بررسی اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر سیل‌خیزی با استفاده از مدل SWAT (حوضه آبخیز ارازکوسه استان گلستان)

علی طالبی[۱*]، ایمان آبیاری[۲] و سارا پرویزی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۸/۲۲)

چکیده

سیلاب یک پدیده طبیعی است که هر ساله باعث به‌وجود آمدن خسارات سنگین جانی و مالی در نقاط مختلف کشور می‌شود. هدف اصلی در این پژوهش، بررسی کارایی مدل SWAT در پیش‌بینی سیلاب و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در حوضه آبخیز ارازکوسه استان گلستان است. برای واسنجی مدل از برنامه SUFI۲ استفاده شد. بعد از اتمام واسنجی و بهینه‌شدن مدل در منطقه مطالعاتی اقدام به اعتبارسنجی مدل شد. واسنجی مدل برای سال‌های ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۸، و اعتبارسنجی نیز براساس آمار سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۹ انجام شد. برای تجزیه و تحلیل نتایج از شاخص‌های آماری R۲، bR۲ و ضریب نش‌ساتکلیف (NS) استفاده شد. پس از واسنجی مدل با استفاده از الگوریتم SUFI۲ ضرایب R^2، bR^2 و NS به‌ترتیب ۰/۸۱، ۰/۸۱ و ۰/۷۳ و برای مرحله اعتبارسنجی آن ۰/۸۱، ۰/۷۸ و ۰/۶۴ براورد شدند. نتایج آنالیز حساسیت ۱۳ پارامتر مؤثر بر رواناب را نشان داد که شماره منحنی (CN۲) به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر شناخته شد و درنتیجه پارامترهای ثابت تخلیه آب زیرزمینی (ALPHA_BF)، زمان تأخیر آب زیرزمینی (GW_DELAY) و حداقل مقدار ذخیره آب لازم برای ایجاد جریان پایه (GWQMN) به‌ترتیب حساسیت بیشتری دارند. برای بررسی سیل‌خیزی، حوضه آبخیز ارازکوسه ابتدا به شش منطقه یا زیرحوضه کلی تقسیم‌بندی شد. بنابراین با توجه به نتایج حاصل از اجرای مدل SWAT و دو روش تغییر CN برای هریک از زیرحوضه‌ها و تعیین دبی اوج با و بدون یک زیرحوضه، زیرحوضه شماره ۶ با کاهش ۲۲/۴ درصدی دبی اوج رتبه اول را از لحاظ سیل‌خیزی در منطقه دارا است. درنتیجه به‌ترتیب زیرحوضه شماره ۴، ۱، ۳، ۵ و ۲ دارای رتبه دوم تا ششم در پتانسیل سیل‌خیزی حوضه ارازکوسه هستند.

واژه‌های کلیدی: سیل‌خیزی، مدل SWAT، شماره منحنی، حوضه آبخیز ارازکوسه

۱. گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
۲. گروه مهندسی عمران آب، دانشگاه آزاد واحد شیراز، شیراز، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: talebisf@yazd.ac.ir

مقدمه

سیلاب یکی از حوادث طبیعی است که بسیاری از کشورها با آن مواجه هستند و هرساله موجب خسارات جانی و مالی قابل‌توجهی در دنیا می‌شود، از این‌رو کنترل سیل و جلوگیری از خسارات احتمالی آن از دیرباز مورد توجه بوده است. از آنجا که انجام عملیات اجرایی و کنترل سیل در سراسر حوضه امکان‌پذیر نیست، از این‌رو شناسایی مناطق سیل‌خیز درون‌حوضه‌ای از اهمیت بسیاری برخوردار است. از این‌رو مناطقی که پتانسیل بالایی در تولید سیل دارند باید شناسایی و اولویت‌بندی شوند تا امکان بهینه‌سازی عملیات اجرایی در سطوح بحرانی‌ساز فراهم شود (۸). گلشن و همکاران (۳) در مطالعه‌ای کارایی مدل‌های نیمه توزیعی SWAT و مدل یکپارچه IHACRES در شبیه سازی رواناب حوضه آبخیز خرم‌آباد را ارزیابی کردند. نتایج ضریب نش‌ساتکلیف برای مدل نیمه توزیعی و یکپارچه به‌ترتیب ۰/۶۳ و ۰/۵۳ محاسبه شد. نتایج نشان داد که باوجود ساده بودن مدل یکپارچه دقت آن نزدیک به مدل پیچیده نیمه‌توزیعی است و هر دو مدل برای کاربرد در منطقه مناسب هستند. بنابراین با توجه به در دسترس بودن اطلاعات می‌توان از این مدل‌ها به‌منظور شبیه سازی رواناب منطقه استفاده کرد. یونیال و همکاران (۱۰) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر تغییرات آب‌وهوایی روی مؤلفه‌های بیلان آب در حوضه رودخانه باترانی (Baitarani) در شرق هند با استفاده از SWAT پرداختند. کالیبراسیون مدل با استفاده از روش SUFI۲ انجام شد. داده روزانه رودخانه از سال های ۲۰۰۳-۱۹۹۸ برای کالیبراسیون و ۲۰۰۵-۲۰۰۴ برای اعتبارسنجی استفاده شد. نتایج کالیبراسیون رضایت‌بخش با بهره‌وری نش‌ساتکلیف و میانگین خطای مطلق (MAE) از ۰/۸۸ و ۹/۷۰ برای گام زمانی روزانه قرار گرفتند. همچنین موفقیت مدل برای شبیه سازی جریان روزانه تأیید شد. نتایج نهایی نشان داد که تغییرات آینده در شرایط آب‌وهوایی در پایان قرن ۲۱ به احتمال زیاد به تولید اثرات قابل‌توجهی در رودخانه در منطقه مورد مطالعه اثر می گذارد. اعظمی بابائی و همکاران (۱) به اولویت‌بندی سیل‌خیزی واحدهای هیدرولوژیک در حوضه آبریز پل شاه پرداختند. به‌منظور شبیه‌سازی بارش – رواناب از روش SCS و برای تعیین تلفات اولیه از روش شماره منحنی در قالب نرم‌افزار HEC-HMS، و به‌منظور تعیین بارش طرح، توزیع آماری از نرم‌افزار SMADA در دوره آماری ۱۳۹۴-۱۲۷۷ استفاده شد. نتایج نشان داد ضریب کارایی مدل بعد از واسنجی برای هر دو رویداد مثبت بوده است و به ۰/۸۷۲ و ۰/۱۷۳ ارتقا یافته‌اند. در مرحله اعتبارسنجی نیز ضریب کارایی برابر ۰/۳۳۶ و خطای دبی اوج هشت درصد شد که دقت و صحت مدل‌سازی اثبات شد. با بررسی سهم مشارکت زیرحوضه‌ها مشخص شد که زیرحوضه‌های خروجی به‌دلیل وضعیت زمین‌شناسی و پوشش پتانسیل سیل‌خیزی بیشتری دارند و زیرحوضه‌های بالادست سیل‌خیزی کمتری دارند. غریب و همکاران (۳) به اولویت‌بندی سیل‌خیزی حوضه آبخیز تنگ‌راه به‌روش توزیعی و ارائه روشی برای تعیین مناطق مولد سیل پرداختند. بدین‌منظور ابتدا ورودی‌های مدل بارش – رواناب استخراج و سپس مدل مد کلارک (Mod Clark)واسنجی و اعتبارسنجی شد. سپس میزان تأثیر هریک از واحدها و زیرحوضه‌ها بر آب‌نمود خروجی کل حوضه آبخیز به‌دست آمد و درنهایت برای سیل با دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ سال برای حوضه‌های فاقد آمار، رابطه رگرسیونی چندمتغیره مناسب بین پارامترهای مورفومتری و شاخص سیل‌خیزی ارائه شد. نتایج نشان داد که پتانسیل تولید رواناب از بالادست به سمت پایین‌دست حوضه افزایشی بوده است و با درنظر گرفتن همزمانی دبی اوج و نقش روندیابی سیل در رودخانه‌ها، اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها را به‌نحو مطلوب انجام داد. محمدی مطلق و همکاران (۶) در پژوهشی با تلفیق GIS و HEC-HMS میزان مشارکت زیرحوضه‌های بالادست ایستگاه آب‌سنجی چم‌چیت واقع در حوضه آبریز دالکی در سیل‌خیزی کل حوضه بر اساس دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰۰ ساله تعیین شد. بدین‌منظور با استفاده از روش تکرار حذف انفرادی زیرحوضه‌ها، زیرحوضه‌های آبریز بالادست ایستگاه آب‌سنجی چم‌چیت از نظر سیل‌خیزی اولویت‌بندی شد. نتایج نشان داد که میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در بده خروجی کل حوضه تنها

تحت تأثیر مساحت و بده اوج زیرحوضه نیست و عواملی مانند موقعیت مکانی زیرحوضه‌ها، فاصله تا خروجی، ضریب CN و نقش روندیابی در رودخانه اصلی تأثیر بسزایی در سیل‌خیز بودن زیرحوضه‌ها دارند. سلیمانی ساردو و همکاران (۱۰) به مکان‌یابی مناطق مؤثر بر دبی اوج سیلاب با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS در حوضه سد جیرفت پرداختند و از دو شاخص F٪ و f برای آنالیز سیل‌خیزی استفاده شد. نتایج حاصل از شاخص F٪ نشان داد زیرحوضه‌های K۴ و سلطانی به‌ترتیب با مقادیر ۱۶/۱۲ و ۱۳/۲۴ در اولویت اول سیل‌خیزی قرار دارند. اما در روش آنالیز حساسیت شاخص f نتایج نشان داد زیرحوضه K۶ با ۰/۷۶ رتبه اول و زیرحوضه هنجان با ۰/۷۴ در رتبه دوم قرار دارند. سلیمانی ساردو و همکاران (۸) به انتخاب مناسب‌ترین شاخص سیل‌خیزی در حوضه سد جیرفت به‌منظور مکان‌یابی مناطق حساس به تولید سیل پرداختند. در این راستا از مدل بارش – رواناب HEC-HMS و تکنیک‌های GIS و RS استفاده شد و نتایج نشان داد که مقادیر استخراج‌شده با استفاده از شاخص f با مقادیر شماره منحنی ضریب همبستگی ۰/۸۱۳ دارند. به‌طوری که با تغییر شماره منحنی مقدار شاخص هم به‌صورت خطی تغییر می‌کند و به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص سیل‌خیزی منطقه انتخاب شد. هدف از پژوهش حاضر، اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر سیل‌خیزی با استفاده از مدل SWAT در حوضه آبخیز ارازکوسه استان گلستان است. با توجه به کاربرد وسیع این مدل در مقیاس جهانی، دستیابی به این هدف می‌تواند مبنایی برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز به‌منظور اجرای پروژه‌های مرتبط باشد و از صرف هزینه‌های زیاد در مناطق غیرضروری جلوگیری کند.

مواد و روش‌ها

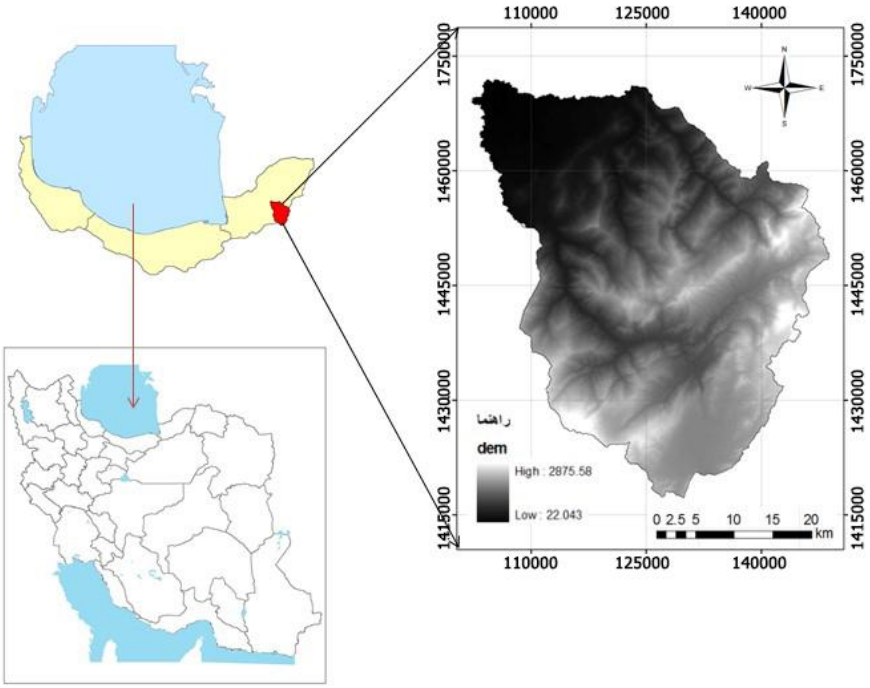
معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز ارازکوسه در شمال ایران و در جنوب استان گلستان واقع شده است. این حوضه بین مختصات جغرافیایی "۲۵ '۱۰ °۵۵ تا "۰۱ '۲۷ °۵۵ طول شرقی و "۲۰ '۰۲ °۳۷ تا "۳۶ '۱۳ °۳۷ عرض شمالی واقع شده است. مساحت این حوضه ۳۹۰۹/۶۵ کیلومترمربع معادل ۳۹۰۹۶۵ هکتار است. حداقل ارتفاع از سطح دریا در این آبخیز در مناطق شمالی (محدوده شهر گنبد) معادل ۲۲ متر و حداکثر ارتفاع در مناطق جنوبی حوضه ۲۸۷۵ متر از سطح دریا است. این منطقه از لحاظ تقسیمات کشوری در محدوده شهرستان گنبد قرار دارد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز ارازکوسه را نشان می‌دهد. در این پژوهش به اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیر حوضه‌ها با استفاده از مدل سوات و سپس مقایسه نتایج با شاخص F٪ (یکی از شاخص‌های سیل‌خیزی است که پارامتر مساحت را در آنالیز سیل‌خیزی دخالت می‌دهد) پرداخته شد. برای این منظور ابتدا داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل SWAT که شامل اطلاعات هواشناسی (بارش روزانه، دمای حداقل وحداکثر، رطوبت نسبی و سرعت باد)، نقشه‌های رقومی ارتفاعی، خاک، کاربری اراضی، شیب و سایر اطلاعات مورد نیاز تهیه و مدل اجرا شد سپس نتایج به‌دست‌آمده برای ارزیابی کارایی مدل وارد نرم‌افزار Sufi۲ شد و عملیات واسنجی و اعتبارسنجی مدل با استفاده از خروجی مدل SWAT و داده‌های دبی مشاهده‌ای منطقه صورت گرفت و در مرحله بعد برای بررسی تأثیر CN بر سیل‌خیزی منطقه مورد مطالعه براساس جدول چاو مقدار CN را به‌ترتیب برای هر زیرحوضه ۳۰ (بدون وجود رواناب) در نظر گرفته شد (به‌منظور حذف تأثیر آن زیرحوضه) و بار دیگر مدل اجرا و نتایج تجزیه و تحلیل شد و در انتها به‌منظور مقایسه نتایج، شاخص F نیز برای منطقه محاسبه شد و براساس نتایج کلی اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها صورت گرفت.

بررسی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها

روش اول: مدل SWAT

SWAT که مخفف عبارت Soiland Water Assessment Tool است، مدلی در مقیاس آبخیز بزرگ و یا زیرحوضه است. مدل کوچک‌ترین واحد کاری در این مدل واحدهای پاسخ



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز ارازکوسه

هیدرولوژیکی یا HRU است که از ترکیب نقشه‌های طبقات شیب، کاربری اراضی و خاک حاصل می‌شود. بر این اساس باید SWAT را یک مدل نیمه‌توزیعی به‌شمار آورد. از نظر زمانی نیز فرایندهای مختلف بیان شده را می‌توان در مقیاس زمانی روزانه، ماهانه و یا سالانه شبیه‌سازی کرد. روندیابی جریان توسط روش‌های ذخیره متغیر و ماسکینگام قابل محاسبه است. رواناب سطحی از بارندگی روزانه توسط روش شماره منحنی اصلاح شده محاسبه می‌شود. معادله بیلان آب در مدل SWAT به‌شرح ذیل است:

$$SW_t = SW_o + t(R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (۱)$$

که در آن SW_t محتوای آب نهایی در خاک، t زمان (روز)، SW_o مقدار آب اولیه موجود در خاک، R_{day} مقدار بارش در هر روز، Q_{surf} مقدار رواناب سطحی در هر روز، E_a مقدار تبخیر و تعرق روزانه، W_{seep} مقدار آب نفوذ کرده به منطقه زیرقشری و Q_{gw} مقدار نفوذ به سفره زیرزمینی است.

همان‌طورکه ذکر شد حساس‌ترین پارامتر در اجرای مدل SWAT در حوضه آبخیز رودخانه ارازکوسه، پارامتر شماره منحنی (CN) است که نقش بسزایی در ایجاد رواناب و سیل‌خیزی در سطح حوضه دارا است. به‌طور کلی با افزایش شماره منحنی ارتفاع رواناب تولید شده و به‌دنبال آن سیل‌خیزی در سطح حوضه افزایش می‌یابد و با کاهش شماره منحنی ارتفاع رواناب و پتانسیل سیل‌خیزی کاهش می‌یابد. شماره منحنی تابعی از نفوذپذیری، کاربری اراضی و شرایط رطوبتی خاک است. رابطه SCS به‌صورت زیر است:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - ۰/۲S)^۲}{(R_{day} + ۰/۸S)} \quad (۲)$$

که در آن Q_{surf}= رواناب سطحی (میلی‌متر)، R_{day}= عمق بارش روزانه (میلی‌متر) و S= پارامتر نگهداشت رطوبت (میلی‌متر) است. پارامتر نگهداشت رطوبت به‌صورت مکانی با تغییرات خاک، کاربری اراضی، مدیریت و شیب و به‌صورت زمانی با تغییرات رطوبت خاک تغییر می‌کند. پارامتر نگهداشت رطوبت به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S = ۲۵/۴(\frac{۱۰۰۰}{CN} - ۱۰) \quad (۳)$$

جدول ۱. مقادیر شاخص‌های ارزیابی مدل‌سازی رواناب در مراحل مختلف اجرای مدل SWAT

شاخص‌های ارزیابی و مراحل اجرای مدل	مرحله واسنجی	مرحله اعتبارسنجی
ضریب تبیین (R^2)	۰/۸۱	۰/۸۱
ضریب نش‌ساتکلیف (NS)	۰/۷۳	۰/۶۴
ضریب br^2	۰/۸۱	۰/۷۸

که در آن: CN= شماره منحنی (عدد صفر تا ۱۰۰) مربوط به حوضه که به ویژگی‌های فیزیکی حوضه بستگی دارد و S= پارامتر نگهداشت رطوبت (میلی‌متر) است. پس در این پژوهش برای بررسی سیل‌خیزی حوضه آبخیز ارازکوسه از پارامتر شماره منحنی استفاده شد. بعد از واسنجی و اعتبارسنجی مدل و به‌دست آمدن مقادیر بهینه پارامترهای حساس، برای مقایسه بهتر و محسوس تفاوت در سیل‌خیزی، حوضه آبخیز ارازکوسه ابتدا به شش منطقه یا زیرحوضه کلی تقسیم‌بندی شد و با استفاده از مقادیر بهینه به‌دست‌آمده پارامترها که در مرحله واسنجی مدل تعیین شد، مدل دوباره اجرا شد. در ادامه در فایل دیتابیس مدل SWAT عدد شماره منحنی هرکدام از زیرحوضه‌ها به‌ترتیب با حداقل ممکن عدد CN (۳۰) جایگزین و شماره منحنی سایر زیرحوضه‌ها ثابت فرض شد و مدل برای هر زیرحوضه جداگانه اجرا شد. درنهایت بعد از اینکه مدل برای شش زیرحوضه کلی اجرا و نتایج ثبت شد، با مقایسه هیدروگراف خروجی اثر هر زیرحوضه بر منحنی هیدروگراف مقایسه و پتانسیل سیل‌خیزی هر زیرحوضه مشخص شد (۱۲).

روش دوم: اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از شاخص F

شاخص F یکی از شاخص‌های سیل‌خیزی است که پارامتر مساحت را در آنالیز سیل‌خیزی دخالت می‌دهد به‌عبارتی هر زیرحوضه‌ای که مساحت بیشتری داشته باشد پتانسیل سیل‌خیزی بالاتری هم دارد (۱۱). در این پژوهش علاوه‌بر CN از شاخص F نیز به‌منظور اولویت‌بندی سیل‌خیزی استفاده و سپس نتایج دو روش با یکدیگر مقایسه شد. بررسی نتایج حاصل از تغییر CN و شاخص F و اولویت‌بندی سیل‌خیزی با استفاده از دو روش نتایج یکسانی را نشان داد.

$$\%F = \frac{\Delta QP}{QP} \times ۱۰۰ \qquad (۴)$$

F سهم مشارکت زیرحوضه‌ها در دبی خروجی کل حوضه به درصد، ΔQP مقدار کاهش دبی خروجی در اثر حذف زیرحوضه مورد نظر برحسب مترمکعب بر ثانیه، QP دبی خروجی کل حوضه برحسب مترمکعب است.

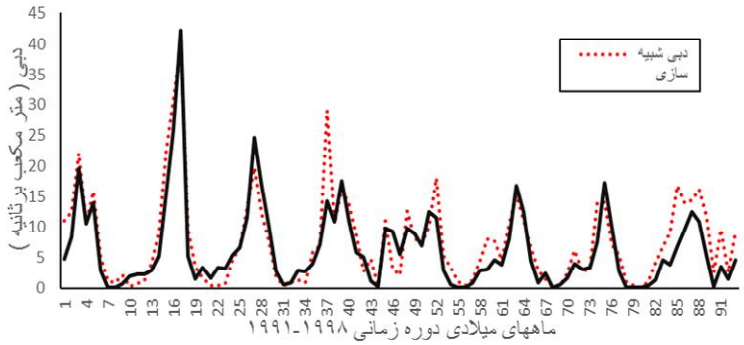
نتایج

واسنجی مدل SWAT

پس از اجرای مدل SWAT، واسنجی مدل با استفاده از برنامه SUFI۲ در قالب نرم‌افزار SWAT-CUP به مدل سوات لینک شده است. برای واسنجی از آمار هفت‌ساله اندازه‌گیری (۱۹۹۱–۱۹۹۸) بارندگی، دما و دبی روزانه استفاده و سپس نتایج مورد ارزیابی قرار داده شد. با توجه به نتایج آنالیز حساسیت مدل پارامترهای مؤثر شناسایی و در بهینه‌کردن مدل استفاده شد در جدول (۱) و شکل (۲) نمودار و مقادیر نتایج واسنجی آورده شده است و پارامترهای موثر در بهینه کردن مدل در جدول (۲) نمایش داده شده است.

اعتبارسنجی

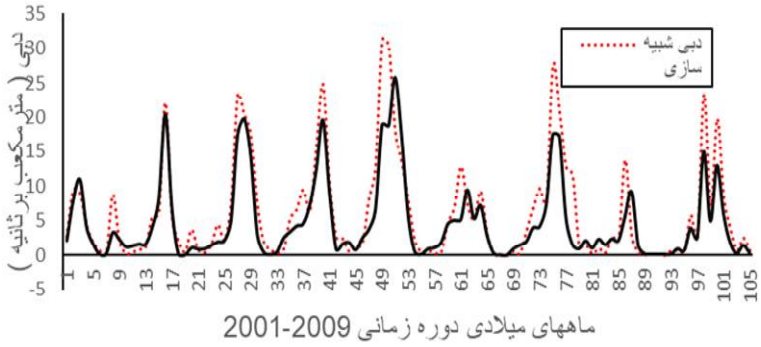
بعد از مرحله واسنجی مدل، به ارزیابی مدل پرداخته شد. ارزیابی مدل نیز نتایج قابل‌قبولی را نشان داد. در این مرحله با توجه به نتایج بهینه مرحله واسنجی‌شده با استفاده از داده سال‌های ۲۰۰۹–۲۰۰۱ اقدام به شبیه‌سازی جریان رودخانه شد و به‌عنوان نتایج نهایی اعتبارسنجی مدل در شکل (۳) ذکر شده



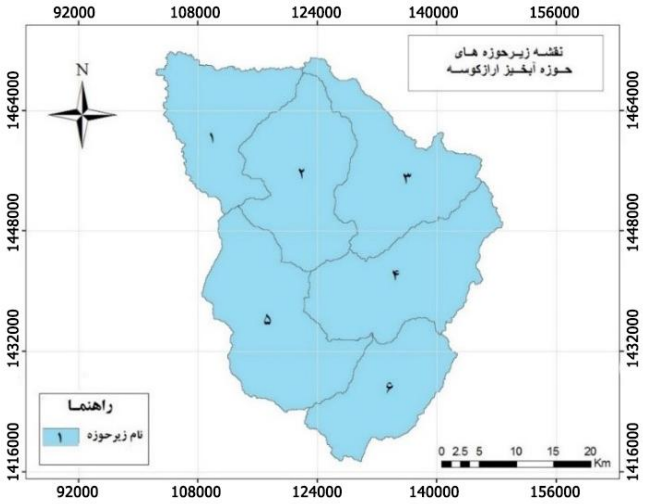
شکل ۲. مقایسه مقادیر ماهانه رواناب مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده پس از واسنجی مدل SWAT حوضه آبخیز ارازکوسه طی دوره ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۸ میلادی

جدول ۲. پارامترهای مؤثر در دبی رواناب و مقادیر بهینه

ردیف	نام پارامتر	مقدار بهینه	کمینه	بیشنه
۱	CN۲	۰/۰۶۱	−۰/۰۴	۰/۱
۲	V__ALPHA_BF	۰/۲۷۶	۰/۱۶۸	۰/۴۲
۳	V__GW_DELAY	−۸۱/۶	−۲۱۱	−۱۲/۸
۴	V__GWQMN	۰/۱۹	−۰/۰۸	۱/۰۸
۵	V__GW_REVAP	۰/۰۶۹	۰/۰۵۳	۰/۱
۶	V__ESCO	۱/۰۷۷	۱/۰۰۳	۱/۰۹
۷	V__CH_N۲	۰/۳۴۵	۰/۲۰۹	۰/۳۵
۸	V__CH_K۲	۱۷/۶۴۶	−۵/۰۹	۳۷/۹
۹	V__ALPHA_BNK	۰/۱۴۳	۰	۰/۳
۱۰	R__SOL_AWC	۰/۵۷۱	۰/۳۸	۰/۶۱
۱۱	R__SOL_K	−۰/۴۴۲	−۰/۴۸	۰/۰۷
۱۲	R__SOL_BD	−۰/۱۳۸	−۰/۳۷	۰/۲
۱۳	V__SFTMP	۱/۸۹۱	۱/۱۵۲	۴/۳



شکل ۳. نمودار مقادیر ماهانه رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده حوضه آبخیز ارازکوسه طی دوره اعتبارسنجی (۲۰۰۱ تا ۲۰۰۹ میلادی)



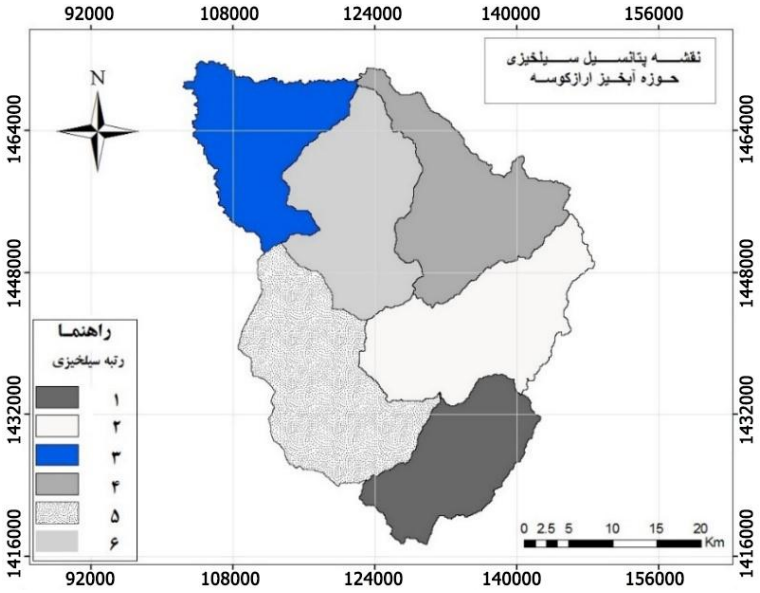
شکل ۴. نقشه زیرحوضه‌های حوضه آبخیز ارازکوسه برای مقایسه سیل‌خیزی

جدول ۳. درصد تغییرات دبی اوج و رتبه سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها

نام زیرحوضه	درصد تغییرات دبی اوج	رتبه سیل‌خیزی
۱	-۱۴/۵	۳
۲	-۵/۷	۶
۳	-۱۰/۸	۴
۴	-۱۷	۲
۵	-۸/۵	۵
۶	-۲۲/۴	۱

است. نقشه زیرحوضه‌های خروجی حاصل از مدل سوات در شکل(۴) نشان داده شده است و نتایج درصد تغیرات دبی اوج و رتبه بندی سیل‌خیزی بر اساس این پارامتر نیز در جدول (۳) لحاظ شده است. بعد از اجرای مدل با عدد شماره منحنی ۳۰ برای هریک از زیرحوضه‌ها (عدم‌وجود رواناب)، دبی اوج اولیه با دبی بعد از تغییر CN در هریک از زیرحوضه‌ها مقایسه شد. هرچه یک زیرحوضه تغییر CN آن، تأثیر بیشتری در کاهش دبی خروجی در محل ایستگاه هیدرومتری داشته باشد، پتانسیل سیل‌خیزی آن محدوده بیشتر است. از این‌رو با مقایسه میزان کاهش دبی اوج در هر یک از زیرحوضه‌ها، زیرحوضه‌ها از نظر پتانسیل سیل‌خیزی رتبه‌بندی شدند. شکل (۵) رتبه سیل‌خیزی هر زیرحوضه‌ها را نشان می‌دهد. شاخص F یکی از شاخص‌های سیل‌خیزی است که پارامترهای مساحت را در آنالیز سیل‌خیزی دخالت می‌دهد. نتایج محاسبه شاخص F برای واحدهای هیدرولوژیک حوضه آبخیز ارازکوسه در جدول (۴) آورده شده است.

بررسی سیل‌خیزی در حوضه آبخیز ارازکوسه این نتیجه را نشان می‌دهد که باتوجه به میزان دبی خروجی در هر زیرحوضه، بالابودن میزان رواناب در هر زیرحوضه نشانه سیل‌خیزی آن منطقه نیست. با توجه به اینکه در روش شماره منحنی پارامتر نگهداشت رطوبت به‌صورت مکانی با تغییرات خاک، کاربری اراضی و شیب و به‌صورت زمانی با تغییرات رطوبت خاک تغییر می‌کند. بنابراین مناطقی که دارای کاربری نظیر جنگل و مراتع متراکم هستند، میزان جذب تاج پوشش



شکل ۵. نقشه پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز ارازکوسه با استفاده از شاخص سیل‌خیزی F و تغییر CN

جدول ۴. مقادیر شاخص F برای واحدهای هیدرولوژیک حوضه آبخیز ارازکوسه

نام زیرحوضه	F%	رتبه سیل‌خیزی
۱	۱۲۷	۳
۲	۱۱۰	۶
۳	۱۲۰	۴
۴	۱۳۲	۲
۵	۱۱۶	۵
۶	۱۴۲	۱

زیادی دارند و درنتیجه مناطقی که دارای شیب کم هستند دارای پتانسیل سیل‌خیزی کمتری نسبت به سایر مناطق هستند.

نتیجه‌گیری و بحث

به‌طور کلی نتایج حاصل از اولین اجرای مدل SWAT و بررسی شاخص‌های ارزیابی دقت شبیه‌سازی این مدل نشان می‌دهند که مدل SWAT در اولین اجرا و با مقادیر پیش‌فرض پارامترها، باوجود اینکه توانسته است زمان وقوع دبی‌های اوج حداکثر را از نظر انطباق با ماه‌های پرباران و دبی‌های اوج واقعی به‌درستی مدل‌سازی کند، به‌دلیل اینکه متوسط ماهیانه دبی‌های شبیه‌سازی شده را ۱۳ درصد بیشتر از متوسط ماهیانه دبی‌های مشاهده‌ای در دوره زمانی مورد مطالعه برآورد کرده است، دارای دقت قابل‌قبولی برای شبیه‌سازی دبی رواناب حوضه آبخیز ارازکوسه نیست و واسنجی و آنالیز عدم‌قطعیت پارامترهای این مدل می‌تواند به‌بهبود نتایج و افزایش دقت شبیه‌سازی آن کمک کند. بنابراین پس از این مرحله، اقدام به واسنجی مدل به‌منظور بهبود دقت شبیه‌سازی دبی رواناب در حوضه آبخیز ارازکوسه شد. براساس نتایج آنالیز حساسیت ۱۳ پارامتر مؤثر بر رواناب در مدل SWAT، سه پارامتر شماره منحنی در شرایط رطوبتی متوسط (CN۲)، ضریب α آب پایه برای ذخیره ساحلی کانال

(ALPHA_BNK) و ثابت تخلیه آب زیرزمینی ALPHA_BF از پارامترهای بسیار مهم در تعیین میزان دبی رواناب خروجی از حوضه شناخته شدند که از بین آنها عامل شماره منحنی در شرایط رطوبتی متوسط (CN۲)، به‌عنوان حساس‌ترین پارامتر تشخیص داده شد. با توجه به اینکه در مناطق دوردست و کوهستانی جمع‌آوری اطلاعات به‌ویژه برای یک دوره طولانی کاری دشوار و در بسیاری از موارد غیرممکن است. این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای و GIS می‌تواند برای مطالعات مختلف در این مناطق به‌ویژه مطالعات هیدرولوژی حوضه‌ای بسیار راه‌گشا باشد. این موضوع در مورد کشور ما که مناطق کوهستانی آن زیاد بوده و دسترسی به آن مناطق هم دشوار است، از اهمیت بیشتری برخوردار است. بررسی سیل‌خیزی در حوضه آبخیز ارازکوسه این نتیجه را نشان می‌دهد که با توجه به اینکه در روش شماره منحنی پارامتر نگهداشت رطوبت به‌صورت مکانی با تغییرات خاک، کاربری اراضی و شیب و به‌صورت زمانی با تغییرات رطوبت خاک تغییر می‌کند، بنابراین زیرحوضه شماره ۶ و ۴ که در مناطق جنوبی حوضه و در ارتفاعات قرار دارند و از لحاظ کاربری اراضی، بیشتر اراضی دارای کاربری مرتع هستند، لذا ضریب جذب رواناب توسط پوشش گیاهی نسبت به سایر مناطق حوضه که اغلب دارای پوشش جنگلی و باغات هستند کمتر است و همین امر سبب افزایش ارتفاع رواناب و احتمال وقوع سیلاب نسبت به سایر مناطق شده است و باعث شده این زیرحوضه‌ها از لحاظ سیل‌خیزی به‌ترتیب دارای رتبه اول و دوم باشند. درنتیجه زیرحوضه‌های شماره ۲ و ۵ که اغلب در ارتفاع پایین قرار دارند و دارای پوشش جنگلی هستند با افزایش جذب رواناب توسط تاج پوشش جنگلی و درنتیجه کاهش شیب دارای پتانسیل سیل‌خیزی پایین‌تری نسبت به سایر مناطق هستند. از این‌رو با توجه به نتایج حاصل از اجرای مدل SWAT و تغییر CN برای هر یک از زیرحوضه‌ها، زیرحوضه شماره ۶ با کاهش ۲۲/۴ درصدی دبی اوج رتبه اول را از لحاظ سیل‌خیزی در منطقه دارا است. درنتیجه زیرحوضه شماره ۴ با کاهش ۱۷ درصدی، زیرحوضه شماره ۱ با کاهش ۱۴/۵درصدی، زیرحوضه شماره ۳ با کاهش ۱۰/۸ درصدی، زیرحوضه شماره ۵ با کاهش ۸/۵ درصدی و زیرحوضه شماره ۲ با کاهش ۵/۷ درصدی در میزان دبی اوج به‌ترتیب دارای رتبه دوم تا ششم در پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز ارازکوسه هستند. در بررسی پتانسیل سیل‌خیزی با استفاده از شاخص F٪ پارامتر مساحت نقش بسزایی ایفا می‌کند و واحدی که دارای بیشترین مساحت باشد درنتیجه دارای بیشترین دبی اوج است و رتبه اول سیل‌خیزی را به‌خود اختصاص می‌دهد. بررسی این شاخص برای منطقه مورد مطالعه نشان داد که اولویت‌بندی سیل‌خیزی با تغییر ضریب CN و شاخص F برای زیرحوضه‌ها دارای نتایج یکسانی است. بررسی سیل‌خیزی در حوضه آبخیز سرد آب‌رود نیز نتایج این پژوهش را اثبات می‌کند، با توجه به اینکه در روش شماره منحنی پارامتر نگهداشت رطوبت به‌صورت مکانی با تغییرات خاک، کاربری اراضی و شیب و به‌صورت زمانی با تغییرات رطوبت خاک تغییر می‌کند. بنابراین مناطقی که دارای کاربری نظیر جنگل و مراتع متراکم هستند، میزان جذب تاج پوشش زیادی دارند و درنتیجه مناطقی که دارای شیب کم هستند دارای پتانسیل سیل‌خیزی کمتری نسبت به سایر مناطق هستند (۹).

منابع مورد استفاده

1. Azami Babbani, B., M. Momipour and A. Azari. 2019. Prioritization of flooding of hydrological units case study: pleshah catchment area. *Quarterly Journal of Geography and Development* 16(53): 84-69 (In Farsi).
2. Gharib, M., B. MotamedVaziri and H. Ahmadi. 2019. A Method for determining the flood generation areas based on the relationship between flood index and morphometric parameters. *Journal of Water and Soil Conservation* 87-102 (In Farsi).

3. Golshan, M., A. EsmaaliOuri, K. Shahedi and A. Jahanshahi. 2017. Evaluation of the efficiency of SWAT models and running of the ranan simulation simulation in kohistanabad. *Journal of Water and Soil Science* 26(1/2): 29-42. (In Farsi).
4. Mohammadi Motlagh, R., N. Jalal Kamali and A. Jalal Kamali. 2013. Study of contribution role of sub-basin in intense flooding; Case Study: Dalaki basin in Fras Province. *Journal of Irrigation and Water Engineering* 4(30): 31-44. (In Farsi).
5. Saghafian, B. and M. Khosroshahi. 2005. Unit response approach for priority determination of flood source areas. *Journal of Hydrologic Engineering, ASCE* 10(4): 270-277.
6. Sarai, B. 2015. Prioritization of the sub-basins of the Cold Abroud Basin, in terms of spillage using the model. MSc. Thesis, Yazd University, Yazd. (In Farsi).
7. Soleimani Sardou, F., S. SoltaniKopaii and A.Salajeghe. 2012. Locating effective areas on flood peak using hydrologic model HEC-HMS in the Jiroft dam area. *Journal Watershed Research* 32-44. (In Farsi).
8. Soleimani Sardou, F., S. SoltaniKopaii and A.Salajeghe. 2013. Selection of appropriate flooding potential index by using rainfall-runoff (HEC-HMS) mdel and RS & GIS techniques in Jiroft Dam Basin. *Journal of Watershed Management Research* 90-105. (In Farsi).
9. Talebi, A., Z. Eslami and A. Abbasi. 2019. Comparing the priority of flood descents of sub-basins using experimental model and methods in Eskandari*watershed.Scientific Journal of Engineering and Management of Watershed Management* 11(2): 336-343. (In Farsi).
10. Uniyal, B., M. K. Jha and A. K. Verma. 2015. Assessing climate change impact on water balance components of a river basin using SWAT model. *Water Resource Management* 29: 4767–4785.

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources) Vol. 23, Special Issue of Flood and Soil Erosion, Winter 2020, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Prioritization of Sub-Watersheds from Flooding Viewpoint Using the SWAT Model (Arazkoose Watershed, Golestan Province)

A.Talebi*[1], E. Abyari[2] and S. Parvizi[1]

(Received: March 18-2019; Accepted: November 13-2019)

Abstract

Flood is a natural disaster making the heavy humanistic and economic damages each year in most parts of Iran. In this research, the SWAT model performance in flood prediction and sub-basin priority was investigated in terms of flooding in Araz-Kose watershed in Golestan province. To calibrate the model, SUFI2 was applied. The calibration and validation were done for the 1991-1998 period based on the data of 2001-2009. After validation, the indices (R2, bR2, and NS) were estimated. They were equal to 0.81, 0.81 and 0.73 for calibration and 081, 0.78 and 0.64 for validation, respectively. The sensitivity analysis results showed 13 effective parameters. The curve number (CN2) was determined as the most effective parameter. For studying the flooding in a watershed, the Araz-Kose watershed was divided into six parts. Based on the obtained results from the SWAT model with different CN and F indexes (with/without considering the sub-watershed), the sixth sub-basin with 22.4% decrease in discharge was chosen as the most effective region in flooding. Meanwhile, the other sub-basins including 4, 1, 3, 5 and 2 had more flood potential, respectively.

Keywords: Flooding, SWAT model, Curve number, Araz-Kose watershed

1. Department Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.
2. Department of Civil Engineering, Shiraz Azad University, Shiraz, Iran.
*: Corresponding Author, Email: talebisf@yazd.ac.ir