

تغییرپذیری مکانی سیل خیزی با استفاده از روش "عکس‌العمل سیل واحد" در حوزه آبخیز خانمیرزا

مجتبی رضائی^۱، مهدی وفاخواه^{۲*} و باقر قرمزچشمه^۳

^۱ کارشناس ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، ^۲ دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس و ^۳ استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۲۰

چکیده

سیل یک اتفاق ناگهانی و رویدادی سریع و مخرب است که هر ساله در نقاط مختلف جهان باعث بروز خسارات جانی و مالی محسوس و نامحسوس می‌شود. کنترل و یا کاهش خسارت این عارضه ویرانگر نیازمند مطالعات صحیح و دقیق می‌باشد. در این راستا شناسایی مناطق دارای پتانسیل بالای تولید رواناب در آبخیز دارای اهمیت بسیاری می‌باشد. هدف از این پژوهش تعیین سیل خیزی به صورت توزیعی و زیرحوضه‌ای و مقایسه آن‌ها در حوزه آبخیز خانمیرزا واقع در استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد. بدین منظور ابتدا ورودی‌های مدل با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 9.3 استخراج و سپس مدل واسنجی و اعتبارسنجی شد. در مرحله بعد برای تعیین سیل خیزی برای واحدهای سلولی و زیرحوضه‌ای با اجرای روش "عکس‌العمل سیل واحد" ابتدا بارش طراحی با دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ در محل ایستگاه آلونی استخراج، سپس میزان تاثیر هر یک از سلول‌ها و زیرحوضه‌ها بر آب‌نمود خروجی کل حوزه آبخیز به دست آمد. نتایج ارزیابی مدل بر اساس مقایسه بین دبی‌های هم‌عرض نشان داد، مدل در مرحله اعتبارسنجی با ریشه میانگین مربعات خطا، ضریب کارایی و ضریب تبیین به ترتیب برابر ۱/۵۳، ۰/۸۹ و ۰/۷۴ آب‌نمود سیلاب را با دقت بالایی شبیه‌سازی کرده است. همچنین، نتایج این پژوهش بر اساس نمایه آماری خطای نسبی حجم سیلاب، دبی اوج، زمان پایه و زمان تا اوج نشان داد که مدل ModClark در تخمین حجم سیلاب و دبی اوج خطای کمتری داشته است. نتایج نهایی نشان داد، سیل خیزی در واحدهای زیرحوضه‌ای از پایین‌دست به سمت بالادست حوزه آبخیز افزایشی و در واحدهای سلولی از توزیع خاصی پیروی نمی‌کند.

واژه‌های کلیدی: زیرحوضه، مدل ModClark، مدل‌سازی توزیعی، نقشه سیل خیزی، ArcGIS

مقدمه

خسارت^۵ می‌باشد (Fosu و Konadu, ۲۰۰۹). از جمله اقداماتی که برای کاهش خطر سیل در مناطق پایین‌دست مطرح است، مهار سیل در منشاء آن

مدیریت سیلاب در چهار سطح انجام می‌شود که شامل پیش‌بینی^۲، آمادگی^۳، پیش‌گیری^۴ و ارزیابی

³ Preparation

⁴ Prevention

⁵ Damage assessment

* مسئول مکاتبات: vafakhah@modares.ac.ir

² Prediction

برای پیشگویی هیدرولوژیکی منطقه‌ای در حوزه آبخیز بود.

Saghafian و Khosroshahi (۲۰۰۵) عکس‌العمل زیرحوضه‌های حوزه آبخیز دماوند را با استفاده از مدل HEC-HMS مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش سهم هر زیرحوضه در دبی اوج سیلاب خروجی بر اساس روش عکس‌العمل سیل واحد محاسبه شد. نتایج نشان داد که هیچ‌گونه رابطه تک متغیره‌ای بین شاخص سیل‌خیزی و سایر خصوصیات زیرحوضه‌ها از قبیل شماره منحنی و شیب زمین وجود ندارد. Chidaz و همکاران (۲۰۰۹) به ارزیابی مدل HEC-HMS در حوزه آبخیز کسلیان پرداختند. در این تحقیق، با استفاده از روش حذف متوالی زیرحوضه‌ها، نقش کلیه زیرحوضه‌ها در آب‌نمود سیل خروجی تعیین شد. نتایج نشان داد، میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در سیل خروجی با مساحت آن‌ها رابطه مستقیم ندارد.

Saghafian و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی سیل‌خیزی حوزه آبخیز رودزرد با اجرای روش عکس‌العمل سیل واحد در واحدهای زیرحوضه‌ای و سلولی پرداختند. نتایج نشان داد که بزرگ‌ترین و نزدیک‌ترین زیرحوضه‌ها به خروجی، لزوماً بیشترین و کمترین اثر را بر روی حداکثر دبی سیلاب ندارد. همچنین، برای اولین بار نقشه کنترلهای هم‌تأثیر سیل‌خیز را به‌دست آوردند. می‌توان جمع‌بندی نمود که پژوهش‌های متعددی در رابطه با تعیین سیل‌خیزی در قالب زیرحوضه‌ها انجام شده است و به تعیین سیل‌خیزی به‌صورت توزیعی در مقیاس‌های کوچک‌تر از زیرحوضه توجه کمی شده است. در این پژوهش هدف، تعیین سیل‌خیزی به‌صورت توزیعی و زیرحوضه‌ای و مقایسه آن‌ها در حوزه آبخیز خانمیرزا واقع در استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: حوزه آبخیز خانمیرزا با مساحت ۳۹۱/۱۶ کیلومتر مربع یکی از زیرحوضه‌های مهم آبخیز کارون شمالی می‌باشد. این حوزه آبخیز در طول جغرافیایی "۵۵° ۵۵' ۰۰" تا "۱۸° ۵۱' ۰۳" شمالی و عرض جغرافیایی "۲۴° ۲۲' ۳۱" تا "۳۷° ۳۱' ۳۱" شرقی در جنوب شرق استان چهارمحال و بختیاری و

می‌باشد. بر همین اساس شناسایی مناطق سیل‌خیز در آبخیز برای اجرای عملیات کنترل سیل دارای اهمیت بسیاری می‌باشد. در تعیین سیل‌خیزی آبخیزهای وسیع، تفکیک حوزه آبخیز به واحدهای هیدرولوژیکی و بررسی پتانسیل هر واحد از نظر مشارکت سیلاب در نقطه خروجی حوزه آبخیز حائز اهمیت است (Saghafian و Khosroshahi, ۲۰۰۵). در راستای برآورد دبی سیل و شناسایی مناطق سیل‌خیز، مدل‌های مختلفی در شبیه‌سازی عکس‌العمل حوزه آبخیز در برابر بارش وجود دارد که شامل انواع مدل‌های یکپارچه^۱، نیمه‌توزیعی^۲ و توزیعی^۳ می‌باشند. با توجه به ابزار قدرتمند GIS و نرم‌افزارهایی مانند ArcGIS و الحاقیه‌های مختلف آن استفاده از مدل‌های توزیعی برای مدل‌سازی بارش-رواناب به راحتی امکان‌پذیر می‌باشد. مدل‌هایی که در آن توزیع مکانی عوامل مؤثر در رویداد مورد نظر در نظر گرفته می‌شود، به مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی معروف هستند (Telvari, ۱۹۹۶).

یکی از روش‌های مطرح در رابطه با شناسایی مناطق سیل‌خیز روش عکس‌العمل سیل واحد است (Saghafian و Khosroshahi, ۲۰۰۵). عموماً تغییرات سیل‌خیزی تحت کنترل سه عامل خاک، پوشش گیاهی و توپوگرافی می‌باشد (Miller و همکاران, ۲۰۰۲). پژوهش‌های متعددی در رابطه با سیل‌خیزی انجام شده است. Juracek (۲۰۰۰) اولویت سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها را در ایالت کانزاس آمریکا تعیین نمود. این پژوهش در مقیاس وسیعی در حوزه‌های آبخیز با مساحت ۱۵۰ تا ۶۶۰۰ کیلومتر مربع و با ملاحظه تأثیر توزیع مکانی شدت بارندگی انجام گرفت. نتایج نشان داد که تمایز سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها بسیار محدود است. Knebl و همکاران (۲۰۰۵) مدل‌سازی سیلاب رگباری در تابستان ۲۰۰۲ را با استفاده از نرم‌افزارهای HEC-HMS و HEC-RAS و داده‌های رادار در حوزه آبخیز San Antonio در آمریکا انجام دادند. ایشان از روش ModClark برای تبدیل بارش به رواناب بهره گرفتند. نتایج حاکی از دست یافتن به ابزاری مناسب

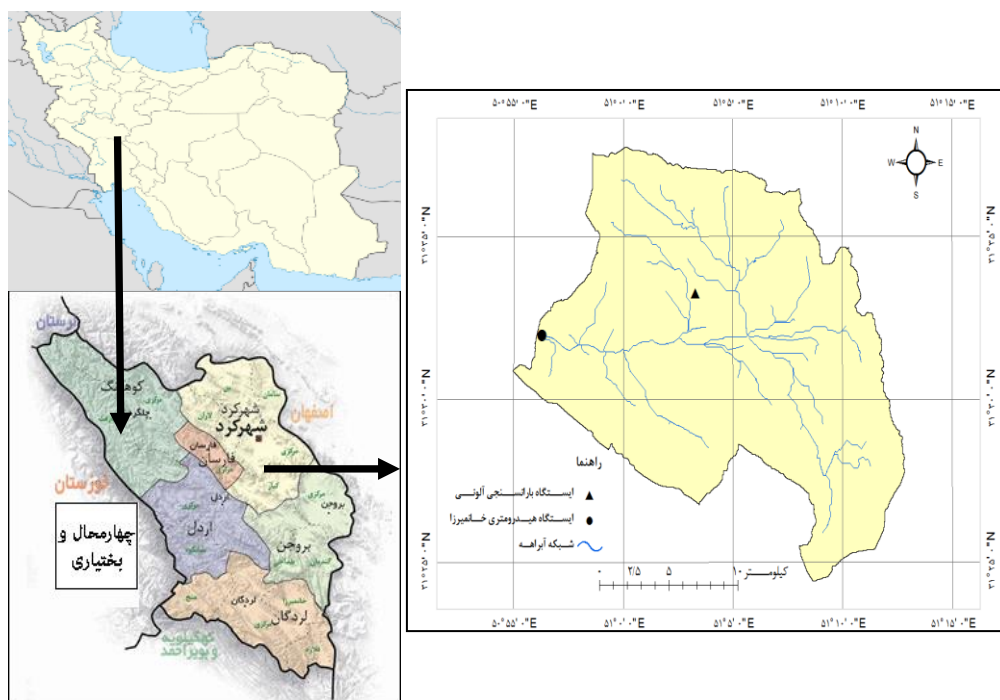
¹ Lumped model

² Semi-distributed model

³ Distributed model

۹۷ درصد بارندگی بین ماه‌های آبان تا اردیبهشت اتفاق می‌افتد که ۳۲ درصد آن متعلق به دی ماه می‌باشد. با توجه به تغییرات ماهانه درجه حرارت، به‌طور متوسط سردترین ماه سال دی و گرم‌ترین آن تیر می‌باشد. عمده کاربری اراضی موجود در منطقه به ترتیب زراعت آبی، دیم، مرتع و جنگل‌های کم تراکم بلوط می‌باشد. محدودیت بیشتر اراضی، خاک با بافت سنگین و در ارتفاعات، بیشترین محدودیت در ارتباط با شیب‌های تند می‌باشد (Abdollahi, ۲۰۰۳).

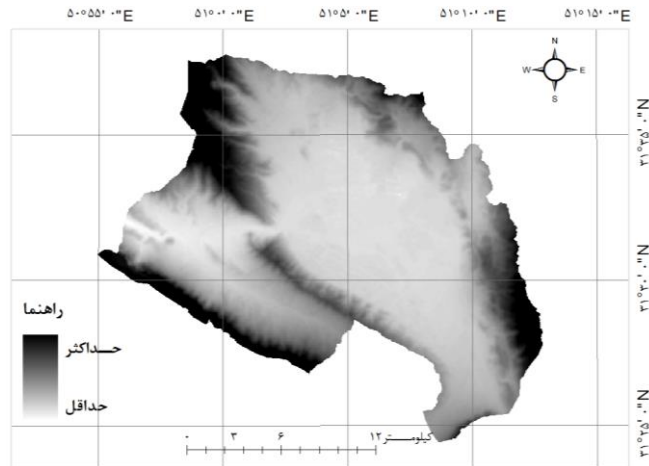
در ۷۱ کیلومتری شهرستان بروجن قرار گرفته است. شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز خانمیرزا در کشور را نشان می‌دهد (Abdollahi, ۲۰۰۳). در منطقه مورد مطالعه، هفت ایستگاه اعم از کلیماتولوژی، باران‌سنجی معمولی، ثبات و ذخیره‌ای با تجهیزات مختلف وجود دارند. ایستگاه باران‌سنج ثبات آلونی در نزدیکی مرکز ثقل حوزه آبخیز و ایستگاه هیدرومتری زرین در خروجی حوزه آبخیز خانمیرزا وجود دارد. تغییرات متوسط ماهانه و درصد بارندگی ماهانه نشان می‌دهد،



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز خانمیرزا در کشور و استان و موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری منطقه

پژوهش با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 9.3 یکپارچه و از این نقشه، نقشه DEM با اندازه سلول ۲۵×۲۵ متر ساخته شد (شکل ۲). در ادامه شبیه‌سازی خصوصیات فیزیکی حوزه آبخیز به‌وسیله الحاقیه Arc-Hydro صورت گرفت. به‌وسیله این الحاقیه و با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاع تمام مراحل آماده‌سازی مدل حوزه آبخیز شامل پیش پردازش عوارض، پر کردن حفره‌های خالی، تهیه لایه جهت جریان، لایه تجمعی جریان، لایه آبراه‌ها و مرز زیرحوضه‌ها تهیه شد. جدول ۱ برخی خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه‌های آبخیز خانمیرزا را نشان می‌دهد.

اطلاعات مورد نیاز برای انجام این پژوهش شامل نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، نقشه CN، باران‌نمود و آب‌نمود مربوط به هر رگبار طی یک دوره آماری دراز مدت می‌باشد. اطلاعات لازم از سال ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۷ (دوره آماری ۲۳ساله) با استفاده از سوابق تحقیقاتی موجود (Abdollahi, ۲۰۰۳، Sadeghi و همکاران، ۲۰۰۸، Singh, ۲۰۰۲، Samadi Broojeni و Fatahi Nafchi, ۲۰۱۲) و موارد تکمیلی با مراجعه به شرکت تحقیقات منابع آب و شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری تهیه شد. برای ساختن DEM، ابتدا خطوط توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ محدوده مورد



شکل ۲- نقشه مدل رقمی ارتفاع (DEM) حوزه آبخیز خانمیرزا

جدول ۱- مشخصات فیزیوگرافی زیرحوضه‌های آبخیز خانمیرزا

فاصله از خروجی (km)	ارتفاع متوسط (m)	شیب (%)	مساحت (%)	مساحت (km ²)	زیرحوضه
۰	۲۰۷۱	۸/۳۷	۱۵/۶۰	۶۰/۶۶	۱
۶/۴۷	۲۱۰۹	۵/۳۷	۹/۹۹	۳۸/۸۴	۲
۱۶/۶۰	۲۰۴۲	۳/۳۹	۱۹/۱۷	۷۴/۵۲	۳
۱۶/۶۰	۱۹۶۵	۱۰/۱۹	۱۴/۲۷	۵۵/۴۹	۴
۱۶/۶۰	۲۰۳۰	۲/۷۶	۲۱/۳۸	۸۲/۱۲	۵
۱۰/۸۸	۱۹۲۱	۱/۱۱	۱۲/۰۵	۴۶/۸۵	۶
۶/۴۷	۲۱۳۵	۷/۶۷	۸/۲۶	۳۲/۱۱	۷

زمان تمرکز و ضریب ذخیره کلارک انجام می‌شود. ارتفاع رواناب در هر گام زمانی با استفاده از نقشه توزیع مکانی بارش و نقشه CN در هر سلول محاسبه می‌شود. همین مرحله در گام‌های زمانی بعدی انجام می‌شود و عمق رواناب هر سلول با توجه به زمان پیمایش سلول تا خروجی روندیابی می‌شود. در این روش زمان پیمایش برای کلیه سلول‌های یک حوزه آبخیز محاسبه می‌شود. زمان پیمایش هر سلول تا خروجی حوزه آبخیز از رابطه (۱) پیشنهاد شده است (Feldman و Kull، ۱۹۹۸).

$$t_{cell} = T_c \frac{l_{cell}}{l_{max}} \quad (1)$$

که در آن، t_{cell} زمان پیمایش از هر سلول تا خروجی حوزه آبخیز، T_c زمان تمرکز حوزه آبخیز، l_{cell} فاصله هر سلول تا خروجی حوزه آبخیز و l_{max} حداکثر طول مسیر جریان آب در حوزه آبخیز

روش پژوهش: در پژوهش حاضر ابتدا ورودی‌های مدل بارش-رواناب استخراج و سپس مدل واسنجی و اعتبارسنجی شد. در مرحله بعد برای تعیین سیل‌خیزی برای واحدهای سلولی و زیرحوضه‌ای با اجرای روش عکس‌العمل سیل واحد در قالب حذف متوالی سلول‌ها و شبیه‌سازی آب‌نمود سیل ابتدا بارش طراحی در محل ایستگاه آلونی استخراج، سپس میزان تاثیر هر یک از سلول‌ها و زیرحوضه‌ها بر آب‌نمود خروجی کل حوزه آبخیز به‌دست آمد. تعداد کل شبیه‌سازی به‌وسیله مدل برابر مجموع تعداد سلول‌ها و زیرحوضه‌ها می‌باشد.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل ModClark: در این روش بارش موثر در هر سلول با زمان تاخیر متناسب با طول پیمایش آن سلول به خروجی حوزه آبخیز می‌رسد. در این روش نیازی به تعیین ضریب زبری نیست و برآورد آب‌نمود به کمک دو پارامتر اصلی

از سلول‌ها و زیرحوضه‌ها بر دبی سیل خروجی و اولویت‌بندی آن‌ها از نظر سیل‌خیزی بر اساس روش عکس‌العمل سیل واحد، ابتدا آب‌نمود سیل خروجی به‌ازای بارش طرح در دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ساله با مشارکت کلیه حوزه آبخیز محاسبه شد. سپس شبیه‌سازی با حذف متوالی هر کدام از واحدهای سلولی و زیرحوضه‌ای تکرار شده و بدین ترتیب تأثیر آن‌ها در مرحله شبیه‌سازی بر روی آب‌نمود خروجی کل حوزه آبخیز تعیین و میزان مشارکت هر یک از سلول‌ها و زیرحوضه‌ها بر دبی اوج خروجی به‌دست آمد. جهت بررسی میزان تأثیرگذاری هر سلول بر دبی اوج خروجی از شاخص کمی سیل‌خیزی ارائه شده در رابطه (۳) استفاده شد (Saghafian و همکاران، ۲۰۱۰، Saghafian و Khosroshah، ۲۰۰۵).

$$f_i = \frac{\Delta Q_i}{A_i} \quad (3)$$

که در آن، f_i شاخص سیل‌خیزی زیرحوضه i ام ($m^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$)، ΔQ_i تغییر دبی اوج خروجی حوزه آبخیز با حذف زیرحوضه i ام ($m^3 \cdot s^{-1}$) و A_i مساحت زیرحوضه i ام (km^2) می‌باشد.

نتایج و بحث

جدول ۲ پارامترهای واسنجی شده را نشان می‌دهد. نتایج مربوط به آب‌نمودهای شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل ModClark در رخدادهای انتخابی و نتایج ارزیابی مدل در برآورد مشخصه‌های آب‌نمود سیلاب به‌ترتیب در شکل ۳ و جدول ۳ ارائه شده است.

نتایج حاصل از مقایسه بین دبی‌های هم‌عرض نشان می‌دهد، مدل در مرحله اعتبارسنجی با ریشه میانگین مربعات خطا، ضریب کارایی و ضریب تبیین به‌ترتیب برابر ۱/۵۳، ۰/۸۹ و ۰/۷۴ آب‌نمود سیلاب را شبیه‌سازی کرده است. با توجه به این که هر چقدر ریشه میانگین مربعات خطا نزدیک به صفر، ضریب کارایی و ضریب تبیین نزدیک به یک باشد، مدل دقت بالایی در شبیه‌سازی آب‌نمود سیلاب دارد که با نتایج Knebl و همکاران (۲۰۰۵)، Alvankar و همکاران (۲۰۰۶)، Paudel و همکاران (۲۰۰۹)، Saghafian و

می‌باشد. در پایان آب‌نمود به‌دست آمده بر اساس رابطه (۲) در مخزن خطی روندیابی می‌شود.

$$S(t) = KO(t) \quad (2)$$

که در آن، $S(t)$ ذخیره در زمان t ، $O(t)$ خروجی مخزن در زمان t و K ضریب ذخیره کلارک است. در این پژوهش، از نرم‌افزاری که بر مبنای روش ModClark می‌باشد و به‌وسیله Alvankar و همکاران (۲۰۰۶) تدوین شده است، استفاده شد.

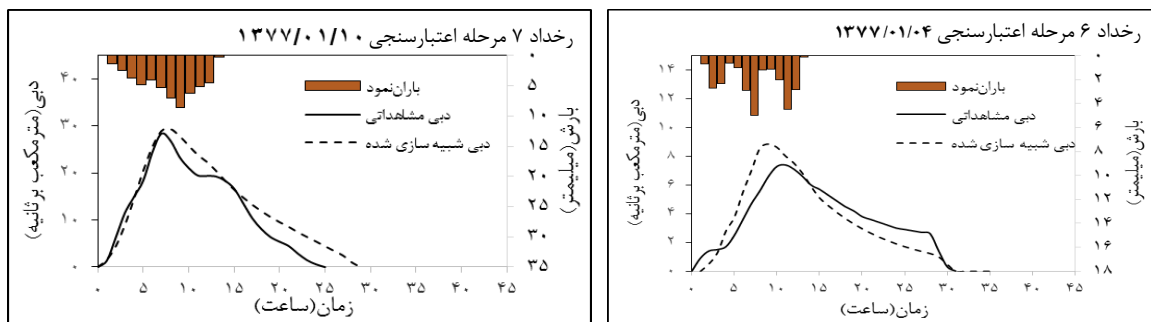
با بررسی اطلاعات موجود، تعداد هشت رگبار با موجودیت اطلاعات بارش و رواناب انتخاب شد. برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل رخدادهای دو دسته تقسیم شدند و پنج رخداد برای واسنجی و سه رخداد برای اعتبارسنجی انتخاب شد. در زمان وقوع هر سیلاب با استفاده از بارش روزانه ثبت شده در ایستگاه‌های باران‌سنجی داخل و اطراف حوزه آبخیز خانمیرزا توزیع مکانی رگبارها با استفاده از روش عکس مربع فاصله (IDW) در محیط GIS و با شبکه سلولی ۲۵ متر استخراج شد. توزیع زمانی رگبارها نیز با استفاده از کاغذهای باران‌نگار ایستگاه آلونی و با استفاده از روش پیل‌گریم (Pilgrim و Cordery، ۱۹۷۵) تعیین شد. زمان تأخیر و زمان تمرکز حوزه آبخیز خانمیرزا با استفاده از روابط NRCS تعیین شدند. ضریب ذخیره با استفاده از روش گرافیکی (شاخه خشکیدگی آب‌نمود) به‌دست آمد (Viessman و همکاران، ۱۹۷۲) و به‌عنوان برآورد اولیه در مرحله واسنجی استفاده شد. همچنین، شماره منحنی حوضه نیز با استفاده از ضریبی مورد واسنجی قرار گرفت.

تعیین سیل‌خیزی: پس از واسنجی و اعتبارسنجی مدل، برای تعیین مناطق سیل‌خیزی، ابتدا بارش طرح در محل ایستگاه آلونی استخراج شد. بر اساس منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی ایستگاه آلونی شدت بارندگی برای دوره بازگشت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ساله با تداوم معادل زمان تمرکز کل آبخیز برآورد شد. توزیع مکانی بارش طرح از رابطه همبستگی بین ارتفاع و عمق بارش سالانه انجام شد. در ادامه برای تعیین سیل‌خیزی، حوزه آبخیز به واحدهای سلولی 2×2 کیلومتر مربع و واحدهای زیرحوضه‌ای تقسیم شد. سپس واحدهای سلولی و زیرحوضه‌ای در محیط ArcGIS کدگذاری و برای تعیین میزان تأثیر هر یک

همکاران، (۲۰۱۰)، Ghavidelfar و همکاران (۲۰۱۱) قبول مدل ModClark در برآورد آب‌نمود سیل هم‌خوانی دارد. Rajabi و Shabanlou (۲۰۱۲) مبنی بر توانایی قابل

جدول ۲- پارامترهای هیدرولوژیکی حوزه آبخیز پس از واسنجی

پارامترهای واسنجی	مقدار اولیه	مقدار واسنجی شده
ضریب شماره منحنی	۱	۰/۸۷
زمان تمرکز (ساعت)	۹/۵	۹/۰۵
نسبت تلفات اولیه	۰/۲	۰/۱۹
ضریب ذخیره (ساعت)	۸/۵	۸/۸۳



شکل ۳- نمونه‌ای از آب‌نمودهای مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل ModClark در مرحله اعتبارسنجی

جدول ۳- نتایج ارزیابی مدل ModClark در برآورد مشخصه‌های آب‌نمود سیلاب

ردیف	رخداد	دبی‌های هم‌عرض			خطای نسبی درصد		دبی اوج
		ریشه میانگین مربعات خطا	ضریب کارایی	ضریب تبیین	حجم سیلاب	زمان تا اوج	
واسنجی	۱	۲/۸۰	۰/۶۷	۰/۰۵	۴۱/۰۰	۹۹/۳۴	۶/۵۴
	۲	۰/۹۹	۰/۸۲	۰/۷۲	۲۱/۰۳	۶/۳۶	۲/۰۰
	۳	۰/۷۲	۰/۹۱	۰/۷۳	۲۷/۰۰	۲۸/۰۶	۷/۳۱
	۴	۰/۹۳	۰/۷۳	۰/۶۷	۲/۴۹	۷/۰۵	۳۴/۳۲
	۵	۱/۵۰	۰/۸۸	۰/۷۷	۲۵/۹۴	۱۴/۰۳	۱/۵۴
	میانگین	۱/۳۸	۰/۸۲	۰/۵۹	۲۳/۴۹	۳۰/۹۷	۱۰/۳۲
اعتبارسنجی	۶	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۶۶	۱/۶۸	۹/۶۸	۱۹/۴۲
	۷	۲/۷۸	۰/۹۷	۰/۸۸	۲۳/۰۴	۱۴/۲۸	۳/۵۰
	۸	۰/۸۹	۰/۷۹	۰/۶۸	۸/۹۴	۶۰/۵۳	۳۳/۶۵
	میانگین	۱/۵۳	۰/۸۹	۰/۷۴	۱۱/۲۲	۲۸/۲۲	۱۵/۵۲

کیلومتر مربع حوزه آبخیز خانمیرزا ارائه شده است. شکل‌های ۷ نقشه توزیعی طبقه‌بندی شده سیل خیزی به ترتیب در دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله را نشان می‌دهند. در مقیاس سلولی نحوه پاسخ سلول‌ها به بارش با دوره بازگشت‌های ذکر شده، متفاوت بوده به گونه‌ای که در دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله سلول شماره دو، ۱۰ و ۸۳، در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله

ارتفاع بارش طرح، در زمان تمرکز حوزه آبخیز با دوره بازگشت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب معادل ۴/۸۶، ۵/۰۹ و ۵/۳۰ میلی‌متر به دست آمد. شکل ۴ نقشه درصد بارش حوزه آبخیز خانمیرزا را نشان می‌دهد. شکل ۵ منحنی معرف توزیع زمانی بارش ۱۰ ساعته حوزه آبخیز خانمیرزا آمده است. در شکل ۶ نقشه کدگذاری واحدهای سلولی به مساحت ۲×۲

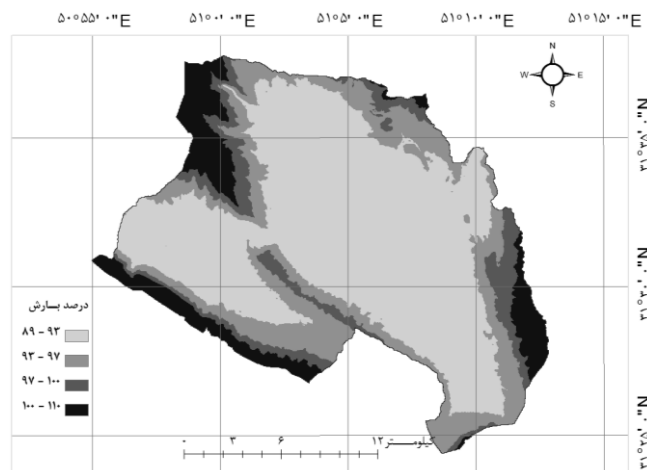
یکی از عوامل اصلی در توجیه وجود سیل خیزی پایین در این قسمت از حوزه آبخیز، وجود کاربری جنگل می‌باشد.

جدول ۴، درصد مساحت طبقات مختلف سیل خیزی در دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول در دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله طبقه خیلی کم به ترتیب با درصد مساحت ۳۲/۹۸ و ۳۰/۴۴ و در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله طبقه کم با درصد مساحت ۲۹/۲۸ بیشترین سطح را شامل می‌شود.

نتایج اولویت‌بندی سیل خیزی زیرحوضه‌ها: در شکل ۸ نقشه اولویت‌بندی سیل خیزی زیرحوضه‌ها در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله ارائه شده است. لازم به ذکر است، نتایج حاصل از اولویت‌بندی سیل خیزی زیرحوضه‌ها در دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله با وجود تفاوت مقادیر بارش و سیلاب در این سه دوره بازگشت یکسان بود. این موضوع بیانگر کفایت محاسبه سیل خیزی در یک دوره بازگشت برای پروژه‌های کاهش سیل و همچنین، اقدامات آبخیزداری در مقیاس زیرحوضه می‌باشد.

سلول‌های ۴۶-۵۱ و ۶۴-۶۶ به‌عنوان موثرترین سلول‌ها در سیل خیزی حوزه آبخیز خانمیرزا شناخته شدند. به‌طور کلی در کلیه دوره بازگشت‌ها، بخش‌های شمال و شمال غرب حوزه آبخیز اغلب در طبقه سیل خیزی خیلی کم و کم قرار گرفت. در بخش جنوب شرقی و بخش مرکزی طبقات سیل خیزی زیاد و خیلی زیاد واقع شدند.

سلول‌های واقع در قسمت‌های شرقی و جنوب شرقی دارای سیل خیزی بالایی هستند که می‌تواند به‌دلیل گروه هیدرولوژیکی خاک C و D و کاربری مرتع-دیم، جنگل-صخره‌ای و دیم در این سلول‌ها باشد. همچنین، وجود کاربری مرتع و خاک‌های با گروه هیدرولوژیکی C می‌تواند دلیلی بر بالا بودن سیل خیزی قسمت‌های شمالی حوزه آبخیز باشد. سلول‌های بخش‌های جنوبی حوزه آبخیز نیز دارای سیل خیزی بالایی بود که دلیل آن را می‌توان وجود زراعت دیم و خاک‌های با گروه هیدرولوژیکی D دانست. در مقابل سلول‌های واقع در شمال غربی حوزه آبخیز با وجود خاک‌های با گروه هیدرولوژیکی D دارای سیل خیزی کمتری می‌باشند.



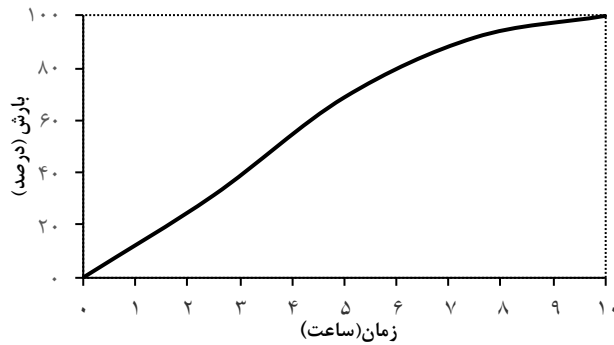
شکل ۴- نقشه درصد بارش حوزه آبخیز خانمیرزا

اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک زیرحوضه‌ها می‌توانند دارای تاثیر بیشتری بر مقادیر دبی اوج و سیل خیزی باشند که با نتایج Saghafian و همکاران (۲۰۰۶) هم‌خوانی دارد. همچنین، نتایج نشان می‌دهد، سیل خیزی از پایین‌دست به سمت بالادست حوزه

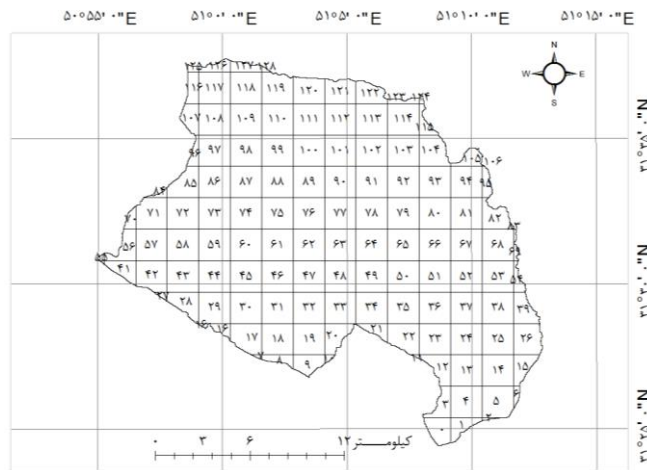
با توجه به جدول ۵ نتایج حاصل از مقادیر دبی اوج و شاخص سیل خیزی هر زیرحوضه نشان داد، لزوماً زیرحوضه‌های دارای مساحت بیشتر و فاصله کمتر نسبت به خروجی نمی‌توانند تاثیر بیشتری در سیل خروجی داشته باشند، بلکه عواملی نظیر کاربری

آبخیز افزایشی است که این مسئله گویای اهمیت سرشاخه‌ها در تولید سیل می‌باشد که این مسئله نشان‌دهنده اهمیت مدیریت و پیشگیری سیل و برنامه‌های آبخیزداری در سرمنشا می‌باشد که با نتایج Ghazanfarpour و همکاران (۲۰۰۹)، Izanlu و همکاران (۲۰۰۹) و Solaimani Sardou و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد. با شناسایی این مناطق و به‌کارگیری برنامه‌های مدیریتی آبخیزداری از قبیل عملیات بیولوژیکی و مکانیکی، احداث سطوح آبگیر باران، احداث سدهای تأخیری و یا تلفیقی می‌تواند اثرات قابل ملاحظه‌ای در کاهش سیل و تشدید خطرات ناشی از آن داشته باشد.

شکل ۵- منحنی معرف توزیع زمانی بارش ۱۰ ساعته حوزه آبخیز خانمیرزا



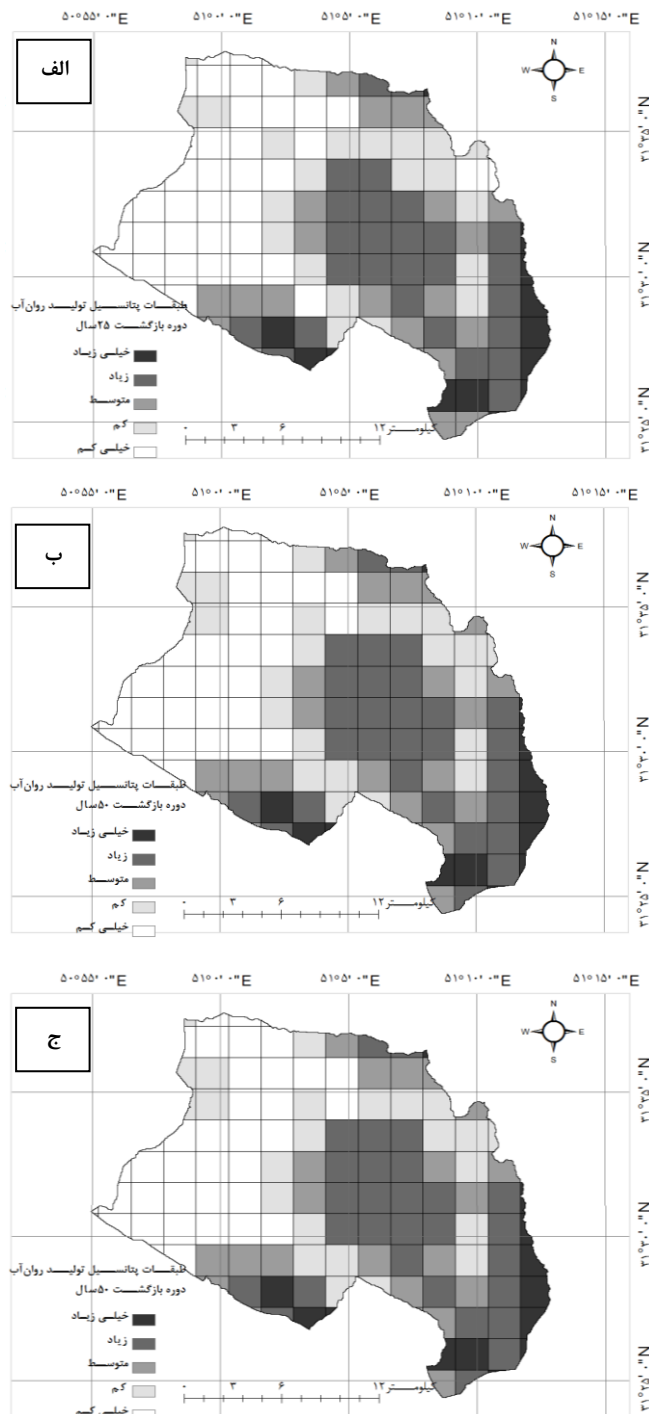
شکل ۵- منحنی معرف توزیع زمانی بارش ۱۰ ساعته حوزه آبخیز خانمیرزا



شکل ۶- نقشه کدگذاری واحدهای سلولی به مساحت ۲×۲ کیلومتر مربع حوزه آبخیز خانمیرزا

مقایسه سیل‌خیزی در واحدهای سلول‌ها و زیرحوضه‌ای: به‌عنوان نمونه شکل‌های ۹ و ۱۰ را سیل‌خیزی سلول‌ها به تفکیک زیرحوضه‌های ۴ و ۷ را نشان می‌دهد. جدول ۶ اطلاعات مربوط به سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها و میانگین سیل‌خیزی سلول‌های هر زیرحوضه را نشان می‌دهد. مقایسه دو ستون جدول ۶ نشان داد که نتایج به هم نزدیک می‌باشد و شاخص سیل‌خیزی هر زیرحوضه تقریباً معادل میانگین سلول‌های موجود در آن می‌باشد. به بیان دیگر، اگر پروژه‌های کنترل سیل برای واحدهای زیرحوضه مد نظر باشد، با تعداد بسیار کمتری از شبیه‌سازی می‌توان اقدام به شناسایی زیرحوضه‌های با سیل‌خیزی بالا نمود و لزومی به تعیین شاخص سیل‌خیزی در واحدهای سلولی نمی‌باشد. اما زمانی که شناسایی واحدهای با مقیاس کوچک‌تر از زیرحوضه مدنظر باشد روش توزیعی می‌تواند تنها راه‌حل باشد که با نتایج Saghafian و همکاران (۲۰۱۰) هم‌خوانی دارد.

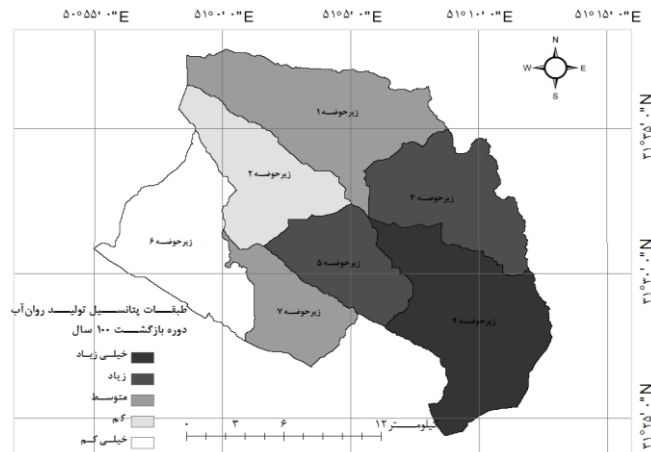
مقایسه دو ستون جدول ۶ نشان داد که نتایج به هم نزدیک می‌باشد و شاخص سیل‌خیزی هر زیرحوضه تقریباً معادل میانگین سلول‌های موجود در آن می‌باشد. به بیان دیگر، اگر پروژه‌های کنترل سیل برای واحدهای زیرحوضه مد نظر باشد، با تعداد بسیار کمتری از شبیه‌سازی می‌توان اقدام به شناسایی زیرحوضه‌های با سیل‌خیزی بالا نمود و لزومی به تعیین شاخص سیل‌خیزی در واحدهای سلولی نمی‌باشد. اما زمانی که شناسایی واحدهای با مقیاس کوچک‌تر از زیرحوضه مدنظر باشد روش توزیعی می‌تواند تنها راه‌حل باشد که با نتایج Saghafian و همکاران (۲۰۱۰) هم‌خوانی دارد.



شکل ۷- الف، ب و ج به ترتیب نقشه طبقات سیل خیزی ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله حوزه آبخیز خانمیرزا

جدول ۴- درصد مساحت طبقات مختلف سیل خیزی حوزه آبخیز خانمیرزا

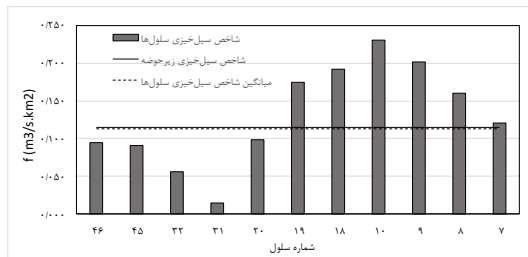
دوره بازگشت ۱۰۰ سال		دوره بازگشت ۵۰ سال		دوره بازگشت ۲۵ سال	
مساحت (%)	طبقه	مساحت (%)	طبقه	مساحت (%)	طبقه
۱۶/۹۴	خیلی زیاد	۵/۶۳	خیلی زیاد	۵/۶۳	خیلی زیاد
۱۷/۷۲	زیاد	۲۶/۹۸	زیاد	۲۵/۵۲	زیاد
۱۹/۶۲	متوسط	۱۶/۷۸	متوسط	۱۶/۸۵	متوسط
۲۹/۲۸	کم	۲۰/۱۷	کم	۱۹/۰۲	کم
۱۶/۴۳	خیلی کم	۳۰/۴۴	خیلی کم	۳۲/۹۸	خیلی کم



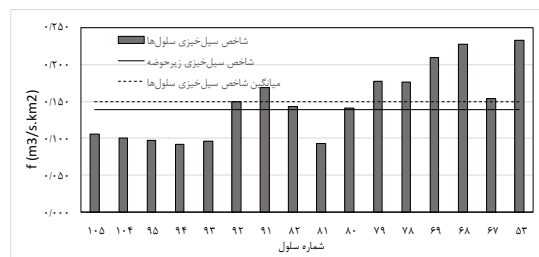
شکل ۸- نقشه سیل خیزی ۱۰ ساله زیرحوضه‌های حوزه آبخیز خانمیرزا

جدول ۵- مقادیر دبی اوج و طبقات مختلف سیل خیزی ۱۰۰ ساله هر زیرحوضه

زیرحوضه	مساحت (km ²)	مساحت (%)	دبی اوج (m ³ .s ⁻¹)	شاخص سیل خیزی	طبقه
۱	۶۰/۶۶	۱۵/۶۰	۳۷/۸۰	۰/۰۴	خیلی کم
۲	۴۷/۸۰	۱۲/۲۹	۳۷/۳۲	۰/۰۶	کم
۳	۷۴/۵۲	۱۹/۱۷	۳۴/۷۰	۰/۰۷	متوسط
۴	۵۵/۴۹	۱۴/۲۷	۳۲/۵۲	۰/۱۴	زیاد
۵	۸۳/۱۲	۲۱/۳۸	۲۷/۵۲	۰/۱۵	خیلی زیاد
۶	۳۵/۰۵	۹/۰۲	۳۵/۷۱	۰/۱۳	زیاد
۷	۳۲/۱۱	۸/۲۶	۳۶/۵۴	۰/۱۱	متوسط



شکل ۱۰- سیل خیزی سلول‌ها زیرحوضه ۷



شکل ۹- سیل خیزی سلول‌ها زیرحوضه ۴

جدول ۶- سیل خیزی زیرحوضه میانگین و شاخص سیل خیزی سلول‌ها

زیرحوضه	شاخص سیل خیزی زیرحوضه (m ³ .s ⁻¹ .km ⁻²)	میانگین شاخص سیل خیزی سلول‌ها	درصد تفاوت نسبی	طبقه
۱	۰/۰۴	۰/۶۷	۴۲/۸۶	خیلی کم
۲	۰/۰۶	۰/۰۸	۲۵/۰۰	کم
۳	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۰	متوسط
۴	۰/۱۴	۰/۱۵	۶/۶۷	زیاد
۵	۰/۱۵	۰/۱۷	۱۱/۷۶	خیلی زیاد
۶	۰/۱۳	۰/۱۴	۷/۱۴	زیاد
۷	۰/۱۲	۰/۱۱	۹/۰۹	متوسط

عملیات کنترل سیلاب از نوع سازه‌های کوچک و یا تقویت، مدیریت کاربری اراضی و پوشش گیاهی، برنامه‌های حفاظتی و کنترلی و پروژه‌های استحصال آب باران استفاده نمود. همچنین، در تعیین مکان نصب ادوات اندازه‌گیری و هشدار سیل در زیرحوضه‌های دارای سیل‌خیزی بالا نیز می‌توان از نتایج این پژوهش استفاده کرد. از آنجایی که اولویت‌بندی در قالب زیرحوضه و سلولی نتایج یکسانی دارد، پیشنهاد می‌شود، در صورتی که اولویت‌بندی کوچک‌تر از زیرحوضه لازم نباشد، اولویت‌بندی در واحد زیرحوضه انجام شود.

نتایج نشان داد، با بهره‌گیری از توزیعی بودن مدل ModClark می‌توان پتانسیل تولید رواناب را در واحدهای به هر اندازه کوچک‌تر بررسی کرد که این امر مستلزم ورودی‌های دقیق به مدل می‌باشد. از نتایج این تحقیق می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که هر چند یک زیرحوضه در مقیاس اولویت‌بندی زیر حوضه‌ای دارای سیل‌خیزی کم باشد، اما ممکن است، واحدهای کوچک‌تر درون آن دارای سیل‌خیزی بالایی باشند که نشان‌دهنده اهمیت تعیین سیل‌خیزی به‌صورت توزیعی در پروژه‌های کنترل سیل می‌باشد. از نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان در برنامه‌ریزی

منابع مورد استفاده

1. Abdollahi, Kh. 2003. Runoff modeling based on geomorphologic properties using GIS in Khanmirza watershed, Iran. MSc Thesis, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, 157 pages (in Persian).
2. Alvankar, S.R., B. Saghafian and H. Sedghi. 2006. Effect of pixel size of a hydrologic model on simulation of flood peak. Journal of Agricultural Sciences Islamic Azad University, 12(2): 329-344 (in Persian).
3. Chidaz, A., M. Mohseni Saravi and M. Vafakhah. 2009. Evaluating the HEC-HMS model for estimating flood hydrograph in Kasilian basin. Journal of Watershed Management Researches (Pajouhesh and Sazandegi), 84: 59-71 (in Persian).
4. Ghavidelfar, S., S.R. Alvankar and A. Razmkhah. 2011. Comparison of the lumped and quasi-distributed Clark runoff models in simulating flood hydrographs on a semi-arid watershed. Water Resources Management, 25(6): 1775-1790.
5. Ghazanfarpour, N., M. Dehdashti, A. Amiri and L. Sadaii. 2009. Flood hydrograph simulation of Semirom sub-basins using HEC-HMS model. 5th National Conference on Watershed Management Engineering, 177 pages.
6. Izanlu, H., H. Moradi and S.H.R. Sadeghi. 2009. Locating of effective sub-basins on spring flood peak and volume of flood using HEC-HMS model (case study: Kushkabad Watershed in Razavi Khorasan). 5th National Conference on Watershed Management Engineering, 39 pages.
7. Juracek, K.E. 2000. Estimation and comparison of potential runoff contributing areas in Kansas using topographic, soil and land use information. U.S. Geological Survey, Water Resources Investigations Report, 55 pages.
8. Knebl, M.R., Z.L. Yang, K. Hutchison and D.R. Maidment. 2005. Regional scale flood modeling using NEXRAD, rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case study for the San Antonio River basin summer 2002 storm event. Journal of Environmental Management, 75: 325-336.
9. Konadu, D.D. and C. Fosu. 2009. Digital elevation models and GIS for watershed modelling and flood prediction, a case study of Accra Ghana, Appropriate Technologies for Environmental Protection in the Developing World. Springer, 21: 325-332.
10. Kull, D.W. and A.D. Feldman. 1998. Evaluation of Clark's unit graph method to spatially distributed runoff. Journal of Hydrologic Engineering, 3(1): 9-19.
11. Miller, S.N., W.G. Kepner, M.H. Mehaffey, M. Hernandez, R.C. Miller, D.C. Goodrich, K. Devonald, D.T. Heggen and W.P. Miller. 2002. Integrating landscape assessment and hydrologic modeling for land cover change analysis. Journal of the American Water Resources Association, 38(4): 915-929.
12. Paudel, M., E.J. Nelson and W. Scharffenberg. 2009. Comparison of lumped and quasi-distributed Clark runoff models using the SCS curve number equation. Journal of Hydrologic Engineering, 34(3): 1098-1106.
13. Pilgrim, D.H. and I. Cordery. 1975. Rainfall temporal patterns for design floods. Journal of the Hydraulics Division, 101(1): 81-95.
14. Sadeghi, S.H.R., M. Mahdavi and S.L. Razavi. 2008. Calibration curve number of the SCS method in Amame, Kasiliyan, Darjazin and Khanmirza watersheds. Journal of Watershed Management Science and Engineering, 2(4): 12-24 (in Persian).

15. Saghafian, B. and M. Khosroshahi. 2005. Unit response approach for priority determination of flood source areas. *Journal of Hydrologic Engineering*, 10(4): 270-277.
16. Saghafian, B., B. Ghermezcheshmeh and M.M. Kheirkhah. 2010. Iso-flood severity mapping: a new tool for distributed flood source identification. *Natural Hazards*, 55: 557-570.
17. Saghafian, B., H. Farazjoo, A. Sepehry and A. Najafinejad. 2006. Effects of land use change on floods in Golestan dam drainage basin. *Journal of Water Resources Research*, 2(1): 18-28 (in Persian).
18. Samadi Broojeni, H. and R. Fatahi Nafchi. 2012. Zoning floods roads in Chaharmahal and Bakhtiari province. *Water Resources Research Center, Shahrekord University*, 239 pages (in Persian).
19. Shabanlou, S. and A. Rajabi. 2012. Comparison of estimated flood hydrographs using lumped and distributed models. *Journal of Environmental Research and Development*, 7(1): 79-87.
20. Singh, V.P. 2002. *Hydrologic systems (rainfall-runoff modeling)*. University of Tehran Press, 1056 pages (in Persian).
21. Solaimani Sardou, F., S. Soltani Kopaei and A. Salajegheh. 2012. Site selection of effective places on flood peak generation using hydrological model of HEC-HMS in Jiroft Dam basin. *Journal of Watershed Management Research (Pajouhesh and Sazandegi)*, 95: 32-44 (in Persian).
22. Telvari, A. 1996. *Hydrologic models in simple language*. Research Institute of Forests and Rangelands, 118 pages (in Persian).
23. Viessman, W., T.E. Harbaugh and J. Knapp. 1972. *Introduction to Hydrology*. Entex Educational, 760 pages.

Spatial variability of flood source areas using "unit flood response" method in Khanmirza Watershed

Mojtaba Rezaei¹, Mehdi Vafakhah^{*2} and Bagher Ghermezcheshmeh³

¹ MSc, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran, ² Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran and ³ Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 10 January 2015

Accepted: 23 May 2015

Abstract

Flood is a sudden happening and quick and destructive event that causes death and financial sensible and unsensible damages in different parts on the world and Iran annually. Control or decreasing these destructive impositions needs precise and accurate studies. So, recognition of the places with runoff generation potential is very important. In current study, two major aims of investigation of the application of distributed ModClark model in flood hydrograph simulation and determination of flood source area in distributed and sub-watershed condition were investigated in the Khanmirza watershed, Chaharmahal-e-Bakhtiari Province. For this reason, at first, inputs of model were extracted by ArcGIS 9.3 and then model was calibrated and validated. In next step, in order to determine flood source area for cell units and sub-watersheds, by applying "Unit Flood Response" method, at first, design rainfall with return periods of 25, 50, and 100 years at the Aloni station were extracted and then influence of each cell and sub-watershed on output hydrograph of the outlet watershed were obtained. The results of model based on comparison between equal-width discharges show that at validation step, the model was simulated the flood hydrograph with high precision with root mean square error, efficiency coefficient, and R^2 of 1.53, 0.89, and 0.74, respectively. Also, according to the results of current study, based on the flood volume relative error, peak discharge, base time, and time to peak, ModClark model had lower error in predicting the flood volume and peak discharge. The final results showed that flood source area increases in sub-watersheds from downstream to upstream, while it doesn't follow any distribution in cell units.

Keywords: ArcGIS, Distributed Modeling, Flood Source Area Mapping, ModClark Model, Sub-watershed

* Corresponding author: vafakhah@modares.ac.ir