

## Integrating GIUH and Verified Variable-Parameter SCS-CN models for Estimation of daily Runoff of Watershed (Case Study: Kashkan Watershed, Lorestan Province)

SEIYED MOSSA HOSSEINI<sup>1\*</sup>, MOJTABA YAMANI<sup>2</sup>, MANSOUR JAFFAR-BEIGLOU<sup>3</sup>, FATEMEH GERAVAND<sup>4</sup>

1. Associate Professor, Physical Geography Department, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

2. Professor, Physical Geography Department, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

3. Associated Professor, Physical Geography Department, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

4. Ph.D Student of Geomorphology, Physical Geography Department, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

(Received: Oct. 27, 2017- Revised: Jan. 24, 2018- Accepted: Apr. 11, 2018)

### ABSTRACT

Recently, the Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph (GIUH) model has been widely employed for estimation of watershed response to rainfall. This model is based on the convolution integral of the effective rainfall by the ordinates of IUH product. In this study, the effective rainfall has been estimated using morphometric characteristics of Kashkan watershed, simulation of daily rainfall-runoff by GIUH model and four modified Soil Conservation Service-Curve Number (SCS-CN) models. The effect of temporal variations of  $CN$  and initial abstraction ratio ( $\lambda$ ) have been also investigated as a function of rainfall depth ( $P$ ) in the SCS-CN models. The results of the proposed integrated models (GIUH and the modified SCS-CN models) were investigated using the percentages of errors correspond to; peak flow estimation ( $\%EQ_p$ ), arrival time to the peak flow ( $Et_p$ ) and the runoff volume ( $\%EV$ ) for three periods of drought, normal, and wet for the fixed- and varied-parameter conditions. The results showed that the variations of  $CN$  and  $\lambda$  parameters proportion to the rainfall depth in SCS-CN model are more effective than the fixed-parameters of the SCS-CN model, (with assumptions of  $\lambda = 0.2$ ,  $\%EQ_p = 3\%$ ,  $Et_p = -1$  day,  $\%EV = 5\%$ ). Additionally, the modified forms of SCS-CN models are more efficient than original form (i.e. keeping constant of  $\lambda$  equal to 0.2). The results of this study indicate the necessity of employing the modified forms of SCS-CN model and considering the temporal variations of  $CN$  and  $\lambda$  parameters for calculation of effective rainfall as an input parameter of rainfall-runoff models, especially in watersheds undergoing human impacts.

**Keywords:** Fixed- and Varied-parameter, Rainfall-Runoff Modeling, Morphometric Characteristics, GIUH Theory, SCS-CN Model

## تلفیق روش GIUH و مدل‌های اصلاح‌شده SCS-CN پارامتر متغیر در برآورد رواناب روزانه حوضه آبریز (مطالعه موردی: حوضه آبریز کشکان، استان لرستان)

سید موسی حسینی<sup>۱</sup>، مجتبی یمانی<sup>۲</sup>، منصور جعفریگلو<sup>۳</sup>، فاطمه گراوند<sup>۴</sup>

۱. دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲. استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳. دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۴. دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۸/۵ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۱۱/۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱/۲۲)

### چکیده

در سال‌های اخیر مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی (GIUH) به منظور تخمین پاسخ حوضه آبریز به بارش مازاد مقبولیت گسترده‌ای کسب کرده است. این مدل بر اساس انتگرال پیچشی حاصلضرب بارش مؤثر در مؤلفه‌های هیدروگراف واحد لحظه‌ای (IUH) استوار است. در این پژوهش با استفاده از خصوصیات مورفومتری حوضه آبریز کشکان، شبیه‌سازی بارش-رواناب در مقیاس روزانه توسط مدل تلفیقی GIUH و چهار روش شماره منحنی اصلاح‌شده (SCS-CN)، مقادیر بارش مؤثر برآورد شده است. در مدل‌های SCS-CN، تأثیر تغییرات زمانی پارامترهای شماره منحنی (CN) و نسبت تلفات اولیه ( $\lambda$ ) بصورت تابعی از عمق بارش (P) نیز بررسی شده است. نتایج حاصل از مدل تلفیقی GIUH و مدل‌های SCS-CN اصلاح‌شده در شبیه‌سازی رواناب روزانه حوضه برای سه دوره نرمال، ترسالی و خشکسالی، در دو حالت پارامتر متغیر و پارامتر ثابت، با استفاده از معیارهای درصد خطای مربوط به پیش‌بینی دبی اوج ( $EQ_p$ %)، زمان رسیدن به دبی اوج ( $Et_p$ ) و درصد خطای حجم رواناب ( $EV$ %) ارزیابی شد. نتایج نشان داد که در نظر گرفتن تغییرات پارامترهای CN و  $\lambda$  متناسب با عمق بارش در مدل SCS-CN، کارایی بالاتری نسبت به فرم اصلی مدل (با فرض  $\lambda=0.2$ ) و همچنین در مقایسه با فرض ثابت بودن پارامترها دارد (در بهترین حالت  $EQ_p = 3\%$ ,  $Et_p = -1$  day,  $EV = 5\%$ ). نتایج این تحقیق لزوم استفاده از مدل‌های اصلاح‌شده SCS-CN و همچنین در نظر گرفتن تغییرات زمانی پارامترهای روش SCS-CN ( $\lambda$  و CN) در محاسبه بارش مؤثر حوضه‌های آبریز بخصوص مواردی که دستخوش تغییرات شدید کاربری اراضی و دخالت‌های انسانی می‌باشند، به عنوان ورودی مدل‌های بارش-رواناب را نشان می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** مدل‌سازی بارش-رواناب، خصوصیات مورفومتری، تئوری GIUH، پارامتر ثابت و متغیر

### مقدمه

حوضه آبریز نسبت به ورود یک واحد بارش مازاد لحظه‌ای ارائه گردیده است. تهیه آب نمودهای سیل در کارهای مهندسی منابع آب، پیش‌بینی سیلاب، اجرای پروژه‌های عمرانی و تهیه نقشه-های حساسیت سیل ضرورت دارد. (Valdes et al. (1997 در حوضه‌های ونزولا و پورتوریکو با استفاده از مدل بارش-رواناب و آبنمودهای مشاهده‌ای، آبنمود واحد لحظه‌ای هر حوضه را استخراج و با آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک مورد مقایسه قراردادده است. نتایج این بررسی نشان داده است که تحت شرایط سرعت ثابت جریان، آبنمودهای واحد لحظه‌ای به دست آمده از دو روش مذکور در حوضه‌های مورد مطالعه مطابقت خوبی با یکدیگر دارند. (Gupta et al. (1980 در سه حوضه آبریز منطقه‌ی ایلنویز پارامترهای نسبت انشعاب، نسبت مساحت و نسبت طول را با توجه به سیستم رتبه‌بندی استراهلر، به دلیل

تخمین سیل به علت تأثیر آن بر مدیریت منابع آب، مدیریت و کنترل سیلاب و خسارات سیلاب بخش مهمی از هیدرولوژی آب‌های سطحی را تشکیل می‌دهد (Azizian and Shokouhi, 2013). ایجاد هیدروگراف واحد در یک نقطه از شبکه زهکشی به عنوان پاسخ حوضه به یک رویداد بارندگی فرایند پیچیده‌ای است که به خصوصیات بارش و مشخصات حوضه آبریز بستگی دارد. در دهه‌های گذشته مطالعات زیادی در مورد درک این فرایند در حوضه‌های مختلف انجام گرفته است. از جمله مدل‌های توسعه‌یافته در این زمینه، مدل هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی می‌باشد که توسط رودریگز-ایتورب و والدز به عنوان واکنش

آب و هوایی مختلف در ایران را شبیه سازی کردند. نتایج نشان داد که مدل IUH رواناب مستقیم را در حوضه های فاقد آمار به ویژه در شرایط دبی اوج با دقت بیشتری نسبت به سایر مدل ها برآورد می کند. (Gholami-Somaee *et al.*, 2011). به استخراج هیدروگراف واحد ژئومورفولوژیکی بر مبنای مخازن خطی آبشاری برای حوضه آبریز ليقوان در استان آذربایجان شرقی پرداختند. نتایج نشان داد که مدل ارائه شده با وجود داشتن یک پارامتر، به دلیل بکارگیری خصوصیات ژئومورفولوژی حوضه، توانایی مناسبی در شبیه سازی بارش-رواناب دارد. آنالیز حساسیت مدل بر مبنای تغییرات پارامتر انجام شد و نتایج نشان داد که با کاهش مقدار  $K$ ، میزان دبی اوج افزایش و زمان رسیدن به دبی اوج کاهش می یابد و بالعکس. (Dabbaghian Amiry *et al.*, 2012). برای مدیریت حوضه های آبریز بخش مرکزی البرز، رودخانه مهران جویستان را با استفاده از روش های شناسایی، SCS، مدل هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژی و مدل مثلثی بررسی کردند. نتایج نشان داد که مدل هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژی با میزان خطای کمتر، بهترین برازش را با داده های مشاهداتی در خروجی حوضه ارائه می کند. (Fattahi *et al.*, 2013). به ارزیابی هیدروگراف SCS و هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژی در حوضه آبریز جوققان پرداختند. نتایج نشان داد که مدل GIUH در مقایسه با مدل SCS هم در برآورد زمان تا اوج سیلاب و هم در برآورد دبی اوج سیلاب موفق تر عمل کرده است. چنین نتیجه ای در پژوهش های مشابه این مطالعه مانند مطالعات (Sadeghi and Dehghani, 2006)، (Saghafiyani *et al.*, 2011) و (Kumar *et al.*, 2007) صحت دارد. (Karami and Emailpour, 2014) به برآورد رواناب با استفاده از مدل هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژیکی در حوضه دریاچه چای (از زیر حوضه های دریاچه ارومیه) پرداختند. آنها با استفاده از خصوصیات مورفومتری و طول بلندترین آبراهه، هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژی حوضه را برای پنج رویداد بارش-رواناب استخراج کردند. نتایج نشان داد که اختلاف کمی بین زمان اوج شبیه سازی شده با استفاده از هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژی و مقادیر مشاهداتی وجود دارد. عدم توفیق مدل SCS را می توان در فرضیات محدودکننده هیدروگراف واحد دانست که یکی فرض یکنواخت بودن بارش در تمامی سطح حوضه و ثابت بودن پارامترهای شماره منحنی (CN) و تلفات اولیه در فرضیات مدل SCS است در حالی که CN دارای تغییرات زمانی و مکانی است و دیگری تئوری واکنش خطی بودن حوضه است. (Negareh *et al.*, 2011) با استفاده از داده های بارش و دبی روزانه در یک دوره

تطابق بیشتر آن با قوانین هورتونی و هم چنین پارامتر دینامیکی زمان انتظار به عنوان تابعی از طول آبراهه ها و سرعت جریان، محاسبه و آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفولوژیکی و به تبع آن آبنمود جریان خروجی حوضه های تحت مطالعه را استخراج و با آبنمودهای مشاهده ای آن ها مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که در دو حوضه ورمیلون وکازکازیا بین آبنمود مشاهده ای و محاسبه ای تطابق خوب و در حوضه ساگامون تطابق ضعیف برقرار است. (Rodriguez-Iturbe *et al.*, 1979). تئوری هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفوکلیماتیک را با قبول پایه های اصلی آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفولوژیکی ارائه کردند. در تئوری آبنمود واحد لحظه ای ژئومورفوکلیماتیک علاوه بر عوامل فیزیکی حوضه، عوامل اقلیمی نیز در هیدروگراف خروجی مؤثرند. رودریگوئز-ایتورب و همکاران تئوری هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژیکی را برای دبی های حداکثر سیلاب با دوره برگشت های مختلف، در یک حوضه در ونزوئلا مورد استفاده قرار داده و با نتایج به دست آمده از توزیع های آماری مقایسه نموده و مشاهده کردند که بین آن ها مطابقت خوبی وجود داشته است. (1995) Sorman از مدل ژئومورفوکلیماتیک برای برآورد حجم، دبی و زمان اوج هیدروگراف سیلاب خروجی در حوضه های واقع در شمال شرقی عربستان، برای سیلاب هایی با دوره برگشت ۵ تا ۱۰ سال استفاده نمود که نتایج قابل قبولی را به همراه داشت. (Jain *et al.*, 2000) با استفاده از ترکیب مدل های کلارک هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفویکی توسط سامانه اطلاعات جغرافیایی دریافتند که تغییرات دبی پیک به الگوی بارش زیاد است. (Jena and Tiwari, 2006) به بررسی سیلاب ها در دو حوضه میدنپور و بنکورا در غرب ایالت بنگال هند پرداختند و نتایج نشان داد که پارامترهای هیدروگراف واحد به خوبی با خصوصیات ژئومورفولوژیکی حوضه قابل مدل کردن می باشند و از مدل به دست آمده، می توان هیدروگراف واحد حوضه های فاقد آمار با شرایط هیدروولوژیکی مشابه را تعیین نمود. (2014) Kumar مدل های مختلف هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژی در حوضه رودخانه رامگانا در هند را با استفاده از آمار ۸ رویداد بارش-رواناب بررسی کردند. یکی از مدل های تابعی از شدت باران مؤثر و مدل دیگر بر اساس مفهوم زمان تمرکز بود. نتایج نشان داد که مدل دوم از نظر دبی اوج و زمان دبی اوج با هیدروگراف های مشاهداتی همبستگی بهتری دارد. (Hosseini *et al.*, 2016) با هدف ارائه یک روش جدید برای محاسبه بارش مازاد در حوضه های فاقد آمار به محاسبه هیدروگراف واحد لحظه ای پرداختند. آنها برای بررسی عملکرد مدل IUH، بارش-رواناب روزانه در دو حوضه جداگانه با شرایط

۲۸ ساله شدت سیل‌خیزی حوضه کشکان را بررسی و نتایج نشان داد که روند تغییرات ضریب رواناب سالانه حوضه دارای رشد ۸۴ درصدی بوده است. (Hosseini et al., 2014). به پیش-بینی سیلاب‌های تاریخی (با دوره بازگشت‌های ۲ تا ۱۰۰۰ ساله) رودخانه کشکان پرداختند. آنها با کمک مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و توسط داده‌های ثبت‌شده بارش، رواناب روزانه را شبیه‌سازی نمودند. نتایج نشان داد که این مدل کارایی بالایی در شبیه‌سازی رواناب روزانه دارد. Hosseini et al. (2015) به تعیین سطوح سیل‌گیر رودخانه کشکان در بازه‌ای به طول ۵ کیلومتر برای دوره بازگشت‌های دو تا ۱۰۰۰ ساله با استفاده از قابلیت‌های مدل HEC-RAS و الحاقیه HEC-geo-RAS در محیط Arc GIS پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که از کل مساحت سیل‌گیر مربوط به دوره بازگشت ۱۰۰۰ سال، ۷۷ درصد آن مستعد سیل‌گیری با دوره بازگشت‌های کوتاه مدت (۲۵ سال) است.

در مدل‌سازی فرآیند بارش-رواناب توسط مدل‌های هیدرولوژیکی، برآورد صحیح بارش مؤثر (مازاد) به عنوان ورودی مدل از درجه اهمیت بالایی برخوردار است. (Hosseini et al., 2016). روش شماره منحنی رواناب (SCS-CN) که توسط سازمان حفاظت منابع طبیعی آمریکا پیشنهاد شده است، کارایی بالایی در برآورد بارش مؤثر دارد. از جمله ویژگی‌های این مدل می‌توان سادگی محاسبات، قابلیت پیش‌بینی در آینده، ثبات و مدل‌سازی ویژگی‌های رواناب حوضه‌ی آبریز و ممسک بودن آن به دلیل وابستگی به دو پارامتر شماره منحنی (CN) و نسبت تلفات اولیه ( $\lambda$ ) اشاره نمود (NRCS, 1997). در این مدل، نسبت تلفات اولیه بارش معمولاً برابر ۲۰٪ نگهداشت سطحی حوضه در نظر گرفته می‌شود که تنها برای سی حوضه آبریز در آمریکا که روش بر اساس آنها توسعه داده شده است، تقریب مناسبی است و اعمال آنها در سایر مناطق با خطای زیادی همراه است (Soulis and Valiantzas, 2012). همچنین استخراج مقدار CN حوضه بر اساس پوشش گیاهی، کاربری اراضی، نوع خاک و شرایط رطوبت پیشین قبل از بارش انجام می‌شود که با فرض اینکه نقشه‌های پایه مورد نیاز از دقت بالایی برخوردار باشند، تغییرات زمانی و مکانی آن در سطح حوضه نادیده گرفته می‌شود (Hawkins, 1993; Grunwald and Norton, 2000). در حالی که لازم است تغییرات زمانی و مکانی این دو پارامتر در سطح حوضه آبریز در فرآیند تخمین بارش مؤثر لحاظ شود (Viji et al., 2015). مطالعات نشان داده است که این پارامترها به‌شدت با عمق بارندگی در ارتباط هستند که البته مقدار آنها از یک بارش تا بارش دیگر حتی در حوضه‌هایی

که دستخوش تغییرات کاربری و پوشش گیاهی شدید نیر نباشند، متفاوت است (Hosseini et al., 2016). بنابراین استفاده از فرم اصلی روش SCS-CN و در نظر گرفتن مقدار ثابت پارامترهای CN و  $\lambda$ ، منجر به تخمین‌های نادرست در پیش-بینی سیلاب می‌شود (Viji et al., 2015). بررسی آمار و اطلاعات خسارات سالانه ناشی از وقوع سیلاب‌ها در ایران و جهان بیانگر گستردگی صدمات ناشی از سیلاب به منابع طبیعی، انسانی و اقتصادی مناطق مختلف می‌باشد. لذا تدوین برنامه‌های جامع با هدف مهار، کنترل و بهره‌برداری بهینه با اعمال اقدامات مدیریتی، متناسب با کلیه عوامل دخیل در ایجاد و طغیان سیلاب‌های منطقه‌ای ضروری می‌باشد. با عنایت به تأثیر عوامل مختلف در بروز سیل، انواع اقدامات مدیریتی می‌توانند در کاهش خسارات ناشی از آن مؤثر باشند. از جمله اقدامات مدیریتی که می‌تواند نقش بسزایی در کاهش خسارات ناشی از وقوع سیلاب داشته باشد، مدل‌سازی فرآیند بارش-رواناب است که مدل‌های هیدرولوژیک و مدل‌های ریاضی توانایی زیادی برای برآورد رواناب داشته و با شناخت عوامل و پارامترهای مؤثر بر سیلاب اطلاعات مؤثری را در اختیار کاربران قرار می‌دهند. چنین مدل‌هایی توانایی قابل ملاحظه‌ای جهت مدیریت حوضه پیش از وقوع سیل و حتی مدیریت بحران و امداد و نجات در حین وقوع سیل را در اختیار مدیران و کارشناسان مربوطه قرار می‌دهد. در مطالعات برآورد رواناب انجام شده بر اساس روش SCS-CN، معمولاً یک شماره منحنی میانگین و یک ضریب ثابت از تلفات کل، برای هر زیر حوضه محاسبه و لحاظ می‌گردد؛ که در نظر گرفتن نسبتی ثابت از تلفات کل برای تلفات اولیه و یک شماره منحنی میانگین برای کل حوضه صرفاً یک فرض تسهیل‌کننده است و تردیدی وجود ندارد که مقدار پارامترهای مزبور برای حوضه‌هایی که دارای ناهمگنی و تغییرات کاربری می‌باشند، بر حسب شرایط پوشش فصلی و مکانی حاکم بر سطح خاک در دامنه وسیعی متغیر می‌باشد. لذا بر اساس این مهم، در این پژوهش به منظور برآورد بارش مؤثر حوضه آبریز توسط مدل-های اصلاح‌شده SCS-CN، ابتدا پارامترهای مدل (CN و  $\lambda$ ) از روش واسنجی بر اساس داده‌های مشاهداتی عمق بارش و ارتفاع رواناب ( $P - Q$ ) برآورد شده است و ارتباط هر یک از این پارامترها با عمق بارش بدست آمده است ( $P - \lambda$  و  $CN - P$ ). به منظور ارزیابی مدل‌های اصلاح‌شده SCS-CN با پارامتر متغیر، روابط واسنجی شده  $CN - P$  و  $P - \lambda$  برای برآورد بارش مؤثر مورد نیاز در مدل GIUH مورد استفاده قرار گرفتند. علاوه بر این، کارایی مدل‌های اصلاح‌شده SCS-CN با در نظر گرفتن مقادیر ثابت برای پارامترها در برآورد هیدروگراف سیلاب

حوضه کشکان نیز ارزیابی شد.

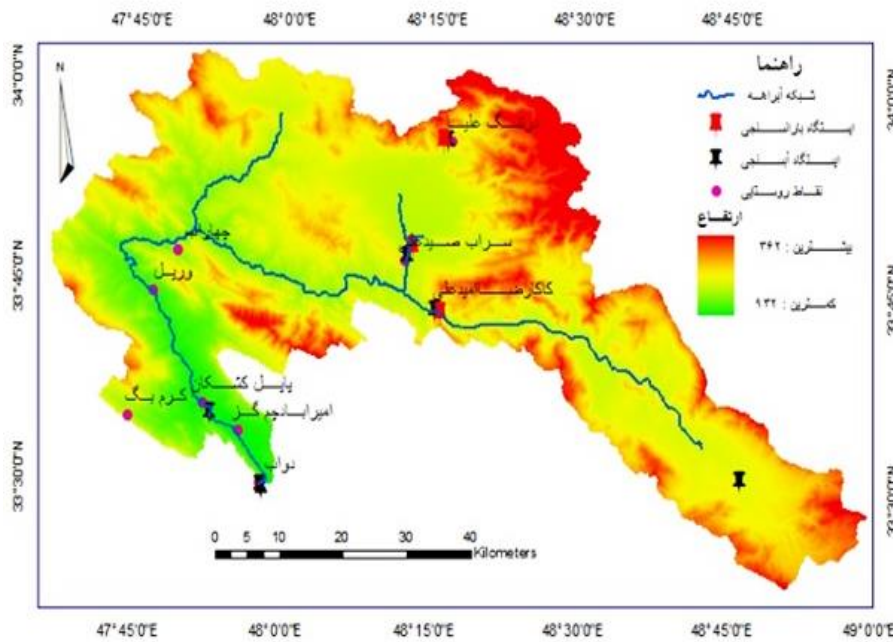
#### محدوده مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه کشکان با وسعت ۹۲۷۶ کیلومترمربع تماماً در استان لرستان و در ناحیه‌ی جنوب‌غربی ایران واقع گردیده است. این حوضه بخش مهمی از سرشاخه‌های پرآب رودخانه‌ی کرخه را تشکیل می‌دهد و حدود یک‌سوم از خاک استان لرستان را در برمی‌گیرد. سیستم اصلی رودخانه‌ی کشکان ابتدا از به هم پیوستن سرشاخه‌ی رودخانه‌های هرو و دوآب الشتر تشکیل می‌گردد؛ که این سرشاخه‌ها از دامنه‌ی کوه‌های مرتفع و برف‌گیر گرین و میش‌پرور سرچشمه می‌گیرند. این رودخانه در محل پل گاومیشان به رودخانه‌ی سیمره ملحق شده و رودخانه کرخه را تشکیل می‌دهد (Suriynejad, 2002). منطقه مورد مطالعه بخشی از این حوضه آبریز می‌باشد که از ابتدای شروع سرشاخه‌های رودخانه کشکان تا روستای دوآب ویسیان واقع شده است. مختصات جغرافیایی محدوده مورد مطالعه بین طول‌های ۴۷ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۹ دقیقه شرقی و عرض‌های ۳۳ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲ دقیقه شمالی قرار دارد (شکل ۱). بر اساس آنالیز سری زمانی داده‌های موجود، متوسط دبی سالانه رود کشکان در ایستگاه پل کشکان، واقع در محدوده مورد مطالعه ۳۳/۲ مترمکعب بر ثانیه و میزان دبی ویژه این ایستگاه ۹/۰۲ لیتر بر ثانیه در هر کیلومترمربع می‌باشد (Lorestan Regional Water Company, 2013). میانگین بارندگی سالیانه در این نواحی بین ۴۵۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر است. منطقه مورد مطالعه، دارای آب و هوای مدیترانه‌ای است و ریزش

های جوی اغلب به‌صورت باران در فصل زمستان رخ می‌دهند و باعث ایجاد سیلاب‌های شدیدی در منطقه می‌گردند. از بین رودخانه‌های دائمی لرستان از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۹۲ در یک دوره ۵۸ ساله، رودخانه کشکان با ۱۶ سیلاب بالای ۱۰۰۰ مترمکعب در ثانیه، سیل خیزترین رودخانه استان است (جدول ۱). بزرگ‌ترین سیلاب ثبت‌شده استان، سیل ۱۵ بهمن سال ۱۳۸۴ رودخانه کشکان با آبدهی پیک ۳۰۹۰ مترمکعب در ثانیه بوده که میزان خسارات ناشی از آن در بخش‌های مختلف معادل ۸۰ میلیارد تومان بوده است (Hosseini et al., 2014). حوضه رودخانه کشکان از نظر ژئومورفولوژی به واحدهای کوهستانی مرتفع و کم ارتفاع، تپه‌ها، فلات‌ها و تراس‌های فوقانی، دشت‌های پای کوهی صاف و هموار تقسیم‌بندی می‌گردد. واحدهای کوهستانی مرتفع با ساختمان سنگی و شیب بسیار زیاد و دیواره‌های قائم به صورت پرتگاه‌های فرسایشی است. این سطوح عمدتاً در نواحی شمالی، مرکزی و در امتداد مسیر رود کشکان دیده می‌شوند و سهم بسزایی در رژیم هیدرولوژیکی آن برجای می‌گذارد و به هنگام بارش‌های جوی، جریان آب سطحی بلافاصله بر روی دامنه آنها ایجاد می‌شود (Suriynejad, 2002). از نظر کاربری اراضی در این حوضه بیشترین درصد مساحت منطقه (بیش از ۷۰٪) مربوط به مراتع مرغوب و استپی با درخت‌های پراکنده می‌باشد. از نظر خاکشناسی نیز بیشتر سطح حوضه دارای خاک ریزدانه و نفوذناپذیر رس و سیلت است که پتانسیل تولید رواناب زیادی حین وقوع بارندگی دارند (Geravand, 2015).

جدول ۱: مشخصات سیلاب‌های لحظه‌ای رودخانه کشکان از سال ۱۳۴۹-۱۳۸۸ (Lorestan Regional Water Company, 2013)

تاریخ وقوع سیلاب	حداکثر دبی لحظه‌ای سیلاب (m <sup>3</sup> /s)	تاریخ وقوع سیلاب	حداکثر دبی لحظه‌ای سیلاب (m <sup>3</sup> /s)
۱۳۷۰/۱۲/۶	۱۰۲۰	۱۳۴۹/۱۲/۲۴	۱۳۰۰
۱۳۷۱/۱۱/۱۴	۱۹۰۰	۱۳۵۱/۱۱/۲	۱۲۰۸
۱۳۷۲/۹/۲	۲۳۲۵	۱۳۵۶/۹/۲۴	۱۱۴۰
۱۳۷۲/۱۱/۱۲	۲۶۶۷	۱۳۵۷/۹/۲۱	۱۵۰۰
۱۳۷۷/۱/۱۰	۱۱۶۰	۱۳۶۳/۹/۴	۱۲۶۵
۱۳۸۳/۱۲/۲۱	۱۶۳۰	۱۳۶۵/۲/۱۴	۲۱۸۰
۱۳۸۴/۱۱/۱۵	۳۰۳۰	۱۳۶۶/۱۰/۳۰	۱۳۴۵
۱۳۸۶/۱/۷	۱۲۹۰	۱۳۶۹/۱/۱۳	۱۲۲۰



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه در حوضه آبریز کشکان

## مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش ابتدا کلیه نقشه‌های بزرگ‌مقیاس منطقه شامل نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰، نقشه زمین-شناسی ۱/۲۵۰۰۰، نقشه خاک‌شناسی، لایه کاربری اراضی و پوشش گیاهی و همچنین آمار دبی و بارش در مقیاس روزانه در دوره آماری (۱۳۹۲-۱۳۴۶) از سازمان آب منطقه‌ای استان لرستان تهیه شد؛ و از بین ایستگاه‌های آب‌سنجی، داده‌های ایستگاه ویسیان به دلیل قرارگیری در خروجی حوضه مورد مطالعه و داده‌های ایستگاه باران‌سنجی سراب صیدعلی در مرکز حوضه انتخاب شدند؛ و یک دوره آماری ۲۳ ساله داده-های دبی و بارش روزانه بین سال‌های (۱۳۷۰-۱۳۹۲) انتخاب که سه دوره از بین این دوره آماری برای واسنجی و صحت سنجی مدل انتخاب شده است. مقادیر متوسط بارش و دبی این دوره‌های آماری در جدول (۲) ارائه شده است. نمودار گردش مراحل تحقیق در شکل (۲) نشان داده شده است.

هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی<sup>۱</sup>، مدلی است که بین واکنش‌های هیدرولوژی و قوانین ژئومورفولوژی حوضه روابط منطقی برقرار می‌کند؛ اساس این هیدروگراف یکی کردن واکنش‌های هیدرولوژیکی یک حوضه با واقعه‌ی رواناب سطحی و تلاش در جهت مرتبط نمودن آن با پارامترهای ژئومورفولوژیکی حوضه آبریز می‌باشد (Kumar et al., 2004). رودریگویز-ایتورب

و والدس (Rodriguez-Iturbe et al., 1979) تئوری جدیدی را برای تهیه هیدروگراف واحد لحظه‌ای، به عنوان پاسخ حوضه آبریز نسبت به یک واحد بارش مازاد لحظه‌ای، از روی خصوصیات ژئومورفولوژی آن ارائه نمودند. این رهیافت به عنوان تابع چگالی احتمال زمان پیمایش یک قطره باران تعریف گردید (Yen and Lee, 1997). هدف اساسی در ارائه این تئوری، برقراری ارتباط بین قوانین کلی ساختار شبکه آبراهه‌ها قوانین هورتون و هیدروگراف واحد لحظه‌ای است. معادله GIUH با استفاده از خصوصیات پایه ژئومورفولوژیکی  $R_A$  و  $R_L$  و  $R_B$  و طول مقطع کانال  $L_n$  (سیستم رتبه‌بندی استراهلر) و میانگین سرعت رواناب حوضه بیان شده است. این تئوری توسط گوپتا و همکاران (Gupta et al., 1980) و زلینسکی (Zelazinski, 1986) توسعه یافت.

بر اساس قانون انشعاب هورتون و با استفاده از طرح پیشنهادی استراهلر، نسبت انشعاب بصورت زیر بیان می‌گردد:

$$R_B = \frac{N}{N_{i+1}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که  $N$  و  $N_i$  تعداد شاخه‌های درجه  $i$  و  $i+1$  می‌باشد و  $R_B$  نسبت انشعاب هورتون می‌باشد. همچنین بر اساس قانون طول جریان داریم:

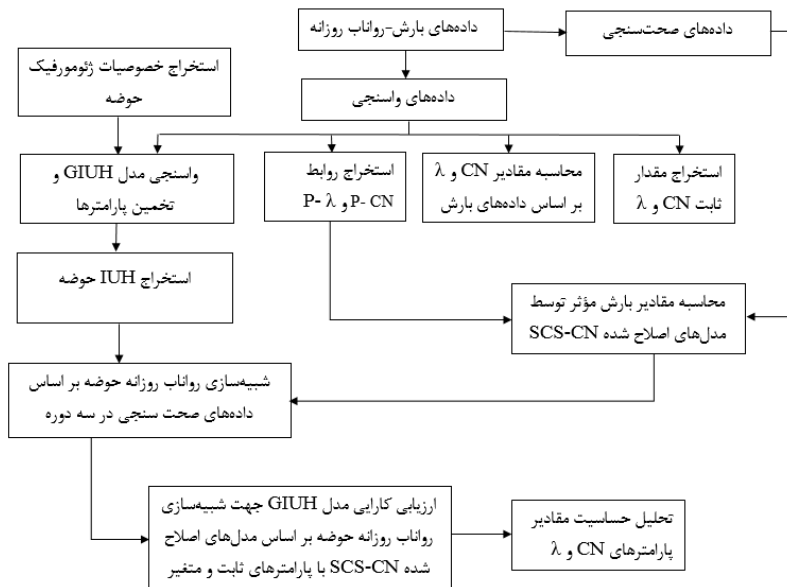
$$R_L = \frac{\bar{L}}{\bar{L}_{i+1}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که  $R_L$  نسبت طول،  $\bar{N}$  و  $\bar{N}_{i+1}$  طول متوسط کانال درجه  $i$  و درجه  $i+1$  است. که از رابطه ۳ قابل محاسبه می‌باشد.

$$\bar{L}_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} L_{j,i} \quad (\text{رابطه ۳})$$

جدول ۲: متوسط دبی و بارش دوره‌های آماری استفاده شده (شرکت آب منطقه‌ای لرستان، ۱۳۹۲)

دوره‌های شبیه‌سازی	دوره اول (ترسالی)	دوره دوم (خشکسالی)	دوره سوم (نرمال)
پارامترهای مورد ارزیابی	دوره اول (ترسالی)	دوره دوم (خشکسالی)	دوره سوم (نرمال)
سال	۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶	۲۰۰۸	۲۰۰۹ تا ۲۰۱۰
میانگین دبی (مترمکعب بر ثانیه)	۲۱/۵۲	۷/۵۰	۱۲/۳
میانگین بارش (میلی‌متر)	۷۳۹/۶	۳۵۴/۳	۵۴۱/۵



شکل ۲: نمودار گردش مراحل ارزیابی مدل GIUH بر اساس مدل‌های اصلاح شده SCS-CN با پارامترهای متغیر و ثابت

پیمایش یک قطره باران در یک مسیر معین تا خروجی حوضه، نیز تعریف گردد که هدف تئوری GIUH استنتاج این تابع چگالی احتمال بر اساس پارامترهای ژئومورفولوژی حوضه می‌باشد (Hosseini et al, 2016).

(رابطه ۷)

$$u(t) = \sum_{W_s \in W_s} P(W_s) \cdot [f_{x_{o_i}}(t) \times f_{x_i}(t) \times f_{x_j}(t) \dots \times f_{x_{\Omega}}(t)]_{W_s} \quad W_s = \langle x_{o_i}, x_i, x_j, \dots, x_{\Omega} \rangle$$

که در این رابطه  $u(t)$ ، هیدروگراف واحد لحظه‌ای،

$W_s$  مسیره‌های انتقال آب،  $P$  تعداد مسیره‌های احتمالی انتقال قطرات آب،  $f_{x_{o_i}}(t)$  زمان احتمالی انتقال آب در بالاتر رتبه نام،  $P(W_s)$  احتمال انتقال آب در مسیر  $W_s$  است که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P(W_s) = P_{O_{A_i}} \cdot P_{x_{o_i}x_i} \cdot P_{x_i x_j} \cdot \dots \cdot P_{x_k x_{\Omega}} \quad (8)$$

که  $P_{O_{A_i}}$  نسبت جریان سطحی در رتبه نام، به کل جریان در سطح حوضه که به شرح زیر بیان می‌شود:

(رابطه ۹)

$$P_{O_{A_i}} = \frac{N_i}{A_{\Omega}} \left[ \bar{A}_i - \sum_{j=1}^{i-1} \bar{A}_j \frac{N_j P_{x_i x_j}}{N_i} \right] \quad i = 2, \dots, \Omega$$

اسکام (1956) قانون مساحت‌های زهکشی شده را به صورت زیر بیان کرد: (Hosseini et al., 2016)

$$R_A = \frac{\bar{A}_{i+1}}{\bar{A}_i} \quad (4)$$

$R_A$  نسبت مساحت و  $\bar{A}_i$  و  $\bar{A}_{i+1}$  میانگین مساحت مربوط به زیر حوضه انشعاب با درجه  $i$  و  $i+1$  می‌باشد و با رابطه ۵ تعریف می‌گردد: (Zhang and Govindaraju, 2003).

$$\bar{A}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N_i} L_{j,i} \quad (5)$$

همان طور که دیده می‌شود برای هر حوضه، این نسبت‌ها مقادیر ثابتی هستند.

تئوری GIUH فرض می‌کند که حوضه یک سیستم متغیر در زمان اما خطی است، بطوریکه رواناب ناشی از آن بصورت انتگرال پیچشی زیر بیان می‌گردد:

(رابطه ۶)

$$Q(t) = \int_0^{t^*} I(T) \times u(t-T) dT. \quad \begin{cases} t^* = t & \text{for } t < t_0 \\ t^* = t_0 & \text{for } t \geq t_0 \end{cases}$$

$u(t)$  هیدروگراف واحد لحظه‌ای،  $Q(t)$  رواناب مستقیم خروجی از حوضه،  $I(T)$  باران اضافی ورودی به حوضه می‌باشد. IUH می‌تواند بصورت تابع چگالی احتمال متغیر تصادفی زمان

$$S = \{x_0, x_1, x_2, \dots, x_j\}$$

سپس به کمک رابطه ۱۷ مولفه‌های هیدروگراف سیلاب محاسبه می‌شود:  
(رابطه ۱۷)

$$Q_{t'} = \sum_{t=t'-m}^{t'} R_t \sum_{s \in S} \sum_{i=2}^j K_{ij} P(W_s) e^{-T_{x_i} t}$$

بارش مؤثر به عنوان ورودی مدل GIUH، توسط مدل‌های اصلاح شده SCS-CN به روش زیر محاسبه می‌گردد. (Mishra et al., 2004)

(رابطه ۱۸)

$$\text{SCS - CN1: } R_t = \frac{(P_t - I_a)^2}{P_t - I_a + S} \quad \text{for } P_t > I_a$$

$$ER_t = 0 \quad \text{for } P_t \leq I_a$$

(رابطه ۱۹)

$$\text{SCS - CN2: } R_t = \frac{P_t(P_t - I_a)}{s + 0.5(P_t - I_a)} \quad \text{for } P_t > I_a$$

$$ER_t = 0 \quad \text{for } P_t \leq I_a$$

(رابطه ۲۰)

$$\text{SCS - CN3: } R_t = \frac{(P_t - I_a)^2}{s + a(P_t - I_a)} \quad \text{for } P_t > I_a$$

$$ER_t = 0 \quad \text{for } P_t \leq I_a$$

(رابطه ۲۱)

$$\text{SCS - CN4: } R_t = (P_t - I_a)(1 - 10^{-bP})$$

$$\text{for } P_t > I_a \quad ER_t = 0 \quad \text{for } P_t \leq I_a$$

(رابطه ۲۲)

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

که  $R_t$  بارش مؤثر در زمان  $t$  بر حسب میلی‌متر،  $S$  مقدار تلفات کل یا عامل مربوط به نگهداشت رطوبت در خاک بر حسب میلی‌متر،  $I_a$  تلفات اولیه حوضه قبل از جاری شدن رواناب است و بصورت  $\lambda \times S$  که  $\lambda$  نسبت تلفات اولیه بارش است محاسبه می‌شود،  $P_t$  مقدار کل بارش بر حسب میلی‌متر و  $b = \ln(10)$  و  $CN$  شماره منحنی مربوط به حوضه می‌باشد که تابع پوشش گیاهی، کاربری اراضی، نوع خاک و شرایط رطوبتی پیشین خاک قبل از وقوع بارش می‌باشد. به منظور واسنجی مقادیر پارامترهای  $CN$  و  $\lambda$  از داده‌های مشاهداتی  $P - Q$  و روش بهینه‌سازی حداقل مربعات مقید استفاده شد:

$$SSR_i = [(R_t)_{obs} - (R_t)_{est}]^2 \quad \text{(رابطه ۲۳)}$$

که در آن  $(R_t)_{obs}$  و  $(R_t)_{est}$  به ترتیب مقادیر عمق رواناب مشاهداتی و تخمینی توسط روش‌های اصلاح شده SCS-CN (بر حسب میلی‌متر) و  $S_i$  نیز نگهداشت سطحی حوضه برای واقعه مورد نظر (بر حسب میلی‌متر) می‌باشد. محدودیت مسئله برنامه‌ریزی فوق شامل  $0 < CN < 100$  و  $0 < \lambda < 1$  برای هر دسته از داده‌های P-Q می‌باشد.

همچنین به منظور ارزیابی کارایی مدل در شبیه‌سازی مقادیر سیلاب روزانه، معیارهای خطای ضریب تبیین ( $R^2$ )،

که  $A_\Omega$  مساحت کل حوضه،  $N_i$  تعداد رتبه  $\bar{A}_i$  میانگین مساحت زیر حوضه رتبه  $\bar{A}_i$ ،  $P_{x_{j-1}, x_j}$  نسبت کانالهای درجه  $i$  که به کانالهای درجه  $j$  می‌پیوندند و به صورت زیر بیان می‌شود: (Gupta et al., 1980)

$$P_{x_i x_j} = \frac{(N_i - 2N_{i+1})E[k, \Omega]}{\sum_{k=j}^{\Omega} E[k, \Omega] N_i} + \frac{2N_{i+1}}{N_i} \delta_{i+1, j}$$

$$\delta_{i+1, j} = \begin{cases} 1 & \text{if } j = i + 1 \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$$

$E[k, \Omega]$  = تعداد متوسط انشعابات که قبل از انشعاب

درجه  $i$  به آن می‌پیوندند و بصورت زیر بیان می‌شود:  
(رابطه ۱۱)

$$E[k, \Omega] = N_i \prod_{j=2}^i \frac{N_{j-1} - 1}{2N_{j-1}} \quad i = 2, \dots, \Omega$$

که تمام پارامترهای آن در رابطه‌های قبل تعریف شده‌اند. Rodriguez-Iturbe et al., (1979)، زمان پیمایش هر ذره آب را به عنوان یک فرآیند زنجیره مارکو در نظر گرفتند که بوسیله احتمال انتقال از یک حالت به حالت دیگر کنترل می‌گردد. این نتایج به یک مدل توزیع زمان نگهداشت نمایی منتهی شد:

$$u(t) = \sum_{s \in S} \sum_{i=2}^j K_{ij} P(W_s) e^{-T_{x_i} t} \quad \text{(رابطه ۱۲)}$$

$T_{x_i}$ ، زمان نگهداری متوسط مولفه  $x_i$  را نشان می‌دهد.  
 $K_{ij}$  = ضریب وابسته به  $kx_i$  می‌باشد:  
(رابطه ۱۳)

$$K_{ij} = \frac{T_{x_1} T_{x_2} \dots T_{x_j}}{(T_{x_1} - T_{x_i})(T_{x_2} - T_{x_i}) \dots (T_{x_{i-1}} - T_{x_i})(T_{x_{i+1}} - T_{x_i}) \dots (T_{x_j} - T_{x_i})}$$

Gupta et al., (1980)، زمان نگهداری متوسط کانال درجه  $i$  ام در  $O_i$  و  $C_i$  را توسط روابط ۱۴ و ۱۵ بیان نمودند:

$$\frac{1}{T_{x_i}} = \gamma [L_i^-]^{1/3} \quad 1 < i < \Omega \quad \text{(رابطه ۱۴)}$$

$L_i$  متوسط طول کانالهای رتبه  $i$ ام، در این روابط  $\gamma$ ، ثابت تجربی می‌باشد که بایستی از روش واسنجی تخمین زده شود.

$$\frac{1}{T_{x_{O_i}}} = \gamma \left[ \frac{P_{O_i} A_i A_\Omega}{2N_i L_i^-} \right]^{1/3} \quad 1 < i < \Omega \quad \text{(رابطه ۱۵)}$$

$\frac{1}{T_{x_{O_i}}}$  زمان نگهداشت جریان آب در سطح حوضه بر حسب ساعت که به وسیله آن می‌توان میانگین زمان نگهداشت جریان آب در سطح حوضه را برای رتبه‌های مختلف بالادست محاسبه کرد. بقیه پارامترها در رابطه (۹) تعریف شده‌اند.

رابطه زیر میانگین زمان نگهداری یا زمان وقوع را در سطح حوضه محاسبه می‌کند که پارامترهای آن در روابط گذشته تعریف شده‌اند.

$$\text{(رابطه ۱۶)}$$

$$T_W = \sum_{s \in S} \left[ \frac{1}{\bar{T}_{x_0}} + \frac{1}{\bar{T}_{x_1}} + \frac{1}{\bar{T}_{x_2}} + \dots + \frac{1}{\bar{T}_{x_j}} \right] P(W_s);$$



در سراسر دنیا تبدیل شده است و هم‌اکنون نیز توسط مراکز مدیریت خشکسالی در کشور، در وزارتخانه‌های نیرو و جهاد کشاورزی برای پایش خشکسالی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Razeei et al., 2011). بر اساس مقادیر شاخص SPI که در شکل (۳) نشان داده شده است، سه دوره ترسالی مربوط به سال ۲۰۰۴، یک دوره خشکسالی شدید مربوط به سال ۲۰۱۱ و دو دوره نرمال مربوط به سال‌های ۲۰۰۶ به منظور ارزیابی عملکرد مدل GIUH در تلفیق با مدل‌های اصلاح شده SCS-CN استفاده شد.

#### یافته‌های تحقیق

تهیه GIUH حوضه مورد مطالعه: به منظور انجام محاسبات GIUH ابتدا برخی خصوصیات مورفومتریکی مورد نیاز با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS، Excel و الحاقیه Arc Hydro محاسبه شد (جدول ۲). حوضه رودخانه کشکان، حوضه‌ای درجه ۷ می‌باشد.

پس از خصوصیات مورفومتریکی حوضه آبریز، تعداد متوسط انشعابات که قبل و بعد از درجه مشخص به آن می‌پیوندد ( $P_{x_i x_j}$ )؛ محاسبه گردید (جدول ۳).

پس از محاسبه نسبت‌های انشعاب، احتمال مسیرهای انتقال ( $P(W_s)$ ) به دست آمده است (جدول ۴). احتمال مسیرها نشان دهنده این مطلب است که در صورت وقوع بارندگی، با توجه به مساحت‌ها و طول‌های اندازه‌گیری شده، قطرات باران برای خروج، با احتمال بیشتر، از کدام مسیر عبور خواهند کرد. با توجه به نتایج ارائه‌شده، در حوضه مورد مطالعه مسیر ۴۸ (O<sub>2</sub> - C<sub>7</sub> - C<sub>2</sub>) با احتمال مسیر ۰/۰۴۵۵ بیشترین میزان احتمال و مسیر ۲۳ (O<sub>1</sub>-C<sub>1</sub>- C<sub>3</sub> - C<sub>5</sub> - C<sub>7</sub>) با احتمال مسیر ۰/۰۰۰۲ کمترین میزان احتمال را به خود اختصاص داده است.

درصد خطای حجم ( $\%EV$ )، درصد خطای برآورد دبی اوج ( $\%EQP$ ) و خطای زمان رسیدن به اوج سیلاب ( $ET_P$ ) در نظر گرفته شده است:

۱- ضریب تبیین ( $R^2$ ):

(رابطه ۲۴)

$$R^2 = \left( \frac{\sum_{t=1}^n [Q_{obs}(t) - \bar{Q}_{obs}] [Q_{sim}(t) - \bar{Q}_{sim}]}{\sqrt{\sum_{t=1}^n [Q_{obs}(t) - \bar{Q}_{obs}]^2 \sum_{t=1}^n [Q_{sim}(t) - \bar{Q}_{sim}]^2}} \right)^2$$

۲- شاخص پراکندگی داده‌های شبیه‌سازی شده حول میانگین مشاهداتی ( $SI$ ):

$$SI = \frac{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Q_{obs}(t) - Q_{sim}(t)|}{\bar{Q}_{obs}} \quad (\text{رابطه ۲۵})$$

۳- درصد خطای حجم سیلاب ( $\%EV$ ):

$$\%EV = \frac{V_{obs} - V_{sim}}{V_{obs}} \times 100 \quad (\text{رابطه ۲۶})$$

۴- درصد خطای پیش‌بینی دبی پیک ( $\%EQP$ ):

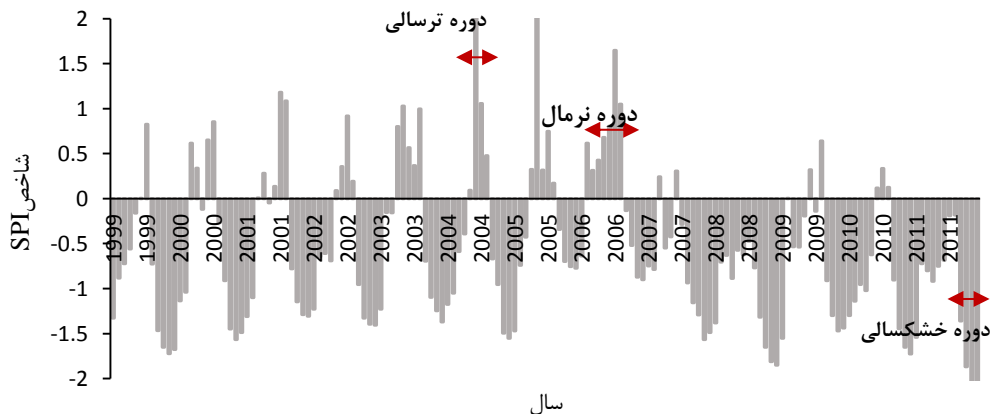
$$\%EQP = \frac{(Q_P)_{obs} - (Q_P)_{sim}}{(Q_P)_{obs}} \times 100 \quad (\text{رابطه ۲۷})$$

۵- خطای پیش‌بینی زمان پیک سیلاب ( $ET_P$ ):

$$ET_P = (T_P)_{obs} - (T_P)_{sim} \quad (\text{رابطه ۲۸})$$

که در آنها  $(Q_P)_{obs}$  مقدار دبی اوج مشاهداتی،  $(\bar{Q}_P)_{obs}$  متوسط مقدار دبی اوج مشاهداتی،  $(Q_P)_{sim}$  مقدار دبی اوج شبیه‌سازی شده،  $V_{obs}$  حجم دبی مشاهداتی،  $V_{sim}$  حجم دبی شبیه‌سازی شده،  $(T_P)_{obs}$  زمان دبی اوج مشاهداتی و  $(T_P)_{sim}$  زمان دبی اوج شبیه‌سازی شده می‌باشد.

به منظور تعیین دوره‌های خشکسالی و ترسالی هواشناسی از سری زمانی داده‌های بارش ماهانه ایستگاه دوآب در خروجی حوضه استفاده و با کمک شاخص بارش استاندارد (SPI) انجام شده است. این شاخص در سال ۱۹۹۳ توسط Mckee برای تعیین دوره‌های خشکسالی و ارزیابی شدت آن تدوین شد؛ که تاکنون به یکی از پرکاربردترین روش‌ها برای تحلیل خشکسالی



شکل ۳. مقادیر SPI محاسبه شده در مقیاس ماهانه و دوره‌های منتخب برای ارزیابی مدل پیشنهادی

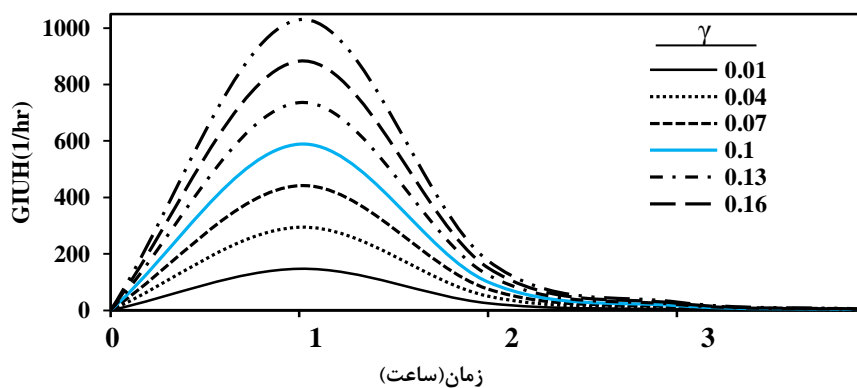
جدول ۲. مشخصات آبراهه‌های رتبه‌بندی شده حوضه مورد مطالعه

آبراهه	تعداد	مجموع طول Km	مساحت جزئی Km <sup>2</sup>	مساحت تجمعی Km <sup>2</sup>
رتبه ۱	۶۲۲۲	۳۱۹۴/۹۲	۳۰۷۹/۳۹	۳۰۷۹/۳۹
رتبه ۲	۱۳۵۹	۱۶۴۶/۱۳	۴۱۲/۰۷	۳۴۹۱/۴۶
رتبه ۳	۳۳۳	۸۰۷/۹	۱۸۳/۴۶	۳۶۷۴/۹۲
رتبه ۴	۷۱	۳۸۱/۶	۷۹/۲۹	۳۷۵۴/۲۱
رتبه ۵	۱۵	۱۳۳	۳۴/۳۸	۳۷۸۸/۵۹
رتبه ۶	۴	۱۰۷/۶۷	۱۷/۶۶	۳۸۰۶/۲۵
رتبه ۷	۱	۱۱۷/۷۱	۱۹/۱۷	۳۸۲۵/۴

جدول ۳. تعداد متوسط انشعابات که قبل، بعد و در درجه مشخص از درجه  $\alpha$  به آن می‌پیوندد

ردیف	$P_{x_i x_j}$	نسبت انشعاب	ردیف	$P_{x_i x_j}$	نسبت انشعاب
۱	$P_{x_1 x_2}$	۰/۳۱	۱۵	$P_{x_3 x_7}$	۰/۳۴
۲	$P_{x_1 x_3}$	۰/۰۷	۱۶	$P_{x_4 x_5}$	۰/۲۹
۳	$P_{x_1 x_4}$	۰/۰۴	۱۷	$P_{x_4 x_6}$	۰/۳۴
۴	$P_{x_1 x_5}$	۰/۰۳	۱۸	$P_{x_4 x_7}$	۰/۳۵
۵	$P_{x_1 x_6}$	۰/۲۷	۱۹	$P_{x_5 x_6}$	۰/۶۷
۶	$P_{x_1 x_7}$	۰/۲۸	۲۰	$P_{x_5 x_7}$	۰/۳۲
۷	$P_{x_2 x_3}$	۰/۳۵	۲۱	$P_{x_6 x_7}$	۱/۰
۸	$P_{x_2 x_4}$	۰/۰۴	۲۲	$P_{O_{A_1}}$	۰/۸۰
۹	$P_{x_2 x_5}$	۰/۰۳	۲۳	$P_{O_{A_2}}$	۰/۴۱
۱۰	$P_{x_2 x_6}$	۰/۲۸	۲۴	$P_{O_{A_3}}$	۰/۲۹
۱۱	$P_{x_2 x_7}$	۰/۲۹	۲۵	$P_{O_{A_4}}$	۰/۳۴
۱۲	$P_{x_3 x_4}$	۰/۳۰	۲۶	$P_{O_{A_5}}$	۰/۳۸
۱۳	$P_{x_3 x_5}$	۰/۰۳	۲۷	$P_{O_{A_6}}$	۰/۰۲
۱۴	$P_{x_3 x_6}$	۰/۳۳	۲۸	$P_{O_{A_7}}$	۰/۴۰

پس از محاسبه احتمالات مورد نیاز، هیدروگراف واحد تجربی  $\gamma$  ( $\gamma = 0.1$ ) محاسبه و در شکل (۴) نشان داده شد. لحظه‌ای برای حوضه مورد مطالعه بر اساس مقدار بهینه پارامتر



شکل ۴. نمودار تاثیر تغییرات پارامتر  $\gamma$  بر شکل هیدروگراف واحد لحظه‌ای احتمالاتی محاسبه شده در حوضه آبریز کشکان (مقدار بهینه آن برابر ۰/۱ می‌باشد)

جدول ۴. مسیرهای ممکن و احتمال مسیرهای جریان آب در حوضه مورد مطالعه (بر حسب درصد)

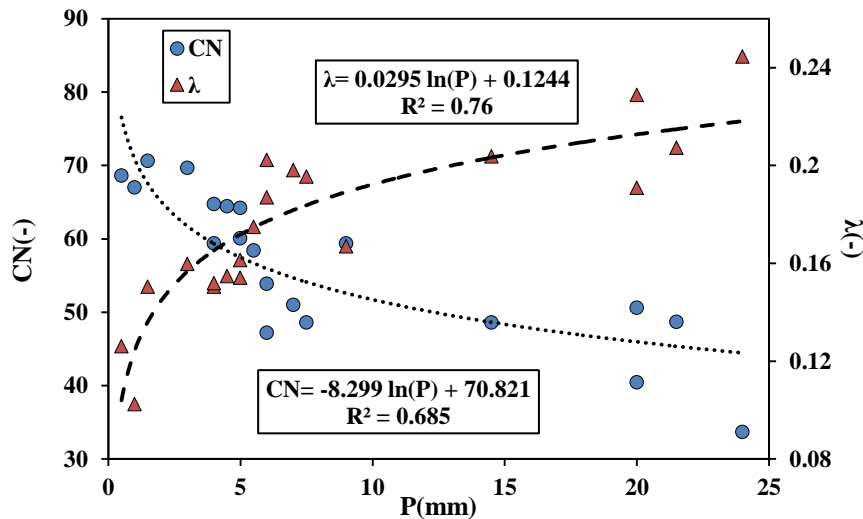
ردیف	مسیر	$P(W_s)$	ردیف	مسیر	$P(W_s)$
۱	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۲	۳۳	O <sub>2</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۳۳
۲	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۰۸	۳۴	O <sub>2</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۱۳
۳	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۰۷	۳۵	O <sub>2</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۱۱
۴	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۳۴	۳۶	O <sub>2</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۵۶
۵	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۰۹	۳۷	O <sub>2</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۱۶
۶	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۱۹	۳۸	O <sub>2</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۳۱
۷	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۰۳	۳۹	O <sub>2</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۰۵
۸	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۱۰	۴۰	O <sub>2</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۱/۸
۹	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۱۲	۴۱	O <sub>2</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۲
۱۰	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۰۳	۴۲	O <sub>2</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۰۵
۱۱	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۳۵	۴۳	O <sub>2</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۵۸
۱۲	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۰۸	۴۴	O <sub>2</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۱۴
۱۳	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۲/۶۳	۴۵	O <sub>2</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۴/۳۹
۱۴	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>7</sub>	۱/۱۲	۴۶	O <sub>2</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>7</sub>	۱/۸۷
۱۵	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۱۳	۴۷	O <sub>2</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۲۲
۱۶	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>7</sub>	۲/۷۲	۴۸	O <sub>2</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>7</sub>	۴/۵۵
۱۷	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۱۳	۴۹	O <sub>3</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۶۷
۱۸	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۰۴	۵۰	O <sub>3</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۲۲
۱۹	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۲۱	۵۱	O <sub>3</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۱/۱۲
۲۰	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۰۶	۵۲	O <sub>3</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۳۱
۲۱	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۷	۵۳	O <sub>3</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۳/۷۱
۲۲	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۲۳	۵۴	O <sub>3</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>7</sub>	۱/۲
۲۳	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۰۲	۵۵	O <sub>3</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۱
۲۴	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۷۲	۵۶	O <sub>3</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>7</sub>	۳/۸۲
۲۵	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۲۴	۵۷	O <sub>4</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۲/۶۱
۲۶	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۴۲	۵۸	O <sub>4</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۴/۵
۲۷	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۱۲	۵۹	O <sub>4</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>7</sub>	۱/۲۴
۲۸	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۴۳	۶۰	O <sub>4</sub> -C <sub>4</sub> -C <sub>7</sub>	۴/۶۸
۲۹	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۶۲	۶۱	O <sub>5</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۹/۸۹
۳۰	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۲۹	۶۲	O <sub>5</sub> -C <sub>5</sub> -C <sub>7</sub>	۴/۷
۳۱	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۸/۱۷	۶۳	O <sub>6</sub> -C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	۰/۷۵
۳۲	O <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>7</sub>	۸/۴۷	۶۴	O <sub>7</sub> -C <sub>7</sub>	۱۵/۱

به منظور محاسبه هیدروگراف سیل، مطابق با رابطه (۶)، انتگرال پیچشی حاصل ضرب مؤلفه های GIUH در بارش مؤثر باید محاسبه گردد. مقادیر بارش های مؤثر از روش SCS-CN در دو حالت پارامتر متغیر و پارامتر ثابت محاسبه شد. در حالت پارامتر

شکل (۴) تأثیر مقدار پارامتر تجربی  $\gamma$  (رابطه ۱۶) بر شکل GIUH حوضه آبریز مورد مطالعه را نشان می دهد. نتایج شکل (۴) نشان می دهد که بطور متوسط افزایش ۰/۰۳ درصد پارامتر  $\gamma$  موجب افزایش ۱۱ درصدی دبی اوج GIUH می شود.

لگاریتمی است و ضریب تبیین معادلات در سطح ۰/۶۸. برای  $CN - P$  و ۰/۷۶. برای  $\lambda - P$  معنادار می‌باشد. رابطه بین  $CN$  و  $P$  به صورت کاهشی است ولی با افزایش  $P$ ، مقدار  $\lambda$  کاهش می‌یابد. همچنین مقدار میانه هر یک از این پارامترها برابر  $CN = 50$  و  $\lambda = 0.19$  می‌باشد که در مدل SCS-CN پارامتر ثابت استفاده شدند.

متغیر روش SCS-CN، ابتدا مقادیر پارامترهای  $CN$  و  $\lambda$  متناظر با هر دسته از داده‌های  $P - Q$  مشاهداتی برای دوره‌های واسنجی توسط بهینه‌سازی (رابطه ۲۳) محاسبه و روابط  $CN - P$  و  $\lambda - P$  استخراج شدند. شکل (۵) تغییرات مقادیر پارامترهای  $CN$  و  $\lambda$  را نسبت به عمق بارش ( $P$ ) در حوضه مورد مطالعه نشان می‌دهد. رابطه بین  $CN - P$  و  $\lambda - P$  به صورت



شکل ۵. رابطه بین مقادیر شماره منحنی و نسبت تلفات اولیه واسنجی شده با عمق بارش در حوضه مورد مطالعه

است. همان‌گونه که در شکل (۶) واضح است مقدار دبی محاسبه‌شده بر اساس مدل‌های اصلاح‌شده SCS-CN با پارامتر متغیر  $CN$  و  $\lambda$ ، تطابق بهتری با دبی مشاهداتی نسبت به زمانی که پارامترهای مدل ثابت در نظر گرفته شوند، دارد. به منظور ارزیابی کمی و دقیق‌تر مدل مورد استفاده در شبیه‌سازی مقادیر بارش-رواناب در حوضه مورد مطالعه، معیارهای خطای ارائه‌شده در روابط (۲۴) تا (۲۸) محاسبه و نتایج آن در جدول (۵) ارائه شده است. میانگین درصد خطای دبی اوج در شبیه‌سازی با استفاده از مدل‌های اصلاح‌شده SCS-CN با در نظر گرفتن مقادیر متغیر برای پارامترهای  $CN$  و  $\lambda$  روزانه برابر ۷/۲ درصد و در شبیه‌سازی با مقادیر ثابت پارامترهای  $CN$  و  $\lambda$  برابر ۴۵ درصد محاسبه شده است که به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار خطا مربوط به مدل مرسوم SCS-CN با در نظر گرفتن پارامتر متغیر در شبیه‌سازی دوره ترسالی برابر ۳ درصد و مدل چهار SCS-CN با در نظر گرفتن پارامتر ثابت در شبیه‌سازی دوره خشکسالی برابر ۵۷ درصد می‌باشد. میانگین درصد خطای حجم دبی اوج با در نظر گرفتن مقادیر متغیر برای پارامترهای  $CN$  و  $\lambda$  روزانه برابر ۹/۴ درصد و در شبیه‌سازی با مقادیر ثابت پارامترهای  $CN$  و  $\lambda$  برابر ۳۵ درصد محاسبه شده است که به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار خطا مربوط به مدل مرسوم

بررسی رابطه بین مقادیر شماره منحنی و عمق بارش و همچنین نسبت تلفات اولیه واسنجی شده و عمق بارش در حوضه مورد مطالعه نشان می‌دهد که ضریب تبیین این روابط به ترتیب ۰/۶۸۵ و ۰/۷۶۳ می‌باشد (شکل ۵). در اغلب حوضه‌ها معمولاً یک همبستگی سیستماتیک بین  $CN$  محاسبه‌شده و عمق بارش وجود دارد به گونه‌ای که  $CN$  محاسبه‌شده نزدیک به یک عدد ثابت همراه با افزایش عمق بارش است که به ویژگی‌های خاص حوضه برمی‌گردد (Kowalik and Walega, 2015). در حوضه‌های غیرهمگن یا در آن دسته از حوضه‌هایی که دستخوش تغییرات کاربری اراضی می‌شوند، در نظر گرفتن یک مقدار واحد برای پارامترهای ذکرشده با خطای بسیار همراه است (Grunwald and Norton, 2000) و در نتیجه منجر به برآوردهای غیرقابل اعتماد می‌شود. چرا که این پارامترها دارای تغییرات زمانی و مکانی بسیار بالایی هستند. به کمک روابط واسنجی شده  $CN - P$  و  $\lambda - P$  و رابطه (۲۳) مقادیر بارش مؤثر ( $R$ ) برای دوره‌های شبیه‌سازی محاسبه شدند. سپس هیدروگراف سیل مربوط به این دوره‌ها با کمک انتگرال پیچشی رابطه (۶) بدست آمد. در شکل (۶) مقدار دبی‌های روزانه شبیه‌سازی‌شده توسط مدل GIUH و مدل‌های اصلاح‌شده SCS-CN در دو حالت با پارامتر متغیر و ثابت نشان داده شده

گرفتن پارامتر ثابت در شبیه سازی دوره های خشکسالی برابر ۲۵ روز می باشد. همچنین بالاترین شاخص آماری  $R^2$  و  $SI$  به ترتیب ۰/۸۴ و ۰/۸۱ می باشد که مربوط به شبیه سازی دوره های ترسالی و نرمال با مدل مرسوم SCS-CN می باشد. در شبیه سازی با مقادیر متغیر پارامترهای  $CN$  و  $\lambda$  کمترین میانگین مقدار درصد خطای مدل های اصلاح شده SCS-CN مربوط به مدل مرسوم SCS-CN در شبیه سازی دوره ترسالی است و در شبیه سازی با مقادیر ثابت پارامترهای  $CN$  و  $\lambda$  بیشترین مقدار درصد خطای مدل های اصلاح شده SCS-CN مربوط به مدل چهار SCS-CN در شبیه سازی دوره خشکسالی می باشد.

SCS-CN با در نظر گرفتن پارامتر متغیر در شبیه سازی دوره ترسالی برابر ۳ درصد و مدل چهار SCS-CN با در نظر گرفتن پارامتر ثابت در شبیه سازی دوره خشکسالی برابر ۴۴ درصد می باشد. میانگین خطای زمان رسیدن به اوج با در نظر گرفتن مقادیر متغیر برای پارامترهای  $CN$  و  $\lambda$  روزانه برابر ۲ روز و در شبیه سازی با مقادیر ثابت پارامترهای  $CN$  و  $\lambda$  برابر ۱۵ روز می باشد و کمترین مقدار خطا مربوط به مدل مرسوم و مدل دو SCS-CN با در نظر گرفتن مقادیر متغیر برای پارامترهای  $CN$  و  $\lambda$  در شبیه سازی دوره های ترسالی و نرمال برابر ۱ روز و بیشترین مقدار خطا مربوط به مدل چهار SCS-CN با در نظر

جدول ۵: بررسی نتایج بدست آمده روش GIUH با مدل های اصلاح شده SCS-CN با در نظر گرفتن مقادیر متغیر و ثابت برای پارامترهای  $CN$  و  $\lambda$ \*

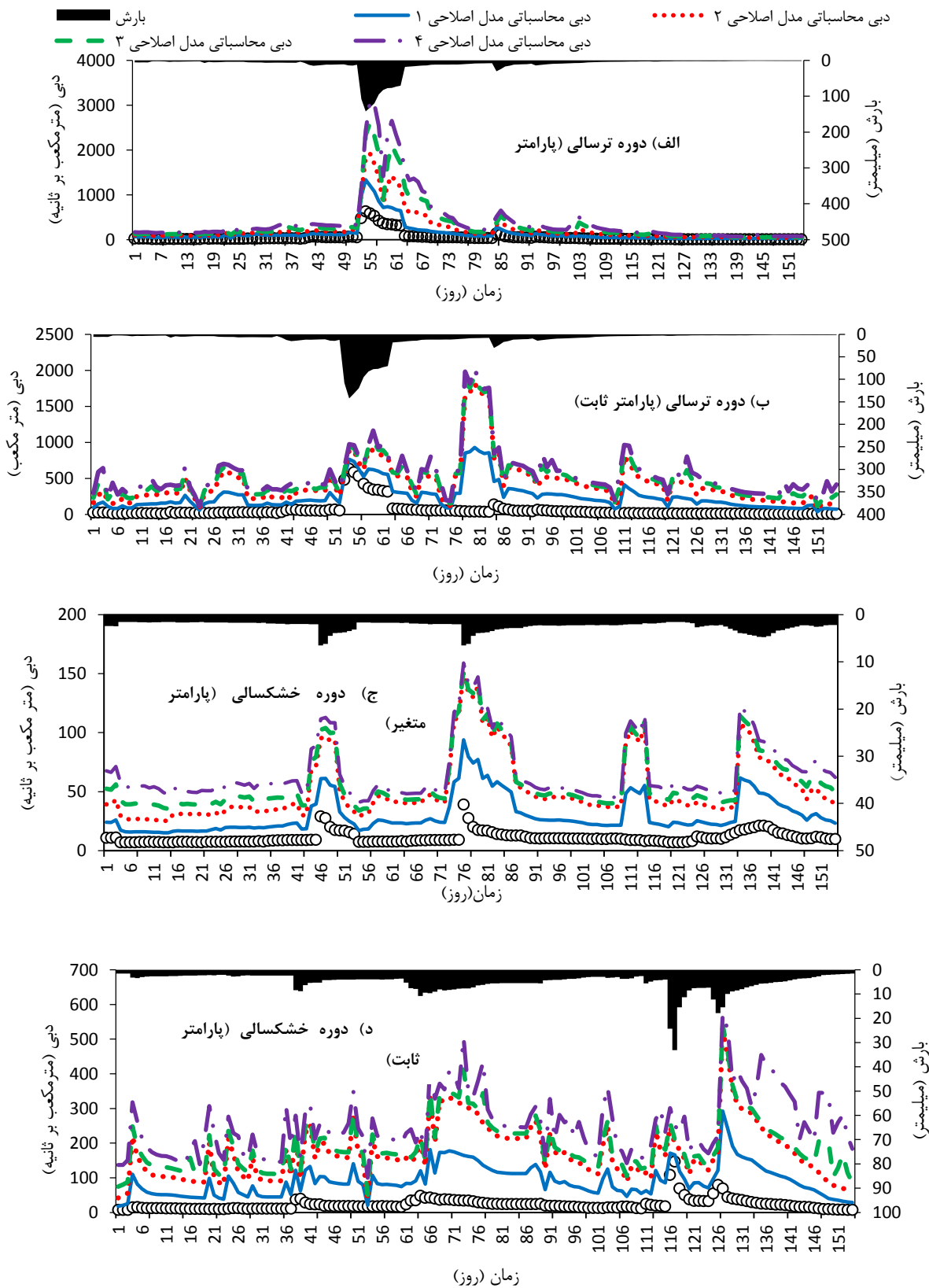
دوره سوم (نرمال)				دوره دوم (خشکسالی)				دوره اول (ترسالی)				دوره های شبیه سازی
SCS-CN4	SCS-CN3	SCS-CN2	SCS-CN1	SCS-CN4	SCS-CN3	SCS-CN2	SCS-CN1	SCS-CN4	SCS-CN3	SCS-CN2	SCS-CN1	
حالت پارامتر متغیر مدل ها												پارامترهای مورد ارزیابی
۰/۷۲	۰/۷۶	۰/۸۰	۰/۷۹	۰/۶۰	۰/۶۴	۰/۵۹	۰/۶۲	۰/۸۲	۰/۸۰	۰/۷۸	۰/۸۴	شاخص آماری $R^2$
۰/۷۴	۰/۷۶	۰/۷۷	۰/۸۱	۰/۵۹	۰/۷۱	۰/۶۳	۰/۶۷	۰/۶۹	۰/۷۹	۰/۷۱	۰/۷۸	شاخص آماری $SI$
۱۰٪	۸٪	۶٪	۵٪	۱۳٪	۱۱/۵٪	۱۴٪	۱۲/۲٪	۶٪	۴٪	۴٪	۳٪	درصد خطای دبی اوج
۱۲٪	۱۱٪	۹/۲٪	۹٪	-۱۵٪	-۱۰/۸٪	-۱۱٪	-۱۲٪	۶/۵٪	۸٪	۶٪	۵٪	درصد خطای حجم دبی اوج
۳	-۲	-۱	۲	۴	۴	-۲	۳	-۳	۲	-۲	-۱	خطای زمان رسیدن به اوج (روز)
حالت پارامتر ثابت مدل ها												
۰/۵۳	۰/۵۵	۰/۶۱	۰/۵۹	۰/۴۲	۰/۴۹	۰/۴۵	۰/۴۸	۰/۴۱	۰/۳۸	۰/۳۰	۰/۴۵	شاخص آماری $R^2$
۰/۵۱	۰/۵۸	۰/۶۷	۰/۶۳	۰/۴۳	۰/۳۷	۰/۴۸	۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۳۷	۰/۴۵	۰/۵۶	شاخص آماری $SI$
۴۵٪	۴۳٪	۳۸٪	۴۰٪	۵۷٪	۵۵٪	۴۹٪	۵۲٪	۳۸٪	۳۱٪	۴۳٪	۴۹٪	درصد خطای دبی اوج
-۳۲٪	-۲۸٪	-۲۱٪	-۲۵٪	۴۴٪	۴۱٪	۴۳٪	۴۰٪	-۴۰٪	-۳۷٪	-۴۱٪	-۳۶٪	درصد خطای حجم دبی اوج
۱۴	-۱۲	۸	۱۰	۲۵	۲۱	۲۳	۲۲	۱۳	۱۶	۱۲	۱۴	خطای زمان رسیدن به اوج (روز)

\*علامت منفی، نشان دهنده برآورد کمتر مدل ها نسبت به مقادیر مشاهداتی است.

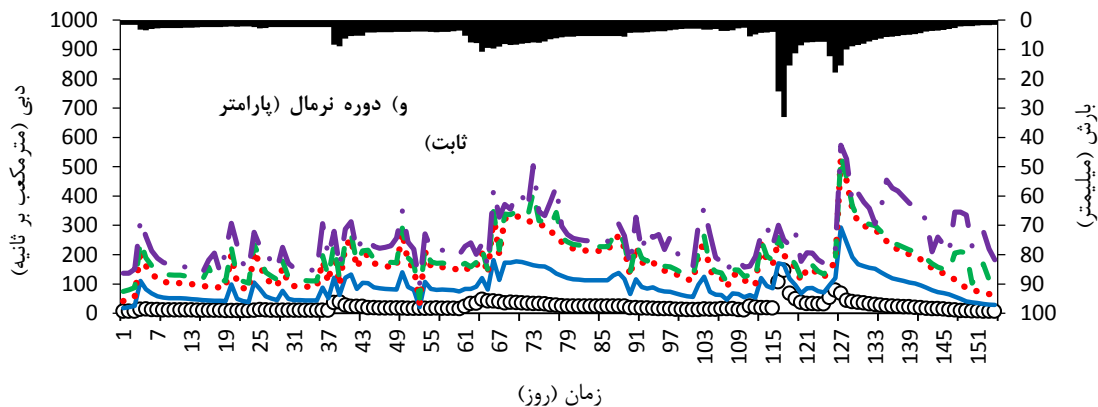
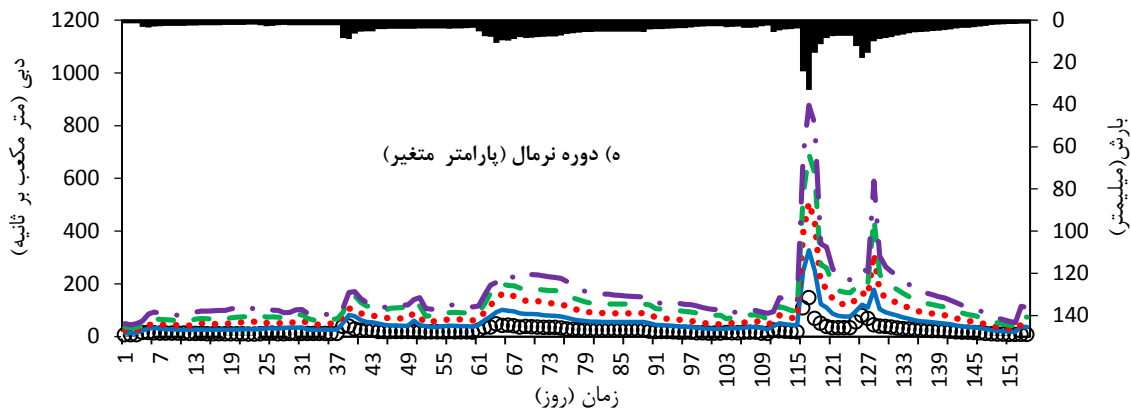
می باشد. کمترین و بیشترین میزان خطا به ترتیب مربوط به کاهش و افزایش  $CN$  بوده است. نتایج بدست آمده این بخش با نتایج سولیوس و همکارانش (Soulis and Valiansaz, 2012) که با استفاده از داده های بارش-رواناب حوضه های ناهمگن با رویکرد سیستمی به تعیین پارامتر SCS-CN در حوضه رودخانه سووانی اشبرن در شمال غربی واشنگتن پرداختند، همخوانی دارد. حساسیت بالای مدل به  $CN$  را می توان ناشی از دخالت عوامل انسانی در حوضه (تغییرات کاربری اراضی و از بین بردن انواع پوشش های طبیعی گیاهی) و دخالت در حریم بستر رودخانه (شخم زدن بستر و تبدیل آن به اراضی کشاورزی) دانست.

### آنالیز حساسیت مدل SCS-CN

به منظور نشان دادن درجه تأثیرپذیری سیلاب خروجی حوضه از پارامترهای ورودی مدل ( $CN$  و  $\lambda$ )، از آنالیز حساسیت استفاده شده است. به مقادیر متوسط این پارامترهای در مرحله واسنجی، به میزان ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد افزوده و ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد کسر گردید و پس از آن به ازای مقادیر جدید به دست آمده، مدل مجدداً اجرا و اختلاف در دبی اوج شبیه سازی شده و حجم دبی اوج و همچنین درصد خطای هرکدام نیز اندازه گیری شد (جدول ۶). در تمام نتایج به دست آمده، میزان این اختلاف زیاد بوده که بیانگر تأثیر این پارامترها بر روی رواناب برآورد شده



شکل ۶. هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل GIUH با در نظر گرفتن مقادیر ثابت و متغیر برای پارامترهای  $CN$  و  $\lambda$  در مدل‌های اصلاح شده SCS-CN برای دوره‌های مختلف: الف و ب) دوره ترسالی (سال ۲۰۰۴)، ث و د) دوره خشکسالی (سال ۲۰۱۱) و ج و چ) دوره نرمال (سال ۲۰۰۶)



ادامه شکل ۶. هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل GIUH با در نظر گرفتن مقادیر ثابت و متغیر برای پارامترهای CN و  $\lambda$  در مدل های اصلاح شده SCS-CN برای دوره‌های مختلف: الف و ب) دوره ترسالی (سال ۲۰۰۴)، ث و د) دوره خشکسالی (سال ۲۰۱۱) و ج و چ) دوره نرمال (سال ۲۰۰۶)

جدول ۶: نتایج بدست آمده از ارزیابی تغییرات پارامترهای CN و  $\lambda$

دوره‌های شبیه‌سازی	پارامترهای مورد ارزیابی												
	CN - 30%	CN - 20%	CN - 10%	CN + 30%	CN + 20%	CN + 10%	$\lambda - 30\%$	$\lambda - 20\%$	$\lambda - 10\%$	$\lambda + 30\%$	$\lambda + 20\%$	$\lambda + 10\%$	
ترسالی	دبی اوج شبیه‌سازی شده	۶۸۹	۵۲۲	۳۹۷	۹۰/۵	۱۴۶/۳	۲۰۸/۹	۲۹۲/۵	۴۰۳/۹	۵۳۶/۳	۱۲۴/۶	۱۰۷۲/۶	۸۷۰/۶
	درصد خطای دبی اوج	۵٪	-۲۰٪	-۳۹٪	-۸۶٪	-۷۷٪	-۶۸٪	-۵۵٪	-۳۸٪	-۱۷٪	۹۴٪	۶۴٪	۳۳٪
	حجم دبی اوج شبیه‌سازی شده	۴۸۵	۳۶۷/۴	۲۷۹/۲	۶۳/۷	۱۰۲/۸	۱۴۶/۹	۲۰۵/۷	۲۸۴/۱	۳۷۷/۲	۸۹۶/۵	۷۵۴/۴	۶۱۲/۳
	درصد خطای حجم دبی اوج	-۶٪	-۲۸٪	-۴۵٪	-۸۷٪	-۸۰٪	-۷۱٪	-۶۰٪	-۴۴٪	-۲۶٪	۷۳٪	۴۶٪	۱۸٪
خشکسالی	دبی اوج شبیه‌سازی شده	۴۳/۳	۳۲/۸	۲۴/۹	۵/۷	۹/۱	۱۳/۱	۱۸/۴	۲۵/۴	۳۳/۷	۸۰/۱	۶۷/۵	۵۴/۷
	درصد خطای دبی اوج	۱۱٪	-۱۵٪	-۳۵٪	-۸۵٪	-۷۶٪	-۶۶٪	-۵۲٪	-۴۴٪	-۱۳٪	۱۰۶٪	۷۳٪	۴۰٪
	حجم دبی اوج شبیه‌سازی شده	۵۸/۸	۴۴/۵	۳۳/۸	۷/۷	۱۲/۴	۱۷/۸	۲۴/۹	۳۴/۴	۴۵/۷	۱۰۸/۷	۹۱/۴	۷۴/۲
	درصد خطای حجم دبی اوج	۸٪	-۱۱٪	-۳۰٪	-۷۳٪	-۶۹٪	-۶۱٪	-۵۰٪	-۳۴٪	-۱۱٪	۹۷٪	۶۵٪	۳۷٪
نرمال	دبی اوج شبیه‌سازی شده	۱۵۷/۲	۱۱۹/۱	۹۰/۵	۲۰/۶	۳۳/۳	۴۷/۶	۶۶/۶	۹۲/۱	۱۲۲/۳	۲۹۰/۶	۲۴۴/۵	۱۹۸/۵
	درصد خطای دبی اوج	۶٪	-۱۸٪	-۳۸٪	-۸۵٪	-۷۷٪	-۶۷٪	-۵۴٪	-۳۷٪	-۱۶٪	۹۷٪	۶۶٪	۳۵٪
	حجم دبی اوج شبیه‌سازی شده	۱۲۴/۹	۹۴/۶	۷۱/۹	۱۶/۴	۲۶/۵	۳۷/۸	۵۳	۷۳/۱	۹۷/۱	۲۳۰/۹	۱۹۴/۳	۱۵۷/۷
	درصد خطای حجم دبی اوج	-۱۰٪	-۳۱٪	-۴۸٪	-۸۸٪	-۸۰٪	-۷۲٪	-۶۱٪	-۴۷٪	-۳۰٪	۶۶٪	۳۹٪	۱۳٪

نتیجه‌گیری  
کشکان مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل‌های اصلاحی SCS-CN به منظور برآورد بارش مؤثر حوضه در دو حالت پارامتر ثابت و پارامتر متغیر (CN و  $\lambda$ ) بصورت تابعی از عمق بارش در نظر

در این تحقیق، مدل GIUH در تلفیق با چهار مدل اصلاح شده SCS-CN به منظور شبیه‌سازی رواناب روزانه در حوضه آبریز

گرفتن مقادیر متغیر برای این پارامترها، مدل کمترین میزان خطا را در برآورد رواناب خروجی داشته است. مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی‌شده با استفاده از مقادیر متغیر پارامترهای CN و  $\lambda$  و مقادیر ثابت این پارامترها با هیدروگراف مشاهداتی نشان داد که تهیه هیدروگراف واحد لحظه‌ای با استفاده از مقادیر متغیر پارامترهای CN و  $\lambda$  در تخمین میزان بارش مؤثر، باعث افزایش کارایی و دقت مدل می‌شود. نتایج این تحقیق بر لزوم در نظر گرفتن فرم‌های اصلاحی مدل SCS-CN، توجه به تغییرات زمانی پارامترهای مؤثر در مدل‌های بارش-رواناب بخصوص در حوضه‌های غیرهمگن و مواردی که دستخوش تغییرات شدید کاربردی اراضی می‌باشد به منظور اتخاذ برنامه‌ریزی صحیح مدیریت سیلاب تأکید می‌نماید.

گرفته شدند. با توجه به تغییرپذیری زیاد پارامترهای CN و  $\lambda$  در حوضه‌هایی که دستخوش تغییرات کاربری و دخالت‌های انسانی می‌باشند و نقش بسیار مهم این پارامترها در دقت نتایج بدست آمده، انجام عمل واسنجی و توجه به زمانی و مکانی آنها در سطح حوضه، الزامی می‌باشد. آنالیز حساسیت رواناب شبیه‌سازی‌شده توسط مدل پیشنهادی نسبت به پارامترهای مدل SCS-CN نشان داد که تغییرات مقدار پارامتر CN بر روی نتایج، تأثیر شدیدتری نسبت به پارامتر  $\lambda$  داشته است که می‌تواند به دلیل دخالت عوامل انسانی در حوضه مورد مطالعه مربوط دانست. همچنین با ارزیابی عملکرد مدل‌های SCS-CN طی دوره‌های نرمال، ترسالی و خشکسالی مشخص شد که با در نظر

## REFERENCES

- Azizian, A. and Shokouhi, A. (2013). Evaluation of the Effect of Separation of Digital Elevation Models and the Limits of the Formation of Channels on the Results of the Model of Geomorphologic Rainfall-Runoff Model Based on the Kinetic Wave (KW-GIUH) *Hydraulic Scientific Journal*, Vol 8 , No. 3, Autumn 2013, pp. 18-1. (In Farsi)
- Dabbaghian Amiry, M. and Mohammadi, A. A. (2012). Regional model for peak discharge estimation in ungauged drainage basin using GIUH, Snyder, SCS and triangular models. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 4(4), 86-96.
- Fattahi, A. and Fatahi Nafchi, R. and Samadi Boroujeni, H. and Abdollahi, Kh. (2013). Evaluation of SCS hydrograph and geomorphologic moment unit unit (GIUH) hydrograph in Jongqan catchment area. *Iranian Journal of Water Research*. 7 (13), 208-205. (In Farsi)
- Geravand, F. (2015). Determination of Flood Plain Limits of Kashkan River Using HEC-RAS Model. Master's degree in natural geography. Associate Professor Seiyed Mossa Hosseini and Mansour Jafaribegloo, Faculty of Geography, University of Tehran. (In Farsi)
- Gholami Somaee, F., Fakherifard, A. and Dinipazhu, Y. (2011). Geomorphologic unit hydrograph extraction based on cascade linear reservoirs (Case study: Lighvan Basin). *Irrigation Science & Engineering*, 34(2), 93-83. (In Farsi)
- Grunwald, S. and Norton, L. D. (2000). Calibration and validation of a non-point source pollution model. *Agricultural Water Management*, 45(1), 17-39.
- Gupta, V. K., Waymire, E. and Wang, C. T. (1980). A representation of an instantaneous unit hydrograph from geomorphology, *Water Resources Research*., 16, pp. 855-862.
- Hawkins, R.H. (1993). Asymptotic determination of runoff curve numbers from data. *J. Irrig.Drain. Eng.*, 119, 334-345.
- Hosseini, S. M., Jaffar Biglou, M. and Geravand, F. (2015). Determination of Kashkan River flood plains using a hydraulic model to reduce the hazard, *hazard knowledge*, Volume 2, Issue 3, Autumn 1394, Pages 369-355. (In Farsi)
- Hosseini, S. M. and Jaffar Biglou, M., Yamani, M. and Geravand, F. (2014). Estimation of Historical Flood of Kashkan River Using HEC-HMS Hydrological Model, *Quantitative Geomorphology Researches*, 4(1), 133-118. (In Farsi)
- Hosseini, S. M. and Mahjouri, N. and Riahi S. (2016). Development of a Direct Geomorphologic IUH Model for Daily Runoff Estimation in Ungauged Watersheds. *International Journal of American Society of Civil Engineers*, DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001333.
- Jain, S. K., Singh, R. D. and Set, S. M. (2000). Design Flood Estimation Using GIS Supported GIUH Approach, *Journal of Water Resources Management*, 14, 369-376.
- Jena, S. K. and Tiwari, K. N. (2006). Modeling synthetic unit hydrograph parameters with geomorphologic parameters of watersheds, *Journal of Hydrology* 319, 1-14.
- Karami, F. and Esmailpour, M. (2014). Estimation of runoff using a geomorphologic moment unit hydrograph model (Case study: Daryan basin). *Journal of Hydrogeomorphology*, 1, 157-145. (In Farsi)
- Kowalik, T. and Walega, A. (2015). Estimation of CN parameter for small agricultural watersheds using asymptotic functions. *Water*, 7(3), 939-955.
- Kumar, A. (2014). Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph Based Hydrologic Response Models for Ungauged Hilly Watershed in India, *Water Resources Management*, DOI 10.1007/s11269-014-0848-z.
- Kumar, R. C., Chatterjee C., Lohani A. K., Sing R. D. and Kumar S. (2007). Runoff estimation for an ungauged catchment using geomorphological



- instantaneous unit hydrograph (GIUH) *Models. Hydrological Process.* 21, 1829-1840
- Kumar, R., Chatterjee, C., Singh, R. D., Lohani, A. K. and Kumar, S. (2004). GIUH based Clark and Nash models for runoff estimation for an ungauged basin and their uncertainty analysis. *IntL. J. River Basin Management*, 2(4), 281-290.
- Mishra, S., Jain, K., and Bhunya, M. K. and Singh, V. P. (2004). Field Applicability of the SCS-CN-Based Mishra–Singh General Model and its Variants. *Water Resources Management*, 19, 37–62.
- NRCS, (1997). Part 630 - Hydrology, National Engineering Handbook. Washington D.C.
- Negareh, H., Tavousi, T. and Mehdinasab, M. (2011). Check the intensity of the flood waters of the Kashkan River catchment area. *Lar Geographic Journal*, 13, 58-49. (In Farsi)
- Razeei, T., Shokouhi, A. and Ebadi, F. (2011). Graceful identification of the probability distribution function on rainfall data of different weather zones at different time scales (SPI) of Iran In order to calculate the standard rainfall profile, *The first national conference on drought and climate change in Iran*, Karaj, Iran, 28-39. (In Farsi)
- Regional water company in Lorestan province, (2013). Information and specification of rivers of Lorestan province. (In Farsi)
- Rodriguez-Iturbe, I. and Valdes, J. B. (1979). The geomorphological structure of hydrologic response, *Water Res. Res.*, 15(6), 1409-1420.
- Sadeghi, S.H. and Dehghani, M. (2006). Precision of estimating the coefficient of water consumption of the instantaneous unit in the reconstruction of the water source of the flood unit. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 3, 33-42. (In Farsi)
- Saghafiyani, B., Shamsaee, A., Tabandeh, S. M. and Jalalpur, H. (2011). Estimation of runoff using GIUH method, *the first international conference on dam and hydroelectric power plants*. (In Farsi)
- Soulis, K. X. and Valiantzas, J. D. (2012). SCS-CN parameter determination using rainfall-runoff data in heterogeneous watersheds-the two-CN system approach. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(3), 1001.
- Sorman, A. U. (1995). Estimation of peak discharge using GIUH model in Saudi Arabia. *J. Water Resour Plann Manage* 121(4), 287–293.
- Suriynejad, A. (2002). Estimate of Runoff Volume of Kashkan River Basin Using GIS, *Geographical Research*, 2002 (43), 80-57. (In Farsi)
- Valdes, J. and Fiallo. Y. and Rodriguez-Iturbe, I. (1997). A rainfall-runoff analysis of the geomorphologic IUH. *Water Resources Research*, 15 (6), 1421–1434.
- Viji, R., Prasanna P.R. and Ilango R. (2015). Modified SCS-CN and Green-Ampt Methods in Surface Runoff Modelling for the Kundahpallam Watershed, Nilgiris, Western Ghats, India, *Aquatic Procedia*, 4, 677–684.
- Yen, B. C. and Lee, K. T. (1997). Unit hydrograph derivation for ungauged watersheds by stream-order laws. *Journal of hydrology engineering*, 2(1), 1-9. DOI: 10.1061/(ASCE)1084-0699(1997)2:1(1)
- Zelazinski, J. (1986). Application of geomorphological instant unit hydrograph theory to development of forecasting models in Poland, *Hydrological Sciences Journal*, 32(2), 263-270.
- Zhang, B. and Govindaraju, R. S. (2003). Geomorphology-based artificial neural networks (GANNs) for estimation of direct runoff over watershed. *Journal of hydrology*, 273, 18-34.