

تاثیرپذیری صحت مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک از دقت مدل‌های مختلف رقومی ارتفاع

- ❖ فریبا اسماعیلی؛ دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، ایران.
- ❖ مهدی وفاخواه*؛ استاد گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، ایران.
- ❖ وحید موسوی؛ استادیار گروه آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، ایران.

چکیده

پژوهش حاضر تاثیرپذیری مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک را از دقت مدل‌های مختلف رقومی ارتفاع (DEM) شامل TOPO, ALOS PALSAR, SRTM و GTOPO در حوزه آبخیز امامه مورد ارزیابی قرار می‌دهد. برای این منظور ابتدا ۳۴ واقعه بارش-رواناب انتخاب شد. هم‌چنین شبکه آبراهه، طول و شیب آبراهه اصلی در هر یک از پنج مدل رقومی ارتفاع، با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS، محاسبه شد. سپس نقشه هم‌زمان تمرکز ۳۰ دقیقه حوزه آبخیز با استفاده از روش توزیع مکانی زمان پیمایش استخراج شد. در نهایت ابعاد هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک برای هر واقعه بارش-رواناب و به تفکیک DEM برآورد شد. نتایج نشان داد با کاهش طول آبراهه اصلی به دنبال کاهش دقت DEM، تعداد خطوط هم‌زمان تمرکز کاسته شده، به طوری که TOPO DEM با بیش‌ترین برآورد از طول آبراهه اصلی، بیش‌ترین تعداد خطوط هم‌زمان تمرکز را تخمین زده است. متوسط درصد خطای نسبی حجم رواناب به‌ترتیب برای DEM‌های مذکور به‌ترتیب برابر با ۲۲/۹۲، ۲۶/۶۸، ۲۷/۷، ۳۲/۱۵ و ۳۵/۶۶ درصد برآورد شد. در مورد تخمین دبی اوج اختلاف قابل توجهی بین مقادیر متوسط خطای نسبی در DEM‌های مختلف وجود دارد. به طوری که کمترین مقدار متوسط خطای نسبی مربوط به TOPO DEM با مقدار ۳۰/۱۱ درصد می‌باشد. از سوی دیگر مقادیر خطای RMSE نیز نشان می‌دهد TOPO DEM نسبت به سایر مدل‌های مختلف رقومی ارتفاع کمترین مقدار خطا ($3/9 \text{ m}^3/\text{s}$) را داشته است. به‌طور کلی می‌توان گفت استفاده از TOPO DEM در مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک نتایج قابل قبولی را ارائه خواهد داد.

کلید واژه‌ها: رواناب، حوزه آبخیز امامه، هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک، هیستوگرام زمان - مساحت، ضریب ذخیره

۱. مقدمه

از مشکلات اساسی در زمینه پیش‌بینی و کنترل سیلاب نبود داده‌های هیدرولوژی و اقلیمی در اغلب حوزه‌های آبخیز کشور است. وجود ارتباط بین پارامترهای ژئومورفولوژی و هیدرولوژی این امکان را فراهم می‌کند تا در حوضه‌هایی که از نظر ژئومورفولوژی تشابه وجود دارد با ایجاد روابط بین این دو، اقدام به پیش‌بینی سیلاب در حوضه‌های دارای آمار و تعمیم آن به حوضه‌های مشابه فاقد آمار نمود [۲۲]. یکی از روش‌های متداول در پیش‌بینی هیدروگراف سیل ناشی از بارش‌های مشخص در یک حوزه آبخیز، استفاده از هیدروگراف واحد است [۲]. کلارک (۱۹۴۵) [۸] عرض هیدروگراف واحد لحظه‌ای را به عنوان یک پاسخ ژئومورفولوژیکی حوضه و متناسب با منحنی تمرکز زمان-مساحت قلمداد نمود. مدل رقومی ارتفاع (DEM) یکی از مهم‌ترین داده‌های ورودی موردنیاز برای مدل‌های تخمین هیدروگراف واحد لحظه‌ای به ویژه مدل کلارک به شمار می‌آید که تاثیر قابل توجهی در برآورد ضریب ذخیره (k) دارد [۸]. به طوری که نتایج تحلیل حساسیت پارامترهای ورودی مدل کلارک در لهستان نشان داد که مدل به تغییرات ضریب ذخیره بیش از تغییرات زمان تمرکز حساس می‌باشد [۲۳]. از طرف دیگر ارتباط خطی قوی بین سرعت، زمان تمرکز و ضریب ذخیره وجود دارد [۱۶]. از سوی دیگر شاخه نزولی هیدروگراف، زمان تا اوج، دبی اوج و حجم رواناب نسبت به پارامترهای ورودی حساس بوده و نتایج را تحت تاثیر قرار می‌دهد [۲۴]. پژوهش صورت گرفته در سواحل غرب مالزی به منظور پیش‌بینی سیل طراحی، مدل کلارک را یک ابزار موثر در پیش‌بینی هیدروگراف قابل اعتماد منطقه بیان کردند [۱۹]. همچنین مطالعه صورت گرفته بر روی حوزه‌های آبخیز کره جنوبی نشان می‌دهد ویژگی‌های ژئومورفومتریکی در هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک موثر بوده و نتایج حاکی از عملکرد بالای مدل کلارک در تخمین ابعاد هیدروگراف

واحد لحظه‌ای می‌باشد [۱۳]. به طوریکه مقایسه مدل کلارک با سایر مدل‌ها همچون SCS نشان از برتری آن در شبیه‌سازی رویدادهای سیل می‌باشد [۳ و ۱]. از سوی دیگر ترکیب مدل SCS و کلارک نتایج رضایت بخشی را در مدل‌سازی سیلاب رودخانه در هند ارائه نموده است [۱۴]. در ایران نیز جهانبخش اصل و همکاران (۱۳۹۱) [۱۲]. دقت، صحت و اعتبار دو روش زمان-سطح^۱ و هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک را در برآورد هیدروگراف سیلاب در حوزه آبخیز بازفت کارون مورد بررسی قرار دادند. نتایج این بررسی نشان داد که اگر چه نتایج هر دو روش برای محاسبه هیدروگراف خروجی با خطا همراه است، ولی در مجموع می‌توان گفت که روش کلارک نتایج بهتری نسبت به روش زمان-سطح ارائه می‌کند و می‌توان از این روش برای محاسبه هیدروگراف ناشی از یک رگبار در حوزه‌های آبخیز بدون آمار استفاده کرد. از سوی دیگر در پژوهشی اثر توان تفکیک مدل‌های رقومی ارتفاع و همچنین آستانه‌های مختلف بر پارامترهای ژئومورفولوژیکی و نیز عملکرد یک مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی مبتنی بر موج سینماتیک موسوم به KW-GIUH در حوزه آبخیز کسلیلیان بررسی شد. نتایج نشان داد که با کاهش توان تفکیک مدل‌های رقومی ارتفاع (افزایش ابعاد سلولی)، شیب متوسط زیرحوضه‌ها و تعداد آبراهه‌ها کاهش و مساحت زیرحوضه‌های منتهی به هر آبراهه و نیز طول جریان دامنه‌ای افزایش می‌یابد [۲]. در همین حوضه دقت و کارایی مدل‌های زمان-سطح و هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک را در تخمین هیدروگراف خروجی مورد ارزیابی قرار گرفت و بررسی شاخص‌های خطا شامل مجذور میانگین مربعات خطا، میزان انحراف از دبی اوج، ضریب کارایی و خطای نسبی دبی اوج، زمان تا اوج و زمان پایه نشان داد روش ترسیم در محاسبه‌ی ضریب ذخیره از دقت بالاتری برخوردار است و مدل کلارک نیز نتایج بهتری نسبت به مدل زمان-سطح ارائه کرد که نشان‌دهنده‌ی اثر ضریب

در شبیه‌سازی و تخمین سیلاب است. از سوی دیگر نظر به این که خصوصیات فیزیوگرافی حوزه آبخیز به خصوص DEM تاثیر به‌سزایی در برآورد پارامترها و ضرایب مدل کلارک دارد، پژوهش حاضر تاثیر پذیری مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک را از دقت مدل‌های مختلف رقومی ارتفاع شامل DEMهای TOPO، ALOS PALSAR، ASTER، SRTM و GTOPO در حوزه آبخیز امامه مورد ارزیابی قرار می‌دهد. بی شک نتایج این پژوهش می‌تواند دقت تخمین هیدروگراف سیلاب را در شبیه‌سازی سیل افزایش دهد و سبب ارائه نتایج دقیق به مدیران برای پیش‌بینی، مهار و کنترل سیلاب خواهد شد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۱. منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز امامه با مساحت ۳۷/۲۵ کیلومترمربع در شمال شرق تهران ما بین عرض جغرافیایی ۳۶' ۵۳" تا ۳۵° ۵۷' ۰۲" شمالی و طول جغرافیایی ۳۶' ۳۱" تا ۵۱° ۳۷' ۳۸" قرار گرفته است. حوزه آبخیز امامه که در سال ۱۳۴۷ به عنوان اولین حوزه آبخیز معرف کشور تجهیز شده است، از زیرحوضه‌های سد لتیان و یکی از مهم‌ترین سرشاخه‌های رودخانه جاجرود می‌باشد [۲۱]. حداکثر و حداقل ارتفاع حوضه به ترتیب ۳۸۸۶ و ۱۷۹۲ متر می‌باشد. شکل (۱) موقعیت ایستگاه هواشناسی امامه و ایستگاه هیدرومتری کمرخانی را نشان می‌دهد.

۲.۲. روش‌شناسی پژوهش

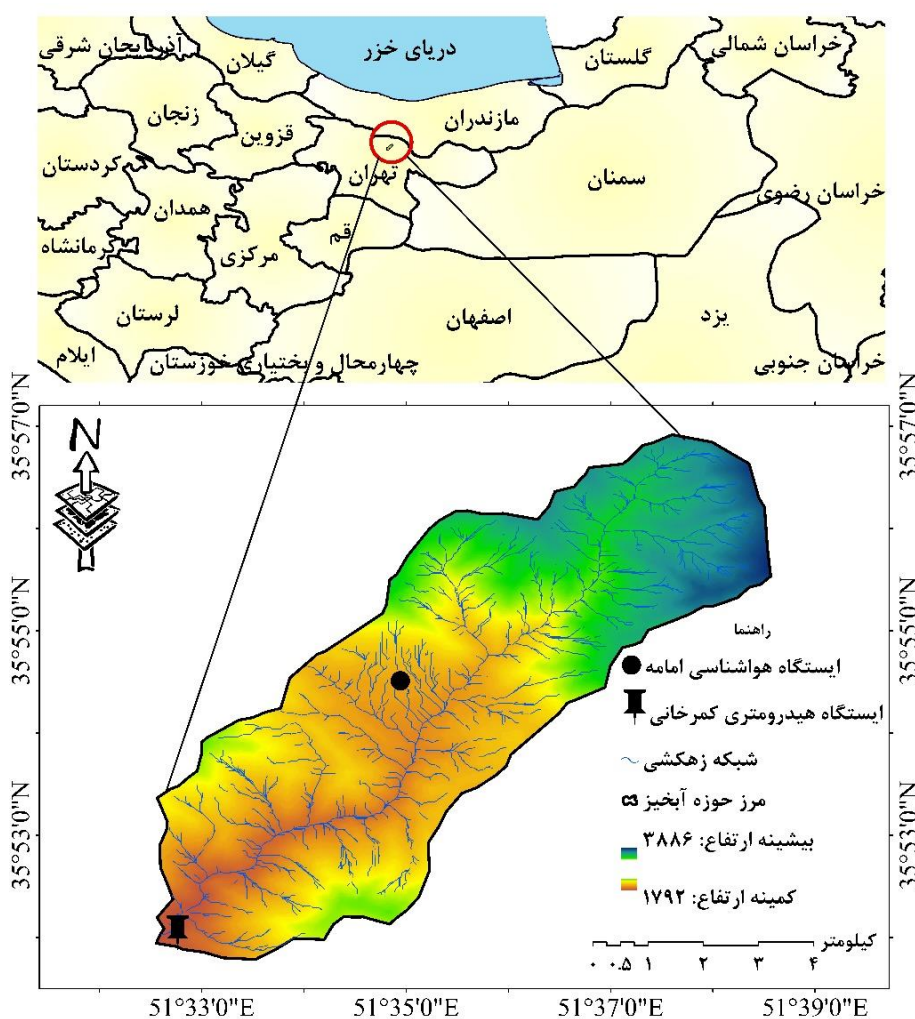
۱.۲.۲. جمع‌آوری اطلاعات پایه

نقشه توپوگرافی با مقیاس، ۱:۲۵۰۰۰ (TOPO دارای دقت ۱۰×۱۰ متر) از سازمان نقشه‌برداری کشور و

ذخیره در روندیابی سیلاب در حوزه‌ی آبخیز کسلیان می‌باشد [۲۰]. در پژوهشی همتی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) با اندازه سلولی ۳۰ متر در مدل هیدرولوژیکی مادکلارک^۱، مناطق سیل‌خیز حوزه آبخیز قرقو را تعیین کردند. نتایج حاصل از این پژوهش، شبکه‌بندی یک کیلومتری را برای اولویت‌بندی سیل‌خیزی پیشنهاد داد. شبیه‌سازی هیدروگراف واحد جریان حوزه آبخیز محمدآباد استان گلستان با استفاده از روش زمان-مساحت و انجام تحلیل حساسیت (نسبی و مطلق) نشان داد، صحت مدل مذکور در شبیه‌سازی هیدروگراف واحد جریان ۷۱ درصد بود. نتایج آنالیز حساسیت مدل نشان داد که حساسیت نسبی مدل در برآورد دبی اوج هیدروگراف واحد جریان به پارامتر ضریب ذخیره برابر ۰/۶۶-، هم چنین حساسیت مطلق مدل به پارامتر زمان تمرکز برابر ۲/۷۶- است. در مجموع می‌توان گفت که پارامتر حساس در برآورد دقیق زمان تا اوج، متغیر زمان تمرکز محاسباتی جریان می‌باشد [۱۸و۴]. از سوی دیگر نتایج کاربست سه روش هیدروگراف واحد اشنایدر، کلارک و SCS با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و روش مخزن خطی به منظور شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب و مشخصات هیدروگراف سیل شامل دبی اوج و حجم رواناب، نشان داد درصد اختلاف بین حجم رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در هر سه روش کاملاً نزدیک بود اما از نظر دبی اوج روش هیدروگراف واحد کلارک کمترین میزان درصد اختلاف را نشان داد [۷]. به طور کلی بررسی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد با توجه به لزوم پیش‌بینی رواناب ناشی از سیل، کاربرد مدل‌های هیدروگراف واحد لحظه‌ای امری ضروری است. و در بین مدل‌های موجود مدل کلارک از جمله مدل‌های کاربردی است که در اکثر مطالعات صورت گرفته در داخل و خارجی کشور تایید بر کارایی بالای آن

پایگاه‌های مربوطه و همچنین داده‌های مربوط به سیلاب و رگبار حوزه آبخیز امامه از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان تهران دریافت شد.

مدل‌های رقومی ارتفاع ALOS PALSAR^۱ (دارای دقت مکانی ۱۲/۵×۱۲/۵ متر)، ASTER^۲ (دارای دقت مکانی ۳۰×۳۰ متر)، SRTM^۳ (دارای دقت مکانی ۹۰×۹۰ متر) و GTOPO^۲ (دارای دقت مکانی ۱۰۰۰×۱۰۰۰ متر) از



شکل ۱. موقعیت مکانی حوزه آبخیز امامه در استان تهران و ایران

برخوردار بوده و در شرایط برفی نبوده مدنظر قرار گرفت. دبی پایه هیدروگراف‌های سیلاب به روش خط مستقیم مطابق با پژوهش‌های Vafakhah و همکاران (۲۰۱۸) [۲۱] حذف شد. سپس ارتفاع رواناب مستقیم برای هر

۲.۲.۲. استخراج هیدروگراف سیلاب

به منظور انتخاب هیدروگراف‌های سیلاب، هیدروگراف‌های سیلاب منفرد (دارای بارش متناظر) که نسبت به بقیه سیلاب‌ها از دقت و صحت بالاتری

^۱ <https://search.asf.alaska.edu>

^۲ <https://earthexplorer.usgs.gov>

^۳ <https://srtm.csi.cgiar.org>

دارا می‌باشد. لذا در این پژوهش زمان تمرکز نیز با استفاده از روش Bransby Williams (رابطه ۴) محاسبه شد.

$$T_c = 0.605L(100s)^{-0.2}A^{-0.1} \quad (۴)$$

که در آن L طول آبراهه اصلی رودخانه به کیلومتر، S شیب آبراهه اصلی (m/m)، A مساحت حوزه آبخیز به کیلومتر مربع می‌باشد.

ضریب ذخیره نیز با استفاده از روش کلارک رابطه (۵) محاسبه شد.

$$k = \frac{cL}{\sqrt{S_c}} \quad (۵)$$

که در آن K ضریب ذخیره به ساعت، L طول رودخانه اصلی به مایل، S_c شیب متوسط رودخانه اصلی به فوت بر مایل می‌باشد.

در نهایت از میانگین‌گیری ابعاد هیدروگراف واحد لحظه‌ای روش کلارک در گام‌های زمانی، ابعاد هیدروگراف واحد به دست می‌آید.

۴.۲.۲. ارزیابی کارایی مدل کلارک

به منظور مقایسه و ارزیابی کارایی مدل کلارک در DEM‌های مختلف از شاخص‌های آماری خطا شامل درصد خطای نسبی ($RE\%$) و مجذور میانگین مربعات خطا ($RMSE$) استفاده شد [۱۰].

۳. نتایج و بحث

در پژوهش حاضر به منظور اجرای مدل کلارک از ۳۴ واقعه بارش-رواناب در حوزه آبخیز امامه استفاده شد. برای این منظور هیدروگراف هر یک از رویدادها استخراج استخراج شد. در جدول ۱ مشخصات هیدروگراف‌های مستخرج از داده‌های وقایع بارش-رواناب قابل مشاهده است. حداکثر حجم رواناب، زمان تا اوج و دبی اوج استخراج شده به ترتیب برابر ۱۳۲/۸۲ هزار مترمکعب، ۱۷

هیدروگراف سیلاب تعیین شد. در نهایت هایتوگراف بارش مازاد در هر واقعه تعیین شد. برای تعیین هایتوگراف مربوط به بارش مازاد از شاخص فی ϕ ، به روش سعی و خطا استفاده شد [۲۱].

۳.۲.۲. کاربرد روش کلارک در تخمین هیدروگراف

واحد

برای محاسبه هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک فرض کرد که یک مخزن خطی در انتهای جریان رودخانه وجود دارد به طوری که حجم ذخیره با خروجی در آن نسبت مستقیم دارد.

$$= 2.78 \frac{A_t}{\Delta t} I_t \quad (۱)$$

که در آن I_t دبی ورودی در انتهای دور Δt (متر مکعب در ثانیه)، A_t مساحت شرکت کننده در رواناب (کیلومتر مربع) می‌باشد [۱۵]. با توجه به این که تداوم بارندگی در رگبارها بیشتر از فاصله زمانی بین خطوط هم زمان تمرکز بود، هیدروگراف واحد لحظه‌ای به هیدروگراف واحد با تداوم مورد نظر تبدیل شد [۱۷]. با فرض ثابت بودن دبی ورودی در دوره زمانی Δt ، در هر دوره زمانی t ساعته مقدار خروجی O_t با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$Q_t = CI_t + (1-C) O_{t-1} \quad (۲)$$

که در آن ضریب C ، در روش کلارک با استفاده از رابطه (۳) و استفاده از ضریب ذخیره k (دارای بعد زمان) برآورد شد.

$$C = 2\Delta t / (2k + \Delta t) \quad (۳)$$

طبق نتایج عزیزیان (۱۳۹۶) [۵] برای محاسبه زمان تمرکز در حوزه آبخیز امامه روش Bransby Williams با دارا بودن خطای نسبی کمتر از ۱۰ درصد، بیشترین تطابق را با زمان تمرکز مشاهداتی در حوزه آبخیز مذکور،

ساعت و ۱۱/۰۹ مترمکعب بر ثانیه در وقایع ۶، ۲۵ و ۸ می‌باشد.

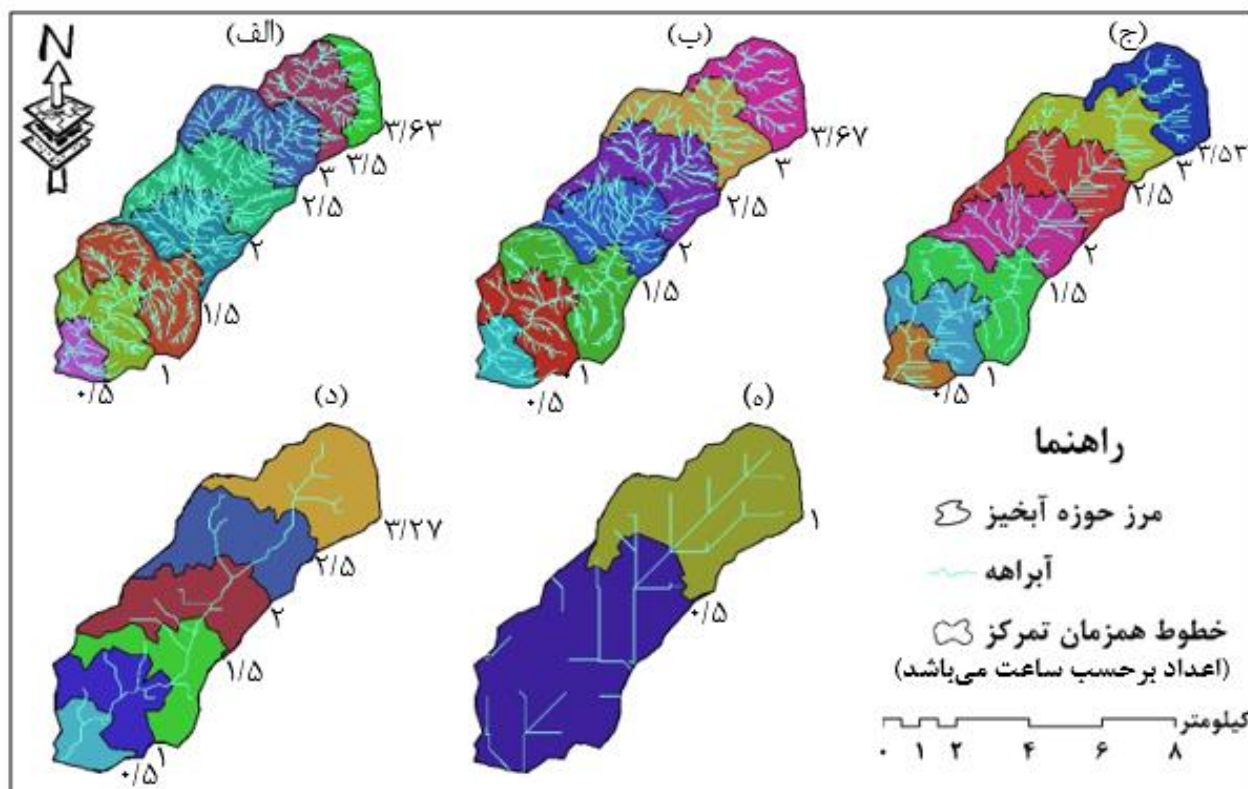
جدول ۱. مشخصات رویدادهای انتخابی برای تجزیه و تحلیل

شماره واقعه	تاریخ	مقدار بارندگی (میلی متر)	مدت بارندگی (ساعت)	شاخص فی (φ)	مقدار بارندگی موثر (میلی متر)	مدت زمان بارندگی موثر (ساعت)	زمان تا اوج (ساعت)	حجم رواناب (۱۰۰۰ m ³)	دبی اوج (m ³ /s)
۱	۱۳۴۹/۲/۱۵	۸/۵	۱	۵/۲۲	۰/۷	۰/۲۵	۱	۲۸/۸۰	۴/۳
۲	۱۳۴۹/۲/۴	۱۵/۶	۲	۵/۹۵	۱/۳۵	۰/۲۵	۲	۵۰/۲۲	۳/۵
۳	۱۳۵۲/۱/۳۰	۱۴	۱/۲۵	۲/۹۸	۱/۰۵	۰/۷۵	۶	۳۹/۱۰	۳/۳۳
۴	۱۳۵۵/۳/۱۷	۲۳/۶	۳	۳/۲۳	۴/۴۹	۰/۷۵	۱۰	۱۶۷/۵۶	۱۰/۴
۵	۱۳۵۷/۲/۱۲	۱۹/۹	۴/۵	۴/۷۳	۱/۲۴	۰/۵	۱۲	۴۶/۲۸	۶/۱۹
۶	۱۳۵۸/۳/۲۶	۱۹/۷	۲/۷۵	۱/۸۵	۳/۵۶	۱/۵	۶	۱۳۲/۸۲	۴/۴۹
۷	۱۳۵۸/۸/۱۲	۱۲/۷	۰/۷۵	۶/۴	۰/۷۹	۰/۲۵	۴	۲۹/۷۱	۳/۶۵
۸	۱۳۵۹/۶/۲۰	۳۲/۱	۶	۲/۱۶	۱/۸۴	۰/۲۵	۱۹	۶۸/۵۹	۱۱/۰۹
۹	۱۳۶۲/۱/۱۴	۱۶/۴	۴/۲۵	۲	۲	۱	۱۳	۷۴/۷۶	۳/۵۵
۱۰	۱۳۶۲/۲/۱۳	۱۷/۶	۲/۲۵	۴/۹۹	۱/۷۲	۰/۵	۲	۶۳/۹۵	۷/۵
۱۱	۱۳۶۴/۸/۸	۱۰/۲	۰/۷۵	۷/۳۸	۰/۳۲	۰/۲۵	۲	۱۱/۸۹	۱/۷۱
۱۲	۱۳۶۷/۷/۱۰	۱۲/۴	۱/۲۵	۶/۴۳	۰/۵۷	۰/۲۵	۱	۲۱/۳۶	۳/۵
۱۳	۱۳۶۹/۴/۳	۱۸	۲/۲۵	۳/۲۷	۲/۴۴	۰/۵	۷	۹۱/۲۰	۴/۸۷
۱۴	۱۳۷۱/۳/۱۵	۱۱/۵	۱/۵	۴/۱۳	۰/۸۷	۰/۲۵	۵	۳۲/۳۹	۲/۱۵
۱۵	۱۳۷۲/۴/۲۵	۹/۸	۱/۲۵	۴/۹۹	۰/۲۱	۰/۲۵	۶	۷/۷۶	۱/۹۳
۱۶	۱۳۷۳/۲/۱۳	۸/۵	۱/۵	۴/۷	۰/۳۰	۰/۲۵	۳	۱۱/۲۷	۱/۳
۱۷	۱۳۷۳/۷/۱۶	۲۰	۲/۲۵	۳/۹۶	۲/۹۷	۰/۵	۷	۱۱۰/۶۹	۹/۸
۱۸	۱۳۷۶/۶/۲۸	۱۰/۵	۱/۲۵	۴/۶	۰/۴۱	۰/۲۵	۳	۱۵/۴۸	۱
۱۹	۱۳۷۷/۳/۲	۱۷/۷۲	۳/۷۵	۲/۳۷	۲/۲۵	۰/۵	۱۰	۸۳/۹۳	۳/۷۲
۲۰	۱۳۷۹/۷/۸	۱۹/۴	۳	۲/۴۷	۲/۶۲	۱	۱۰	۹۷/۶۱	۵/۴۶
۲۱	۱۳۸۰/۹/۱۲	۱۴/۵	۲/۲۵	۳/۱	۱/۳	۰/۵	۹	۴۸/۳۶	۳/۴۵
۲۲	۱۳۸۲/۲/۱۵	۱۴/۱	۳/۷۵	۲/۷	۱/۳۱	۰/۲۵	۱۳	۴۸/۷۹	۳/۲
۲۳	۱۳۸۵/۸/۱	۱۵/۷	۱/۲۵	۵/۱۳	۱/۳۷	۰/۲۵	۴	۵۰/۹۴	۶/۱۵
۲۴	۱۳۸۸/۱/۱۷	۱۲	۱/۵	۳/۶۶	۰/۳۴	۰/۲۵	۸	۱۲/۵۶	۲/۸۸
۲۵	۱۳۸۸/۲/۲۵	۲۳/۵	۷/۲۵	۱/۹۵	۵/۳۱	۱/۵	۱۷	۹۱/۶۹	۶/۵۵
۲۶	۱۳۸۸/۸/۱۲	۲۱/۴	۳	۴/۸۳	۰/۹۱	۰/۲۵	۲	۳۳/۷۷	۴/۲۷
۲۷	۱۳۸۸/۸/۲۵	۱۵/۸	۲/۲۵	۳/۷۶	۱/۴۸	۰/۵	۷	۵۵/۳۴	۴/۹
۲۸	۱۳۸۸/۸/۲۷	۳۲/۱	۶/۷۵	۴/۹۳	۰/۶۹	۰/۵	۵	۲۵/۷۲	۱/۸۹
۲۹	۱۳۸۹/۱/۲۹	۱۸/۳	۳/۵	۲/۶۹	۰/۴۰	۰/۲۵	۴	۱۵/۰۸	۱/۴۲
۳۰	۱۳۸۹/۵/۲۳	۱۸/۴	۴/۲۵	۱/۸۴	۰/۸۲	۰/۵	۱۱	۳۰/۲۳	۳/۴۱
۳۱	۱۳۹۰/۱/۱۶	۲۲/۱	۵/۷۵	۲/۱۵	۰/۳۵	۰/۲۵	۳	۱۲/۸۹	۱/۳۳
۳۲	۱۳۹۰/۱/۱۷	۱۵/۴	۷/۷۵	۱/۵۶	۰/۴۳	۰/۷۵	۲	۱۶/۰۴	۱/۷۸
۳۳	۱۳۹۰/۸/۲۹	۲۰/۴	۳/۲۵	۳/۳۷	۲/۸۸	۰/۷۵	۸	۱۰۷/۳۵	۵/۸۵
۳۴	۱۳۹۴/۹/۱۰	۵۶/۴	۶	۳/۶۲	۱/۲۷	۱/۲۵	۴	۴۷/۲۳	۳/۵۶

رواناب به ترتیب برای DEMهای TOPO تا GTOPO برابر با ۱۱۲/۷۰ و ۱۱۹/۸۳، ۱۳۰/۱۶، ۱۳۲/۹۴، ۱۶۶/۴۵، هزار متر مکعب در واقعه چهارم برآورد شده است. به منظور ارزیابی دقیق‌تر میزان درصد RE حجم رواناب برآوردی در جدول ۳ برای هر واقعه محاسبه شد. (جدول ۳). بیشینه درصد خطای نسبی حجم رواناب به ترتیب برای DEMهای TOPO تا GTOPO برابر با ۵۸/۴۳، ۵۶/۰۱، ۵۸/۹۹، ۵۸/۹۹ و ۶۲/۲۵ و ۶۴/۴۹ برآورد شد. به منظور ارزیابی دبی اوج برآوردی در DEMهای مختلف، شاخص‌های مختلف خطا در جدول ۴ برآورد شده است.

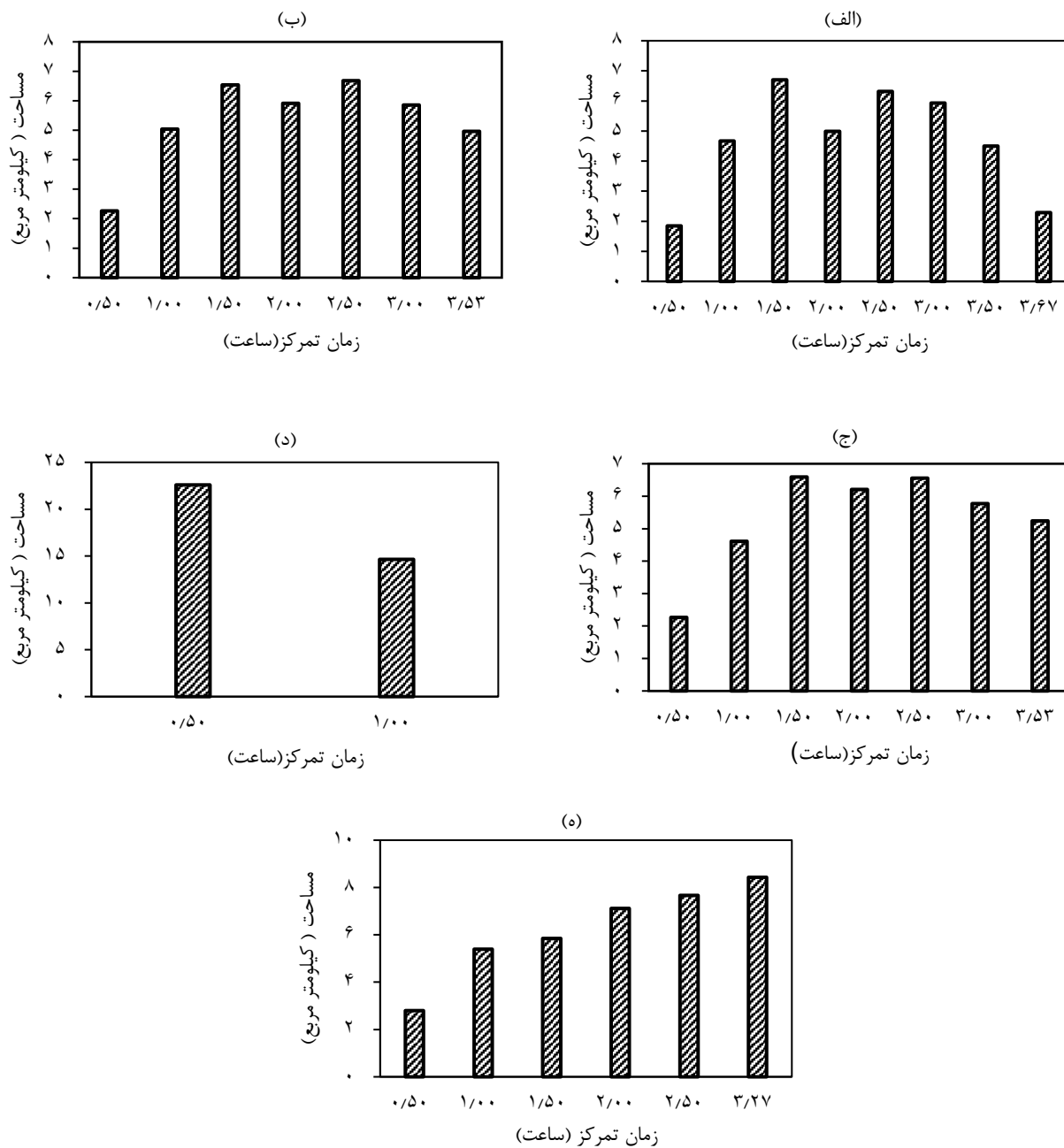
شبکه آبراهه، طول و شیب آبراهه اصلی آبراهه در هر یک از پنج مدل رقومی ارتفاع، با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS، محاسبه شد. سپس نقشه همزمان تمرکز ۳۰ دقیقه حوزه آبخیز با استفاده از روش توزیع مکانی زمان پیمایش استخراج شد. نقشه خطوط همزمان تمرکز و هیستوگرام زمان مساحت حوزه آبخیز امامه در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

پس از تعیین سطوح هم زمان تمرکز در DEMهای مختلف، مدل کلارک براساس روابط موجود برای هر واقعه اجرا شد. در جدول ۲ مقادیر حجم رواناب برآوردی به تفکیک رویداد و DEM آورده شده است. بیشینه حجم



شکل ۲. نقشه خطوط همزمان تمرکز (ساعت) حوزه آبخیز امامه.

الف: مدل رقومی TOPO، ب: مدل رقومی ALOS PALSAR، ج: مدل رقومی ASTER، د: مدل رقومی SRTM، ه: مدل رقومی GTOPO



شکل ۳. هیستوگرام زمان - مساحت حوزه آبخیز امامه.

الف: مدل رقومی TOPO، ب: مدل رقومی ALOS PALSAR، ج: مدل رقومی ASTER، د: مدل رقومی SRTM، ه: مدل رقومی GTOPO

جدول ۲. حجم رواناب برآوردی ($1000m^3$) روش کلارک با استفاده از DEMهای مختلف در حوزه آبخیز امامه

GTOPO	SRTM	ASTER	ALOS PALSAR	TOPO	تاریخ	واقعه
۱۷/۵۳	۱۸/۶۴	۲۰/۲۵	۲۰/۵۲	۲۰/۵۸	۱۳۴۹/۲/۱۵	۱
۳۲/۵۶	۳۴/۶۲	۳۷/۶۰	۳۸/۱۲	۴۱/۱۰	۱۳۴۹/۲/۴	۲
۲۵/۰۵	۲۶/۶۳	۲۸/۹۲	۲۹/۳۲	۳۱/۶۱	۱۳۵۲/۱/۳۰	۳
۱۱۲/۷۰	۱۱۹/۸۳	۱۳۰/۱۶	۱۳۱/۹۴	۱۴۲/۲۶	۱۳۵۵/۳/۱۷	۴
۲۵/۰۵	۲۶/۶۳	۲۸/۹۲	۲۹/۳۲	۳۱/۶۱	۱۳۵۷/۲/۱۲	۵
۸۷/۶۶	۹۳/۲۰	۱۰۱/۲۳	۱۰۲/۶۲	۱۱۰/۶۴	۱۳۵۸/۳/۲۶	۶
۲۰/۰۴	۲۱/۳۰	۲۰/۸۵	۲۱/۱۷	۱۹/۵۷	۱۳۵۸/۸/۱۲	۷
۴۵/۰۸	۴۷/۹۳	۵۲/۰۶	۵۲/۷۸	۵۶/۹۰	۱۳۵۹/۶/۲۰	۸
۵۰/۰۹	۵۳/۲۶	۵۷/۸۵	۵۸/۶۴	۶۳/۲۳	۱۳۶۲/۱/۱۴	۹
۴۲/۵۸	۴۵/۲۷	۴۹/۱۷	۴۹/۸۴	۵۳/۷۴	۱۳۶۲/۲/۱۳	۱۰
۷/۵۱	۷/۹۹	۸/۶۸	۸/۸۰	۹/۴۸	۱۳۶۴/۸/۸	۱۱
۱۵/۰۳	۱۳/۷۸	۱۲/۱۳	۱۲/۳۷	۱۱/۳۴	۱۳۶۷/۷/۱۰	۱۲
۶۰/۱۱	۶۳/۹۱	۶۹/۴۲	۷۰/۳۷	۷۵/۸۷	۱۳۶۹/۴/۳	۱۳
۲۰/۰۴	۲۱/۳۰	۲۳/۱۴	۲۳/۴۶	۲۵/۲۹	۱۳۷۱/۳/۱۵	۱۴
۵/۰۱	۵/۳۳	۵/۷۸	۵/۸۶	۶/۳۲	۱۳۷۲/۴/۲۵	۱۵
۷/۵۱	۷/۹۹	۷/۸۲	۷/۹۴	۷/۳۴	۱۳۷۳/۲/۱۳	۱۶
۷۵/۱۴	۷۹/۸۸	۸۶/۷۷	۸۷/۹۶	۹۴/۸۴	۱۳۷۳/۷/۶	۱۷
۱۰/۰۲	۱۰/۶۵	۱۱/۵۷	۱۱/۷۳	۱۲/۶۵	۱۳۷۶/۶/۲۸	۱۸
۵۵/۱۰	۵۸/۵۸	۶۳/۶۳	۶۴/۵۰	۶۹/۵۵	۱۳۷۷/۳/۲	۱۹
۶۵/۱۲	۶۹/۲۳	۷۵/۲۰	۷۶/۲۳	۸۲/۱۹	۱۳۷۹/۷/۸	۲۰
۳۲/۵۶	۳۴/۶۲	۳۷/۶۰	۳۸/۱۲	۴۱/۱۰	۱۳۸۰/۹/۱۲	۲۱
۳۲/۵۶	۳۴/۶۲	۳۷/۶۰	۳۸/۱۲	۴۱/۱۰	۱۳۸۲/۲/۱۵	۲۲
۳۲/۵۶	۳۴/۶۲	۳۷/۶۰	۳۸/۱۲	۳۸/۲۲	۱۳۸۵/۸/۱	۲۳
۷/۵۱	۷/۹۹	۸/۶۸	۸/۸۰	۹/۴۸	۱۳۸۸/۱/۱۷	۲۴
۳۲/۵۶	۳۴/۶۲	۳۷/۶۰	۳۸/۱۲	۴۱/۱۰	۱۳۸۸/۲/۲۵	۲۵
۲۲/۵۴	۲۳/۹۷	۲۶/۰۳	۲۶/۳۹	۲۸/۴۵	۱۳۸۸/۸/۱۲	۲۶
۳۷/۵۷	۳۹/۹۴	۴۳/۳۹	۴۳/۹۸	۴۷/۴۲	۱۳۸۸/۸/۲۵	۲۷
۱۷/۵۳	۱۸/۶۴	۲۰/۲۵	۲۰/۵۲	۲۲/۱۳	۱۳۸۸/۸/۲۷	۲۸
۱۰/۰۲	۱۰/۶۵	۱۱/۵۷	۱۱/۷۳	۱۱/۷۶	۱۳۸۹/۱/۲۹	۲۹
۲۰/۰۴	۲۱/۳۰	۲۳/۱۴	۲۳/۴۶	۲۵/۲۹	۱۳۸۹/۵/۲۳	۳۰
۷/۵۱	۶/۸۹	۶/۰۶	۶/۱۸	۵/۶۷	۱۳۹۰/۱/۱۶	۳۱
۱۰/۰۲	۱۰/۶۵	۱۱/۵۷	۱۱/۷۳	۱۲/۶۵	۱۳۹۰/۱/۱۷	۳۲
۷۲/۶۳	۷۷/۲۲	۸۳/۸۸	۸۵/۰۳	۹۱/۶۸	۱۳۹۰/۸/۲۹	۳۳
۳۲/۵۶	۳۴/۶۲	۳۳/۸۷	۳۴/۴۱	۳۱/۷۹	۱۳۹۴/۹/۱۰	۳۴

جدول ۳. خطای نسبی حجم رواناب برآوردی روش کلارک با استفاده از DEMهای مختلف در حوزه آبخیز امامه

GTOPO	SRTM	ASTER	ALOS PALSAR	TOPO	تاریخ	واقعه
۳۹/۱۳	۳۵/۲۸	۲۹/۷۰	۲۸/۷۴	۲۸/۵۵	۱۳۴۹/۲/۱۵	۱
۳۵/۱۷	۳۱/۰۷	۲۵/۱۳	۲۴/۱۰	۱۸/۱۷	۱۳۴۹/۲/۴	۲
۳۵/۹۴	۳۱/۸۹	۲۶/۰۲	۲۵/۰۰	۱۹/۱۴	۱۳۵۲/۱/۳۰	۳
۳۲/۷۴	۲۸/۴۹	۲۲/۳۲	۲۱/۲۶	۱۵/۱۰	۱۳۵۵/۳/۱۷	۴
۴۵/۸۸	۴۲/۴۶	۳۷/۵۰	۳۶/۶۴	۳۱/۶۹	۱۳۵۷/۲/۱۲	۵
۳۴/۰۰	۲۹/۸۳	۲۳/۷۸	۲۲/۷۴	۱۶/۶۹	۱۳۵۸/۳/۲۶	۶
۳۲/۵۵	۲۸/۲۹	۲۹/۸۳	۲۸/۷۲	۳۴/۱۴	۱۳۵۸/۸/۱۲	۷
۳۴/۲۸	۳۰/۱۲	۲۴/۱۰	۲۳/۰۶	۱۷/۰۴	۱۳۵۹/۶/۲۰	۸
۳۳/۰۰	۲۸/۷۶	۲۲/۶۲	۲۱/۵۶	۱۵/۴۳	۱۳۶۲/۱/۱۴	۹
۳۳/۴۲	۲۹/۲۱	۲۳/۱۱	۲۲/۰۶	۱۵/۹۶	۱۳۶۲/۲/۱۳	۱۰
۳۶/۷۹	۳۲/۸۰	۲۷/۰۰	۲۶/۰۰	۲۰/۲۲	۱۳۶۴/۸/۸	۱۱
۲۹/۶۶	۳۵/۴۸	۴۳/۲۴	۴۲/۱۱	۴۶/۹۲	۱۳۶۷/۷/۱۰	۱۲
۳۴/۰۹	۲۹/۹۳	۲۳/۸۹	۲۲/۸۴	۱۶/۸۱	۱۳۶۹/۴/۳	۱۳
۳۸/۱۵	۳۴/۲۴	۲۸/۵۷	۲۷/۵۹	۲۱/۹۳	۱۳۷۱/۳/۱۵	۱۴
۳۵/۴۹	۳۱/۴۱	۲۵/۵۰	۲۴/۴۸	۱۸/۵۷	۱۳۷۲/۴/۲۵	۱۵
۳۳/۳۲	۲۹/۱۱	۳۰/۶۳	۲۹/۵۳	۳۴/۸۹	۱۳۷۳/۲/۱۳	۱۶
۳۲/۱۲	۲۷/۸۳	۲۱/۶۱	۲۰/۵۳	۱۴/۳۲	۱۳۷۳/۷/۱۶	۱۷
۳۵/۲۸	۳۱/۱۹	۲۵/۲۶	۲۴/۲۴	۱۸/۳۱	۱۳۷۶/۶/۲۸	۱۸
۳۴/۳۵	۳۰/۲۰	۲۴/۱۸	۲۳/۱۴	۱۷/۱۳	۱۳۷۷/۳/۲	۱۹
۳۳/۲۹	۲۹/۰۸	۲۲/۹۶	۲۱/۹۰	۱۵/۸۰	۱۳۷۹/۷/۸	۲۰
۳۲/۶۷	۲۸/۴۲	۲۲/۲۴	۲۱/۱۸	۱۵/۰۱	۱۳۸۰/۹/۱۲	۲۱
۳۳/۲۷	۲۹/۰۵	۲۲/۹۳	۲۱/۸۸	۱۵/۷۷	۱۳۸۲/۲/۱۵	۲۲
۳۶/۰۸	۳۲/۰۴	۲۶/۱۸	۲۵/۱۷	۲۴/۹۸	۱۳۸۵/۸/۱	۲۳
۴۰/۲۰	۳۶/۴۲	۳۰/۹۴	۲۹/۹۹	۲۴/۵۲	۱۳۸۸/۱/۱۷	۲۴
۶۴/۴۹	۶۲/۲۵	۵۸/۹۹	۵۸/۴۳	۵۵/۱۸	۱۳۸۸/۲/۲۵	۲۵
۳۳/۲۵	۲۹/۰۳	۲۲/۹۱	۲۱/۸۵	۱۵/۷۴	۱۳۸۸/۸/۱۲	۲۶
۳۲/۱۲	۲۷/۸۳	۲۱/۶۱	۲۰/۵۳	۱۴/۳۲	۱۳۸۸/۸/۲۵	۲۷
۳۱/۸۴	۲۷/۵۳	۲۱/۲۹	۲۰/۲۱	۱۳/۹۷	۱۳۸۸/۸/۲۷	۲۸
۳۳/۵۸	۲۹/۳۹	۲۳/۳۰	۲۲/۲۵	۲۲/۰۵	۱۳۸۹/۱/۲۹	۲۹
۳۳/۷۳	۲۹/۵۴	۲۳/۴۷	۲۲/۴۲	۱۶/۳۵	۱۳۸۹/۵/۲۳	۳۰
۴۱/۷۰	۴۶/۵۳	۵۲/۹۶	۵۲/۰۳	۵۶/۰۱	۱۳۹۰/۱/۱۶	۳۱
۳۷/۵۴	۳۳/۵۹	۲۷/۸۶	۲۶/۸۷	۲۱/۱۶	۱۳۹۰/۱/۱۷	۳۲
۳۲/۳۴	۲۸/۰۷	۲۱/۸۷	۲۰/۷۹	۱۴/۶۰	۱۳۹۰/۸/۲۹	۳۳
۳۱/۰۷	۲۶/۷۱	۲۸/۲۸	۲۷/۱۵	۳۲/۶۹	۱۳۹۴/۹/۱۰	۳۴
۲۹/۶۶	۲۶/۷۱	۲۱/۲۹	۲۰/۲۱	۱۳/۹۷	حداقل	
۶۴/۴۹	۶۲/۲۵	۵۸/۹۹	۵۸/۴۳	۵۶/۰۱	حداکثر	
۳۵/۶۶	۳۲/۱۵	۲۷/۷۰	۲۶/۶۸	۲۲/۹۲	میانگین	

جدول ۴. محاسبه شاخص‌های مختلف خطا در برآورد دبی اوج توسط مدل کلارک در DEMهای مختلف

مدل رقومی ارتفاع	RMSE (m ³ /s)	خطای نسبی دبی اوج (%)		
		حد اقل	حداکثر	میانگین
TOPO	۳/۹	۳/۵۶	۵۶/۱۷	۳۰/۱۱
ALOS PALSAR	۴/۲	۰/۲۶	۶۵/۵۰	۳۰/۷۹
ASTER	۴/۲	۰/۰۱	۶۵/۰۷	۳۰/۷۲
SRTM	۵/۶	۴/۷۱	۱۰۱/۳۴	۳۷/۷۰
GTOPO	۱۹/۴	۴۶/۷۱	۳۵۰/۱۷	۱۶۸/۳۴

۴. بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به شکل‌های ۲ و ۳ می‌توان بیان کرد که با کاهش دقت مدل رقومی ارتفاع از تکامل شبکه زهکشی کاسته می‌شود. به طوری که در مدل رقومی ارتفاع TOPO کامل‌ترین شبکه زهکشی مشاهده می‌شود. از سوی دیگر با کاهش طول آبراهه اصلی به دنبال کاهش دقت DEM، تعداد خطوط هم‌زمان تمرکز کاسته شده است. به طوریکه DEM TOPO با بیشترین برآورد از طول آبراهه اصلی، بیشترین تعداد خطوط هم‌زمان تمرکز را تخمین زده است. در واقع خطوط هم‌زمان تمرکز به طور منظم برآورد شده‌اند. هر چند تعداد خطوط هم‌زمان تمرکز در DEM های ALOS PALSAR و ASTER برابر است، اما سطح مربوط به ناحیه خطوط هم‌زمان تمرکز به دلیل تفاوت DEM های مذکور در تخمین نحوه شکل‌گیری آبراهه اصلی متفاوت می‌باشد. این در حالی است که در مدل رقومی ارتفاع GTOPO رودخانه اصلی قابل تشخیص نیست. بنابراین می‌توان گفت عامل مقیاس مکانی تأثیر مستقیمی در تراکم و دقت شبکه زهکشی دارد.

هیستوگرام زمان مساحت حوزه آبخیز امامه در شکل ۳ نشان می‌دهد که زمان تمرکز حوزه آبخیز از ۰/۵ تا ۳/۶۷ ساعت متغیر است. همچنین DEM های ALOS PALSAR و ASTER توزیع نسبتاً مناسب و مشابهی را

ارائه می‌دهند. در حالی که شرایط در SRTM DEM متفاوت است و زمان تمرکز بین ۰/۵ تا ۳/۲۷ ساعت با روند صعودی در مساحت‌های مختلف متغیر است. و در نهایت در GTOPO DEM برآورد ناقصی را از توزیع زمان تمرکز ارائه می‌دهد. به نحوی که زمان تمرکز در دو طبقه ۰/۵ و ۱ ساعت برآورد شده است. علت این بی‌نظمی در DEM های با دقت پایین، عدم تکامل شبکه آبراهه ایجاد شده و تشخیص سخت آبراهه اصلی می‌باشد.

در ارتباط با حجم رواناب تخمینی، به طور واضح مشخص است که با افزایش دقت DEM مقدار خطای نسبی کاهش یافته است. هر چند طبق پژوهش مصطفی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) [۱۸] مدل کلارک در تخمین حجم رواناب دقت مطلوبی ندارد، اما در پژوهش حاضر به خصوص TOPO DEM با خطای نسبی ۲۲/۹۶ درصد دقت قابل قبولی داشته است. از سوی دیگر در مورد دبی اوج اختلاف قلیل توجهی بین مقادیر متوسط خطای نسبی در DEM های مختلف وجود دارد. به طوری که کمترین و بیشترین مقدار متوسط خطای نسبی به ترتیب برای DEM های TOPO و GTOPO با مقادیر ۳۰/۱۱ و ۱۶۸/۳۴ درصد می‌باشد. از سوی دیگر مقادیر خطای RMSE نیز نشان می‌دهد TOPO DEM نسبت به سایرین کمترین مقدار خطا (۳/۹ مترمکعب بر ثانیه) را داشته است. میزان خطای مدل کلارک با DEM های ALOS PALSAR و ASTER بسیار مشابه بوده و کارایی

ارتفاع شامل نقشه توپوگرافی سازمان نقشه‌برداری کشور ۱:۲۵۰۰۰، مدل‌های رقومی ارتفاع ALOS PALSAR، ASTER، SRTM و GTOPO در شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب مورد بررسی قرار گرفت. به طور کلی می‌توان گفت در صورتی که از TOPO DEM استفاده شود، مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک نتایج قابل قبولی را در پیش‌بینی پیش‌بینی ابعاد هیدروگراف سیلاب به خصوص دبی اوج به دست خواهد داد، و استفاده از پژوهش حاضر می‌تواند مدیران را در پیش‌بینی دقیق سیلاب یاری کند. از جمله محدودیت‌های پژوهش می‌توان به عدم دسترسی به داده‌های بارش متناظر با سیلاب‌های به وقوع پیوسته در سال‌های اخیر اشاره کرد.

مشابه و حدواسط دارند. به طوری کلی با بررسی مقادیر خطا می‌توان گفت مدل کلارک مقادیر دبی اوج را با TOPO DEM با دقت بالایی تخمین می‌زند. به طور مشابه شاهدهی و همکاران (۱۳۹۵) [۲۰]. کارایی مدل کلارک را در تخمین ابعاد هیدروگراف سیلاب مطلوب دانستند.

استفاده از هیدروگراف‌های واحد لحظه‌ای همواره مورد توجه متخصصین و هیدرولوژیست‌ها برای تخمین ابعاد هیدروگراف سیلاب و پیش‌بینی سیلاب‌ها بوده است. از سوی دیگر خصوصیات مورفولوژیکی و توپوگرافی حوزه آبخیز از عوامل موثر بر هیدروگراف می‌باشد. به همین دلیل در پژوهش حاضر با کاربست مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک، کارایی مدل با مدل‌های مختلف رقومی

References

- [1] Ahmadpour, A., Mirhashemi, S., and Haghghat jou, P. (2019). Evaluation of the accuracy of HMS-SMA and bilinear time series models in predicting daily runoff (Case study: Idenak station at Maroun basin). *Journal of Water and Soil Conservation*, 26(3), 161-176. (In Persian)
- [2] Alizadeh, A. (2014). *Principles of Applied Hydrology*, Emam Reza University Press. (In Persian)
- [3] Allali, H., Elmeddahia, Y., Moudjebec, D. E., Mahmoudic, H., and Goosend, M. F. (2022). Utilizing hydrograph transform methods and a hydrologic modeling system in rainfall-runoff simulation of a semi-arid watershed in Algeria in north-west Africa. *Desalination and Water Treatment*, 255, 220-228.
- [4] Asadi, M., Jabbari, I., and Hesadi, H. (2020). Flood modeling in arid and semiarid areas using HEC-HMS model (Case study: Esteghlal Minab basin). *Quantitative Geomorphological Research*, 8(3), 17-33. (In Persian)
- [5] Azizian, A. (2017). Assessment and uncertainty analysis of different time of concentration methods. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(2), 275-288. (In Persian)
- [6] Azizian, A., and Shokoohi, A. (2013). An Investigation on the effects of DEM resolution and stream delineation thresholds on the performance of the kinematic-wave-based GIUH model, *Journal of Hydraulics*, 8(3), 1-18. (In Persian)
- [7] Bayati, S., Nasr Esfahani, M. A., and Abdollahi, K. (2018). Comparing the response characteristics and volumetric water balance in three unit hydrograph methods (A case study: Vanak Basin). *Iranian journal of Ecohydrology*, 5(2), 373-385. (In Persian)
- [8] Clark, C.O. (1945). Storage and the unit hydrograph. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 110, 1419-1446.
- [9] Fathian, H., Akhondali, A.M., and Sharifi, M.R. (2020). Parameters uncertainty analysis in estimating probable maximum flood in Bakhtiary dam basin by monte carlo method, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(4), 855-871. (In Persian)
- [10] Green, I. R. A., and Stephenson, D. (1986). Criteria for comparison of single event models. *Hydrological Sciences Journal*, 31(3), 395-411.

- [11] Hemati, M., Shahnazi, M., Ahmadi, H., and Salarijazi, M. (2017). Flood peak flow simulation and determination of flood source area in the QARANQU watershed using hydrological Mod-Clark model and GIS, *Irrigation and Water Engineering*, 7(4), 65-80. (In Persian)
- [12] Jahanbakhsh Asl, S., Rezaie Banfshah, M., Goodarzi, M., Ghafouri Rouzbehani, A., and Mahdian, M.H. (2012). The assessment of time- area and Clark instantaneous unit hydrograph models in estimating flood discharge in Bazoft Karoon, *Journal of Geography and Planning*, 16(41), 49-66. (In Persian)
- [13] Kim, J. G., and Kang, B. (2016). Estimation of synthetic unit hydrograph by cluster analysis using geomorphic characteristics of mid-size watershed. *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, 36(3), 439-449.
- [14] Kulkarni, A., and Kale, G. (2022). Identifying best combination of methodologies for event-based hydrological modeling using HEC-HMS software: a case study on the Panchganga River basin, India. *Sustainable Water Resources Management*, 8(4), 1-16.
- [15] 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 Resources Management*, 16(4), 263-278.
- [16] Lee, J., and Yoo, C. (2022). Use of basin outlet velocity to determine the basin concentration time and storage coefficient. *Hydrology Research*, 53(10), 1304-1320.
- [17] Mirbagheri, A. (1998). *Applied hydrology*, Volume 1, First edition, Shiraz University Press, Iran. 562 p. (In Persian)
- [18] Mostafazadeh, R., Mirzaei, M., Esmali, A., and Zabihi, M. (2018). Sensitivity analysis of the flow hydrograph components due to changes in Clark's time-area model in Mohammad-Abad watershed, Gloestan Province, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(1), 91-99. (In Persian)
- [19] Osman, S., and Abustan, I. (2011). Estimating the Clark instantaneous unit hydrograph parameters for selected gauged catchments in the west Coast of Peninsular Malaysia. *ASEAN Engineering Journal*. 1(3), 126-141.
- [20] Shahedi, K., Asadi, H., and Gholshan, M. (2016). Comparison of time-area and Clark instantaneous unit hydrograph models efficiency to reconstruct flood hydrographs at Kasilian Watershed, *Hydrogeomorphology*, 3(7), 123-139. (In Persian)
- [21] Vafakhah, M., Fakher Nikche, A., and Sadeghi, S. H. (2018). Comparative effectiveness of different infiltration models in estimation of watershed flood hydrograph. *Paddy and Water Environment*, 16(3), 411-424.
- [22] Vafakhah, M., and Moghadamnia, A.R. (2017). *Flood management and control*. Tarbiat Modares University Press, First edition, 396 p. (In Persian)
- [23] Walega, A. (2014). The importance of the objective functions and flexibility on calibration of parameters of Clark instantaneous unit hydrograph. *Geomatics, Landmanagement and Landscape*, 2, 75 -85.
- [24] Yannopoulos, S., Christidis, Ch., Loukas, A., and Giannopoulou, I. (2013). A sensitivity analysis on the parameters of clark instantaneous unit hydrograph. In *Proceedings of the 8th International Conference of EWRA (European Water Resources Association) Water Resources Management in an Interdisciplinary and Changing Context*, Porto, Portugal (pp. 26-29).

The effectiveness of Clark's instantaneous unit hydrograph model (IUH) accuracy from the spatial resolution of different digital elevation models

- ❖ **Fariba Esmaeili**; M.Sc.Student, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Iran
- ❖ **Mehdi Vafakhah***; Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Iran
- ❖ **Vahid Moosavi**; Assistant Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Iran.

Abstract

The current study evaluates the effectiveness of Clark's Instantaneous Unit Hydrograph (IUH) model from the accuracy of different Digital Elevation Models (DEMs) including TOPO, ALOS PALSAR, ASTER, SRTM and GTOPO in the Amameh watershed. For this purpose, at first, 34 rainfall-runoff events were selected. Also, the drainage network, the length and slope of the main river in each of the five DEMs were calculated using Arc GIS software. Then, the 30-minute isochrone map of the watershed was extracted using the spatial distribution of travel time method. Finally, the dimensions of Clark's IUH were estimated for each rainfall-runoff event and DEM. The results showed that with the decrease in the length of the main river following the decrease in DEM spatial resolution, the number of isochrone has been decreased, so that TOPO DEM has estimated the largest number of isochrone with the largest estimate of the length of the main river. The average percentage of the Relative Error (RE) of the runoff volume was estimated as 22.92, 26.68, 27.7, 32.15 and 35.66% respectively for the aforementioned DEMs. Regarding peak flow estimation, there is a significant difference between the average RE values in different DEMs. So that the lowest average value of the RE is related to TOPO DEM with a value of 30.11%. On the other hand, the Root Mean Square Error (RMSE) values also show that TOPO DEM has the lowest RMSE value (3.9 m³/s) compared to other DEMs. In general, it can be said that the use of TOPO DEM in Clark's IUH model will provide acceptable results.

Keywords: Amameh watershed, Clark's instantaneous unit hydrograph, Runoff, Storage coefficient, Time-area histogram.