

پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز گرگانرود)

صالح آرخی* - استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان.
حدیث یاری بیگی - دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی، دانشگاه گلستان، گرگان.
سمیه عمادالدین - استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۱۸ تأیید نهایی: ۱۴۰۰/۰۹/۱۲

چکیده

امروزه عوامل مختلفی همچون رشد بی‌رویه جمعیت، تسطیح زمین و اشغال حریم رودخانه‌ها در کنار عوامل اقلیمی در مناطق مختلف کشور سبب گسترش سیلاب‌ها شده است. حوضه گرگانرود هم از این شرایط مستثنی نیست؛ به طوری که این پدیده باعث تخریب و خسارات زیادی به مناطق مسکونی، راههای ارتباطی، اراضی زراعی و باغات در طی چند سال گذشته شده است. اهداف این پژوهش، پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده گرگانرود و معرفی مهم‌ترین عوامل در وقوع سیلاب می‌باشد. بدین منظور معیارهایی همچون شیب، جهت شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، بارندگی، فاصله از آبراهه و رودخانه، فاصله از راه‌ها، فاصله از مناطق مسکونی، تراکم زهکشی، شاخص NDVI (تراکم پوشش گیاهی) و ضریب رواناب (شامل کاربری اراضی، بافت خاک، گروه هیدرولوژیک خاک، شماره منحنی، نگهداشت سطحی و ارتفاع رواناب سالانه) انتخاب گردید. از سیستم اطلاعات مکانی و تصاویر ماهواره‌ای برای تولید لایه‌های معیارها استفاده شد. سپس با استفاده از نظرهای کارشناسی و شناخت منطقه، وزندهی نهایی لایه‌ها به روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی به وسیله نرم-افزار Expert choice انجام گردید و نقشه پهنه‌بندی سیلاب در محدوده حوضه آبخیز گرگانرود ارائه شد. در نهایت نقشه پهنه‌بندی نهایی با همپوشانی نقشه‌های وزندهی شده برای هر معیار در سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. بررسی و تحلیل نهایی نقشه به دست آمده بیانگر آن است که نواحی شمال و شمال غرب دارای بیشترین ظرفیت سیل‌خیزی هستند. همچنین نتایج نشان داد که از کل مساحت منطقه، ۱۹,۹۷ درصد دارای وضعیت با خطر خیلی زیاد، ۱۹,۹۸ درصد دارای وضعیت با خطر زیاد، ۱۹,۹۸ درصد دارای وضعیت با خطر متوسط، ۲۰,۰۷ درصد دارای وضعیت با خطر کم، ۲۰ درصد دارای وضعیت خطر خیلی کم در برابر سیل قرار دارند. در این پژوهش، از بین عوامل طبیعی موثر بر وقوع سیلاب، عامل بارش بیشترین تاثیر را در وقوع سیلاب در حوضه آبریز مورد مطالعه دارد.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی سیلاب، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، حوضه آبخیز گرگانرود.

مقدمه

سیلاب یکی از مخاطراتی است که امروزه بشر با آن مواجه است و هر ساله خسارات مالی و جانی فراوانی را به دنبال دارد و از جمله بلایای طبیعی شناخته شده است که طبق گزارش جهانی برنامه عمران سازمان ملل در مورد خطر بلایای طبیعی، سیلاب همراه با زلزله و خشکسالی بالاترین رتبه را از لحاظ خسارت مالی و جانی به همراه دارد. توسعه شهرنشینی، به ویژه در مناطق سیل‌گیر در دهه‌های اخیر بر میزان خسارات سیل افزوده است (فتوحی و کیانی، ۱۳۹۴: ۱۴۲). با توجه به وقوع این سیل‌ها، مکان‌های با بیشترین پتانسیل برای وقوع سیل (مناطق حساس) باید قبل از برنامه‌ریزی توسط نقشه‌های حساسیت به وقع سیل مشخص گردند (بوبک^۱ و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۴۸۸) تا خسارات جانی و مالی ناشی از سیلاب‌های آتی را کاهش داد (کورقالاس و کاراتازاس^۲، ۲۰۱۵: ۲۱۸). در صورت ریزش بیش از اندازه باران به ویژه به شکل رگباری آن با توجه به شرایط ناهمواری و پوشش گیاهی منطقه، قسمت اعظم آن به صورت رواناب در آمده و پس از مدت کوتاهی بصورت سیل جاری شده و خسارات زیادی را با خود به همراه می‌آورد. روند رو به افزایش سیل در سال‌های اخیر حاکی از آن است که اکثر مناطق کشور در معرض تهاجم سیلاب‌های ادواری و مخرب قرار دارند و ابعاد خسارات و تلفات جانی و مالی سیل افزایش یافته است، که از دلایل تکرار فراوان این پدیده در نتیجه برهم خوردن تعادل هیدرولوژیکی و اکولوژیکی (میلر^۳ و همکاران، ۱۹۹۰: ۵۸۴) همانند شهرسازی (در طول رودخانه‌ها)، تغییر اقلیم (تهرانی^۴ و همکاران، ۲۰۱۵a: ۹۶؛ کجیلدسون^۵، ۲۰۱۰: ۳۹۸) و قطع جنگلها می‌باشد (براناستیرت^۶، ۲۰۰۳: ۵۵۱).

سیلاب‌ها علاوه بر هزینه‌های اقتصادی زیاد، باعث انتقال پاتوژنها به محیط‌های شهری و روستایی شده و باعث توسعه میکروبی در ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها می‌شوند (تیلور^۷ و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۰۲۴). برای پیشگیری و مهار سیلاب باید در درجه اول مناطقی که پتانسیل بالایی در تولید سیل دارند، شناسایی و سپس عوامل تولید و ایجاد سیل به صورت دقیق تعیین گردند. همچنین اخطار سریع و پاسخ اضطراری به وقوع سیلاب، ضروری و مورد نیاز است (فینگ و وانگ^۸، ۲۰۱۱: ۶۰۶). با اجرایی ساختن این اقدامات است که دولت‌ها می‌توانند از بروز خسارت تا حدی که ممکن است جلوگیری نمایند (تهرانی^۹ و همکاران، ۲۰۱۴a: ۳۳۷). با توجه به اهمیت مخاطرات ناشی از سیل و روند روزافزون آن در سال‌های اخیر، تهیه نقشه‌های سیل‌گیری و پهنه‌بندی حساسیت وقوع سیل، مورد توجه ویژه محققان و کارشناسان قرار گرفته است.

روش‌های متعددی برای تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب ارائه شده که از آن جمله می‌توان به روش‌های استفاده از داغاب سیلاب، مقایسه عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور، استفاده از مدل‌های ریاضی و تصمیم ساز اشاره کرد (رکن‌الدین افتخاری و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۶۹). همچنین نرم‌افزار GIS نیز به عنوان ابزار آنالیز پایه برای مدیریت مکانی و دستکاری داده‌ها به دلیل توانایی آن در هندلینگ مقادیر زیادی از داده‌های مکانی به کار رفته است (او و پاردهن^{۱۰}، ۲۰۱۱: ۱۲۷۰) و ترکیب مدل‌های مختلف چند معیاره، ریاضی، آماری و احتمالاتی... با RS و GIS بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته است.

در زمینه پهنه‌بندی سیلاب و تهیه نقشه خطر آن مطالعات بسیاری در جهان و ایران انجام شده است که می‌توان به مواردی چند از آنها اشاره نمود: اوگونتونده و همکاران (۲۰۰۶) داده‌های تاریخی بلندمدت بارندگی، رواناب و دیگر عوامل اقلیمی را

1. Bubeck et al

2. Kourgialas and Karatzas

3. Miller et al

4. Tehrany et al

5. Kjeldsen

6. Bronstert

7. Taylor et al

8. Feng and Wang

9. Tehrany et al

10. Oh and Pradhan

برای تحقیق در تمایلات و تغییرات هیدرولوژیکی در حوضه آبریز رودخانه ولتا واقع در غرب آفریقا را در دوره زمانی ۱۹۰۱ تا ۲۰۰۲ بررسی کردند. یافته‌های آنها نشان داد که عوامل اقلیمی (شدت بارندگی، نوع بارش و دمای هوا) تأثیر مهمی در چگونگی ایجاد سیلاب در ارتباط با ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوضه (شکل حوضه، جنس زمین، شیب و کاربری اراضی) دارد. کین و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیق خود به پهنه‌بندی بزرگراه‌های چین به لحاظ خطر وقوع سیلاب، با استفاده از مدل سلسله مراتبی (AHP) و با بکارگیری معیارهایی چون وضعیت زمین شناسی، شدت بارش و فراوانی سیلاب اقدام کرد. کزاکیس و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه خود به تهیه نقشه خطر سیل با استفاده از شاخص خطر سیل در شمال شرقی یونان پرداختند. آنها ابتدا نقشه‌های مربوط به هر یک از پارامترهای شاخص خطر سیل را تهیه کرد. سپس با استفاده از روش سلسله مراتبی اقدام به وزن‌گذاری نقشه‌ها نمودند و در نهایت با استفاده از نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه پهنه‌بندی خطر سیل را استخراج نمودند. یوسف و هگاب (۲۰۱۹) در مطالعه خود با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و GIS به منظور ایجاد نقشه حساسیت سیل برای منطقه راس غریب در مصر اقدام نمودند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که ۷۶ درصد منطقه در برابر وقوع سیل مستعد و بسیار حساس، ۱۹/۱ درصد حساس و ۴/۷ درصد دارای حساسیت پایین و بسیار پایین می باشد. داس (۲۰۱۹) نقشه حساسیت سیل را بر اساس پارامترهای تأثیرگذار در وقوع سیل، یعنی ارتفاع، شیب، فاصله از شبکه زهکشی، وضعیت ژئومورفولوژی زمین، تراکم زهکشی، جهت جریان تجمعی، بارش، کاربری اراضی، لیتولوژی، شاخص توان جریان و انحنای توپوگرافی را برای حوضه اولهاس تهیه نمود. نقشه حاصله نشانگر این است که حدود ۲۵ درصد از مساحت حوضه آبخیز در معرض خطر بسیار بالایی قرار دارد. طیبی (۱۳۸۴) با استفاده از مدل‌های منطق بولین و فازی در محیط GIS، مطالعه و پهنه‌بندی توان سیل‌خیزی با توجه به ویژگی‌های ژئومورفیک حوضه آبریز سبزوار پرداخته است. کردوانی و همکاران (۱۳۸۸) در تحلیل منطقه‌ای سیلاب‌های لارستان به این نتیجه رسیدند که مهم‌ترین عوامل در وقوع سیلاب‌های لار، شدت و مدت بارش و همچنین توپوگرافی منطقه است. رکن‌آبادی و همکاران (۱۳۸۸) مطالعه‌ای را با مدل HEC-GeoRAS برای پهنه‌بندی خطر سیلاب در محیط GIS در حوضه آبخیز گرگانرود انجام دادند. نتایج تحلیل تجربی پهنه‌بندی سیلاب در منطقه مورد مطالعه که با استفاده از مقاطع طولی و عرضی و حداکثر بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۲۵ ساله و به کارگیری مارژول‌های Hec-GeoRAS بدست آمد، نشان می‌دهد که در مرحله نخست تلفیق ابزارهای فناوری جغرافیایی از جمله سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در تایید مطالعات قبلی، دارای کارایی مناسبی برای پهنه‌بندی خطر سیلاب برخوردار هستند و دوم اینکه تعداد ۱۵۶ روستا در پهنه با ریسک و خطر بالا، در پهنه با ریسک و خطر متوسط ۴۴ نقطه روستایی و در پهنه با ریسک و خطر کم ۳۵ روستا قرار دارند و نوعی سطح بندی خطر سیل را بازگو می‌کند. قنواتی و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی به پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز بالخولچای اقدام نمودند. آنها با انتخاب پارامترهای تأثیرگذار در وقوع سیلاب، نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه مورد مطالعه را با دوره‌های برگشت مختلف تهیه کردند. ایمانی و پورخسروانی (۱۳۹۶) با استفاده از مدل منطق فازی به پهنه‌بندی سیل شهرستان اردبیل پرداختند. نتیجه نهایی مطالعه آنها نشان دهنده این است که بخش‌های شمال غربی و جنوب غربی شهرستان در پهنه‌های بسیار خطر قرار دارد. محمود زاده و باکویی (۱۳۹۷) به منظور پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی شهر ساری از روش تصمیم‌گیری چند معیاره و فازی استفاده نمودند. نتایج مطالعه آنها حاکی از این است که خطر وقوع سیل در قسمت‌های مرکز و جنوب شهر ساری از بیشترین مقدار برخوردار می‌باشد. گنجی و همکاران (۱۳۹۸) مطالعه‌ای با عنوان پهنه بندی سیلاب رودخانه گرگانرود براساس حریم کمی و کیفی با استفاده از HEC-RAS و GIS به منظور شبیه سازی سیلاب اخیر (۱۳۹۸) در محدود روستاق سلاق یلقی تا شهر اق قلا انجام دادند. بر اساس نتایج، مساحت پهنه های سیلاب بهار ۱۳۹۸ براساس حریم کمی و کیفی رودخانه گرگانرود که به ترتیب ۲۰ و ۱۵۰ متر در نظر گرفته شدند، محاسبه گردید. مساحت پهنه سیلاب برای دوره بازگشت‌های ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله به ترتیب برابر ۵۸/۵، ۸۲/۶، ۱۳/۷ و ۸۰/۷ کیلومترمربع برای حریم کیفی ۱۵۰ متری رودخانه و ۰۲/۶، ۰۲/۶، ۲۸/۶

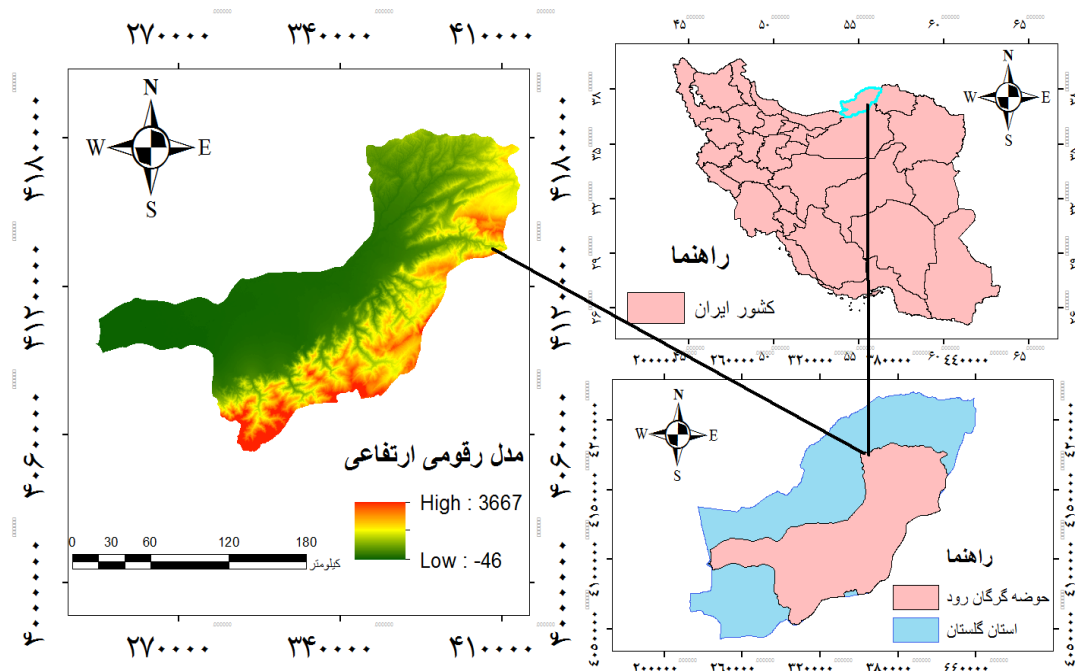
و ۰۷۵/۷ کیلومترمربع برای حریم کمی ۲۰ متری رودخانه گرگانرود برآورد گردیدند. بیشترین مساحت پهنه‌های سیلاب مربوط به هشت مقطع اول رودخانه که در حد فاصل روستای سلاق یلقی تا شهر آق قلا قرار دارد، می‌باشد. آیل و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و با انتخاب عوامل ساختاری تاثیرگذار در وقوع سیل، نقشه پهنه‌بندی خطر سیل شهر زاهدان را تهیه نمودند. شعبانی‌نیا و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه خود به برآورد ارتفاع رواناب و دبی حداکثر سیلاب حوضه آبخیز لایچ‌رود در شهرستان چمستان با استفاده از مدل اتومات سلولی و SCN اقدام نمودند و به این نتیجه رسیدند، پراکنش مکانی بارش مهم‌ترین عامل تولید سیلاب در این حوضه می‌باشد.

مناطق شمالی ایران، به دلیل شرایط طبیعی و اقلیمی ویژه خود، از نظر جمعیتی و پوشش جنگلی، از پرتراکم‌ترین مناطق کشور هستند. علاوه بر تراکم بالای جمعیت و پوشش جنگلی، در این مناطق هر سال محصورت زراعی، دامی، باغی و ... قابل ملاحظه‌ای تولید می‌شود و نشانگر اهمیت این منطقه در شاخص‌های مختلف توسعه محلی و منطقه‌ای می‌باشد. با این وجود هر سال شاهد وقوع مخاطرات طبیعی مختلفی از جمله سیل در مناطق شمالی کشور از جمله حوضه آبخیز گرگانرود هستیم که در مواردی علاوه بر خسارات مالی گسترده، تلفات جانی نیز به همراه دارد. برای پیشگیری از این حوادث و کاهش این خسارات و تلفات، شناسایی مکان‌ها و پهنه‌های مستعد سیل و به نوعی مناطق حساس در این زمینه، امری ضروری و منطقی به نظر می‌رسد. در این مطالعه سعی شده است، بر اساس فاکتورهای مختلف، نقشه پهنه‌بندی حساسیت وقوع سیل در حوضه آبخیز گرگانرود با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره AHP تهیه و اعتبارسنجی شود. بنابراین، هدف کلی این تحقیق پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده گرگانرود و معرفی مهم‌ترین عوامل در وقوع سیلاب می‌باشد.

روش تحقیق

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز گرگانرود با مساحت ۶۰۵۵۸۳/۴۵ هکتار بین ۱۵' ۳۶° تا ۱۵' ۳۷° شمالی و ۱۰' ۵۴° تا ۲۶' ۵۶° شرقی واقع شده است. این حوضه از حوضه‌های شمال شرق کشور بوده که بخش گسترده‌ای از آن در استان گلستان قرار دارد. حوضه آبخیز گرگانرود از مهم‌ترین حوضه‌های آبخیز دریای خزر می‌باشد. این حوضه از جنوب مشرف به سلسله جبال البرز شرقی، از شرق به کوه‌های آلاداغ و گلی‌داغ، از شمال به حوضه آبخیز اترک و از غرب به دریای خزر و حوضه آبخیز قره‌سو محدود می‌شود. جهت بستر اصلی آن از شمال شرقی به جنوب غربی است که از ارتفاعات جنگل گلستان، کوه‌های گلیداغ، آلاداغ و قلعه ماران سرچشمه می‌گیرد و طول آن ۳۵۰ کیلومتر است. که در امتداد عمومی شرقی- غربی در شمال دشت گرگان- گنبد جریان یافته و پس از دریافت شاخه‌های متعددی که غالباً با راستای تقریبی جنوبی- شمالی جریان دارند، وارد خلیج گرگان می‌شود. در شکل ۱، موقعیت حوضه آبخیز گرگانرود در استان گلستان و ایران نمایش داده شده است.



شکل ۱: نقشه موقعیت حوضه آبخیز گرگانرود در استان گلستان و ایران

مواد و روش تحقیق

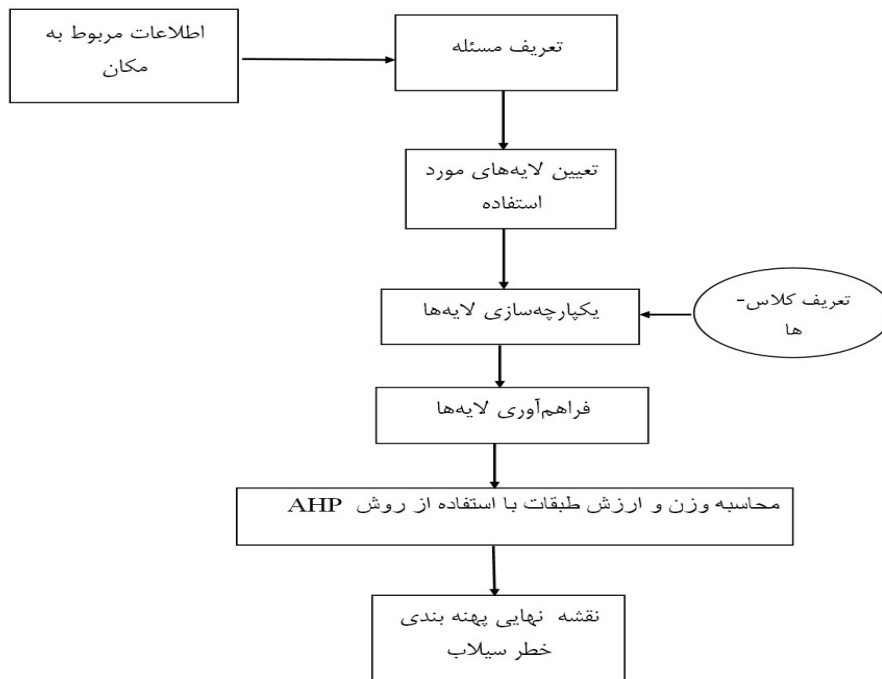
روش تحقیق بر اساس هدف از نوع کاربردی و از نظر ماهیت توصیفی و تحلیلی است. روش گردآوری اطلاعات بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای، میدانی، داده‌های فضایی محدوده مورد مطالعه و پرسشنامه‌هاست. ابتدا محدوده مورد مطالعه مشخص شده و شناسایی حوضه و وضعیت عوامل مورد توجه قرار می‌گیرد. در پهنه‌بندی سیلاب عوامل زیادی باید در نظر گرفته شود که هر کدام با درجه‌هایی دارای اهمیت متفاوتی هستند، اما با توجه به محدودیت‌هایی که در تهیه برخی از لایه‌ها وجود داشت و محدودیت‌هایی که به خاطر طولانی بودن فرآیند مدل وجود دارد، استفاده از لایه‌های اطلاعاتی فراوان باعث پیچیدگی بیش از اندازه مدل، هزینه و زمان طولانی در تحلیل و پردازش مدل می‌شود (موسوی و همکاران، ۱۳۹۵: ۸۸). بنابراین با توجه به این محدودیت‌ها و تجارب قبلی عواملی که بیشترین تأثیر را بر رخداد سیلاب در حوضه گرگانرود و انطباق بیشتری با مدل‌های موردنظرمان داشته‌اند، انتخاب شده‌اند. در این پژوهش ۱۱ پارامتر مؤثر در پهنه‌بندی سیلاب شامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، بارندگی، فاصله از آبراهه و رودخانه، فاصله از راه‌ها، فاصله از مناطق مسکونی، تراکم زهکشی، شاخص NDVI (تراکم پوشش گیاهی) و ضریب رواناب (شامل کاربری اراضی، بافت خاک، گروه هیدرولوژیک خاک، شماره منحنی، نگهداشت سطحی و ارتفاع رواناب سالانه) تهیه و طبقه‌بندی شدند. بعد از شناسایی لایه‌های مؤثر، مراحل روش انجام تحقیق به شرح زیر است.

تعریف معیارها

اولین قدم در ارزیابی چندمعیاری، تعریف معیارها و ایجاد ماتریس ارزیابی است. با توجه به موضوع و هدف تحقیق که تعیین مناطق با خطر بسیار بالا تا بسیار کم سیل در حوضه گرگانرود است، انتخاب معیارها بر اساس تجارب مطالعات قبلی و نظرات کارشناسان به شرح زیر صورت گرفته است که در ادامه در مورد هر کدام از عامل‌ها یا معیارها توضیحاتی ارائه شده است.

وزندگی لایه‌ها

با توجه اثر و اهمیت هر یک از عوامل مؤثر بر پهنه‌بندی سیل‌خیزی، لایه‌های موردنظر بر اساس مدل کمی-کیفی فرآیند سلسله‌مراتبی وزندگی شدند. فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی مبتنی بر مقایسه‌های زوجی است که شامل عنصر، هدف، معیارها، مشخصه‌ها و گزینه‌های احتمالی است (زبردست، ۱۳۸۰: ۱۷). تحلیل سلسله‌مراتبی ارائه‌دهنده روشی برای طبقه‌بندی گزینه‌ها در آخرین سطح است که این طبقه‌بندی منتج از تعیین ارجحیت بین معیارهاست (ساعتی^۱ و همکاران، ۲۰۰۷). این مدل در اجرا از ۳ مرحله یا گام اصلی شامل ایجاد مقایسه‌های زوجی، محاسبه وزن معیارها و تخمین نرخ سازگاری تشکیل شده است. برای انجام مقایسه‌های زوجی در مدل از مقیاس عددی یک تا ۹ استفاده می‌شود. عدد یک نشان‌دهنده اهمیت برابر معیارهای مورد مقایسه و عدد ۹ نشان‌دهنده بالاترین اهمیت است. نرخ سازگاری هم که مقدار آن باید کمتر از ۱/۰ باشد، نشان‌دهنده درستی مقایسه‌های انجام شده است. شکل ۲ مراحل انجام کار را نشان می‌دهد.



شکل ۲: مراحل انجام تحقیق

تلفیق و همپوشانی لایه‌ها

در حال حاضر، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) طیف گسترده‌ای از امکانات تحلیل فضایی، تحلیل ناحیه‌ای و تحلیل شبکه را بر روی لایه‌های موضوعی مختلف فراهم کرده است؛ اما اغلب به منظور رسیدن به پارامترهای مورد نیاز که بر اساس آن تصمیم‌گیری صورت می‌گیرد، ضروریست که تحلیل فضایی یا سایر محاسبات با مدل‌های خارجی ارتباط یابد (شیخی، ۱۳۹۵: ۱۳۵). بدین منظور در این تحقیق از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برای وزن‌دهی استفاده شده و با تلفیق لایه‌های وزن‌دهی شده در قالب سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه پهنه‌بندی نهایی محدوده سیل‌خیزی از کمترین تا بیشترین مشخص شد.

¹: Satty et al

انتخاب معیارها (عوامل) موثر در تهیه نقشه پتانسیل سیل

معیار میزان شیب

شیب زمین به دلیل تاثیر مستقیم بر رواناب سطحی، از مهم‌ترین عوامل موثر در وقوع سیلاب حوضه‌های آبخیز بشمار می‌رود (خسروی و همکاران، ۲۰۱۶ a,b: ۹۶۷). از این رو به طبقه‌بندی شیب در محدوده مورد مطالعه و ایجاد نقشه شیب پرداخته شد. مناطق با شیب پایین (کم)، بیشترین ارزش را به خود اختصاص داده‌اند زیرا با توجه به معکوس بودن گرادیان بارش در دامنه‌های شمالی البرز و منطقه مطالعاتی این پژوهش، مناطق هموار واقع در ارتفاعات پایین زودتر از ارتفاعات بالا درگیر سیل می‌شوند. این نقشه با تکیه بر مدل رقومی ارتفاع (با قدرت تفکیک ۳۰ متر) و نرم‌افزار ArcGIS 10.3 تهیه و سپس به ۴ کلاس طبقه‌بندی شد.

معیار جهت شیب

جهت شیب یکی دیگر از فاکتورهای تأثیرگذار در میزان رواناب حاصله از بارندگی و در نتیجه تشدید سیلاب می‌باشد. بررسی زاویه تابش خورشید در سطوح ارضی شیب‌دار نشان می‌دهد که تغییر در جهت سطوح ارضی به شدت بر زاویه تابش خورشید اثر گذاشته که این خود می‌تواند در میزان دمای خاک و در نتیجه تبخیر رطوبت خاک اثر بگذارد، و چون میزان رویش گیاه تحت تأثیر این فاکتور است، در نتیجه در یک مقیاس کوچک با تغییر جهت شیب، رویش و نوع گیاه نیز تغییر می‌کند (جعفری، ۱۳۸۹: ۵). دامنه‌های روبه‌جنوب در یک ارتفاع می‌تواند نسبت به دامنه‌های روبه‌شمال ۵ تا ۶ درجه دمای بیشتری داشته باشند. در نتیجه میزان تبخیر آب، ذوب برف و از دست دادن رطوبت خاک مؤثر واقع می‌شود و همین امر ماندگاری بیشتر رطوبت در دامنه‌هایی که سطوح ارضی آنها شیبی به سمت شمال دارند را به همراه خواهند داشت (جعفری، ۱۳۸۹: ۵). این موضوع به تراکم پوشش گیاهی منجر خواهد شد. در نتیجه سطوح به سمت شمال، شمال شرقی و شمال غربی به دلیل تراکم پوشش گیاهی، پتانسیل سیلاب خواهند داشت. همچنین با توجه به جهت غالب غربی-شرقی جریان هوای باران‌زا از اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه، دامنه‌های شرقی بارش بیشتری دریافت نموده و از پوشش نسبی بیشتری نسبت به دامنه‌های غربی برخوردارند؛ لذا امتیاز پایین‌تری به خود اختصاص خواهند داد. در این مطالعه جهت، به صورت نه گانه (هشت جهت اصلی و هموار) در نظر گرفته شده است. نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاع منطقه با دقت تفکیک مکانی ۳۰ متر تهیه گردید.

معیار ارتفاع حوضه

پارامتر ارتفاع، یکی از پارامترهای تأثیرگذار در سیل‌خیزی منطقه است. بطوریکه هر چه از ارتفاعات به سمت زمین‌های پست و کم ارتفاع پیش می‌رویم، میزان پتانسیل سیل‌خیزی افزایش پیدا می‌کند. دلیل آنرا می‌توان چنین بیان کرد که میزان تمرکز آب در ارتفاعات کمتر می‌باشد، در نتیجه رواناب سطحی به سمت زمین‌های با شیب کمتر هدایت می‌شود. نقشه طبقات ارتفاع زمین بر اساس مدل رقومی ارتفاع (با قدرت تفکیک ۳۰ متر) و نرم‌افزار ArcGIS 10.3 تهیه شد. در نهایت نقشه ارتفاع حوضه آبخیز گرگانرود به چهار کلاس گروه‌بندی گردید.

معیار بارش یا بارندگی

مخاطرات جوی به ویژه بارندگی‌های شدید از مهم‌ترین دلایل ایجاد سیل‌ها هستند. بارندگی را می‌توان مهم‌ترین عاملی دانست که بطور مستقیم در چرخه هیدرولوژی دخالت دارد. قابل ذکر است که بارندگی زیاد، حجم رواناب را تحت تأثیر قرار داده و به دنبال آن وقوع سیل در نواحی پایین دست رودخانه افزایش می‌یابد (تیلور و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۰۲۴؛ داودی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۰۳). برای تهیه لایه بارش منطقه از درون‌یابی داده‌های ۶۹ ایستگاه بارانسنجی، تبخیرسنجی و سینوپتیک در داخل و خارج از حوضه در دوره زمانی ۱۵ ساله با روش کریجینگ استفاده شد که اطلاعات مربوطه از سازمان هواشناسی و سازمان آب منطقه‌ای استان گلستان تهیه گردید.

معيار زمين‌شناسی يا سازندهای سنگی

زمین‌شناسی به دلیل تاثیر مستقیم بر میزان نفوذپذیری و روان آب سطحی، یکی از عوامل مهم در وقوع پدیده سیل در حوضه‌های آبخیز است. تنوع سازندهای سنگی در حوضه گرگانود بسیار بالا بوده که به حدود ۳۶ سازند می‌رسد. از سوی دیگر، توصیه شده که تعداد شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مورد مقایسه در روش AHP در حد قابل قبول بوده و از ایجاد ماتریس‌های بزرگ متشکل از تعداد بالای زیرشاخص‌ها پرهیز شود، به طوری که کارشناس مربوطه بتواند با تمرکز مناسب ذهنی به مقایسه زوجی عوامل بپردازد. لذا، سازندهای ماقبل کواترنر صرفاً به لحاظ سنی دسته‌بندی شدند، اما تمامی سازندهای کواترنری به عنوان بستر اصلی وقوع سیلاب‌های مخرب، خصوصیات متنوع مواد خود را حفظ نموده و در طبقه‌بندی ثانویه مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای بدست آوردن نقشه زمین‌شناسی منطقه، از نقشه زمین‌شناسی استان گلستان با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ استفاده گردید. لایه وکتوری نقشه مذکور تهیه و در نهایت به فرمت رستری با اندازه پیکسل ۳۰ متر با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.3 تبدیل و سپس نقشه حاصل به هیجده کلاس طبقه‌بندی شد.

معيار فاصله از رودخانه

فاصله از رودخانه نیز یک فاکتور مهم است که بر روی حجم و پخش سیلاب تاثیر بسزایی دارد (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۸). طبیعتاً با افزایش فاصله از رودخانه اصلی و آبراهه‌های فرعی احتمال به زیر آب رفتن اراضی کاهش می‌یابد. آبراهه‌ها به عنوان بستر عبور آبهای ناشی از بارندگی، عامل مهمی هستند که شناسایی تراکم و میزان فاصله آنها از ساخت‌وساز در پیش‌بینی و کاهش خسارات سیلاب‌ها مؤثر است. در تحقیق حاضر، با استفاده از تابع فاصله اقلیدسی در محیط ArcGIS 10.3، نقشه فاصله از رودخانه و آبراهه تهیه و در نهایت به چهار کلاس تقسیم‌بندی شد.

معيار تراکم زهکشی

تراکم زهکشی از تقسیم طول کل شبکه هیدروگرافی شامل آبراهه‌های اصلی و فرعی به مساحت حوضه به دست می‌آید. میزان تراکم زهکشی در یک حوضه می‌تواند نشان‌دهنده وضعیت شدت و ضعف رواناب و فرسایش در قسمت‌های مختلف آن باشد. به طوری که اعداد کم بیانگر مقاومت به فرسایش و یا نفوذپذیری خوب و اعداد بالاتر بیانگر مقاومت ضعیف و نفوذپذیری کم حوضه و سیلاب بیشتر می‌باشد.

معيار فاصله راه‌ها از رودخانه‌ها

این عامل نیز یکی از عوامل تاثیرگذار در ارزیابی خطر سیل در نظر گرفته شده است. با افزایش فاصله راه‌ها از حاشیه رودخانه، آسیب‌پذیری سیل کاهش می‌یابد. گذر جاده‌ها در حاشیه رودخانه‌ها در هنگام وقوع سیل، افزایش آسیب‌پذیری را به همراه دارد (مطوف و همکاران، ۱۳۹۴). این لایه در پژوهش حاضر در چهار کلاس تقسیم شده است.

معيار فاصله مناطق مسکونی از رودخانه‌ها

مناطق مسکونی که در فاصله کمی نسبت به رودخانه قرار دارند، به هنگام سیل بیشتر در معرض خسارت و تخریب قرار دارند. به عبارت دیگر، با کاهش فاصله ساخت‌وسازها از حریم رودخانه‌ها، احتمال وقوع و خطر سیل ناشی از عوامل انسانی افزایش می‌یابد (مطوف و همکاران، ۱۳۹۴). در این مطالعه، پس از استخراج شبکه زهکشی حوضه گرگانود از روی نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، با تعریف سیستم تصویر UTM زون ۴۰، لایه موقعیت مناطق روستایی و شهری نیز بر روی لایه شبکه زهکشی قرار داده شد و سپس فاصله زده شد.

معيار پوشش اراضی

کاربری و نوع پوشش زمین یک فاکتور کلیدی وقوع سیل است. پوشش اراضی روی جریان رودخانه و وقوع سیلاب به روش‌های مختلفی تأثیر می‌گذارد. هرگونه عملیاتی در حوضه که سبب کاهش نفوذپذیری گردد، موجب افزایش دبی سیلابی می‌گردد. به منظور بررسی تأثیر پوشش اراضی بر روی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز، دو معیار، کاربری اراضی و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) مورد بررسی قرار گرفته است.

تغییرات در این عامل و پوشش اراضی نتایج چشمگیری در پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز دارد. کاربری اراضی فاکتوری تأثیرگذار در کند یا تند شدن سیلاب است. اراضی دارای پوشش درختی، خطرپذیری کمتری نسبت به زمین‌های بدون پوشش گیاهی داشته و کاربری‌های مسکونی فاقد زهکشی مناسب با افزایش حجم رواناب و آبگرفتگی سطح معابر مطابقت دارد. در حوضه مورد مطالعه، کاربری‌های مثل مرتع، منطقه مسکونی، کشاورزی و اراضی بایر وجود دارد و با توجه به تأثیر هر یک از این کاربری‌ها در قدرت و سرعت جریان، به هر کلاس وزنی تعلق می‌گیرد. برای مثال می‌توان گفت زمین‌های با کاربری مسکونی به دلیل آن که بیش‌تر دارای سطوح سنگی و آسفالت هستند و نیز سطوح صاف و سخت آن‌ها باعث می‌شود که رواناب در این مناطق، شدت جریان بالایی داشته باشد و بر عکس در زمین‌های مرتعی و دارای پوشش جنگلی، گیاهان و لاشبرگ‌ها باعث تأخیر در تمرکز جریان و در نتیجه کاهش سیل‌خیزی می‌شود. نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر لندست ۸ (سنجنده OLI) و نرم‌افزار ENVI5.3 تهیه و در نهایت به ۷ کلاس جنگل، مرتع، زراعت آبی، زراعت دیم، اراضی باغی، سطوح آبی و مسکونی طبقه‌بندی گردید.

شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)

تراکم پوشش گیاهی از لایه‌هایی که از طریق آن، وضعیت حوضه از لحاظ هیدرولوژیکی بررسی می‌شود. وقوع سیل رابطه معکوسی با تراکم پوشش گیاهی دارد؛ بدین معنی که با افزایش پوشش گیاهی و تاج گیاهان، شدت رواناب کاهش یافته و با کاهش پوشش گیاهی رواناب منطقه افزایش می‌یابد. در نواحی که تراکم پوشش گیاهی بالاست و یا مناطق جنگلی آب حاصل از بارش، زمانی کافی برای نفوذ دارد؛ ولی در مناطق فاقد پوشش گیاهی آب حاصل از بارش، بلافاصله بر روی زمین جاری شده و رواناب شکل می‌گیرد. رواناب در برخورد با این موانع سرعت خود را از دست می‌دهد و در نتیجه تأخیر در تمرکز جریان آن بخش از حوضه صورت می‌گیرد. با توجه به نقشی که تراکم پوشش گیاهی در میزان نفوذ آب و تعیین ضریب هرزآب دارد، جزء عوامل تعیین کننده در پتانسیل سیل‌خیزی یک محدوده است؛ بنابراین شاخص پوشش گیاهی یک فاکتور مهم در سیل‌خیزی حوضه آبخیز می‌باشد. برای تهیه نقشه تراکم پوشش گیاهی در این تحقیق، از شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی استفاده شد. این روش از نسبت تفاضل باند فرسرخ نزدیک و باند قرمز به مجموع این دو باند استفاده می‌کند (کاسا، ۱۹۹۲: ۱۹۸۷). شاخص NDVI از رابطه زیر محاسبه می‌شود (رابطه ۱):

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن NIR بازتاب در باند فرسرخ نزدیک و RED انعکاس در باند سرخ است. اگرچه از دیدگاه نظری مقدار این شاخص در محدوده -۱ و +۱ می‌باشد، ولی در عمل کمتر از ۱ و بیشتر از -۱ است. مقادیر این شاخص برای پوشش گیاهی متراکم به سوی عدد یک میل می‌کند، ولی ابرها، برف و آب با مقادیر منفی مشخص می‌شوند. سنگها و خاک‌های بایر که واکنش‌های طیفی مشابه در دو باند مورد استفاده دارند با مقادیر نزدیک به صفر دیده می‌شوند. در این شاخص، خاک معمولی معادل صفر منظور می‌شود. هر قدر فاصله شاخص یک پیکسل بالاتر از اندازه خاک باشد، نشان دهنده تراکم پوشش گیاهی است (آلیسون، ۱۹۸۹: ۱۹۶۶). استفاده از شاخص NDVI در مراحل مختلف رشد گیاه نتایج خاصی را ارائه می‌دهد. با اعمال رابطه ۱ در تصاویر پیش‌پردازش شده، شاخص NDVI محاسبه شده است. برای محاسبه NDVI منطقه مورد مطالعه از تصاویر Landsat8 بهره گرفته شده است.

معیار بافت خاک

در این میان یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار در وقوع سیل، نوع خاک و رفتار ساختمانی آن در برابر نفوذ آب می‌باشد. نفوذپذیری رابطه عکسی با تولید روان آب و ایجاد سیلاب در حوضه آبخیز دارد. مقدار نفوذ آب در خاک به نوع خاک و بافت آن نیز بستگی دارد. هرچه خاک درشت دانه با تخلخل زیاد باشد دارای نفوذپذیری بیشتر و بلعکس ریزدانه بودن آن باعث نفوذپذیری کمتر در آن می‌باشد خاک‌های با نفوذپذیری مناسب به میزان زیادی، آبهای حاصل از بارندگی را به

زمین نفوذ داده و باعث تغذیه سفره‌های زیرزمینی می‌گردد. درحالی که اراضی با بافت ریز و فشرده باعث می‌گردد که آب نتواند در زمین نفوذ نموده، بلکه قسمت‌های زیادی از آب به صورت رواناب در سطح زمین جاری شده و باعث تشدید سیلاب می‌گردد (اصغری مقدم، ۱۳۷۸: ۳۰۴). با شناسایی پهنه‌های خاکی موجود در منطقه مورد مطالعه می‌توان از میزان نفوذپذیری آب در مواقع سیلابی آگاهی یافت.

معیار ارتفاع رواناب

رواناب حاصله از بارندگی را می‌توان برحسب ارتفاع یا حجم توصیف کرده و آن را به روش‌های مختلف برآورد نمود. از جمله روش‌های معمول در هیدرولوژی، روش پیشنهادی سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) است. سازمان حفاظت خاک آمریکا (۱۹۷۳) روشی را برای تخمین رواناب از اطلاعات بارندگی، نوع کاربری و پوشش زمین و بافت خاک پیشنهاد کرده است که به عنوان پرکاربردترین و همچنین انعطاف پذیرترین روش شناخته شده و همبستگی خوبی بین مقادیر مشاهده شده و تخمینی در این روش وجود دارد (نیاک و جیسول، ۲۰۰۳: ۴۷۵۰). در تحقیق حاضر برای تهیه نقشه رواناب حاصله از بارندگی و به تبع آن تهیه شاخص ضریب رواناب از روش SCS استفاده شد (رابطه ۲).

$$R = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن، R ارتفاع رواناب بر حسب میلی‌متر، P ارتفاع بارندگی بر حسب میلی‌متر و S عامل مربوط به نگهداشت آب در سطح زمین است که مقدار آن از رابطه زیر محاسبه می‌شود (رابطه ۳).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه فوق پارامتر بی‌بعد CN بیانگر شماره منحنی بوده، می‌باشد. دامنه عددی این پارامتر از ۰ تا ۱۰۰ می‌باشد، به طوری که در عدد ۱۰۰ تمام باران تبدیل به رواناب شده (مانند مخازن آب) و در عدد صفر روانابی تشکیل نمی‌شود. نقشه شماره منحنی (CN) از تلفیق نقشه‌های گروه‌های هیدرولوژیکی خاک (با تکیه بر بافت خاک) و کاربری اراضی قابل نقشه‌بندی است. از سوی دیگر، نقشه نگهداشت سطحی از نقشه شماره منحنی تهیه شده و با تلفیق آن با میانگین بارش سالانه، نقشه رواناب سالانه تهیه گردید.

فاکتورهای مربوط به گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، نوع خاک و شماره منحنی از مطالعات حاصلخیزی خاک استان گلستان با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ که توسط مرکز منابع آب و خاک جهاد کشاورزی تهیه شده است، با فرمت shp دریافت گردید. در نهایت لایه وکتوری نقشه مذکور به فرمت رستری و اندازه پیکسل ۳۰ متر با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.3 تبدیل شد. نقشه‌های تهیه شده گروه هیدرولوژیکی به ۳ کلاس، نوع خاک به ۹ کلاس و شماره منحنی (۴۰ تا ۱۰۰) طبقه‌بندی شدند.

معیار ضریب رواناب

ضریب رواناب حوضه در عمل به عنوان درصدی از بارندگی که به رواناب تبدیل می‌شود، مشخص و مقدار آن با فرمول ساده زیر تخمین زده می‌شود (رابطه ۴):

$$C = \frac{R}{P} \quad \text{رابطه (۴)}$$

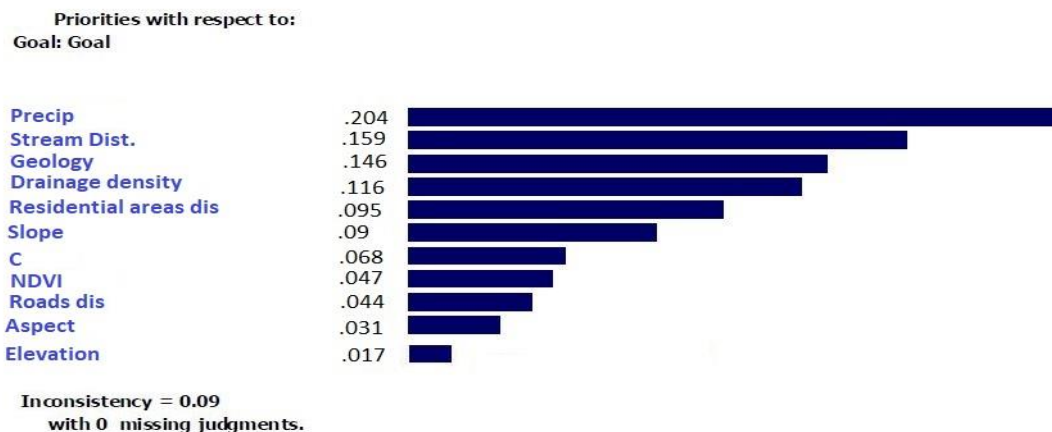
که در آن C ضریب رواناب، P مقدار ارتفاع بارندگی و R مقدار ارتفاع رواناب است.

بحث و یافته‌ها

پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی مبتنی بر مدل تصمیم‌گیری چند معیاره AHP

در این پژوهش به منظور ارزیابی معیارهای تعیین شده، از مدل فرایند سلسله مراتبی استفاده شده است. این مدل با مقایسه زوجی بین معیارها، بر اساس میزان اهمیت و تاثیر آنها در ایجاد خطر سیل، معیارها را وزن‌دهی می‌کند. برای این منظور،

معیارهای تعیین شده به صورت زوجی و سلسله مراتبی در قالب پرسشنامه تهیه شده و از ۲۰ نفر از کارشناسان و محققان مرتبط با سیلاب تکمیل و در نهایت پس از محاسبه میانگین پرسشنامه‌ها، وارد نرم‌افزار ویژه مدل AHP (نرم‌افزار Expert choice) شده و وزن نهایی معیارها تعیین شده است (شکل ۳).



شکل ۳: وزن نهایی معیارهای منتخب موثر در سیل‌خیزی محاسبه شده در نرم‌افزار Expert Choice

طبق شکل فوق، نرخ ناسازگاری در تمامی مراحل تحلیل سلسله مراتبی در حد قابل قبول (کم‌تر از ۰/۱) قرار گرفته است. نرخ کلاس‌های زیرشاخص‌ها با مطالب ارائه شده در ارتباط با اهمیت ذاتی طبقات عوامل هم‌راستا می‌باشد. بر اساس شکل ۳، طبق انتظار، سه عامل بارش، فاصله از آبراهه و سازند سنگی مهم‌ترین عامل موثر در وقوع سیل معرفی شده و در مقابل ارتفاع در رتبه آخر اهمیت قرار گرفته است. ارتفاع همواره به عنوان یک عامل نماینده^۱ و زایشی معرفی شده به طوری که تفسیر ارتباط عامل ارتفاع با پدیده‌های طبیعی به‌طور مستقیم امکان‌پذیر نبوده و معمولاً مفسر بایستی به برداشت‌های مرتبط با رژیم بارشی منطقه، وضعیت سازندهای سنگی، پوشش گیاهی و یا شیب رو آورند. با توجه به دخالت دادن مستقیم این عوامل در پروسه مدل‌سازی این پژوهش، اهمیت بالاتر این عوامل نسبت به عامل ارتفاع امری طبیعی و قابل انتظار است. وزن نهایی معیارها و طبقات زیرمعیار موثر در سیلاب گرگانرود در جدول شماره ۱ آورده شده است.

جدول ۱: وزن نهایی معیارها و طبقات موثر در سیلاب

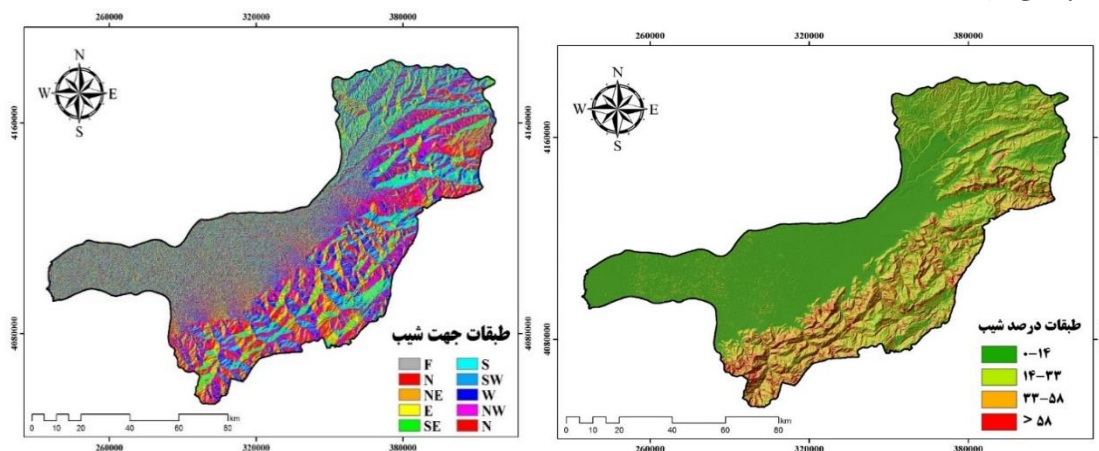
معیار	وزن معیار	طبقات زیرمعیار	وزن طبقات زیر معیار
طبقات شیب	۰/۰۹۰	۱۴-۰	۰/۵۷۳
		۳۳-۱۴	۰/۲۵۹
		۵۸-۳۳	۰/۱۱۶
		>۵۸	۰/۰۵۲
طبقات جهت شیب	۰/۰۳۱	NW	۰/۰۲۵
		N	۰/۰۳۵
		W	۰/۰۷۴
		S	۰/۲۲۲
		SW	۰/۱۵۵
		NE	۰/۰۱۸

۰/۱۰۸	SE		
۰/۰۵۱	E		
۰/۳۱۲	F		
۰/۵۸۱	-۲۱-۳۲۲	۰/۰۱۷	طبقات ارتفاعی
۰/۲۵۵	۳۲۲-۸۸۱		
۰/۱۱۴	۸۸۱-۱۵۷۳		
۰/۰۵۰	۱۵۷۳-۳۶۶۵		
۰/۵۹۱	۷۵۷-۱۰۱۶	۰/۲۰۴	طبقات بارش
۰/۲۵۷	۵۸۱-۷۵۷		
۰/۱۰۵	۴۳۵-۵۸۱		
۰/۰۴۷	۲۵۹-۴۳۵		
۰/۰۵۰	Cambrian	۰/۱۴۶	طبقات سازندهای سنگی
۰/۰۳۱	Carboniferous		
۰/۰۱۷	Cretaceous		
۰/۰۳۶	Devonian		
۰/۰۱۲	Eocene		
۰/۰۱۹	Jurassic		
۰/۰۱۱	Miocene		
۰/۰۱۵	Paleozoic		
۰/۰۲۷	Permian		
۰/۰۱۰	Pliocene		
۰/۰۵۸	Precambrian		
۰/۰۴۴	Silurian		
۰/۰۲۳	Triassic		
۰/۱۲۲	Quaternary		
۰/۰۶۵	Quaternary		
۰/۱۶۱	Quaternary		
۰/۰۹۱	Quaternary		
۰/۲۰۷	Quaternary		
۰/۵۹۱	۰-۹۲۶	۰/۱۵۹	فاصله از آبراهه و رودخانه
۰/۲۵۷	۹۲۶-۲۰۰۲		
۰/۱۰۵	۲۰۰۲-۳۴۶۸		
۰/۰۴۷	۳۴۶۸-۷۱۱۴		
۰/۵۸۱	۷۳۵۴-۰	۰/۱۱۶	تراکم زهکشی
۰/۲۵۵	۱۸۱۰۳-۷۳۵۴		
۰/۱۱۴	۳۵۳۵۹-۱۸۱۰۳		
۰/۰۵۰	۷۲۱۳۲-۳۵۳۵۹		
۰/۵۸۱	۲۲۰۰-۰	۰/۰۴۴	فاصله از جاده‌ها(راه‌ها)
۰/۲۵۵	۵۴۰۰-۲۲۰۰		
۰/۱۱۴	۱۰۲۰۰-۵۴۰۰		
۰/۰۵۰	۲۲۰۰۰-۱۰۲۰۰		

۰/۵۸۱	۲۳۳۳-۰	۰/۰۹۵	فاصله از مناطق مسکونی
۰/۲۵۵	۴۹۶۷-۲۳۳۳		
۰/۱۱۴	۹۲۵۶-۴۹۶۷		
۰/۰۵۰	۱۹۱۹۱-۹۲۵۶		
۰/۵۸۴	-۰/۱۹۷ -۰/۰۹۷	۰/۰۴۷	شاخص طبقات NDVI
۰/۲۶۰	۰/۰۹۷ -۰/۱۷۳		
۰/۱۰۷	۰/۱۷۳ -۰/۲۶۷		
۰/۰۴۹	۰/۲۶۷ -۰/۴۹۲		
۰/۵۹۵	۰/۵-۰/۷	۰/۰۶۸	طبقات ضریب رواناب
۰/۲۴۹	۰/۷-۰/۸۱		
۰/۱۰۷	۰/۸۱-۰/۸۹		
۰/۰۴۹	۰/۸۹-۱		

شکل ۴ الف و ب طبقات شیب و جهت شیب را در محدوده مورد نظر نشان می‌دهد. مساحت کلاس‌ها شیب و جهت شیب نیز در جدول ۲ و ۳ ارائه شده است. طبق جدول ۲، در مناطق کوهستانی، شیب منطقه به حدود ۳۰٪ (۳ به ۱) می‌رسد. با توجه به جدول ۲، که نشان دهنده طبقه‌بندی شیب محدوده مورد مطالعه می‌باشد، شیب غالب منطقه هموار بوده و بیش از نیمی از حوضه گرگانرود را پوشش می‌دهد. همچنین، در صورت وقوع سیل و غرقاب شدن منطقه، همانند وقایع سیل فروردین ماه ۱۳۹۸، امکان تخلیه و انتقال سیل به مناطق پایین‌دست، به دلیل هموار بودن منطقه مشکل بوده که به اهمیت این طبقه در سیل‌گیری حوضه گرگانرود می‌افزاید. در مقابل، مناطق با شیب بالاتر به سرعت آب تجمع یافته را به پایین‌دست منتقل می‌نمایند و احتمال سیل‌گیری در این طبقات پایین‌تر است. بنابراین، با افزایش شیب از حساسیت به وقوع سیل کاسته می‌شود. در این تحقیق، شیب ۰ تا ۱۴ درصد با وزن ۰/۵۷۳، دارای بیشترین تاثیر بر وقوع سیل در حوضه آبخیز گرگانرود در استان گلستان می‌باشد.

بر اساس جدول ۳، بیشترین و کمترین مساحت به دامنه‌های رو به جهت شمال غربی و مناطق هموار اختصاص یافته است. در این تحقیق، مناطق هموار و جهت شیب جنوب و جنوب غرب با اوزان بیشتر، دارای بیشترین تاثیر بر وقوع سیل در حوضه آبخیز گرگانرود در استان گلستان می‌باشد. چون جهات جنوبی بدلیل پوشش گیاهی و نفوذ کمتر، سیل شتاب بیشتری به خود می‌گیرد.



شکل ۴: الف) نقشه طبقات میزان یا کلاسهای شیب (ب) نقشه طبقات جهت شیب

جدول ۲: مساحت طبقات شیب در حوضه گرگانرود

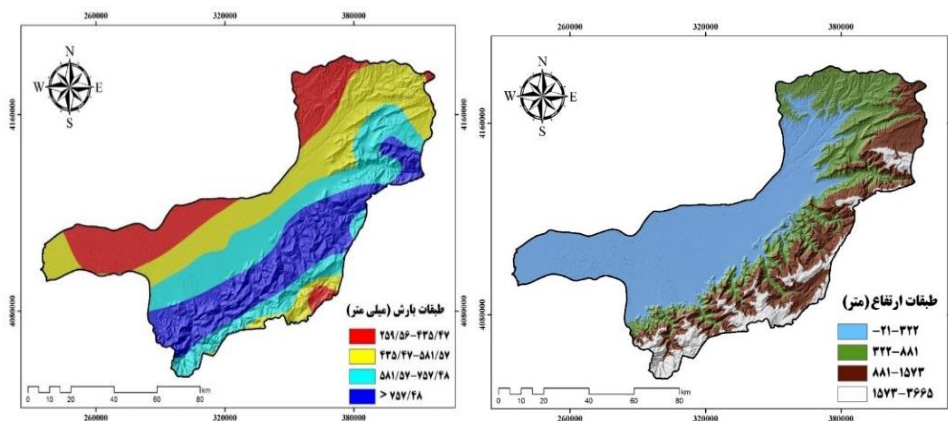
کد	طبقات شیب (درصد)	ضرایب زیر معیار	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
۱	۰-۱۴	۰/۵۷۳	۴۷۰۴۱۷/۲۲	۵۱/۲۶
۲	۱۴-۳۳	۰/۲۵۹	۲۵۰۴۶۱/۹۰	۲۷/۲۹
۳	۳۳-۵۸	۰/۱۱۶	۱۴۶۷۴۲/۶۶	۱۵/۹۹
۴	۵۸-۲۹۷	۰/۰۵۲	۵۰۰۹۳/۶۴	۵/۴۶

جدول ۳: مساحت طبقات جهت شیب در حوضه گرگانرود

طبقات جهت شیب	ضرایب زیر معیار	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
NW	۰/۰۲۵	۱۵۱۵۷۳/۷۷	۱۶/۵۲
N	۰/۰۳۵	۱۲۵۳۳۷/۱۰	۱۳/۶۶
W	۰/۰۷۴	۱۲۱۸۸۵/۲۰	۱۳/۲۸
S	۰/۲۲۲	۱۰۵۵۶۴/۱۵	۱۱/۵۰
SW	۰/۱۵۵	۱۰۲۰۸۲/۹۵	۱۱/۱۲
NE	۰/۰۱۸	۱۰۱۹۳۳/۹۱	۱۱/۱۱
SE	۰/۱۰۸	۹۶۵۰۳/۰۴	۱۰/۵۲
E	۰/۰۵۱	۹۱۱۸۵/۴۸	۹/۹۴
F	۰/۳۱۲	۲۱۶۰۸/۸۲	۲/۳۵

شکل ۵ الف و ب پراکنش طبقات ارتفاعی و بارش را در حوضه گرگانرود نمایش می‌دهد. همچنین پراکنش مساحتی طبقات ارتفاعی و بارش در جدول ۴ و ۵ ارائه شده است. با توجه به جدول ۴ می‌توان گفت، زمین‌های هموار حدود نیمی از مساحت حوضه را اشغال نموده و به لحاظ دارا بودن کمترین ارتفاع، پتانسیل تولید سیلاب را دارند؛ لذا انتظار می‌رود در مقایسات زوجی بیشترین نرخ را به خود اختصاص دهند و این نرخ قاعده‌تاً بایستی با افزایش ارتفاع کاهش یابد. بیشترین ارتفاع منطقه در بخش جنوبی و شرقی منطقه واقع شده که به ۳۶۶۵ متر از سطح دریا می‌رسد و با حرکت به سمت شمال و غرب از ارتفاع منطقه کم شده تا در نزدیکی دریای خزر به ۲۱- متر می‌رسد.

مساحت طبقات بارش در جدول ۵ ارائه شده است. بر اساس جدول ۵، طبقات دوم و سوم بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند. طبق نظرات کارشناسی، با افزایش بارش انتظار می‌رود امتیاز کلاس‌ها افزایش یابد. طبیعتاً بخش‌های کوهستانی منطقه مطالعاتی به سبب نقش موثر ارتفاعات در صعود رطوبت دریا و افزایش توان باران‌زایی ابرهای حاصل، پتانسیل بالایی در تولید بارش دارند و متقابلاً بخش‌های نزدیک به دریا به سبب عدم وجود ارتفاعات، از بارش کمتری برخوردارند.



ب

الف

شکل ۵: الف) نقشه طبقات ارتفاعی ب) نقشه طبقات بارش

جدول ۴- مساحت طبقات ارتفاعی در حوضه گرگانرود

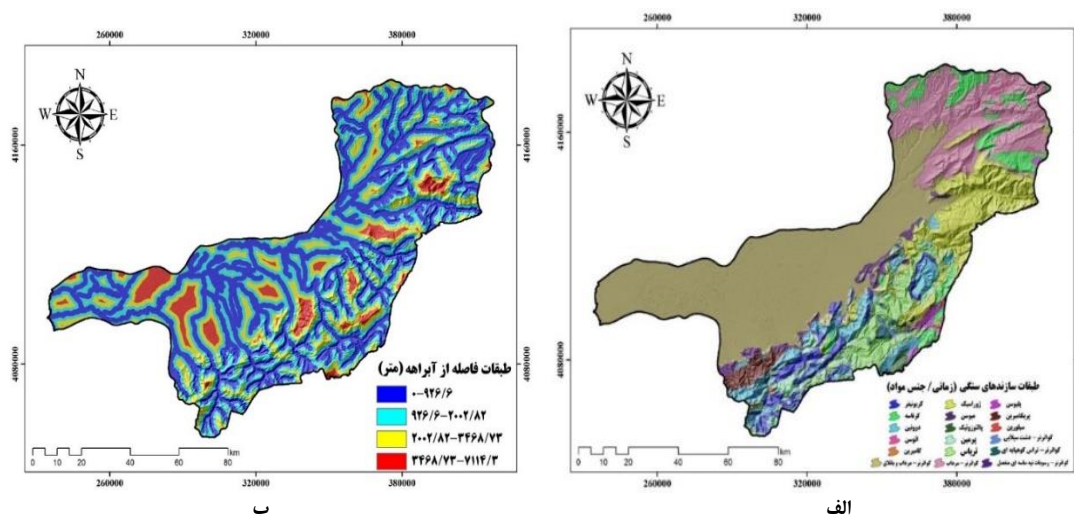
کد	طبقات ارتفاع (متر)	ضریب زیر معیار	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
۱	۳۲۲-۲۱-	۰/۵۸۱	۴۲۲۳۰۳/۸۵	۴۶/۰۲
۲	۳۲۲-۸۸۱	۰/۲۵۵	۲۱۲۱۸۰/۹۴	۲۳/۱۲
۳	۸۸۱-۱۵۷۳	۰/۱۱۴	۱۹۴۰۷۸/۹۷	۲۱/۱۵
۴	۱۵۷۳-۳۶۶۵	۰/۰۵۰	۸۹۱۵۱/۶۶	۹/۷۱

جدول ۵- مساحت طبقات بارش در حوضه گرگانرود

کد	بارش (میلی‌متر)	ضریب زیر معیار	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
۱	۷۵۷/۴۸-۱۰۱۶/۸۸	۰/۵۹۱	۱۷۹۲۳۴/۶۴	۱۹/۵۳
۲	۵۸۱/۵۷-۷۵۷/۴۸	۰/۲۵۷	۲۶۹۰۵۱/۴۹	۲۹/۳۲
۳	۴۳۵/۴۷-۵۸۱/۵۷	۰/۱۰۵	۲۴۴۴۱۴/۵۳	۲۶/۶۳
۴	۲۵۹/۵۶-۴۳۵/۴۷	۰/۰۴۷	۲۲۵۰۱۴/۷۶	۲۴/۵۲

شکل ۶ الف و ب سازندهای زمین شناسی و فاصله از آبراهه و رودخانه را در حوضه گرگانرود نشان می‌دهد. مجموعاً ۱۸ واحد سنگی مشتمل بر ۱۳ دوره زمانی ماقبل کواترنر و ۵ سازند کواترنر با خصوصیات متنوع نقشه‌بندی گردید. معیار امتیازدهی به سازندهای سنگی، نفوذپذیری آنها بوده به طوری که مطالعه وژاک و وژاکوا (۲۰۱۹) بیانگر آنست که سازندهای قدیمی‌تر، مراحل دیانژن و سنگی‌شدن را کامل‌تر طی نموده و نفوذپذیری کم‌تری دارند؛ لذا امتیاز بالاتری را نسبت به سازندهای جوانتر به خود اختصاص می‌دهند. البته این موضوع شامل سازندهای کواترنری نبوده زیرا این سازندها در بستر و نزدیکی رودخانه‌ها پراکنش داشته و بستر اصلی وقوع سیل می‌باشند (سامانتا و همکاران، ۲۰۱۸: ۲۶). طبق جدول ۶، بخش اعظم حوضه گرگانرود به مواد باتلاقی و مردابی اختصاص یافته است.

مساحت طبقات فاصله از آبراهه و رودخانه در جدول ۷ ارائه شده است. بر طبق نظرات کارشناسی، مرور منابع (تهرانی و همکاران، ۲۰۱۵: ۹۶) و واقعیت رخداد سیل در طبیعت، با دور شدن از رودخانه و آبراهه، احتمال وقوع سیل کمتر می‌گردد، در این تحقیق نیز فاصله ۰ تا ۹۲۶ متر با وزن ۰/۵۹۱، بیشترین تاثیر را بر وقوع سیل نسبت به سایر فواصل دارا می‌باشد. بر اساس جدول ۷، بیشترین مساحت به طبقات حاشیه رودخانه تعلق گرفته که دارای بیشترین پتانسیل سیل‌خیزی نیز می‌باشند.



شکل ۶: الف) نقشه طبقات سازندهای سنگی ب) نقشه طبقات فاصله از آبراهه و رودخانه

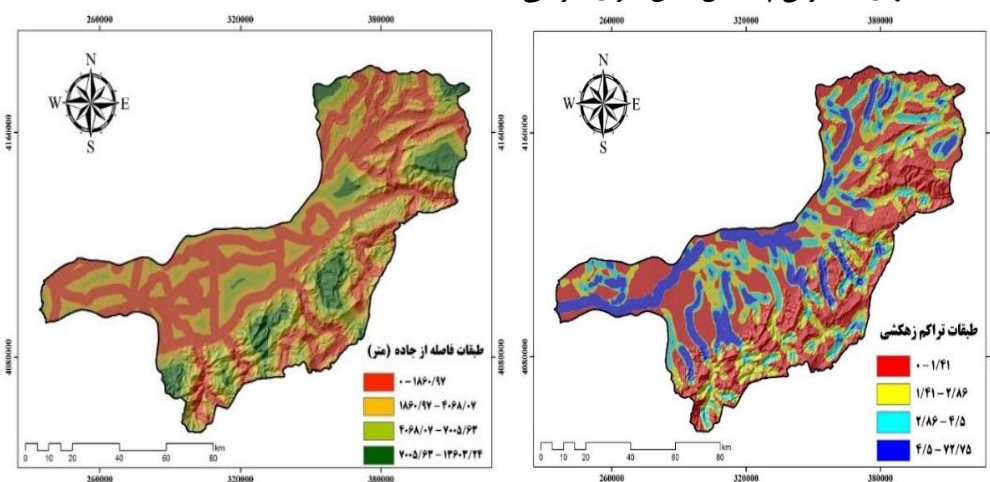
جدول ۶- مساحت طبقات سازندهای سنگی در حوضه گرگانرود

سازندهای سنگی ضریب زیرمعیار	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	سازندهای سنگی	درصد مساحت	مساحت (هکتار)	ضریب زیرمعیار	سازندهای سنگی
۰/۵۰	۱۲۰۹/۴۵	۰/۱۳	Pliocene	۰/۱۳	۶۴۷۹/۵۳	۰/۷۱	Cambrian
۰/۳۱	۳۷۰۳۴/۸۰	۴/۰۴	Precambrian	۴/۰۴	۱۵۳۴۳/۳۵	۱/۶۷	Carboniferous
۰/۱۷	۵۳۴۹۲/۵۸	۵/۸۳	Silurian	۵/۸۳	۲۰۴/۷۹	۰/۰۲	Cretaceous
۰/۳۶	۵۴۰۷۶/۵۲	۵/۸۹	Triassic	۵/۸۹	۵۴۶۹۴/۴۵	۵/۹۶	Devonian
۰/۱۲	۴۸۵۷/۸۹	۰/۵۳	Quaternary(Q _{al})	۰/۵۳	۲۴۴۶/۵۲	۰/۲۷	Eocene
۰/۱۹	۱۱۰۷۸۹/۴۵	۱۲/۰۷	Quaternary(Q _{ft})	۱۲/۰۷	۷۵۰۰/۹۰	۰/۰۶۵	Jurassic
۰/۱۱	۷۶/۱۳	۱۰/۰۱	Quaternary(Q _m)	۱۰/۰۱	۳۷۴۳۸۶/۷۷	۴۰/۸۰	Miocene
۰/۱۵	۷۲۶۴/۱۳	۰/۷۹	Quaternary(Q _{sd})	۰/۷۹	۱۹۲۳۳/۸۷	۲/۱۰	Paleozoic
۰/۲۷	۲۶۰۶۶/۶۸	۲/۸۴	Quaternary(Q _{sw})	۲/۸۴	۱۴۲۴۲۰/۳۹	۱۵/۵۲	Permian

جدول ۷- مساحت طبقات فاصله از آبراهه و رودخانه در حوضه گرگانرود

کد	فاصله از آبراهه (متر)	ضریب زیر معیار	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
۱	۰ - ۹۲۶/۶	۰/۵۹۱	۳۹۳۵۵۱/۰۱	۴۱/۸۵
۲	۹۲۶/۶ - ۲۰۰۲/۸۲	۰/۲۵۷	۳۰۸۳۹۳/۹۱	۳۲/۷۹
۳	۲۰۰۲/۸۲ - ۳۴۶۸/۷۳	۰/۱۰۵	۱۸۰۳۳۳/۹۹	۱۹/۱۸
۴	۳۴۶۸/۷۳ - ۷۱۱۴/۳	۰/۰۴۷	۵۸۱۵۵/۷۵	۶/۱۸

شکل ۷ الف و ب نقشه پراکنش طبقات تراکم زهکشی و فاصله از جاده را در حوضه گرگانرود نمایش می‌دهد. همچنین مساحت طبقات تراکم زهکشی و فاصله از جاده در جدول ۸ و ۹ ارائه شده است. طبق شکل و جدول ذیل، بخش پایین دست حوضه از تراکم زهکشی بالاتری برخوردار است که نشان از سیل خیزی بیشتر آن مناطق می‌باشد. مساحت طبقات فاصله از جاده در جدول ۱۰ ارائه شده است. بر اساس جدول ۱۰، بیشترین مساحت به طبقات حاشیه جاده تعلق گرفته که دارای بیشترین پتانسیل سیل خیزی نیز می‌باشند.



شکل ۷: الف) نقشه تراکم زهکشی (ب) نقشه طبقات فاصله از جاده

جدول ۸- مساحت طبقات تراکم زهکشی در محدوده مورد مطالعه

کد	تراکم زهکشی (کیلومتر بر کیلومتر مربع)	ضریب زیرمعیار	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
۱	۰-۱/۴۱	۰/۵۸۱	۶۳۹۴۰۱/۶۳	۶۹/۴۳
۲	۲/۸۶-۱/۴۱	۰/۲۵۵	۱۹۷۲۳۳/۹۵	۲۱/۴۱
۳	۴/۵-۲/۸۶	۰/۱۱۴	۶۳۰۰۶/۴۳	۶/۸۵
۴	۷۲/۷۵-۴/۵۰	۰/۰۵۰	۲۱۲۲۱/۲۱	۲/۳۱

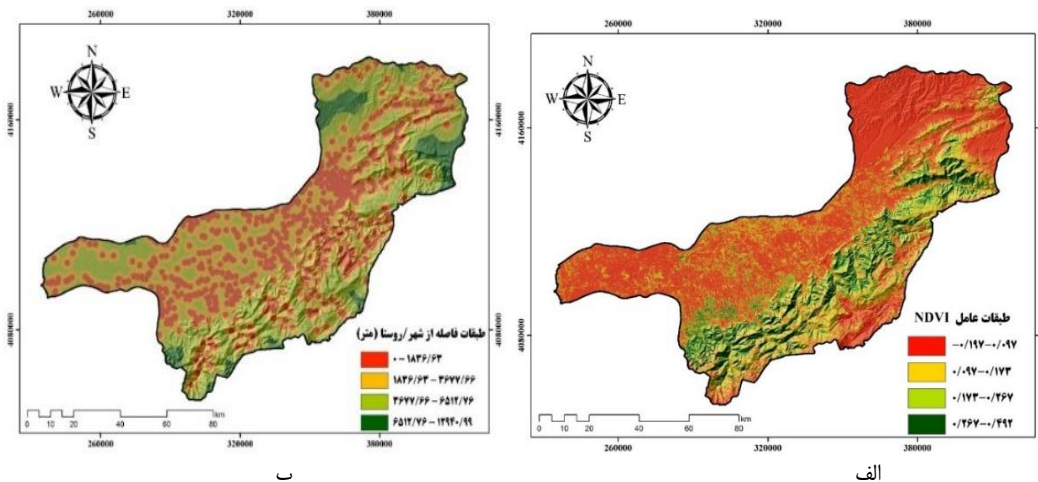
جدول ۹- مساحت طبقات فاصله از جاده در محدوده مورد مطالعه

کد	فاصله از جاده (متر)	ضریب زیرمعیار	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
۱	۱۸۶۰/۹۷-۰	۰/۵۸۱	۵۴۵۲۶۱/۶۵	۵۹/۲۱
۲	۴۰۶۸/۰۷-۱۸۶۰/۹۷	۰/۲۵۵	۲۴۸۲۴۶/۹۷	۲۶/۹۵
۳	۷۰۰۵/۶۴-۴۰۶۸/۰۷	۰/۱۱۴	۸۸۶۶۳/۵۵	۹/۶۲
۴	۱۳۶۰۳/۳۴-۷۰۰۵/۶۴	۰/۰۵۰	۳۸۶۹۱/۰۴	۴/۲۱

شکل ۸ الف و ب پراکنش طبقات شاخص تراکم پوشش گیاهی و فاصله از مناطق مسکونی را در حوضه گرگانرود نمایش می‌دهد. مساحت شاخص تراکم پوشش گیاهی (NDVI) و طبقات فاصله از مناطق مسکونی در جدول ۱۰ و ۱۱ ارائه شده است.

شکل ۸ ب نقشه تراکم پوشش گیاهی را در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱۱، مناطق کوهستانی در حوضه گرگانرود طبق انتظار دارای پوشش گیاهی متراکم بوده و قاعدتاً امتیاز پایینی به لحاظ پتانسیل سیل‌خیزی دریافت می‌نمایند. در مقابل بخش‌های فاقد پوشش یا پوشش کم تراکم در مناطق دشتی بیشترین امتیاز را به خود اختصاص می‌دهند. مساحت کلاس‌های شاخص NDVI در جدول ۱۰ ارائه شده است. طبق جدول ۱۰، مناطق با پوشش کم بیشترین مساحت را نیز به خود اختصاص می‌دهند.

مناطق مسکونی به دلیل اینکه در نزدیک رودخانه‌ها و مناطق با شیب کم احداث می‌شوند و همچنین دارای سطح نفوذ ناپذیر هستند دارای پتانسیل بالا در وقوع سیل می‌باشد (جدول ۱۱).



شکل ۸: الف) نقشه طبقات شاخص تراکم پوشش گیاهی

ب) نقشه طبقات فاصله از مناطق مسکونی

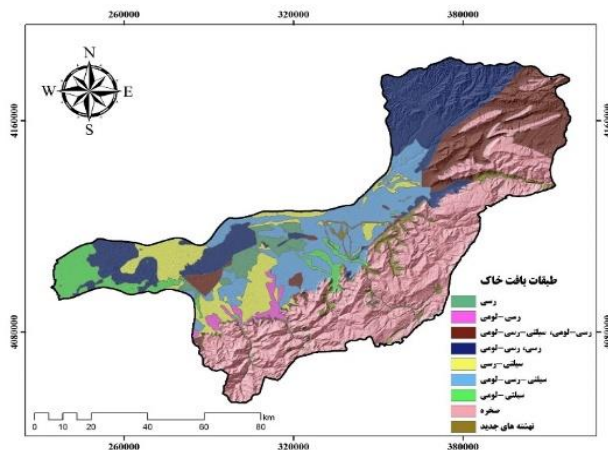
جدول ۱۰- مساحت طبقات شاخص تراکم پوشش گیاهی در حوضه گرگانرود

کد	طبقات شاخص NDVI	ضریب زیرمعیار	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
۱	-۰/۱۹۷ - -۰/۱۹۷	۰/۵۸۴	۴۷۱۵۷۷/۱۴	۵۱/۳۹
۲	۰/۰۹۷ - -۰/۱۷۳	۰/۲۶۰	۲۰۷۵۰۴/۱۸	۲۲/۶۱
۳	۰/۱۷۳ - -۰/۲۶۷	۰/۱۰۷	۱۴۶۵۲۰/۹۰	۱۵/۹۷
۴	۰/۲۶۷ - -۰/۴۹۲	۰/۰۴۹	۹۲۱۱۳/۲۰	۱۰/۰۴

جدول ۱۱- مساحت طبقات فاصله از مناطق مسکونی در محدوده مورد مطالعه

کد	فاصله از روستا (متر)	ضریب زیرمعیار	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
۱	۱۸۳۶/۶۳ - ۰	۰/۵۸۱	۴۶۰۷۶۰/۱۹	۵۰/۰۳
۲	۳۶۷۷/۶۶ - ۱۸۳۶/۶۳	۰/۲۵۵	۳۳۱۱۸۷/۶۵	۳۵/۹۶
۳	۶۵۱۲/۷۶ - ۳۶۷۷/۶۶	۰/۱۱۴	۱۰۱۹۹۸/۶۷	۱۱/۰۷
۴	۱۲۹۴۰/۹۹ - ۶۵۱۲/۷۶	۰/۰۵۰	۲۶۹۱۶/۶۹	۲/۹۲

شکل ۹ پراکنش طبقات بافت خاک را در حوضه گرگانرود نمایش می‌دهد. مساحت طبقات بافت خاک در جدول ۱۲ ارائه شده است. طبق جدول ۱۲، خاک‌های رسی، رسی-لومی بدلیل نفوذ کمتر نسبت به سایر خاکها، دارای پتانسیل بیشتری در وقوع سیل می‌باشند. آنچه که مسلم است و در بررسی‌های مختلف نشان داده شده، گروه هیدرولوژیک A به دلیل اینکه بیشترین نرخ نفوذ را در بین خاکهای دیگر دارا می‌باشد، دارای کمترین وزن و تاثیر بین سایر گروه‌های هیدرولوژیک خاک در وقوع سیل می‌باشد. گروه هیدرولوژیک D نیز به دلیل میزان نفوذپذیری کم دارای بیشترین تاثیر بر وقوع سیل می‌باشند. شماره منحنی بیشتر موید جاری شدن رواناب بیشتر از یک بارندگی می‌باشد، در نتیجه، هر چه شماره منحنی بیشتر باشد، به دلیل رواناب بیشتر، احتمال وقوع سیل بیشتر می‌باشد.



شکل ۹: نقشه طبقات بافت خاک در محدوده مورد مطالعه

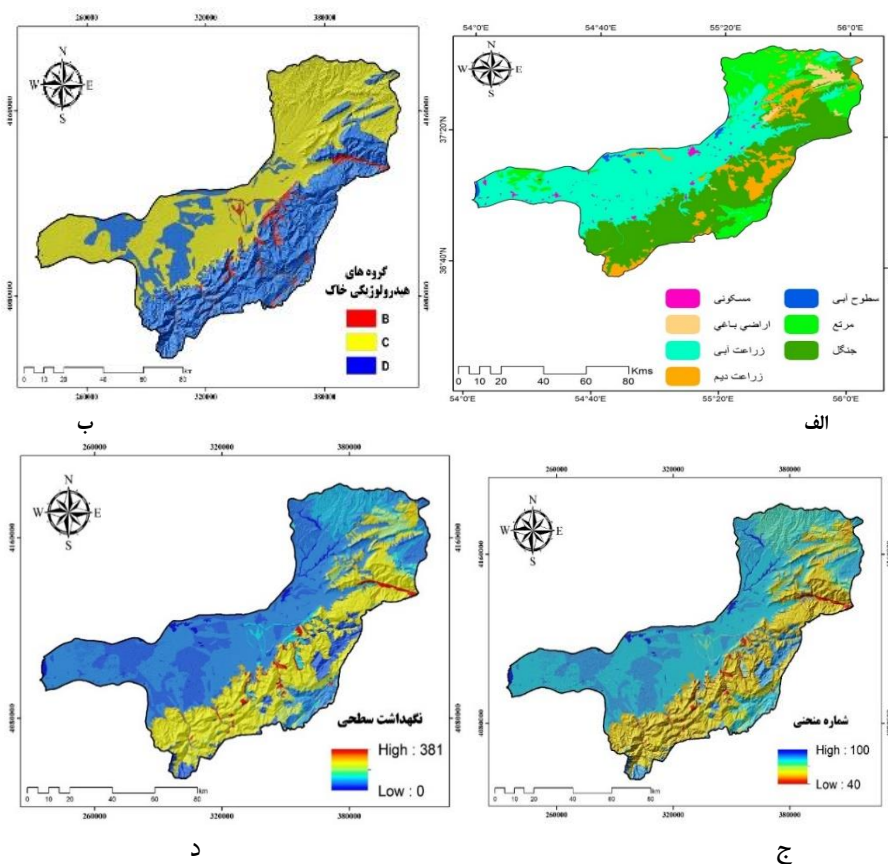
جدول ۱۲- مساحت طبقات بافت خاک در محدوده مورد مطالعه

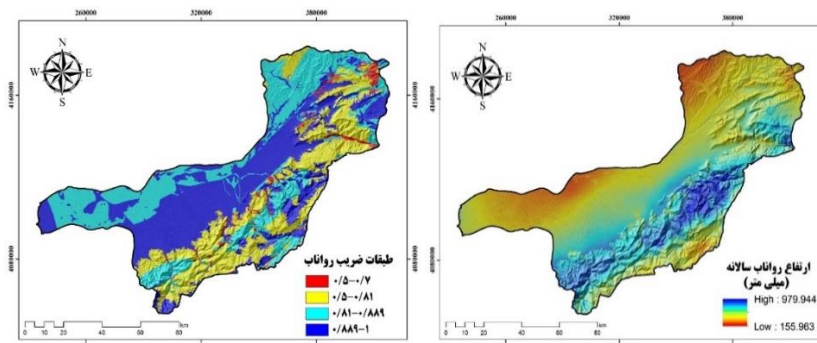
کد	بافت خاک	ضریب زیر معیار	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
۱	رسی	۰/۲۹۲	۲۲۵۶۴/۷۳	۲/۵۲
۲	رسی-لومی	۰/۱۹۸	۱۲۷۱۰/۹۸	۱/۴۲
۳	رسی-لومی، سیلتی-رسی-لومی	۰/۱۲۶	۱۱۰۲۵۲/۷۱	۱۲/۳۲
۴	رسی، رسی-لومی	۰/۰۷۱	۱۶۸۳۶۳/۸۸	۱۸/۸۱
۵	سیلتی-رسی	۰/۰۷۱	۷۴۳۵۳/۱۹	۸/۳۱
۶	سیلتی-رسی-لومی	۰/۰۷۱	۱۲۲۴۳۲/۴۷	۱۳/۶۸

۴/۷۵	۴۲۵۴۰/۸۸	۰/۰۷۱	سیلتی-لومی	۷
۳۷/۹۷	۳۱۲۹۵۵/۹۸	۰/۰۷۱	صخره	۸
۳/۱۸	۳۵۹۰/۵۳	۰/۰۲۹	نهشته‌های جدید	۹

شکل‌های ۱۰ الف، ب، ج، د، ر و ه به ترتیب نقشه‌های کاربری اراضی، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، شماره منحنی، نگهداشت سطحی، رواناب سالانه و در نهایت طبقات ضریب رواناب را نمایش می‌دهند. نوع کاربری کشاورزی آبی نسبت به سایر کاربری‌ها به دلیل تاثیر بر سرعت جریان و همچنین نرخ نفوذ کمتر (تراکم بیشتر خاک)، دارای بیشترین تاثیر بر روی وقوع سیل در حوضه مورد مطالعه می‌باشد. میزان نگهداشت سطحی رطوبت خاک عامل مهم در ارتفاع رواناب می‌باشد. به عبارت دیگر، هر چه نگهداشت سطحی بیشتر باشد، ارتفاع رواناب کمتر و سیل کمتر و برعکس.

پتانسیل تولید رواناب در گروه‌های هیدرولوژیکی D به حداکثر رسیده که ناشی از بافت‌های رسی و سیلتی‌رسی بوده و در مقابل گروه‌های هیدرولوژیکی A به سبب دارا بودن بافت شنی که در سازندهای کواترنری غالب است تولید رواناب پایینی دارد. بر اساس شکل ۱۲، مناطق دشتی حوضه دارای بالاترین ضریب رواناب می‌باشند. جدول ۱۳ مساحت طبقات ضریب رواناب را در حوضه گرگانود ارائه می‌نماید. طبق جدول ۱۳، بیشترین و کمترین مساحت منطقه به کلاس‌های چهار (بیشترین مقادیر ضریب رواناب) و اول (کمترین مقادیر ضریب رواناب) اختصاص یافته است که مبین پتانسیل بالای مساحت قابل توجهی از حوضه گرگانود در تولید رواناب است.





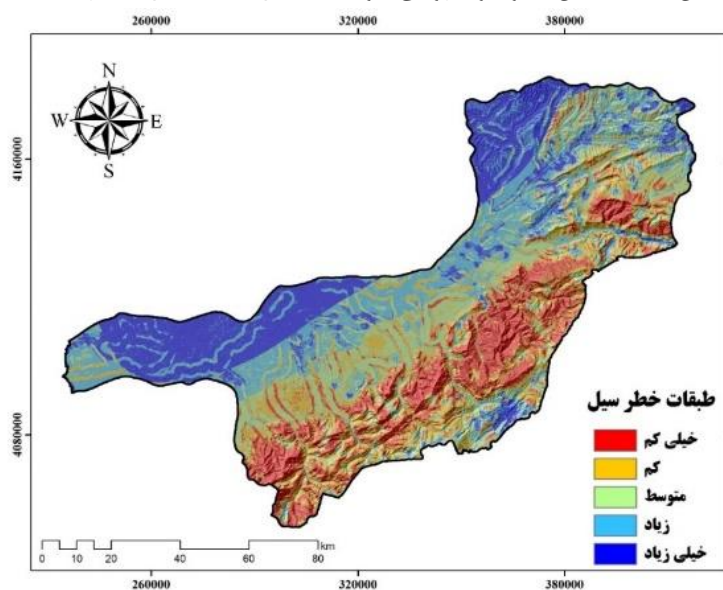
شکل ۱۰: الف) نقشه کاربری اراضی ب) نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک ج) نقشه شماره منحنی د) نقشه نگهداشت سطحی
 ر) نقشه رواناب سالانه ه) نقشه طبقات ضریب رواناب

جدول ۱۳- مساحت طبقات ضریب رواناب در حوضه گرگانرود

کد	طبقات ضریب رواناب	ضریب زیرمعیار	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
۱	۰/۵۰ - ۰/۷۰	۰/۵۹۵	۲۷۵۸۹/۱۴	۳/۰۱
۲	۰/۷۰ - ۰/۸۱	۰/۲۴۹	۲۳۷۷۵۷/۰۵	۲۵/۹۸
۳	۰/۸۱ - ۰/۸۸	۰/۱۰۷	۲۹۴۲۴۳/۰۳	۳۲/۱۵
۴	۰/۸۸ - ۱	۰/۰۴۹	۳۵۵۵۰۴/۷۷	۳۸/۸۵

تعیین مکانهای مستعد خطر سیلاب گرگانرود

پس از محاسبه وزن عوامل ذکر شده با استفاده از نرم‌افزار Expert choice مقدار آن در لایه اطلاعاتی هر کدام از عوامل انتقال داده شد و سپس با کاربرد نرم‌افزار ArcGIS 10.3 این لایه‌ها در هم تلفیق و همپوشانی شدند. در نهایت نقشه رستری با قدرت تفکیک ۳۰×۳۰ متر تولید شد، بدین ترتیب که هر چه وزن پیکسل بیشتر باشد، مقدار خطر وقوع سیل برای آن پیکسل بالاتر خواهد بود. در شکل ۱۱ نقشه حساسیت به وقوع سیل در حوضه آبخیز گرگانرود در استان گلستان نشان داده شده است. نقشه تهیه شده به ۵ کلاس حساسیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی گردید. همانطور که مشخص است مناطق هموار و خروجی حوضه احتمال رخداد سیل بیشتری دارند.



شکل ۱۱: کلاس‌های خطر سیل خیزی در حوضه آبخیز گرگانرود

در جدول ۱۴ نیز مساحت هر یک از کلاس‌های حساسیت به وقوع سیل نشان داده شده است. همانطور که مشخص است ۴۰ درصد از حوضه گرگانرود به مساحت هکتار دارای حساسیت خیلی زیاد و زیاد و همانطور حدود ۴۱ درصد از حوضه دارای حساسیت کم و خیلی کم به وقوع سیل می باشد. پس نتایج حاکی از بالا بودن خطر وقوع سیل در حوضه آبخیز گرگانرود می باشد.

جدول ۱۴- مساحت کلاس‌های خطر سیل خیزی در حوضه گرگانرود

کد طبقه	طبقات خطر سیل- خیزی	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
۱	خیلی کم	۱۸۳۰۲۱/۶۶	۲۰/۰۰
۲	کم	۱۸۳۶۶۱/۰۲	۲۰/۰۷
۳	متوسط	۱۸۲۸۰۰/۸۹	۱۹/۹۸
۴	زیاد	۱۸۲۸۵۲/۵۵	۱۹/۹۸
۵	خیلی زیاد	۱۸۲۷۳۰/۲۴	۱۹/۹۷

نتیجه‌گیری

به دلیل رخداد وقوع سیل در قسمتهای شمالی کشور و روند رو به افزایش آنها، تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل، پیش‌مدیریت خطر و روش‌های پیشگیری از خطر و ریسک است. اهداف تحقیق حاضر، پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه گرگانرود و معرفی مهم‌ترین عوامل در وقوع سیلاب با استفاده از مدل AHP می‌باشد. پس از تهیه نقشه موقعیت حوضه، ۱۱ فاکتور شیب، جهت شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، بارندگی، فاصله از رودخانه یا آبراهه، فاصله از راه‌ها یا جاده‌ها، فاصله از روستاها، تراکم زهکشی، شاخص NDVI (تراکم پوشش گیاهی) و ضریب رواناب (شامل کاربری اراضی، بافت خاک، گروه هیدرولوژیک خاک، نقشه شماره منحنی، نگهداشت سطحی و ارتفاع رواناب سالانه) به عنوان عوامل موثر در وقوع سیل حوضه آبخیز گرگانرود در استان گلستان انتخاب شدند.

بررسی نتایج حاصل از نرم‌افزار Expert Choice بیانگر آن است که از بین عوامل موثر در خطر سیلاب حوضه گرگانرود، بارش با وزن ۰/۲۰۴، فاصله از مسیل با وزن ۰/۱۵۹، زمین‌شناسی با وزن ۰/۱۴۶، به ترتیب دارای بالاترین وزن و تاثیر در بروز خطر سیلاب حوضه گرگانرود می‌باشند. همچنین جهت با وزن ۰/۰۳۱، ارتفاع با وزن ۰/۰۱۷ دارای کمترین تاثیر در بروز خسارت سیلاب در حوضه موردنظر می‌باشد. نتیجه این تحقیق با نتایج امیراحمدی و همکاران (۱۳۹۰) در محدوده شهر نیشابور که به این نتیجه رسیدند که از بین این فاکتورهای موثر در سیلاب، فاصله از رودخانه و مسیل بالاترین وزن و تاثیر را دارد و همچنین مطالعه الشیخ و همکاران (۲۰۱۵) در مالزی در خصوص اینکه نوع خاک کمترین تاثیر در وقوع سیل دارد، مطابقت دارد. با توجه به نقشه نهایی، مناطق پرخطر، به طور عمده در مناطق هموار و کم‌شیب واقع در قسمت شمال و شمال غربی حوضه مطالعاتی قرار دارند و هر چه به سمت مناطق پرشیب و کوهستانی نزدیک می‌شویم، از میزان پتانسیل سیل خیزی در حوضه کاسته می‌شود.

نقشه خطر سیل نشان می‌دهد که در کنار مناطق هموار، فاصله از مسیل و آبراهه در محدود حوضه گرگانرود با شدت خطر سیل زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته اند که با نتایج زارع (۱۳۷۱) و بهمن‌یار (۱۳۹۵) در شهر شان‌دیز مشهد مطابقت دارد. از طرفی ملیکان و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی حوضه آبخیز اخترباد به این نتیجه رسیدند که هیدرواقليم بالاترین تاثیر در بروز سیل دارد. جنرینو و همکاران (۲۰۱۵) نیز در شمال فیلیپین فاکتور ارتفاع را دارای کمترین تاثیر در خطر سیلاب می‌دانند.

علیرغم اینکه شیب یکی از عوامل مهم در وقوع سیلاب است، در این تحقیق کمترین وزن را دارد. به عبارتی دیگر، با وجود اینکه شیب، نقش در ایجاد سیلاب دارد اما بیشترین خسارت در مناطق کم شیب رخ داده است، زیرا در این مناطق سرعت آب کاهش پیدا کرده و تجمع سیلاب صورت می‌گیرد و این موضوع با محل‌هایی که بیشترین خسارت ناشی از سیلاب در آن مشاهده گردید، هماهنگی دارد. همچنین فرناندز و لوتز (2010) نیز با تهیه نقشه خطر سیل در دو شهر آراژانتین، شیب کم و تعمیر و نگهداری ضعیف کانال زهکشی را مهمترین عامل سیل می‌دانند. محققین دیگر نیز پارامترهای دیگری را در وقوع سیلاب مهم دانسته‌اند از جمله سانی (۲۰۰۸) با بررسی عوامل موثر بر وقوع سیلاب در رودخانه‌ای در نیجر به این نتیجه رسید که بارندگی سالیانه دارای بالاترین وزن و پوشش زمین کمترین وزن و تاثیر در بروز سیلاب می‌باشند. مورلی و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی پتانسیل سیل‌خیزی رودخانه آرنو در کشور ایتالیا به نتیجه رسیدند که مناطق با توسعه شهری، بیشتر در معرض سیلاب قرار دارند.

نتایج حاصل از نقشه نهایی خطر سیلاب در حوضه گرگانرود نشان دهنده این واقعیت است که ۱۹,۹۷ درصد حوضه دارای وضعیت با خطر خیلی زیاد، ۱۹,۹۸ درصد دارای وضعیت با خطر زیاد، ۱۹,۹۸ درصد دارای وضعیت با خطر متوسط، ۲۰,۰۷ درصد دارای وضعیت با خطر کم، ۲۰ درصد دارای وضعیت خطر خیلی کم در برابر سیل قرار دارند. بنابراین، نتایج حاکی از توان بالای حوضه از لحاظ ایجاد خطر سیلاب می‌باشد، لذا اراضی با احتمال خطر بسیار زیاد و زیاد، زیاد هستند که باید اقدامات حفاظتی و آبخیزداری (مانند: جلوگیری از فرسایش و تخریب خاک، کاهش بار رسوبی آب، کاهش سرعت و شدت جریان رواناب، افزایش زمان تمرکز سیلاب، ایجاد فرصت برای نفوذ آب در لایه‌های زیرین حوضه و تغذیه آبخوانها، کشت گیاهان مناسب با شرایط جغرافیایی دامنه‌ها و احیاء مراتع و ایجاد عرصه‌های فضای سبز) در حوضه صورت بگیرد. نقشه پتانسیل سیل‌خیزی مستخرج از مدل AHP در پژوهش حاضر، می‌تواند در تعیین مناطق مناسب برای انتخاب مکان مناسب برای ساخت وسازها، در طراحی پروژه‌ها، مدیریتهای محیطی، اجرای برنامه‌ها، طرحهای عمرانی و هرگونه ساخت وسازها و فعالیتهای زیربنایی در حوضه گرگانرود، به منظور انتخاب استراتژی صحیح و مناسب و دوری از مناطق پرخطر، مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

- آبی، ابوالفضل، طاووسی، تقی، و خسروی، محمود، ۱۳۹۸. تحلیل مناطق بالقوه در معرض مخاطره سیلاب شهری (مطالعه موردی: شهر زاهدان)، فصلنامه جغرافیا و توسعه. سال ۱۷. شماره ۵۴، صص ۹۱-۱۰۶.
- اصغری مقدم، محمد رضا، ۱۳۷۸. جغرافیای طبیعی شهر (هیدرولوژی و سیل‌خیزی شهر)، چاپ اول، انتشارات مسعی. تهران. ۳۰۴ ص.
- امیراحمدی، ابوالقاسم، بهنیافر، ابوالفضل، و ابراهیمی مجید، ۱۳۹۱. ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر سبزوار در راستای توسعه پایدار شهری. فصلنامه آمایش محیط. ۱۶: ۱۷-۳۲.
- انتظاری، مژگان، جلیلیان، طاهره، و درویشی خاتونی، جواد، ۱۳۹۸. پهنه‌بندی نقشه حساسیت سیل‌گیری با استفاده از ارزیابی کارایی روشهای نسبت فراوانی و وزن شواهد (مطالعه موردی: استان کرمانشاه). نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال ششم، شماره ۴، صفحات ۱۴۳ - ۱۶۲.
- ایمانی، بهرام، و پورخسروانی، محسن، ۱۳۹۶. تحلیل فضایی پهنه‌های مخاطره‌آمیز شهرستان اردبیل. نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، سال ۲۸، شماره ۲، صص ۱۰۹-۱۲۸.
- بهنیافر، ابوالفضل، قنبرزاده، هادی، پاد، سکینه، و اسدی، مجتبی، ۱۳۹۵. پهنه‌بندی مناطق حساس ریسک سیل‌گیری با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی AHP با تأکید بر ژئومورفولوژی شهری، مطالعه موردی: آبخیز شهر شاندیز. چهارمین کنفرانس ملی توسعه پایدار در علوم جغرافیا و برنامه‌ریزی، معماری و شهرسازی.

- جعفری، غح، ۱۳۸۹. تأثیر جهت شیب سطوح ارضی بر شدت خشکی ایران (مطالعه موردی اقلید). صفحه‌های ۱ تا ۸ مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیادانان جهان اسلام، زاهدان.
- خسروی، خهبات، معروفی‌نیا، ادريس، نوحانی، ابراهیم، و چپی، کامران، ۱۳۹۵. ارزیابی کارایی مدل رگرسیون لجستیک در تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل. مرتع و آبخیزداری، ۶۹ (۴): ۸۶۳-۸۷۶.
- داودی، محمود، بای، ناصر، و ابراهیمی، امید، ۱۳۹۳. طبقه‌بندی اقلیمی استان مازندران بر اساس روش لیتین‌اسکی، مجله سپهر، ۲۲ (۸۸) ۱۰۰-۱۰۵.
- رکن‌الدین افتخاری، عبدالرضا، صادق‌قلو، طاهره، احمدآبادی، علی، و سجاسی قیداری، حمدالله، ۱۳۸۸. ارزیابی پهنه‌بندی روستاهای در معرض خطر سیلاب با استفاده از مدل *HEC-GeoRAS* در محیط *GIS* مطالعه موردی: روستاهای حوضه گرگانود فصلنامه توسعه روستایی. شماره ۱. ۱۵۷-۱۸۲.
- فتوحی، صمد، کیانی، سجاده، ۱۳۹۴. ریز پهنه بندی ریسک سیلاب شهری با استفاده از مدل فرایند تحلیل سلسل‌مراتبی (مطالعه موردی: شهر نهاوند). دوره ۸، شماره ۲۹، ۱۳۳-۱۵۲.
- زارع، جمال، ۱۳۷۱. علل و عوامل سیلاب و آبگرفتگی در مناطق شهری ایران و راه‌های پیشگیری از آن. اولین کنفرانس بین‌المللی بلایای طبیعی در مناطق شهری، تهران. ۱۶-۳۲ تیرماه.
- زبردست، اسفندیار، ۱۳۸۰. کاربرد فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای. هنرهای زیبا، شماره ۱۰، ۱۳-۲۱.
- شیخی، حجت، ۱۳۹۵. تحلیل توانهای محیطی برای توسعه شهری، مطالعه موردی: شهر ایلام. پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دوره ۵۰، شماره ۱، صص ۱۴۴-۱۲۷.
- طیبی، فریال، ۱۳۸۴. تحلیل توان سیل‌خیزی با تأکید بر ویژگی‌های ژئومورفولوژیک با استفاده از *GIS* و مدل‌های مفهومی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز ششتمد)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم سبزوار.
- قنونی، عزت‌اله، صفاری، امیر، بهشتی‌جاوید، ابراهیم، و منصوریان، اسماعیل، ۱۳۹۳. پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی با استفاده از تلفیق مدل هیدرولوژیکی *CN* و *AHP* در محیط *GIS* مطالعه موردی: حوضه رودخانه بالخلو. فصل‌نامه جغرافیایی چشم‌انداز زاگرس، دوره ۷، شماره ۲۵، ۶۷-۸۰.
- کردوانی، پرویز، قادری، حیدر، و قادری، آرزو، ۱۳۸۸. تحلیل منطقه‌ای سیلاب‌های لرستان، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال دوم، شماره ۵، صص ۱-۱۸.
- گنجی، م، ۱۳۶۷. جغرافیا در ایران از دارالفنون تا انقلاب اسلامی، چاپ اول، مؤسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.
- مطوف، شریف، مهدی پور، هاله، و اصلانی، فرشته، ۱۳۹۴. ارزیابی خطر سیل ناشی از عوامل انسانی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (*GIS*) (مورد: استان تهران). دو فصلنامه «پژوهش‌های منظر شهر»، سال دوم، شماره ۴. صص ۶۹-۸۰.
- ملکیان، آرش، افتادگان‌خوزانی، اصغر، و عشورنژاد، غدیر، ۱۳۹۱. پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز اخترباد با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتب فازی. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۸۲: ۱۳۱-۱۵۲.
- موسوی، سیده‌معصومه، نگهبان، سعید، رخشانی‌مقدم، حیدر، و حسین‌زاده، سیدمحس، ۱۳۹۵. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی با استفاده از منطق فازی *Topsis* در محیط *RS*، مطالعه موردی: حوضه آبخیز شهر باغ ملک. مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال پنجم، شماره دهم، صص ۷۹-۹۸.
- محمودزاده، حسن، و باکویی، مانده، ۱۳۹۷. پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از تحلیل فازی. مجله مخاطرات محیط طبیعی. دوره ۷، شماره ۱۸. ۵۱-۶۷.
- یمانی، م، پیرانی، پ، مرادی‌پور، ف، شعبانی، ع، و گورابی، ا، ۱۳۹۳. ارزیابی ژئومورفولوژیکی پتانسیل حرکات دامنه‌ای تاقدیس سیاه کوه، غرب ایران، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۸، شماره ۳، صص ۱۷۰-۱۴۷.

- Allison, E.W., 1989. *Monitoring drought affected vegetation with AVHRR Digest-International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 4:1965-1967.
- Ballabio, C., & Sterlacchini, S., 2012. *Support vector machines for landslide susceptibility mapping: the Staffora River Basin case study, Italy. Mathematical geosciences*, 44(1), 47-70.
- Bronstert, A., 2003. *Floods and climate change: interactions and impacts. Risk Anal.* 23, 545-557.
- Bubeck, P., Botzen, W., & Aerts, J., 2012. *A review of risk perceptions and other factors that influence flood mitigation behavior. Risk Anal.* 32, 1481-1495.
- Das, S., 2019. *Geospatial mapping of flood susceptibility and hydro-geomorphic response to the floods in Ulhas basin, India. Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 14, 60-74.
- Elsheikh, R., Ouerghi, S., & Elhag, A., 2015. *Flood Risk Map Based on GIS, and Multi Criteria Techniques (Case Study Terengganu Malaysia). Journal of Geographic Information System*, 7: 348-357.
- Feng, C.C., & Wang, Y.C., 2011. *GIScience research challenges for emergency management in Southeast Asia. Nat Hazards*, 59:597-616.
- Fernández, D.S., & Lutz, M.A., 2010. *Urban flood hazard zoning in Tucumán Province Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. Engineering Geology*, 111: 90-98.
- Generino, P.S., Sony, E.V., & Proceso, F., 2015. *Modeling Flood Risk for an Urban CBD Using AHP and GIS. International Journal of Information and Education Technology*, 5: 748-753.
- Glasson, J., 1974. *An introduction to regional planning: concepts, theory and practice. London.*
- Kassa, A., 1990. *Drought risk monitoring for Sudan using NDVI, A Dissertation submitted to the University College London. 1982-1993.*
-
- Kazakis, N., Kougiyas, I., & Patsialis, T., 2015. *Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope Evros region, Greece. Science of the Total Environment*, 538, 555-563.
- Khosravi, K., Nohani, E., Maroufinia, E., & Pourghasemi, H.R., 2016a. *A GIS-based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: a comparison between frequency ratio and weights-of-evidence bivariate statistical models with multicriteria decision-making technique. Natural Hazards*, Vol. 83, pp. 947-987.
- Khosravi, K., Pourghasemi, H.R., Chapi, K., & Bahri, M., 2016b. *Flash flood susceptibility analysis and its mapping using different bivariate models in Iran: a comparison between Shannon's entropy, statistical index, and weighting factor models. Environmental monitoring and assessment*, doi:10.1007/s10661-016-5665-9.
- Kjeldsen, TR., 2010. *Modelling the impact of urbanization on flood frequency relationships in the UK. Hydrol Res* 41:391-405.
- Kluwer Cheng, C.H., 1997. *Evaluating naval tactical systems by fuzzy AHP based on the grade value of membership function. European Journal of Operational Research*, 96: 343-350. Academic Publishers.
- Kourgialas, N.N., & Karatzas, G.P., 2011. *Flood management and a GIS modelling method to assess flood hazard areas—a case study. Hydrol. Sci. J.* 56, 212-225.
- Maass, A., Hufschmidt, M.M., Dorfman, R.J.R., Thomas, H.A., Marglin, S.A. & Fair, G.M., 1962. *Design of Water Resources Systems. Harvard University Press, Cambridge.*

- Miller, JR., Ritter, DF., & Kochel, RC., 1990. Morphometric assessment of lithologic controls on drainage basin evolution in the Crawford Upland, south-central Indiana. *Am J Sci.* 290:569-599.
- Morelli, S., Segoni, S., Manzo, G., Ermini, L., & Catani, F., 2012. Urban planning, flood risk and public policy: The case of the Arno River, Firenze, Italy. *Applied Geography*, 34: 205-218.
- Nayak, T.R., & Jaiswal, R.K., 2003. Rainfall-Runoff Modelling Using Satellite Data and GIS for Bebas River in Madhya Pradesh, *Journal of the Institution of Engineers*, Vol. 84, pp. 4750.
- Oguntunde, P.G., Friesen, J., van de Giesen, N., & Savenije, H.H.G., 2006. Hydroclimatology of the Volta River Basin in West Africa: Trends and variability from 1901 to 2002, *Journal physics and chemistry of the Earth*, 31: 1180-1188.
- Oh, H.J., & Pradhan, B., 2011. Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area. *Computer and Geoscience*, 37, 1264–1276.
- Qin, Q-m., Tang, H-m., & Chen, H.k., 2011. Zoning of highway flood-triggering environment for highway in Fuling District, Chongqing. 2011 International Conference on Photonics, 3D Imaging, and Visualization. International Society for Optics and Photonics, pp 820530820530820538.
- Saaty, T.L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process*, New York: McGraw Hill.
- Sani, Y., 2008. Multicriteria Analysis for Flood Vulnerable Areas in Hadejia-Jama'are River Basin, Nigeria. ASPRS 2008 Annual Conference. Portland, Oregon. April 28 - May 2.
- Samanta, S., Pal, D.K., & Palsamanta, B., 2018. Flood susceptibility analysis through remote sensing, GIS and frequency ratio model. *Applied Water Science*, 8(2), 66.
- Singh, V.P., 1996. *Hydrology of disasters*, Water science and Technology library Vol. 24.
- Taylor, J., Davies, M., Clifton, D., Ridley, I., & Biddulph, P., 2011. Flood management: prediction of microbial contamination in large- scale floods in urban environments. *Environ Int* 37:1019-1029.
- Tehrany, M.S., Pradhan, B., & Jebur, M.N., 2014a. Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. *J. Hydrol.* 512:332343.
- Tehrany, M.S., Pradhan, B., Mansour, Sh., & Ahmad, N., 2015a. Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types. *Catena* 125, 91-101.
- Tehrany, M.S., Pradhan, B., Mansour, Sh., & Ahmad, N., 2015. Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different Kernel types. *Catena*, Vol. 125, pp.91-101.
- Youssef, A.M., & Hegab, M.A., 2019. Flood-Hazard Assessment Modeling Using Multicriteria Analysis and GIS: A Case Study—Ras Gharib Area, Egypt. In *Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences* (pp. 229-257): Elsevier.
- Youssef, A.M., Pradhan, B., & Hassan, A.M., 2011. Flash flood risk estimation along the St. Katherine road, southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery. *Environ. Earth Sci.* 62, 611–623.