دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

ارزیابی رواناب مستقیم مستخرج از مدل‌های آبنمود واحد لحظه‌ای تبدیل لاپلاس و H2U (مطالعه موردی: حوزه آبخیز خانمیرزا)

ز. عبدالهیان دهکردی[۱]، خ. عبداللهی[۲]، س. ج. ساداتی نژاد[۳]، ا. هنربخش[۴] و م. نکویی مهر[۵]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه شهرکرد، نویسنده مسئول: Abdollahianz@gmail.com
۲- دانشجوی دکترای، دانشگاه VUB بروکسل
۳ و ۴- دانشیار و استادیار دانشگاه شهرکرد
۵- مربی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری
تاریخ دریافت: ۹۰/۱۲/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۱/۶/۲۰

چکیده

استخراج آبنمود رواناب مستقیم، به عنوان یکی از مهمترین روش‌ها جهت ارزیابی وضعیت آبی حوزه‌های آبخیز مطرح می‌باشد. با توجه به نقص کمی و کیفی آمار ایستگاه‌های هیدرومتری، مدل‌های آبنمود واحد مصنوعی و به ویژه نوع لحظه‌ای آن‌ها جهت دستیابی به آبنمودهای مذکور کاربرد دارند. عملکرد مدل‌های آبنمود واحد لحظه‌ای تبدیل لاپلاس و H2U تاکنون در ایران ارزیابی نشده است لذا در مطالعه حاضر، این مدل‌ها در حوزه آبخیز خانمیرزا از توابع استان چهارمحال و بختیاری مورد بررسی قرار گرفتند. بدین ترتیب که ۷ رخداد متناظر بارش- رواناب برای حوزه آبخیز مطالعاتی انتخاب گردید و سپس مدل تبدیل لاپلاس با استفاده از باران مؤثر و زمان تأخیر و مدل H2U با استخراج پارامترهای رتبه و میانگین زمان پیمایش حوزه آبخیز اجرا شدند. سپس با تبدیل آبنمودهای واحد لحظه‌ای به دست آمده از مدل‌ها به آبنمودهای رواناب مستقیم، امکان مقایسه آنها با آبنمودهای مشاهده‌ای فراهم گردید. با انجام مقایسه آماری آبنمودها مشخص شد که مدل‌های تبدیل لاپلاس و H2U به ترتیب دارای میانگین مطلق خطای نسبی ۰/۳۶ و ۰/۵۶ هستند. بنابراین مدل تبدیل لاپلاس، آبنمودهای مشاهداتی را با دقت بیشتری نسبت به مدل H2U شبیه‌سازی نموده که ضریب کارایی ناش- ساتکلیف، معیار انحراف و ارزیابی ظاهری نیز این اولویت‌بندی را تأیید می‌کنند.

واژه های کلیدی: آبنمود واحد لحظه‌ای، تبدیل لاپلاس، خانمیرزا، H2U

مقدمه

سیلاب یکی از پدیده‌های پیچیده و مخرب طبیعی است که هر ساله خسارات فراوانی را به دنبال داشته و از این‌رو بررسی آن به عنوان یکی از مهمترین بخش‌های پروژه‌های منابع آب و هیدرولوژی مطرح می‌باشد. تعداد

Archive of SID

www.SID.ir

سیلاب‌های مهم کشور ایران در دهه چهل، ۲۰۲ در دهه شصت، ۳۴۹ و در دهه هفتاد، ۴۸۱ مورد بوده که این ارقام نشان‌دهنده آنست که طی ۴۰ سال، تعداد سیلاب‌های مهم دهه آخر ۲/۴ برابر اولین دهه شده است (۶). جهت پیش‌بینی وقوع سیلاب و کاهش خطرات ناشی از آن توجه به رخدادهای بارش- رواناب حوزه‌های آبخیز ضروری است، از سویی دیگر فقدان آمار مناسب، لزوم استفاده از روش‌های شبیه‌سازی بارش-رواناب در قالب مدل‌های هیدرولوژیکی را اجتناب ناپذیر می‌کند. طبق نگرش سیستمی، خروجی حوزه آبخیز تابعی از رفتار هیدرولوژیک آن در برابر ورودی است که این اصل، به همراه تنوع فاکتورهای مؤثر در فرآیند بارش- رواناب عامل رواج انواع مدل‌ها شده است (۴). ساختار هر مدل براساس هدف، رفتار سیستم هیدرولوژیک و داده‌های قابل دسترس تعیین می‌شود (۲۰).

شایان ذکر است که فرآیند بارش- رواناب از دهه ۱۹۳۰ مدل‌سازی شده و تاکنون تلاش‌های زیادی در راستای شناخت رفتار سیستم حوزه آبخیز در قالب مدل‌های هیدرولوژیکی صورت گرفته است. یکی از کارآمدترین روش‌ها جهت بررسی وضعیت آبی حوزه‌های آبخیز، استفاده از آبنمود سیلاب و به ویژه آبنمود واحد[1] می‌باشد. مفهوم آبنمود واحد نخستین بار در سال ۱۹۳۲ توسط مهندس آمریکایی به نام شرمن ارائه گردید (۲). آبنمود واحد به عنوان آبنمود شاخص حوزه آبخیز محسوب می‌شود و ارتفاع رواناب مربوط به آن که از تقسیم حجم سیلاب به سطح حوزه آبخیز به دست می‌آید، برابر یک واحد می‌باشد. رابطه میان داده‌های بارش- رواناب در تئوری آبنمود واحد براساس آنالیز سیستم‌های خطی استوار است (۱۱ و ۲۱).

عدم وجود یا نقص کمی و کیفی آمار ایستگاه‌های هیدرومتری به منظور تهیه آبنمود واحد، لزوم استفاده از روش‌های آبنمود واحد مصنوعی[2] را مشخص می‌کند. قابل توجه است که روش آبنمود واحد لحظه‌ای[3] به دلیل مستقل بودن از تداوم بارش مؤثر و عدم محدودیت نسبت به توزیع یکنواخت بارش در مقایسه با سایر آبنمودهای واحد مصنوعی به عنوان راه حل مطلوبی مطرح می‌باشد. به بیانی دقیق آبنمود واحد لحظه‌ای عبارتست از آبنمود واحد فرضی حاصل از بارندگی مؤثری به عمق واحد که در مدت زمان بسیار کوتاه و حتی نزدیک به صفر رخ می‌دهد. مدل‌های متعددی برای تهیه آبنمود واحد لحظه‌ای وجود دارد که مفهوم همگی آن‌ها براساس اصول مخازن خطی استوار بوده، دقت و میزان کارایی آن‌ها برای حوزه‌های آبخیز مختلف، متفاوت است.

مفهوم آبنمود واحد لحظه‌ای نخستین بار توسط کلارک (۳) مطرح شد. چنانچه مخزنی خطی در انتهای رودخانه فرض شده و با استفاده از یک واحد بارش مؤثر به صورت لحظه‌ای، منحنی زمان- سطح در میان آن روندیابی شود، جریان خروجی حاصل از این روند بی، آبنمود واحد لحظه‌ای کلارک نام می‌گیرد. همچنین برای تعیین آبنمود واحد لحظه‌ای می‌توان از روش تبدیل لاپلاس استفاده نمود. در این مدل، حوزه آبخیز به

1- Unit hydrograph 2- Synthetic unit hydrograph 3- Instantaneous unit hydrograph

Archive of SID

www.SID.ir

عنوان یک مخزن خطی در نظر گرفته شده و براساس باران مؤثر و زمان تأخیر، آبنمود واحد لحظه‌ای به دست می‌آید. نش (۱۷)، مدلی مفهومی برای یک حوزه آبخیز به صورت n مخزن سری ارائه داد که در آن هر کدام از مخازن دارای رابطه خطی ذخیره- دبی می‌باشند. این روش روندیابی، حالت خاصی از روش ماسکینگام بوده و با استفاده از تابع گاما قابل حل است. رودریگوئزایتورب و والدز (۱۹) براساس ارتباط عوامل ژئومورفولوژی، اقلیمی و هیدرولوژی روشی تحت عنوان آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی ارائه نمودند. همچنین دوهسن و همکاران (۵) مدل H2U[1] را بر پایه رتبه و میانگین زمان پیمایش حوزه آبخیز، در فرانسه پیشنهاد نمودند.

اهمیت آبنمود واحد لحظه‌ای در پیش بینی سیلاب‌ها و همچنین گرایش هیدرولوژیست‌ها در بهره‌گیری از مدل‌های تهیه این نوع آبنمود، موجب انجام تحقیقات زیادی جهت تعیین کارآیی و مقایسه این مدل‌ها شده‌است. برای نمونه، جانسون (۱۲) آبنمودهای واحد لحظه‌ای ۴۰ رخداد بارش- رواناب منطقه آشبروک[2] انگلستان را با استفاده از مدل تبدیل لاپلاس شبیه سازی نمود. موسی (۱۵) مدل جدیدی را با استفاده از مدل ژئومورفولوژی، مدل رقومی ارتفاع (DEM)[3] و همچنین تابع تبدیل لاپلاس بسط داده و آن را برای ۵ رخداد بارش- رواناب سال‌های ۱۹۸۴- ۱۹۷۷ در ۷ زیر حوزه آبخیز منطقه گاردن[4] واقع در جنوب فرانسه مورد بررسی قرار داد. دوهسن و همکاران (۵) مدل H2U را در دو حوزه آبخیز جنوب فرانسه و یک حوزه آبخیز شهری در نزدیکی پاریس مورد بررسی قرار داده و اعلام کردند که در شرایط مختلف از نظر سرعت آبراهه، شدت بارش، رتبه حوزه آبخیز این مدل نیازی به کالیبراسیون ندارد. گاتوت و همکاران (۸) در دو حالت وجود و عدم وجود سیستم تراس‌بندی در حوزه آبخیز کالی گرنگ[5] اندونزی اقدام به کالیبراسیون مدل H2U جهت شبیه سازی وقایع بارش- رواناب نمودند. رودریگوئز و همکاران (۱۸) با توجه به عدم وجود داده‌های هیدرولوژیکی برای اغلب حوزه‌های آبخیز شهری در کشور فرانسه، مطالعه‌ای را جهت تعیین میزان کارآیی مدل H2U انجام دادند. فلورانت و همکاران (۷) با استفاده از مدل رقومی ارتفاع، مدل جدید آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی را براساس تبدیل لاپلاس برای حوزه آبخیز بوندر[6] در اندونزی و سینت میشل[7] در فرانسه ارائه نمودند. لی و چنگ (۱۴) جهت بررسی میزان کارآیی مدل نش با استفاده از تبدیل لاپلاس و میزان تأثیر ضریب ذخیره، به بررسی ۱۷ رخداد بارش- رواناب در سه حوزه آبخیز کشور چین پرداخته و اعلام نمودند که روش پیشنهادی دارای ضریب کارایی اندکی بیشتر و قدر مطلق خطای نسبی کمتر نسبت به مدل اصلی نش می‌باشد.

با توجه به اینکه استان چهارمحال و بختیاری با وضعیت توپوگرافی شدید و مساحتی معادل ۱ درصد مساحت ایران، علی‌رغم دارا بودن حدود ۱۰ درصد از منابع آبی کشور با معضل سیلاب روبرو است و از آنجا که مدل‌های آبنمود واحد لحظه‌ای تبدیل لاپلاس و H2U تاکنون در این استان ارزیابی

1- Hydrogramme Unitaile Universel 2- Ashbrook 3- Digital Elevation Model
4- Gardon 5- Kali Garang 6- Bunder 7- Saint-Michel

Archive of SID

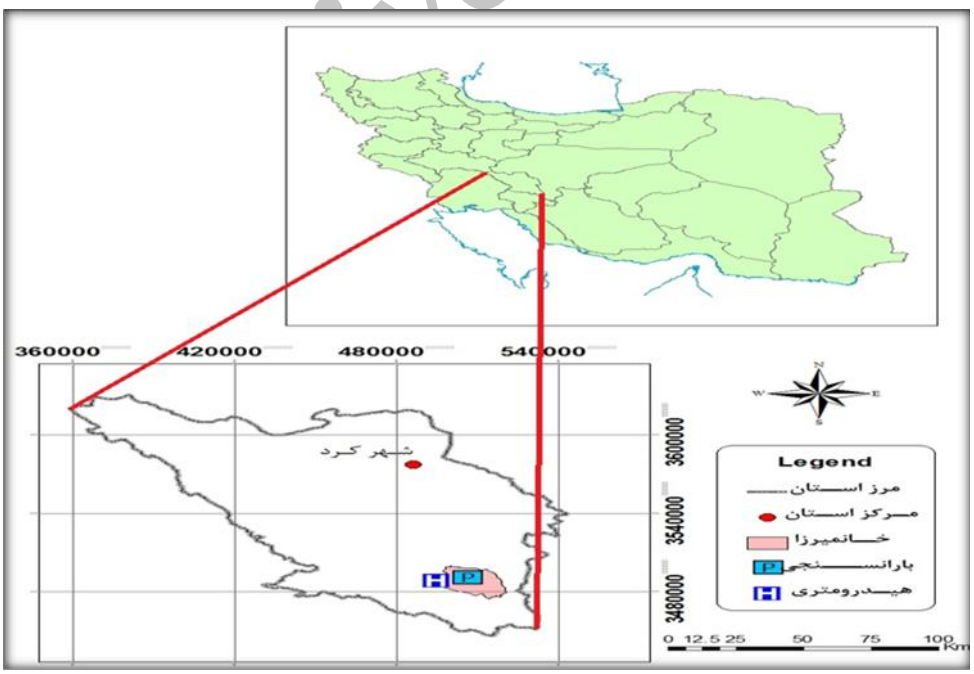
www.SID.ir

نشده‌اند، لذا به منظور آزمون کارآیی این دو مدل در ارزیابی‌های هیدرولوژیک، شناخت تجربی و عینی نارسایی‌ها و نقاط ضعف احتمالی آن‌ها از طریق مقایسه آبنمود حاصل از آنها با آبنمود مشاهده‌ای، این پژوهش درحوزه آبخیز خانمیرزا از توابع این استان انجام شد.

مواد و روش‌ها

استان چهارمحال و بختیاری با مساحت ۱۶۵۳۳ کیلومتر مربع در غرب کشور ایران قرار گرفته و حدود ۵۲٪ از سطح حوزه آبخیز کارون در این محدوده سیاسی واقع شده است. مطالعه حاضر در حوزه آبخیز خانمیرزا که یکی از زیر حوزه‌های آبخیز مهم کارون شمالی می‌باشد، انجام شده است. این حوزه آبخیز در جنوب شرقی استان مذکور و در ۷۱ کیلومتری شهرستان بروجن قرار دارد.

حوزه آبخیز خانمیرزا با مساحت ۳۹۱/۱۶ کیلومتر مربع، بین طول جغرافیایی ۴۹۲۰۷۵ و ۵۲۸۵۳۰ و عرض جغرافیایی ۳۴۷۰۹۸۰ و ۳۴۹۸۹۱۰ سیستم مختصات UTM واقع شده است. بارندگی متوسط سالانه این حوزه آبخیز ۷۵۰-۵۰۰ میلی‌متر است که ۹۷٪ آن مربوط به ماه‌های آبان تا اردیبهشت می‌باشد. ایستگاه باران‌سنجی ثبات آلونی در نزدیکی مرکز ثقل و ایستگاه هیدرومتری زرین درخت بر روی رودخانه خانمیرزا در انتهای حوزه آبخیز مطالعاتی، جهت تهیه آمار بارش- رواناب مناسب تشخیص داده شدند. موقعیت حوزه آبخیز خانمیرزا در کشور و استان چهارمحال و بختیاری، در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز خانمیرزا در کشور و استان چهارمحال و بختیاری.

Archive of SID

www.SID.ir

با استفاده از آمار ایستگاه باران‌سنجی آلونی و ایستگاه هیدرومتری زرین درخت، برای حوزه آبخیز خانمیرزا ۶۰ رخداد همزمان بارش- رواناب استخراج گردید. قابل ذکر است که وقایع انتخابی هنگامی قابل استفاده در مدل‌های هیدرولوژیکی هستند که دارای آبنمود ایزوله و صاف، نقطه اوج مشخص و منحصر به فرد و توزیع یکنواخت مکانی و زمانی بارش باشند که با توجه به این ویژگی‌ها ۷ رخداد بارش- رواناب برگزیده شد.

جهت جداسازی آب پایه از روش ترسیم خط مستقیم بین نقاط ابتدایی و انتهایی آبنمود سیلاب‌ها استفاده و بدین ترتیب آبنمود رواناب مستقیم با فواصل زمانی یک ساعته استخراج گردید. همچنین برای تهیه باران‌نمای[1] بارش مؤثر در این مطالعه از شاخص پر کاربرد Φ در فواصل زمانی ۰/۵ ساعته استفاده شد.

مدل تبدیل لاپلاس

عملگر دیفرانسیل $D = d/dt$ در رابطه همبستگی مخزن خطی عبارتست از:

$$Q=\frac{1}{1+KD}I(t)\Rightarrow Q=e^{-tlK}\int e^{tlK}Idt \quad (۱)$$

ورودی رابطه اخیر $I=1$ باشد، آبنمود حاصله از نوع آبنمود S خواهد بود:

$$u(t)=1-e^{-tlk}K \quad (۲)$$

مشتق رابطه فوق، آبنمود واحد لحظه‌ای است:

$$h(t)=\frac{e^{-tlk}}{K} \quad (۳)$$

با اعمال متغیر کمکی $a = 1/K$ تابع تبدیل لاپلاس به شکل زیر می‌باشد:

$$h(s) = a(\frac{1}{s+a}) \quad (۴)$$

محاسبات بارش- رواناب براساس تابع لاپلاس و از رابطه زیر قابل اجرا هستند:

$$Q(s) = h(s)I(s) \quad (۵)$$

I(s)، h(s) و Q(s) به ترتیب فرم لاپلاس بارش، آبنمود واحد و رواناب می‌باشند.

جهت محاسبه I(s) لازم است مقادیر بارش به صورت یک تابع پیوسته در نظر گرفته شوند. بدین جهت از تابع پله‌ای واحد u1(t) برای بیان مؤلفه‌های بارش استفاده می‌شود:

$$I(t)=\sum_{j=0}^{m} w_j u_1(t-jD) \quad (۶)$$

تابع واحد پله‌ای آن به صورت زیر است:

$$u_1=\begin{cases}0 & t<0\\ 1 & t\geq 0\end{cases} \quad (۷)$$

پارامتر D بازه زمانی اندازه‌گیری بارش بوده و وزن‌های w نیز به صورت زیر به دست می‌آیند:

$$w_0 = I_0$$
$$w_j = I_j - I_{j-1} \qquad j = 1,2,3,\ldots,m \quad (۸)$$

مدل H2U

تابع چگالی طول هیدرولیکی مدل H2U عبارتست از:

$$^{\circ}(L) = (\frac{n}{2\bar{L}})^{\frac{n}{2}} \frac{1}{\Gamma(\frac{n}{2})} L^{\frac{n}{2}-1} \exp(-\frac{nL}{2\bar{L}}) \quad (۹)$$

که در این رابطه $\bar{L}$ میانگین طول آبراهه‌ها و n رتبه حوزه آبخیز به روش استراهلر[2] است. با

1- Hyetograph

2- Strahler

Archive of SID

www.SID.ir

در نظر گرفتن سرعت متوسط ثابت برای آب در کانال‌ها و میانگین زمان پیمایش آب، میانگین طول آبراهه به شرح ذیل می‌باشد:

$$\bar{L} = \bar{t}.v \qquad (۱۰)$$

بنابراین آبنمود واحد لحظه‌ای مدل H2U عبارتست از:

$$\circ(t) = (\frac{n}{2\bar{t}})^{\frac{n}{2}} \frac{1}{\Gamma(\frac{n}{2})} t^{\frac{n}{2}-1} \exp(-\frac{nt}{2\bar{t}}) \qquad (۱۱)$$

پارامتر $\Gamma(n)$ تابع گاما می‌باشد که از رابطه $\Gamma(n) = (n-1)!$ محاسبه می‌شود.

بنابراین پارامترهای مدل H2U شامل رتبه حوزه آبخیز از طریق روش استراهلر و میانگین زمان پیمایش می‌باشند که برای دستیابی به آن‌ها در مطالعه حاضر از نرم افزار Arc GIS10 استفاده گردید. با توجه به عدم وجود آمار و اطلاعات مناسب جهت تعیین زمان پیمایش حوزه آبخیز مورد مطالعه، از روش معرفی شده توسط کول و فلدمن (۱۳) استفاده شد. اگرچه این روش به منظور تهیه هیستوگرام مدت- مساحت با استفاده از روش کلارک مطرح شده ولی در مسیر دستیابی به این هیستوگرام‌ها ابتدا باید زمان پیمایش حوزه آبخیز محاسبه شود، لذا در تحقیق حاضر از این روش استفاده گردید. مراحل تهیه مقادیر زمان پیمایش شامل تولید نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع، جهت جریان[۱]، تجمعی جریان[۲] و طول جریان[۳] می‌باشد و سرانجام نقشه زمان پیمایش[۴] حوزه آبخیز از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$T_t map = \frac{Tc}{Tlm} \times Flmap \qquad (۱۲)$$

در این رابطه Tc زمان تمرکز، Tlm حداکثر ارزش نقشه طول جریان و $Flmap$ نقشه طول جریان می‌باشد.

برای حل ریاضیاتی هر دو مدل مطالعاتی، از زبان برنامه نویسی Macro که درون برنامه EXCEL از سری Office قرار دارد استفاده شد و بدین ترتیب داده‌های خروجی که شامل عرض‌های آبنمود واحد لحظه‌ای تبدیل لاپلاس و H2U هستند، تهیه گردید. از آنجایی‌که آبنمودهای استخراج شده از مدل‌های مذکور از نوع واحد لحظه‌ای بوده، برای ایجاد شرایط مقایسه با آبنمودهای مشاهده‌ای لازم است آن‌ها را به آبنمودهای رواناب مستقیم تبدیل نمود. برای انجام این مهم، ابتدا آبنمودهای واحد لحظه‌ای به آبنمودهای واحد و با استفاده از انتگرال پیچشی به آبنمودهای رواناب مستقیم تبدیل شدند.

جهت مقایسه دبی اوج، زمان تا اوج، دبی پایه و حجم آبنمودهای استخراج شده از مدل‌ها با آبنمودهای مشاهده‌ای از آماره‌های خطای نسبی (RE)، میانگین مطلق خطای نسبی (MARE)، معیار انحراف (BIAS) و ضریب کارایی ناش- ساتکلیف (R^2) استفاده گردید که ضریب کارآیی با استفاده از ضرایب کمکی F_o و F به دست می‌آید:

$$RE = \frac{Q_s - Q_o}{Q_o} \qquad (۱۳)$$

$$MARE = \frac{\sum_{i=1}^{n} |RE|}{n} \qquad (۱۴)$$

$$BIAS = \frac{\sum Q_s}{\sum Q_o} - 1 \qquad (۱۵)$$

1- Flow Direction 2- Flow Accumulation 3- Flow Length
4- Travel Time Map

Archive of SID

www.SID.ir

$$\begin{cases} F_o^2 = \sum_{i=1}^{n}\left[Q_o(t) - \overline{Q_o(t)}\right] \\ F^2 = \sum_{i=1}^{n}\left[Q_o(t) - Q_s(t)\right]^2 \end{cases} \rightarrow R^2 = \frac{F_o^2 - F^2}{F_o^2} \quad (۱۶)$$

در این روابط Q_s داده برآوردی، Q_o داده مشاهده‌ای و n تعداد وقایع است.

نتایج و بحث

پس از استخراج پارامترهای مؤثر در مدل‌های مطالعاتی، اجرای آنها و تبدیل آبنمودهای به دست آمده به آبنمودهای رواناب مستقیم، نمودارهای نشان داده شده در شکل ۲ جهت ارزیابی آبنمودهای استخراج شده از مدل‌ها فراهم گردید.

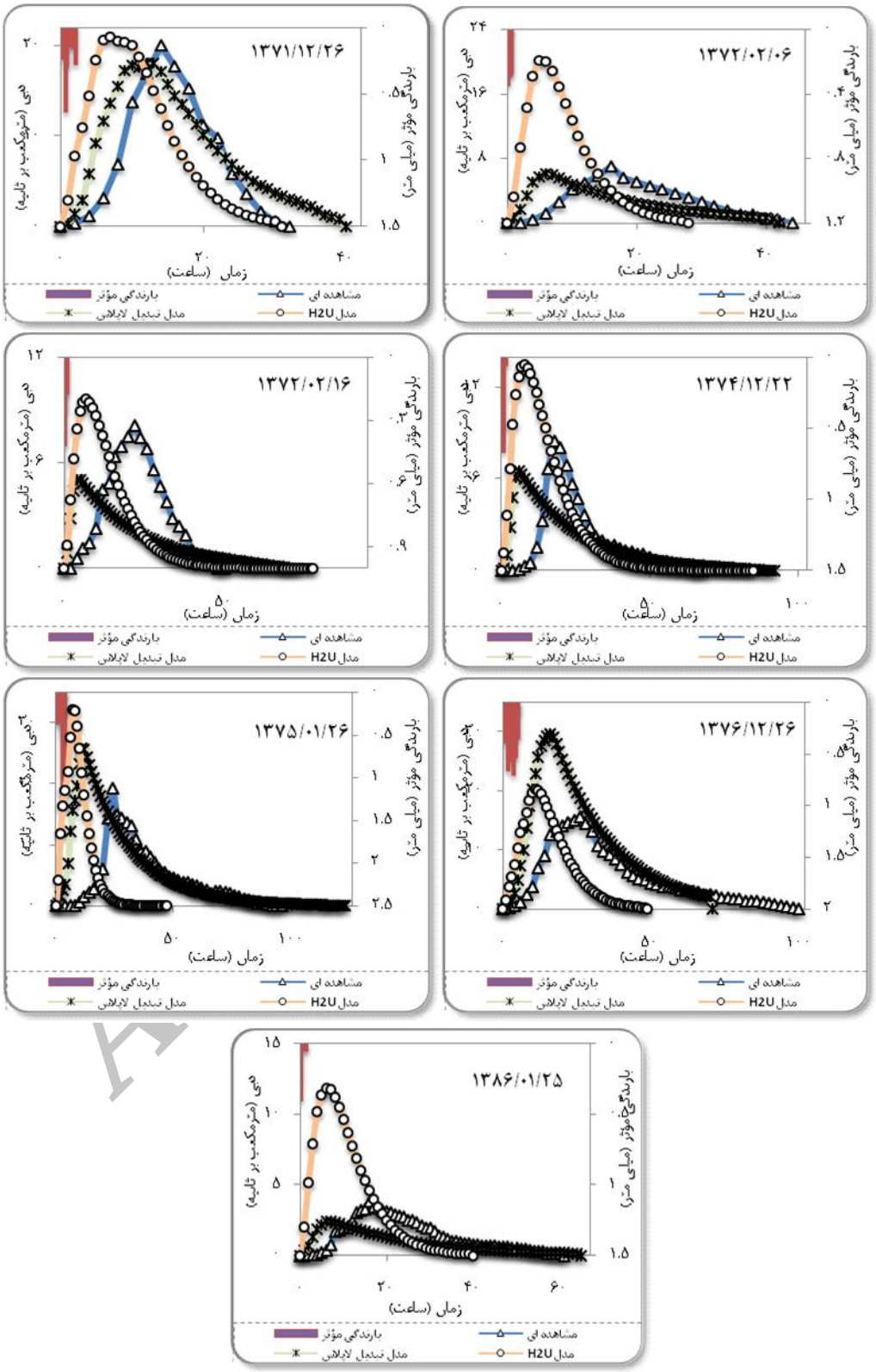
مقایسه چشمی و آماری آبنمودهای مشاهده‌ای با آبنمودهای شبیه‌سازی شده توسط مدل‌ها روشی جامع جهت ارزیابی مدل‌های تخمینی می‌باشد. از بین این دو نوع مقایسه، مقایسه چشمی دارای اهمیت بیشتری می‌باشد (۱۰)، زیرا هر طرح ظاهری نسبت به ارائه داده‌های بی‌شمار عددی یا متنی، سریعتر و دقیق‌تر بیانگر واقعیت مدل‌ها می‌باشد به نحوی که تنها با ایجاد نمودارهای مناسب حاصل شده از مدل‌ها و ایجاد دید بهتر با اضافه نمودن حالات مشاهداتی به آن‌ها، می‌توان قضاوت قابل قبولی در مورد مدل مطرح نمود.

در مطالعه حاضر، مدل تبدیل لاپلاس در تمامی رخدادهایی با میزان بارش و مدت کم، دبی اوج را کمتر از میزان واقعی محاسبه کرده و برعکس در تمامی رخدادهایی که دارای بارش زیاد و طولانی مدت هستند این پارامتر را بیشتر شبیه‌سازی نموده است. همچنین مدل H2U در رخدادهایی با مقدار و مدت زیاد بارندگی، میزان زمان پایه را کمتر از حالات مشاهداتی برآورد نموده است. برای مقایسه آماری آبنمودهای حاصل شده از مدل‌ها می‌توان از آماره‌های خطای نسبی، ضریب کارایی و معیار انحراف، مطابق جدول ۱ بهره گرفت.

با مقایسه چشمی آبنمودهای رواناب استخراج شده از مدل‌ها با حالات مشاهده‌ای مشخص می‌شود که به ترتیب مدل‌های تبدیل لاپلاس و H2U از نظر شبیه‌سازی شکل ظاهری آبنمودهای رواناب مستقیم حوزه آبخیز مطالعاتی در اولویت هستند. همچنین مدل H2U اغلب آبنمودها را در مقایسه با مدل تبدیل لاپلاس به شکل تیزتر پیش‌بینی نموده است. شاخه صعودی آبنمودهای هر دو مدل نسبت به شاخه خشکیدگی از شیب بیشتری برخوردار بوده و به دلیل همین اوج گرفتن ناگهانی، زمان تا اوج اکثر رخدادها در ابتدایی زمان پایه رخ می‌دهد. دلیل این امر را می‌توان در واکنش سریع مدل‌ها به رگبار ورودی سیستم دانست، به بیانی دیگر در اکثر وقایع، آبنمودهای حاصله از هر دو مدل چولگی به سمت راست (شاخه نزولی) داشته تا جایی که در بسیاری از رخدادها میزان زمان پایه، بیشتر از حالت واقعی پیش‌بینی شده است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲- آبنمودهای شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای.

www.SID.ir

جدول ۱- ارزیابی ویژگی‌های آبنمودهای مستخرج از مدل ها

رخداد	خطای نسبی								ضریب کارایی		معیار انحراف	
	دبی اوج		زمان تا اوج		زمان پایه		حجم					
	تبدیل لاپلاس	H2U	تبدیل لاپلاس	H2U	تبدیل لاپلاس	H2U	تبدیل لاپلاس	H2U	تبدیل لاپلاس	H2U	تبدیل لاپلاس	H2U
۱۳۷۱/۱۲/۲۷	-۰/۱۰	۰/۰۴	-۰/۰۷	-۰/۵۰	۰/۲۵	-۰/۰۳	۰/۲۷	۰/۱۱	۰/۷۵	-۰/۰۵	۰/۲۷	۰/۱۱
۱۳۷۲/۰۲/۰۶	-۰/۱۴	۱/۸۶	-۰/۶۳	-۰/۶۹	-۰/۰۵	-۰/۳۶	-۰/۱۴	۰/۶۸	-۰/۱۷	-۱۰/۷۰	-۰/۱۴	۰/۶۷
۱۳۷۲/۰۲/۱۶	-۰/۳۸	۰/۱۹	-۰/۷۷	-۰/۶۸	۰/۴۶	۰/۵۶	-۰/۳۱	-۰/۰۵	۰/۲۳	-۰/۳۵	-۰/۳۱	-۰/۰۵
۱۳۷۴/۱۲/۲۲	-۰/۲۳	۰/۵۹	-۰/۶۷	-۰/۵۶	۰/۳۵	۰/۲۵	۰/۰۷	۰/۷۰	۰/۱۱	-۲/۰۹	۰/۰۷	۰/۷۰
۱۳۷۵/۰۱/۲۶	۰/۳۴	۰/۶۷	-۰/۵۴	-۰/۷۱	۰/۲۸	-۰/۵۱	۰/۵۲	-۰/۲۳	-۱	-۲/۶۶	۰/۵۲	-۰/۲۳
۱۳۷۶/۱۲/۲۶	۰/۹۰	۰/۳۰	-۰/۳۸	-۰/۵۸	-۰/۲۹	-۰/۵۱	۰/۵۶	-۰/۳۲	-۱/۱۹	-۰/۹۶	۰/۵۶	-۰/۳۲
۱۳۸۶/۰۱/۲۵	-۰/۳۶	۲/۱۴	-۰/۶۳	-۰/۶۳	۰/۰۷	-۰/۳۴	-۰/۳۱	۰/۹۲	۰/۲۱	-۹/۷۴	-۰/۳۱	۰/۹۲

با توجه به آبنمودهای مشاهداتی، شکل شاخه صعودی آبنمودهای استخراج شده از مدل‌ها مطلوب‌تر از شاخه نزولی آنها شبیه‌سازی شده که علت این امر را می‌توان در ماهیت مدل‌ها جستجو نمود، به بیانی دیگر وابستگی شاخه صعودی به خصوصیات بارش و متأثر بودن شاخه نزولی از ویژگی‌های فیزیوگرافی و شبکه زهکشی حوزه آبخیز عامل اصلی این تفاوت‌ها است. از آنجایی‌که فاکتور بارش به عنوان پارامتر اصلی هر یک از مدل‌های مطالعاتی بوده و تنها خصوصیات فیزیوگرافی در مدل H2U مؤثر هستند لذا برآورد مناسب‌تر شاخه نزولی این مدل در مقایسه با مدل تبدیل لاپلاس دور از انتظار نمی‌باشد.

مدل H2U در تمامی وقایع در نظر گرفته شده که دارای شرایط متنوع بارش و خصوصیات فیزیوگرافی متفاوت می‌باشند، مقدار زمان تا اوج را کمتر از حالت واقعی برآورد نموده که این نتیجه با حاصل پژوهش گاتوت سومارجو و همکاران (۹) در سال همخوانی داشته و مؤید عدم دخالت ویژگی‌های مذکور در پیش‌بینی پارامتر زمان تا اوج توسط این مدل می‌باشد. همچنین زمان پایه اکثر رخدادهای مطالعاتی توسط مدل تبدیل لاپلاس، بیشتر از مقدار واقعی برآورد شده که با نتیجه مطالعه موسی (۱۵) در سال مطابقت دارد.

قابل توجه است که آبنمودهای مدل تبدیل لاپلاس نسبت به مدل H2U از شکل‌های متنوع‌تری برخوردار هستند، که دلیل این امر را می‌توان در میزان وابستگی این مدل‌ها به پارامترهای دخیل در آن‌ها جستجو نمود. به بیانی دیگر مدل H2U به دلیل وابستگی شدید به فاکتورهای فیزیوگرافی حوزه آبخیز، یکنواختی بیشتری را نسبت به مدل دیگر نشان داده است. با استفاده از معیارهای ارزیابی، خلاصه مقایسه مقادیر برآورد شده توسط مدل‌ها نسبت به آبنمودهای مشاهده‌ای طبق جدول ۲ قابل ارائه است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- خلاصه نتایج ارزیابی آماری مدل‌ها

مدل	میانگین معیار انحراف	میانگین ضریب کارایی	میانگین مطلق خطای نسبی				
			دبی اوج	زمان تا اوج	زمان پایه	حجم	میانگین ویژگی‌ها
تبدیل لاپلاس	۰/۰۹	-۰/۱۵	۰/۳۵	۰/۵۳	۰/۲۵	۰/۳۱	۰/۳۶
H2U	۰/۲۶	-۳/۷۹	۰/۸۲	۰/۶۲	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۵۶

مطابق جدول فوق، میانگین معیار انحراف مربوط به هر دو مدل مثبت به دست آمده که این وضعیت نشان‌دهنده برآورد بیشتر مقادیر دبی‌های مشاهده‌ای اکثر رخدادها، توسط مدل‌های مطالعاتی می‌باشد. همچنین مدل تبدیل لاپلاس با میزان اریب کمتر از مدل H2U، دبی‌های برداشت شده از ایستگاه زرین درخت را با انحراف کمتری پیش‌بینی نموده است. میانگین ضریب کارایی نیز مؤید برتری مدل تبدیل لاپلاس نسبت به مدل H2U می‌باشد.

چنانچه میانگین مطلق خطای نسبی به عنوان ملاک تعیین بهترین مدل جهت شبیه‌سازی خصوصیات آبنمودهای رواناب مستقیم حوزه آبخیز خانمیرزا مد نظر قرار گیرد، مدل تبدیل لاپلاس با دارا بودن کمترین مقادیر این آماره جهت شبیه سازی ویژگی‌های دبی اوج، زمان تا اوج، زمان پایه و حجم آبنمودهای مشاهداتی از دقت بیشتری برخوردار است.

همچنین تغییرات شدید مقادیر میانگین مطلق خطای نسبی پارامترهای برآورد شده توسط مدل‌ها مؤید اینست که اگرچه با فرض عملکرد خطی سیستم حوزه آبخیز، آبنمود واحد مقادیر نزدیک به واقعیت را ارائه می‌کند اما این یک فرضیه بوده و نباید روی آن اصرار نمود، این نتیجه با مطالعات عبداللهی (۱) و نجفی حاجی ور (۱۶) همخوانی دارد. به بیانی دیگر هر چقدر تغییرات زمانی کوچکتری برای تهیه آبنمودها در نظر گرفته شود؛ خطای نسبی کمتر شده و دقت پیش‌بینی افزایش می‌یابد.

مدل‌های مورد بررسی، پارامتر زمان پایه را نسبت به سایر خصوصیات آبنمود با میانگین مطلق خطای نسبی کمتری برآورد نمودند که این نکته ناشی از برآورد قابل اعتمادتر و مناسب‌تر زمان پایه توسط مدل‌های مطالعاتی جهت تهیه آبنمودها می‌باشد. شایان ذکر است که مدل تبدیل لاپلاس به ترتیب در برآورد زمان پایه، حجم آبنمود، دبی اوج و زمان تا اوج آبنمودهای مشاهداتی موفق‌تر بوده در حالی‌که این ترتیب برای مدل H2U به صورت زمان پایه، حجم آبنمود، زمان تا اوج و دبی اوج می‌باشد.

کنکاش در بین تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که پس از بررسی دقت هر یک از مدل‌ها در حوزه‌های آبخیز مختلف هنوز هم نمی‌توان یک روش مشخص و منحصر به فرد را برای تعیین آبنمود خروجی تمامی حوزه‌های آبخیز معرفی نمود و لازم است برای هر حوزه آبخیز، انواع روش‌ها مورد مقایسه قرار گرفته و بهترین آن‌ها جهت شبیه‌سازی

Archive of SID

www.SID.ir

داده‌های واقعی بارش- رواناب تعیین گردد. طی انجام مطالعه اخیر مشخص گردید که از بین مدل‌های مطالعاتی، به ترتیب مدل‌های تبدیل لاپلاس و H2U با میانگین مطلق خطای نسبی ۰/۳۶ و ۰/۵۶ جهت شبیه‌سازی آبنمودهای مشاهداتی از دقت بیشتری برخوردار هستند.

منابع

1. Abdollahi, Kh. 2002. Runoff modelling based on geomorphological properties using GIS in Khanmirza watershed, Iran. M.Sc. Thesis. Tarbiat Modarres University. 77 pp.
2. Chow, V.T., D.R. Maidment and L.W. Mays. 1988. Applied Hydrology. New York: McGraw- Hill book company. New York. 572 pp.
3. Clark, C.O. 1945. Storage and the unit hydrograph. American Society of Civil Engineers. 110: 1419-1488.
4. Dawdy, D.R. 1983. A review of rainfall-runoff modeling. Proceedings of the Tegucigalpa Hydromath Symposium. 152: 97-113.
5. Duchesne, J., C. Cudennec and V. Corbierre. 1998. Relevance of the H2U model to predict the discharge of a catchment. Water Science and Technology. 36(5): 169-175.
6. Ebrahimi, A. and Z. Abdollahian Dehkordi. 2009. The necessity of integrated watershed management for reduction of drought and flood damages. 5th Conference watershed management engineering. 122-138.
7. Fleurant, C., B. Kartiwa and B. Roland. 2006. Analytical model for a geomorphological instantaneous unit hydrograph. Hydrological Process. 20: 3879-3895.
8. Gatot, I., P. Perez and J. Duchesne. 2000. Modelling influence of irrigated terraces on the hydrological responcse of a small basin. Environmental Modeling and Software. 16(1): 31-36.
9. Gatot Sumarjo, I., J. Duchesne and P. Perez. 1997. H2U: a transfer function model using fractal characteristics of the hydrographic network. International Congress on Modelling and Simulation. Australia: 470- 478.
10. Green, I.R.A and D. Stephenson. 1986. Ceriteria for comparision of single event models. Hydrological Sciences. 31(3): 395-411.
11. Hjelmfelt, A. and M. Wang. 1994. General stochastic unit hydrograph. Irrigation and Drainage Engineering. 120(1): 138-148.
12. Johnson, P. 1970. Calculation of the instantaneous unit hydrograph using Laplas transform. Jornal of Hydrology. 9(2): 307-322.
13. Kull, D.W. and A.D. Feldman. 1998. Evaluation of Clark's unit graph method to spatially distributed runoff. Journal of Hydrologic Engineering. 3(1): 9-19.
14. Lee, K.T. and Ch.H. Chang. 2005. Incorporating subsurface-flow mechanism into geokorphology-based IUH modeling. Journal of Hydrology. 311: 91-105.
15. Moussa, R. 1997. Geomorphological transfer function calculated from digital elevation models for distributed hydrological modeling. Hydrological Processes. 11: 429-449.

Archive of SID

www.SID.ir

16. Najafi Hajivar, M. 2008. Investigation Nash and Clark instantaneous unit hydrographs efficiency (Case study: Karoon Shomali-Chaharmahal Bakhtiary province). M.Sc. Thesis. Tehran University. 135 pp.
17. Nash, J.E. 1958. The form of the instantaneous unit hydrograph. General assembly of Toronto. 42: 114-121.
18. Rodriguez, F., Ch. Cudennec and H. Andrieu. 2005. Application of morphological approaches to determine unit hydrographs of urban catchments. Hydrological Processes. 19: 1021-1035.
19. Rodriguez-Iturbe, I. and J. Valdez. 1979. The geomorphologic structure of hydrology response. Water Reesources Research. 15(6): 1409-1420.
20. Wagener, Th., D.P. Boyle, M.J. Lees, H.S. Wheater, H.V. Gupta and S. Sorooshian. 2001. A framework for development and application of hydrological models. Hydrology and Earth System Sciences. 5(1): 13-26.
21. Yue, Sh. and M. Hashino. 2003. A linear semi-distributed conceptual model for flood estimation. Water SA. 29(3): 281-288.

Archive of SID

www.SID.ir

The Investigation of Direct Runoff Hydrographs Derived from Laplace Transform and H2U Instantaneous Unit Hydrograph Models (Case Study: Khanmirza Catchment)

Z. Abdollahian Dehkordi[1], Kh. Abdollahi[2], S.J. Sadatinejad[3], A. Honarbakhsh[4] and M. Nekooeimehr[5]

1- Former M.Sc., Shahrekord University
(Corresponding author: Abdollahianz@gmail.com)
2- Ph.D. Student, Vrije Universiteit Brussel
3 and 4- Associate and Assistant Professor, Shahrekord University
5- Instructor, Research Center of Aagriculture and Natural Rresources Chaharmahal and Bakhtiyari
Received: March 10, 2012 Accepted: September 10, 2012

Abstract

One of important methods for investigating the water condition of catchments is the direct runoff hydrograph driving. Regarding the quantitative and qualititative deficiency of water gages data, synthetic unit hydrograph models and especially instantaneous unit hydrographs is applied. Due to lack of enough studies on Performance of Laplace transforms and H2U models in Iran, this study analyses them in Khanmirza catchment of Chaharmahal and Bakhtiyari. In order to do this, 7 events of rainfall-runoff were selected for this catchment, then Laplace transform model was used by effective rainfall and lag time moreover H2U model was applied by order of catchment and mean of travel time. Furthermore, IUHs change to direct runoff hydrographs; for comparing with observed hydrographs. Statistical comparison of hydrographs indicated that Laplace transform and H2U models have mean absolute relative error 0.36 and 0.56 respectively; Therefore Laplace transform model simulated observe hydrographs more significant than H2U model. It should be noted that the Nash-Sutclif efficiency coefficient, BIAS and graphical method confirm this order.

Keywords: Instantaneous unit hydrograph, H2U, Khanmirza, Laplace transform

Archive of SID

www.SID.ir