

تأثیر نوع ابرهای پایین جو بر میزان دقت شبیه‌سازی رواناب در مدل SWAT

حمید نوری^{۱*}، علیرضا ایلدرومی^۲، صبا صالحی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۶

چکیده

الگوهای زمانی و مکانی بارش و عوامل مؤثر بر آن از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر دقت شبیه‌سازی رواناب در حوضه‌های آبخیز می‌باشند. در این تحقیق، نوع ابرهای پایین جو که حاصل شرایط همدید و محلی منطقه هستند، در دقت شبیه‌سازی مدل ارزیابی آب و خاک SWAT در یک حوضه کوچک کوهستانی (حوضه سد گرین استان همدان) مورد مطالعه قرار گرفت. داده‌های مورد نیاز شامل نقشه‌های توپوگرافی، کاربری اراضی و خاک‌شناسی، داده‌های روزانه دبی، بارش، دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، تابش خورشید و کدهای سینوپتیکی ابرهای پایین در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ است. این مدل برای بارش‌های ناشی از هفت نوع مختلف ابرهای پایین جو اجرا و نتایج تحلیل شد. برای واسنجی و اعتبارسنجی، به ترتیب سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷ و سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ انتخاب شدند. دقت شبیه‌سازی روزانه با استفاده از شاخص نش- ساتکلیف و ضریب تبیین (R^2) در دوره واسنجی به ترتیب ۰/۸۰ و ۰/۸۱ و در دوره اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۷۴ و ۰/۸۹ به دست آمد. نتایج نشان داد که در زمانی که نوع پوشش ابر در زمان رخداد بارش، ابرهای جوششی کومولونیموس هستند، شاخص RMSE بیشترین مقدار (۰/۷۴) و در زمان ابرهای استراتوکومولوس، کمترین مقدار (۰/۲۴) است.

واژه‌های کلیدی: دبی روزانه، نوع ابر، مدل SWAT، حوزه آبخیز سد گرین.

۱. استادیار هوا و اقلیم‌شناسی، دانشگاه ملایر، گروه مرتع و آبخیزداری، Email: Hamidwatershed@yahoo.com

۲. دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه ملایر، گروه مرتع و آبخیزداری

۳. کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشگاه ملایر، گروه مرتع و آبخیزداری

مقدمه

شناخت نوع ابرها با توجه به تفاوت آن‌ها در خصوصیات و رفتارهای بارشی و کنترل انرژی گرمایی و دما می‌تواند در انتخاب طرح‌واره‌های مناسب برای مدل‌های پیش‌بینی جو و نیز صحت و دقت مدل‌های شبیه‌سازی بارش و رواناب سودمند باشد. همواره برای شبیه‌سازی رواناب حوزه‌های آبخیز فاقد آمار، به روشی احتیاج است تا به وسیله آن بتوان آمار بارش و خصوصیات ژئومورفولوژی حوزه را با دقت بالا به کار گرفت و شرایط هیدرولوژیکی حال و آینده را شبیه‌سازی کرد (نجفی، ۲۰۰۱؛ بون^۱، ۲۰۰۱؛ هان^۲ و همکاران ۱۹۸۲؛ رفسگارد^۳، ۲۰۰۷). تأثیر داده‌های ورودی و نقش هریک از پارامترهای مختلف مؤثر بر این داده‌ها در دقت مدل هیدرولوژی، موضوع مهمی است که طرح آنالیز حساسیت در مدل‌ها را بااهمیت‌تر می‌کند (ویلانی و همکاران، ۱۹۹۹؛ فلاح زواره، ۲۰۱۱). محققان زیادی در جهان و ایران روی الگوها و خصوصیات بارش و تأثیر آن‌ها بر ویژگی‌های رواناب و هیدروگراف خروجی حوزه‌ها مطالعه کرده‌اند (کردری^۴، ۱۹۷۱؛ جیمز بال^۵، ۱۹۹۴؛ طالبی زاده و مرید، ۲۰۰۷؛ استراوچ^۶ و همکاران، ۲۰۱۲). مطالعات مختلف نشان می‌دهد که شبیه‌سازی مدل SWAT در آبخیزهای با حداقل مساحت ۲۵۰ کیلومتر مربع برای دوره‌های ماهانه و سالانه، نتایج بهتری را نشان می‌دهد (بکپاریس^۷ و همکاران، ۲۰۰۵). ملو^۸ و همکاران (۲۰۰۸) در تحقیقی به منظور بررسی تأثیر عدم قطعیت بارش بر روی هر دو پارامتر مدل و پیش‌بینی عدم قطعیت در داده‌های پراکنده یک منطقه، مدل یکپارچه حوزه رودخانه (SWAT) را در برابر جریان محاسبه‌شده از رودخانه‌ای در برزیل مرکزی کالیبره کرد. کالیبراسیون با استفاده از مجموعه‌ای از داده‌های بارش‌های مختلف انجام شد. نتایج حاصل از مطالعه نشان می‌دهد که پارامترهای عدم قطعیت گوناگون به‌طور قابل توجهی به روش

استفاده‌شده برای مجموعه داده‌های بارش بستگی دارد. این مطالعه نشان می‌دهد که شبیه‌سازی با ورودی‌های متعدد بارش به‌طور قابل ملاحظه‌ای می‌تواند سطح اعتماد در نتایج شبیه‌سازی را، به‌خصوص در مناطقی که کمبود داده دارند، افزایش دهد (ملو، ۲۰۰۸). محققان دیگری به اهمیت رابطه بین رطوبت خاک و ضریب جریان آب زیرزمینی، به‌عنوان کنترل اوج جریان در مدل‌های بارش رواناب تأکید کردند (استینبرگن و ویلمز^۹، ۲۰۱۲). پژوهشگران ایرانی برای شبیه‌سازی جریان رودخانه با استفاده از مدل SWAT، مراحل واسنجی و اعتبارسنجی را برای دو زیرحوضه ماهیدشت و سنجابی در حوضه رودخانه کارون با استفاده از اطلاعات مشاهده‌ای دو ایستگاه هیدرومتری واقع در خروجی زیرحوضه‌ها به‌صورت جداگانه انجام دادند. واسنجی مدل مقدار ضریب R^2 شبیه‌سازی جریان ماهانه دو حوزه ماهیدشت و سنجابی را به ترتیب ۸۹ و ۸۱ درصد و اعتبارسنجی مدل R^2 را به ترتیب ۹۰ و ۸۷ درصد نشان داد (عمانی و همکاران، ۲۰۰۵). چن^{۱۰} و همکاران (۲۰۰۹) و لولیس^{۱۱} (۲۰۱۱) بارش‌های همرفت و غیرهمرفت را مطالعه کرده و شرایط دینامیکی و ترمودینامیکی آن‌ها را بررسی کردند. آن‌ها بارش‌های همرفت را رگباری و سنگین‌تر مشاهده کردند. به‌طور کلی، خصوصیات و رفتار مکانی و زمانی بارش که متأثر از شرایط سینوپتیکی جو، توپوگرافی و ویژگی‌های محلی و به‌ویژه نوع، جهت حرکت و سرعت ابرهای موجود در آسمان است، بر دقت و صحت مدل‌های بارش و رواناب اثر زیادی دارد. تاکنون مطالعه کمی در خصوص بررسی ابرها و نقش آن‌ها در دقت مدل‌های هیدرولوژیک انجام شده است. بنابراین، بررسی تأثیر نوع ابرها که می‌توانند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم با تغییر الگوی رفتاری، مدت و شدت بارش، رطوبت، تابش و ذوب برف بر میزان رواناب و الگوی خروجی جریان مؤثر باشند، گام مهمی در شناخت دقت مدل‌های هیدرولوژیک محسوب می‌شوند. در این پژوهش، تأثیر انواع مختلف ابرهای پایین جو (در زمانی که شرایط همدید و جهت حرکت ابرها در حوزه تقریباً یکسان

1. Beven
2. Hann
3. Refsgaard
4. Cordery
5. James
6. Struch
7. Bekiaris
8. Mello

9. Steenbergen & Willems
10. Chen
11. Lolis

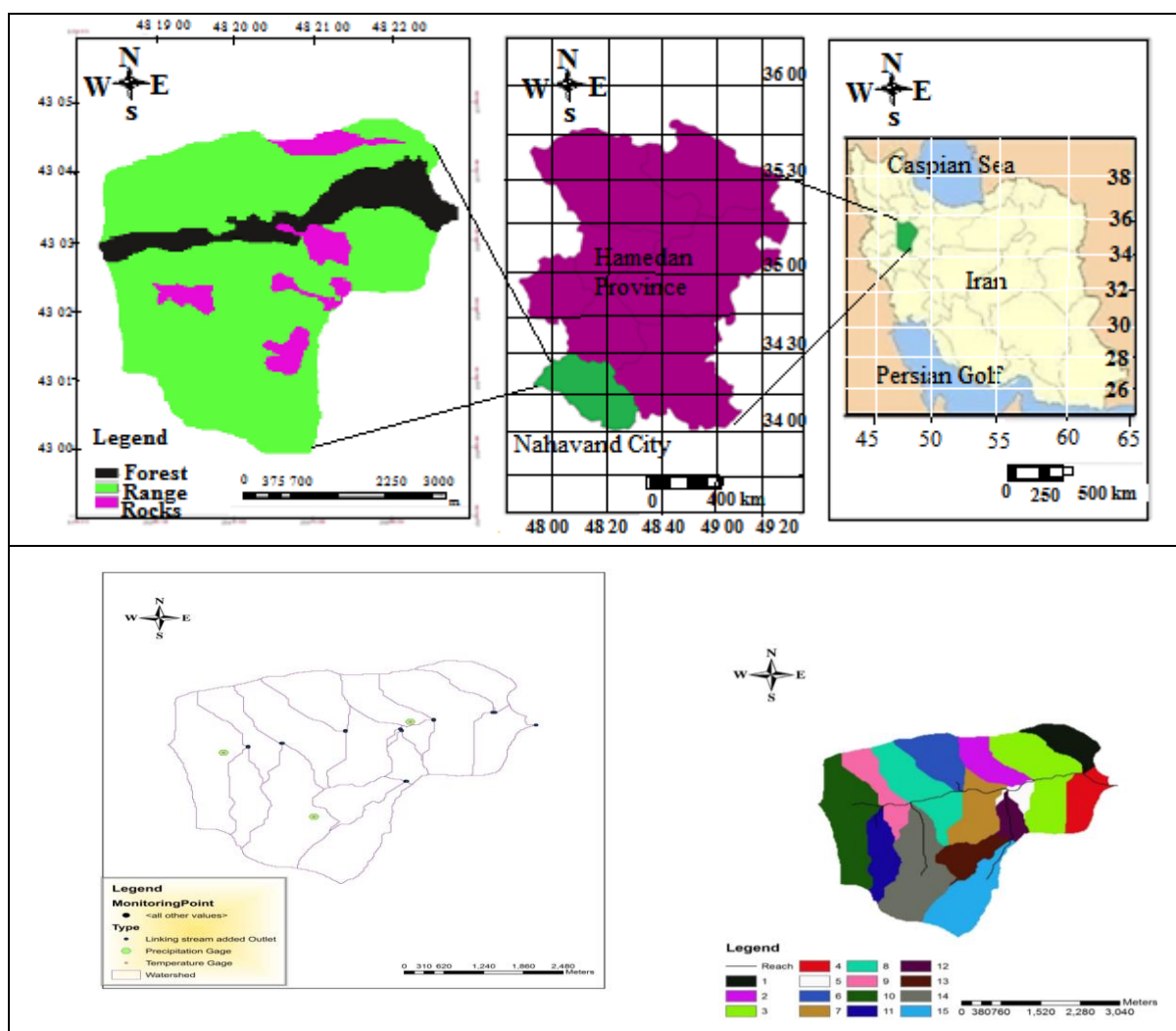
محل سد مخزنی گرین ۲۲ کیلومترمربع مساحت دارد. ارتفاع متوسط حوزه ۲۴۴۹ متر، بیشترین ارتفاع حوزه ۳۲۴۹/۸۲ متر و کمترین ارتفاع آن ۱۸۳۳/۹ متر می‌باشد که محل قرارگیری ایستگاه هیدرومتری است. مقدار شیب متوسط حوزه آبخیز گرین ۵۰/۷۱ درصد و طول آبراهه اصلی رودخانه ۸/۴۲۵ کیلومتر محاسبه شده است. اقلیم این حوزه آبخیز از نوع نیمه‌مرطوب سرد است. متوسط دمای هوا ۹/۳ درجه سانتی‌گراد، بارش سالیانه ۵۳۵ میلی‌متر، متوسط نم نسبی ۴۸ درصد و متوسط سرعت باد ۱/۷ متر بر ثانیه است. در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز سد گرین و زیرحوزه‌ها ارائه شده است.

بر دقت مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT)، برای برآورد رواناب سطحی حوزه آبخیز سد گرین ناهوند استان همدان مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه سد گرین همدان در محدوده بین عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و صفر دقیقه و ۲۵ ثانیه تا ۳۴ درجه و ۳ دقیقه و ۴۵ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۸ دقیقه و ۴۵ ثانیه تا ۴۸ درجه و ۲۲ دقیقه و ۴۰ ثانیه شرقی در دامنه رشته‌کوه‌های زاگرس قرار گرفته است. حوضه آبخیز سراب گاماسیاب تا



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز سد گرین (تصویر بالا) و ایستگاه‌های مورد استفاده و زیرحوزه‌های آبخیز (تصویر پایین)

Figure (1): Geographic location of Garin Dam catchment (Up) and used stations and sub-catchments (Down)

هیدرولوژیکی، نقشه توپوگرافی، نقشه خاک‌شناسی، نقشه کاربری اراضی، نقشه شبکه آبراهه‌ای و مرز زیرحوزه‌ها آماده‌سازی شدند.

آماده‌سازی داده‌های ورودی

قبل از اجرای مدل داده‌های ورودی شامل داده‌های اقلیمی و

داده‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی

0.2S در نظر گرفته می‌شود و این رابطه به شکل رابطه (۳) درمی‌آید:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.2S)^2}{(R_{day} - 0.8S)} \quad (3)$$

در این رابطه، رواناب تنها زمانی اتفاق می‌افتد که مقدار R_{day} بزرگ‌تر از I_a باشد.

آنالیز حساسیت پارامترهای ورودی

در مدل SWAT، با اجرای یک مکانیزم مناسب می‌توان تعداد پارامترها را برای فرایند واسنجی کاهش داد. هدف اصلی از آنالیز حساسیت، تعیین ورودی‌هایی است که مشارکت بیشتری در تغییر خروجی دارند (ژو^۱ و همکاران، ۲۰۰۹). با انجام آنالیز حساسیت می‌توان پارامترهای مهم و حساس را شناخته و با تمرکز بر روی آن‌ها واسنجی مدل را سریع‌تر انجام داد. در این پژوهش، برای انجام آنالیز حساسیت از نرم‌افزار SWAT_CUP و الگوریتم SUFI_2 استفاده شد. برای انجام آنالیز حساسیت، روش «یک پارامتر در هر بار» (OAT^2) مورد استفاده قرار گرفت که متعارف‌ترین روش برای این کار است. در روش OAT در هر بار اجرای مدل، یک پارامتر تغییر کرده و بقیه ثابت می‌مانند و اثر آن تغییر بر تابع هدف، حساسیت پارامتر را مشخص می‌کند (رمجیو^۳ و همکاران، ۲۰۰۷). در این تحقیق، در دو مرحله، آنالیز حساسیت انجام شد. مرحله اول قبل از واسنجی مدل و با هدف شناخت خصوصیات پارامترها و نحوه تأثیر آن‌ها بر تولید رواناب بود و مرحله دوم بعد از واسنجی مدل و برای شناخت مقدار حساسیت هریک از پارامترها بر دقت شبیه‌سازی انجام شد. بر این اساس در مرحله اول، حساسیت پارامترهای ورودی بر رواناب سطحی مورد آنالیز قرار گرفت. برای این کار از رابطه حساسیت نسبی معرفی شده در رابطه (۴) استفاده شد. برای تعیین مقادیر ورودی هر پارامتر، دامنه تغییر آن مشخص و در این دامنه چهار عدد با فاصله گام‌های مختلف انتخاب و پس از ارائه آن‌ها به مدل، شبیه‌سازی انجام شد. شاخص حساسیت نسبی (S_r)، بیانگر نسبت تغییر تابع خروجی در قبال تغییر در

داده‌های روزانه بارش، دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش خورشیدی از ایستگاه اقلیم‌شناسی نهاوند در استان همدان تهیه شد. مدل SWAT برای شبیه‌سازی به آمار دو ایستگاه باران‌سنجی و دماسنجی که نزدیک حوزه باشد نیازمند است. بنابراین برای شبیه‌سازی بهتر، به رسم منحنی‌های همباران با استفاده از آمار ایستگاه‌های نهاوند، ملایر، نورآباد و بروجرد اقدام شد. برای پارامتر دما نیز اقدام به ساخت ایستگاه‌های مجازی با استفاده از گرادیان دما-ارتفاع گردید. اطلاعات دبی خروجی بر اساس آمار ثبت شده به وسیله اشل در ایستگاه هیدرومتری ورانه که در خروجی حوزه قرار دارد، تهیه شد. همچنین از آمار ایستگاه اقلیم‌شناسی نهاوند برای شناسایی نوع ابرهای پایین، در زمان رخداد بارش در طول دوره آماری ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۰ استفاده شد.

رواناب سطحی

با استفاده از بارش روزانه، حجم رواناب سطحی و نرخ پیشینه رواناب از روش شماره منحنی SCS اصلاحی محاسبه شد. نسبت رواناب رخ داده در طی زمان تمرکز حوزه آبخیز، بر اساس تابعی از مجموع بارش روزانه با استفاده از یک روش آماری برآورد می‌شود. زمان تمرکز حوزه نیز با استفاده از فرمول مانینگ (که هر دو جریان دامنه و کانال را در بر می‌گیرد) برآورد می‌گردد. برای برآورد رواناب سطحی از رابطه (۱) استفاده می‌شود:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - I_A)^2}{(R_{day} - I_A + S)} \quad (1)$$

در این رابطه، Q_{surf} مقدار رواناب یا بارش مازاد، R_{day} مقدار بارش در روز مورد نظر، I_A جذب اولیه (که شامل ذخیره سطحی، ذخیره لاشبرگ و نفوذ قبل از شروع رواناب می‌باشد)، و S پارامتر نگهداشت است که همگی واحد یکسانی از مقدار آب دارند. پارامتر نگهداشت خود تابعی از متغیرهای مکانی شامل خصوصیات خاک، کاربری اراضی، مدیریت و شیب زمین و متغیر وابسته به زمان، یعنی محتوای آب قابل دسترس خاک است. این پارامتر بر اساس رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$S = 25.4 \left[\frac{1000}{CN} - 10 \right] \quad (2)$$

در استفاده از رابطه (۲)، مقدار I_A به‌طور معمول حدود

1. Xu
2. Outside Air Temperature
3. Remegio

پارامترهای ورودی است (فیرسین^۱ و همکاران ۲۰۰۷).

$$S_r \equiv \frac{\left[\frac{(o_p + \Delta p) - (o_p - \Delta p)}{O_p} \right]}{\left(\frac{2\Delta p}{P} \right)} \quad (42)$$

در این رابطه، S_r بیانگر حساسیت نسبی، P مقدار پارامتر O و مقدار تابع هدف استخراج‌شده از نتیجه مدل است. به عبارت دیگر، O_p تابع هدف برای پارامتر مورد نظر p و Δp تغییرات پارامتر مورد نظر است. پارامترهای انتخاب‌شده برای انجام آنالیز در جدول (۱) ارائه شده‌اند. مبتنی بر نتایج مطالعات پیشین (رمجیو و همکاران، ۲۰۰۷؛ فیرسین و همکاران، ۲۰۰۷) و بررسی‌های اولیه از بین همه پارامترهای موجود، برای آنالیز حساسیت، ۲۲ پارامتر انتخاب گردید که اثر هریک از آنها حداقل در چهار گام فاصله‌ای بررسی و بیش از ۱۰۰ بار مدل به صورت دستی اجرا شد.

1. Feyereisen

جدول (۱): پارامترهای مورد استفاده در آنالیز حساسیت مدل SWAT

Table (1): Parameters used in sensitivity analysis for SWAT model

ردیف	نام پارامتر	واحد	ردیف	نام پارامتر	واحد
۱	فاکتور جبران تبخیر در خاک	-	۱۲	حداقل نرخ ذوب برف	درجه سانتی گراد
۲	هدایت هیدرولیکی کانال	میلی متر در ساعت	۱۳	شماره منحنی روش SCS	-
۳	هدایت هیدرولیکی اشباع	میلی متر در ساعت	۱۴	ثابت تخلیه کانال	روز
۴	درصد نفوذ به سفره عمیق	-	۱۵	ضخامت لایه های خاک	میلی متر
۵	ضریب تأخیر رواناب سطحی	-	۱۶	آب قابل دسترس خاک	میلی متر در میلی متر
۶	چگالی توده خاک	گرم در سانتی متر مکعب	۱۷	روش تعیین رطوبت پیشین CN	-
۷	حداکثر نگهداشت تاج پوشش	میلی متر	۱۸	زمان تأخیر جریان جانبی	روز
۸	ضریب زبری برای دامنه	-	۱۹	عمق اولیه آب زیرزمینی	متر
۹	دمای بارش برف	درجه سانتی گراد	۲۰	زمان تأخیر آب زیرزمینی	روز
۱۰	دمای ذوب برف	درجه سانتی گراد	۲۱	ضریب تبخیر آب زیرزمینی	-
۱۱	حداکثر نرخ ذوب برف	درجه سانتی گراد	۲۲	ثابت تخلیه آب زیرزمینی	روز

واسنجی و اعتبارسنجی مدل

واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT به ترتیب برای سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ انجام شد. شاخص نش-ساتکلیف، شاخص R2، فاکتور P و فاکتور R برای دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی استفاده شد. آنالیز حساسیت مدل با استفاده از فرمول (۴) و مقادیر آزمون T و P-Value که به ترتیب میزان حساسیت و معنی‌داری را نشان می‌دهد. عباس‌پور (۲۰۰۷) بیان می‌کند که در بین ۲۲ پارامتر مورد بررسی در این بخش، می‌توان شماره منحنی، ثابت تخلیه کانال، ضریب تأخیر رواناب سطحی، ضریب تأخیر آب زیرزمینی، فاکتور جبران تبخیر از سطح خاک و ضریب مانینگ دشت سیلابی را با اولویت بیشتر انتخاب کرد. این نتایج با یافته‌های فرامرزی و همکاران (۲۰۰۹) و اخوان و همکاران (۲۰۱۱) هماهنگی زیادی دارد. با افزایش مقدار شماره منحنی، میزان جریان پایه کاهش می‌یابد، ولی میزان رواناب سطحی افزایش پیدا می‌کند. افزایش شماره منحنی کاهش نفوذپذیری و به تبع آن، افزایش مقدار رواناب را در پی خواهد داشت. پارامتر زمان تأخیر جریان آب زیرزمینی (GW_DELAY) در رده دوم حساسیت قرار می‌گیرد.

هدایت هیدرولیکی کانال (CH-k2) نیز در رده سوم حساسیت قرار دارد. همچنان که مشاهده می‌شود، پارامتر SMTMP (دمای ذوب برف) به دلیل کوهستانی بودن منطقه دارای درجه حساسیت بالایی است (اخوان، ۲۰۱۱). افزایش این فاکتور باعث می‌شود که ذوب برف تا زمان رسیدن فصول با دمای بالاتر و هوای گرم‌تر به تأخیر بیفتد. مدل‌های هیدرولوژیک توزیعی باید یک فرایند موفق واسنجی را به همراه آنالیزهای حساسیت، عدم قطعیت و آنالیز پیشگویانه طی کنند تا بتوان از آن‌ها به عنوان ابزاری برای تصمیم‌سازی در مدیریت حوزه‌های آبخیز و مطالعه سناریوها استفاده کرد (بهرمند و دی اسمیت^۲، ۲۰۱۰). انجام مرحله اعتبارسنجی با استفاده از مقادیر پارامترهای اصلاح شده در مرحله واسنجی صورت گرفت. بعد از واسنجی و اعتبارسنجی مدل، نوع ابرهای پایین جو مستخرج از کدهای سینوپتیکی ایستگاه هواشناسی (کومولوس، استراتوکومولوس، کومولو نیمبوس، استراتوس، ...) در زمان رخداد بارش در هر روز بارشی در کنار داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی قرار گرفت و

1. Predictive analysis
2. Bahremnd & De Smedt

مشاهداتی و روزانه برای دوره واسنجی در شکل (۲) و برای دوره اعتبارسنجی در شکل (۳) ارائه شده است. شاخص RMSE و NS برای داده‌های دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای انواع بارش ناشی از ابرهای مختلف پایین جو محاسبه شد که نتایج آن در جدول (۲) و (۳) آمده است. در شکل‌های (۵) تا (۱۱) نمودار دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای انواع بارش ابرهای مختلف پایین جو ارائه شده است. نتایج نشان داد که شبیه‌سازی مدل مذکور با بارش حاصل از ابرهای همرفت یا جوششی مانند کومولوس‌ها و کومولونیمبوس‌ها دارای RMSE بیشتری نسبت به ابرهای غیرهمرفت یا پوششی مانند استراتوس‌ها هستند. به‌طور ویژه نتایج نشان می‌دهد که زمانی که پوشش ابر استراتوکومولوس است، شاخص RMSE در شبیه‌سازی مدل بارش رواناب مذکور به کمترین میزان خود (۰/۲۴) می‌رسد؛ یعنی بیشترین دقت در شبیه‌سازی مدل SWAT زمانی رخ می‌دهد که این نوع ابرها باعث رخداد بارش در منطقه شوند. بنابراین مقادیر دبی‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی به هم نزدیک‌ترند. بارش حاصل از ابرهای «استراتوس یا فراکتواستراتوس» هم با دقت مناسبی (با شاخص RMSE معادل ۰/۳۸) شبیه‌سازی می‌شوند. ضعیف‌ترین شبیه‌سازی بارش - رواناب با مدل SWAT وقتی رخ می‌دهد که ابرهای «کومولونیمبوس دارای قله سیروسی شکل» باعث ایجاد بارش‌ها می‌شوند. شاخص RMSE این نوع ابرها بیش از ۳ برابر (۰/۷۴) شاخص مذکور در ابرهای استراتوکومولوس است (۰/۲۴). شاخص NS جدول مذکور هم نتایج بالا را تأیید می‌کند. نتایج به‌دست‌آمده، نتایج دیگر محققان در خصوص آنالیز حساسیت را تأیید می‌کند (اخوان و همکاران، ۲۰۱۱؛ امیری، ۲۰۰۷؛ نجفی، ۲۰۰۱؛ رفسگار، ۲۰۰۷؛ استینرگر، ۲۰۱۲). همچنین نتایج حاصل با نتایج مطالعات در خصوص تأثیر ابرها به‌ویژه ابرهای پایین جو (با توجه به تفاوت‌ها در پوششی یا جوششی بودن آن‌ها را) بر شرایط و مدل‌های هیدرولوژیک مورد تأیید قرار می‌دهد (نوری و همکاران، ۲۰۱۲).

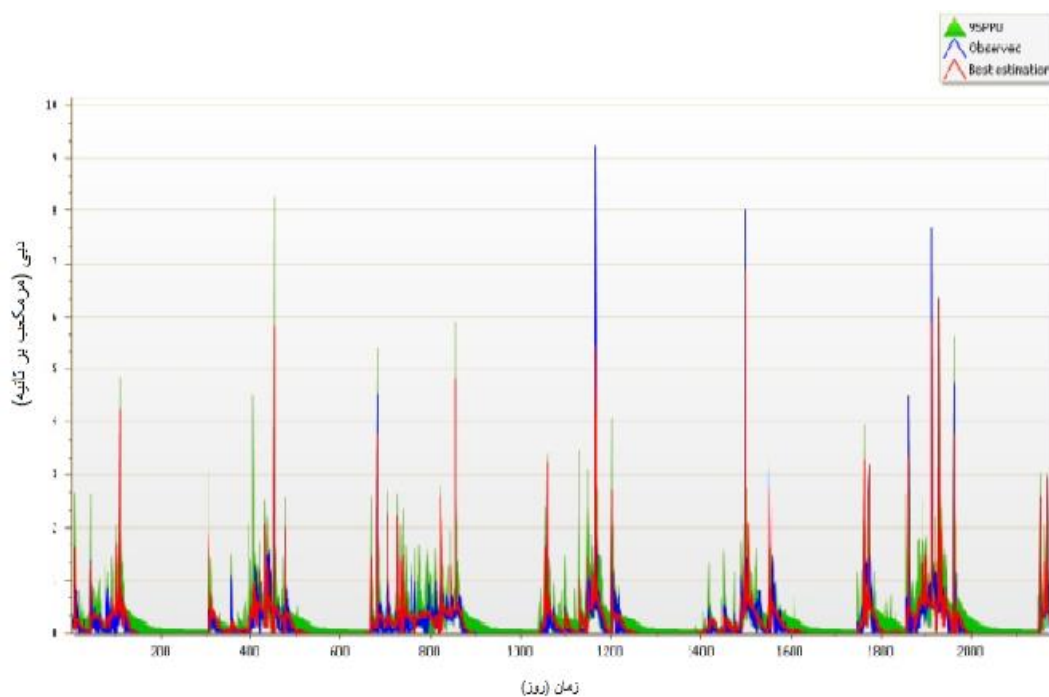
شاخص RMSE برای هر گروه از ۷ نوع ابر بررسی شده (وقایعی که بارش آن‌ها از یک نوع ابر به‌خصوص به رواناب تبدیل شده است) با استفاده از فرمول (۵) محاسبه شد. تلاش گردید مسیر و جهت حرکت ابرهای پایین جو با در نظر گرفتن الگوی‌های سینوپتیکی مطالعات گذشته (نوری و همکاران، ۱۳۹۱) در روزهای بارشی در شرایط مشابهی باشد. همچنین با توجه به اهمیت شرایط جوی و ویژگی‌های بارش، نتایج حاصل از ابرهای همرفت از غیرهمرفت تفکیک گردید. ابرها بر اساس ساختار توسعه عمودی یا افقی به دو گروه همرفت یا کومولوفرم یا جوششی و غیرهمرفت یا استراتیفورم یا پوششی تقسیم می‌شوند. این تقسیم‌بندی با توجه به تفاوت‌هایی در الگوی زمانی و رفتاری بارش و شدت و مدت بارش و آثار محیطی آن‌ها در فرسایش، رسوب و سیل توسط مرکز پیش‌بینی جوی اروپا (ECMW) توصیه شده است. شناسه‌های همدید ابرهای کد ۲ (کومولوس همراه با رشد عمودی)، کد ۳ (کومولونیمبوس) کد ۸ (کومولوس و استراتوکومولوس)، کد ۹ (کومولوس همراه با ابرهای سیروس در بالا)، نشانگر ابرهای جوششی و همرفت هستند. شناسه‌های همدید ابرهای کد ۴ (استراتوکومولوس) که با تغییر شکل کومولوس‌ها به وجود می‌آید، کد ۵ (استراتوکومولوس که از تغییر شکل کومولوس به وجود نمی‌آید)، کد ۶ (استراتوس یا فراکتواستراتوس یا با هم) و کد ۷ (فراکتواستراتوس یا آلتوکومولوس) در گروه ابرهای پوشش و غیرهمرفت قرار می‌گیرند. هریک از ابرها ویژگی‌های بارشی بخصوص دارند (همان).

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - P_i)^2 \right]^{0.5} \quad (5)$$

P_i مقدار دبی شبیه‌سازی شده و Q_i مقدار دبی مشاهده شده است.

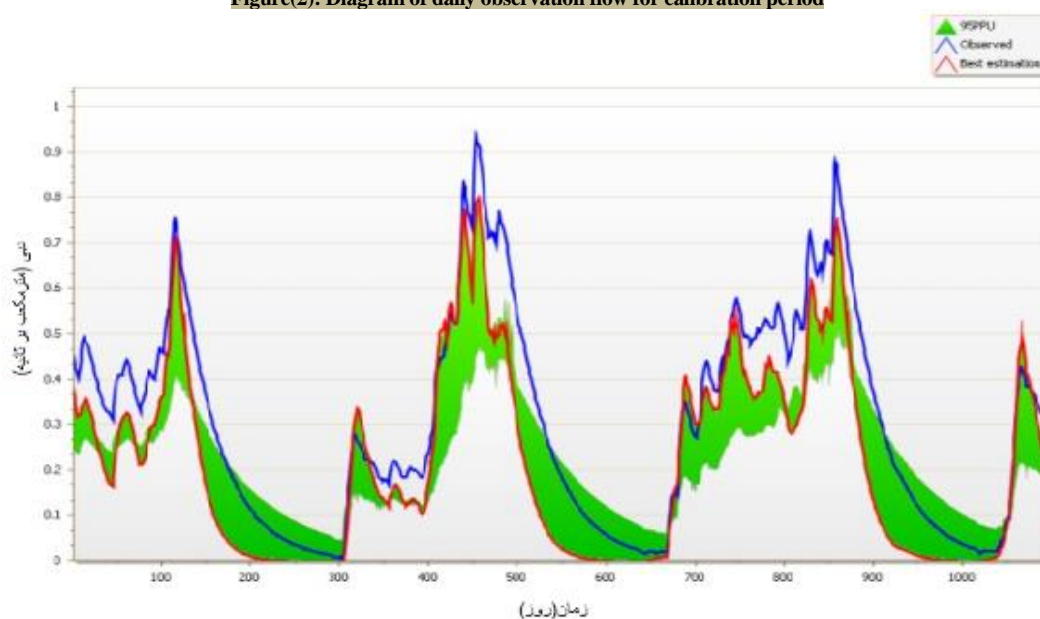
نتایج و بحث

نتایج نشان داد که شاخص نش-ساتکلیف، R^2 ، فاکتور P ، فاکتور R ، برای دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب برابر ۰/۸، ۰/۸۱، ۰/۶۷ و ۰/۸۳ و برای دوره اعتبارسنجی برابر، ۰/۷۴، ۰/۸۹، ۰/۵۳، ۰/۵۲ می‌باشد. نمودار دبی



شکل (۲): نمودار دبی مشاهداتی روزانه برای دوره واسنجی

Figure(2): Diagram of daily observation flow for calibration period



شکل (۳): نمودار دبی مشاهداتی روزانه برای دوره اعتبارسنجی

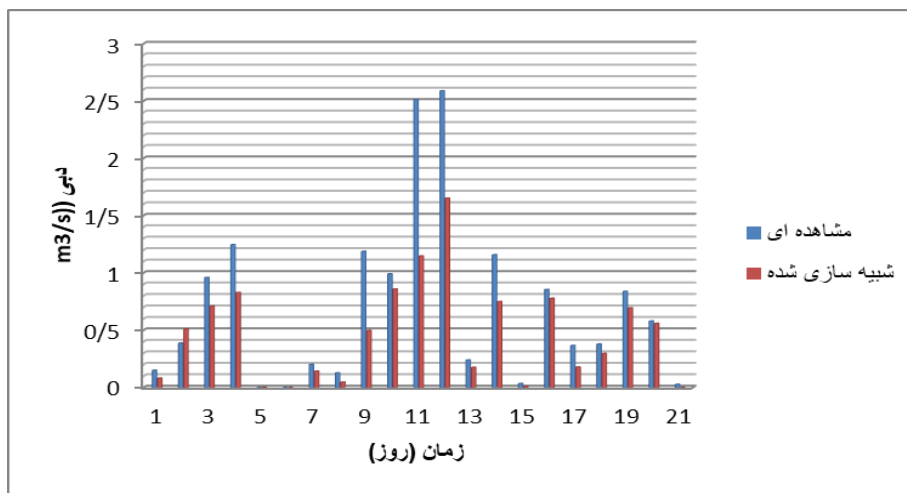
Figure (3): Diagram of daily observation flow for validation period

جدول (۲): مقدار شاخص RMSE و NS برای شبیه‌سازی مدل SWAT در بارش‌های ناشی از انواع مختلف ابرهای پایین جو

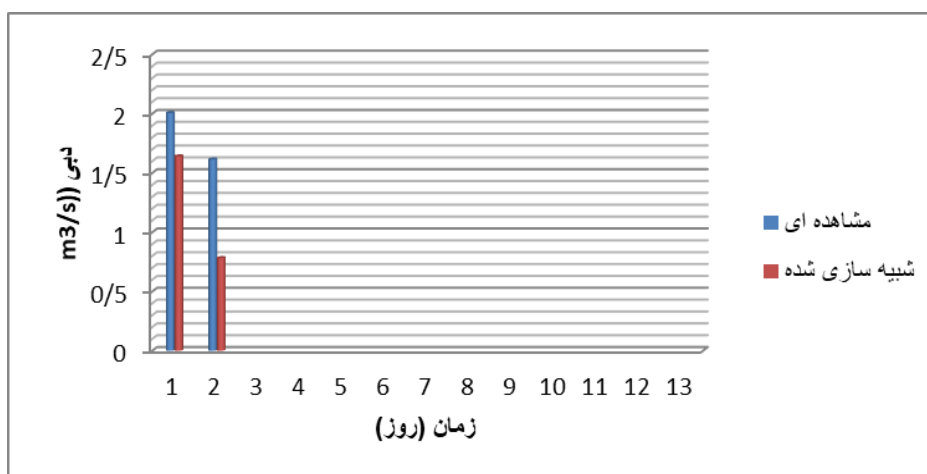
Table (2): RMSR and NS indices used in SWAT model for the precipitations generated from different clouds

NS	RMSE	نوع ابر
۰/۶۱	۰/۴۲	کومولوس
۰/۵۷	۰/۶۴	کومولوس بزرگ و متراکم
۰/۵۱	۰/۵۲	کومولونیمبوس
۰/۷۴	۰/۲۴	استراتوکومولوس

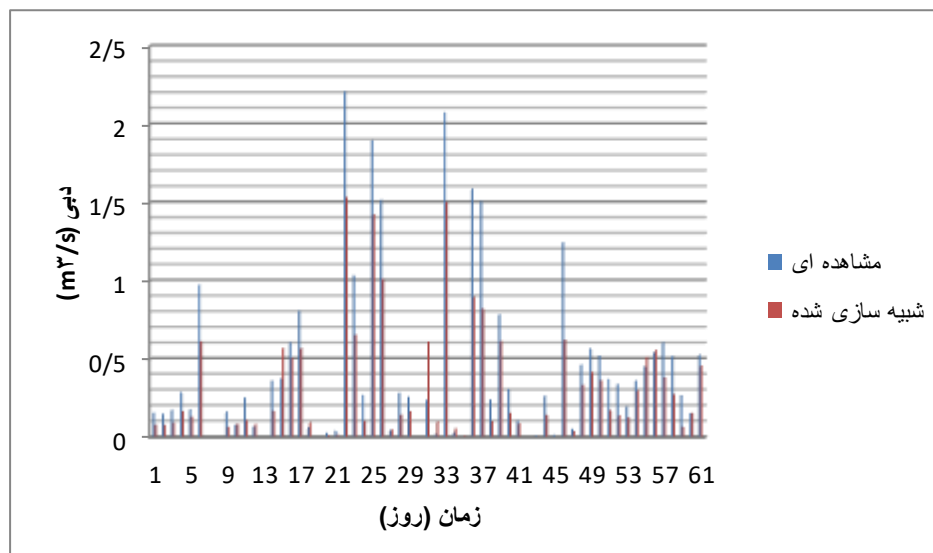
۰/۶۸	۰/۳۸	استراتوس یا فراکستراتوس
۰/۵۲	۰/۵۲	کومولوس و استراتوکومولوس
۰/۵۳	۰/۷۴	کومولونیمبوس دارای قلهٔ سیروس شکل



شکل (۴): مقادیر دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده در زمان پوشش ابر کومولوس
 Figure (4): Observed and simulated discharges during cumulonimbus clouds

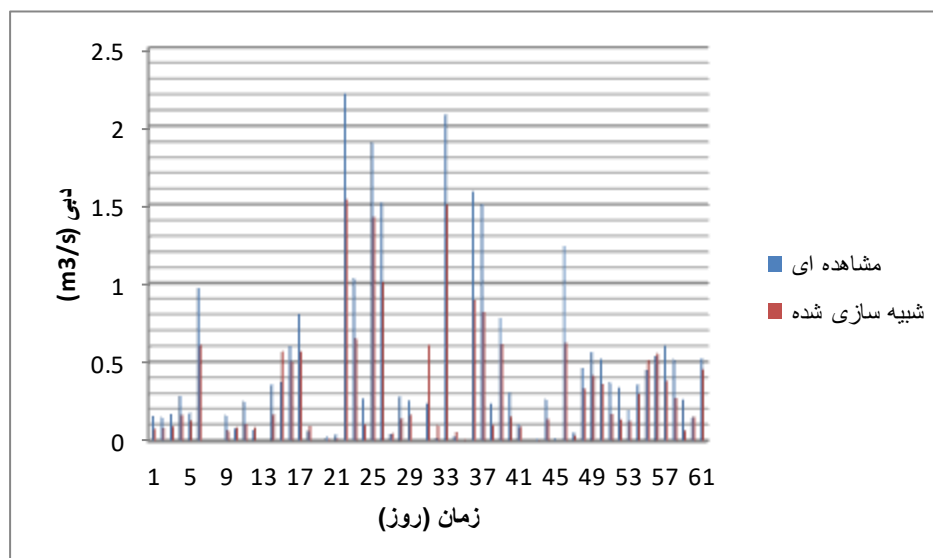


شکل (۵): مقادیر دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده در زمان پوشش ابر کومولوس بزرگ و متراکم
 Figure (5): Observed and simulated discharges during cumulus congestus clouds



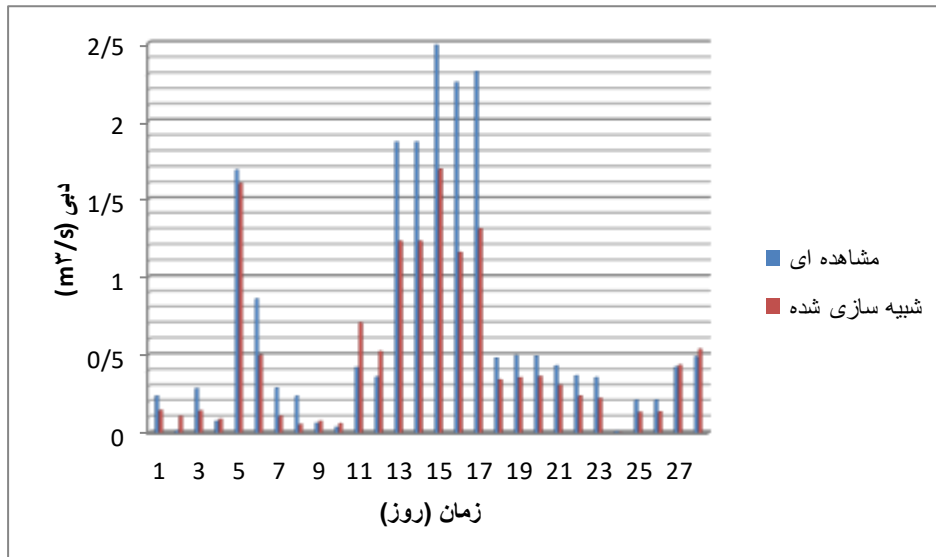
شکل (۶): مقادیر دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده در زمان پوشش ابر کومولونیمبوس

Figure (6): Observed and simulated discharges during cumulonimbus clouds

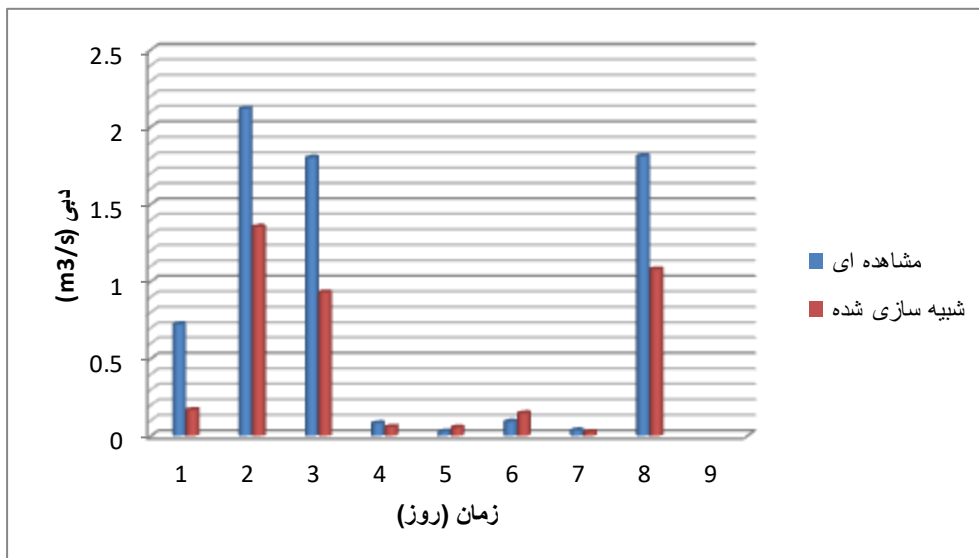


شکل (۷): مقادیر دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده در زمان پوشش ابر استراتوکومولوس

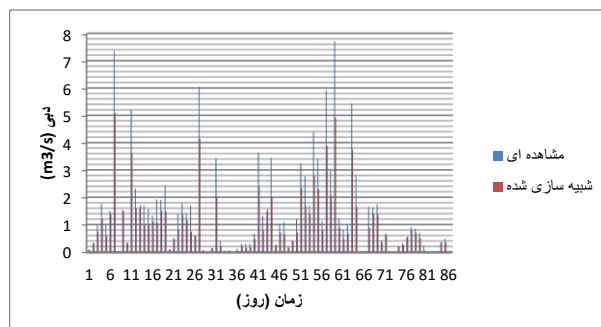
Figure (7): Observed and simulated discharges during stratocumulus clouds



شکل (۸): مقادیر دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده در زمان پوشش ابر استراتوس یا فراکتواستراتوس
 Figure (8): Observed and simulated discharges during stratus and fractostratus clouds



شکل (۹): مقادیر دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده در زمان پوشش ابر کومولوس و استراتوکومولوس
 Figure (9): Observed and simulated discharges during cumulus and stratocumulus clouds



شکل (۱۰): مقادیر دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده در زمان پوشش ابر کومولونیموس دارای قلّه سیروس شکل
 Figure (10): Observed and simulated discharges during cirrocumulus and cumulonimbus clouds

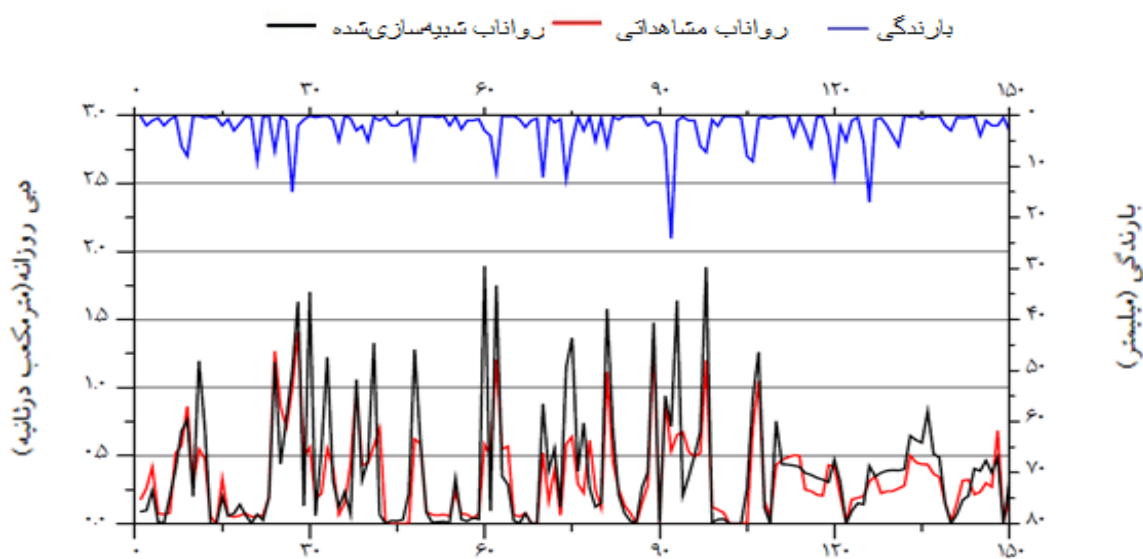
به طور کلی، مطالعات در سطح جهان نشان می‌دهد ابرهای همرفت یا جوششی، عامل اصلی وقوع سنگین‌ترین رویدادهای بارشی، و ابرهای غیرهمرفت یا پوششی عامل ایجاد بارش‌های سبک هستند (لولیس، ۲۰۱۱). شدت بارش حاصل از ابرهای همرفت معمولاً بیش از بارش‌های غیرهمرفت است (چن و همکاران، ۲۰۰۹). آزمون لون نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین واریانس این دو گروه بارشی در سطح ۵ درصد وجود دارد ($\text{Sig}=0/38$). همچنین آزمون واریانس نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین دو گروه بارشی بارش‌های همرفت و غیرهمرفت و دبی‌های حاصل از آن‌ها وجود دارد که مقادیر معنی‌داری آن‌ها به ترتیب ($\text{sig}=0/004$) و ($\text{sig}=0/008$) می‌باشند.

جدول (۳): شاخص‌های ارزیابی دقت شبیه‌سازی بارش‌های روزانه سبک و سنگین

Table (3): Evaluation indices for simulation precision in light and heavy precipitations

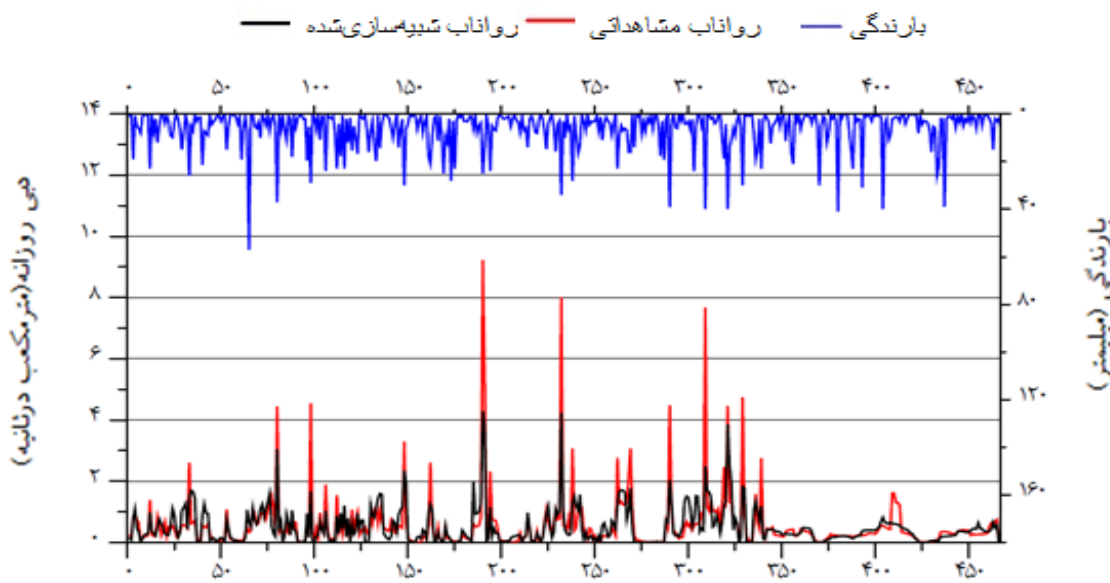
R2	RMSE	میانگین شدت بارش	تعداد رویداد	نوع بارش
۰/۸۶	۰/۲۷	۲/۳	۱۵۰	غیر همرفت
۰/۷۹	۰/۵۷	۱۶/۵	۴۶۷	همرفت

با توجه به شکل (۱۱) مشاهده می‌شود که مدل دقت خوبی در شبیه‌سازی بارش‌های غیرهمرفت داشته است و دبی‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده به هم نزدیک‌ترند، مشاهده می‌شود که شبیه‌سازی بارش‌های غیرهمرفت در اکثر مواقع میزان دبی شبیه‌سازی‌شده بیشتر از مشاهده‌ای است.



شکل (۱۱): نتایج شبیه‌سازی دبی با بارش‌های غیرهمرفت

Figure (11): The simulation results of discharges during non-convective precipitations



شکل (۱۲): نتایج شبیه‌سازی دبی با بارش‌های همرفت

Figure (12): The simulation results of discharges during convective precipitations

در تبادلات انرژی و تغییر شرایط بارش، پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل مذکور، ضریب RMSE برای انواع مختلف ابرهای تولیدکننده بارش‌های منطقه به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که زمانی که پوشش ابر استراتوکومولوس است و بارش این نوع ابرها در مدل به کار می‌رود، شاخص RMSE در شبیه‌سازی بارش رواناب به کمترین میزان خود (۰/۲۴) می‌رسد. بارش حاصل از ابرهای «استراتوس یا فراکتواسراتوس» هم با دقت مناسبی (با شاخص RMSE معادل ۰/۳۸) شبیه‌سازی می‌شوند. ضعیف‌ترین شبیه‌سازی بارش- رواناب با مدل SWAT وقتی رخ می‌دهد که ابرهای «کومولونیمبوس دارای قله سیروسی شکل» باعث ایجاد بارش‌ها می‌شوند (با شاخص RMSE معادل ۰/۷۴). نگاهی به مقادیر شاخص RMSE در ابرهای مختلف نشان می‌دهد که ابرهای همرفتی نسبت به ابرهای غیرهمرفتی، دارای خطای بیشتری (۲ تا ۳ برابر) در شبیه‌سازی بارش رواناب با این مدل هستند. این موضوع احتمالاً به دلیل تفاوت شدت و مدت بارش‌های همرفت نسبت به غیرهمرفت است. همچنین غیرگسترده و محلی بودن این ابرها ممکن است باعث فاصله آن‌ها از ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه شود که بین میزان بارش ثبت‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی و بارش واقعی مرکز حوزه، تفاوت بیشتری ایجاد کند. در

همان طور که از شکل (۱۲) پیداست، دقت شبیه‌سازی در بارش‌های همرفت به اندازه بارش‌های غیرهمرفت نیست و مشاهده می‌شود که مدل مذکور دبی‌های اوج را کمتر از مقدار واقعی شبیه‌سازی کرده است.

نتیجه‌گیری

سد گرین به‌عنوان یکی از مهم‌ترین سازه‌های کنترل جریان استان همدان با هدف آبیاری اراضی کشاورزی و شرب مردم شهرستان نهاوند در حال ساخت است. تحلیل شرایط هیدرولوژیک این حوزه با انتخاب بهترین مدل شبیه‌سازی بارش رواناب و اجرای دقیق این مدل می‌تواند گام مهمی در آگاهی مدیران، کشاورزان، کارشناسان و ساکنان مردم منطقه داشته باشد. هدف از این تحقیق، بررسی اثر تفاوت ابرهای پایین جو بر تغییر شرایط بارشی (به‌عنوان یکی از مهم‌ترین داده‌های ورودی مدل‌های هیدرولوژیک) در دقت شبیه‌سازی رواناب یک حوزه کوچک کوهستانی است. با توجه به کوچک بودن و همگن بودن ژئوکورفولوژیک حوزه مورد مطالعه، در این تحقیق از مدل مفهومی نیمه‌توزیعی SWAT در محیط ArcGIS، برای شبیه‌سازی رواناب حوزه آبخیز مذکور استفاده شد. نتایج در قالب معیارهای ضریب نش، ضریب تبیین بررسی و ارائه شد. با توجه به تأثیر نوع ابرها

تأثیر آن بر دقت پیش‌بینی رواناب توجه شود. با توجه به اهمیت بارش و خصوصیات آن در شبیه‌سازی مدل‌های هیدرولوژیک، بررسی بیشتر خصوصیات ابرها مانند سطح پوشش و ضخامت آن‌ها و نیز تأثیر آن‌ها بر پارامترهای ورودی این مدل (به‌ویژه ویژگی بارش‌ها) در دقت شبیه‌سازی بارش و رواناب در حوضه‌ها با ابعاد متنوع و اقلیم‌های متفاوت کشور توصیه می‌گردد.

بارش‌های غیرهمرفت ویژگی یکنواخت بودن و گسترش ابرها در آسمان باعث شباهت و همگنی بیشتر بارش ثبت‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی مورد نظر و حوضه آبخیز مورد مطالعه و در نتیجه دقت بیشتر شبیه‌سازی رواناب گردد. بنابراین توصیه می‌شود در شبیه‌سازی بارش و رواناب در این حوضه آبخیز یا حوضه‌های کوچک مشابهی که دارای شرایط ارتفاعی و ژئومورفولوژی متنوعی نیستند، به نوع ابرهای ثبت‌شده یا پیش‌بینی‌شده پایینین جو در زمان رخداد بارش و

منابع

1. Akhavan, S., AbediKupaii, J., Mousavi S.F., Abbas Pour, K., Ephioni, M., Islamiyan S. S., 2011. Estimation of "water" and "green water" using SWAT model in Hamadan-Bahar basin. *Water and Soil science* 53. 9-23.
2. Abbaspour, K. C., 2007. User Manual for SWAT-CUP SWAT Calibration and Uncertainty Analysis Programs". Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. Eawag. Dubendorf. Switzerland: 95 p.
3. Amiri, M., 2007. Calibration and evaluation of SWRRB hydrologic model in order to simulate runoff. *Natural Resources of Iran* 4.797-808.
4. Bahreman, A. De and Smedt, F., 2010. Predictive Analysis and Simulation Uncertainty of a Distributed Hydrological Model. *Water Resour Manage.* Vol. 24, Pp. 2869-2880.
5. Bekiaris, A. De and Smedt, I. N. and Mimikou. N. A., 2005. Application of the SWAT model in the Ronnea catchment of Sweden. *Global NEST Journal*. Vol. 3, (7). Pp:252-257.
6. Beven, K.J., 2001. *Rainfall-runoff modeling, the primer.* Wiley, Chichester, UK. Pp.361.
7. Chen, C.S., Lin, Y.L., Peng, W.C., Liu, C.L., 2009. Investigation of a heavy rainfall event over southwestern Taiwan associated with a subsynoptic cyclone during the 2003 Mei-Yu season, *Atmospheric Research* Volume 95, Issues 2-3, 235-254.
8. Cordery, I., 1971. "Estimation of design hydrographs for small rural catchments", *Journal of Hydrology*, Vol. 13, Pp. 263-277.
9. Fallah Zavareh, M., 2011. Investigating the effect of rainfall pattern on SWMM and HEC-HMS. Sixth Congress of Civil Engineering.
10. Faramarzi, M., Abbaspour, K. C. Schulin, R. and Yang, H. 2009. Modelling blue and green water resources availability in Iran. *Hydrological processes*. 23, P:486-501.
11. Feyereisen, G. w., Sstrickland, T. C., Bosch, D. D. and Sullivan, D. G., 2007. Evaluation of SWAT manual calibration and input parameter sensitivity in the Little river watershed. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. Vol.50, Pp.843-855.
12. Haan, C. T., Jonson, H. P. and Brakensiek, D. L., 1982. Hydrologic modeling of small watersheds. *American society of Agricultural Engineers*, Pp, 532.
13. James, E. B., 1994, The influence of storm temporal patterns on catchment Response, *Journal of Hydrology*. Vol. 158, Pp. 285-303.
14. Lolis, C J., 2011 Winter convective precipitation variability in southeastern Europe and its connection to middle tropospheric circulation for the 60-year period, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol107, 189-200.
15. Mello, C. R., Viala, M. R., Norton, L. D., Silva, A. M. and Weimar, F. A., 2008. Development and application of a simple hydrologic model simulation for a Brazilian headwater basin. *Catena* Vol.75, Pp 235-247.
16. Najafi, M. R., 2001. *Hydrological systems, Rainfall-runoff modeling*, University of Tehran, 1054 p.
17. Nouri, H., Ghayour, H., Masoudian, S. A., Azadi, M., 2012. Surveying clouds of heavy

- and heavy rainfall in the southern shores of the Caspian Sea. *Journal of Geography and Environmental Planning*, 3. 1-22.
18. Omani, N., Tagrishi, M., Abrishamchi, A., 2005. Simulation of river flow using SWAT and GIS model. Seventh international conference of river engineering, Ahvaz. Iran.
 19. Refsgaard, J. C. and Knudsen, J., 1996. Operational validation and intercomparison of different types of hydrological models. *Water resources research*. Vol.32, Pp:2189–2202.
 20. Refsgaard, J.C., 2007. Hydrological Modelling and River Basin Management, Phd Thesis. Geological Survey of Denmark and Greenland Danish Ministry of the Environment. P: 90
 21. Remegio C. and Whittaker G., 2007. Sensitivity Analysis and interdependence of the SWAT model parameters. ASABE Paper No. 072101, 2007 ASAE Annual Meeting (Minneapolis, MN). St. Joseph, MI.
 22. Steenbergen, V., Willems, P., 2012. Method for testing the accuracy of rainfall–runoff models in predicting peak flow changes due to rainfall changes, in a climate changing context. *Journal hydrology*, vol. 414-415, Pp. 425-434.
 23. Strauch, M., Bernhofer, C., Koide, S., Volk, M., Lorz, C., Makeschin, F., 2012. Using precipitation data ensemble for uncertainty analysis in SWAT streamflow simulation *Journal of Hydrology*, Vol.414–415, Pp. 413-424.
 24. Talebizadeh, M., Merid, S., 2007. Calibration and uncertainty analysis of a hydrologic model (SWAT) using SUFI method for estimating sediment concentration. The third conference of Iran water resources management.
 25. Villani, P. and Veneziano, D., 1999. Best linear unbiased design hyetograph, *Water Resources Research*", Vol. 35, Pp. 2725 – 2738.
 26. Xu, Z., X., Pang, J. P., Lio, C. M., and li, J. Y., 2009. Assessment of runoff and sediment yield in the Miyun Reservoir catchment by using SWAT model. *Process*. DOI: 10.1002/hyp. Pp: 12.

The Effect of Low-level Clouds Type on Runoff Simulation Accuracy Using SWAT model

Hamid Nouri¹, Alireza Ildoromi², Sabah Salehi³

Received: 20/03/2018

Accepted: 27/05/2018

Introduction: Patterns of spatial and temporal rainfall impact on runoff and outlet hydrograph (Cordery, 1993; James, 1994). Results of different studies have clarified that simulation by using diverse rainfall data could increase the reliance of results. These were much more sensible in which areas encounter with data scarcity (Mello et al., 2008; Bekiaris et al., 2008). Rainfall properties in sensitive analyses are influenced by atmospheric synoptic condition, topography, local condition, and type, speed, and direction of clouds in the sky of basin. Not many studies have done regarding evaluation of clouds and their roles in hydrological model accuracy. The evaluation of cloud type effects directly and indirectly, spatial and temporal precipitation pattern changes, temperature's features, moisture, radiation, and snow ablation influence on runoff patterns. This is an important step towards hydrological model accuracy recognition. In this study, different precipitations due to low-level cloud types effects on accuracy of water and soil model (SWAT) are evaluated in Garin dam catchment of Nahavand, Hamedan province.

Materials and methods: Necessary data are including topography map, land use map, soil map, daily discharge, precipitation amounts, relative moisture, wind speed, solar radiation, and synoptic code of low-level clouds (from 2000 to 2010). SWAT model for seven types of clouds was performed and the results were analyzed. Surface runoff volume and maximum runoff were estimated using daily precipitation and SCS curve number. Runoff proportion event during interval time of basin based on whole daily precipitation was calculated using statistical method. Time interval of basin was estimated by Manning formula which includes channel and hillside. Sensitive analyses were done by using SWAT_CUP software and SUFI_2 algorithms. In this study, sensitive analyses in two steps were done. The first step was carried out before model calibration and when it was necessary for recognition of features parameters and their effects on water production. The second step was done after model calibration for sensitive recognition of each parameter on simulation accuracy. Based on that, at the first step the sensitive analyses of input parameters on surface runoff were done. To determine the amount of input parameters, the range of them was defined and four different numeral distances were chosen and simulation was done by using them. Relative sensitivity index (S_r) shows the outlet function changes proportion for input parameters changes (Feyereisen et al. 2007) Sensitive analyses of 22 parameters and their effects in four numeral distances were evaluated and the model was performed manually more than 100 times. Calibration and validation was done from 2002 to 2007 and 2008 to 2010, respectively. Important parameters for calibration are including curve number, channel discharge, coefficient of surface runoff lag, ground water lag coefficient, soil surface evaporation compensation factor, and Manning coefficient of flooded plain. Nash – Sutcliffe Index, R index, P factor, and R factor were used for calibration and validation. After calibration and validation of model, type of low-level clouds from synoptic codes (Cumulus, Stratocumulus, Cumulonimbus, Stratus, and ...) during precipitation event in each rainy day were lined next to simulated and observed data and RMSE index was estimated for each group.

Results: Results of model calibration indicated that Nash – Sutcliffe Index, R^2 index, P factor, and R factor were 0/80, 0/81, 0/67, and 0/83, respectively. These factors were 0/74, 0/89, 0/53, and 0/52 in model validation period,

1. Assistant Prof. Climatology, Watershed Management Department, Malayer University

2. Associated Prof. Geomorphology, Watershed Management Department, Malayer University

3. Assistant Prof. Climatology, Watershed Management Department, Malayer University

individually. RMSE index of observed and simulated discharge data was estimated for different clouds. Findings showed that, at the presence of Stratocumulus, RMSE is the least (0/24) which means the highest accuracy of SWAT was seen when this clouds led to precipitation in the area. Accuracy simulation of rain-producing Stratus or Fractostratus clouds was acceptable with 0/38 RMSE. The weakest simulation of rainfall-runoff in SWAT model was seen in rain-producing Cumulonimbus clouds when they have a Serious shaped top. RMSE index of these precipitations in different clouds are nearly triple (0/74) this index in Stratocumulus (0/24).

Discussion and Conclusion: Garin dam has been built as one of the important structures to control flow for agriculture land irrigation and drinking water in Nahavand county. Hydrological condition analyses of the basin by choosing the best rainfall-runoff simulation model and accurately performance of this model brings about awareness of managers, farmers, experts, and residents of region. In this study, empirical- semi-distributed model (SWAT) was used in ArcGIS for runoff simulation in Garin dam catchment. According to cloud type effect on energy transformation and rainfall condition change, after model calibration and validation, RMSE and NS was estimated for different precipitation due to of clouds types. The results showed that the precipitation generated of convective clouds had higher RMSE error (about twice or three times) rather than non-convective clouds for rainfall-runoff simulation by this model. It is due to the intensity and time difference of convective rainfall than non-convective. Also, convective clouds were formed by local and vertical development but non-convective cloud were generated by wide and horizontal development. These clouds conditions probably cause accuracy of the precipitation recorded by meteorology stations were increased in the study area. Therefore, it is suggested that type of recorded or predicted clouds during rainfall events, their effects on rainfall and temperature feature, and their accuracy on runoff simulation should be considered for rainfall-runoff simulation of this basin. Evaluation of cloud features including their cover and thickness, their effects on input parameters, and accuracy of rainfall-runoff simulation in different basins and climates are recommended. The results confirmed the other researchers' findings about sensitive analyses (Akhavan et al., 2008; Amiri, 2005; Najafi, 2001; Refsgaard, 2012; Steenbergen and Willems, 2012). The results also are consistent with investigation of low-level clouds effects (considering the cloud cover and convection) on hydrological models (Nouri et al. 2012).

Keywords: Daily discharge, Cloud type, SWAT model, Garin dam catchment.