ارزیابی روش‌های تخمین ضریب ذخیره آب نمود واحد لحظه‌ای کلارک در شبیه‌سازی آب نمود واحد سیل

هانیه اسدی[۱]، حمیدرضا مرادی[۱*]، عبدالرسول تلوری[۲] و سید حمیدرضا صادقی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۱۰/۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۳/۱۰)

چکیده

روش کلارک یکی از روش‌های کاربردی تهیه آب‌نمود واحد لحظه‌ای در حوزه‌های آبخیز می‌باشد که کارآیی آن به دقت تخمین پارامتر ضریب ذخیره آن بستگی دارد. از این‌رو تحقیق حاضر به‌منظور تعیین میزان کارآیی آب‌نمود به‌دست آمده بر اساس روش کلارک و مقایسه پارامتر ضریب ذخیره در معادله ماسکینگام از روش‌های ترسیمی، کلارک، لینزلی، میشل، جانستن- کراس و ایتن در حوزه آبخیز کسیلیان در استان مازندران انجام پذیرفت. در این تحقیق، ابتدا نمودار زمان- مساحت منطقه تهیه و اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی سنگده و هیدرومتری ولیک‌بن برای تهیه آب‌نمود واحد ۳ ساعته متوسط حوزه آبخیز استفاده شد. سپس کارآیی آب‌نمودهای واحد لحظه‌ای حاصل از روش کلارک با توجه به ضریب ذخیره معادله ماسکینگام و حاصل از شش روش مذکور، از طریق تبدیل آن به آب‌نمود واحد ۳ ساعته و مقایسه آنها با آب‌نمود واحد ۳ ساعته متوسط حوزه آبخیز بر اساس شاخص‌های آماری ارزیابی گردید. نتایج تحقیق نشان داد که روش ترسیمی مورد استفاده در تهیهٔ آب‌نمود واحد لحظه‌ای کلارک با خطای تخمین و ضریب کارآیی به‌ترتیب ۳۳/۳۳ و ۸۳ درصد از دقت مناسب برای شبیه‌سازی مؤلفه‌های آب‌نمود سیلاب واحد مشاهده‌ای حوزه آبخیز مورد مطالعه برخوردار بوده است.

واژه‌های کلیدی: آب‌نمود واحد لحظه‌ای، ضریب ذخیره، کسیلیان، کلارک، نمودار زمان- مساحت

۱. به ترتیب کارشناس ارشد، استادیار و دانشیار مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران
۲. دانشیار پژوهشی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، کرج
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: morady5hr@yahoo.com

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.4.1]

مقدمه

سیل یک اتّفاق ناگهانی و رویدادی سریع و مخرب است که هر ساله در نقاط مختلف جهان و کشور باعث بروز خسارات جانی و مالی محسوس و نامحسوس فراوان می‌شود. از طرفی مهار و یا کاهش آثار آن نیازمند مطالعه صحیح و دقیق می‌باشد (۲). بررسی‌های کارشناسی نشان داده که بسیاری از حوادث اخیر سیل در ایران در زمره حوادث غیرمترقبه طبیعی نیستند و دخل و تصّرف انسان سبب به‌وجود آوردن آن گردیده است. بنابراین اغلب این حوادث قابل پیش‌گیری هستند (۶). برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب‌های سطحی می‌تواند راهی مؤثر برای پیش‌گیری و کنترل سیل باشد که خود نیازمند آمار و اطلاعاتی است که کمبود آن در اکثر نقاط کشور به‌علت بالا بودن هزینه ساخت و نگه‌داری ایستگاه هیدرومتری مشاهده می‌شود. از طرفی تهیه آب‌نمودهای سیل در کارهای مهندسی منابع آب و آبخیزداری، ساماندهی رودخانه، اولویت‌بندی مناطق سیل‌خیز و پهنه‌بندی سیلاب از نظر اجرای پروژه‌های عمرانی و نقشه‌های حساسیت به سیل ضرورت دارد. به‌همین جهت در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار، استخراج مشخصّات سیلاب و تهیه آب‌نمودها با استفاده از روش‌های تجربی و یا مدل‌های مبتنی بر خصوصیات و ویژگی‌های حوزه آبخیز، مناسب به‌نظر می‌رسد (۸). در این راستا استفاده صحیح از تئوری مربوط به آب‌نمود واحد لحظه‌ای (Instantaneous Unit Hydrograph, IUH) به‌مفهوم روان‌آب سطحی حاصل از یک واحد بارش مازاد آنی در حوزه آبخیز (۳۱) به‌واسطه عدم نیاز به اطلاعات مربوط به بارندگی و کفایت اطلاعات مربوط به خصوصیات قابل دسترس فیزیوگرافی و ژئومورفولوژی حوزه آبخیز در تهیه آن (۹) بسیار کاراست. برای به‌دست آوردن IUH مدل‌های بسیاری وجود دارد ولی مفهوم همگی آنها بر اساس اصول مخازن خطی (Linear reservoirs) استوار است. یکی از این روش‌ها، مدل کلارک (۲۳) یا روش تأخیر و روند (Lag and Route Technique) است که به‌دلیل سهولت محاسبه متغیرهای مورد نیاز آن به‌عنوان کاربردی‌ترین روش تهیه آب‌نمود واحد لحظه‌ای محسوب می‌شود (۱۳).

روش‌های گوناگونی مانند کاربرد خصوصیات ژئومورفولوژیکی (۲، ۴، ۵، ۸، ۹، ۱۱، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۹، ۲۰، ۲۵، ۲۷، ۳۳ و ۳۵)، موج سینماتیک (۳۸) و موج سینماتیک کاذب (۳۲) در تهیه IUH استفاده شده‌اند. هم‌چنین کاربرد موفقیت‌آمیز روش کلارک در خارج از کشور (۲۱، ۲۲، ۲۴ و ۲۹) با استفاده از روش‌های مختلف از قبیل حداقل مربعات (۳۹)، سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور (۱۱، ۱۷، ۲۱، ۲۴، ۲۵، ۲۷ و ۲۹) برای دست‌یابی دقیق‌تر به پارامترهای مورد نیاز در تهیه IUH گزارش شده است. از طرفی سوابق گزارش شده در داخل کشور نیز عمدتاً دلالت بر استفاده از روش‌های مختلف تهیه آب‌نمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک، ژئومورفوکلیماتیک، کلارک، ناش و روسو (Rosso) در حوزه‌های آبخیز پس کوهک شیراز (۵) امامه (۱۴ و ۱۹)، کسیلیان (۳ و ۱۵)، لیقوان (۴)، ناورود (۱۶)، کارده (۱۷ و ۲۹)، درجزین (۱۲)، خانمیرزا (۱۱) و بازفت (۸) داشته و در مواردی نتایج به‌دست آمده با سایر روش‌های برآورد سیلاب مقایسه و عملکرد متفاوت آنها گزارش شده است. حال آن‌که مقایسه کارآیی روش‌های مختلف تعیین ضریب ذخیره در استفاده از مدل کلارک توسط صادقی و دهقانی (۹) و با دست‌یابی به کارآیی برتر روش ترسیمی در مقایسه با دو روش کلارک و لینزلی در شبیه‌سازی آب‌نمود واحد سیل در حوزه آبخیز بازفت مورد توجه قرار گرفته است.

بر اساس سوابق مورد بررسی می‌توان اذعان نمود که به‌طور کلی IUH یک روش مناسب و کاربردی برای تخمین سیلاب در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار سیل مطرح است مشروط بر آن‌که پارامترهای مورد نیاز آن با دقت مناسب تعیین شوند. از طرفی به‌دلیل مشکل بودن تخمین ضریب ذخیره در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار (۳۴) ضرورت انجام تحقیق در خصوص انتخاب و معرفی روش‌های برتر توجیه می‌گردد. از این‌رو تحقیق حاضر با هدف اصلی کاربرد و ارزیابی عملکرد روش‌های مختلف تخمین ضریب ذخیره روش کلارک در تهیه IUH و ارزیابی

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.4.1]

دقّت آنها در مقایسه با نتایج مستخرج از آب‌نمودهای مشاهده‌ای در حوزه آبخیز جنگلی کسیلیان به‌دلیل ثبت آب‌نمودهای مشاهده‌ای مناسب و کافی و دسترسی به اطلاعات مورد نیاز برنامه‌ریزی شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور انجام تحقیق حاضر، حوزه آبخیز معرف کسیلیان واقع در دامنه شمالی سلسله جبال البرز و بین عرض جغرافیایی "۳۰ '۵۸ °۳۵ 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 به‌ترتیب ۱۱۰۰ و ۲۷۰۰ متر از سطح دریا، طول بزرگ‌ترین آبراهه ۱۷/۳۳ کیلومتر انتخاب شد (شکل ۱).

برای انجام این تحقیق از آمار بارندگی تنها ایستگاه باران‌نگاری مستقر در منطقه (سنگده) به‌عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه به مرکز ثقل حوزه آبخیز و اطلاعات ثبت شده سیل در ایستگاه ولیک‌بن واقع در خروجی حوزه آبخیز (شکل ۱) استفاده شد. حداکثر تعداد ۴۸ رگبار منفرد ایستگاه باران‌نگار و برخوردار از آب‌نمودهای مشخص و متناظر سیل در ایستگاه هیدرومتری ولیک‌بن از مجموع کل رگبارهای قابل دسترس و ثبت شده طی سال‌های ۱۳۵۴ تا ۱۳۸۶ برای تهیه آب‌نمود واحد انتخاب شد. برای تعیین متوسط تلفات بارش از شاخص فی (f - Index) و از طریق تجزیه باران نگار و آب‌نمود رگبار مربوطه و به روش سعی و خطا استفاده شد.

برای به‌دست آوردن آب‌نمود سیل از آب‌نمود کل آب پایه از طریق رسم خط با شیب مثبت از ابتدای شاخه بالارونده تا انتهای شاخه خشکیدگی (۳۶) و اطمینان از صحت روش به‌کار برده شده با توجه به شکل کلیه آب‌نمودهای مورد استفاده و نیز نتایج تحقیقات دیگر (۱۸) استفاده شد. در ادامه آب‌نمود واحد حوزه آبخیز مذکور پس از تعیین ارتفاع روان‌آب مستقیم و مدت زمان بارش مؤثر تهیه شد (۱۳). سپس منحنی S مربوط به هر سیلاب تهیه و آب‌نمودهای سیل به آب‌نمودهای واحد ۳ ساعته به‌دلیل افزایش دقّت و رعایت پایه زمانی پیشنهادی برای آب‌نمود واحد به میزان ۰/۲ تا ۰/۳۳ زمان تأخیر حوزه آبخیز (۳۶) تبدیل گردید و آب‌نمود واحد ۳ ساعته متوسط از آب‌نمودهای واحد ۳ ساعته مشاهده‌ای به‌دست آمد. سپس نقشه رقومی شده منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ از سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه و نقشه مدل رقومی ارتفاع (Digital Elevation Model) با شبکه‌هایی با ابعاد ۲۰*۲۰ متر، لایه رقومی شده شبکه آبراهه و پروفیل طولی بزرگ‌ترین آبراهه با کمک نرم‌افزار ARCGIS تهیه و سپس نقشه هم‌زمان تمرکز یک ساعته حوزه آبخیز با استفاده از روش سرعت‌های مساوی (۳۰) استخراج شد. نمودار زمان- مساحت به‌دست آمده به‌عنوان 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 و جریان ورودی سپس بر اساس شرایط حاکم بر آبراهه به‌طرف پایین‌دست روندیابی می‌شود. کلارک برای روندیابی جریان از معادله ماسکینگام به‌صورت زیر و با فرض ثبات مقدار ورودی در ابتدا و انتهای بازه زمانی مورد نظر استفاده کرد (۳۶):

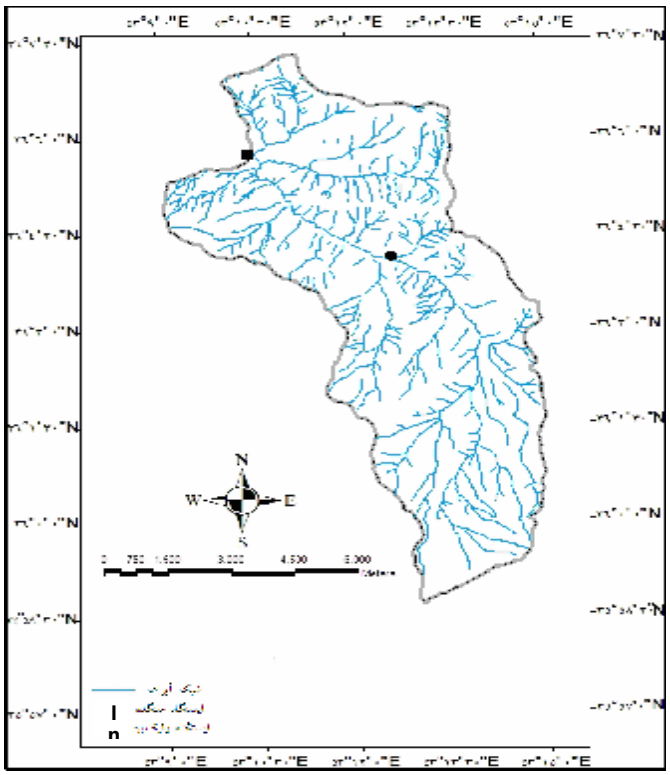
$$Q_2 = \frac{\Delta t_c}{K + 0/5\Delta t_c} I_1 + \frac{K - 0/5\Delta t_c}{K + 0/5\Delta t_c} Q_1 \qquad [1]$$

که در آن Δt_c زمان تمرکز هر بخش بر حسب ساعت، 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 بر حسب مترمکعب بر ثانیه و K ضریب ذخیره به ساعت می‌باشند (۳۶). پارامتر K نیز با استفاده از رابطه‌های ۲ تا ۷ به‌ترتیب منسوب به روش‌های ترسیمی (۳۷)، کلارک، لینزلی (Linsley)، میشل (Mitchell)، جانستن- کراس (Johnstone and Cross) و ایتن (Eaton) به ساعت محاسبه شد (۷):

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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.4.1]



شکل ۱. شمای کلی و ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری حوزه آبخیز کسیلیان

$$K = \frac{cL}{\sqrt{S_c}} \qquad (c \text{ بین } ۰/۸ \text{ تا } ۲/۲) \qquad [۳]$$

$$K = \frac{bL\sqrt{A}}{\sqrt{S_c}} \qquad (b \text{ بین } ۰/۰۷۵ \text{ تا } ۰/۰۴) \qquad [۴]$$

$$K = ۱/۰۵A^{۰/۶} \qquad [۵]$$

$$K = ۱/۵ + ۹۰\frac{W}{S} \qquad [۶]$$

$$K = ۱/۲\left(\frac{WA}{Lr}\right)^{۱/۳} \qquad (r \text{ بین } ۱ \text{ تا } ۲) \qquad [۷]$$

که در آنها، K ضریب ذخیره به ساعت، Q_o دبی در زمان شروع فروکش سیل به مترمکعب برثانیه، Q_t دبی در زمان مورد نظر، t زمان از شروع فروکش سیل، L طول رودخانه اصلی به مایل، Sc شیب متوسط رودخانه اصلی به فوت بر مایل، A مساحت به مایل مربع، S شیب متوسط حوزه آبخیز به فوت بر مایل، W عرض متوسط حوزه آبخیز به مایل و r ضریب انشعاب‌پذیری است.

برای انتخاب مقادیر ضرایب منطقه‌ای از مقادیر حداقل و حداکثر پیشنهادی در هر روش و نیز میانگین آنها استفاده شد و سپس مراحل مختلف تهیه IUH تا آخرین مرحله و دست‌یابی به آب‌نمود واحد ۳ ساعته ادامه یافته و نهایتاً ضریب منتهی به منطبق‌ترین آب‌نمود واحد ۳ ساعته با مقدار متوسط مشاهده‌ای آن به‌عنوان ضریب مناسب برای منطقه مورد مطالعه مد نظر قرار گرفت. بدین ترتیب آب‌نمود واحد لحظه‌ای کلارک با استفاده از روش‌های مذکور در تعیین ضریب ذخیره K و مندرج در رابطه ۱ محاسبه گردید. سپس آب‌نمودهای حاصل برای انجام مقایسه به آب‌نمود واحد ۳ ساعته تبدیل شدند. برای ارزیابی کارآیی نتایج حاصل از روش‌های مختلف از شاخص‌های آماری خطای نسبی، مجذور میانگین مربعات خطا، ضریب کارآیی و میزان انحراف علاوه بر مقایسه کیفی آب‌نمودها با یکدیگر (۱۰) استفاده شد.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

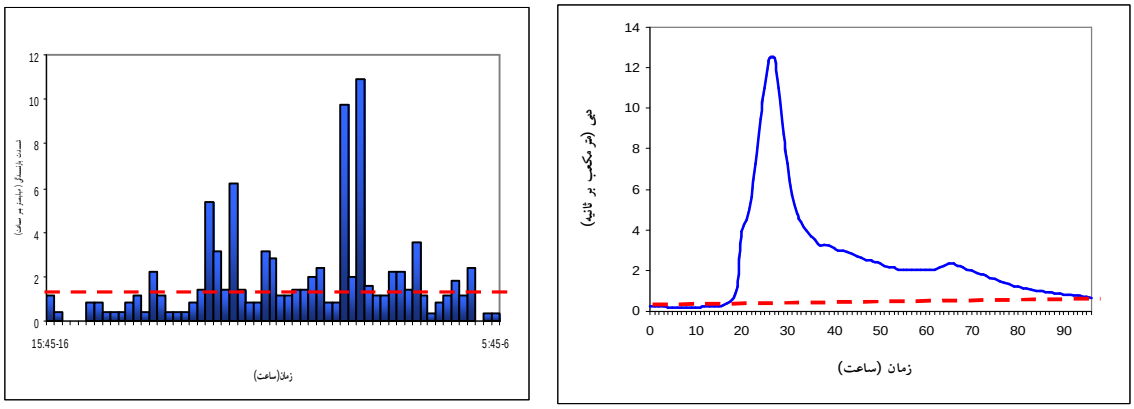
[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.4.1]

جدول ۱. مشخصات اصلی آب‌نمودهای مورد مطالعه در حوزه آبخیز کسیلیان طی سال‌های ۱۳۵۴ تا ۱۳۸۶

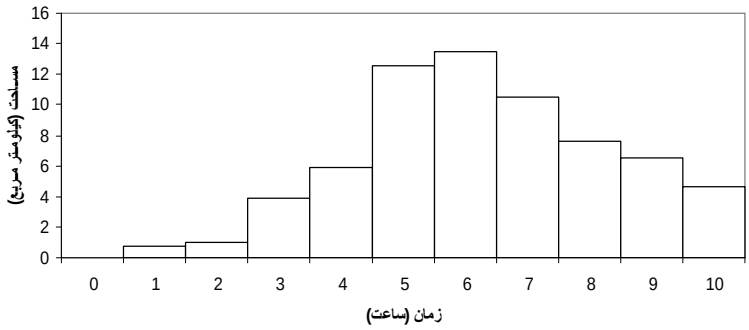
ردیف	رگبار	دبی اوج (متر مکعب بر ثانیه)	حجم سیلاب (متر مکعب)	زمان تا اوج (ساعت)	زمان پایه (ساعت)	بارش مؤثر (میلی‌متر)
۱	۱۳۵۴/۷/۸	۰/۸۶	۳۶۵۵۴	۱۸	۴۰	۰/۵۵
۲	۱۳۵۵/۷/۲۷	۰/۵۷	۳۶۳۹۷	۱۲	۴۶	۰/۵۵
۳	۱۳۵۷/۳/۱۳	۵/۲۳	۱۶۰۷۴۰	۶	۲۸	۲/۴۳
۴	۱۳۵۷/۴/۲	۲/۱۵	۱۲۲۷۶۰	۱۲	۳۸	۱/۸۴
۵	۱۳۶۰/۷/۳۰	۱/۳۵	۴۹۳۲۰	۶	۲۴	۰/۷۴
۶	۱۳۶۰/۹/۱۷	۱/۷۹	۱۰۸۲۹۰	۸	۵۴	۱/۶۲
۷	۱۳۶۱/۲/۲۰	۱/۹۱	۶۹۶۲۴	۸	۲۶	۱/۰۴
۸	۱۳۶۱/۷/۱۴	۴/۰۸	۱۳۱۳۳۱	۸	۲۲	۱/۹۷
۹	۱۳۶۲/۷/۲۲	۳/۶۹	۱۴۶۶۶۴	۵	۳۲	۲/۱۹
۱۰	۱۳۶۳/۲/۱۶	۳/۲۰	۸۸۶۳۲	۶	۲۴	۱/۳۳
۱۱	۱۳۶۲/۷/۱۷	۱۰/۹۸	۴۰۵۳۶۰	۱۲	۴۰	۶/۰۷
۱۲	۱۳۶۴/۹/۷	۲/۶۶	۷۸۶۰۶	۵	۲۹	۱/۱۸
۱۳	۱۳۶۴/۱۰/۱۵	۱/۵۵	۵۳۲۰۸	۵	۲۵	۰/۷۹
۱۴	۱۳۶۵/۲/۱۵	۱/۴۸	۶۰۰۴۹	۶	۲۷	۰/۸۹
۱۵	۱۳۶۵/۲/۲۸	۳/۶۵	۱۶۶۱۰۴	۷	۳۱	۲/۴۹
۱۶	۱۳۶۵/۸/۱۵	۰/۸۴	۳۰۹۶۰	۴	۲۶	۰/۴۷
۱۷	۱۳۶۶/۳/۲	۴/۰۷	۱۳۹۳۲۰	۴	۱۱	۱/۳۹
۱۸	۱۳۶۶/۷/۳۰	۳/۷۸	۲۳۶۵۷۹	۲۰	۵۶	۳/۵۵
۱۹	۱۳۶۶/۸/۵	۱۲/۱۱	۴۴۹۲۹۹	۸	۳۶	۶/۳۷
۲۰	۱۳۶۶/۸/۱۸	۱/۵۱	۶۲۳۱۶	۷	۲۸	۰/۹۳
۲۱	۱۳۶۶/۱۱/۱۴	۳/۴۱	۲۵۱۸۹۲	۱۵	۵۰	۳/۷۷
۲۲	۱۳۶۷/۶/۱۰	۷/۴۹	۳۲۶۷۵۴	۲۱	۴۸	۴/۸۹
۲۳	۱۳۶۷/۶/۳۱	۲/۹۲	۱۲۸۱۴۲	۱۳	۳۶	۱/۹۲
۲۴	۱۳۶۷/۸/۳۰	۳/۱۱	۱۲۱۷۶۹	۱۱	۳۴	۱/۸۲
۲۵	۱۳۶۸/۲/۱۱	۲/۶۶	۱۵۰۵۸۸	۲۵	۵۷	۲/۲۶
۲۶	۱۳۶۹/۶/۱۲	۱۲/۵۱	۳۹۶۶۱۲	۱۸	۴۱	۵/۹۴
۲۷	۱۳۶۹/۷/۱۱	۱/۵۹	۹۲۰۵۴	۲۱	۴۵	۱/۳۸
۲۸	۱۳۷۰/۳/۴	۱۰/۲۹	۳۰۱۵۳۶	۳	۳۰	۴/۵۲
۲۹	۱۳۷۰/۴/۲۴	۱/۴۸	۸۷۸۹۴	۱۲	۴۰	۱/۳۲
۳۰	۱۳۷۱/۳/۳۱	۱/۴۷	۲۸۰۸۰	۲	۲۴	۰/۴۲
۳۱	۱۳۷۱/۷/۱۶	۱/۷۴	۶۷۹۷۹	۷	۳۰	۱/۰۲
۳۲	۱۳۷۲/۳/۱۵	۱/۶۹	۹۴۴۳۰	۱۴	۴۴	۱/۴۱
۳۳	۱۳۷۳/۸/۳	۱۲/۲۲	۷۱۵۴۹۶	۱۱	۸۱	۱۰/۷۲
۳۴	۱۳۷۳/۹/۶	۸/۵۴	۳۳۱۰۷۴	۸	۳۸	۴/۹۶
۳۵	۱۳۷۳/۱۲/۲۸	۲/۹۵	۱۷۹۳۱۶	۲۰	۴۸	۲/۶۹
۳۶	۱۳۷۴/۳/۲۷	۴/۴۰	۴۶۵۰۴	۸	۲۷	۰/۶۹
۳۷	۱۳۷۴/۷/۲۱	۸/۲۳	۳۷۵۶۵۹	۱۹	۴۳	۵/۶۳
۳۸	۱۳۷۵/۷/۱۷	۲/۲۲	۹۷۷۴۰	۸	۵۰	۱/۴۶
۳۹	۱۳۷۶/۲/۱۶	۳/۳۷	۱۳۰۳۹۱	۱۷	۴۳	۱/۹۵
۴۰	۱۳۷۸/۱/۱۳	۳/۳۲	۱۵۶۹۹۶	۱۸	۴۸	۲/۳۵
۴۱	۱۳۷۹/۸/۹	۵/۶۲	۲۱۰۹۶۳	۶	۲۵	۳/۱۶
۴۲	۱۳۸۰/۳/۱۶	۳/۰۱	۲۴۷۶۸۰	۱۲	۴۶	۳/۷۱
۴۳	۱۳۸۱/۱۱/۱۶	۱/۷۶	۸۱۲۵۰	۲۲	۵۴	۱/۲۲
۴۴	۱۳۸۲/۳/۵	۲۲/۴۰	۵۸۸۲۵	۱۰	۳۲	۸/۸۲
۴۵	۱۳۸۲/۶/۱	۱/۷۶	۵۳۸۴۱	۱۱	۲۹	۰/۸۱
۴۶	۱۳۸۲/۷/۱۳	۳/۲۶	۸۸۰۲۰	۲۰	۳۳	۱/۳۲
۴۷	۱۳۸۵/۱۲/۱۰	۵/۰۰	۲۳۴۳۸۵	۱۸	۳۱	۳/۵۱
۴۸	۱۳۸۶/۱/۱۹	۸/۰۰	۳۴۰۹۷۲	۸	۳۸	۵/۱۱

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

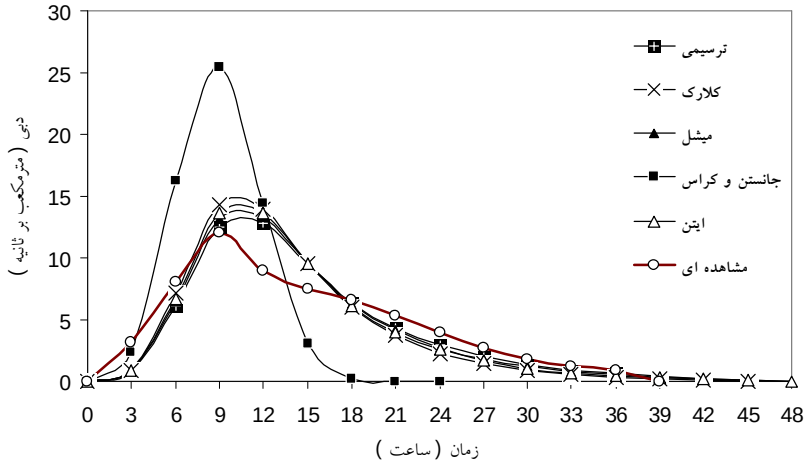
[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.4.1]



شکل ۲. نمونه‌ای از آب‌نمودهای مورد استفاده در تحقیق، نحوه جداسازی آب پایه و محاسبه بارش مازاد (رگبار ۱۳۷۳/۷/۳۰)



شکل ۳. نمودار زمان- مساحت حوزه آبخیز کسیلیان با روش سرعت‌های مساوی



شکل ۴. آب‌نمودهای شبیه‌سازی شده با استفاده از روش‌های مختلف تعیین ضریب ذخیره روش کلارک و آب‌نمود واحد مشاهداتی ۳ ساعته حوزه آبخیز جنگلی کسیلیان

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.4.1]

جدول۲. نتایج ارزیابی روش‌های مختلف تخمین K در مدل کلارک

روش / شاخص آماری	خطای تخمین (درصد)			انحراف در دبی اوج	مجذور میانگین مربعات خطا	ضریب کارایی
	دبی اوج	زمان پایه	زمان تا اوج			
ترسیمی	۷/۱۳	۱۵/۳۸	۳۳/۳۳	۰/۹۳	۱/۳۹	۰/۸۳
کلارک	۱۹/۰۴	۱۵/۳۸	۰/۰۰	۰/۸۴	۱/۷۵	۰/۷۳
میشل	۱۰/۵۱	۲۳/۰۸	۳۳/۳۳	۰/۹۰	۱/۴۵	۰/۸۰
جانستن و کراس	۱۱۱/۷۵	۳۸/۴۶	۰/۰۰	۰/۴۷	۵/۳۰	-۱/۱۹
ایتن	۱۳/۷۷	۲۳/۰۸	۰/۰۰	۰/۸۸	۱/۵۶	۰/۷۷

نتایج

بر اساس روش تحقیق، آب‌نمودهای ثبت شده برای تعداد ۴۸ رگبار با خصوصیات مندرج در جدول ۱ به‌طور دقیق تحلیل و مقادیر مختلف ضریب ذخیره به‌منظور استفاده از روش زمان- مساحت در تهیه آب‌نمود واحد لحظه‌ای سیلاب در حوزه آبخیز کسیلیان محاسبه شد. نمونه‌ای از آب‌نمودها و نحوه تفکیک بارش مؤثر رگبارهای مطالعاتی نیز در شکل ۲ نشان داده شده است.

بر اساس کاربرد مقادیر مختلف برای ضرایب منطقه‌ای c، b و r در روش‌های کلارک (رابطه ۳)، لینزلی (رابطه ۴) و ایتن (رابطه ۷) و به‌شرح مندرج در روش کار، به‌ترتیب مقادیر ۲/۲، ۰/۰۷۵ و ۱/۵ به‌عنوان بهترین مقادیر برای ضرایب مذکور در منطقه مورد مطالعه به‌دست آمدند. با توجه به روش ترسیمی و روابط ارائه شده توسط کلارک، لینزلی، میشل، جانستن -کراس و ایتن مقدار ضریب K معادله ماسکینگام به‌ترتیب ۷/۸۸، ۶/۴۹، ۱/۱۲، ۷/۳۷، ۱/۷۵ و ۶/۹۵ ساعت محاسبه شد. هیستوگرام زمان- مساحت حوزه آبخیز، وضعیت مقایسه‌ای آب‌نمودهای واحد ۳ ساعته محاسبه‌ای و مشاهده‌ای و هم‌چنین نتایج کمی مقایسه آب‌نمودهای مذکور با استفاده از آماره‌های مختلف به‌ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ و جدول ۲ آمده است.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از کاربرد روش‌های مختلف در تخمین ضریب ذخیره نشان داد که دبی‌های حاصل از روش لینزلی هم‌چون نتایج به‌دست آمده توسط صادقی و دهقانی (۹) در حوزه آبخیز بازفت منفی بوده و لذا از چرخه مقایسه و ارزیابی‌های بعدی حذف شد. دلیل آن را می‌توان به عدم سازگاری ضرایب منطقه‌ای ارائه شده برای حوزه آبخیز کوچک جنگلی کسیلیان و طبعاً ضرورت واسنجی ضریب منطقه‌ای روابط و مدل‌های ارائه شده نسبت داد.

در یک مقایسه کیفی از نتایج به‌دست آمده در شکل ۴ می‌توان دریافت که آب‌نمودهای حاصل از کاربرد مدل کلارک با استفاده از هر یک از شیوه‌های محاسبه ضریب ذخیره دبی اوج بیشتری را نسبت به آب‌نمود مشاهده‌ای برآورد نموده است. به‌طور کلی مقایسه نتایج این تحقیق با سایر مطالعات مربوط به تهیه IUH با استفاده از روش‌های مختلف در خارج از کشور (۲۵، ۲۶، ۲۷، ۳۳ و ۳۸) و هم‌چنین در ایران (۳، ۵، ۸، ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۹ و ۲۹) مبنی بر توانایی قابل قبول روش مذکور در برآورد سیلاب دلالت دارد. اگرچه با یافته‌های صادقی و دهقانی (۹) در رابطه با تخمین کمتر کلیه شیوه‌های مورد استفاده برای برآورد ضریب ذخیره در تحقیق ایشان در حوزه آبخیز بازفت مطابقت ندارد. مقادیر زمان پایه نیز به جز روش جانستن -کراس در بقیه موارد بیشتر از مقدار مشاهده‌ای به‌دست آمد. هم‌چنین بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۲ می‌توان استنباط نمود حداکثر خطای تخمین مربوط به روش جانستن و کراس بوده است. زمان رسیدن تا اوج در روش جانستن و کراس، ایتن و کلارک با مقادیر مشاهده‌ای مطابقت

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.4.1]

کامل را داشته و خطای نسبی مربوط به آن صفر برآورد گردیده است. هم‌چنین زمان تا اوج در روش ترسیمی و میشل بیشتر از مقدار مشاهده‌ای برآورد شد. بر پایه خطاهای نسبی تعیین شده برای زمان پایه، دبی و زمان تا اوج در یک مقایسه پارامتریک می‌توان دریافت که مدل در برآورد زمان تا اوج موفق‌تر از سایر پارامترها بوده که مشخصاً با تأکیدات Bourletsikas و همکاران (۲۱) مبنی بر توانایی رضایت‌بخش‌تر مدل زمان- مساحت در شبیه‌سازی شاخه بالارونده آب‌نمود در یونان موافقت دارد. هم‌چنین مقایسهٔ شاخص‌های انحراف در دبظط اوج، مجذور میانگین مربعات خطا و نیز ضریب کارایی (جدول ۲) بین وقایع نشان می‌دهد که آب‌نمود به‌دست آمده طی تخمین از روش ترسیمی بهتر از سایر روش‌هاست که با نتایج تحقیقات صادقی و دهقانی (۹) در حوزه آبخیز بازفت مطابقت دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بخشی از دقّت برآورد خصوصیات آب‌نمود به روش مورد استفاده در تعیین پارامتر وابسته بوده که با نتایج به‌دست آمده توسط سابل (۳۴) و افشار (۱) نیز مطابقت دارد.

با استفاده از نتایج به‌دست آمده طی تحقیق حاضر می‌توان جمع‌بندی نمود که مدل کلارک در شبیه‌سازی آب‌نمود واحد سیلاب در حوزه آبخیز کسیلیان در استان مازندران به‌طور کلی از کارآیی بالا برخوردار بوده و در صورت تخمین صحیح پارامترها، دقت آن به مراتب افزایش خواهد یافت. لذا استفاده از مدل کلارک در تخمین IUH برای تخمین سیلاب در حوزه‌های فاقد آمار ضمن بررسی و تأیید نهایی کارآیی آن در برخی دیگر از حوزه‌های آبخیز و تلاش در راستای دست‌یابی به ضرایب منطقه‌ای مناسب در سایر روش‌های تعیین پارامتر ذخیره مدل‌های مورد استفاده توصیه می‌شود.

منابع مورد استفاده

۱. افشار، ع. ۱۳۶۴. *هیدرولوژی مهندسی*. انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، تهران.

۲. تلوری، ع. ۱۳۸۱. طرح‌های جامع کنترل سیلاب. مجموعه مقالات سمینار کاهش اثرات و پیشگیری از سیل، ۲۵ و ۲۶ دی‌ماه ۱۳۸۱، گرگان.

۳. حشمت‌پور، ع. ۱۳۷۸. بررسی کارآیی آب‌نمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک در حوزه آبخیز معرف کسیلیان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۳۷ صفحه.

۴. دیندارسوها، ا. ۱۳۷۹. واسنجی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی حوضه آبخیز لیقوان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زه‌کشی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۵. رحیمیان، ر. ۱۳۷۴. بررسی مدل‌های مختلف آب‌نمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی و کاربرد آنها جهت سنتز آب‌نمود در حوزه‌های آبریز فاقد آمار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی آب، دانشگاه شیراز.

۶. سرلک، ع. ۱۳۸۱. پیش‌بینی تأثیرات اقدامات آبخیزداری در کاهش سیلاب در حوزه مادرسو استان گلستان. مجموعه مقالات سمینار کاهش اثرات و پیشگیری از سیل، ۲۵ و۲۶ دی‌ماه ۱۳۸۱، گرگان.

۷. سینگ، وی.پی. ۱۳۸۱. *سیستم‌های هیدرولوژیکی (مدل‌سازی بارندگی- رواناب)*. ترجمه نجفی م.ر.، انتشارات دانشگاه تهران.

۸. صادقی، س.ح.ر. و م. دهقانی. ۱۳۸۴. کارآیی آب‌نمود واحد لحظه‌ای Clark در بازسازی آب‌نمود واحد سیل (مطالعه موردی: حوزه آبخیز بازفت). مجله تحقیقات منابع آب ایران ۱(۲): ۹۷-۹۹.

۹. صادقی، س.ح.ر. و م. دهقانی. ۱۳۸۵. دقّت روش‌های تخمین ضریب ذخیره آب‌نمود واحد لحظه‌ای در بازسازی آب‌نمود واحد سیل (مطالعه موردی: حوزه آبخیز بازفت). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱۳(۳): ۱۵۲-۱۶۰.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.4.1]

۱۰.صادقی، س.ح.ر.، ح.ر مرادی، م. مزین و م. وفاخواه. ۱۳۸۴. کارآیی روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل آماری در مدلسازی بارش- روان‌آب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کسیلیان). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱۲(۳): ۸۱-۹۰.

۱۱.عبدالهی، خ. ۱۳۸۱. مدلسازی روان‌آب بر اساس ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی حوزه آبخیز خانمیرزا با استفاده از GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۱۲.عرفانیان، م. ۱۳۷۷. بررسی آب‌نمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی و ژئومورفوکلیماتیکی در حوزه آبخیز درجزین سمنان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۱۳.علیزاده، ا. ۱۳۸۵. *اصول هیدرولوژی کاربردی*. انتشارات دانشگاه امام رضا، مشهد.

۱۴.غیاثی، ن.ق. ۱۳۷۴. واسنجی آب‌نمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی و ژئومورفوکلیماتولوژی حوزه آبخیزامامه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تهران.

۱۵.قهرمان، ب. ۱۳۷۴. آب‌نمود واحد لحظه‌ای ژئومورفو- آب و هوایی، نشریه دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد ۷ (۱): ۲۸-۵۴.

۱۶.گنج‌خانلو، ح. ا. ۱۳۸۱. بررسی کارایی آب‌نمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک (GIUH) و ژئومورفوکلیماتیک (GCIUH) و آبنمود واحد گری (Gray) در حوضه آبخیز معرف ناورود (گیلان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم و فنون مازندران.

۱۷.منتظری، س.س. ۱۳۸۳. محاسبه هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک و پارامترهای هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی GIUH با استفاده از قابلیت‌های سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

۱۸.معتمدنیا، م. ۱۳۸۷. ارتباط مؤلفه‌های هیدروگراف واحد و باران در حوزه آبخیز کسیلیان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۱۹.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.

20. Bhadra, A., N. Panigrahy, R. Singh, N.S. Raghuwanshi, B.C. Mal and M.P. Tripathi. 2008. Development of a geomorphological instantaneous unit hydrograph model for scantily gauged watersheds. Environ. Model. & Soft. 23:1013-1025.
21. 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. J. Spatial Hydrol. 6(1): 93-104.
22. Chih, H.W. 1995. Rainfall-runoff modeling Down Creek watershed. J. Chinese Soil and Water Conserv. 4:279-292.
23. Clark, C.O. 1945. Storage and unit hydrograph. Trans. ASCE 110:1419-1446.
24. Dong, S.H. 2007. Genetic algorithm based parameter estimation of Nash model. J. Water Resour. Manag. 22 (4):525-533.
25. Gracia, S.G. 1998. Geomorphological analysis based on GIS applied to distributed hydrological modeling. Hydroinformatics 98:511-518.
26. Hjelmfelt, A. and M. Wang. 1994. General stochastic unit hydrograph. J. Irrig. and Drain. Eng. ASCE 120 (1):138-148.
27. Jain, S.K., R.D. Singh and S.M. Set. 2000. Design flood estimation using GIS supported GIUH approach. Water Resour. Manag. 14:369-376.
28. James, W.P., P.W. Winsor and J.R. Williams. 1987. Synthetic unit hydrograph. J. Water Resour. Plan. and Manag. 113(1):70-81.
29. Noorbakhsh, M.E., M.B. Rahnama and S. Montazeri. 2005. Estimation of instantaneous unit hydrograph with Clarks method using GIS techniques. J. Appl. Sci. 5(3):455-458.
30. Pilgrim, D.H. 1977. Isochrones of travel time and distribution of flood storage from a tracer study on a small

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.4.1]

watershed. J. Water Resour. Res. 13(3):587-595.
31. Ramirez, J.A. 2000. Prediction and modeling of flood hydrology and hydraulics. PP.293-329. *In*: Wohl E. (Ed.), Inland Flood Hazards: Human, Riparian and Aquatic Communities, Cambridge University Press, UK.
32. Raymond, I., P.E. Jeng and G.C. Coon. 2003. True form of instantaneous unit hydrograph of linear reservoirs. J. Irrig. and Drain. Eng. ASCE 129(1):11- 17.
33. Rodriguez-Iturbe, I., M. Gonzilez and R.L. Bras. 1982. A geomorphoclimatic theory of the instantaneous unit hydrograph. Water Resour. Res. 18(4):877-886.
34. Sabol, G.V. 1988. Clark unit hydrograph and R-parameter estimation. J. Hydraulic Eng. 114(1):103-111.
35. Snell, J.D. and M. Sivapalan. 1994. On geomorphological dispersion in natural catchments and geomorphological unit hydrograph. Water Resour. Res. 30(7):2311-2323.
36. Subramanya, K. 2000. Engineering Hydrology. Tata McGraw-Hill, India.
37. Viesman, W. 1977. Introduction to Hydrology. Harper and Row, New York.
38. Yen, B.C. and K.T. Lee. 1997. Unit hydrograph derivation for ungauged watersheds by stream order laws. J. Hydrol. Eng. 2(1):1-9.
39. Zhao, B., Y. K. Tung and J.C. Yang. 1995. Estimation of unit hydrograph by ridge least squares method. J. Irrig. and Drain. Eng. 121(3):253-259.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.4.1]