نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیستم، شماره ششم، ۱۳۹۲
http://jwsc.gau.ac.ir

شبیه‌سازی جریان رودخانه با استفاده از مدل هیدرولوژیکی- توزیعی WetSpa حوزه آبخیز کسیلیان

نوید دهقانی[۱]، *مهدی وفاخواه[۲] و عبدالرضا بهره‌مند[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، [۲]استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، [۳]دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۱/۸/۲۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۲۲

چکیده

مدل‌سازی فرایند بارش- رواناب و پیش‌بینی دبی رودخانه یک اقدام مهم در مدیریت و مهار سیلاب‌ها، طراحی سازه‌های آبی در حوزه‌های آبخیز و مدیریت خشک‌سالی است. هدف این پژوهش شبیه‌سازی جریان روزانه در حوزه آبخیز کسیلیان با مدل WetSpa است. WetSpa یک مدل پیوسته هیدرولوژیکی- فیزیکی است که قابلیت پیش‌بینی سیلاب در مقیاس حوزه آبخیز با گام‌های زمانی مختلف را دارد. مدل از لایه‌های توپوگرافی، کاربری اراضی و بافت خاک و همچنین آمار هواشناسی برای پیش‌بینی هیدروگراف‌های سیل استفاده می‌کند. دراین پژوهش از آمار باران، تبخیر و دمای ایستگاه هواشناسی سنگده و آمار دبی ایستگاه ولیک‌بن طی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۸ استفاده شد. به‌این ترتیب که ۳۶ ماه از فروردین ۱۳۸۲ برای کالیبراسیون مدل و ۳۰ ماه از اسفند ۱۳۸۵ برای آزمون مدل انتخاب شد. نتایج شبیه‌سازی با مدل نشان داد که این مدل به خوبی توانسته جریان پایه رودخانه را در مرحله صحت‌سنجی شبیه‌سازی نماید ولی در شبیه‌سازی دبی‌های حداکثر با خطا همراه است که دلیل آن را می‌توان به کوچک بودن حوزه و کوتاه بودن زمان پیمایش اشاره کرد. آنالیز حساسیت پارامترهای مدل نیز نشان داد که ضریب افت آب زیرزمینی از بیشترین حساسیت و ضریب روز درجه بارش از

*مسئول مکاتبه: vafakhah@modares.ac.ir

www.SID.ir
Archive of SID

کمترین حساسیت برخوردار است. همچنین این مدل به‌خوبی توانسته بیلان آب حوزه آبخیز کسیلیان را شبیه‌سازی کند.

واژه‌های کلیدی: دبی روزانه، مدل WetSpa، کسیلیان، زمان پیمایش، بیلان آب

مقدمه

یکی از پیچیده‌ترین فرآیندهای هیدرولوژیکی فرآیندهای بارش- رواناب است که از پارامترهای مختلف فیزیکی و هیدرولوژیکی تأثیر می‌پذیرد. به‌دلیل برهم کنش عوامل مختلف، رفتار سیکل هیدرولوژی آبخیز به فرآیند نسبتاً پیچیده‌ای تبدیل می‌شود، بنابراین برای ارزیابی آن اغلب از مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌گردد. محدودیت‌های مختلف مانند کافی نبودن ایستگاه‌های هیدرومتری در آبراهه‌های رتبه پایین و هزینه‌بر بودن جمع‌آوری و اطلاعات مشاهده‌ای، استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی در برآورد هیدروگراف سیل را ایجاب می‌نماید (صادقی و همکاران، ۲۰۰۵). یکی از این مدل‌ها، مدل هیدرولوژیکی توزیعی Wetspa[1] برای شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی است. Wetspa یک مدل پیوسته هیدرولوژیکی- فیزیکی است که قابلیت پیش‌بینی سیلاب و شبیه‌سازی بیلان آبی، فرسایش و انتقال رسوب، کیفیت آب و مدیریت آبخیز در مقیاس حوزه آبخیز، زیرحوزه آبخیز و شبکه سلولی با گام‌های زمانی مختلف را دارا است (زینی‌وند و دی‌اسمت، ۲۰۰۹). از جمله پژوهش‌گرانی که در این زمینه مطالعاتی داشته‌اند می‌توان به ونگ و همکاران (۲۰۰۹) در حوزه آبخیز مولنبیک بلژیک، گبرمسکل و همکاران (۲۰۰۲) در حوزه آبخیز آلزیت در لوگزامبورگ، لیو و همکاران (۲۰۰٤) در حوزه آبخیز استینسیل در لوگزامبورگ، لیو و همکاران (۲۰۰۵) در حوزه آبخیز کارستی سویی- مویی در کشور ویتنام، نورمحمد و همکاران (۲۰۰٦) در حوزه‌های آبخیز بالادست کشور سورینامی، بهره‌مند و همکاران (۲۰۰۷) در حوزه آبخیز مارگسانی در کشور اسلواکی، بهره‌مند و دی‌اسمت (۲۰۰۸) در حوزه آبخیز توریسا در کشور اسلواکی، کبیر و همکاران (۲۰۱۱) در حوزه آبخیز گرگان‌رود و مرادی‌پور و همکاران (۲۰۱۱) در حوزه آبخیز طالقان اشاره نمود. اهمیّت بروز سیلاب‌های متعدد در آبخیزهای کوهستانی جنگلی شمال کشور و نیز برنامه‌ریزی پروژه‌های عمرانی از مواردی است که ضرورت انجام این پژوهش را توجیه می‌نماید. باتوجه به مطالعات صورت گرفته در

1- Water and Energy Transfer between Soil, Plant and Atmosphere

www.SID.ir

داخل و خارج از کشور بر می‌آید که مدل WetSpa اغلب در حوزه‌های آبخیز بزرگ مورد استفاده قرار گرفته است (بهره‌مند و همکاران، ۲۰۰۵؛ نورمحمد و همکاران، ۲۰۰۶؛ کبیر و همکاران، ۲۰۱۱). به‌همین منظور هدف از این مطالعه آزمایش توانایی مدل در حوزه‌های آبخیز کوچک برای شبیه‌سازی بارش- رواناب است، به‌همین منظور حوزه آبخیز کسیلیان برای انجام این پژوهش مناسب تشخیص داده شد.

مواد و روش‌ها

معرفی حوزه مورد مطالعه: حوزه آبخیز کسیلیان با مساحت ٦٦/٧٥ کیلومترمربع از زیرحوزه‌های رودخانه تالار در مازندران به‌شمار می‌رود. این حوزه باتوجه به شرایط طبیعی و آب و هوایی خود به‌عنوان معرف مناطق کوهستانی و جنگلی درنظر گرفته می‌شود. حوزه آبخیز کسیلیان در محدوده جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۵۸ دقیقه تا ٣٦ درجه و ۷ دقیقه عرض شمالی واقع است. متوسط بارندگی منطقه ۷۹۱ میلی‌متر بوده و به‌طور عمده به‌صورت باران ریزش می‌نماید.

مدل WetSpa: مدل Wetspa اولین بار توسط ونگ و همکاران (۱۹۹۷) برای پیش‌بینی انتقال آب و انرژی بین خاک، گیاهان و اتمسفر در حوزه آبخیز تهیه شد. در مدل WetSpa برای شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی از نقشه‌های توپوگرافی، کاربری اراضی، نقشه خاک و سری زمانی روزانه هواشناسی استفاده می‌شود. مدل در هر شبکه سلولی با توجه به‌میزان بارش، دما و تبخیر- تعرق، مقدار ذخیره برگابی گیاهان، ذخیره چالابی، نفوذ و رواناب تولیدی را شبیه‌سازی می‌نماید. در این مدل بارش مازاد با استفاده از روش استدلالی اصلاح شده (روش ضریب رواناب مبتنی‌بر رطوبت خاک) و برمبنای خصوصیات هر شبکه شامل شیب، کاربری، نوع خاک، میزان بارش و رطوبت پیشین خاک محاسبه می‌گردد. رواناب در شبکه سلولی حاصل مجموع رواناب سطحی، جریان زیر قشری و دبی آب‌های زیرزمینی است. روندیابی جریان سطحی از سلول‌های مختلف به‌سمت خروجی آبخیز به‌سرعت جریان و ضریب پخشیدگی موج بستگی داشته و با استفاده از روش تخمین موج پخشی صورت می‌گیرد. در صورتی‌که جریان زیرسطحی و تغذیه آب‌های زیرزمینی با استفاده از قانون دارسی و روش موج سینماتیک شبیه‌سازی می‌شود و در خروجی هر زیر حوزه آبخیز آب زیرزمینی هم به آن‌ها اضافه می‌شود. سپس کل جریان به‌سمت خروجی کل حوزه روندیابی می‌گردد. لازم به‌ذکر است مدل دارای

www.SID.ir

۱۱ پارامتر کلی می‌باشد، که به‌منظور واسنجی، درنظر گرفته شده‌اند (جدول ۱). در واسنجی خودکار توسط نرم‌افزار PEST، انتخاب مقادیر اولیه مناسب جهت جلوگیری از افتادن در مینیمم‌های محلی، خیلی مهم است.

جدول ۱- پارامترها، مقادیر اولیه و واسنجی شده توسط PEST.

علامت	پارامتر	مقدار اولیه	مقدار واسنجی شده توسط PEST
K_i	فاکتور بی بعد جریان زیر سطحی (-)	۱/۹۱	۱/٦٦
K_g	ضریب افت آب زیر زمینی (بر روز)	۰/۰۰٤۷	۰/۰۰۲٦۵۸
Kss	رطوبت اولیه خاک (میلی‌متر)	۰/۹۲	۰/۸۸
Kep	فاکتور تصحیح تبخیر- تعرق پتانسیل (میلی‌متر)	۱/۳٦	۱/۳۹
G_o	ذخیره آب زیرزمینی اولیه (میلی‌متر)	۱۵۰	۱٦۰
Gmax	حداکثر ذخیره آب زیرزمینی (میلی‌متر)	۲۱٦/۲٦	۵۲۷/۹۹۳
T_o	ضریب درجه حرارت آستانه (درجه سانتی‌گراد)	۰/۹۹	۱/۰۵
Ksnow	ضریب درجه روز درجه حرارت (میلی‌متر بر درجه سانتی‌گراد بر روز)	۰/۷۵	۰/۷۹
Krain	ضریب روز درجه بارش (بر درجه سانتی‌گراد بر روز)	۱/۷۹	۱/۸۸
Krun	توان رواناب سطحی برای شدت بارندگی صفر (-)	۵/۹۰	٤/۸۱
Pmax	حداکثر شدت بارش (میلی‌متر بر روز)	۵۹/۵۳	۱۲۸/٦۳

جمع‌آوری آمار و اطلاعات: برای اجرای مدل هر سه نقشه مدل رقومی ارتفاع، خاک‌شناسی و کاربری اراضی با اندازه شبکه ۵۰ متر در ۵۰ متر به مدل معرفی شدند. پس از تهیه نقشه‌ها صحت نقشه‌ها با بازدیدهای میدانی تأیید شد. سپس با بررسی آمار ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری در محدوده حوزه آبخیز کسیلیان و باتوجه به هدف پژوهش دوره زمانی ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۸ انتخاب شد. سپس سال‌های آبی ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۵ به‌مدت ۳٦ ماه برای واسنجی[1] و از بهمن‌ماه ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۸ به مدت ۳۰ ماه برای آزمون مدل[2] WetSpa انتخاب شد. سپس در ادامه شبیه‌سازی در هر شبکه سلولی

1- Calibration
2- Test

www.SID.ir

خصوصیات زمین شامل ارتفاع، جهت جریان، شبکه آبراهه، انشعابات رودخانه، رتبه آبراهه و شعاع هیدرولیکی از طریق مدل رقومی ارتفاعی تهیه شدند. سپس با استفاده از بافت خاک و مقادیر جدول‌های مرجع، هدایت هیدرولیکی خاک، تخلخل و ظرفیت زراعی، رطوبت باقی‌مانده و شاخص توزیع اندازه ذرات و نقطه پژمردگی گیاه به‌صورت نقشه محاسبه گردید. به‌طور مشابه نقشه‌های شبکه عمق جریان، ظرفیت ذخیره برگابی و ضریب زبری مانینگ براساس نقشه کاربری طبقه‌بندی شدند. نقشه‌های ضریب رواناب پتانسیل و ظرفیت ذخیره چالابی نیز به‌صورت ترکیبی از نقشه‌های کاربری، خاک و ارتفاع تهیه شدند.

معرفی نمایه‌های کارایی و ارزیابی مدل‌ها: برای ارزیابی بهترین برازش بین هیدروگراف‌های محاسبه‌شده و مشاهده‌ای، از نمایه‌های ارزیابی انحراف مدل[1]، قابلیت اعتماد مدل[2]، ضریب ناش ساتکلیف[3]، نمایه کارایی ناش- ساتکلیف برای ارزیابی جریان‌های پایین و نمایه کارایی ناش- ساتکلیف برای ارزیابی دبی‌های بالا استفاده شد.

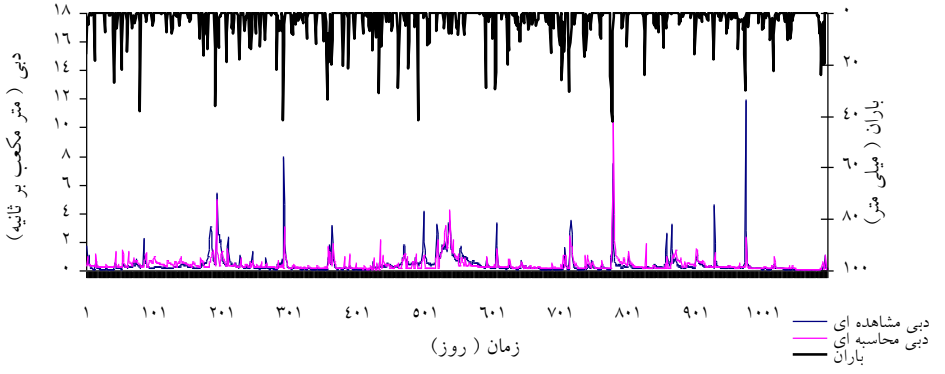
نتایج و بحث

پارامترها، مقادیر اولیه و واسنجی شده توسط نرم‌افزار PEST در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج نشان داد که از بین فاکتورهای موجود، فاکتور ضریب افت آب زیرزمینی (Kg) از بیشترین حساسیت و پس از آن فاکتور تصحیح تبخیر و تعرق (Kep) و همچنین ضریب روز درجه بارش (Krain) از کمترین حساسیت برخوردار است. بررسی نتایج بیلان آبی حاصله از مدل WetSpa برای دوره آزمون در حوزه آبخیز نشان می‌دهد که ٤/٢ درصد از بارش توسط تاج پوشش گیاهان متوقف و متعاقباً تبخیر می‌شود، ۷۹/۱۱ درصد از طریق تبخیر به اتمسفر بر می‌گردد، ۲۵/۰٤ درصد به رواناب تبدیل می‌شود که ۷/٤۷ درصد رواناب سطحی، ۵/۵۸ درصد رواناب زیرسطحی و ۱۱/۹۹ درصد جریان آب زیرزمینی و ٤/٦۱- درصد صرف تلفات ذخایر آب زیرزمینی بین نقطه شروع و پایان گام زمانی می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که مدل جریان‌های پایه را با معیار ناش- ساتکلیف ٦٤/۳۵ شبیه‌سازی نموده ولی در پیش‌بینی جریان‌های حداکثر موفق عمل نکرده است. همچنین انحراف مدل در مرحله واسنجی صفر و

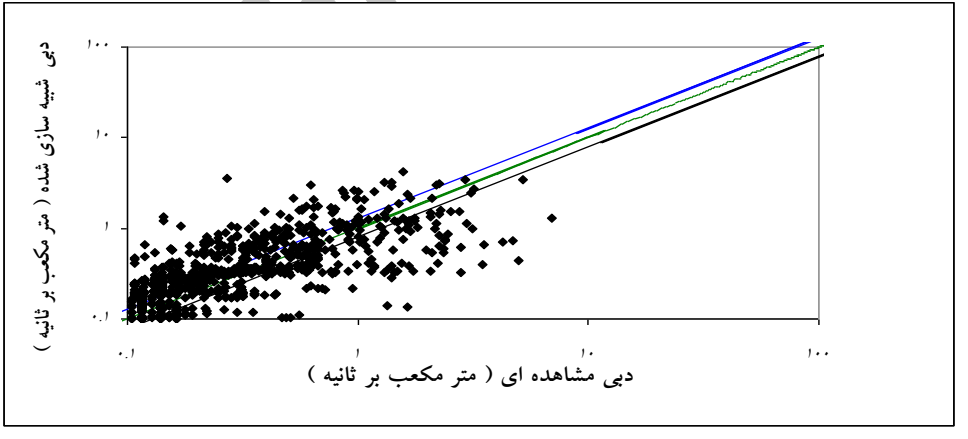
1- Bias
2- Model Confidence
3- Nash-Sutcliffe

www.SID.ir

در مرحله آزمون ۱/۳۸ بوده است که نشان می‌دهد مدل به مقدار بسیار کمی حجم جریان را بیشتر تخمین می‌زند. در شکل ۱ آب‌نمود مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده برای دوره آزمون در حوزه آبخیز کسیلیان پس از واسنجی متغیرها ارائه شده است. همچنین شکل ۲ نمودار پراکنش دبی شبیه‌سازی و مشاهده‌ای برای دوره آزمون مدل در سطح اعتماد ۹۵ درصد را نشان می‌دهد.



شکل ۱- دبی روزانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده روزانه مدل Wetspa برای دوره آزمون.



شکل ۲- نمودار پراکنش دبی روزانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی مدل WetSpa برای دوره آزمون و سطح اطمینان ۹۵ درصد.

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

در این پژوهش مدل WetSpa در حوزه آبخیز کسیلیان طی سال‌های آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۲ اجرا شد. پس از کالیبراسیون مدل، آنالیز حساسیت پارامترها با استفاده از نرم‌افزار PEST انجام شد که نتایج آن با پژوهش‌های بهره‌مند و دی اسمت (۲۰۱۰) و نورمحمد و همکاران (۲۰۰۶) مبنی‌بر حساس بودن پارامترهای ذکرشده هم‌خوانی دارد. مقایسه آماری آب‌نمودهای محاسبه‌ای و مشاهده‌ای برای دوره‌های واسنجی و ارزیابی نیز نشان‌دهنده تطابق نسبتاً خوبی بین دو آب‌نمود در جریان‌های کم می‌باشد. نتایج این پژوهش با نتایج لیو و دی اسمت (۲۰۰۵)، بهره‌مند و همکاران (۲۰۰۷) و کبیر و همکاران (۲۰۱۱) مبنی‌بر پایین‌تر بودن نمایه ناش- ساتکلیف برای جریان‌های کم هم‌خوانی ندارد. این پژوهش‌گران در پژوهش‌های خود نمایه ناش- ساتکلیف را برای جریان‌های حداکثر را بیش از جریان‌های کم برآورد کرده‌اند. یکی از دلایل اصلی پایین بودن نمایه ناش- ساتکلیف است را می‌توان به کوچک بودن حوزه آبخیز و استفاده از داده‌های روزانه به‌جای داده‌های ساعتی مرتبط دانست. چراکه زمان پیمایش جریان حوزه آبخیز کمتر از ۲٤ ساعت (حداکثر ۱۰/٤ ساعت) است. یکی دیگر از دلایل پایین بودن نمایه ناش- ساتکلیف برای جریان‌های بالا وجود یک سیل استثنایی در حوزه آبخیز در خردادماه سال ۱۳۸۵ با ۱۱/۹ مترمکعب می‌باشد که در نگاه اول و با توجه به بارندگی‌های روزهای قبل، به‌عنوان داده پرت درنظر گرفته شد و با درنظر نگرفتن این عدد در محاسبات، نمایه ناش ساتکلیف برای جریان‌های بالا و به تبع آن نمایه ناش ساتکلیف حدود ۳۰ درصد اضافه شدند. ولی با پرسش از مردم محلی و شواهد موجود، مشخص گردید که این سیل بزرگ‌ترین سیل چند دهه گذشته در حوزه آبخیز بوده است. عامل دیگری که می‌توان به آن اشاره کرد این است که مدل WetSpa برای شرایط اقلیمی و جغرافیایی کشور بلژیک توسعه داده شده است و برای کشور ایران که شرایط خاص آب و هوایی دارد نمی‌تواند مبنا قرار گیرد.

منابع

1.Bahremand, A., Corluy, J., Y.B., Liu, Y.B., De Smedt, F. 2005. Stream flow simulation by WetSpa model in Hornad river basin, Slovakia. P415-422, In: J. van Alphen, E. van Beek, M. Taal (eds.), Floods, from Defence to Management, Taylor and Francis Group, London.

2.Bahremand, A., and De Smedt, F. 2008. Distributed hydrological modeling and sensitivity and uncertainty analysis in Torysa watershed, Slovakia, Water Resour. Manag., 22: 393-408

www.SID.ir

3.Bahremand, A., De Smedt, F., Corluy, J., Liu, Y.B., Poorova, J., Velcicka, L., and Kunikova, E. 2007. WetSpa model application for assessing reforestation impacts on floods in Margecany-Hornad watershed, Slovakia, Water Resour. Manag., 21: 373-1391.
4.Gebremeskel, S., Liu, Y.B., and De Smedt, F. 2002. GIS based distributed modeling for flood estimation.P98-109, In Proceeding of the Twenty_Second Annual American Geophysical Union Hydrology Days.
5.Kabir, A., Mahdavi, M., Bahremand, A., and Noora, N. 2011. Application of a geographical information system (GIS) based hydrological model for flow prediction in Gorganrood river basin, Iran, Afr. J Agr. Res., 6: 1, 35-45.
6.Liu, Y.B., Batelaan, O., De Smedt, F., Hong, N.T., and Tam, V.T. 2005. Test of distributed modeling approach to predict flood flows in the karst Suoimuoi catchment in Vietnam, Environ. Geol., 48: 7, 931-940.
7.Liu, Y.B., Gebremeskel, F., De Smedt, S., Hoffmann, L., and Fister, S. 2004. Assessing land use impacts on flood processes in complex terrain by using GIS and modeling approach. Environ. Model. Assess., 18: 9, 227–235.
8.Moradipour, S., Bahremand, A., Zeinivand, H., and Najafinezhad, A. 2011. Simulation spatial distribution flood with model hydrologic WetSpa in Taleghan watershed. 252 p., In Proceedings of 7rd National Conference on Science and Watershed Engineering University of Technology. Isfahan, Iran. (In Persian)
9.Nurmohamed. R., Naipal. S., and De Smedt, F. 2006. Hydrologic modeling of the Upper Suriname, J. Spatial Hydrol., 1: 6, 1-17.
10.Sadeghi, H., Moradi, H., Mozayyan, M., and Vafakhah, M. 2005. Comparison of different statistical analysis methods in rainfall–rounoff modeling (Case study: Kasilian watershed). J. Agric. Sci. Natur. Resour., 12: 3, 81-90. (In Persian)
11.Wang, W.C., Chau, K.W., Cheng, Ch.T., and Qiu, L. 2009. A comparison of performance of several artificial intelligence methods for forecasting monthly discharge time series, J. Hydrol., 374: 3-4, 294-306.
12.Wang, Z., Batelaan, O., and De Smedt, F. 1996. A distributed model for water and energy transfer between soil, plants and atmosphere (WetSpa). Phys. Chem. Earth, 21: 3, 189-193.
13.Zeinivand, H., and De Smedt, F. 2009. Spatially distributed modeling of soil erosion and sediment transport at watershed scale. In Proceedings of World Environmental and Water Resources Congress (EWRI), 17-21 May, Kansas City, USA.

Archive of SID

www.SID.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 20(6), 2013
http://jwsc.gau.ac.ir

Simulation of streamflow using a hydrological model-distributed wetSpa in kasilian watershed

N. Dehghani[1], *M. Vafakhah[2] and A.R. Bahremand[3]

[1]M.Sc. Student, Dept., of Watershed Management Engineering, Tarbiat Modares University,
[2]Assistant Prof., Dept. of Watershed Management Engineering, Tarbiat Modares University,
[3]Associate Prof., Dept. of Watershed Management Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 11/19/2012 ; Accepted: 03/12/2013

Abstract

Rainfall runoff modeling and prediction of river discharge is one of the important components in flood control and management, hydraulic structure design and drought management. The goal of this study is to simulate the daily discharge in Kasilian watershed using WetSpa. The WetSpa model is a distributed hydrological and physically based model which can predict flood in watershed scale with various time intervals. The model uses topography, land use and soil type maps and also meteorological data for prediction of flood hydrographs. In this study the rainfall, evaporation and temperature data of Sangdeh meteorological station and discharge data of Valikben hydrometry station during the years 2003 to 2009 were used. 36 months from April 2003 and 30 months from March 2006 were selected for calibration and test of model, respectively. The results of WetSpa model showed that this model can simulate the river baseflow with Nash- Sutcliff criteria of 64 percent in validation period, but less accuracy with high discharges. The reason may be due to small and short travel time. The sensitivity analysis showed that groundwater flow recession and rainfall degree-day parameters have the highest and lowest effect on results. This model can simulate the water balance in Kasilian watershed as well.

Keywords: Daily discharge, WetSpa model, Kasilian, Travel time, Water balance.

* Corresponding Author: vafakhah@modares.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID