



بررسی پتانسیل سیل خیزی حوزه آبخیز کشف رود مشهد بر اساس روش SCS در محیط GIS

محمود اعظمی راد^۱، بیژن قهرمان^۲ و کاظم اسماعیلی^۲

۱- دانشجوی دکتری و دانشیار، گروه علوم مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد، گروه علوم مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، (نویسنده مسؤل: bijangh@um.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۸

چکیده

حوزه کشف رود بخشی از حوزه آبخیز دشت بزرگ قره قوم در شمال شرقی استان خراسان رضوی با وسعت ۸۹۹۶ کیلومتر مربع و زهکش اصلی دشت مشهد بشمار می آید. برای تعیین پتانسیل سیل خیزی در محدوده حوزه کشف رود از روش SCS اصلاح شده، در محیط GIS و براساس مدل رقومی ارتفاع، پهنه بندی توزیع بارش، محاسبه تلفات بارش، نقشه کاربری اراضی و بر مبنای طبقه بندی حوزه های آبخیز تماب درجه ۴ استفاده شده است. داده های هواشناسی، از جمله آمار بارندگی و رگبارها (۲۸ ایستگاه) مربوط به دوره آماری از سازمان های ذیربط دریافت و مورد بررسی قرار گرفت. پس از واسنجی داده ها بر اساس پایه زمانی مشترک ۲۵ سال (سال آبی ۶۸-۱۳۶۷ تا ۹۲-۱۳۹۱) و حذف داده های مشکوک، تطویل دوره آماری و در مواردی به بازسازی داده ها اقدام گردید. لایه های اطلاعاتی مثل نقشه های موقعیت ایستگاه های هواشناسی، توپوگرافی، کاربری اراضی، خاک، پوشش گیاهی، تقسیمات سیاسی استان و تقسیمات حوزه های آبخیز تماب مورد استفاده قرار گرفته است. با دریافت DEM از نقشه های توپوگرافی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و انجام اصلاحات لازم، مرز حوزه و خصوصیات فیزیوگرافی مثل مساحت، محیط، ارتفاع، شیب، زمان تمرکز و ... محاسبه گردید. برآورد CN با استفاده از کاربری اراضی و گروه های هیدرولوژی خاک انجام شد. توزیع مکانی CN برای شرایط رطوبتی مرطوب و با لحاظ نمودن درصد شیب مشخص و پس از برآورد مقدار CN امکان محاسبه مقدار ذخیره سطحی و میزان تلفات اولیه بارش فراهم میگردد. تحلیل رگبارها با استفاده از نرم افزار SMADA و بر اساس تابع توزیع استاندارد (پیرسون تیب ۳) مقدار بارش و رگبار در دوره برگشت های ۲ تا ۱۰۰ ساله مشخص گردید. پس از محاسبه متوسط وزنی ارتفاع رواناب در هر زیرحوزه (۸۶ زیرحوزه)، به منظور تعیین پهنه های سیل خیز حوزه دبی حداکثر سیل (Q_{max}) ناشی از بارش موثر برآورد و نقشه پتانسیل سیل خیزی حوزه ترسیم گردید. از مجموع مساحت حوزه، ۶۸/۲۵ درصد آن دارای پتانسیل سیل خیزی نرمال، ۲۵/۵ درصد بحرانی، ۶/۲۵ درصد دارای پتانسیل سیل خیزی فوق بحرانی است. شهرستان های چناران و مشهد، پتانسیل سیل خیز بالاتری نسبت به سایر شهرستان ها دارند. از مجموع حدود ۶۵۸ روستا، آبادی و مرکز جمعیتی مورد شناسایی درحوزه، ۷۸ درصد روستاها دلیل قرارگیری در مناطق دشتی و کم شیب در پهنه هایی با پتانسیل سیل خیزی نرمال، ۱۷ درصد روستاها در پهنه های با پتانسیل سیل خیزی بحرانی و ۵ درصد روستاهای حوزه بدلیل قرارگرفتن در مناطق مرتفع و شیبدار در پهنه های با پتانسیل سیل خیزی فوق بحرانی قرار دارند.

واژه های کلیدی: پتانسیل سیل خیزی، حوزه آبخیز، سیلاب، حوزه کشف رود، روش SCS

مقدمه

داخل حوزه آبخیز با مشکل مواجه می شود. چه بسا در پاره ای از موارد اقدامات انجام شده تأثیری در تخفیف سیل نداشته است زیرا کانون های تولید سیل و خطرزا در داخل حوزه مشخص نشده است.

تحقیقات و پژوهش هایی که در ارتباط با تعریف شاخص سیل خیزی و تعیین مناطق سیل خیز در نقاط مختلف دنیا انجام شده، حاکی از آن است که روش واحدی برای این موضوع بکارگرفته نشده است. روش هایی که برای تعیین مناطق سیل خیز استفاده شده بیشتر بر پایه روش های نمودار و فرمول های تجربی، تحلیل آماری داده های سیلاب، تفکیک حوزه به زیرحوزه، داده های دورسنجی و GIS و مدل های ریاضی رایانه ای بارش- رواناب بوده و بیشتر از دیدگاه تولید سیل در سطح حوزه ها مطرح شده است (۱۶). در بسیاری از طرح ها و پروژه های آبی برای برآورد سیلاب طراحی و یا مقایسه شرایط سیل خیزی مناطق مختلف در سطح زیرحوزه ها از روش هیدروگراف واحد نیز استفاده می شود. در این روش برای محاسبه حجم و یا دبی حداکثر لحظه ای سیلاب های با

سیل به عنوان یکی از مخاطرات طبیعی و عامل محدودکننده توسعه خصوصا در اراضی حاشیه رودخانه ها محسوب می شود. از این رو مطالعات مربوط به سیل خیزی و مهار سیلاب ها یکی از اهداف مهم در طرح های آبخیزداری و مدیریت منابع آب است. در حوزه های آبخیز شناسایی مناطق دارای پتانسیل سیل خیزی بالا، کمک موثری در برنامه های زیربنایی مربوط به توسعه روستایی، کشاورزی و صنعتی می نماید (۱۴). علاوه بر این آگاهی از وضعیت و شناخت مناطق سیل خیز، کمک به برنامه ریزی به منظور بهره برداری بهینه از منابع طبیعی و کاهش خسارات مالی به بخش های مختلف می گردد. در مطالعاتی که تاکنون برای شناسایی مناطق سیل خیز در داخل یک حوزه انجام گرفته است معمولا حوزه آبخیز با هر وسعتی به عنوان یک واحد هیدرولوژیک تلقی شده است (۲۳). بدین ترتیب تعیین مناطق داخل حوزه که پتانسیل بیشتری در تولید سیل دارند، امکان پذیر نمی شود. لذا عملیات اجرایی و اصلاحی برای پیشگیری و مهار سیلاب در

مقایسات زوجی، با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مشخص شده است.

تحقیق حاضر به منظور دستیابی به تعیین پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه کشف‌رود انجام شده است، بطوریکه با استفاده از نقشه مناطق سیل‌خیز بالادست امکان مدیریت و کنترل سیلاب در آینده شکل مطلوب‌تری به‌خود می‌گیرد، تا از خسارت سیل به ساختمان‌های مسکونی و اراضی زراعی، قنوات و جاده‌های روستائی و شهری و تأسیسات صنعتی و تأسیسات آبیاری و..... موجود در منطقه جلوگیری شود. نقشه‌های خطرپذیری سیلاب می‌توانند ابزار مناسبی برای برنامه‌ریزی‌های شهری در آینده باشند (۹).

مواد و روش‌ها

بررسی موقعیت کلی منطقه مورد مطالعه

رودخانه کشف‌رود از شمال شهر مشهد می‌گذرد و اعتبار تاریخی بسیاری دارد. آثار تاریخی معتبری برحاشیه کشف‌رود هنوز پا برجاست، به عنوان نمونه می‌توان به شهر توس اشاره کرد که در حاشیه رودکشف قرار دارد. این رودخانه بخشی از حوزه آبخیزدشت بزرگ قره‌قوم در شمال شرقی استان خراسان رضوی بوده و زهکش اصلی دشت مشهد به‌شمار می‌آید و در موقعیت طول‌های جغرافیایی $80^{\circ} 21' 58''$ الی $13^{\circ} 59' 59''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $36^{\circ} 40' 14''$ الی $37^{\circ} 10' 58''$ شمالی واقع است. این رودخانه از یک بستر میان‌دشتی استفاده نموده و در دره‌ای واقع بین کوه‌های هزار مسجد از یک سو و بینالود از سوی دیگر جریان می‌یابد و از شمال به خط‌الراس ارتفاعات هزار مسجد، از جنوب به خط‌الراس ارتفاعات بینالود، از شرق به ادامه رودخانه کشف‌رود و شهر سرخس و حوزه‌قره قوم و از غرب به حوزه آبخیز رودخانه اترک شهرستان قوچان با روند عمومی شمال غربی- جنوب شرقی محدود می‌شود (شکل ۱).

وسعت کل حوزه حدود ۸۹۹۶ کیلومتر مربع است که از این میزان ۶۰ درصد از آن در مناطق کوهستانی و ۴۰ درصد آن در مناطق دشتی قرار دارد. دشت مشهد در دره‌ای نسبتاً عریض واقع است، به گونه‌ای که در حدود مشهد عرض آن به ۲۸ تا ۳۰ کیلومتر می‌رسد. حداکثر و حداقل ارتفاع دشت بین ۸۹۰ تا ۱۸۰۰ متر از سطح دریا در نوسان است. بلندترین نقطه در قله رشته کوه بینالود (کوه گود زرد) دارای ۳۲۸۷ متر و بلندترین نقطه رشته کوه هزارمسجد ارتفاع آن ۳۱۵۰ متر می‌باشد. پایین‌ترین نقطه در محل خروجی حوزه (النگ اسدی) با ارتفاع ۸۹۱ متر قرار دارد. شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

دوره برگشت مختلف در هر زیرحوزه، با استفاده از روش SCS محاسبه می‌شود.

قائمی و همکاران (۷)، در یک مطالعه موردی بر روی رودخانه کرخه عمق بارندگی، زمان بارندگی، عمق برف انباشته، شیب و شکل حوزه، جنس زمین و پوشش گیاهی را به‌عنوان عوامل تأثیرگذار بر سیلاب ارائه دادند.

عبدی و رسولی (۱) با استفاده از روش SCS در حوزه آبخیز زنگان رود با تهیه لایه‌های مختلف مطالعاتی از قبیل زمین‌شناسی، کاربری اراضی، گروه‌های هیدرولوژی خاک، CN و لایه منحنی‌های همپاران حوزه با دوره برگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله و همپوشانی لایه‌های مورد نظر نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه را تهیه کردند.

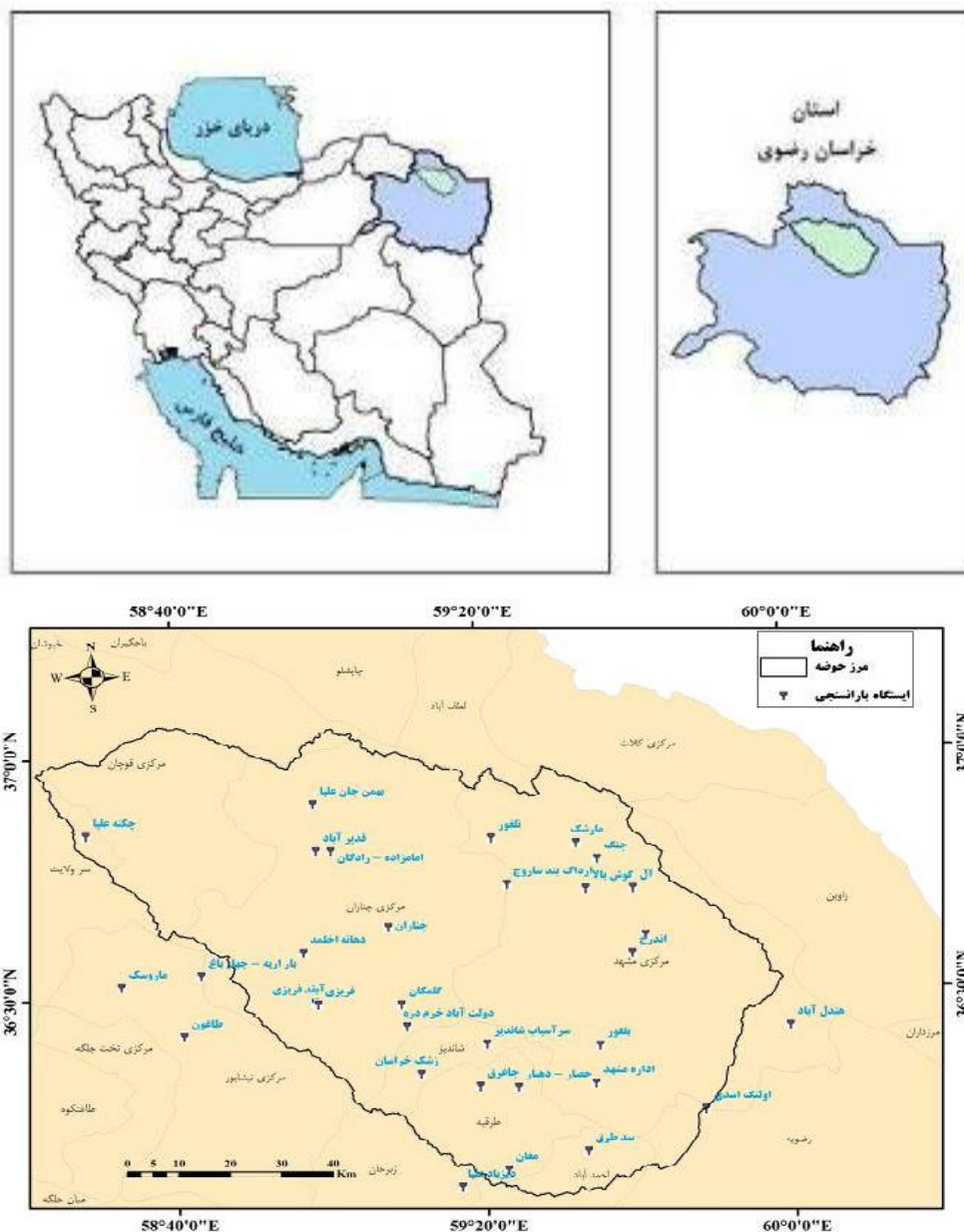
خسروشاهی (۱۵) با استفاده از روش شبیه‌سازی (Simulation) هیدرولوژیکی در تبدیل رابطه بارش رواناب اقدام به پهنه‌بندی سیل‌خیزی در حوزه آبخیز دماوند نمود، نتایج تحقیقات ایشان نشان داد زیرحوزه‌ای که بیشترین کاهش را در دبی خروجی کل حوضه از خود نشان دهد بیشترین سهم را در ایجاد سیل خروجی بعهدده داشته و بعنوان اولویت اول انتخاب می‌شود. بدین ترتیب کلیه زیر حوزه‌ها با توجه به میزان مشارکت آنها در دبی خروجی حوضه اولویت‌بندی می‌شوند.

استفان (۲۵) در حوزه رودخانه سنگ زرد واقع در ایالت مونتانا ای آمریکا به بررسی سیل‌های به وقوع پیوسته در سال‌های ۱۹۹۶ و ۱۹۹۷ پرداخت و سپس اقدام به تعیین پهنه‌های سیل‌گیر در طی این دو سال کرد. و نهایتاً پهنه‌های سیل ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله را تعیین کرد و نتیجه گرفت که تغییر کاربری اراضی بیشترین تأثیر را در ایجاد سیلاب دارند یزدانی مقدم و همکاران (۲۹) برای برآورد دبی حدکثر سیلاب با دوره برگشت‌های مختلف از روش SCS استفاده کردند، نتایج تحقیقات وی نشان داد که تغییر کاربری، شیب زیاد و تخریب پوشش گیاهی از عوامل مؤثر در سیل‌خیزی حوزه‌های کاشان است.

هیل (۵) در مقاله‌ای به قابلیت مدل کامپیوتری EC-GeoRAS و نرم‌افزارهای ArcViewGIS و HEC-RAS پرداخت و در نتایج خود استفاده و کاربرد این ابزار را به عنوان راه کار مناسب پهنه‌بندی خطر سیل بیان کرد.

سلیمانی (۵) براساس مطالعات پهنه‌های سیل‌گیر رودخانه هراز را در سیل‌های با دوره برگشت‌های مختلف به‌عنوان پهنه خطر سیل مطرح نمود.

مهدیان بروجنی و رستم‌زاده (۱۷) در مطالعه‌ای با عنوان ارزیابی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه آبخیز نعل اشکنان در محیط GIS، نخست عوامل مؤثر در پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی شناسایی و وزن هر کدام از معیارها پس از تکمیل پرسشنامه



شکل ۱- نمایی از نقشه موقعیت پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی و موقعیت کلی حوزه کشف‌رود نسبت به سطح کشور و استان خراسان رضوی
Figure 1. Map of the location of weather stations and the position of Kashafrud watershed relative to the country level and Khorasan Razavi province

مرتبط جمع‌آوری و بازخوانی شد. پس از جمع‌آوری آمار و واسنجی داده‌های منطقه براساس دوره پایه زمانی مشترک اقدام به بازسازی و تکمیل آمار شده است. برای آنالیز داده‌های هواشناسی و اطلاعات مربوط به رگبارها از ۳۳ ایستگاه باران‌سنجی، ۸ ایستگاه تبخیرسنجی و ۳ ایستگاه سینوپتیک در سطح ایستگاه‌های داخل و مجاور حوزه استفاده شده است (۲۰).

جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های مورد نیاز

بررسی داده‌های هواشناسی از جمله آمار بارندگی (روزانه، ماهانه و سالانه)، محاسبه تحلیل رگبارها براساس آمار بارندگی ثبت شده روزانه مربوط به یک دوره آماری بر پایه زمانی مشترک ۲۵ ساله منتهی به سال آبی ۹۲-۹۱ (مرکز هواشناسی استان و سازمان هواشناسی کشور و وزارت نیرو) دریافت و مورد بررسی قرار می‌گیرد (۱۵). به منظور جمع‌آوری آمار و اطلاعات موجود در محدوده مطالعاتی کلیه گزارش‌های

از عناصر اصلی در ایجاد مدل‌های هیدرولوژی با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی پس از انجام اصلاحات لازم تهیه شده است. در ادامه پس از تهیه DEM حوزه مطابق شکل ۲ و با کنترل نقشه‌های توپوگرافی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ مرزحوزه و خصوصیات فیزیوگرافی مثل مساحت، محیط، ارتفاع، شیب، زمان تمرکز و شبکه آبراهه‌ها و ... محاسبه گردید. در جدول ۱ برخی از خصوصیات مهم فیزیکی حوزه ارائه شده است. در شکل ۳ نقشه شبکه آبراهه‌های حوزه و رتبه‌بندی آنها نیز نشان داده شده است.

لایه‌های اطلاعاتی متعددی در این تحقیق استفاده شده از جمله: موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی، نقشه‌های توپوگرافی، کاربری اراضی، خاک، پوشش گیاهی (۵). علاوه بر آن لایه‌های دیگری از جمله نقشه تقسیمات سیاسی استان (۵) و تقسیمات حوزه‌های آبخیز تماب (۱۶) در محیط تحلیلی GIS مورد استفاده قرار گرفته است.

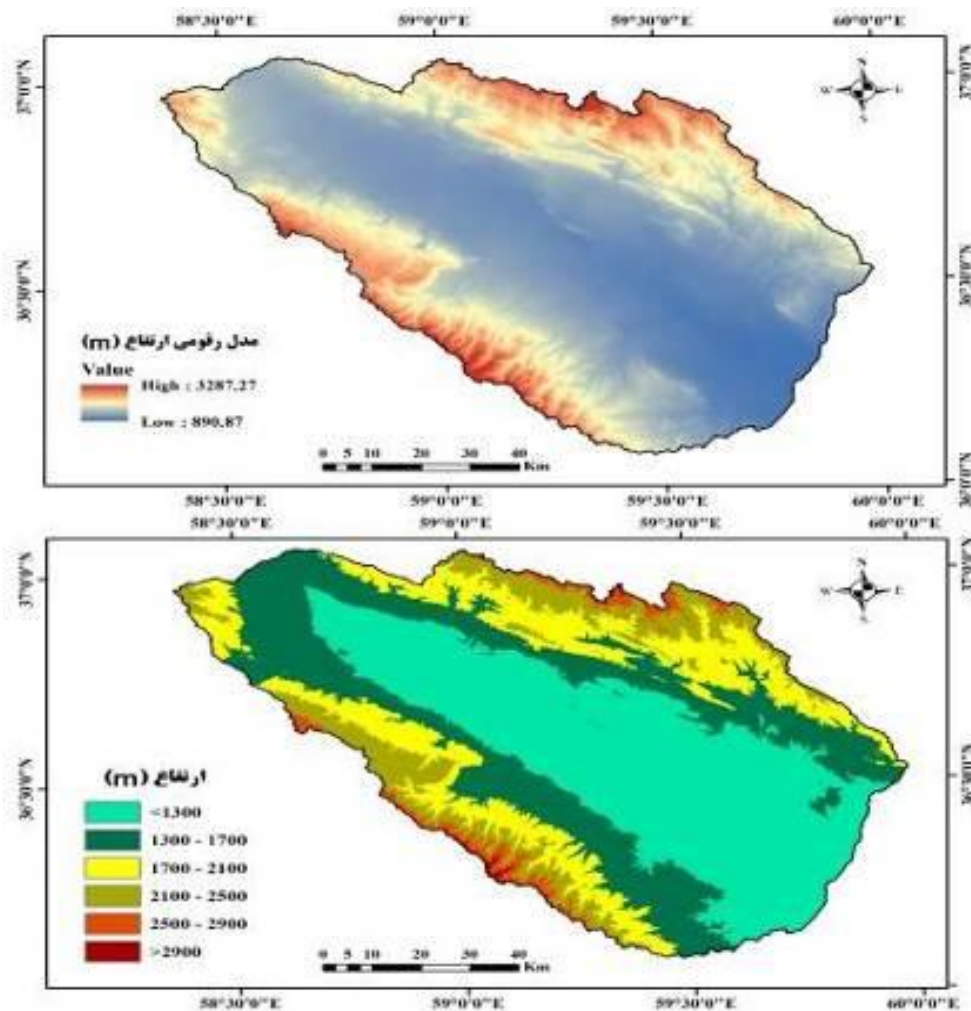
تعیین مرز و پارامترهای فیزیکی حوزه با استفاده از مدل (DEM)

در این تحقیق مدل رقومی ارتفاع (DEM) به‌عنوان یکی

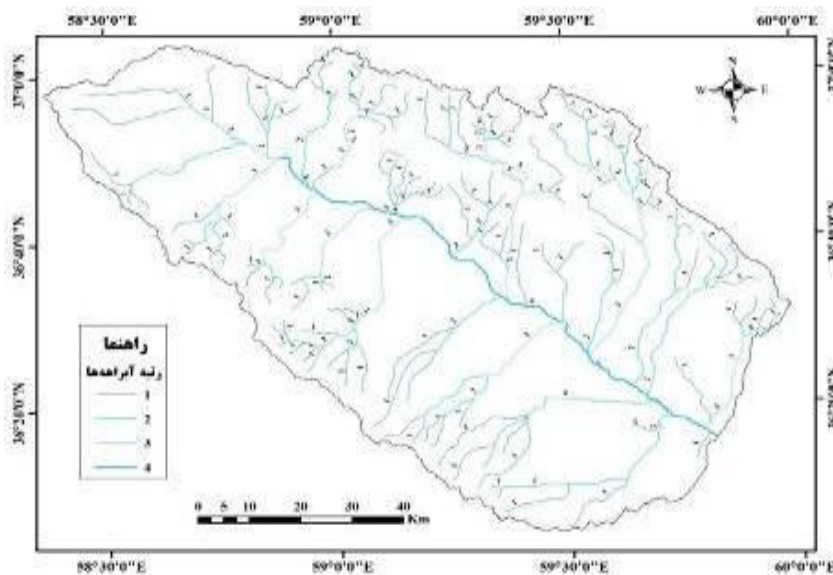
جدول ۱- پارامترهای فیزیکی استخراج شده در حوزه کشف‌رود

Table 1. Physical parameters extracted of Kashafrud watershed

شیب متوسط	ارتفاع حوزه (متر)			نسبت کشیدگی (Re)	ضریب گراویلوس (c)	زمان تمرکز Tc (ساعت)			تراکم زهکشی (Dd)	طول آبراهه اصلی (L)	محیط (P)	مساحت (A)
	متوسط	حداقل	حداکثر			جیاندوتی	کریچ	برانس بای ویلیامز				
۱۴/۵۰	۱۵۳۲	۸۹۱	۳۲۸۷	۰/۷	۱/۴۷	۳۱/۰۹	۱۷/۵۰	۳۷/۸۶	۲/۹۰	۱۶۶/۹	۴۹۸	۸۹۹۶



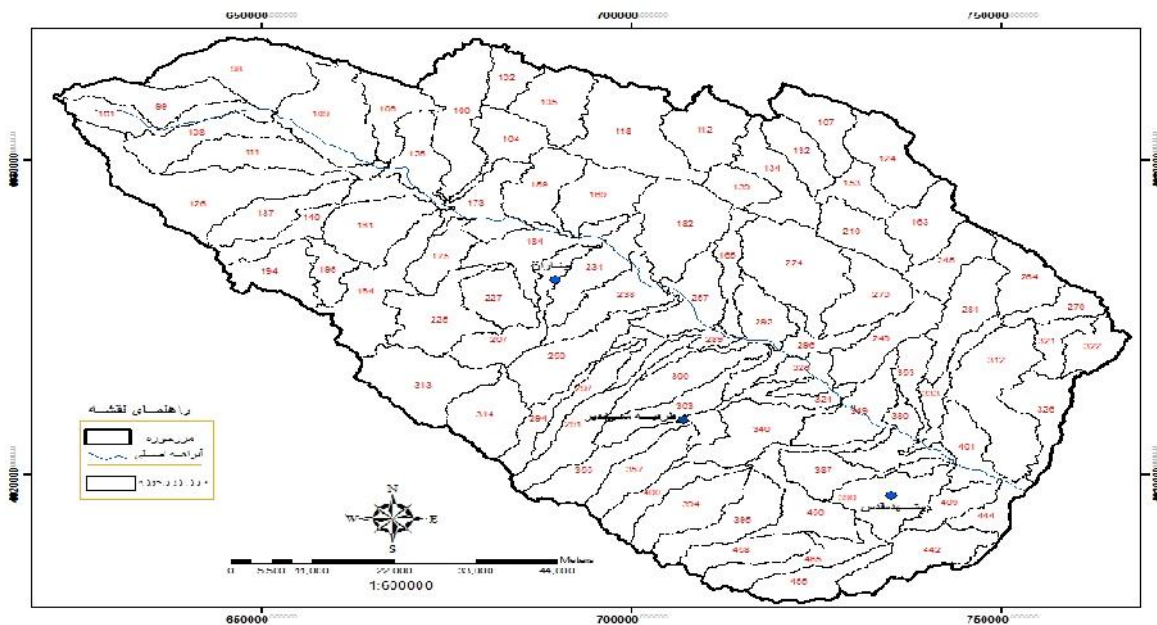
شکل ۲- نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع (DEM) حوزه
Figure 2. Maps of Digital Elevation Model (DEM) the watershed



شکل ۳- نقشه شبکه آبراه‌های حوزه کشف‌رود و رتبه‌بندی آنها
Figure 3. Map of the ranked hydrographical network of Kashafrud watershed

انجام شود، منطقه مورد مطالعه درحوزه‌قره قوم باکد ۶ و بخش مطالعاتی در این تحقیق واقع در حوزه کشف‌رود می‌باشد، لذا پس از استخراج این اطلاعات و نقشه مربوطه در سطح حوزه تعداد ۸۶ واحد هیدرولوژیکی یا زیرحوزه با سطح حداقل ۵۱۰۰ و حداکثر ۲۵۸۸۶ و میانگین سطح ۱۰۴۶۰ هکتار تفکیک و در شکل ۴ نشان داده شده است.

از آنجا که معمولاً وضعیت سیل‌خیزی حوزه بایستی براساس واحد هیدرولوژیکی یا زیرحوزه مشخص گردد، لذا در این تحقیق تصمیم گرفته شد بر مبنای نقشه و اطلاعات تقسیم‌بندی و کدگذاری حوزه‌های کشور زیرحوزه‌های درجه ۴ تماب (مدیریت تلفیق مطالعات مرکز تحقیقات منابع آب کشور) (۲۱) برش‌های لازم مربوط به مرزحوزه و زیرحوزه‌ها



شکل ۴- نقشه زیرحوزه‌های استخراج شده از در محدوده حوزه کشف‌رود بر اساس نقشه تقسیم‌بندی تماب درجه ۴
Figure 4. Map of the sub-watershed extracted from the Kashafrud watershed based on TAMAB Map

تحلیل رگبارها در محدوده مطالعاتی

در این مرحله برای محاسبه رگبارها براساس آمار بارندگی ثبت شده روزانه تحلیل رگبارها در طول دوره آماری براساس یک پایه زمانی مشترک ۲۵ ساله طوری که دوره‌های تر و خشک را در برگیرد، با استفاده از نرم‌افزار SMADA مورد تحلیل قرار گرفت. مقدار بارش نیم تا ۶ ساعته در دوره برگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله بر اساس تابع توزیع استاندارد (پیرسون تیپ ۳) و برای ایستگاه شاخص گلکان (برای رسیدن به نتایج دقیق و مطلوب از آمار ایستگاه گلکان که در داخل منطقه قرار دارد. و از نظر ارتفاع و ویژگی‌های اقلیمی دارای شرایط متوسط منطقه بوده و همچنین دارای یک دوره آماری مناسب می‌باشد) استفاده و طبق جدول ۲ محاسبه شده است. در این تحقیق بر اساس اطلاعات موجود و تحلیل رگبارها و تعیین روابط شدت-مدت

تناوب بارندگی از رابطه تجربی رابطه ۱ که توسط قهرمان (۸) ارائه شده استفاده گردید. این رابطه برای تخمین بارندگی با زمان ۱۵ دقیقه تا ۲۰ ساعت، برای تحلیل منطقه‌ای بارش در دوره بازگشت‌های مختلف ۲ تا ۱۰۰ سال ارائه کرد.

$$P_T^t = (0.4055 + 0.2636 \ln(T - 0.4400)) P_{10}^{60} (-0.2420 + 1.2452 t^{0.2674})$$

در این رابطه P_T^t : مقدار باران t دقیقه ای مورد نظر با دوره برگشت، T: دوره برگشت برحسب سال، t: تناوب بارندگی به دقیقه و P_{10}^{60} مقدار باران یک ساعته با دوره برگشت ۱۰ سال می‌باشد.

جدول ۲- مقادیر شدت بارندگی حوزه براساس ایستگاه شاخص گلکان* در زمان‌های مورد نظر (میلی‌متر بر ساعت)

Table 2. Rainfall intensity of the watershed based on Golmakan* station index at the desired time (m/ h)

دوره برگشت (سال)	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
۳۰	۶۵/۱۴	۹۹/۵۶	۱۲۲/۳۸	۱۵۱/۰۵	۱۷۳/۲۵	۱۹۳/۲۷
۶۰	۴۳/۰۷	۶۵/۸۳	۸۰/۹۲	۹۹/۸۸	۱۱۳/۹۰	۱۲۷/۷۹
۱۲۰	۲۸/۷۰	۴۳/۸۷	۵۳/۹۲	۶۶/۵۵	۷۵/۸۹	۸۵/۱۵
۱۸۰	۲۲/۷۰	۳۴/۶۹	۴۲/۶۵	۵۲/۶۴	۶۰/۰۲	۶۷/۳۵
۲۴۰	۱۹/۲۴	۲۹/۴۱	۳۶/۱۴	۴۴/۶۱	۵۰/۸۷	۵۷/۰۸
۳۶۰	۱۵/۲۶	۲۳/۳۲	۲۸/۶۷	۳۵/۳۸	۴۰/۳۵	۴۵/۲۷

* طبق شکل ۱ ایستگاه گلکان از نوع باران سنجی با مختصات جغرافیایی طول ۵۹-۰۹ و عرض ۲۹-۳۶ و در ارتفاع ۱۴۴۰ در داخل حوزه قرار دارد و از نظر ارتفاع و ویژگی‌های اقلیمی دارای شرایط متوسط منطقه بوده و همچنین دارای یک دوره آماری مناسب می‌باشد.

محاسبه ذخیره سطحی و نقشه شماره منحنی (CN)

طبق روش SCS مقدار ذخیره سطحی یا مقدار نگهداشت آب در سطح زمین (S) برای یک بارش معین با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌گردد (۲،۱۳)

انتخاب شماره منحنی یا (Curve Number) CN با استفاده از نقشه کاربری اراضی استان (۵) و گروه‌های هیدرولوژی خاک (براساس جدول استاندارد) (۲)، در محیط GIS و در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ مشخص می‌شود.

توزیع مکانی CN برای شرایط رطوبتی مرطوب و با لحاظ نمودن درصد شیب در محیط سامانه GIS مشخص می‌گردد.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (۲)$$

در این رابطه S مقدار ذخیره سطحی برای یک بارش معین (میلی‌متر) و CN شماره منحنی (بدون بعد) است که با استفاده از کاربری اراضی و گروه هیدرولوژی خاکها (شکل ۶) که در ۴ گروه شامل A، B، C و D طبقه بندی شده، مشخص می‌شود.

مقدار تلفات اولیه بارش (La) بر اساس نظر هوکینز (۱۰) تغییر شکل پیدا کرده و به صورت ضربی از مقدار ذخیره سطحی محاسبه شده طبق رابطه ۳ ارائه شده است.

$$La = 0.05 \times S \quad (۳)$$

براساس رابطه فوق و ارتباط بین ذخیره در دو حالت فوق رابطه ۴ بیان شده است:

$$S_{0.05} = 1.33 \times (S_{0.02})^{1.15} \quad (۴)$$

برای تعیین شماره منحنی (CN) به‌عنوان یک عامل بدون بعد از روابط توسعه یافته شارپلی و ویلیامز که با لحاظ کردن مقدار شیب توصیه شده استفاده شده است. معادله ۵ رابطه پیشنهادی شارپلی و ویلیامز را بیان می‌کند (۱۷).

$$CN_{2\alpha} = \frac{1}{3}(CN_3 - CN_2)(1 - 2e^{-1.386\alpha}) + CN_2$$

در این رابطه:

$CN_{2\alpha}$: شماره منحنی اصلاح شده براساس شیب معین

CN_3 : شماره منحنی در شرایط رطوبتی مرطوب

CN_2 : شماره منحنی برای شرایط متوسط

α : مقدار شیب سطح خاک m/m

محاسبه عمق بارش موثر

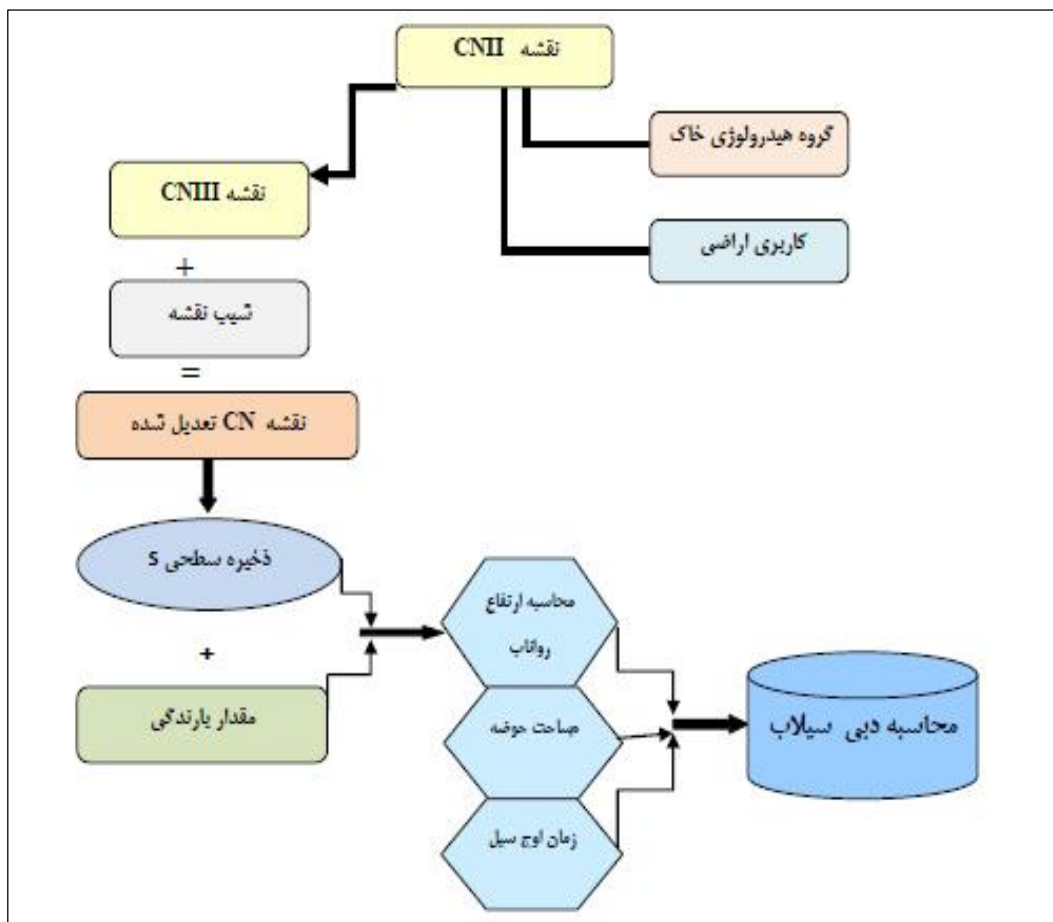
طبق روش SCS عمق بارش موثر بر مبنای تحلیل رگبارهای محاسبه شده در بخش قبلی برآورد شده است. بر اساس این روش ارتفاع رواناب در هر زیرحوزه از رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

$$R = \frac{(P - 0.2S)^2}{2(P - 0.8S)} \quad (۶)$$

در این رابطه R: ارتفاع روان (میلی‌متر)، P: ارتفاع بارندگی (میلی‌متر) و S: مقدار ذخیره سطحی (میلی‌متر) است.
محاسبه دبی حداکثر لحظه‌ای زیرحوزه‌ها
 پس از محاسبه متوسط وزنی ارتفاع رواناب در هر زیرحوزه با استفاده رابطه بالا، در این روش به‌منظور پهنه‌های سیل‌خیز حوزه دبی حداکثر سیل (Qmax) ناشی از بارش موثر برآورد می‌گردد.
 برای این منظور با استفاده از رابطه ۷ دبی حداکثر لحظه‌ای بر حسب مترمکعب بر ثانیه در هر زیرحوزه محاسبه می‌شود.

در این رابطه A: مساحت به کیلومتر مربع، R: ارتفاع روان آب (میلی‌متر) و Tp زمان رسیدن به اوج (ساعت) که براساس زمان تمرکز قابل محاسبه است.
 در این تحقیق پس از محاسبه دبی حداکثر سیلاب در هر زیرحوزه به منظور تعیین سیل‌خیزی و مقایسه زیرحوزه‌ها مقادیر طبقه‌بندی شده و بصورت کیفی و در ۵ کلاس شامل: خیلی کم VL، کم L، متوسط M، زیاد H و خیلی زیاد VH مشخص شده‌است. در شکل ۵ خلاصه مراحل مختلف محاسبه دبی حداکثر سیلاب بصورت شماتیک نشان داده شده‌است.

$$Q_{\max} = \frac{2.083 \times A \times R}{T_p} \quad \text{رابطه (۷)}$$



شکل ۵- مراحل محاسبه دبی سیلاب حوزه براساس روش SCS
 Figure 5. Flood discharge calculation steps of the watershed based on SCS method

توانایی بالایی در برآورد دبی حداکثر سیلاب دارد. طبق روش تحقیق به منظور تعیین پتانسیل سیل‌خیزی حوزه، دبی حداکثر سیل ناشی از بارش موثر برآورد شده در ۸۶ زیرحوزه استخراج شده محاسبه گردید. برای این منظور ابتدا متوسط وزنی ارتفاع رواناب در هر زیرحوزه تعیین، سپس با استفاده از رابطه شماره ۷ دبی حداکثر لحظه‌ای زیرحوزه‌ها محاسبه شد.

نتایج و بحث
 این پژوهش براساس روش SCS و به‌منظور تعیین پتانسیل سیل‌خیزی حوزه انجام شده است. با توجه به اینکه در این روش تمام عوامل موثر در وقوع سیلاب حوزه نظیر ارتفاع بارش، زمان تمرکز، مساحت حوزه، میزان نفوذپذیری، کاربری اراضی و ضریب تولید رواناب لحاظ می‌شود لذا این مدل

بر اساس تلفیق نقشه CN حوزه (شکل ۷) در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) با مرز شهرستان‌ها و زیرحوزه‌ها، مقادیر میانگین وزنی CN هر زیرحوزه تعیین و طبق جدول زیر متوسط وزنی CN حوزه ۶۵/۵۹ و در سطح شهرستان‌ها بیشترین مقدار مربوط به ارتفاعات حوزه ۶۹/۷۲ در شهرستان بینالود و کمترین عدد ۶۳/۷۴ مربوط به شهرستان مشهد محاسبه شده است. مقایسه دبی سیلاب ۱ ساعته درحوزه نشان می‌دهد که مقادیر حداکثر دوره برگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله به ترتیب ۵۰/۷۴ و ۵۷/۴۸ و مقادیر حداقل ۱/۹۲ و ۱/۸۴ مترمکعب بر ثانیه متغیر می‌باشد. مقایسه وضعیت سیل‌خیزی در شهرستان‌های واقع در حوزه طبق جدول ۴ ارائه شده است. شهرستان‌های چناران و قوچان بدلیل کوهستانی بودن دارای پتانسیل سیل‌خیزی نسبتاً بالاتری نسبت به سایر شهرستان‌ها دارند.

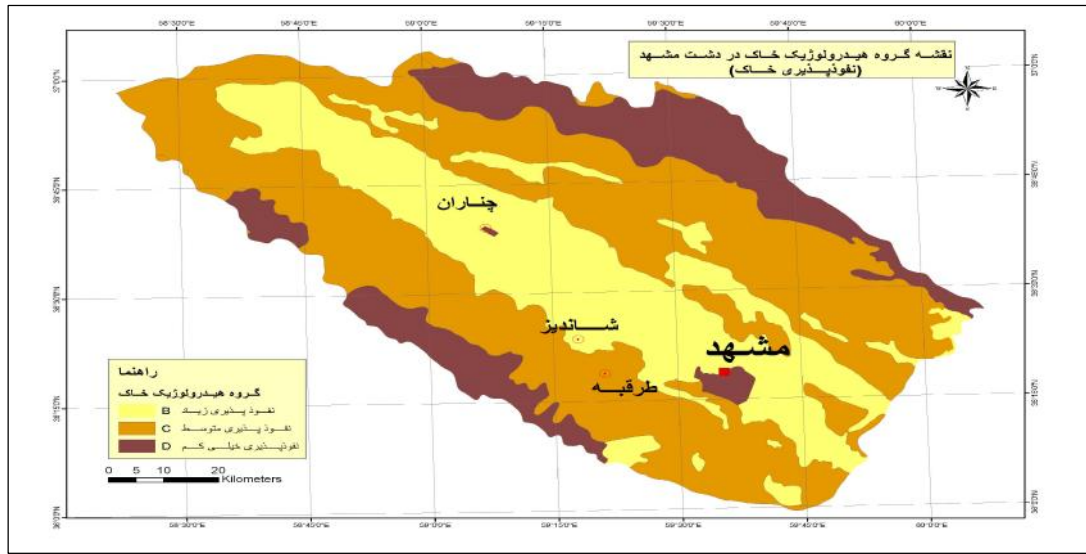
با استفاده از لایه مرز شهرستان‌ها و انطباق آن با لایه پتانسیل سیل‌خیزی وضعیت هر یک از شهرستان‌ها نسبت به پتانسیل سیل‌خیزی همراه با نقشه پهنه‌بندی (شکل ۸) مشخص گردید. جدول ۳ دبی حداقل و حداکثر سیل ۱ ساعته محاسبه شده در دوره برگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله و جدول ۴ پراکنش کلاس‌های پتانسیل سیل‌خیزی حوزه و شکل ۶ درصد پراکنش کلاس‌های پتانسیل سیل‌خیزی به تفکیک شهرستان‌های حوزه را نشان می‌دهد. حوزه مطالعاتی ۳ شهرستان مشهد، چناران، طرقيه و شانديز (بينالود) و بخش‌هایی از شهرستان قوچان و نیشابور را در بر می‌گیرد. با روی هم اندازی نقشه موقعیت مکانی مرز شهرستان‌ها و زیرحوزه‌های استخراج شده طبق جدول زیر از مجموع ۸۶ زیرحوزه سهم شهرستان مشهد بیشترین تعداد (۴۲ زیرحوزه) و بعد از آن چناران ۲۱ زیرحوزه می‌باشد.

جدول ۳- محاسبه دبی سیل ۱ ساعته در دوره برگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله به تفکیک شهرستان‌ها (m3/s)
Table 3. Calculation of 1 hour flood discharge in the period of 25 and 50 years extracted by cities (m3 /s)

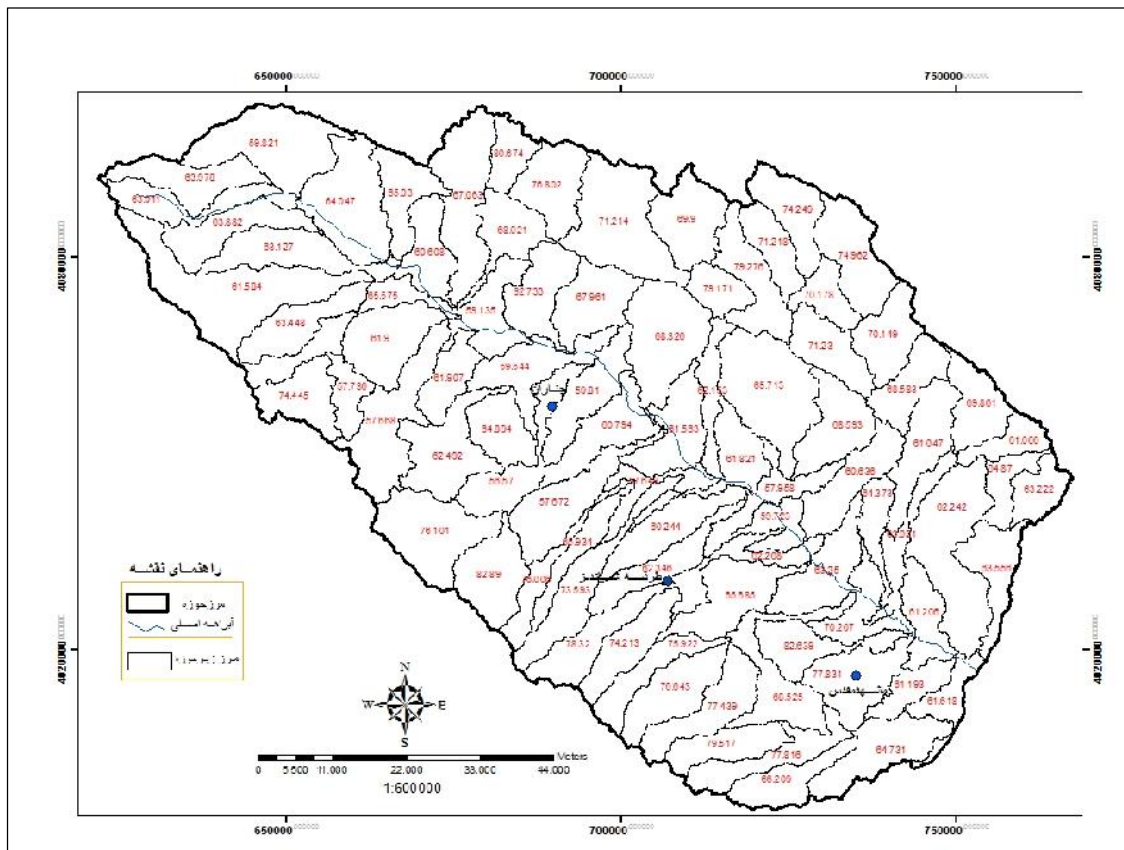
شهرستان	تعداد زیرحوزه	متوسط CN	دبی ۱ ساعته ۵۰ ساله		دبی ۱ ساعته ۲۵ ساله	
			حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل
بینالود	۱۲	۶۹/۷۲	۳۰/۹۸	۱/۴۵	۲۷/۹۰	۱/۴۲
چناران	۲۱	۶۶/۱۴	۹۰/۹۴	۱/۷۹	۷۹/۲۶	۱/۷۳
قوچان	۸	۶۴/۸۲	۳۱/۸۲	۵/۶۰	۲۸/۳۴	۴/۷۰
مشهد	۴۲	۶۳/۷۴	۴۷/۰۹	۱/۸۲	۴۲/۱۸	۱/۴۲
نیشابور	۳	۶۸/۲۸	۴۷/۷۱	۰/۹۱	۳۶/۰۰	۰/۸۳
حوزه	۸۶	۶۵/۵۹	۵۷/۴۸	۱/۸۴	۵۰/۷۴	۱/۹۲

جدول ۴- پراکنش شدت پتانسیل سیل‌خیزی حوزه به تفکیک شهرستان‌ها (هکتار)
Table 4. Dispersion of the intensity of the flooding the watershed extracted by cities (hectares)

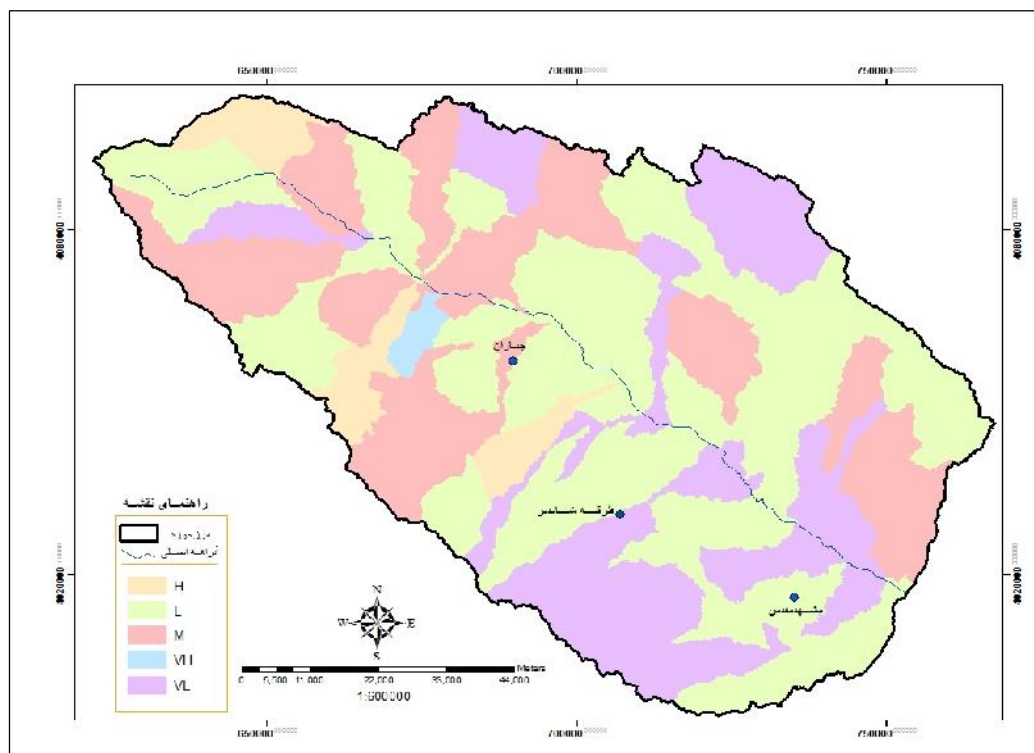
شهرستان	نرمال		بحرانی	فوق بحرانی	
	سیل خیزی خیلی کم VL	سیل خیزی کم L		سیل خیزی زیاد H	سیل خیزی خیلی زیاد VH
بینالود	۷۰۵۴۰/۷۱	۴۷۹۵۱/۲۸	۰/۰۶	-	-
چناران	۲۷۶۳۴/۳۱	۱۳۴۵۴۸/۵۰	۱۰۳۷۷۴/۱۲	۲۷۲۸۶/۶۰	۷۰۲۱/۴۳
قوچان	۱۱۵۹۳/۸۱	۴۳۱۸۶/۱۷	۴۰۸۵۱/۸۵	۱۸۸۴۲/۲۰	-
مشهد	۱/۹۲	۱۷۲۸۵۲/۰۸	۶۶۶۱۸/۵۹	-	-
نیشابور	-	۳۸۸۳/۵۱	۱۸۱۳۴/۱۶	۳۱۱۹/۳۰	-
جمع حوزه	۲۱۱۵۴۶/۸۵	۴۰۲۴۲۱/۵۴	۲۲۹۳۷۸/۷۸	۴۹۲۴۸/۰۹	۷۰۲۱/۴۳
درصدپراکنش	۲۲/۵۲	۴۴/۷۳	۲۵/۵۰	۵/۴۷	۰/۷۸



شکل ۶- نقشه گروه‌های هیدرولوژی خاک حوزه
Figure 6. Map of Soil Hydrology Groups



شکل ۷- نقشه شماره منحنی (CN) حوزه
Figure 7. Map of Curve Number (CN)



شکل ۸- نقشه شدت پتانسیل سیل خیزی حوزه
Figure 8. Map of potential flooding discharge

در یک جمع‌بندی کلی، نتایج بدست آمده از این تحقیق را به شرح زیر میتوان خلاصه نمود و در برنامه‌ریزی‌های آینده از آن برای حل مشکلاتی مثل کنترل و مهار سیلاب‌ها و مدیریت سیلاب شهری و مسایل مرتبط با آن به‌کار برد.

بر اساس نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک (شکل ۶) حوزه دارای سه گروه شامل B, C, D می‌باشد که از نظر وسعت و گستردگی به‌ترتیب گروه B بیشترین گسترش (۴۰/۷۷ درصد حوزه) و سپس گروه‌های C و D به‌ترتیب با ۳۱/۵۸ و ۲۷/۶۵ درصد در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. به عبارت دیگر از نظر گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، بیشتر مساحت منطقه از نوع خاک‌هایی است که دارای بافت متوسط است و عملاً دارای نفوذپذیری متوسط بوده و به تبع آن پتانسیل سیل خیزی متوسطی دارند.

با توجه به محاسبات و نقشه شماره منحنی‌ها، منطقه مورد مطالعه دارای CN متفاوت بطوری‌که براساس نوع کاربری اراضی و شرایط نفوذپذیری و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک آن از شماره ۵۳ تا ۹۸ و متوسط آن ۶۵/۶ می‌باشد. نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی در واقع نشان‌دهنده پخش منطقه‌ای رواناب در درون حوزه آبخیز می‌باشد. در این نقشه مناطق با پتانسیل سیل خیزی خیلی زیاد تا خیلی کم براساس دبی حداکثر لحظه‌ای سیلاب محاسبه شده به سهولت قابل تشخیص است. طبق شکل ۸ وضعیت و پراکنش کلاس‌های پتانسیل سیل خیزی از مجموع مساحت

درای پتانسیل فوق بحرانی است. وضعیت و پراکنش کلاس‌های پتانسیل سیل خیزی به تفکیک شهرستان‌های حوزه نشان می‌دهد که شهرستان‌های چناران و مشهد، پتانسیل سیل خیزی بالاتری نسبت به سایر شهرستان‌ها دارند. با استفاده از نقشه و اطلاعات جمعیتی روستاهای حوزه، وضعیت هر یک از روستاها نسبت به پهنه‌های شدت سیل خیزی نشان می‌دهد، که از مجموع کل حدود ۶۵۸ روستا، آبادی و مرکز جمعیتی مورد شناسایی در حوزه (البته غیرشهری)، تعداد ۵۱۴ روستا (معادل ۷۸ درصد روستاهای حوزه) بدلیل قرارگیری در مناطق دشتی و کم شیب در پهنه‌هایی با پتانسیل سیل خیزی نرمال، تعداد ۱۱۲ روستا (معادل ۱۷ درصد روستاهای حوزه) در پهنه‌های با پتانسیل سیل خیزی بحرانی و تعداد ۳۲ روستا (معادل ۵ درصد روستاهای حوزه) بدلیل قرارگرفتن در مناطق مرتفع و شیبدار عموماً در پهنه‌هایی با پتانسیل سیل خیزی فوق بحرانی قرار دارند. این روستاها عموماً در مناطق بالادستی حوزه و در شهرستان‌های چناران و قوچان واقع شده‌اند.

بر اساس بانک اطلاعات ثبت شده ۱۰ ساله اخیر بانک سیل موجود استان (۵) از مجموع سیل‌های ثبت شده در عرصه‌های مختلف استان بخصوص با روی هم‌اندازی آنها در سطح حوزه بر روی نقشه پتانسیل سیل خیزی مشخص گردید

جهت اصلاح و احیاء منابع آب و خاک به مناطق با الویت و سیل‌خیز سوق داد و از مدل‌های هیدرولوژیکی جهت ارزیابی برنامه‌ها و تعیین میزان تأثیرات به صورت کمی و کیفی استفاده نمود.

در صورت همکاری مدیریت بحران استانداری و تامین اعتبار مورد نیاز نسبت به تهیه نقشه اطلس سیل حوزه شامل پارامترهایی از جمله شدت سیل‌خیزی، خسارات سیل، تلفات سیل، جمعیت در معرض سیل، محدوده‌های سیل‌گیر و خطرات سیل تعیین گردد. شناسایی مناطق دارای پتانسیل سیل‌خیزی بالا در دشت مشهد در تدوین برنامه‌های زیربنایی مربوط به توسعه روستایی، کشاورزی و صنعتی حوزه‌های آبخیز که موجب بهره‌برداری بهینه از منابع طبیعی و کاهش خسارات مالی به بخش‌های مختلف می‌گردد. در همین راستا طرح پیشنهادی حاضر به منظور نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل و تحلیل آسیب‌پذیری سیلاب حوزه‌ها بخصوص در رودخانه‌های واقع در دشت مشهد می‌تواند کمک موثری نماید.

تشکر و قدردانی

از تمام همکاران و عزیزانی که در تهیه این مطلب و مقاله علمی کمک کردند تقدیر و تشکر می‌کنم.

که اکثر سیلاب‌های ثبت شده (بیش از ۶۵ درصد) در عرصه‌ها و مناطق با شدت پتانسیل سیل‌خیزی متوسط به بالا (بحرانی و فوق بحرانی) اتفاق افتاده است.

نتایج پژوهش‌های مشابه نیز گویای این مطلب است، از جمله نتایج این پژوهش با دستاوردهای اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان رضوی (۵)، عبدی و رسولی (۱)، یزدانی مقدم و همکاران (۲۹)، همچنین نتایج پژوهش مهدیان بروجنی و رستم‌زاده (۱۷) مطابقت دارد.

اجرای طرح‌های آبخیزداری و آبخوانداری در زمینه حفاظت آب و خاک از جمله طراحی و اجرای سازه‌های مهندسی مناسب از قبیل سدخاکی کوتاه و بندانحرافی و غیره جهت کنترل و مهار سیلاب‌های منطقه‌ای در مناطق باشدت سیل‌خیزی بالا پیشنهاد می‌گردد.

همان‌گونه که آمار و روند توسعه مناطق سیل‌خیز به دلیل دخالت انسان و کاربری نامناسب ارتباط مستقیم دارد. در حوزه‌های آبخیز شهری مثل شهر مشهد که درحاشیه رودخانه کشف‌رود واقع شده به دلیل ریسک بالا و شرایط سرمایه‌گذاری بایستی با موضوع سیل جدی‌تر برخورد شود. لذا پیشنهاد می‌شود اعتبارات عمرانی دستگاه اجرایی دولتی را

منابع

1. Abdi, P. and M. Rasuli. 2001. potential zonation flooding Zanjan Rood watershed using GIS, Proceeding of the Conference on Identification of Watershed Management Issues and Providing Appropriate Solutions in the Karoon and Zayandeh Rood Basin, Natural Resources and Animal Sciences Research Center. Char Mahal and Bakhtiari province (In Persian).
2. Alizadeh, A. 2006. Principles of Applied Hydrology. Imam Reza University Press. Thirty-fifth edition (In Persian).
3. Akbari, A. Abu Samah and F. Othman. 2009. Effect of Pixel Size on the Areal Storm Pattern Analysis using Kriging. Journal of Applied Sciences, 9: 3707-3714.
4. Akbari, A. Abu Samah and F. Othman. 2012. Integration of SRTM and TRMM date into the GIS-based hydrological model for the purpose of flood modeling, Journal Hydrology and Earth System Sciences, 9: 1-29.
5. Department of Natural Resources and Watershed of Khorasan Razavi. 2013. Plan zoning map of potential flooding Razavi Khorasan (In Persian).
6. Ebrahimi, M. 2009. Application of Natural Resources Conservation Service – Curve Number Method for Runoff Estimation with GIS in the Kardeh Watershed, Iran European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.34 No.4: 575-590.
7. Ghaemi, E. and S. Morid. 1996. Modeling Flooding of Karkheh Sub-Watershed, Journal of Nivar. No. 30, Meteorological Organization of Iran, pp: 10-27 (In Persian).
8. Ghahraman, B. 2008. Short-term rain analysis in Khorasan, Journal of Iranian Watershed Science and Engineering, 2(4): 66-73 (In Persian).
9. Hamidi, N., M. Vafakhah and A. Najafi. 2016. Preparation of flood hazard risk maps in Nur watershed . the using of Analytic Hierarchy and fuzzy logic. Journal of Watershed Management Research, 7(14): 19-11 (In Persian).
10. Hawkins R. 2005. Runoff Curve Number Method: Examination of the Initial Abstraction Ratio. Proceedings of the Second Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference, Las Vegas, Nevada.
11. Hosseinzadeh, M. 2011. Assessing the quality of ASTER DEMs for Hydrological Applications, International Conference on Environment Science and Engineering IPCBEE vol. IACSIT Press, Singapore (In Persian).
12. Huang, M., G. Jacques, W. Zhanli and Gt. Monique. 2006. A modification to the Soil Conservation Service curve number method for steep slopes in the Loess Plateau of China, Hydrological Process, 20: 579-589.
13. Jalali, H. 2007. Investigating the Floods in Iran, Proceedings of the First Hydrological Conference of Iran, Faculty of Engineering, Tehran University, Ministry of Energy Publication (In Persian).
14. Khodayar, P. 2012. Checking the country's flood situation and problems. Proceedings. Web Site: //http://hydro.ir (In Persian).
15. Khosroshahi, M. 2008. Personal website with the title of flood related research background and flooding zones (Date of observation, 25/3/1391) http://khosromk.blogfa.com/post/120 (In Persian).

16. Khosroshahi, M. 2001. Determining the role of watersheds in flood plain severity, PhD thesis, Natural Resources Department, Tarbiat Modarres University (In Persian).
17. Mahdian Borujeni, M. and E. Rostamzadeh. 2015. Evaluation of the Flood Potential of the Arctic Basin with GIS, Third Conference on Environmental, Energy and Biological Defense of Tehran (In Persian).
18. Mahdavi M. 2013. Applied Hydrology, Volume II, Tehran University Press. Eighth edition, 442 pp. (In Persian)
19. Monirul, M.D. and K. Islam. Sado. 2000. Development of flood hazard maps Bangladesh using NOAA-AVHRR images with GIS, Hydrological sciences-Journal, 45(3): 337-355.
20. Ministry of Energy. Regional Water Authority of Khorasan Razavi, Information about meteorological stations and hydrometers of the regional (In Persian).
21. Ministry of Energy. Iran Water Resources Management Organization. 2004. Water Resources Research Center (Tmab), Department of combination studies. Directions & Conditions classification and coding watersheds and areas of study in the country, Publication No. 282 (In Persian).
22. Othman, F. and A. Akbari. 2011. Spatial rainfall analysis for an urbanized tropical river basin, International Journal of the Physical Sciences, 6(20): 4861-4868.
23. Qodsian, M. 1998. Flood Control and Drainage Engineering, (Translated) Tarbiat Modares University Press, Office of Science Publication, First Edition (In Persian).
24. Shabani, A., A. Imadi and R. Fazl. 2016. Investigating the Flood Potential and Determining the Flood Generation Areas (Case Study: Neka. Journal of Watershed.Management . Volume 7, Issue14, pp: 20-28 (In Persian).
25. Stephan, R. 2002. Hydrologic investigation by the U.S Geological survey following the 1996 and 1997 floods in the Upper Yellowstone River, Montana American Recourses Association. Annual Montana Section Meeting. Section one, pp: 1-18.
26. Tachikawa, T., M. Kaku and A. Iwasaki. 2009. ASTER GDEM validation. Presentation at the 35th ASTER Science Team Meeting, Kyoto, Japan.
27. Thavorntam, W., N. Wattanakij and C. Mongkolsawat. 2007. Estimation of rainfall spatial interpolation methods in North-East Thailand. Asian Conference on Remote Sensing (PWTC), Kuala Lumpur, Malaysia.
28. Webster, R. and M.A. Oliver. 2007. Geostatistics for Environmental Scientists. IN BARNETT, V. 2nd Edition ed. UK, John Wiley & Sons, Ltd.
29. Yazdani Moghadam, Y., R. Ghazavi, M. Khazaei and Z. Hezbavi. 2005. Investigation of flood capability in Kashan catchment using maximum flood discharge. The First National Conference on achievement method for constant development in agricultural parts.Iran (In Persian).

Investigation Flooding Potential in The Kashafrud watershed, Mashhad The Method SCS and GIS

Mahmoud Azamirad¹, Bijan ghahreman and Kazem Esmaili²

1 and 3- PhD Student and Associate Professor, of Water Sciences Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

2- Professor and Faculty of Agriculture, Department of Water Sciences Engineering, Ferdowsi University of

Mashhad, (Corresponding Author: Bijan_ghahreman@yahoo.com)

Received: January 10, 2017

Accepted: November 29, 2017

Abstract

Kashafrud Watershed Area is the part of the Great Plains Gharehghom in the northeastern province of Khorasan Razavi with area of 8996 square kilometers and considered the main drain Mashhad plain. to determine flooding potential of Kashafrud watershed used of modified SCS Method, the GIS system according to classification of map watershed and Tamab grade 4 in the digital elevation model, mapping the distribution of precipitation, precipitation losses and land use. Meteorological data, including precipitation statistics and rainstorms (28 stations) related to the period received of the relevant organizations and reviewed. After calibration data based on a common time base for 25 years (1989-1988 to2013-2012) and remove of suspicious data, in some cases rebuild the lengthening period. Layers of information is used such as maps: weather stations location, topography, land use, soil, vegetation, Political divisions of province and divisions watershed of Tamab. receiving DEM and making any necessary modifications basin boundary and physiographic characteristics calculated such as area, perimeter, height, slope, time of concentration. value of CN calculated by using the land use map and soil hydrology groups performed. Analysis Storm determined by using the software SMADA and standard distribution function (Pearson type 3) and value of of rainfall and storm return periods of 2 to 100 years. After calculation of weighted average height of the runoff in each subwatershed (sub 86), to determine the flood zones watershed, estimates maximum flooding (Qmax) caused by rainfall effective and drawn flooding potential map of watershed. Of the total area of watershed is, 68.25% of the normal flooding potential, 25.5% of of critical and is 6.25%.supercritical flooding potential. Cities Chenaran and Mashhad are flooding potential than other cities. From a total of 658 villages and population center recognized in watershed, 78% of the villages due to their placement in plain areas and low-slope are in the zone of potential flooding normal, 17% of the villages in the area with the potential flooding of critical and 5% of the villages due to the inclusion in the Highlands and steep with the potential flooding zone supercritical.

Keywords: Flooding potential, Watershed Area,Flood, Kashafrud watershed, Method SCS