مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۸، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴
ص ۶۴۷-۶۵۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۴/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۹/۳۰

ارزیابی دقت روش‌های منحنی زمان- مساحت در تهیهٔ آب‌نمود واحد لحظه‌ای

❖ **حمیدرضا مرادی** *؛ دانشیار دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس
❖ **هانیه اسدی؛** کارشناس‌ارشد دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس
❖ **سیدحمیدرضا صادقی؛** استاد دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس
❖ **عبدالرسول تلوری؛** دانشیار پژوهشی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری E

چکیده

آب‌نمودی که در خروجیِ حوضهٔ آبخیز شکل می‌گیرد می‌تواند مبین واکنش هیدرولوژیکی حوضه در برابر رفتار ژئومورفولوژیکی آن باشد. در این تحقیق سعی شده است با استفاده از سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی و مفهوم آب‌نمود واحد لحظه‌ای، پاسخ‌گوییِ حوضهٔ آبخیز شبیه‌سازی شود. در روش فیزیکی حاضر آب‌نمود واحد لحظه‌ای کلارک بر اساس سه پارامترـ زمان تمرکز، ضریب ذخیره، و منحنی زمان- مساحتـ استخراج شد. بنابراین، ارزیابی دقت کاربرد روش‌های مختلف تعیین منحنی زمان- مساحت شامل روش نیمرخ آبراهه، سرعت‌های مساوی، و لاورنسن در تهیهٔ آب‌نمود واحد لحظه‌ای به روش کلارک در این تحقیق مد نظر قرار گرفت. نتایج ارزیابی این روش‌ها در مقایسه با نتایج مستخرج از آب‌نمودهای مشاهده‌ای با استفاده از روش کیفی و شاخص‌های آماری نشان داد که روش‌های سرعت‌های مساوی در تعیین منحنی زمان- مساحت از دقت بیشتری برخوردارند. مقادیر آماره‌های ارزیابی کمّی بین آب‌نمود واحد متوسط به‌دست‌آمده از سیلاب‌های مشاهداتی حوضهٔ آبخیز با آب‌نمود واحد کلارک به‌دست‌آمده از روش سرعت‌های مساوی با استفاده از مجذور میانگین مربعات خطا، میزان انحراف از دبی اوج، ضریب کارایی، و خطای نسبی دبی اوج، زمان تا اوج، و زمان پایه به‌ترتیب ۱٫۳۹، ۰٫۹۳، ۰٫۸۳، ۷٫۱۳، ۳۳٫۳۳، و ۱۵٫۳۸ درصد بود. همچنین، تحقیق حاضر نشان داد که مدل کلارک در شبیه‌سازی آب‌نمود واحد سیلاب در حوضهٔ آبخیز کسیلیان در استان مازندران از کارایی بیشتری برخوردار است.

واژگان کلیدی: آب‌نمود واحد لحظه‌ای، حوضهٔ آبخیز کسیلیان، روش کلارک، منحنی زمان- مساحت.

*. نویسندهٔ مسئول: تلفن: ۰۱۱۴۴۵۵۳۱۰۱
Email: hrmoradi@modares.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

پیشرفت روش‌های علمی و مهندسی در جابه‌جایی آب‌ها و مهار و بهره‌برداری از آن‌ها هرچند توسعهٔ چشمگیری داشته است، هنوز مسائل زیادی وجود دارد که نیازمند تحقیق و بررسی است. تعیین پارامترهای هیدرولوژی از دید ایمنی، جنبهٔ اقتصادی طرح، و عملکرد سازه‌های هیدرولیکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ به طوری که تخمین صورت‌گرفته باید از دقت بسیار زیادی برخوردار باشد تا طرح مورد نظر عملکرد مناسبی داشته باشد. از طرفی، داده‌ها و اطلاعات مشاهده‌ای برای بررسی و پیش‌بینی وقایع هیدرولوژیکی بسیار مهم و اساسی است و در منطقه و کشوری که این آمار به طور مرتب و طولانی‌مدت ثبت شده باشد، کنترل و تخفیف خساراتی همچون سیل با دقت بهتری انجام می‌شود [۹]. اگرچه در چند دههٔ اخیر تلاش‌های فراوانی برای احداث ایستگاه‌های هیدرومتری در نقاط مختلف کشور صورت گرفته، با توجه به وسعت زیاد کشور، هنوز بسیاری از مناطق فاقد امکانات لازم برای ثبت اطلاعات مربوط به دبی است. بنابراین، تعیین دبی یکی از مشکلات اساسی حوضه‌های آبخیز کشور است. بنابراین، در زمینهٔ شناخت رفتار سیستم حوضهٔ آبخیز در قالب مدل‌های هیدرولوژیکی بسیار تلاش شده است. محققان در تلاش‌های اولیه سعی می‌کردند خروجی حوضهٔ آبخیز را با پارامترهایی مثل مساحت، که نقش تعیین‌کننده‌ای دارند، مرتبط سازند. در کوشش‌های بعدی سعی شد تعداد این پارامترها افزایش یابد، اما فرض اولیهٔ اغلب این مدل‌ها خطی‌بودن سیستم است. به همین دلیل، در حوضه‌های آبخیز بدون آمار استخراج مشخصات سیلاب و تهیهٔ آب‌نمودها با استفاده از روش‌های تجربی یا مدل‌های مبتنی بر خصوصیات و ویژگی‌های حوضهٔ آبخیز مناسب به‌نظر می‌رسد. بنابراین، کاربردِ صحیحِ تئوریِ آب‌نمود واحد لحظه‌ای[1] به مفهوم رواناب سطحی حاصل از یک واحد بارش مازاد آنی در حوضهٔ آبخیز بدون داشتن اطلاعاتِ مربوط به بارندگی و فقط با داشتن خصوصیات قابل دسترس فیزیوگرافی و ژئومورفولوژی حوضه بسیار کاراست [۱۳]. به طور کلی، آب‌نمود واحد لحظه‌ایْ روشی مناسب و کاربردی برای تخمین سیلاب در حوضه‌های فاقد آمار سیل است. برای ایجاد آب‌نمود واحد لحظه‌ایْ روش‌های متعددی پیشنهاد شده است؛ روش کلارک کاربردی‌ترین آن‌هاست. مدل کلارک یک روش آب‌نمود سه‌پارامتری است که بر نمودار زمان-مساحت[2] استوار و نیز به روش «تأخیر و تنسیق» معروف است [۱۴]. از محاسن عمدهٔ این روش امکان انعکاس تغییرات زمانی و مکانی بارش است؛ مشروط بر آنکه پارامترهای مورد نیاز آن با دقت مناسب تعیین شوند.

کاربرد مدل کلارک در تخمین سیلاب در مطالعه‌ای در حوضهٔ داون کریک[3] [۳]، حوضهٔ آبخیز کارده در استان خراسان [۱۲]، بخشی از حوضهٔ اولوس[4] [۲۲]، و حوضهٔ آبخیز بازفت ارزیابی شد [۱۵]. همچنین، آنالیز حساسیت نسبی برای پارامترهای ورودی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی مبنی بر مدل کلارک نسبت به دبی اوج هیدروگراف واحد انجام گرفت [۷]. محققان

1. Instantaneous Unit Hydrograph (IUH)
2. time- area curve
3. Down Creek
4. Ulus

Archive of SID

www.SID.ir

مشاهده کردند که پارامترهای سرعت متوسط و طول آبراههٔ اصلی حساسیت بیشتری دارند، بنابراین، این پارامترها باید با دقت بیشتری تخمین زده شوند.

روش‌های مختلف محاسبهٔ منحنی زمان- مساحت با استفاده از سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی[1] و مدل رقومی ارتفاع بررسی شد [۱۰، ۱۱، ۱۷]. برای محاسبهٔ منحنی زمان- مساحت در حوضهٔ مکس‌کریک[2] از مدلی استفاده شد که در آن برای محاسبهٔ زمان پیمایشْ معادلات بر پایهٔ سرعت حرکت موج بنا گردید [۱۶]. در تحقیقی دیگر روش‌های تعیین موقعیت خطوط هم‌زمان پیمایش[3] در مقایسه با روش تحلیلی موج سینماتیک در صفحهٔ v شکل بررسی شد [۱۸]. نتایج نشان داد که می‌توان به جای کاربردِ روش‌هایِ تجربیِ تولیدِ خطوطِ هم‌زمانِ پیمایشْ از روشی مبتنی بر هیدرولیک امواج استفاده کرد. در زمینهٔ امکان شبیه‌سازی آب‌نمود واحد با استفاده از متغیّرهای فیزیکی حوضه در امریکا و در هند تحقیقاتی انجام یافت [۵، ۶].

بر اساس سوابق موجود تحقیق، می‌توان بیان کرد که در حوضه‌های آبخیز بدون آمار استخراج مشخصات سیلاب و تهیهٔ آب‌نمودها با استفاده از IUH مناسب به‌نظر می‌رسد و روش کلارک کاربردی‌ترین آن‌هاست. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، به تعیین دقیق پارامتر منحنی زمان- مساحت به شیوه‌های مختلف در روش کلارک توجهی نشده است. بنابراین، در این تحقیق کاربرد روش‌های مختلف تعیین منحنی زمان- مساحت، شامل روش نیمرخ آبراهه، سرعت‌های مساوی، و لاورنسن[4]، در تهیهٔ آب‌نمود واحد لحظه‌ای به روش کلارک و ارزیابی دقت آن‌ها در مقایسه با نتایج مستخرج از آب‌نمودهای مشاهده‌ای مد نظر است.

روش‌شناسی تحقیق

حوضهٔ کسیلیان دومین حوضهٔ معرفی است که وزارت نیرو در ایران آن را تجهیز کرده است. این حوضهٔ آبخیز بخشی از حوضهٔ آبخیز مازندران است که در دامنهٔ شمالی سلسله‌جبال البرز و بین عرض جغرافیایی "۳۰ '۵۸ °۳۵ و "۱۵ '۷ °۳۶ شمالی و طول جغرافیایی "۴۴ '۸ °۵۳ و "۴۲ '۱۵ °۵۳ شرقی قرار گرفته است. مساحت آن ۶۶٫۷۵ کیلومتر مربع، محیط آن ۴۲٫۵ کیلومتر، کمینه و بیشینهٔ ارتفاع آن به‌ترتیب ۱۱۰۰ و ۲۷۰۰ متر از سطح دریا، و طول بزرگ‌ترین آبراههٔ آن ۱۷٫۳۳ کیلومتر است. شکل ۱ شمای کلی منطقهٔ مورد مطالعه و محل ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد.

برای اجرای این تحقیق از آمار بارندگی ایستگاه سنگده (نزدیک‌ترین ایستگاه به مرکز ثقل حوضه) و از اطلاعات ثبت‌شدهٔ سیل در تنها ایستگاه هیدرومتری حوضهْ واقع در خروجی آن استفاده شد. سپس، نقشهٔ رقومی‌شدهٔ حوضه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ از سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه و نقشهٔ مدل رقومی ارتفاع با اندازهٔ پیکسل ۲۰ متر و بر اساس آن، نقشه‌های شیب و جهت شیب در محیط نرم‌افزار ARCGIS تهیه شد. سپس، منحنی‌های زمان- مساحت حوضه بر اساس روش‌های مذکور تهیه شد. در این روش‌ها زمان پیمایش بر حسب تناسب با توانی از طول پیمایش به‌دست آمد [۱۸].

بدین ترتیب که در روش نیمرخ آبراهه، پس از محاسبهٔ زمان تمرکز، زمان پیمایش مناسب انتخاب

1. Geographical Information System (GIS)
2. Macks Creek
3. isochrones
4. Laurenson

Archive of SID
www.SID.ir

شد [۲۰] و نیمرخ طولیِ بزرگ‌ترین آبراهه با استفاده از مدل رقومی ارتفاع[1] و لایهٔ رقومی‌شدهٔ آبراهه به‌دست آمد. سپس، نیمرخ به قطعاتی به تعداد فواصل زمانی انتخاب‌شده تقسیم شد و، با انطباق محورِ زمانِ تمرکز بر محور طول رودخانه، ارتفاعِ نقاطِ تقاطعِ هم‌زمانِ تمرکز با آبراههٔ اصلی به‌دست آمد. با متصل‌کردن نقاط ارتفاعی متناظر آن‌ها خطوط هم‌زمان تمرکز و در نهایت مساحت محصورشده بین آن‌ها در محیط نرم‌افزار ARCGIS به‌دست آمد [۲۱]. در روش لاورنسن [۱۹، ۲۰]، با توجه به اینکه زمان پیمایش هر مساحت محصورشده بین دو منحنی نسبت مستقیم با مجموع حاصل تقسیم طول (L) به جذر شیب (S) دارد، این مقادیر برای کل قطعات در مسیر جریان و از نقطهٔ مورد نظر تا خروجی حوضه جمع بسته شد. در این روش عملاً برای رسم خطوطِ هم‌زمانِ پیمایشْ نخست خطوط تراز با اختلاف ارتفاع ۴۰ متر استخراج شد. سپس، ۶۰ نقطه روی خطوط توپوگرافی تعیین شد و طول زمان حرکت تا خروجی حوضه با نسبت $L/S^{1/2}$ رده‌بندی شد و بر اساس آن خطوط هم‌زمان پیمایش ترسیم شد. منحنی زمان- مساحت در روش سرعت‌های مساوی [۱۸] نیز بر اساس فرض یکنواخت‌بودن سرعت در سراسر حوضه به‌دست آمد. در این روش زمان پیمایش از هر نقطه تا خروجی متناسب با طول فاصلهٔ آن نقطه تا خروجی حوضه فرض شده بود.

در نهایت، منحنی‌های زمان- مساحت به‌دست‌آمده از سه روش مذکور به عنوان جریان ورودی به حوضه در نظر گرفته شد. این منحنی‌ها بر اساس شرایط حاکم بر آبراهه به طرف پایین‌دست روندیابی می‌شوند. کلارک برای روندیابی در صورت فرض تساوی I_1 و I_2 [۲۱] و مبتنی بر قانون پیوستگی جریان و با استفاده از مقادیر ورودی (I)، خروجی (Q)، و ذخیره (S) در ابتدا و انتهای بازهٔ زمانی t از رابطهٔ ۱ استفاده کرد:

$$Q_2 = \frac{t}{K+0.5t} I_1 + \frac{K-0.5t}{K+0.5t} Q_1 \qquad (۱)$$

$$I_1 = 0.278 \frac{A}{t}$$

پارامتر K بر حسب ساعت بر اساس رابطهٔ ۲ نشان‌دهندهٔ اثر ذخیرهٔ کانال روی آب‌نمود است و از تقسیم جریان در نقطهٔ خمیدگی آب‌نمود مستقیم بر میزان تغییرات مخزن در همان زمان به‌دست آمد [۲۱].

$$K = \frac{-Q}{dQ/dt} \qquad (۲)$$

بدین ترتیب، پس از تعیین ضریب ذخیره (K) و تهیهٔ منحنی‌های زمان- مساحت با بازه‌های زمانی مذکور، آب‌نمود واحد لحظه‌ای کلارک محاسبه شد و سپس برای مقایسه با آب‌نمود واحد مشاهده‌ای به آب‌نمود واحد تبدیل شد. در این تحقیق ۴۸ رگبار منفرد ایستگاه سنگده با شرایط استفاده برای تهیهٔ آب‌نمود واحد انتخاب شد و باران‌نگار آن‌ها با فواصل زمانی مشخص تجزیه شد. برای تعیین متوسط تلفات بارش از شاخص فی[2] و از طریق تجزیهٔ باران‌نگار و آب‌نمود رگبار مربوطه و به روش سعی و خطا استفاده شد [۹]. با توجه به منحنی‌های ثبت‌شده به‌وسیلهٔ لیمنوگراف ایستگاه ولیک‌بن، آب‌نمود طبیعی وقایع انتخابی استخراج شد. برای به‌دست‌آوردن آب‌نمود سیل از آب‌نمود کل آب پایه از طریق رسم خط با شیب مثبت از ابتدای شاخهٔ بالارونده تا انتهای شاخهٔ خشکیدگی استفاده شد [۹].

1. Digital Elevation Model (DEM)

2. ϕ - Index

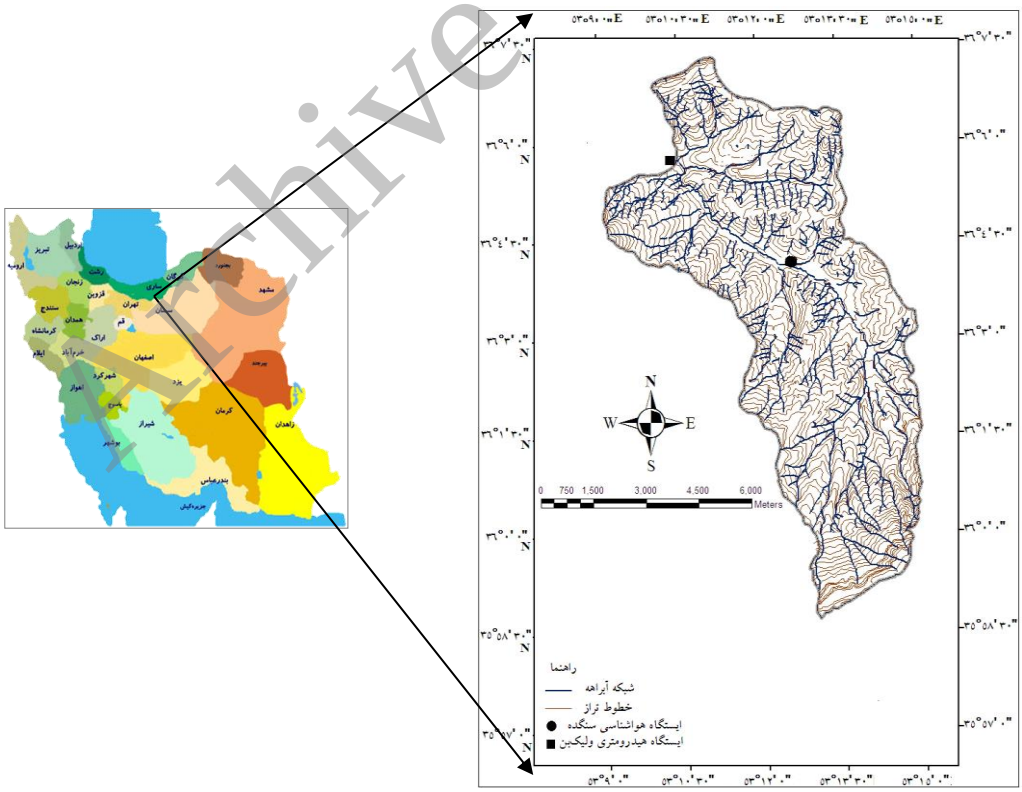
Archive of SID

www.SID.ir

برای واحدکردن آب‌نمود سیل، پس از جداکردن دبی پایهٔ آب‌نمود، حجم رواناب به‌دست آمد و با توجه به مساحت حوضه و شاخص فی آب‌نمود سیل به واحد تبدیل شد. سپس، منحنیِ S هر سیلاب تهیه شد و آب‌نمودهای سیل با توجه به غالب‌بودن تعداد آب‌نمودهای واحد سه‌ساعتهٔ موجود در حوضهٔ آبخیز و نیز به دلیل افزایش دقت و رعایت پایهٔ زمانی پیشنهادی برای آب‌نمود واحد یعنی کمتر از ۰٫۲ تا ۰٫۳۳ زمان تأخیر حوضه [۲۱] به آب‌نمود واحد سه‌ساعته تبدیل شد. سپس، آب‌نمود واحد سه‌ساعتهٔ متوسط از آب‌نمودهای واحد سه‌ساعتهٔ مشاهده‌ای به‌دست آمد. در نهایت، برای ارزیابی کارایی نتایج به‌دست‌آمده، علاوه بر مقایسهٔ کیفی آن‌ها، از شاخص‌های آماری خطای نسبی، مجذور میانگین مربعات خطا، ضریب کارایی، و میزان انحراف استفاده شد.

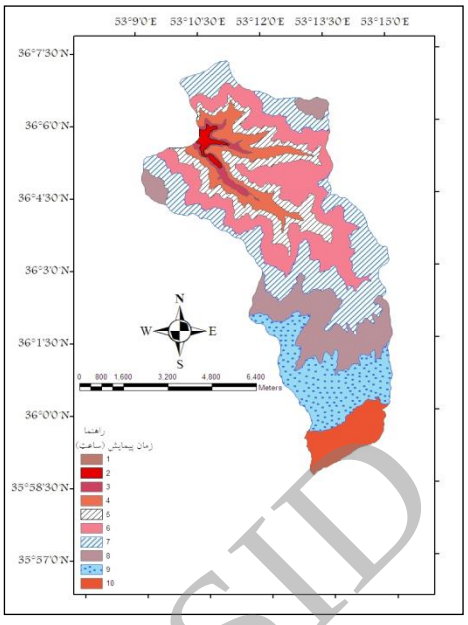
نتایج

همان گونه که در روش تحقیق ذکر شد، به منظور مقایسهٔ روش‌های تهیهٔ منحنی زمان- مساحت، پس از اینکه ۴۸ رگبار به طور دقیق تحلیل شد، مقدار ضریب ذخیره با توجه به روش ترسیمی ۷٫۸۸ ساعت به‌دست آمد. سپس، نقشه‌های هم‌زمان تمرکز حوضهٔ آبخیز با فاصلهٔ زمانی یک‌ساعته (شکل‌های ۲، ۳، و ۴) و بر اساس آن‌ها نمودارهای زمان- مساحت حوضهٔ آبخیز به صورت آنچه در شکل‌های ۵، ۶، و ۷ ارائه شده تهیه شد. شکل ۸ و جدول ۱ به‌ترتیب وضعیت مقایسه‌ایِ آب‌نمودهای واحد سه‌ساعتهٔ محاسبه‌ای با آب‌نمود واحد سه‌ساعتهٔ مشاهده‌ای و همچنین نتایج کمّی مقایسهٔ آب‌نمودهای مذکور با استفاده از آماره‌های مختلف را نشان می‌دهد.

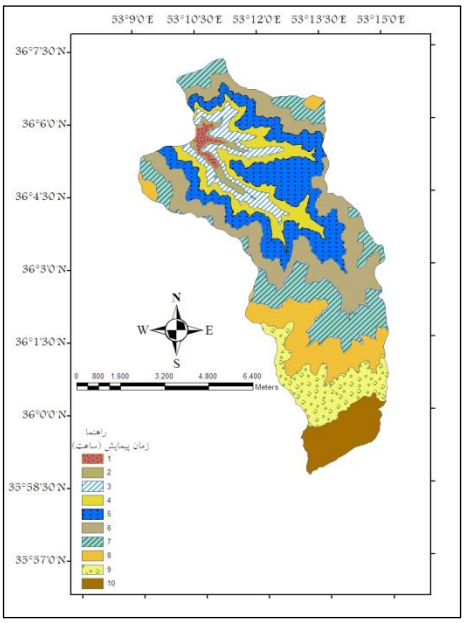


شکل ۱. نقشهٔ توپوگرافی، موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی، و هیدرومتری حوضهٔ آبخیز کسیلیان

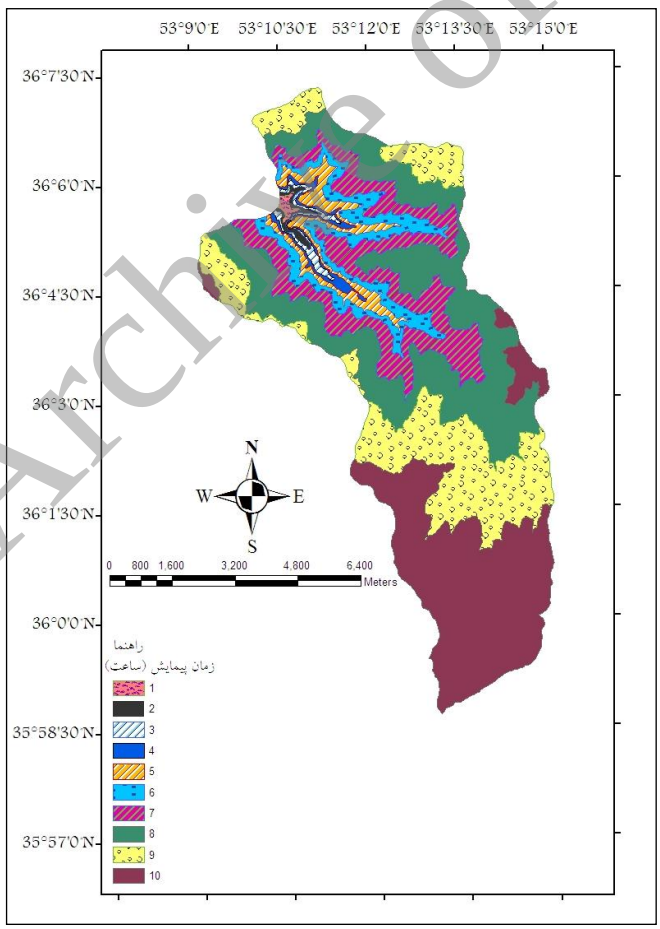
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۲. نقشهٔ مناطق هم‌زمان تمرکز با استفاده از روش نیمرخ آبراهه

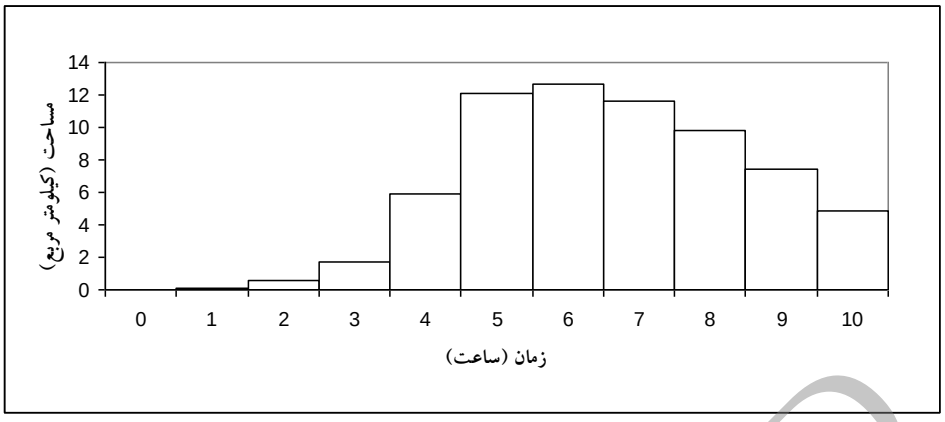


شکل ۳. نقشهٔ مناطق هم‌زمان تمرکز با استفاده از روش سرعت‌های مساوی

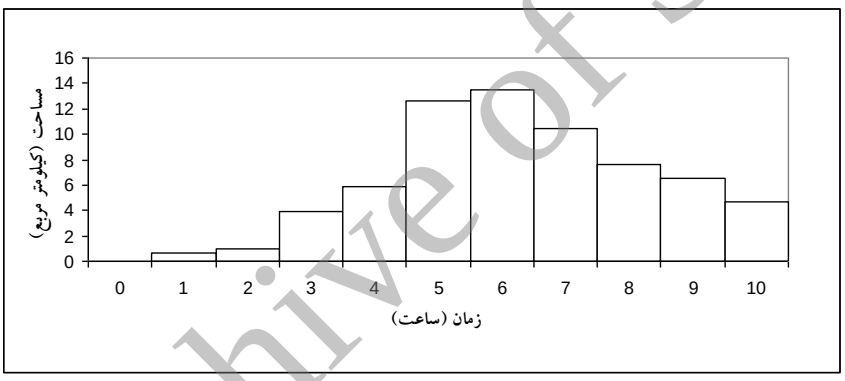


شکل ۴. نقشهٔ مناطق هم‌زمان تمرکز با استفاده از روش لاورنسن

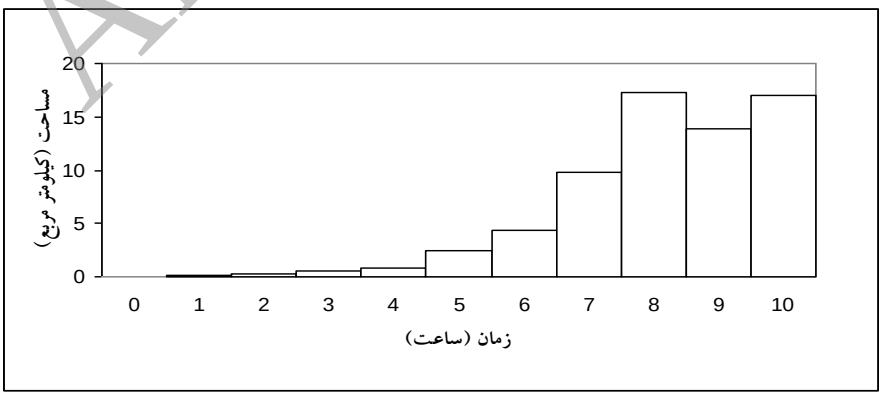
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۵. نمودار زمان- مساحت با روش نیمرخ آبراهه در حوضهٔ آبخیز کسیلیان

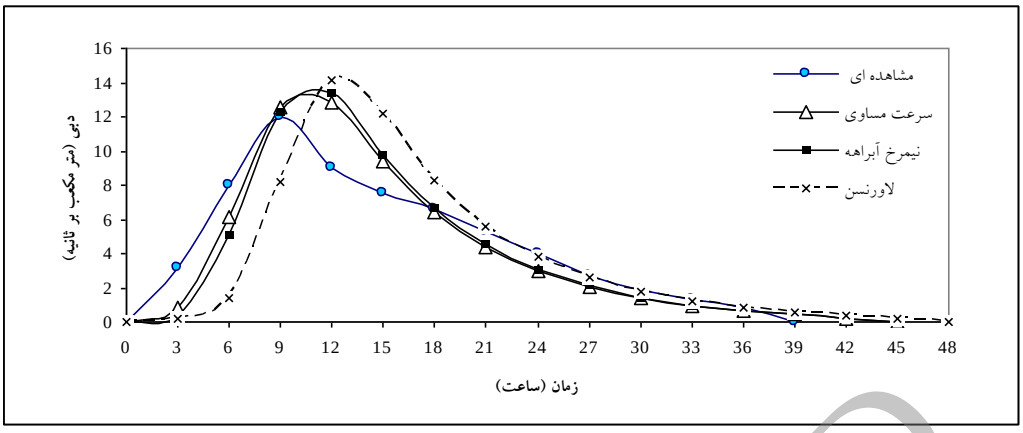


شکل ۶. نمودار زمان- مساحت با روش سرعت‌های مساوی در حوضهٔ آبخیز کسیلیان



شکل ۷. نمودار زمان- مساحت با روش لاورنسن در حوضهٔ آبخیز کسیلیان

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۸. آب‌نمودهای واحد مشاهداتی و تخمینی سه‌ساعته با استفاده از روش‌های مختلف تعیین منحنی زمان- مساحت در حوضهٔ آبخیز کسیلیان

جدول ۱. نتایج ارزیابی کمّی روش‌های مختلف تهیهٔ منحنی زمان- مساحت در مدل کلارک

شاخص / روش	خطای نسبی (درصد)			انحراف در دبی اوج	مجذور میانگین مربعات خطا	ضریب کارایی
	دبی اوج	زمان پایه	زمان تا اوج			
نیمرخ آبراهه	۱۱٫۳۸	۱۵٫۳۸	۳۳٫۳۳	۰٫۹۰	۱٫۶۴	۰٫۷۶
سرعت‌های مساوی	۷٫۱۳	۱۵٫۳۸	۳۳٫۳۳	۰٫۹۳	۱٫۳۹	۰٫۸۳
لاورنسن	۱۷٫۸۹	۲۳٫۰۸	۳۳٫۳۳	۰٫۸۵	۲٫۶۵	۰٫۳۳

بحث و نتیجه‌گیری

در یک مقایسهٔ کیفی، از نتایج به‌دست‌آمده می‌توان دریافت که کاربرد مدل کلارک در هر سه مورد دبی اوج، زمان تا اوج، و زمان پایه بیش‌تری نسبت به شرایط واقعی نشان داده است. بر اساس نتایج ارائه‌شده در جدول ۱، بر پایهٔ خطاهای نسبی تعیین‌شده برای زمان پایه، دبی، و زمان تا اوج در یک مقایسهٔ پارامتریک می‌توان دریافت که مدل در برآورد دبی اوج موفق‌تر از سایر پارامترها بوده است. از طرفی، نتایج نشان داد مدل کلارک نسبت به دبی اوج و زمان پایه از حساسیت زیادی برخوردار است؛ محققان دیگر نیز به همین نتیجه رسیدند [۴].

همچنین، مقایسهٔ نتایج ارزیابی کمّی روش‌های تهیهٔ منحنی زمان- مساحت نشان داد که روش سرعت‌های مساوی بهتر از سایر روش‌ها بوده است و با نتایج مطالعه‌ای [۱۹]، مبنی بر کاربرد معمول روش سرعت‌های مساوی توسط مدل‌سازان معاصر برای تولید خطوط هم‌زمان تمرکز در محیط GIS، هم‌خوانی دارد. از طرفی، محققان دیگر، به منظور شبیه‌سازی دقیق آب‌نمود سیلاب، به ارائهٔ مدل مناسب در تعیین منحنی زمان- مساحت پرداختند [۱، ۱۰، ۱۱، ۱۶، ۱۷]. تحقیق حاضر نیز به همین منظور صورت گرفت. بدین ترتیب، می‌توان نتیجه گرفت که بخشی از دقت برآورد خصوصیات آب‌نمود به روش

Archive of SID
www.SID.ir

مورد استفاده در تعیین پارامتر وابسته است و با یافته‌های دیگر محققان نیز مطابقت دارد [۱۴].

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق، دبی حاصل از روش آب‌نمود واحد کلارک دارای نتایج نزدیک به مقدار مشاهده‌شده است و با تحقیقات محققان دیگر نیز تطابق دارد [۳، ۱۲، ۱۴، ۱۵، ۲۲]. به طور کلی، مقایسهٔ نتایج این تحقیق با سایر مطالعات مربوط به تهیهٔ IUH با استفاده از روش‌های مختلف دلالت دارد بر توانایی قابل قبول این روش در برآورد سیلاب[۲، ۷].

همچنین، نتایج رضایت‌بخش به‌دست‌آمده در زمینهٔ امکان شبیه‌سازی آب‌نمود واحد با استفاده از متغیّرهای فیزیکی حوضه با یافته‌های بسیاری از تحقیقات گذشته هم‌سوست [۵، ۶، ۸]؛ اگرچه نتایج به‌دست‌آمده از لحاظ متغیّرهای برآوردکنندهٔ مؤلفه‌های مختلف آب‌نمود واحد متفاوت است.

در نهایت، با استفاده از یافته‌های منتج از این تحقیق، توجه لازم در تعیین پارامترهای مدل مذکور تأیید می‌شود. از طرفی، استفاده از مدل کلارک در تخمین آب‌نمود واحد لحظه‌ای برای تخمین سیلاب در حوضه‌های فاقد آمار، ضمن بررسی و تأیید نهایی، کارایی آن در دیگر حوضه‌های آبخیز توصیه می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

References

[1] Ajward, M.H. and Muzic, I. (2000). A spatially varied unit hydrograph model, *Journal of Environmental Hydrology*, 8(7), 1-28.

[2] Bhadra, A., Panigrahy, N., Singh, R., Raghuwanshi, N.S., Mal, B.C. and Tripathi, M.P. (2008). Development of a geomorphological instantaneous unit hydrograph model for scantily gauged watersheds, *Environmental Modelling & Software*, 23, 1013-1025.

[3] Chih, H.W. (1995). Rainfall-runoff modeling Down Creek watershed, *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 4, 279-292.

[4] Jain, S.K., Singh, R.D. and Set, S.M. (2000). Design flood estimation using GIS supported GIUH approach, *Water Resources Management*, 14, 369-376.

[5] Jena, S.K. and Tiwari, K.N. (2006). Modeling synthetic unit hydrograph parameters with geomorphologic parameters of watersheds, *Journal of Hydrology*, 319, 1-14.

[6] Kalina, L., Govindarajua, R.S. and Hantushb, M.M. (2003). Effect of geomorphology resolution on modeling of runoff hydrograph and sedimentograph over small watershed, *Journal of Hydrology*, 276, 89-111.

[7] 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, *Journal of Water Resources Management*, 16, 263-278.

[8] Lee, K.T. and Chang, C.H. (2005). Incorporating subsurface-flow mechanism into geomorphology-based IUH modeling, *Journal of Hydrology*, 311, 91-105.

[9] Mahdavi, M. (1998). *Applied hydrology*, Vol. 2, Tehran university press, 401p (In Persian).

[10] Maidment, D.R. (1993). Developing a spatially distributed unit hydrograph by using GIS, Proceding of HydroGIS 93, Vienna, *IAHS Publ.*, 212, 181-192.

[11] Muzik, I. (1996). Flood modeling with GIS-derived distributed unit hydrograph, *Hydrological processes*, 10,1401-1409.

[12] Noorbakhsh, M.E., Rahnama, M.B. and Montazeri, S. (2005). Estimation of instantaneous unit hydrograph with Clarks method using GIS techniques, *Journal of Applied Science*, 5(3), 455-458.

[13] 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.

[14] Sabol, G.V. (1988). Clark unit hydrograph and R-parameter estimation, *Journal of Hydraulic Engineering*, 114(1), 103-111.

[15] Sadeghi, S.H.R. and Dehghani, M. (2006). Efficacy of estimation methods for storage coefficient of instantaneous unit hydrograph in flood unit hydrograph regeneration, *Journal of Agricultural sciences and natural resources*, 13(3), 152-160 (In Persian).

[16] Saghafian, B. and Julien, P.Y. (1995). Time to equilibrium for spatially variable watersheds, *Journal of Hydrology*, 172, 231-293.

[17] Saghafian, B., Julien, P.Y. and Rajaie, H. (2002). Runoff hydrograph simulation based on time variable isochrone technique, *Journal of Hydrology*, 261, 193-203.

Archive of SID

www.SID.ir

[18] Shokoohi, A. and Saghafian, B. (2007). Isochrones mapping methods in time-area routing technique, *Journal of Iran-water resources research*, 2(3), 62-73 (In Persian).

[19] Shokoohi, A. and Saghafian, B. (2008). Isochrones delineation in converging flows for using in time-area method, *Journal of Iran-water resources research*, 3(3), 66-75 (In Persian).

[20] Singh, V.P. (1988). *Hydrologic system (rainfall-runoff modeling)*, Vol. 2, Prentice Hall College Div., 480p.

[21] Subramanya, K. (2000). *Engineering hydrology*, Tata McGraw-Hill, India, 391p.

[22] Usul, N. and Yilmaz, M. (2007). *Estimation of instantaneous unit hydrograph with Clark's technique GIS*: 1-16. http://gis.esri.com/library/userconf/proc02/pap1229/p1229.htm.

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir