نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۵، آذر - دی ۱۳۹۲، ص. ۱۰۷۶-۱۰۶۷

Journal of Water and Soil
Vol. 27, No. 5, Nov.-Dec. 2013, p. 1067-1076

شبیه‌سازی جریان رودخانه با استفاده از مدل هیدرولوژیکی – توزیعی WetSpa در حوزه آبخیز اترک

زهرا نامقی[1*]- عبدالرضا بهره مند[2]- مجید اونق[3]- علی گلکاریان[4]

تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۴/۱
تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۷/۲۸

چکیده

شبیه سازی فرآیند بارش- رواناب در حوزه آبخیز از نقطه نظر درک بهتر مسائل هیدرولوژیکی، پیش‌بینی جریان، مدیریت منابع آب، مهندسی رودخانه، سازه های کنترل سیل و ذخیره سیلاب اهمیت ویژه ای دارد. بدین منظور در این تحقیق شبیه سازی جریان رودخانه و برآورد رواناب سطحی با استفاده از مدل هیدرولوژیکی- توزیعی WetSpa صورت گرفت. در مدل WetSpa رواناب حوزه با استفاده از مدل انتقال موج پخشی مبتنی بر شیب، سرعت جریان و ویژگی‌های توزیعی در طول مسیرهای جریان روندیابی می‌شود. حوزه آبخیز اترک با مساحتی حدود ۱۱۶۳۹ کیلومترمربع یکی از حوزه‌های بزرگ شمال ایران بوده و بارش متوسط سالانه آن تقریبا ۲۸۳ میلیمتر می‌باشد. داده‌های هواشناسی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۰ شامل بارش از ۲۵ ایستگاه، دما و تبخیر اندازه‌گیری شده از ۵ ایستگاه به عنوان داده‌های ورودی مدل استفاده شد. برای اجرای مدل سه نقشه پایه شامل مدل رقومی ارتفاع، کاربری اراضی و تیپ خاک با ابعاد سلولی ۱۰۰متر تهیه شدند. نتایج شبیه‌سازی تطابق نسبتا خوبی بین هیدروگراف‌های محاسبه‌شده و اندازه‌گیری‌شده در خروجی حوزه نشان داد. مدل بر اساس معیار ناش- ساتکلیف، هیدروگراف‌های روزانه را با دقتی بیش از ۶۰ و ۵۳ درصد به ترتیب برای دوره‌های واسنجی و ارزیابی و بر اساس معیار تطبیق داده شده ناش- ساتکلیف، دبی‌های حداکثر را با دقت ۷۷درصد برآورد می‌کند. با توجه به خروجی مدل و فاکتورهای هیدرولوژیکی با توزیع مکانی در هر گام زمانی مدل قابلیت آنالیز اثرات توپوگرافی، بافت خاک و کاربری اراضی در رفتار هیدرولوژیکی حوزه را دارد.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی جریان، واسنجی، ارزیابی، WetSpa، رودخانه اترک

مقدمه

شبیه سازی فرآیند بارش- رواناب در حوزه آبخیز از نقطه نظر درک بهتر مسائل هیدرولوژیکی، مدیریت منابع آب، مهندسی رودخانه، سازه های کنترل سیل و ذخیره سیلاب اهمیت ویژه ای دارد. در این راستا مدل ها را می توان به دو گروه مدل های یکپارچه[5] و مدل های توزیعی طبقه بندی کرد (۷ و ۸). تعدادی از مدل‌ها برای ساده کردن پارامترهای ورودی و نیازهای محاسباتی، ناهمگنی مکانی ذاتی طبیعت را در نظر نمی‌گیرند و شرایط را همگن فرض می‌کنند به این دسته مدل‌ها، مدل‌های یکپارچه گفته می شود. در مقابل، مدل هایی که تغییرات مکانی پارامترها و فرآیندها را در نظر میگیرند مدلهای توزیعی نامیده می‌شوند (۲). مدل سازی هیدرولوژیکی حوزه‌های بزرگ و متوسط به دلیل عدم ادراک کامل سیستم هیدرولوژیکی و رفتار تصادفی متغیرها و فرآیندهای هیدرولوژیکی پیچیده می‌باشد (۷). با توجه به ناهمگنی و عدم یکنواختی در توپوگرافی، خاک، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و خصوصیات زمین‌شناسی و تغییر اقلیم در زمان و مکان در این حوزه ها برای برآورد واقعی‌تر از سیستم فیزیکی، استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی نسبت به مدل های یکپارچه ارجحیت دارد (۱۶). مدل‌های هیدرولوژیکی- توزیعی پیچیده‌ای توسعه داده شده است که به داده‌ها و اطلاعات اندازه‌گیری‌شده فراوانی نیاز دارند که در بسیاری از حوزه‌های آبخیز بسیاری از کشورها از جمله کشور ایران، چنین داده‌های اندازه‌گیری‌شده‌ای وجود ندارد و این عامل، کاربرد این مدل‌ها را با مشکل مواجه ساخته است. بنابراین در

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(*- نویسنده مسئول: (Email: znameghi@yahoo.com
۴- استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

5- Lump

انتخاب مدل مناسب، باید به مؤلفه‌هایی مانند توزیعی یا یکپارچه بودن، فیزیکی یا تجربی بودن ساختار آن، ساده یا پیچیده بودن و در دسترس بودن یا نبودن داده‌های مورد نیاز به عنوان ورودی مدل و یا برای واسنجی توجه داشت (۱). با این وجود، برآورد بارش- رواناب با مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی و با استفاده از تکنیک سامانه اطلاعات جغرافیایی به صورت گسترده امکان‌پذیر، کاربردی و متداول شده است. مدل Wetspa[1] یک مدل شبکه‌ای و توزیعی شبیه سازی رواناب و بیلان آبی است که در پایه زمانی متفاوت ساعتی یا روزانه اجرا می‌شود. مدل جریان سطحی روزانه/ساعتی را در هر نقطه از حوزه، هیدروگراف در نقطه خروجی و پارامترهای هیدرولوژیکی توزیعی حوزه را شبیه‌سازی می‌کند. ورودی‌های مدل شامل داده رقومی ارتفاع، تیپ خاک، کاربری اراضی و سری‌های زمانی بارش و تبخیر (اندازه‌گیری شده از تشتک) می‌باشد.

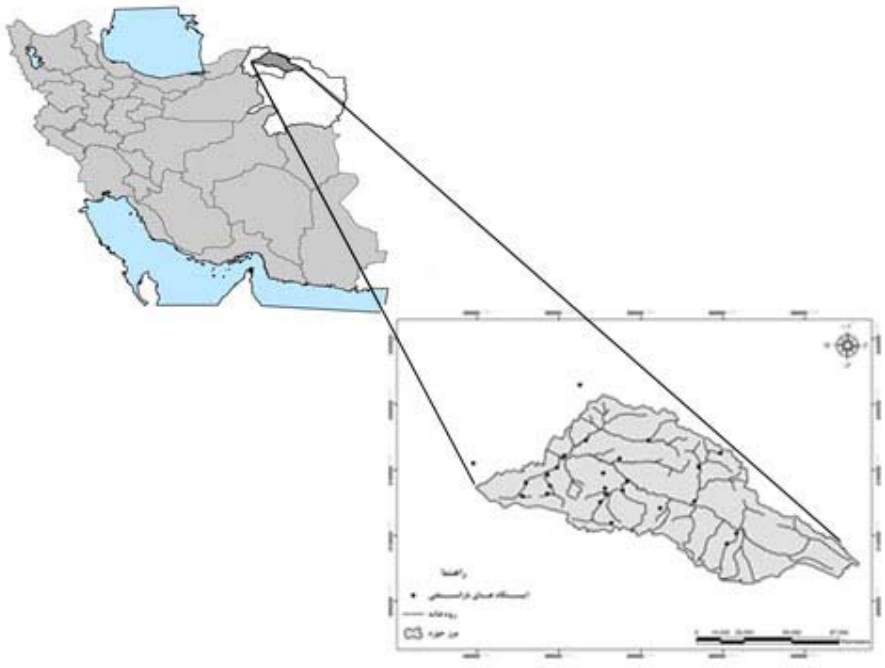
ونگ و همکاران (۱۹)، مدل توزیعی WetSpa را در حوزه آبخیز ترکلپ- مولنبیک[2] در بلژیک اجرا نمودند و نتایج بیانگر این بودند که مدل به خوبی قابلیت پیش بینی رواناب سطحی را داراست. علاوه بر این نتایج نشان دادند ترکیب مدلسازی توزیعی و GIS بسیار سودمند می‌باشد. بهره مند و همکاران (۶)، اقدام به شبیه سازی جریان آبراهه‌ای با استفاده از مدل هیدرولوژیکی WetSpa در حوزه رودخانه هورناد[3] در اسلواکی نمودند. نتایج نشان داد، در خروجی حوزه و در زیرحوزه های اصلی انطباق خوبی بین هیدروگراف حاصل از مدل با هیدروگراف مشاهده‌ای وجود دارد و بر اساس شاخص کارایی ناش- ساتکلیف مدل هیدروگراف های روزانه را با دقت، ۷۵ تا ۸۵ درصد پیش‌بینی می کند. ریتابول و همکاران (۱۷)، با استفاده از مدل هیدرولوژیکی WetSpa به پیش بینی رواناب در رودخانه سیمیو، در محدوده دریاچه ویکتوریا[4] در تانزانیا پرداختند. نتایج حاصل از تست مدل توسط آنها نشان داد که مدل به خوبی قابلیت روندیابی جریان در رودخانه را دارد. جوراسلاو و همکاران (۱۲) جهت بررسی و آنالیز اثرات توپوگرافی، بافت خاک و کاربری اراضی بر خصوصیات رواناب در بالادست حوزه بایبرزا[5] در جنوب شرق از کشور لهستان[6]، از مدل هیدرولوژیکی توزیعی WetSpa استفاده کردند، معیار کارایی بایس و ضریب ناش-ساتکلیف برای دوره مرطوب و خشک در مرحله واسنجی به ترتیب ۰/۰۱۵، ۷۱/۷ درصد و ۰/۱۵۳- ، ۰/۵۹ درصد بدست آمد. که نتایج نشان می‌دهد این مدل قابلیّت خوبی جهت بررسی اثر کاربری اراضی، توپوگرافی و نوع بافت خاک در این حوزه داشته است. در ایران نیز مطالعات کبیر و همکاران (۱۳) کاربرد مدل WetSpa را در حوزه گرگانرود با مساحت ۶۷۱۷ کیلومترمربع مورد بررسی قرار دادند. نتایج شبیه سازی نشان داد تطابق خوبی بین هیدروگراف‌های محاسبه شده و مشاهده ای وجود دارد و با توجه به معیار ناش- ساتکلیف مدل هیدروگراف‌های روزانه را با دقت ۷۱ تا ۷۷ درصد پیش بینی می‌کند. آذین‌مهر و همکاران (۱) اقدام به شبیه‌سازی جریان در حوزه آبخیز دینور در بالادست سدکرخه نمودند، نتایج این تحقیق نشان داد انطباق خوبی بین هیدروگراف های اندازه‌گیری شده و شبیه سازی شده با توجه به معیار ناش- ساتکلیف ۶۶ درصد وجود دارد. از بین مطالعاتی که در زمینه سیل و شبیه‌سازی جریان رودخانه انجام شده چنین برمی‌آید که استفاده از مدل‌ها ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. ازطرفی برای انجام مدیریتی مقبول در سطحی وسیع لازم است از وضعیت قسمت های مختلف آن آگاه شد، که این امر با استفاده از مدل‌های توزیعی تاحدی میسر می‌شود. از جمع‌بندی مطالعات انجام شده بر روی منابع مختلف چنین استنباط می شود که در داخل کشور مطالعات محدودی براساس مدل WetSpa صورت گرفته، علاوه بر آن اکثر مطالعات انجام گرفته در زمینه مدل WetSpa در اقالیم معتدل و مرطوب صورت گرفته و تاکنون این مدل در اقالیم خشک و نیمه خشک کشور مورد مطالعه قرار نگرفته است، که این تحقیق می‌تواند آغازی برای این امر باشد. هدف این پژوهش شبیه‌سازی جریان رودخانه و برآورد رواناب سطحی با استفاده از مدل هیدرولوژیکی توزیعی- مکانی WetSpa و ارائه و کاربرد مدلی است که به خوبی و با دقت بالا قادر به شبیه سازی پیوسته جریان رودخانه در گام‌های زمانی مختلف (در این مطالعه روزانه) باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز اترک یکی از حوزه‌های بزرگ شمال ایران است که از استان خراسان رضوی (شهرستان قوچان) سرچشمه گرفته و پس از عبور از استان‌های خراسان رضوی و شمالی در قازان‌قایه وارد استان گلستان شده و در نهایت به دریای خزر می‌ریزد. این رودخانه از دو شاخه مهم اترک داخلی و سومبار (اترک خارجی) تشکیل شده که پس از بهم پیوستن در محل چات، اترک مشترک بوجود آمده و مرز بین ایران و ترکمنستان را تشکیل داده و پس ازعبور از ترشکلی، داشلی برون و قزل اترک در خاک ترکمنستان، در حدود پاسگاه پل بدون مسیر مشخصی در دشت پخش شده، و در مسیرهای مختلف به دریا می ریزد.

1- Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere
2- Terklep_Molenbik
3- Hornad
4- Victoria
5- Biebrza
6- Poland



شکل۱- موقعیت جغرافیایی حوزه مورد مطالعه در ایران

با عنایت به وسعت زیاد حوزه آبخیز و مسیر نسبتاً طولانی رودخانه، حوزه آبخیز اترک به چهار قسمت اترک علیا، اترک میانی، اترک سفلی و اترک مرزی تقسیم‌بندی شده است. محدوده مورد مطالعه در این پژوهش بین طول شرقی ′۲۵ °۵۶ تا ′۰۳ °۵۹ و عرض شمالی ′۵۷ °۳۶ تا ′۵۹ °۳۷ از بخش علیای رودخانه آغاز شده و تا ایستگاه هیدرومتری آغمراز در قسطی معاون در اترک میانی امتداد می‌یابد. مساحت حوزه ۱۱۶۳۹۰۰ هکتار، ارتفاع حداکثر آن ۲۹۰۰ متر و ارتفاع حداقل ۵۶۹ متر است. بارندگی متوسط آن ۲۸۳ میلیمتر و شیب متوسط ۳/۲ درصد می‌باشد.

مدل WetSpa

این مدل یک نوع مدل هیدرولوژیکی و فرسایش خاک است (۲۰)، که قابلیت پیش بینی سیلاب و شبیه سازی بیلان آبی، فرسایش و انتقال رسوب، بررسی تأثیر تغییر اقلیم و کاربری اراضی در فرآیندهای هیدرولوژیکی، کیفیت آب و مدیریت آبخیز را در مقیاس حوزه، زیرحوزه و شبکه سلولی با گام‌های زمانی مختلف داراست. بارش نیروی محرکه اصلی و ورودی حساس مدل است که خطا در اندازه-گیری آن منجر به خطای بیشتر در داده‌های شبیه‌سازی شده خواهد شد. مدل بر اساس شبکه سلولی طراحی شده که شامل چهار لایه تاج پوشش، زون ریشه، زون انتقال و زون اشباع در جهت عمودی می‌باشد. مدل در هر شبکه سلولی با استفاده از مجموعه‌ای از روابط فیزیکی و تجربی و با توجه به میزان بارندگی، دما و تبخیر و تعرق، کلیه فرآیند های هیدرولوژیکی و پیش‌بینی سیل از جمله مقدار بارش، ذخیره برگابی گیاهان، ذخیره چالابی، نفوذ، رواناب سطحی، آبگذری، جریان زیرسطحی، جریان آب زیرزمینی و بیلان آب در زون‌های ریشه و اشباع را شبیه سازی نماید. همچنین دبی‌های پیک و هیدروگراف جریان در هر مکان از شبکه آبراهه را پیش‌بینی و توزیع مکانی فرآیندهای هیدرولوژیکی را شبیه‌سازی می‌کند.

مدل WetSpa اولین بار توسط ونگ و همکاران (۱۹) ارائه و سپس توسط دی اسمت و همکاران (۹) و لیو و همکاران (۱۲) برای پیش بینی سیل توسعه داده شد.

در این مدل بیلان آب در زون ریشه برای هر سلول با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود (اقتباس از دستورالعمل مدل، لیو و دسمت، (۱۵)):

$$D\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = P - I - S - E - F - R \qquad (۱)$$

که در آن D (L) عمق ریشه، $\Delta\theta$ (L^3L^{-3}) تغییرات رطوبتی خاک، Δt (T) فواصل زمانی، P (LT^{-1}) بارش، I (LT^{-1}) تلفات اولیه شامل

ذخیره برگابی و ذخیره چالابی، V (LT^{-1}) رواناب سطحی یا بارش مازاد، E (LT^{-1}) تبخیر و تعرق، R (LT^{-1}) نرخ نفوذ عمقی از زون ریشه و F (LT^{-1}) نرخ جریان زیرسطحی در زمان می‌باشد. در این مدل بارش مازاد با استفاده ار روش ضریب رواناب مبتنی بر رطوبت خاک و بر مبنای خصوصیات هر شبکه شامل شیب، کاربری، نوع خاک، میزان بارش و رطوبت پیشین خاک با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌گردد (اقتباس از دستورالعمل مدل، لیو و دسمت، (۱۵)):

$$V = C(P - I)(\theta)(\theta_s)^{\alpha} \qquad (۲)$$

که در آن θ_s پروزیته خاک، C ضریب پتانسیل رواناب، α ضریبی است که نماینده تاثیر شدت بارندگی بر میزان بارش مازاد می‌باشد. میزان نفوذ عمقی به خارج از زون ریشه به صورت تابعی از محتوای رطوبتی خاک، پروزیته خاک و میزان هدایت هیدرولیکی اشباع بیان می‌گردد. همچنین میزان جریان زیرسطحی نیز بر اساس قانون دارسی و معادلات موج سینماتیکی (رابطه ۳) محاسبه می‌گردد (اقتباس از دستورالعمل مدل، لیو و دسمت، (۱۵)):

$$F = C_f D S_0 K(\theta)/W \qquad (۳)$$

که در اینجا S_0 شیب سطح، W عرض سلول و C_f ضریبی است مرتبط با کاربری اراضی که به نوعی تراکم آبراهه‌ها را مدنظر قرار می‌دهد. از آنجایی که جریان آب زیرزمینی بسیار آهسته‌تر از حرکت آب در سطح و نزدیک به سطح می‌باشد، جریان آب زیرزمینی به صورت یک مخزن خطی یکپارچه در مقیاس زیرحوزه تعریف می‌شود. در این مدل می‌توان به طور انتخابی از روش مخزن غیرخطی نیز استفاده نمود. جریان آب سطحی و زیرسطحی ابتدا در هر شبکه سلولی تا کانال اصلی روندیابی می‌شود و در خروجی هر زیرحوزه به آب زیرزمینی می‌پیوندد و سپس کل جریان به سمت خروجی اصلی حوزه روندیابی می‌گردد. روندیابی جریان سطحی و جریان آبراهه با استفاده از روش معادلات تقریب موج توزیعی سنت -ونانت انجام می‌گیرد (اقتباس از دستورالعمل مدل، لیو و دسمت، (۱۵)):

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = d\frac{\partial^2 Q}{\partial X^2} - C\frac{\partial Q}{\partial X} \qquad (۴)$$

که در آن Q دبی برحسب مترمکعب بر ثانیه، t زمان، X مسافت در جهت جریان و C سرعت موج سینماتیکی در پیکسل می‌باشد.

در نهایت برای محاسبه میزان دبی در انتهای مسیر جریان از رابطه ۵ که یک تابع پاسخ خطی سنت -ونانت می‌باشد استفاده می‌گردد (اقتباس از دستورالعمل مدل، لیو و دسمت، (۱۵)):

$$U(t) = \frac{1}{\sqrt[2]{2\pi t^3/t_0^3}} exp\left[-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma^2 t/t_0}\right] \qquad (۵)$$

که در آن U(t) تابع پاسخ مسیر جریان برای تعیین هیدروگراف واحد لحظه‌ای جریان به کار می‌رود و روندیابی مسیر جریان تا خروجی حوزه را ممکن می‌سازد. t_0 زمان جریان[1] و σ انحراف معیار زمان جریان می‌باشد. در نهایت هیدروگراف‌های رواناب مستقیم در خروجی حوزه یا هر نقطه در پایین‌دست که جریان به هم می‌پیوندد از رابطه کونولوشن جریان محاسبه می‌گردد.

نتایج شبیه‌سازی با هیدروگراف‌های اندازه‌گیری به صورت گرافیکی و آماری مقایسه گردید. جهت مقایسه کمی کارایی مدل (جریان خروجی شبیه‌سازی شده و مشاهداتی) در دو مرحله واسنجی و ارزیابی، از شاخص‌های انحراف مدل[2]، ضریب همبستگی اصلاح شده[3]، معیار ناش- ساتکلیف[4] و معیار جمعی[5] استفاده شد.

همچنین ضریب ناش- ساتکلیف برای دبی‌های پایین و دبی‌های بالا نیز در ارزیابی این شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند. مقدار یک، برای هر دو معیار ناش- ساتکلیف و ضریب تصحیح اصلاح شده حالت ایده‌آل است و نشان‌دهنده ارزیابی مناسبی از کارایی مدل است. همچنین مقدار یک برای معیار جمعی، نشان‌دهنده تطابق کامل دو هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده است (جدول ۱).

ورودی‌های مدل

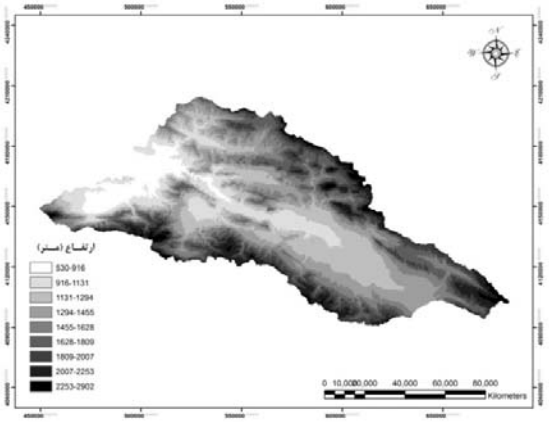
نقشه مدل رقومی ارتفاع از تصاویر ماهواره استر ورژن ۱ سال ۲۰۰۹ پردازش شده در محیط نرم افزار Global Mapper با ابعاد سلولی ۱۰۰متر و نقشه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره لندست ETM^+ باندهای ۲، ۳ و۴ سال ۱۳۸۸ پردازش گردید. نقشه بافت خاک با توجه به گزارشات موجود در قالب ۷ کلاس تهیه گردید. در شکل‌های ۳،۲و ۴ نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع، کاربری اراضی و بافت خاک آمده است.

به علت عدم قطعیت زیاد در تعیین مقادیر پارامترهایی که در عرصه های میدانی مستقیما اندازه‌گیری نمی‌شوند، برآورد پارامترهای مدل غالبا مشکل به نظر می‌رسد. از این رو کالیبراسیون مدل برای بالا بردن میزان کارایی مدل ضروری است. در این پژوهش از داده‌های ثبت شده مقادیر روزانه دبی، بارش، دما و تبخیر و تعرق مربوط به سال‌های آبی ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۶ برای واسنجی و نیز سال‌های آبی ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰ برای ارزیابی مدل مربوط به ۲۵ ایستگاه باران-سنجی، ۵ ایستگاه تبخیرسنجی داخل حوزه و ایستگاه هیدرومتری خروجی حوزه استفاده گردید.

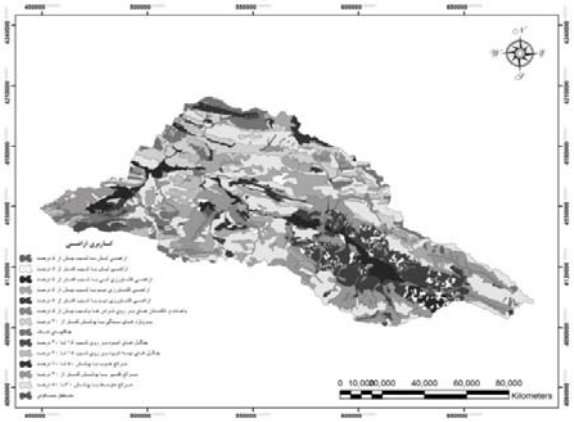
1- Travel time
2- Model bias
3- Modified Correlation Coefficient
4- Nash- Sutcliff
5- Aggregated Measure

جدول ۱- دسته‌بندی کارایی مدل (۳، ٤ و ۱۰)

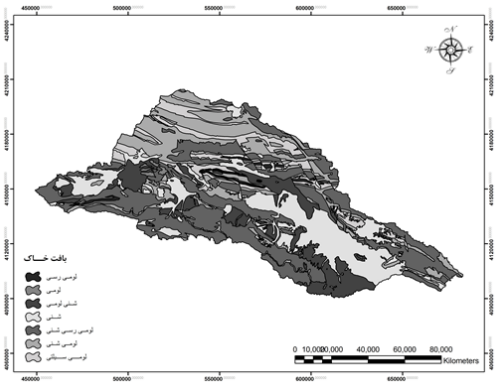
دسته بندی	عالی	خیلی خوب	خوب	ضعیف	خیلی ضعیف
معیار جمعی	۰/۸۵ <	۰/۷ – ۰/۸۵	۰/۵۵ –۰/۷	۰/۴ –۰/۵۵	۰/۴ >



شکل ۲- نقشه مدل رقومی ارتفاع حوزه آبخیز اترک



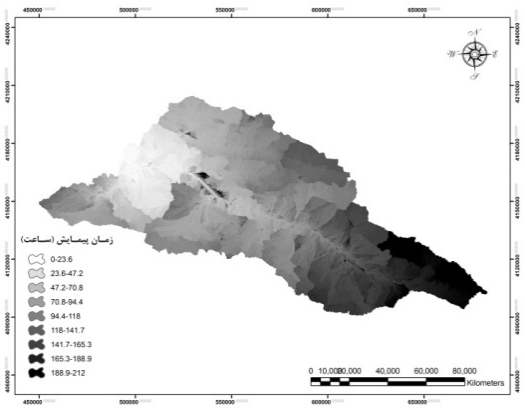
شکل ۳- نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز اترک



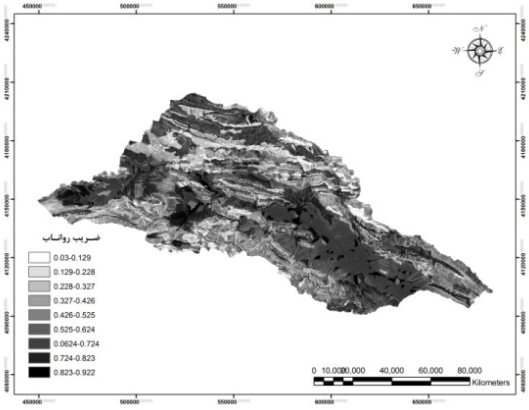
شکل ٤- نقشه بافت خاک حوزه آبخیز اترک

پس از جمع‌آوری و آماده سازی داده‌ها و نقشه‌های پایه در سطح مدل‌سازی WetSpa، با کمک جداول مرجع[1] و اسکریپ[2]های مختلف نوشته شده به زبان Avenu در محیط نرم‌افزار ArcView مدل اجرا و پارامترهای مکانی مدل در هر شبکه سلولی تعیین می‌شود، بدین صورت که در هر شبکه سلولی خصوصیات زمین شامل ارتفاع، جهت جریان، شبکه آبراهه، انشعابات رودخانه، رتبه آبراهه و شعاع هیدرولیکی از طریق مدل رقومی ارتفاع تهیه و با استفاده از بافت خاک و مقادیر جداول مرجع، هدایت هیدرولیکی خاک، تخلخل و ظرفیت زراعی، رطوبت باقی مانده و شاخص توزیع اندازه ذرات و نقطه پژمردگی گیاه به صورت نقشه محاسبه گردید. به طور مشابه نقشه‌های شبکه عمق جریان، ظرفیت ذخیره برگابی و ضریب زبری مانینگ بر اساس نقشه کاربری طبقه‌بندی شدند. ضریب زبری مانینگ برای کانال‌ها بر اساس شبکه رتبه‌بندی رودخانه به صورت خطی درون‌یابی و مقادیر ۰/۰۵۵ برای حداقل رتبه و ۰/۰۲۵ برای حداکثر رتبه در نظر گرفته شد. نقشه‌های ضریب رواناب پتانسیل ظرفیت ذخیره چالابی نیز به صورت ترکیبی از کاربری، خاک و ارتفاع هستند. طبق شکل ۵، متوسط ضریب رواناب پتانسیل در کل حوزه ۰/۳۷ به دست آمد.

1- Lookup table
2- Script



شکل ۵- نقشه ضریب رواناب پتاسیل حوزه اترک



شکل ٦- نقشه زمان پیمایش حوزه اترک

شبکه‌های سلولی برای بارش، دما و تبخیر و تعرق پتانسیل بر اساس مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های اندازه‌گیری، مرز حوزه و برنامه کمکی پلی‌گون تیسن و آنالیز مکانی تشکیل شدند. سرانجام مدل با استفاده از سرعت جریان، زمان طی شده تا خروجی حوزه و انحراف معیار زمان جریان، هیدروگراف واحد لحظه‌ای از هر شبکه سلولی تا خروجی حوزه را محاسبه می‌نماید (شکل ۶).

نتایج

بر اساس نقشه کاربری اراضی، حوزه آبخیز اترک شامل اراضی آیش (۳/۱ درصد)، کشاورزی آبی (۶/۵ درصد)، کشاورزی دیم (۲۰/۸ درصد)، باغات و تاکستان‌ها (۴/۵ درصد)، برونزدهای سنگی (۸/۷ درصد)، پوشش جنگل (۹/۸ درصد)، مراتع (۴۶/۴ درصد) و مناطق مسکونی (۰/۲ درصد) بوده و با توجه به نقشه بافت خاک، ۳۳/۸درصد از حوزه دارای بافت لومی رسی شنی، ۲۲/۴درصد شنی، ۲۱/۳درصد لومی شنی، ۱۲/۸درصد شنی لومی و ۹/۷ درصد باقیمانده شامل بافت‌های لومی، لومی رسی و لومی سیلتی می‌باشد.

بر اساس مقادیر روزانه دبی، بارش و دما مربوط به سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۶، نتایج ارزیابی آماری قابل قبول می‌باشد. نتایج بررسی معیارهای ارزیابی مورد نظر مانند ناش- ساتکلیف و کارایی اصلاح شده ناش- ساتکلیف برای دبی‌های بالا و پایین در جدول ۲ آورده شده است. این نتایج نشان می‌دهد مدل در یک وضعیت و شرایط واقعی مکانی بر اساس ۳ نقشه توپوگرافی، کاربری و نوع خاک قادر به درنظر گرفتن بارش، رطوبت پیشین و فرآیندهای تولید رواناب می‌باشد، که باعث می‌شود مدل مقادیر جریان‌های زیاد و روند هیدرولوژیکی عمومی را به خوبی به دست آورد. مقایسه بین جریان اندازه‌گیری و شبیه‌سازی روزانه در خروجی حوزه اترک، برای دوره واسنجی و ارزیابی در شکل ۷ و ۸ ارائه شده است. شکل ۹ پراکنش ابر نقاط لگاریتمی جریان مشاهده ای را در مقابل جریان محاسبه شده با حدود اطمینان ۹۹درصد، برای دوره ارزیابی مدل نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود دبی های بالا کاملا بر روی خط ۱:۱ قرار گرفته‌اند اما دبی‌های پایین پراکندگی بیشتری در اطراف این خط دارند، این مسئله بیانگر آن است که دبی‌های بالا نسبت به دبی‌های پایین بهتر مورد شبیه‌سازی قرار گرفته‌اند. خروجی‌های مدل برای دوره شبیه‌سازی نشان می‌دهد که ۸/۴۳ درصد از بارندگی توسط تاج پوشش متوقف شده و متعاقبا تبخیر می-شود (ذخیره برگابی). ۲/۷۷ درصد از بارش تبدیل به رواناب شده که از این میزان ۰/۶۸ درصد رواناب سطحی، ۰/۰۹ درصد جریان زیرسطحی و ۲درصد دبی آب زیرزمینی می‌باشد. مابقی یعنی میزان ۷۱/۶۲ درصد میزان تبخیر محاسباتی می‌باشد. قابل ذکر است مدل میزان ۶۲/۱۰ درصد از بارش را در ابتدا به صورت نفوذ آب در خاک محاسبه کرده است، که البته خروجی‌های مدل نشان می‌دهد چه مقدار از نفوذ مجددا تبخیر و چه مقدار نفوذ عمقی صورت می‌گیرد.

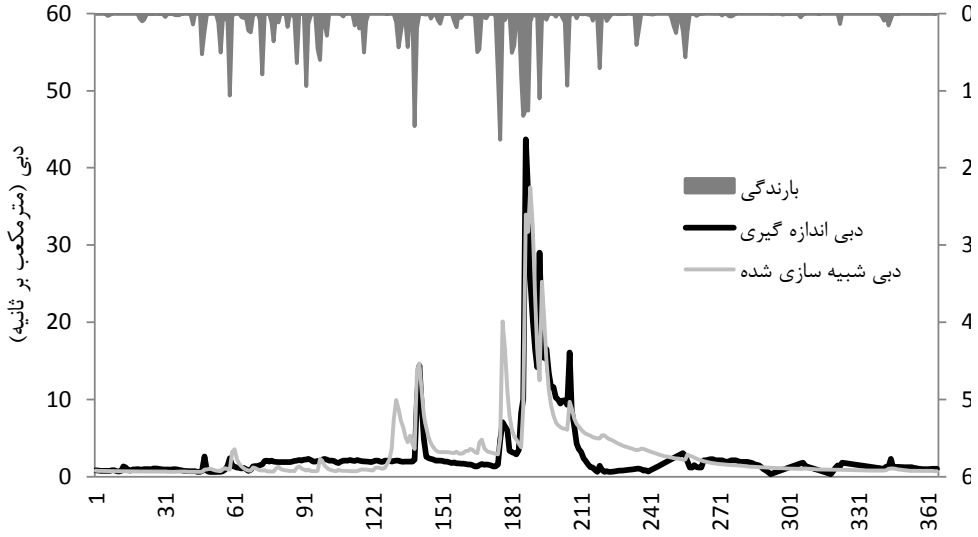
بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از خصوصیات حوزه و داده‌های هواشناسی به عنوان ورودی مدل توزیعی- مکانی WetSpa، جریان روزانه در حوزه اترک شبیه‌سازی شد. مدل برای دبی‌های حداکثر بر اساس معیار تطبیق داده شده ناش- ساتکلیف ۷۷درصد دقت را نشان می‌دهد. این موضوع با هدف اصلی مدل که پیش بینی سیلاب می‌باشد، و با نتایج لیو و دی اسمت (۱۳)، بهره‌مند و همکاران (۶) و ریتابول و همکاران (۱۷) مطابقت دارد. مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی بر اساس معیار جمعی، امکان ارزیابی کلی دقت مدل مورد استفاده در پیش‌یابی رفتار هیدرولوژیک آبخیز را

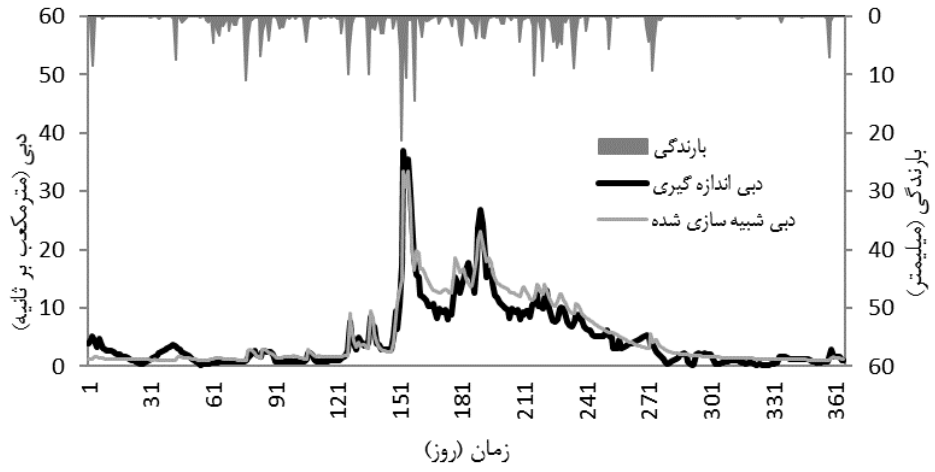
فراهم می‌آورد، که با جایگذاری مقادیر حاصل از ارزیابی مدل در رابطه ۱۱، معیار یکپارچگی برابر با ۰/۶۲۱۷ محاسبه گردید که طبق معیار معرفی شده (جدول ۱) میزان کارایی مدل در حوزه اترک خوب است.

جدول ۲- مقادیر معیارهای کارایی مدل در دوره واسنجی (سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸٦) و ارزیابی (سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰)

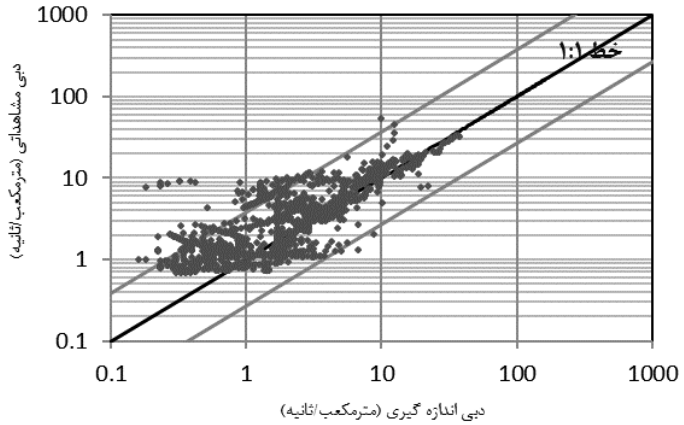
شاخص کارایی	واسنجی	ارزیابی
انحراف مدل برای تعادل حجم جریان	-۰/۰۲	۱/۰۵
معیار ناش- ساتکلیف	۰/۶۰	۰/۵۳
معیار ناش- ساتکلیف برای جریان‌های زیاد	۰/۷۷	۰/۷۸
معیار ناش- ساتکلیف برای جریان‌های کم	۰/۴۷	۰/۵۵
ضریب تصحیح اصلاح شده	۰/۸۰	۰/۷۲
معیار جمعی	۰/۷۹	۰/۶۲



شکل ۷- مقایسه بین جریان اندازه‌گیری و شبیه سازی شده روزانه برای دوره واسنجی حوزه اترک در سال ۱۳۸٦



شکل ۸- مقایسه بین جریان اندازه‌گیری و شبیه سازی شده روزانه برای دوره ارزیابی حوزه اترک در سال ۱۳۸۸



شکل ۹- نمایش لگاریتمی ابر نقاط جریان مشاهده‌ای در مقابل جریان شبیه‌سازی برای دوره ارزیابی با حدود اطمینان ۹۹ درصد

بر این اساس می‌توان گفت مدل مورد استفاده برآورد خوبی از دبی اوج و حجم جریان داشته است و با نتایج صفری و همکاران (۱۸)، زینی‌وند و دی‌اسمت (۲۰)، که از شاخص مذکور برای ارزیابی کارایی مدل هیدرولوژیک استفاده کرده‌اند مطابقت دارد. از آنجایی که می‌توان توزیع مکانی خصوصیات هیدرولوژیکی را در هر گام زمانی در خروجی حوزه بدست آورد، مدل بخصوص برای آنالیز تاثیر توپوگرافی، نوع خاک و کاربری اراضی بر رفتار هیدرولوژیکی حوزه کاربرد مفید دارد. نتایج حاصل از مطالعات دی‌اسمت و همکاران (۹)، لیو و همکاران (۱۲)، لیو و همکاران (۱۳)، بهره‌مند و همکاران (۵)، موید این مطلب است. نمایش لگاریتمی ابر نقاط جریان مشاهده‌ای در مقابل جریان شبیه سازی نشان می‌دهد، جریان‌های بالا نسبت به جریان پایین بهتر مورد شبیه‌سازی قرار گرفته‌اند که چند عامل موجب این مسئله می‌شوند، اول آنکه هنگامی که بارش به‌طور یکپارچه ر سراسر حوزه به وقوع می‌پیوندد مدل به خوبی جریان ناشی از این بارش را شبیه‌سازی می‌کند، اما هنگامی که بارش در بخشی از حوزه رخ می‌دهد، به علت استفاده از پلی‌گون‌های تیسن که اطلاعات غیرواقعی از بارش و پراکنش مکانی آن می‌دهد، مدل قادر نیست جریان حاصل را به خوبی شبیه سازی کند. و دوم اینکه مدل از روابط ساده‌ای برای محاسبه آب پایه استفاده می‌کند درنتیجه شبیه‌سازی آب پایه جریان رودخانه به خوبی صورت نمی‌گیرد. این مسئله ضعف مدل را در این زمینه می‌رساند.

به طور کلی می‌توان گفت با توجه به اینکه مدل WetSpa قابلیت شبیه‌سازی رواناب در تمام سطح حوزه را دارد، برای مدیران و کارشناسان این امکان را فراهم می‌نماید که قبل از اجرای هرگونه عملیات، مناطق مختلف را از نظر پتانسیل ایجاد رواناب و رسوب شناسایی نمایند. از آنجایی که مدل قادر به شبیه‌سازی بسیار خوب مقادیر پیک جریان است، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده در گام زمانی ساعتی به کار برده شود تا توانایی مدل بهتر مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

۱- آذین‌مهر م. ۱۳۹۱. شبیه‌سازی اثر سناریوهای تغییر کاربری اراضی بر هیدروگراف جریان حوزه آبخیز دینور با استفاده از مدل هیدرولوژیکی توزیعی – مکانیWetSpa. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۲۳۰ ص.

۲- زینی‌وند ح. ۱۳۸۹. شبیه‌سازی توزیعی مکانی فرسایش‌خاک و رسوب در مقیاس حوزه آبخیز. ششمین همایش ملّی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملّی فرسایش و رسوب. ۸-۹ اردیبهشت ماه، دانشگاه تربیت مدرس.

۳- نجفی‌نژاد ع. ۱۳۸۹. جزوه درسی مدل‌های فرسایش و رسوب. ۸۰ ص.

4- Andersen J.A., Refsgaard J.C., and Jensen K.H. 2001. Distributed hydrological modeling of the Senegal River Basin- model construction and validation. Journal of Hydrology, 247:200 -214.

5- Andersen J., Dybkjaer G., Jensen K.H., Refsgaard J.C. and., Rasmussen K. 2002. Use of remotely sensed precipitation and leaf area index in a distributed hydrological model. Journal of Hydrology, 264:34- 50.

6- Bahremand A., Corluy J., Liu Y.B., and De Smedt F. 2005. Stream flow simulation by WetSpa model in Hornad river basin, Slovakia, floods, from Defence to management edited by van Alphen, j., van Beek, E., and Taal, M., Taylor- Francis Group, London. pp: 67-74.

7- Bahremand A., Corluy J., Liu Y.B., and De Smedt F. 2006. Stream Flow Simulation by WetSpa Model in Hornad River Basin, Slovakia. in: J. van Alphen, E. van Beek, M. Taal (eds.), Floods, from Defence to Management, Taylor & Francis Group, London, pp. 415-422
8- Beven K.J. 2000. Rainfall-runoff Modeling. John Willey and Sons Ltd, England. pp. 1-200.
9- Booij M.J. 2002. Appropriate modeling of climate change impacts of river flooding, Ph.D. thesis, pp. 1-179. Universiteit Twente, Nederland.
10- De Smedt F., Liu Y. B., and Gebremeskel S. 2000. Hydrological modeling on a catchment scale using GIS and remote sensed land use information. In C.A. Brebbia (ed.), Boston: WTI Press. pp: 295- 304.
11- Henriksen H.J., Troldborg L., Nyegaard P., Sonnenborg T.O., Refsgaard J.C., and Madsen B. 2003. Methodology for construction, calibration and validation of a national hydrological model for Denmark. Journal of Hydrology, 280: 52- 71.
12- Jaroslaw C., Batelaan O. 2011. Application of the WetSpa distributed hydrological model for catchment with signifi cant contribution of organic soil. Upper Biebrza case study . Annals of Warsaw University of Life Sciences . J. Ann. Warsaw Univ. of Life Sci. – SGGW. Land Reclam. 43 : 25–35
13- Kabir A., Mahdavi M., Bahremand A., and Noora N. 2010. Application of a geographical information system (GIS) based hydrological model for flow prediction in Gorganrood river basin, Iran. Journal of Agricultural Research, 5:23.
14- Liu Y.B., Gebremeskel S., De Smedt F., Hoffmann L., and Pfister L. 2003. A diffusive transport approach for flow routing in GIS-based flood modeling. Journal of Hydrology, 283: 91-106.
15- Liu Y.B. and De Smedt F. 2004. WetSpa Extension, Documentation and User Manual, Department of Hydrology and Hydraulic Engineering. Brussel. Brussels :Vrije Universiteit.
16- Liu Y.B., and De Smedt F. 2005. Flood Modeling for Complex Terrain Using GIS and Remote Sensed Information, Water Resources Management, 19:5. 605- 624.
17- McCuen R.H., and Snyder W.M. 1975. A proposed index for comparing hydrographs. Water Resources Research, 11: 6. 1021- 1024.
18- Nash J.E., and Sutcliffe J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part 1. A discussion of principles. Journal of Hydrology, 10: 282- 290.
19- Nurmohamed R., Naipal S., and De Smedt F. 2006. Hydrologic Modeling of the Upper Suriname River Basin Using WetSpa. Journal of Spatial Hydrology,Vol.6, No.1 Spring, p:1-17.
20- Rwetabula J., De Smedt F., and Rebhun M. 2007. Prediction of runoff and discharge in the Simiyu River (tributary of Lake Victoria, Tanzania) using the WetSpa model . Hydrology and Earth System Sciences . 4: 881- 908.
21- Safari A., De Smedt F., and Moreda F. 2009. WetSpa model application in the Distributed Model Intercomparison Project (DMIP2). Journal of Hydrology. Doi: 10. 1016/j .jhydrol .2009. 04.001.
22- Wang Z., Batelaan O., and De Smedt F. 1997. A distributed model for water and energy transfer between soil, plants and atmosphere (WetSpa). Physics Chemistry of the Earth. 21: 189-193.
23- Zeinivand H. 2009. Development of spatially distributed hydrological WetSpa modules for snowmelt, soil erosion, and sediment transport. PhD Thesis, Department of Hydrology and Hydraulic Engineering, Vrije Universiteit Brussel (VUB), Brussels, Belgium. 208 pp.

Journal of Water and Soil
Vol. 27, No. 5, Nov.-Dec. 2013, p. 1067-1076

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۵، آذر - دی ۱۳۹۲، ص. ۱۰۷۶-۱۰۶۷

River Flow Simulation Using Distributed Hydrological Model WetSpa in Atrak Watershed

Z. Nameghi[1*] - A. Bahremand[2] – M. Ownegh[3] – A. Golkarian[4]

Received: 22-06-2013
Accepted: 20-10-2013

Abstract

Simulation of rainfall-runoff process in the watershed has a significant importance from various points of view, such as better understanding of hydrological issues, water resources management, river engineering, flood control structures and flood storage. Therefore in this study, the river flow and surface runoff are simulated using the distributed hydrological model, WetSpa. In the WetSpa model runoff process of the basin is simulated using diffusive wave approximation method based on gradient, flow rate and distributed features along the flow routes. Atrak watershed with about 11639 km^2 area is one of the largest watersheds of Iran and average annual precipitation is about 283mm. Meteorological data from 1383 to 1390 consisting of rainfall in 25 stations, temperature and evaporation measurements in 5 stations were used as model input data. To run the model three base maps including DEM, land use and soil type with cell size of 100m were provided. Simulation results show a relatively good agreement between calculated hydrographs and measurements at the basin outlet. The model estimates daily hydrographs, with an accuracy of over 60% and 53% based on Nash-Sutcliff criterion, for calibration and validation periods, respectively. And based on Nash-Sutcliff criterion adapted for the maximum flow rate, the model accuracy was evaluated as 77%. According to model output and hydrological factors with spatial distribution at each time step, the model has the ability to analyze topographic effects, soil texture and land use in hydrological behavior of basin.

Keywords: Flow simulation, Calibration, Validation, WetSpa, Atrak river

1,2,3- MSc Student, Associate Professor and Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricaltural Sciences and Natural Resources, Respectively
(*- Corresponding Author Email: znameghi@yahoo.com)
4- Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad