



Determining Effective Factors on Gorganrood River Flooding and Micro-Zoning of Flood Risk Analysis in Aq'Qala County Using AHP Method

Kamran Ganji ^a, Saeid Gharechelou ^{b*}, Ahmad Ahmadi ^c

^a MSc in Water and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

^b Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

^c Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Received: 19 March 2021

Revised: 20 July 2021

Accepted: 27 July 2021

Abstract

The main goal of this study was to investigate the effective factors on the flooding of Gorganrood River in Aq'Qala County with emphasis on March 2019 Flood event. In this research 18 sub-criteria that play imperious role in creating flood inundation were identified. According to time series flood mapping, technical process of satellite data, field survey, and consulting with flood's experts, the sub-criteria were compared in each pairs using the AHP questionnaire, and their final weights were determined using Expert Choice software. Topographic and morphological sub-criteria with weights of 0.353 and 0.333 had the most impact on the occurrence of inundating, respectively. Based on the results, 14.19% of area of Aq'Qala county have located in very low hazard zone (the western and the southern regions due to their suitable topography and distance from the Gorganrood river), 18.1% in low hazard zone (the northwest of the Aq'Qala due to existence of swampland and salty plains), 11.95% in moderate hazard zone (the northern of the Aq'Qala due to swampy and hilly nature and southern of the Aq'Qala), 29.66% in high hazard zone (the southeast of Aq'Qala due to closeness to the Gorganrood river buffer zones and tributaries of the Qarasou river, and the western areas due to the unsuitable morphological conditions and low gradient of Gorganrood bed river), 26.1% in very-high hazard zone (the middle of Aq'Qala due to plains' topography, and qualitative buffer zones of the Gorganrood river due to unsuitable morphological conditions). Canalization of outer arch meanders in Sallaq Yilqi to Gangirma villages, widening and dredging the river channel at Aq'Qala historic bridge, drainage and digging a detour channel according to topographic conditions in middle plains can mitigate the flood hazard in the Aq'Qala County.

Keywords: Aq'Qala, Flood Hazard Map, Gorganrood River, AHP, GIS

*. Corresponding Author: Saeid Gharechelou E-mail: sgharachelo@shahroodut.ac.ir Tel:023 32300259

How to cite this Article: Ganji, K., Gharechelou, S., Ahmadi, A. (2022). Determining Effective Factors on Gorganrood River Flooding and Micro-Zoning of Flood Risk Analysis in Aq'Qala County Using AHP Method . *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(4), 25-47.

doi: 10.22067/geoeh.2021.68419.1011



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant with open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).





Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 10, Issue 4 - Number 40, Winter 2022

<https://geoeh.um.ac.ir>

 <https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.68419.1011> 


جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دهم، شمارهٔ چهارم، زمستان ۱۴۰۰، صص ۴۶-۲۵

مقاله پژوهشی

تعیین عوامل مؤثر بر سیل خیزی رودخانه گرگانرود و ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب شهرستان آق‌قلا با

استفاده از تحلیل سلسله مراتبی AHP

کامران گنجی - کارشناس ارشد آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، سمنان، ایران

 سعید قره‌چلو^۱ - استادیار گروه نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، سمنان، ایران

احمد احمدی - دانشیار گروه مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، سمنان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۴/۲۹ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۵/۵

چکیده

هدف از تحقیق حاضر بررسی معیارهای مؤثر در سیل خیزی رودخانه گرگانرود در محدوده شهرستان آق‌قلا است. پنج معیار کلی و ۱۸ زیرمعیار فرعی مؤثر در ایجاد سیلاب رودخانه گرگانرود و شهرستان آق‌قلا، شناسایی و با روش سلسله‌مراتبی AHP معیارها و زیرمعیارها وزن‌دهی شده و لایه‌های آن‌ها در نرم‌افزار ArcMap همپوشانی و نقشه خطر سیل شهرستان آق‌قلا تهیه شد. معیارهای توپوگرافی و مورفولوژی به ترتیب با اوزان ۰/۳۵۳ و ۰/۳۳۳ بیشترین تأثیر در به وجود آمدن سیلاب را داشتند. ۱۴/۱۹ درصد از مساحت شهرستان آق‌قلا در پهنه خطر خیلی کم (مناطق غربی و جنوبی شهرستان) با توجه به توپوگرافی مناسب و دور بودن از حریم رودخانه، ۱۸/۱ درصد در پهنه خطر کم (شمال‌غرب شهرستان) با توجه به وجود مناطق باتلاقی و شوره‌زار، ۱۱/۹۵ درصد در پهنه خطر متوسط (شمال شهرستان) با توجه به باتلاقی و تپه‌ماهوری بودن منطقه و جنوب شهرستان، ۲۹/۶۶ درصد در پهنه خطر زیاد (جنوب شرق شهرستان) به دلیل نزدیکی به رودخانه گرگانرود و زیرشاخه‌های رودخانه قره‌سو و غرب شهرستان به دلیل شرایط نامناسب مورفولوژی و شیب بسیار کم بستر رودخانه) و ۲۶/۱ درصد از شهرستان آق‌قلا در پهنه

Email: sgharachelo@shahroodut.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۲۳۳۲۳۰۰۲۵۹

نحوه ارجاع به این مقاله:

گنجی، کامران؛ قره‌چلو، سعید؛ احمدی، احمد؛ ۱۴۰۰. تعیین عوامل مؤثر بر سیل خیزی رودخانه گرگانرود و ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب شهرستان آق‌قلا با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی AHP. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۰(۴).

<https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.68419.1011>

صص ۴۶-۲۵

خطر خیلی زیاد (مرکز شهرستان و اطراف رودخانه گرگانرود با توجه به وضعیت توپوگرافی و مورفولوژی رودخانه) قرار دارند. دیواره‌سازی و تثبیت قوس خارجی پیچان‌رودها در محدوده روستاهای سلاقی‌لقی تا قانقرمه، لایروبی رودخانه در نزدیکی پل‌ها، تغییر کاربری اراضی متجاوز به حریم رودخانه، لایروبی و بسترسازی مناسب در محدوده شهری رودخانه گرگانرود و زهکشی و کانال‌کشی مناسب با شرایط توپوگرافی مناطق مرکزی شهرستان از اقداماتی است که به کاهش خطر سیل در شهرستان آق‌قلا کمک می‌نماید.

کلیدواژه‌ها: آق‌قلا، نقشه خطر سیلاب، رودخانه گرگانرود، GIS، AHP

۱-مقدمه

بدون شک سیلاب به‌عنوان یک بلای طبیعی شناخته شده است که از نظر تلفات جانی و مالی مهیب‌ترین بلای طبیعی در جهان محسوب می‌شود (آذرنگ، ۱۳۹۵). کشور ایران با توجه به اقلیم مدیترانه‌ای به لحاظ سیل‌خیزی چهارمین کشور دنیاست و سالانه خسارات زیادی را در این زمینه متحمل می‌شود. روند افزایش سیل در پنج دهه اخیر نشان می‌دهد که تعداد وقوع سیل در دهه ۹۰ نسبت به دهه ۴۰ تقریباً ۱۲ برابر شده است (عبدی‌نژاد، ۱۳۹۴). بررسی دقیق مجموعه عوامل طبیعی که زمینه‌ساز این بلایا هستند، نشان می‌دهد که دخالت انسان در چرخه طبیعت از طریق تخریب پوشش گیاهی، کاربری غیراصولی اراضی، توسعه سطوح غیرقابل نفوذ و دیگر موارد، احتمال سیل‌خیزی را در مناطق گوناگون افزایش داده است (درخشان، ۱۳۸۵). در نتیجه پهنه جریان سیلاب‌ها گسترش یافته و زمین‌های بیشتری در هنگام طغیان رودخانه‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرند و گاهی خسارت جانی و مالی زیادی را به بار می‌آورد (حسین‌زاده، ۱۳۹۴). افزایش سطوح نفوذناپذیر، که ناشی از احداث ساختمان در خاک‌های نفوذپذیر است، طبعاً از سطوح نفوذپذیر حوضه، 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). سیلاب‌ها نه تنها در نواحی برون‌شهری بلکه در نواحی شهری نیز آسیب‌های فراوانی به بار می‌آورد. شدت این آسیب‌ها گاهی در نواحی شهری بیش از نواحی برون‌شهری است (بدیعی‌زاده، ۱۳۹۱). در به وجود آمدن سیلاب‌های شهری علل مختلفی وجود دارد که می‌توان به عبور رودخانه‌های حفاظت نشده از میان شهرها، تجاوز به حریم رودخانه‌ها و از بین بردن مورفولوژی آن‌ها، تغییرات اقلیمی و بارش با شدت بالا در مدت زمان کم، افزایش زبری سطوح اشاره کرد (بزرگ‌حداد، ۱۳۹۲؛ نظری‌ها، ۱۳۹۲). نخستین گام در طرح‌های مدیریتی سیلاب داشتن نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل است. 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 (عسگری، ۱۳۹۴). از مهم‌ترین کاربردهای نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل می‌توان به تعیین بستر و حریم رودخانه‌ها و تعیین حدود گذرگاه سیل و اراضی سیل‌گیر حاشیه رودخانه، مطالعه و توجیه

اقتصادی طرح‌های عمرانی با توجه به پهنه سیل در دوره بازگشت‌های متعدد و برآورد خسارت سیل اشاره کرد (حیدری، ۱۳۸۵). امروزه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و داده‌های ماهواره‌ای سنجش‌ازدور از جمله مدل رقومی ارتفاعی زمین (DEM) و تصاویر ماهواره‌های راداری و اپتیکی، علاوه بر سرعت محاسبات، می‌توان محدوده پخش سیلاب را با دقت بیشتری تعیین نمود (دی بالداسور و آلنبروک^۱، ۲۰۱۲). با توجه به اهمیت موضوع سیلاب، محققین زیادی به مطالعه این موضوع در داخل و خارج از کشور پرداخته‌اند از جمله، صالحی و همکاران (۱۳۹۲)، پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری را با استفاده از نرم‌افزار 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 به صورت نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل در محیط نرم‌افزار GIS ارائه کردند. 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) به دست آوردند. هفت شاخص مهم شامل تراز ارتفاعی زمین، درصد شیب، شاخص رطوبت، پراکندگی بارش، کاربری زمین و پوشش گیاهی و فاصله از رودخانه را در نظر گرفتند. مطالعات آن‌ها نشان داد که فاصله از رودخانه و پراکندگی بارش و کاربری زمین و پوشش زمین از مهم‌ترین علل به وجود آورنده سیلاب در این منطقه هستند. چاکرابورتی و موخوپادیای^۲ (۲۰۱۹)، نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیلاب FRI و نقشه‌های آسیب‌پذیری FVI شهر کوچبهار (هندوستان) را به کمک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP و GIS به دست آوردند. شاخص‌های استفاده شده در این تحقیق شامل تراز، شیب سطوح، تراکم زهکشی، فاصله از رودخانه، حداکثر بارش، ویژگی‌های ژئومورفیکی و غیره بودند. بر اساس نتایج آن‌ها ۴/۹۱ درصد، ۱۲/۲۹ درصد و ۳۸/۶۴ درصد شهر به ترتیب در مناطق پرخطر، خطر متوسط و کم خطر قرار دارند. در دهه‌های اخیر استان گلستان شاهد سیل‌های بزرگی چون سال ۱۳۸۰ در حوضه آبریز بالادست رودخانه گرگانرود بوده است که با خسارت‌ها جانی و مالی سنگینی در شهرستان کلاله همراه بود. همچنین می‌توان به سیل‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۸۴ در حوضه آبریز رودخانه گرگانرود اشاره کرد که باعث از بین رفتن ۱۵۰۰ هکتار از اراضی و از بین رفتن ۱۵۰ روستا شد (قلی‌نژاد، ۱۳۹۱). شهرستان آق‌قلا به دلیل عبور رودخانه گرگانرود همواره مورد تهدید سیل‌هایی چون ۱۳۸۰، ۱۳۸۱، ۱۳۸۶، ۱۳۹۱، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۸ واقع شده است. طبق گزارش اداره آب منطقه‌ای استان گلستان ۳۵۰ میلی‌متر بارش فقط طی ۴۸ ساعت که معادل ۶۶ درصد بارش سالانه استان گلستان بود در حوضه آبریز گرگانرود در فرودین ۱۳۹۸ رخ داد، که باعث آبگرفتگی بیش از ۶۰ درصد شهرستان آق‌قلا شد. لذا شناسایی رفتار رودخانه گرگانرود هنگام وقوع و

1 Di Baldassarre & Uhlenbrook

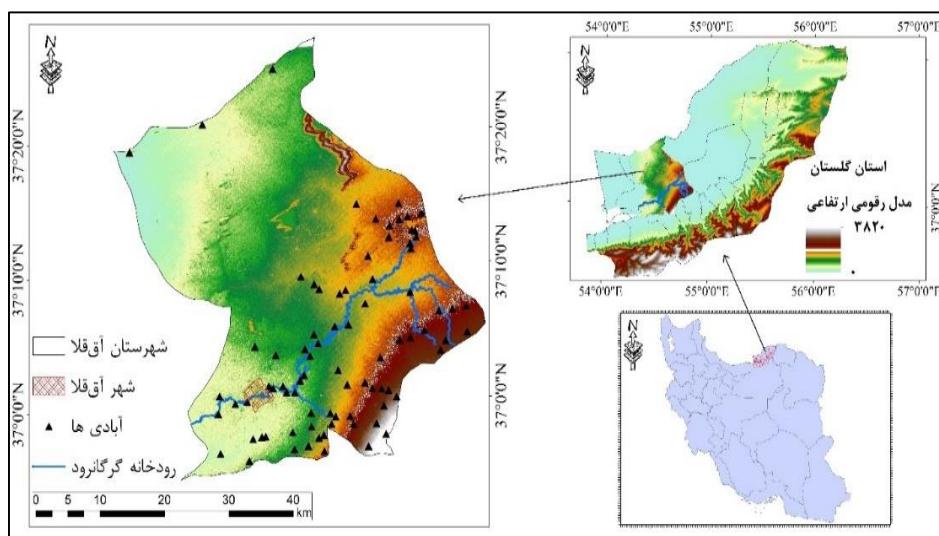
2 Chakraborty & Mukhopadhyay

پس از وقوع سیلاب می‌تواند کمک بزرگی به کنترل سیلاب این رودخانه در محدوده شهرستان آق‌قلا بنماید. هدف تحقیق حاضر پهنه‌بندی خطر سیل شهرستان آق‌قلا با توجه به وزندهی و مقایسه زوجی معیارهای مؤثر در به وجود آمدن پهنه‌های سیلاب به کمک روش تحلیل سلسله مراتبی AHP است. همچنین نقشه نهایی خطر سیل با پهنه‌های سیلاب بهار ۱۳۹۸ که از تصاویر ماهواره‌های سستینل-۲ و لندست-۸ استخراج شده‌اند و تصاویر پهپاد از زمان واقعه سیلاب مقایسه شده است. سپس راهکارهای کاهش خطر سیلاب در مناطق مختلف شهرستان با توجه به وضعیت موجود ارائه خواهد شد. نقشه خطر سیلاب شهرستان آق‌قلا جزو مهم‌ترین اسناد هشدار و امدادسانی در برابر حادثه سیلاب است، که می‌توان در اختیار مسئولان ذی‌ربط قرار داد تا از آن به‌عنوان سند چشم‌انداز توسعه شهرستان آق‌قلا و مدیریت بحران سیلاب استفاده نمایند.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهر آق‌قلا در استان گلستان و مرکز شهرستان آق‌قلا است، که در محدوده مختصات جغرافیایی ۳۷ درجه شمالی و ۵۴ درجه شرقی قرار داد. شهرستان آق‌قلا در طرفین رودخانه گرگانرود و در شمال شهر گرگان قرار دارد (شکل ۱). تقریباً ۵۰ درصد اراضی شهرستان آق‌قلا به دلیل عبور رودخانه گرگانرود دارای کاربری کشاورزی، کشت گندم و جو است. اکثر مناطق شمالی و شمال‌غربی شهرستان آق‌قلا از نوع باتلاقی و شورزار که فاقد پوشش گیاهی و درختان مناسب است و همچنین مناطق جنوبی شهرستان آق‌قلا مناطق صنعتی و باغ است که به شهرستان گرگان متصل می‌شود. اقلیم شهرستان آق‌قلا مانند منطقه ترکمن صحرا بیابانی گرم و مرطوب است. رودخانه گرگانرود از مهم‌ترین شاخه‌های سیل‌خیز استان گلستان است که طول آن حدود ۲۵۱ کیلومتر است که از دامنه‌های شمالی البرز شرقی و دامنه‌های غربی ارتفاعات استان خراسان شمالی سرچشمه می‌گیرد. این رودخانه پس از عبور از شهرهای گنبدکاووس و آق‌قلا در غرب خواجه‌نفس با تشکیل دلتای بزرگی به دریای خزر می‌ریزد. حدود ۸۵ کیلومتر از رودخانه گرگانرود از شهرستان آق‌قلا و به‌طور خاص حدود ۱۲ کیلومتر آن از محیط شهری آق‌قلا عبور می‌کند (گنجی، ۱۳۹۸). متوسط آبدهی سالانه آن حدود ۹۲۰ میلیون مترمکعب است (گزارش‌های شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان، ۱۳۹۵).



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه، شهرستان آق قلا و رودخانه گرگانرود

۲-۲- پهنه‌بندی سیلاب بهار ۱۳۹۸ شهرستان آق قلا

در تحقیق حاضر به منظور ارزیابی نقشه خطر سیلاب از تصاویر ماهواره‌ای موجود از سیلاب بهار ۱۳۹۸ استفاده گردید. ماهواره اپتیک Sentinel-2A از سری ماهواره‌های Sentinel است که توسط سازمان فضایی اروپا در سال ۲۰۱۵ به فضا پرتاب شد، و در ۱۳ باند در محدوده طیف مرئی، فروسرخ نزدیک و موج کوتاه فروسرخ از طیف الکترومغناطیسی تصویربرداری می‌کند. قدرت تفکیک این تصاویر در سه دسته ۱۰، ۲۰، ۶۰ متر است (صادق و لی^۱، ۲۰۱۹). سه تصویر Sentinel-2 از زمان آبگرفتگی در تاریخ‌های ۱۶ و ۲۶ فروردین و پنجم اردیبهشت دانلود گردید. همچنین یک تصویر از ماهواره Landsat-8 در تاریخ ۱۴ فروردین به‌عنوان مکمل برای استخراج پهنه‌های سری زمانی سیلاب استفاده شد. بعد از اعمال پیش‌پردازش‌های لازم، با استفاده از شاخص MNDWI^۱ پهنه‌های سری زمانی سیلاب استخراج گردیدند (ژو^۲، ۲۰۰۶). نقشه سری زمانی پهنه‌های سیلاب در (شکل ۲) و مساحت آن‌ها در (جدول ۱) نشان داده شده است.

جدول ۱- مساحت پهنه‌های سری زمانی سیلاب با استفاده از شاخص MNDWI مربوط به شهرستان آق قلا

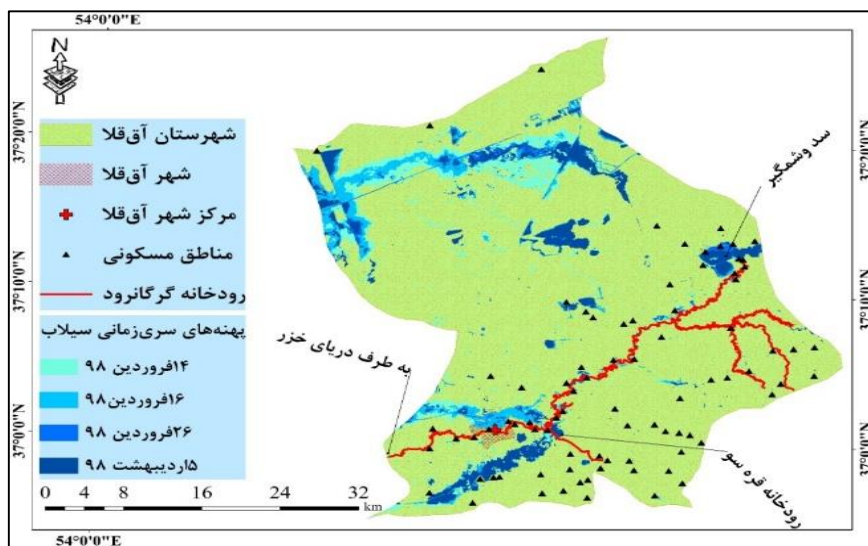
تاریخ	مساحت (کیلومتر مربع)
۱۴ فروردین ۱۳۹۸	۲۶۲/۴۵۳
۱۶ فروردین ۱۳۹۸	۲۳۱/۲۳۹
۲۶ فروردین ۱۳۹۸	۱۳۳/۵۰۸

1 Sadek and Li

2 Modified Normalized Water Index, MNDWI: (B3-B11)/(B3+B11)

3 Xu

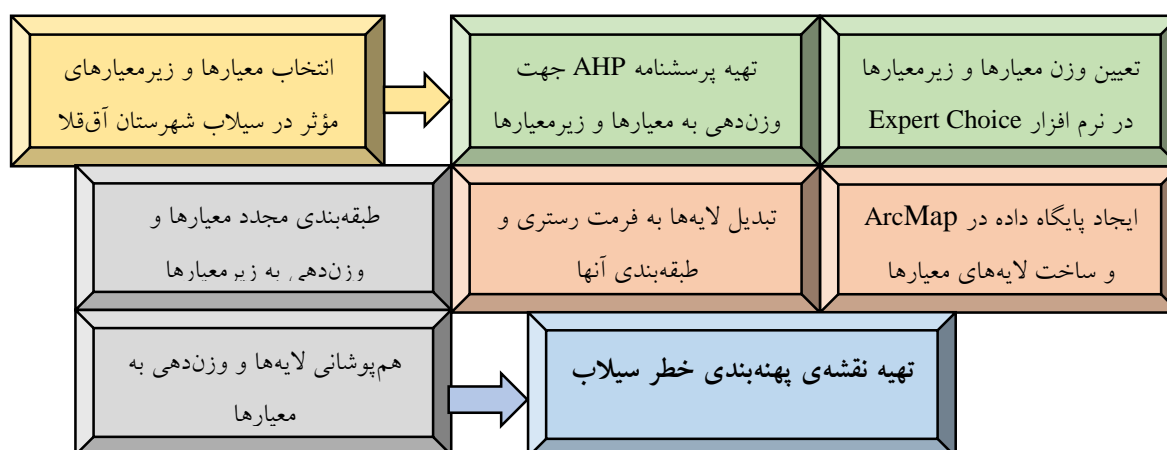
تاریخ	مساحت (کیلومتر مربع)
۵ اردیبهشت ۱۳۹۸	۱۵۶،۳۳۳



شکل ۲- پهنه‌های سری زمانی سیلاب با استفاده از شاخص MNDWI، شهرستان آق‌قلا

۲-۳- ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در محیط GIS

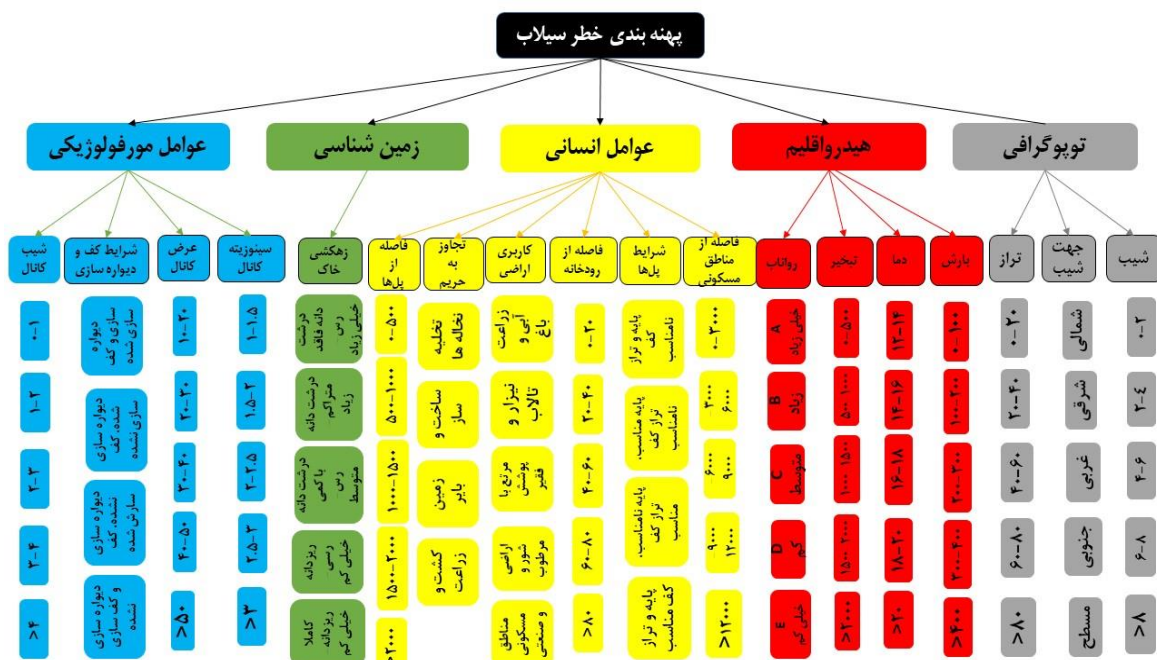
به منظور تهیه نقشه خطر سیلاب شهرستان آق‌قلا، ۲۵ شاخص که در به وجود آمدن سیلاب در این شهرستان نقش اساسی داشتند شناسایی گردید. سپس با مطالعات میدانی و مشورت با کارشناسان خبره سیل استان گلستان ۱۸ شاخص مؤثر برگزیده شدند. مراحل شماتیک تهیه ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در (شکل ۳) نشان داده شده و در ادامه به تفصیل بیان شده است.



شکل ۳- فلوچارت مراحل تهیه نقشه‌های خطر سیلاب

۲-۳-۱- شناسایی عوامل و معیارهای مؤثر در سیل خیزی رودخانه گرگانرود و شهرستان آق قلا

ابتدا شاخص‌های مؤثر در سیل خیزی تعریف و شناسایی معیارها به صورت دقیق طبقه‌بندی و سپس لایه‌های مورد نیاز در بستر نرم‌افزار آماده‌سازی شدند. به منظور ایجاد پایگاه داده در نرم‌افزار ArcMap اطلاعات دقیق در مورد شاخص‌های مورد نظر از سازمان‌های مرتبط، شرکت آب منطقه‌ای، اداره آبخیزداری، اداره هواشناسی و اداره کل منابع طبیعی استان گلستان جمع‌آوری گردید. زیرمعیارهای شیب، جهت شیب، تراز یا مدل ارتفاع رقومی، با استفاده از نقشه DEM, ALOS با دقت ۱۲/۵ متر استخراج گردیدند؛ زیرمعیارهای بارش، دما، تبخیر، با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی شهر آق قلا و مزرعه ارتش مدل‌سازی شدند. زیرمعیارهای رواناب و زهکشی خاک بر اساس نقشه طبقه‌بندی خاک منطقه (اداره آبخیزداری استان گلستان) تعیین شد. زیرمعیارهای فاصله از مناطق مسکونی، شرایط پل‌ها، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، تجاوز به حریم رودخانه، فاصله از پل‌ها، سینوزیه، عرض رودخانه، شرایط کف و دیواره‌های (مورفولوژی رودخانه) و شیب کف رودخانه با بازدیدهای میدانی و نرم‌افزار Google Earth استخراج و با استفاده از نرم‌افزار AutoCAD محاسبه شدند (گنجی، ۱۳۹۹). این اطلاعات که شامل لایه‌های وکتوری و رستری بودند در نرم‌افزار ArcMap به‌عنوان پایگاه داده ایجاد شد. در ادامه نیاز است تمام لایه‌های موجود تبدیل به فرمت رستری شوند تا طبقه‌بندی، وزن‌دهی و در نهایت هم‌پوشانی صورت گیرد. زیرمعیارها و معیارها در درخت سلسله مراتبی (شکل ۴) نشان داده شده است.



شکل ۴- درخت سلسله مراتبی معیارها و زیرمعیارهای تحقیق

۲-۳-۲- تهیه پرسشنامه AHP و تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها

یکی از روش‌های ارزیابی و وزن‌دهی به معیارها و زیرمعیارها، روش تحلیل سلسله مراتبی AHP است که به وسیله ساعتی در سال ۱۹۸۰ مطرح شد. نرم‌افزار ExpertChoice این امکان را فراهم می‌سازد تا تصمیمات مستدل و منطقی جهت انتخاب مطلوب برای تصمیم‌گیرندگان فراهم شود (آقایی، ۱۳۸۶). به منظور بررسی اهمیت و درجه تأثیر هر یک از معیارها و زیرمعیارها در به وجود آمدن سیلاب در شهرستان 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 و کارشناس حوضه سیلاب استان در ادارات و سازمان‌های مربوطه قرار داده شد. میانگین نظرات کارشناسان به منظور وزن‌دهی در نرم‌افزار ExpertChoice وارد گردید. وزن‌های دست آمده بر اساس مقایسه دودویی و زوجی هر یک از معیارها با یکدیگر بر اساس نظر کارشناسان است. پس از به دست آوردن وزن نهایی هر معیار، باید به محاسبه نرخ ناسازگاری (ConsistencyRatio) پرداخت، نرخ ناسازگاری به معنی میزان ارتباط منطقی بین ایده‌های مختلف با یکدیگر با توجه به یک ملاک معین است. در صورتی که نرخ ناسازگاری کوچک‌تر از ۰/۱ باشد ($CR < 0.1$) سازگاری وجود دارد، و در غیر این صورت باید در مقدار ارجحیت‌ها تجدید نظر شود (اصغرپور، ۱۳۹۷). مقدار نرخ ناسازگاری از (رابطه ۱) و (رابطه ۲) به دست می‌آید.

$$CR = \frac{CI}{IRI} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$CI = \frac{\lambda_{Max} - n}{n - 1} \quad (\text{رابطه ۲})$$

CR (نرخ ناسازگاری) - CI (شاخص ناسازگاری) - n (بردار نرمال‌سازی) - λ_{max} (میانگین عناصر بردار سازگاری) - IRI (شاخص ناسازگاری تصادفی) (جدول ۲).

جدول ۲- جدول شاخص ناسازگاری تصادفی

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
IRI	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹۰	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۵۱

در صورتی که بعد از محاسبات فوق مقدار نرخ ناسازگاری $CR < 0.1$ به دست آمد، نشان دهنده این است که ارجحیت‌های وارد شده صحیح است (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 نرم‌افزار ExpertChoice گردید. اوزان نهایی به دست آمده معیارها و زیرمعیارها و گزینه‌ها نسبت به همدیگر و نسبت به سطح بالاتر خود و در نهایت نسبت به هدف نهایی به دست آمد. اوزان به دست آمده و همچنین نرخ ناسازگاری هر کدام در (جدول ۳) نشان داده شده است.

جدول ۳- اوزان نهایی به دست آمده با استفاده از نرم افزار ExpertChoice

معیارها و زیرمعیارها	وزن معیار و زیرمعیار	وزن نهایی معیار*زیرمعیار	نرخ ناسازگاری
توپوگرافی	۰/۳۵۳	-	۰/۰۴<۰/۱
شیب	۰/۱۹۶	۰/۰۷۳	۰/۰۵<۰/۱
جهت شیب	۰/۳۱۱	۰/۱۰۹	
تراز- ارتفاع	۰/۴۹۳	۰/۱۷۴	
هیدرواقایم	۰/۱۰۲	-	۰/۰۴<۰/۱
بارش	۰/۴۱۰	۰/۰۴۱	۰/۰۲<۰/۱
دما	۰/۰۶۶	۰/۰۰۶	
تبخیر	۰/۰۹۸	۰/۰۰۹	
رواناب	۰/۴۲۶	۰/۰۴۵	
عوامل انسانی	۰/۱۶۲	-	۰/۰۴<۰/۱
فاصله از مناطق مسکونی	۰/۰۵۹	۰/۰۱	۰/۰۳<۰/۱
شرایط پل ها	۰/۲۸۰	۰/۰۴۵	
فاصله از رودخانه	۰/۲۹۰	۰/۰۵	
کاربری اراضی	۰/۰۹۹	۰/۰۱۶	
تجاوز به حریم رودخانه	۰/۱۳۵	۰/۰۲۱	
فاصله از پل ها	۰/۱۳۶	۰/۰۲۲	
زمین شناسی	۰/۰۴۹	-	۰/۰۴<۰/۱
زهکشی خاک	۱	۰/۰۴۹	۰<۰/۱
مورفولوژی	۰/۳۳۳	-	۰/۰۴<۰/۱
سینوزیته رودخانه	۰/۳۵۱	۰/۱۱۶	۰/۰۳<۰/۱
عرض رودخانه	۰/۳۱۲	۰/۱۰۳	
شرایط کف و دیواره رودخانه	۰/۰۹۰	۰/۰۲۹	
شیب بستر رودخانه	۰/۲۴۷	۰/۰۸۲	

۲-۳-۳- ایجاد پایگاه داده در ArcMap و تبدیل داده‌ها به فرمت رستری

داده‌های وارده شده به نرم افزار ArcMap از نوع وکتوری و رستری بوده که برای طبقه‌بندی تصاویر نیاز است تمام داده‌ها به فرمت رستری تبدیل شوند. در فرمت رستری هرکدام از گزینه‌های موجود در لایه‌ها به پیکسل تبدیل شده که هر کدام از پیکسل‌ها دارای ارزش است. برای طبقه‌بندی نیاز است تا بر اساس ارزش هرکدام از گزینه‌ها یک ارزش به آن‌ها داده شود تا در نهایت تصاویر خروجی، بر اساس ارزش پیکسل سیمبولوژی شوند که نشان دهنده اهمیت گزینه مورد نظر است. 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 رودخانه به دلیل اینکه از نوع نقطه‌ای هستند و تمام اطلاعات آن‌ها در **Attribute Table** ذخیره شده‌اند با استفاده از دستور **IDW**¹ برای تبدیل آن‌ها به فرمت رستری استفاده گردید (پرادهان²، 2009). برای تبدیل لایه خطی فاصله از رودخانه، از دستور فاصله اقلیدسی³ و لایه‌های پلی‌گون رواناب، کاربری اراضی و زهکشی خاک به فرمت رستری از دستور طبقه‌بندی مجدد⁴ استفاده گردید.

۲-۳-۴- هم‌پوشانی لایه‌ها و وزن‌دهی به معیارها

بعد از اینکه تمام لایه‌ها به ده کلاس تقسیم‌بندی گردید، طبقه‌بندی مجدد لایه‌ها به پایان می‌رسد. در طبقه‌بندی، کلاس یک کمترین ارزش در خطر سیلاب و کلاس ده بیشترین ارزش در خطر سیلاب در شهرستان آق‌قلا را دارد. سپس با استفاده از دستور **Weighted Sum** لایه‌ها هم‌پوشانی شده و وزن‌های نهایی (جدول ۳) به دست آمده مربوط به هر معیار و زیرمعیار به لایه مربوطه داده می‌شود.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نقشه نهایی زیرمعیارهای طبقه‌بندی شده در محیط GIS

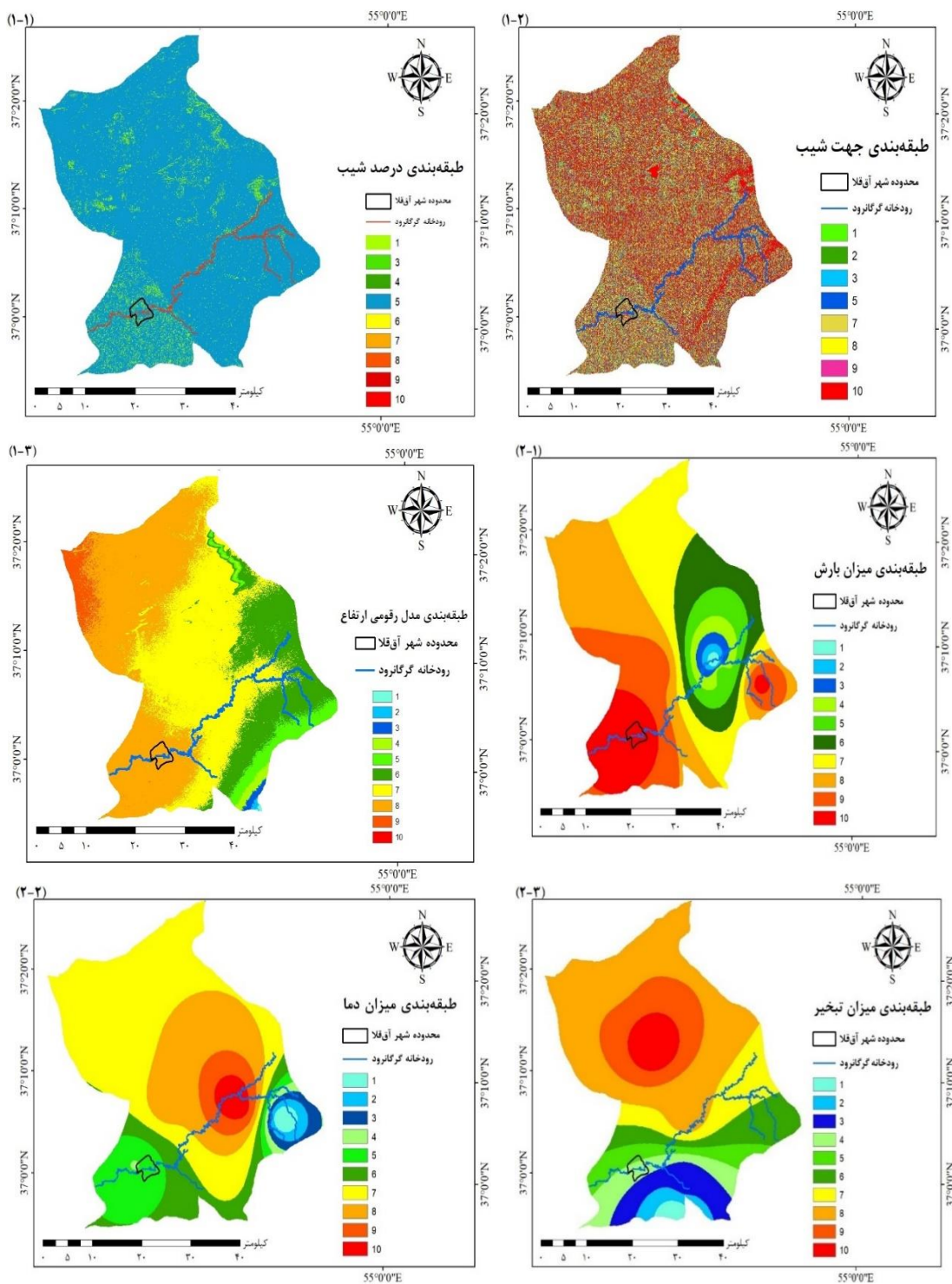
بعد از تبدیل همه لایه‌ها به فرمت رستری نیاز است تا متغیرهای همه لایه‌ها یکسان‌سازی و دارای ارزش شوند. بدین منظور تمام لایه‌ها، پس از وزن‌دهی و ارزش‌دهی به زیرلایه‌ها، به ده کلاس تقسیم‌بندی گردیدند. کلاس یک کمترین ارزش در به وجود آمدن سیلاب و کلاس ده بیشترین ارزش در به وجود آمدن سیلاب در شهرستان آق‌قلا را دارند. نقشه طبقه‌بندی شده زیرمعیارها به تفکیک در (شکل ۵) آورده شده است.

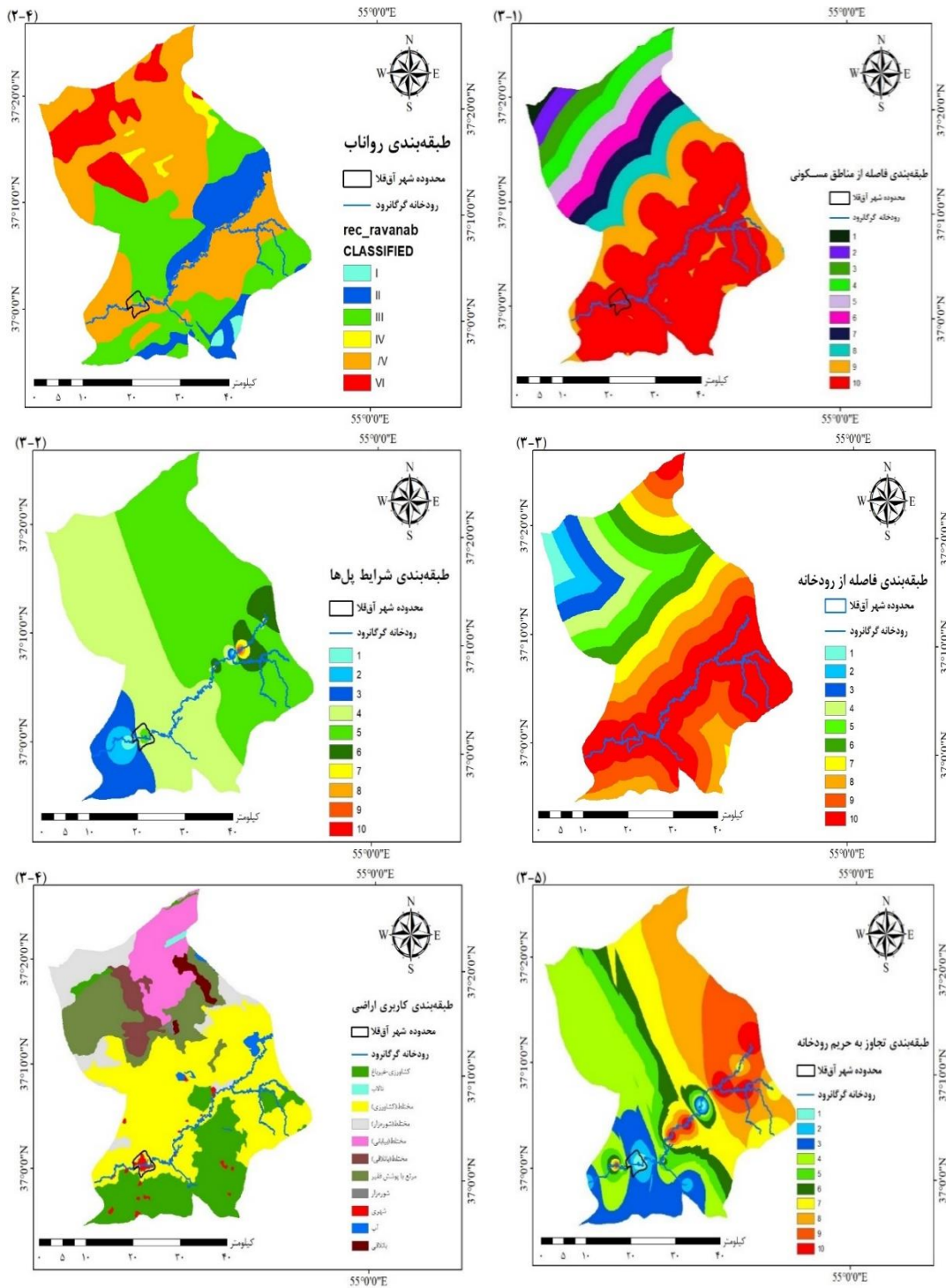
1 Inverse Distance Weighted

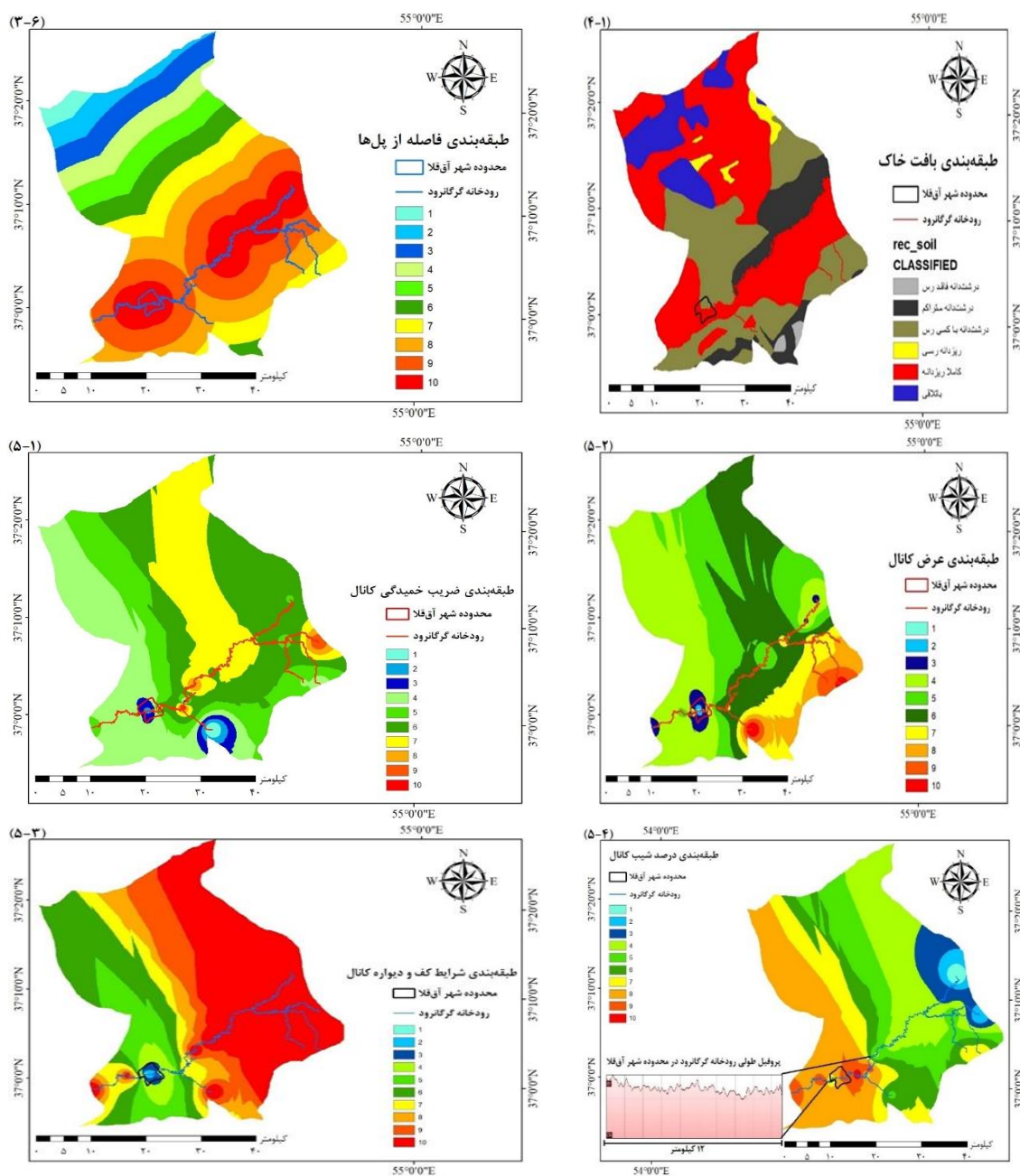
2 Pradhan

3 Euclidean Distance

4 Reclassify



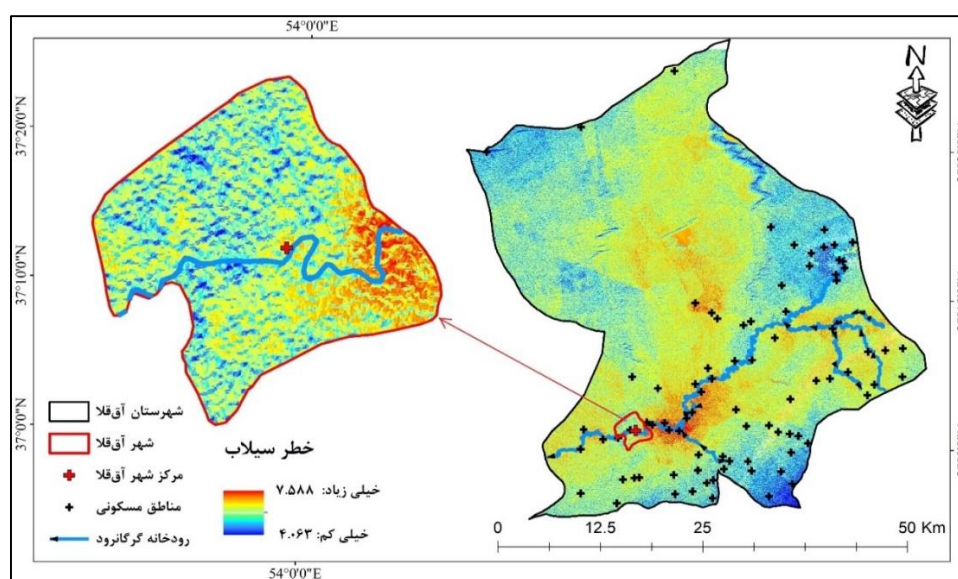




شکل ۵- (۱-۱) لایه درصد شیب، (۲-۱) لایه جهت شیب، (۳-۱) لایه مدل رقومی ارتفاع؛ (۲-۲) لایه بارش، (۲-۲) لایه دما، (۳-۲) لایه تبخیر، (۴-۲) لایه رواناب؛ (۱-۳) لایه فاصله از مناطق مسکونی، (۲-۳) لایه شرایط پل‌ها، (۳-۳) لایه فاصله از رودخانه، (۴-۳) لایه کاربری اراضی، (۵-۳) لایه فاصله از پل‌ها؛ (۱-۴) لایه بافت خاک؛ (۱-۵) لایه ضریب خمیدگی (سینوزیته)، (۲-۵) لایه عرض کانال، (۳-۵) لایه شرایط کف و دیواره، (۵-۴) لایه درصد شیب بستر رودخانه

۳-۲- نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر سیلاب در محیط GIS

در گام آخر بعد از وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارها، لایه‌های تهیه شده به ده کلاس طبقه‌بندی شدند که ارزش ده بیشترین خطر سیلاب و ارزش یک کمترین خطر سیلاب را داشت. لایه‌ها با استفاده از ابزار مجموع وزنی (Weighted Sum) هم‌پوشانی شدند و وزن هر زیرمعیار به لایه آن اعمال گردید. (شکل ۶) نقشه نهایی خطر سیلاب شهرستان و شهر آق‌قلا را نشان می‌دهد.



شکل ۶- نقشه نهایی خطر سیلاب شهرستان و شهر آق‌قلا

با توجه به (شکل ۶) مناطق قرمز رنگ و آبی رنگ به ترتیب مناطق پرخطر و کم‌خطر در برابر سیلاب می‌باشند. اکثر مناطق اطراف رودخانه گرگانرود با توجه به معیارهای مورفولوژی و عوامل انسانی در پهنه پرخطر قرار گرفتند. به دلیل اینکه الگوی رودخانه گرگانرود در محدوده روستای سلاقیلی تا روستای قانقرمه از نوع پیچانرودی شدید است، در سیلاب بهار ۹۸ با توجه به عدم لایروبی رودخانه و فرسایش کناره‌های رودخانه بستر و عرض مفید رودخانه کاهش یافته، و سیلاب جاری در رودخانه در این ناحیه از مدخل رودخانه خارج شده و با توجه به شیب شرقی- غربی منطقه از دشت‌های شمالی شهر آق‌قلا به محیط شهری شهر آق‌قلا وارد گردیده است، لذا این منطقه از شهرستان در محدوده خطر خیلی زیاد قرار می‌گیرد. همچنین دشت‌های میانی شهرستان با توجه به معیار توپوگرافی و کاربری اراضی در محدوده پرخطر قرار گرفت، این منطقه از شهرستان در سیلاب بهار ۱۳۹۸ به دلیل شکسته شدن آب‌بندان یلمه‌خندان آب موجود در آن به دشت‌های مرکزی شهرستان جریان یافته و با توجه به شیب بسیار پایین منطقه (دو در ده‌هزار) سیلاب به‌صورت راکد مانده و منطقه‌ای پرخطر در برابر سیلاب به وجود می‌آید. مناطق شمالی

و شمالی شرقی شهرستان با توجه به زیرمعیارهای شیب و جهت شیب، باعث عدم حرکت سیلاب و وجود مناطق باتلاقی باعث به دام افتادن سیلاب خارج شده از رودخانه اترک در این ناحیه می شود، لذا با وجود اینکه این منطقه از شهرستان فاقد مناطق مسکونی و زمین های زراعی است، در پهنه با خطر متوسط قرار گرفت. مناطق غربی و شمال-غربی شهرستان با توجه به وجود دشت های شورزار و باتلاقی و دور بودن از رودخانه گرگانرود و نبود منازل مسکونی در محدوده خطر کم تا خیلی کم قرار گرفت. این ناحیه در سیلاب بهار ۱۳۹۸ به دلیل طغیان رودخانه اترک دچار پهنه های سیلابی شده است. مناطق غربی و جنوبی شهرستان به دلیل دور بودن از رودخانه گرگانرود و شیب نسبتاً مناسب در محدوده خطر خیلی کم قرار گرفتند.

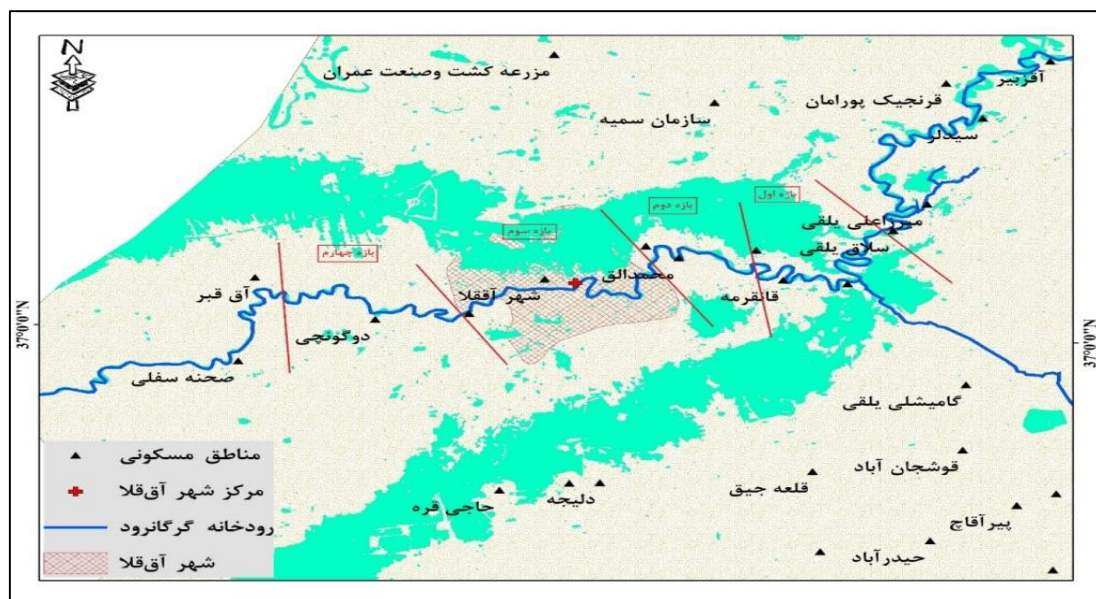
۳-۳- ارزیابی صحت نقشه خطر سیلاب

یکی از گام های اساسی در ارزیابی صحت نقشه های تولید شده توسط سیستم اطلاعات جغرافیایی، مقایسه آن ها با تصاویر ماهواره ای در دسترس و تصاویر پهپادی موجود از زمان واقعه سیلاب است، که جزو دقیق ترین مراجع جهت صحت نتایج می باشند. بدین منظور نقشه خطر سیلاب (شکل ۶) با پهنه های سری زمانی سیلاب استخراج شده از تصاویر موجود ماهواره ستینل-۲ و لندست-۸ (شکل ۸) و تصاویر پهپاد زمان سیلاب (شکل ۹) به صورت کیفی مقایسه گردید.

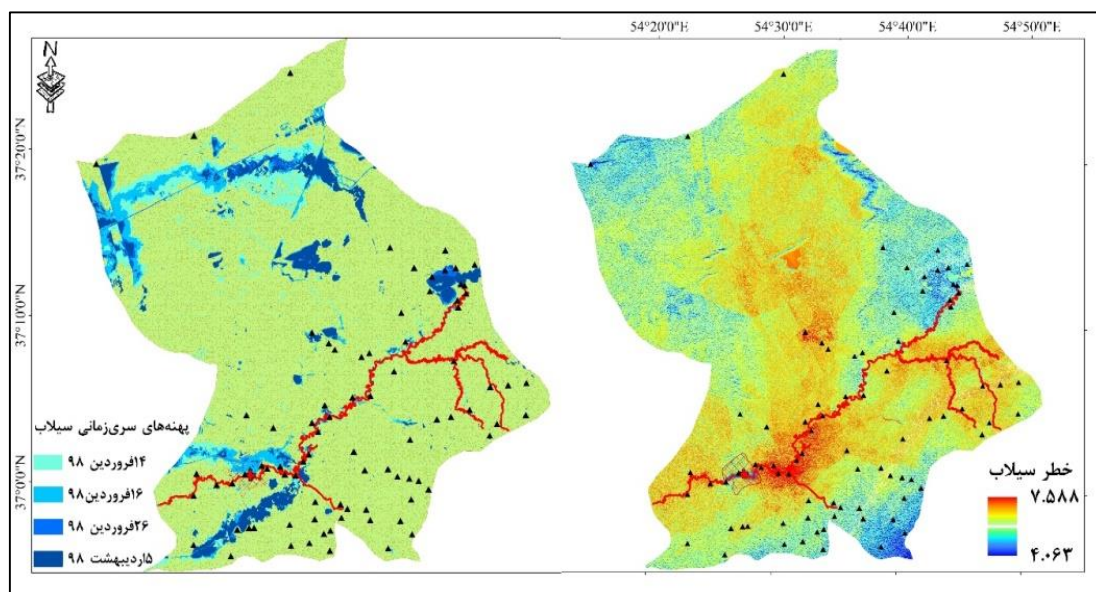
بعد از استخراج پهنه های سیلاب به کمک تصاویر ماهواره ای و همچنین تعیین وزن معیارهای تحقیق، بیشترین اوزان مربوط به معیارهای توپوگرافی و مورفولوژی به ترتیب ۰/۳۵۳ و ۰/۳۳۳ بودند. با بررسی های انجام شده بر روی نقشه پهنه بندی خطر سیلاب (شکل ۶) و پهنه های سیلاب استخراج شده از تصاویر ماهواره ای (شکل ۲)، مشخص شد در مناطقی که معیارهای توپوگرافی و مورفولوژی رودخانه در وضعیت حساسی قرار دارند، باعث ایجاد پهنه های سیلاب شده است. این مناطق به طور خاص در شعاع پنج کیلومتری شهر آق قلا در محدوده روستای سلاق یلقی تا روستای دوگونچی قرار دارند، که باعث شده است این محدوده در خطر خیلی زیاد سیلاب قرار گیرد، در ادامه به چند عامل مهم در ایجاد پهنه های سیلاب در این محدوده اشاره شده است.

ضریب سینوزیته رودخانه در محدوده روستای سلاق یلقی (بازه اول، شکل ۷) برابر ۳/۸۸ است که رودخانه از نوع پیچانرودی شدید است. اولین پیچانرود در بازه اول با شعاع حدوداً ۸۰ متر باعث خروج سیلاب از مدخل رودخانه شده که با توجه به شیب و توپوگرافی و نبود پوشش گیاهی جاذب آب، سیلاب به دشت های واقع در شمال شهر آق قلا جریان پیدا کرده و از مناطق شمالی شهر وارد محیط مرکزی شهر شده است. ضریب سینوزیته رودخانه در محدوده روستای قانقرمه (بازه دوم-شکل ۷) برابر ۲/۰۳۹ است که رودخانه از نوع پیچانرودی شدید است؛ اما با توجه به اینکه حجم عمده سیلاب در بازه اول از مدخل رودخانه خارج شده، حجم سیلاب کمتری به بازه دوم جریان پیدا کرده است. در روستای محمدآلق، تصرف به حریم کمی رودخانه باعث تخریب دیواره های رودخانه در

بعضی از مناطق شده، و وجود پل عبور و مرور با تراز سطح عرشه پایین و عدم وجود پایه‌های مناسب مانند مانعی بر سر راه جریان باعث بالا آمدن سطح جریان و خروج سیلاب از مدخل شده است. ضریب سینوزیته رودخانه در محدوده شهری آق‌قلا (بازه سوم، شکل ۷) برابر $1/414$ می‌باشد که رودخانه از نوع پیچانرودی است. اکثر مسیر رودخانه در این بازه مستقیم بوده و میانگین شعاع پیچانرودها هشت درصد از میانگین شعاع پیچانرودهای بازه اول بیشتر است. میانگین عرض بستر کانال رودخانه در بازه سوم 26% بیشتر از میانگین عرض بستر کانال رودخانه در بازه‌های اول و دوم است. ضریب سینوزیته رودخانه در محدوده روستای دوگونچی (بازه چهارم، شکل ۷) برابر $1/604$ که رودخانه از نوع پیچانرودی است. میانگین عرض پیچانرودها در این بازه 30% نسبت به بازه سوم کمتر است، که نشان می‌دهد عرض رودخانه در پیچانرودها کمتر از سایر بازه‌ها است. در این بازه پهنه‌های سیلاب فقط در نزدیکی پیچانرودها از مدخل رودخانه خارج شده است. تغییرات ناگهانی مقطع رودخانه و تغییر شیب از (سه در ده هزار به دو در ده هزار) باعث جدا شدن خطوط جریان شده و تخریب مخصوصاً در کناره‌های پل حوالی روستای آق‌تکه‌خان به طرف پایین‌دست رودخانه گرگنرود می‌شود.

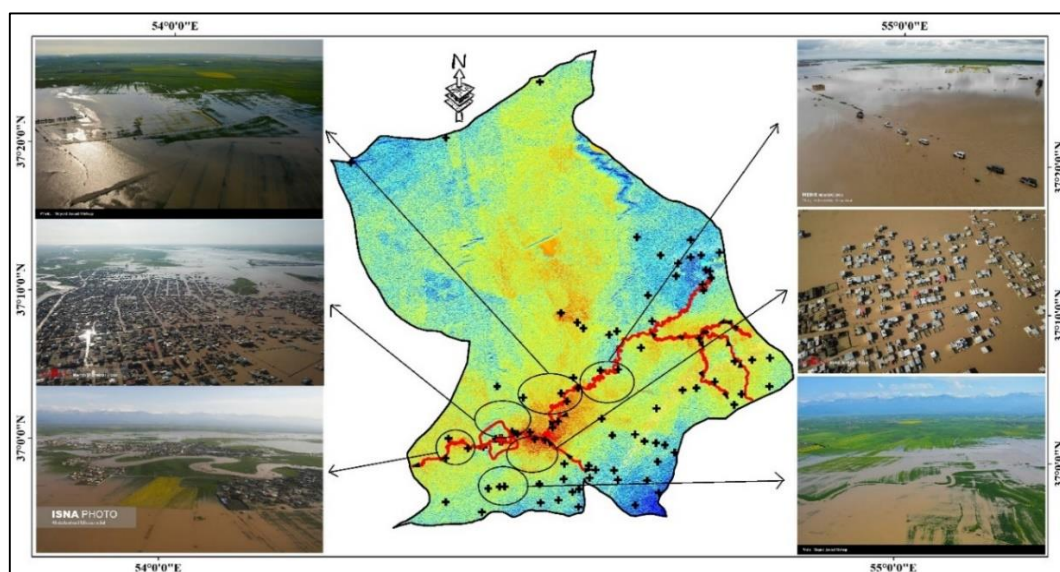


شکل ۷- در حدفاصل روستای سلاق یلقی تا روستای دوگونچی، محدوده خطر خیلی زیاد



شکل ۸- مقایسه نقشه خطر سیلاب با پهنه‌های سیلاب استخراج شده به کمک تصاویر ماهواره سنتینل-۲ و

لندست-۸



شکل ۹- مقایسه پهنه‌های پرخطر، با تصاویر پهپاد، سیلاب بهار ۱۳۹۸ شهرستان آق‌قلا

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۴-۱- پیشنهادهای کاهش آسیب‌پذیری خطر سیلاب

به‌منظور تفکیک شهرستان آق‌قلا با توجه به خطر سیلاب نقشه (شکل ۱۰)، به پنج بازه، خطر خیلی کم، خطر کم، خطر متوسط، خطر زیاد و خطر خیلی زیاد تقسیم‌بندی گردید. با توجه به (شکل ۱۰)، مناطق اطراف رودخانه

گرگانرود در محدوده سد وشمگیر تا شهر آق‌قلا تا شعاع ده کیلومتر در پهنه خطر خیلی زیاد و مناطق شمالی و جنوبی شهرستان 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 سیلاب، راهکارهای کنترل سیلاب پیشنهاد شده است. مساحت و درصد تفکیک پهنه‌های خطر در (جدول ۴) نشان داده شده است.

پهنه با خطر خیلی زیاد (رنگ قرمز): حدود ۲۶ درصد شهرستان آق‌قلا در محدوده خطر سیلاب قرار گرفت. با توجه به شیب نسبتاً مناسب مناطق شمالی سد وشمگیر، ایجاد کانال انحرافی در پایین دست سرریز غربی سد وشمگیر به سمت دشت‌های شمالی که شورزار و باتلاقی است، 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 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. مناطق مرکزی شهرستان به دلیل وجود آب‌بندان‌های زیاد از جمله آب‌بندان یلمه‌خندان، هنگام واقعه سیلاب دبی زیادی از سرریز غربی سد وشمگیر وارد این آب‌بندان‌ها می‌شود، کنترل حجم دبی ورودی به این آب‌بندان‌ها، تثبیت بدنه آن‌ها و زهکشی و حفر کانال‌های جمع‌آوری رواناب با توجه به شرایط توپوگرافی موجود راه‌حل مناسبی است. همچنین جابه‌جایی مسیر ریل راه‌آهن یا ایجاد کالورت‌های عبور سیلاب در زیر خطوط ریل راه‌آهن باعث جریان سیلاب به دشت‌های شمالی شده که فاقد مناطق مسکونی و زمین‌های زراعی است.

پهنه با خطر زیاد (رنگ زرد): حدود ۳۰ درصد شهرستان آق‌قلا در محدوده خطر سیلاب قرار گرفت. این پهنه‌ها در مناطق شمال-شرقی، جنوب-شرقی و مناطق غربی شهرستان آق‌قلا قرار دارند. در مناطق جنوبی سد وشمگیر به علت تجاوز شهرها و روستاها به حریم رودخانه، وجود منازل مسکونی موجود در حریم کمی (۲۰ متر) رودخانه گرگانرود هنگام سیل با دوره بازگشت ۵۰ 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. مناطق شمال-شرقی شهرستان اکثر مناطق شورزار و باتلاقی است که هنگام طغیان رودخانه اترک دچار آبگرفتگی می‌شوند، و با توجه وجود تپه‌ماهوری منطقه و عدم زهکشی منطقه جریان سیلاب به سمت مناطق غربی و دریای خزر وجود ندارد لذا با توجه به اهمیت کمتر این منطقه با توجه به سایر مناطق شهرستان راهکارهای کاهش خطر سیلاب در منطقه صرفه اقتصادی نخواهد داشت.

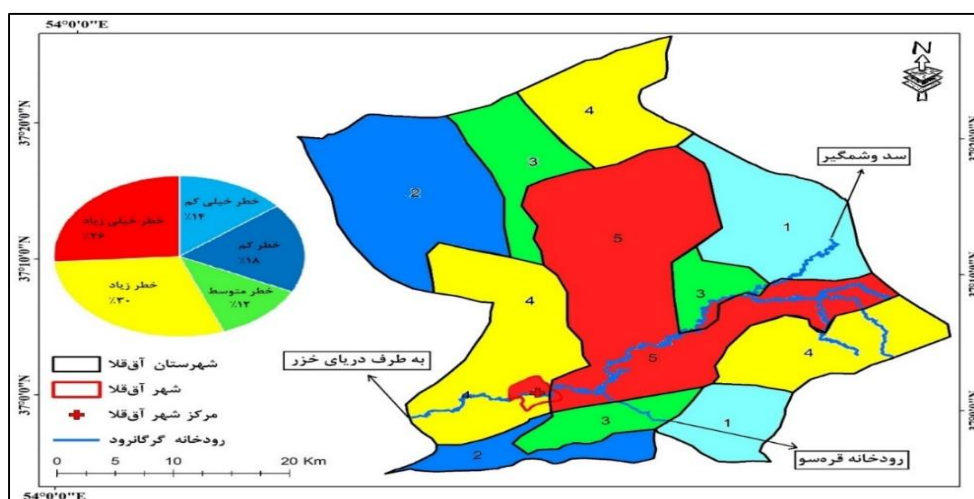
پهنه با خطر متوسط (رنگ سبز): حدود ۱۲ درصد شهرستان آق‌قلا در محدوده خطر سیلاب قرار گرفت. مناطق جنوبی شهر آق‌قلا به دلیل عبور زیرشاخه‌های رودخانه قره‌سو، لایروبی این رودخانه و بهسازی پل‌های بتنی می‌تواند کمک بزرگی به کنترل سیل در این نواحی کند. نواحی غربی سد وشمگیر به دلیل کانالیزه کردن رودخانه و شیب

مناسب در سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ ساله دچار آبگرفتگی نشدند. دشت‌های شمالی شهرستان با توجه به اینکه در حریم رودخانه اترک قرار دارد، در سیلاب بهار ۹۸ با بیرون زدگی سیلاب از کانال رودخانه اترک، رواناب آن با توجه به ماهیت توپوگرافی منطقه وارد مناطق شمالی شهرستان می‌شود، این مناطق به دلیل وجود دشت‌های باتلاقی و شوره‌زار مکان مناسبی برای هدایت سیلاب می‌باشند.

پهنه با خطر کم (رنگ آبی): حدود ۱۸ درصد شهرستان آق‌قلا در محدوده خطر سیلاب قرار گرفت. مناطق شمال-غربی شهرستان اغلب شامل شوره‌زار و مناطق باتلاقی می‌باشند که کاربری خاصی ندارند و با ایجاد کانال انحرافی و زهکشی مناسب حوضه آبریز حجم عمده‌ای از رواناب‌های جاری را به سمت دریای خزر هدایت کرد. پهنه با خطر خیلی کم (رنگ فیروزه‌ای): حدود ۱۴ درصد شهرستان آق‌قلا در محدوده خطر سیلاب قرار گرفت. این مناطق به دلیل اینکه در فاصله دورتری از رودخانه گرگانرود قرار دارند و اغلب کاربری اراضی آن باغ و زمین‌های زراعی است و ممکن است در سیل‌های با دوره بازگشت ۵۰ ساله به بالا دچار آبگرفتگی خفیف شوند. لذا با انجام راه‌کارهای ارائه شده این مناطق جزو مناطق ایمن در برابر سیلاب می‌باشند.

جدول ۴- مساحت و درصد پهنه‌های خطر سیلاب، شهرستان آق‌قلا

درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	پهنه‌های خطر
۲۶/۱	۴۸۶/۱۸۵	پهنه با خطر خیلی زیاد
۲۹/۶۶	۵۵۳/۱۴۸	پهنه با خطر زیاد
۱۱/۹۵	۲۲۲/۷۷۸	پهنه با خطر متوسط
۱۸/۱	۳۳۷/۰۹۴	پهنه با خطر کم
۱۴/۱۹	۲۶۴/۵۱۴	پهنه با خطر خیلی کم
۱۰۰	۱۸۶۳/۷۱۹	مجموع



شکل ۱۰- نقشه تفکیک شده خطر سیلاب شهرستان آق‌قلا

۵- جمع‌بندی

بر اساس نتایج، رودخانه گرگانرود در حدفاصل روستای سلاق‌یلقی تا روستای قانقرمه جزو مناطق حساس از نظر مورفولوژی است. در این بازه شاخص سینوزیته برابر $۳/۸۸$ ، تعداد پیچانرود و میانگین شعاع پیچانرودها به ترتیب برابر ۱۸ و ۸۹ متر است (گنجی، ۱۳۹۹) که نسبت به سایر بازه‌ها تعداد پیچانرودها و میانگین شعاع پیچانرودها به ترتیب ۳۰ درصد بیشتر و پنج درصد کمتر است. با بازدیدهای میدانی و مشورت با کارشناسان خبره سیلاب، پنج معیار کلی و ۱۸ زیرمعیار مؤثر در ایجاد سیلاب شهرستان آق‌قلا و رودخانه گرگانرود شناسایی گردید. بعد از وزن‌دهی آن‌ها با روش سلسله مراتبی AHP معیارهای توپوگرافی و عوامل مورفولوژی به ترتیب $۰/۳۵۳$ و $۰/۳۳۳$ بیشترین اوزان را به خود اختصاص دادند. براساس نقشه آسیب‌پذیری خطر سیلاب، مشخص شده حدفاصل سد وشمگیر تا ابتدای شهر آق‌قلا و دشت‌های مرکزی شهرستان به علت شرایط نامناسب توپوگرافی و مورفولوژی رودخانه گرگانرود جزو پهنه‌های پرخطر در برابر سیل می‌باشند. با توجه به نقشه تفکیک شده آسیب‌پذیری خطر سیلاب مشخص شده $۱۴/۱۹$ درصد از مساحت شهرستان آق‌قلا در پهنه با خطر خیلی کم و $۱۸/۱$ درصد در پهنه با خطر کم و $۱۱/۹۵$ درصد در پهنه با خطر متوسط و $۲۹/۶۶$ درصد در پهنه با خطر زیاد و در نهایت $۲۶/۱$ درصد شهرستان در پهنه با خطر خیلی زیاد قرار دارد.

۶- تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از اداره منابع طبیعی و آبخیزداری و شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان بابت همکاری در تکمیل پرسشنامه‌ها تشکر می‌نمایند.

کتابنامه

- اصغرپور، محمدجواد؛ ۱۳۹۷. *تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره*. انتشارات دانشگاه تهران. فصل دوم. صص ۹۵-۱۰۱.
- آذرنگ، فرهنگ؛ تلوری، عبدالرسول؛ صدقی، حسین؛ شفاعی بجستان، محمود؛ 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*. صص ۱۱-۲۷.
- آقایی، شیماء؛ مازیار، محمدرضا؛ ۱۳۸۶. *تصمیم‌گیری منطقی با بهره‌گیری از نرم‌افزار Expert Choice 2000* انتشارات اردکان دانش. اصفهان. ص ۶.
- بدیعی‌زاده، سامان؛ بهره‌مند، عبدالرضا؛ آرامی، عبدالحسن؛ سبحانی، آمنه؛ ۱۳۹۱. بررسی تحلیلی معیارهای هیدرولیکی و آسیب‌پذیری در پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره. سومین همایش ملی مقابله با بیابان‌زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران. اراک: دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک. صص ۳-۵.

بزرگ حداد، امید؛ خسروشاهی اصل، سارا؛ زارعزاده، محبوبه؛ جوان، پوریا؛ ۱۳۹۲. توسعه مدل شبیه‌سازی-بهینه‌سازی در حفاظت مناطق سیل‌گیر. *نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)*. جلد ۲۷. شماره ۳. صص ۴۶۲-۴۷۱.

حسین‌زاده، محمد مهدی؛ اسماعیل‌پور، نادر؛ زنگی‌آبادی، سید محمد علی؛ ۱۳۹۴. ارزیابی رابطه SCS-CN در تعیین میزان رواناب با استفاده از نرم‌افزار Arc-GIS مطالعه موردی: حوضه آبریز سلطانی. اولین کنفرانس بین‌المللی علوم جغرافیایی. شیراز: موسسه عالی علوم و فناوری خوارزمی. ص ۳.

حیدری، علی؛ امامی، کامران؛ برخوردار، مهرداد؛ مرادی، شادی؛ ۱۳۸۵. پیش‌بینی و هشدار سیلاب. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. شابک: ۹۶۴-۶۶۶۸-۵۸-۵. صص ۱۴۹-۱۵۰.

درخشان، شهرام؛ ضیائی‌ان فیروزآبادی، پرویز؛ بخشی‌پور، امیدرضا؛ ۱۳۸۵. بررسی کارایی مدل‌های مختلف در مکانیابی پخش سیلاب با استفاده از GIS مطالعه موردی حوضه دویرج ایلام. هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه. اهواز: سازمان آب و برق خوزستان. دانشگاه شهید چمران اهواز. ص ۶.

صالحی، اسماعیل؛ رفیعی، یوسف؛ فرزاد بهتاش، محمد رضا؛ آقابابایی، محمد تقی؛ ۱۳۹۲. پهنه‌بندی سیلاب شهری با استفاده از GIS و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، مطالعه موردی: شهر تهران. *محیط‌شناسی*. سال سی و نهم. شماره ۳. صص ۱۷۹-۱۸۸.

عبدی‌نژاد، پرویز؛ حیدری، اصغر؛ حسینی، احمد؛ ۱۳۹۴. تشکیل بانک اطلاعاتی و پایگاه داده‌های مشخصات عمومی رودخانه‌ها و مسیل‌های استان زنجان در محیط GIS. اولین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی. تهران: دانشکده مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی. ص ۹.

عسگری، شمس‌الله؛ احمدی، مهدی؛ همتی، موسی؛ ۱۳۹۴. فرسایش کناری رودخانه چرداول با استفاده از مدل HEC-RAS و GIS. *مجله تحقیقات جغرافیایی*. شماره ۳۰. صص ۷۱-۸۰.

عطایی، محمد؛ ۱۳۸۸. *تصمیم‌گیری چندمعیاره*. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود. صص ۱۹-۴۵.

قلی‌نژاد، جواد؛ ظهیری، عبدالرضا؛ دهقانی، میراحمد؛ ۱۳۹۱. شبیه‌سازی یک‌بعدی و دوبعدی جریان‌های سیلابی در رودخانه‌ها (مطالعه موردی: رودخانه گرگانرود ایستگاه هیدرومتری آق‌قلا). *مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک*. دوره نوزدهم. شماره چهارم. صص ۱۰۳-۱۱۹.

گنجی، کامران؛ قره‌چلو، سعید؛ احمدی، احمد؛ ۱۳۹۹. بررسی اثر شاخص‌های مورفولوژیکی رودخانه گرگانرود بر پهنه‌های سیلاب با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور و تحلیل‌های مکانی (منطقه مطالعاتی: شهر آق‌قلا). *نشریه علمی جغرافیا و مخاطرات محیطی*. دانشگاه فردوسی مشهد. دوره ۹. شماره ۳ - شماره پیاپی ۳۵. صص ۲۲۵-۲۰۵.

DOI: 10.22067/GEOEH.2020.67016.0

نظری‌ها، مهرداد؛ علی، نقی‌خانی؛ قیاسی، بهزاد؛ یوسفی، علی؛ ۱۳۹۲. بررسی عوامل مؤثر بر ریخت‌شناسی (مورفولوژی) آبراهه‌ها و رودخانه‌ها. اولین همایش ملی مهندسی و مدیریت کشاورزی، محیط‌زیست و منابع طبیعی پایدار. همدان، انجمن ارزیابان محیط‌زیست هگمتانه. صص ۶۴۸-۶۵۵.

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.
- 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.
- 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: 10.1117/12.2194449
- Ganji, K., Gharachelou, S., Ahmadi, A., 2019. Urban's river flood analysing using sentinel-1 data case study: (gorganrood, aq'qala). *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives* 42(4/W18):415–419. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-4-W18-415-2019
- 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.
- Sadek, M., Li, X., 2019. Low-Cost Solution for Assessment of Urban Flash Flood Impacts Using Sentinel-2 Satellite Images and Fuzzy Analytic Hierarchy Process: A Case Study of Ras Ghareb City, Egypt. *Advances in Civil Engineering* 2019. DOI: 10.1155/2019/2561215
- 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