

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هفتم، شماره ۱۵، بهار ۱۳۹۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۱۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۱/۲۶

صفحات: ۱۶ - ۱

ارزیابی حساسیت به سیل حوضه آبخیز تالار با استفاده از مدل نسبت فراوانی احتمالاتی

محمد گلشن^۱، ابادر اسمعیلی عوری^{۲*}، خهبات خسروی^۳

چکیده

سیل می‌تواند تأثیر مخربی بر حوضه‌های آبخیز و زندگی انسان داشته باشد، بنابراین برای مدیریت سیل نیاز به آگاهی از وضعیت مناطق سیل‌گیر می‌باشد. این تحقیق جهت ارزیابی حساسیت به سیل حوضه آبخیز تالار با وسعت ۲۰۶۷ کیلومتر مربع انجام شده است. بدین منظور از فراسنج‌های طبقات ارتفاعی، شیب زمین، انحنای زمین، شاخص رطوبت توپوگرافی، قدرت رود، میانگین بارندگی، فاصله از رودخانه، گروه هیدرولوژیکی خاک، حداکثر عمق خاک و کاربری اراضی استفاده شد. نقشه‌های رقمی کلیه فراسنج‌ها با استفاده از نرم-افزارهای مربوطه تهیه شدند و در نهایت به فرمت رستری تبدیل شدند. در گام بعدی با توجه به سیلاب‌های قبلی رخ داده در منطقه مطالعاتی موقعیت جغرافیایی ۱۳۵ نقطه سیل‌گیر در منطقه تعیین شد. این مجموعه نقاط به صورت تصادفی به گروه‌هایی متشکل از ۹۳ نقطه برای واسنجی و ۴۲ نقطه برای اعتبارسنجی تقسیم شدند. سپس با تجزیه و تحلیل‌های مقایسه‌ای بین موقعیت رخداد سیلاب‌های قبلی و فراسنج‌های محیطی مؤثر بر وقوع سیلاب‌ها، وزن تأثیر هر کلاس از فراسنج‌ها به دست آمد. در نهایت نقشه احتمال سیل منطقه مورد مطالعه توسط روش نسبت فراوانی تهیه شد. بر اساس نقشه استعداد سیل‌گیری، حساسیت به سیل حوضه آبخیز تالار به صورت ۵ کلاس با حساسیت خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم نشان داده شد. نتایج نشان داد روش نسبت فراوانی با دقت ۸۰ درصد از قابلیت بالایی در شناسایی مناطق حساس به وقوع سیل در حوزه آبخیز تالار برخوردار می‌باشد.

واژگان کلیدی: حساسیت به سیل، سامانه اطلاعات جغرافیایی، استعداد سیل، نسبت فراوانی، حوضه تالار.

^۱- m.golshan1@sanru.ac.ir

^۲- esmaliouri@uma.ac.ir

^۳- khabat.khosravi@gmail.com

^۱- دانشجوی دکتری، گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

^۲- دانشیار، گروه آبخیزداری، دانشگاه محقق اردبیلی (نویسنده مسئول)

^۳- دانشجوی دکتری، گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقدمه

رشد سریع شهرسازی و تغییر اقلیم در سال‌های اخیر منجر به مشکلات متعدد زیست محیطی و افزایش بلایای طبیعی شده است. سیل جزء آن دسته از حوادث طبیعی است که به‌عنوان بلایای طبیعی قلمداد شده است (ثروتی و همکاران ۱۳۹۰، اسمیت و پتلی^۱ ۲۰۰۹). 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 نمی‌باشند (آیو^۲ ۲۰۱۵). همواره طغیان آب و سرازیر شدن آن به اماکن مسکونی، از جمله حوادث طبیعی شایع در ایران پس از زلزله است که حیات بشر را به مخاطره می‌اندازد (گزارش ملی پروفیل بلایا و خطرات^۳ ۲۰۱۴)، سیل‌ها در مقیاس جهانی ویرانگرترین فاجعه ملی و عامل بیشترین تعداد مرگ و میر و خسارات هستند. اوپلت^۴ (۲۰۱۳) بیان کرده است که بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ تقریباً ۹۹ میلیون مردم در سال توسط سیلاب در جهان تحت تأثیر قرار گرفته‌اند. کرون^۵ (۲۰۰۲) سیلاب را نتیجه بارش سنگین و ذوب برف که از رودخانه‌ها به سمت سیلاب دشت طغیان کرده و به‌طور موقت اراضی اطراف را بپوشاند، تعریف کرده است. برونزترت^۶ (۲۰۰۳) و چریستنسن^۷ (۲۰۰۳) یکی از دلایل تکرار فراوان این پدیده را عمدتاً در نتیجه شهرسازی در طول رودخانه‌ها و قطع جنگل‌ها می‌دانند. همچنین از مهمترین عوامل حوضه‌ای می‌توان به کاربری اراضی، وضعیت زمین‌شناسی، شیب و شبکه زهکشی و به‌طور کلی عوامل مورفومتریک اشاره نمود (ثقفیان و همکاران ۱۳۸۵، روقانی^۸ و همکاران ۲۰۰۷).

یکی از روش‌های کاهش خطرات سیل پهنه‌بندی سیل می‌باشد که اطلاعات ارزشمندی را در رابطه با طبیعت، سیلاب‌ها و اثرات آن بر اراضی دشت سیلابی و تعیین حریم رودخانه‌ها ارائه می‌دهد (نیک‌نژاد و علیزاده ۱۳۸۵). بسیاری از محققین داخلی و خارجی به مطالعه و تهیه نقشه‌های سیل پرداختند: بشارتی و همکاران (۱۳۸۹) در اولویت‌بندی مکانی مناطق سیل‌خیز در حوضه آبخیز رودک با استفاده از مدل شبیه‌سازی بارش- رواناب (HEC-HMS) نقش کلیه زیرحوضه‌ها در هیدروگراف سیل خروجی تعیین و بر اساس آن اولویت‌بندی را انجام دادند. خیری‌زاده و همکاران (۱۳۹۱) استعداد خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز مردق چای را با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه^۹ پهنه‌بندی کردند و نتیجه گرفتند ۵ درصد از سطح حوضه در خطر وقوع سیلاب بسیار زیاد و حدود ۲۷ درصد از سطح حوضه در خطر وقوع سیلاب زیاد است. این مناطق بیشتر در قسمت‌های پایین دست حوضه واقع شده‌اند. نامبردگان به استناد نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیل حوضه، سیل‌خیزی بیشتر مناطق پایین دست را به پیوستن هم‌زمان دبی حاصل از دو شعبه اصلی حوضه مورد مطالعه نسبت دادند. پرادهان^{۱۰} (۲۰۰۹) نقشه سیل‌خیزی و

1- Smith and Petley

2- Ayu

3- Report of disaster and risk profile, Iran Islamic

4- Opolot

5- Kron

6- Bronstert

7- Christensen

8- Roughani

9- Analytic Network Process

10- Pradhan

محدوده‌های خطر سیل را با استفاده از داده‌های شیب، توپوگرافی، شبکه زهکشی، خاک، پوشش زمین، مقدار بارش، مقدار تجمع جریان و سیل‌های تاریخی را به‌وسیله تصاویر ماهواره‌ای به‌صورت لایه‌های رقومی تهیه کرد. از هم‌پوشانی لایه‌های مذکور و استخراج ضرایبی مناطق سیل‌خیز را در چهار دامنه خطر بالا، متوسط، کم و بدون خطر سیل تعیین کرد. تهرانی و همکاران (۲۰۱۴) بر اساس وقوع سیل‌های گذشته و فراسنج‌های مؤثر بر وقوع آن‌ها با استفاده از روش‌های ترکیبی مانند درخت تصمیم‌گیری، رگرسیون لجستیک و ماشین بردار پشتیبان به شناسایی نقاط سیل‌گیر پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها حاکی از آن بود که روش‌های وزن‌دهی شواهد^۱ و تابع شعاعی پایه-ماشین بردار پشتیبان^۲ با بیشترین صحت، به‌ترتیب، دارای سطح زیر منحنی^۳، ۹۶/۴۸ و ۹۵/۶۷ درصد در ارزیابی استعداد سیل به‌عنوان روش‌های برگزیده در منطقه مورد مطالعه انتخاب شدند. روش‌های هیدرولوژیکی مختلفی برای ارزیابی سیل-خیزی حوضه‌های آبخیز وجود دارد که از آن جمله می‌توان به مدل‌های بارش-رواناب (IHACRES, HEC-HMS)، ANUGA و WBNM اشاره کرد (کنل^۴ و همکاران، ۲۰۰۵). روش‌های سنتی مدل‌سازی بارش-رواناب برای آنالیز-های جامع رودخانه‌ها و مناطق تحت مشکل آب‌گرفتگی، مناسب نیستند. یکی از دلایل اصلی محدودیت مدل‌های بارش-رواناب، نیاز مبرم آن‌ها جهت جمع‌آوری داده‌های مختلف است. از این رو به‌دلیل کمبود داده در اکثر حوضه-های آبخیز، بسیاری از محققین (واندرز^۵ و همکاران ۲۰۱۳، تهرانی و همکاران ۲۰۱۳، پرادهان و همکاران ۲۰۱۴، پالارد^۶ و همکاران ۲۰۰۹) برای مطالعات هیدرولوژیکی و سیل‌خیزی به استفاده از تجزیه و تحلیل‌های مکانی در قالب سامانه اطلاعات جغرافیایی روی آورده‌اند. بنابراین از روش‌های به‌کاربرده شده که طی سال‌های اخیر به‌منظور بررسی و تعیین نقشه‌های استعداد سیل مورد استفاده قرار گرفته می‌توان روش نسبت فراوانی احتمالاتی^۷، آنالیزهای چند متغیره آماری، وزن‌دهی شواهد، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، روش ماشین بردار پشتیبان و درخت تصمیم‌گیری را ذکر کرد (تهرانی و همکاران ۲۰۱۴، مورلی^۸ و همکاران ۲۰۱۴، گرینود^۹ و همکاران ۲۰۱۴). در این مطالعه بعد از تهیه فراسنج‌های مؤثر در سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز اقدام به وزن‌دهی این فراسنج‌ها شد و با توجه به سیل‌های رخ داده در منطقه مطالعاتی و روش نسبت فراوانی اقدام به تعیین سیل‌خیزی مناطق مختلف حوضه آبخیز تالار شد.

داده‌ها و روش پژوهش

منطقه مورد مطالعه

1- weights of evidence

2- Radial Base Function-Support vector machine

3- Area Under Curve

4- Knebl

5- Wanders

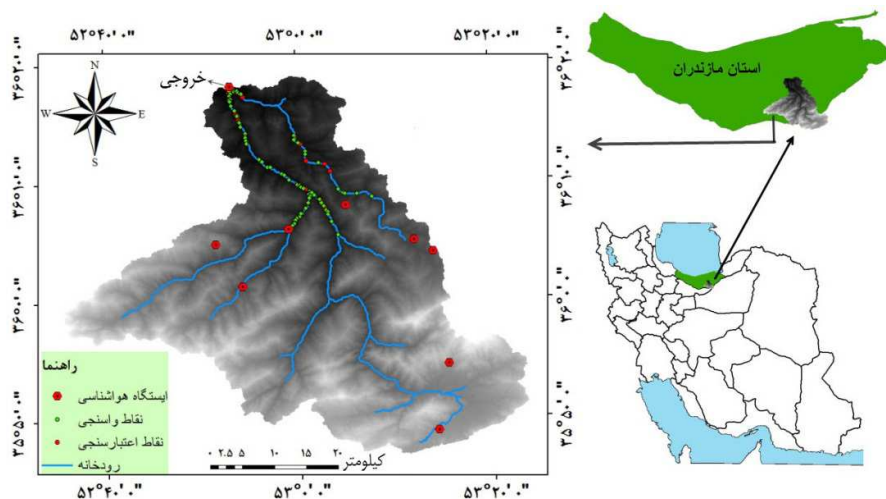
6- Pallard

7- Probably Frequency Ratio Method

8- Morelli

9- Greenwood

حوضه آبخیز تالار با مساحت ۲۰۵۷ کیلومتر مربع و با محیط ۳۶۹ کیلومتر از حوضه‌های استان مازندران می‌باشد که از لحاظ مختصات جغرافیایی بین ۵۲° ۵۹' تا ۵۳° ۳۹' طول شرقی و ۳۵° ۷۸' تا ۳۶° ۳۱' عرض شمالی واقع شده است. ارتفاع حداقل حوضه ۶۰ متر و ارتفاع حداکثر حوضه ۳۸۹۰ متر از سطح دریا می‌باشد که در اقلیم معتدل و مرطوب کشور قرار گرفته است (صالحی و همکاران ۱۳۹۴). میانگین بارندگی درازمدت حوضه آبخیز تالار ۷۲۹ میلی‌متر در سال و میانگین دبی درازمدت حوضه ۱۴/۳ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد (یوسفی و همکاران ۱۳۹۳). طول آبراهه اصلی ۱۵۱/۷۷ کیلومتر می‌باشد که از جنوب حوضه منشأ گرفته و از شمال غربی حوضه تخلیه می‌شود (معنوی‌امری و همکاران ۱۳۹۲).



شکل ۱: نقشه موقعیت حوضه آبخیز تالار

انتخاب فراسنج‌های مؤثر در نقشه استعداد سیل

در تحقیق حاضر با توجه به مطالعات انجام شده (رحمتی و همکاران ۲۰۱۶، تهرانی و همکاران ۲۰۱۴، لی^۱ و همکاران ۲۰۱۲) نقشه عامل‌های طبقات ارتفاعی، درصد شیب، انحنای زمین، شاخص رطوبت توپوگرافی، قدرت رود^۲، میانگین بارندگی، فاصله از رودخانه، زمین‌شناسی و کاربری اراضی به‌عنوان عامل‌های مؤثر در وقوع سیل در حوضه آبخیز تالار به‌منظور تهیه نقشه استعداد سیل تهیه شدند.

نقشه طبقات ارتفاع زمین بر اساس مدل رقومی ارتفاع (با قدرت تفکیک ۳۰ متر) تهیه و به ۱۰ کلاس تقسیم‌بندی شد. نقشه شیب زمین به‌دلیل تأثیر مستقیم بر رواناب سطحی، یکی از عوامل مهم در وقوع سیل حوضه‌های آبخیز به‌شمار می‌رود. این نقشه با تکیه بر مدل رقومی ارتفاع (با قدرت تفکیک ۳۰ متر) بر حسب درجه تهیه و سپس به

^۱ - Lee

^۲ - stream Power Index

پنج کلاس طبقه‌بندی شد. انحنای زمین یکی از فراسنج‌های مکانی مورد نیاز در تهیه نقشه‌های استعداد سیل حوضه‌های آبخیز است (تهرانی و همکاران ۲۰۱۴). نقشه انحنای زمین بر اساس مدل رقومی ارتفاع (با قدرت تفکیک ۲۰ متر) تهیه شد، سپس به سه کلاس انحنای مقعر، انحنای محدب و بدون انحنای طبقه‌بندی شد. شاخص رطوبت توپوگرافی^۱ و شاخص قدرت رود با توجه به تأثیرگذار بودن در ایجاد و حمل رواناب از شاخص‌های مؤثر بر وقوع سیل در حوضه‌های آبخیز به‌شمار می‌روند (تهرانی و همکاران ۲۰۱۳، پورقاسمی و همکاران ۲۰۱۴). شاخص‌های رطوبت توپوگرافی و قدرت رود با توجه به رابطه زیر تعریف می‌شوند. برای تهیه این نقشه‌ها از نرم‌افزار (SAGA GIS 2) استفاده شد. نقشه‌های حاصله با توجه به خصوصیات هیدرولوژیکی منطقه به ۵ کلاس تقسیم‌بندی شد.

$$TWI = \ln\left(\frac{A_s}{\tan\beta}\right) \quad (1)$$

$$SFI = A_s \tan\beta \quad (2)$$

که در آن A_s سطح ویژه حوضه آبخیز و β شیب زمین (بر حسب درجه) می‌باشند. به‌منظور تهیه نقشه میانگین بارندگی حوضه، از داده‌های آماری روزانه سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۲ در ۹ ایستگاه باران-سنج موجود در داخل حوضه به‌صورت سالانه میانگین گرفته شد و از روش کریجینگ برای تهیه نقشه استفاده شد، سپس نقشه بارندگی منطقه مورد مطالعه به پنج کلاس تقسیم شد. در جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی حوضه آبخیز تالار

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)
شیرگاه	۴۰۱۹۰۹۷	۶۶۹۲۷۴	۲۲۰	درزیکلا	۳۹۹۵۴۳۱	۶۹۸۰۸۶	۱۳۸۳
پل سفید	۴۰۰۰۷۴۷	۶۸۷۴۶۲	۶۱۰	سنگده	۳۹۹۳۶۵۱	۷۰۱۱۳۱	۱۵۳۷
تل	۳۹۹۶۸۶۱	۶۷۸۵۳۸	۱۲۲۱	چاشم	۳۹۷۶۲۲۴	۷۰۳۴۴۹	۲۲۹۵
آلاشت	۳۹۹۲۹۲۶	۶۶۶۶۰۴	۱۷۸۹	بشم بن	۳۹۶۵۶۵۲	۷۰۱۹۶۲	۲۴۷۲
پلند	۳۹۸۷۸۶۵	۶۷۱۴۰۹	۱۲۲۵				

فاصله از رودخانه‌ها یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در سیل‌گرفتگی زمین‌های حاشیه رودخانه‌ها می‌باشد (تهرانی و همکاران ۲۰۱۵). نقشه مذکور با استفاده از دستور بافر چند لایه^۲ تهیه و به هفت کلاس تقسیم شد. گروه هیدرولوژیکی خاک و عمق خاک به‌دلیل تأثیر مستقیم بر میزان نفوذپذیری و رواناب سطحی، از عوامل مهم دیگر در پدیده سیل حوضه‌های آبخیز می‌باشد که اطلاعات مربوط به این فراسنج‌ها از گزارش خاک‌شناسی سازمان منابع

1- Topographic Wetness Index

2- Multiple Ring Buffer

طبیعی و آبخیزداری استان مازندران (۱۳۸۷) جمع‌آوری شدند. سپس به صورت نقشه رستری و با اندازه سلول ۸۴ متری تهیه و نقشه‌های حاصل به ترتیب به سه و پانزده کلاس طبقه‌بندی شدند. کاربری اراضی نتیجه روابط متقابل فراسنج‌های اجتماعی- فرهنگی و توان بالقوه سرزمین است. تغییرات در کاربری و پوشش اراضی نتایج چشمگیری در استعداد سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز دارد (محمد اسماعیل ۱۳۸۹). نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز تالار با استفاده از تصویر سنجنده لندست ۷ (تهیه شده از سایت USGS) ایجاد شد. نقشه کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال و طبقه‌بندی نظارت شده در محیط نرم افزاری (ENVI 5.1) به پنج کلاس طبقه‌بندی شد.

بررسی وقوع سیل‌های گذشته

برای برآورد سیل‌های آینده در منطقه مورد مطالعه، تجزیه و تحلیل رخداد گذشته سیلاب‌ها ضروری می‌باشد (مناندهار^۱ ۲۰۱۰). حوضه آبخیز تالار به دلیل توپوگرافی آن، بالا بودن بارش، تجاوز به حریم رودخانه‌ها، ریزش کوه و غیره دارای سیلاب‌های زیادی می‌باشد. مثلاً در طغیان سال ۱۳۹۴ علت اصلی طغیان رودخانه تالار تغییر کاربری اراضی و استفاده نامناسب از معادن گزارش شد. برای تعیین حساسیت به سیل مناطق با توجه به سیلاب‌های رخ داده در منطقه، مختصات ۱۳۵ نقطه سیل‌گیر در منطقه مطالعاتی تعیین شد. این مجموعه به صورت تصادفی به یک گروه متشکل از ۹۳ نقطه برای واسنجی و یک گروه متشکل از ۴۲ نقطه برای اعتبارسنجی تقسیم شدند. موقعیت نقاط سیل‌گیر در شکل ۱ ارائه شده است.

روش نسبت فراوانی

نسبت فراوانی، احتمال ظهور یک ویژگی یا پدیده‌ای خاص است یا به عبارت دیگر این روش سطح همبستگی بین موقعیت‌های سیلاب‌ها را مشخص می‌نماید. هرچقدر مقدار این 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. نسبت فراوانی برای یک طبقه یا کلاس مشخص از یک عامل معین (مثلاً شیب) از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$FR = \frac{A/B}{C/D} \quad (۳)$$

FR همان نسبت فراوانی است که بیانگر میزان تأثیر هر کلاس از هر فراسنج می‌باشد. A تعداد سیلاب‌ها در کلاس مورد نظر، B تعداد کل سیلاب‌های موجود در منطقه، C تعداد پیکسل‌های کلاس مورد نظر و D تعداد کل پیکسل‌های مربوط به عامل مربوطه (مثلاً شیب) می‌باشد.

شاخص استعداد وقوع سیل برای یک سلول، برابر مجموع نسبت فراوانی آن سلول در تمام عامل‌ها می‌باشد. اگر تعداد M عامل مؤثر وجود داشته باشد، شاخص حساسیت وقوع سیل (FPI) به صورت زیر به دست می‌آید:

^۱ - Manandhar

$$(i=1,2,\dots,M) FPI_{FR} = \sum_{i=1}^M FR_i \quad (4)$$

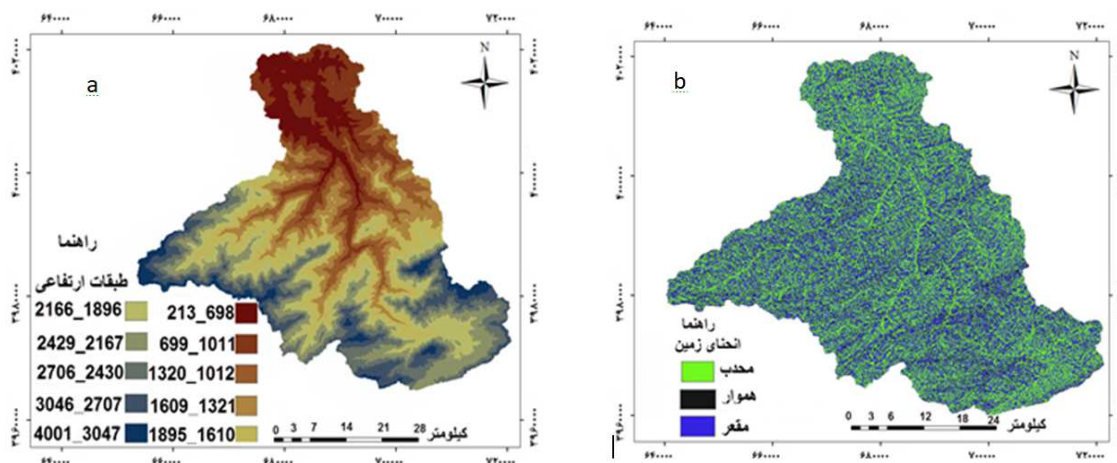
در نهایت نرخ‌های به‌دست‌آمده برای هر کلاس با استفاده از این روش در سامانه اطلاعات جغرافیایی^۱ برای لایه‌های مربوطه اعمال شد و با استفاده از روش محاسبات رستری^۲ نقشه پیش‌بینی استعداد احتمال سیل حوضه آبخیز تالار به‌دست آمد.

اعتبارسنجی نقشه‌های پیش‌بینی استعداد سیل

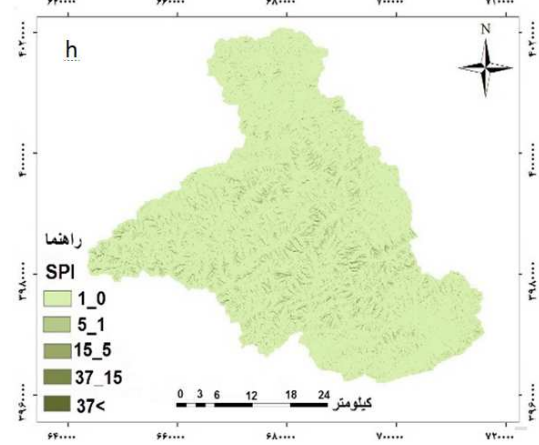
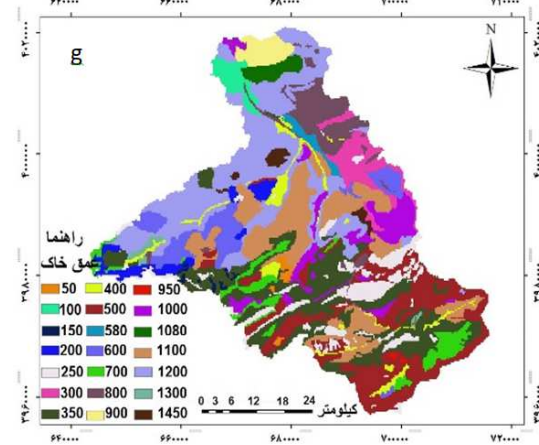
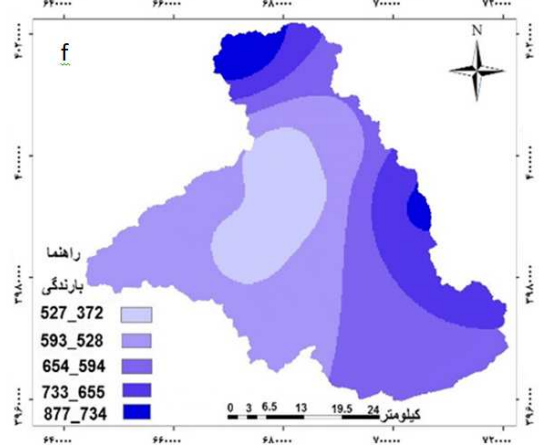
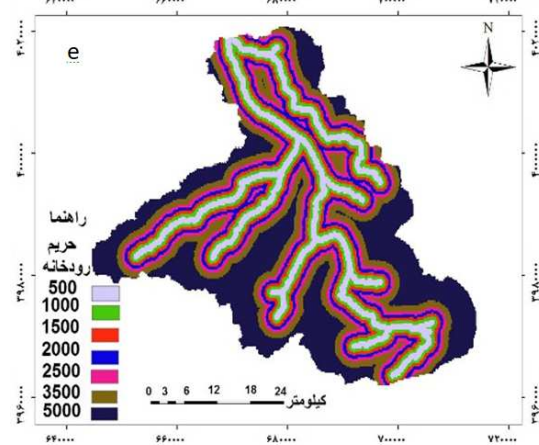
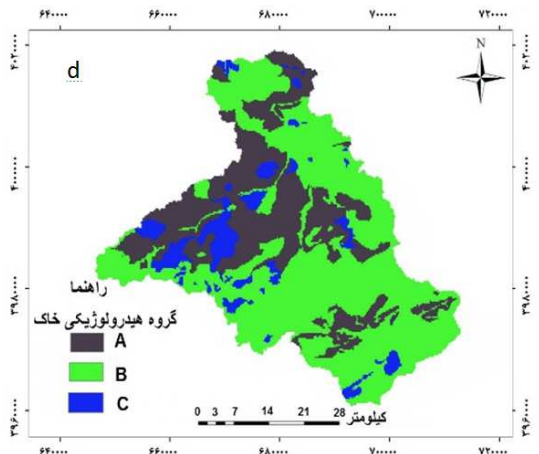
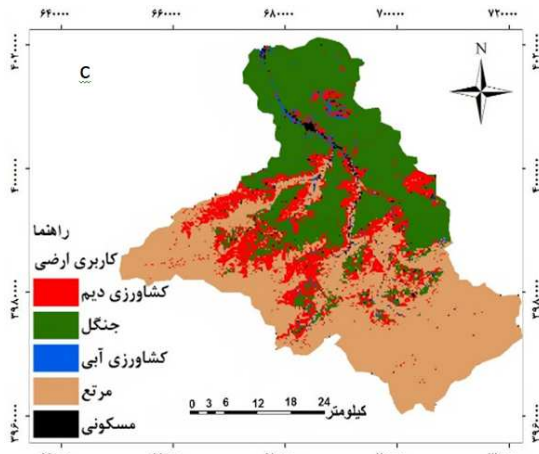
به‌منظور اعتبارسنجی نقشه پیش‌بینی استعداد سیل به‌دست آمده از مجموعه نقاط تعیین شده برای اعتبارسنجی نقشه استفاده شدند. در این مرحله ۴۲ نقطه در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی با نقشه حساسیت سیل روی هم‌گذاری شدند، سپس با استفاده از دستور نمونه‌برداری^۳ هر کدام از نقاط که در کلاس‌های نقشه پیش‌بینی قرار گرفتند نمونه‌برداری شدند و بدین ترتیب صحت‌سنجی نقشه پیش‌بینی انجام شد و با استفاده از هیستوگرام فراوانی وقوع نقاط سیل‌گیر مشخص شد.

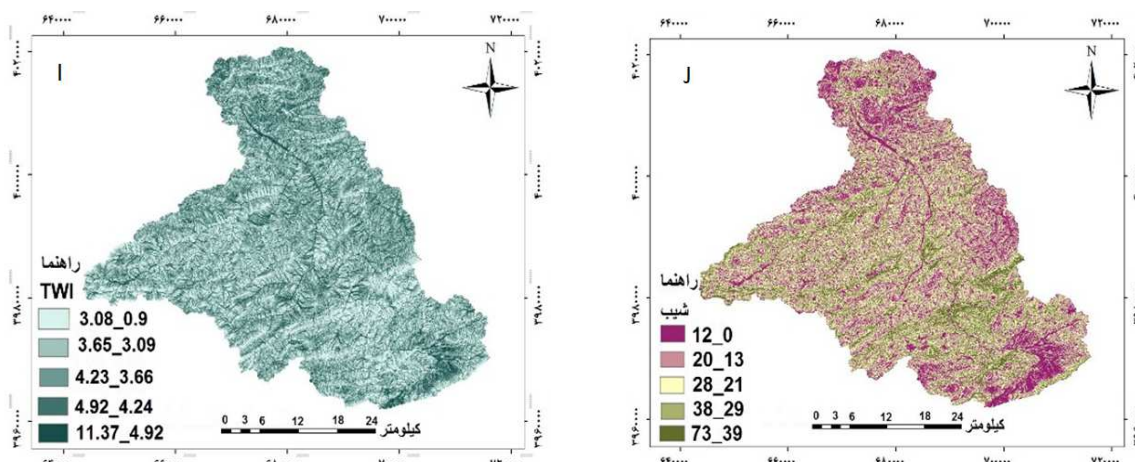
یافته‌های پژوهش

نقشه فراسنج‌های ورودی روش نسبت فراوانی شامل طبقات ارتفاعی، شیب، انحنای زمین، شاخص رطوبت توپوگرافی، قدرت رود، میانگین بارندگی، فاصله از رودخانه، عمق خاک، گروه هیدرولیکی خاک و کاربری اراضی در شکل‌های زیر ارائه شده است.



1- Geographical Information System
 2- Raster Calculator
 3- Sample





شکل ۲: نقشه‌های وروی: (a) انحنای زمین، (b) طبقات ارتفاعی، (c) کاربری اراضی، (d) گروه هیدرولوژیکی خاک، (e) فاصله از رودخانه، (f) شاخص بارندگی، (g) حداکثر عمق خاک، (h) شاخص قدرت رود، (i) شاخص رطوبت توپوگرافی، (j) شیب.

وزن تأثیر هر کلاس از فراسنج‌های مؤثر در استعداد سیل

با تجزیه و تحلیل‌های مقایسه‌ای بین موقعیت وقوع سیل‌های گذشته و فراسنج‌های محیطی مؤثر بر وقوع سیل وزن تأثیر هر کلاس از فراسنج‌ها به دست آمد (جدول ۲ و ۳). در منطقه مورد مطالعه از لحاظ خصوصیات فیزیکی طبقات ارتفاعی اول و دوم (۱۰۱۱-۲۰۱۳)، شیب ۰-۱۲ درصد، فاصله از رودخانه ۵۰۰-۱۵۰۰ متر، انحنای سطح دارای استعداد سیل‌خیزی قابل توجهی می‌باشند که با مطالعات لی و همکاران (۲۰۱۲) و مناندهار (۲۰۱۰) مطابقت دارد. تأثیرگذاری کلاس بارندگی ۲۷۲-۶۰۰ میلی‌متر بر استعداد سیل‌خیزی با یافته‌های تهرانی و همکاران (۲۰۱۴) و تأثیرگذاری کاربری اراضی کشاورزی دیم با مطالعات اوپلت (۲۰۱۳) همخوانی دارد.

جدول ۲: نسبت فراوانی بین وقوع سیل‌های گذشته (۱۳۸۸) و فراسنج‌های فیزیوگرافی و خاکشناسی

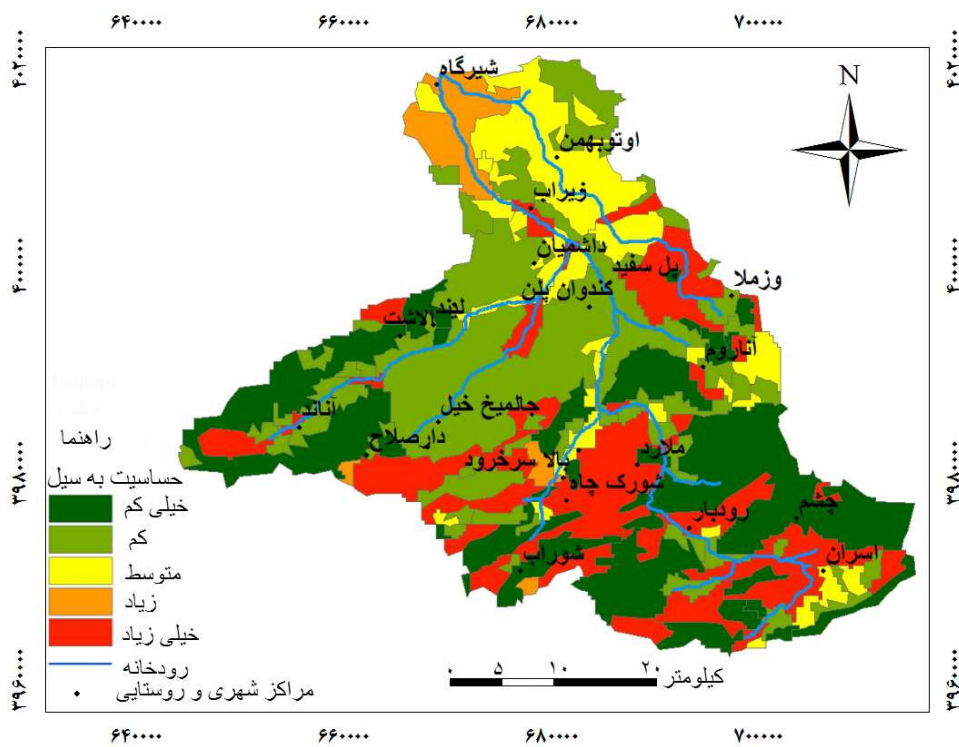
عامل	کلاس	درصد پیکسل‌ها	تعداد وقوع سیل	درصد وقوع سیل	وزن تأثیر
طبقات ارتفاعی (m)	۲۱۳-۶۹۸	۸/۷۱	۵۲	۵۵/۹۱	۶/۴۲
	۶۹۹-۱۰۱۱	۱۱/۲۷	۴۱	۴۴/۰۹	۳/۹۱
	۱۰۱۲-۱۳۲۰	۹/۶۶	-	-	-
	۱۳۲۱-۱۶۰۹	۱۱/۲۳	-	-	-
	۱۶۱۰-۱۸۹۵	۱۰/۷۹	-	-	-
	۱۸۹۶-۲۱۶۶	۱۲/۰۰	-	-	-
	۲۱۶۷-۲۴۲۹	۱۲/۶۱	-	-	-
	۲۴۳۰-۳۰۴۷	۱۱/۶۶	-	-	-
	۳۰۴۷-۴۰۰۱	۸/۵۱	-	-	-
شیب (درصد)	۰-۱۲	۱۸/۹۳	۷۴	۷۹/۵۶	۴/۲۰
	۱۳-۲۰	۲۹/۰۶	۱۳	۱۳/۹۸	۰/۴۸
	۲۱-۲۸	۲۶/۰۸	۵	۵/۳۷	۰/۲۱
	۲۹-۳۸	۱۸/۷۵	۱	۱/۰۷	۰/۰۶
	> ۳۹	۷/۱۷	۰	۰	۰
انحنای زمین	انحنای محدب	۹/۷۴	۲	۲/۱۵	۰/۲۲
	تخت (بدون انحنای)	۴۵/۵۳	۷۲	۷۷/۴۲	۱/۷
	انحنای مقعر	۴۴/۷۳	۱۸	۱۹/۳۵	۰/۴۳
فاصله از رودخانه (m)	۰-۵۰۰	۱۱/۹۱	۳۵	۳۷/۶۳	۳/۱۶
	۵۰۱-۱۰۰۰	۱۱/۳۲	۲۸	۳۰/۱۱	۲/۶۶
	۱۰۰۱-۱۵۰۰	۱۰/۹۷	۳۰	۳۲/۲۶	۲/۹۴
	۱۵۰۱-۲۰۰۰	۱۰/۴۹	-	-	-
	۲۰۰۱-۲۵۰۰	۹/۲۰	-	-	-
	۲۵۰۱-۳۵۰۰	۱۵/۴۷	-	-	-
	۳۵۰۱-۵۰۰۰	۳۰/۶۴	-	-	-
گروه هیدرولوژیکی خاک	A	۳۲/۱۳	۹	۹/۶۸	۰/۳۰
	B	۵۹	۶۴	۶۸/۸۱	۱/۱۷
	C	۸/۸۶	۲۰	۲۱/۵۰	۲/۴۳
عمق خاک	۰-۵۰	۰/۴۴	۱۰	۱۰/۷۵	۲۴/۲۷
	۵۱-۱۰۰	۱/۶۷	-	-	-
	۱۰۱-۱۵۰	۰/۳۷	۲۷	۲۹/۰۳	۷۷/۴۹
	۱۵۱-۲۰۰	۲/۱۸	-	-	-
	۲۰۱-۲۵۰	۶/۱۴	۱۰	۱۰/۷۵	۱/۷۵
	۲۵۱-۳۰۰	۳/۵۲	۱۵	۱۶/۱۳	۴/۵۹
	۳۰۱-۳۵۰	۱۴/۷۱	۱۹	۲۰/۴۳	۱/۳۹
	۳۵۱-۴۰۰	۲/۷۲	۱	۱/۰۸	۰/۳۹
	۴۰۱-۴۵۰	۱۲/۹۲	۱۱	۱۱/۸۳	۰/۹۱
	۴۵۱-۵۰۰	۰/۷۹	-	-	-
	۵۰۱-۱۴۵۰	۵۴/۵۲	-	-	-

جدول ۳: نسبت فراوانی بین وقوع سیل‌های گذشته و فراسنج‌های هیدرولوژیکی و کاربری اراضی

عامل	کلاس	درصد پیکسل‌ها	تعداد وقوع سیل	درصد وقوع سیل	وزن تأثیر
میانگین بارندگی (mm)	۲۷۲-۵۰۰	۶/۹۸	۲۹	۳۱/۱۸	۴/۴۷
	۵۰۱-۵۹۳	۳۶/۱۱	۲۶	۲۷/۹۶	۰/۷۷
	۵۹۴-۶۵۴	۳۲/۲۶	۵	۵/۳۸	۰/۱۷
شاخص رطوبت توپوگرافی	۶۵۵-۷۳۸	۲۰/۰۲	۵	۵/۳۸	۰/۳۷
	۷۳۹-۸۷۷	۴/۶۳	۲۸	۳۰/۱۱	۶/۵۰
	۰/۹-۳/۰۸	۱۹/۹۶	۱	۱/۰۷	۰/۰۵
شاخص قدرت رود	۳/۰۸۱-۳/۶۵	۳۴/۴۰	۵	۵/۳۷	۰/۱۶
	۳/۶۵۱-۴/۲۳	۲۷/۱۷	۱۶	۱۷/۲	۰/۶۳
	۴/۲۳۱-۴/۹۲	۱۴/۷۳	۴۵	۴۸/۳۹	۳/۲۸
شاخص قدرت رود	۴/۹۲۱-۱۱/۳۷	۳/۷۲	۲۶	۲۷/۹۵	۷/۵۰
	۰-۱۲۳۵۶	۸۹/۴۹	۸۱	۸۷/۱	۰/۹۷
	۱۲۳۵۷-۵۵۶۰۳	۹/۱	۱۱	۱۱/۸۳	۱/۳۰
کاربری اراضی	۵۵۶۰۴-۱۵۴۴۵۳	۱/۱۹	۱	۱/۰۷	۰/۹۰
	۱۵۴۴۵۴-۳۷۰۶۸۷	۰/۱۹	-	-	-
	۳۷۰۶۸۸-۱۵۷۵۴۲۰	۰/۰۲	-	-	-
کاربری اراضی	جنگل	۳۴/۱۵	۶	۶/۴۵	۰/۱۹
	کشاورزی آبی	۱/۲۶	۳۷	۳۹/۷۸	۳۱/۴۳
	کشاورزی دیم	۱۵/۵۵	۱۴	۱۵/۰۵	۰/۹۷
	مرتع	۴۷/۵۸	۲۶	۲۷/۹۶	۰/۵۹
مسکونی	۱/۴۶	۱۰	۱۰/۷۵	۷/۳۸	

تهیه نقشه پیش‌بینی استعداد سیل

درنهایت وزن‌های به‌دست‌آمده برای هر کلاس در لایه‌های مربوطه اعمال شد و با استفاده از تابع روی هم‌گذاری محاسبات رستری نقشه حساسیت به وقوع سیل برای حوضه آبخیز تالار به‌دست آمد (شکل ۳).

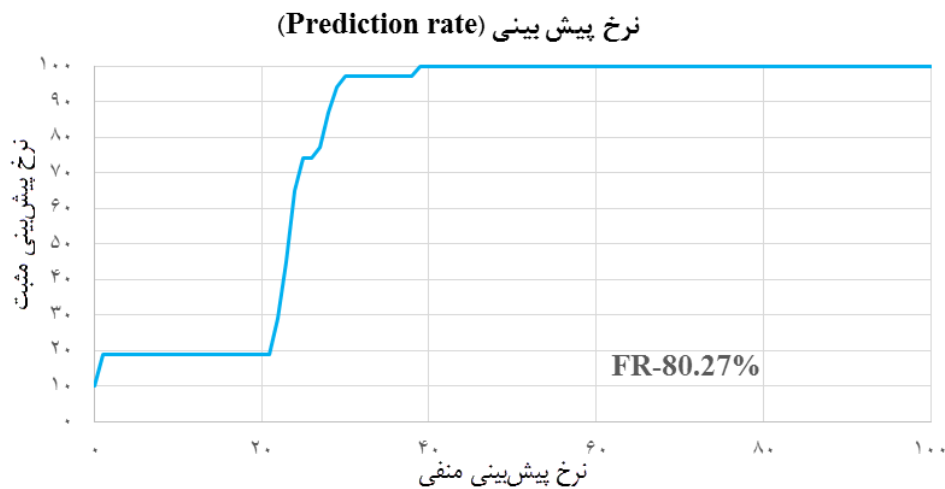


شکل ۳: نقشه کلاس‌های حساسیت سیل در حوضه آبخیز تالار مازندران

ارزیابی دقت نقشه پیش‌بینی استعداد سیل

به‌منظور ارزیابی دقت نقشه پیش‌بینی استعداد سیل، از ۴۲ واقعه سیل مربوط به دوره‌های گذشته استفاده شد. نتایج ارزیابی دقت مدل به‌صورت منحنی راک^۱ در شکل ۴ ارائه شده است. هر چه منحنی ترسیم شده از خط مرجع دورتر باشد و سطح زیر نمودار بیشتر باشد آزمون انجام شده دقیق‌تر می‌باشد. نتایج منحنی راک در این ارزیابی نشان داد که ۸۰/۲۷ درصد از نقاط سیل‌خیز به‌طور صحیح پیش‌بینی شده‌اند. در این تحقیق رویکرد تجزیه و تحلیل فراسنج-های محیطی و مناطق آسیب‌دیده در سیل‌های گذشته روشی بسیار مناسب در ارزیابی خطر سیل و شناسایی مناطق دارای استعداد سیل‌گرفتگی است که با نتایج پژوهش پالارد و همکاران (۲۰۰۹) و پورقاسمی (۲۰۱۲) مطابقت دارد.

^۱- Roc



شکل ۴: ارزیابی صحت نقشه حساسیت سیل در حوضه آبخیز تالار با منحنی راک

نتیجه گیری

حوضه آبخیز تالار با اقلیم معتدل و مرطوب در جنوب شرقی استان مارزندان واقع شده است که با توجه به دخالت‌ها انسان و تغییرات ایجاد شده، سیل‌های مخربی در این حوضه اتفاق می‌افتد. بنابراین جهت مدیریت مناسب سیل لازم است تا حساسیت مناطق مختلف حوضه آبخیز نسبت به سیل بررسی شود. روش‌های مختلفی برای تعیین حساسیت به سیل وجود دارد که در این تحقیق از مدل نسبت فراوانی احتمالاتی (PFRM) استفاده شد. برای این منظور از موقعیت ۱۳۵ نقطه سیل‌گیر استفاده شد. نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل حاکی از دقت مناسب مدل در شناسایی مناطق دارای استعداد سیل‌گرفتگی در حوضه آبخیز تالار می‌باشد. همچنین نتایج پیش‌بینی نشان داد که فراسنج‌های شیب، ارتفاع، انحنای زمین، بارندگی، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه، توان حمل رودخانه و شاخص رطوبت توپوگرافی بر توان و استعداد سیل‌گرفتگی اراضی تأثیرگذار بوده و به‌کارگیری آن‌ها در مدل‌های احتمالاتی ارزیابی استعداد سیل مفید می‌باشد. ساز و کار تشکیل سیل و سیل‌گرفتگی اراضی در قالب واکاوی‌های مکانی قابل‌تعمیم به سایر نقاط حوضه آبخیز است. رویکرد ارائه شده در این تحقیق در واقع کاربرد برخی متغیرهای مؤثر بر وقوع سیل می‌باشد که این فراسنج‌ها برآیند عوامل مختلف محیطی و انسانی است. بنابراین بر اساس نقشه پیش‌بینی خطر سیل ارائه شده، می‌توان اقدامات مدیریتی مناسبی جهت کاهش خسارت‌ها و تلفات ناشی از سیل انجام داد. پیشنهاد می‌شود از سایر روش‌های معمول مانند رگرسیون لجستیک، روش ماشین بردار پشتیبان، وزن‌دهی شواهد، درخت تصمیم‌گیری و غیره استفاده شود تا نتایج حاصل از آن‌ها با اطمینان بیشتری در کارهای مدیریتی و اجرایی مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

- بشارتی طاهر؛ سلیمانی کریم؛ قنبرپور محمدرضا؛ خسروشاهی محمد (۱۳۸۹). اولویت بندی مناطق مستعد سیلاب توسط شبیه‌سازی مدل بارش-رواناب HEC-HMS. مجله مدیریت حوزه آبخیز، سال اول، شماره دوم، صص ۵۲-۶۴.
- ثروتی محمدرضا؛ رستمی اکبر؛ خدادادی فاطمه (۱۳۹۳). امکان سنجی وقوع سیل در حوضه آبخیز لیان چای مراغه به روش CN. مجله جغرافیایی سرزمین، دور هشتم، شماره سی و دوم، صص ۸۱-۶۷.
- ثقفیان بهرام؛ فرازجو حسن؛ سپهر عادل؛ نجفی نژاد علی (۱۳۸۵). ارزیابی تغییرات کاربری اراضی بر سیل‌خیزی حوضه آبخیز سد گلستان، مجله تحقیقات منابع آب ایران، دوره اول، شماره دوم، صص ۲۸-۱۸.
- خیری‌زاده منصور؛ ملکی جبرائیل؛ آمونیا حمید (۱۳۹۱). پهنه‌بندی خطر سیلاب توسط مدل ANP در حوضه آبخیز مردقچای، مجله پژوهش‌های ژئومرفولوژی کمی، دوره سوم، صص ۵۶-۳۹.
- صالحی صادق؛ سلیمانی کریم؛ پاک‌نژاد زهرا (۱۳۹۴). تحلیلی بر نگرش دانشجویان نسبت به تغییرات اقلیمی، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال نوزدهم، شماره پنجاه و چهارم، صص ۱۸۷-۱۷۱.
- معنوی‌امری سیدمحسن؛ ملکیان آرش؛ شاهد، کاکا؛ معتمدوزیری بهارک (۱۳۹۲). ارزیابی کارایی روش‌های ماسکینگام و ات-کین اصلاح شده در روندیابی سیل، مجله مدیریت حوزه آبخیز، شماره هشتم، صص ۱۱۹-۱۰۶.
- محمداسماعیل زهرا (۱۳۸۹)، پایش تغییرات کاربری اراضی در کرج توسط سنجش از دور، موسسه تحقیقات آب و خاک، دوره بیست و چهارم، صص ۸۸-۸۱.
- نیک نژاد داود؛ علیزاده عزت‌الله (۱۳۸۵). مطالعه سیلاب و کنترل آن در دو حوضه منتهی به دریاچه ارومیه، کارگاه فنی همزیستی با سیلاب، تهران، نیروگاه طرشت.
- یوسفی صالح؛ مرادی حمیدرضا؛ تلوری عبدالرسول؛ وفاخواه مهدی (۱۳۹۳). اثر پوشش گیاهی نگهدارنده بر ریخت‌سنجی بخش شریانی رودخانه تالار، مجله اکوهیدرولوژی، دوره اول، شماره دوم، صص ۱۱۰-۹۹.
- Ayu, Ann. (2015), "Prevalence of post-traumatic stress disorder and substance abuse among victims of flood disaster in Markurdi", Ph.D. Thesis.
- Bronstert, Axel. (2003), "Floods and climate change: interactions and impacts", Risk Analysis Journal, 23(3), 545-557.
- Christensen, Jens. Christensen, Ole. (2003), "Climate modelling: severe summertime flooding in Europe", Nature Journal, 421, 805-806.
- Greenwood, Ashley, Gerrit, Schoups, Edvard, Campbell, Lane, Patrick. (2014), "Bayesian scrutiny of simple rainfall-runoff models in forest water management", Journal of Hydrology, 512, 344-365.
- Knebl, Maral R. Zong Liang, Yang, Keith, Hutchison, David, Maidment. (2005), "Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS", Journal of Environmental Management, 75, 325-336.
- Kron, Wolfgang. (2002), "Flood risk hazard exposure vulnerability", Proceedings of the Flood Defense, New York Ltd.
- Lee, Moung-Jin. Kang, Jung-eun. Jeon, Seongwoo. (2012), "Application of frequency ratio model and validation for predictive flooded area susceptibility mapping using GIS", Korea Adaptation Center for Climate Change, Munich.
- Manandhar, Bikram. (2010), "Flood Plain Analysis and Risk Assessment of Lothar Khola", MSc Thesis, Tribhuvan University, institute of Forestry, Pokhara.
- Morelli, Stefano. Catani, Filippo. (2014), "Rapid assessment of flood susceptibility in urbanized rivers using digital terrain data", Applied Geography, 54, 35-53.
- .Opolot, Emmanuel. (2013), "Application of remote sensing and geographical information systems in flood management", Journal of applied science engineering and technology, 6 (10), 1884-1984.
- .Pallard, Biven. Attilio, Castellarin. Alberto, Montanari. (2009), "A look at the links between drainage density and flood statistics", Hydrology and Earth System Sciences, 13(1), 1019-1029.
- Pourghasemi, Hamidreza. Moradi, Hamidreza. Pradhan, Biswajeet. (2012), "GIS-based landslide susceptibility mapping with probabilistic likelihood ratio and spatial multi-criteria evaluation models", Geosciences, 7, 1857-1878.
- Pradhan, Biswajeet. (2009), "Flood susceptible mapping and risk area delineation use logistic regression, GIS and remote sensing", Spatial Hydrology, 9 (2), 1-18
- Pradhan, Biswajeet. Hagemann, Ulrike. Tehrany, Mahyat-Shafapour. Nikolas, Prechte. (2014), "An easy to use ArcMap based texture analysis program for extraction of flooded areas", Computers and Geosciences, 63, 34-43.

- Rahmati, Omid. Zeinivand, Hossein. Besharat, Mosa. (2016), "Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis", *Journal of Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7 (3), 1000-1017.
- Report of disaster and risk profile, Iran Islamic. 2014, Basic country statistics and indicators Publication.
- Roughani, Mohamad. Ghafouri, Mohamad. Tabatabaei, Mohamadreza. (2007), "An innovative methodology for the prioritization of sub-catchments for flood control", *Journal of Applied Earth Observation and Geo*, 9, 79-87.
- Smith, K., Petley, D.N.(2009). *Environmental hazard, accessing risk and reducing disaster*. Fifth edition. British Library. ISBN 10: 0-203-88480-9.
- Tehrany, Mah-Shafapour. Pradhan, Biswajeet. Jebur, Mustafa. (2013), "Spatial prediction of flood susceptible areas using rule based decision tree and a novel ensemble bivariate and statistical models in GIS", *Hydrology*, 504, 69-79.
- Tehrany, Mahyat-Shafapour. Biswajeet, Pradhan. Jebur, Mustafa-Neamah. (2014), "Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS", *Hydrology*, 512, 332-343.
- Tehrany, Mahyat-Shafapour. Biswajeet, Pradhan. Shattri, Mansor. Noordin, Ahmad. (2015), "Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types", *Catena*, 125, 91-101.
- Wanders, Niko. Marc, Bierkens. deJung Steven. Deroo, Ade. Derek, Karssenber. (2013), "the benefits of using remotely sensed soil moisture in parameter identification of hydrological models", *General Assembly, Vienna, Austria*.

Flood Susceptibility assessments Using Frequency Ratio model in Talar Watershed

Mohamad Golshan¹, Abazar Esmali Ouri*², Khabat Khosravi³

Received: 2016-09-06

Accepted: 2017-04-15

Abstract

Flood can be having devastating effects on watersheds and human life, so, recognize of flood prone areas have a high influences on flood management. The aim of this study is to assessment of flood susceptibility at Talar watershed with an area of 2067 square kilometers. For this purpose some flood conditioning factor such as elevation, land slope, curvature, topographic wetness index, stream power index, average rainfall, distance to the river, hydrologic group of soil, maximum depth of soil, and land-use have been used. Flood conditioning factor have been prepared using related software and then converted to raster format. In the next step the 135 flood location in the study area were determined. These flood location were divided into two groups consisting of 93 locations for calibration and 42 locations, for validation. Then with comparatively analysis between previous floods coordinates and impressive environmental parameters on flood occurrence the probability of flooding for each class of each parameter was calculated. Faunally was obtained the flood risk map of the study area. Based on the flood risk map, the territory was divided to 5 class sensitivity, very high, high, medium, low and very little. The results have been showed that the frequency ratio method with 80% accuracy have high performance in determination of flood prone areas in Talar watershed.

Keywords: Flood probability, GIS, Flood potential, Frequency ratio, Talar Watershed.

¹- PhD Candidate, Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

^{2*}- Assistant Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

esmailiouri@uma.ac.ir

³- PhD Candidate, Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran