

ارزیابی آبنمود واحد لحظه‌ای کلارک در تخمین سیلاب در حوزه آبخیز کسلیان

هانیه اسدی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس
حمیدرضا مرادی^۱، دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس
سید حمیدرضا صادقی، استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس
عبدالرسول تلوری، دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۰۹/۱۹

دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۰۲/۲۴

چکیده

در حوزه‌های آبخیز بدون آمار، استفاده صحیح از تئوری مربوط به آبنمود واحد لحظه‌ای بسیار کارا می‌باشد. لذا، پژوهش حاضر به منظور تعیین میزان کارایی آبنمود واحد به دست آمده براساس روش کلارک و با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی در بازسازی آبنمود واحد مشاهده‌ای ایستگاه ولیکن واقع در خروجی حوزه آبخیز کسلیان در استان مازندران انجام شد. نتایج ارزیابی مقایسه‌ای آبنمود واحد سه‌ساعته متوسط حوضه با آبنمود واحد سه‌ساعته به دست آمده از روش کلارک با کمک آماره‌های خطای نسبی، مجذور میانگین مربعات خطا، ضریب کارایی و میزان انحراف دلالت بر دقت مناسب روش مذکور در تخمین دبی سیلابی در حوزه آبخیز مورد مطالعه دارد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی کارایی، ایستگاه هیدرومتری، خطر سیل، سیل خیزی، زمان تمرکز

مقدمه

کامبود ایستگاه‌های هیدرومتری به علت بالا بودن هزینه ساخت و نگهداری آن‌ها از یک طرف و ضرورت تهیه آبنمودهای سیل در کارهای مهندسی منابع آب، پهنه‌بندی خطر سیلاب، اولویت‌بندی مناطق سیل‌خیز و پیش‌بینی سیلاب از سوی دیگر، استفاده از روش‌های مبتنی بر اطلاعات موجود و قابل دسترس را ایجاب می‌نماید. در این راستا، استفاده صحیح از تئوری مربوط به آبنمود واحد لحظه‌ای^۲ (IUH) به مفهوم رواناب سطحی حاصل از یک واحد بارش مازاد آبی در حوزه آبخیز (Ramirez, ۲۰۰۰) بدون داشتن اطلاعات مربوط به بارندگی و فقط با داشتن خصوصیات قابل دسترس فیزیوگرافی و ژئومورفولوژی حوضه بسیار کارا می‌باشد. برای تعیین IUH مدل‌های متعددی وجود دارد، ولی مفهوم همگی آن‌ها بر اساس اصول مخازن خطی^۳ استوار است. یکی از این روش‌ها مدل کلارک یا روش تأخیر و تنسیق^۴ می‌باشد. در این روش، به دلیل قابلیت به دست آوردن ساده متغیرهای مورد نیاز، به عنوان کاربردی‌ترین روش تهیه آبنمود واحد لحظه‌ای می‌باشد (علیزاده، ۱۳۸۵). به نحوی که بر اساس گزارش‌های موجود، در حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد پروژه‌های اجرایی اداره مهندسی ارتش آمریکا از روش آبنمود واحد لحظه‌ای کلارک استفاده می‌کند (Kull و Feldman, ۱۹۹۸). در آبنمود واحد کلارک از سه عامل زمان تمرکز، ضریب ذخیره و منحنی زمان-مساحت^۵ (TA) استفاده می‌شود.

^۱ نویسنده مسئول morady5hr@yahoo.com

^۲ Instantaneous Unit Hydrograph

^۳ Linear Reservoirs

^۴ Lag and Route Technique

^۵ Time-Area

بررسی کارایی IUH در ونزوئلا (Rodriguez-Iturbe و همکاران، ۱۹۷۹ و ۱۹۸۲)، ایالت‌های مختلف امریکا (James و همکاران، ۱۹۸۷؛ Hjelmfelt و Wang، ۱۹۹۴)، تایوان (Lee و Yen، ۱۹۹۷) و هند (Kumar و همکاران، ۲۰۰۲؛ Bhadra و همکاران، ۲۰۰۸) در مقایسه با سایر روش‌ها صورت گرفته است. آن‌ها در پژوهش‌های خود ثابت کردند که هیدروگراف واحد لحظه‌ای از کارایی زیادی برخوردار است. روش‌های مختلف از قبیل سامانه اطلاعات جغرافیایی^۱ (GIS) و سنجش از دور (Gracia، ۱۹۹۸؛ Jain و همکاران، ۲۰۰۰؛ Saghafian و همکاران، ۲۰۰۲؛ Noorbakhsh و همکاران، ۲۰۰۵؛ Bourletsikas و همکاران، ۲۰۰۶ و Usul و Yilmaz، ۲۰۰۷) نیز برای دستیابی دقیق‌تر به پارامترهای مورد نیاز در تهیه IUH استفاده شده است.

هم‌چنین، در ارزیابی کاربرد مدل کلارک، Chih (۱۹۹۵) در پژوهشی در حوضه داون کریک در برآورد دبی جریان از دو روش مدل موج دینامیکی و مدل کلارک استفاده کرد. نتایج نشان داد دبی حاصل از روش هیدروگراف واحد کلارک دارای نتایج نزدیک به مقدار مشاهده شده می‌باشد. Noorbakhsh و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیقی در حوضه رودخانه کارده در استان خراسان به این نتیجه رسیدند که هیدروگراف واحد مصنوعی کلارک تطابق خوبی با داده‌های مشاهده‌ای دارد. در این پژوهش، پارامترهای لازم برای تهیه هیدروگراف مذکور با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی به دست آمد. Usul و Yilmaz (۲۰۰۷) در پژوهشی در بخشی از حوضه اولوس به تخمین هیدروگراف واحد مصنوعی کلارک پرداختند. در این رابطه، پژوهش محاسبه زمان تمرکز با استفاده از معادله SCS، ضریب ذخیره با استفاده از هیدروگراف مربوط به رگبار مشاهده‌ای و منحنی زمان-مساحت با کمک نقشه مدل رقومی ارتفاع صورت گرفت. نتایج نشان داد که می‌توان از این روش، هیدروگراف‌های واحد حوضه با تداوم‌های مختلف را به منظور اهداف طراحی به دست آورد. از سویی، مقایسه کارایی روش‌های مختلف تعیین فاکتور ضریب ذخیره در استفاده از مدل کلارک توسط صادقی و دهقانی (۱۳۸۵) و با دستیابی به کارایی برتر روش ترسیمی در مقایسه با دو روش کلارک و لیزلی در شبیه‌سازی آب‌نمود واحد سیل در حوزه آبخیز بازفت مورد توجه قرار گرفته است.

در سایر پژوهش‌ها در ایران، عمدتاً از روش‌های مختلف آب‌نمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک^۲ (GIUH)، ژئومورفوکلیماتیک^۳ (GCIUH)، ناش و روسو در حوزه‌های آبخیز پس کوهک شیراز (رحیمیان، ۱۳۷۴) امامه (غیائی، ۱۳۷۴؛ نصیری، ۱۳۸۴)، کسلیان (قهرمان، ۱۳۷۴؛ حشمت‌پور، ۱۳۷۸ و غیائی و روغنی، ۱۳۸۵)، درجزین (عرفانیان، ۱۳۷۷)، خانمیرزا (عبداللهی، ۱۳۸۱) استفاده و بعضاً نتایج به دست آمده با سایر روش‌های برآورد سیلاب مقایسه شده است.

بر اساس سوابق موجود می‌توان اذعان نمود که تاکنون پژوهش مشخصی در رابطه با کارایی مدل زمان-مساحت کلارک در بازسازی آب‌نمودهای سیل حوزه‌های آبخیز جنگلی صورت نگرفته است. لذا، استفاده از مدل کلارک در بازسازی آب‌نمود واحد لحظه‌ای و سپس آب‌نمود واحد حوزه آبخیز کسلیان و ارزیابی کارایی آن در این پژوهش مدنظر قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

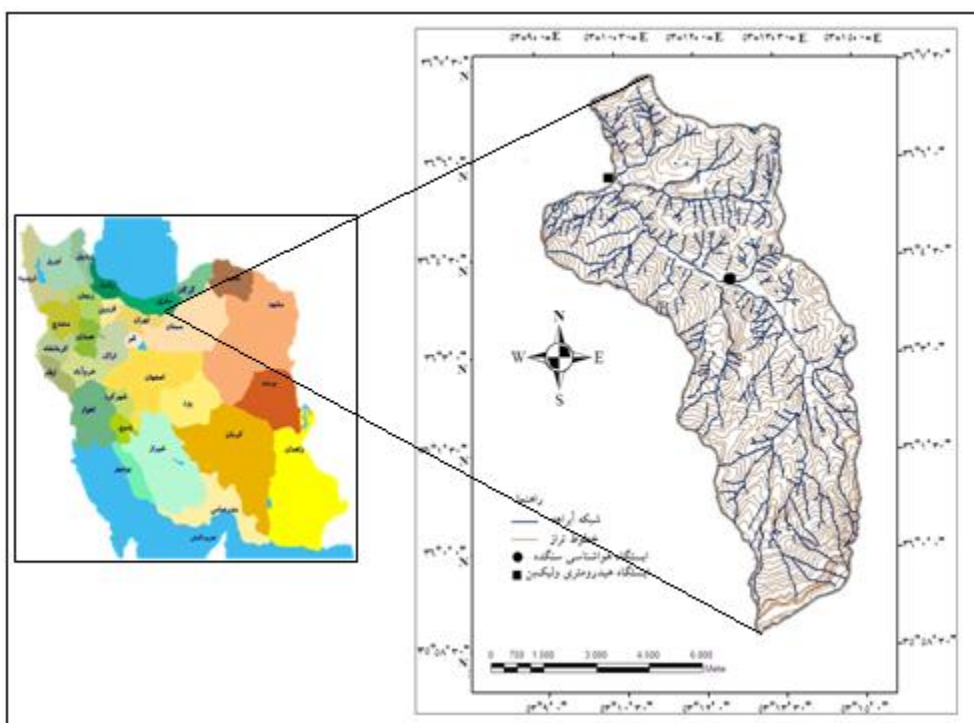
به منظور انجام پژوهش حاضر، حوزه آبخیز معرف کسلیان واقع در دامنه شمالی سلسله جبال البرز و بین عرض جغرافیایی "۳۰' ۵۸" و "۱۵' ۷" ۳۶ شمالی و طول جغرافیایی "۴۴' ۸" ۵۳ و "۴۲' ۱۵" ۵۳ شرقی با مساحت ۶۶/۷۵ کیلومتر مربع، محیط ۴۲/۵ کیلومتر، حداقل و حداکثر ارتفاع به ترتیب ۱۱۰۰ و ۲۷۰۰ متر از سطح دریا، طول بزرگ‌ترین آبراهه ۱۷/۳۳ کیلومتر انتخاب شد (شکل ۱).

^۱ Geographical Information System

^۲ Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograoh

^۳ Geomorpho-Climatic Instantaneous Unit Hydrograoh

برای انجام این پژوهش از آمار بارندگی ایستگاه سنگده به عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه به مرکز ثقل حوزه و اطلاعات ثبت شده سیل در ایستگاه ولیکین استفاده شد. تعداد ۴۸ رگبار منفرد ایستگاه باران‌نگار از مجموع کل رگبارهای اتفاق افتاده طی سال‌های ۱۳۵۴ تا ۱۳۸۶ به لحاظ برخورداری از شرایط استفاده برای تهیه آب‌نمود واحد انتخاب شد. برای تعیین متوسط تلفات بارش از شاخص فی^۱ و از طریق تجزیه باران‌نگار و آب‌نمود رگبار مربوطه و به روش سعی و خطا استفاده شد. برای به دست آوردن آب‌نمود سیل از آب‌نمود کل آب پایه از طریق رسم خط با شیب مثبت از ابتدای شاخه بالارونده تا انتهای شاخه خشکیدگی استفاده شد. در ادامه آب‌نمود واحد حوزه آبخیز مذکور پس از تعیین ارتفاع رواناب مستقیم و مدت زمان بارش مؤثر تهیه شد (علیزاده، ۱۳۸۵). سپس منحنی S مربوط به هر سیلاب تهیه و آب‌نمودهای سیل با توجه به غالب بودن تعداد آب‌نمودهای واحد سه‌ساعته موجود در حوزه آبخیز و نیز به دلیل افزایش دقت و رعایت پایه زمانی پیشنهادی برای آب‌نمود واحد یعنی کمتر از ۰/۲ تا ۰/۳۳ زمان تأخیر حوضه (Subramanya, ۲۰۰۰) به آب‌نمود واحد سه‌ساعته تبدیل شدند و در نهایت آب‌نمود واحد سه‌ساعته متوسط از آب‌نمودهای واحد سه‌ساعته مشاهده‌ای به دست آمد (شکل ۲).



شکل ۱- سیمای عمومی، وضعیت شبکه زهکشی و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری حوزه آبخیز کسلیان

برای تهیه منحنی زمان-مساحت ابتدا نقشه رقومی شده حوضه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ از سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه شد. سپس با استفاده از آن نقشه مدل رقومی ارتفاع^۲ (DEM) با اندازه پیکسل ۲۰ متر تهیه و براساس آن، نقشه‌های شیب و جهت شیب در محیط نرم‌افزار ARCGIS تهیه شدند. سپس برای تهیه نقشه هم‌زمان تمرکز یک‌ساعته حوضه بر اساس روش نیم‌رخ آبراهه (نجفی، ۱۳۸۱)، ابتدا زمان تمرکز محاسبه و زمان پیمایش مناسب انتخاب شد. سپس، با استفاده از DEM (شکل ۳ الف) و لایه رقومی شده آبراهه (شکل ۳ ب) نیم‌رخ طولی بزرگ‌ترین آبراهه (شکل ۴) به دست آمد. سپس، نیم‌رخ به قطعاتی، به تعداد فواصل زمانی انتخاب شده تقسیم و با انطباق محور زمان تمرکز بر محور طول رودخانه، ارتفاع نقاط تقاطع هم‌زمان تمرکز با آبراهه اصلی به دست آمد. با متصل کردن

^۱ ϕ - Index

^۲ Digital Elevation Model

نقاط ارتفاعی متناظر آن‌ها (Subramanya, ۲۰۰۰) خطوط هم‌زمان تمرکز و نهایتاً نقشه هم‌زمان تمرکز حوزه آبخیز (شکل ۵) تهیه شد. سپس، مساحت محصور شده بین آن‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS به دست آمد. نمودار زمان-مساحت به دست آمده (شکل ۶) به عنوان یک جریان ورودی به حوزه آبخیز در نظر گرفته شد که به یک مخزن فرضی واقع در مجرای خروجی حوزه آبخیز با ویژگی‌های مشابه ذخیره وارد می‌شود. جریان ورودی سپس براساس شرایط حاکم بر آبراهه به طرف پایین‌دست روندیابی می‌شود. کلارک برای روندیابی جریان از معادله ماسکینگام در رابطه (۱) و با فرض ثابت بودن مقدار ورودی در ابتدا و انتهای بازه زمانی مورد نظر استفاده کرد.

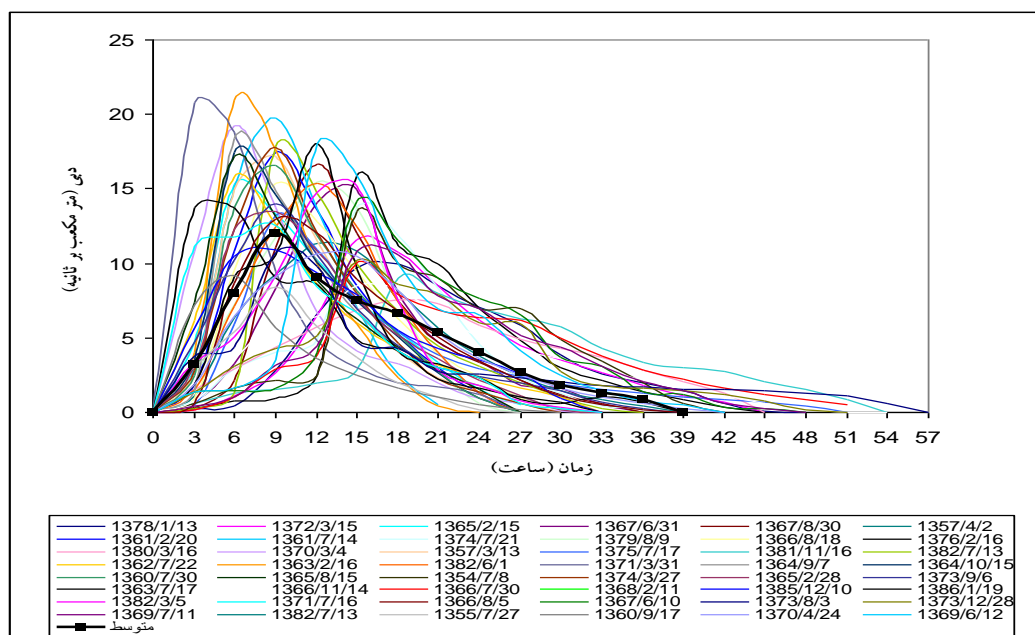
$$Q_2 = \frac{\Delta t_c}{k + 0.5\Delta t_c} I_1 + \frac{K - 0.5\Delta t_c}{k + 0.5\Delta t_c} Q_1 \quad (1)$$

که در آن، Δt_c زمان تمرکز هر بخش، I_1 میزان جریان ورودی اولیه، I_2 میزان جریان ورودی بعد از زمان Δt_c ، Q_1 جریان خروجی اولیه، Q_2 جریان خروجی بعد از زمان Δt_c و K ضریب ذخیره است (Subramanya, ۲۰۰۰). ضریب ذخیره معادله ماسکینگام با استفاده از روش گرافیکی (شاخه خشکیدگی آب‌نمود) به دست آمد. بدین ترتیب که شاخه نزولی آب‌نمود در یک کاغذ نیمه لگاریتمی، با انتقال دبی آب‌نمود روی محور لگاریتمی و زمان روی محور عادی، رسم شد (شکل ۷). سپس با استفاده از رابطه (۲) مقدار آن به دست آمد (Viessman, ۱۹۷۷).

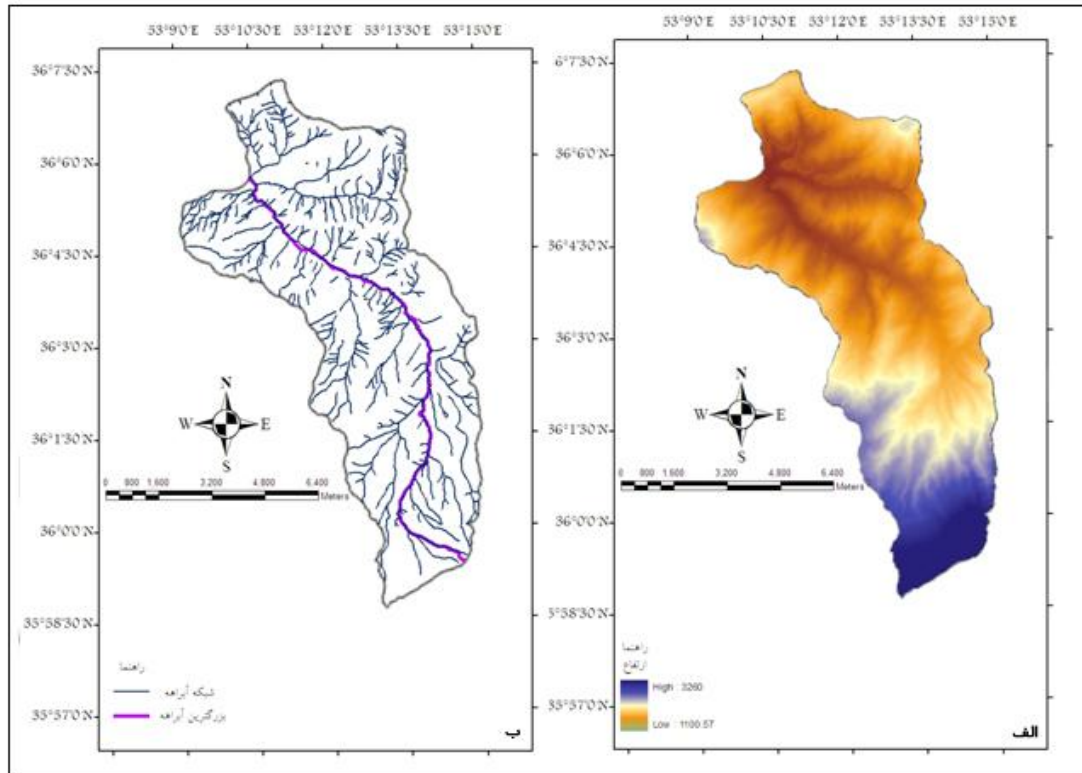
$$Q_t = Q_o e^{-t/K} \Rightarrow K = \frac{t}{\ln\left(\frac{Q_o}{Q_t}\right)} \quad (2)$$

که در آن، Q_o دبی در زمان شروع فروکش سیل (نقطه عطف منحنی بازوی پایین‌رونده آب‌نمود)، Q_t دبی در زمان مورد نظر و t زمان از شروع فروکش سیل می‌باشد.

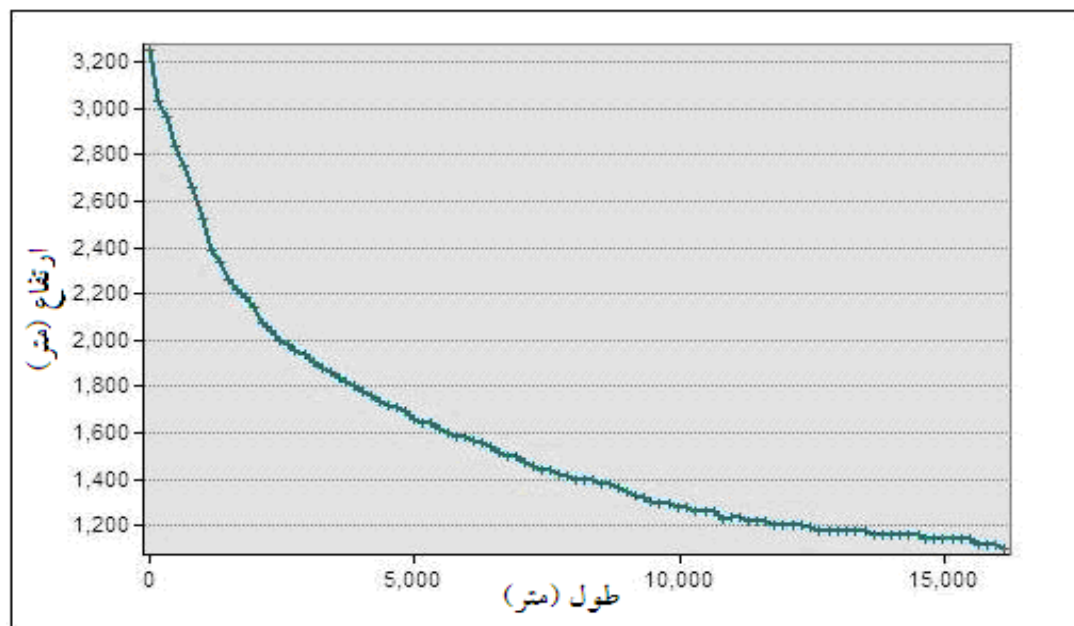
بدین ترتیب پس از تعیین ضریب ذخیره (K) و منحنی زمان-مساحت با کمک روش‌های مذکور، آب‌نمود واحد لحظه‌ای کلارک محاسبه شد و سپس برای مقایسه با آب‌نمود واحد متوسط به دست آمده از سیلاب‌های مشاهداتی به آب‌نمود واحد سه‌ساعته تبدیل شد. برای ارزیابی کارایی نتایج حاصل از شاخص‌های آماری خطای نسبی، مجذور میانگین مربعات خطا، ضریب کارایی و میزان انحراف علاوه بر مقایسه کیفی آن‌ها (صادقی و همکاران، ۱۳۸۴) استفاده شد.



شکل ۲- آب‌نمودهای واحد سه‌ساعته و آب‌نمود واحد متوسط حوزه آبخیز کسلیان



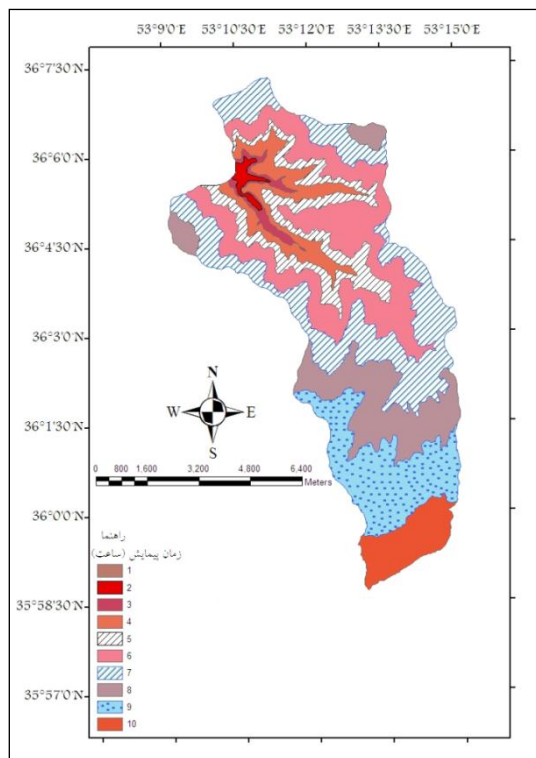
شکل ۳- الف. نقشه شبکه آبراهه حوزه آبخیز کسلیان، ب. نقشه مدل رقومی ارتفاع حوزه آبخیز کسلیان



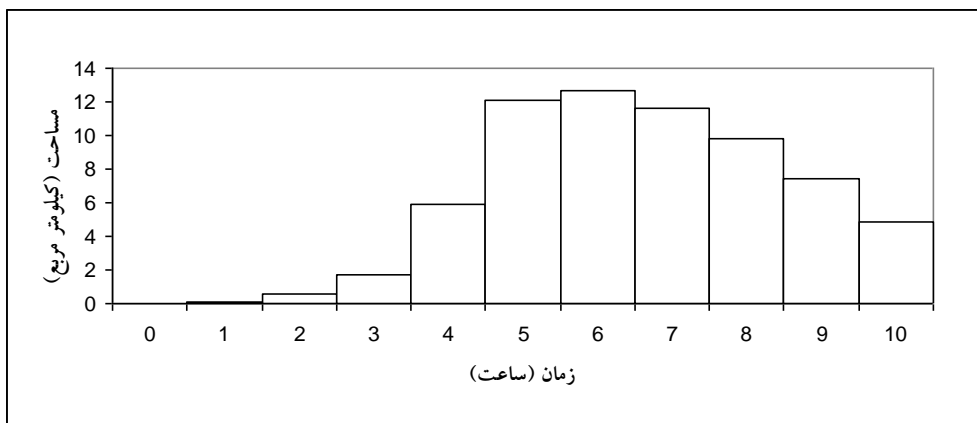
شکل ۴- نیم‌رخ طولی آبراهه اصلی حوزه آبخیز کسلیان

نتایج و بحث

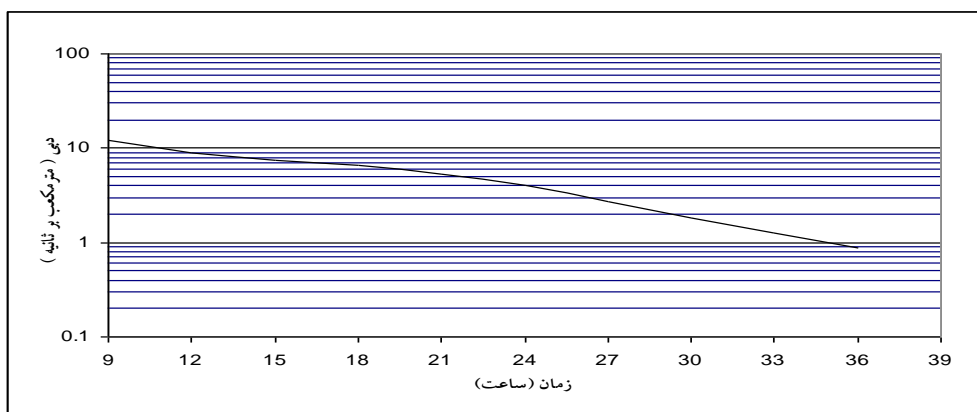
آب‌نمود واحد متوسط سه‌ساعته حوضه مورد مطالعه مستخرج از آب‌نمودهای مشاهداتی ایستگاه ولیکن به‌همراه آب‌نمود بازسازی شده با استفاده از روش کلارک و هم‌چنین نتایج کمی مقایسه آب‌نمودهای مذکور با استفاده از آماره‌های مختلف به‌ترتیب در شکل ۸ و جدول ۱ نشان داده شده است.



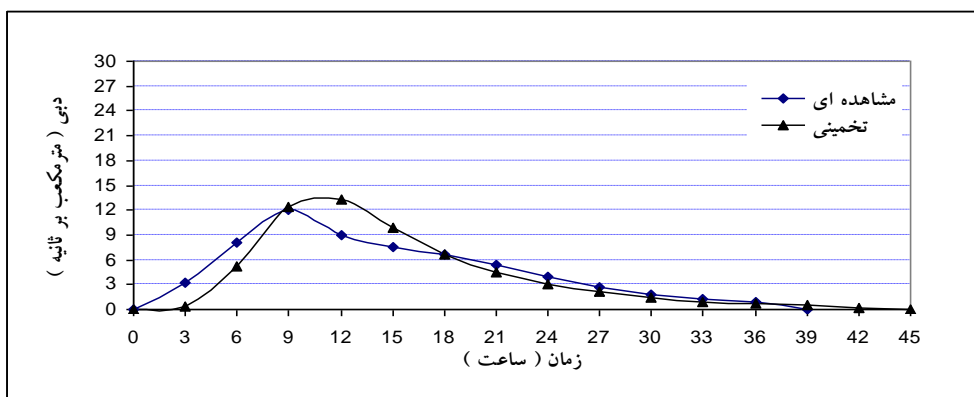
شکل ۵- نقشه مناطق هم‌زمان تمرکز حوضه با استفاده از روش نیم‌رخ آبراهه



شکل ۶- نمودار زمان-مساحت با روش نیم‌رخ آبراهه در حوزه آبخیز کسپلیان



شکل ۷- نمودار نیمه لگاریتمی شاخه خشکیدگی آب‌نمود واحد متوسط سه ساعته حوزه آبخیز کسپلیان



شکل ۸- آبنمود واحد مشاهداتی و تخمینی سه ساعته کلارک در حوزه آبخیز کسلییان

جدول ۱- ارزیابی کمی آبنمودهای واحد سه ساعته مشاهده‌ای و تخمینی با استفاده از آماره‌های مختلف

شاخص آماری	خطای تخمین (درصد)		انحراف در دبی اوج	مجذور میانگین مربعات خطا	ضریب کارایی
	دبی اوج	زمان پایه			
مدل کلارک	۱۱/۳۸	۱۵/۳۸	۰/۹۰	۱/۶۴	۰/۷۶
مقادیر ترسیمی	۱۱/۳۸	۱۵/۳۸	۰/۹۰	۱/۶۴	۰/۷۶

در یک مقایسه کیفی از نتایج به دست آمده در شکل ۹ می‌توان دریافت که کاربرد مدل کلارک دبی اوج بیش‌تری را نسبت به آبنمود مشاهده‌ای نشان داده است. هم‌چنین، بر پایه خطاهای نسبی تعیین شده برای زمان پایه، دبی و زمان تا اوج در یک مقایسه پارامتریک می‌توان دریافت حداکثر خطای تخمین مربوط به زمان تا اوج بوده است و مدل در برآورد دبی اوج موفق‌تر از سایر پارامترها بوده است.

به‌طور کلی، مقایسه نتایج این پژوهش با سایر مطالعات مربوط به تهیه آبنمود واحد لحظه‌ای با استفاده از روش‌های مختلف در خارج از کشور (Rodriguez-Iturbe و همکاران، ۱۹۷۹ و ۱۹۸۲؛ James و همکاران، ۱۹۸۷؛ Wang و Hjelmfelt، ۱۹۹۴؛ Yen و Lee، ۱۹۹۷؛ Kumar و همکاران، ۲۰۰۲ و Bhadra و همکاران، ۲۰۰۸) و هم‌چنین در ایران (رحیمیان، ۱۳۷۴؛ غیائی، ۱۳۷۴؛ قهرمان، ۱۳۷۴؛ عرفانیان، ۱۳۷۷؛ حشمت‌پور، ۱۳۷۸؛ عبدالهی، ۱۳۸۱ و نصیری، ۱۳۸۴) مبنی بر توانایی قابل قبول روش مذکور در برآورد سیلاب دلالت دارد.

از سویی، استفاده از GIS در تهیه نقشه هم‌زمان تمرکز زمینه‌های محاسبه دقیق منحنی زمان-مساحت را مهیا کرده که با تأکیدات Gracia (۱۹۹۸)؛ Jain و همکاران (۲۰۰۰)؛ Saghafian و همکاران (۲۰۰۲)؛ Noorbakhsh و همکاران (۲۰۰۵)؛ Bourletsikas و همکاران (۲۰۰۶) و Usul و Yilmaz (۲۰۰۷) مبنی بر استفاده از GIS برای دست‌یابی دقیق‌تر به پارامترهای مورد نیاز در تهیه آبنمود واحد لحظه‌ای هم‌سو می‌باشد.

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش دبی حاصل از روش آبنمود واحد کلارک دارای نتایج نزدیک به مقدار مشاهده شده می‌باشد که با پژوهش‌های Chih (۱۹۹۵)؛ Noorbakhsh و همکاران (۲۰۰۵)؛ Usul و Yilmaz (۲۰۰۷) و صادقی و دهقانی (۱۳۸۵) نیز تطابق دارد.

با استفاده از نتایج به دست آمده طی پژوهش حاضر می‌توان جمع‌بندی نمود که به‌طور کلی مدل کلارک در شبیه سازی آبنمود واحد سیلاب در حوزه آبخیز جنگلی کسلییان در استان مازندران از کارآیی بالا برخوردار بوده که به‌منظور گشایش زمینه‌های پژوهشی جدید و یا توسعه بررسی فعلی، ارزیابی کاربرد مدل کلارک در سایر نقاط کشور و

انجام واسنجی‌های لازم و نیز مقایسه کارایی روش‌های مختلف تخمین پارامترهای مدل مذکور در سایر حوزه‌های آبخیز توصیه می‌شود.

منابع مورد استفاده

۱. حشمت‌پور، ع. ۱۳۷۸. بررسی کارایی آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک در حوزه آبخیز معرف کسلیان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۳۷ صفحه.
۲. رحیمیان، ر. ۱۳۷۴. بررسی مدل‌های مختلف آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک و کاربرد آنها برای سنتز آبنمود در حوزه‌های آبریز فاقد آمار، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی آب دانشگاه شیراز، ۱۰۴ صفحه.
۳. صادقی، س.ح.ر. و م. دهقانی. ۱۳۸۵. دقت روش‌های تخمین ضریب ذخیره آبنمود واحد لحظه‌ای در بازسازی آبنمود واحد سیل (مطالعه موردی: حوزه آبخیز بافت)، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۳ (۳): ۱۶۰-۱۵۲.
۴. صادقی، س.ح.ر.، ح. مرادی، م. مزین و م. وفاخواه. ۱۳۸۴. کارایی روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل آماری در مدلسازی بارش-رواناب، مطالعه موردی: حوزه آبخیز کسلیان، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲ (۳): ۹۰-۸۱.
۵. عبدالهی، خ. ۱۳۸۱. مدلسازی رواناب بر اساس ویژگی‌های ژئومورفولوژیک حوزه آبخیز خانمیرزا با استفاده از GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، ۷۷ صفحه.
۶. عرفانیان، م. ۱۳۷۷. بررسی آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک در حوزه آبخیز درجین سمنان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۵۴ صفحه.
۷. علیزاده، ا. ۱۳۸۵. اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا، ۵۷۰ صفحه.
۸. غیائی، ن.ق. ۱۳۷۴. واسنجی آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی و ژئومورفوکلیماتولوژی حوزه آبخیز امامه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تهران، ۴۰۰ صفحه.
۹. غیائی، ن.ق. و م. روغنی. ۱۳۸۵. کارایی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی و مقایسه آن با هیدروگراف‌های مصنوعی اشنایدر، مثلثی و SCS در حوزه آبخیز کسلیان، مجله پژوهش و سازندگی، ۷۰: ۲۳-۳۲.
۱۰. قهرمان، ب. ۱۳۷۴. آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفو-آب و هوایی، نشریه دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، ۷ (۱): ۲۸-۵۴.
۱۱. نجفی، م.ر. ۱۳۸۱. سیستم‌های هیدرولوژیک (مدل‌سازی بارندگی - رواناب)، ترجمه، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۰۵۶ صفحه.
۱۲. نصیری، ع. ۱۳۸۴. آنالیز روابط متغیرهای ژئومورفولوژی-هیدرولوژی در مدل‌سازی برآورد سیل، مطالعه موردی: حوزه آبخیز امامه، رساله دکتری ژئومورفولوژی و مدیریت محیط زیست، دانشگاه تهران، ۲۲۸ صفحه.
13. Bhadra, A., N. Panigrahy, R. Singh, N.S. Raghuvanshi, B.C. Mal and M.P. Tripathi. 2008. Development of a geomorphological instantaneous unit hydrograph model for scantily gauged watersheds. *Environmental Modelling and Software*, 23: 1013-1025.
14. Bourletsikas, A., E. Baltas and M. Mimikou. 2006. Rainfall-runoff modeling for an experimental watershed of western Greece using extended time-area method and GIS. *Journal of Spatial Hydrology*, 6(1): 93-104.
15. Chih, H.W. 1995. Rainfall-runoff modeling Down Creek watershed. *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 4:279-292.
16. Gracia, S.G. 1998. Geomorphological analysis based on GIS applied to distributed hydrological modeling. *Hydroinformatics*, 98:511-518.
17. Hjelmfelt, A. and M. Wang. 1994. General stochastic unit hydrograph. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE 120(1): 138-148.
18. Jain, S.K., R.D. Singh and S.M. Set. 2000. Design flood estimation using GIS supported GIUH approach. *Water Resources Management*, 14: 369-376.
19. James, W.P., P.W. Winsor and J.R. Williams. 1987. Synthetic unit hydrograph. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 113(1): 70-81.
20. Kull, D.W. and A.D. Feldman. 1998. Evaluation of Clark's unit graph method to spatially distributed runoff. *ASCE, Journal of Hydrologic Engineering*, 3(1): 9-19.
21. Kumar, R., C. Chatterjee, A. K. Lohani, S. Kumar and R. D. Singh. 2002. Sensitivity analysis of the GIUH based Clark model for a catchment. *Journal of Water Resources Management*, 16: 263-278.
22. Noorbakhsh, M.E., M.B. Rahnama and S. Montazeri. 2005. Estimation of instantaneous unit hydrograph with Clark's method using GIS techniques. *Journal of Applied Science*, 5(3): 455-458.
23. Ramirez, J.A. 2000. Prediction and modeling of flood hydrology and hydraulics, In: inland flood hazards: Human, riparian and aquatic communities, Wohl E. (ed.), Cambridge University Press: 293-329

24. Rodriguez-Iturbe, I., G. Devoto and J.B. Valdes. 1979. Discharge response analysis and hydrologic similarity: The interrelation between the geomorphological IUH and the storm characteristics. *Water Resources Research*, 15(6): 1435-1444.
25. Rodriguez-Iturbe, I., M. Gonzalez and R.L. Bras. 1982. A geomorphoclimatic theory of the instantaneous unit hydrograph. *Water Resources Research*, 18(4): 877-886.
26. Saghafian, B., P.Y. Julien, and H. Rajaie. 2002. Runoff hydrograph simulation based on time variable isochrone technique. *Journal of Hydrology*, 261: 193-203.
27. Subramanya, K. 2000. *Engineering hydrology*. Tata McGraw-Hill, India, 391 p.
28. Usul, N. and M. Yilmaz. 2007. Estimation of instantaneous unit hydrograph with Clark's technique GIS: 1-16. <http://gis.esri.com/library/userconf/proc02/pap1229/p1229.htm>.
29. Viessman, W. 1977. *Introduction to hydrology*. Harper and Row, 760 p.
30. Yen, B.C. and K.T. Lee. 1997. Unit hydrograph derivation for ungauged watersheds by stream order laws. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2(1): 1-9.

Evaluation of Clark instantaneous unit hydrograph in estimation of flood in Kasilian Watershed

Haniyeh Asadi, MSc Student, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Iran
Hamid Reza Moradi¹, Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Iran
Seyed Hamid Reza Sadeghi, Professor, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Iran
Abdolrasoul Telvari, Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute

Received: 13 May 2011

Accepted: 09 December 2011

Abstract

The proper application of instantaneous unit hydrograph theory is very efficient for watershed with lack of rainfall data. Therefore, the present study has been conducted to evaluate the efficiency of Clark instantaneous unit hydrograph model with the help of geographical information system in regenerating flood unit hydrograph in Kasilian watershed in Mazandaran province. The comparative evaluation is conducted between the 3h-unit hydrographs simulated using Clark model and the one obtained from averaging the observed ones. This comparison is made with the help of statistical criteria viz. relative error, root mean square of error, coefficient of efficiency and bias. It verified high level of compatibility between two unit hydrographs using the Clark model and the hydrograph obtained by averaging the observed data.

Key words: Efficiency evaluation, Hydrometric station, Flood hazard, Flood producing, Concentration time

¹ Corresponding author: Morady5hr@yahoo.com