مجله علمی - پژوهشی
علوم و مهندسی آبخیـــزداری ایران
Iran-Watershed Management Science & Engineering
سال سوم - شماره ۸ - پاییز ۱۳۸۸
Vol. 3, No. 8, Fall 2009

شبیه سازی جریان رودخانه با استفاده از مدل بارش- رواناب IHACRES
(مطالعه ی موردی: حوزه ی آبخیز کسیلیان)

مهدی زارعی[۱]، محمدرضا قنبرپور[۲]، محمود حبیب نژاد روشن[۳] و کاکا شاهدی[۴]

تاریخ دریافت: ۸۸/۵/۲۴ تاریخ پذیرش: ۸۸/۹/۱۶

چکیده
شبیه سازی جریان رودخانه به عنوان پیش نیاز برخی از مسایل زیست محیطی و مهندسی، دارای اهمیت است، لذا در این پژوهش جهت شبیه سازی جریان حوزه ی آبخیز کسیلیان واقع در استان مازندران از مدل بارش- رواناب IHACRES استفاده شد. مدل یاد شده در حوزه ی آبخیز کسیلیان کالیبره و مورد ارزیابی قرار گرفت. میزان خطای بین مقادیر جریان مشاهده ای و شبیه سازی شده بر اساس معیارهای MAE، RMSE و NSE برآورد گردید. همچنین معنی داری و عدم معنی داری میزان اختلاف بین مقادیر جریان مشاهده ای و شبیه سازی شده به روش آزمون t جفتی و به وسیله ی نرم افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی نشان داد که مدل توانایی شبیه سازی داده های روزانه و ماهانه را با دقت قابل قبولی دارد (۰/۳۶<NSE<۰/۷۵)، ولی قابلیت شبیه سازی داده های سالانه را ندارد، لذا این داده ها را با دقتی کم تر شبیه سازی می نماید. از سوی دیگر، در مقایسه بین جریان روزانه و ماهانه، نتایج شبیه سازی جریان ماهانه نسبت به جریان روزانه قابل قبول تر است. همچنین بر اساس روش آزمون t جفتی میزان اختلاف بین مقادیر جریان مشاهداتی و شبیه سازی شده در سه مقیاس روزانه، ماهانه و سالانه معنی دار نمی باشد.

۱- نویسنده مسئول و کارشناس ارشد آبخیزداری دانشکده ی منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری mehdizareii2007@gmail.com
۲- استادیار دانشکده ی منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری M_Ganbarpour@yahoo.com
۳- دانشیار دانشکده ی منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری roshanbah@yahoo.com
۴- استادیار دانشکده ی منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری kaka.shahedi@gmail.com

واژه های کلیدی: شبیه سازی، مدل بارش- رواناب، CRES-IHA، جریان رودخانه و کسیلیان

مقدمه
مدل سازی بارش- رواناب یکی از موردهای کلیدی در علوم هیدرولوژی و مدیریت محیط زیست به شمار می رود. به هر حال با توجه به روش های نوین در مدل سازی و نرم افزارهای موجود که موجب افزایش سرعت و کاهش زمان اجرای محاسبات گردیده، پژوهش ها و مطالعات مرتبط با مسایل هیدرولوژی پس از دهه ی ۱۹۵۰ به گونه ی چشمگیری گسترش یافت (بوگتون [۴]؛ یانگ و گارنیر [۲۳]؛ کروک و همکاران [۱۰]).

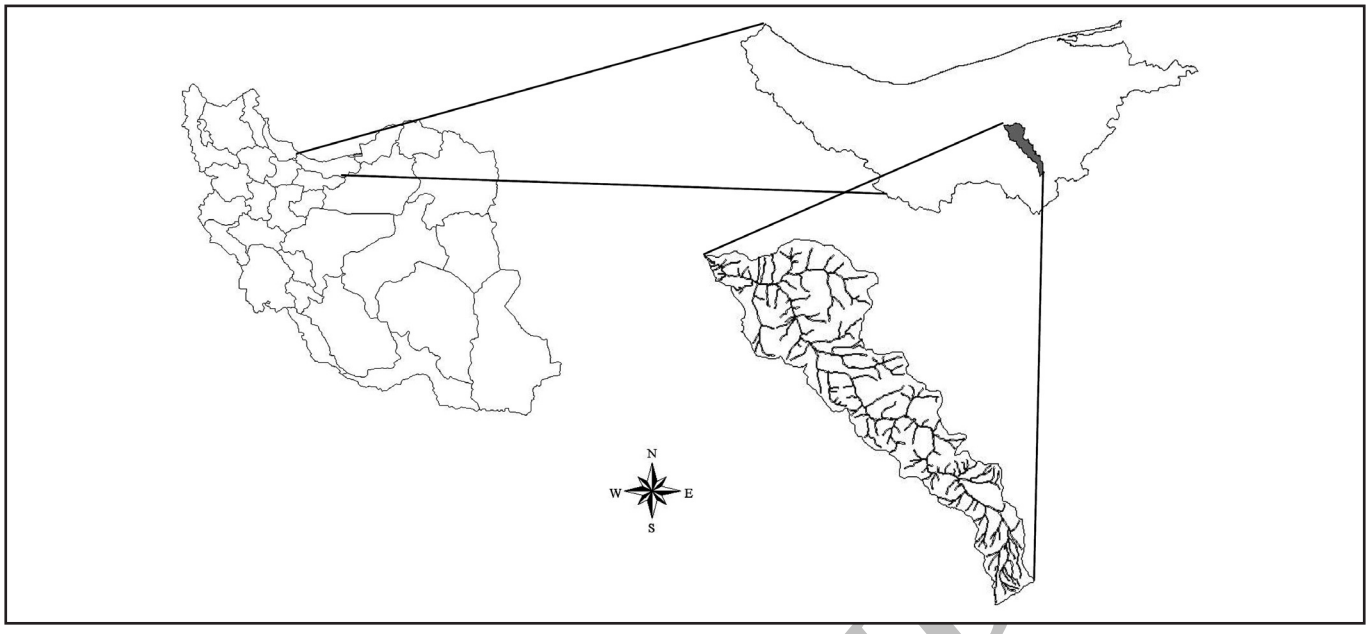
مدل IHACRES در موردهای زیادی به کار برده شده است [۱۲] که در این جا به برخی از آنها اشاره می شود:

یی و همکاران [۲۲] مدل IHACRES[5] را برای ۳ حوزه ی آبخیز با آبدهی محدود در استرالیا (به ترتیب با مساحت ۰/۸۲، ۱۵ و ۵۱۷ کیلومتر مربع با میانگین آبدهی سالانه ی تقریبا ۱۰، ۱۲ و ۲ درصد بارش) در پایه های زمانی روزانه به کار بردند. عملکرد آن با یک مدل مفهومی ۲۲ پارامتری (LASCAM)[6] و یک مدل مفهومی ۸ پارامتری (GSFB)[7] مقایسه شده بود. خطای مطلق در جریان روزانه با استفاده از IHACRES 10/0 میلی متر در روز در دوره ی ارزیابی محاسبه شده بود. به هر حال کارآیی مدل بر اساس معیار ناش- ساتکلیف بالا بوده و بنابراین مدل بسیار خوب عمل کرده است. در ضمن نشان دادند که مدل LASCAM روی هم رفته در هر دو دوره ی ارزیابی و کالیبراسیون با یک میانگین انحراف مطلق برابر ۰/۰۸ میلی متر در روز نسبت به IHACRES بهتر عمل کرده است.

دی و کروک [۱۴] به منظور ارزیابی پیش بینی های جریان در دو حوزه ی آبخیز آفریقای جنوبی از مدل IHACRES استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که جریان پیش بینی شده در حوزه ی لامبرچباس در دو دوره ی گوناگون (در دوره ی پیش از جنگلکاری R^2=۰/۸۱ و Bias=۲۵/۸(mm/ yr) و در دوره ی پس از جنگلکاری R^2=۰/۸۱ و Bias=۸/۴) دقت قابل قبولی داشته است. شبیه سازی جریان در حوزه ی گروت- نیلریور نیز برای دوره های نسبتا کوتاه

5- Identification of Unit Hydrograph and Component Flows from Rainfall, Evaporation and Streamflow Data
6- Large Scale Catchment Model
7- Generalized Surface Infiltration Baseflow Model

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱ - موقعیت حوزه ی آبخیز کسیلیان نسبت به استان مازندران و ایران

۲-۳ سال قابل قبول بوده، اما کارایی مدل در دوره های زمانی طولانی تر به دلیل پیش بینی های ضعیف در برخی سال های معین کاهش یافته بود. دلیل اصلی این امر ارزیابی های ضعیف بارش حوزه در برخی سال ها نسبت داده شده است. کروک و لیتلوود[۶] در مقایسه ی بخش های هدر رفت تناوبی در مدل IHACRES و کاربرد آن در ۷ حوزه ی آبخیز در والز نشان دادند که نسخه ی CMDمدل عملکردی بهتر نسبت به نسخه ی سابق آن (PC) برای حوزه های آبخیز بزرگ تر از ۱۰۰۰ کیلومتر مربع دارد. کروک و همکاران [۱۱] مدل IHACRES را برای یک حوزه ی آبخیز ۴۲۰۰۰ کیلومتر مربعی در جنوب والز، استرالیا، به روش نیمه توزیعی به کار بردند. آن ها نسخه ای از IHACRES را که شامل یک بخش رطوبت خاک بود، استفاده کردند (کروک و جیکمن[۹]) و در روش یکپارچه برای داده های روزانه هر زیرحوزه به کار بردند. مقادیر پارامتر IHACRES برای زیرحوزه های فاقد آمار را با استفاده از مقادیر میانگینی ناشی از زیر حوزه های دارای آمار یا به وسیله برقراری روابط محلی تخمین زده بودند، آن ها بین مقادیر پارامتر و درصد پوشش جنگلی یا مساحت حوزه ی آبخیز رابطه برقرار کردند و نتیجه گرفتند هرچند عملکرد مدل در دو زیرحوزه به علت کمبود ایستگاه بارانسنجی رضایتبخش نبود، اما در مجموع عملکرد مدل جهت به کارگیری بر حسب موازنه ی جریان مناسب بوده است. لیتلوود و همکاران [۱۸] با استفاده از پیش بینی بارش، جریان رودخانه روزانه را در دو حوزه در کشور برزیل شبیه سازی کردند و نشان دادند که بر حسب دو مدل آماری به کار رفته برای این دو حوزه با رژیم جریان متفاوت، مدل ساده تر که مبتنی بر هیدروگراف واحد بوده و برای کالیبراسیون تنها نیاز به داده های بارش، جریان و درجه ی حرارت دارد، تقریبا به خوبی مدل های پیچیده تر حوزه که به داده های اضافی مانند تصاویر ماهواره ای و نقشه های رقومی ارتفاع و کاربری اراضی و خاک نیاز دارند، عمل می کند. کروک و جیکمن [۱۲] نیز قابلیت اجرای نسخه ی توسعه یافته ی مدل IHACRES را برای چهار حوزه ی آبخیز یکروزه در استرالیا، با مساحتی از ۱۸۱ کیلومتر مربع تا ۲۵۴۰ کیلومتر مربع نمایش دادند. روی هم رفته، بر حسب معیار ناش- ساتکلیف عملکرد مدل مناسب نشان داده شد، هر چند عملکرد ضعیف، به ویژه در سال های خشک مشاهده گردید.

مدل های بارش- رواناب توانایی شبیه سازی فرآیند های داخل حوزه را دارا هستند و ابزاری جهت تعیین رواناب و مطالعه ی فرآیندهای هیدرولوژیکی هستند. در بین مدل های بارش- رواناب، مدل IHACRE به علت داده های اندک مورد نیاز بدون صرف زمان و هزینه ی زیاد برای تهیه داده ها، به آسانی می تواند در بسیاری از حوزه های آبخیز به کار برده شود[۱۱]. هدف از انجام این پژوهش، کالیبراسیون مدل IHACRES و بررسی میزان کارایی آن در شبیه سازی جریان در حوزه ی آبخیز کسیلیان می باشد، لذا با توجه به این که مدل یاد شده در این منطقه به کار برده نشده، در این پژوهش به شبیه سازی جریان با استفاده از آن پرداخته شد.

مواد و روش ها

منطقه ی مورد مطالعه

حوضه ی آبخیز کسیلیان در ارتفاعات زون مرکزی سلسله جبال البرز، در استان مازندران قرار دارد و یکی از زیرحوزه های حوزه ی آبریز تالار است و از نظر وضعیت هیدرولوژیکی دارای شرایط مستقل است. مساحت این حوضه ۳۴۲/۸۶ کیلومتر مربع و از نظر جغرافیایی در بین طول شرقی ۴۸ً ۱ٌ ۵۲ٌ تا ۲۶ً ۵۳ٌ و عرض شمالی ۴۸ً ۱ٌ ۳۵ٌ تا ۳۲ً ۳۶ٌ واقع شده است. مرکز ثقل حوضه از نظر جغرافیایی دارای طول شرقی ۱۵ً ۴ٌ ۵۳ٌ و عرض شمالی ۵۲ً ۱۰ٌ ۳۶ٌ

Archive of SID
www.SID.ir

۰ می باشد و در ارتفاع ۸۵۰ متری از سطح دریا قرار دارد. میانگین بارش سالانه (P) حوزه در طی ۳۶ سال دوره ی آماری ۷۴۳ میلی متر بوده و با توجه به تبخیر پتانسیل (PE) حوزه طی این دوره (۷۰۴ میلی متر)، حوزه ی مرطوب به شمار می آید (P/PE = ۱/۰۵ میلی متر). شکل (۱)، موقعیت منطقه ی مورد مطالعه را در استان مازندران و ایران نشان می دهد.

روش پژوهش

با توجه به پژوهش های انجام شده و آگاهی کلی از ویژگی های منطقه ی مورد مطالعه، آمار و داده های مورد نیاز جهت پیشبرد هدف های پژوهش از سازمان های مربوطه جمع آوری شد. در جدول (۱) ویژگی های کلی ایستگاههای باران سنجی، تبخیرسنجی و هیدرومتری موجود در منطقه نشان داده شده است. در نهایت جهت تعیین پایه ی زمانی مشترک، بارگراف ایستگاههای گوناگون (باران سنجی، هیدرومتری و تبخیرسنجی) موجود در منطقه ترسیم گردید. پس از رسم بارگراف ایستگاهها، ۳۶ سال آماری از سال آبی (۵۰ - ۱۳۴۹) تا (۸۵ - ۱۳۸۴) به عنوان دوره ی آماری مشترک تعیین شد که ۸ سال ابتدایی آن به عنوان دوره ی کالیبراسیون و بقیه به عنوان دوره ی ارزیابی در نظر گرفته شد. همچنین در این پژوهش وجود اختلاف معنی دار بین مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده به عنوان فرض صفر در نظر گرفته شد. معنی داری یا عدم معنی داری اختلاف بین داده های مشاهداتی و محاسباتی به روش آزمون t جفتی با استفاده از نرم افزار SPSS تعیین گردید. همچنین جهت تجزیه و تحلیل داده ها و ارزیابی مدل از معیارهایی نظیر: RMSE[1]، MAE[2] و NSE[3] استفاده شد [۲۱]. معیارهای مورد استفاده بر پایه ی روابط زیر محاسبه می شوند:

$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum(X_0-X_s)^2}{N}} \qquad (۱)$$

$$MAE=\frac{\sum|X_0-X_s|}{N} \qquad (۲)$$

$$NSE=[1-\frac{\sum(X_0-X_s)^2}{\sum(X_0-\bar{X}_0)^2}] \qquad (۳)$$

در روابط بالا:

X_O: داده های مشاهداتی

X_S: داده های شبیه سازی شده

$\bar{X}_0$: میانگین داده های مشاهاتی و N تعداد داده ها می باشند.

اگر مقدار NSE برابر با ۱ باشد، تناسب کاملی بین داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده وجود دارد. مقدار NSE صفر نشان می دهد که مدل، نسبت به استفاده از مقادیر میانگین داده های مشاهداتی بهتر یا بدتر پیشگویی نمی کند. اگر NSE بزرگتر از ۰/۷۵ باشد نتایج شبیه سازی خوب توصیف می شوند، اما زمانی که مقادیر NSE بین ۰/۳۶ و ۰/۷۵ است، نتایج مدل رضایتبخش به شمار می رود [۱۹].

ساختار مدل IHACRES

مدل بارش- رواناب IHACRES (تعیین هیدروگراف های واحد و اجزای جریان های ناشی از داده های بارش، تبخیر و جریان رودخانه) به گونه ی مشترک به وسیله ی هیدرولوژیست های مرکز مدیریت و ارزیابی جامع حوزه ی آبخیز (ICAM) دانشگاه ملی استرالیا، کنبرا و مرکز اکولوژی و هیدرولوژی (CEH) انجمن پژوهش های زیست محیطی انگلستان توسعه یافته بود که به صورت مستمر در مجله های مرتبط با هیدرولوژی توضیح داده شده است (برای مثال: جیکمن و همکاران [۱۶]؛ جیکمن و هورنبرگر [۱۵]؛ لیتلوود و جیکمن [۱۷]؛ پست و همکاران [۲۰]). در این پژوهش بسته ی نرم افزاری IHACRES که به وسیله ی کروک و همکاران [۷و ۸] توسعه یافته بود، مورد استفاده قرار گرفته است که به نام IHACRES Classic Plus شناخته شده است. مدل IHACRES مانند سایر مدل های دیگر (استاتکی و وات [۳]) دارای دو بخش است: الف) یک بخش که بارش را در پایه ی زمانی k (r_k) به بارش مؤثر (u_k)، (بخشی از بارش که سرانجام وارد جریان رودخانه می شود) و بارش مازاد که سرانجام به وسیله ی تبخیر و تعرق از بین می رود (با فرض نفوذ ناپذیر بودن حوزه ی آبخیز)، تبدیل می کند؛ و ب) یک تابع تبدیل خطی (یا هیدروگراف واحد، UH)، که بارش مؤثر را به جریان مدل سازی شده (x_k) تبدیل می کند. در این جا این بخش ها به ترتیب بخش تلفات و بخش تابع تبدیل (هیدروگراف واحد) نامیده می شوند. بخش تلفات برای تمام فرآیندهای غیرخطی بارش- جریان در مقیاس حوزه ی آبخیز در نظر گرفته می شود، بخش تابع تبدیل مبتنی بر تئوری سیستم های خطی است (باکس و جنکینز [۵]؛ دوگ [۱۳]). مدل IHACRES دارای شش پارامتر است که سه پارامتر آن مربوط به بخش تلفات غیرخطی (l/c، τ_w و f که به ترتیب ظرفیت ذخیره ی رطوبت حوزه ی آبخیز، مدت زمانی که طول می کشد حوزه ی آبخیز خشک شود و فاکتور تعدیل حرارت حوزه را نشان می دهند) و سه پارامتر مربوط به بخش تابع تبدیل خطی ($\tau^{(q)}$ و $\tau^{(s)}$ به ترتیب مدت زمانی که طول می کشد جریان سریع و آهسته کاهش یابد و $v^{(s)}$ حجمی از جریان آهسته که در ایجاد جریان رودخانه مشارکت دارد را نشان می دهند) می باشد. شکل (۲) ساختار کلی مدل را نشان می دهد.

داده های مورد نیاز مدل

مدل یاد شده به سه سری زمانی داده ها نیاز دارد که عبارتند از:

1- Root Mean Square Error

2- Mean Absolute Error

3- Nash- Sutcliffe Efficiency

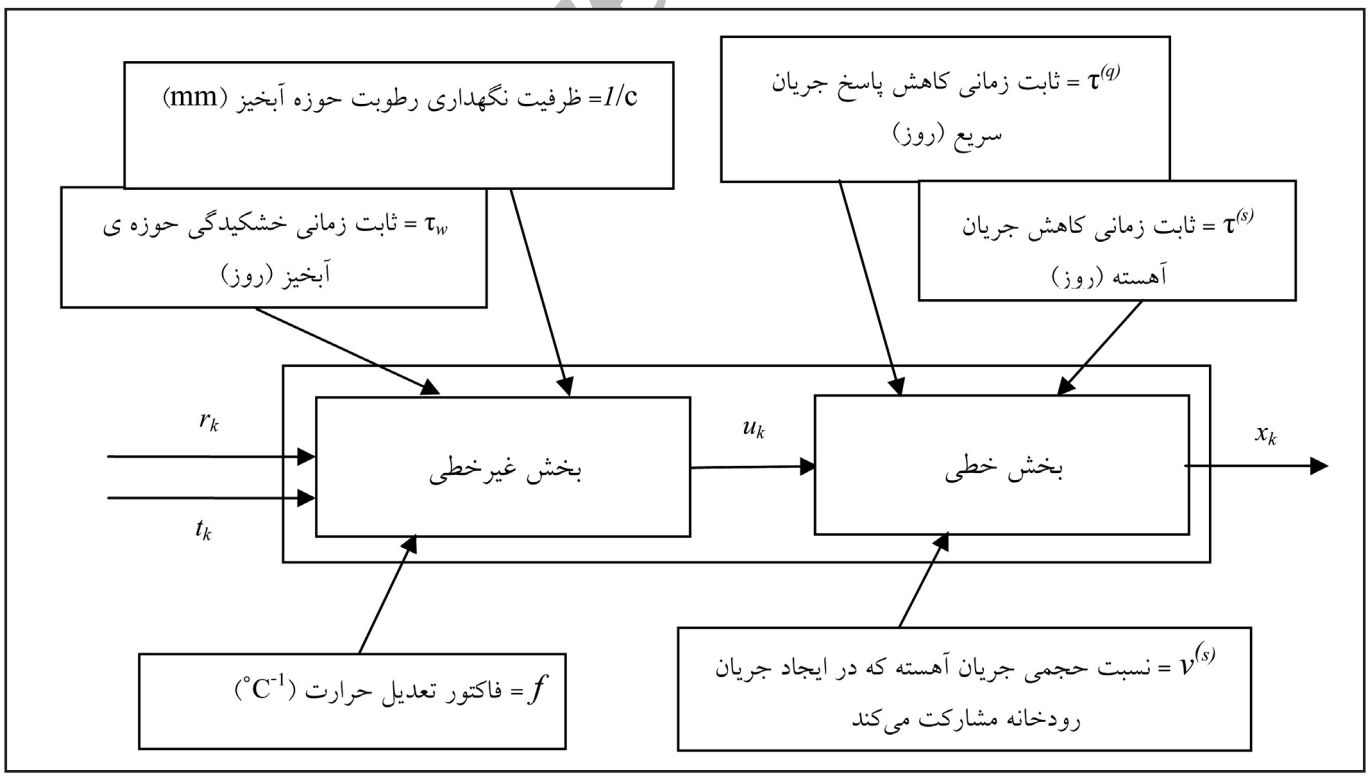
Archive of SID
www.SID.ir

جدول۱ - ویژگی های ایستگاههای موجود در منطقه

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول	عرض	ارتفاع (m)
۱	کله	باران سنجی	E ۵۳° ۹' ۴۵"	N ۳۶° ۴' ۱۱"	۱۵۵۷
۲	سنگده	باران سنجی	E ۵۳° ۱۳' ۴۱"	N ۳۶° ۳' ۳۵"	۱۳۳۷
۳	درزیکلا	باران سنجی	E ۵۳° ۱۲' ۱۴"	N ۳۶° ۴' ۸"	۱۳۰۰
۴	تلارم	باران سنجی	E ۵۳° ۱۵' ۱۵"	N ۳۶° ۱۲' ۱"	۹۳۰
۵	ریگ چشمه	باران سنجی	E ۵۳° ۱۰' ۷"	N ۳۶° ۲۱' ۵۴"	۴۲۰
۶	شیرگاه	باران سنجی	E ۵۲° ۵۳' ۱۰"	N ۳۶° ۱۷' ۵۷"	۲۲۰
۷	سنگده	باران سنجی و تبخیرسنجی	E ۵۳° ۱۳' ۴۱"	N ۳۶° ۳' ۳۵"	۱۳۳۷
۸	درزیکلا	باران سنجی و تبخیرسنجی	E ۵۳° ۱۲' ۱۴"	N ۳۶° ۴' ۸"	۱۳۰۰
۹	سلیمان تنگه	باران سنجی و تبخیرسنجی	E ۵۳° ۱۳' ۵۲"	N ۳۶° ۱۵۴' ۷"	۴۰۰
۱۰	اوریملیک	تبخیرسنجی	E ۵۳° ۱۳' ۵۵"	N ۳۶° ۲' ۳۷"	۱۶۲۰
۱۱	شیرگاه	هیدرومتری	E ۵۲° ۵۳' ۱۴"	N ۳۶° ۱۸' ۵"	۲۲۰

۱ - داده های بارندگی که می تواند بر حسب میلی متر و یا اینچ باشد. ۲ - داده های درجه حرارت (می تواند بر حسب درجه ی سلسیوس، فارنهایت و یا کلوین باشد). ۳- داده های مشاهده ای دبی جریان رودخانه (می تواند بر حسب متر مکعب در ثانیه، میلی گرم لیتر در پایه ی زمانی، میلی متر در هر پایه ی زمانی، لیتر بر ثانیه یا فوت مکعب بر ثانیه باشد).

سری زمانی بارندگی و درجه حرارت به عنوان ورودی های مدل و برای شبیه سازی جریان مورد استفاده قرار گرفته اند. در حالی که داده های دبی جریان مشاهده ای برای کالیبراسیون مدل و همچنین بررسی دقت نتایج به دست آمده از شبیه سازی مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل ۲ - ساختار کلی مدل IHACRES (لیتلوود و همکاران [۱۸])

www.SID.ir

نتایج

پس از تعیین پایه ی آماری مشترک به علت وجود نواقص آماری در برخی ایستگاههای موجود در منطقه، ایستگاههای باران سنجی کله، سنگده، درزیکلا، تلارم، شیرگاه و ریگ چشمه و ایستگاه تبخیرسنجی سنگده جهت شبیه سازی و همچنین ایستگاه هیدرومتری شیرگاه جهت استفاده از داده های جریان مشاهده ای برای کالیبراسیون مدل و همچنین بررسی دقت نتایج ناشی از شبیه سازی انتخاب شدند. درستی و همگنی داده ها به روش کمی آزمون توالی (ران تست) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمون حاکی از همگنی داده ها در تمامی ایستگاههای مورد استفاده است. از آن جا که در مناطق مرطوب حوادث بارندگی بیش تر رخ می دهد، لذا در مدل IHACRES دوره ی کالیبراسیون را کوتاه تر، ولی در مناطق خشک و نیمه خشک به علت وقوع کم تر حوادث بارندگی طول دوره ی کالیبراسیون را بیش تر در نظر می گیرند (کروک و همکاران [۷]). در نتیجه به منظور شبیه سازی جریان در سه مقیاس روزانه، ماهانه و سالانه برای حوزه ی کسیلیان، ابتدا مدل CRES-IHA در سال های آبی ۵۰ -۱۳۴۹ تا ۵۷ -۱۳۵۶ کالیبره شده و در مرحله ی بعد، در طول سال های آبی ۵۸ -۱۳۵۷ تا ۸۵-۱۳۸۴ مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج به دست آمده در این جا مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. پارامترهای محاسبه شده برای حوزه ی آبخیز کسیلیان و همچنین نتایج مرحله ی کالیبراسیون مدل در حوزه به ترتیب در جدول های (۲) و (۳) آورده شده است.

تعدادی از نمودارهای مربوط به کالیبراسیون مدل در مقیاس های روزانه و ماهانه نیز به عنوان نمونه و برای نشان دادن چگونگی عملکرد مدل در شبیه سازی جریان رودخانه در حوزه ی آبخیز کسیلیان در شکل های (۳) و (۴) آورده شده اند. در این نمودارها، دبی بر حسب متر مکعب بر ثانیه و زمان نیز با توجه به مقیاس مورد استفاده بر حسب روز، ماه و یا سال می باشد. شکل (۵) نیز بارش ثبت شده در حوزه و بارش مؤثر محاسبه شده به وسیله ی مدل را در طول دوره ی کالیبراسیون در مقیاس ماهانه نشان می دهد.

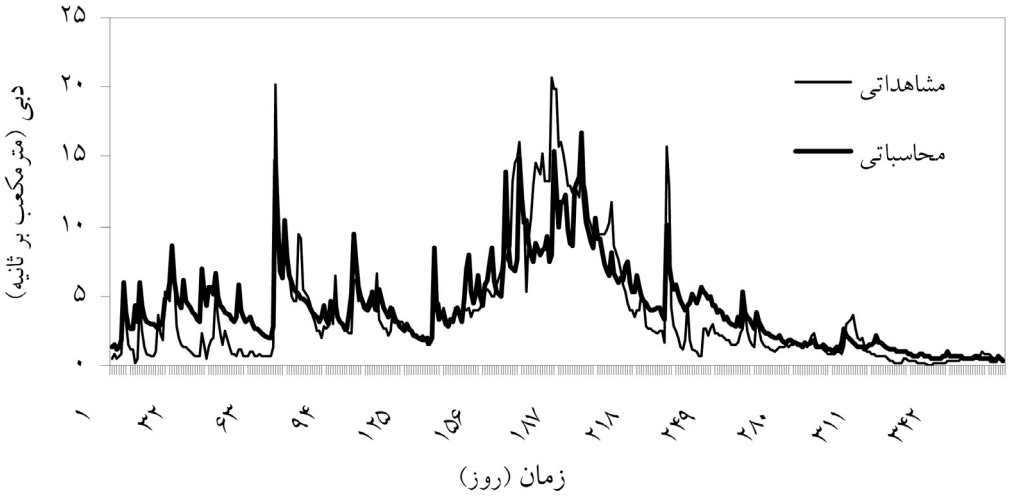
جدول ۲- مقادیر پارامترهای به دست آمده از کالیبراسیون مدل در دو مقیاس روزانه و ماهانه

زمان	$v^{(s)}$ (—)	$\tau^{(s)}$ (day)	$\tau^{(q)}$ (day)	1/C (mm)	f ($^{\circ}c^{-1}$)	τ_w (day)
روزانه	۰/۸۵	۱۶	۰/۶۱	۳۹۷/۶	۲/۵	۱۳/۵
ماهانه	۱/۳۲	۱/۰۰۵	—	۴۶۱/۴	۲/۵	۰/۵

جدول ۳- ارزیابی آماری اختلاف بین مقادیر جریان مشاهده ای و شبیه سازی شده به وسیله ی مدل

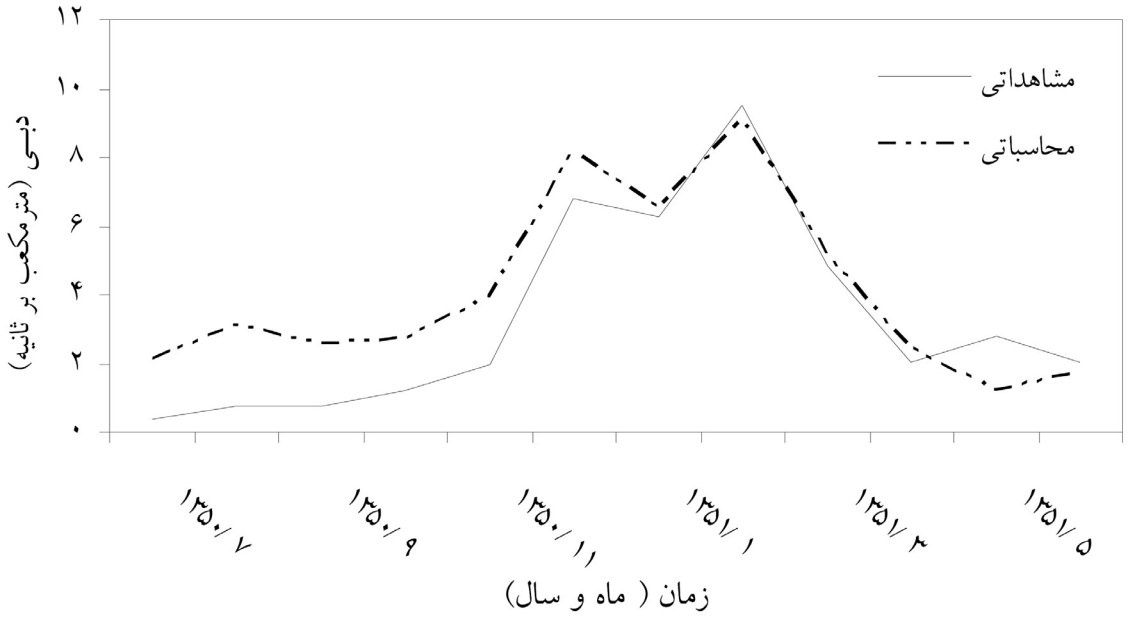
زمان	r	RMSE	MAE	NSE	معنی داری
روزانه	۰/۶۷	۲/۶	۱/۵۳	۰/۴۵	۰/۵^{ns}
ماهانه	۰/۸	۱/۴۷	۱/۱۲	۰/۶۵	۰/۴۶۴^{ns}
سالانه	۰/۶۴	۰/۷۷	۰/۷	۰/۳۵	۰/۷۱۶^{ns}

عدم معنی داری= ns

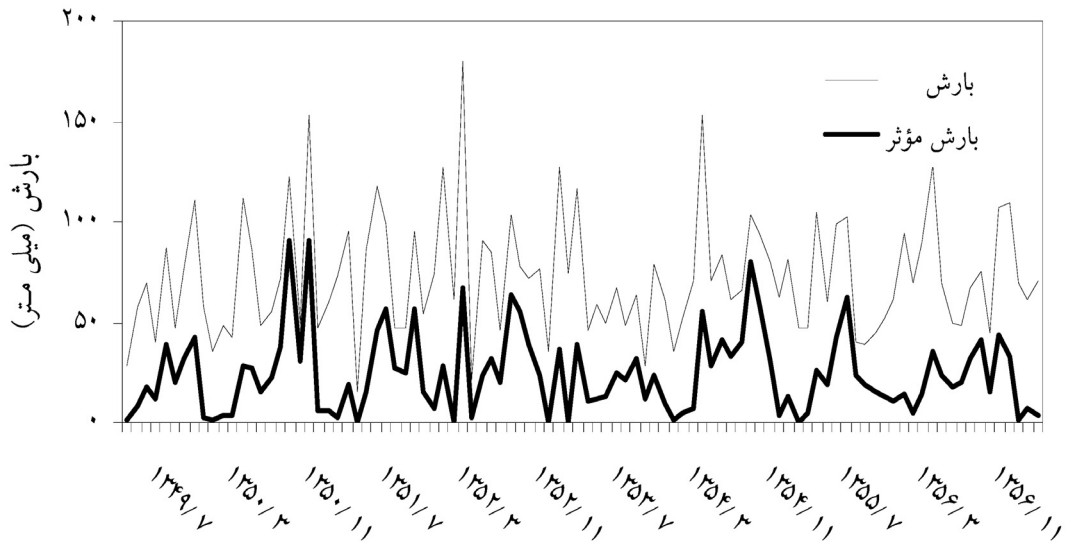


شکل ۳- مقایسه ی مقادیر جریان روزانه ی مشاهداتی و محاسباتی در مرحله ی کالیبراسیون مدل در سال آبی ۵۵ -۱۳۵۴

www.SID.ir



شکل ۴- مقایسه ی مقادیر جریان ماهانه مشاهداتی و محاسباتی در مرحله ی کالیبراسیون مدل در سال آبی ۵۱-۱۳۵۰



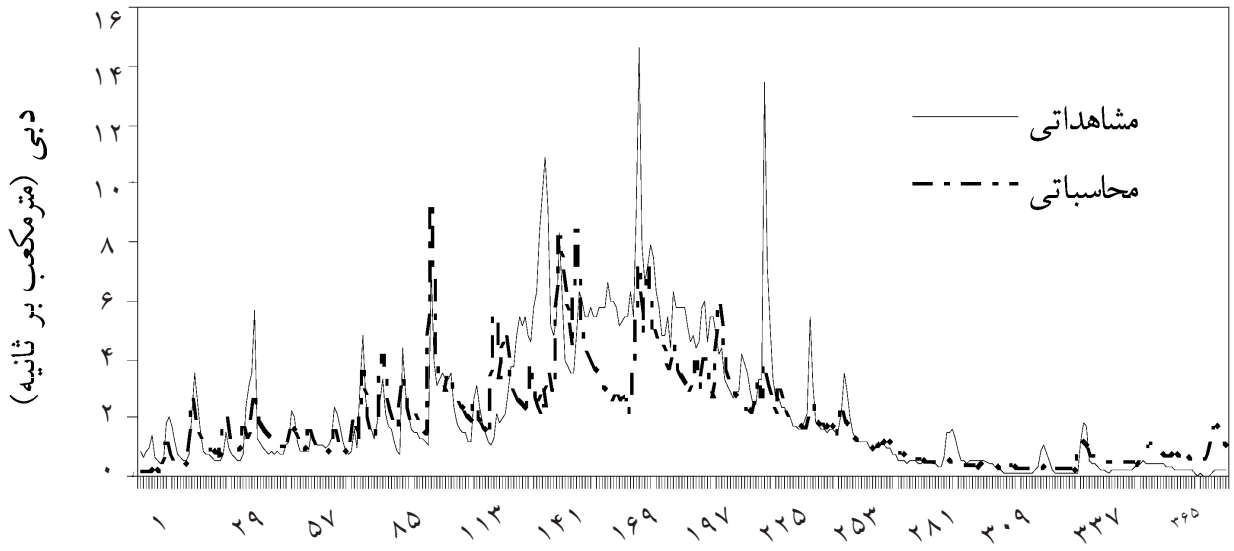
شکل ۵- تغییرات مقادیر بارش کل و بارش مؤثر محاسباتی در طول دوره ی کالیبراسیون

جدول ۴- نتایج ارزیابی مدل در سه مقیاس روزانه و ماهانه و سالانه

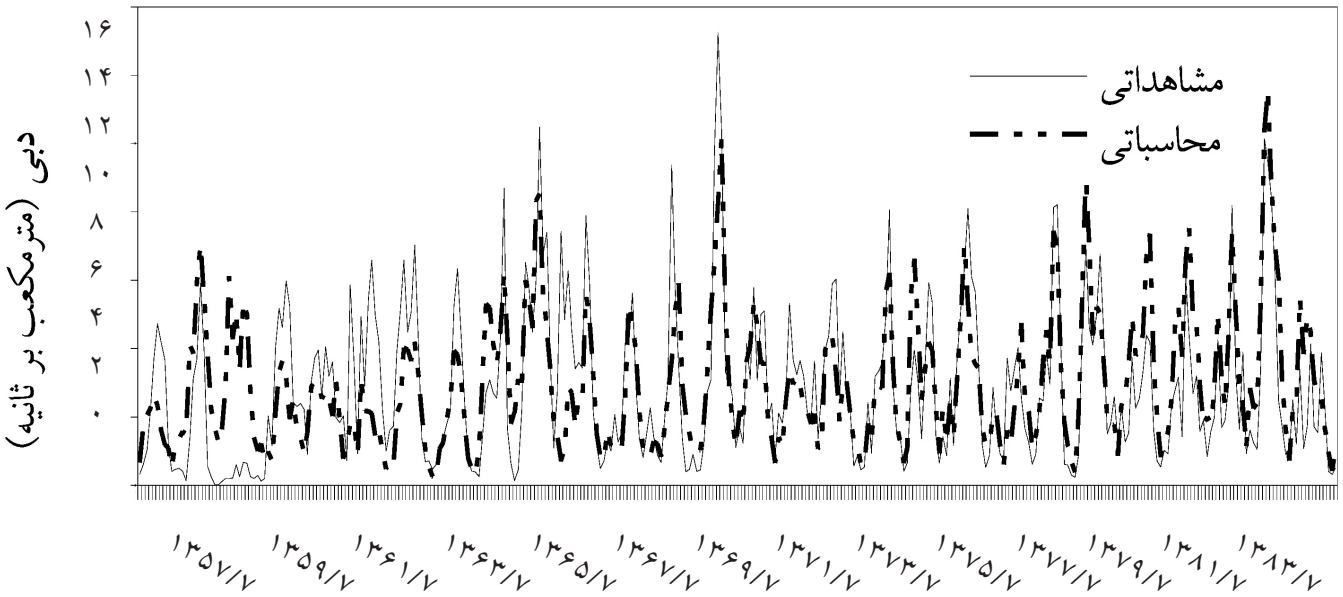
زمان	R	RMSE	MAE	NSE	معنی داری
روزانه	۰/۶۶	۲/۵۵	۱/۴۹	۰/۴۳	۰/۲۹ ns
ماهانه	۰/۷۱	۱/۶	۱/۱۹	۰/۴۸	۰/۳۶۶ns
سالانه	۰/۳۶	۱/۰۴	۰/۸۱	-۰/۱۹	۰/۶۹ns

عدم معنی داری= ns

www.SID.ir



شکل ۶- مقایسه مقادیر جریان روزانه ی مشاهداتی و محاسباتی در مرحله ی ارزیابی در سال آبی ۶۵-۱۳۶۴



شکل ۷- مقایسه ی مقادیر جریان ماهانه ی مشاهداتی و محاسباتی در کل دوره ی ارزیابی مدل

نتایج به دست آمده از کالیبراسیون نشان می دهد که مدل در مقیاس های روزانه و ماهانه نتایج قابل قبول و رضایتبخشی ارایه می کند، البته نتایج شبیه سازی جریان ماهانه نسبت به شبیه سازی جریان در مقیاس روزانه دقیق تر است. با استناد به نتایج جدول (۳)، بین مقادیر جریان مشاهداتی و شبیه سازی شده در سه مقیاس روزانه، ماهانه و سالانه بر اساس آزمون t جفتی تفاوتی معنی دار مشاهده نگردید؛ با این حال بر اساس نتایج معیار NSE، کالیبراسیون مدل در مقیاس سالانه رضایتبخش نبوده که

www.SID.ir

این خود حاکی از عدم قابلیت اجرای مدل IHACRES در مقیاس سالانه است. در مرحله ی بعد به ارزیابی مدل کالیبره شده در حوزه ی آبخیز کسیلیان پرداخته شد. در این مرحله نیز میزان خطای بین مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده با روش های یاد شده در مرحله ی کالیبراسیون مورد محاسبه قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۴) نشان داده شده است. میزان تطابق بین مقادیر جریان مشاهداتی و شبیه سازی شده ی سال (۶۵-۱۳۶۴) در مقیاس روزانه و همچنین میزان تطابق بین مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده در کل دوره ی ارزیابی در مقیاس ماهانه به ترتیب در شکل های (۶) و (۷) نشان داده شده است.

بحث و نتیجه گیری

با استناد به نتایج بدست آمده از کالیبراسیون و ارزیابی مدل، مشخص شد که در حوزه ی آبخیز کسیلیان مدل IHACRES مقادیر جریان ماهانه را بهتر از مقادیر جریان روزانه شبیه سازی می کند. سعادتی [۲] با اجرای مدل SWAT و امیری [۱] با اجرای مدل SWRRB در حوزه ی کسیلیان به چنین نتیجه ای دست یافتند. بنابر نتایج بدست آمده دراین پژوهش، مشخص گردید که کالیبراسیون مدل در دو مقیاس روزانه (NSE = ۰/۴۵) و ماهانه (NSE = ۰/۶۵) برای حوزه ی آبخیز مورد مطالعه قابل قبول است. در مجموع با نگاهی به نتایج به دست آمده از دو مرحله کالیبراسیون و ارزیابی مدل در دو مقیاس روزانه و ماهانه، می توان دریافت که نتایج ارزیابی ضعیف تر از نتایج کالیبراسیون مدل بوده و با این حال، با استناد به مقادیر معیارهای مورد استفاده مانند NSE، نتایج ارزیابی مدل در دو مقیاس روزانه و ماهانه رضایتبخش است که با نتایج کروک و جیکمن [۱۲] مطابقت دارد.

همچنین مدل IHACRES مقادیر سالانه را نسبت به مقادیر ماهانه و روزانه ضعیف تر شبیه سازی نموده که دلیل آن عدم قابلیت اجرای دقیق مدل یاد شده در مقیاس سالانه می باشد. مقادیر بدست آمده از معیار ناش- ساتکلیف در مقیاس سالانه در دو دوره ی کالیبراسیون (NSE=۰/۳۵) و ارزیابی (NSE= -۰/۱۹) مدل، غیر قابل قبول بوده که این نتیجه نیز مبتنی بر عدم قابلیت اجرای مدل IHACRES در مقیاس سالانه است.

مقدار پارامتر $v_{(s)}$ مدل نشان دهنده ی میزان مشارکت جریان پایه در ایجاد جریان رودخانه ای است به گونه ای که مقادیر زیاد این پارامتر نشان دهنده ی وجود جریان پایه ی بیش تر در رودخانه می باشد. مقادیر به دست آمده در این پژوهش حاکی از وجود جریان پایه ی بسیار زیاد در ایجاد جریان رودخانه ای می باشد که این امر ناشی از پوشش جنگلی وسیع حوزه ی آبخیز کسیلیان می باشد. لیتلوود و همکاران [۱۸] طی مطالعه ای در حوزه ای با کاربری های متفاوت زراعت، مرتع و جنگل با غالبیت زراعت و مرتع، به مقادیر کم تری برای این پارامتر دست یافتند.

لیتلوود و همکاران [۱۸] طی پژوهشی نشان دادند که مقدار پارامتر 1/c (ظرفیت نگهداری رطوبت حوزه ی آبخیز) نشان دهنده ی سرعت واکنش حوزه ی آبخیز نسبت به بارش می باشد، به گونه ای که هر چه این مقدار بیش تر باشد، حوزه واکنش آهسته تری نسبت به بارش نشان می دهد. بر اساس نتایج پژوهش مقدار پارامتر یاد شده در مقایسه با مقدار به دست آمده به وسیله ی لیتلوود و همکاران [۱۸] در حوزه ای با کاربری غالب زراعت و مرتع (۲۴۶ میلی متر در مقیاس روزانه)، بیش تر بوده و بنابراین حوزه ی کسیلیان نسبت به بارش با سرعت کمی واکنش نشان می دهد، که این نیز ناشی از جنگلی بودن حوزه بوده که باعث نگه داشت بارش شده و با اندکی تأخیر به جریان رودخانه اضافه می شود.

در این پژوهش میزان معنی داری اختلاف بین مقادیر جریان مشاهداتی و شبیه سازی شده به وسیله ی مدل IHACRES با استفاده از آزمون t جفتی مورد بررسی قرار گرفته و مشخص شد که بین مقادیر جریان مشاهداتی و محاسباتی در مقیاس های روزانه، ماهانه و سالانه اختلافی معنی دار وجود ندارد. این نتیجه با نتایج به دست آمده از اجرای مدل SWRRB در حوزه ی کسیلیان [۱] که بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی رواناب در مقیاس روزانه اختلاف معنی داری را نشان داد، مغایرت دارد.

با استناد به نتایج به دست آمده از آزمون t جفتی اختلافی معنی دار بین مقادیر جریان مشاهداتی و شبیه سازی شده در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه مشاهده نگردید و همچنین با لحاظ کردن نتایج به دست آمده از رابطه های رایج جهت برآورد میزان کارایی مدل ها (مانند NSE)، می توان استفاده از مدل IHACRES را برای شبیه سازی جریان روزانه و ماهانه در حوزه ی آبخیز کسیلیان توصیه نمود.

سپاسگزاری

از آقای دکتر کروک، عضو هیئت علمی دانشگاه ملی استرالیا، که راهنمایی های ایشان در انجام هر چه بهتر این پژوهش موثر بوده صمیمانه قدردانی می شود.

منابع

۱- امیری، م. ۱۳۸۵. کالیبراسیون و ارزیابی مدل هیدرولوژیکی SWRRB به منظور شبیه سازی رواناب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کسیلیان). پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی ساری، دانشگاه مازندران، ۱۳۴ ص.

۲- سعادتی، ح. ۱۳۸۱. بررسی اثرات کاربری ارضی بر روی شبیه سازی دبی روزانه با استفاده از مدل SWAT (مطالعه موردی: حوزه معرف کسیلیان). پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس. ۱۲۱ ص.

Archive of SID
www.SID.ir

3- Astatkie, T. and Watt, W.E. 1988. Multiple-input transfer function modeling of daily Streamflow series using non-linear inputs. Water Resources Research. 34 (10): 2717-2725.
4- Boughton, W. 2006. Calibrations of a daily rainfall runoff model with poor quality data. Environmental Modelling and Software. 21:1114-1128.
5- Box, G.E.P. and Jenkins, G.M. 1970. Time Series Analysis: Forecasting and Control. Holden-Day, San Francisco. 230p.
6- Croke, B.F.W. and Littlewood, I.G. 2005. Comparison of alternative loss modules in the IHACRES model: an application to 7 catchments in Wales. In Zerger, A. and Argent, R.M. (eds) MODSIM 2005 International Congress on Modeling. and Simulation. Modeling and Simulation Society of Australia and New Zealand. 2005:2904-2910.
7- Croke, B.F.W., Andrews, F., Jakeman, A.J., Cuddy, S.M. and Luddy, A. 2005a. Redesign of the IHACRES rainfall runoff model. In: Proceedings of the 29th Hydrology and Water Resources Symposium. Engineers Australia.
8- Croke, B.F.W., Andrews, F., Spate, J. and Cuddy, S.M. 2005b. IHACRES User Guide. Technical Report 2005/19, second ed. ICAM, School of Resources, Environment and Society, The Australian National University, Canberra. http://www.toolkit.net.au/ihacres. 39 pp
9- Croke, B.F.W. and Jakeman, A.J. 2004. A catchments moisture deficit module for the IHACRES rainfall-runoff model. Environmental Modeling and Software. 19 (1): 1-5.
10- Croke, B.F.W., Andrews, F. Jakeman, A.J., Cuddy, S.M. and Luddy, A. 2006. IHACRES Classic Plus: A redesign of the IHACRES rainfall-runoff model. Environment Modelling & Software. 21: 426-427.
11- Croke, B.F.W., Letcher, R.A. and Jakeman, A.J. 2006. Development of a distributed flow model for underpinning assessment of water allocation options in the Naomi River Basin, Australia. Journal of Hydrology. 319(1-4):51-71
12- Croke, B.F.W. and Jakeman, A.J. 2008. Use of the IHACRES rainfall-runoff model in arid and semi arid regions. In: Wheatear, H.S. Sorooshian, S. Sharma, K.D.(Eds.): Hydrological Modelling in Arid and Semi-arid Areas. Cambridge University Press, Cambridge. 41-48.
13- Dooge, J.C.I. 1973. Linear Theory of Hydrologic Systems. Technical Bulletin No 1468. United States Department of Agriculture, Washington DC. 327.
14- Dye, P.J. and Croke, B.F.W. 2003. Evaluation of Streamflow predictions by the IHACRES rainfall-runoff model in two South African catchments. Environmental Modelling & Software. 18: 705-712.
15- Jakeman, A.J. and Hornberger, G.M. 1993. How much complexity is warranted in a rainfall runoff model? Water Resources Research. 29(8): 2637-2649.
16- Jakeman, A.J. Littlewood, I.G. and Whitehead, P.G. 1990. Computation of the instantaneous unit hydrograph and identifiable component flows with application to two small upland catchments. Journal of Hydrology. 117: 275-300.
17- Littlewood, I.G. and Jakeman, A.J. 1994. A new method of rainfall runoff modeling and its application in catchments hydrology. In: Zannetti, P. (Ed.) Environmental Modelling, vol. II. Computational Mechanics Publications, Southampton, UK, 143-171.
18- Littlewood, L.G. Clarke, R.T., Collischonn, W. and Croke, B.F.W. 2007. Predicting daily Streamflow using rainfall forecasts, a simple loss module and unit hydrographs: Two Brazilian catchments. Environmental Modelling and Software. 22: 1229-1239.
19- Motovilov, Y.G., Gottschalk, L., Engeland, K. and Rohde, A. 1999. Validation of a distributed hydrological model against spatial observations. Agriculture and Forest Meteorology. 98-99:257-277.
20- Post, D.A., Jones, J.A. and Grant, G.E. 1998.

Archive of SID

www.SID.ir

An improved methodology for predicting the daily hydrologic response of ungauged catchments, Environmental Modeling and Software. 13: 395-403.
21- Wilcox, B.P., Brakensike, D. L. and Wight, J. R. 1990. Predicting Runoff from rangeland Catchments: A Comparison of two Models. Water Resource. 26: 2410-2410.
22- Ye, W., Bates, B.C., Viney, N.R., Sivapalan, M. and Jakeman, A.J. 1997. Performance of conceptual rainfall-runoff models in low-yielding ephemeral catchments. Water Resources Research. 33 (1): 153-166.
23- Young, P.C. and Garnier, H. 2006. Identification and estimation of continuous time, data-based mechanistic (DBM) models for environmental systems. Environmental Modelling and Software. 21: 1055-1072.

Archive of SID

www.SID.ir