دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

تعیین نقشه حساسیت به سیل با استفاده از مدل نسبت فراوانی احتمالاتی در حوزه آبخیز خیاوچای، اردبیل

رضا جودی[۱]، اباذر اسمعلی‌عوری[۲]، رئوف مصطفی‌زاده [۳] و محمد گلشن[۴]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- استاد گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، (نویسنده مسوول: esmaliouri@uma.ac.ir)
۳- دانشیار گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی
۴- دکتری آبخیزداری، اداره منابع طبیعی و آبخیزداری، آستارا، گیلان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۱۶
صفحه: ۱ تا ۱۴

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: شدت و فراوانی وقوع سیل به عواملی هم‌چون مشخصات فیزیکی حوزه آبخیز شامل شکل منطقه، شیب، شبکه آبراهه‌ای و ناهمواری زمین وابسته است. علاوه بر این، ویژگی‌های هیدرولوژیکی مانند: بارش، ذخیره و تلفات برگابی و چالابی، نفوذپذیری و اقدامات انسانی، در بروز و تشدید سیلاب یا کاهش خسارت‌های ناشی از آن دخالت دارند. تعیین مناطق سیل‌خیز و آسیب‌پذیر در برابر سیلاب از پیش‌نیازهای برنامه‌ریزی مدیریت سیل و خسارت‌های ناشی از آن است.

مواد و روش‌ها: این پژوهش جهت ارزیابی حساسیت به سیل مناطق مختلف حوزه آبخیز خیاوچای واقع در غرب استان اردبیل با وسعت ۱۲۶۸۰ هکتار با استفاده از روش نسبت فراوانی انجام شد. به‌منظور ارزیابی حساسیت به سیل و اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها از پارامترهای طبقات ارتفاعی، شیب، انحنای زمین، شاخص رطوبت توپوگرافی، فاصله از رودخانه، جهت، تراکم زهکشی، گروه هیدرولوژیکی خاک، زمین‌شناسی و کاربری اراضی استفاده شد. نقشه‌های رقومی کلیه پارامترها با استفاده از نرم‌افزارهای مربوطه با فرمت رستری تهیه شدند. سپس با توجه به سیلاب‌های قبلی رخ داده در منطقه مطالعاتی موقعیت جغرافیایی ۱۰۷ نقطه سیل‌گیر در منطقه تعیین شد. این مجموعه نقاط به‌صورت تصادفی به گروه‌هایی متشکل از ۷۴ نقطه (۷۰ درصد) برای واسنجی و ۳۳ نقطه (۳۰ درصد) برای اعتبارسنجی تقسیم شدند. سپس با تجزیه و تحلیل‌های مقایسه‌ای بین موقعیت رخداد سیلاب‌های قبلی و پارامترهای محیطی مؤثر بر وقوع سیلاب‌ها وزن تأثیر هر کلاس از پارامترها به دست آمد. در نهایت نقشه احتمال سیل منطقه مورد مطالعه به دست آمد.

یافته‌ها: بر اساس نقشه پتانسیل سیل‌گیری، حساسیت به سیل حوزه آبخیز خیاوچای به‌صورت پنج طبقه با حساسیت خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم نشان داده شد. نتایج نشان داد زیرحوضه‌های واقع در مجاورت خروجی حوزه بیش‌ترین حساسیت به سیل را دارد. به‌عبارتی سیل‌خیزی زیرحوزه‌های واقع در پایین‌دست آبخیز خیاوچای به‌دلیل تجمع رواناب و نیز حساسیت بالای ناشی از تاثیر سایر متغیرهای شیب و کاربری زراعی دیم است.

نتیجه‌گیری: حفظ حریم رودخانه و انجام عملیات مختلف آبخیزداری به‌منظور هدایت جریان در این مناطق می‌تواند خسارت‌های احتمالی ناشی از وقوع سیل را کاهش دهد. نقشه حساسیت به سیل ارائه شده می‌تواند مبنای اولویت‌بندی مناطق سیل‌خیز و نیز اقدامات کنترلی در راستای مدیریت سیلاب است. لذا، انجام اقدامات آبخیزداری جهت کنترل سیل در این منطقه از اهمیت بیش‌تری برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: آبخیزهای بحرانی، احتمال سیل، اولویت‌بندی، پتانسیل سیل‌خیزی، حفاظت آب و خاک

مقدمه

سیل یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی[۱] است و طبق گزارش بین‌المللی صلیب سرخ و هلال احمر نیمی از بلایای طبیعی در سراسر جهان مربوط به سیل است (۳،۱۵). طبق گزارش مرکز تحقیقات اپیدمیولوژی[۲] بلایای طبیعی (۴) سیل نه‌تنها در کشورهای درحال توسعه بلکه در کشورهای توسعه یافته نیز از مهم‌ترین بلایای طبیعی است. در دهه‌های اخیر در اکثر کشورهای جهان و از جمله ایران مناطق سیل‌خیز از لحاظ شدت وقوع سیلاب‌ها و میزان خسارت‌های ناشی از آن به‌طور چشم‌گیری افزایش یافته است (۱۹،۲۲). روند افزایش سیل در پنج دهه گذشته نشان می‌دهد که تعداد وقوع سیل در دهه ۸۰ نسبت به دهه ۴۰ حدود ۱۰ برابر شده است و به بیان دیگر ۹۰ درصد افزایش داشته است (۱). هرچند کنترل کامل ناشی از خسارات سیلاب امری غیرممکن است اما با تحلیل‌های مناسب و انجام اقدامات پیشگیری، تا حد زیادی می‌توان اثرات مخرب آن را کاهش داد، که یکی از این اقدامات تهیه نقشه پتانسیل سیل‌خیزی است (۳۷). شدت و فراوانی وقوع سیل در هر حوزه آبخیز به عوامل بسیاری وابسته است. مشخصات فیزیکی حوزه آبخیز شامل شکل منطقه، شیب، شبکه آبراهه‌ای و ناهمواری زمین، همراه با ویژگی‌های هیدرولوژیکی مانند: بارش، ذخیره و تلفات برگابی و چالابی، تبخیر و تعرق و نفوذپذیری و اقدامات ناشی از فعالیت‌های انسانی، در بروز و تشدید سیلاب یا کاهش و افزایش میزان خسارت‌های ناشی از آن دخالت دارند. شناخت این عوامل و دسته‌بندی آن‌ها در هر منطقه‌ای، از اصول اولیه مهار سیلاب و کاهش خطرات آن است (۳۱). سیل به افزایش مفرط تجمع جریان آب در سطح زمین بر می‌گردد که باعث انباشت آب در مناطقی می‌شود که در حالت عادی دارای جریان آب نیستند (۳). شناسایی و تعیین پتانسیل سیل‌گیری[۳] و اولویت‌بندی درجه سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها از دیدگاه مدیریت حوزه‌های آبخیز، پروژه‌های کنترل سیلاب و آبخیزداری از اهمیت فراوانی برخوردار است (۲۴). از مهم‌ترین عوامل حوضه‌ای می‌توان به کاربری اراضی، وضعیت زمین‌شناسی، شیب و شبکه زهکشی و به‌طور کلی عوامل مورفومتریک اشاره نمود (۱۷،۳۳،۳۴). تهیه نقشه‌های پتانسیل سیل و توجه به اهمیت کاهش اثرات آن یکی از اهداف اولیه مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز است. بر این اساس بسیاری از محققین داخلی و خارجی به مطالعه و تهیه نقشه‌های سیل پرداختند. در این راستا، دارابی و همکاران (۶) به تهیه نقشه‌های خطر احتمال و حساسیت سیل با استفاده از روش نسبت فراوانی در حوزه

1- Natural disasters 2- Epidemiology 3- Flooding potential

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.1.8]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.1]

آبخیز پل دوآب شازند پرداختند. سپس نقاط گروه واسنجی به‌عنوان متغیر وابسته و پارامترهای تأثیرگذار بر سیل به‌عنوان متغیر مستقل به روش نسبت فراوانی معرفی شدند. در نهایت وزن‌های به دست آمده برای هر طبقه در سیستم اطلاعات جغرافیایی در لایه‌های مربوطه اعمال شده و با استفاده از توابع روی‌هم‌گذاری، نقشه‌های حساسیت و احتمال سیل منطقه مورد مطالعه به دست آمد. بر اساس نقشه پتانسیل، منطقه به پنج طبقه با حساسیت خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم شد. نتایج هیستوگرام ارزیابی روش نسبت فراوانی نشان داد که احتمال حضور نقاط سیل‌گیر گروه اعتبارسنجی داده‌ها در طبقه خیلی زیاد برابر با ۶۷/۸۶ درصد و برای طبقه خیلی کم این عدد برابر با صفر درصد است.

پاندی و همکاران (۲۷) نقشه حساسیت به سیل حوضه قیصر در ایران را با استفاده از مدل‌های ماشین بردار پشتیبان، بهینه‌سازی ازدحام ذرات، و الگوریتم ژنتیک تهیه نمودند. از پانزده عامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، انحنای پلان، کاربری اراضی و پوشش زمین، شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده، شاخص همگرایی، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص موقعیت توپوگرافی، تراکم زهکشی، فاصله از رودخانه، شاخص ناهمواری زمین، بافت سطح زمین، شاخص زمین‌شناسی و شاخص توان آبراهه استفاده نمود. نتایج نشان داد که روش تلفیقی الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات دارای دقت بالاتری در ارزیابی حساسیت به سیل بوده است. فام و همکاران (۲۸). در راستای بهبود دقت پیش‌بینی سیل مدل‌های مبتنی بر تکنیک‌های یادگیری بهترین درخت تصمیم را آزمون نمودند. از عوامل موثر بر سیل شامل شیب، ارتفاع، جنبه، انحنا، تراکم رودخانه، فاصله از رودخانه، جهت جریان، زمین‌شناسی، خاک و کاربری اراضی استفاده نمودند. نتایج صحت‌سنجی ایشان در ۱۲۶ رویداد تاریخی سیل در استان نگه‌آن کشور ویتنام تائید کرد که مدل‌های مورد استفاده دارای قابلیت اعتماد بالایی در تهیه نقشه حساسیت سیل است. داس و گوپتا (۷) نقشه حساسیت سیل حوزه رودخانه سوبارنارخا در شرق هند را تهیه نمود. ارزیابی نتایج فرآیند تحلیل سلسله مراتبی چند پارامتری مبتنی بر دانش کارشناسی بر اساس سطح زیر منحنی (با مقدار صحت ۰/۹۳) نشان داد که بخش وسیعی از منطقه (۳۸ درصد) دارای احتمال وقوع سیلاب بالایی است. اسفندیاری و همکاران (۸) با تعیین پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز قطورچای با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) نتیجه گرفتند که پهنه‌های سیل‌خیز در آبراهه‌های رتبه ۵ و بالاتر در محدوده سیلاب‌دشت‌ها و یا پایاب رودخانه‌ای قرار گرفته اند.

هم‌چنین، طی چند دهه اخیر سیل‌های مخرب متعددی در حوزه آبخیز خیاوچای رخ داده است که این سیل‌ها آسیب قابل‌توجهی به وضعیت منطقه و زندگی مردم وارد کرده است. در پژوهش گلشن و همکاران (۱۳) و چوبین و همکاران (۵) این حوضه به‌دلیل دارا بودن عوامل تأثیرگذار بر وقوع سیلاب به‌عنوان حوضه حساس به سیل معرفی شده است. علاوه بر بالا بودن خسارت‌های سیل، میزان فرسایش خاک در این حوضه بیش از هفت تن بر هکتار اندازه‌گیری شده است (۱۲). این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده وضعیت نامناسب این منطقه از لحاظ ذخیره و نگهداری رواناب‌های سطحی باشد.

بنابراین بسیاری از محققین (۳،۱۳،۳۰،۳۵) برای مطالعات مشخصات هیدرولوژیکی و سیل‌خیزی حوزه‌های آبخیز به استفاده از تجزیه و تحلیل‌های مکانی در قالب سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) روی آورده‌اند. روش‌های به‌کار برده شده جهت بررسی و تعیین نقشه‌های پتانسیل سیل، طی سال‌های اخیر شامل روش نسبت فراوانی، آنالیزهای چندمتغیره آماری، WoE[1] یا وزن معیارها در GIS، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، روش ماشین‌بردار پشتیبان و درخت تصمیم‌گیری هستند (۱۴،۲۱،۲۷،۳۶). با توجه به تعدد عوامل موثر بر وقوع سیل و نیز پتانسیل سیل‌گیری در حوزه‌های آبخیز، ارزیابی کارائی روش‌های موثر برای ارزیابی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه‌های آبخیز بسیار حائز اهمیت است. در این راستا ارزیابی کارائی روش نسبت فراوانی به‌عنوان یکی از روش‌های معمول در ارزیابی حساسیت به سیل‌گیری می‌تواند مفید واقع شود. نتایج تحلیل روند ضریب سیلابی در ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل به تغییر در افزایش شدت بارش و تغییر کاربری اراضی نسبت داده شده است (۲۳).

هدف از پژوهش حاضر ارزیابی کارایی روش نسبت فراوانی در ارائه نقشه‌های احتمال و حساسیت سیل در حوزه آبخیز خیاوچای است. با استفاده از اطلاعات سیلاب‌های مشاهداتی و چندین پارامتر مربوط به مشخصات منطقه به‌صورت توزیعی حساسیت منطقه مطالعاتی در بخش‌های مختلف نسبت به سیل بررسی شده است. در این مطالعه حساسیت کل حوزه آبخیز و رتبه‌بندی زیرحوضه‌های مختلف از لحاظ حساسیت به سیل انجام شده که در مطالعات قبلی به این موضوع پرداخته نشده است.

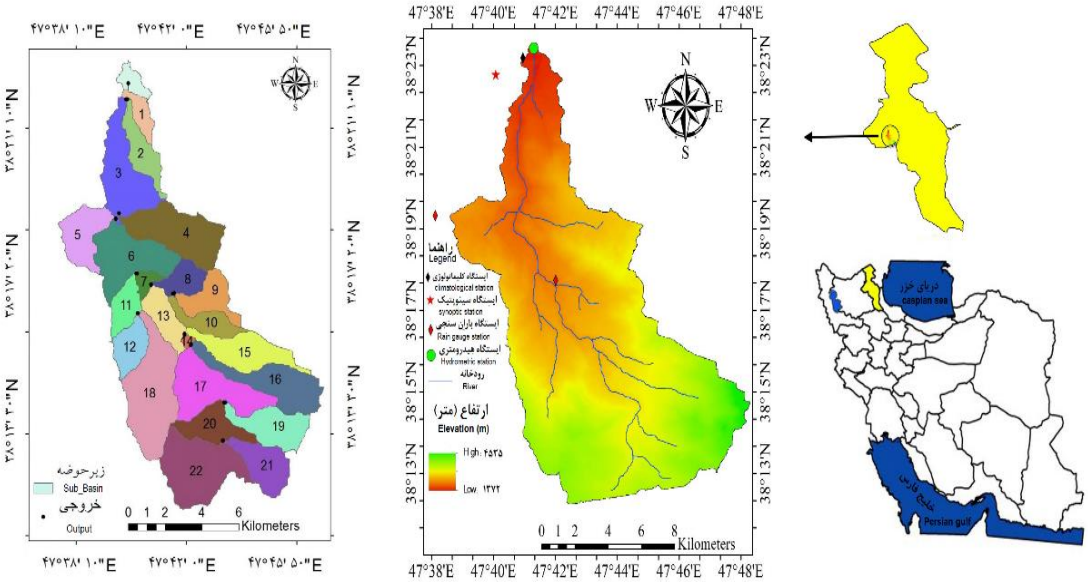
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز خیاوچای از زیرحوضه‌های آبریز قره‌سو است. این حوضه با مساحت ۱۲۶۸۰ هکتار در ۴۷°۳۸' تا ۴۸°۴۷' طول شرقی و ۳۸°۱۲' تا ۳۸°۲۳' عرض شمالی در استان اردبیل و شهرستان مشگین‌شهر واقع شده است (شکل ۱). میانگین بارندگی و درجه حرارت منطقه به‌ترتیب حدود ۳۲۳ میلی‌متر و هفت درجه سانتی‌گراد است. بارش غالب در فصل‌های پاییز و زمستان اتفاق می‌افتد و اکثر بارش‌ها در زمستان به‌صورت برف است (۹).

1- Weight of Evidence

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.1.8]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.1]



ب) الف)

شکل ۱– الف) موقعیت محدوده مطالعاتی در استان اردبیل و ایران و ب) موقعیت زیرحوزه‌های مورد مطالعه
Figure 1. Location of the study area in Ardabil Province and Iran

روش پژوهش

پارامترهای مطالعاتی

پارامترهای ارتفاع، شیب و جهت از مهم‌ترین خصوصیات فیزیوگرافی منطقه هستند که در مطالعات سیل بسیار مهم هستند (۱۶). این نقشه‌ها با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) ۱۰ متری در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.5 تهیه شدند. پارامتر نوع خاک یکی از مهم‌ترین نقشه‌های مورد نیاز برای بسیاری از مطالعات هیدرولوژیکی است. در پژوهش حاضر این نقشه از اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان اردبیل تهیه شد. پارامتر زمین‌شناسی نیز از پارامترهای مهم در تعیین حساسیت به سیل است که با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده شد. در حوزه آبخیز خیاوچای سه نوع سازند Qsiv (آبرفت‌های قدیمی کواترنری)، Qtbav (نهشه‌های جوان و پادگانه‌های آبرفتی)، Qviv (گدازه‌های بازالتی) مشخص شده است که این سازندهای از لحاظ زمین‌شناسی مربوط به دوره کواترنر هستند. هم‌چنین پارامترهای تراکم زهکشی، فاصله از رودخانه، انحنای دامنه و شاخص رطوبت توپوگرافیک (TWI) از پارامترهای تأثیرگذار بر پتانسیل سیل هستند (۱۰،۳۵). نقشه‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.5 و SAGA_GIS2.1.1 تهیه شدند. نقشه کاربری اراضی از دیگر پارامترهای اصلی در اکثر مطالعات سیل است. برای تهیه این نقشه تصویر ماهواره لندست ۸ (سنجنده OLI) از سایت USGS[1] برای منطقه مطالعاتی تهیه شد و با استفاده از برنامه ENVI 5.3 و طبقات مختلف کاربری اراضی تعیین شدند.

جهت بررسی خصوصیات هواشناسی منطقه از آمار ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شد. اطلاعات هواشناسی تهیه شده از لحاظ همگنی و وجود داده‌های پرت بررسی شدند سپس جهت تهیه نقشه‌های هواشناسی مورد استفاده قرار گرفتند.

نسبت فراوانی

در پژوهش حاضر برای تهیه نقشه احتمال وقوع سیل از روش احتمالاتی نسبت فراوانی سیل استفاده شده است. نسبت فراوانی، احتمال ظهور یک ویژگی یا پدیده‌ای خاص است یا به‌عبارت دیگر این روش سطح همبستگی بین موقعیت‌های وقوع سیلاب‌ها را مشخص می‌نماید. روش نسبت فراوانی به‌عنوان یک مدل آماری دو متغیره است برای ارزیابی حساسیت سیل استفاده می شود و یکی از پرکاربردترین روش‌ها در مطالعات حساسیت به مخاطرات مختلف طبیعی است. مزیت اصلی این مدل اجرای آسان و ساده بر اساس همبستگی بین توزیع مکانی پارامترهای موثر و واقعه سیل است و و وزن هر طبقه/رده بر اساس رابطه مکانی بین مکان‌های سیل‌خیز و عوامل موثر بر سیل محاسبه می‌شود (۳۷،۳۸). هر چقدر مقدار این نسبت در یک طبقه یا کلاس یک فاکتور مشخص بزرگ‌تر باشد، بیان‌گر اهمیت یا نقش بیش‌تر آن کلاس در فاکتور مربوطه در وقوع سیل است. نسبت فراوانی برای یک طبقه یا کلاس مشخص از یک فاکتور معین (مثلاً جهت) از رابطه (۱) قابل محاسبه است:

$$FR = \frac{A/B}{C/D} \qquad (۱)$$

که در آن، FR: همان امتیاز نسبت فراوانی است که بیانگر میزان تأثیر هر کلاس از هر پارامتر است. پارامتر A: تعداد سیلاب‌ها در کلاس موردنظر، B: تعداد کل سیلاب‌های موجود در منطقه، C: تعداد پیکسل‌های کلاس مورد نظر و D: تعداد کل پیکسل‌های مربوط به فاکتور مربوطه (مثلاً شیب) است. شاخص پتانسیل وقوع سیل برای یک سلول، برابر مجموع نسبت فراوانی آن سلول در تمام فاکتورها است.

1- United States Geological Survey

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.1.8]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.1]

اگر تعداد M فاکتور مؤثر وجود داشته باشد، شاخص حساسیت وقوع سیل (FPI)[1] به‌صورت رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$FPI_{FR} = \sum_{i=1}^{M} FR_i \qquad (۲)$$

در نهایت نرخ‌های به دست آمده برای هر کلاس با استفاده از این روش در GIS برای لایه‌های مربوطه اعمال شد و با استفاده از روش محاسبات رستری (Raster Calculator) نقشه پیش‌بینی پتانسیل احتمال سیل حوزه آبخیز خیاوچای به دست آمد.

بررسی سیلاب‌های رخ داده

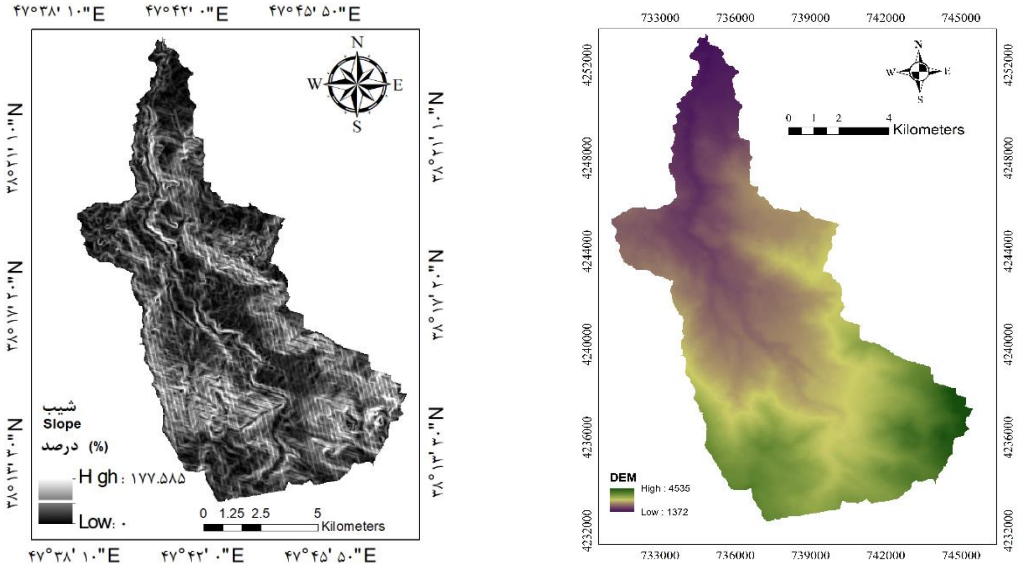
جهت تعیین حساسیت به سیل مناطق مختلف مطالعه سیلاب‌های قبلی بسیار با اهمیت می‌باشد (۵،۲۰). با بررسی اکثر سیلاب‌های گذشته با توجه به موقعیت مناطقی که دچار سیل‌گرفتگی شدند تعداد ۱۰۷ نقطه به‌عنوان نقاط حساس به سیل مشخص شدند. در این نقاط در طی سال‌های اخیر با وقوع بارندگی‌های نسبتاً شدید سیلاب مشاهده شده است. از مجموع نقاط تهیه شده ۷۰ درصد (۷۴ نقطه) در مرحله واسنجی مورد استفاده قرار گرفتند. منظور از واسنجی در این پژوهش استفاده از مشخصات ۱۰ پارامتر محیطی و روش تحلیل فراوانی نسبی جهت تهیه نقشه حساسیت به سیل است.

اعتبارسنجی نقشه‌های پیش‌بینی پتانسیل سیل

به‌منظور اعتبارسنجی نقشه پیش‌بینی پتانسیل سیل، از ۳۰ درصد (۳۳ نقطه) مجموعه نقاط باقیمانده استفاده شد. در این مرحله ۳۳ نقطه در محیط GIS با نقشه حساسیت سیل تلفیق شدند، سپس با استفاده از دستور نمونه‌برداری (Sample) هر کدام از نقاط که در طبقات مختلف نقشه پیش‌بینی قرار گرفتند نمونه‌برداری شدند و بدین ترتیب صحت‌سنجی نقشه پیش‌بینی انجام شد. در صورتی‌که تعداد نقاط بیش‌تری در مناطق حساس به سیل واقع شوند نقشه تهیه شده از دقت بیش‌تری برخوردار است. با تعیین درصد تعداد نقاط با پیش‌بینی صحیح می‌توان دقت نقشه تهیه شده را نشان داد. منحنی ROC[2] به‌منظور نشان دادن صحت مدل مورد استفاده قرار گرفت. در این نمودار هر چه منحنی داده‌ها از محور مرجع دورتر باشد و قسمت زیر نمودار بزرگ‌تر باشد نشان‌دهنده بالا بودن دقت روش استفاده شده است (۵).

نتایج و بحث

نقشه‌های به دست آمده برای پارامترهای مختلف تأثیرگذار بر حساسیت به سیل‌خیزی حوزه آبخیز خیاوچای با استفاده از نرم‌افزارها و روش‌های مختلف تهیه شدند. نقشه‌های تهیه شده دارای اندازه سلولی یکسان و مطابق با یک‌دیگر هستند (شکل ۲).



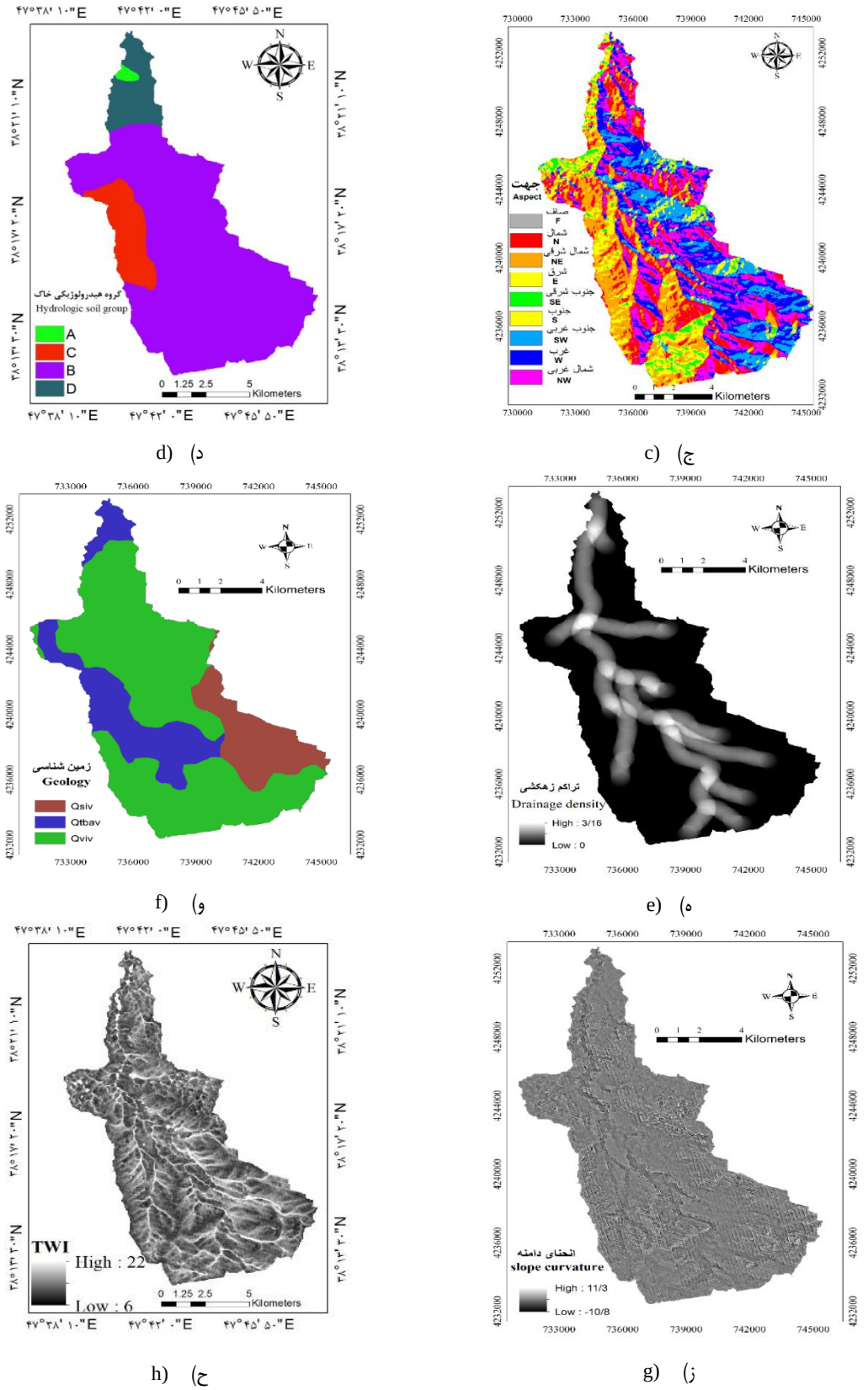
a) (الف

b) (ب

شکل ۲- پارامترهای مؤثر بر وقوع سیل: الف) ارتفاع، ب) شیب
Figure 2.The effective parameters on flood occurrence: a) Elevation, b) Slope

1- Flood Probability Index
2- Receiver Operating Characteristic

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.1.8]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.1]



c) (ج

d) (د

e) (ه

f) (و

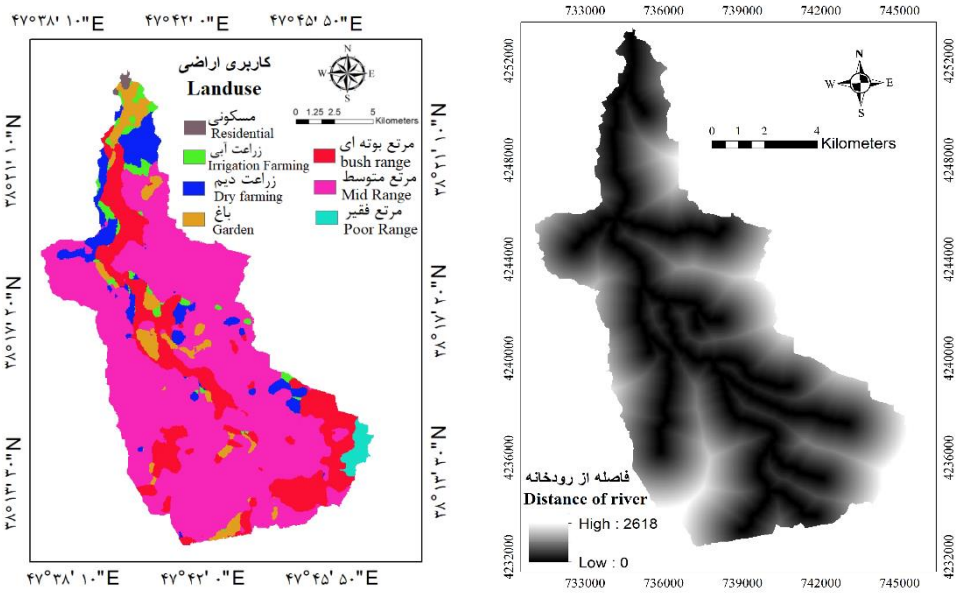
g) (ز

h) (ح

ادامه شکل ۲- پارامترهای مؤثر بر وقوع سیل: ج) جهت، د) گروه هیدرولوژیکی خاک ه) تراکم زهکشی، و) زمین‌شناسی، ز) انحنای دامنه، ح) شاخص TWI

Continued Figure 2. The effective parameters on flood occurrence: c) Aspect, d) Hydrologic soil group e) Drainage density, f) Lithology, g) Slope curve, h) TWI

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.1.8]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.1]

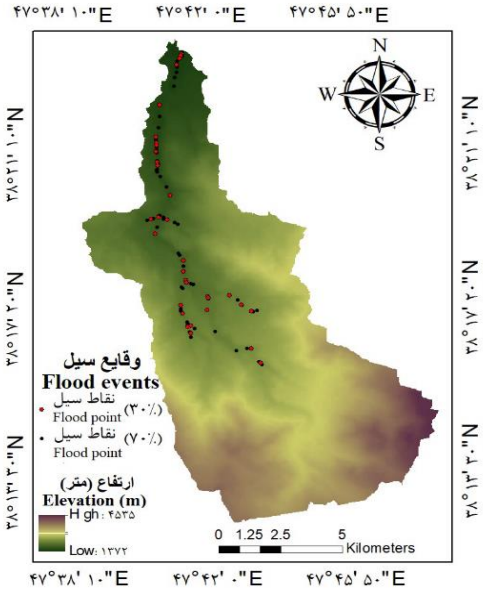


ط) (i ی) (j

ادامه شکل ۲- پارامترهای مؤثر بر وقوع سیل: ط) فاصله از رودخانه، ی) کاربری اراضی
Continued Figure 2. The effective parameters on flood occurrence: i) Distance of river, j) Land use

نقشه نقاط حساس به سیل

با بررسی سیلاب‌های رخ داده، نقاط حساس به سیل برای منطقه مطالعاتی تعیین شدند که ۷۰ درصد این نقاط در مرحله واسنجی و ۳۰ درصد در مرحله اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفتند. نقشه مربوط به نقاط حساس به سیل در شکل (۳) ارائه شده است.

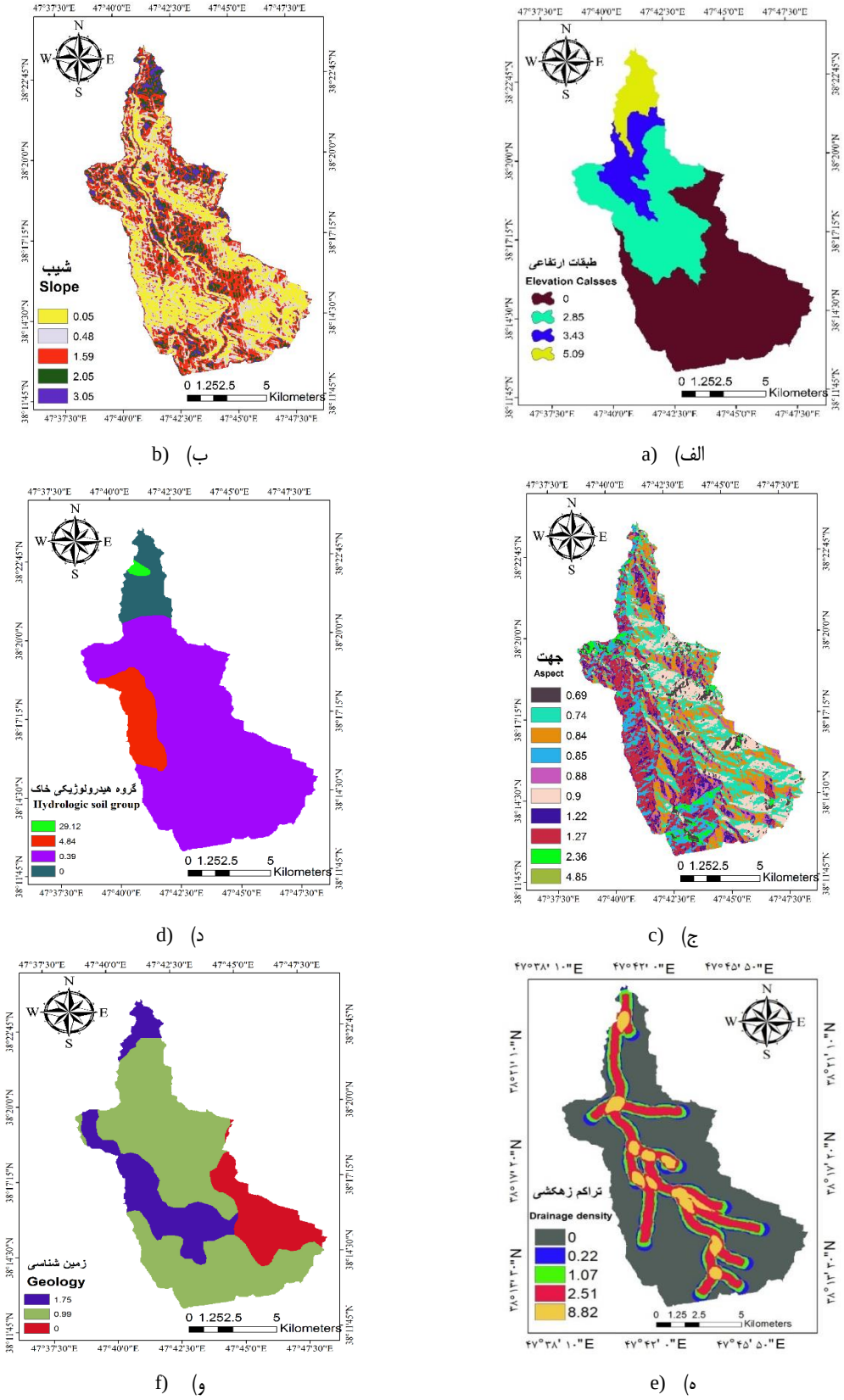


شکل ۳- موقعیت نقاط حساس به سیل در حوزه آبخیز خیاوچای
Figure 3. The location of the sensitive points on flood in Khiav Chai watershed

امتیازبندی کلاس‌های مختلف مربوط به هر پارامتر

با تهیه و آماده‌سازی نقشه نقاط حساس به سیل و پارامترهای تأثیرگذار در حساسیت به سیل حوزه آبخیز خیاوچای اقدام به امتیازبندی طبقات مختلف در هر نقشه با استفاده از روش فراوانی احتمالاتی شد. نتایج امتیازبندی حساسیت طبقات مختلف به سیل در شکل ۴: الف) ارتفاع، ب) شیب، ج) جهت، د) گروه هیدرولوژیکی خاک، ه) تراکم زهکشی، و) زمین‌شناسی، ز) انحنای دامنه، ط) شاخص TWI، ی) فاصله از رودخانه، ک) کاربری اراضی ارائه شده است.

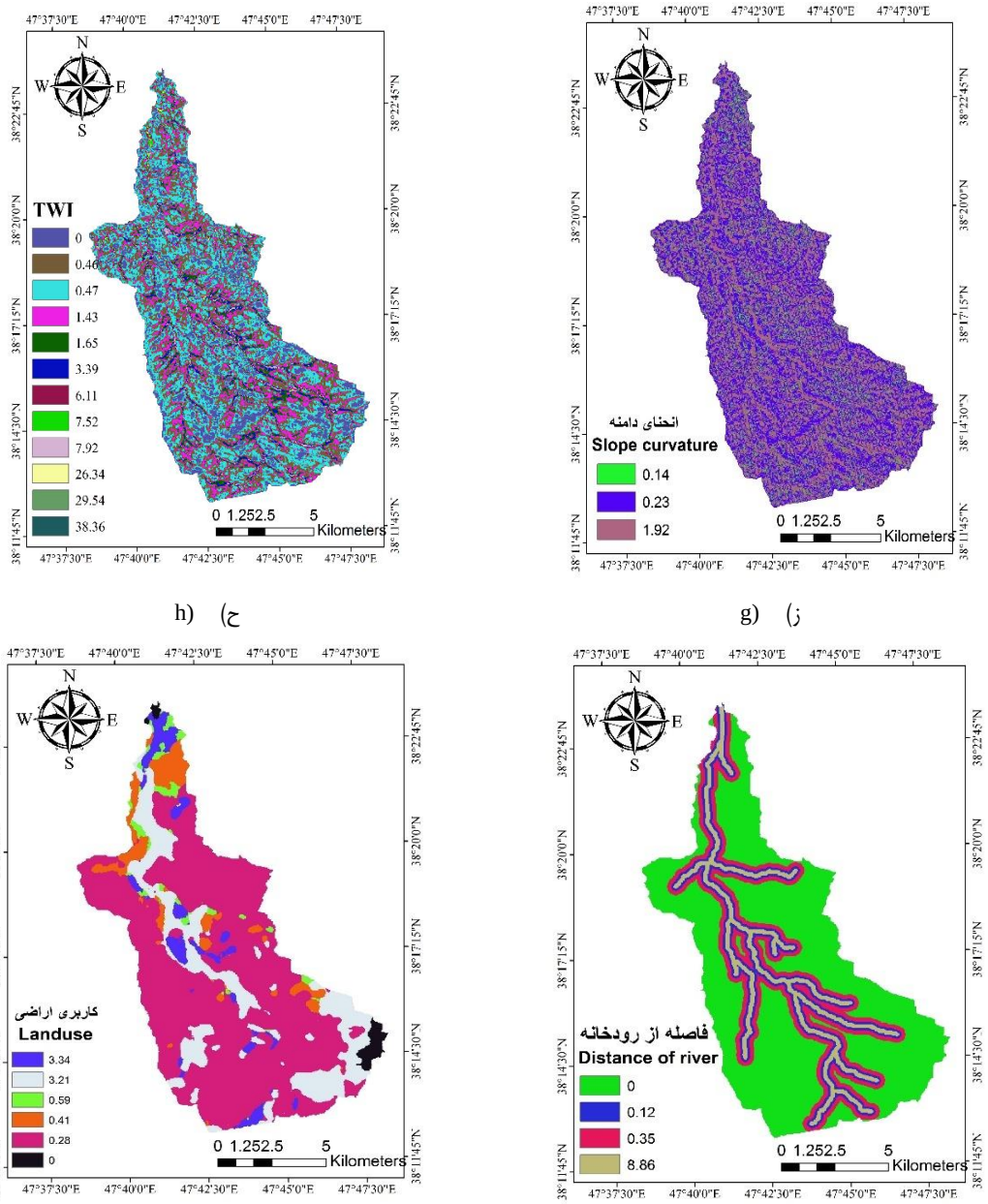
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.1.8]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.1]



شکل ۴- امتیازبندی حساسیت طبقات مختلف به سیل: الف) ارتفاع، ب) شیب، ج) جهت، د) گروه هیدرولوژیکی خاک ه) تراکم زهکشی، و) زمین‌شناسی

Figure 4. The scoring of effective parameters on flood susceptibility in different classes: a) Elevation, b) Slope, c) Aspect, d) Hydrologic soil group e) Drainage density, f) Lithology

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.1.8]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.1]



h) (ح g) (ز

j) (ی i) (ط

ادامه شکل ۴- امتیاز حساسیت طبقات مختلف به سیل: ز) انحنای دامنه، ح) شاخص TWI ط) فاصله از رودخانه، ی) کاربری اراضی
Continued Figure 4. The scoring of effective parameters on flood susceptibility in different classes: g) Slope curve, h) TWI i) Distance of river, j) Land use

وزن تأثیر کلاس‌های مختلف بر حساسیت به سیل

میزان تأثیر کلاس‌های مختلف در پارامترهای مورد مطالعه در جدول (۱) آورده شده است. این جدول نشان‌دهنده درصد وقوع سیل در طبقات مختلف است که می‌تواند در تعیین پارامترهای مختلف بر حساسیت سیل مؤثر باشد. طبقات ارتفاعی پایین و کم شیب واقع در خروجی آبخیز از مهم‌ترین مناطق حساس به سیل‌گیری و مناطق تجمع رواناب هستند که در بسیاری از مطالعات مورد تأیید قرار گرفته است (۱۱،۳۲).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.1.8]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.1]

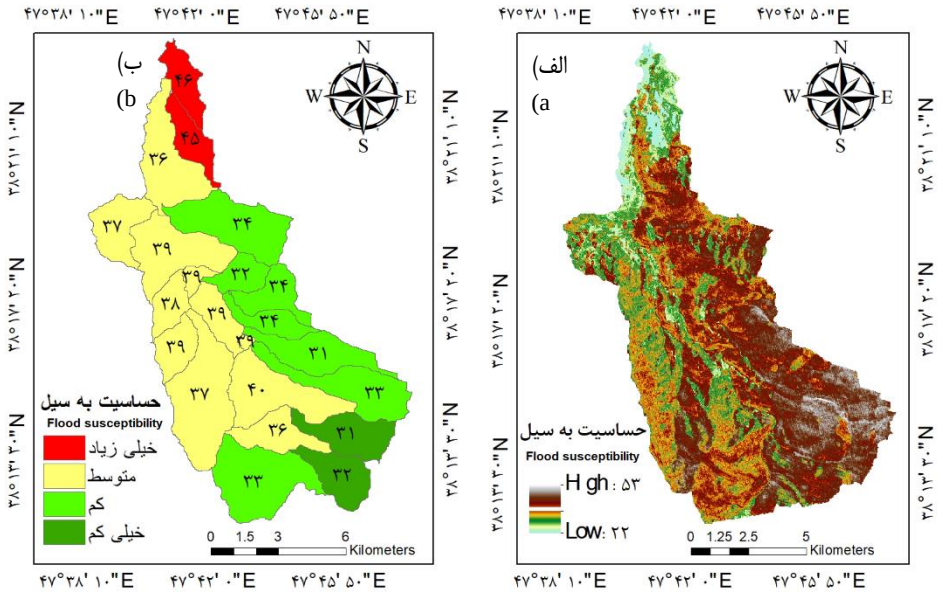
جدول ۱- نسبت فراوانی بین سیلاب‌های رخ داده و پارامترهای مطالعاتی در حوزه آبخیز خیاوچای
Table 1. The frequency ratio between the passive floods and the study parameters in Khiav Chai watershed

پارامتر Parameter	طبقات Classes	پیکسل (٪) Pixel (%)	سیل (٪) Flood (%)	پارامتر Parameter	طبقات Classes	پیکسل (٪) Pixel (%)	سیل (٪) Flood (%)
طبقات ارتفاعی Elevation classes	1370-1700	6.7	67	گروه هیدرولوژیکی خاک SHG	A	0.7	22
	1700-2300	26.7	43		B	8.8	18
	2300-3000	34.3	-		C	10.1	51
	3000-4543	32.2	-		D	80.4	9
شیب Slope	0-5	1.6	16.8	تراکم زهکشی Drainage density	0-0.5	2.7	-
	5-12	61.4	29.3		0.5-1	3	-
	12-45	8.4	53.9		1-1.5	4.7	9.2
	45-90	27.5	-		1.5-2	8.6	34.6
	90<	1	-		2-3.2	81.1	56.2
کاربری اراضی Landuse	مسکونی Residential	2.2	2.4	زمین شناسی Geology	Qtbav	21.1	41.5
	زراعت آبی Irrigation farming	0.2	18.3		Qviv	14.8	28.3
	زراعت دیم Dry farming	6.4	10.6		Qsiv	64.1	30.2
	باغ Garden	5.1	8.5	فاصله از رودخانه Distance of river	100	33.3	31.3
	مرتع بوته‌ای Bush range	18.8	9.6		500	26.9	34.6
	مرتع متوسط Mid-range	65.9	18.3		1000	30.6	34.1
	مرتع فقیر Poor range	1.3	32.3		1000<	9.2	-
TWI	0-6	0.8	-	انحنای دامنه Curvature	-10.9	77.4	6.3
	6-6.5	13.2	-		0	12.1	71.6
	6.5-7	31.6	-		11.3	10.4	22.1
	7-7.5	25.9	-	جهت Aspect	صاف	0.5	45.6
	7.5-8	14.9	-		شمال	16.6	12.3
	8-10	7.2	1.2		شمال شرقی	9.3	-
	10-12	3.5	9.3		شرق	3.3	-
	12-14	2.2	17.8		جنوب شرقی	3.8	9.4
	14-16	0.3	6.2		جنوب	13.2	15.1
	16-18	0.2	7.6		جنوب غربی	19.6	-
	18-20	0.09	27.4		غرب	18.8	1.7
	20-22	0.01	30.5		شمال غربی	14.9	15.9

نقشه حساسیت به سیل

با استفاده از GIS اقدام به تلفیق نقشه‌های به دست آمده به‌عنوان پارامترهای تأثیرگذار بر حساسیت سیل حوزه آبخیز خیاوچای شد. نقشه نهایی به دست آمده با استفاده از روش تحلیل فراوانی نسبی در شکل (۵ الف) نشان داده شده است. نقشه حساسیت به سیل در حوزه آبخیز خیاوچای در پنج طبقه خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم بر اساس روش شکستگی‌های طبیعی طبقه‌بندی شد. نقشه به دست آمده در شکل (۵ ب) نشان داده شده است. هم‌چنین در جدول (۲) امتیاز حساسیت به‌خطر در زیرحوضه‌های مختلف تعیین و طبقه حساسیت به سیل در هر زیرحوضه مشخص شده است. نتایج نشان داد که زیرحوضه‌های شماره ۱ و ۲ دارای بیش‌ترین حساسیت به سیل هستند. این زیرحوضه‌ها در کلاس طبقاتی اول و دوم (۲۳۰۰-۱۳۷۲ متر)، شیب کم‌تر از ۱۲ درصد، فاصله از رودخانه کم‌تر از ۱۰۰۰ متر و جهت‌های مسطح واقع شده است که بالا بودن سیل در این مناطق در مطالعات لی و همکاران (۱۸)، مناندهای و همکاران (۲۰) و گلشن و همکاران (۱۳) ذکر شده است. تأثیرگذاری شاخص رطوبت توپوگرافیک بر پتانسیل سیل‌خیزی با مطالعات شفاپور تهرانی و همکاران (۳۵) و تأثیرگذاری کاربری اراضی مسکونی و زراعت دیم با مطالعات اوپلت (۲۵) مطابقت دارد. هم‌چنین در مطالعه گلشن و همکاران (۱۳) به افزایش حساسیت به سیل در مناطقی با گروه هیدرولوژیکی C و D و جنس زمین‌شناسی کواترنری اشاره شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.1.8]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.1]



شکل ۵- الف) امتیازبندی حساسیت به سیل ب) طبقه‌بندی حساسیت به سیل در زیرحوضه‌های واقع در حوزه آبخیز خیاوچای
Figure 5. a) Flood sensitivity score b) Flood susceptibility classification in sub-watersheds located in the Khiav Chai watershed

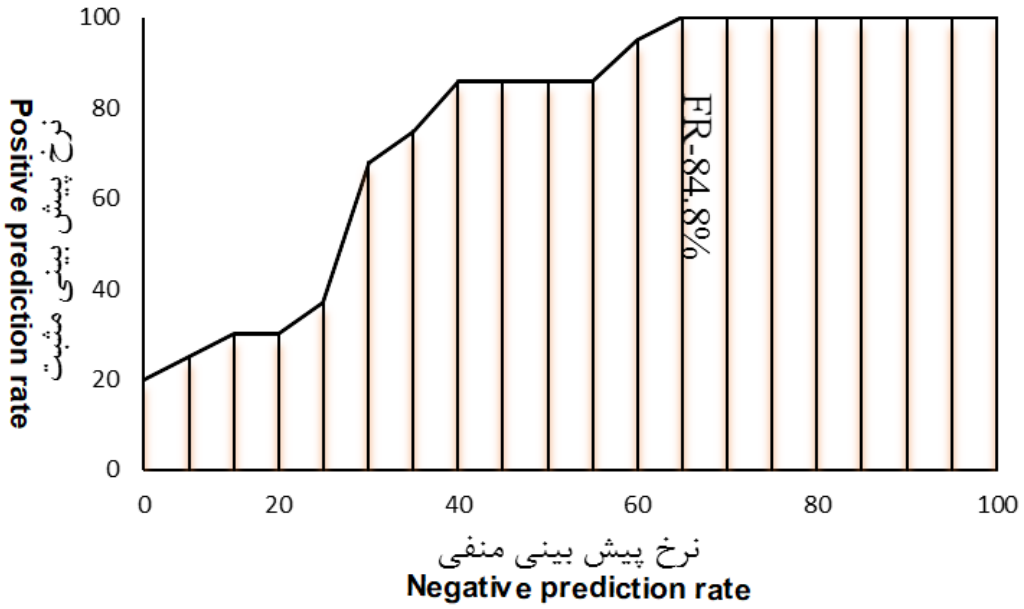
جدول ۲- امتیاز حساسیت به سیل در زیرحوضه‌های مختلف واقع در حوزه آبخیز خیاوچای
Table 2. Flood susceptibility score in different sub-basins located in the Khiav Chai watershed

طبقات Classes	امتیاز Score	مساحت (هکتار) Area (ha)	زیرحوضه Sub-basin	طبقات Classes	امتیاز Score	مساحت (هکتار) Area (ha)	زیرحوضه Sub-basin
Mid	39	392.55	13	Very high	45	201.64	1
Low	31	33.62	14	Mid	36	407.78	2
Low	33	697.19	15	Low	34	937.11	3
Mid	40	867.50	16	Mid	37	1023.69	4
Mid	37	989.28	17	Mid	39	567.36	5
Very low	31	1323.83	18	Mid	39	942.87	6
Mid	36	616.45	19	Low	32	116.72	7
Very low	32	490.18	20	Low	34	324.60	8
Low	33	533.11	21	Low	34	436.12	9
Very high	46	1158.96	22	Mid	38	338.25	10
Mid	39	392.55	23	Mid	39	325.23	11
Low	31	33.62	24	Mid	39	380.24	12

اعتبارسنجی نقشه حساسیت به سیل

نتایج حاصل از اعتبارسنجی نقشه حساسیت به سیل با استفاده از منحنی ROC در شکل (۶) ارائه شده است. بر اساس نتایج ارائه شده، تعیین مناطق سیل‌خیز بر اساس تلفیق امتیازهای عوامل موثر تعیین شده است. در تحقیق حاضر که در یک آبخیز سیل‌خیز در استان اردبیل انجام شده است، زیرحوزه‌های پایین‌دست که محل تجمع رواناب تولیدی از بالادست هستند، حساس تشخصی داده شده اند. در این راستا پیشنهاد می‌شود که در آبخیزهای بحرانی، اقدامات لازم در خصوص حفاظت از جاده، تاسیسات صورت گیرد. همچنین اجرای اقدامات کنترل فرسایش کناره رودخانه‌ای در اطراف رودخانه خیاوچای که ار مجاورت اراضی باغی و زمین‌های آبی عبور می‌کند ضروری است. نتایج نشان می‌دهد که ۸۴/۸ درصد از نقاط حساس به سیل به‌طور صحیح پیش‌بینی شده‌اند. در این پژوهش روش تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی و مناطق سیلابی مشاهداتی در سیل‌های رخ داده روش مناسبی برای تعیین میزان خطر سیل سایر مناطق ارزیابی شد که در مطالعات پالارد و همکاران (۲۶)، پورقاسمی و همکاران (۲۹) و گلشن و همکاران (۱۳) به صحت روش احتمالاتی نسبت فراوانی اشاره شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.1.8]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.1]



شکل ۶- صحت نقشه حساسیت به سیل با استفاده از منحنی ROC
Figure 6. The accuracy of the flood susceptibility map using the ROC curve

نتیجه‌گیری کلی

در تحقیق حاضر، نقشه حساسیت به سیل با استفاده از مدل نسبت فراوانی احتمالاتی در حوزه آبخیز خیاوچای، اردبیل تهیه شد. با استفاده از روش نسبت فراوانی امتیاز مربوط به هر سلول در ۱۰ پارامتر مورد بررسی و در نهایت با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS امتیاز کلی برای هر سلول تعیین شد. امتیازات به‌دست آمده در محدوده ۳۶ تا ۹۵ قرار گرفتند که کم‌ترین امتیاز مربوط به مناطقی با حساسیت خیلی پایین و بیش‌ترین امتیاز مربوط به مناطقی با حساسیت بسیار زیاد است که برای نشان دادن بهتر حساسیت مناطق مختلف نقشه حساسیت به سیل‌خیزی منطقه در پنج کلاس طبقه‌بندی شد و مناطق واقع در هر طبقه تعیین شدند. طبقات خیلی حساس و حساس در پایین‌دست حوضه و نزدیک به محدوده شهری قرار دارد که نشان‌دهنده بالا بودن خطر سیل در این مناطق است. نتایج نشان داد که طبقات ارتفاعی پایین و کم شیب واقع در خروجی آبخیز خیاوچای اردبیل جزء مناطق حساس به سیل‌گیری هستند چون محل تجمع رواناب تولیدی در بالادست هستند. باید اشاره شود که شیب بالای کناره رودخانه خیاوچای و نیز کاربری اراضی دیم باعث افزایش سیل‌خیزی در زیرحوزه‌های دارای اولویت بالا هستند. مناطق حساس به وقوع سیلاب در طبقه ارتفاعی (۲۳۰۰-۱۳۷۲ متر) و شیب کم‌تر از ۱۲ درصد هستند. علاوه براین، فاصله از رودخانه کم‌تر از ۱۰۰۰ متر نیز دلیل دیگری در راستای حساسیت مناطق به وقوع سیلاب است. با توجه به بالا بودن خطر سیل در این مناطق کاربری‌های مسکونی متفرقه در این مناطق آسیب‌پذیری بیش‌تری دارند. حفظ حریم رودخانه و انجام عملیات مختلف آبخیزداری به‌منظور هدایت جریان در این مناطق می‌تواند خسارت‌های احتمالی ناشی از وقوع سیل را کاهش دهد. نقشه حساسیت به سیل ارائه شده می‌تواند مبنای اولویت‌بندی مناطق سیل‌خیر و نیز اقدامات کنترلی در راستای مدیریت سیلاب است. در این راستا پیشنهاد می‌شود که در آبخیزهای بحرانی، اقدامات لازم در خصوص حفاظت از جاده، تاسیسات صورت گیرد. هم‌چنین اجرای اقدامات کنترل فرسایش کناره رودخانه‌ای در اطراف رودخانه خیاوچای که ار مجاورت اراضی باغی و زمین‌های آبی عبور می‌کند ضروری است. نتایج نشان می‌دهد که ۸۴/۸ درصد از نقاط حساس به سیل به‌طور صحیح پیش‌بینی شده‌اند که صحت روش نسبت فراوانی در ارزیابی و تعیین مناطق حساس به وقوع سیل را تائید می‌نماید. یکی از محدودیت‌های روش استفاده شده در این تحقیق، وجود نقاط مشاهداتی سیل‌گیری گذشته جهت ارزیابی نتایج است و طبیعی است که در مناطق بدون آمار محدودیت استفاده خواهد داشت. از مزیت‌های مدل نسبت فراوانی، امکان استفاده از متغیرهای متعدد موثر در ارزیابی سیل‌گیری و حساسیت به سیلاب است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.1.8]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.1]

منابع

1. Abdi, P. 2005. Analysis the flooding potential in Zanjan roud with SCS method and Geographical information system. Watering and Drainage National committee. Technical workshop coexists with floods (In Persian).
2. Arabameri, A., A. Seyed Danesh, M. Santosh, A. Cerda, S.Ch. Pal, O. Ghorbanzadeh, P. Roy and I. Chowdhuri. 2022. Flood susceptibility mapping using meta-heuristic algorithms, Geomatics, Natural Hazards and Risk, 13:1, 949-974, DOI: 10.1080/19475705.2022.2060138
3. Ayu, A. 2016. Prevalence of Post-Traumatic stress disorder and substance abuse among victims of Flood disaster in Markurdi Local government area, Benue State Ph.D. Dissertation.
4. Center for Research on the Epidemiology of Disaster 2005. The OF DA/CRED International Disaster Data Base. Brussels, Belguim: School of Public Health, University Catholique de Louvain. http:/www.emdat.net/.
5. Choubin, B., E. Moradi, M. Golshan, J. Adamowski, F. Sajedi-Hosseini and A. Mosavi. 2019. An ensemble prediction of flood susceptibility using multivariate discriminant analysis, classification and regression trees, and support vector machines. Science of the Total Environment, 651: 2087-2096.
6. Darabi, H., K. Shahedi and M. Mardian. 2016. Flood susceptibility and probability mapping using frequency ratio method in Pol-Doab Shazand Watershed. Journal of Management and Engineering Watershed, 8(1): 68-79 (In Persian).
7. Das, S. and A. Gupta. 2021. Multi-criteria decision based geospatial mapping of flood susceptibility and temporal hydro-geomorphic changes in the Subarnarekha basin, India. Geoscience Frontiers, 12(5): 101206. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101206.
8. Esfandiary Darabad F, S, Layeghi S, R, Mostafazadeh and Kh. Haji. 2021. The zoning of flood risk potential in the Ghotorchay watershed with ANP and WLC multi-criteria decision making methods. Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards, 8(2):135-150 (In Persian).
9. Esfandyari Darabad, F. and Z. Samadi. 2015. Investigation and analysis of floods in Khiav Chai river basin. Iranian Conference on Geographical Sciences, Ardabil University, 5 pp (In Persian).
10. Esmali, A. and Kh. Abdollahi. 2011. Soil conservation and watershed management. University of Mohaghegh Ardabili Press, 575 pp (In Persian).
11. Fernandez, D.S. and M.A. Lutz. 2010. Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, Using GIS and Multicriteria Decision Analysis. Research Engineering Geology, 111(1-4): 90-98.
12. Golshan, M. 2018. The comparison of runoff and sediment in the point and regional scales using of watershed hydro-geomorphologic characteristics. Ph.D. Dissertation, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, 130 pp (In Persian).
13. Golshan, M., A. Esmaliouri and Kh. Khosravi. 2017. Flood susceptibility using frequency ratio model in Talar watershed. Journal of Natural Environmental Hazards, 7(15): 1-16 (In Persian).
14. Greenwood, A.J.B., G. Schoups, E.D. Campbell and N.J.L. Patrick. 2014. Bayesian scrutiny of simple rainfall–runoff models used in forest water management. Journal of Hydrology, 512: 344-365.
15. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. 2002. World disaster report (2012) Available: www.ifrc.org/ publicat/wdr2002/Chapter8. Asp. Accessed, 2006 Mar 13.
16. Kavian, A., M. Golshan and Z. Abdollahi. 2017. Flow discharge simulation based on land use change predictions. Environmental Earth Sciences, 76(16): 588-604 (In Persian).
17. Khosroshahi, M. and B. Saghafian. 2008. Spatial prioritization of flood-prone areas is a solution for flood control and watershed management operations in watersheds. Agricultural Sciences and Natural Resources, 2(12): 128-138 (In Persian).
18. Lee, M.J., J.E. Kang and S. Jeon. 2012. Application of frequency ratio model and validation for predictive flooded area susceptibility mapping using GIS. In Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2012 IEEE International (pp. 895-898). IEEE.
19. Management and Planning Organization. 2001. Office of Technical Affairs and Standards Development, River Flood Control Guide (Structural Methods), 242 p (In Persian).
20. Manandhar, B. 2010. Flood plain analysis and risk assessment of Lothar Khola, MSc Thesis, Tribhuvan University, Institute of Forestry, Pokhara.
21. Morelli, S., A. Battistini and C. Filippo. 2014. Rapid assessment of fl ood susceptibility in urbanized rivers using digital terrain data: Application to the Arno river case study (Firenze, northern Italy). Applied Geography, 54: 35-53.
22. Mostafazadeh, R., A, Sadoddin, A, Bahremand, V.B. Sheikh and A. ZareGarizi. 2017. Scenario analysis of flood control structures using a multi-criteria decision making technique in Northeast Iran. Natural Hazards, 87(3): 1827-1846. DOI: 10.1007/s11069-017-2851-1
23. Mostafazadeh, R. and S. Mehri. 2016. Trends in Variability of Flood Coefficient in River Gauge Stations of Ardabil Province, Iran. Journal of Watershed Management Research, 9(17): 1-13 (In Persian).
24. Nazaripouya, H. 2019. Evaluation of factor analysis method in prioritizing flood in northern Sub-basins of Alvand Hamedan. Journal of Watershed Management Research, 10(20): 49-61(In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.1.8]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.1]

25. Opolot, E. 2013. Application of remote sensing and geographical information systems in flood management, SAET, 6(10): 1884-1984.
26. Pallard, B., A. Castellarin and A. Montanari. 2009. A look at the links between drainage density and flood statistics, Hydrology and Earth System Sciences, 13(1): 1019-1029.
27. Pandey, M., A. Arora, A. Arabameri, R. Costache, N. Kumar, V.N. Mishra, H. Nguyen, J. Mishra, M.A. Siddiqui, Y. Ray, S. Soni and U.K. Shukla. 2021. Flood Susceptibility Modeling in a Subtropical Humid Low-Relief Alluvial Plain Environment: Application of Novel Ensemble Machine Learning Approach. Frontiers in Earth Science, 9: DOI: 10.3389/feart.2021.659296
28. Pham, B.T., A. Jaafari, T.V. Phong, H.P.H. Yen, T.T. Tuyen, V.V. Luong, H.D. Nguyen, H.V. Le, and L.K. Foong. 2021. Improved flood susceptibility mapping using a best first decision tree integrated with ensemble learning techniques, Geoscience Frontiers, 12(3): 101105. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.11.003
29. Pourghasemi, H.R., H.R. Moradi, M.S. Fatemi Aghdas, C. Gokceoglu and B. Pradhan. 2012. GIS-based landslide susceptibility mapping with probabilistic likelihood ratio and spatial multi-criteria evaluation models (North of Tehran, Iran). Arabian Journal of Geosciences, 7: 1857-1878.
30. Pradhan, B., U. Hagemann, M.Sh. Tehrany and P. Nikolas. 2014. An easy to use ArcMap based texture analysis program for extraction of flooded areas from TerraSAR-X satellite image, Computers and Geosciences, 63: 34-43.
31. Razavi, A. 2007. Principle of Water Resources Privacy. First Edition. University of Water and Power Industry Publications. Tehran (In Persian).
32. Rezaei Moghaddam M.H., M.R. Rajabi, R. Daneshfarza and M. Keirizadeh. 2015. Zonation and investigating the morphological effects of flooding on Zarrineh-Roud River (From Sariqamish to Noruzlu Dam). Geography and Environmental Hazards, 17: 1-20 (In Persian).
33. Roughani, M., M. Ghafouri and M. Tabatabaei. 2007. An innovative methodology for the prioritization of sub-catchments for flood control. Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 9: 79-87 (In Persian).
34. Saghafian, B., H. Farazjoo, A. Sepehry and A. Najafinejad. 2006. Effects of land use change on floods in Golestan Dam drainage basin. Iran Water Resources Research, 2(1): 18-28 (In Persian).
35. Shafapour Tehrany, M., B. Pradhan and J. Mustafa-Neamah. 2014. Flood susceptibility mapping using novel ensemble weights of evidence and support vector machine models in GIS. Journal of Hydrology, 512: 332-343.
36. Shafapour Tehrany, M., B. Pradhan, M. Shattri and A. Noordin. 2015. Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types Catena, 125: 91-101.
37. Shafapour Tehrany, M., L. Kumar, M.N. Jebur and F. Shabani. 2019. Evaluating the application of the statistical index method in flood susceptibility mapping and its comparison with frequency ratio and logistic regression methods, Geomatics, Natural Hazards and Risk, 10(1): 79-101, DOI: 10.1080/19475705.2018.1506509.
38. Wang, Y., Z. Fang, H. Hong, R. Costache and X. Tang. 2021. Flood susceptibility mapping by integrating frequency ratio and index of entropy with multilayer perceptron and classification and regression tree. Journal of Environmental Management, 298: 112449. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112449.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.1.8]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.1]

Flood Susceptibility Mapping using the Frequency Ratio Method in Khiav Chai Watershed, Ardabil

Reza Joudi[1], Abazar Esmali Ouri[2], Raoof Mostafazadeh[3] and Mohammad Golshan[4]

1- M.Sc. Watershed Management Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2- Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, and Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Iran,
(Corresponding Author: esmaliouri@uma.ac.ir)
3- Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, and Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Iran
4- Ph.D. Watershed Management, Natural Resources and Watershed Management Office, Astara, Guilan, Iran
Received: 3 November 2020 Accepted: 6 June 2022

Extended Abstract

Introduction and Objective: The severity and frequency of floods, depends on watershed characteristics, including shape, slope, drainage density and terrain parameters. Also, hydrological characteristics such as rainfall, storage, interception, infiltration, and anthropogenic activities can intensify or reduce the flood losses. Determining flood-prone and flood-prone areas is a prerequisite for flood management planning and damage.

Material and Methods: This study was conducted to assess the flood susceptibility of Khiavachai sub-watersheds located in the west of Ardabil province with an area of 12,680 hectares using frequency ratio method. Parameters of elevation, slope, land curvature, topographic wetness index, distance from rivers, direction, drainage density, hydrological soil group, geology and land use were used to assess flood sensitivity and prioritize sub-watersheds. The spatial map of selected parameters was prepared in raster format. Then, according to the historical flood events, the spatial location of 107 flood points in the area was determined. The observed flood event points were randomly divided into groups consisting of 74 points (70%) for calibration and 33 points (30%) for validation. Then, by comparative analysis between the occurrence of previous floods and environmental parameters affecting the occurrence of floods, the impact weight of each class of parameters was obtained. Finally, a flood probability map of the study area was obtained.

Results: According to the flood potential map, flood susceptibility of Khiavachai watershed was shown as five classes with very high, high, medium, low and very low levels. The results showed that the sub-watersheds (1 and 2) adjacent to the outlet of the basin have the highest flood sensitivity. In other words, flooding of sub-watersheds located downstream of Khiavachai watershed is due to runoff accumulation and high flood prone due to the impact of other variables of slope and rainfed agricultural land use.

Conclusion: Protecting the river and carrying out various watershed management operations to convey the flow in these areas can reduce the potential damage caused by floods. The proposed flood sensitivity map can be the basis for prioritizing flood areas as well as control measures for flood management. Therefore, watershed management measures to control floods in this area are more important.

Keywords: Critical watersheds, Flood probability, Flooding susceptibility, Prioritization, Soil and water conservation

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.1.8]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.1]