ارزیابی و تعیین مولفه‌های بیلان آب حوضه آبخیز گاماسیاب

محمد مهدی آرتیمانی[۱] حسین زینی وند*[۲] ناصر طهماسبی پور[۳] علی حقی زاده[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان

*۲ و ۳ - دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان

۴ - استاد یار گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۹

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰

چکیده

امروزه با توجه به اهمیت شناخت و آگاهی از وضعیت بیلان آبی حوضه‌های آبخیز و تحلیل رفتار هیدرولوژیکی حوضه‌ها خصوصا حوضه‌های بدون ایستگاه آبسنجی، جهت برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌های آبی، لزوم استفاده از فناوری-های نوین در پیش بینی مولفه‌های بیلان آبی بیش از پیش مشهود می‌باشد. بر این اساس در حوضه آبخیز گاماسیاب (در جنوب استان همدان و کرمانشاه) با به کارگیری مدل‌های هیدرولوژیکی نظیر WetSpa به کمک تکنیک‌های نرم-افزاری همچون GIS مولفه‌های بیلان آب حوضه بر اساس طراحی شبکه سلولی شبیه‌سازی گردید. نقشه‌های رقومی کاربری اراضی، بافت خاک، ارتفاعی و سری‌های زمانی پیوسته دما، بارش، تبخیر و تعرق و دبی در گام زمانی روزانه ورودی‌های اصلی مدل می‌باشند. مدل در هر شبکه سلولی با توجه به پارامترهای موثر در بیلان آبی، موازنه بیلان آبی کل دوره را برقرار، و در ادامه مولفه‌های بیلان خصوصا رواناب را در حوضه شبیه‌سازی می‌نماید. واسنجی مدل برای ۲۰ سال انتهایی دوره آماری (۱۳۷۰ تا ۱۳۸۹) و اعتبارسنجی مدل برای دوره ۵ ساله ابتدایی (۱۳۶۵ تا ۱۳۶۹) لحاظ شده است. طبق نتایج شبیه سازی ۲۰ درصد کل بارش حوضه به صورت رواناب کل از حوضه خارج شده که با داده مشاهداتی در ایستگاه آب‌سنجی خروجی حوضه مطابقت دارد. در ادامه برای ارزیابی کارایی مدل، مقادیر شبیه‌سازی شده در هر دو دوره آماری با استفاده از داده‌های مشاهداتی بارش، تبخیر و دبی مورد مقایسه قرار گرفت. روش‌های آماری همانند معیار ارزیابی ناش- ساتکلیف نشان داد مدل WetSpa با دقت نسبتا خوبی (ضریب بالای ۶۰ درصد) مولفه‌های بیلان آبی نظیر برگاب، ذخیره چالابی، نفوذ و مقدار رواناب خصوصا رواناب کل را در این حوضه پیش بینی نمود.

واژه‌های کلیدی: آمار روزانه، شبیه‌سازی جریان، گاماسیاب، مدل WetSpa

مقدمه

مدیریت منابع آب خصوصا در حوضه‌های بدون آمار، مستلزم شناخت فرآیندهای هیدرولوژیکی خصوصا رواناب به عنوان یکی از مهمترین و کاربردی‌ترین فازهای چرخه هیدرولوژیکی می‌باشد. در این خصوص مدل‌های هیدرولوژی نمایش ساده شده‌ای از سامانه‌ی هیدرولوژی واقعی هستند که به بررسی کارکرد حوضه در واکنش به ورودی‌های گوناگون و فهم بهتر از فرآیندهای هیدرولوژی کمک می‌کنند. اولین قدم در شناخت و بهره‌برداری از منابع آب شناخت پارامترهای ورودی و خروجی چرخه آب در حوضه آبخیز است. که بارش و رواناب به عنوان مهمترین ورودی و خروجی بیلان آب مطرح می‌باشد. استفاده از مدل‌ها در برآورد رواناب سالانه حوضه‌های آبخیز مناطق خشک و نیمه خشک بدون ایستگاه آب‌سنجی، از دیر باز مورد توجه محققین هیدرولوژی بوده است. مدل‌های ارائه شده حاصل تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به یک منطقه با شرایط خاص جغرافیایی بوده و در صورت واسنجی قابل تعمیم به سایر مناطق می‌باشد. با توجه به وجود تنوع در مدل‌های بارش – رواناب، انتخاب یک مدل مناسب بارش - رواناب برای حوضه به منظور بهره‌وری؛ برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب لازم است. مدل‌های شناخته شده‌ای نظیر WetSpa و SWAT که

* نویسنده مسئول: حسین زینی وند hzeinivand@gmail.com

توسط دانشمندان هیدرولوژی ارائه شده‌اند، وجود دارد و می‌توان از آن‌ها استفاده نمود. قابل ذکر است مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی پیچیده‌ای نیز توسعه داده شده‌اند که به داده‌ها و اطلاعات اندازه‌گیری شده فراوانی نیاز دارند که در بسیاری از حوضه‌های آبریز بسیاری از کشورها از جمله کشور ایران، چنین داده‌های اندازه‌گیری شده‌ای وجود ندارد و این عامل، کاربرد این مدل‌ها را با مشکل مواجه ساخته است. بنابراین در انتخاب مناسب‌ترین مدل جهت شبیه‌سازی فرآیندهای حوضه آبریز، باید به مؤلفه‌هایی مانند ویژگی‌های حوضه آبخیز مورد مطالعه، 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 واسنجی آن، توجه داشت (زینی وند، ۱۳۸۹).

مدل WetSpa[1]، اولین بار توسط wang و همکارانش (1996) ابداع شد و بعدا توسط De Smedt و همکاران (2000)، Liu و De Smedt (2004) و همچنین Zeinivand و De Smedt (2009) تکمیل شد. این مدل از مدل‌های توزیعی- مکانی مناسب می‌باشد که در بسیاری از حوضه‌های آبخیز در کشورهای مختلف برای شبیه‌سازی کلیه مولفه‌های هیدرولوژیکی از جمله شبیه‌سازی جریان رودخانه و فرسایش خاک در سطح پیکسل به کار برده شده است. توانایی مدل در شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی پیچیده حوضه‌های آبریز در محیط GIS از یک سو و پیش بینی و تحلیل مکانی- زمانی مولفه‌های هیدرولوژیکی نظیر رواناب سطحی، رطوبت خاک، سرعت آب و غیره از سوی دیگر، این مدل را نسبت به مدل‌های یک‌پارچه که در آن‌ها واحدهای کاری بزرگ‌تر از پیکسل، مبنای عمل هستند، متمایز ساخته است. مطالعات متفاوتی در مورد مدل‌سازی جریان رودخانه و نقشه‌بندی مولفه‌های بیلان آبی با استفاده از مدل WetSpa در دنیا انجام شده است. Bahremand (2006) در پایان‌نامه دکتری خود، شبیه‌سازی جریان رودخانه را با مدل WetSpa در رودخانه هورنارد اسلواکی انجام داد. نتایج این تحقیق انطباق خوبی را بین هیدروگراف حاصل از مدل و هیدروگراف مشاهداتی نشان داد و مدل با استفاده از معیار ناش - ساتکلیف هیدروگراف‌های روزانه را با دقت ۷۵ تا ۸۵ درصد پیش بینی کرد. Safari و De Smedt (2009) در تحقیقی که در راستای فاز دوم ارزیابی مدل‌های توزیعی چند حوضه واقع در منطقه اوکلاهما، آرکانزاس و میسوری انجام دادند به منظور تست مدل WetSpa به شبیه‌سازی جریان پرداختند. در این تحقیق به منظور ارزیابی عملکرد مدل در حوضه‌های فاقد آمار ابتدا به ارزیابی نتایج اجرای مدل بدون انجام مراحل کالیبراسیون شده است. هر چند بعد از انجام فرآیند کالیبراسیون نتایج عملکرد مدل ارتقا می‌یابد اما اجرای مدل در این منطقه حتی بدون کالیبراسیون آن رضای بخش بوده است. نتایج کالیبراسیون مدل شاخص آماری ناش – ساتکلیف را ۷۰ تا ۹۰ و نتایج اعتبارسنجی آن را ۵۵ تا ۸۵ درصد ارائه داد. مرادی‌پور و همکاران (۱۳۹۰) به شبیه‌سازی مولفه‌های بیلان آبی و فرسایش و انتقال رسوب در حوضه آبخیز طالقان با استفاده از مدل هیدرولوژیک توزیعی WetSpa پرداختند. نتایج نشان داد که با توجه به معیارهای آماری از جمله معیار نش – ساتکلیف و معیار تجمعی بالای ۸۰ درصد، مدل قابلیت خیلی خوبی در شبیه‌سازی مولفه‌های بیلان آبی و هدر رفت خاک را داراست. متکان و همکاران (۱۳۹۱) نتایج حاصل از به کارگیری مدل WetSpa در شبیه‌سازی جریان روزانه رودخانه و تحلیل تاثیرات تغییر کاربری بهینه روی آن را با استفاده از محیط GIS در حوضه آبخیز مرک در استان کرمانشاه با دقت ۷۷ درصد بر اساس ضریب ناش - ساتکلیف گزارش نموده وکاهش دبی اوج هیدروگراف جریان رودخانه بعد از تغییر کاربری بهینه پیش بینی نموده‌اند. محمدی و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی در حوضه آبخیز باغ سالیان استان گلستان اقدام به ارزیابی اثرات تغییر کاربری بر مولفه‌های رواناب کل حوضه با استفاده از مدل WetSpa نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد مدل WetSpa برای شبیه‌سازی رواناب در حوضه باغه سالیان مناسب بوده و هر چه دقت پارامترهای ورودی بیشتر باشد قطعا دقت برآورد و شبیه‌سازی رواناب بهتر خواهد بود. با توجه به لزوم بررسی فرآیند دبی روزانه و تعیین بیلان آبی حوضه گاماسیاب در جهت کمک به شناخت و برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب در حوضه سعی بر این است که در این تحقیق با استفاده از مدل هیدرولوژیک توزیعی – مکانی WetSpa جریان روزانه رودخانه‌های حوضه شبیه‌سازی

[1] Water and Energy Transfer Between Soil, Plants and Atmosphere

شده و بیلان آب سطحی و زیرزمینی مشخص شود و پس از واسنجی و اعتبار سنجی مدل به کمک داده‌های مشاهداتی، میزان کارایی مدل جهت پیش بینی دبی روزانه در حوضه‌های مشابه بدون آمار مورد ارزیابی قرار گیرد.

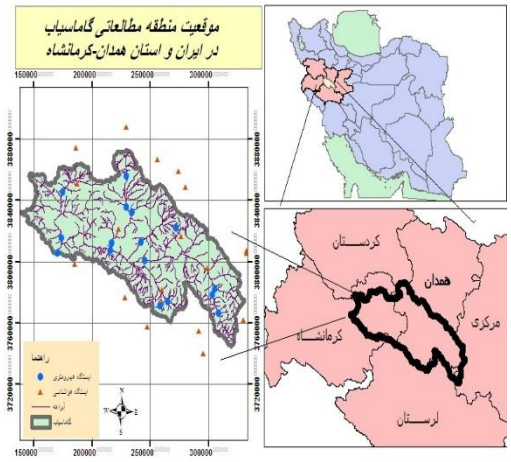
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

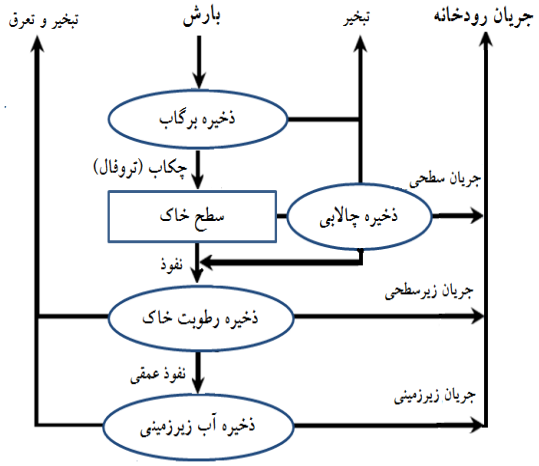
حوضه آبخیز گاماسیاب در غرب کشور و در مناطق شمالی و مرکزی رشته کوه زاگرس در محـدوده جـغرافیائی ۴۷ درجه ۴ دقیقه تا ۴۹ درجه ۹ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه ۴۹ دقیقه تا ۳۴ درجه ۵۷ دقیقه عرض شمالی با مساحت یک میلیون و هفتاد و سه هزار هکتار قرار دارد. محدوده پژوهش در شمال شرقی حوضه سد کرخه و عمدتا در محدوده استان‌های همدان و کرمانشاه قرار گرفته است. مناطق کوهستانی این حوضه عمدتا در بخش‌های شمالی و جنوبی متمرکز و نقاط پست و دشت‌های آن غالبا در بخش‌های میانی و جنوب شرقی حوضه قرار دارند. شکل (۱) موقعیت حوضه آبخیز گاماسیاب را در ایران و استان نشان می‌دهد.

تئوری و ساختار مدل WetSpa

مدل WetSpa یک نوع مدل هیدرولوژیکی و فرسایش خاک است. از آنجا که مدل بر اساس شبکه‌ی سلولی طراحی شده، برای هر شبکه سلولی، چهار لایه در جهت عمودی در نظر گرفته می‌شود (Liu & De Smedt, 2004). که عبارتند از: لایه تاج پوشش، زون ریشه، زون انتقال و زون اشباع. ساختار مدل مفهومی WetSpa در شکل (۲) نشان داده شده است. مدل ابتدا تعادل آب در زون ریشه را محاسبه می کند، چون این مهمترین بخش در نگهداشت آب است و همچنین این بخش کنترل کننده حجم رواناب سطحی و زیرسطحی، تبخیر و تعرق و دبی آب زیرزمینی است.



شکل (۱): موقعیت حوضه گاماسیاب



شکل (۲): ساختار عوامل مدل WetSpa

در توصیف فرآیندهای هیدرولوژیک مدل، ترکیبی از روابط فیزیکی و تجربی استفاده شده است. محاسبه تعادل آب در زون ریشه برای هر شبکه سلولی برابر:

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

که در آن D عمق ریشه، Δθ تغییرات رطوبتی خاک، Δt فواصل زمانی، P بارش، I=Ia+Da تلفات اولیه شامل ذخیره برگابی و ذخیره چالابی در گام زمانی، S رواناب سطحی یا بارش مازاد، E تبخیر و تعرق، R نرخ نفوذ عمقی از زون ریشه و F نرخ جریان زیر سطحی در زمان می‌باشد. در این مدل برای محاسبه رواناب سطحی یا بارش مازاد از یک ضریب

اصلاحی استفاده شده که رواناب در آن مبتنی بر پارامترهای شیب، کاربری اراضی، نوع خاک، میزان بارش و رطوبت پیشین خاک بیان می‌شود:

$$S = C(P - I)[\theta/\theta s]^a \qquad (۲)$$

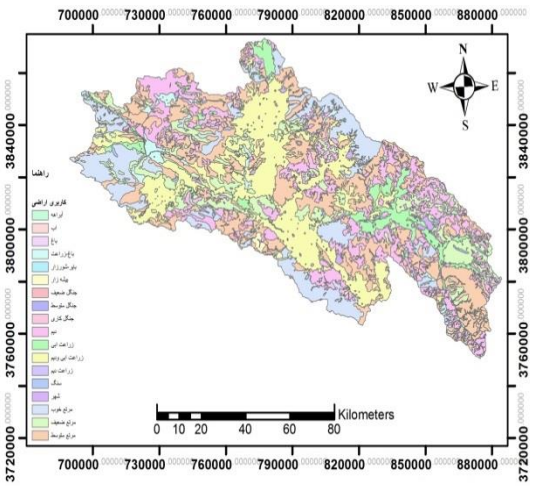
که در آن θ محتوای متوسط رطوبتی خاک، θs گنجایش رطوبتی خاک در حالت اشباع (تخلخل)، (P-I) بارش خالص (موثر)، C ضریب پتانسیل رواناب و a نمایی متاثر از شدت بارندگی است. میزان نفوذ عمقی به خارج از زون ریشه به صورت تابعی از محتوای رطوبتی خاک، تخلخل خاک و میزان هدایت هیدرولیکی اشباع بیان می‌گردد. همچنین میزان جریان زیر سطحی نیز بر اساس قانون دارسی و معادله موج سینماتیکی محاسبه می‌گردد:

$$F = C_f \, \mathrm{D} \, S_o \, \mathrm{K}(\theta)/\mathrm{W} \qquad (۳)$$

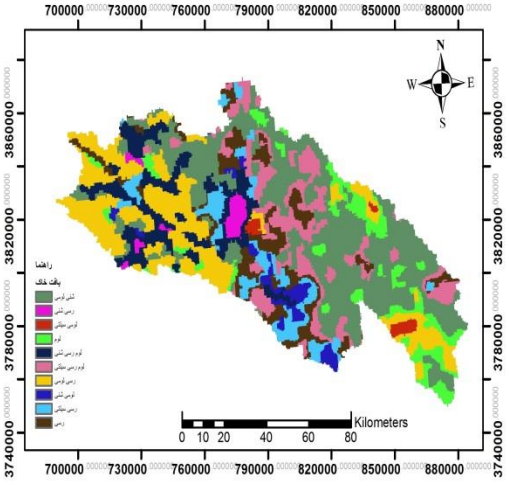
که در اینجا F جریان زیر سطحی یا تاخیری، S_o شیب سطح، $\mathrm{K}(\theta)$ هدایت هیدرولیکی غیر اشباع، W عرض سلول، D عمق ریشه و C_f ضریب مرتبط با کاربری اراضی که به تراکم آبراهه‌ها و متاثر از هدایت هیدرولیکی افقی مواد آلی در لایه‌های خاک است.

داده‌ها

داده‌های اصلی ورودی به مدل هیدرولوژیکی WetSpa شامل نقشه‌های رقومی توپوگرافی، بافت خاک و کاربری اراضی حوضه و سری‌های زمانی پیوسته دبی، بارش، تبخیر و دما می‌باشند (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۹).



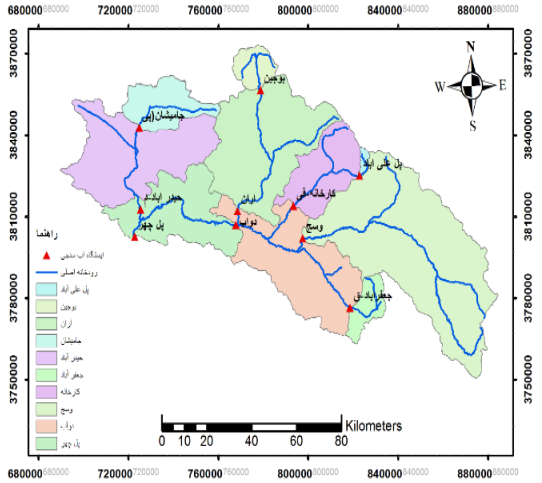
شکل (۳): نقشه کاربری اراضی



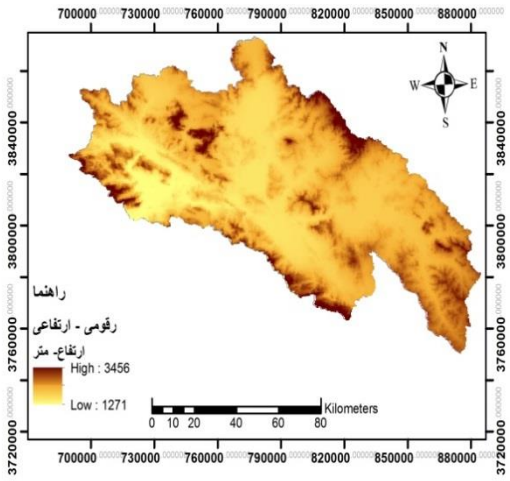
شکل (۴): نقشه بافت خاک حوضه

جهت تعیین پارامترهای هوا و اقلیم مورد نیاز مدل در حوضه گاماسیاب در دوره آماری ۲۵ ساله (۱۳۶۵ تا ۱۳۸۹) از سه ایستگاه سینوپتیک، ۱۴ ایستگاه باران‌سنجی، ۴ ایستگاه دماسنجی و ۴ ایستگاه تبخیرسنجی منطقه استفاده شد. با توجه به این آمار، میانگین بارش سالانه در ایستگاه‌های مختلف از ۳۰۰ میلی‌متر در ایستگاه خنداب استان مرکزی تا ۵۳۰ میلی‌متر در ایستگاه وراینه همدان متغیر می‌باشد. متوسط درجه حرارت سالانه حوضه ۱۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. با استفاده از آمار و اطلاعات تبخیر ایستگاه‌های هواشناسی مجاور حوضه میزان تبخیر پتانسیل سالانه این حوضه ۱۳۰۰ میلی‌متر به دست آمده است. پس از انتخاب ۱۴ ایستگاه هواشناسی مراحل انجام همگنی و صحت سنجی داده‌ها و سپس بازسازی نواقص آماری اقدام شد. در ادامه داده‌های روزانه دبی ۱۰ ایستگاه هیدرومتری حوضه

آبخیز گاماسیاب نیز برای دوره آماری ۲۵ ساله (۲۰ سال جهت واسنجی و ۵ سال برای اعتبار سنجی مدل) به فرمت مورد نیاز مدل تهیه گردید.



شکل (۵): نقشه ایستگاه های آبسنجی



شکل (۶): نقشه رقومی – ارتفاعی

شبیه‌سازی اجزای بیلان آب حوضه

مراحل به کارگیری نرم افزار مدل WetSpa در دو قسمت اجرایی می‌شود. اول ورود نقشه‌ها در محیط GIS به صورت Grid یا ASCII در سل سایزهای یکسان برای هر نقشه و در قسمت دوم اجرای شبیه‌سازی با دستورات مدل می‌باشد. که نتیجه کار در مسیر فایل خروجی ذخیره می‌شود. در مراحل پردازش نقشه‌های پایه در حدود ۳۰ نقشه مورد نیاز مدل تولید، و در یک پایگاه داده ذخیره شدند. سپس با استفاده از آمار ۲۰ ساله (۱۳۷۰ – ۱۳۸۹) بارندگی، دما و تبخیر روزانه ایستگاه‌های منتخب، مدل WetSpa برای حوضه گاماسیاب اجرا شده و واسنجی پارامترهای مدل به روش دستی (آزمون و خطا) برای شبیه‌سازی دبی در یک دوره ۲۰ ساله انجام شد. سپس طبق مقادیر پارامترهای مدل در مرحله واسنجی، مدل برای ۵ سال باقی مانده (۱۳۶۵-۱۳۶۹) اجرا و شبیه‌سازی جریان تحت اعتبارسنجی قرار گرفت.

ارزیابی مدل در شبیه‌سازی دبی جریان

برای ارزیابی کیفی و کمی نتایج شبیه‌سازی و پیش بینی‌های جریان رودخانه هم از روش گرافیکی و هم از روش آماری استفاده می‌گردد. در روش گرافیکی، هیدروگراف جریان شبیه‌سازی شده، با هیدروگراف جریان مشاهداتی، مورد مقایسه قرار می‌گیرد و در روش آماری نیز با استفاده از معیارهای آماری از جمله انحراف مدل، قابلیت اعتماد مدل، معیار ناش- ساتکلیف و غیره، مقادیر دبی رودخانه شبیه‌سازی شده با مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری، مورد مقایسه و ارزیابی قرار می‌گیرند. برای ارزیابی نتایج خروجی مدل از معیارهای آماری زیر استفاده می‌شود:

معیار ناش- ساتکلیف (NS): NASH و همکاران (1970) یک ضریب بی‌بعد به نام کارایی مدل NS ارائه دادند. این معیار که به صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود، نشان دهنده دقت شبیه‌سازی مدل بوده و شامل استاندارد واریانس باقی مانده‌ها می‌شود. این معیار از مقادیر منفی تا ۱ تغییر می‌کند و هر چه به ۱ نزدیک‌تر شود نشان‌دهنده تناسب بین مقادیر مشاهداتی و مقادیر شبیه‌سازی شده می‌باشد.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(Qs_i - Qo_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{N}\left(Qo_i - \overline{Qo}\right)^2} \qquad (۴)$$

معیار تجمعی: یکی دیگر از روش‌های ارزیابی، به کارگیری روش AM است که حاصل جمع سه پارامتر اریب (MB)، ناش (NS) و ضریب تعدیل اصلاح شده (Rmod) می‌باشد که طبق رابطه شماره (۵) و جدول (۱) این معیار محاسبه و شبیه‌سازی مدل از طریق این معیار مورد ارزیابی قرار گرفت.

$$AM = \frac{R\,\mathrm{mod} + NS + (1 - |MB|)}{3} \qquad (۵)$$

جدول (۱): طبقه‌بندی مقدار ضریب تجمعی

معیار AM	رده
>۰/۸۵	عالی
۰/۷۰-۰/۸۵	خیلی خوب
۰/۵۵-۰/۷۰	خوب
۰/۴۰-۰/۵۵	ضعیف
< ۰/۴۰	خیلی ضعیف

نتایج و بحث

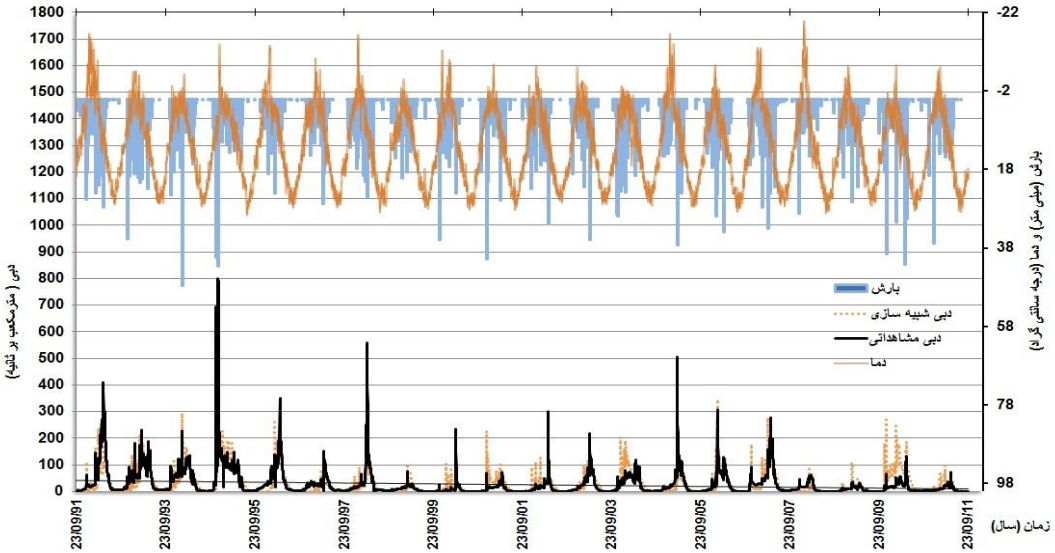
در این تحقیق جهت شبیه‌سازی جریان روزانه و تعیین بیلان آبی زیر حوضه‌ها، مدل WetSpa با استفاده از نقشه-های توزیعی- مکانی، پارامترهای هیدرولوژیک و سری‌های زمانی دوره آماری منتخب، اجرا شد. تمامی مولفه‌های بیلان آبی نظیر بارش، ذوب برف، ذخیره برگابی، ذخیره چالابی، رواناب سطحی، نفوذپذیری، تبخیر- تعرق، نفوذ عمقی، جریان زیرسطحی و جریان آب زیرزمینی شبیه‌سازی شد. بعد از روندیابی جریان، دبی روزانه رودخانه در خروجی تمامی زیرحوضه‌ها در گام زمانی روزانه به دست آمد. در ادامه با پارامترهای حاصله از مرحله واسنجی، مدل در دوره آماری مد نظر اعتبار سنجی شد. یکی از خروجی‌های مدل تولید پارامترهای توزیعی پس از واسنجی و اعتبارسنجی به طور مجزا بوده که از مزیت‌های این مدل می‌باشد. هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده جریان و مقادیر شبیه-سازی اجزای بیلان آبی برای زیرحوضه ایستگاه خروجی حوضه (پل چهر) در شکل (۷) و (۸) و جداول (۲) و (۳) آورده شده است.

جدول (۲): سری زمانی بیلان آبی شبیه‌سازی شده مدل WetSpa در کل حوضه گاماسیاب

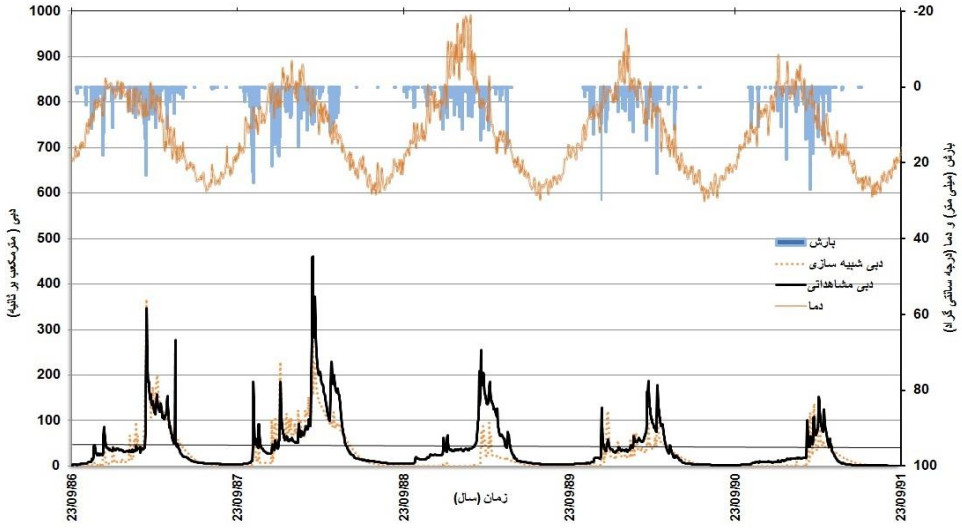
سال	ماه	روز	بارش	برگاب	نفوذ	تبخیر تعرق	نفوذ عمقی	رواناب سطحی	جریان زیرسطحی	جریان آب زیر زمینی	رواناب کل
۱۹۹۸	۱	۲	۱/۴۵	۰	۰/۰۹۲	۰	۰	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۴۲	۰/۰۴۳
۱۹۹۸	۱	۳	۰/۱۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲
۱۹۹۸	۱	۴	۰/۹	۰/۰۱۴	۰/۰۵۲	۰	۰	۰	۰	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲
۱۹۹۸	۱	۵	۱۷/۶۹	۰/۴۴	۱۵/۴۴	۰	۰/۰۶۷	۰/۲۹	۰	۰/۰۴۲	۰/۳۳۱
۱۹۹۸	۱	۶	۴۸/۶	۰	۱/۴۴۱	۰	۱/۰۶۹	۰/۱۴۱	۰/۱۳۸	۰/۰۴۲	۰/۳۲۱
۱۹۹۸	۱	۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴
۱۹۹۸	۱	۸	۳۵/۱	۰/۰۱۴	۰/۱	۰	۰/۱۶۳	۰/۰۰۱	۰/۰۳۳	۰/۰۴۴	۰/۰۷۸

جدول (۳): مقادیر پارامترهای شبیه‌سازی شده بیلان آبی حوضه گاماسیاب

اجزاء (میلیمتر)	بارش	برگاب	رطوبت خاک	نفوذ	تبخیر تعرق	نفوذ عمقی	رواناب سطحی	جریان زیرسطحی	جریان آب زیرزمینی	رواناب کل	ذخیره زیر زمینی
جمع	۱۰۰۲۰	۵۹۲	۲/۶	۷۴۴۰	۶۲۸۵	۳۳۸۵	۱۸۳	۳۲۸	۱۴۲۴	۱۹۳۶	-۱۹
٪ از بارش	-	۵/۹	۰/۰۳۰	۷۴/۲	۶۲/۷۲	۳۳/۷۸	۱/۸۳	۳/۲۸	۱۴/۲۱	۳۲/۱۹	-۰/۱۹
میانگین	۱/۱	۰/۰۷	۱۵۱/۸	۰/۸۱۵	۰/۶۸۸	۰/۳۷۱	۰/۰۲	۰/۰۳۶	۰/۱۵۶	۰/۲۱۲	۴۴
حداکثر	۴۷/۵۱	۱/۶۲	۲۴۸/۵	۴۳/۶۳	۳/۷	۲۵/۲۴	۵/۱۹	۱/۶۷	۱/۶۷	۶۷/۶	۱۹۱



شکل (۷): نمودار دبی شبیه‌سازی در دوره واسنجی

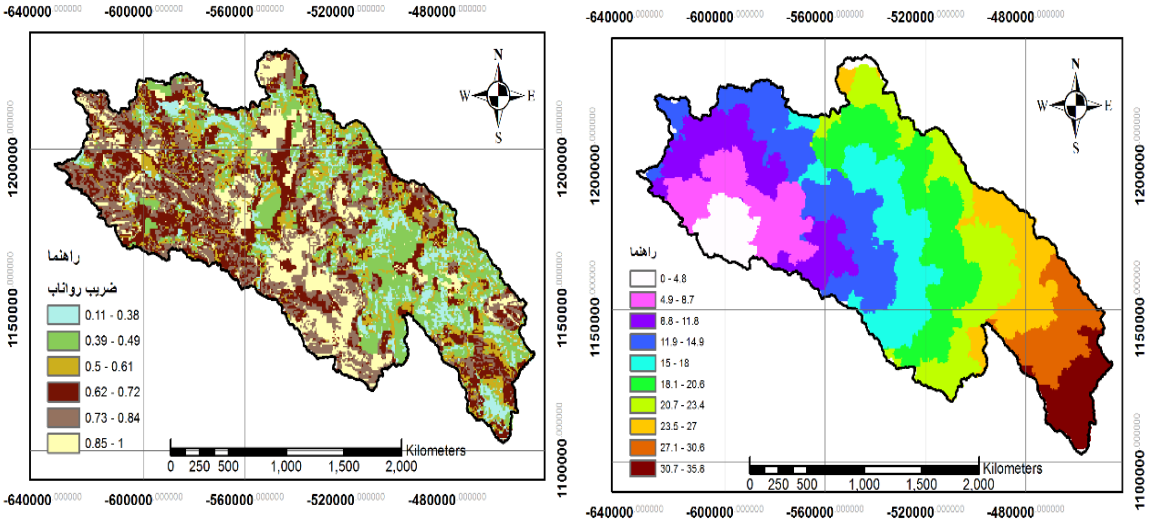


شکل (۸) نمودار دبی شبیه‌سازی در دوره اعتبارسنجی

جدول (۴): مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برخی اجزای بیلان آب در حوضه گاماسیاب

مولفه بیلان	مشاهده شده (mm)	درصد نسبت به بارش (٪)	شبیه سازی شده (mm)	درصد نسبت به بارش (٪)
بارش	۱۰۱۵۰	۱۰۰	۱۰۱۵۰	۱۰۰
تبخیر و تعرق	۷۸۲۵	۷۷/۱	۶۴۵۰	۶۳/۵
رواناب کل	۲۱۵۰	۲۱/۲	۲۰۰۰	۱۹/۷

این مدل توانایی تولید حدود ۳۰ نوع نقشه از خصوصیات مختلف فیزیکی حوضه را داراست که این نقشه‌ها امکان بررسی تغییرات مکانی- زمانی مولفه‌های بیلان آبی حوضه را فراهم می‌نماید. در شکل‌های (۹) و (۱۰) دو نمونه از نقشه‌های تولیدی برای حوضه گاماسیاب در محیط GIS آورده شده است.



شکل (۹): نقشه زمان تمرکز حوضه

شکل (۱۰): نقشه ضریب رواناب حوضه

نتایج مقایسه هیدروگراف‌ها در دوره دبی اوج در حوضه آبریز گاماسیاب نشان دهنده کارایی خوب مدل برای شبیه-سازی جریان می‌باشد. همچنین مقایسه ظاهری هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی، یکسان بودن زمان رسیدن به دبی اوج در هر دو هیدروگراف را نشان می‌دهد به طوری که زمان رسیدن به دبی اوج در هر دو هیدروگراف در یک روز بوده است. بر اساس معیار نش - ساتکلیف کارایی مدل در برآورد دبی جریان در دو دوره واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب ۶۴/۲ درصد و ۶۲ درصد می‌باشد. با توجه به معیار تجمعی AM (۷۹ درصد و ۶۶ درصد) سطح عملکرد مدل در شبیه‌سازی دبی جریان در طبقه خیلی خوب و خوب قرار می‌گیرد. در جدول (۴) نتایج ارزیابی مدل در شبیه‌سازی جریان در آبخیز گاماسیاب آمده است.

جدول (۴): نتایج ارزیابی کارایی مدل در شبیه‌سازی جریان

معیار ارزیابی	مشخصه	میزان در مرحله واسنجی	میزان در مرحله اعتبارسنجی
معیار ناش-ساتکلیف (جریان عادی)	NS	۰/۶۴	۰/۶۲
معیار تعدیل اصلاح شده	Rmod	۰/۷۶	۰/۶۵
معیار تجمعی	AM	۰/۷۹	۰/۶۶

در این مدل‌ها، رسیدن به دقت‌های بالای ۵۵ درصد می‌تواند بسیار رضایت بخش باشد چرا که دقت مکانی و زمانی که در این شبیه‌سازی‌ها لحاظ می‌شود به مراتب سخت‌گیرانه‌تر از مدل‌های یک‌پارچه سنتی است. در مورد ویژگی‌های مهم هیدروگراف نظیر دبی پیک لحظه‌ای، حجم رواناب و زمان رسیدن به دبی اوج، بین دو هیدروگراف در این حوضه تطابق مناسبی وجود دارد. پیش بینی ۱۹/۸ درصدی رواناب کل در مقابل ۲۱/۱ درصدی رواناب مشاهداتی قابلیت بالای مدل در شبیه‌سازی مولفه رواناب در بیلان آبی را نشان می‌دهد که با یافته‌های (یعقوبی و بهره‌مند، ۱۳۹۰) و (Liu & De Smedt, 2004) هم‌خوانی دارد.

نتیجه‌گیری

امروزه مدل‌ها به عنوان ابزار مناسب و کارآمد برای درک و شبیه‌سازی عکس العمل هیدرولوژیکی یک حوضه آبخیز در نقاط مختلف دنیا به کار گرفته می‌شود. در این تحقیق شبیه‌سازی بیلان آبی و رواناب روزانه حوضه گاماسیاب توسط مدل WetSpa به عنوان یک مدل بارش - رواناب با به کارگیری داده‌های اقلیمی و تلفیق نقشه‌های بافت خاک، پوشش گیاهی و رقومی - ارتفاعی صورت گرفت. رواناب سطحی و اجزای بیلان آبی حوضه بر اساس پارامترهای موثر در مدل در گام زمانی روزانه با دقت مناسبی به دست آمد و هیدروگراف اولیه رواناب استخراج گردید. در مرحله واسنجی جهت بهبود شبیه‌سازی و تطابق بهتر بین دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی نسبت به کالیبره کردن پارامترهای موثر در مدل اقدام گردید. تعداد نسبتا کم پارامترهای عمومی در واسنجی از مزایای مدل محسوب می‌شود که اجرای بهتر در زمان کمتر، عدم قطعیت کمتر و عدم نیاز به انجام آنالیز حساسیت پارامترها قبل از اجرا برای گزینش پارامترهای حساس را به دنبال خواهد داشت. نتایج ارزیابی مدل در حوضه گاماسیاب نشان‌دهنده شبیه‌سازی قابل قبول مدل WetSpa در برآورد رواناب و تعدادی از اجزای بیلان آبی حوضه بوده که با تحقیقات متکان و همکاران (۱۳۹۱) در حوضه آبخیز مرک، مرادی پور و همکاران (۱۳۹۰) در حوضه آبخیز طالقان هم‌خوانی دارد. با توجه به این که این مدل در حوضه نسبتا وسیعی در ۱۰ زیر حوضه با خصوصیات متفاوت در پارامترهای هیدرولوژیکی نظیر توپوگرافی، اقلیمی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، خاک و سنگ دارای با ایستگاه آب‌سنجی اجرا شده است می‌توان از نتایج این مدل در زیرحوضه‌های متفاوت جهت تعمیم به سایر نقاط مشابه استفاده کرد. همچنین نتایج این تحقیق می‌تواند برای مطالعات مناطق مختلف به خصوص مطالعات هیدرولوژی، مدیریت و برنامه‌ریزی در زمینه منابع طبیعی، محیط زیست و منابع آب به کار گرفته شود.

منابع

۱. زینی‌وند، ح. (۱۳۸۹). شبیه‌سازی توزیع مکانی فرسایش خاک و رسوب در مقیاس حوضه آبخیز. ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری. دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس.
۲. متکان، ع.ا.، ح. زینی‌وند، ب. بیات، غ. روزبهانی و ع.ب. میرباقری (۱۳۹۱). شبیه‌سازی جریان روزانه رودخانه و تحلیل تاثیرات تغییر کاربری بهینه روی آن با استفاده از مدل WetSpa در محیط GIS، مطالعه موردی: حوضه آبریز مرک استان کرمانشاه. فصل‌نامه سنجش از دور و GIS ایران، سال چهارم، شماره یک.
۳. محمدی، م.، ح. زینی‌وند، ح. مرادی، ح.ر. پور قاسمی و ح. فرازجو (۱۳۹۴). بررسی اثرات کاربری اراضی بر تولید رواناب با استفاده از مدل WetSpa، مجله اکو هیدرولوژی، شماره ۴، دوره دوم.
۴. مرادی‌پور، ش.، ح. زینی‌وند، ع.ر. بهره‌مند و ع. نجفی‌نژاد (۱۳۹۰). شبیه‌سازی بیلان آبی در مقیاس حوضه آبخیز با استفاده از مدل هیدرولوژیکی- توزیعی و GIS، هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۵. مرادی‌پور، ش.، ح. زینی‌وند، ع.ر. بهره‌مند و ع. نجفی‌نژاد (۱۳۹۰). شبیه‌سازی توزیعی- مکانی سیل با مدل هیدرولوژیکی wetspa در حوضه آبخیز طالقان، هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۶. وزارت جهاد کشاورزی، سازمان جنگل‌ها، مراتع وآبخیزداری کشور، دفتر مطالعات و تحلیل آبخیزها (۱۳۸۹). مطالعات توجیهی حفاظت خاک و آبخیزداری حوضه آبخیز گاماسیاب. گزارش خاک‌شناسی، مهندس مشاور زومار.
۷. وزارت جهاد کشاورزی، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور دفتر مطالعات و تحلیل آبخیزها (۱۳۸۹). مطالعات توجیهی آبخیزداری و منابع طبیعی تجدیدشونده حوضه آبخیز دینور. جلد چهارم، خاک‌شناسی و ارزیابی تناسب اراضی، مشاور سامان آب سرزمین.
۸. یعقوبی، ف. و ع. بهره‌مند (۱۳۹۰). شبیه‌سازی جریان رودخانه با استفاده از مدل هیدرولوژیکی- توزیعی WetSpa درحوضه آبخیز چهل چای استان گلستان، مجله پژوهش‌های حفاظت آب وخاک، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، جلد هجدهم، شماره سوم.

9. Bahremand A. *(2006) . Simulating the effects of reforestation on floods using spatially distributed hydrologic modeling and GIS*. PhD Thesis, Vrije Universiteit Brussel, Belgium.
10. De Smedt F., Liu Y.B. and Gebremeskel S. *(2000). Hydrologic modeling on a catchment scale using GIS and remote sensed land use information*. In: Risk Analysis II, Ed. C.A. Brebbia, WTI press, Southampton, Boston, pp. *295-304.*
11. Liu Y.B. and De Smedt F. *(2004). WetSpa Extension, A GIS-based Hydrologic Model for Flood Prediction and Watershed Management*. Department of Hydrology and Hydraulic Engineering Vrije Universiteit Brussel Pleinlaan 2, 1050 Brussel, Belgium.
12. Nash J.E. and Sutcliffe J.V. *(1970). River flow forecasting through conceptual models part I. A discussion ofprinciples.* Journal of Hydrology. *10(3): p. 282-290.*
13. Safari A., De Smedt F. and Moreda F. *(2009). WetSpa model application in the Distributed Model Intercomparison Project (DMIP2).* Journal Of Hydrology.
14. Wang Z., Batelaan, O. and De Smedt F. *(1996). A distributed model for Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere, Phys*. Chem. Earth, *21(3), 189-193.*
15. Zeinivand H. and De Smedt F. *(2009). Hydrological Modeling of Snow Accumulation and Melting on River Basin Scale*. Water Resource Manage.

Assessment and determination of water balance components of the Gamasiab Basin

Artimani M.M., Zeinivand* H., Tahmasebipour N., Hgizadah A.
*Corresponding author email: hzeinivand@gmail.com

Received: 2016/11
Accepted: 2016/12

Abstract

Due to the importance of analyzing the hydrological behavior of basin, especially basins with no hydrometric station, applying new methods for predicting water balance is necessary. Therefore, in this research daily runoff stream of Gamasiab basin in the south of Hamadan and Kermanshah provinces was simulated based on cellular network using hydrological spatially distributed WetSpa model in GIS. Digital maps of DEM, land use and soil texture and continuous time series of temperature, precipitation, evapotranspiration and discharge are main model inputs. Model in any cellular network by using rainfall, temperature and evaporation data, simulates all water balance components. Calibration of model parameters for the last 20 years of the studied period (1991 to 2010) and validation of model for the first 5 years (1986 to 1990) was done. The results of the model application showed good agreement between observed and simulated data based on statistical criteria of Nash- Sutcliffe efficiency criterion with accuracy above 0.6 .This model based on the coefficient of performance showed that ability to simulate rainfall-runoff in major sub basins is satisfactory.

Keywords: Daily statistics, Flow simulation, Gamasiab, WetSpa model