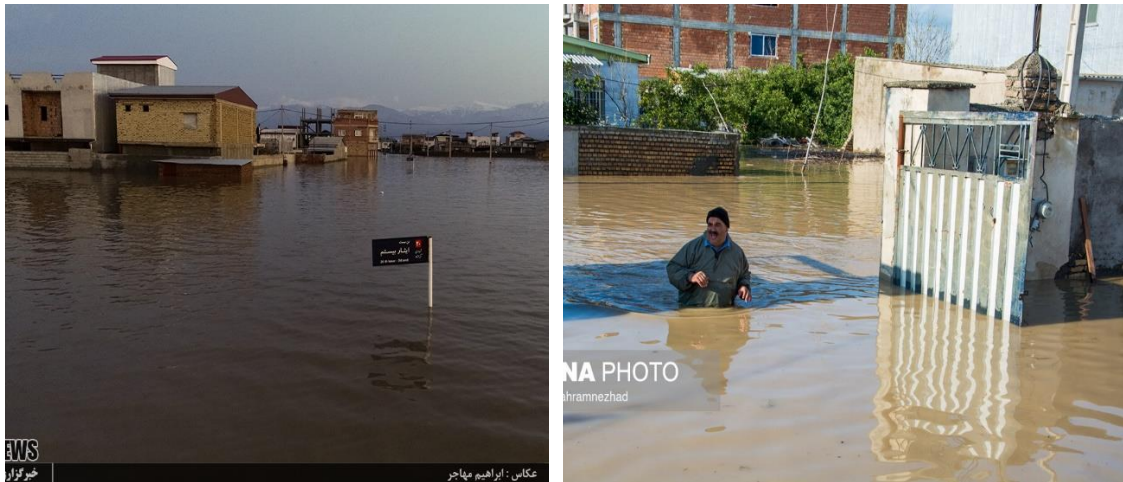
۱۳ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۳: ارتفاع سیلاب در محدوده شهری رودخانه گرگانرود، (A) دوره بازگشت ۱۰ ساله، (B) دوره بازگشت ۵۰ ساله، (C) دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، (D) دوره بازگشت ۵۰۰ ساله

ارتفاع آب محاسبه شده از تفاضل سطح جریان با مدل رقومی ارتفاع بدست آمده است. عمق سیلاب محاسبه شده براساس تفاضل رقوم سطح آب و مدل رقومی ارتفاعی بدست آمده است. بیشترین عمق سیلاب مربوط به دوره بازگشت ۵۰۰ ساله برابر نه متر می باشد که این ارتفاع سیلاب در کانال رودخانه گرگانرود می باشد. میانگین ارتفاع کانال در محدوده شهر آق قلا برابر هفت متر می باشد که دو متر از

ارتفاع سیلاب خارج از بستر کانال می‌باشد. با توجه به تصاویر میدانی گرفت شده از سیل فروردین ۱۳۹۸ آق قلا که دوره بازگشت آن ۵۰۰ ساله بود بیشترین ارتفاع سیلاب در شهر آق قلا حدوده دو متر ثبت شده بود. این صحت‌سنجی در شکل ۴-۱۴ نشان داده شده است.

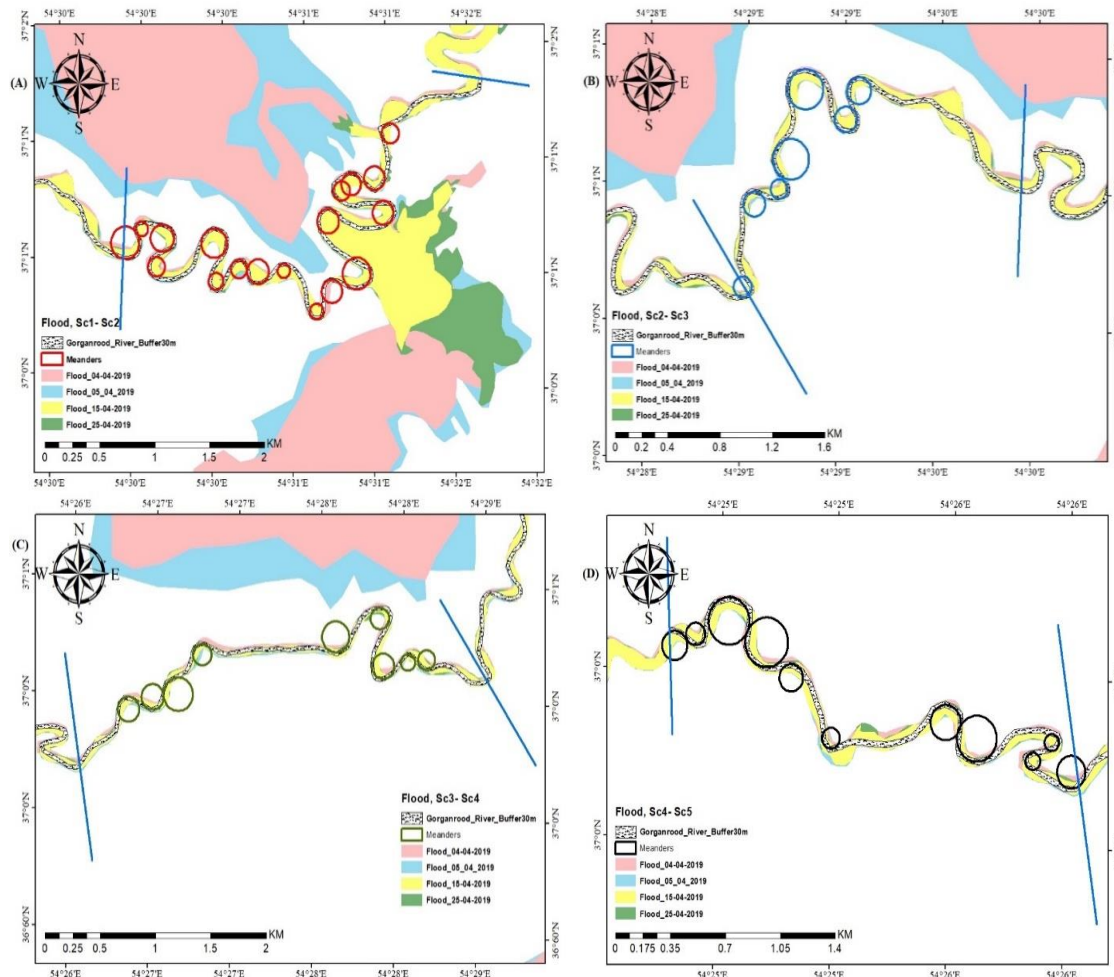


شکل ۴-۱۴: ارتفاع سیلاب در شهر آق قلا

۴-۵- اثرات مرفولوژی کانال رودخانه بر پهنه‌های سیلاب

با توجه به سینوزیته کانال در بازه اول و دوم قبل از شهر که در محدوده شرقی شهر آق قلا قرار دارد، این مقدار برابر ۳,۸۸ می‌باشد که در واقع نشان دهنده رودخانه از نوع پیچانرودی شدید می‌باشد. در تاریخ ۱۶ فروردین بیشترین حجم سیلاب خارج شده از بستر رودخانه در این محدوده قرار داشته است، در واقع اولین پیچ در بازه‌ی اول با شعاع حدوداً ۸۰ متر باعث خروج سیلاب از بستر شده و با توجه به شیب و توپوگرافی و نبود پوشش گیاهی مناسب سیلاب با سرعت وارد دشت سیلابی واقع در شمال شهر آق قلا شده و از مناطق شمالی شهر وارد مرکز شهر شده است. سینوزیته کانال در بازه‌ی سوم داخل شهر برابر ۱,۴۱۴ می‌باشد که از نوع پیچانرودی است. اما با توجه به اینکه میانگین عرض بستر کانال در این محدوده بیشتر از میانگین عرض بستر کانال در بازه‌ی اول و دوم می‌باشد و در برخی مناطق رودخانه دیواره‌سازی و کف‌سازی صورت گرفته حجم سیلاب به نسبت کمتری از کانال خارج شد و در هیچ کدام

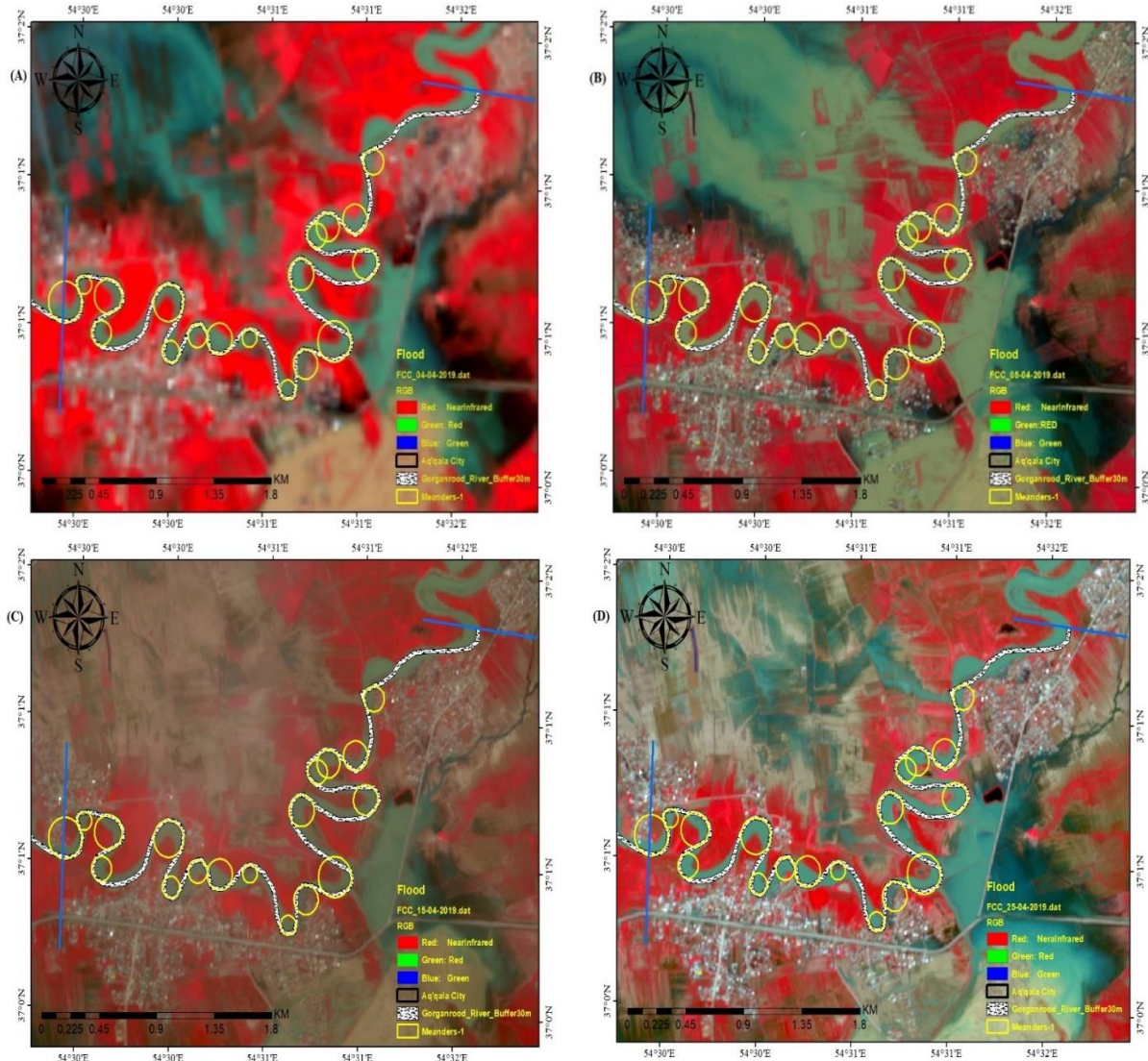
از تصاویر ماهواره‌ای سری زمانی گرفته شده در این نواحی سیلاب خارج شده از کانال مشخص نشد. در شکل ۴-۱۵ اثر پیچانرودها بر پهنه‌های سیلاب خارج شده از بستر نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۵: تعداد و شعاع پیچانرودها در طول رودخانه گرگانرود، (A) و (B) حدفاصل روستای سلاق یلقی تا شهر آق‌قلا، (C) بازه‌ی شهری آق‌قلا، (D) حدفاصل شهر آق‌قلا تا روستای دوگونچی

در بازه‌ی اول با توجه به وجود پیچانرود زیاد، میانگین شعاع قوس کمتر و عرض کم کانال و همچنین ورود سیلاب رودخانه قره‌سو به رودخانه گرگانرود در این بازه، باعث افزایش دبی و خروج سیلاب در این بازه شده است. با بررسی نسبت ابعاد شعاع به پهنای کانال در بازه‌ی اول مشخص شده این نسبت ابعاد در مقایسه با سایر بازه‌ها کمتر می‌باشد. وجود ریل راه‌آهن در شمال شهر آق‌قلا، مانع از حرکت سیلاب به سمت دشت‌های شمالی می‌شود، همچنین شیب عمومی زمین در بازه اول به سمت شمال و غرب می‌باشد که باعث برگشت جریان سیلاب به شهر آق‌قلا و آبگرفتگی مناطق شمالی این شهر می‌شود. اثر

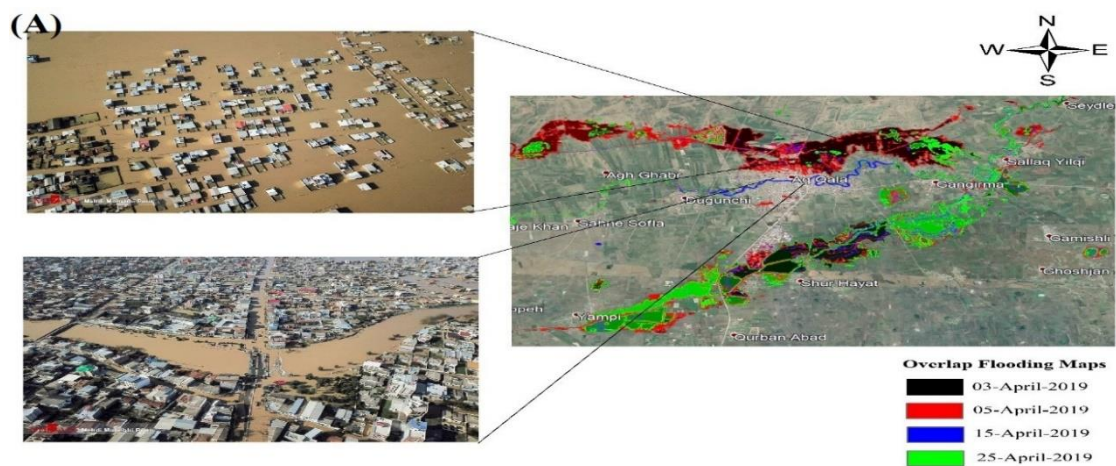
مرفولوژی رودخانه گرگانود بر خروج سیلاب در بازه اول حدفاصل روستای سلاق یلقی تا ابتدای شهر آق قلا برای سری زمانی سیلاب در شکل ۱۶-۴ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۶: پهنه های سیلاب سری زمانی با توجه به تعداد پیچانودها و شعاع آنها در بازه ی اول قبل از شهر آق قلا. (A) ۱۵ فروردین ۱۳۹۸، (B) ۱۶ فروردین اردیبهشت ۱۳۹۸، (C) ۲۶ فروردین ۱۳۹۸، (D) ۵ اردیبهشت ۱۳۹۸

با توجه به بررسی های صورت گرفته از شرایط مرفولوژی رودخانه گرگانود در حدفاصل روستای سلاق یلقی تا روستای گنگیرما مشخص شد تغییرات متوالی عرض بستر و عدم شیب مناسب بستر کانال و همچنین میانگین کمتر شعاع پیچانودها (۸۵ متر) نسبت به سایر بازه ها و از همه مهمتر وجود پیچانودهای زیاد با سینوزیته ۳,۸۸ که از نوع پیچانودی شدید می باشد باعث خروج سیلاب از کانال

رودخانه شده، در این بازه به علت شرایط توپوگرافی اراضی شمالی رودخانه، شیب عمومی منطقه به سمت شمال و شمال غرب می باشد و همین علت باعث هدایت سیلاب از این ناحیه به سمت شهر آق قلا شده است. در بازه‌ی دوم مقدار سینوزیته برابر ۲,۰۳۹ و میانگین شعاع پیچانرود برابر ۹۵ متر می باشد، در این بازه شرایط مرفولوژی تقریباً مناسب می باشد اما در حدفاصل روستای یامپی تا شهر آق قلا وجود پل بتنی با تراز کف بسیار پایین و پایه‌های نامناسب باعث کاهش سطح مقطع کانال شده و پس زدگی جریان سیلاب می شود و به تبع آن سیلاب وارده مناطق مسکونی می گردد. در بازه سوم که محدوده شهری آق قلا می باشد مقدار سینوزیته برابر ۱,۴۱۴ و میانگین شعاع پیچانرودها برابر ۹۶ متر می باشد، که شرایط کانال در برخی نقاط حساس مانند مجاورت پل‌ها دیواره سازی صورت گرفته است اما در سایر نقاط فاقد دیواره و شیب بستر مناسب بوده که عدم لایروبی بستر کانال باعث کاهش عمق رودخانه شده است. با توجه به خروج حجم عمده‌ی سیلاب در بازه‌ی اول، حجم سیلاب کمتری وارد محیط شهری شده است. در بازه‌ی چهارم که حد فاصل غربی شهر آق قلا تا روستای دوگونچی می باشد مقادیر سینوزیته و میانگین شعاع کانال به ترتیب ۱,۶۰۴ و ۸۶ متر می باشد و از شاخص ترین ایرادات مرفولوژی رودخانه در این ناحیه افزایش چشمگیر عرض کانال از ۴۵ متر به ۸۰ متر می باشد و شیب بسیار کم رودخانه در محدوده ۰,۰۰۰۱ تا ۰,۰۰۰۲ اشاره کرد که ۵۰ درصد کمتر از شیب رودخانه در بازه‌های اول می باشد، موارد ذکر شده در بازه‌ی چهارم باعث عدم حرکت سیلاب در این قسمت از رودخانه می شود. در بازه‌های اول، دوم و چهارم میانگین عرض بستر در پیچانرودها ۳۰ درصد نسبت به میانگین عرض بستر پیچانرودها در بازه‌ی سوم کمتر می باشد. شکل ۴-۱۷ مناطق حساس بازه‌های مورد مطالعه بر رودخانه گرگانرود را نشان می دهد.



شکل ۴-۱۷: (A) صحت‌سنجی سری زمانی پهینه‌های سیلاب بدست آمده با تصاویر هوایی، (B) مسیر رودخانه در بازه اول در نزدیکی روستای سلاق یلقی، (C) پل نامناسب در مسیر رودخانه در بازه دوم در نزدیکی شهر آق‌قلا، (D) تراز کف نامناسب پل و عدم لایروبی رودخانه در بازه سوم شهر آق‌قلا، (E) عدم دیواره‌سازی مناسب رودخانه در بازه سوم پل تاریخی آق‌قلا، (F) نبود شیب مناسب و تخلیه نخاله در حریم رودخانه و عدم دیواره‌سازی کانال در بازه چهارم، (G) تغییر شدید عرض رودخانه و شیب نامناسب و عدم لایروبی رودخانه در بازه‌ی چهارم

۴-۶- نقشه نهایی زیرمعیارهای طبقه‌بندی شده در محیط GIS

بعد از تبدیل همه لایه‌ها به فرمت رستری نیاز است تا متغیرهای همه لایه‌ها یکسان‌سازی و دارای ارزش شوند. بدین منظور تمام لایه‌ها به ۱۰ کلاس تقسیم‌بندی گردید به طوری که کلاس یک کمترین ارزش در وجود آمدن سیلاب و کلاس ۱۰ بیشترین ارزش در وجود آمدن سیلاب در شهرستان آق‌قلا و رودخانه گرگانرود را دارند.

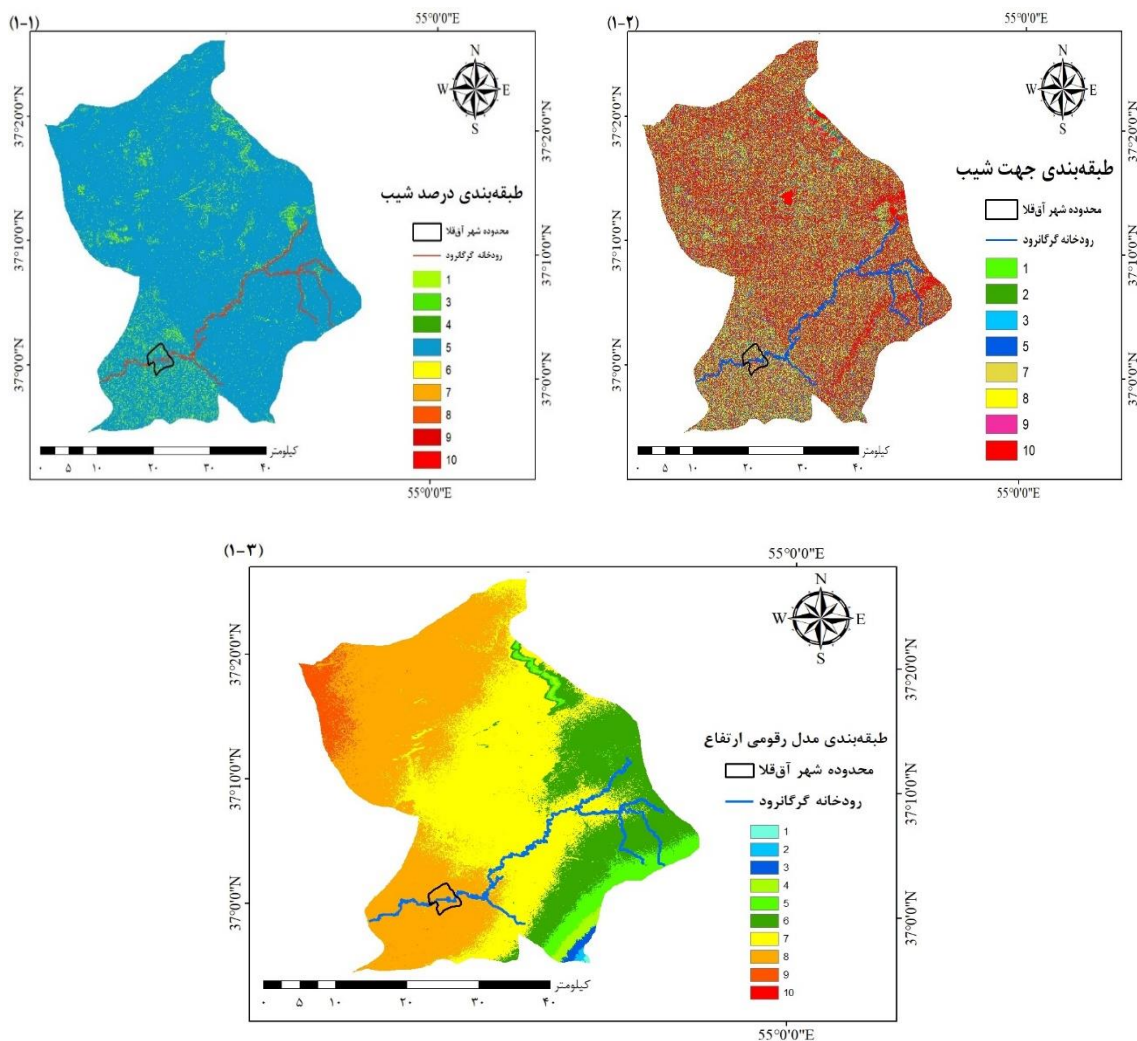
۴-۶-۱- معیار توپوگرافی

۱-۱ زیرمعیار درصد شیب: زیر معیار درصد شیب با توجه به اینکه حداقل و حداکثر درصد شیب زمین در شهرستان آق‌قلا به ترتیب صفر و ۱,۸ درصد می‌باشد و همچنین ۸۰ درصد از مساحت شهرستان آق‌قلا شیب زیر یک درصد دارد. شیب صفر تا ۰,۰۰۰۱ و شیب بالای ۱,۵ درصد ارزش ۱۰ در وجود آمدن سیلاب و شیب ۰,۰۰۰۴ تا یک درصد ارزش یک در وجود آمدن سیلاب وارد گردید.

۲-۱ زیرمعیار جهت شیب: با توجه به نقشه DEM منطقه، دشتهای شمالی ترکمن صحرا با شیب بسیار کم و زمین نسبتاً مسطح می‌باشد، به همین دلیل در طبقه‌بندی جهت شیب، مناطق مسطح و جهت شیب جنوبی ارزش ۱۰ و جهت شمالی ارزش یک وارد گردید و سایر جهات در مقادیر بینابین قرار گرفتند.

۳-۱ زیرمعیار مدل رقومی ارتفاعی: حداقل و حداکثر ارتفاع شهرستان آق‌قلا با توجه به نقشه DEM منطقه به ترتیب برابر ۶۰- و ۷۰ متر از سطح دریا می‌باشد که از جنوب و شرق به سمت غرب و شمال از مقدار آن کاسته می‌شود. حداکثر ارتفاع از سطح دریا در شرق شهرستان آق‌قلا برابر ۴۰ متر و حداقل آن در محدوده شهری آق‌قلا برابر ۱۶- متر می‌باشد. بیشترین ارزش ۱۰ به تراز منفی ۶۰ متر و کمترین ارزش یک به ۷۰ متر داده شد.

تصاویر طبقه‌بندی شده معیار توپوگرافی در شکل ۴-۱۸ نشان داده است.



شکل ۴-۱۸: (۱-۱) زیرمعیار درصد شیب، (۱-۲) زیرمعیار جهت شیب، (۱-۳) زیرمعیار مدل رقومی ارتفاع

۴-۶-۲- معیار هیدرواقلیم

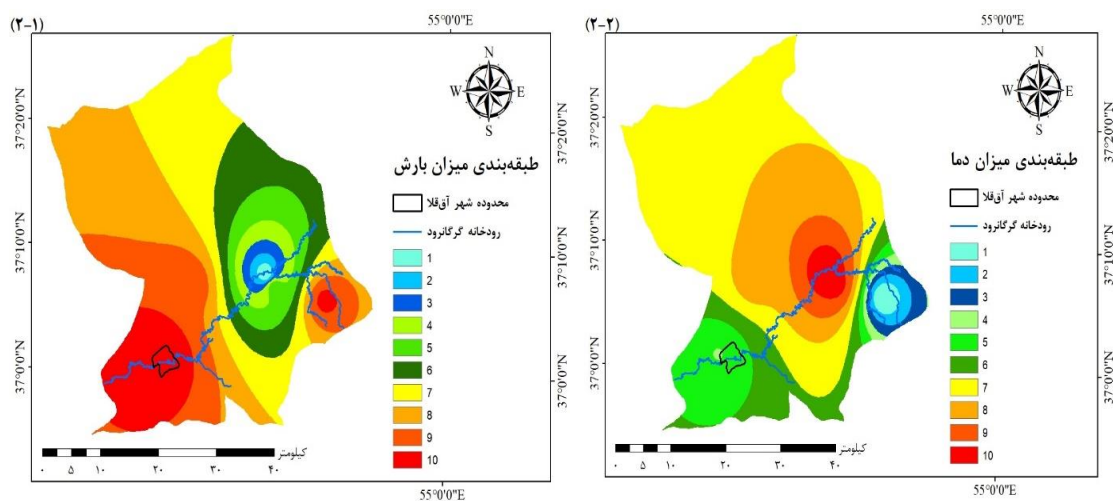
۲-۱ زیرمعیار بارش: با توجه به اطلاعات بارش ایستگاه سینوپتیک حیدرآباد، آق قلا، انبارالوم و آق قبر، مقادیر حداکثر بارش تجمعی سال آبی (از مهر تا مهر) به ترتیب ۵۴۹٫۷ و ۵۴۱٫۳ و ۲۸۶٫۵ و ۵۳۴٫۲ میلیمتر و مقدار بارش به تفکیک ماه جمع‌آوری گردید. بعد از طبقه‌بندی مجدد ارزش ۱۰ به ایستگاه آق قلا بیشترین بارش سالانه و ارزش یک به ایستگاه انبارالوم کمترین بارش سالانه وارد گردید.

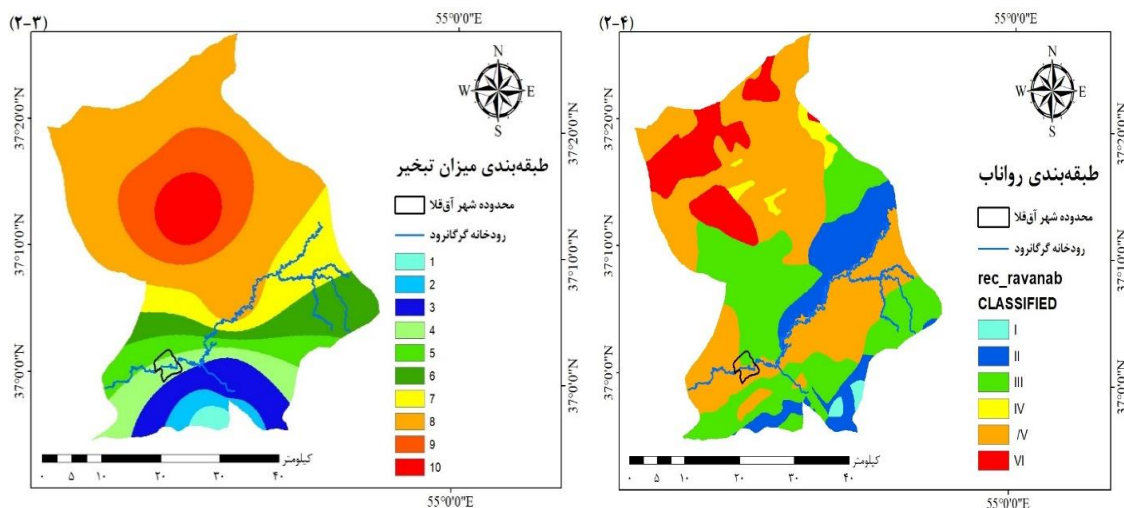
۲-۲ زیرمعیار دما: مقدار دمای متوسط سالانه (از مهر تا مهر) ایستگاه‌های هواشناسی آق‌قلا، مزرعه نمونه ارتش و سالیان تپه به ترتیب برابر ۲۰,۸ و ۲۰,۴ و ۲۰,۱ بدست آمد. ارزش ۱۰ به کمترین دمای سالانه و ارزش یک به بیشترین دمای سالانه داده شد.

۳-۲ زیرمعیار تبخیر: مقادیر حداقل و حداکثر تبخیر متوسط سالانه (از مهر تا مهر) برای دشت ترکمن صحرا به ترتیب از جنوب دشت تا شمال دشت از ۱۵۰۰ میلیمتر تا ۴۵۰ میلیمتر متغییر می‌باشد. ارزش ۱۰ به مقادیر تبخیر بیشتر از ۱۵۰۰ میلیمتر و کمتر از ۴۰۰ میلیمتر در سال وارد شد به دلیل اینکه در تبخیر کمتر از ۴۰۰ میلیمتر در سال زمین در حالت اشباع بوده و رواناب زیادی تولید می‌کند و تبخیر بیشتر از ۱۵۰۰ میلیمتر باعث خشک شدن زمین و عدم نفوذ مناسب سیلاب به عمق زمین شده و به مقدار تبخیر ۸۰۰ میلیمتر در سال ارزش یک داده شد.

۴-۲ زیرمعیار رواناب: میزان رواناب بر اساس نوع خاک منطقه که از درشت‌دانه متراکم تا ریزدانه متراکم تقسیم‌بندی شد و ارزش ده به خاک ریزدانه متراکم با نفوذ بسیار کم و ارزش یک به خاک درشت‌دانه متراکم با مقدار کم رس داده شد.

تصاویر طبقه‌بندی شده معیار هیدرواقلم در شکل ۴-۱۹ نشان داده است.





شکل ۴-۱۹: (۱-۲) زیرمعیار بارش، (۲-۲) زیرمعیار دما، (۳-۲) زیرمعیار تبخیر، (۴-۳) زیرمعیار رواناب

۴-۶-۳- معیار عوامل انسانی

۳-۱ زیرمعیار فاصله از مناطق مسکونی: با توجه به اینکه رودخانه گرگانرود از شهرها و روستاهای زیادی عبور می‌کند، مسیره‌های آسفالتی سطوح شهری و تراکم مناطق مسکونی باعث ایجاد رواناب و خطر به دام افتادگی سیلاب را افزایش می‌دهد و باعث به خطر افتادن جان و مال انسان‌ها می‌شود. ارزش ۱۰ به فاصله نزدیک‌ترین شهرها و روستاها به رودخانه گرگانرود داده شد و ارزش یک به مناطق شهری و روستایی دورتر از رودخانه گرگانرود داده شد.

۳-۲ زیرمعیار شرایط پل‌ها: حدود ۱۰ پل در مسیر رودخانه گرگانرود واقع شده‌اند، اما تعداد کمی از این پل‌ها دارای شرایط مناسب پایه و تراز کف مناسب می‌باشند. با بازدیدهای میدانی صورت گرفته از پل‌ها شرایط آنها بررسی شد. هر کدام از این شرایط باعث خروج و باعث عدم جریان مناسب سیلاب شده و خطرات زیادی را بوجود می‌آورند. ارزش ۱۰ به پل‌هایی داده شده که فاقد پایه‌های مناسب و تراز کف پایین بودند و ارزش یک به پل‌هایی که دارای پایه‌های مناسب و تراز کف مناسب بودند داده شد.

۳-۳ زیرمعیار فاصله از رودخانه: در حریم رودخانه گرگانرود کاربری‌های زیادی از جمله مناطق مسکونی، کشاورزی، باغ و غیره وجود دارد. ارزش ۱۰ به فاصله کمتر از ۲۰ متر از حریم کمی رودخانه داده شد و

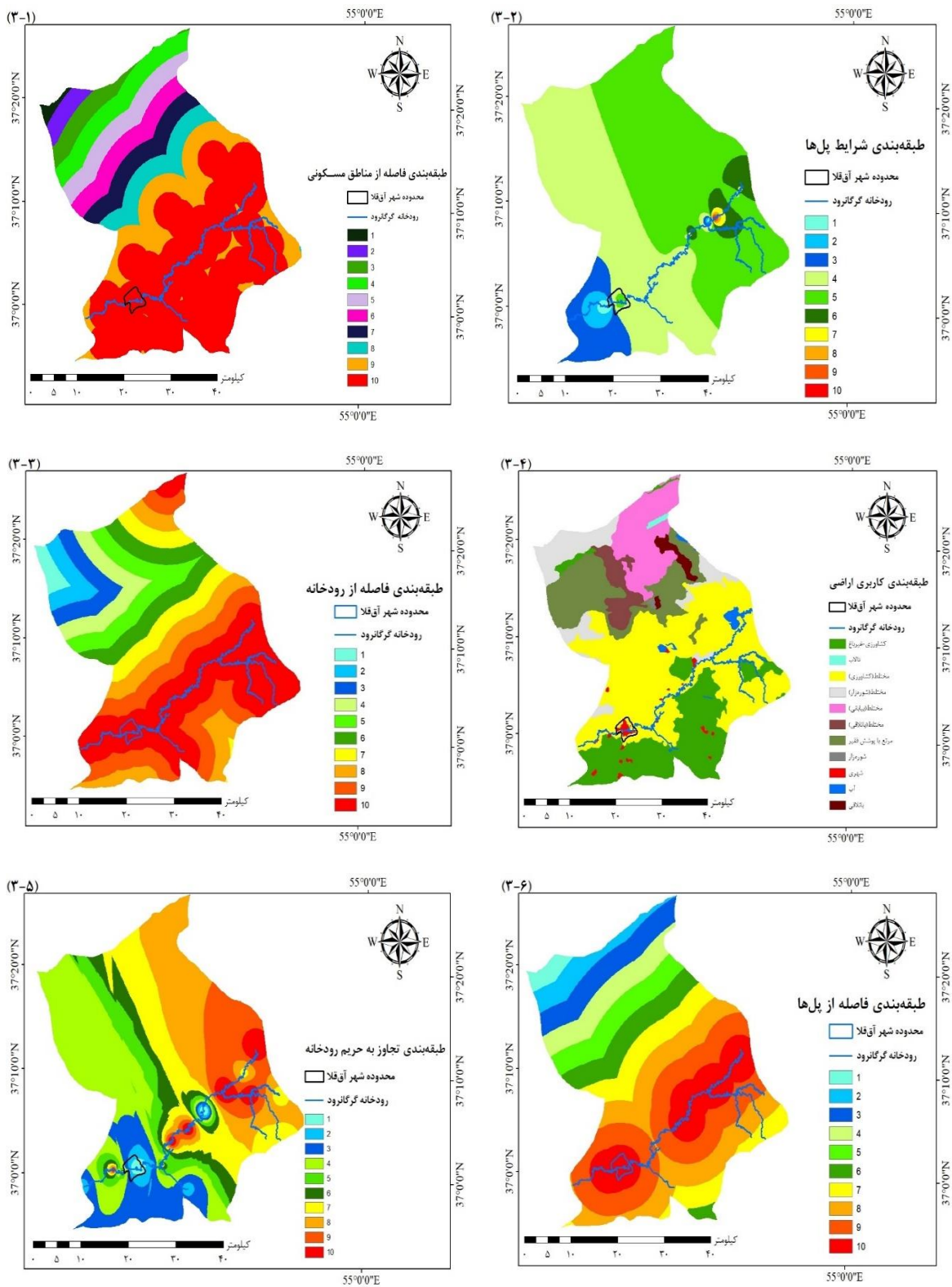
ارزش یک به فاصله بیشتر از ۸۰ متر از حریم کمی رودخانه داده شد. حریم کمی رودخانه گرگانود ۲۰ متر می باشد.

۴-۳ زیرمعیار کاربری اراضی: کاربری اراضی اطراف رودخانه گرگانود شامل کاربری های کشاورزی و باغ، مناطق شوره زار، مراتع با پوشش فقیر و غیر می باشد، در بوجود آمدن خطر سیلاب ارزش ۱۰ به مناطق مسکونی داده شده و ارزش یک به مناطق کشاورزی و باغ داده شده که باعث کاهش سرعت سیلاب و نفوذ بیشتر سیلاب به زمین شده و به نسبت باعث کاهش خطر سیلاب می شود.

۵-۳ زیرمعیار تجاوز به حریم رودخانه: یکی از علل مهم در بوجود آمدن سیلاب در رودخانه گرگانود تجاوز به حریم کمی این رودخانه اعم از ساخت و ساز در نزدیکی رودخانه، تخلیه نخاله در رودخانه و حریم آن و غیره می باشد. در رودخانه گرگانود بیشترین تجاوز به حریم شامل ساخت و ساز در حریم می باشد که ارزش ۱۰ در بوجود آمدن سیلاب را دارند و ارزش یک به زمین های بایر و کشاورزی در بوجود آمدن سیلاب داده شد.

۶-۳ زیرمعیار فاصله از پل ها: پل های نامناسب ساخته شده بر روی رودخانه گرگانود باعث تنگ شدگی عرض بستر و به دام انداختن گل ولای و زباله ها در نزدیکی پل ها می شود و خطرات زیادی را هنگام وقوع سیلاب بوجود می آورد. ارزش ۱۰ به فاصله کمتر از ۵۰ متر از پل ها و ارزش یک به فاصله بیشتر از ۲۰۰ متر از پل ها داده شد.

تصاویر طبقه بندی شده معیار عوامل انسانی در شکل ۴-۲۰ نشان داده است.

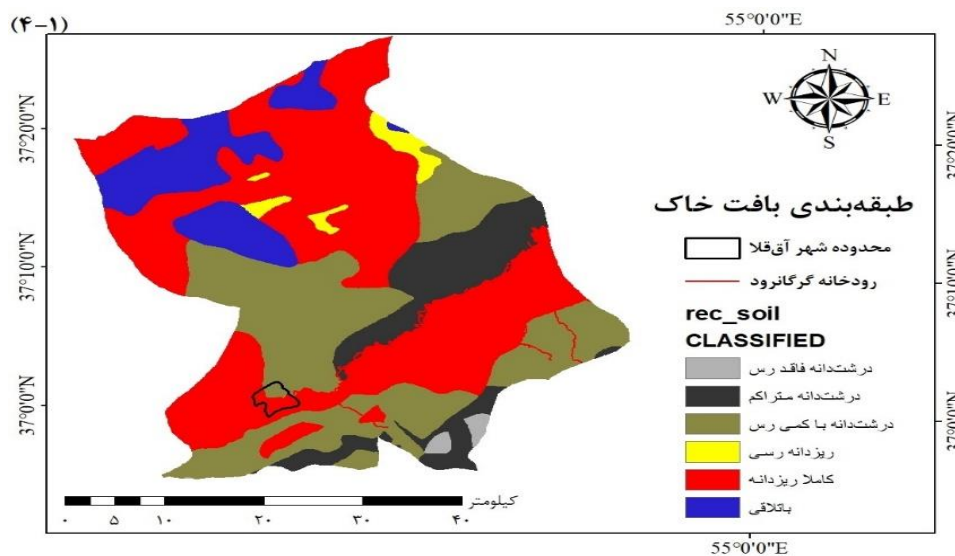


شکل ۴-۳: (۳-۱) زیرمعیار فاصله از مناطق مسکونی، (۳-۲) زیرمعیار شرایط پل‌ها، (۳-۳) زیرمعیار فاصله از رودخانه، (۳-۴) زیرمعیار کاربری اراضی، (۳-۵) زیرمعیار فاصله از پل‌ها

۴-۶-۴- معیار زمین شناسی

۱-۴ زیرمعیار بافت خاک: برای شناسایی نوع بافت خاک منطقه اطلاعات خاکشناسی دشت ترکمن صحرا از اداره آبخیزداری جمع‌آوری گردید که شامل خاک‌های درشت دانه با رس کم در مناطق جنوبی دشت تا ریزدانه متراکم در شمال دشت متغیر بود. بافت خاک شهرستان آق‌قلا بیشتر از نوع شن و ماسه متراکم با مقداری رس می‌باشد که در طبقه بندی نوع خاک، تیپ II می‌باشد. ارزش ۱۰ به خاک ریزدانه متراکم و ارزش یک به شن و ماسه فاقد رس داده شد.

تصویر طبقه‌بندی شده معیار زمین‌شناسی در شکل ۴-۲۱ نشان داده است.



شکل ۴-۲۱: (۴-۱) زیرمعیار بافت خاک

۴-۶-۵- معیار عوامل مرفولوژی

۱-۵ زیرمعیار ضریب خمیدگی (سینوزیته): در حدفاصل روستای سلاق‌یلقی تا شهر آق‌قلا سینوزیته کانال ۲,۲ می‌باشد که از نوع رودخانه با پیچانرود شدید است. پیچانرود زیاد با عرض بستر کم و عمق

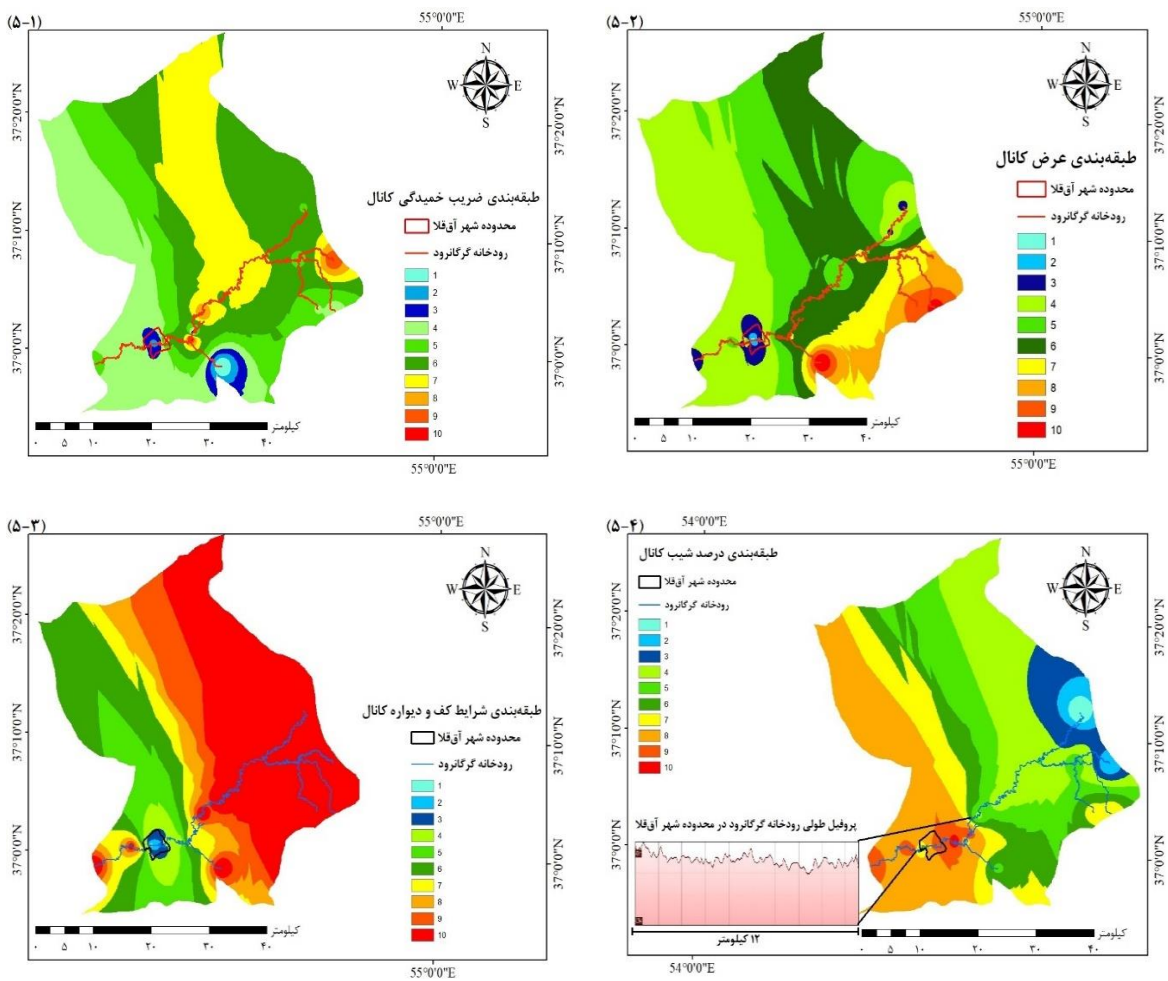
کم کانال از مهمترین علل خروج سیلاب از بستر رودخانه می‌باشد. ارزش ۱۰ به ضریب سینوزیته بالاتر از ۲,۵ و ارزش یک به ضریب سینوزیته کمتر از ۱,۵ داده شد.

۲-۵ زیرمعیار عرض کانال: با توجه به تغییرات پیوسته عرض کانال رودخانه‌ها، عرض متوسط کانال در بازه‌های مورد بررسی حدود ۳۰ متر بود که در برخی نقاط تا ۸۰ و ۹۰ افزایش یافته است و در برخی نقاط به ۱۰ تا ۱۵ متر کاهش یافته بود. عرض کم کانال در جریان سیلاب با دوره بازگشت‌های بالا توان عبور حجم سیلاب را نداشته و باعث خروج سیلاب از بستر کانال می‌شود. ارزش ۱۰ به عرض بستر کمتر از ۱۵ متر و ارزش یک به عرض بستر بالاتر از ۴۵ متر داده شد.

۳-۵ زیرمعیار شرایط کف و دیواره کانال: با توجه به شرایط رودخانه گرگانرود در برخی بازه‌ها که از مناطق شهری عبور می‌کنند کانالیزه کردن رودخانه می‌تواند کمک بزرگی به کنترل سیلاب کند. مناطق غربی این رودخانه شیب بستر به کمتر از ۰,۰۰۰۲ می‌رسد که باعث عدم حرکت سیلاب می‌شود، در این مناطق بسترسازی مناسب می‌تواند تا حدود زیادی مشکل عبور سیلاب را حل نماید. ارزش ۱۰ به مناطقی از رودخانه که فاقد دیواره مناسب بوده و شرایط کف بستر، شیب کم و گل‌ولای زیادی داشت، داده شد و ارزش یک به مناطقی که دیواره‌سازی صورت گرفته و بستر رودخانه در شرایط نرمال و مناسب بود داده شد.

۴-۵ زیرمعیار شیب کانال: با توجه به شرایط توپوگرافی منطقه، شیب عمومی زمین در شرق شهرستان آق‌قلا به سمت غرب بوده و شیب بستر رودخانه در محدوده ۰,۰۰۰۳ تا ۰,۰۰۰۵ می‌باشد، شیب عمومی زمین در شهر آق‌قلا تقریباً مسطح بود و شیب بستر رودخانه در محدوده ۰,۰۰۰۱ تا ۰,۰۰۰۳ قرار دارد، اما در غرب شهرستان آق‌قلا شیب عمومی زمین به سمت شرق بوده و شیب بستر رودخانه در محدوده ۰,۰۰۰۱ و در نزدیکی دریای خزر به صفر می‌رسد که باعث پس‌زدگی جریان سیلاب می‌شود. ارزش ۱۰ به مناطق غربی شهرستان با شیب کمتر از ۰,۰۰۰۱ داده شد و ارزش یک به مناطق شرقی شهرستان با شیب بیشتر از ۰,۰۰۰۴ داده شد.

تصاویر طبقه‌بندی شده معیار عوامل مرفولوژی در شکل ۴-۲۲ نشان داده است.

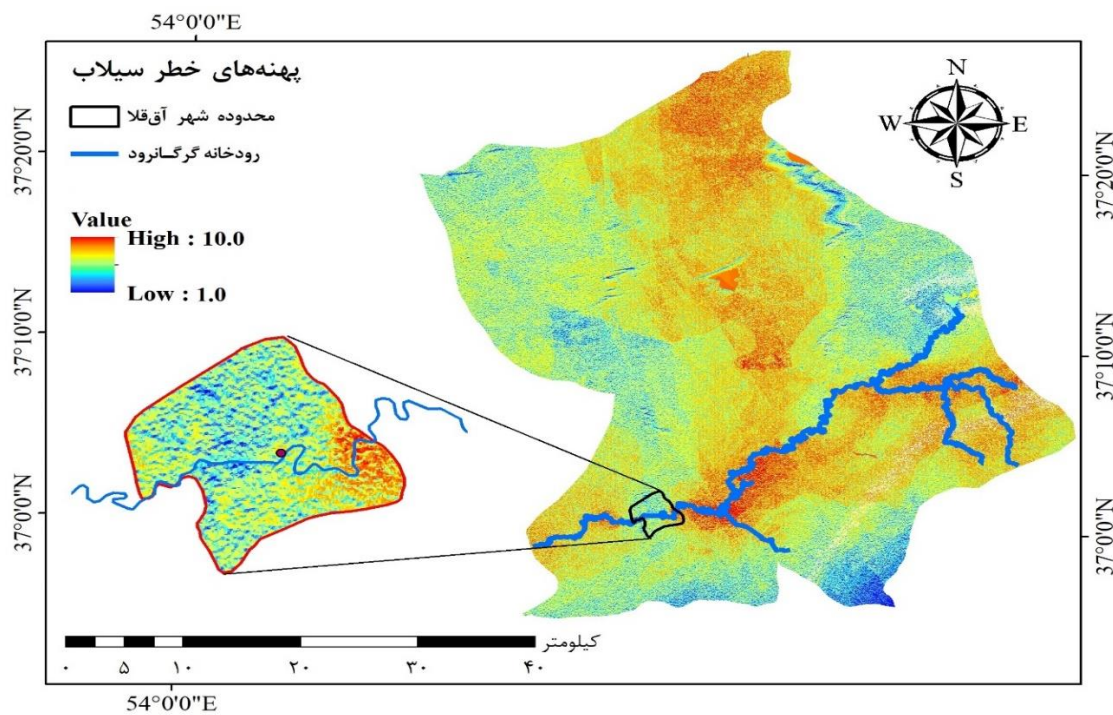


شکل ۴-۲۲: (۵-۱) زیرمعیار ضریب خمیدگی، (۵-۲) زیرمعیار عرض کانال، (۵-۳) زیرمعیار شرایط کف و دیواره، (۴-۵) زیرمعیار درصد شیب کانال

۴-۷- نقشه‌های خروجی پهنه‌بندی خطر سیلاب به کمک GIS

در گام آخر بعد از وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارها، لایه‌های تهیه شده به ۱۰ کلاس طبقه‌بندی شدند که ارزش ۱۰ بیشترین تاثیر در بوجود آمدن سیلاب و ارزش یک کمترین تاثیر در بوجود آمدن سیلاب را

داشت. لایه‌ها با استفاده از ابزار (مجموع وزنی)^۲ هم‌پوشانی شدند و وزن هر معیار به لایه آن اعمال گردید. شکل ۴-۲۳ نقشه خروجی پهنه‌بندی خطر سیلاب شهرستان و شهر آق‌قلا را نشان می‌دهد.



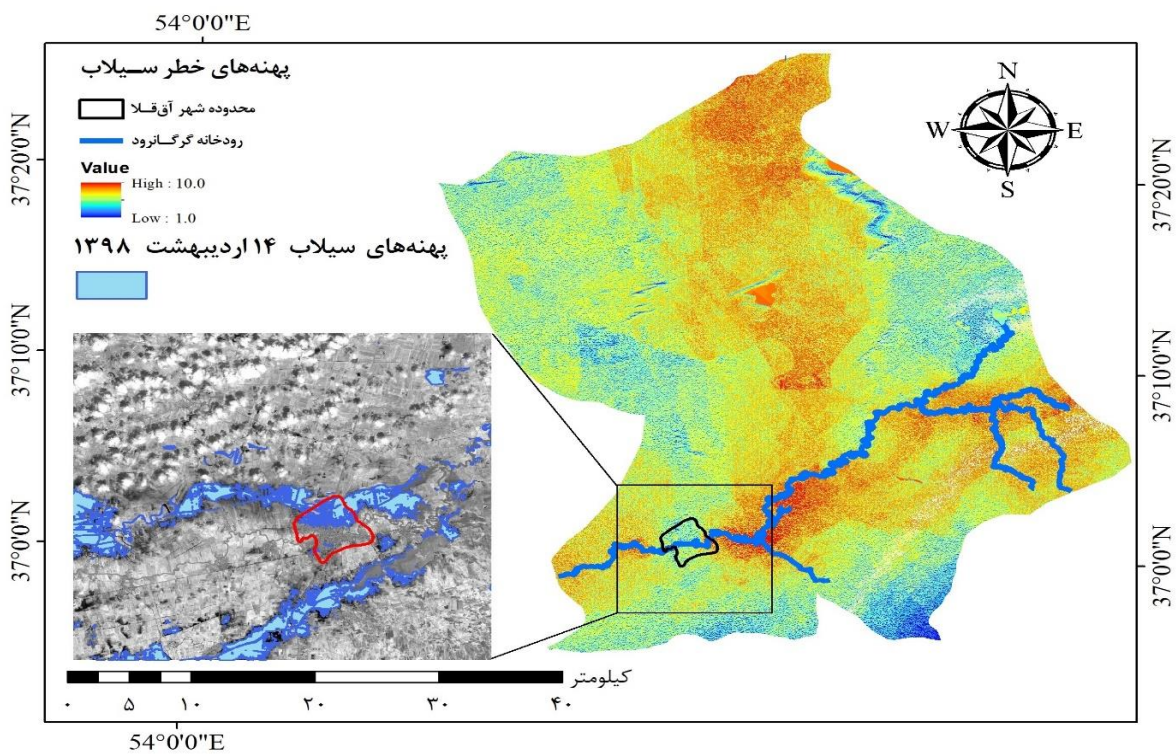
شکل ۴-۲۳: نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب مربوط به شهرستان و شهر آق‌قلا، کلاس ۱۰ بیشترین خطر سیلاب، کلاس یک کمترین خطر سیلاب

با توجه به شکل ۴-۲۳ مناطق قرمز رنگ و آبی رنگ به ترتیب مناطق پرخطر و کم‌خطر در برابر سیلاب می‌باشند. بیشترین پهنه‌ی پرخطر در شهرستان آق‌قلا با توجه به معیار توپوگرافی و عوامل مرفولوژی در اطراف رودخانه گرگانرود و مناطق شمالی شهرستان آق‌قلا قرار دارد و همچنین زیرمعیار سینوزیته و شیب کانال بیشترین تاثیر در ایجاد سیلاب در شهر آق‌قلا را دارند. مناطق جنوبی و شرقی شهرستان با توجه به اینکه از شیب مناسبی برخوردار هستند در پهنه‌ی کم‌خطر قرار دارد.

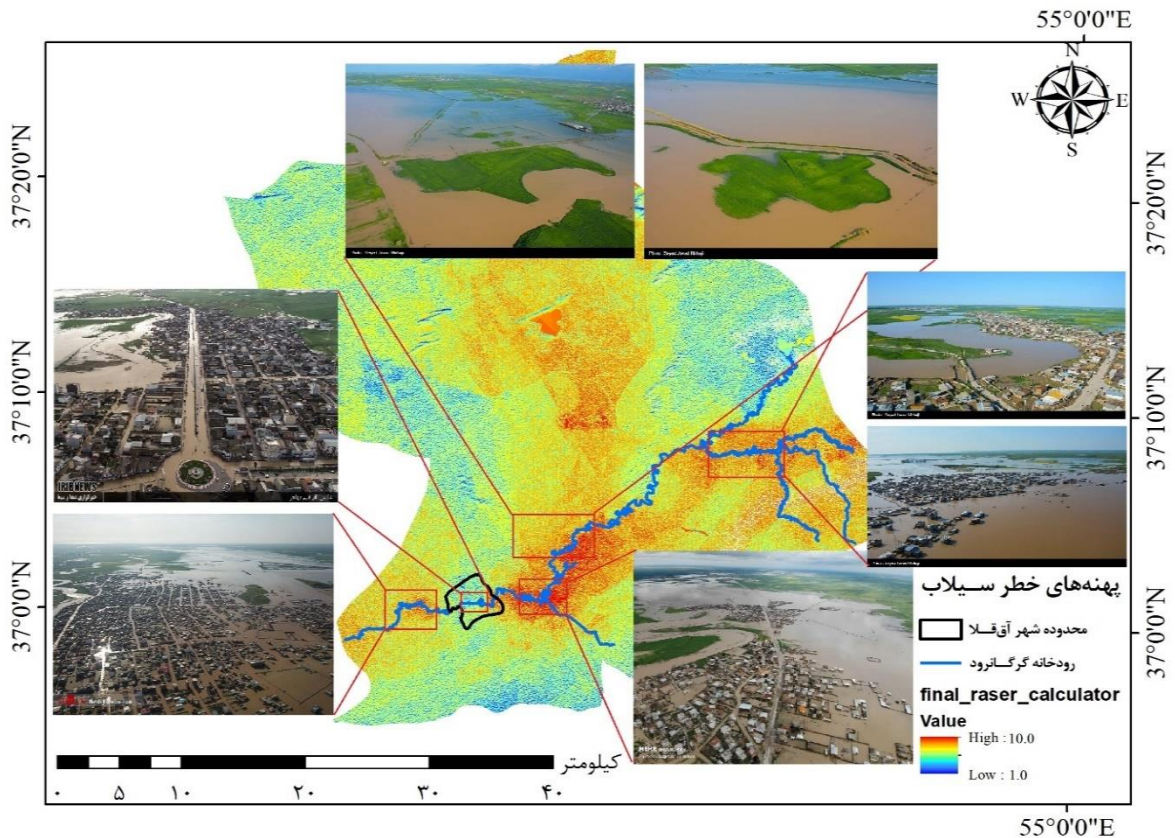
² Weighted Sum

۸-۴- ارزیابی صحت‌سنجی نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب

به منظور صحت‌سنجی نقشه تهیه شده، پهنه‌های سیلاب استخراج شده مربوط به سیل ۱۳۹۸ به کمک تصاویر ماهواره‌ای شکل ۴-۲۴ و تصاویر هوایی-میدانی سیلاب شکل ۴-۲۵ مقایسه گردید که همپوشانی خوبی بین پهنه‌های سیلاب فروردین ۱۳۹۸ با مناطق پرخطر شکل ۴-۲۴ وجود داشت، شکل ۴-۲۴ و ۴-۲۵ صحت‌سنجی انجام شده را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۴: مقایسه پهنه‌های پرخطر با پهنه‌های سیلاب استخراج شده به کمک تصاویر ماهواره سنتینل-۲



شکل ۴-۲۵: مقایسه پهنه‌های پرخطر استخراج شده با تصاویر هوایی-میدانی پهنه‌های سیلاب بهار ۱۳۹۸ شهرستان آق‌قلا

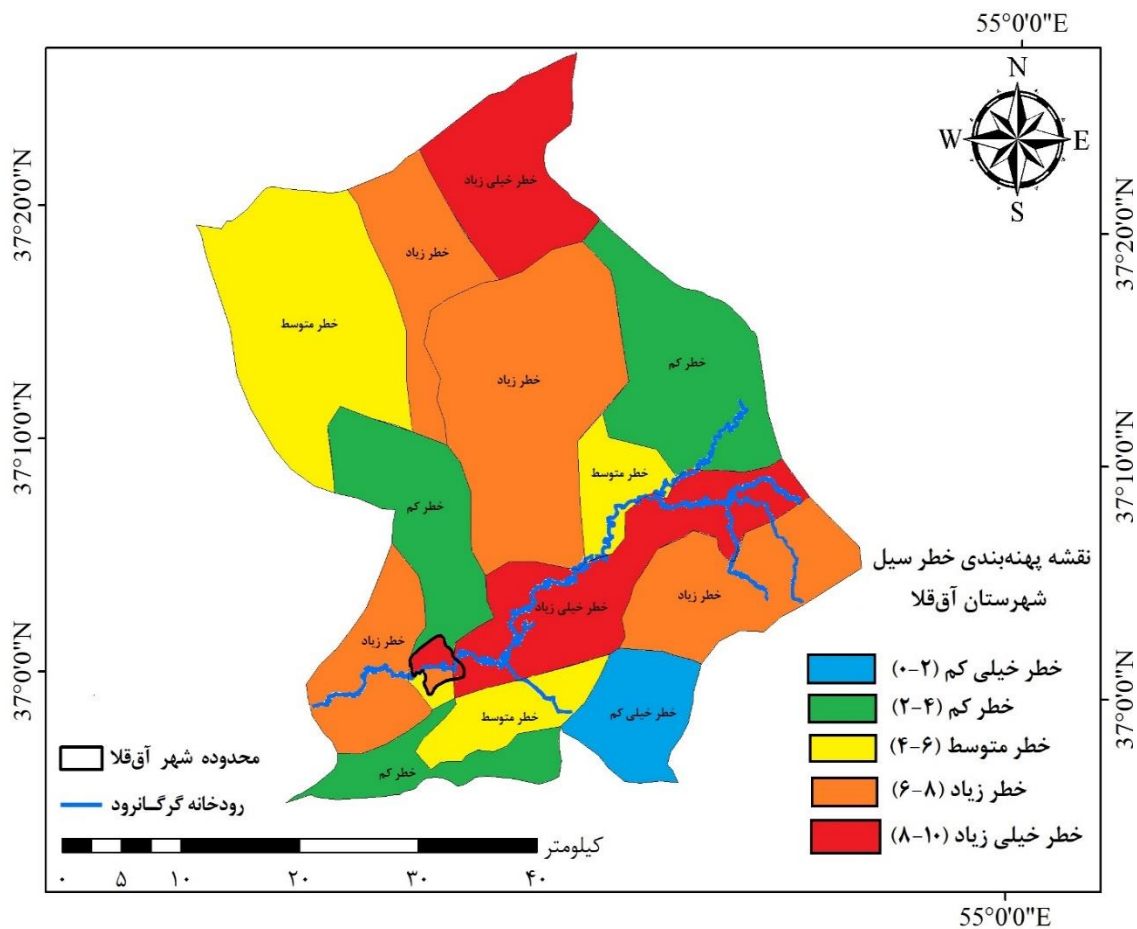
۹-۴- مهمترین علل وقوع سیلاب در حوزه آبریز گرگانرود

زیر حوزه‌های حوزه گرگانرود غربی به دلیل پوشش گیاهی مناسب از جهت تاثیر پوشش گیاهی در تولید رواناب، کمتر می‌تواند مورد توجه قرار گیرند البته در بالادست، مانند منطقه سیاه مرز کوه به جهت ارتفاع و شرایط اقلیمی پوشش گیاهی از جنگل به مرتع تبدیل می‌شود، که در این صورت هنگامی که مرکز ثقل بارش در بالادست حوزه باشد عامل پوشش را می‌توان بعنوان یکی از فاکتورهای موثر در سیل در نظر گرفت. پرشیب بودن حوزه و جاری شدن سریع رواناب و همچنین وجود سازندهای حساس زمین‌شناسی و فرسایش سریع و ایجاد بار رسوبی که سبب مضاعف شدن قدرت تخریبی سیلاب می‌گردد از مواردی است که در ایجاد و تشدید سیلاب در زیر حوزه‌های گرگانرود غربی نقش دارد.

و همچنین در زیر حوزه‌های حوزه گرگانرود شرقی (محدوده سد وشمگیر) از پوشش نسبتاً خوبی برخوردارند اما در پایین دست حوزه تغییر کاربری بیشتر مشهود است. همچنین کشاورزی خارج از فائده به جهت شیب کمتر در پایین دست و میان‌بند حوزه و بارش مناسب و خاک حاصلخیز توسعه بیشتری یافته است که در این حوزه‌ها از دلایل تاثیرگذار در ایجاد سیل می‌باشد. فعالیت‌های معدنی در این حوزه به جهت ایجاد سطوح نفوذناپذیر و همچنین تخلیه نخاله‌های این معادن در حریم رودخانه سبب تشدید خسارات سیل در مواقع سیلابی می‌گردد. این ناحیه به جهت کم شیب بودن و کاهش میزان بارش و متعاقباً غلبه پوشش مرتع بر جنگل بطور طبیعی و همچنین وجود خاک لس که فرسایش‌پذیرترین نوع خاک می‌باشد از حساسیت بیشتری برخوردار است و نفوذپذیری آن کمتر بوده و از طرفی شرایط اقلیمی (قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه خشک) هم به گونه‌ای است که زیرحوزه‌های این بخش بارش‌های رگباری با شدت بالا و مدت کوتاه را بطور متعدد در خود ثبت کرده‌اند، این موارد سبب شده که در سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۸۱، ۱۳۸۴، ۱۳۹۸ در این زیرحوزه‌ها سیلاب‌های مهیبی رخ دهد.

۴-۱۰- پیشنهادات کنترل سیل

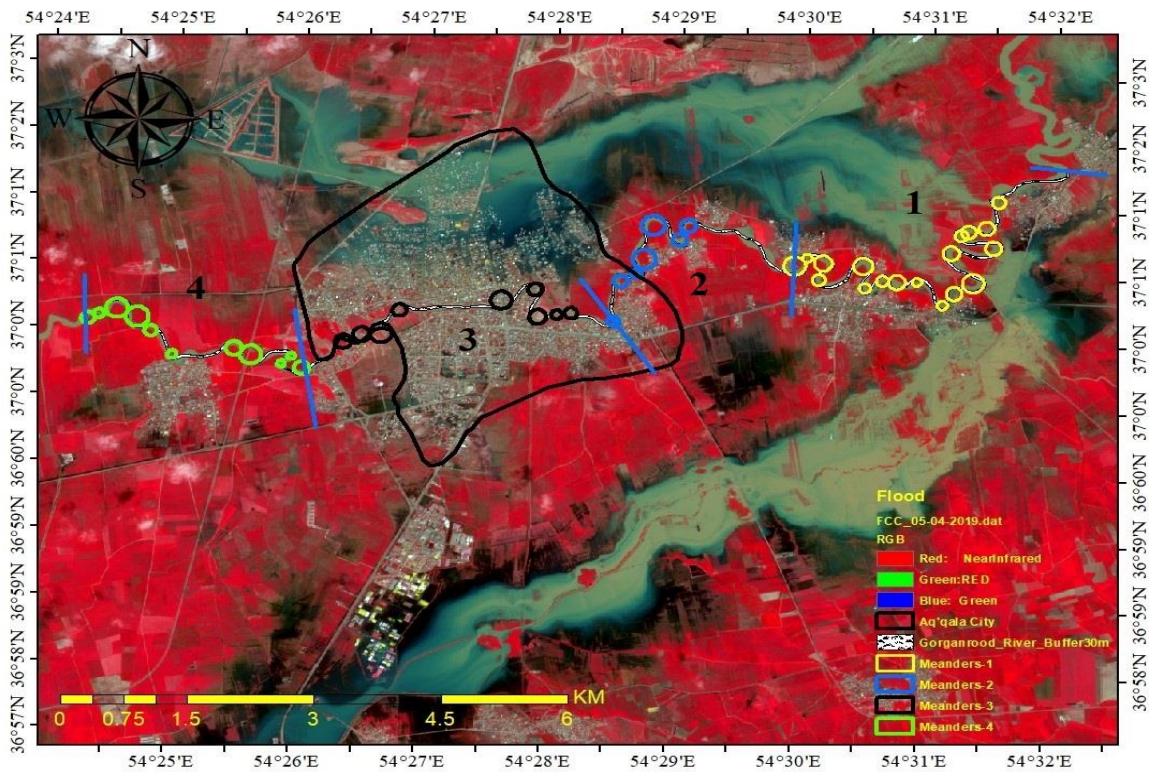
بعد از اینکه مقایسه بین نقشه پهنه‌بندی خطر سیل با تصاویر ماهواره‌ای و هوایی صورت گرفت، نقشه پهنه‌بندی خطر سیل به پنج بازه، خطر خیلی کم، خطر کم، خطر متوسط، خطر زیاد و خطر خیلی زیاد تقسیم‌بندی گردید. با توجه به شکل ۴-۲۶، مناطق اطراف رودخانه گرگانرود در محدوده سد وشمگیر تا شهر آق‌قلا تا شعاع ۱۰ کیلومتر در پهنه خطر خیلی زیاد و مناطق شمالی و جنوبی آن در پهنه خطر زیاد قرار دارند که جزو مناطق حساس در برابر سیلاب محسوب می‌شوند. در ادامه با توجه به حساسیت مناطق نسبت به خطر راهکارهای کنترل سیل پیشنهاد گردیده است. مساحت و درصد تفکیک پهنه‌های خطر در جدول ۴-۵ نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۶: نقشه تفکیک شده مناطق نسبت به خطر سیل

جدول ۴-۵: مساحت و درصد پهنه‌های خطر سیل، شهرستان آق‌قلا

درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	پهنه‌های خطر
۴/۴۵	۸۲/۰۸۱	پهنه با خطر خیلی کم
۲۱/۴۳	۳۹۵/۱۰۷	پهنه با خطر کم
۲۰/۹۵	۳۸۶/۲۹۲	پهنه با خطر متوسط
۳۵/۲۷	۶۵۰/۲۸۲	پهنه با خطر زیاد
۱۷/۹	۳۲۹/۹۶۷	پهنه با خطر خیلی زیاد
۱۰۰	۱۸۴۳/۷۲۹	مجموع



شکل ۴-۲۷: بازه‌های مورد بررسی برای ارائه راهکارهای کنترل سیل، در حد فاصل روستای سلاق یلقی تا شهر آق‌قلا

پهنه با خطر خیلی زیاد: با توجه به شیب نسبتاً مناسب مناطق شمالی سد وشمگیر، ایجاد کانال انحرافی در پایین‌دست سرریز غربی سد وشمگیر به سمت دشتهای شمالی که شوره‌زار و باتلاقی می‌باشد، می‌تواند هنگام سیل تا حد زیادی دبی پیک خروجی از سد وشمگیر را به آن مناطق منحرف کند تا حجم سیلاب کمتری وارد رودخانه گرگانرود شود. برای جلوگیری از ورود سیلاب به شهر آق‌قلا باید وضعیت رودخانه در حدفاصل روستای سلاق یلقی تا روستای گنگیرما (بازه اول، شکل ۴-۲۷)، به علت وجود پیچانرود زیاد و عدم کانالیزه کردن و لایروبی نشدن سواحل داخلی پیچانرودها، ملاحظات جدی صورت گیرد، زیرا حجم زیادی از سیلاب ۱۳۹۸ از این مناطق وارد محیط شهری آق‌قلا شده است. حدفاصل روستای گنگیرما تا ابتدای شهر آق‌قلا (بازه دوم، شکل ۴-۲۷)، تثبیت دیواره‌های کانال برای جلوگیری از فرسایش و ایجاد پیچانرود و بهسازی پل‌های روستای یامپی به علت وجود پایه و تراز کف نامناسب می‌تواند در کنترل سیلاب موثر واقع شود. در محدوده شهری آق‌قلا (بازه سوم، شکل ۴-۲۷)

کانالیزه کردن رودخانه و تخلیه نخاله‌ها از حریم کمی رودخانه و لایروبی مناسب کانال در محدوده پل تاریخی آق‌قلا و دو پل بتنی دیگر تا حد زیادی می‌تواند به کنترل سیلاب کمک نماید. در حدفاصل روستای دوگونچی تا روستای آق‌قبر (بازه چهارم، شکل ۴-۲۷) وجود پل با دهانه مرکزی بزرگتر نسبت به دهانه‌های مجاور باعث تجمع زیاد گل‌ولای و تنگ‌شدگی شدید بستر کانال در محدوده شرقی پل شده است که نیاز به لایروبی اساسی دارد. ادامه مسیر رودخانه گرگانرود از بازه چهارم تا دریای خزر دارای شیب بسیار کم می‌باشد و همین علت باعث پس‌زدگی جریان سیلاب می‌شود، با توجه به ماهیت توپوگرافی منطقه راهکار سازه‌ای خاصی را نمی‌توان پیشنهاد کرد و می‌توان از راهکارهای غیرسازه‌ای مانند آگاه‌سازی و هشدار به موقع، هنگام سیل با آن به تعامل پرداخت.

پهنه با خطر زیاد: اکثر این پهنه‌ها در مناطق جنوبی سد وشمگیر و دشت‌های شمالی شهر آق‌قلا قرار دارند. در مناطق جنوبی سد وشمگیر به علت تجاوز شهرها و روستاها به حریم رودخانه، منازل مسکونی موجود در حریم کمی (۲۰ متر) رودخانه گرگانرود هنگام سیل با دوره بازگشت ۵۰۰ سال به بالا دچار تخریب می‌شوند، جابه‌جایی این منازل و تغییر کاربری آنها به زمین کشاورزی و باغ می‌تواند باعث افزایش نفوذپذیری و افزایش ضریب زبری شود، همچنین اطلاع‌رسانی به موقع، سیستم هشدار سیل سد وشمگیر می‌تواند کمک بزرگی به کاهش خطر جانی و مالی کند.

پهنه با خطر متوسط: مناطق جنوبی شهر آق‌قلا به دلیل عبور زیرشاخه‌های رودخانه قره‌سو، لایروبی این رودخانه و بهسازی پل‌های بتنی می‌تواند کمک بزرگی به کنترل سیل در این نواحی کند.

پهنه با خطر کم: این نواحی اغلب شامل شوره‌زار و مناطق باتلاقی می‌باشند که کاربری خاصی ندارند و با ایجاد کانال انحرافی می‌توان حجم عمده‌ای از سیلاب خروجی از سرریز غربی و شمالی سد وشمگیر را هنگام وقوع سیل به این مناطق هدایت کرد.

پهنه با خطر خیلی کم: این مناطق بدلیل اینکه در فاصله دورتری از رودخانه گرگانرود قرار دارند و اغلب کاربری اراضی آن کشاورزی و باغ می‌باشد و در سیل‌های با دوره بازگشت ۵۰۰ ساله به دچار آبگرفتی می‌شوند.

۴-۱۱- آزمون فرضیات پژوهش

۱- تصاویر ماهواره راداری سنتینل-۱ نسبت به تصاویر ماهواره سنتینل-۲ و لندست-۸ و همچنین شاخص MNDWI نسبت به شاخص NDWI عملکرد بهتری در استخراج پهنه‌های سیلاب دارد.

تصاویر ماهواره سنتینل-۲ در بدلیل رزولوشن مکانی بالاتر در صورت ابرناک نبودن نتایج بهتری نسبت به ماهواره لندست-۸ دارد، در غیر اینصورت تصاویر ماهواره سنتینل-۱ بدلیل تصویربرداری در شرایط ابرناکی نتایج بهتری نسبت به ماهواره‌های اپتیکی دارد. زمانی که طیف رنگی سیلاب از یک نوع باشد و هدف دقیقاً شناسایی آب باشد شاخص NDWI مناسبتر از MNDWI است، اما زمانی که سیلاب از دو طیف رنگی تشکیل شده باشد استفاده از شاخص MNDWI بدلیل وجود باند SWIR-1 با طول موج بلندتر نسبت به طول موج باند NIR، مناسبتر می‌باشد.

۲- عوامل مرفولوژیکی رودخانه گرگانرود و شرایط توپوگرافی شهرستان آق‌قلا بیشترین تاثیر در بوجود آمدن سیلاب در شهرستان آق‌قلا دارد.

بر اساس اوزان بدست آمده از روش سلسله مراتبی AHP معیارهای توپوگرافی و مرفولوژی بیشترین اوزان را در ایجاد سیلاب در شهرستان آق‌قلا بدست آوردند که با مقایسه نقشه نهایی خطر سیلاب با پهنه‌های سیلاب بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای این فرضیه اثبات شد.

۳- با استفاده از نرم افزار GIS و روش AHP می‌توان با تعریف شاخص‌ها و معیارهای مناسب به نقشه‌های نهایی پهنه‌بندی خطر سیلاب دست یافت و نتایج آن همپوشانی مناسبی با مناطق خطر سیلاب دارد.

در این تحقیق با شناسایی معیارها و شاخص‌های مناسب و وزن‌دهی کارشناسی و دقیق به آنها نتایج قابل قبولی بدست آمد. نقشه نهایی بدست آمده در این تحقیق به علت نبود نقشه مرجع مناسب با تصاویر هلی شات آرسیوی و تصاویر ماهواره سنتینل-۲ مقایسه گردید.

۴-۱۲- نتایج و بحث

در تحقیق حاضر به منظور استخراج پهنه‌های سیل فروردین ۱۳۹۸ شهرستان آق‌قلا از تصاویر ماهواره راداری سنتینل-۱ و سنتینل-۲ استفاده گردید. با توجه به اینکه سیل فروردین ۱۳۹۸ آق‌قلا شامل سیلاب شفاف و غیرشفاف بود سنجنده‌های اپتیکی سنتینل-۲ و لندست-۸ با اعمال شاخص NDWI و MNDWI، این نتیجه حاصل شده که شاخص MNDWI به دلیل وجود باند SWIR-1 با طول موج بلندتر نسبت باند NIR در شاخص NDWI هر دو سیلاب شفاف و غیر شفاف را در نظر می‌گیرد. بنابراین شاخص MNDWI برای استخراج پهنه‌های سیل در تاریخ‌های ۱۴، ۱۶، ۲۶ فروردین و پنجم اردیبهشت که هر دو پهنه سیلاب شفاف و غیرشفاف وجود داشت مناسبتر بود، بر اساس نتایج (Du et al., 2016) شاخص MNDWI نسبت به شاخص NDWI مناسبتر می‌باشد. اما باند VV در تصاویر ماهواره راداری سنتینل-۱ برای تمامی تاریخ‌های مورد نظر با در نظر گرفتن ۱۶- دسی-بل به عنوان حد مرزی هر دو سیلاب شفاف و غیرشفاف را در نظر می‌گرفت. بنابراین هنگامی که پهنه‌های سیلاب از دو طیف رنگی متفاوت تشکیل شده است، استفاده از تصاویر راداری ماهواره سنتینل-۱ سپس استفاده از شاخص MNDWI برای تصاویر اپتیکی سنتینل-۲ و لندست-۸ اولویت دارد.

با توجه به گزارشات شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان، دوره بازگشت سیل فروردین ۱۳۹۸ شهرستان آق‌قلا با دبی حداکثر ۷۳۹ مترمکعب بر ثانیه، ۵۰۰ ساله بوده است. بعد از شبیه‌سازی سیلاب رودخانه گرگانرود در نرم‌افزار HEC-RAS مشخص شد، سیلاب با دوره بازگشت ۵۰۰ ساله به بالا در صورتی که کانال رودخانه گرگانرود در شرایط بهینه نباشد دچار بیرون زدگی سیلاب می‌شود. حداکثر ارتفاع سیلاب

برای برای دوره بازگشت ۵۰۰ ساله دو متر محاسبه گردید. پهنه‌های سیلاب و ارتفاع سیلاب شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار HEC-RAS با نتایج (حسن زاده، ۱۳۹۶) مقایسه گردید که در هر دو تحقیق پهنه‌های سیلاب برای دوره بازگشت‌های ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله مناطق شمالی و شرقی شهر آق‌قلا در ناحیه پر خطر قرار گرفتند و همچنین حداکثر ارتفاع سیلاب در مناطق شمالی رودخانه در شهر آق‌قلا حدود دو متر بدست آمد.

بعد از استخراج پارامترهای مرفولوژی کانال رودخانه گرگانرود در محدوده روستای سلاق‌یلقی تا روستای دوگونچی که شامل ضریب خمیدگی (سینوزیته)، تعداد و شعاع پیچانرودها، عرض بستر در پیچانرودها بود، اثر آنها بر ایجاد پهنه‌های سیل فروردین ۱۳۹۸ مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج، رودخانه گرگانرود در حدفاصل روستای سلاق‌یلقی تا روستای یامپی جزو مناطق حساس از نظر مرفولوژی می‌باشد. در این بازه شاخص سینوزیته برابر ۳,۸۸، تعداد پیچانرود و میانگین شعاع پیچانرودها به ترتیب برابر ۱۸ و ۸۹ متر می‌باشد که نسبت به سایر بازه‌ها تعداد پیچانرودها و میانگین شعاع پیچانرودها به ترتیب ۳۰ درصد بیشتر و پنج درصد کمتر نسبت به سایر بازه‌ها می‌باشد.

پنج معیار کلی و ۱۸ زیرمعیار موثر در ایجاد سیلاب شهرستان آق‌قلا و رودخانه گرگانرود شناسایی گردید. بعد از وزن‌دهی آنها با روش سلسله مراتبی AHP معیارهای توپوگرافی و عوامل مرفولوژی به ترتیب ۰,۳۵۳ و ۰,۳۳۳ بیشترین اوزان را به خود اختصاص دادند. نقشه‌ی نهایی خطر سیل با پهنه‌های استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای مقایسه گردید، بیشترین تطابق آن مربوط به پهنه‌های استخراج شده از ماهواره سنتینل-۲ و شاخص MNDWI در تاریخ ۱۴ فروردین ۱۳۹۸ بود. براساس نقشه نهایی خطر سیل تهیه شده و پهنه‌های استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای و بررسی عوامل مرفولوژی رودخانه گرگانرود، مشخص شده حدفاصل روستای سلاق‌یلقی تا ابتدای شهر آق‌قلا و دشت‌های شمالی آن تا شعاع پنج کیلومتر جزو پهنه‌های پرخطر در برابر سیل می‌باشند. بعد از تفکیک پهنه‌ها مشخص شد، ۴,۴۵ درصد از مساحت شهرستان آق‌قلا در پهنه با خطر خیلی کم و ۲۱,۴۳ درصد در پهنه با خطر کم

و ۲۰,۹۵ درصد در پهنه با خطر متوسط و ۳۵,۲۷ درصد در پهنه با خطر زیاد و در نهایت ۱۷,۹ درصد

شهرستان در پهنه با خطر خیلی زیاد قرار دارد.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- مقدمه

شهرستان آق‌قلا به دلیل عبور رودخانه گرگانرود همواره با سیلاب‌های مخربی مانند سیل‌های ۱۳۸۰، ۱۳۸۱، ۱۳۸۵، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۸ روبرو بوده است. بنابراین پهنه‌بندی و شناسایی رفتار رودخانه در مواقع سیلابی کمک بزرگی به کنترل و کاهش خطر سیل می‌کند. در پژوهش انجام شده پهنه‌های سیل فروردین ۱۳۹۸ آق‌قلا به کمک تصاویر راداری و اپتیکی استخراج گردید و در گام بعد پهنه‌های سیل برای دوره بازگشت‌های ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله شبیه‌سازی شد. سپس اثرات مرفولوژیکی رودخانه گرگانرود بر ایجاد پهنه‌های سیل مورد بررسی قرار گرفت و در گام آخر به کمک روش سلسله مراتبی AHP و نرم‌افزار GIS نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر سیل برای شهرستان آق‌قلا تهیه شد و با پهنه‌های استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای و تصاویر هوایی منطقه مورد صحت‌سنجی قرار گرفت.

۵-۲- نتیجه‌گیری

بر اساس گزارش‌های شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان دبی با دوره بازگشت ۵۰۰ ساله برای رودخانه گرگانرود در ایستگاه هیدرومتری آق‌قلا برابر ۷۹۰ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد که با توجه به هیدروگراف سیلاب فروردین ۱۳۹۸ گلستان، سیلاب با دبی پیک ۷۳۹ متر مکعب بر ثانیه در رودخانه گرگانرود جریان داشته است در حالی که میانگین ظرفیت عبوری گرگانرود در حدود ۱۲۰ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. بنابراین پهنه‌های سیلابی که در تاریخ چهاردهم و شانزدهم فروردین بدست آمد ناشی از دبی ۷۳۹ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد، در این تاریخ تقریباً ۵۱ کیلومترمربع از شهر آق‌قلا تحت تاثیر سیلاب قرار گرفت که نیمه‌ی شمالی شهر آق‌قلا به طور کامل سیلابی شد. در پژوهش حاضر پهنه‌های سیلاب ۱۳۹۸ به کمک تصاویر ماهواره‌های راداری و اپتیکی در بازه یک ماهه از شروع سیلاب تا فروکش سیلاب استخراج گردید، بعد از مقایسه پهنه‌ها با یکدیگر این نتیجه حاصل شد که تصاویر ماهواره سنتینل-۲ با اعمال شاخص MNDWI نتایج نزدیک به واقعیت را ارائه می‌کند. با بررسی پهنه‌های شبیه‌سازی شده

در نرم‌افزار HEC-RAS مشخص شد سیل با دوره بازگشت ۵۰۰ ساله به بالا باعث خروج سیلاب از بستر رودخانه گرگانرود می‌شود و روستاهای دوگونچی و گنگیرما در معرض خطر سیلاب این رودخانه با توجه سیلاب با دوره بازگشت ۵۰۰ ساله قرار ندارند، اما روستاهای سیدلر، سلاق یلقی و مناطق شمالی شهر آق قلا در معرض خطر سیلاب این رودخانه برای دوره بازگشت‌های ۵۰۰ ساله به بالا قرار دارند. سپس به بررسی اثرات مرفولوژی رودخانه گرگانرود در حدفاصل روستای سلاق یلقی تا روستای دوگونچی پرداخته شده و مشخص شد، حدفاصل روستای سلاق یلقی تا روستای یامپی نیاز به کانالیزه کردن و لایروبی کردن سوحل داخلی پیچانرودها دارد. در گام آخر با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی AHP و نرم‌افزار Arc-Map نقشه پهنه‌بندی خطر سیل تهیه شد و با پهنه‌های استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای مقایسه گردید که مشخص شد مناطق جنوبی، شرقی و شمال غربی شهرستان در محدوده پهنه‌ی خطر خیلی کم و کم (۲۵,۸۸ درصد)، مناطق شمالی شهرستان در محدوده پهنه‌ی با خطر متوسط (۲۰,۹۵ درصد) و مناطق جنوب شرقی تا جنوب غربی و مناطق مرکزی شهرستان تا شعاع ۵۰ کیلومتر اطراف شهر آق قلا در محدوده پهنه‌ی خطر زیاد و خیلی زیاد (۵۳,۱۷ درصد) قرار دارند.

۵-۳- پیشنهادها برای مطالعات آتی

- در پژوهش حاضر به منظور پایش سیل از تصاویر ماهواره سنتینل-۱، سنتینل-۲ و لندست-۸ با رزولوشن مکانی ۱۰ متر استفاده شده، می‌توان از داده‌های ماهواره‌های با رزولوشن مکانی بالاتر مانند KOMPSAT-1-3 یا TRIPLESAT-1-3 یا GaoFen-2 یا IRS یا SPOT استفاده نمود.
- استفاده از شاخص‌های دیگر شناسایی آب و سیلاب مانند FI و WI و NDFI و مقایسه آنها با شاخص‌های NDWI و MNDWI.

- به منظور شبیه‌سازی سیلاب در نرم افزار HEC-RAS از حداکثر دبی لحظه‌ای برای دوره بازگشت‌های ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، و ۵۰۰ ساله و مدل‌سازی جریان بصورت یکنواخت استفاده شد، می‌توان از دوره بازگشت‌های ۲۰، ۲۵، ۲۰۰ و ۱۰۰۰ ساله و مدل‌سازی جریان غیریکنواخت در پژوهش‌های آینده استفاده کرد.
- خصوصیات مرفولوژی رودخانه گرگانرود در بازه ۲۰ کیلومتری روستای سلاق یلقی تا شهر آق‌قلا مورد بررسی قرار گرفت، می‌توان برای سایر بازه‌های رودخانه گرگانرود این خصوصیات را بررسی نمود.
- می‌توان از معیارها و زیرمعیارهای دیگر و روش‌های سلسله‌مراتبی دیگر مانند ANP و TOPSIS و حالت فازی آنها برای وزن‌دهی استفاده نمود و با نقشه پهنه‌بندی خطر سیل تهیه شده در پژوهش حاضر مقایسه کرد.
- می‌توان از معیارهای جدیدتر مانند شبیه‌سازی رواناب دقیق‌تر، مدل‌سازی کاربری اراضی به کمک تصاویر ماهواره‌ای و شاخص NDVI و تاثیر نوع پوشش گیاهی و کاربری اراضی بر پهنه‌های سیلاب استفاده نمود.

مراجع

اصغریور م ج، (۱۳۹۷)، "تصمیم گیری های چند معیاره"، انتشارات دانشگاه تهران، فصل دوم، ص ۹۵-۱۰۱.

آذرنگ ف، تلوری ع، صدقی ح، شفاعی بجستان م، (۱۳۹۵)، "اثرات احداث سدهای بزرگ بر شرایط جریان و پارامترهای هیدرولیکی رودخانه (مطالعه موردی: رودخانه کرخه پایین دست سد مخزنی)"، مجله علمی پژوهشی آب و خاک، (۲۱-۰۹-۱۳۹۵)، ص ۱۱-۲۷.

آقایی ن، مازیار م ر، (۱۳۸۶)، "تصمیم گیری منطقی با بهره گیری از نرم افزار Expert Choice 2000"، انتشارات اردکان دانش، اصفهان، ص ۶.

بدیعی زاده س، بهره مند ع، آرامی ع، سبحانی آ، (۱۳۹۱)، "بررسی تحلیلی معیارهای هیدرولیکی و آسیب پذیری در پهنه بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از تکنیک های تصمیم گیری چند معیاره"، سومین همایش ملی مقابله با بیابان زایی و توسعه پایدار تالاب های کویری ایران، اراک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، ص ۳-۵.

بزرگ حداد ا، خسرو شاهی اصل س، زارع زاده م، جوان پ، (۱۳۹۲)، "توسعه مدل شبیه سازی- بهینه سازی در حفاظت مناطق سیل گیر"، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۷، شماره ۳، ص ۴۶۲-۴۷۱.

بهبهانی م ر، (۱۳۸۰)، "هیدرولوژی آب های سطحی"، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۸۴ ص.

جعفر بیگلو م، باقری سید شکر س، نگهبان س، (۱۳۹۱)، "بررسی تغییرات بستر و ویژگی های ژئومورفیکی رودخانه گیلان غرب در سال های ۱۳۴۴ تا ۱۳۸۱"، پژوهش های ژئومورفیکی کمی، شماره ۲، پاییز ۱۳۹۱، ص ۸۷-۱۰۲.

حجازی ا، خدایی قشلاق ف، خدایی قشلاق ل، (۱۳۹۸)، "پهنه بندی خطر وقوع سیلاب در حوزه آبریز ورکش چای با استفاده از مدل HEC-RAS و الحاقیه ی HEC-GEORAS"، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال نوزدهم، شماره ۵۳، ص ۱۳۷-۱۵۵.

حسن زاده ی، کاردان ن، ارزنلو ا، (۱۳۹۶)، "شبیه سازی دوبعدی جریان های سیلابی شهری با مدل CCHE2D (مطالعه موردی: شهر آق قلا)"، فصلنامه علمی- پژوهشی دریافنون، سال چهارم، زمستان ۹۶، ص ۲۵-۳۶.

حسین زاده م، م، اسماعیل پور ن، علی زنگی آبادی م، ع، (۱۳۹۴)، "ارزیابی رابطه SCS-CN در تعیین میزان رواناب با استفاده از نرم افزار Arc-GIS مطالعه موردی: حوزه آبریز سلطانی"، اولین کنفرانس بین المللی علوم جغرافیایی، شیراز، موسسه عالی علوم و فناوری خوارزمی، ص ۳.

حیدری ع، امامی ک، برخوردار م، تقی خان ش، مرادی فلاح ش، سادات میرئی م ح، (۱۳۸۵)، "پیش بینی و هشدار سیلاب". کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، شابک: ۹۶۴-۶۶۶۸-۵۸-۵، ص ۱۴۹-۱۵۰.

خلیلی زاده م، (۱۳۸۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "ارزیابی خطر و مدیریت سیل در شهر گرگان"، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

درخشان ش، ضیائیان فیروزآبادی پ، بخشی پور ا ر، (۱۳۸۵)، "بررسی کارآیی مدل های مختلف در مکانیابی پخش سیلاب با استفاده از GIS مطالعه موردی حوزه دوبرج ایلام"، هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز، سازمان آب و برق خوزستان، دانشگاه شهید چمران اهواز، ص ۶.

صالحی ا، رفیعی ی، فرزاد بهتاش م ر، آقابابایی م ت، (۱۳۹۲)، "پهنه بندی سیلاب شهری با استفاده از GIS و فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی، مطالعه موردی: تهران"، محیط شناسی، سال سی و نهم، شماره ۳، ص ۱۷۹-۱۸۸.

عبدی نژاد پ، حیدری ا، حسینی ا، (۱۳۹۴)، "تشکیل بانک اطلاعاتی و پایگاه داده های مشخصات عمومی رودخانه ها و مسیل های استان زنجان در محیط GIS"، اولین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، تهران، دانشکده مهندسی نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، ص ۹.

عسگری ش، احمدی م، همتی م، (۱۳۹۴)، "فرسایش کناری روخانه ی چرداول با استفاده از مدل HEC-RAS و GIS"، مجله تحقیقات جغرافیایی، شماره ۳۰، ص ۷۱-۸۰.

عطایی م، (۱۳۸۸)، "تصمیم گیری چندمعیاره"، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، ص ۱۹-۴۵.

قلی نژاد ج، ظهیری ع ر، دهقانی ا م، (۱۳۹۱)، "شبیه سازی یک بعدی و دوبعدی جریان های سیلابی در رودخانه ها (مطالعه موردی: رودخانه گرگانرود ایستگاه هیدرومتری آق قلا)"، مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد نوزدهم، شماره چهارم، ۳۱۳۳، ص ۱۰۳-۱۱۹.

قهرودی تالی م، ثروتی م ر، صرافی م، پورموسی م، درفشی خ، (۱۳۹۱)، "ارزیابی آسیب پذیری ناشی از سیلاب در شهر تهران"، فصل نامه علمی امداد و نجات، سال چهارم، شماره ۳، ص ۷۰.

جوکار سرهنگی ع، تلنک ا، لرستانی ق، (۱۳۹۶)، "بررسی تغییرات مورفومتری رودخانه با تاکید بر پیچانرودها (مطالعه موردی: رودخانه چهل چای- نرماب)"، مجله آمایش جغرافیایی فضا، فصلنامه علمی- پژوهشی دانشگاه گلستان، سال هفتم، شماره مسلسل ۲۶، ص ۱۷-۳۰.

محمودزاده ح، (۱۳۹۴)، "ریزپهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر تبریز با استفاده از روش AHP"، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰، شماره ۱، ص ۱۶۷-۱۸۰.

مهدوی م، (۱۳۸۲)، "هیدرولوژی کاربردی"، چاپ سوم، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۰۱ ص.
مومنی م، (۱۳۹۱)، "مباحث نوین در تحقیق در عملیات"، انتشارات دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، ص ۱۲۵-۱۳۷.

نشریه ۶۸۸، "راهنمای تعیین ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه‌ها"، سازمان برنامه ریزی و بودجه کشور، ۱۳۹۴، ص ۶۱-۷۱.

نظریها م، نقی خانی ع، قیاسی ب، یوسفی ع، (۱۳۹۲)، "بررسی عوامل موثر بر ریخت‌شناسی (مرفولوژی) آبراهه‌ها و رودخانه‌ها". اولین همایش ملی مهندسی و مدیریت کشاورزی، محیط زیست و منابع طبیعی پایدار، همدان، انجمن ارزیابان محیط زیست هگتانه، ص ۶۴۸-۶۵۵.

نیری ه، اوسطی خ، عثمانی پ، (۱۳۹۶)، "ارزیابی تعادل ژئومورفولوژیکی با استفاده از روش‌های رزگن و چهارچوب استیل رود (مطالعه موردی: رودخانه تروال، کردستان)"، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۹، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶، ص ۵۵۶-۵۴۱.

یمانی م، تورانی م، چزغه س، (۱۳۹۱)، "تعیین پهنه‌های سیل‌گیر با استفاده از مدل HEC-RAS مطالعه موردی بالادست سد طالقان از پل گلینک تا پل وشته"، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره اول، بهار، ۱۳۹۱، ص ۱-۱۶.

یمانی م، دولتی ج، زارعی ع ر، (۱۳۸۹)، "تاثیرگذاری عوامل هیدروژئومورفیک در تغییرات زمانی و مکانی بخش میانی رودخانه اترک"، تحقیقات جغرافیایی زمستان ۱۳۸۹؛ سال بیست و پنجم شماره ۴ (پیاپی ۹۹)، ص ۱-۲۴.

Ali Baig, M.H., Lifu Z., Shudong W., Gaozhen J., Shanlong L., Qingxi T., (2013). COMPARISON OF MNDWI AND DFI FOR WATER MAPPING IN FLOODING SEASON. Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing-100101, China. 2876-2879. DOI: 10.1109/IGARSS.2013.6723425.

Ali S.A., Khatun R., Ahmad A., Ahmad S.N., (2019). Application of GIS-based analytic hierarchy process and frequency ratio model to flood vulnerable mapping and risk area estimation at Sundarban region, India. Modeling Earth Systems and Environment. Springer International Publishing 5(3):1083-1102. DOI: 10.1007/s40808-019-00593-z.

- Borgohain S., Das J., Saraf A.K., Singh G., Baral S.S., (2016). Morphodynamic changes of Lohit River, NE India: GIS-based study. *Current Science* 110(9):1810–1816. DOI: 10.18520/cs/v110/i9/1810-1816.
- Chakraborty S., Mukhopadhyay S., (2019). Assessing flood risk using analytical hierarchy process (AHP) and geographical information system (GIS): application in Coochbehar district of West Bengal, India. *Natural Hazards*. Springer Netherlands 99(1):247–274. DOI: 10.1007/s11069-019-03737-7.
- Cian F., Marconcini M., Ceccato P., (2018). Remote Sensing of Environment Normalized Difference Flood Index for rapid flood mapping : Taking advantage of EO big data Flood mapping. *Jornal of Remote Sensing of Environment* 209(March):712–730. DOI: 10.1016/j.jrse.2018.03.006.
- Di Baldassarre G., 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. DOI: 10.1002/hyp.8226.
- Domeneghetti A., Schumann G.J., (2019). Preface : Remote Sensing for Flood Mapping and Monitoring of Flood Dynamics. 11–14. DOI: 10.3390/rs11080943.
- Du Y., Zhang Y., Ling F., Wang Q., Li W., 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* 8(4):354. DOI: 2072-4292/8/4/354.
- Kalkan K., Akar I., Maktav D., Ozdemir Y., (2009). Determination of Landuse Effects on Flood Risk by Using Integration of GIS and Remote Sensing. IEEE, ISBN 9781424436286. p.p.23–26. DOI: 10.1109/RAST.2009.5158202.
- Kumar R., (2017). Flood Inundation and Hazard Mapping of 2017 Floods in the Rapti River Basin Using Sentinel-1A Synthetic Aperture Radar Images, Elsevier, Chapter 6, p.p. 77-98, ISBN:9783319998824. DOI: 10.1016/j.jag.2017.05.006.
- Langat P.K., Kumar L., Koech R., (2019). Monitoring river channel dynamics using remote sensing and GIS techniques. *Geomorphology*. Elsevier B.V 325:92–102. DOI: 10.1016/j.geomorph.2018.10.007.
- Lin Y., Bhardwaj H., (2019). Urban Flood Detection with Sentinel-1 Multi-Temporal Synthetic Aperture Radar (SAR) Observations in a Bayesian Framework: A Case Study for Hurricane Matthew. *Remote Sensing* 11(15):1778. DOI: 2072-4292/11/15/1778.
- McFeeters S.K., (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. DOI: 10.1080/01431169608948714.
- Mohamed S.A., El-Raey M.E., (2019). Vulnerability assessment for flash floods using GIS spatial modeling and remotely sensed data in El-Arish City, North Sinai, Egypt. *Natural Hazards*. Springer Netherlands (0123456789). DOI: 10.1007/s11069-019-03571-x.
- Musa Z.N., Popescu I., 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. DOI: 10.5194/hess-

19-3755.

Pradhan B., (2009). Flood Susceptible Mapping and Risk Area Delineation Using Logistic Regression, GIS and Remote Sensing, *Journal of Spatial Hydrology* *Journal of Spatial Hydrology* 9(2):1–18.

Szantoi Z., Strobl P., (2019). Copernicus Sentinel-2 Calibration and Validation. *European Journal of Remote Sensing*. Taylor & Francis 52(1):253–255. DOI: 10.1080/22797254.2019.1582840.

Tsyganskaya V., Martinis S., Marzahn P., Ludwig R., (2018). Detection of temporary flooded vegetation using Sentinel-1 time series data. *Remote Sensing* 10(8):1–23. DOI: 10.3390/rs10081286.

Uddin K., Matin M.A., Meyer F.J., (2019). Operational Flood Mapping Using Multi-Temporal Sentinel-1 SAR Images: A Case Study from Bangladesh. *Remote Sensing* 11(13):1581. DOI: 2072-4292/11/13/1581.

Xu H., (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing* 27(14):3025–3033. DOI: 10.1080/01431160600589179.

Yunus A.P., Dou J., Song X., Avtar R., (2019). High resolution Sentinel-2 images for improved bathymetric mapping of coastal and lake environments. *Remote Sensing* 1–19. DOI: 10.3390/s19122788.

Abstract:

The propose of study is flood zoning and identification of hazard map in Aq'qala county. In this study for extracting time series flood maps on March 2019 in Aq'qala County have been used Sentinel-1 radar satellite data. Sentinel-2 and Landsat-8 optical satellite data are the high resolution and free available data. The NDWI and MNDWI indexes applied after applying preprocessing on optical data. The area of food zones calculated for Aq'qala county and Aq'qala city separately. The maximum of area of flood zones for MNDWI index on 3th April in Aq'qala county and Aq'qala city were obtained 262.453 (km²) and 51.091 (km²) respectively. Furthermore, simulated the flood maps for 10, 50, 100 and 500 year return period using HEC-RAS. The results shown that Gorganrood river would drain out of the river channel if it was not dredged for a period of up to 500 years. In order to the study effect of Gorganrood river channel morphology on flood zones, channel length index, channel width, sinuosity and mean radius of channel were calculated at four sections between Salaq Yelqi village to Dogunchi village. In Salaq Yelqi village to Aq'qala city, the sinuosity index is 3.88, indicating a channel with severe meander, and mean low bed width and low slope between Aq'qala city and Dogunchi village cause floods to return to Aq'qala urban's area. Furthermore, identified effective criterion and sub-criterion in creating floods of Gorganrood river and Aq'qala city with field surveys and consultations experts of Golestan province and weighted using AHP method and overlaying in GIS software and then flood risk maps were produced. Topographic and morphological criterions with 0.353 and 0.333 weights, respectively had the most impact on flooding in Aq'qala county. Finally, the flood maps obtained comparing with satellite data and archived aerial photography for validation. The Aq'qala county was located in 4.45%, 21.43%, 20.95%, 35.27% and 17.9% zones were very low risk zone, low risk, intermediate risk, high risk and very high risk, respectively. Canalizing and dredging the river channel in the Salaq Yelqi village to Gangirma village, upgrading the bridges in the Yampi village and channeling, dredging and proper alignment in the urban's area of the Gorganrood river are measures that can help reduce the risk of flooding in Aq'qala city. Flood hazard zoning maps can available to competent authorities to predict the development path of the city and the city of Aq'qala based on flood hazard zoning.

Keywords: Aq'qala, Flood Mapping, Gorganrood River, Sentinel data, Morphology, GIS



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

M.Sc. Thesis in Water Engineering and Hydraulics Structures

**Urban River Flood Zoning and Controlling Using
GIS**

By: Kamran Ganji

Supervisors

Dr. Ahmad Ahmadi

Dr. Saeid Gharechelou

January 2020