

بررسی مقایسه‌ای مدل متداول و واسنجی شده شماره منحنی در برآورد سیلاب و رواناب (حوضه‌های مورد مطالعه: گالیکش، تمر، وطن، کچیک و نوده در استان گلستان)

ساناز دایی^۱، میثم سالاری جزی^{۲*}، خلیل قربانی^۳، مهدی مفتاح هلقی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۶/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۱

چکیده

مدل متداول شماره منحنی (SCS-CNT) که بر اساس کاربرد جدول پیشنهادی توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) است به طور گسترده‌ای توسط محققین و مهندسين مورد استفاده قرار می‌گیرد. لیکن ممکن است ویژگی‌های حوضه آبریز مورد بررسی کاملاً متفاوت با شرایط استخراج مدل SCS-CNT باشد. واسنجی مدل شماره منحنی (SCS-CNC) می‌تواند یک راه حل در این زمینه باشد. در این مطالعه، ۳۷ رویداد بارش - رواناب در پنج حوضه آبریز تمر، گالیکش، نوده، وطن و کچیک (به ترتیب با مساحت‌های ۱۵۲۷، ۴۰۱/۴۵، ۷۸۹/۶۵، ۱۰/۷۷ و ۳۶ کیلومتر مربع) در استان گلستان مورد بررسی قرار گرفت و از ۱۴ رویداد برای مقایسه مدل‌های SCS-CNT و SCS-CNC استفاده گردید. مقایسه نتایج بر اساس معیارهای آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ناش - ساتکلیف (NSE) و خطای برآورد دبی اوج (PEP) صورت گرفت. معیارهای RMSE و NSE در ۷۹٪ موارد بهبود دقت برآورد هیدروگراف و معیار PEP در ۸۶٪ موارد بهبود دقت برآورد دبی اوج در مدل SCS-CNC نسبت به مدل SCS-CNT را تایید کردند. مدل‌های SCS-CNT و SCS-CNC به ترتیب در ۸ و ۷ رویداد منجر به کم‌برآوردی و در ۶ و ۷ رویداد موجب بیش-برآوردی دبی اوج شده‌اند. نتایج موید آن است که کاربرد مدل واسنجی شده شماره منحنی موجب بهبود نتایج شبیه‌سازی در پنج حوضه مورد مطالعه شده است.

واژه‌های کلیدی: دبی اوج، سیلاب، هیدروگراف، (CN)

مقدمه

بررسی رابطه بین بارش و رواناب از مسایل مهم و پیچیده در هیدرولوژی آب‌های سطحی است. در این زمینه، تحقیقات زیادی انجام شده و روش‌های تجربی زیادی برای برآورد دبی اوج، حجم و زمان رسیدن به دبی اوج رواناب در مقیاس حوضه آرایه شده است. از آن‌جا که داده‌های ثبت شده برای مدل‌سازی بارش - رواناب در ایران در اغلب موارد محدود بوده و در برخی موارد نیز موجود نیست، استفاده از روش‌های تجربی می‌تواند گزینه مناسبی برای برآورد سیلاب باشد.

(Ebrahimian., 2012). از مدل‌های شاخص برای برآورد سیلاب در حوضه‌های فاقد آمار می‌توان مدل آبخیزداری دانشگاه بریتیش کلمبیا (UBCWM)، روش شماره منحنی (SCS-CN) و هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک (GIUH) را نام برد (Beckers et al., 2009). در زمینه کاربرد روش هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک برای برآورد سیلاب در حوضه‌های فاقد آمار در ایران می‌توان به تحقیقات ادیب و همکاران و عیدیپور و همکاران به ترتیب در حوضه‌های کسلیان و ابوالعباس اشاره کرد که در این مطالعات مقایسه هیدروگراف مشاهده‌شده و هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک (GIUH) بیانگر عملکرد مناسب این مدل بوده است (Adib et al., 2010 and 2011; Eidipour et al., 2016). در بین این مدل‌ها، مدل SCS-CN، به دلیل سادگی و انعطاف‌پذیری، کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده است (Zhan and Huang., 2004). این روش، ضمن ترکیب خصوصیات حوضه و عوامل آب و هوایی، یک پارامتر به نام شماره منحنی (CN)، که نقشی اساسی در برآوردهای حاصل از این مدل دارد را معرفی کرده است. مقدار این پارامتر براساس کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیک خاک و با استفاده از

- ۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
 - ۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
 - ۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
 - ۴- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
- (* نویسنده مسئول: Email: meysam.salarigazi@gmail.com)

داده‌های مشاهده‌ای مقایسه شد. نتیجه مطالعه در حوضه ونکوان نشان داد که استفاده از رویدادهای بارش - رواناب نسبت به تصاویر ماهواره‌ای برای محاسبه شماره منحنی کاربردی‌تر است (Wang et al., 2016). روش تخمین شماره منحنی با استفاده از داده‌های بارش - رواناب را به نام CN(PQ) و با استفاده از کاربری اراضی را CN(LU) نامیدند. مقدار CN(LU) به کمک تصاویر ماهواره‌ای و GIS به دست آمد. نتایج نشان داد که مقادیر CN(PQ) و CN(LU) بسیار نزدیک به هم برآورد شده است (Deshmukh et al., 2013). برخی از محققین در تحقیقات خود به جای استفاده از شماره منحنی حاصل از جدول SCS، از شماره منحنی برآورد شده از داده‌های بارش - رواناب استفاده کردند. در پلات‌های کشاورزی با شیب متغیر (۵/۶ تا ۲۵ درجه) رابطه بین رواناب به دست آمده از مدل SCS-CN و گرادیان شیب را بررسی کردند. برای محاسبه شماره منحنی، از ۵ رویداد بارش - رواناب ثبت شده استفاده شد. نتایج نشان داد که با افزایش شیب، رواناب افزایش می‌یابد و در شیب بحرانی به حداکثر مقدار خود می‌رسد. برای ارزیابی نتایج شبیه‌سازی از معیارهای نش - ساتکلیف و خطای نسبی استفاده شد و مقدار نش - ساتکلیف، ۰/۷۶ و مقدار خطای نسبی ۷/۲۴ درصد به دست آمد (Chen et al., 2014). در حوضه شهری واقع در جنوب غربی ورشو، با استفاده از ۳۹ رویداد بارش - رواناب در طول دوره ۴ ساله، مقدار شماره منحنی حوضه مورد مطالعه را برآورد کرده و کاربرد آن را در مناطق شهری فاقد آمار بررسی کردند (Anasik et al., 2014). در مطالعه‌ای مدل SCS-CN در سه حوضه‌ی شمال اسپانیا با شرایط مختلف از نظر نوع خاک، توپوگرافی و مدیریت بررسی کردند. برای این کار از داده‌های بارش - رواناب اندازه‌گیری شده در دوره ۶ ساله استفاده شد و مقدار شماره منحنی بر اساس این داده‌ها محاسبه گردید (Taguas et al., 2015). در حوضه با شرایط هیدرولوژیک خشک و سطح بیش‌تری از نفوذناپذیری، عملکرد مدل نسبت به دو حوضه دیگر ضعیف ارزیابی شده است. نتایج تحقیقات انجام شده در ایران نیز نشان‌دهنده تأکید بر بهینه کردن پارامترهای مدل SCS-CN است. در حوضه آبخیز امامه صادقی و همکاران (۲۰۰۰)، صادقی و همکاران (۱۳۸۷) و نساجی زواره و مهدوی (۱۳۸۴) مدل SCS-CN را به منظور برآورد رواناب به کار بردند (Sadeghei et al., 2000). نتایج پژوهش‌های آن‌ها نشان داد که این مدل در شرایط عدم واسنجی قادر به برآورد دقیق مقدار رواناب در این حوضه نمی‌باشد. نشاط و صدقی (۱۳۸۵) در حوضه ملک و ملکیان و همکاران در حوضه لبقوان، شماره منحنی به دست آمده بر اساس جدول SCS را با شماره منحنی بهینه شده بر اساس داده‌های بارش - رواناب مقایسه کردند (Malekian et al., 2005). نتایج نشان داد که شماره منحنی به دست آمده از داده‌های بارش - رواناب دقت بیش‌تری در برآورد رواناب دارد. بررسی تحقیقات موید آن است که مدل شماره منحنی یک مدل بسیار پر کاربرد در برآورد

جدول SCS بدست می‌آید. از آن‌جا که جدول SCS برای مناطق خشک و نیمه‌خشک آمریکا پیشنهاد شده است، استفاده از آن در خارج از این مناطق می‌تواند همراه با خطا باشد که این مطلب مورد تأکید برخی پژوهشگران است. بلز و بتسون و هاووزر و جونز اعتبار پارامتر شماره منحنی را به عنوان یک شاخص هیدرولوژیک در برخی از حوضه‌های آبخیز در آمریکا بررسی کرده و نشان دادند که رواناب حاصل از بارش در مقابل تغییرات پارامتر CN بسیار حساس است و بر اهمیت به دست آوردن پارامتر منطقه‌ای تأکید کردند (Bales and Betson., 1981; Hauser and Jones., 1991). هاوکینز پیشنهاد کرده است که مقدار شماره منحنی با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده بارش - رواناب برآورد شود (Hawkins., 1993). در همین راستا گرانوالد و نورتون با استفاده از ۵۲ رویداد بارش - رواناب در دو حوضه از بایرن، نتایج شبیه‌سازی سیلاب با استفاده از سه مدل (مدل استاندارد SCS-CN، مدل شماره منحنی واسنجی شده و مدل لوتز) را مقایسه کردند (Grunwald and Norton., 2000). نتایج نشان داد که مدل استاندارد SCS-CN مقادیر رواناب را کم‌تر از مقدار واقعی برآورد کرده است و در مجموع نتایج مدل‌های لوتز و مدل شماره منحنی واسنجی شده بهتر بوده است. در مطالعه‌ای با بهینه کردن پارامترهای شماره منحنی و ضریب جذب اولیه، حجم سیلاب را در حوضه سیچوان چین برآورد کردند. نتیجه این تحقیق امکان استفاده از مدل SCS-CN برای برآورد حجم سیلاب در زمین‌های شیب‌دار این منطقه را نشان داد (Gao et al., 2006). در سه حوضه نیمه-خشک در هند، مقادیر رواناب به دست آمده با پنج روش (شماره منحنی حاصل از جدول SCS، شماره منحنی حاصل از رویدادهای ثبت شده، روش رتبه‌بندی، روش لوگ نرمال و روش احتمال S) را مقایسه کردند. نتایج نشان داد که رواناب به دست آمده با سه روش اول نزدیک به هم بوده و نتایج روش لوگ نرمال به مقدار مشاهده‌ای نزدیک‌تر بود (Ali and Sharda., 2008). در ۳۶ پلات کشاورزی کوچک در هند، مقدار شماره منحنی به دست آمده با هشت روش (میانگین رویدادهای مشاهده‌ای، میانگین رتبه‌بندی شده، لوگ نرمال، احتمال S، میانگین هندسی و توزیع حداقل مربع) مقایسه کردند. در رتبه‌بندی نهایی مدل‌ها از نظر دقت در برآورد رواناب، شماره منحنی به دست آمده بر اساس میانگین رویدادهای مشاهده‌ای در رتبه سوم و شماره منحنی به دست آمده بر اساس میانگین رویدادهای مشاهده‌ای در رتبه هفتم قرار گرفتند (Lal et al., 2016). تحقیقات بسیاری انجام شده که در آن‌ها عملکرد شماره منحنی بهینه شده با استفاده از داده‌های بارش - رواناب مشاهده‌ای بهتر از مدل استاندارد SCS-CN بوده است (Lal et al.; Menberu et al., 2015). Oliveira et al., 2016: al., 2016 در برخی از تحقیقات، کاربری اراضی از روی تصاویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی شده به دست آمده و سپس شماره منحنی حاصل از جدول SCS با شماره منحنی حاصل از

به طول‌های ۵۱°۵۳' الی ۱۴°۵۶' شرقی و عرض‌های ۳۴°۳۶' الی ۵°۳۸' شمالی می‌باشد. استان گلستان با توجه به موقعیت جغرافیایی خود، ارتفاع و امتداد رشته کوه‌های البرز، و فاصله از دریا، آب و هوایی گوناگونی دارد. بدین گونه که محدوده شمال شرق استان آب و هوایی نیمه خشک و غرب استان آب و هوای معتدل دارد. بنابراین، در تحقیق حاضر سعی شده است در انتخاب حوضه‌های مورد مطالعه علاوه بر وجود آمار، تنوع اقلیمی آن‌ها نیز مدنظر قرار گیرد. در حوضه‌های انتخابی حداقل ارتفاع ۱۰۷ متر و حداکثر آن ۲۸۷۷ متر است. در حوضه‌های منتخب برای مطالعه مقدار حداقل بارش متوسط سالانه ۳۶۴ میلی‌متر در حوضه کچیک و حداکثر بارش متوسط سالانه ۷۷۱/۶ میلی‌متر در حوضه گالیکش است. همچنین، حداقل دمای متوسط سالانه ۱۳ درجه سانتی‌گراد در حوضه نوده و حداکثر دمای متوسط سالانه ۲۱/۸ درجه سانتی‌گراد در حوضه کچیک است. در جدول ۱ مشخصات حوضه‌های مورد مطالعه ارائه شده است. موقعیت حوضه‌های مطالعاتی در شکل ۱ ارائه شده است.

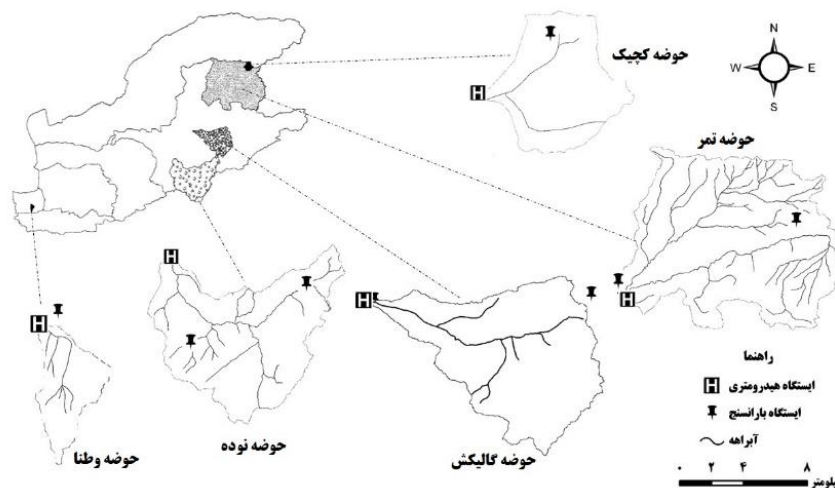
سیلاب و مدل‌سازی مشخصه‌های سیلاب است که علی‌رغم ویژگی‌های خاص مناسب خود ممکن است برای مناطق مورد استفاده دارای کارایی و دقت لازم نباشد. بنابراین، واسنجی پارامتر شماره منحنی می‌تواند به عنوان یک راه‌حل اصلاحی در نظر گرفته شود. هدف این مطالعه، بررسی نتایج مدل متداول شماره منحنی با استفاده از داده‌های ثبت شده بارش - رواناب در پنج حوضه آبریز در استان گلستان و مقایسه نتایج آن با کاربرد مدل واسنجی شده شماره منحنی، بر اساس معیارهای ارزیابی دقت شبیه‌سازی می‌باشد. نتایج این بررسی می‌تواند تا حدودی به عنوان یک آگاهی اولیه برای کاربرد صحیح و منطقی مدل شماره منحنی در استان گلستان به کار رود.

مواد و روش‌ها

مشخصات حوضه‌های مورد مطالعه: استان گلستان با مساحتی بالغ بر ۲۰۳۱۲ کیلومترمربع، حدود ۱/۳ درصد از مساحت کل کشور را شامل می‌شود. این استان از نظر مختصات جغرافیایی محدود

جدول ۱- مشخصات فیزیوگرافی حوضه‌های مطالعاتی

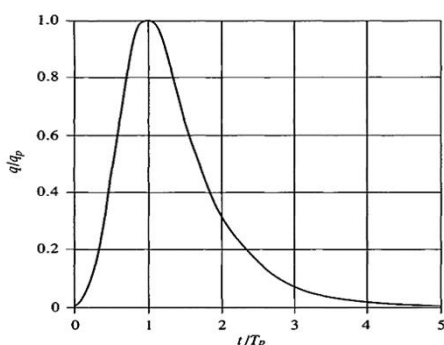
ردیف	نام حوضه	مساحت (کیلومترمربع)	محیط (کیلومتر)	ارتفاع متوسط (متر)	شیب متوسط حوضه (درصد)	طول آبراهه اصلی (کیلومتر)
۱	نمر	۱۵۲۷	۲۸۷/۸۷	۱۱۳۱/۵	۱۹/۵	۹۴
۲	گالیکش	۴۰۱/۴۵	۱۳۸/۵۴	۱۳۵۸/۵	۲۷/۵	۵۷/۸
۳	کچیک	۳۶	۲۵/۸۱	۹۲۸	۱۸/۷۵	۹/۶
۴	نوده	۷۸۹/۶۵	۲۰۷/۷۷	۱۵۴۰/۷	۲۸	۶۵/۶۹
۵	وطنا	۱۰/۷۷	۲۰/۳۵	۸۹۸/۵	۳۲/۷۸	۷/۸



شکل ۱- موقعیت حوضه‌های آبریز مورد مطالعه در استان گلستان

مدل‌های مورد استفاده
 مدل استاندارد SCS-CN: مقدار رواناب (Q) در مدل SCS-CN، با استفاده از بارش (P) و جذب اولیه ($I_a = \lambda S$) برآورد می‌شود (رابطه ۱):

مدل‌های مورد استفاده
 مدل استاندارد SCS-CN: مقدار رواناب (Q) در مدل SCS-CN، با استفاده از بارش (P) و جذب اولیه ($I_a = \lambda S$) برآورد می‌شود (رابطه ۱):



شکل ۲- هیدروگراف بی بعد SCS

$$T_p = \frac{tr}{2} + t_p \quad (7)$$

تخمین شماره منحنی در مدل استاندارد و واسنجی شده SCS-CN

شماره منحنی به دست آمده از جدول: در مدل SCS-CN، بر اساس معادله ۲ پارامترهای ورودی به مدل، شامل مقدار بارش، ظرفیت نگهداشت حوضه (S) یا شماره منحنی (CN) می باشد که مقدار S بر اساس CN به دست می آید. مقدار شماره منحنی حوضه های مورد مطالعه از تلفیق نقشه های کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیک خاک (تهیه شده از اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان) و با استفاده از جدول SCS برآورد شد. در جدول ۲، مقدار شماره منحنی حوضه ها آورده شده است.

شماره منحنی به دست آمده از رویدادهای بارش -

رواناب: در مدل SCS-CN شماره منحنی به دست آمده از جدول SCS برای هر رویداد مشاهده ای بارش - رواناب و با استفاده از معیار ارزیابی خطای نش - ساتکلیف (NSE) در نرم افزار EXCEL بهینه شد. ۷۰ درصد از رویدادها برای واسنجی استفاده شد و مقدار میانه پارامتر بهینه شده، برای صحت سنجی ۳۰ درصد رویدادهای باقی مانده بکار رفت.

معیارهای ارزیابی مدل: برای ارزیابی عملکرد مدل و تعیین

مقدار خطای بین داده های مشاهده ای و محاسبه ای، از چهار معیار ارزیابی خطا استفاده شد. معیارهای ارزیابی خطا عبارتند از: (۱) ریشه میانگین مربعات خطا RMSE (Sahu et al., 2010)؛ (۲) Nash and (۲۰۱۳)؛ (۳) معیار کارایی نش - ساتکلیف (NSE) (Nash and ۱۹۷۰؛ Yuan et al., 2014)؛ و (۴) خطای برآورد دبی اوج (Eidipour et al., 2016؛ Adib et al., 2010-2011)؛ PEP اوج

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \text{ اگر } P \geq I_a \quad (1)$$

$$Q = 0 \text{ اگر } P \leq I_a$$

مقدار S (حداکثر پتانسیل نگهداشت) با استفاده از پارامتر بی بعد CN (شماره منحنی) تعیین می شود. مقدار CN از صفر (بدون رواناب، S=∞) تا ۱۰۰ (همه بارش به رواناب تبدیل شود، S=0) متغیر است. برای λ=۰/۲ معادله ۱ به صورت معادله ۲ بدست می آید. در معادله ۳ نحوه محاسبه مقدار S با استفاده از پارامتر CN آورده شده است (مقدار S بر حسب میلی متر است).

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \text{ اگر } P \geq I_a \quad (2)$$

$$Q = 0 \text{ اگر } P \leq I_a$$

$$S = \frac{24500}{CN} - 254 \quad (3)$$

مقدار CN بر اساس کاربری اراضی، گروه هیدرولوژیک خاک و جدول SCS به دست می آید. مقدار شماره منحنی که از این جدول به دست می آید برای شرایط رطوبتی متوسط (AMC-II) حوضه است. مقدار CN برای شرایط خشک (AMC-I) و شرایط مرطوب (AMC-III) بر اساس روابط ۴ و ۵ تعیین می شود. (Chow et al., 1988).

$$CN_I = \frac{4.2 CN_{II}}{10 - 0.058 CN_{II}} \quad (4)$$

$$CN_{III} = \frac{23 CN_{II}}{10 + 0.13 CN_{II}} \quad (5)$$

برآورد هیدروگراف رواناب

هیدروگراف بی بعد SCS یک هیدروگراف واحد مصنوعی است. مختصات نقاط هیدروگراف واحد از جدول بدون بعدی که در آن مقادیر نسبت زمان (t/Tp) در مقابل نسبت دبی هیدروگراف (q/qp) داده شده است، به دست می آید. با مشخص بودن مقادیر دبی اوج و زمان تاخیر بارش مازاد، می توان با استفاده از هیدروگراف مصنوعی، هیدروگراف واحد را برآورد کرد (شکل ۲). جهت محاسبه دبی اوج و زمان اوج از معادله های ۶ و ۷ استفاده می شود (Chow et al., 1988).

$$q_p = \frac{CA}{T_p} \quad (6)$$

در این معادله C=۲/۰۸ و A مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع می باشد. مطالعه هیدروگراف های واحد تعدادی از حوضه های کوچک و بزرگ نشان داده است که زمان تاخیر (tp) حوضه تقریباً برابر ۰/۶ زمان تمرکز (Tc) حوضه است (tp = 0.6 Tc). در رابطه ۷، tr نشان دهنده زمان تلاوم بارش مازاد است.

جدول ۲- درصد مساحت کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیک حوضه‌ها

ردیف	حوضه	کاربری اراضی (درصد)				گروه هیدرولوژیک			میانگین وزنی CN حوضه		
		کشت آبی	کشت دیم	جنگل	مرتع	مسکونی	A	B		C	D
۱	کچیک	۵۸/۵۸	-	۱۷/۰۹	۲۳/۹۷	۱/۳۶	-	۵۸/۴۷	۲۸/۰۸	۱۳/۴۵	۷۴
۲	وطنا	۰/۰۵	-	۹۹/۹۵	-	-	-	۹۹/۳	۰/۷	-	۷۲
۳	گالیکش	۲/۹	۳۷/۸۶	۵۱/۳۱	۷/۹۳	-	-	۹/۲۴	۹۰/۷۶	-	۷۵
۴	نوده	۱/۲۱	-	۲۸/۹۶	۶۹/۵۴	۰/۲۹	۱۴/۹۴	۳۲/۶۲	۴۴/۷۵	۷/۶۹	۷۳
۵	تمر	۰/۱۷	۳۴/۴۴	۲۶/۸۵	۳۸/۴۴	۰/۰۸	-	۱۶/۱۸	۸۳/۸۲	-	۷۶

نتایج و بحث

در این بخش عملکرد مدل‌های SCS-CN با استفاده از جدول SCS (SCS-CNT) و با استفاده از رویدادهای مشاهده‌ای بارش - رواناب (SCS-CNC) مقایسه شد. در هر حوضه برای ۷۰٪ از رویدادها مقدار شماره منحنی واسنجی شد. سپس شماره منحنی به-دست آمده در مرحله قبل برای صحت‌سنجی در رویدادهای باقی‌مانده استفاده شد و مقادیر خطای RMSE، NSE و PEP برای هر رویداد تعیین شد. در ادامه، مقادیر میانه و دامنه تغییرات معیارهای ارزیابی خطا برای حوضه‌ها آورده شده است. در جدول ۳، مقادیر شماره منحنی حاصل از جدول SCS و مقدار شماره منحنی بهینه‌شده برای رویدادهای منتخب در مرحله واسنجی، آورده شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_o - Q_c)_i^2} \quad (8)$$

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Q_o - Q_c)_i^2}{\sum_{i=1}^N (Q_o - \bar{Q}_o)^2} \right] \quad (9)$$

$$PEP = 1 - \frac{Q_{pc}}{Q_{po}} \quad (10)$$

در روابط ۸، ۹ و ۱۰، N: تعداد رویدادهای مشاهده شده، Q_o : دبی مشاهده شده در گام i، Q_c : دبی محاسبه شده در گام i، \bar{Q}_o : میانگین دبی هیدروگراف سیل مشاهده شده، Q_{pc} : دبی اوج محاسبه شده و Q_{po} : دبی اوج مشاهده شده است.

جدول ۳- مقادیر شماره منحنی جدول SCS و شماره منحنی واسنجی شده برای حوضه‌های مورد مطالعه

وطن		رویداد	گالیکش		رویداد
CN			CN		
SCS-CNC	SCS-CNT		SCS-CNC	SCS-CNT	
۸۶		۱۳۹۰/۶/۵	۸۸		۱۳۹۲/۲/۵
۸۴	۷۲	۱۳۹۱/۶/۱۲	۶۰		۱۳۸۳/۱۰/۱۸
۵۴		۱۳۹۱/۷/۲۲	۸۷		۱۳۹۲/۱۲/۲۲
کچیک		رویداد	۷۷	۷۵	۱۳۹۱/۴/۳۰
SCS-CNC	SCS-CNT		۸۱		۱۳۹۰/۷/۲۹
۸۹		۱۳۹۱/۶/۱۲	۶۳		۱۳۹۱/۱۱/۱۵
۵۶	۷۴	۱۳۹۳/۵/۲۳	۷۳		۱۳۸۳/۱۰/۲۲
نوده		رویداد	تمر		رویداد
SCS-CNC	SCS-CNT		SCS-CNC	SCS-CNT	
۶۷		۱۳۸۸/۸/۱۳	۶۱		۱۳۹۱/۱۱/۱۱
۷۸		۱۳۹۱/۱/۱۲	۶۷		۱۳۸۹/۴/۱
۸۰	۷۳	۱۳۸۹/۴/۱	۸۸	۷۶	۱۳۹۱/۶/۲
۷۵		۱۳۹۰/۷/۳۰	۸۱		۱۳۹۱/۲/۲۷
۶۹		۱۳۸۸/۹/۱	۹۱		۱۳۹۰/۶/۴
			۵۳		۱۳۹۱/۱۱/۱۵

در جدول ۴، مقادیر معیارهای ریشه میانگین مربعات خطا، نش - ساتکلیف و خطای برآورد دبی اوج برای رویدادهای حوضه‌های مورد مطالعه آورده شده است. بررسی معیار ریشه میانگین مربعات خطا در حوضه گالیکش نشان می‌دهد که استفاده از مدل واسنجی شده به جای مدل استاندارد SCS موجب کاهش خطا نشده است. بلکه مقدار این معیار در همه رویدادها به جز رویداد ۱۳۸۷/۱۱/۳۰ افزایش یافته است. همچنین رویداد ۱۳۸۸/۱۲/۳ در هر دو مدل مورد بررسی، بیشترین مقدار خطا نسبت به سایر رویدادها را دارد. بررسی مقدار معیار ارزیابی نش - ساتکلیف نشان می‌دهد که تنها در رویداد ۱۳۸۷/۱۱/۳۰ است که کاربرد مدل واسنجی شده موجب افزایش مقدار نش - ساتکلیف از ۹/۷- به ۱/۶- شده است و در سه رویداد دیگر این مقدار کم‌تر و ضعیف‌تر شده است. استفاده از مدل واسنجی شده موجب کاهش خطای برآورد دبی اوج در سه رویداد از چهار رویداد شده است و در یک رویداد باقی‌مانده (۱۳۹۱/۱۱/۲۵)

علاوه بر افزایش خطا، موجب بیش‌برآوردی شده است. در حوضه نوده، کم‌ترین مقداری خطای ریشه میانگین مربعات برای هر دو مدل استاندارد SCS و واسنجی شده در رویداد ۱۳۹۱/۰۱/۰۹ مشاهده می‌شود. کم‌ترین مقدار نش - ساتکلیف در هر دو مدل استاندارد و واسنجی شده مربوط به رویداد ۱۳۸۶/۰۵/۱۳ بود که با کاربرد مدل واسنجی شده مقدار نش - ساتکلیف از ۰/۲۳- به ۰/۰۷- افزایش داشت. همچنین، کاربرد مدل واسنجی شده در رویداد ۱۳۹۰/۰۶/۰۴ موجب افزایش مقدار نش - ساتکلیف از ۶۹/۵۴- به ۱۰/۲۸- شده است. کم‌ترین مقدار خطای برآورد دبی اوج با استفاده از مدل استاندارد در رویداد ۱۳۸۷/۱۱/۳۰ و کم‌ترین مقدار این خطا با استفاده از مدل واسنجی شده برابر ۰/۱۴ و مربوط به رویداد ۱۳۸۸/۱۲/۰۳ است. بیش‌ترین مقدار این خطا برای هر دو مدل در رویداد ۱۳۸۷/۱۱/۳۰ مشاهده می‌شود که به‌کاربردن مدل واسنجی شده موجب کاهش خطا و رسیدن آن به مقدار ۰/۷۱ شده است.

جدول ۴- مقادیر RMSE، NSE و PEP برای مرحله صحت‌سنجی در حوضه‌های مورد مطالعه

نوده						رویداد نوده	گالیکش						رویداد گالیکش
SCS-CNT			SCS-CNC				SCS-CNT			SCS-CNC			
PEP	NSE	RMS E	PEP	NSE	RMS E	PEP	NSE	RMS E	PEP	NSE	RMS E		
-۱	-۵/۳۱	۱۱/۸۳	-۰/۱۴	-۰/۱۱	۴/۹۶	۱۳۹۱/۱/۹	۰/۷	-۰/۹۴	۱۶/۲۳	۰/۲	-۱/۴	۱۷/۹	۱۳۸۸/۱۲/۰۳
-۲/۴	-۲/۴۶	۲۲/۷۴	-۰/۴۳	-۰/۹۶	۱۷/۱۲	۱۳۹۱/۶/۱۶	-۰/۲۲	-۹/۸۶	۳/۹۴	-۲/۱	-۱۳۸/۱	۱۴/۱	۱۳۹۱/۱۱/۲۵
-۰/۸۸	-۰/۳۳	۸۱/۶۲	-۰/۷۱	-۰/۰۷	۲۶/۲۶	۱۳۸۶/۵/۱۳	-۱/۳۹	-۹/۷	۶/۵۷	۰/۸	-۱/۶	۳/۳	۱۳۸۷/۱۱/۳۰
-۲/۵۷	-۶۹/۵۴	۶۹/۹۲	-۰/۵۱	-۱۰/۲۸	۲۷/۹۷	۱۳۹۰/۶/۴	-۰/۶۴	-۰/۸۹	۶/۰۹	-۰/۶	-۸/۴	۱۳/۶	۱۳۹۱/۱۱/۱۳
وطنا						رویداد وطن	تمر						رویداد تمر
SCS-CNT			SCS-CNC				SCS-CNT			SCS-CNC			
PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE	RMSE		
۰/۹	-۰/۸	۴/۸	-۰/۰۹	۰/۶	۲/۲۲	۱۳۹۳/۳/۲۴	-۰/۶۲	-۰/۷۳	۱۲/۴۰	۰/۷۸	-۰/۵۸	۱۱/۸۴	۱۳۹۰/۶/۵
کچیک						رویداد کچیک	-۶/۹	-۴۲۹/۱۲	۱۲۰/۶۳	-۰/۲۴	-۲۰/۳۱	۲۶/۸۵	۱۳۹۰/۶/۳
SCS-CNT			SCS-CNC				-۰/۷۴	-۳/۷۵	۵/۲۶	۰/۰۹	-۰/۵۸	۳/۰۴	۱۳۹۱/۱۱/۱۲
۰/۶	-۲/۸۶	۲/۸۹	-۰/۲۶	-۰/۲۹	۱/۶۷	۱۳۹۱/۴/۲۶	-۱/۷۳	-۱۳/۶۶	۶۸/۸۱	۰/۶۲	-۰/۱۵	۱۹/۲۶	۱۳۸۸/۱۲/۴

۱۳۹۰/۰۶/۰۵ موجب افزایش خطای برآورد دبی اوج شده است. ولی در سایر رویدادها مقدار این خطا کاهش یافته است. کم‌ترین مقدار خطای برآورد دبی اوج در رویداد ۱۳۹۱/۰۱/۱۲ است که استفاده از مدل واسنجی شده موجب کاهش این خطا به میزان ۰/۰۹ شده است. بیش‌ترین مقدار این خطا در رویداد ۱۳۹۰/۰۶/۰۳ و برابر ۶/۹- است که در مدل واسنجی شده این خطا به مقدار ۰/۲۴- کاهش یافته است. در حوضه‌های وطن و کچیک به‌علت محدودیت تعداد رویدادهای ثبت شده، یک رویداد برای صحت‌سنجی باقی‌مانده است. در حوضه وطن، استفاده از مدل SCS-CNC موجب کاهش خطای برآورد شده است. به طوری که مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا، نش - ساتکلیف

در حوضه تمر، استفاده از مدل واسنجی شده نسبت به مدل استاندارد موجب کاهش خطای ریشه میانگین مربعات شده است. به طوری که مقدار این خطا در رویداد ۱۳۹۰/۰۶/۰۳ بسیار کاهش یافته است. همچنین، کم‌ترین مقدار این خطا در هر دو مدل استاندارد (۵/۲۶) و واسنجی شده (۳/۰۴) مربوط به رویداد ۱۳۹۱/۰۱/۱۲ است. کم‌ترین مقدار نش - ساتکلیف در مدل استاندارد برابر ۳/۷۵- در رویداد ۱۳۹۱/۰۱/۱۲ و در مدل واسنجی شده برابر ۰/۱۵- در رویداد ۱۳۸۸/۱۲/۰۴ مشاهده شد. بیش‌ترین مقدار خطای نش - ساتکلیف با استفاده از مدل استاندارد در بین چهار رویداد برابر ۴۲۹/۱۲- است که نشان می‌دهد به‌کاربردن مدل واسنجی شده موجب افزایش آن به مقدار ۲۰/۳۱- شده است. استفاده از مدل واسنجی شده در رویداد

تفاوت زیادی نکرده است. در حوضه‌های نوده و تمر به ترتیب مقادیر حداقل و حداکثر ریشه میانگین مربعات خطا در مدل SCS-CNC نسبت به مدل SCS-CNT بسیار کم‌تر شده است. بیش‌ترین دامنه تغییرات در مدل SCS-CNC در حوضه نوده و در مدل SCS-CNT در حوضه تمر است. بررسی خطای نش - ساتکلیف نشان می‌دهد که در حوضه گالیکش، دامنه تغییرات مدل SCS-CNC نسبت به مدل SCS-CNT بیش‌تر است. اما در دو حوضه تمر و نوده نتیجه کاملاً برعکس است. به طوری که مقادیر حداقل دامنه تغییرات در مدل SCS-CNC نسبت به مدل SCS-CNT کاهش چشم‌گیری داشته است. در مقایسه، مقدار خطای برآورد دبی اوج در دو مدل نشان می‌دهد که مانند نتایج نش - ساتکلیف، در حوضه گالیکش و در مدل SCS-CNC مقدار دامنه تغییرات افزایش یافته است. ولی در دو حوضه نوده و تمر نتایج متفاوت است.

وخطای برآورد دبی اوج به ترتیب از ۰/۸، ۴/۸، ۰/۸- و ۰/۹ در مدل SCS-CNT به ۲/۲۲، ۰/۶ و ۰/۰۹ در مدل SCS-CNC بهبود یافته است. در حوضه کچیک نیز مانند حوضه وطناء، به کارگیری مدل SCS-CNC موجب کاهش خطای ریشه میانگین مربعات از ۲/۸۹ به ۱/۶۷ شده است و همچنین مقدار معیار نش - ساتکلیف از ۲/۸۶- به ۰/۲۹- بهبود یافته است. مقدار خطای برآورد دبی اوج با استفاده از مدل SCS-CNT کم‌برآورد و برابر ۰/۶ و با استفاده از مدل SCS-CNC بیش‌برآورد و برابر ۰/۲۶- است. جدول ۵، دامنه تغییرات و میانه مقادیر معیارهای ارزیابی خطا در حوضه‌های مطالعاتی را نشان می‌دهد. از آنجایی که تنها یک رویداد در مرحله صحت‌سنجی حوضه‌های وطناء و کچیک باقی‌مانده است، آرایه دامنه تغییرات و میانه برای معیارهای ارزیابی خطای این دو حوضه ممکن نیست. مقایسه دامنه تغییرات ریشه میانگین مربعات خطا در دو مدل SCS-CNT و SCS-CNC در حوضه گالیکش نشان می‌دهد که دامنه تغییرات

جدول ۵- دامنه تغییرات و میانه مقادیر RMSE، NSE و PEP در حوضه‌های مورد مطالعه

مدل	معیار خطا	پارامتر	گالیکش	نوده	تمر
SCS-CNC	RMSE	میانه	۱۳/۸	۲۲/۵۴	۱۵/۵۵
	دامنه تغییرات	(۱۷/۹) تا (۳/۳)	(۷۶/۲۶) تا (۴/۹۶)	(۲۶/۸۵) تا (۳/۰۴)	
SCS-CNC	NSE	میانه	-۵	-۰/۵۳	-۰/۵۸
	دامنه تغییرات	(-۱/۴) تا (-۱۳۸/۱)	(-۰/۰۷) تا (-۱۰/۲۸)	(-۰/۱۵) تا (-۲۰/۳۱)	
SCS-CNC	PEP	میانه	-۰/۲	-۰/۱۵	۰/۳۵
	دامنه تغییرات	(۰/۸) تا (-۲/۱)	(۰/۷۱) تا (-۰/۵۱)	(۰/۷۸) تا (-۰/۲۴)	
SCS-CNT	RMSE	میانه	۶/۳	۴۶/۳۳	۴۰/۶۱
	دامنه تغییرات	(۱۶/۲۳) تا (۳/۹۴)	(۸۱/۶۲) تا (۱۱/۸۳)	(۱۲۰/۶۳) تا (۵/۲۶)	
SCS-CNT	NSE	میانه	-۵/۳	-۳/۸۸	-۸/۷
	دامنه تغییرات	(-۰/۸۹) تا (-۹/۸۶)	(-۰/۲۳) تا (-۶۹/۵۴)	(-۰/۷۳) تا (-۴۲۹/۱۲)	
SCS-CNT	PEP	میانه	۰/۴	-۱/۷	-۱/۲۳
	دامنه تغییرات	(۰/۷) تا (-۱/۳۹)	(۰/۸۸) تا (-۲/۵۷)	(۰/۶۲) تا (-۶/۹)	

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، عملکرد مدل شماره منحنی متداول یا استاندارد (SCS-CNT) که بر اساس کاربرد جدول SCS است، در کنار کاربرد مدل شماره منحنی واسنجی شده بر اساس داده‌های بارش - رواناب (SCS-CNC) در پنج حوضه آبریز در استان گلستان مورد ارزیابی قرار گرفت. برای بررسی نتایج، معیارهای آماری ریشه میانگین مربعات خطا، نش - ساتکلیف و خطای برآورد دبی اوج مورد توجه قرار گرفت و نتایج این دو مدل در پنج حوضه مقایسه شد که موارد زیر از بررسی این معیارها نتیجه‌گیری گردید:

- بررسی معیارهای ریشه میانگین مربعات خطا و نش - ساتکلیف در حوضه گالیکش نشان می‌دهد که در سه رویداد از چهار

مقایسه مقادیر میانه ریشه میانگین مربعات خطا در حوضه‌های مورد مطالعه، به غیر از حوضه گالیکش، نشان می‌دهد که مقدار این معیار خطا در مدل SCS-CNC کاهش یافته است. در بررسی میانه معیار ارزیابی نش - ساتکلیف ملاحظه می‌گردد که استفاده از مدل SCS-CNC در همه حوضه‌ها موجب بهبود برآورد هیدروگراف سیلاب است. در حوضه‌های گالیکش و کچیک، استفاده از مدل SCS-CNC علاوه بر کاهش مقدار میانه خطای برآورد دبی اوج، موجب بیش‌برآوردی دبی اوج است، همچنین در حوضه تمر، استفاده از مدل اصلاحی موجب کم‌برآوردی دبی اوج شده است. در حوضه وطناء، مقدار میانه خطای برآورد دبی اوج در مدل SCS-CNC نسبت به مدل SCS-CNT بسیار کم شده است.

منابع

- صادقی، ح.، مهدوی، م. و رضوی، ل. ۱۳۸۷. واسنجی ضریب حداکثر ذخیره و شماره‌ی منحنی مدل SCS در حوزه‌های آبریز امامه، کسلیان، درجزین و خان‌میرزا. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۴: ۱۲-۲۴.
- نساجی زواره، م. و مهدوی، م. ۱۳۸۴. برآورد دبی حداکثر سیل با استفاده از روش‌های مختلف شماره منحنی، مطالعه موردی در البرز مرکزی. مجله منابع طبیعی. ۵۸: ۳۱۵-۳۲۴.
- نشاط، ع. و صدقی، ح. ۱۳۸۵. برآورد میزان رواناب با استفاده از روش سازمان حفاظت خاک (SCS) و مدل HEC-HMS در حوضه آبخیز باغ ملک-استان خوزستان. مجله علوم کشاورزی. ۱۲: ۴: ۷۸۷-۷۹۸.
- Adib, A., Salarijazi, M., Vaghefi, M., Shoostari, M. M. and Akhondali, A. M. 2010. Comparison between GcIUH-Clark, GIUH-Nash, Clark-IUH, and Nash-IUH models. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences. 34.2: 91-104.
- Adib, A., Salarijazi, M. and Najafpour, K. 2010. Evaluation of synthetic outlet runoff assessment models. Journal of Applied Sciences and Environmental Management. 14.3: 13-18.
- Adib, A., Salarijazi, M., Shoostari, M. M. and Akhondali, A. M. 2011. Comparison between characteristics of geomorphoclimatic instantaneous unit hydrograph be produced by GcIUH based Clark Model and Clark IUH model. Journal of Marine Science and Technology. 19.2: 201-209.
- Ali, S. and Sharda, V. N. 2008. A comparison of curve number based methods for runoff estimation from small watersheds in a semi-arid region of India. Hydrology Research. 39.3: 191-200.
- Anasik, K., Krajewski, A., Sikorska, A. and Hejduk, L. 2014. Curve number estimation for a small urban catchment from recorded rainfall-runoff events. Archives of Environmental Protection. 40.3: 75-86.
- Bales, J. and Betson, R. P. 1981. The curve number as a hydrologic index. PP. 371-386. In: Singh, V. P. (Ed.). Rainfall Runoff Relationship, Water Resource Publications.
- Beckers, J., Smerdon, B. and Wilson, M. 2009. Review of hydrologic models for forest management and climate change applications in British Columbia and Alberta. FORREX- Forum for Research and Extension in Natural Resources, Kamloops, British Columbia, Canada.
- Chen, Z., Liu, X. and Zhu, B. 2014. Runoff estimation in hillslope cropland of purple soil based on SCS-CN model. Transactions of the Chinese Society of
- رویداد مورد بررسی، کاربرد مدل SCS-CNC نسبت به مدل متداول SCS-CNT موجب کاهش دقت برآورد هیدروگراف سیلاب شده است. در حالی که بررسی معیار خطای برآورد دبی اوج بیانگر آن است که در سه رویداد از چهار رویداد مدل SCS-CNC موجب بهبود دقت برآورد دبی اوج سیلاب شده است. مدل SCS-CNT در این حوضه تمایل به کم برآوردی دبی اوج دارد.
- در حوضه نوده، در مجموع بررسی هر سه معیار، ارزیابی مدل موید بهبود نتایج مدل SCS-CNC نسبت به مدل SCS-CNT است و همچنین مدل SCS-CNT در این حوضه تمایل به بیش برآوردی دبی اوج دارد.
- معیارهای نش - ساتکلیف و ریشه میانگین مربعات خطا بیانگر بهبود برآورد شکل هیدروگراف سیلاب در مدل SCS-CNC نسبت به مدل SCS-CNT در چهار رویداد مورد بررسی در حوضه تمر است. معیار خطای دبی اوج بیانگر بهبود برآورد دبی اوج در سه رویداد از چهار رویداد توسط مدل SCS-CNC است و البته مدل SCS-CNT در رویدادهای مورد بررسی تمایل به کم برآوردی و مدل SCS-CNT تمایل به بیش برآوردی دبی اوج داشت.
- در حوضه‌های کچیک و وطن، فقط یک رویداد برای مرحله صحت‌سنجی وجود داشت که بر اساس هر سه معیار مورد بررسی، مدل SCS-CNC موجب افزایش دقت برآورد شکل هیدروگراف و دبی اوج آن نسبت به مدل متداول SCS-CNT شد. در این دو حوضه، مدل SCS-CNT تمایل به کم برآوردی داشت.
- بررسی دامنه تغییرات معیار ریشه میانگین مربعات خطا نشان می‌دهد که کاربرد مدل SCS-CNC موجب افزایش دامنه تغییرات در حوضه‌های گالیکش و نوده و کاهش دامنه تغییرات در حوضه تمر نسبت به کاربرد مدل SCS-CNT شده است.
- کاربرد مدل واسنجی شده شماره منحنی موجب افزایش دامنه تغییرات معیار نش - ساتکلیف و خطای دبی اوج در حوضه‌های گالیکش و نوده و تمر نسبت به کاربرد مدل شماره منحنی متداول شد.
- بررسی مقادیر میانه معیار ریشه میانگین مربعات خطا نشان دهنده آن است که کاربرد مدل واسنجی شده شماره منحنی نسبت به کاربرد مدل متداول شماره منحنی موجب افزایش این مقدار در حوضه گالیکش شده، در حالی که در حوضه‌های نوده و تمر این مقدار کاهش یافته است.
- مقدار میانه معیارهای نش - ساتکلیف و خطای دبی اوج در هر سه حوضه گالیکش، نوده و تمر با کاربرد مدل SCS-CNC نسبت به کاربرد مدل SCS-CNT کاهش داشت.

- Cham.
- Malekian, A., Mohseni Saravi, M and Mahdavi, M. 2005. Applicability of the USDA-NRCS curve number method for runoff estimation. *Iranian Journal of Natural Resources*. 47.4: 621-634.
- Menberu, M.W., Haghghi, A.T., Ronkanen, A.K., Kværner, J and Klve, B. 2015. Runoff curve numbers for peat-dominated watersheds. *Journal of Hydraulic Engineering*. 20.4: 04014058.
- Nash, J.E and Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models. part I- A discussion of principles. *Journal of Hydrology*. 10.3: 282-290.
- Oliveira, P.T.S., Nearing, M.A., Hawkins, R.H., Stone, J.J., Rodrigues, D.B.B., Panachuki, E and Wendland, E. 2016. Curve number estimation from Brazilian Cerrado rainfall and runoff data. *Journal of Soil and Water Conservation*. 71.5: 420-429.
- Sadeghi, S.H.R., Singh, J.K and Das, G. 2000. Rainfall-runoff relationship model for Amameh watershed in Iran. *Proceedings International Conference on Integrated Water Resources Management*, New Delhi, pp. 796-804.
- Sahu, R.K., Mishra, S.K and Eldho, T.I. 2010. Comparative evaluation of SCS-CN-inspired models in applications to classified datasets. *Agricultural Water Management*. 97.5: 749-756.
- Taguas, E., Yuan, Y., Licciardello, F and Gómez, J. 2015. Curve numbers for olive orchard catchments: Case study in southern Spain. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 141.11: 683-694
- Wang, J., Ding, J., Zhang, C and Zhang, Z. 2016. Runoff simulation based on SCS mode in Bortala River Basin in Xinjiang. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 32.7: 129-135.
- Yuan, Y., Nie, W., McCutcheon, S.C and Taguas, E.V. 2014. Initial abstraction and curve numbers for semiarid watersheds in southeastern Arizona. *Hydrological Processes*. 28.3: 774-783.
- Zhan, X and Huang, M.L. 2004. ArcCN-Runoff: An ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps. *Environmental Modelling and Software*. 19.10: 875-879.
- Agricultural Engineering. 30.7: 72-81.
- Chow, V.T., Maidment, D.R and Mays, L.W. 1988. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, New York, USA. 572 p.
- Deshmukh, D.S., Chaube, U.C., Hailu, A.E., Gudeta, A.A and Kassa, M.T. 2013. Estimation and comparison of curve numbers based on dynamic land use land cover change, observed rainfall-runoff data and land slope. *Journal of Hydrology*. 492: 89-101.
- Ebrahimian, M. 2012. Application of NRCS-curve number method for runoff estimation in a mountainous watershed. *Caspian Journal of Environmental Sciences*. 10.1: 103.
- Eidipour, A., Akhondali, A.M., Zarei, H. and Salarijazi, M. 2016. Flood hydrograph estimation using GIUH model in ungauged karst basins (Case study: Abolabbas basin). *TUEXENIA*. 36.3: 26-33.
- Gao, Y.G., Zhu, B. and Miao, C.Y. 2006. Application of SCS model to estimate the volume of rainfall runoff in sloping field of purple soil. *Chinese Agricultural Science Bulletin*. 22.11: 396-400.
- Grunwald, S and Norton, L.D. 2000. Calibration and validation of a non-point source pollution model. *Agricultural Water Management*. 45.1: 17-39.
- Hawkins, R.H. 1993. Asymptotic determination of runoff curve numbers from data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 119.2: 334-345.
- Hauser, V.L and Jones, O.R. 1991. Runoff curve numbers for the Southern High Plains. *Transactions of the ASAE*. 34.1: 142-148.
- Lal, M., Mishra, S.K., Pandey, A., Pandey, R.P., Meena, P.K., Chaudhary, A., Jha, R.K., Shreevastava, A.K and Kumar, Y. 2017. Evaluation of the Soil Conservation Service curve number methodology using data from agricultural plots. *Hydrogeology Journal*. 25: 151-167.
- Lal, M., Mishra, S.K., Pandey, A and Kumar, Y. 2017. Runoff curve number for 36 small agricultural plots at two different climatic conditions in India. PP. 255-269. *In: Garg, V., Singh, V and Raj, V. (Eds.). Development of Water Resources in India, Water Science and Technology Library. Vol. 75. Springer*

Comparative Assessment of Conventional and Calibrated Curve Number Models in Flood and Runoff Estimation (Studied Catchments: Galikesh, Tamer, Nodeh, Kechik and Vatana in Golestan province)

S.Daei¹, M.Salarijazi^{2*}, Kh. Ghorbani³, M. MeftahHalaghi⁴

Received: Sep.17, 2017

Accepted: Oct.23, 2017

Abstract

The conventional curve number (SCS-CNT) model, which is based on the application of the proposed table by US Soil Conservation Service (SCS), is widely used by researchers and engineers. However, characteristics of the study catchment may be completely different from the conditions for the extraction of SCS-CNT model. Calibrated curve number model (SCS-CNC) can be a solution in this problem. In this study, 37 rainfall-runoff events were investigated in Tamer, Galikesh, Nodeh, Vatna and Kechik catchments (with area 1527, 401.45, 789.65, 10.77 and 36 square kilometers respectively) located in Golestan province, Iran, and 14 events were used for SCS-CNT and SCS-CNC models' comparison. Results were compared based on root mean square error (RMSE), Nash-Sutcliffe (NSE) and peak discharge estimation error (PEP). The RMSE and NSE criteria in 79% and PEP criterion in 86% of the cases confirmed improvement of the hydrograph and peak discharge estimations in SCS-CNC compared to SCS-CNT model. The SCS-CNC and SCS-CNT models resulted in peak discharge underestimation in 8 and 7 events and overestimation in 6 and 7 events, respectively. Results indicated that application of the calibrated curve number model improves the simulation results in all five studied catchments.

Keywords: CN, Flood, Hydrograph, Peak discharge

1-MSc. of Water Resources Engineering, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

2-Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

3-Associate Professor, Water Engineering Department, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

4- Associate Professor, Water Engineering Department, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

(*_ Corresponding Author Email: meysam.salarigazi@gmail.com)