توسعه و کاربرد شبه توزیعی GFHM در شبیه‌سازی آبنمای سیلاب، مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز جعفرآباد، استان گلستان

مجتبی محمدی[*1]، واحد بردی شیخ[2]، امیر سعدالدین[3]

تاریخ دریافت: 1391/6/12 تاریخ پذیرش:1391/9/10

چکیده

شبیه‌سازی آبشناسی یک ابزار اصلی برای پیش‌بینی وقایع سیلابی و عکس‌العمل آبشناسی حوضه‌های آبخیز برای سناریوهای مختلف مدیریتی می‌باشد. در این مطالعه شبه GFHM (GIS-based Flood Hydrograph Modeling) برای شبیه‌سازی آبنمای سیل حوضه‌ی جعفرآباد با استفاده از زبان شبیه‌سازی محیط زیستی PCRaster تهیه و توسعه داده شد. شبه GFHM یک شبه آبشناسی توزیعی مکانی و زمانی می‌باشد. نقشه‌های DEM، کاربری اراضی، نوع خاک، همچنین آمار بارش حوضه‌ی آبخیز، داده‌های اصلی مورد نیاز شبیه می‌باشند. این شبیه قابلیت شبیه‌سازی آبنمای‌های سیلاب را با گامهای زمانی در حد ثانیه و دقیقه داشته، و با توجه به هدف محقق قابل تنظیم می‌باشد. برای توسعه‌ی این شبیه، ابتدا شبیه مفهومی، روشها و روابط مورد استفاده جهت شبیه‌سازی فرایندهای آبشناسی، فرضیات و محدودیتهای روابط مورد استفاده تدوین گردیدند. این شبیه جهت محاسبه‌ی بارش مازاد از روش شماره‌ی منحنی سازمان حفاظت منابع ملی، و جهت روندیابی از روش موج جنبشی بهره برد. جهت انجام واسنجی از روش واسنجی دستی استفاده گردید، و دو فراسنج شماره‌ی منحنی و ضریب مانینگ واسنجی شدند. از روش یک "فراسنج در هر بار[4]" که یکی از ساده‌ترین و متعارفترین روشهای تحلیل حساسیت می‌باشد جهت بررسی تحلیل حساسیت فراسنجها استفاده گردید. به منظور ارزیابی کارایی شبیه در دو مرحله‌ی واسنجی و اعتبارسنجی از شاخصهای ارزیابی متعددی بهره‌وری شد. برای دوره‌ی واسنجی متوسط ضریب ناش- ساتکلیف 0/718، و برای دوره‌ی اعتبارسنجی 0/777 به‌دست آمد. اختلاف مرحله‌ی زمانی میان آبنمای‌های شبیه‌سازی شده و آبنمای‌های مشاهداتی دلیل اصلی پایین بودن نسبی شاخصهای ارزیابی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبشناسی، شبیه‌سازی، GFHM، PCRaster، حوضه‌ی جعفرآباد

[۱]- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
[۲]- استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
[۳]- استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
*- نویسنده مسئول: Mohamadi613@gmail.com

[4]- OAT: one factor-at-a-time

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

امروزه افزایش و رشد شمار سیلابها در مناطق مسکونی، و بویژه آبخیزهای شهری قابل مشاهده می‌باشد، و انتظار می‌رود که در آینده افزایش یابد (آماگوچی و همکاران،2012)، که یکی از دلایل اصلی آن رشد گروه شهرسازی در بیشتر مناطق جهان است، بطوری که از سال 2010 بیش از نیمی از جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی می‌کنند (سازمان ملل، 2010)، که معمولا رشد شهرسازی با ظرفیت نهرهای زهکشی همخوانی ندارد. یکی دیگر از دلایل آن، افزایش فراوانی بارشهای شدید در نتیجه‌ی تغییرات اقلیمی می‌باشد (IPCC, 2007؛ توماس و همکاران، 2011). استفاده از روش‌های سازه‌ای و غیر سازه‌ایی یکی از راهبردهای مهم جهت مدیریت سیلابهاست که در بیشتر کشورها در حال انجام می‌باشد (آندجلکویچ، 2001؛ جنووز، 2006). این در حالی است که پیش‌بینی سیلابها و فرایند آنها کمتر پایش و مطالعه شده‌اند، مطالعات صورت گرفته نیز بیشتر در آبخیزهای کوچک دارای ایستگاه‌های آبسنجی بوده‌اند. به‌هرحال ایستگاههای آبسنجی نیز هنگام وقوع سیلابها تخریب شده و یا آسیب می‌پذیرند، که در نتیجه آن، دادههای اندازه‌گیری شده ناقص و رضایت بخش نیستند؛ بنابراین، سیلابها در بیشتر موارد بطور ضعیف ثبت می‌شوند؛ لذا، جهت مطالعه رفتار آنها می‌بایست از داغاب سیلابهای گذشته، و یا از شبیه‌سازی بارش-رواناب استفاده کرد (کارتس و همکاران، 2012).

شبیه‌های آبشناسی ارائه‌ی ساده یک سامانه‌ی آبشناسی می‌باشد که برای شبیه‌سازی جریان‌های سطحی یا زیرزمینی، و مدیریت و مهار کردن منابع آب به‌کار می‌رود. علاوه بر آن، شبیه‌های آبشناسی درک و دانش ما را نسبت به جریان آب در طبیعت افزایش می‌دهند (رید و همکاران، 2007).

شبیه‌های آبخیز را برای اهداف مختلف می‌توان در دو طبقه‌ی یکپارچه و توزیعی طبقه‌بندی کرد (سینگ، 1995). در شبیه‌های یکپارچه، همچون HEC-1 (HEC,1998)، Tank (سوگاوارا، 1974) و SSARR (اسپیرز، 1995)، AWBM (بوگتون و چیو، 2007)، بعضی فرایندها به‌وسیله‌ی قانون‌های آبی ساده شده، و بقیه آنها به‌وسیله‌ی معادلات جبری تجربی بیان می‌شوند (آماگوچی و همکاران،2012). شبیه‌های یکپارچه به دادههای ورودی کمی نیاز دارند، اما با این نوع شبیه‌ها نمی‌توان تغییرات مکانی را مورد بررسی قرار داد. در مقابل این شبیه‌ها، شبیه‌های توزیعی قرار دارند که حوضه را به تعداد زیادی سلول‌های مربعی تقسیم می‌کنند (بون، 2001)، از آن جمله می‌توان به شبیه‌هایی همچون شبیه SHE (آبوت و همکاران، 1986)، Topmodel (بون و کیرک بی، 1979). Japanese ones (تاکاسو و همکاران، 1989؛ لو و همکاران، 1989)، Wetspa (لویی و د اسمیت، 2004)، BEACH (شیخ، 2009) و HEC-HMS (اسچارفنبرگر و فلمینگ، 2010) اشاره نمود. شبیه‌های توزیعی مقادیر صریحی از تغییرات مکانی فرایندها، ورودیها، شرایط مرزی و ویژگیهای آبخیز را نشان می‌دهند. شبیه‌های توزیعی در صورتی که بطور مناسب فراسنجی شوند، توانایی شبیه‌سازی واقع گرایانه‌تر، و پیش‌بینی پاسخ آبشناسی نسبت به تغییرات اقلیم و کاربری اراضی را دارند (کارتس و همکاران، 2012).

شبیه‌سازی فیزیکی، توزیعی-فضایی آبشناسی در مقیاس کل حوضه نیازمند دادههای ورودی زیادی می‌باشد؛ بنابراین، سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS) محیط بسیار مفیدی برای شبیه‌سازی می‌باشد، زیرا ذخیره، نمایش، حفظ و مدیریت داده‌ها را تسهیل می‌بخشند (دی رو و همکاران، 1996؛ ، بورگ، 1996).

سه رویکرد پیوند ضعیف (loose coupling)، پیوند قوی (tight coupling) و پیوند بطنی (embedded coupling) برای شبیه‌سازی در محیط GIS وجود دارند (وسلینگ و همکاران، 1996؛ بهره‌مند، 2006). در اتصال ضعیف، GIS در پیش پردازش دادههای فضایی ورودی برای شبیه مورد نظر استفاده می‌شود، همانند شبیه‌های استفاده شده به‌وسیله‌ی دی رو و همکاران، 1989 و کایت و همکاران، 1996). در رویکرد اتصال قوی، یک پیوند قوی بین شبیه‌ها و GIS برقرار است، بطوری که ورودیها و خروجیهای شبیه می‌توانند مستقیما به‌وسیله‌ی GIS هدایت شوند. از این نوع شبیه‌ها می‌توان به‌SWAT اشاره نمود (آرنولد و همکاران، 1998)، که اکنون بطور گسترده در سرتاسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. باید توجه داشت که

Archive of SID

www.SID.ir

هر دو روش پیوند ضعیف و قوی محدودیت ذاتی جهت شبیه‌سازی دارند (کریمی و هوستون، 1997)؛ لذا، رویکرد سومی به نام پیوند بطنی توسعه یافته است. در پیوند بطنی، شبیه در یک سامانه برنامه‌نویسی مجتمع برنامه‌نویسی و اجرا می‌گردد. مزیت رویکرد سوم در آن است که کاربر می‌تواند شبیه شخصی مورد نظر خود را طراحی، اجرا و تغییرات آتی را اعمال کند (وسلینگ و همکاران، 1996).

در شبیه‌سازهای زیست محیطی استفاده از زبانهای برنامه‌نویسی سطح بالا به‌وسیله‌ی محققین و همانندسازان بدون داشتن دانش برنامه‌نویسی تخصصی ترجیح داده می شود (وان درسون و همکاران، 2000؛ کارسنبرگ، 2002؛ کارسنبرگ و همکاران، 2010). بایتارت و همکاران (2008) پیشنهاد دادند که شاخصهای یک شبیه می‌بایست قابل دسترس، پیمانه‌ایی و قابل حمل باشد. تلفیق این ویژگیها شرایطی را به وجود خواهند آورد تا امکان ایجاد شبیه شخصی جهت آزمایش فرضیات مختلف وضعیت جریان و پاسخ به سوالهای مختلف، و درنهایت تهیه‌ی شبیه مناسب منطقه‌ای را فراهم کند (کرفت و همکاران، 2011).

در راستای حل این نیاز، زبان برنامه‌نویسی شبیه‌سازی زیست محیطی PCRaster طراحی و تدوین گردیده است. PCRaster یک محیط GIS و شبیه‌سازی پویا عمومی است، که برخلاف سایر محیطهای GIS، مثل ArcView و ArcGIS که محیط پایا می‌باشند، قابلیت پویا محیط آن امکان ساخت شبیه‌های پویا زیست محیطی توزیعی پیوسته را فراهم می‌کند (شیخ و همکاران، 2009).

از این نوع شبیه‌ها، که در زبان برنامه‌نویسی شبیه‌سازی زیست محیطی PCRaster طراحی و تدوین گردیده‌اند، می‌توان به RHINEFLOW1 (ون دیک، 2000)، LISEM (دی رو و همکاران، 1996)، LISFLOOD (دی رو و همکاران، 2006)، EUROSEM (مورگان، 1996) ، BEACH (شیخ و همکاران، 2009) و PCR-XAJ (ژو و همکاران، 2011) اشاره نمود.

نظر به این آبنمای سیل نتیجه‌ی پاسخ آبشناسی حوضه‌ی آبخیز به تغییرات شرایط حوضه و متغیرهای عکس العمل آن می‌باشد، بنابراین، در مطالعه‌ی حاضر سعی گردید تا شبیه‌ی را برای حوضه‌ی آبخیز جعفرآباد در محیط GIS با استفاده از زبان برنامه نویسی PCRaster تهیه گردد، تا بتوان از آن در شبیه‌سازی آبنمای سیل، پیش بینی و مدیریت جامع آبخیز مزبور استفاده کرد.

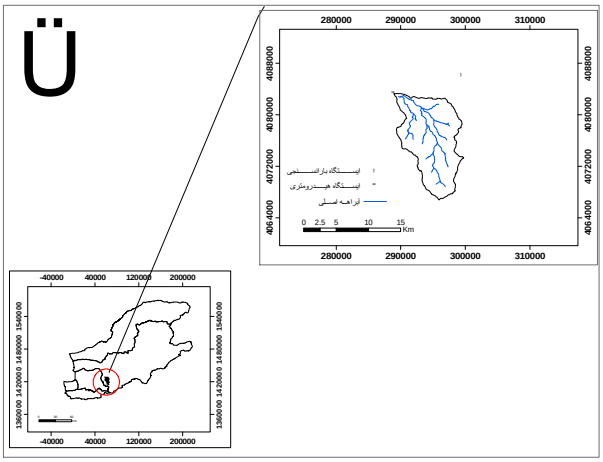
مواد و روشها

موقعیت حوضه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبخیز جعفرآباد از زیرحوضه‌های گرگانرود با مساحتی حدود 110 کیلومتر مربع، و رودخانه‌ای به طول 21 کیلومتر، در 25 کیلومتری جنوب شرق گرگان و در محدوده‌ی جغرافیایی ´37 °48 تا ´45 °48 طول شرقی و ´43 °36 تا ´52 °36 عرض شمالی در استان گلستان واقع شده است. میانگین دمای سالانه 15/45 درجه‌ی سانتی گراد، متوسط بارش سالانه 566 میلی متر، و ارتفاع مبه وسیله‌ی منطقه 1300 متر است. بخش قابل توجهی از حوضه‌ی را مناطق کوهستانی پوشیده از جنگل با شیب زیاد تشکیل داده خاک منطقه مربوط به گروههای آبشناسی B و C بوده، و زمین شناسی بیشتر مربوط به سازندهای خوش ییلاق، جیرود و خاک بادآورده است. در این پژوهش از آمار بده‌ی ساعتی ایستگاههای آبسنجی تقی‌آباد در خروجی آبخیز، و آمار 15 دقیقه‌ای بارش ایستگاه بارانسنجی فاضل آباد در نزدیکی مرکز ثقل آبخیز، استفاده شده است. رود اصلی آن پس از تجمع انشعابات فرعی از روستای تقی‌آباد گذشته، و با پیوستن به گرگانرود به دریای خزر می‌ریزد. شکل (1) موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 1- موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه.

سامانه همانندسازی PCRaster

بسته‌ی نرم‌افزاری شبیه‌سازی زیست محیطی PCRaster یک زبان شبیه‌سازی زیست محیطی برای ساختن شبیه‌های زیست محیطی فضایی پویا بویژه شبیه‌های آبشناسی می‌باشد (وان درسون، 1995؛ وسلینگ و همکاران، 1996). این بسته‌ی نرم افزاری، که تلفیقی از یک سامانه اطلاعات جغرافیایی و یک زبان برنامه نویسی سطح بالاست به‌وسیله‌ی عده‌ای از محققین دانشگاه یوترخت[1] توسعه داده شده است، شامل مجموعه‌ای از ابزارهای رایانه‌ای جهت ذخیره، مدیریت، تجزیه و تحلیل و بازیابی اطلاعات جغرافیایی است که امکان شبیه‌سازی نقشه‌کشی و پویا عرصه‌های طبیعی را برای محققان و کارشناسان رشته های علوم محیطی که بیشتر آنها تخصص برنامه نویسی را کامپیوتری ندارند، فراهم می‌نماید (کارسنبرگ، 1996).

در حالی سایر محیطهای GIS پرکاربرد مثل ArcView و ArcGIS پایا می‌باشند، قابلیت پویا محیط PCRaster امکان ساختن شبیه‌های پویا زیست محیطی توزیعی پیوسته[2] را فراهم می‌کند. این نرم‌افزار یک بسته غنی از توابع زمین ریخت شناسی و آبشناسی است که آنرا از دیگر سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی متمایز می‌کند. این توابع شامل تحلیل قابلیت دید[3]، تحلیل حوضه‌ی آبخیز[4]، و روندیابی انتقال مواد (آب و رسوب) در داخل حوضه‌ی آبخیز است. علاوه بر این همانند دیگر سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، توابع جبری[5] نیز به‌سادگی بر روی نقشه ها قابل اعمالند (PCRaster team,2011).

ساختار سامانه PCRaster اجازه‌ی اعمال توابع شبیه‌سازی زیست محیطی را با توابع سنتی GIS فراهم می نماید (ژو و همکارن، 2011). شبیه‌سازی نقشه‌کشی و پویا با زبان برنامه نویسی سطح بالا این امکان را فراهم می‌کند که هم برای عملیات GIS، و هم توابع شبیه‌سازی از یک زبان برنامه نویسی واحد استفاده کرد.

محاسبه‌ی رواناب مستقیم در طول رگبار

برای به‌دست آوردن رواناب در طول رگبار می‌بایست از رویکردهای نفوذ استفاده کرد. معادله‌ی رواناب شماره‌ی منحنی یک معادله‌ی نفوذ نمی‌باشد (اسمیت، 1976؛ چن، 1982؛ و هیمفلت، 1980)، اما می‌توان با استفاده از رابطه‌ی (1) به عنوان جانشین معادلات نفوذ استفاده کرد (NRCS,2004):

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \qquad (1)$$

که در آن Q رواناب مستقیم تجمعی، P بارش تجمعی، S بیشترین توان نگهداری مربوط به برگاب و نفوذ در خاک و ذخیره‌ی سطحی مقدار S، به‌وسیله‌ی رابطه

[1] - Utrecht
[2] - Iterative spatio-temporal environmental models
[3] - visibility analysis
[4] - watershed analysis
[5] - algebraic functions

Archive of SID

www.SID.ir

(2)، با یک عامل بدون بعد با نام شماره منحنی (CN) به‌دست می‌آید.

$$s = \frac{2540}{CN} - 2.54 \quad (2)$$

مقدار CN بین صفر تا 100 متغییر است. در CN برابر با صفر روانابی از بارندگی حاصل نیامده، و در CN برابر با 100، تمامی بارش در سطح زمین جریان یافته و ارتفاع رواناب برابر با ارتفاع بارندگی خواهد بود.

روندیابی در PCRaster

در این مطالعه، جهت روندیابی رواناب از عملگرد موج جنبشی با عنوان Kinematic استفاده گردید. رابطه‌ی این عملگرد در PCRaster به‌صورت رابطه‌ی (3) می‌باشد.

(3)

$$Q_t = Kinematic(Ldd, Q_{t-1}, q, a, b, T, DCL)$$

Ldd، نقشه‌ی Ldd می‌باشد که از روی نقشه Dem، و با استفاده از عملگر Ldd در PCRaster تهیه می‌گردد.

Q_{t-1}، نقشه بده‌ی در گام زمانی قبلی می‌باشد (مترمکعب بر ثانیه)؛ Q_{in}، نقشه با افزایش یا کاهش آب از \به جریان؛ alpha، نقشه‌ی ضریب؛ Beta، نقشه‌ی ضریب (ضریب اندازه حرکت، برابر با 0/6)؛ T، گام زمانی (روز، ثانیه)؛ DCL، نقشه مسافت جریان به پایین دست در جهت نقشه Ldd؛ Q_t، نقشه بده‌ی جریان در گام زمانی موج جنبشی روندیابی رواناب را در راستای جهت جریان با معادله‌ی منینگ انجام می‌دهد.

معادله منینگ به‌صورت رابطه‌ی (4) می‌باشد (چو، 1959):

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n} \quad (4)$$

که در آن R ، شعاع آبی (متر) ؛ S، شیب (متر/متر) ؛ n، ضریب مانیتگ؛ V، سرعت جریان (متر بر ثانیه).

شبیه موج جنبشی به وسیله‌ی دو معادله‌ی پیوستگی و اندازه‌ی حرکت تعریف شده است. واحدهای موجود همان واحدهای استفاده شده در عملگر Kinematic در PCRaster می‌باشند.

معادله‌ی پیوستگی

$$\frac{dQ}{dX} + \frac{dA}{dt} = q \quad (5)$$

که در آن Q ، جریان (مترمکعب بر ثانیه)؛ X، فاصله در جهت جریان؛ A، سطح مقطع عرضی (مترمربع)؛ t، زمان (ثانیه)؛ q، جریان عرضی ورودی (مترمکعب بر ثانیه بر متر).

معادله اندازه‌ی حرکت

$$S_o = S_f \quad (6)$$

که در آن So ، نیروی گرانش؛ Sf، نیروی جاذبه

معادله اندازه‌ی حرکت را می‌توان به صورت رابطه‌ی (7) بیان داشت:

$$A = a Q^b \quad (7)$$

با ترکیب معادله‌ی (7) و معادله مانینگ نوشته شده با So=Sf و R=A/P رابطه‌ی (8) به‌دست می‌آید:

$$A = \left(\frac{nP^{2/3}}{\sqrt{S_o}} \right) \quad (8)$$

که در آن P ، محیط خیس شده (متر) است.

و در این مورد:

$$a = \left[\frac{nP^{2/3}}{\sqrt{S_o}} \right]^{0.6} \quad (9)$$

$$b = 0.6 \quad (10)$$

متغیرهای q، alpha و beta ورودیهای عملگر"Kinematic" در PCRaster می‌باشند.

ضریب منینگ

فراسنج زبری یکی از مهمترین فراسنجهای آبراهه‌ها، رودخانه‌ها، سواحل و دامنه‌ها می‌باشد (د دانکر و همکاران، 2009)، که در آبشناسی تحت عنوان ضریب منینگ نیز استفاده می‌شود. ضریب منینگ را عموما در دو قسمت ضریب منینگ در دامنه و آبراهه مورد بررسی قرار می‌دهند. معمولا، جهت محاسبه‌ی ضریب منینگ دامنه از ویژگیهای پوشش گیاهی و کاربری اراضی استفاده می‌شود، که در نشریات مختلف به‌وسیله‌ی محققین مختلف انتشار یافته است. در این مطالعه از جدول (1) که به‌وسیله‌ی لال (1964)، زینکی (1967)، رو (1983) و لویی و د اسمت (2004) در نشریات گزارش شده است استفاده گردید. در رودخانه‌های طبیعی، معمولا ضریب

Archive of SID

www.SID.ir

منینگ در آبراهه‌های رتبه‌ی بالاتر کمتر از مقدار آبراهه‌های رتبه‌ی پایینتر می‌باشد (لویی و د اسمیت، 2004). با توجه به این مورد، یک رابطه‌ی خطی بین ضریب زبری منینگ و رتبه‌ی آبراهه‌ها در شبیه‌ها به‌صورت رابطه‌ی (11) فرض می‌شود (لویی و د اسمت، 2004):

(11)

$$n_r = n_{r,\max} - \left(\frac{O - O_{\min}}{O_{\max} - O_{\min}}\right)(n_{r,\max} - n_{r,\min})$$

که در آن n_r ضریب منینگ ($m^{-1/3}s$) برای آبراهه با رتبه‌ی O، $O_{\max}$ و $O_{\min}$ آبراهه با رتبه بیشترین و کمترین، $n_{r,\max}$ و $n_{r,\min}$ بیشترین و کمترین مقدار ضریب منینگ در ارتباط با $O_{\max}$ و $O_{\min}$ ($m^{-1/3}s$) می‌باشند.

در این رابطه، بیشترین مقدار ضریب منینگ در آبراهه متعلق به آبراهه‌ی با رتبه‌ی حداقل، و کمترین مقدار متعلق به آبراهه‌ی با رتبه‌ی حداکثر می‌باشد. مقدار $n_{r,\max}$ و $n_{r,\min}$ را می‌توان بر اساس ویژگیهای آبراهه، و از منابع مختلف به‌دست آورد. در این مطالعه مقدار 0/065 برای آبراهه با رتبه‌ی حداقل و 0/0245 برای آبراهه با رتبه‌ی حداکثر بر اساس جداول (چو، 1959) و تصاویر (کووان، 1956) به‌دست آمد.

پیاده سازی شبیه GFHM در سامانه‌ی همانندسازی PCRaster

شبیه (GIS-based Flood Hydrograph GFHM Modelling) جهت شبیه‌سازی آبنمای سیل حوضه‌ی جعفرآباد با استفاده از زبان شبیه‌سازی محیط زیستی PCRaster تهیه و توسعه داده شد. شبیه GFHM یک شبیه آبشناسی توزیعی مکانی و زمانی می‌باشد که بر اساس نقشه‌های DEM، کاربری اراضی، نوع خاک و همچنین، داده‌های بارش حوضه‌ی آبخیز جعفر آباد توسعه داده شده است. این شبیه قابلیت شبیه‌سازی آبنمای‌های سیلاب را با گامهای زمانی در حد ثانیه و دقیقه داشته، و با توجه به هدف محقق قابل تنظیم می‌باشد. پس از تعیین شبیه مفهومی، و همچنین روشها و روابط مورد استفاده جهت شبیه‌سازی فرایندهای آبشناسی، فرضیات و محدودیتهای شبیه تعیین گردید.

شبیه مفهومی GFHM

نخستین گام در ساخت هر شبیه آبشناسی تهیه‌ی شبیه مفهومی می‌باشد که بر پایه‌ی آن فرایندهای آبشناسی مورد نظر شاخص‌نویسی می‌شوند. در این مطالعه نیز با توجه به هدف مورد مطالعه، داده، اطلاعات و محدودیتهای موجود، شبیه مفهومی GFHM به‌صورت زیر تهیه گردیدند (شکل2).

جدول1- مقادیر فراسنج ضریب منینگ دامنه بر اساس کاربری اراضی.

کاربری اراضی	ضریب منینگ ($m^{-1/3}s$)
اراضی مرتعی خزان کننده	0/4
اراضی جنگلی خزان کننده	0/8
زراعت دیم	0/15
زراعت آبی	0/2

فرضیات شبیه GFHM

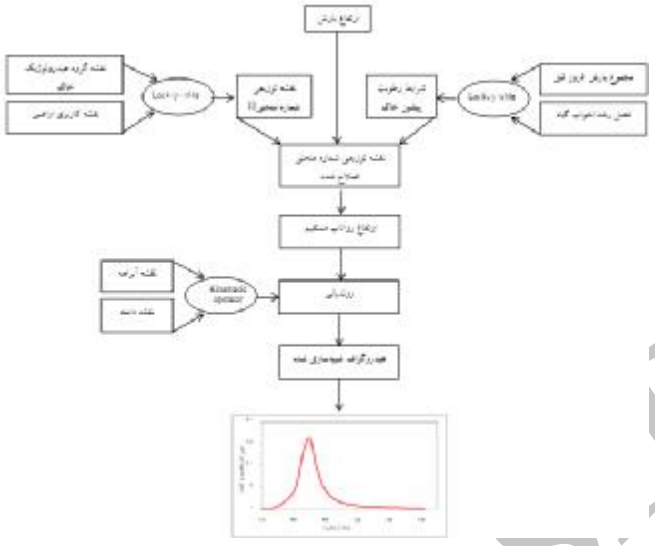
پس از تعیین شبیه مفهومی، و همچنین روشها و روابط مورد استفاده جهت شبیه‌سازی فرایندهای آبشناسی، می‌بایست فرضیات شبیه تعیین گردد. با توجه به روشها و روابط استفاده شده، فرضیات شبیه GFHM، به صورت زیر می‌باشند:

1- بارش در سطح کل حوضه به‌صورت یکنواخت و برابر با مقدار اندازه گیری شده در ایستگاه بارانسجی در نزدیکی خروجی آبخیز فرض گردید. البته در صورت وجود چندین ایستگاه در داخل حوضه، کاربر می‌تواند نقشه توزیع مکانی بارندگی را با استفاده از عملگر Spreadzone تهیه و در شبیه مورد استفاده قرار دهد. حتی در صورت تهیه‌ی نقشه توزیعی بارندگی،

Archive of SID

www.SID.ir

مقدار بارندگی برای هر سلول به‌صورت همگن فرض می‌شود.



شکل2- چهارچوب شبیه مفهومی شبیه GFHM

2- تمامی مقادیر فراسنجها و ورودیها برای هر سلول به‌صورت همگن فرض می‌شود.
3- رواناب در صورتی ایجاد می‌شود که مقدار بارش بزرگتر از 0/2S باشد، S اندازه‌ی تلفات اولیه است.
4- شرایط رطوبتی پیشین خاک تابع مجموع بارش 5 روز قبل در نظر گرفته می‌شود.
5- برای در نظر گرفتن اثر تغییرات پوشش گیاهی بر مقدار CN، پوشش گیاهی به یکی از دوحالت فصل خواب و فصل رشد گیاه فرض می‌شود.
6- از نفوذ عمقی در طول رگبار صرف نظر می‌شود.
7- هدر رفت انتقالی[1] صفر در نظر گرفته شد.
8- نیم‌رخ عرضی رودخانه به‌صورت مستطیلی فرض گردید.
9- رواناب هر سلول فقط به یک سلول مجاور پایین دست منتقل می‌گردد. برای این منظور، از نقشه‌ی Ldd استفاده می‌شود (شکل3).
10- فرض می‌گردد که شیب سطح جریان برابر با شیب کف آن می‌باشد.

محدودیت‌های شبیه

شبیه‌سازی آبشناسی تلاش می‌کند تا با استفاده از ویژگیهای فیزیکی به عنوان دادههای ورودی، با استفاده از مجموعه‌ای از الگوریتمها، تبدیل دادههای ورودی به خروجیهای مناسب، و فرضیات ساده‌سازی مورد نظر، فرایندهای واقعی آبشناسی را شبیه‌سازی کند. محدودیتهای شبیه می‌بایست در طول اجرای شبیه و تفسیر خروجی‌ها مد نظر قرار گیرند.

موارد زیر جزء محدودیتهای اصلی شبیه GFHM می‌باشند.

1- گام زمانی خروجی شبیه دست‌کم برابر با گام زمانی بارش ورودی می‌باشد، و نمی‌تواند گامهای زمانی کوچکتر از گام زمانی بارش ورودی را شبیه‌سازی کند.
2- فرایند ذوب برف و اثر آن بر سیلاب در این شبیه شبیه‌سازی نگردیده است، که این فرایند زمانهایی که پوشش برف در منطقه وجود دارد بر رواناب تأثیر می‌گذارد. این موضع می‌بایست در مناطق کوهستانی و برف‌خیز مورد توجه قرار گیرد.
3- جهت محاسبه بارش مازاد از روش شماره‌ی منحنی استفاده می‌شود، که این روش خود دارای محدودیت-هایی می‌باشد. به عنوان نمونه، این روش جریان زیر قشری را محاسبه نمی‌کند.

[1]- transmission loss

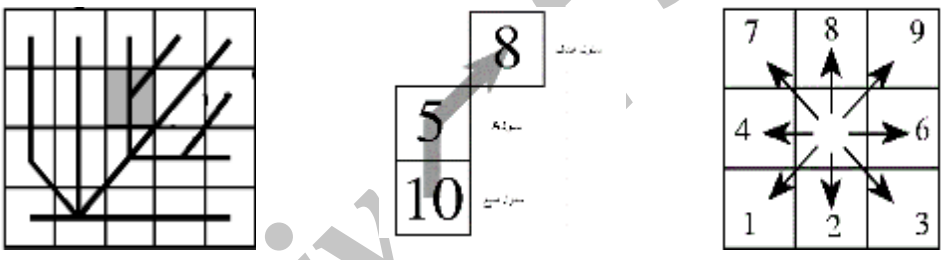
Archive of SID

www.SID.ir

ورودی‌ها و خروجی‌های شبیه

ورودیهای شبیه GFHM را می‌توان در سه گروه نقشه‌ها، جداول و مقادیر عددی فراسنجها طبقه‌بندی کرد.

شبیه توسعه داده شده در این مطالعه همچون بیشتر شبیه‌های توزیعی فیزیکی همچون KINEROS (اسمیت و همکاران، 1995)، SHE (آبووت و همکاران، 1986)، TOPKAPI (لویی و همکاران، 2005) بر اساس ترکیب اطلاعات کاربری اراضی، خاک و پستی و بلندی توسعه داده شده است؛ لذا، نقشه‌هایی همچون نقشه‌ی رقومی ارتفاع، کاربری اراضی و گروه آبشناسی خاک جزو مهمترین ورودیها از نوع نقشه؛ گروه زمانی بارش جزو مهمترین ورودی از نوع جدول؛ مقادیر بیشترین و کمترین ضریب منینگ آبراهه از مهمترین ورودیهای مقادیر عددی شبیه می‌باشند. با توجه به این هدف اصلی از طراحی و توسعه‌ی شبیه GFHM شبیه‌سازی آبنمای سیل حوضه‌ی آبخیز است، بنابراین، اصلیترین خروجی شبیه، آبنمای شبیه‌سازی شده حوضه آبخیز می‌باشد. خروجیهای شبیه دره سه نوع و گروه زمانی، گروه نقشه‌ای و نقشه قرار می‌گیرند. گروه نقشه نقشه‌هایی با قابلیت توزیعی مکانی و زمانی می‌باشند که برای هر سلول، و در هرگام زمانی، در سطح حوضه تهیه می‌شوند. نقشه‌ی توزیعی مکانی - زمانی ارتفاع رواناب و بده‌ی شبیه‌سازی شده جزء مهمترین خروجیهای این گروه می‌باشند. Map نقشه‌های خروجی می‌باشند که در طول اجرای شبیه یک بار ساخته شده و تا انتهای اجرای شبیه از آنها استفاده می‌گردد؛ نقشه‌های Ldd، شیب، شماره‌ی منحنی و ضریب منینگ جزو این گروه می‌باشند.



شکل3- سمت راست: جهت‌های جریان ممکن در یک سلول، وسط: طرحواره جریان در یک مسیر، سمت چپ: نقشه Ldd

فرایند واسنجی

فرایند منظم تنظیم فراسنجهای شبیه را تا هنگامی که داده‌های خروجی انطباق قابل قبولی با داده-های مشاهداتی داشته باشند واسنجی شبیه می‌نامند. این انطباق قابل قبول به‌وسیله‌ی تابع هدف مشخص می‌شود. عمل واسنجی را می‌توان به دو حالت دستی یا خودکار انجام داد. شبیه آبشناسی برنامه‌نویسی شده در این مطالعه دارای دو فراسنج شماره‌ی منحنی و ضریب منینگ جهت واسنجی می‌باشد. جهت انجام واسنجی در این مطالعه از واسنجی دستی استفاده گردید؛ با توجه به این شماره‌ی منحنی تابع پوشش گیاهی، و خود پوشش گیاهی خود نیز تابع فصل می‌باشد، لذا بر اساس تاریخ هر رخداد، عمل واسنجی در چهار فصل بر اساس درصدی از مقدار اولیه واسنجی گردیدند، بطوری که در مراحل بعدی، بر پایه‌ی وقوع هر رخداد، از مقدار بهینه شده در فصل مربوطه استفاده شد.

تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت شبیه اطلاعات مفیدی را درباره‌ی مجموعه داده‌های ورودی مناسب، و همچنین اعتمادپذیری نتایج شبیه‌سازی شده، مهیا می‌نماید (شیخ، 2006؛ شیخ و همکاران، 2010)؛ همچنین، به کاربرد موثر شبیه و برنامه‌ریزی در مورد تحقیقات و اندازه‌گیری‌های آینده کمک می‌کند (سیبرا و اولنبرگ، 2005). در این مطالعه از حساسیت نسبی، SR که به‌صورت رابطه‌ی (12) بیان می‌شود، استفاده گردید:

$$SR = \frac{\partial O / O}{\partial P / P} = \frac{\partial O}{\partial P}\frac{P}{O} \qquad (12)$$

که در آن SR درصد تغییر در خروجی شبیه را برای یک درصد تغییر در فراسنج به‌دست می‌آورد. ضریب حساسیت

Archive of SID

www.SID.ir

نسبی بی بعد بوده، و اهمیت نسبی فراسنج در برابر خروجی در مقایسه با دیگر فراسنجها را نشان می‌دهد (شیخ و همکاران، 2010)؛ بنابراین، می‌توان جهت مقایسه فراسنجها استفاده گردد. از آن‌جا که راه حل تحلیلی معادله (12) برای شبیه‌های آبشناسی مشکل و طاقت فرسا می‌باشد (شیخ و همکاران، 2010)، رویکرد عددی (رابطه‌ی 13) ارائه گردید (کومر و همکاران، 2002):

$$SR = \frac{P}{O}\left(\frac{O_2 - O_1}{P_2 - P_1}\right) \qquad (13)$$

که در آن P_1 و P_2 دو مقدار متفاوت از فراسنج یا متغیر ورودی، O_1 و O_2 به ترتیب خروجیهای مرتبط با P_1 و P_2 در حالتی که دیگر فراسنجها ثابت درنظر گرفته شده باشند. مقادیر P و O نیز به‌صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$P = \frac{P_1 + P_2}{2} \qquad (13)$$

$$O = \frac{O_1 + O_2}{2} \qquad (14)$$

جهت انجام تحلیل حساست از روش یک "فراسنج در هر بار" (OAT)، که ساده‌ترین و متعارفترین روش برای تحلیل حساسیت می‌باشد، استفاده گردید. در این روش حساسیت فراسنج مورد نظر به‌وسیله‌ی تغییر در دامنه‌ی ممکن، در حالتی که بقیه‌ی فراسنجها ثابت باشند، محاسبه می‌شود (سالتلی و همکاران، 2000؛ شیخ و همکاران، 2010). این روش اثرات متقابل و اثرات غیر خطی فراسنجها را مدنظر قرار می‌دهد (شیخ، 2006).

شاخص های ارزیابی کارایی شبیه

با توجه به این‌که استفاده از تابع هدفهای مختلف در فرایند واسنجی آبنمای‌ها می‌تواند نتایج واسنجی را بهبود بخشد (یاپو و همکاران، 1998؛ د وس و رینجس، 2007؛ افترشیدس و کوتسویامی، 2010؛ کرفت و همکاران، 2011). لذا، در این مطالعه، به منظور ارزیابی کارایی شبیه در دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی از شاخصهای ارزیابی مختلف استفاده گردید (جدول 2).

جدول2- مشخصات شاخصهای ارزیابی استفاده شده.

شاخصهای ارزیابی	معادله	مقدار مطلوب
ضریب ناش-ساتکلیف	$C_{NS} = 1 - \sum_{i=1}^{N}(Q_{si} - Q_{oi})^2 \Big/ \sum_{i=1}^{N}(Q_{oi} - \overline{Q_{oi}})^2$	یک
اریبی شبیه در برآورد حجم جریان	$\%RE_V = 1 - \sum_{i=1}^{N} Q_{si} \Big/ \sum_{i=1}^{N} Q_{oi} - 1$	صفر
درصد خطا در بده‌ی اوج	$\%RE_{QP} = 100\left\lvert \frac{Q_{Si}(peak) - Q_{Oi}(peak)}{Q_{Oi}(peak)} \right\rvert$	صفر
ضریب واریانس	$C_{VAR} = \sum_{i=1}^{N}(Q_{si} - \overline{Q_o})^2 \Big/ \sum_{i=1}^{N}(Q_{oi} - \overline{Q_o})^2$	یک
کارایی شبیه در شبیه‌سازی بده های بالا	$ME = 1 - \sum_{i=1}^{N}(Q_{Oi} - \overline{Q_o})(Q_{Si} - Q_{Oi})^2 \Big/ \sum_{i=1}^{N}(Q_{Oi} + \overline{Q_o})(Q_{Oi} - \overline{Q_o})^2$	یک
ضریب تبین	$r^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})(P - \overline{P})_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2}\sqrt{\sum_{i-1}^{n}(P_i - \overline{P})^2}} \right)^2$	یک
ضریب تبین وزنی	$wr^2 = \begin{cases} \lvert b \rvert \times r^2 \ldots\ldots for \ldots b \le 1 \\ \lvert b \rvert^{-1} \times r^2 \ldots. for \ldots. b > 1 \end{cases}$	یک

نتایج و بحث

نتایج حاصل از بررسی آمار سیلابها

جهت تهیه‌ی آمار سیلاب و بارش متناظر، برگه‌های ثبت سیلاب (ایستگاه آبسنجی تقی‌آباد) و ثبت بارش (ایستگاه بارانسنجی فاضل آباد) در دوره‌ی آماری

Archive of SID

www.SID.ir

(1369-1389) از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان تهیه شد. پس از تحلیل داده‌ها، تعداد 18 واقعه‌ی نسبتا مناسب انتخاب گردیدند. رویدادهای مذکور به دو دسته‌ی نه تایی به نحوی تقسیم گردیدند که در هر گروه پراکنش مناسبی از لحاظ تاریخ رخداد، حجم سیل، بده‌ی اوج و زمان تا اوج وجود داشته باشد. از دسته‌ی اول جهت اجرا و واسنجی، و از دسته‌ی دوم برای اعتبارسنجی شبیه آبشناسی تهیه شده استفاده گردید. مشخصات وقایع انتخاب شده در جدول (3) درج گردیده‌اند.

جدول 3- مشخصات وقایع انتخاب شده جهت اجرا، واسنجی و اعتبارسنجی شبیه.

	فراسنج / رویداد	بده‌ی اوج (متر مکعب بر ثانیه)	حجم سیلاب (متر مکعب)	زمان تا اوج (ساعت)	مجموع بارش 5 روز قبل (میلی‌متر)
مرحله‌ی واسنجی	10و1369/8/11	6/484	188/28	18	12
	2و1370/3/4	5/175	241/42	14	27
	16و17و1373/2/18	61/66	3094/78	28	3
	15و1376/7/16	12/497	500/15	18	6/5
	1376/8/2	16/42	487/87	20	15/5
	3و1382/4/4	9/799	451/60	28	5
	15و16و1383/12/17	5/111	279/28	24	3/5
	26و1386/2/25	15/35	1826/9	22	0/5
	12و1388/1/11	7/9	603/72	19	3/5
مرحله‌ی اعتبارسنجی	23و1372/8/24	4/92	148/39	18	8
	27و28و1373/2/29	6/97	454/67	30	1
	3و4و1382/3/5	16/70	698/69	28	4
	12و13و1383/1/14	13/82	156/53	26	0
	1383/12/5	3/85	978/35	14	0
	16و17و1384/2/18	4/38	200/38	18	6
	30و1384/2/31	96/54	2359/44	20	37
	18و1385/8/17	18/17	711/489	22	1
	30و1388/3/29	35/85	1570/5	21	0

نتایج ارزیابی و واسنجی شبیه

پس از تکمیل و نهایی شدن شبیه آبشناسی برنامه‌نویسی شده، شبیه برای رویدادهای دسته‌ی اول اجرا، و واسنجی انجام گردید. همان‌طور که اشاره گردید، شبیه آبشناسی برنامه‌نویسی شده دارای دو فراسنج شماره‌ی منحنی و ضریب مانینگ برای واسنجی می‌باشد. در این مطالعه، جهت انجام واسنجی از واسنجی دستی استفاده گردید، بدین صورت که با توجه به این‌که شماره‌ی منحنی تابع پوشش گیاهی و خود پوشش گیاهی خود نیز تابع فصل می‌باشد، لذا بر اساس تاریخ هر رخداد، عمل واسنجی در چهار فصل جداگانه انجام گردید، بطوری که فراسنجهای شماره منحنی و ضریب مانینگ بر اساس درصدی از مقدار اولیه‌ی واسنجی شدند، که مقادیر فراسنج مزبور برای اجرای بعدی و اعتبارسنجی شبیه در نظر گرفته شدند. جدول (4) مقادیر اولیه‌ی و بهینه شده‌ی این فراسنجها را نشان می‌دهد.

سپس با استفاده از شاخصهای معتبر مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌ای از آبنمای‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده پس از انجام واسنجی در شکل‌های 4 تا 7 ارائه شده است. جدول (5) نیز مقادیر بده‌ی اوج، حجم سیل و زمان تا اوج آبنمای‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی را نشان می‌دهد. به منظور نمایش بهتر کارایی شبیه در شبیه‌سازی جریان، داده‌های آبنمای‌های جریان در اطراف خط 1:1، شکل (8) ارائه شده‌اند. همان‌طور که در این شکلها مشاهده می‌شود، شبیه تهیه شده، بده های حدکثر و زمان تا اوج آبنمای را به خوبی شبیه‌سازی نموده است، ولی در

Archive of SID

www.SID.ir

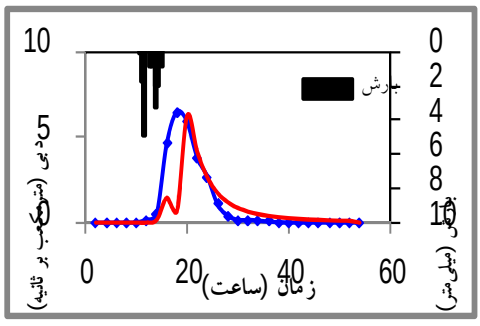
مورد حجم سیلابها، بطور کلی، مقادیر شبیه سازی شده کمتر از مقادیر مشاهداتی می‌باشند.

جدول4- مقادیر اولیه و بهینه شده‌ی فراسنج شماره‌ی منحنی و ضریب مانینگ.

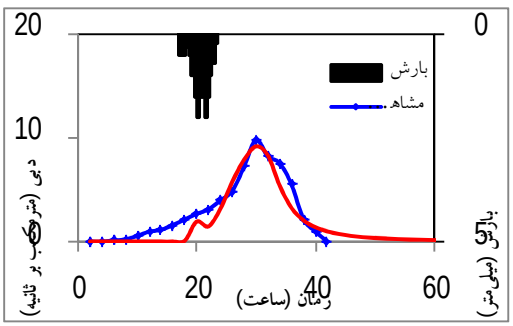
کاربری اراضی	گروه آبشناسی	شماره‌ی منحنی					ضریب مانینگ	
		اولیه	بهینه‌شده				اولیه	بهینه‌شده
			بهار	تابستان	پاییز	زمستان		
مرتع	C	79	77/82	79/79	79	77/42	0/4	0/36
جنگل نیمه متراکم	B	60	59/10	60/60	60	58/8	0/8	0/72
	C	73	71/91	73/73	73	71/54		
جنگل متراکم	B	55	54/18	55/55	55	53/90	0/8	0/72
	C	70	68/95	70/70	70	68/6		
کشاورزی دیم	B	76	74/86	76/76	76	74/48	0/15	0/135
	C	84	82/74	84/84	84	84/32		
کشاورزی آبی	B	72	70/92	72/72	72	70/56	0/2	0/18

جدول5- مقایسه‌ی فراسنجهای آبنمای‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی رویدادهای انتخابی.

رویداد	فراسنج	بده‌ی اوج (متر مکعب بر ثانیه)		حجم سیل (هزارمتر مکعب)		زمان تا اوج (ساعت)	
		مشاهداتی	شبیه‌سازی شده	مشاهداتی	شبیه‌سازی شده	مشاهداتی	شبیه‌سازی شده
10و1369/8/11	1369/8/11و10	6/484	6/720	188/28	161/93	18	20
2و3و1370/3/4	1370/3/4و3و2	5/175	6/680	241/42	163/98	14	20
16و17و1373/2/18	1373/2/18و17و16	61/66	61/467	3094/78	1973/79	28	28
15و1376/7/16	1376/7/16و15	12/497	11/070	500/15	466/02	18	20
1376/8/2	1376/8/2	16/42	12/6	487/87	428/98	20	20
3و1382/4/4	1382/4/4و3	9/799	9/758	451/60	230/50	28	30
15و16و1383/12/17	1383/12/17و16و15	5/111	5/647	279/28	166/41	24	28
25و1386/2/26	1386/2/26و25	15/35	11/19	1826/5	862/016	22	26
12و1388/1/11	1388/1/11و12	7/2	9/2	603/72	410/61	19	23



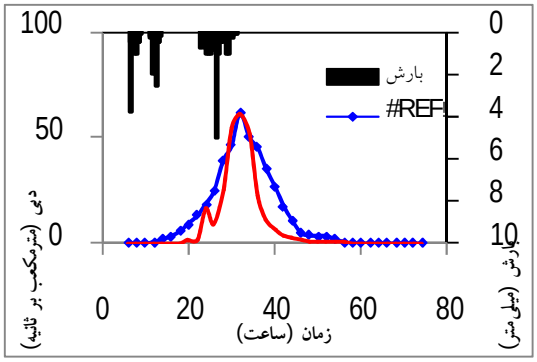
شکل4- آبنمای مشاهداتی و شبیه‌سازی شده‌ی رویداد 10و1369/8/11



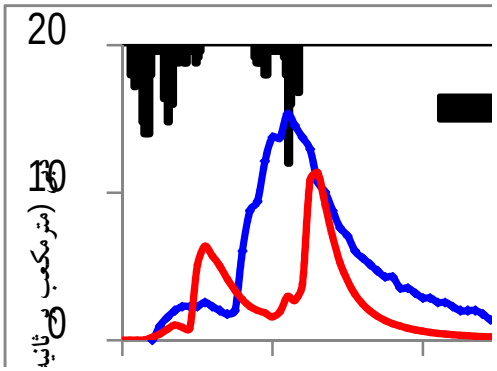
شکل5- آبنمای مشاهداتی و شبیه سازی شده‌ی رویداد 3و1382/4/4

Archive of SID

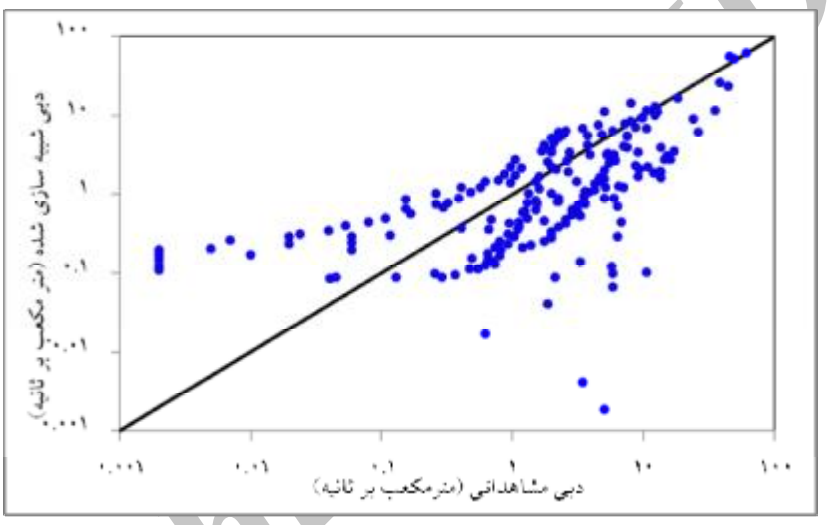
www.SID.ir



شکل6- آبنمای مشاهداتی و شبیه سازی شده‌ی رویداد 16و17و1373/2/18.



شکل7- آبنمای مشاهداتی و شبیه سازی شده‌ی رویداد 25و1386/02/26



شکل8- نمودار لگاریتمی پراکنش داده های بده‌ی مشاهداتی و شبیه سازی شده در مرحله‌ی واسنجی.

نتایج اعتبارسنجی شبیه

پس از فرایند واسنجی شبیه آبشناسی، بـه منظـور اعتبارسنجی آن از 9 رویداد دیگر استفاده شد. نمونه‌هـایی از نتایج اعتبار سـنجی شـبیه در شـکلهای 9و 10 نمـایش داده شده اند. جدول (6) نیز مقادیر بده‌ی اوج، حجم سیل و زمان تا اوج آبنمای‌های شبیه سازی شده و مشاهداتی را نشان می‌دهد.

همان‌طور کـه اشـاره گردیـد، بـه منظـور ارزیـابی کارایی شـبیه در دو مرحلـه‌ی واسـنجی و اعتبارسـنجی از شاخصهای ارزیابی متعددی استفاده گردیده که مقادیر آنها در جدول (7) نشان داده شده اند.

Archive of SID

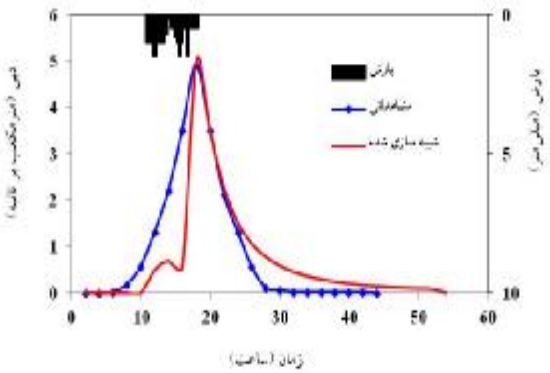
www.SID.ir

جدول6- نتایج اعتبارسنجی شبیه آبشناسی برنامه نویسی شده با رویدادهای مرحله‌ی اعتبارسنجی.

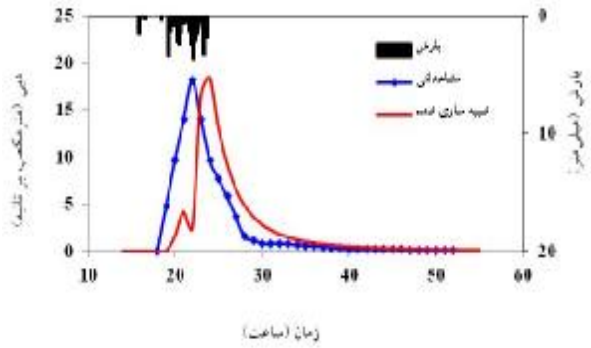
فراسنج رویداد	بده‌ی اوج (متر مکعب بر ثانیه)		حجم سیل (هزار متر مکعب)		زمان تا اوج (ساعت)	
	مشاهداتی	شبیه سازی شده	مشاهداتی	شبیه سازی شده	مشاهداتی	شبیه سازی شده
23و1372/8/24	4/92	4/97	148/39	134/63	18	18
27و28و1373/2/29	6/97	8/34	454/67	230/47	30	26
3و4و5و1382/3/	16/70	18/43	698/69	591/30	28	30
1383/12/5	3/85	3/83	156/53	110/92	14	18
12و13و1383/1/14	13/82	12/77	978/35	489/28	18	20
16و17و1384/2/18	4/38	4/13	200/38	144/57	18	20
30و1384/2/31	96/54	101	2359/44	917/93	20	16
18و1385/8/17	18/17	18/31	711/49	737/259	22	20
30و1388/3/29	35/85	35/08	1570/5	1112/06	21	24

جدول7- مقادیر شاخص کارایی شبیه در دوره‌ی واسنجی و اعتبارسنجی شبیه آبشناسی برنامه نویسی شده.

شاخص کارایی	مرحله واسنجی	مرحله اعتبارسنجی
ضریب ناش- ساتکلیف	0/718	0/777
اریبی شبیه در برآورد حجم جریان	-0/389	-0/226
درصد خطا در بده‌ی اوج	0/313	0/211
ضریب واریانس شبیه‌سازی	0/741	0/844
کارایی شبیه در شبیه سازی بده های بالا	0/831	0/792
ضریب تبین	0/751	0/794
ضریب تبین وزنی	0/547	0/644



شکل9- اعتبار سنجی شبیه با رویداد مورخ 23و1372/8/24.



شکل10- اعتبار سنجی شبیه با رویداد مورخ 18و1385/8/17

نتایج تحلیل حساسیت شبیه

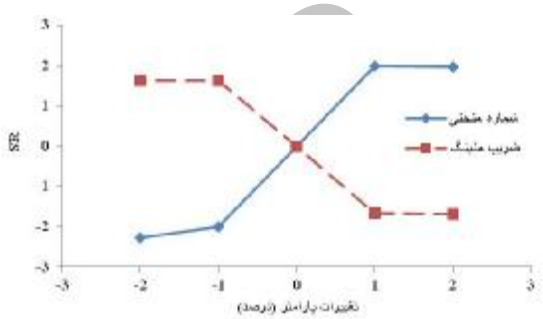
تحلیل حساسیت یک ابزار اساسی و مهم در ساختن، استفاده و ادراک همه‌ی شبیه‌هاست؛ بنابراین، یکی از گامهای اصلی شبیه‌سازی آبشناسی می‌باشد. در این مطالعه جهت بررسی تحلیل حساسیت از رابطه‌ی (13) و روش یک "فراسنج در هر بار" (OAT)، که یکی از ساده‌ترین و متعارفترین روش برای تحلیل حساسیت می‌باشد، استفاده گردید. در این روش حساسیت فراسنج مورد نظر به‌وسیله‌ی تغییر در دامنه‌ی ممکن در حالتی که بقیه فراسنجها ثابت باشند محاسبه می‌شود. در این مطالعه فراسنجهای شماره‌ی منحنی و ضریب منینگ به میزان 1 و 2 درصد مقدار بهینه شده کاهش و افزایش داده شدند، سپس حساسیت این فراسنجها در مورد اوج و حجم سیلاب بررسی گردید. نتایج نشان دادند که مقادیر

www.SID.ir

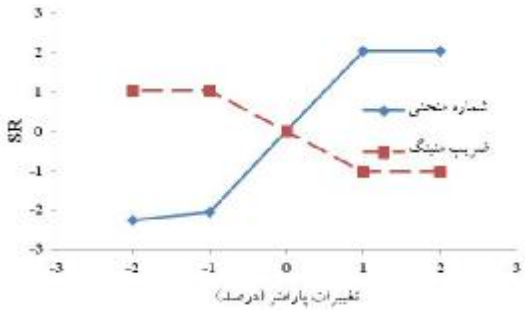
حساسیت نسبی فراسنج شماره‌ی منحنی تقریبا دو برابر فراسنج ضریب منینگ می‌باشد. شکلهای 11 و 12، و جدول (8) نتایج تحلیل حساسیت را نشان می‌دهند.

جدول8- حساست نسبی فراسنجها بر بده‌ی اوج و حجم سیل.

فراسنج	درصد تغییرات	2	1	-1	-2
شماره‌ی منحنی	بده‌ی اوج	1/978	1/996	-1/993	-2/28
	حجم سیل	2/017	2/026	-2/043	-2/262
ضریب منینگ	بده‌ی اوج	-1/694	-1/658	1/643	1/627
	حجم سیل	-1/032	-1/031	1/031	1/030



شکل11- حساسیت نسبی فراسنجهای شماره منحنی و ضریب منینگ بر بده‌ی اوج.



شکل12- حساسیت نسبی فراسنجهای شماره منحنی و ضریب منینگ بر حجم سیل

نتیجه گیری

بحث همانندسازی آبشناسی برای مدیریت منابع آب، مدیریت حوضه‌ی آبخیز و افزایش درک و دانش نسبت به چرخه‌ی آبشناسی یک نیاز اجتناب ناپذیر است. شبیه‌سازی آبشناسی از دهه‌های گذشته در بیشتر مناطق دنیا شروع شده و ادامه دارد؛ متأسفانه در ایران به این موضوع کمتر پرداخته شده، و بیشتر در مورد اجرا و ارزیابی شبیه‌های وارداتی تمرکز نموده اند. با توجه به اینکه این نوع از شبیه‌ها بر اساس دادههای منطقه خاصی توسعه داده می‌شوند، استفاده و کاربردی کردن آنها برای مناطق مختلف ایران مشکلاتی را به وجود می‌آورد؛ لذا، اقدام و تلاش برای ساخت و توسعه‌ی شبیه‌های توزیعی مکانی و زمانی سازگار با مناطق ایران، و با آگاهی از امکانات و محدودیتهای ناحیه‌ای/ منطقه‌ای/ کشوری، یک ضرورت به‌شمار می‌رود. لذا، در این مطالعه با توجه به امکانات و محدودیتهای حوضه‌ی جعفرآباد اقدام به توسعه و ساختن شبیه توزیعی آبشناسی گردید. شبیه (GIS-based Flood Hydrograph Modeling GFHM، یک شبیه آبشناسی توزیعی مکانی و زمانی می‌باشد که با استفاده از زبان شبیه‌سازی محیط زیستی PCRaster بر اساس نقشه‌های DEM، کاربری اراضی، نوع خاک، و همچنین داده‌های بارش حوضه‌ی آبخیز جعفرآباد توسعه داده شده است.

با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی کارایی شبیه در دو مرحله‌ی واسنجی و اعتبارسنجی با این شاخصها، می‌توان بیان داشت که شبیه آبشناسی برنامه نویسی شده دقت قابل قبولی در شبیه سازی آبنمای سیل دارد، ولی در مورد حجم سیلابها، بطور کلی، مقادیر شبیه‌سازی شده کمتر از اندازه‌های مشاهداتی می‌باشند. میزان ضریب ناش- ساتکلیف 0/718 در مرحله‌ی واسنجی و 0/777و در مرحله‌ی اعتبارسنجی دقت قابل قبول این شبیه را شبیه سازی آبنمای سیل تصدیق می‌کند. مصطفی زاده (1387) نیز با استفاده از شبیه HEC-HMS نتایج مشابهی را در شبیه‌سازی آبنمای سیل حوضه‌ی جعفرآباد به‌دست آورده است (ضریب ناش- ساتکلیف 0/67 در مرحله‌ی واسنجی و 0/78در مرحله‌ی اعتبارسنجی). البته میزان ضریب ناش- ساتکلیف به‌دست آمده در آن مطالعه نسبتاً کم بود. نامبرده علت پایین

Archive of SID

www.SID.ir

بودن نسبی ضریب ناش- ساتکلیف را در مطالعه‌ی خود به اختلاف مرحله‌ی زمانی میان آبنمای‌های شبیه‌سازی شده و آبنمای‌های مشاهداتی نسبت داده است. نتایج این مطالعه نیز همانند مطالعه‌ی مصطفی زاده (1387) نشان دادند که یک اختلاف مرحله‌ای زمانی میان آبنمای‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی، بویژه در زمان تا اوج‌ها آبنما وجود دارد. نتایج تحلیل حساسیت شبیه نشان دادند که مقادیر حساسیت نسبی فراسنج شماره‌ی منحنی تقریبا دو برابر فراسنج ضریب منینگ می‌باشند.

در پایان، با توجه به ویژگیهای شبیه، قابلیت تهیه‌ی نقشه‌های توزیعی زمانی و مکانی بارش و رواناب، و با توجه به فرضیات و محدودیتهای شبیه، به نظر می‌رسد که شبیه GFHM جهت شبیه سازی آبنمای سیل رگبارها و مدیریت یکپارچه‌ی آبخیزها مناسب است. البته، باید در آینده در بهبود محدودیتها و افزایش کارایی‌های شبیه کوشید.

منابع

1- مصطفی زاده، ر. 1387. شبیه‌سازی تاثیرات آبشناسی سازه های اصلاحی به منظور ارزیابی ستاریوهای سازه ای کنتر سیل در آبخیز جعفرآباد. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. 108 صفحه

2- Abbott, MB., Bathurst, JC., Cunge, JA., O'Conell, PE., Rasmussen, EA . 1986. An introduction to the European Hydrological Model "SHE" – System Hydrology Europe. Journal of Hydrology. 87:45-77.

3- Amaguchi, H., Kawamura, A., Olsson,J. and Takasaki, T. 2012. Development and testing of a distributed storm runoff event model with a vector-based catchment delineation. Hydrol. 420–421: 205–215.

4- Andjelkovic, I. 2001. Guidelines on non-structural measures in urban flood management. Inter Hydrolo Progr. Technical Document in Hydrology. 50.

5- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S. and Williams, J. R.1998. Large area hydrologic modeling and assessment. Part I: Model development. J. of the Am. Water Resour Assoc. 34: 73-89.

6- Bahremand, A. 2006. Simulation the effect of reforestation on floods using spatially distributed hydrology modeling and GIS. Ph.D. thesis. Vrije Universiteit Brussel. Belgium, 150 p.

7- Beven, K. 2001. Rainfall-runoff modelling. The primer. John Wiley and Sons. Chichester, UK.

8- Beven, K., and Kirkby, M. 1979. A physically based variable contributing area model of basin hydrology. Hydrol Sci. Bull. 24: 43-69.

9- Boughton, W., and Chiew, F. 2007. Estimating runoff in ungauged catchments from rainfall, PET and the AWBM model. Environ. Model. & Software 22: 476-487.

10- Burrough, P. A., 1998. Dynamic Modelling and Geocomputation. In: Longley, P.A., Brooks, S .M., McDonnel, R., MacMillan, B. (Eds.), Geocomputation: A Primer. Wiley, Chichester, pp. 165–191.

11- Buytaert, W., Reusser, D., Krause, S. and Renaud, J. P. 2008. Why can't we do better than Topmodel? Hydrol. Proc 22: 4175-4179.

12- Chao, V. T. 1959 .Open channel hydraulics. McGrawHill, New York.

13- Chen, C. L. 1982. Infiltration formulas by curve number procedure. J. Hydr. Div., ASCE 108: 823–829.

14- Cowan, W. L., 1956, Estimating hydraulic roughness coefficients. Agricultural Engineering. 37: 473-475.

15- Cuartas, L., Tomasella, J., Nobre, A., Nobre, C., Hodnettc, G., Waterloo, J., Oliveira, S., de Cássia, R., Trancoso, R. and Ferreira, M. 2012. Distributed hydrological modeling of a micro-scale rainforest watershed in Amazonia: Model evaluation and advances in calibration using the new HAND terrain model. J. of Hydrol. 462–463:15–27.

Archive of SID

www.SID.ir

16- De Doncker, Troch, L., Verhoeven, P. R., Buis, K., Desmet, N. and Meire, P. 2009. Importance of Manning's coefficient for the calibration of the coupled Strive model. River Res Appl. 9: 549-567.
17- De Roo, Hazelhoff, A., L. and Burrough, P. A. 1989. Soil erosion modelling using 'ANSWERS' and Geographical Information Systems. Earth Surface. Processes and Landforms 14: 517-532.
18- De Roo, A., Wesseling, C. and Ritsema, C. 1996. LISEM: a single event physically-based hydrologic and soil erosion model for drainage basins. I: Theory, input and output. Hydrol. Processes. 10: 1107-1117.
19- De Roo, A., Wesseling, C. and Van Deursen, W. P. A. 2006. Physically-based river basin modelling within a GIS: The LISFLOOD Model. http://www.geocomputation.org/1998/06/gc_06.htm
20- De Vos, N.J. and Rientjes, T.H.M., 2007. Multi objective performance comparison of an artificial neural network and a conceptual rainfall–runoff model. Hydrological Sciences Journal, 52(3):3 97–413
21- Genovese, E., 2006. A Methodological approach to land use-based flood damage assessment in urban areas: Prague Case Study. Mission of the Institute for Environment & Sustainability, European Commission. Pp. 39.
22- Hjelmfelt, A. T. 1980. Curve-number procedure as infiltration method. J. Hydr. Div, ASCE 106: 1107–1110.
23- Hydrologic Engineering Center (HEC). 1998. HEC-1 Flood Hydrograph Package. User's Manual. CPD-1A. Version 4.1. US Army Corps of Engineers, Davis. CA. 434 p.
24- IPCC. 2007. Summary for policymakers. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Pp. 11.
25- Karimi, H. A., and B. H. Houston. 1997. Evaluating strategies for integrating Environmental models with GIS: Current trends and future needs. Computer, environment and urban systems. Elsevier Science Ltd. 20: 413-425.
26- Karssenberg, D. 2002. The value of environmental modelling languages for building distributed hydrological models. Hydrol. Processes,16: 2751–2766.
27- Karssenberg, D., O. Schmitz, P. Salamon, K. De jong, and M. Bierkens. 2010. A software framework for construction of process-based stochastic spatio-temporal models and data assimilation. Environ, Model. & Software 25: 489–502.
28- Karssenberg, D.J. 1996, Manual PCRaster version2, Dept. Physical Geography, Utrecht University, Utrecht, Netherlands.
29- Kite, G., E. Ellehoj, and A. Dalton. 1996. GIS for large-scale watershed modelling. In: Singh, V.P. and Fiorentino, M. (eds.). Geographical Information Systems in Hydrology. Kluwer, p 443.
30- Kraft, P., B. Kellie, Frede, H. and Breuer, L. 2011. CMF: A hydrological programming language extension for integrated catchment models. Environ. Model. & Software. 26(6): 828-830.
31- Kumar, R., Chatterjee, C., Lohani, A. K., Kumar, S. and Singh, R.D. 2002. Sensitivity analysis of the GIUH based Clark model for a catchment. Water Resour. Manage. 16: 263–278.
32- Liu, Y. B., and De Smedt, F. 2004. WetSpa Extension, documentation and user manual, department of hydrology and Hydraulic Engineering, Vrije Universiteit Brussel, Brussels.
33- Lull, H.W. 1964. Ecological and silvicultural aspects 6.1- 6.30, In: Ven

Archive of SID

www.SID.ir

Te Chow (ed.), Handbook of applied hydrology, McGraw-Hill. New York.
34- Morgan, R. P. C. 1995. Soil erosion and conservation. 2nd ed, Longman Group Unlimited, London, UK. 198p.
35- NRCS. 2004. Estimation of direct runoff from storm rainfall. Part 63. Hydrology National Engineering Handbook. United States Department of Agriculture.Pp. 51.
36- PCRaster Team, 2011. PCRaster documentation. Release 3.0.1. Dept. Physical Geography, Utrecht University, Utrecht, the Netherlands.
37- Reed, S., Schaake, J. and Zhang, Z. 2007. A distributed hydrologic model and threshold frequency method for flash flood forecasting at ungagged locations. J. Hydrol. 337: 402-420.
38- Rowe, L. K. 1983. Rainfall interception by an evergreen beech forest. J. Hydrol. 66: 143-158.
39- Saltelli, A., Chan, K. and Scott, E. M. 2000. Sensitivity analysis Wiley series in probability and statistics. John Wiley & Sons. Chichester, England. 427p.
40- Scharffenberg, W., and Fleming, M. 2010. Hydrologic modeling system HEC-HMS v3.2 user's manual. Davis, USA, USACE-HEC.
41- Sheikh, v., 2006. Soil Moisture Prediction: Bridging Event and Continuous Runoff Modelling. Phd Thesis. Wageningen-UR. The Netherlands. 192pp.
42- Sheikh, V., Van Loon, E., Hessel, R. and V. Jetten. 2010. Sensitivity of LISEM predicted catchment discharge to initial soil moisture content of soil profile. J. Hydrol. 393: 147-185.
43- Sheikh, V., Visser, S. and L. Stroosnijder. 2009. A simple model to predict soil moisture bridging eEvent and continuous Hydrological (BEACH) modeling. Environ. Model. and Software 24: 542 – 556.
44- Sieber, A., and Uhlenbrook, S. 2005. Sensitivity analyses of a distributed catchment model to verify the model structure. J. of hydrol. 310: 216–235.
45- Singh, V. P. 1995. Watershed modeling. (Chapter 1) In: Singh, V.P. (ed.). Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources Publications. Colorado. US.
46- Smith, R. E. 1976. Approximations for vertical infiltration. Trans. ASAE 19: 505–509.
47- Smith, R.E., Goodrich, D.C., Woolhiser, D.A., and Unkrich, C.L., 1995, KINEROS - A kinematic runoff and erosion model. Chap. 20 of Computer Models of Watershed Hydrology, Singh, V. J., Ed., Water Resources Pub., Highlands Ranch, Colo., pp. 697-732.
48- Spears, D. D. 1995. SSARR model. (Chapter 11). In: Singh, V. P. (Ed.), Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources Publications. Colorado. US
49- Sugawara, M., 1974. Tank Model with snow component. National Research Center for Disaster Prevention. Japan . 293p.
50- Takasao, T., Shiiba, M., Tachikawa, Y. 1989. Quasi-three-dimensional slope runoff model taking account of Topography of a natural watershed and automatic generation of a basin(in Japanese), Proc. Japanese Conf. on Hydraul., 33, 139-144.
51- Thomas, M., D. King, D. Keogh, A. Apan, and S. Mushtaq. 2011. Resilience to climate change impacts: a review of flood mitigation policy in Queensland, Australia. The Aust J. Emergency Manage. 26: 8-17.
52- United Nations. Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2010. World Urbanization Prospects: The 2009 Revision. http://esaun.org/unpd/wup/index.htm. Data in digital form (POP/DB-/WUP/Rev.2009) (last consulted March 2012).

Archive of SID

www.SID.ir

53- Van Deursen, W.P.A., C. Wesseling, and D. Karssenberg. 2000. How do we gain control over GIS technology? In: Parks, B.O., Clarke, K.M., Crane, M.P. (Eds.), Int. Conf. Integrating G. I. S. and Environ. Model. Problems, Prospectus, and Needs for Research. Boulder: University of Colorado – Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences, Denver: US Geologic Survey – Center for Biological Informatics, and Boulder: NOAA National Geophysical Data Center - Ecosystem Informatics. Banff, Canada.

54- Van Dijck, S. 2000. Effects of agricultural land use on surface runoff and erosion in a Mediterranean area. PhD Thesis. Utrecht University. the Netherlands. Netherlands Geographic Studies Issue: 256-263.

55- Wan Deursen, WPA. 1995. Geographical Information Systems and Dynamic Models: Development and application of a prototype spatial modelling language. PhD Thesis, Utrecht University, The etherlands. Netherlands Geographic Studies, Issue 190, p206.

56- Wesseling, C. G., Karssenberg, D., Burrough, P. A. and W. P. A. Van Deursen. 1996. Integrated dynamic environmental models in GIS: The development of a dynamic modelling language. Trans. GIS.1: 40-48.

57- Worboys, M., 1996. GIS: A computing perspective. Taylor and Francis. London, UK.

58- Yapo, P.O., Gupta, H.V. and Sorooshian, S., 1998. Multi-objective global optimization for hydrologic models. Journal of Hydrology, 204, 83–97.

59- Zhao, G., Hormann, G., Fohrer, N., Gao, J., Li, H. and Tian, P. 2011. Application of a simple raster-based hydrological model for stream flow prediction in a humid catchment with polder systems. Water Resour: Manage. 25: 661–676.

60- Zinke, P.J, 1967. Forest interception studies in the United States. pp.137-161. In: W.E. Sopper and H.W. Hull (eds.). International Symposium on Forest Hydrology, Pergamon Press, Oxford

Archive of SID

www.SID.ir