پژوهش‌های آبخیزداری
(پژوهش و سازندگی)
شماره ۹۸، بهار ۱۳۹۲

واسنجی مدل آبدهی سالانه برای حوزه‌های آبخیز کوچک

• **علی رضائی** (نویسنده مسئول)
استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان
• **پرویز عبدی‌نژاد**
مربی پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان
• **سید جمال موسوی**
معاونت آبخیزداری اداره کل منابع طبیعی استان زنجان
تاریخ دریافت: مهر ماه ۱۳۸۸ تاریخ پذیرش: شهریور ماه ۱۳۹۰
تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۱۴۱۸۲۸۰
Email: rezaei_ali2000@yahoo.com

چکیده

برای انجام اقدامات آبخیزداری و برنامه‌ریزی مدیریت بهینه منابع آب بویژه در حوزه‌های آبخیز کوچک، شناخت روابط هیدرولوژیک بویژه برآورد سری زمانی عمق رواناب سالانه ضروری است. برای بررسی توانائی مدل ریاضی انتخابی برای شبیه‌سازی عمق رواناب سالانه به تفکیک هر سال به تعداد ۷ زیرحوزه انتخاب شدند. مساحت زیرحوزه‌های انتخابی کمتر از ۱۷۰ کیلومتر مربع، طول دوره آماری داده‌های آب‌سنجی قابل قبول ۶ الی ۲۷ سال و در داخل و مجاور استان زنجان قرار دارند. برای هریک از زیرحوزه‌های انتخابی عمق رواناب، عمق بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل به روش (بلانی –کریدل) برای هر سال آبی برآورد گردید. بر اساس داده‌ها و اطلاعات بدست آمده نسبت به تعیین ضریب واسنجی (تنها پارامتر متغیر) یک مدل ریاضی بیلان آب به نام (GR1A) اقدام شد. معیار بهینه کردن ضریب واسنجی مدل ریاضی انتخابی، بیشینه نمودن ضریب ناش–ساتکلیف بعنوان معیار عملکرد مدل بود. نتیجه آنکه در ۴ زیرحوزه درصد ضریب ناش–ساتکلیف بین ۶۳/۵ الی ۳۵/۴ مورد قبول بوده ولی در ۳ زیرحوزه دیگر فاقد اعتبار است. علت عدم اعتبار در سه زیرحوزه ناشی از عدم دقت داده‌ها بویژه داده‌های هیدرومتری است. همچنین مقدار ضریب واسنجی مدل مذکور در حوزه‌های مورد قبول بین ۰/۱۱ الی ۰/۲۴ قرار دارد.

کلمات کلیدی: آبدهی سالانه، بیلان آب، مدل ریاضی، واسنجی مدل GR1A، استان زنجان.

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 98 pp:15-23

Calibration of annual water yield model of catchments

By: A. Rezaei, (Corresponding Author; Tel: +989121418280), Research Assistant Professor of Agricultural and Natural Resources Research Centre of Zanjan Province, Parviz Abdinejad, Research Perceptor of Agricultural and Natural Resources Research Centre of Zanjan Province,S. J. Mousavi, Watershed Management , General Deputy of Natural Resources Office of Zanjan Province.

Received: October 2009 **Accepted: September 2011**

Watershed management and water resources planning need to know hydrological relationships especially the data time series of annual runoff depth at the outlet of catchments. The numbers of 7 catchments were obtained to investigate the ability of selected mathematical model for simulation annual runoff depth yearly. Area of all selected catchments are less than 170km2, acceptable hydrometric data time series long equal 6 to 27 years and so all of them located in and around of Zanjan province. At every selected catchments depth of precipitation, runoff and potential evapotranspiration (Blanney-Criddle method) estimated for every year. Based on gathered data and information, determined the calibration coefficient (only calibration variable parameter) of a mathematical model named (GR1A). The optimization criterion of calibration coefficient is the maximization of Nash-Sutcliffe coefficient as agency of model performance. Result is that the percent of Nash-Sutcliffe coefficient is 63.5 to 35.4 and acceptable at 4 catchments but is invalid at others. The invalid of Nash-Sutcliffe coefficient is affected by imprecise measured data, especially hydrometric data. So calibration coefficient of mentioned model is 0.11 to 0.24 at accepted catchments.

Keywords: Annual water yield, Calibration of GR1A, Mathematical model, Water balance, Zanjan province

Archive of SID

مقدمه

احداث مخازن کوچک جمع‌آوری آب سطحی یکی از روش های تامین آب برای حوزه‌های کوچک می‌باشد. برای برنامه ریزی منابع آب تامین شده نیازمند داشتن میزان ورودی سالانه به تفکیک ماه و سال برای یک طول آماری قابل قبول (در حدود ۳۰ سال) می‌باشد. با توجه به اینکه عموماً رودخانه‌های بزرگ دارای ایستگاه‌های اندازه‌گیری جریان به صورت دراز مدت می‌باشند. لذا حوزه‌های آبخیز کوچک غالباً فاقد این اندازه‌گیری بوده و از نظر آبخیزداری این نوع برآوردها نیز مورد نیاز است. برای حل مشکل چاره‌ای جزء انجام تحلیل‌های منطقه‌ای، استفاده از تشابه حوزه‌های دارای داده و فرمول های تجربی وجود ندارد (Costelloe، ۲۰۰۴). نظر به پراکنش و وجود آمار دراز مدت بارندگی در نقاط مختلف کشور بنظر می‌رسد که استفاده از مدل های تجربی و کالیبره نمودن آن برای مناطق مختلف یکی از راه‌حل‌های مفید باشد. لذا ضرورت مقاله حاضر ناشی از عدم وجود ایستگاه‌های آب‌سنجی و یا کوتاه بودن طول دوره آماری آنها در مقایسه با ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی می‌باشد. بطوریکه اجرای طرح تحقیقاتی مزبور توسط اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان زنجان به مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سفارش داده شده است.

در بیشتر تحقیقات انجام یافته هدف مدل نمودن میانگین آبدهی سالانه می‌باشد. از جمله رضائی (۱۳۸۷) مدل ریاضی ساده‌ای را برای برآورد آبدهی سالانه و بر مبنای مساحت حوزه و با دوره بازگشت های مختلف به روش تحلیل منطقه‌ای در حوزه سد سفیدرود ارائه داده است. مهدوی و آذرخشی (۱۳۸۳) برای تهیه مدل پیش‌بینی جریان ماهانه از روش بیلان آبی و بر اساس بارندگی و تبخیر و تعرق ماهانه نسبت به ایجاد معادلات رگرسیون اقدام کرده‌اند. ایشان در این تحقیق ۱۲ حوزه از منطقه آذربایجان و شمال خراسان انتخاب نموده و اجزاء معادله بیلان آب را محاسبه کرده‌اند. سپس دبی ماهانه بعنوان تابع و تبخیر و تعرق واقعی، رطوبت خاک در ابتدای ماه و بعضاً همراه با بارندگی و یا تغذیه آب زیرزمینی به عنوان متغیر انتخاب شده و با استفاده از روابط رگرسیونی چند متغیره خطی روابط ریاضی آنها محاسبه شده است. نتایج حاصله بیانگر آن است که در بیش از ۷۰ درصد موارد این روش می‌تواند رواناب ماهانه را شبیه‌سازی نماید. همچنین در حوزه‌های مختلف متغیرهای موثر در معادلات رگرسیون متفاوت می‌باشند. بوانی و مرید (۱۳۸۴) برای مدل نمودن رژیم ماهانه جریان در رودخانه زاینده رود اصفهان از روش شبکه عصبی مصنوعی و با استفاده از متغیرهای بیشینه و کمینه دما و بارندگی ماهانه ماه مورد نظر و ماه قبل و میزان تشعشع همان ماه استفاده کرده‌اند. امین و غفوری (۱۳۸۱) برای شبیه‌سازی حجم سیلاب ماهانه و سالانه از مدل استانفورد-۴ استفاده کرده و نتیجه گرفته‌اند که شبیه‌سازی حجم جریان های ماهانه و سالانه، حجم آب زیرزمینی، جریان زیر سطحی، تبخیر و تعرق واقعی و ضریب رواناب حوزه آبخیز مورد بررسی با درستی بسیاری انجام شد. شریفی و همکاران (۱۳۸۳) برای شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیک از مدل رایانه‌ای AWBM ۲۰۰۰ استفاده کرده و نتایج بدست آمده را قابل قبول اعلام کرده‌اند. اساس کار این روش مبتنی بر استفاده از سه پارامتر ورودی به مدل شامل: شاخص جریان پایه (برای حوزه‌هائی با جریان فصلی نیاز

نیست)، ثابت خشکیدگی روزانه جریان[1] و ظرفیت های ذخیره سطحی و سطوح متناظر با این ظرفیت ها است. با توجه به آزمون های انجام شده استفاده از این روش را در حوزه‌های فاقد داده برای شبیه سازی مجموع رواناب، آب پایه و رواناب سطحی توصیه نموده‌اند. اما در بعضی از تحقیقات ابتدا قالب ریاضی یک مدلی انتخاب شده و ضرایب مورد استفاده در آنها مورد واسنجی (کالیبراسیون) قرار می‌گیرند (B´ardossy and Singh، ۲۰۰۸). نحوه بهینه کردن ضرایب مدلها بویژه در زمانیکه تعداد آنها بیشتر باشد به روشهای متعددی انجام می‌شود. از جمله Mouelhi و همکاران (۲۰۰۶) برای بهینه کردن ضریب موجود در مدل شبیه‌سازی جریان سالانه GR۱A از دستور solver صفحه گسترده Excel استفاده کردند. اما در بعضی از تحقیقات از روش های هوش مصنوعی مانند ژنتیک الگوریتم برای بهینه کردن خودکار ضرایب استفاده شده است (Cheng و همکاران ۲۰۰۶).

توسط بوبدالا (۱۹۹۷) دو نسخه از مدل محاسبه آورد سالانه به عنوان پیشینه مدل مورد بحث در این مقاله ایجاد شد. بطوریکه یک نسخه آن بر مبنای یک پارامتر (ضریب) آزاد (GR۱A) و دیگری بر مبنای دو پارامتر آزاد (GR۲A) بود. سپس Mouelhi (۲۰۰۳) تلاش کرد تا روابطی بین ساختمان مدل و گام های زمانی بین سالانه[2] (چند سال)، سالانه، ماهانه و روزانه و ارتباط ساختمان مدل ها با همدیگر را پیدا نماید. در نهایت ایشان نسخه دو پارامتری را برای دبی ماهانه (GR۲M)، نسخه یک پارامتری را برای دبی سالانه (GR۱A) و نسخه بدون پارامتر آزاد را برای دبی بین سالانه پیشنهاد نمودند. همچنین Mouelhi و همکاران (۲۰۰۶) در ارتباط با مدل GR۱A در ۴۰۷ حوزه و پراکنده در مناطق فرانسه، برزیل، آمریکا و استرالیا بررسی هائی انجام دادند. این حوزه‌ها دارای مساحت حوزه ۱ الی ۵۰۶۰۰ کیلومترمربع، اقلیم نیمه خشک تا اقلیم مرطوب با بارندگی سالانه ۳۰۰ الی ۲۳۰۰ میلیمتر، تبخیر و تعرق پتانسیل ۶۳۰ الی ۲۰۴۰ میلیمتر، عمق متوسط رواناب ۱۰ الی ۲۰۴۰ میلیمتر بودند. آنها نتیجه گرفتند که توزیع احتمالی اندازه لگاریتم ضریب واسنجی‌های محاسبه شده در حوزه‌های نمونه یک توزیع نرمال با مقدار میانگین ۰/۴- و انحراف معیار نزدیک به ۱ بود. در نتیجه مقدار میانه ضریب واسنجی ۰/۷ و با اعتماد ۹۰ درصد اختلاف، بین ۰/۱۳ تا ۳/۵ متغیر است. هدف تحقیق حاضر بررسی میزان کارآیی و اندازه ضریب واسنجی مدل برآورد دبی سالانه (GR۱A) برای حوزه‌های آبخیز کوچک در شرایط آب‌وهوائی نیمه خشک در شرایط استان زنجان است.

مواد و روش ها

داده‌ها و موقعیت

به منظور آگاهی یافتن از وضعیت ایستگاه های هواشناسی و آب‌سنجی، با مراجعه به سازمان های آب و هواشناسی استان های زنجان، قزوین و دفتر مطالعات پایه منابع آب متعلق به شرکت مادر تخصصی مدیریت منابع آب ایران، داده‌های کلیه ایستگاه های هواشناسی و هیدرومتری موجود در سطح استان زنجان و همجوار بصورت ماهانه و سالانه (سال آبی) جمع‌آوری گردید. سپس با انجام بررسی های چشمی، لحاظ کردن گسستگی‌های آماری، اندازه مساحت حوزه‌ها و حذف داده‌های دبی سالانه که دارای ضریب رواناب سالانه نزدیک به یک و یا بیشتر از آن بودند[3] در نهایت به تعداد ۷ زیرحوزه آبخیز کوچک با مساحت حدود کمتر از ۱۷۰ کیلومترمربع (با طول دوره آماری متفاوت)، انتخاب شدند (جدول ۱ و شکل ۱). این حوزه‌ها در یک محدوده جغرافیایی حدود ۱/۸ میلیون هکتار به مرکزیت شهر زنجان با عرض جغرافیائی ۳۶ درجه ۲۹ دقیقه الی ۳۷ درجه و طول جغرافیائی ۴۸ درجه ۱۰ دقیقه الی ۴۸ درجه ۵۰ دقیقه گسترش داشته و فاقد هرگونه تاسیسات آبی ذخیره‌ای برای برهم زدن رژیم جریان سالانه هستند. متوسط ارتفاع از سطح دریای همه حوزه‌های انتخابی بیشتر از ۲۰۰۰ متر بوده که گویای حاکمیت یک اقلیم نیمه خشک سرد تا فرا سرد طبق روش دومارتن گسترش یافته بوده و عموماً در زمستان با نزولات جوی از نوع برف همراه است (جدول ۲، مهندسین مشاور جاماب، ۱۳۷۰).

توضیح مدل

مدل (GR۱A) دارای روابطی بصورت معادله ۱ است (Mouelhi و همکاران ۲۰۰۶). همچنانکه از مدل مزبور بر می‌آید میزان رواناب هر سال تابعی از میزان بارندگی سال قبل و سال جاری بوده و فرض بر آن است کل جریانات زیرقشری و عمقی از حوزه خارج شده و تلفات نیز تنها مربوط به تبخیر و تعرق واقعی در حوزه است.

$$Q_k = P_k\left\{1-\frac{1}{\left[1+\left(\frac{0.7P_k+0.3P_{k-1}}{\mathrm{X}.\mathrm{E}_k}\right)^2\right]^{0.5}}\right\} \quad (1)$$

که در آن: Q_k= عمق جریان در سال k، P_k = عمق بارش سال k، P_k-۱= عمق بارش سال قبل از X,k = ضریب واسنجی، E_k = تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه.

با توجه به محدوده گسترش جغرافیائی حوزه‌های انتخابی و بمنظور سادگی و امکان محاسبه دمای ماهانه بر مبنای متوسط ارتفاع از سطح دریا، از فرمول برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل بلانی و کریدل (E_k) و بدون انجام اصلاحات مربوط به سرعت باد و رطوبت نسبی محیط استفاده شد (معادله ۲).

$$ETP = p(0.46T + 8.13) \quad (2)$$

که در آن:

ETP= توان تبخیر و تعرق به میلی‌متر بر روز در ماه مورد نظر، T = دمای متوسط ماهانه به سانتی‌گراد، P = ضریب روشنائی یا درصد متوسط ساعات روشنائی روزانه در ماه مورد نظر برای تعیین دمای متوسط ماه مورد نظر و در سطح حوزه آبخیز از دمای ایستگاه هواشناسی موجود در داخل حوزه و یا مجاور آن استفاده شده و طبق جدول ۲ نسبت به ارتفاع متوسط وزنی حوزه تصحیح شده است (مسعودیان، ۱۳۸۲).

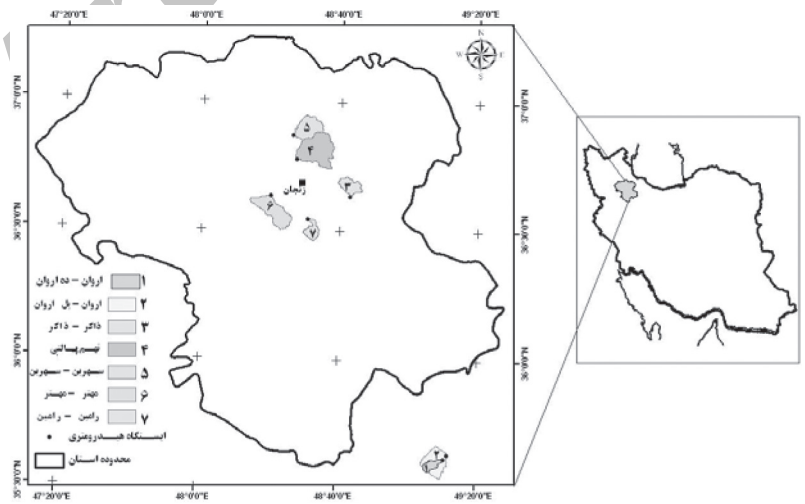
برای رسیدن به بارندگی متوسط هر سال در سطح حوزه در ابتدا با بررسی ایستگاه‌های هواشناسی موجود نسبت به انتخاب یک یا چند ایستگاه دارای اندازه‌گیری باران اقدام شد. نحوه انتخاب ایستگاه یا ایستگاه‌های هواشناسی شامل توجه به مشابهت ارتفاعی نسبت به ارتفاع متوسط وزنی حوزه، داشتن فاصله نزدیک به مرکز ثقل حوزه (تقریباً کمتر از ۲۵ کیلومتر) و دارای همبستگی معنی‌دار بین چند ایستگاه انتخابی از نظر مقدار بارندگی های سالانه نظیر است. ضمناً برای تاثیر فاصله و ارتفاع ایستگاه‌ها

Archive of SID

جدول ۱- ویژگی های فیزیوگرافی و طول دوره آماری حوزه‌های آبخیز انتخابی

ردیف	نام حوزه	مساحت حوزه(km^2)	ضریب گراویلیوس	شیب متوسط آبراهه (درصد)#	ارتفاع متوسط وزنی حوزه (m)	طول آبراهه اصلی (m)	طول دوره آماری
۱	تهم - پالتی	۱۷۰/۳۳	۱/۹۰	۳/۷۹	۲۲۱۰/۲۰۹	۲۲۱۸۰/۴	۱۰
۲	مهتر- مهتر	۱۱۶/۶۱	۱/۴۳	۳/۸۹	۲۰۱۸/۴۸۵	۲۰۰۴۶/۷	۷
۳	اروان - پل اروان	۹۸/۰۲	۱/۲۲	۳/۹۰	۲۱۳۳	۲۷۱۴۷	۳۷
۴	سهرین- سهرین	۸۵/۷	۱/۳۶	۶/۹۱	۲۴۳۷/۵۶۹	۱۴۴۷۵/۴	۶
۵	ذاکر- ذاکر	۴۸/۸۵	۱/۳۳	۷/۲۵	۲۱۹۳/۴۴	۱۰۷۶۲	۷
۶	رامین - رامین	۳۴/۱۷	۱/۴۱	۶/۱۷	۲۰۵۰/۹۷۳	۹۷۱۶/۶	۶
۷	اروان - ده اروان	۲۵/۶	۱/۴۲	۸/۹۲	۲۲۳۲/۵	۱۱۴۳۹/۷	۱۹

#- شیب متوسط آبراهه از طریق تقسیم اختلاف ارتفاع بلندترین و پائین‌ترین ارتفاع حوزه آبخیز به طول آبراهه بدست آمده است.



شکل ۱- موقعیت استان زنجان و حوزه‌های آبخیز کوچک انتخابی (ایستگاه‌های هیدرومتری)

جدول ۲- مدل های دما با ارتفاع در ایران

ماه	مدل دما – ارتفاع	ضریب تعیین	تراز همدمای صفر	حساسیت ارتفاع به حرارت متر به درجه
دی	h= ۱۴/۳-۰/۰۰۷۹T	۰/۵۱۷۳	۱۸۰۰	۱۲۷
بهمن	h= ۱۵/۸-۰/۰۰۷۶ T	۰/۴۷۶۸	۲۰۰۰	۱۳۲
اسفند	h= ۱۹/۴-۰/۰۰۶۹T	۰/۴۵۳۳	۲۸۰۰	۱۴۵
فروردین	h= ۲۴/۸-۰/۰۰۶۴T	۰/۴۶۹۱	۳۹۰۰	۱۵۶
اردیبهشت	h= ۳۰/۰-۰/۰۰۶۵T	۰/۴۳۹۴	۴۶۰۰	۱۵۴
خرداد	h= ۳۳/۴-۰/۰۰۵۵T	۰/۳۸۸۷	۶۰۰۰	۱۸۲
تیر	h= ۳۴/۵-۰/۰۰۴۴T	۰/۳۷۸۵	۷۸۰۰	۲۲۷
مرداد	h= ۳۳/۵-۰/۰۰۴۷T	۰/۴۳۳۰	۷۱۰۰	۲۱۳
شهریور	h= ۳۰/۷-۰/۰۰۵۷T	۰/۵۲۱۶	۵۴۰۰	۱۷۵
مهر	h= ۲۶/۲-۰/۰۰۶۸T	۰/۵۴۷۷	۳۹۰۰	۱۴۷
آبان	h= ۲۰/۸-۰/۰۰۷۰T	۰/۵۵۹۴	۳۰۰۰	۱۴۳
آذر	h= ۱۵/۹-۰/۰۰۷۴T	۰/۵۲۷۱	۲۱۰۰	۱۳۵

از سطح دریا نسبت به میانگین ارتفاع وزنی حوزه از عکس فاصله تا مرکز ثقل حوزه و مقدار ۱۹ میلیمتر افزایش بارندگی برای هر ۱۰۰ متر افزایش ارتفاع استفاده شد. برای اطمینان از داده‌های آب‌سنجی (هیدرومتری) عمق رواناب سالانه با مقدار بارندگی نظیر مقایسه شده و تنها آن سری زمانی از داده‌ها (آب‌سنجی) استفاده می‌شود که ضریب رواناب کمتر از یک را نشان می‌دهند.

نحوه واسنجی مدل

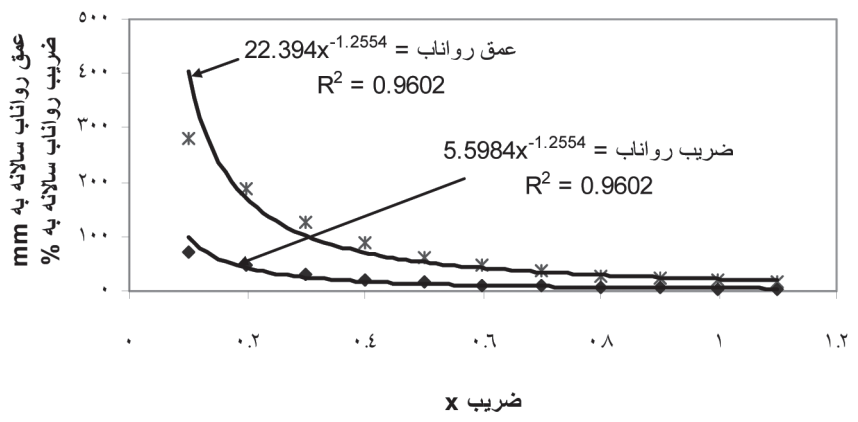
برای واسنجی ضریب از دستور solver در نرم افزار صفحه گسترده EXCEL و با نوشتن اجزاء مدل بهره‌گیری شد. بدین منظور ضریب ناش-ساتکلیف (EC) بعنوان شاخص اصلی ارزیابی دقت مدل استفاده گردید (Nash،Sutcliffe، ۱۹۷۰ و معادله ۳). برای رسیدن به ضریب واسنجی مطلوب میزان Nash(VQ)، Nash(Q) و Nash(ln(Q)) توسط solver محاسبه شده و مقدار آن عددی خواهد بود که بیشترین مقدار ضریب ناش-ساتکلیف را ایجاد نموده همچنین مقدار ضریب تعیین (R^2) مقادیر برآوردی مدل و مشاهده‌ای بیشینه باشد. ضریب ناش - ساتکلیف از منفی بی‌نهایت الی ۱ متغیر است. در صورتیکه مقدار آن برابر با صفر یا کمتر از آن شود بیانگر این است که میانگین مشاهده‌ای بهتر از مقدار برآوردی توسط مدل است. همچنین اگر مقدار آن برابر با ۱ شود تطابق کامل بین دبی های مشاهده‌ای و برآوردی برقرار می‌باشد (Moriasi و همکاران ۲۰۰۷). در واقع هر چه مقدار ضریب ناش-ساتکلیف به عدد ۱ نزدیکتر شود مدل از عملکرد بهتری برخوردار است.

$$Nash(Q) = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{T}(Q_o^t - Q_m^t)^2}{\sum_{t=1}^{T}(Q_o^t - \overline{Q_o})^2} \quad (۳)$$

که در آن:

EC= ضریب ناش-ساتکلیف، Q_o = میانگین دبی‌های مشاهده‌ای، Q_o^t = دبی مشاهده‌ای در زمان t، Q_m^t= دبی مدل شده (برآوردی) در زمان t

www.SID.ir



شکل ۴- مقایسه مقادیر n اندازه گیری و محاسباتی

نتایج

با افزایش مقدار ضریب واسنجی (X) میزان برآورد دبی سالانه کاهش می‌یابد. اما درصد کاهش میزان دبی به ازاء کاهش واحد ضریب کالیبراسیون خطی نبوده بلکه به صورت منحنی است. بنحویکه در محدوده متغیرهای بارندگی و تبخیر وتعرق پتانسیل سالانه حوزه‌های مورد تحقیق (بطور مثال P_k= ۴۰۰ میلیمتر، P_k-۱= ۳۵۰ میلیمتر، E_k= ۱۲۰۰ میلیمتر) اگر میزان (X) نزدیک به صفر (در این حالت در حدود ۰/۱) شود مقدار دبی سالانه برابر با اندازه نزولات جوی همان سال شده و ضریب رواناب سالانه نزدیک به ۱۰۰ است (البته ضریب رواناب همیشه کمتر از ۱۰۰٪ است) (شکل ۲). اما با افزایش (X) به مقدار برابر یا بیشتر از ۰/۹، تقریباً هر دو معادله بصورت خط موازی هم تبدیل شده و به ازاء افزایش ضریب مذکور، عمق رواناب ثابت می‌ماند. همچنانکه از شکل مزبور برمی‌آید معادله رابطه عمق رواناب سالانه (Q_k) و ضریب رواناب سالانه با متغیر (X) برای هر دو بصورت توانی و برابر با مقدار یکسان (۰/۲۵۵۴-) بوده و ضریب تعیین هر دو مساوی است. مقدار ضریب واسنجی (X) بدست آمده در زیرحوزه‌های انتخابی از ۰/۱۱ در ذاکر-ذاکر و رامین-رامین تا ۰/۳۹ در مهتر-مهتر و ضریب عملکرد مدل یعنی Nash(Q٪) از ۶۳/۵ درصد مثبت در اروان-پل اروان تا ۶۴۵ درصد منفی در رامین-رامین متغیر هستند (جدول ۳). این دامنه نوسان (X) بر اساس معادلات توانی مندرج در شکل ۲، نشان دهنده عمق رواناب بترتیب ۳۵۸ الی ۹۰ میلیمتر و ضریب رواناب سالانه ۷۳ الی ۱۸/۲۵ درصد و بعبارت دیگر یک تفاوت چهار برابری است. با توجه به اینکه پائین بودن ضریب عملکرد مدل اعتبار آنرا از بین می‌برد لذا زیرحوزه‌های مورد قبول در حد خوب تا متوسط شامل اروان-پل اروان، اروان-ده اروان و در حد متوسط تا ضعیف تهم-پالتی و سهرین-سهرین است (Zhang،Savnije، ۲۰۰۵) (جدول۴).

با توجه به متفاوت بودن تعداد داده‌ها و بمنظور بررسی اثر این عامل بر روی ضریب واسنجی (X) و ضریب ناش-ساتکلیف نسبت به بررسی گرافیکی آنها اقدام شد (شکل ۳). همچنانکه از شکل مزبور بر می‌آید با افزایش تعداد داده‌ها به بیش از ۱۰ مورد، خطی بودن ضریب ناش-ساتکلیف و به عبارت دیگر عدم تاثیر افزایش تعداد داده‌ها در نوسان اندازه آن (شکل ۳- الف) قابل قبول است. اما در قسمت ب شکل مذکور قابل درک است که تمایلی به افزایش میزان ضرایب واسنجی (X) با افزایش تعداد داده‌ها به بیش از ۱۰ مورد نیز وجود دارد که بنظر می‌رسد با رسیدن تعداد داده‌ها به حدود ۳۰ مورد و بیشتر افزایش تعداد داده فاقد تاثیر در اندازه ضرایب واسنجی (X) باشد.

بحث و نتیجه گیری

با توجه به ساختمان مدل ریاضی مورد استفاده (معادله ۱) مشخص می‌گردد که تغییرات عمق رواناب سالانه تابعی از بارندگی های سال قبل و سال نظیر بوده و روابط آنها توسط ضریب واسنجی ثابت (X) مورد تعدیل قرار می‌گیرد. این ضریب دارای مقدار ثابتی بوده بنابراین با توجه به شکل ۲، معرفی از ضریب رواناب متوسط حوزه می‌باشد. پس می‌توان اعلام نمود که عوامل تعیین کننده ضریب واسنجی (X) همان عوامل مهم و ثابت اثرگذار بر متغیر بودن متوسط ضریب رواناب در حوزه‌های آبخیز مختلف است.

از جمله این متغیرهای ثابت اثرگذار بر ضریب رواناب ویژگی های توپوگرافی، سازندهای زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و نوع اقلیم غالب حوزه است. با توجه به جدول ۴ معلوم است که با توجه به مشابهت ارتفاعی از سطح دریا، هر چهار زیرحوزه دارای مشابهت اقلیمی و کوهستانی بوده و لذا تفاوت در اندازه ضریب واسنجی آنها متاثر از سازندهای زمین‌شناسی به عنوان معرفی از نفوذپذیری خاک های حوزه است (رضائی و همکاران، ۱۳۸۵). دو زیر حوزه ده اروان و پل‌اروان بصورت داخل هم بوده بطوریکه بیشتر واحدهای سنگی و سازندهای غالب در بالادست شامل کنگلومرا و توف به رنگ قرمز آجری به سن پلیوسن و در بخشی توده‌های نفوذی با جنس گرانیت و توف پومیسی تا خاکستر آتشفشانی با ترکیب اسیدی و در پائین‌دست تناوب گنایس، مرمر، آمفیبولیت و کنگلومرای آتشفشانی و توف است. اما دو زیرحوزه سهرین و تهم در مجاورت هم قرار داشته و هر دو دارای تشکیلات زمین شناسی کرج با لیتولوژی توف و توفیت همراه با میان لایه‌های ماسه سنگ توفی و گدازه‌های آندزیتی هستند (نقشه‌های زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۰ و ۱۳۸۳). اما با توجه به بازدید صحرائی در قسمت میانی زیرحوزه تهم-پالتی (موقعیت استقرار آبادی) رسوبات آبرفتی دانه‌ریز و با شیب اندک وجود دارد که زیرحوزه سهرین فاقد چنین شرایطی بوده و عموماً دارای شیب تند و واحدهای سنگی درز و شکاف‌دار می‌باشند. این ویژگی می‌تواند چنین تعبیر شود که میزان تبخیر و

Archive of SID

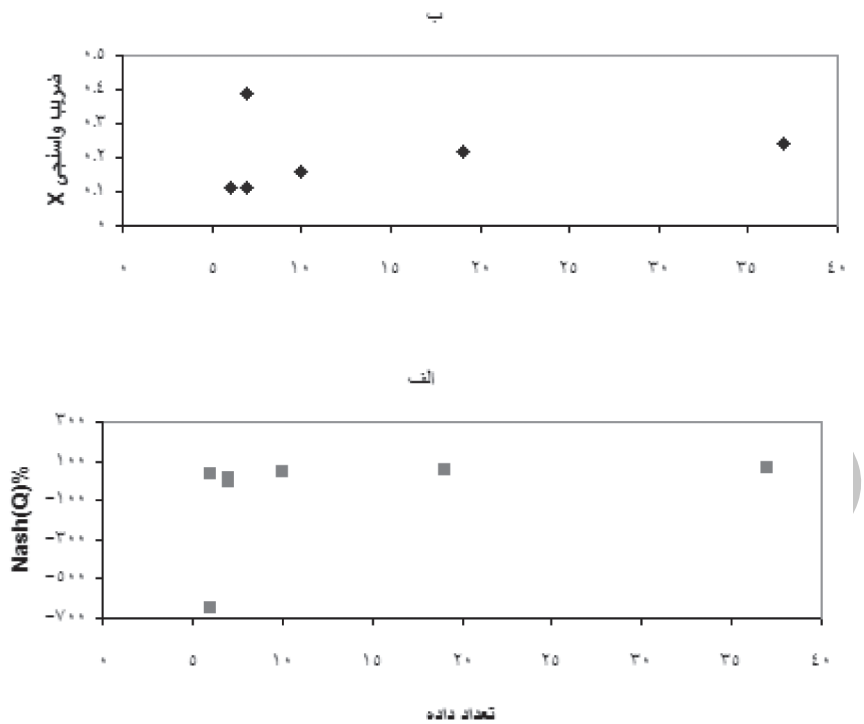
جدول ۳- اندازه‌های ضریب واسنجی (X) و معیارهای ناش-ساتکلیف در حوزه‌های انتخابی

نام حوزه	معیارها	اندازه	V_1(m/s)	معیارها	اندازه
	ضریب واسنجی(X)	۰/۱۶	۰/۳۸۴۶	ضریب واسنجی (X)	۰/۳۹
	٪Nash(Q)	۴۳/۲	۰/۶۱۲۱	٪Nash(Q)	-۶/۴
تهم - پالتی	٪Nash(VQ)	۲۶/۴	۰/۷۳۳۶	٪Nash(VQ)	-۶/۵
	٪Nash(ln(Q))	-۱/۹	۰/۸۰۲۳	٪Nash(ln(Q))	-۷/۲
	٪Bias	۱۰۴/۴	۰/۳۸۱۷	٪Bias	۹۶/۵
	ضریب واسنجی(X)	۰/۲۴	۰/۶۰۵۷	ضریب واسنجی(X)	۰/۱۱
	٪Nash(Q)	۶۳/۵	۰/۷۲۴۷	٪Nash(Q)	۳۵/۴
اروان - پل اروان	٪Nash(VQ)	۶۳/۵	۰/۷۹۱۸	٪Nash(VQ)	۴۹/۱
	٪Nash(ln(Q))	۶۳/۵	۰/۳۷۳۶	٪Nash(ln(Q))	۵۹/۶
	٪Bias	۱۰۰/۹	۰/۶	٪Bias	۱۰۰/۰
	ضریب واسنجی(X)	۰/۱۱	۰/۷۲۳۳	ضریب واسنجی(X)	۰/۱۱
	٪Nash(Q)	۱۵/۱	۰/۷۹۳۲	٪Nash(Q)	-۶۴۵/۰
ذاکر- ذاکر	٪Nash(VQ)	۱۰/۷	۰/۳۸۷۲	٪Nash(VQ)	-۶۵۳/۶
	٪Nash(ln(Q))	-۲/۲	۰/۶۱۱۹	٪Nash(ln(Q))	-۶۷۶/۸
	٪Bias	۱۰۳/۷	۰/۷۳۰۶	٪Bias	۹۶/۵
	ضریب واسنجی(X)	۰/۲۲	۰/۷۹۷۲		
	٪Nash(Q)	۵۵/۳	۰/۳۷۷۲		
اروان - ده اروان	٪Nash(VQ)	۵۸/۱	۰/۶۰۲۸		
	٪Nash(ln(Q))	۵۶/۸	۰/۷۲۴۲		

جدول۴- ویژگی های زیرحوزه‌های با ضریب ناش-ساتکلیف قابل قبول

نام حوزه	مساحت حوزه(km^2)	ضریب واسنجی(X)	٪Nash(Q)	(m) ارتفاع متوسطوزنی حوزه	طول دوره آماری
اروان - پل اروان	۹۸/۰۲	۰/۲۴	۶۳/۵	۲۱۳۳	۳۷
اروان - ده اروان	۲۵/۶	۰/۲۲	۵۵/۳	۲۲۳۲/۵	۱۹
تهم - پالتی	۱۷۰/۳۳	۰/۱۶	۴۳/۲	۲۲۱۰/۲۰۹	۱۰
سهرین- سهرین	۸۵/۷	۰/۱۱	۳۵/۴	۲۴۳۷/۵۶۹	۶
میانه	-	۰/۱۹	-	-	-

www.SID.ir



شکل ۳- رابطه نوسات تعداد داده با ضرایب واسنجی (X) و ناش-ساتکلیف (Nash(Q٪))

تعرق واقعی در زیرحوزه سهرین کمتر از زیرحوزه تهم-پالتی بوده و باید در مقام قیاس، ضریب واسنجی (X) کوچکتری داشته باشد.

Mouelhi و همکاران (۲۰۰۶) در داخل ۴۰۷ حوزه مورد بررسی در نقاط مختلف فرانسه، آمریکا و استرالیا اندازه میانه ضریب واسنجی(X) را برای شرایط اقلیمی و فیزیوگرافی متفاوت برابر با ۰/۷ و با اعتماد ۹۰ درصد اختلاف[۴]، بین ۰/۱۳ تا ۳/۵ متغیر اعلام نمودند. همچنین ایشان با حفظ میانه برابر با ۰/۷ و برای ۸۰ درصد اختلاف، دامنه تغییرات (X) را بین ۰/۳۳ الی ۲ تعیین کردند (Mouelhi، ۲۰۰۳). ضرایب واسنجی بدست آمده در این تحقیق نیز با میانه ۰/۱۹ (جدول ۴)، تقریباً در داخل دامنه تغییرات مذکور و نزدیک به حد پائین آن است. با توجه به شکل ۲ معلوم می‌گردد که در محدوده حد پائین تغییرات ضریب واسنجی(X) حساسیت عمق رواناب یا ضریب رواناب به تغییرات جزئی ضریب واسنجی زیاد بوده و لازم است دقت بیشتری در تفکیک خوشه‌های زیرحوزه‌های همگن هیدرولوژیک صورت گیرد (رضائی، ۱۳۸۷). اما در محدوده حد بالای ضریب واسنجی، حساسیت ضریب رواناب به تغییرات آن کاهش پیدا می‌کند. از این موضوع می‌توان نتیجه گرفت که این نوع زیرحوزه‌ها دارای شرایط اقلیمی مرطوب و پوشش گیاهی جنگلی و شرایط پستی و بلندی آرام می‌باشند. در مقابل حوزه‌هائی با شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک، پوشش گیاهی ضعیف و شرایط پستی و بلندی تند (زیرحوزه‌های مورد بررسی در تحقیق حاضر) دارای مقدار ضریب واسنجی کوچکتری هستند.

معیار ناش- ساتکلیف به عنوان بیان کننده توانائی شبیه‌سازی مدل مورد بحث از حد خوب تا ضعیف (۳۵/۴ الی ۶۳/۵) نوسان دارد (جدول ۴). دلیل این تغییرات و همچنین عدم اخذ مقادیر نزدیک به یک (۱) می‌تواند ناشی از: الف- خطا در برآورد بارندگی واقعی در وسعت زیرحوزه بویژه در صورت عدم واقع شدن یک یا چند ایستگاه هواشناسی در داخل آن و در ارتفاعات (Moulin و همکاران ۲۰۰۹)، ب- خطا در اندازه‌گیری دبی خروجی و ج- تا حدودی خطای مربوط به عدم تطابق ساختمان ریاضی مدل برای تنظیم بیلان آب باشد (Perrin و همکاران ۲۰۰۱). اما بطور مثال نتیجه بررسی انجام شده در حوزه رودخانه سین در پاریس- فرانسه با سری زمانی داده ۲۵ ساله نشان دهنده خطای کم در ساختمان مدل است. بطوریکه در بررسی مزبور مقدار (Nash(Q٪) برابر با ۰/۸ و مقدار ضریب واسنجی ۱/۲۶ می‌باشد (Cemagref، ۲۰۰۶). نتیجه آنکه مدل GR۱A می‌تواند برای شبیه‌سازی جریان سالانه در صورت تعیین صحیح ضریب واسنجی از قابلیت بیشتری برخوردار باشد و اگر در تحقیق حاضر ضریب ناش-ساتکلیف بالاتر از ۶۳/۵ درصد حاصل نشده است، علت ناشی از عدم دقت داده‌ها بویژه داده‌های آب‌سنجی (Singh،ardossy´ B، ۲۰۰۸)، طول دوره آماری اندک (شکل ۳) و همچنین نبود ایستگاه‌های هواشناسی با تراکم مناسب در داخل و جوار زیرحوزه‌های مورد بررسی می‌باشد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان زنجان بخاطر تامین منابع مالی، همکاران محترم مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی زنجان بویژه خانم مهندس سکینه نعمتی و آقایان مهندسین جعفر خلفی، حسین طاهری و علیرضا زینعلی بخاطر همکاری در تهیه و تجزیه و تحلیل بخشی از داده‌های هواشناسی، تهیه نقشه‌ها رقومی و محاسبات فیزیوگرافی و انجام کارهای رایانه‌ای و محاسباتی کمال تشکر و قدردانی را دارد.

Archive of SID

پاورقی ها

1- Recession Constant
2- Inter annual
۳- علت حذف داده‌های دبی این سالها با این فرض صورت گرفت که با توجه با سطح کوچک حوزه‌ها، عدم وجود تاسیات ذخیره آب و سفره آب زیرزمینی و وجود تبخیر میزان خروجی رواناب سالانه همیشه کمتر از نزولات جوی سالانه است و این اتفاق ناشی از خطا در داده‌برداری می‌باشد.
4- Interval

منابع مورد استفاده

۱- امین، س. و غفوری روزبهانی، ع. (۱۳۸۱) شبیه سازی رواناب سطحی و تبخیر و تعرق حوزه آبخیز معرف رود زرد با مدل استانفورد-۴، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۶، شماره ۳، ص۱۲-۱.
۲- بوانی، م. و مرید، س. (۱۳۸۴) اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده رود اصفهان، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال نهم، شماره ۴، ص ۱۷-۲۷.
۳- رضائی، علی، م. مهدوی، س. فیض‌نیا، ک. لوکس و م. ح. مهدیان. (۱۳۸۵) امکان سنجی گروه‌بندی هیدرولوژیک سازندهای زمین‌شناسی در حوزه آبخیز سفیدرود، پژوهش و سازندگی، جلد ۱۹ شماره ۱، ص ص: ۲۲-۱۰.
۴- رضائی، علی، (۱۳۸۷) گروه‌بندی هیدرولوژیک حوزه‌های آبخیز، پژوهش و سازندگی، منابع طبیعی ۷۹، ص ص: (در دست چاپ).
۵- رضائی، علی، (۱۳۸۷) بررسی روابط آبدهی سالانه در زیرحوزه‌های سد سفیدرود، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران، دانشگاه تبریز، ص ص: ؟.
۶- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۰) نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ چهار گوش ماه‌نشان
۷- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۳) نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ چهار گوش زنجان، طارم و تخت سلیمان.
۸- شریفی، ف. و صفاپور ش. و ایوب زاده، ع. (۱۳۸۳) ارزیابی مدل رایانه ای AWBM۲۰۰۰ در شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیک تعدادی از حوزه‌های آبخیز ایران، مجله پژوهش و سازندگی، جلد ۱۷، شماره ۲، ص۴۲-۳۵.
۹- مهدوی، م. و آذرخشی، م. (۱۳۸۳) تعیین مدل بیلان آبی مناسب ماهانه در حوزه‌های آبخیز کوچک کشور (مطالعه موردی: استان ـ آذربایجان شرقی و شمال خراسان)، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۷، شماره ۳، ص ۴۲۶-۴۱۵.
۱۰- مسعودیان، ا. (۱۳۸۲) تحلیل ساختار دمای ماهانه ایران، مجله علوم انسانی دانشگاه اصفهان، جلد پانزدهم، شماره ۲ و ۱، ص‌ص: ۹۶-۸۷.
۱۱- مهندسین مشاور جاماب، (۱۳۷۰) طرح جامع آب کشور (گزارشات بارندگی، دمای هوا و تقسیمات آب و هوایی سفید رود و رودخانه شور).

12- B´ardossy, A. and Singh, S. K. (2008) Robust estimation of hydrological model parameters, *Hydrol. Earth Syst. Sci.,* Vol, 12, pp: 1273–1283.

13- Bouabdallah, F. (1997) *Mise au point d'un modèle de transformation pluie-débit au pas de temps annuel.* Rapport de DEA, DEA Hydrogéologie-Hydrologie filière Géochimie isotopique, Paris Sud Orsay, Cemagref, Antony, p: 45.

14- Cemagref (2006) *Application of the GR1A annual rainfall-runoff model under Excel, Version* 1.0. , Hydrosystems Research Unit, Antony, France. www.cemagref.fr/webgr/Codesgb/ CodesXL/ GR1Agb.xls

15- Cheng, C. T., Zhao, M. Y., Chau, K. W. and Wu, X. Y. (2006) Using genetic algorithm and TOPSIS for Xinanjiang model calibration with a single procedure, *Journal of Hydrology,* Vol, 316, No,(1-4), pp: 129-140.

16- Costelloe, J. F. (2004) *Modelling the flow regime of arid zone, floodplain rivers,* Ph.D. thesis, The Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Melbourne, p: 262.

17- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D. and Veith, T. L. (2007) Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, Vol, 50, No,3, pp: 885-900.

18- Mouelhi, S. (2003) *Towards a consistent series of lumped conceptual rainfall–runoff models, for inter-annual, annual, monthly and daily time steps.* Ph.D. Thesis, ENGREF, Cemagref Antony, France, p: 323.

19- Mouelhi, S., Michel, C., Perrin, C. and Andreassian, V. (2006) Linking stream flow to rainfall at the annual time step: the Manabe bucket model revisited. *Journal of Hydrology,* Vol, 328, No,(1-2). pp: 283-296.

20- Moulin, L., Gaume, E. and Obled, C. (2009) Uncertainties on mean areal precipitation: assessment and impact on streamflow simulations, *Hydrology and earth system sciences,* Vol, 13, pp: 99–114.

21- Nash, J.E., Sutcliffe, J.V. (1970) River flow forcasting through conceptual models part I- A discussion of principles, *Journal of Hydrology,* Vol, 10, No,3. pp:282-290.

22- Perrin, C., Michel, C. and Andréassian, V. (2001) Does a large number of parameters enhance model performance? Comparative assessment of common catchment model structures on 429 catchments. *Journal of Hydrology,* Vol, 242, No,3-4. pp: 275-301.

23- Zhang, G.P. and Savenije, H.H.G. (2005) Rainfall-runoff modeling in a catchment with a complex groundwater flow system: application of the representative elementary watershed (REW) approach, *Hydrology and Earth System Sciences,* Vol, 9, No,3. pp: 243-261.

Archive of SID