

پهنه‌بندی نقشه حساسیت سیل‌گیری با استفاده از ارزیابی کارایی روش‌های نسبت فراوانی و وزن

شواهد

مطالعه موردی: استان کرمانشاه

مژگان انتظاری، دانشیار دانشکده علوم جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.
طاهره جلیلیان^۱، دانشجوی دکتری دانشکده علوم جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.
جواد درویشی خاتونی، دانشجوی دکتری دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان،
ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۰۴ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۰۸/۲۱

چکیده

سیل یکی از مخرب‌ترین بلاهای طبیعی با عواقب اجتماعی و اقتصادی و زیست محیطی است. برای جلوگیری از هرگونه خسارت ناشی از سیل تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل نخستین گام در مدیریت سیلاب است. هدف اصلی این پژوهش، شناسایی مناطق حساس به سیل‌گیری با استفاده از ارزیابی دو مدل نسبت فراوانی (FR) و وزن شواهد (WofE) در استان کرمانشاه می‌باشد. ابتدا موقعیت ۱۴۶ نقطه سیل‌گیر در منطقه تهیه گردید. از این تعداد، ۱۰۲ نقطه (۷۰٪) به طور تصادفی به عنوان داده‌های اصلی برای واسنجی و باقی مانده، تعداد ۴۴ نقطه (۳۰٪) برای مقاصد اعتبارسنجی استفاده شد. در مرحله بعدی ۱۱ فاکتور موثر بر وقوع سیل شامل زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه‌ها، تراکم زهکشی، شیب، جهت شیب، انحنای زمین، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، طبقات ارتفاعی و میانگین بارندگی مشخص گردید. نقشه رقمی تمامی پارامترها با استفاده از نرم افزار Arc GIS ۱۰.۲ با فرمت رستری تهیه شدند. سپس احتمال رخداد سیل برای هر کلاس از هر پارامتر محاسبه گردید و در نهایت وزن‌های به دست آمده برای هر کلاس در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در لایه‌های مربوطه اعمال گردید. پس از تهیه نقشه پهنه‌بندی با این دو روش، برای ارزیابی نتایج از منحنی عملکرد نسبی (ROC) استفاده شد. سطح زیر منحنی (AUC) به دست آمده از منحنی عملکرد نسبی نشان دهنده دقت ۸۵ درصد برای مدل نسبت فراوانی، دقت ۸۳ درصد برای مدل وزن شواهد می‌باشد. نتایج این ارزیابی نشان دهنده دقت بالای این دو مدل در تهیه نقشه پهنه‌بندی سیل می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سیل، روش نسبت فراوانی، روش وزن شواهد، استان کرمانشاه

مقدمه

همه روزه در سراسر جهان وقایع زیادی رخ می‌دهد که تعدادی از آن‌ها تبدیل به بلایای طبیعی می‌شوند. بلایای طبیعی در واقع یک فاجعه یا مصیبت ناشی از وقوع یک پدیده طبیعی پرخطر مانند سیلاب، خشکسالی، زلزله، رانش زمین، طوفان و یا آتشفشان است که باعث وارد آمدن خسارت مالی و جانی فراوان به جوامع انسانی می‌گردد، اما در مناطقی که ارتباط مستقیم با انسان ندارند و منافع انسانی در من نیست این وقایع تبدیل به بلایای طبیعی نمی‌شوند. سیل به عنوان یک تهدید بزرگ برای زندگی بشر (آسیب یا مرگ انسان و حیوانات)، خواص (زمین کشاورزی، تولید محصول، ساختمان و خانه) و زیرساخت‌ها (پل‌ها، جاده‌ها، راه آهن، زیرساخت‌های شهری) (Samanta et al., ۲۰۱۸) محسوب می‌شود. خسارت ناشی از سیل شامل خسارت محسوس^۱ و خسارت نامحسوس^۲ می‌باشد که خسارت محسوس به دو صورت مستقیم و غیر مستقیم طبقه بندی می‌شوند (خسروی و همکاران، ۱۳۹۵). بسیاری از عوامل انسانی و عوامل طبیعی در وقوع و توسعه سیل نقش دارد. در میان آنها تغییرات آب و هوایی نقش مهمی در وقوع سیل دارد (Sampson et al., ۲۰۱۵). 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. چنانچه ابعاد و گستردگی پیامدهای وقوع سیل (مستقیم و غیرمستقیم) از لحاظ اقتصادی مورد ارزیابی قرار گیرد، آنگاه پرداختن به مسائلی چون سیل در اولویت قرار می‌گیرد (Norouzi et al., ۲۰۱۲). سیل به عنوان یک مانع اصلی در برابر برنامه‌های توسعه محلی در نظر گرفته می‌شود (Schober et al., ۲۰۱۵). تهیه نقشه مناطق مستعد، برای پیشگیری و مدیریت سیل بسیار مهم است (Bout et al., ۲۰۱۸). تاثیر جدی سیل بر اکوسیستم‌های طبیعی و فعالیت‌های انسانی یک عامل مهم برای محدود کردن توسعه پایدار جوامع و اقتصادها است. برای پیش‌بینی احتمال سیل، نقشه حساسیت سیل یک گام ضروری است (Wang et al., ۲۰۱۸). پیش‌بینی مکان وقوع سیل به علت تغییر ناگهانی در شرایط آب و هوایی و عوامل انسانی بسیار دشوار است (Khosravi et al., ۲۰۱۸). متأسفانه در ایران به موضوع سیل و مدیریت و کاهش خسارت‌های آن توجه جدی نشده است و فقط زمانی که سیل مخربی جاری می‌شود و فاجعه‌ای به وجود می‌آورد توجه مسئولان به آن جلب می‌شود. یکی از راه‌های جلوگیری و کاهش خسارت‌های ناشی از سیل قرار دادن اطلاعات معتبر در اختیار مردم از طریق تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیلاب است (عرب عامری و همکاران، ۱۳۹۶). برای پیشگیری و مهار سیلاب باید در درجه اول مناطقی که پتانسیل بالایی در تولید سیل دارند تعیین و سپس عوامل تولید و ایجاد سیل شناسایی شوند، اخطار سریع و پاسخ اضطراری به وقوع سیلاب نیز از موارد مورد نیاز در کنترل سیلاب است (Feng and Wang, ۲۰۱۱). نقشه حساسیت به سیل می‌تواند خطرات ناشی از سیل‌های آینده را براساس روش‌های آماری یا قطعی شناسایی و پیش‌بینی کند. مسئله تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل توسط محققان مختلفی بررسی شده است. تهرانی و همکاران در سال (۲۰۱۴) به شناسایی نقاط سیل‌گیر براساس وقوع سیل‌های گذشته و پارامترهای مؤثر بر وقوع آنها با استفاده از روش‌های ترکیبی مانند درخت تصمیم‌گیری، رگرسیون لجستیک و ماشین‌بردار پشتیبان پرداختند. و به این نتیجه رسیدند که مدل‌های وزن واقعه^۳ (WOE) و ماشین‌بردار پشتیبان^۴ (RBF-SVM) با بیشترین صحت به ترتیب دارای سطح زیر منحنی ۹۶/۴۸ و ۹۵/۶۷ درصد دقت قابل قبولی در تهیه نقشه حساسیت سیل‌گیری دارند. یوسف و همکاران در سال (۲۰۱۶) به پهنه‌بندی نقشه حساسیت به وقوع سیل شهر جده در عربستان سعودی با روش‌های نسبت فراوانی

^۱ Tangible Losses^۲ Intangible Losses^۳ Weight of Evidence^۴ support vector machine

(FR)^۱ و رگرسیون لجستیک^۲ (LR) و ترکیب آنها پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد مدل ترکیبی دقت بیشتری نسبت به مدل فراوانی و رگرسیون لجستیک دارد. خسروی و همکارانش (۲۰۱۶) مدل‌های آماری دو متغیره وزن واقعه و نسبت فراوانی با تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره را در ارزیابی حساسیت سیل‌گیری مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل‌های استفاده شده دقت قابل قبولی در تهیه نقشه حساسیت سیل‌گیری دارند. عرب عامری و همکاران در سال (۱۳۹۶) با استفاده از روش ترکیبی نوین تئوری بیزین فرایند تحلیل سلسله مراتبی (Bayes- AHP) به شناسایی مناطق حساس به سیل‌گیری پرداخته و نتایج پژوهش نشان از دقت مناسب مدل ترکیبی در شناسایی پهنه‌های حساس به سیلاب دارد. سامانتا و همکاران (۲۰۱۸) از مدل نسبت فراوانی برای ارزیابی نقشه حساسیت سیل در حوضه روخانه Subarnarekh در هند استفاده کردند. ۳۲ مکان سیل برای آموزش و ۱۴ مکان وقوع سیل برای اعتبار سنجی با روش AUC استفاده شدند. دقت روش نسبت فراوانی، ۸۴ درصد می‌باشد که میزان قابل قبولی از موفقیت مدل در پیش‌بینی است. آنجایی که سیل خیزی نسبت به زمان و منطقه مورد مطالعه متفاوت است، لذا باید چگونگی این تغییرات در مناطق مختلف به طور جداگانه بررسی شود. در این پژوهش سعی شده است به بررسی میزان انطباق دو مدل نسبت فراوانی (FR) و وزن واقعه (WofE) برای تهیه نقشه پهنه بندی حساسیت سیل‌گیری در استان کرمانشاه پرداخته شود. به طور کلی، مدل FR و WofE عمدتاً در مدل سازی حساسیت لغزش و تهیه نقشه مخاطرات طبیعی استفاده شده و در پهنه‌بندی حساسیت سیل‌گیری نسبتاً جدید است.

داده ها و روش کار

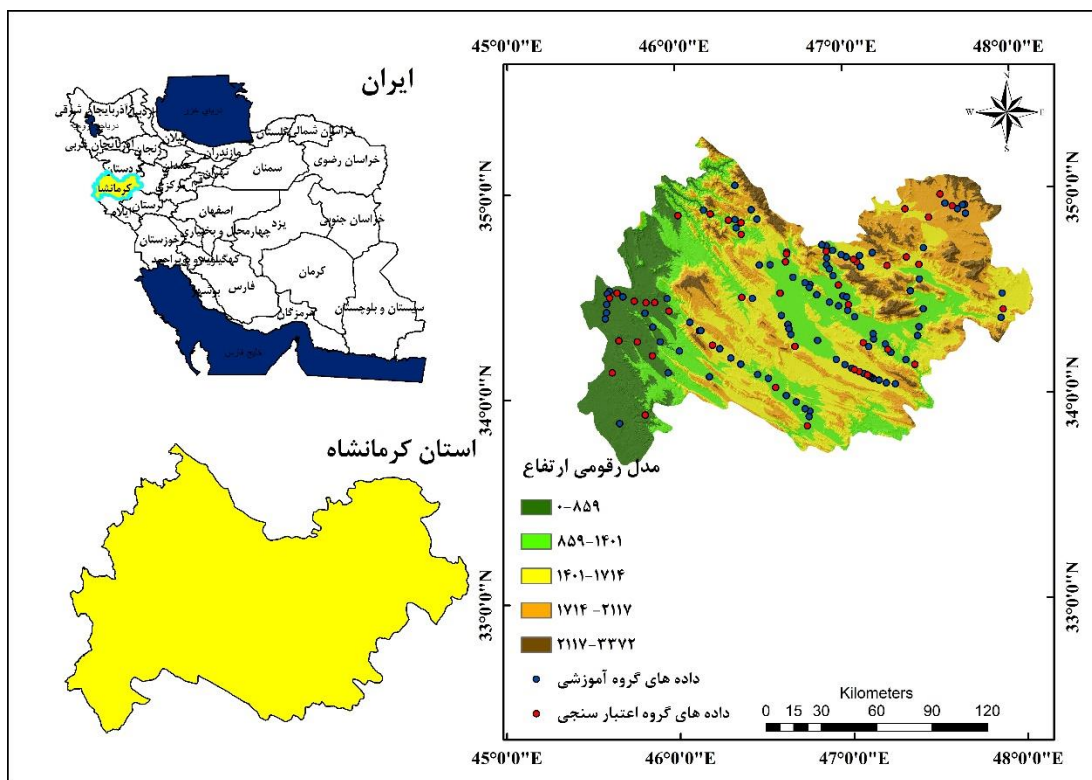
• محدوده مورد مطالعه

استان کرمانشاه با مساحت ۲۴۹۹۸ کیلومتر مربع در غرب کشور، در مختصات جغرافیایی ۲۴°-۴۵' تا ۳۰°-۴۸' طول شرقی و ۳۶°-۳۳' تا ۱۵°-۳۵' عرض شمالی قرار گرفته است. این استان از شمال به استان کردستان، از جنوب به استان‌های لرستان و ایلام، از شرق به استان همدان و از غرب به کشور عراق محدود می‌شود (مجرد و معصوم پور، ۱۳۹۲). زمین‌های استان از نظر ساختمان زمین‌شناسی محدوده دو واحد ساختمانی سندرچ-سیرجان و زاگرس را در برمی‌گیرد. بنابراین برحسب جنس سنگ و نوع دخالت تکتونیک از یکسو و نحوه عملکرد دینامیک بیرونی از سوی دیگر عوارض ریخت‌شناسی در آن متنوع است. استان کرمانشاه از نظر زمین ریخت شناسی از دو قسمت تشکیل شده است: قسمت اول منطقه‌ای کوهستانی و مرتفع با ارتفاعات طاقدیسی و دشت‌های ناودیسی که عمده سطح استان را شامل می‌شود و قسمت دوم که قصر شیرین، نفت شهر و سومار را شامل می‌شود فضایی است که از کوه‌های فرسایش یافته و اراضی به نسبت مسطح واقع در بین کوه‌ها تشکیل شده است. بلندترین نقطه استان کوه شاهو با ارتفاع ۳۳۹۰ متر بوده و پایین‌ترین نقطه با ارتفاع ۱۸۰ متر در منطقه سومار واقع شده است. استان کرمانشاه با توجه به نظریات هواشناسان و ثبت آمار و ارقام سالیانه، دارای دو نوع آب و هوا است: ۱- ناحیه کوهستانی مرتفع دارای آب و هوای معتدل و کوهستانی، ۲- ناحیه پست و کم ارتفاع که به طور عمده منطبق بر نواحی مرزی از ازگله تا قصر شیرین، سرپل ذهاب، گیلان غرب، نفت شهر، سومار دارای آب و هوای گرم و نیمه‌خشک است (ملکی و همکاران، ۱۳۸۷). بر اساس پهنه‌بندی آب و هوایی ایران در سیستم کوپن که توسط گنجی صورت گرفته است در بخش اعظم زاگرس در شمال کردستان، همدان، کرمانشاه و لرستان دارای آب و هوای مدیترانه‌ای است و در نواحی مرتفع زاگرس نیز، آب و هوایی سرد و خشک مشاهده می‌شود. بخش‌های دیگر منطقه از

^۱ frequency ratio

^۲ Logistic Regression

جمله بخش‌های جنوب غربی کرمانشاه و ایلام دارای آب و هوای نیمه خشک است (ابریقام، ۱۳۸۰) و براساس تقسیم‌بندی علیجانی (۱۳۸۱) برای تعیین نواحی آب و هوایی ایران انجام داده است، منطقه‌ی غرب ایران در محدوده‌ی رشته کوه‌های زاگرس واقع شده و به طور کلی دارای آب و هوای کوهستانی و پایکوهی است.



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی استان کرمانشاه - ایران

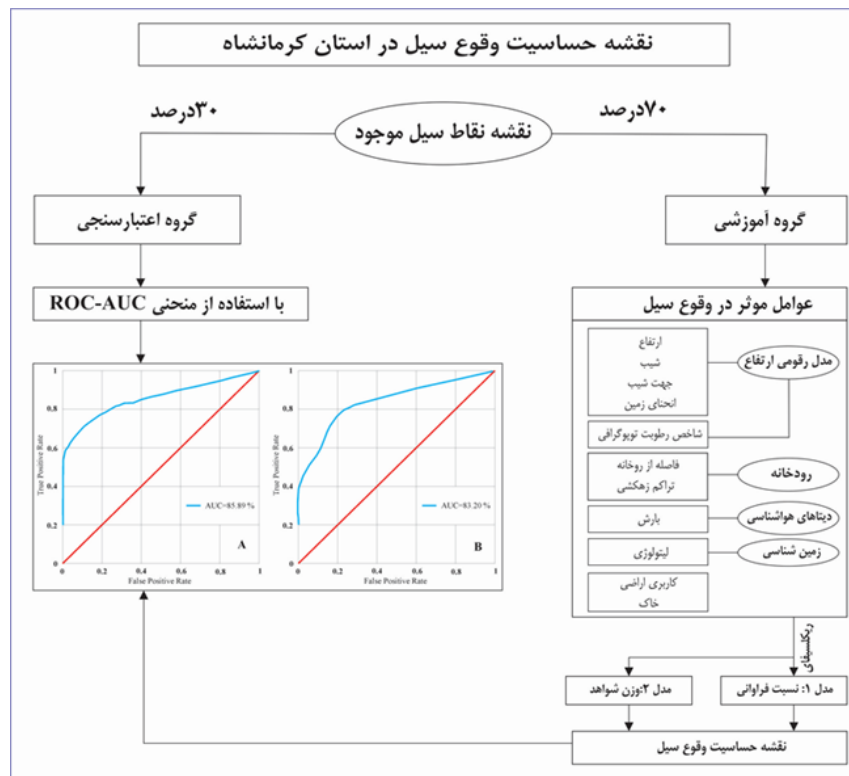
• روش کار

این مطالعه در چهار مرحله جهت تهیه نقشه حساسیت سیل‌گیری صورت گرفت. در ابتدا خصوصیات منطقه مورد مطالعه بررسی گردید. نقشه فهرست سیل‌های گذشته شناسایی شد. در مرحله دوم، جمع‌آوری داده‌ها و فاکتورهای موثر انجام گرفت. در سومین مرحله، دو مدل نسبت فراوانی (FR) و وزن واقعه (WofE) برای تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت سیل‌گیری در استان کرمانشاه بکار گرفته شده و مهمترین عوامل تاثیرگذار در وقوع سیل‌های منطقه شناسایی و وارد مدل سازی شدند. در مرحله چهارم اعتبارسنجی نقشه حساسیت سیل با استفاده از روش ویژگی‌های عامل نسبی ROC^۱ مورد بررسی قرار گرفت. خلاصه مراحل پژوهش به صورت نمودار نشان داده شده است (شکل ۲).

• فهرست وقوع سیل‌های گذشته

^۱ Relative Operating Characteristic

جهت پیش‌بینی وقوع سیلاب در یک منطقه، می‌توان از آنالیزهای مربوط به سیلاب که در گذشته ثبت گردیده استفاده کرد (Manandhar, ۲۰۱۰). بررسی سیلاب رخ داده می‌تواند مهم‌ترین عامل پیش‌بینی سیل در آینده باشد. در این مطالعه در مجموع ۱۴۶ محل وقوع سیل در استان کرمانشاه با استفاده از اطلاعات سازمان آب از سال (۱۳۸۲-۱۳۹۲)، بازدیدهای میدانی مشخص شده است. نقاط سیل بصورت تصادفی به دو بخش تقسیم شد. بخش اول که شامل ۷۰ درصد نقاط می‌شود (نقطه ۱۰۲) جهت انجام تجزیه و تحلیل‌ها و مدل‌سازی و بخش دیگر که شامل ۳۰ درصد نقاط (نقطه ۴۴) که در مدل‌سازی به کار گرفته نشدند و برای اعتبار سنجی مورد استفاده قرار گرفتند.



شکل ۲. نمودار جریان‌ی روند پردازش داده‌ها در تهیه نقشه حساسیت سیل در این مطالعه

انتخاب پارامترهای موثر در تهیه نقشه‌های پتانسیل سیل:

جهت تهیه نقشه حساسیت وقوع سیل در منطقه تعیین عوامل موثر در وقوع سیل ضروری است (Kia et al. ۲۰۱۲). عوامل زیادی از جمله بارندگی، کاربری اراضی، شیب زمین، خاک‌شناسی و غیره بر وقوع سیل در حوضه آبخیز تاثیر گذارند. در پژوهش حاضر با توجه به موقعیت هیدرولوژی و جغرافیایی منطقه و مطالعات پیشین از بین عوامل و فاکتورهای موثر در وقوع سیل فاکتورهای طبقات ارتفاعی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه، درصدشیب، جهت‌شیب، انحنای زمین^۱، شاخص رطوبت توپوگرافی^۲ (TWI)، تراکم‌زهکشی و لایه خاک به منظور تهیه نقشه پتانسیل سیل در استان کرمانشاه انتخاب گردید. نقشه‌های رستری آنها با اندازه پیکسل ۲۸ متر تهیه شدند. از مدل رقومی ارتفاعی منطقه با توان تفکیک مکانی ۲۸*۲۸ متر به منظور استخراج پارامترهای

^۱ Curvature

^۲ Topographic west Index

توپوگرافیک که شامل نقشه ارتفاع، شیب، انحنای زمین، شاخص رطوبت توپوگرافی TWI استفاده شد. ارتفاع‌های مختلف، مشخصه‌های آب‌وهوایی را تغییر می‌دهند و باعث تغییر در پوشش گیاهی و شرایط خاک می‌گردد. با توجه به اینکه ارتفاع نقش اساسی بر روی تهیه نقشه‌ی حساسیت سیلاب دارد، نقشه ارتفاع منطقه در نه کلاس، به روش شکستگی‌های طبیعی^۱ در محیط ArcGIS تقسیم‌بندی گردید. شیب زمین، شیب حوضه آبخیز اثری محسوس و قابل توجه در جریان سطحی آن دارد سطوح مربوط به نفوذ آب زهکشی و حجم جریان آب را کنترل می‌کند. این نقشه با تکیه بر مدل رقومی ارتفاع بر حسب درجه تهیه و سپس به پنج کلاس تقسیم شد. جهت شیب بر روی فرایندهای هیدرولوژی همراه با جهت بارش رو به جلو و همچنین بر روی فرایندهای آب‌وهوایی و رشد گیاهان به ویژه در مناطق خشک تاثیر دارد. انحنای سطح بیان‌کننده تغییرات جهت در طول یک منحنی است، بنابراین همگرایی و واگرایی توپوگرافیک را نشان می‌دهد، به طوری که مقادیر منفی و مثبت انحنای سطح، به ترتیب واگرایی و همگرایی جریان را نشان می‌دهند (Pike, ۲۰۰۰). انحنای زمین نیز براساس مدل رقومی ارتفاع (با قدرت تفکیک ۲۸ متر) در نرم افزار ArcGIS تهیه شد و نقشه مزبور به سه کلاس انحنای مقعر، انحنای محدب و مسطح طبقه‌بندی شد. شاخص رطوبت توپوگرافی مقدار تجمع جریان را در هر نقطه از حوضه آبخیز نشان می‌دهد (عرب عامری و همکاران، ۱۳۹۵) و معمولاً برای کمی کردن کنترل توپوگرافی بر روی فرایندهای هیدرولوژیکی می‌باشد. شاخص رطوبت توپوگرافی نیز یک خصوصیت توپوگرافی ثانویه است که توزیع مکانی از شرایط رطوبت را نشان می‌دهد که بر طبق رابطه ۱ محاسبه می‌گردد (Moore et al., ۱۹۹۱).

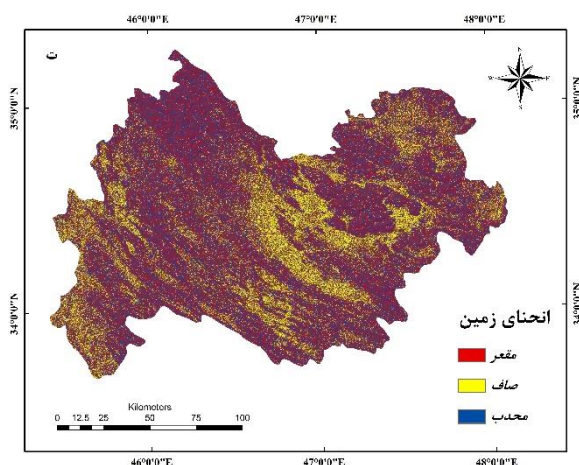
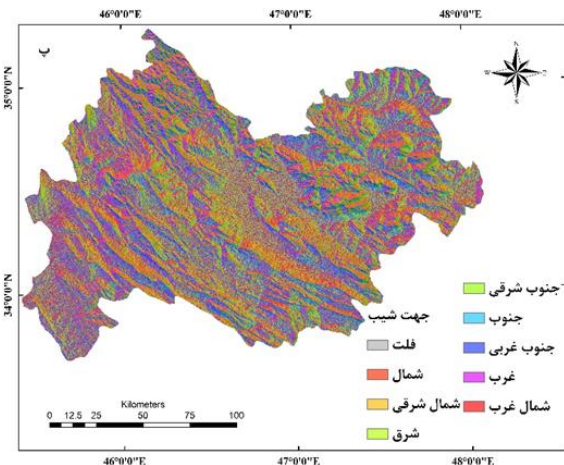
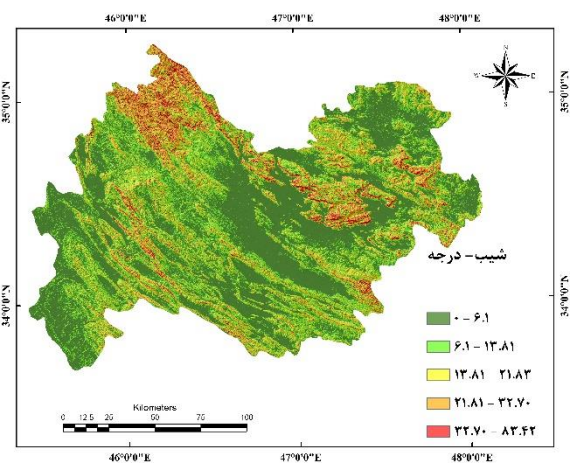
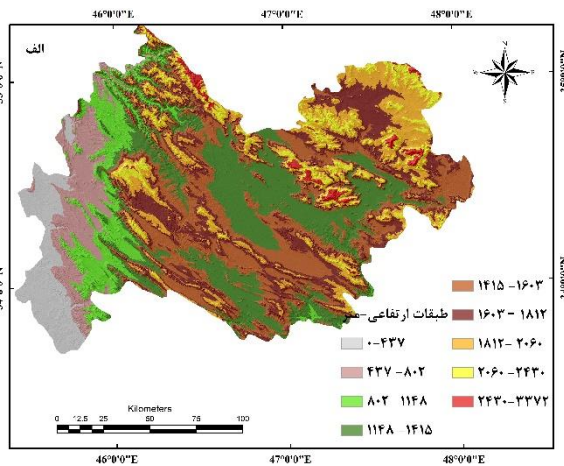
$$TWI: \ln \left(\frac{AS}{\tan \beta} \right)$$

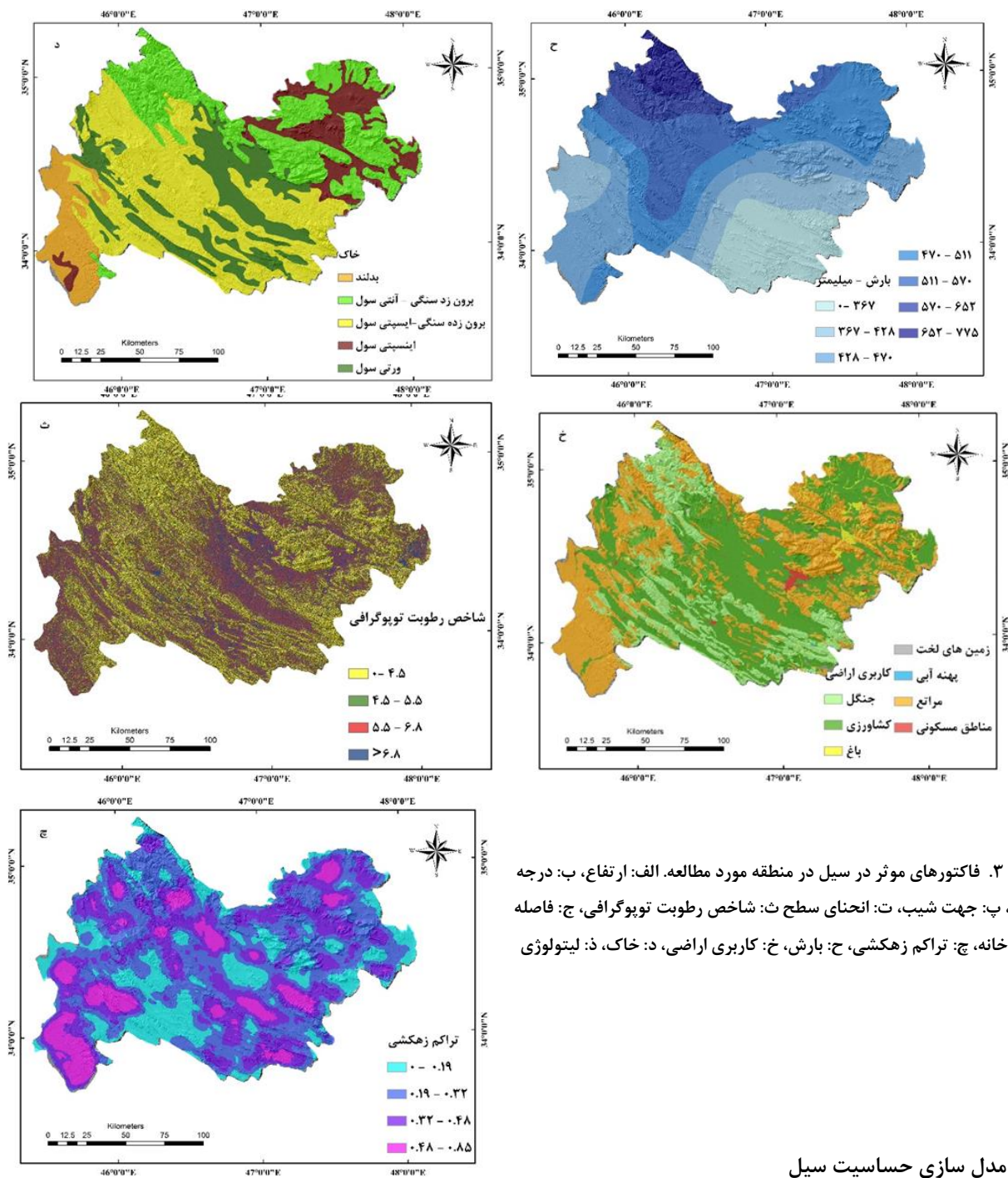
رابطه ۱

در این رابطه، AS مساحت حوضه آبخیز و β شیب زمین (بر حسب درجه) می‌باشند. فاصله از روخانه نیز یک فاکتور مهم است که بر روی حجم و پخش سیلاب تاثیر بسزایی دارد. نقشه فاصله از روخانه با استفاده از ابزار فاصله اقلیدوسی نرم افزار در ۱۰.۲ ArcGIS تهیه شد. و این عامل به پنج طبقه با روش شکستگی‌های طبیعی تقسیم شد. تراکم زهکشی نیز یکی از عوامل موثر اصلی در ایجاد سیل می‌باشد تراکم زهکشی به عنوان نسبت از مجموع طول زهکشی در سلول به اندازه منطقه از سلول مربوطه تعریف می‌شود (Greenbaum, ۱۹۸۹). جریان در آبراهه‌ها سریعتر از جریان سطحی یا روی زمینی است و لذا هر چقدر تراکم زهکشی زیادتر باشد سرعت تجمع رواناب سریعتر شده و منحنی صعود هیدروگراف دارای شیب تندتری می‌گردد. به منظور تبدیل الگوی شبکه زهکشی به صورت مقدار، تراکم زهکشی نیز با استفاده از نرم افزار ۱۰.۲ ArcGIS محاسبه گردید. مرز سیاسی استان مورد مطالعه که در حقیقت یک حوضه آبخیز می‌باشد به چهار کلاس طبقه‌بندی گردید. به منظور تهیه نقشه میانگین بارندگی از داده‌های بارندگی ماهانه ۱۵ ایستگاه باران‌سنج در دوره زمانی ۱۳۷۰-۱۳۹۴ استفاده شد. پس از دقت روش‌های مختلف درون‌یابی در نرم‌افزار ArcGIS نقشه توزیع میانگین بارندگی سالانه استان براساس روش کریجینگ (به دلیل وجود کم‌ترین خطا) تهیه شد. زمین‌شناسی منطقه هم نقش اساسی در تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت سیلاب بازی می‌کند زیرا بسیاری از واحدهای زمین‌شناسی نسبت به فرایندهای هیدرولوژیکی فعال هستند (Miller et al., ۱۹۹۰). این نقشه با فرمت رستری و اندازه پیکسل ۲۸ متر با استفاده از نرم افزار ArcGIS تهیه و با نقشه پراکنش سیل‌ها تلفیق گردید. واحدهای زمین‌شناسی این منطقه که در زون ساختاری زاگرس واقع شده است مربوط به دوران‌های مزوزوئیک (۳۰/۴۸ درصد) و سنوزوئیک (۶۹/۵۲ درصد) می‌باشد. برای تهیه نقشه کاربری

^۱ Natural break

اراضی نیز از لایه رقومی سطح پوششی کشور که توسط سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور ۱۳۸۹ تهیه شده است، استفاده گردید. کاربری اراضی روی جریان رودخانه و وقوع سیلاب به روش‌های مختلفی تاثیر می‌گذارد. مثلاً از بین بردن پوشش گیاهی و یا تغییر در نوع و نحوه کشت و کار گیاهانی که تلفات برگ آبی زیادی ندارند سبب افزایش حجم جریان و فزونی بده سیلاب می‌گردد. هر گونه عملیاتی در حوضه که سبب کاهش ذخیره رطوبت خاک و یا کاهش نفوذپذیری گردد موجب افزایش بده سیلابی می‌گردد. چرای مفرط دام سبب فشردگی خاک و از بین رفتن پوشش گیاهی می‌گردد. کاربری اراضی نتیجه روابط متقابل پارامترهای اجتماعی- فرهنگی و توان بالقوه سرزمین است. تغییر در کاربری و پوشش اراضی نتایج چشم‌گیری در پتانسیل سیل خیزی حوضه‌های آبخیز دارد (محمد اسماعیل، ۱۳۸۹). نقشه کاربری اراضی در هفت کلاس اراضی لخت و فاقد پوشش، جنگل، مرتع، باغ و مسکونی و کشاورزی و پهنه‌های آبی کلاس‌بندی شد. نقشه خاک‌شناسی منطقه که توسط مرکز تحقیقات کشاورزی کشور تهیه شده است، لایه وکتوری نقشه مزبور نیز با فرمت رستری و اندازه پیکسل ۲۸ متر با استفاده از نرم افزار ArcGIS ۱۰.۲ تهیه و نقشه حاصل به پنج کلاس تقسیم شد.





شکل ۳. فاکتورهای موثر در سیل در منطقه مورد مطالعه. الف: ارتفاع، ب: درجه شیب، پ: جهت شیب، ت: انحنای سطح، ث: شاخص رطوبت توپوگرافی، ج: فاصله از روخانه، چ: تراکم زهکشی، ح: بارش، خ: کاربری اراضی، د: خاک، ذ: لیتولوژی

مدل سازی حساسیت سیل

○ مدل نسبت فراوانی^۱ (FR)

مدل نسبت فراوانی FR یک ابزار ساده جهت ارزیابی مکانی برای درک رابطه احتمالی بین متغیرهای مستقل و وابسته، از جمله نقشه‌های طبقه بندی شده، می‌باشد (Bonham-Carter, ۱۹۹۴). تکنیک نسبت فراوانی نشان‌دهنده احتمال حضور یک پدیده با مشخصاتی ویژه است. به عبارت دیگر این روش سطح همبستگی بین موقعیت‌های سیلاب‌ها را مشخص می‌نماید. هرچقدر مقدار این

^۱ Frequency ratio model

نسبت در یک طبقه یا کلاس یک عامل مشخص بزرگتر باشد، بیانگر اهمیت یا نقش بیشتر آن کلاس در عامل مربوطه در وقوع سیل است. به طور کلی، عدد یک برای FR، نشان دهنده همبستگی متوسط نقاط سیل خیز و عوامل موثر بر آن می‌باشد. اگر مقدار FR بزرگتر از ۱ باشد، همبستگی بالایی وجود دارد و ارتباط کمتر برابر است با ارزش FR کمتر از ۱ (Pradhan, ۲۰۱۰) نسبت فراوانی برای یک طبقه یا کلاس مشخص از یک عامل معین از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$FR = \frac{E/F}{M/L} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن E تعداد نقاط سیل در کلاس مورد نظر. F تعداد کل رخدادهای سیل در منطقه مورد مطالعه است. M تعداد پیکسل‌های کلاس مورد نظر و L تعداد کل پیکسل‌های مربوط به فاکتور مربوطه (مثلاً شیب) در منطقه مورد مطالعه است. برای به دست آوردن شاخص حساسیت سیل نتایج فاکتورها در محیط GIS با یکدیگر جمع می‌گردد.

$$FSI = \sum_{R=1}^{R=n} FR \quad \text{رابطه ۳}$$

○ مدل وزن واقعه (WofE)

روش وزن واقعه یا احتمال شرطی ابتدا برای شناسایی و اکتشافات معدنی توسعه داده شده است (Bonham-Carter, ۱۹۹۴). مدل احتمالاتی وزن واقعه WofE یک روش کمی، داده محور بر اساس قاعده بیزین^۲ می‌باشد و برای پیش‌بینی وقوع حوادث استفاده می‌شود. که به طور موفقیت آمیزی برای تهیه نقشه حساسیت به زمین لغزش (Pourghasemi et al., ۲۰۱۲; Mohammady et al., ۲۰۱۶) و تهیه نقشه حساسیت به سیل خیزی استفاده شده است (Tehrany et al., ۲۰۱۴) شرح کاملی از معادله ریاضی از روش مذکور توسط بونهام کارتر^۳ (۱۹۹۴) داده شده است. مدل احتمالاتی وزن واقعه یکی از روش‌های آماری دو متغیره می‌باشد که با استفاده از فرم ورود به لگاریتم خطی، از روش احتمالاتی بیزین برای تعیین اهمیت نسبی عوامل موثر به وسیله ابزارهای آماری می‌پردازد. مدل WofE پایه و اساس تعیین میزان وزن مثبت (+W) و وزن منفی (-W) است. روش محاسبه وزن در محیط GIS برای هر عامل موثر در ایجاد سیل (A) براساس وجود یا عدم وجود سیل (B) در منطقه خاص (Bonham-Carter, ۱۹۹۴) به شرح زیر است:

$$W_i^+ = \ln \frac{P\{B|A\}}{P\{B|\bar{A}\}} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$W_i^- = \ln \frac{P\{\bar{B}|A\}}{P\{\bar{B}|\bar{A}\}} \quad \text{رابطه ۵}$$

که در آن P احتمال و In لگاریتم بر مبنای عدد نپر است. B و B به ترتیب نشان دهنده وقوع و عدم وقوع تاثیر عوامل موثر بر رخداد سیلاب می‌باشند. همچنین A و \bar{A} به ترتیب نشان دهنده وقوع و عدم وقوع سیل است. وزن مثبت (+W) نشان می‌دهد که عامل موثر در نقاط سیل خیز وجود دارد و مقدار آن نشانه‌ای از همبستگی مثبت بین حضور عامل موثر و سیل است. وزن منفی (-W) عدم وجود عامل موثر و میزان آن همبستگی منفی را نشان می‌دهد. پارامتر C نیز اختلاف بین وزن مثبت و منفی بوده و بزرگی ارتباط

^۱ Weight of Evidence

^۲ Bayesian

^۳ Bonham-Carter

مکانی عامل علتی و معلول (سیل) را نشان می‌دهد جهت به دست آوردن وزن نهایی (W)، انحراف معیار به صورت رابطه ارائه می‌شود.. (Bonham-Carter, ۱۹۹۱).

$$S(C) = \sqrt{S^2(W^+) + S^2(W^-)} \quad \text{رابطه ۶}$$

که در آن $S^2(W^+)$ و $S^2(W^-)$ واریانس وزن مثبت و منفی هستند واریانس وزن را می‌توان با استفاده از معادلات زیر محاسبه کرد (Bonham-Carter, ۱۹۹۱).

$$S^2(W^+) = \frac{1}{N\{B \cap A\}} + \frac{1}{B \cap \bar{A}} \quad \text{رابطه ۷}$$

$$S^2(W^-) = \frac{1}{N\{\bar{B} \cap A\}} + \frac{1}{\bar{B} \cap \bar{A}} \quad \text{رابطه ۸}$$

که در آن معادله N تعداد کل پیکسل‌هاست و سرانجام وزن نهایی از نسبت مقدار C به انحراف معیار مطابق رابطه‌ی ۱۰ به دست می‌آید. (W_{Final}) وزن نهایی استاندارد شده C تفاضل وزن‌های مثبت و منفی و S_C انحراف استاندارد است که برابر با جذر واریانس هریک از وزن‌های مثبت و منفی است.

$$W_{Final} = \left(\frac{C}{S_C}\right) \quad \text{رابطه ۹}$$

جدول ۱. وزن‌های بدست آمده توسط روش نسبت فراوانی FR و وزن شواهد WOE بین وقوع سیل‌های گذشته و پارامترهای موثر بر وقوع

سیل

Class	Flood Point	%	PIX(۲۰*۲۰)	%	FR	W+	W-	C	S ² W+	S ² W-	S(C)	Wfinal
زمین شناسی												
EMas-sb	#۳	۳.۲۳	۲۷۲۴۱۶۸	۱۰.۱۲	۰.۳۲	-۱.۱۴	۰.۰۷	-۱.۲۲	۰.۳۳	۰.۰۱	۰.۵۹	-۲.۰۷
EkN	.	۰.۰۰	۵۳۶۴۷۶.	۱.۹۹	۰.۰۰	None	۰.۰۲	None	None	۰.۰۱	None	None
JKI	.	۰.۰۰	۲۱۲۶۴۴.	۰.۷۹	۰.۰۰	None	۰.۰۱	None	None	۰.۰۱	None	None
JUavt	.	۰.۰۰	۳۵۴۵۹۲.	۱.۳۲	۰.۰۰	None	۰.۰۱	NONE	None	۰.۰۱	NONE	None
Jph	۱	۱.۰۸	۱۵۷۸۹۶	۰.۵۹	۱.۸۳	۰.۶۱	۰.۰۰	۰.۶۱	۱.۰۰	۰.۰۱	۱.۰۱	۰.۶۱
K\bl	.	۰.۰۰	۲۸۳۴۴۹.	۱.۰۵	۰.۰۰	None	۰.۰۱	None	None	۰.۰۱	None	None
KEpd-gu	۶	۶.۴۵	۲۵۳۱۲۶۰.	۹.۴۱	۰.۶۹	-۰.۳۸	۰.۰۳	-۰.۴۱	۰.۱۷	۰.۰۱	۰.۴۲	-۰.۹۷
KPeam	۱	۱.۰۸	۲۹۵۶۰۷.	۱.۱۰	۰.۹۸	-۰.۰۲	۰.۰۰	-۰.۰۲	۱.۰۰	۰.۰۱	۱.۰۱	-۰.۰۲
Kbgp	۲	۲.۱۵	۲۳۱۰۳۳۲.	۸.۵۹	۰.۲۵	-۱.۳۸	۰.۰۷	-۱.۴۵	۰.۵۰	۰.۰۱	۰.۷۱	-۲.۰۳
Klsol	۱	۱.۰۸	۵۷۵۸۱۰.	۲.۱۴	۰.۵۰	-۰.۶۹	۰.۰۱	-۰.۷۰	۱.۰۰	۰.۰۱	۱.۰۱	-۰.۷۰
Kussh	.	۰.۰۰	۲۸۹۲۷۵.	۱.۰۸	۰.۰۰	None	۰.۰۱	None	None	۰.۰۱	NONE	None
Mgs	.	۰.۰۰	۹۴۳۲۴۲.	۳.۵۱	۰.۰۰	None	۰.۰۴	None	None	۰.۰۱	NONE	None
MuPlaj	۹	۹.۶۸	۱۱۷۷۷۵۰.	۴.۳۸	۲.۲۱	۰.۷۹	-۰.۰۶	۰.۸۵	۰.۱۱	۰.۰۱	۰.۳۵	۲.۴۲
OMas	۳	۳.۲۳	۸۹۶۷۳۳	۳.۳۳	۰.۹۷	-۰.۰۳	۰.۰۰	-۰.۰۳	۰.۳۳	۰.۰۱	۰.۵۹	-۰.۰۶
OMql	.	۰.۰۰	۱۷۲۸۹۵.	۰.۶۴	۰.۰۰	None	۰.۰۱	None	None	۰.۰۱	None	None
OMrb	.	۰.۰۰	۱۶۶۹۰۷.	۰.۶۲	۰.۰۰	None	۰.۰۱	None	None	۰.۰۱	None	None
PeEf	.	۰.۰۰	۱۱۳۰۵۹.	۰.۴۲	۰.۰۰	None	۰.۰۰	None	None	۰.۰۱	None	None

PeEtz	۰	۰.۰۰	۴۹۷۴۶۳.	۱.۸۵	۰.۰۰	None	۰.۰۲	None	None	۰.۰۱	None	None
Qft ^۱	۱	۱.۰۸	۵۹۸۵۶۴.	۲.۲۲	۰.۴۸	-۰.۷۳	۰.۰۱	-۰.۷۴	۱.۰۰	۰.۰۱	۱.۰۱	-۰.۷۳
Qft ^۲	۵۲	۵۵.۹	۷۶۲۱۱۷۹	۲۸.۳	۱.۹۷	۰.۶۸	-	۱.۱۷	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۲۱	۵.۵۸
TRJlr	۰	۰.۰۰	۴۱۸۱۰۳.	۱.۵۵	۰.۰۰	None	۰.۰۲	None	None	۰.۰۱	None	None
TRJvm	۳	۳.۲۳	۳۷۷۴۲۸.	۱.۴۰	۱.۷	۰.۸۳	-۰.۰۲	۰.۸۵	۰.۳۳	۰.۰۱	۰.۵۹	۱.۴۵
TRKubl	۵	۵.۳۸	۱۷۲۱۴۹۸.	۶.۴۰	۰.۸۴	-۰.۱۷	۰.۰۱	-۰.۱۸	۰.۲۰	۰.۰۱	۰.۴۶	-۰.۴۰
TRKurl	۶	۶.۴۵	۱۸۱۷۷۰۲.	۶.۷۶	۰.۹۶	-۰.۰۵	۰.۰۰	-۰.۰۵	۰.۱۷	۰.۰۱	۰.۴۲	-۰.۱۲
pd	۰	۰.۰۰	۱۱۴۷۰۹.	۰.۴۳	۰.۰۰	None	۰.۰۱	None	None	۰.۰۱	None	None
کاربری اراضی												
جنگل	۸/۰	۷/۶۲	۵۱۱۹۲۰۰	۱۶/۷۸	۰/۴۵	-۰/۷۹	۰/۱۰	-۰/۸۹	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۳۷	-۲/۴۳
کشاورزی	۸۰/۰	۷۶/۱۹	۱۲۹۰۰۳۱۲	۴۲/۲۹	۱/۸۰	۰/۵۹	-۰/۸۹	۱/۴۷	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۲۳	۶/۴۳
باغ	۱/۰	۰/۹۵	۵۰۹۵۱۵	۱/۶۷	۰/۵۷	-۰/۵۶	۰/۰۱	-۰/۵۷	۱/۰۰	۰/۰۱	۱/۰۰	-۰/۵۷
زمین های لخت	۱/۰	۰/۹۵	۱۰۷۸۰۶	۰/۳۵	۲/۶۹	۰/۹۹	-۰/۰۱	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۱	۱/۰۰	۰/۹۹
پهنه‌های آبی	۰/۰	۰/۰۰	۲۳۷۲۷	۰/۰۸	۰/۰۰	None	۰/۰۰	None	None	۰/۰۱	None	None
مراتع	۱۰/۰	۹/۵۲	۱۱۶۱۷۸۲۴	۳۸/۰۹	۰/۲۵	-۱/۳۹	۰/۳۸	-۱/۷۷	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۳۳	-۵/۳۱
آمسکونی	۵/۰	۴/۷۶	۲۲۶۵۰۶	۰/۷۴	۶/۴۱	۱/۸۶	-۰/۰۴	۱/۹۰	۰/۲۰	۰/۰۱	۰/۴۶	۴/۱۵
فاصله از رودخانه												
<۵۰۰	۹۰/۰	۸۵/۷۱	۹۱۹۶۴۴۱	۳۰/۰۳	۲/۸۵	۲/۸۵	-۱/۵۹	۴/۴۴	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۲۸	۱۵/۹۳
۵۰۰-۱۰۰۰	۹/۰	۸/۵۷	۷۱۳۰۵۳۲	۲۳/۲۸	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۱۱	۰/۰۱	۰/۳۵	۰/۵۵
۱۰۰۰-۲۰۰۰	۵/۰	۴/۷۶	۸۵۲۹۲۱۵	۲۷/۸۵	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۲۸	-۰/۱۱	۰/۲۰	۰/۰۱	۰/۴۶	-۰/۲۳
۲۰۰۰-۳۰۰۰	۱/۰	۰/۹۵	۳۳۹۷۸۶۰	۱۱/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۱۱	-۰/۰۲	۱/۰۰	۰/۰۱	۱/۰۰	-۰/۰۲
>۳۰۰۰	۰/۰	۰/۰۰	۲۳۷۲۹۹۱	۷/۷۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۸	-۰/۰۸	None	۰/۰۱	None	None
خاک شناسی												
بدلند	۱۲/۰	۱۱/۴۳	۲۴۵۶۷۱۵	۸/۰۱	۱/۴۳	۰/۳۶	-۰/۰۴	۰/۳۹	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۳۱	۱/۲۸
انتهی سول	۲۰/۰	۱۹/۰۵	۷۸۳۲۲۸۲	۲۵/۵۴	۰/۷۵	-۰/۲۹	۰/۰۸	-۰/۳۸	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۲۵	-۱/۵۲
برونزد سنگی-اینسپتی سول	۱۶/۰	۱۵/۲۴	۱۱۴۱۲۹۵۳	۳۷/۲۲	۰/۴۱	-۰/۸۹	۰/۳۰	-۱/۱۹	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۲۷	-۴/۳۹
کاینسپتی سول	۱۹/۰	۱۸/۱۰	۳۳۱۶۵۸۲	۱۰/۸۱	۱/۶۷	۰/۵۱	-۰/۰۹	۰/۶۰	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۲۵	۲/۳۷
ورنی سول	۳۸/۰	۳۶/۱۹	۵۶۴۸۹۷۴	۱۸/۴۲	۱/۹۶	۰/۶۸	-۰/۲۵	۰/۹۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۲۰	۴/۵۴
زاویه شیب												
۰-۶.۱	۴۷/۰	۴۴/۷۶	۵۵۵۵۵۵۰	۱۷/۸۸	۲/۵۰	۰/۹۲	-۰/۴۰	۱/۳۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۲۰	۶/۷۰
۶.۱-۱۳.۸	۴۲/۰	۴۰/۰۰	۸۰۹۰۲۶۹	۲۶/۰۳	۱/۵۴	۰/۷۴	-۰/۲۱	۰/۹۵	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۲۰	۴/۷۶
۱۳.۸-۲۱.۸	۱۲/۰	۱۱/۴۳	۷۲۱۶۹۰۸	۲۳/۲۲	۰/۴۹	-۰/۶۱	۰/۱۴	-۰/۷۵	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۳۱	-۲/۴۵
۲۱.۸-۳۲.۷	۴/۰	۳/۸۱	۴۹۵۸۶۰۳	۱۵/۹۶	۰/۲۴	-۱/۴۳	۰/۱۳	-۱/۵۷	۰/۲۵	۰/۰۱	۰/۵۱	-۳/۰۷
۳۲.۷-۸۳.۳	۰/۰	۰/۰۰	۵۲۵۷۰۳۴	۱۶/۹۲	۰/۰۰	None	۰/۱۹	None	None	۰/۰۱	None	None
جهت شیب												
فلت	۲/۰	۱/۹۰	۲۵۱۵۴۱	۰/۸۱	۲/۳۵	۰/۸۶	-۰/۰۱	۰/۸۷	۰/۵۰	۰/۰۱	۰/۷۱	۱/۲۱
شمال	۹/۰	۸/۵۷	۲۳۸۹۷۱۰	۷/۶۹	۱/۱۱	۰/۱۱	-۰/۰۱	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۰۱	۰/۳۵	۰/۳۴

شمال شرق	۸/۰	۷/۶۲	۴۳۴۵۲۹۶	۱۳/۹۸	۰/۵۴	-۰/۶۱	۰/۰۷	-۰/۶۸	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۳۷	-۱/۸۴
شرق	۱۴/۰	۱۳/۳۳	۳۱۲۷۳۲۹	۱۰/۰۶	۱/۳۳	۰/۲۸	-۰/۰۴	۰/۳۲	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۲۹	۱/۱۱
جنوب شرق	۱۰/۰	۹/۵۲	۲۹۰۰۷۰۷	۹/۳۳	۱/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۳۳	۰/۰۷
جنوب	۱۵/۰	۱۴/۲۹	۴۲۶۴۴۴۷	۱۳/۷۲	۱/۰۴	۰/۰۴	-۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۲۸	۰/۱۷
جنوب غرب	۲۰/۰	۱۹/۰۵	۵۱۳۰۱۹۰	۱۶/۵۱	۱/۱۵	۰/۱۴	-۰/۰۳	۰/۱۷	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۲۵	۰/۷۰
غرب	۱۲/۰	۱۱/۴۳	۳۸۹۳۸۰۸	۱۲/۵۳	۰/۹۱	-۰/۰۹	۰/۰۱	-۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۳۱	-۰/۳۴
شمال غرب	۱۵/۰	۱۴/۲۹	۴۷۷۵۳۳۶	۱۵/۳۷	۰/۹۳	-۰/۰۷	۰/۰۱	-۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۲۸	-۰/۳۱

ادامه جدول ۱. وزن‌های بدست آمده توسط روش نسبت فراوانی FR و وزن شواهد WOE بین وقوع سیل‌های گذشته و پارامترهای موثر بر وقوع سیل

Class	Flood Point	%	PIX(۲۰*۲۰)	%	FR	W+	W-	C	S ⁺ W ⁺	S ⁻ W ⁻	S(C)	Wfinal
نقشه انحنا												
Concave	۳۳/۰	۳۱/۴	۱۲۷۸۷۷۴۳	۴۱/۱	۰/۷۶	-	۰/۱۵	-	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۲۱	-۲/۰۱
Flat	۴۶/۰	۴۳/۸	۴۹۲۴۳۳۷	۱۵/۸	۲/۷۶	۱/۰۲	-	۱/۴۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۲۰	۷/۲۲
Convex	۲۶/۰	۲۴/۷	۱۳۳۶۶۲۸۲	۴۳/۰	۰/۵۸	-	۰/۲۸	-	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۲۳	-۳/۶۷
شاخص رطوبت												
توپوگرافی												
< ۰.۵	۵/۰	۴/۷۶	۷۷۵۳۳۸۵	۲۴/۹	۰/۱۹	-۱/۶۶	۰/۲۴	-	۰/۲۰	۰/۰۱	۰/۴۶	-۴/۱۳
۰.۵-۴.۵	۱۱/۰	۱۰/۴	۷۶۵۲۷۹۰	۲۴/۶	۰/۴۳	-	۰/۱۷	-	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۳۲	-۳/۲۲
۰.۵-۶.۸	۱۷/۰	۱۶/۱	۷۸۲۹۹۶۱	۲۵/۱	۰/۶۴	-	۰/۱۱	-۰/۵۶	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۲۶	-۲/۱۰
> ۶.۸	۷۲/۰	۶۸/۵	۷۸۴۲۲۲۸	۲۵/۲	۲/۷۲	۱/۰۰	-	۱/۸۷	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۲۱	۸/۸۸
تراکم زهکشی												
۰-۰.۱۹	۱۱/۰	۱۰/۴	۶۲۹۲۴۲۶	۲۰/۵	۰/۵۱	-۰/۶۷	۰/۱۲	-	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۳۲	-۲/۴۹
۰.۱۹-۰.۳۲	۳۵/۰	۳۳/۳	۱۲۱۹۸۳۶۵	۳۹/۸	۰/۸۴	-	۰/۱۰	-	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۲۱	-۱/۳۵
۰.۳۲-۰.۴۸	۴۴/۰	۴۱/۹	۸۹۱۸۴۶۹	۲۹/۱	۱/۴۴	۰/۳۶	-	۰/۵۶	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۲۰	۲/۸۵
۰.۴۸-۰.۸۵	۱۵/۰	۱۴/۲	۳۲۱۹۵۵۵	۱۰/۵	۱/۳۶	۰/۳۱	-	۰/۳۵	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۲۸	۱/۲۵
ارتفاع												

۰-۴۳۷	۱۸/۰	۱۶/۹ ۸	۲۰۱۳۹۰۱	۶/۴۸	۲/۷۸	۰/۹۶	- ۰/۱۲	۱/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۲۶	۴/۱۸
۴۳۷-۸۰۲	۱۹/۰	۱۷/۹ ۲	۲۴۷۲۲۴۳	۷/۹۵	۲/۳۹	۰/۸۱	- ۰/۱۱	۰/۹۳	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۲۵	۳/۶۶
۸۰۲-۱۱۴۸	۱۷/۰	۱۶/۰ ۴	۲۳۸۴۴۴۴	۷/۶۷	۲/۲۲	۰/۷۴	- ۰/۰۹	۰/۸۳	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۲۶	۳/۱۴
۱۱۴۸-۱۴۱۵	۲۵/۰	۲۳/۵ ۸	۶۶۱۸۱۲۱	۲۱/۲ ۹	۱/۱۷	۰/۱۰	- ۰/۰۳	۰/۱۳	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۲۳	۰/۵۸
۱۴۱۵-۱۶۰۳	۲۰/۰	۱۸/۸ ۷	۶۱۳۷۰۶۸	۱۹/۷ ۵	۱/۰۱	- ۰/۰۵	۰/۰۱	-۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۲۵	-۰/۲۳
۱۶۰۳-۱۸۱۲	۴/۰	۳/۷۷	۵۲۴۰۱۳۹	۱۶/۸ ۶	۰/۲۴	- ۱/۵۰	۰/۱۵	-۱/۶۴	۰/۲۵	۰/۰۱	۰/۵۱	-۳/۲۲
۱۸۱۲-۲۰۶۰	۳/۰	۲/۸۳	۳۷۹۲۱۶۱	۱۲/۲ .	۰/۲۵	-۱/۴۶	۰/۱۰	-۱/۵۶	۰/۳۳	۰/۰۱	۰/۵۹	-۲/۶۷
۲۰۶۰-۲۴۳۰	۰/۰	۰/۰۰	۱۹۰۱۴۵۳	۶/۱۲	۰/۰۰	None	۰/۰۶	None	None	۰/۰۱	None	None
۲۴۳۰-۳۳۷۲	۰/۰	۰/۰۰	۵۱۸۸۳۴	۱/۶۷	۰/۰۰	None	۰/۰۲	None	None	۰/۰۱	None	None
بارش												
۰-۳۶۷	۱۶/۰	۱۵/۲ ۴	۴۳۷۵۱۹۸	۱۴/۲ ۸	۱/۰۷	۰/۰۶	- ۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۲۷	۰/۲۸
۳۶۷-۴۲۸	۱۷/۰	۱۶/۱ ۹	۴۲۹۸۸۳۸	۱۴/۰ ۴	۱/۱۵	۰/۱۴	- ۰/۰۳	۰/۱۷	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۲۶	۰/۶۴
۴۲۸-۴۷۰	۱۸/۰	۱۷/۱ ۴	۷۱۶۶۵۴۳	۲۳/۴ .	۰/۷۳	- ۰/۳۱	۰/۰۸	- ۰/۳۹	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۲۶	-۱/۵۰
۴۷۰-۵۱۱	۱۹/۰	۱۸/۱ .	۷۲۵۳۲۲۰	۲۳/۶ ۸	۰/۷۶	- ۰/۲۷	۰/۰۷	- ۰/۳۴	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۲۵	-۱/۳۴
۵۱۱-۵۷۰	۱۶/۰	۱۵/۲ ۴	۴۶۸۵۶۹۰	۱۵/۳ .	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۲۷	-۰/۰۲
۵۷۰-۶۵۲	۹/۰	۸/۵۷	۱۶۵۱۳۸۱	۵/۳۹	۱/۵۹	۰/۴۶	- ۰/۰۳	۰/۵۰	۰/۱۱	۰/۰۱	۰/۳۵	۱/۴۳
۶۵۲-۷۷۵	۱۰/۰	۹/۵۲	۱۱۹۷۹۴۵	۳/۹۱	۲/۴۴	۰/۸۹	- ۰/۰۶	۰/۹۵	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۳۳	۲/۸۶

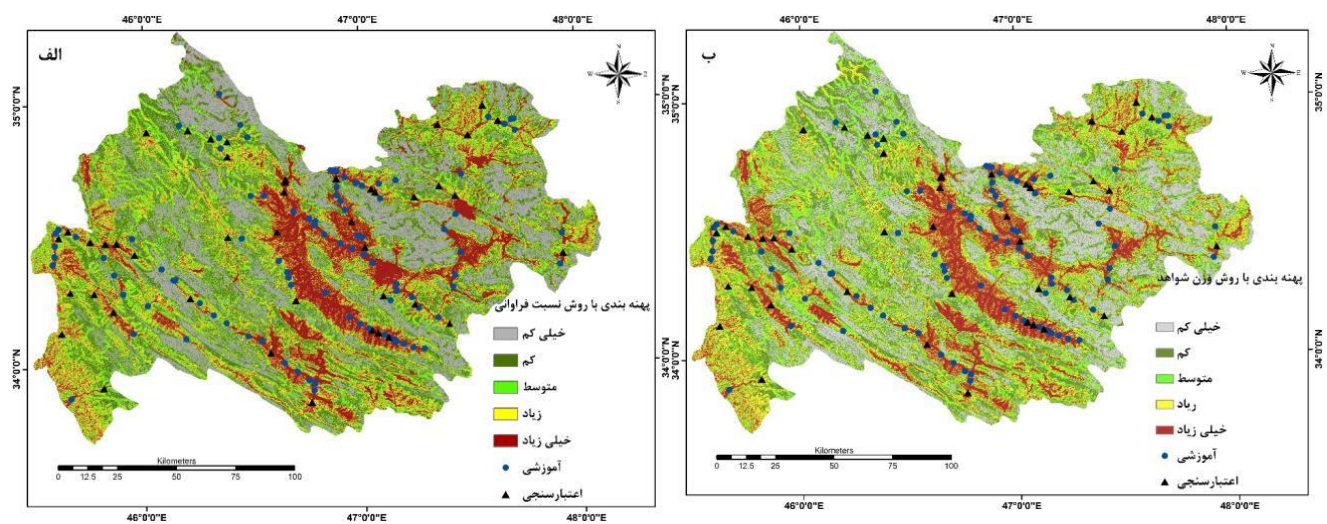
شرح و تفسیر نتایج

• مدل نسبت فراوانی FR و مدل WofE

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌های مقایسه‌ای بین موقعیت وقوع سیل‌های گذشته و پارامترهای محیطی موثر بر وقوع سیل توسط روش نسبت فراوانی و وزن شواهد انجام گرفت و براساس آن، وزن تاثیر هر کلاس از پارامترها به دست آمد. وزن تاثیر هر یک از کلاس‌های پارامترهای انتخاب شده برای مدل نسبت فراوانی در جدول ۱ نشان داده شده است.

برای فاکتور ارتفاع، تجزیه و تحلیل مدل نسبت فراوانی FR و وزن واقعه wofE نشان داد که بیشترین وزن مربوط به کلاس اول (محدوده ارتفاعی ۰-۴۳۷) (FR: ۲/۷۸)، (WofE: ۴/۱۸) می‌باشد. نتایج بیان می‌کند با افزایش ارتفاع حساسیت طبقات نسبت به سیل‌گیری کاهش می‌یابد برای متغیر شیب در هر دو مدل کلاس‌های ۰ تا ۱/۶ درجه (FR: ۲/۵۰)، (WofE: ۶/۷۰) سپس کلاس ۱/۶ تا ۸/۱۳ درجه بیشترین تاثیر بر وقوع سیل را نشان می‌دهند. که از مهم‌ترین دلایل آن می‌توان به امکان تمرکز بیشتر جریان آب در شیب‌های کم اشاره کرد. در مورد جهت شیب، فراوان‌ترین رویداد سیل در جهت مسطح (FR: ۲/۳۵)، (WofE: ۱/۲۱) است. با توجه به تجزیه و تحلیل روش نسبت فراوانی (FR) برای رابطه بین وقوع سیل و انحنای زمین در هر دو مدل، برای مناطق مسطح بیشتر بوده و وزن این لایه در وقوع سیل در مدل نسبت فراوانی (۲/۷۶) و در مدل وزن واقعه (۷/۲۲) می‌باشد. که این نتایج بیان‌کننده تاثیر سطوح هموار در وقوع سیل‌گیری است. مناطق مسطح، شرایط بهتری برای حفظ و ایجاد رواناب دارند. با توجه به واقعیت امر در طبیعت، سیل در مناطقی رخ می‌دهد که دارای شیب بسیار کم بوده و از نظر انحنای زمین نیز مسطح باشند، و پتاسیل بالاتری برای وقوع سیل و زیر آب رفتن نسبت به دیگر شیب‌ها دارند. لذا بارش سنگین در یک دوره طولانی آن را نسبت به اشکال دیگر بیشتر در معرض وقوع سیل قرار می‌دهد. برای فاکتور شاخص رطوبت توپوگرافی در مدل نسبت فراوانی و مدل وزن واقعه طبقه آخر دارای بیشترین وزن می‌باشد. هرچه مقدار این فاکتور بیشتر گردد، تاثیر آن در وقوع سیل بیشتر می‌گردد. تراکم زهکشی بستگی به ماهیت سنگ بستر، شیب و الگوهای شکستگی دارد. نتایج تراکم زهکشی نشان می‌دهد مناطقی که تراکم زهکشی بالاتری دارند نسبت به وقوع سیل‌گیری حساس‌ترند، برای مدل نسبت فراوانی کلاس سوم دارای بیشترین وزن (FR: ۱/۴۴) و در مدل وزن واقعه طبقه < ۰/۴۸ با بیشترین تراکم زهکشی بیشترین وزن (۲/۸۵) را به خود اختصاص داده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که افزایش تراکم زهکشی، شرایط ایجاد و فراوانی سیل را افزایش می‌دهد. در مطالعات مختلف (Nagarajan et al., ۲۰۰۰; Cevik and Topal, ۲۰۰۳) تاکید کرده‌اند زمانی که تراکم زهکشی بیشتر است، نفوذ کمتر و حرکت جریان سطحی سریعتر می‌باشد. در پارامتر فاصله از رودخانه کلاس ۰-۵۰ متر بیشترین تعداد سیل‌گیری و بیشترین وزن ۱۵/۹۳ برای مدل وزن واقعه و ۲/۸۵ برای نسبت فراوانی را کسب کرده است. حساس‌ترین مناطق هنگام وقوع سیل‌گیری، مناطق نزدیک به آبراهه‌ها است (Fernandez and Lutz, ۲۰۱۰). بین بارندگی و وقوع سیل گیری رابطه مستقیمی وجود دارد که معمولاً با افزایش بارندگی، تعداد سیل‌گیری و وزن طبقات افزایش پیدا کرده است. از انطباق سیل‌های اتفاق افتاده در گذشته با نقشه زمین‌شناسی در مدل وزن واقعه بیشترین امتیاز به رسوبات آبرفتی جدید Q_{t2} (۵/۵۸) و در مدل نسبت فراوانی سازند MuPlaj (۲/۲۱) بیشترین حساسیت را نسبت به سیلاب از خود نشان داده است در مورد کاربری اراضی، دیده می‌شود که در مدل نسبت فراوانی مناطق مسکونی وزن بیشتری دارند که نشان می‌دهد احتمال وقوع سیل در این نوع از زمین بسیار بالا است. براساس نتایج در مناطقی که انسان سبب تغییر کاربری و غیر قابل نفوذ کردن زمین‌ها با ساخت مناطق مسکونی و جاده شده است حساسیت به وقوع سیل‌گیری افزایش پیدا کرده است. در مدل وزن واقعه زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی بیشترین وزن را کسب کردند. جنگل و مرتع و باغ دارای وزن‌های منفی می‌باشند که نشان از تاثیر منفی

در جاری شدن سیل دارند. مناطق با پوشش گیاهی می‌تواند با کاهش سرعت جریان، احتمال وقوع سیل را کاهش می‌دهد. در لایه خاک‌شناسی نیز بیشترین وزن (۱/۹۶) مربوط به خاکی با تحول کم و سنگریزه دار است که معمولاً نفوذپذیری بسیار پایینی دارد. در نهایت وزن‌های به دست آمده برای هر کلاس در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در لایه‌های مربوطه اعمال گردیده و با استفاده از تابع روی هم گذاری^۱ نقشه حساسیت به وقوع سیل با استفاده از مدل نسبت فراوانی و مدل وزن واقعه برای استان کرمانشاه به دست آمد. که توسط روش طبقه‌بندی شکست طبیعی^۲ در پنج کلاس خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی شدند. با توجه به نتایج این تحقیق، تجزیه و تحلیل آماری دو متغیره یک ابزار مفید برای ارزیابی نقشه حساسیت سیل و کاهش خطرات آن می‌باشد. مزیت اصلی روش نسبت فراوانی FR، با توجه به تاثیر هر یک از کلاس‌های عوامل موثر می‌باشد (Tehrany et al., ۲۰۱۴). مدل دارای بالاترین دقت پیش‌بینی در مقایسه با سایر مدل‌ها می‌باشد (Ozdemir and Altural, ۲۰۱۳).



شکل ۴. پهنه‌بندی خطر حساسیت سیل استان کرمانشاه: الف: مدل نسبت فراوانی FR، ب: مدل وزن شواهد WofE

• نقشه حساسیت سیل

هدف اصلی در تجزیه و تحلیل حساسیت سیل، پیدا کردن مناطقی است که در آینده ممکن است تحت تاثیر سیل قرار گیرد. بنابراین، بدون توجه به اینکه از چه روشی برای تهیه نقشه استفاده شده است، اعتبار نقشه حساسیت سیل تهیه شده با توجه به حوادث سیل در آینده ناشناخته بسیار مهم است. جهت اعتبار سنجی نقشه‌های نهایی حساسیت وقوع سیل در استان کرمانشاه از داده‌های گروه اعتبار سنجی که در مدل به کار گرفته نشده‌اند با نقشه‌ی حساسیت وقوع سیل در استان روی هم‌گذاری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. سپس برای اعتبار سنجی دقت نقشه نهایی، منحنی ROC^۳ در نرم افزار SPSS به کار گرفته شد. منحنی تشخیص عملکرد نسبی برای اولین بار در زمینه‌ی مدل‌سازی تغییر کاربری اراضی مورد استفاده قرار گرفت (Pontius and Schneider, ۲۰۰۱). در حقیقت منحنی ROC یک نمایش گرافیکی از موازنه بین نرخ خطای منفی و مثبت برای هر مقدار احتمالی از خطای برش‌هاست.

^۱ Raster Calculator

^۲ Natural Break

^۳ Receiver operating characteristic

مقادیر مربوط به درصد واقعیت صحیح^۱ و درصد واقعیت کذب^۲ نمودار بر طبق روابط زیر محاسبه می‌گردد (Hu and C. P, ۲۰۰۷). نرخ مثبت واقعی به معنی نسبتی از موارد مثبت است که آزمایش آن‌ها را به درستی به عنوان مثبت علامت‌گذاری می‌کند و نرخ مثبت کاذب به معنی نسبتی از موارد مثبت است که آزمایش آن‌ها را به اشتباه به عنوان منفی علامت‌گذاری می‌کند (Swets, ۱۹۸۸).

$$X = 1 - \text{specify} = 1 - \left[\frac{TN}{TN+FP} \right] \quad ۱۰$$

$$Y = \text{sensitivity} = \left[\frac{TN}{TP+FN} \right] \quad ۱۱$$

جدول ۲. چگونگی محاسبه نرخ ROC ماخذ: عرب عامری و همکاران (۱۳۹۵)

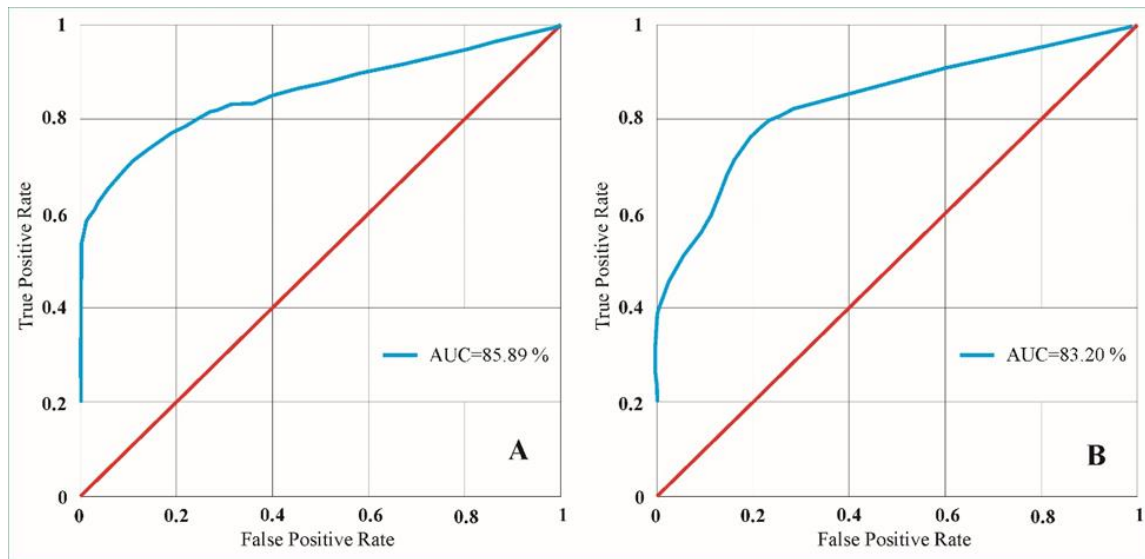
مناطق عاری از سیل	سیل‌گیری‌ها	مناطق عاری از سیل
مثبت کاذب (EP)	مثبت حقیقی (TP)	رخداد سیل‌گیری براساس تابع محاسبه
مثبت حقیقی (TN)	منفی کاذب (FN)	مناطق امن براساس تابع محاسبه

سطح زیر منحنی ROC که AUC^۳ نامیده می‌شود، بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخداد (وقوع سیل) و عدم وقوع رخداد (عدم وقوع سیل) آن است. ایده‌آل‌ترین مدل، بیشترین سطح زیر منحنی را دارد و مقادیر AUC از ۰.۵ تا ۱ متغییر است چنانچه مدلی نتواند رخداد وقوع سیل را بهتر از دیدگاه احتمالی تخمین بزند مقدار AUC آن ۰.۵ است و زمانی که منحنی ROC، سطح زیر منحنی برابر با یک داشته باشد بیانگر بهترین دقت از نقشه پهنه‌بندی تهیه شده است. میزان دقت منحنی را بصورت زیر دسته‌بندی شده است: ۰/۵ تا ۰/۶ ضعیف، ۰/۶ تا ۰/۷ متوسط، ۰/۷ تا ۰/۸ خوب، ۰/۸ تا ۰/۹ خیلی خوب، ۰/۹ تا ۱ عالی (Yesilnacar, ۲۰۰۵). در این مطالعه نقشه پهنه‌بندی حساسیت سیل‌گیری با استفاده از دو روش نسبت فراوانی و وزن شواهد تهیه گردید. در نهایت، دقت پیش‌بینی مدل‌ها (ارزیابی) با استفاده از ۳۰ درصد از داده‌های سیل‌گیری انجام گرفت که در اجرای مدل استفاده نشده است. جهت بکارگیری این روش موقعیت مکانی مجموعه نقاط سیل‌گیر منطقه مورد مطالعه (۱۰۲ نقطه سیل‌گیر) در برابر ۱۰۲ نقطه تصادفی از منطقه مورد مطالعه (نقاط عدم وجود سیل) قرار گرفت. مساحت زیر منحنی (AUC) در شکل ۶ نشان داده شده است. نتایج اعتبار سنجی نشان داد که مدل نسبت فراوانی و مدل وزن شواهد یا دقت قابل قبولی ۸۵ درصدی برای مدل نسبت فراوانی و دقت ۸۳ درصدی برای مدل وزن شواهد در شناسایی مناطق حساس به سیل‌گیری دارد است.

^۱ True Positive

^۲ False Positive

^۳ Area Under Curve



شکل ۵. منحنی ROC برای نقشه حساسیت سیل استان کرمانشاه: A: مدل FR و B: مدل WofE

نتیجه‌گیری

سیل به عنوان مخرب‌ترین پدیده فاجعه بار در سراسر جهان می‌باشد. نیاز به داشتن یک رویکرد دقیق و قابل اعتماد برای شناسایی مناطق مستعد سیل باعث شد تا نویسندگان به بررسی چند روش به منظور درک قابلیت هر یک از این روش‌ها بپردازند. در این مطالعه به منظور تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل در استان کرمانشاه داده‌های نقاط سیل به صورت تصادفی به دو گروه آموزشی (۷۰ درصد) و اعتبارسنجی (۳۰ درصد) تقسیم شده، همچنین لایه رقومی ۱۱ پارامتر موثر که عبارتند از: لایه ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای سطح، شاخص رطوبت توپوگرافی، کاربری اراضی، خاک، زمین‌شناسی، فاصله از روخانه، تراکم زهکشی، بارش که در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه و براساس منابع موجود طبقه‌بندی شده در نظر گرفته شدند. سپس براساس مدل نسبت فراوانی و وزن شواهد و تراکم نقاط سیل در هر لایه وزن هر لایه محاسبه و در نهایت با استفاده از روش همپوشانی نقشه نهایی حساسیت وقوع سیل در استان کرمانشاه حاصل و در پنج طبقه مختلف شامل مناطق با حساسیت خیلی کم، حساسیت کم، حساسیت متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد. در نهایت جهت اعتبارسنجی نقشه حساسیت سیل در استان کرمانشاه از منحنی ROC استفاده شد که نتیجه ۸۵ و ۸۳ درصدی در محدوده مطالعاتی دارد. یافته‌های این پژوهش حاکی از آن است که دقت مدل‌های نسبت فراوانی و وزن شواهد در شناسایی مناطق دارای استعداد سیل در استان کرمانشاه مناسب می‌باشند. بنابراین استفاده از تکنیک نسبت فراوانی و وزن شواهد در ارزیابی خطر سیل گرفتگی، مفید و قابل اعتماد است که با نتایج مطالعات تهرانی و همکاران ۲۰۱۴، رحمتی و همکاران ۲۰۱۵، و خسروی و همکاران ۲۰۱۶ مطابقت دارد. از محدودیت‌های عمده این پژوهش مطالعه تعداد کمی از مکان‌های سیل برای آموزش و اعتبارسنجی مدل برای استان بود و عدم استفاده از پارامترهای مانند (فاصله از گسل، بافت خاک، شاخص قدرت آبراهه و سطح نفوذ، عمق آب، پهنه سیلابی و سرعت جریان) که در وقوع سیل می‌توانند تاثیر گذار باشند و به علت در دسترس نبودن داده‌های کافی استفاده از آنها در این پژوهش مقدور نشد. براساس ارزیابی کلی، پیشنهاد این روش‌ها به عنوان هدف، قابل اجرا می‌باشد. در نهایت به نظر می‌رسد اطلاعات علمی به دست آمده از این مطالعه می‌تواند جهت اقدامات مناسب به منظور جلوگیری و کاهش وقوع سیل در آینده به دولت‌ها، برنامه‌ریزان و مهندسان کمک کند.

منابع

- ابریفام، محمدرضا. ۱۳۸۰. تحلیل سینوپتیک توده‌های هوای ورودی به غرب ایران در سال ۸۴-۸۳ پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا، دانشگاه رازی کرمانشاه.
- خسروی، خه بات؛ ادريس معروفی نیا، ابراهيم نوحانی و کامران چپی. ۱۳۹۵. ارزیابی کارایی مدل رگرسیون لجستیک در تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل. *مجله مرتع و آبخیزداری*، ۶۹ (۴): ۸۶۳-۸۷۶.
- عرب عامری، علیرضا؛ حمیدرضا پورقاسمی و کوروش شیرانی. ۱۳۹۵. پهنه بندی حساسیت سیل‌گیری با استفاده از روش ترکیبی نوین تئوری بی‌زین-فرایند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز نکا-استان مازندران). *اکوهیدرولوژی*، ۴ (۲): ۴۴۷-۴۶۲.
- علیجانی، بهلول. ۱۳۸۱. اقلیم شناسی سینوپتیک، چاپ اول، انتشارات سمت، تهران.
- مجرد، فیروز؛ جعفر معصوم‌پور و سما کوش. ۱۳۹۲. برآورد حداکثر بارش محتمل به روش سینوپتیکی در استان کرمانشاه، *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۴ (۱۳): ۱-۱۶.
- ملکی، امجد؛ داوود شوهانی و محمود علایی طالقانی. ۱۳۸۸. پهنه بندی تحول کارست در استان کرمانشاه، *برنامه ریزی و آمایش فضا*. ۱۳ (۱): ۲۷۱-۲۹۵.

- Bout, B. Jetten, V. ۲۰۱۸. The validity of flow approximations when simulating catchment-integrated flash floods. *Journal of Hydrology*, 556, ۶۷۴-۶۸۸.
- Bonham-Carter, GF. ۱۹۹۱. Integration of geoscientific data using GIS. In: Goodchild MF, Rhind DW, Maguire DJ, editors. Geographic information systems: principle and applications. London: Longdom; p. ۱۷۱-۱۸۴.
- Bonham-Carter, GF. ۱۹۹۴. Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS. In: Bonham-Carter F, editor. Computer methods in the geosciences. Oxford: Pergamon; p. ۳۹۸.
- Cevik, E. Topal, T. ۲۰۰۳. GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). *Environment Geology*. ۴۴:۹۴۹-۹۶۲.
- Fawcett, T., ۲۰۰۶. An Introduction to ROC Analysis Pattern Recognition Letters. ۲۷ (۸): ۸۶۱-۸۷۴. doi:۱۰.۱۰۱۶/j.patrec.۲۰۰۵.۱۰.۰۱۰.
- Fernandez DS, Lutz MA. ۲۰۱۰. Urban flood hazard zoning in Tucuman Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. *Eng Geol.*; ۱۱۱: ۹۰-۹۸.
- Greenbaum, D. ۱۹۸۹. *Hydrogeological applications of remote sensing in areas of crystalline basement*. Proceedings of the groundwater exploration and development in crystalline basement aquifers; Zimbabwe.
- Hu, Z. Lo, CP. ۲۰۰۷. Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression. *Computers, Environment and Urban Systems*, ۳۱(۶), ۶۶۷-۶۸۸. doi:۱۰.۱۰۱۶/j. compenvurbsy
- Kia, MB. Pirasteh, S. Pradhan, B. Mahmud, AR. Sulaiman, WNA. Moradi, A. ۲۰۱۲. An artificial neural network model for flood simulation using GIS: Johor river basin, Malaysia. *Environment Earth Science*. ۶۷:۲۵۱-۲۶۴.
- Khosravi, KH. Nohani, E. Maroufinia, E. Pourghasemi, HR. ۲۰۱۶. A GIS-based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: a comparison between frequency ratio and weights-of-evidence bivariate statistical models with multi-criteria decision-making technique. *Natural Hazards: Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards*, ۸۳(۲):۹۴۷-۹۸۷.
- Khosravi, KH. Pham, BT. Chapi, K. Shirzadi, AT. Shahabi, H. Bui, DT. Revhaug, I. Prakash, I. ۲۰۱۸. A comparative assessment of decision trees algorithms for flash flood susceptibility modeling et Haraz watershed, northern Iran. *Seince of the total environment*. ۶۲۷: ۷۴۴-۷۵۵
- Miller, JR. Ritter, DF. Kochel, RC. ۱۹۹۰. Morphometric assessment of lithologic controls on drainage basin evolution in the Crawford Upland, south-central Indiana. *American Journal Science*. ۲۹۰:۵۶۹-۵۹۹.
- Mohammady, M. Pourghasemi, HR. Pradhan, B. ۲۰۱۲. Landslide susceptibility mapping et Golestan Province, Iran: a comparison between frequency ratio, Dempster-Shafer, and weights-of-evidence models. *Journal Asian Earth Science*. ۶۱:۲۲۱-۲۳۶.
- Manandhar, B. ۲۰۱۰. Flood plain analysis and risk assessment of Lothar Khola, Nepal: Unpublished Ph. D. thesis, Tribhuvan University, Nepal.

- Moore, ID. Grayson, RB. Ladson, AR. ۱۹۹۱. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrology Pro.* ۵:۳-۳۰.
- Nagarajan, R. Roy, A. Vinod Kumar, R. Mukherjee, A. Khire, MV. ۲۰۰۰. Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical monsoon regions. *Bullten Engenering Geology Environment.* ۵۸:۲۷۵-۲۸۷.
- Norouzi, G. Taslimi, M. ۲۰۱۲. The impact of flood damages on production of Iran's Agricultural Sector. *Middle East Journal Science Researsch.* ۱۲:۹۲۱-۹۲۶.
- Pourghasemi, HR. Mohammady, M. Pradhan, B. ۲۰۱۲. Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood basin, Iran. *Catena.* ۹۷:۷۱-۸۴.
- Pourghasemi, HR. Moradi, HR. Aghda, SMF. Gokceoglu, C. Pradhan, B. ۲۰۱۴. GIS-based landslide susceptibility mapping with probabilistic likelihood ratio and spatial multi-criteria evaluation models (North of Tehran, Iran). *Arab Journal Geoscience.* ۷:۱۸۵۷-۱۸۷۸.
- Pradhan, B. ۲۰۱۰. Flood susceptible mapping and risk area estimation using logistic regression, GIS and remote sensing. *Journal Spatial Hydrology,* ۹:۱-۱۸.
- Pontius, JRG. Schneider, L. ۲۰۰۱. Land-use change model validation by a ROC method. *Agriculture, Ecosystems, and Environment.* ۸۵: ۲۳۹-۴۸.
- Rahmati, O. Zeinivand, H. Besharet, M. ۲۰۱۵. Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis. *Geomet Net Hazards Risk.*
- Schober, B. Hauer, C. Habersack, H. ۲۰۱۵. A novel assessment of the role of Danube floodplains in flood hazard reduction (FEM method). *Net Hazards,* ۷۵:۳۳-۵۰.
- Sampson, CC. Smith, AM. Bates, PD. Neal, JC. Alfieri, L. Freer, JE. ۲۰۱۵. A high-resolution global flood hazard model. *Water Resour. Res.,* ۵۱:۷۳۵۸-۷۳۸۱.
- Swets, JA. ۱۹۸۸. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science,* ۲۴۰: ۱۲۸۵-۱۲۹۳.
- Tehrany, MS. Pradhan, B. Jebur, MN. ۲۰۱۴. Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. *Journal Hydrology,* ۵۱۲: ۳۳۲-۳۴۳.
- Tehrany MS, Pradhan B, Jebur MN. ۲۰۱۵. Flood susceptibility analysis and its verification using a novel ensemble support vector machine and frequency ratio method. *Stoch Environ Res Risk Assess* ۲۹:۱۱۴۹-۱۱۶۵
- Van Westen, CJ. Rengers, N. Soeters, R. ۲۰۰۳. Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. *Net Hazards.* ۳۰:۳۹۹-۴۱۹.
- Wang, Y. Hong, H. Chen, W. Li, S. Pamučar, D. Gigović, L. Duan, H. ۲۰۱۸. A Hybrid GIS Multi-Criteria Decision-Making Method for Flood Susceptibility Mapping et Shangyou, China. *Remote Sensing,* ۱۱(۱), ۶۲. doi:۱۰.۳۳۹۰/rs۱۱۰۱۰۰۶۲
- Yesilnacar, EK. ۲۰۰۵. The Application of Computational Intelligence to Landslide Susceptibility mapping in Turkey, Ph. D. Thesis. Department of Geomatics the University of Melbourne, ۴۲۳ pp.
- Zou, K.H., ۲۰۰۲. Receiver operating characteristic (ROC) literature research. On-line bibliography available from: <<http://splweb.bwh.harvard.edu:۸۰۰۰/pages/ppl/zou/roc.html>

