دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال نوزدهم، شماره‌ی ۶۸
زمستان ۱۳۹۸، صفحات ۷۴-۵۹

امجد ملکی[۱]
***مریم حافظ‌پرست**[۲]
ویدا عبدی‌پور[۳]

کارایی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی (GIUH) و مقایسه آن با مدل‌های اشنایدر، SCS و مثلثی در حوضه مرگ استان کرمانشاه

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۰۱

چکیده

پایداری حوضه‌های آبریز در برابر بارش‌های شدید و اجتناب از بروز سیلاب‌ها به پیش‌بینی هیدروگراف سیل نیازمند است. در پژوهش حاضر، بررسی کارایی مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی (GIUH) در تهیه هیدروگراف سیلاب و مقایسه عملکرد آن با مدل‌های اشنایدر، SCS و مثلثی در حوضه مرگ در استان کرمانشاه صورت گرفته است. به منظور اجرای روش‌های مذکور، اطلاعات بارش و رواناب مربوط به ۱۲ رویداد گردآوری و هیدروگراف مستقیم به‌دست آمد. با توجه به شاخص‌های آماری میانگین خطای نسبی (MRE)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب بایاس و ضریب ناش-ساتکلیف، مقایسه هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و برآوردی نشان داد که روش GIUH کارآمدترین مدل در برآورد دبی اوج بوده و بعد از آن روش‌های اشنایدر، SCS و مثلثی دارای مراتب بعدی هستند. همچنین بر اساس نتایج به‌دست آمده، به‌ترتیب روش‌های اشنایدر، GIUH، SCS و مثلثی دارای بیش‌ترین کارایی در برآورد زمان اوج هستند. علاوه بر این، نتایج بیانگر بیش برآوردی روش‌های GIUH، SCS و مثلثی در

۱- گروه جغرافیا دانشگاه رازی.
*۲- گروه آب دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی. (نویسنده مسئول).
۳- دانش‌آموخته ارشد هیدروژئومورفولوژی دانشگاه رازی.
E- mail: m.hafezparast@razi.ac.ir

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

برآورد دبی اوج و بیش برآوردی روش اشنایدر و کم برآوردی روش GIUH در برآورد زمان اوج می باشد. همچنین روش SCS بهترین حجم سیلاب را برآورد نموده است.

کلید واژه‌ها : حوضه مرگ، زمان اوج، دبی پیک، هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی.

مقدمه

سیلاب یکی از پدیده‌های پیچیده و مخرب طبیعی است که هر ساله خسارات فراوانی را به دنبال داشته است. در این راستا برای حفظ پایداری حوضه آبریز در شرایط سیلابی شبیه‌سازی دبی اوج سیلاب، زمان رسیدن به دبی حداکثر و مدت زمانی که سیل در رودخانه باقی می‌ماند، امری ضروری است (Mahdavi, 2001). در این راستا برای بررسی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر سیل‌خیزی درحوضه آبخیز طزرجان از مدل HEC-HMS برای مقایسه تغییرات دبی واثر داغاب قبل و بعد از اقدامات استفاده گردید. جهت تعیین تأثیر اقدامات مکانیکی و بیولوژیک، زمان تمرکز و شماره منحنی در شرایط بعد از اجرای اقدامات محاسبه و با اعمال تغییرات ایجاد شده در ورودی‌های مدل اقدام به شبیه‌سازی رفتار سیلاب گردید(Dehghani et al., 2014). روش‌هایی که هیدروگراف سیل را بر اساس شرایط ژئومورفولوژی حوضه بررسی می‌کنند، ارتباط بین پارامترهای ژئومورفولوژی و هیدرولوژی را بررسی می‌کنند و پیش‌بینی سیلاب در حوضه‌های دارای آمار انجام شده و به حوضه‌های مشابه فاقد آمار تعمیم داده می‌شود (Mahmoudi et al., 2007: 2). در دهه‌های گذشته مطالعه‌های زیادی در مورد درک فرآیند بارش–رواناب در حوضه‌های مختلف انجام گرفته‌است. از جمله مدل‌های توسعه یافته در این زمینه، مدل هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی (GIUH) می‌باشد که توسط Rodriguez-Iturbe & Valdes (1979) به عنوان واکنش حوضه آبخیز نسبت به ورود یک واحد بارش مازاد لحظه‌ای ارائه گردیده است و باعث رهنمون تحقیقات جدید در هیدروژئومورفولوژی گردید. Gupta et al (1980) مجددا این ایده را پیگیری نمودند (Gholami Someh et al., 2011). با استفاده از هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی که در جهت انطباق خصوصیات هیدرولوژیکی یک حوزه آبخیز با پارامترهای ژئومورفولوژی است، برای حوضه فاقد آمار که در آن داده‌های بارندگی در دسترس هستند اما فاقد داده‌های رواناب می‌باشد به عنوان یک مدل کارا و مناسب جهت مدل‌سازی بارش–رواناب استفاده نمود (Shirzadi et al., 2011 ؛Bhadra et al., 2008؛ Yao et al., 2014؛ Himanshu et al., 2013). پژوهش دیگری توسط (Nori and Eldermi, 2013) برای بررسی دقت و درجه کارایی مدل های آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفوکلیماتولوژی و ژئومورفولوژی برای تعیین ابعاد آبنمود سیل یک رگبار با شدت و مدت معین در حوضه آبریز سد اکباتان همدان پرداخته و آن‌ها را باروش‌های ناش، روسو و SCS مقایسه نموده و موثرترین و کارآمدترین مدل را معرفی کرده است. به منظور افزایش دقت و سرعت در اجرای کار از سیستم اطلاعات جغرافیایی و برای بررسی کارایی و دقت مدل‌ها از شاخص‌های آماری"میانگین توان دوم خطا"و"میانگین خطای نسبی"استفاده شده است. محققان متعددی در این زمینه مطالعه نموده‌اند از جمله Ghiyasi et

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

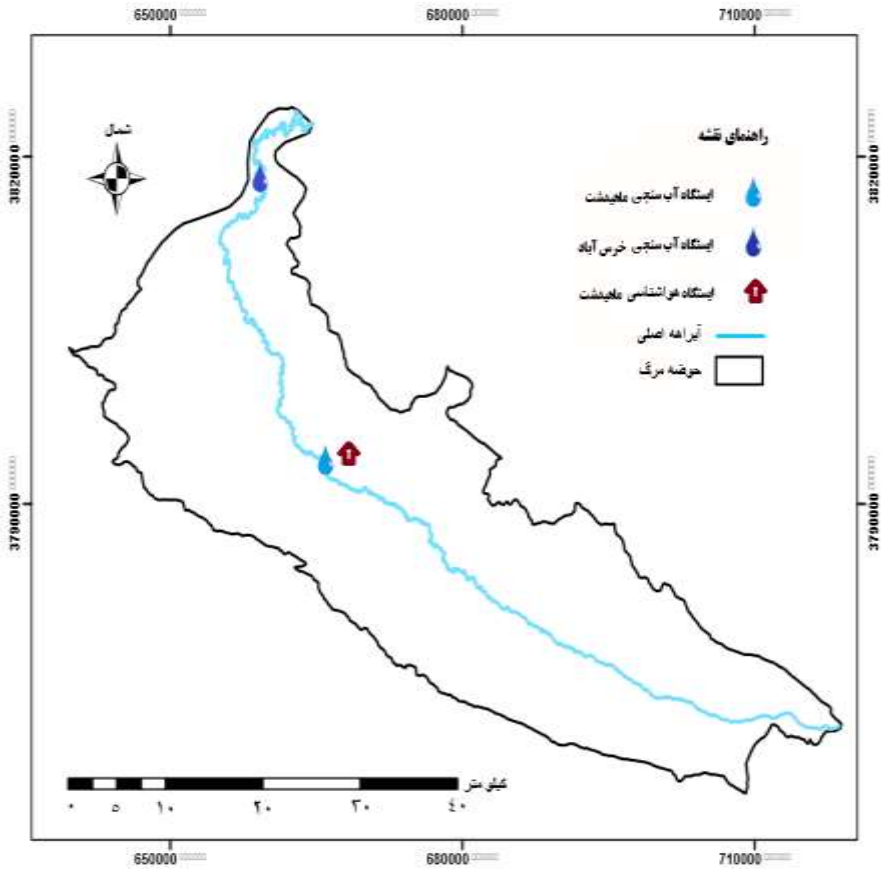
al (2006) در بررسی کارایی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی و مقایسه آن با هیدروگراف‌های مصنوعی اشنایدر، مثلثی و SCS، در حوضه کسیلیان، کارایی نسبتا" خوب روش ژئومورفولوژی را تایید نمودند. Mahmoudi et al (2007) با هدف بررسی نقش عوامل و اشکال ژئومورفولوژی در ویژگی‌های سیلاب مدل GIUH در حوضه آبخیز کنگیر، با مقایسه داده‌های مشاهده‌ای و محاسبه‌ای نشان داد که کارایی مدل در برآورد دبی پیک نسبتا" مناسب است. نتایج بررسی Ghahraman & Lotfi (2009) نشان داد که روش ژئومورفولوژی نسبت به سایر روش‌ها در برآورد دبی اوج سیلاب، دقت بیش‌تری دارد. در بررسی Khaleghi et al (2011) هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی (GIUH) کارآمدترین مدل در برآورد هیدروگراف خروجی برای مناطق مشابه معرفی‌گردید. Karami & Ismailpour (2013) در بررسی ارزیابی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی نشان داد که مدل GIUH دبی اوج سیلاب را بهتر از سایر پارامترهای سیلاب برآورد نموده است. در بررسی Golkarian et al (2014) نتایج بیانگر کم برآوردی روش ژئومورفولوژی در برآورد دبی اوج و بیش برآوردی روش اشنایدر و کم برآوردی روش ژئومورفولوژی در برآورد زمان اوج می‌باشد. همچنین Khaleghi et al (2010) در بررسی کارایی مدل‌های مختلف نشان داد که مدل ژئومورفولوژی در بررسی پارامترهای زمان اوج و دبی اوج رواناب مستقیم در تجزیه‌وتحلیل آماری کوچک‌ترین خطای نسبی را داشت. Mohammadi & Dabbaghian Amiry (2012) با بررسی هیدروگراف‌های مصنوعی در حوزه آبخیز مهران نشان داد که مدل GIUH دارای کارایی بیش‌تری نسبت به مدل‌های مثلثی، SCS و اشنایدر دارد. Mohammadi et al (2012) در بررسی کارایی هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی در مقایسه با روش‌های اشنایدر، SCS و مثلثی، در حوضه کن، با بررسی میانگین خطای نسبی و شاخص مجذور مربعات خطا به این نتیجه رسیدند که روش ژئومورفولوژی کارآمدترین مدل در برآورد دبی اوج بوده و بعد از آن روش‌های اشنایدر، SCS و مثلثی دارای مراتب بعدی هستند. بررسی‌های متعدد نشان می‌دهد هیدروگراف واحد ژئومورفولوژیکی یک مدل مناسب جهت بررسی مدل‌سازی بارش-رواناب می‌باشد (Bhadra et al., 2008 ؛Fatahian et al., 2013 ؛Erfanian & Telvari, 2003 ؛Khalilizadeh & Moghali, 2012 ؛Himanshu et al., 2013 ؛Khaleghi et al., 2014 ؛Yao et al., 2014, Swain et al., 2015). در این پژوهش که بر اساس ۱۲ واقعه سیل انجام گردید، از یک طرف کارایی مدل هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی در حوضه مرگ مورد بررسی قرار گرفت و از طرفی دیگر کارایی این مدل با هیدروگراف‌های مصنوعی، اشنایدر، SCS و مثلثی در حوضه مرگ مقایسه شد. نتایج این پژوهش با چهار معیار خطا و در نقاط کنترل شامل دبی اوج، زمان رسیدن به اوج، حجم سیلاب، زمان پایه و شکل هیدروگراف ارزیابی گردیده‌است که در پژوهش‌های مشابه کم‌تر با این دقت بررسی شده‌اند.

محدوده مورد مطالعه

حوضه مرگ با مساحت حدود ۱۴۳۷/۸۲ کیلومتر مربع در غرب ایران و در محدوده سیاسی استان کرمانشاه قرار دارد و از نظر موقعیت بین مدارهای ۳۴ تا ۳۴/۳۵ درجه شمالی از خط استوا و بین ۴۷/۲۵ تا۶۴/۳۰ درجه طول شرقی از نصف النهار گرینویج قرار گرفته است (شکل ۱). این حوضه یکی از حوضه‌های نسبتاً کوهستانی بالادست رودخانه

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

کرخه با ارتفاع متوسط ۱۵۲٤ متر از سطح دریا می‌باشد که ۳۷/۹ درصد حوضه را کوه‌ها و تپه‌ها تشکیل می‌دهد. شیب عمومی اراضی در حدود ٤/٦ درصد محاسبه شده و به سوی شمال‌غربی است (Maleki et al., 2013).



شکل ۱: حوضه مرگ و ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری

Figure 1: Mereg Catchment and meteorological and hydrometric stations

مواد و روش‌ها

انتخاب وقایع سیلابی

به منظور استخراج اطلاعات بارش و دبی هم‌زمان سیلاب، از آمارهای بارش و دبی سیلابی موجود در ایستگاه هواشناسی ماهیدشت و ایستگاه هیدرومتری خرس آباد استفاده‌شد. تعداد ۱۲ واقعه بارش–رواناب که با توجه به آمار دمای منطقه، ذوب برف نقشی در ایجاد آنها نداشت، انتخاب شدند. آب پایه به روش خط افقی از هیدروگراف حذف شد و هیدروگراف رواناب مستقیم به‌دست آمد (Alizadeh, 2011). هایتوگراف باران‌ها از سازمان آب منطقه‌ای کرمانشاه اخذ شد. سپس مقادیر باران به صورت یک ساعته استخراج گردید. به منظور تعیین ارتفاع بارش مازاد از شاخص فی استفاده شد که از طریق تجزیه باران‌نگار و هایتوگراف رگبار مربوطه محاسبه شد (Mahdavi, 2001). اطلاعات مربوط به واقعه بارش–رواناب مورد نظر در جدول (۱) ارائه گردید.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۱- مشخصات بارش وقایع انتخابی در حوضه مرگ استان کرمانشاه

Table 1- Precipitation characteristics of selected events in Kermanshah Mereg Catchment

ردیف	تاریخ وقوع سیلاب	ارتفاع بارش موثر (میلی متر)	مدت زمان بارش موثر (ساعت)	شدت بارش موثر (میلی متر بر ساعت)	بارش (میلی متر)	شاخص فی ϕ
۱	٦٣/١١/١٣	١/٢٦٦	٢	٠/٦٣٣	١٩/٦	٠/٤٠٧
٢	٦٤/٩/٢٨	١/٠٨٩	٤	٠/٢٧٢	٣٤/٢	٠/١٨٥
٣	٦٥/٨/١٣	٠/٤٧٥	١	٠/٤٧٥	٢١/٦	٠/٢٣٣
٤	٦٦/١/٥	١/١١	٣	٠/٣٧	٢٠/٩	٠/٢٣
٥	٦٩/١٢/٧	٠/٤٨٦	٣	٠/١٦٢	٥٠/٦	٠/٢١٩
٦	٧١/١/٩	٢/٣٥٩	٤	٠/٥٩٠	٢٣/٢١	٠/٢
٧	٧٢/١١/١٢	٠/٢٧٩	١	٠/٢٧٩	٣١/٦	٠/٣٨٨
٨	٧٧/٢/٢٣	٠/٣٢٨	٢	٠/١٦٤	٢٥/٦	٠/٤٨٥
٩	٧٩/١/٥	٠/٨٥٨٦	١	٠/٨٥٨٦	٥٠/٧	٠/٧٦٦
١٠	٨٠/١/٥	٠/٥٩٧٥	١	٠/٥٩٧٥	٢٠	٠/٣٨٩
١١	٨٤/١١/٦	٠/٦٩٨٧	٣	٠/٢٣٢٩	٢٥/٦	٠/٣
١٢	٨٤/١١/١٢	٢/١٣٥٥	٣	٢/١٣٥٥	١٩/٠٨	٠/٢٣

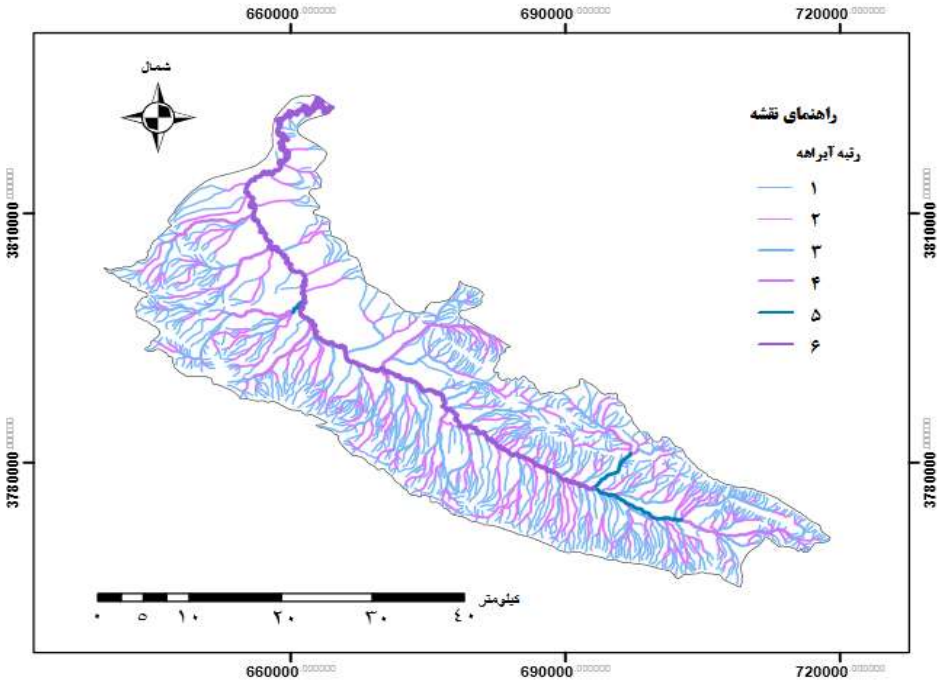
در ادامه نقشه‌های توپوگرافی حوضه مرگ از سازمان جغرافیایی کشور با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شد و با استفاده از نرم‌افزار ArcGis10، نقشه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) حوضه تهیه شد و سپس مقادیر کمی پارامترهای فیزیکی حوضه مرگ و پارامترهای مورد نیاز فرمول‌های محاسباتی برآورد گردید (جدول ۲). در این راستا رتبه بندی آبراهه‌ها به روش استراهلر انجام شد (شکل ۲).

جدول ۲- مقادیر کمی پارامترهای فیزیکی حوضه مرگ

Table 2- Quantity values of physical parameters of the Mereg Catchment

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
مساحت حوضه (km^2)	١٤٣٧/٨٢	نسبت دایره ای	٠/٢٧٥	ضریب انشعاب	٣/٨٣
محیط حوضه (km)	٢٦٢/١٤	طول مستطیل معادل کیلومتر	١٢٤/٤٣	طول رودخانه با بیش‌ترین رتبه (کیلومتر)	٦٢/٩
ضریب فرم حوضه	٠/٢٤	عرض مستطیل معادل (km)	٦	نوع انشعاب آبراهه‌ها	درختی
ضریب فشردگی حوضه	١/٩٤	تراکم زهکشی	١/٥٩٤	زمان تمرکز (ساعت)	١٨/٧٤

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ۲: نقشه رتبه آبراهه به روش استراهلر در حوضه مرگ

Figure 2: Map of the waterway rank by the Stahller method in the Mereg Catchment

جدول ۳- مشخصات آبراهه‌ها در حوضه مرگ

Table 3- Characteristics of waterways in the Mereg Catchment

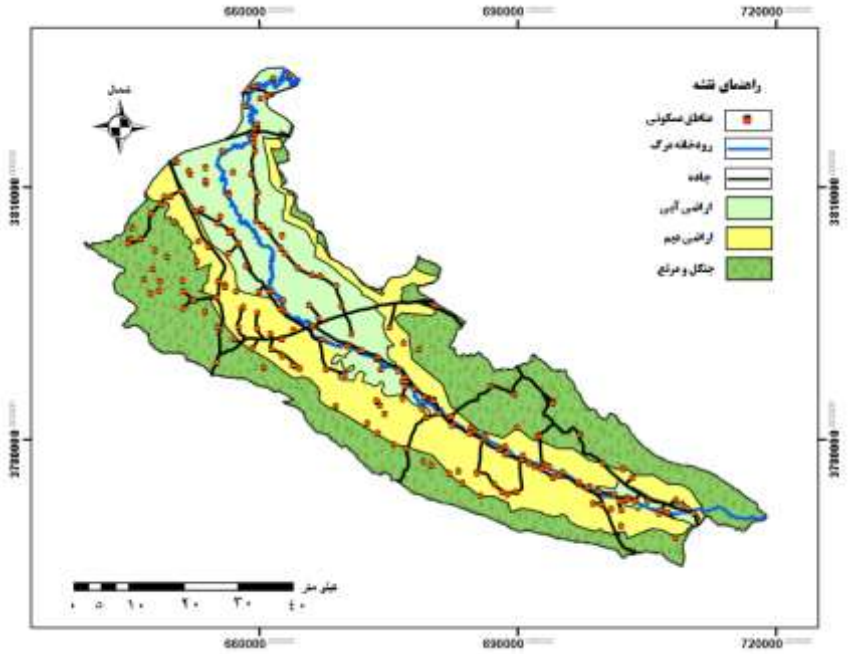
درجه	تعداد آبراهه	طول آبراهه (km)	متوسط طول آبراهه (km)	مساحت بالادست (km^2)	متوسط مساحت بالادست (km^2)	نسبت انشعاب	نسبت طول	نسبت مساحت
۱	۸۳۰	۱۲۹۳/۳۲	۱/۵۷	۷۳٤/۰۵	۰/۸۸۹	–	–	–
۲	۲۲٤	۵۳۷/۰٦	۲/۳۹	۸۲٤/۸۲	۳/۸۷	۳/٦۷	۲/٤۱	٤/۳٦
۳	۵۹	۲۳۸/۹۷	٤/۲۷	۸۲۸/۰۱	۱٤/۷۹	٤/۰۲	۲/۲۵	۳/۸۲
٤	۱٦	۷۹/۹٦	۵/۳۳	۱۱۹۷/۷۲	٤۹/۹۹	۳/۷۳	۲/۹۹	۳/۳۸
۵	۳	۸۰/۳۱	۲۰/۱	۱۰۷۰/٦۱	۲٦۷/٦۵	۳/۷۵	۱	۵/۳۵
٦	۱	٦۲/۹	٦۲/۹	۱٤۳۷/۸۲	۱٤۳۷/۸۲	٤	۱/۲۸	۵/۳۷
میانگین	---	---	---	---	---	۳/۸۳	۱/۹۸	٤/٤۵۷

– هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی (Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph)

اولین بار توسط Rodriguez-Iturbe & Valdes (1979) تئوری هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی ارائه شد و باعث ایجاد تحقیقات جدید در هیدروژئومورفولوژی گردید. Gupta et al (1980) دوباره این ایده را پیگیری نمودند. دبی و زمان اوج هیدروگراف واحد لحظه‌ای به عنوان شاخص‌های شناسایی، در تعیین تشابه هیدرولوژیکی، معیارهای

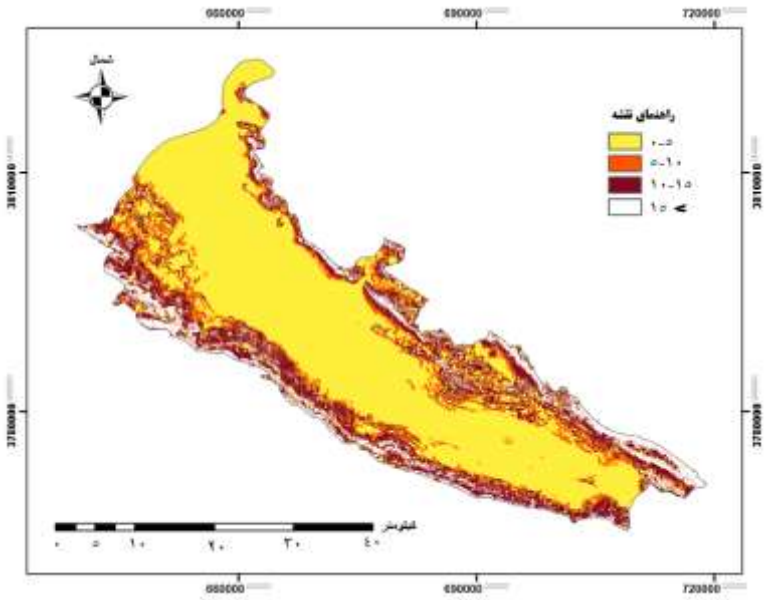
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

سودمندی هستند که با توجه به واکنش هیدرولوژیکی حوضه نسبت به ساختار ژئومورفولوژی و پارامتر دینامیکی سرعت جریان می‌توان آن‌ها را محاسبه کرد. (اشکال ۳ و ٤) یعنی نقشه کاربری اراضی و نقشه شیب منطقه مطالعاتی و روابط (۱) تا (۵) برای برآورد دبی و زمان اوج هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی ارائه شده است.



شکل ۳: نقشه کاربری اراضی منطقه مطالعاتی برای محاسباتCN

Figure 3: Land use map of study area for CN calculations



شکل ٤: نقشه شیب منطقه مطالعاتی

Figure 4: Slope map of the study area

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

$$q_p = \frac{1.31}{L_\Omega} R_L^{0.43} V$$ رابطه (۱)

$$t_p = \frac{0.44 L_\Omega}{V} \left(\frac{R_B}{R_A}\right)^{0.55} R_L^{-0.38}$$ رابطه (۲)

$$q_p * t_p = 2$$ رابطه (۳)

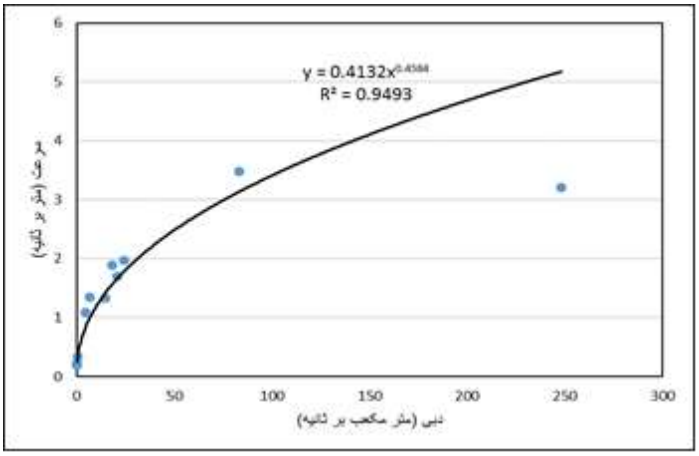
$$Q_p = \frac{q_P}{3600} * \frac{ir}{100} * A$$ رابطه (٤)

$$T_p = t_p + 0.75 t_p$$ رابطه (۵)

در روابط فوق q_p دبی اوج هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی (مترمکعب بر ساعت)، t_p زمان اوج (ساعت)، L_Ω طول رودخانه با بیش‌ترین رتبه در حوضه (کیلومتر)، V سرعت اوج جریان (متر بر ثانیه) و R_B، R_A، R_L به‌ترتیب نسبت انشعاب، نسبت مساحت و نسبت طول می‌باشند. حاصل ضرب $q_P \times t_b = ۲$ مستقل از سرعت جریان و L_Ω می‌باشد، i_r شدت بارش (سانتی‌متر بر ساعت)، t_r مدت زمان بارش موثر (ساعت) با توجه به حضور سرعت جریان به عنوان عامل موثر در روابط t_P و q_P هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی برای هر رگبار، متفاوت و حتی در خلال یک رگبار معین به عنوان تابعی از سرعت جریان در فواصل زمانی تغییر می‌نماید. در این پژوهش از رابطه دبی–سرعت برای برآورد سرعت اوج جریان در وقایع انتخابی و از معادله‌های توانی دبی–سرعت موجود در آرشیو سازمان آب منطقه‌ای استان کرمانشاه استفاده شد. رابطه ٦ و شکل (۵) معادله توانی بین دبی و سرعت جریان در محل ایستگاه هیدرومتری حوضه مرگ را نشان می‌دهد. به منظور برآورد روش‌های هیدروگراف واحد SCS، هیدروگراف واحد مثلثی و هیدروگراف واحد مصنوعی اشنایدر از منابعی همچون (Mahdavi, 2001) و (Alizadeh, 2011) استفاده شد.

$$Y = 0.4132X^{0.4584}$$ رابطه (٦)

$$R^2 = 0.9493$$



شکل ۵: رابطه توانی بین سرعت و دبی در ایستگاه خرس آباد

Figure 5: Power relationship between velocity and discharge at Khersabad station

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

همچنین در ترسیم کامل هیدروگراف‌ها از معادله (۷) استفاده شده است.

رابطه (۷)
$$\alpha = 3.29(RB/RA)^{0.78}RL^{0.07}$$
$$Q = Q_p[(t/tp)\exp(1 - t/tp)]^{\alpha-1}$$

RB، RA، RL، نسبت انشعاب، نسبت مساحت و نسبت طول می‌باشند، t زمان و tp زمان اوج می‌باشد.

روش آماری تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه آماری داده‌ها به منظور تعیین شاخص‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار اکسل انجام شد. برای تعیین مناسب‌ترین مدل، شاخص‌های آماری میانگین خطای نسبی (MRE)، شاخص مجذور میانگین توان دوم خطا (RMSE)، ضریب بایاس (MBE) که میانگین خطای اریبی را نشان می‌دهد و نیز کم برآوردی و بیش برآوردی مقادیر برآورد شده مدل‌ها را نیز تخمین می‌زند و ضریب ناش–ساتکلیف (NSE) جهت کارایی مدل‌های مورد بررسی استفاده شدند (Golkarian et al., 2014).

رابطه (۸)
$$MRE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{X_o - X_e}{X_o}\right| * 100$$

Xe: مقدار مشاهده شده پارامتر، Xe : مقدار محاسبه شده پارامتر، n: تعداد برآورد می باشد.

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_{oi} - X_{ci})^2$$

رابطه (۹)
$$RMSE = \sqrt{MSE}$$

X_{oi} : مقدار مشاهده شده پارامتر در نقطه i، X_{ci} : مقدار محاسبه شده پارامتر در نقطه i می‌باشد.

رابطه (۱۰)
$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_p - Q_O)}{n}$$

رابطه (۱۱)
$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{m}[Q_{t,o} - Q_{t,s}]^2}{\sum_{t=1}^{m}[Q_{t,o} - \overline{Q}_o]^2}$$

$Q_{t,o}$: مقدار دبی مشاهده شده در زمان t، $Q_{t,s}$: مقدار دبی محاسبه شده در زمان t، Q_o: مقدار دبی متوسط مشاهده‌ای، m: تعداد گام‌های زمانی هیدروگراف خروجی مورد نظر، E: مقدار خطای محاسبه‌ای که هرچه به یک نزدیک‌تر باشد نشان دهنده کارایی بهتر مدل است (Golkarian et al., 2014).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

یافته‌ها و بحث

مقادیر دبی اوج، زمان اوج، زمان پایه و حجم سیلاب در مقادیر مشاهده‌ای بر اساس اطلاعات هیدروگراف سیل موجود در بانک اطلاعاتی برای هرکدام از وقایع انتخابی به‌دست آمد. سپس به منظور مقایسه پارامترهای هیدروگراف سیل در مدل‌های مختلف با هیدروگراف مشاهداتی محاسبات هر کدام از پارامترهای مذکور با استفاده از مدل‌های هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک، SCS، مثلثی و اشنایدر برای هرکدام از وقایع انتخابی محاسبه شد (جدول ٤). در ادامه به منظور ترسیم و مقایسه هیدروگراف‌های مشاهداتی با هیدروگراف‌های محاسباتی در تحقیق مورد نظر هیدروگراف مشاهداتی مربوط به هر کدام از رویدادها در محیط نرم افزار اکسل ترسیم گردید و بر روی همان محور هیدروگراف‌های محاسباتی نیز ترسیم‌گردید و از طریق بررسی شکل کلی هیدروگراف‌های محاسباتی نسبت به مشاهداتی نسبت به هم مقایسه انجام شد (شکل ٦).

جدول ٤- مقایسه پارامترهای هیدروگراف سیل در مدل‌های مختلف با هیدروگراف مشاهداتی در وقایع انتخابی

Table 4- Comparison of flood hydrograph parameters in different models with observational hydrograph in selected events

مدل	تاریخ سیلاب	٦٣/١١/١٣	٦٤/٩/٢٨	٦٥/٨/١٣	٦٦/١/٥	٦٩/١٢/٧	٧١/١/٩	٧٢/١١/١٢	٧٧/٢/٢٣	٧٩/١/٥	٨٠/١/٥	٨٤/١١/٦	٨٤/١١/١٢
مشاهده ای	دبی اوج (m3/s)	١٢/٧٩	٨/٩٤	٩/٩٩	١٤/١٩	٨/٨٢	٤٠/٤	٧/٣٩	٥/٤٥	٢٨/٨٤	٢٢/٦٢	١٠/٣٧	٣٦/٢
	زمان اوج (hr)	١٩	٢٩	٢١	١٧	٢١	٣١	١٤	٢١	١٧	١٤	١٢	٣٣
	زمان پایه (hr)	٩١	١٠٣	٦٥	٩٧	٧٥	٨٢	٤١	٦١	٦٠	٦٠	٨٨	٩٨
	حجم سیلاب (mcm)	١/٨٥١	١/٥٩١	٠/٦٨٨	١/٦٢١	٠/٧١	٣/٤٤٩	٠/٤٠٧٨	٠/٤٧٨	١/٢٥٥	٠/٨٧٣	١/٠٢١٩	٣/١٢٣
هیدروگراف GIUH	دبی اوج (m3/s)	١٧/٥١	١٣/٧	٦/٢٩	١٦/٣١	٦/٠٨	٥٩/٢٧	٣/٢٢	٣/٢٩	١٨/٤٨	١١/٥١	٩/٤١	٥٠/١٧
	زمان اوج (hr)	١٧/٣	٢٠/٤	١٧/٣	١٧/٢	١٩/٨	١١/٧	١٩/٧٥	٢٣/٣٥	١٠/٩	١٢/١٣	١٨/٥٢	١١/٤٢
	زمان پایه (hr)	٥٨	٦٣	٦٠	٥٤	٦٤	٣٢	٦٩	٨٠	٣٧	٤١	٥٩	٣٣
	حجم سیلاب (mcm)	١/٩٨٤	١/٨٢٤	٠/٧٠٤	١/٨٢٦	٠/٧٨٤	٤/٥٣٩	٠/٤١٥	٠/٥٠٠٢	١/٣٢٢٠	٠/٩١٢	١/١٣٨	٣/٧٤٥
هیدروگراف SCS	دبی اوج (m3/s)	٣٠/٨	٢٤/٥	١٢/٠٥	٢٥/٩٦	١١/٣٦	٥٣/٠٩	٧/٠٨	٧/٩٨	٢١/٧٨١	١٥/١٦	١٦/٣٤	٤٩/١١

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

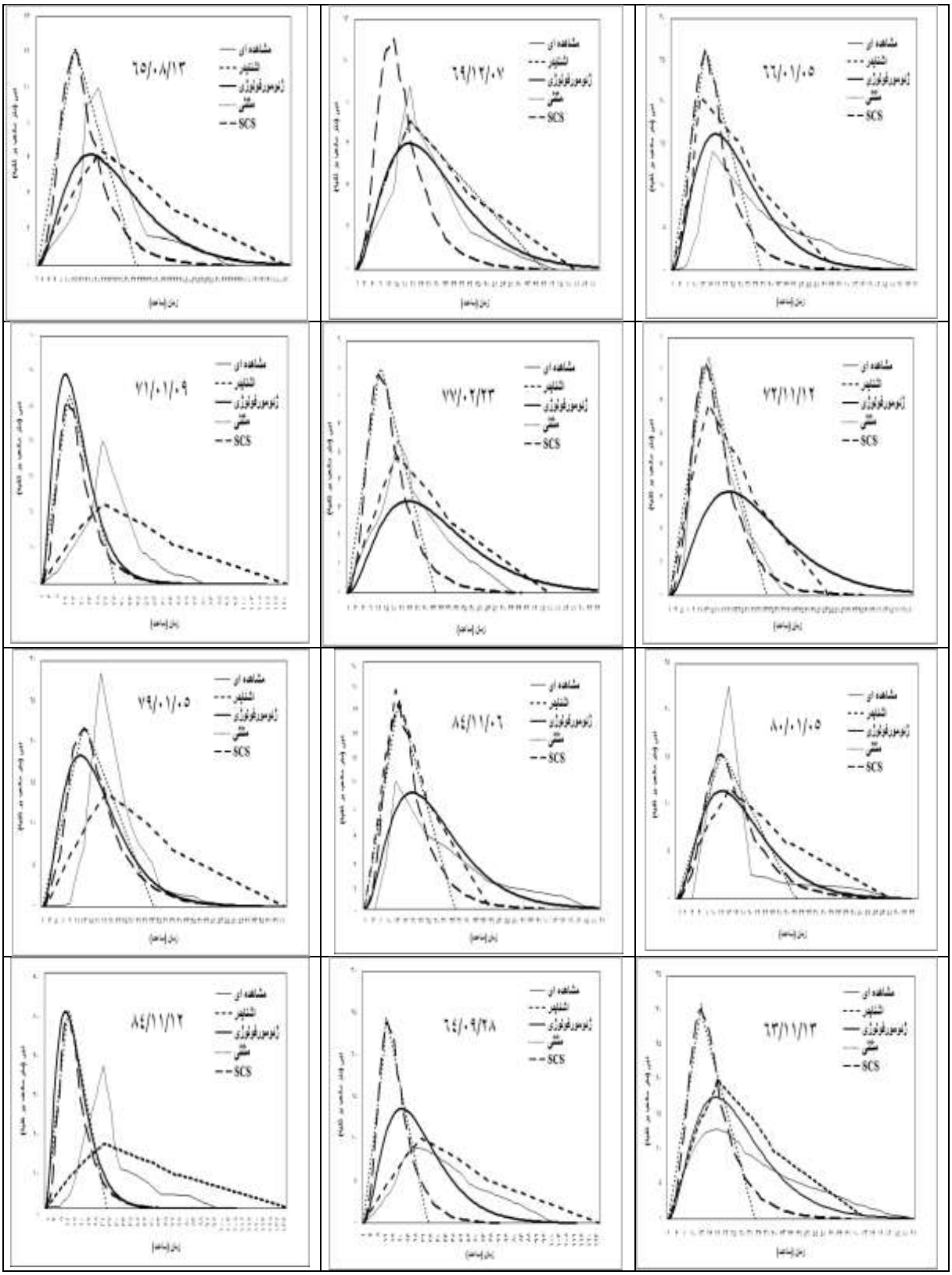
ادامه جدول ٤- مقایسه پارامترهای هیدروگراف سیل در مدل‌های مختلف با هیدروگراف مشاهداتی در وقایع انتخابی

Continue Table 4- Comparison of flood hydrograph parameters in different models with observational hydrograph in selected events

	زمان اوج (hr)	۱۲/۲۹	۱۳/۲۹	۱۱/۷۹	۱۲/۷۹	۱۲/۷۹	۱۳/۲۹	۱۱/۷۹	۱۲/۲۹	۱۱/۷۹	۱۱/۷۹	۱۲/۷۸۹	۱۲/۷۸۹
	زمان پایه (hr)	٦٧/٥٩	٧٣/٠٩	٦٤/٨٤	٧٠/٣٤	٧٠/٣٤	٧٣/٠٩	٦٤/٨٤	٦٧/٥٩	٦٤/٨	٦٤/٨	٧٠/٣٤	٧٠/٣٤
	حجم سیلاب (mcm)	١/٨٠٥	١/٥٦٧	٠/٦٧٥	١/٦٠٦	٠/٦٩٨	٣/٤١١	٠/٤٠٥	٠/٤٧٦	١/٢٥٣	٠/٨٧١	١/٠١٣	٣/٠٦٤.
هیدروگراف مثلثی	دبی اوج (m3/s)	٣٠/٩٧	٢٤/٦٣	١٢/١١٣	٢٦/٠٩	١١/٤٢	٥٣/٣٥	٧/١٢	٨/٠٢	٢١/٨٩٧	١/٢٣٨	١٦/٤٢١	٥٠/١٩
	زمان اوج (hr)	١٢/٢٤	١٣/٢٤	١١/٧٥	١٢/٧٥	١٢/٧٥	١٣/٢٤	١١/٧٤	١٢/٢٤	١١/٧٤٤	١١/٧٤٤	١٢/٧٤٤	١٢/٧٤٤
	زمان پایه (hr)	٣٢/٦٩	٣٥/٣٦	٣١/٣٦	٣٤/٠٣	٣٤/٠٣	٣٥/٣٦	٣١/٣٦	٣٢/٦٩	٣١/٣٦	٣١/٣٦	٣٤/٠٣	٣٤/٠٣
	حجم سیلاب (m3)	١/٧١٦	١/٤٨٨	٠/٧٢٧	١/٦٩١	٠/٩٠١٣	٣/٥٨٦	٠/٤٢٧	٠/٥٠٠٨	١/٣١٤	٠/٩١٤	١/٠٦٤	٣/٢٥٢
هیدروگراف اشنایدر	دبی اوج (m3/s)	٢٠/٠٢	١٠/١٥	٦/٤٤	٢٠/٢٨	٧/١٤	٢٢/٧٩	٥/٩٥	٤/٨٩	١٣/٨٠	١١/٧٧	١٧/٧٢	١٧/٣٠
	زمان اوج (hr)	١٨/٢٧	٣١/٣٢	٢٠/٦٤	١٦/٠٩	٢٠/٠٩	٣٠/٢٧	١٣/٣٢	١٩/٣٢	١٧/٥	١٤/٣٦	١٢/٢٧	٣٥/٢٢
	زمان پایه (hr)	٧٣/٠٩	١٢٥/٢٧	٨٢/٥٥	٦٤/٣٦	٨٠/٣٦	١٢١/٠٩	٥٣/٢٧	٧٧/٢٧	٧٠	٥٧/٤٥	٤٩/٠٩	١٤١
	حجم سیلاب (mcm)	٢/٤٢٥	٢/١٤٤	٠/٩٠٠٨	٢/٢٢٥	٠/٩٤٩	٤/٦٣٧	٠/٥٢٩	٠/٦٣١	١/٦٢٧	١/١١٤	١/٣٦٥	٠

همان‌طور که از نتایج شبیه‌سازی هیدروگراف‌های با روش‌های مختلف در شکل (٦) مشهود است هیدروگراف ژئومورفولوژی و در مراحل بعدی هیدروگراف‌های اشنایدر و SCS نتایج بهتری از لحاظ شکل ظاهری هیدروگراف، دبی پیک و حجم سیلاب و زمان رسیدن به پیک ارایه داده‌اند. برای بررسی دقیق تر هیدروگراف‌ها و نتایج حاصل از بررسی کارایی مدل‌های مورد بررسی مقادیر محاسبه‌ای با مقادیر هیدروگراف‌های مشاهداتی با استفاده از شاخص‌های آماری میانگین خطای نسبی (MRE)، مجذور میانگین توان دوم خطا (RMSE)، ضریب بایاس (MBE) و ضریب ناش-ساتکلیف در (جدول ۵) مشخص گردید که مقادیر خطا را برای پارامترهای دبی اوج، زمان رسیدن به اوج و حجم سیلاب نشان می‌دهد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ٦: مقایسه هیدروگراف‌های محاسبه ای و مشاهده‌ای سیلاب

Figure 6: Comparison of computational and observational flood hydrographs

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۵- درصد خطا در روش‌های مختلف برآورد پارامترهای سیلاب‌های انتخابی

Table 5-Percentage of error in different methods for estimation of selected flood parameters

روش / مشخصه	ژئومورفولوژی	SCS	مثلثی	اشنایدر
دبی اوج MRE	۳۷/۲۵	۵۶/۳۹	۵۷/۱۱	۳۸/۷۷
زمان اوج MRE	۳۰/۰۸	۳۳/۲۶	۳۳/۴۴	۲/۹۰
حجم سیلاب MRE	۱۰/۳۹	۱/۲۷	۵۷/۱۱	۳۸/۷۷
RMSE	۵/۴۵	۶/۳۳	۶/۶۶	۳/۳۷
دبی اوج MBE	۰/۷۷۸	۵/۷۸۷	۵/۹۷۲	-۳/۹۱۹
زمان اوج MBE	-۳/۵۱۴	-۷/۷۱۱	-۷/۷۵۶	۰/۵۵۷
حجم سیلابMBE	۲۱۸۰۰۴	-۱۹۴۰۹	۴۲۰۷۹	۲۴۲۲۸۹
NSE	۰/۹۸۶۵	۰/۹۷۷۶	۰/۹۷۵۷	۰/۹۹۳۵

به منظور رتبه‌بندی روش‌های مورد تحقیق می‌توان با امتیاز دادن به هر یک از روش‌ها جدولی، مطابق جدول (۶) تشکیل داد:

جدول ۶- تخصیص امتیاز به روش‌های مورد تحقیق در برآورد خطای نسبی به پارامترهای هیدروگراف خروجی

Table 6- Assignment of points to the methods in estimate relative error to output hydrograph parameters

پارامتر / روش	ژئومورفولوژی	SCS	مثلثی	اشنایدر
امتیاز دقت دربرآورد دبی اوج سیلاب	۴	۲	۱	۳
امتیاز دقت دربرآورد زمان اوج	۳	۲	۱	۴
امتیاز دقت در برآورد مقدار حجم سیلاب	۲	۴	۳	۱
جمع امتیاز	۹	۸	۵	۸

براساس محاسبه معیارهای خطا در جدول (۵) و امتیازدهی به هر یک از مشخصات مهم سیلاب شامل دبی اوج، زمان اوج، و حجم سیلاب مطابق جدول (۶)، در مجموع روش ژئومورفولوژی با ۹ امتیاز برترین روش می‌باشد. روش‌های اشنایدر و SCS با ۸ امتیاز در رتبه دوم و روش مثلثی با ۵ امتیاز در آخر قرار گرفته اند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش معیارهای خطا برای مقایسه روش‌های مختلف با روش GIUH بررسی شد. نتایج نشان داد میانگین خطای نسبی (MRE) در برآورد کلی مشخصات مهم سیلاب شامل دبی اوج، زمان اوج و حجم سیلاب، در روش ژئومورفولوژی بهتر از سایر روش‌ها است. روش‌های اشنایدر و SCS در رتبه دوم و روش مثلثی در رتبه آخر می‌باشد. برتری روش ژئومورفولوژی در محاسبه دبی اوج با نتایج تحقیق‌های انجام شده توسط Mahmoudi et al (2007)،

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

Khalilizadeh & Moghali (2013)، Khaleghi et al (2011)، Golkaryan et al (2014)، Fatahian et al (2013)، Swain et al (2015)، Yao et al (2014)، Khaleghi et al (2014)، Mohammadi et al (2012) مطابقت دارد. از شاخص مجذور میانگین توان دوم خطا (RMSE) برای مقایسه شکل کامل هیدروگراف محاسبه شده با شکل هیدروگراف مشاهده‌ای و پراکندگی نقاط محاسبه شده هیدروگراف حول نقاط هیدروگراف مشاهده شده استفاده شد که در این بررسی به‌ترتیب روش‌های اشنایدر، ژئومورفولوژی، SCS و مثلثی قرار می‌گیرند. نتایج حاصل از بررسی این پارامتر مبنی بر برتری روش اشنایدر در مقایسه شکل کامل هیدروگراف بر روش ژئومورفولوژی با نتایج اکثر محققان همخوانی ندارد. دلایل این امر را می‌توان به وسعت و کشیدگی حوضه و تاثیر آن بر هیدروگراف‌های مشاهداتی دانست که شکل کلی هیدروگراف‌های مشاهداتی با هیدروگراف‌های محاسباتی اشنایدر مطابقت بیش‌تری دارد. برتری روش ژئومورفولوژی بر روش‌های SCS و مثلثی با نتایج حاصل از تحقیق Khaleghi et al (2011)، Golkaryan et al (2014)، Moghali & Khalilizadeh (2012)، Mohammadi et al (2012)، Khaleghi et al (2014) مطابقت دارد. در بررسی ضریب بایاس(MBE) در برآورد مشخصات مهم سیلاب شامل دبی اوج، زمان اوج و حجم سیلاب، در مجموع روش ژئومورفولوژی برترین روش می‌باشد. روش‌های اشنایدر و SCS در رتبه دوم قرار دارند و روش مثلثی در رتبه سوم می‌باشد. بررسی پارامتر دبی اوج با وجود برتری روش ژئومورفولوژی بر روش‌های اشنایدر، SCS و مثلثی، بیش برآوردی روش ژئومورفولوژی، SCS و مثلثی و کم برآوردی روش اشنایدر در محاسبه دبی اوج را نشان می‌دهد. این نتیجه با مطالعات Shirzadi et al (2011) در خصوص کم برآوردی روش اشنایدر همخوانی دارد. در بررسی پارامتر زمان اوج، بیش برآوردی روش اشنایدر و کم برآوردی روش‌های ژئومورفولوژی، SCS و مثلثی را نشان می‌دهد که این نتیجه با بررسی Fatahian et al (2013) و Golkaryan et al (2014) همخوانی دارد. در بررسی ضریب ناش–ساتکلیف (NSE) برای داده‌های مورد بررسی برای مقایسه شکل کامل هیدروگراف محاسبه شده با شکل هیدروگراف مشاهده‌ای روش‌های مورد تحقیق به‌ترتیب میزان دقت عبارتند از: اشنایدر، ئومورفولوژی، SCS و مثلثی. کارایی روش اشنایدر با استفاده از ضریب ناش–ساتکلیف منطبق بر نتایج بررسی Shirzadi et al (2011) می‌باشد.

نتایج حاصل از بررسی شاخص‌های آماری نشان می‌دهد در حوضه مرگ که با مساحت حدود ۱٤۳۷/۸۲ کیلومتر مربع جزء حوضه‌های بزرگ طبقه‌بندی می‌شود، روش ژئومورفولوژی روشی قابل قبول و کارا در محاسبه پارامترهای هیدروگراف مخصوصا دبی اوج می‌باشد. تنوع اشکال هیدروگراف و تطابق با هیدروگراف مشاهده‌ای از جمله مزایای روش ژئومورفولوژی می‌باشد، که آن را می‌توان به در نظر گرفتن روابط بین پارامترهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی به جای روابط تجربی و ثابت دانست. محاسبه ضریب بایاس نشان می‌دهد در روش ژئومورفولوژی علیرغم شبیه‌سازی مناسب دبی اوج دارای اندکی بیش برآوردی در محاسبه این پارامتر می‌باشد و زمان اوج را بهتر از روش‌های SCS و مثلثی محاسبه نموده است. بررسی پارامتر حجم سیلاب در روش‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که روش SCS کارایی مناسبی در محاسبه حجم سیلاب دارد و بهتر از روش‌های مثلثی، ژئومورفولوژی و اشنایدر می‌باشد. روش مثلثی، کم‌ترین کارایی را نسبت به روش‌های مورد برررسی در پارامترهای دبی اوج و زمان اوج دارد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

References

- Alizadeh, A., (2006), "***Principles of applied hydrology***", Emam Reza University Publications, Mashhad. [In Persian].
- Bhadra, A., Panigrahy, N., Singh, R., Raghuwanshi, N. S., Mal, B. C., Tripathi, M. P., (2008), "Development of a geomorphological instantineous unit hydrograph model for scantily gauged watersheds", ***Environmental Modelling & Software***, 23: 1013-1025.
- Dabbaghian Amiry, M., Mohammadi, A., (2012), "Regional model for peak discharge estimation in ungauged drainage basin using GIUH, Snyder, SCS and triangular models", ***Journal of water Resources and Environmental Engineering***, 4 (18): 86-96.
- Dehghani,N., Jamali, A., Nafoti, M., (2014), "The Effect of Watershed Management Measures on Flood Mitigation Using Mathematical Model HEC-HMS (Case Study: Tezerjan Watershed, Yazd)", ***Journal of Geographical Space***, 47 (4): 182-163.
- Erfanian, M., Telvari, A., (2004), "An investigation efficiency of geomorphologic and geomorphoclimatic instantaneous unit hydrograph", ***Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources***, 15 (57): 231-240. [In Persian].
- Fatahi, A. R., Nafchi, R., Samadi Brogeni, H., Abdolahi, KH., (2009), "Efficiency SCS hydrograph and geomorphologic instantaneous unit hydrograph in Gonghan watershed", ***Iranian Water Research Journal***, 70: 205-208. [In Persian].
- Ghahraman, B., Lotfi, M., (2010), "***The applicability of unit hydrograph models in estimating flood hydrograph***", Mashhad Northern Khorasan Regional Water Company Deputy of Research and Technical Affairs (Applied Research Plan). [In Persian].
- Ghiasi, N., Roghani, M., (2006), "Efficiency of geomorphologic instantaneous unit hydrograph and compar with Snyder, SCS and Triangular synthetic unit hydrograph in Kasilian watershed", ***Pajouhesh & Sazandegi***, 70: 23-32. [In Persian].
- Golkaryan, A., Davodi Moghadam, D., (2014), "Investigation of geomorphological model in parameters instantaneous unit hydrograph and compar with snyder, SCS and triangular synthetic unit hydrograph in Gong Kardh watershed", ***Journal of Water and Soil***, 28 (2): 440-450. [In Persian].
- Himanshu, S., Fisca, K., Garg, N., Rautela, S., Anuja, K.M., Tiwari, M., (2013), "Remote sensing and GIS applications in determination of geomorphological parameters and design flood for a himalyan river basin, India Himanshu", ***International Research Journal of Earth Sciences***, 1 (3): 11-15.
- Karami, F., Esmaeilpor, M., (2014), "Determination of runoff by geomorphological instantaneous unit hydrograph (GIUH) model", ***Hydrogeomorphology***, 1: 145-157. [In Persian].
- Khaleghi, M. R., Ghodusi, J., Ahmadi, H., (2010), "Evaluation of geomorphologic instantaneous unit hydrograph method in flood hydrograph simulation", ***Journal of Environmental Hydrology***, 18 (15): 1-13.
- Khaleghi, M. R., Ghodusi, J., Ahmadi, H., (2014), "Regional analysis using the geomorphologic instantaneous unit hydrograph (GIUH) method", ***Soil & Water Res***, 9 (1): 25-30.
- Khaleghi, M. R., Ghodusi, J., Ahmadi., H., (2011), "Efficiency of the geomorphologic instantaneous unit hydrograph method in determination peak flood", ***Journal of Sciences and Technology of Natural Resources***, 87: 163-171. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- Khaleghi, M. R., Gholami, V., Ghodusi, J., Hosseini, H., (2011), "Efficiency of the geomorphologic instantaneous unit hydrograph method in flood hydrograph simulation", ***Catena***, 87 (163): 171-185.
- Mahdavi, M., (2005), "***Applied hydrology***", Volume 2, Tehran: University of Tehran, Pub. [In Persian].
- Mahmoudi, F., Yamani, M., Bahrami, SH., (2007), "Case study evaluation of geomorphologic instantaneous unit in Kangir Catchment Eivan Gharb", ***Geography Resources***, 60: 1-14. [In Persian].
- Maleki, A., Hesadi, H., Naderian, P., (2009), "Site selection of artificial rechange of marg watershed aquifer", ***Geografical Reserch***, 24: 53-78. [In Persian].
- Mashari Eshgh Abad, S., Nohegar, A., Omidvar, E., (2012), "Runoff simulation using geomorphological instantaneous unit hydrograph (GIUH), (case study: Bar basin-Khorasan Razavi)", ***Journal of Natural Erossion Resources***, 6: 115-126. [In Persian].
- Mohammadi, A. A., Ahmadi, H., Taghvaye Salimi, E., Khalighi, S., Sallajegheh, A., (2012), "Regional model presentation for peak discharge estimation in ungauged drainage basin using geomorphologic, Synyder, SCS and Triangular models (case study: Kan drainage basin)", ***Caspian J. Env. Sci***, 10 (1): 91-102.
- Moghali, M., Khalilizadeh, M., (2012), "Effects of geomorphologic characteristics on the hydrological response of Varband river basin, South of Iran", ***Life Science Journal***, 9 (4): 4131-4139.
- Nori, H., Eldermi, A., (2013), "The Efficiency of Geomorphology and Geomorpho-climatology Instantaneous Unit Hydrograph Models in Estimating Flood Discharges in Ekbatan of Hamedan Watershed" ***Journal of Geographical Space***. 42 (13): 209-227.
- Rodriguez-Iturbe, I., Valdes, J., (1979), "The geomorphologic structure of hydrologic response", ***Water Resources Management***, 15 (6): 1409-1420.
- Shirzadi, A. A., Chapy, K., Fathi, P., (2011), "Evaluation Synthetic Unit Hydrograph with flood regional analysis and geomorphologic parameters from a Marang & Kani Soran watershed", ***Journal of Sciences and Technology of Natural Resources***, 5 (2): 89-100. [In Persian].
- Swain, J. B., Jha, R., Patra, K. C., (2015), "Stream flow prediction in a typical ungauged catchment using GIUH approach", ***(ICWRCOE 2015) Aquatic Procedia***, 4: 993-1000.
- Yao, C., Zhang, K., Yu, Z., Li, Z., Li, Q., (2014), "Improving the flood pediction capability of the Xinanjiang model in ungauged nested catchments by coupling it with the geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph", ***Journal of Hydrology***, 517: 1035-1048.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]