

هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۷، زمستان ۱۳۹۷، صص ۱۶۳-۱۴۵

وصول مقاله: ۱۳۹۷/۰۵/۲۳ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۰۸

کاربرد مدل شماره‌ی منحنی اصلاح شده (میشرا-سینگ سه پارامتری) برای برآورد سیلاب

ساناز دایی^۱

میثم سالاری جزی^{۲*}

خلیل قربانی^۳

مهدی مفتاح هلقی^۴

چکیده

مدل متداول شماره‌ی منحنی SCS-CN یکی از پرکاربردترین مدل‌های برآورد سیلاب است. مطالعات متفاوتی برای بهبود نتایج این مدل انجام شده و ساختار این مدل توسط محققان مختلف مورد بازنگری قرار گرفته است. هدف از این مطالعه ارزیابی مقایسه‌ای مدل‌های متداول شماره‌ی منحنی SCS-CN و شماره‌ی منحنی اصلاح شده (میشرا-سینگ سه پارامتری) در برآورد سیلاب در پنج حوضه‌ی آبریز گالیکش، تمر، کچیک، نوده و وطن در استان گلستان است. معیارهای ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، نش- ساتکلیف (NSE) و خطای برآورد دبی اوج (PEP) برای ارزیابی نتایج در ۱۴ رویداد مرحله‌ی صحت‌سنجی به‌کار گرفته شد. بررسی معیارهای مورد بررسی نشان می‌دهد که کاربرد مدل شماره‌ی منحنی اصلاح شده (میشرا-سینگ سه پارامتری) به ترتیب در ۷۱٪ و ۷۸٪ رویدادهای مورد بررسی موجب بهبود برآورد هیدروگراف و دبی اوج سیلاب نسبت به کاربرد مدل متداول

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده‌ی 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 (نویسنده‌ی مسئول).
E-mail: meysam.salarigazi@gmail.com

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.

شماره‌ی منحنی SCS-CN شده است. به علاوه مدل متداول در اغلب موارد تمایل به بیش برآوردی دبی اوج سیلاب داشته است که این مشکل در مدل اصلاح شده تعدیل شده است. کلمات کلیدی: دبی اوج، سیلاب، شماره‌ی منحنی SCS-CN، شماره‌ی منحنی اصلاح شده (میشرا-سینگ سه پارامتری)، هیدروگراف.

مقدمه

برآورد مقدار رواناب حاصل از بارش در علم هیدرولوژی و مدیریت آبخیزداری از اهمیت بالائی برخوردار است (قربانی و همکاران^۱، ۲۰۱۹: ۱۳۷). در میان روش‌های مختلف تخمین رواناب، روش شماره‌ی منحنی (SCS-CN)، توسعه‌ی بیشتری یافته است. از مزایای روش SCS-CN، سادگی، قابلیت پیش‌بینی و کاربرد آن در حوضه‌های فاقد آمار است (میشرا و همکاران^۲، ۲۰۰۶: ۶۴۳) و (ساهو و همکاران^۳، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۲: ۲۸۷۲ و ۲۷) در ابتدا این روش برای محاسبه‌ی رواناب مستقیم از رویداد بارش در حوضه‌های کوچک کشاورزی ایالات متحده توسعه یافت، اما به زودی برای مناطق مختلف، کاربری‌های اراضی متفاوت و شرایط آب و هوایی متنوع مورد استفاده قرار گرفت. مدل SCS-CN وابسته به پارامتر کلیدی شماره منحنی (CN) است که این پارامتر با حداکثر پتانسیل نگهداشت (S) در ارتباط است. مقدار S در یک حوضه، از یک رویداد به رویداد دیگر متفاوت است. از سوی دیگر مدل SCS-CN یک مقدار ثابتی برای S (مستقل از رویداد) در یک حوضه پیشنهاد کرده است. لذا اصلاح الگوریتم محاسباتی مدل امری ضروری است (بابو و میشرا^۴، ۲۰۱۲: ۱۱۶۴). در این راستا برخی از محققان جهت رسیدن به نتایج دقیق‌تر اقدام به اصلاح مدل SCS-CN نموده‌اند. (میشرا و سینگ^۵، ۱۹۹۹: ۲۵۷) مدل

1- Ghorbani et al.,

2- Mishra et al.,

3- Sahu et al.,

4- Babu and Mishra

5- Mishra and Singh

SCS-CN را با استفاده از مدل (ماکوس^۱، ۱۹۴۹) تحلیل کرده و شکل اصلاح شده‌ای از مدل SCS-CN را پیشنهاد کردند (میشرا و سینگ، ۲۰۰۲: ۳۹۱). مدل SCS-CN را در بخش استاتیکی محاسبات مربوط به نفوذ و رطوبت پیشین اصلاح کردند (جین و همکاران^۲، ۲۰۰۶: ۲۶۱). در مدل SCS-CN، رابطه‌ی غیرخطی جدیدی بین بارش و حداکثر پتانسیل نگهداشت پیشنهاد کردند. از خطای ریشه‌ی میانگین مربع برای ارزیابی نتایج مدل پیشنهادی و مدل SCS-CN در مجموعه بزرگی از داده‌های بارش-رواناب در ایالات متحده استفاده شد. در ارزیابی بر اساس مقدار جذب اولیه، مدل پیشنهادی عملکرد بهتری نسبت به مدل رایج SCS-CN داشت. با توجه به اینکه در مدل پیشنهادی (میشل و همکاران^۳، ۲۰۰۵) هیچ‌گونه بیانی از سطح ذخیره رطوبت اولیه خاک نشده است، محققان دیگر (ساهو و همکاران^۴، ۲۰۰۷: ۲۸۷۲) سعی کردند با گسترش مفهوم سطح ذخیره‌ی رطوبت اولیه خاک مدلی را توسعه دهند و نتایج آن را با مدل‌های ارایه شده توسط میشل (میشل و همکاران، ۲۰۰۵) و مدل رایج SCS-CN در تعداد زیادی از حوضه‌های کوچک در ایالات متحده مقایسه کنند که نتایج حاکی از عملکرد بهتر مدل پیشنهادی آنها نسبت به دو مدل دیگر بوده است. ساهو و میشل (ساهو و همکاران، ۲۰۱۰: ۷۴۹) مدل اصلاح شده‌ی پیشنهادی خود را با مدل رایج SCS-CN، (میشل و همکاران، ۲۰۰۵) و (ساهو و همکاران، ۲۰۰۷: ۲۸۷۲)، با استفاده از مجموعه بزرگی از داده‌های بارش-رواناب از ۷۶ حوضه‌ی کوچک کشاورزی در ایالات متحده مقایسه کردند. بررسی جامع نتایج مدل‌ها نشان می‌دهد، مدل بهبود یافته پیشنهاد شده توسط (ساهو و همکاران، ۲۰۱۰: ۷۴۹) نسبت به سایر مدل‌ها در همه‌ی برنامه‌های طبقه‌بندی شده بر اساس کاربری زمین، نوع خاک، ترکیب کاربری زمین و نوع خاک و رژیم بارندگی عملکرد بهتری داشت. بابو و میشرا برای غلبه بر محدودیت‌های مدل SCS-CN، بر اساس مدل

1- Mockus

2- Jain et al.,

3- Michel et al.,

4- Sahu et al.,

متداول، با در نظر گرفتن مدت بارش و پارامتر جدیدی برگرفته از حداکثر پتانسیل نگهداشت، مدلی پنج پارامتری پیشنهاد کردند (بابو و میشرا، ۲۰۱۲: ۱۱۶۴). عملکرد مدل‌ها بر اساس ۸۲ رویداد بارش- رواناب در حوضه‌های کوچک در ایالات متحده، ارزیابی شد. نتایج نشان داد مدل پنج پارامتری پیشنهادی نسبت به مدل رایج SCS-CN عملکرد بهتری در برآورد رواناب داشت. برای بهبود مدل SCS-CN، با استفاده از مفهوم و نقش مؤثر رطوبت اولیه خاک روش SMA توسعه پیدا کرده است. میشرا (میشرا و همکاران^۱، ۲۰۰۵) بر اساس مفهوم روش SMA، و با استفاده از مدل SCS-CN، مدل بهبود یافته (MSCS-CN) را توسعه دادند. سینگ براساس مجموعه بزرگی از داده‌ها، عملکرد مدل‌های SCS-CN، MSCS-CN را با سومین مدل (MMSCS-CN) که حاصل توسعه و بهبود مدل‌های SMA و SCS-CN است، مقایسه و بر اساس معیارهای خطای نش- ساتکلیف و خطای ریشه‌ی میانگین مربع ارزیابی و رتبه‌بندی کردند (سینگ و همکاران^۲، ۲۰۱۵: ۴۱۱۱) که نتایج نشان داد مدل MMSCS-CN نسبت به دو مدل دیگر عملکرد بهتری در تخمین رواناب داشت. بررسی تحقیقات اخیر در خارج از کشور نشان می‌دهد در اغلب این مطالعات مدل‌های اصلاح شده SCS-CN مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند در حالی که مطالعات انجام شده در داخل کشور در اغلب موارد صرفاً متمرکز بر ارزیابی و واسنجی مدل متداول SCS-CN برای برآورد رواناب بوده است. در این تحقیق سعی شده است تا مدل شماره‌ی منحنی اصلاح شده (میشرا- سینگ سه پارامتری) در برخی از حوضه‌های استان گلستان مورد آزمون قرار گیرد و نتایج بامدل شماره‌ی منحنی SCS-CN مقایسه شود. به نظر می‌رسد تاکنون در این زمینه تحقیق مشخصی صورت نگرفته است. لازم به ذکر است در تحقیقاتی که تاکنون در خارج از کشور و با استفاده از مدل‌های اصلاح شده انجام گرفته است، تأثیر این مدل‌ها صرفاً در برآورد ارتفاع رواناب مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این تحقیق سعی شده است تا اثر استفاده از مدل‌های شده بر روی هیدروگراف شبیه‌سازی شده سیل مورد بررسی قرار گیرد.

1- Mishra et al.,

2- Singh et al.,

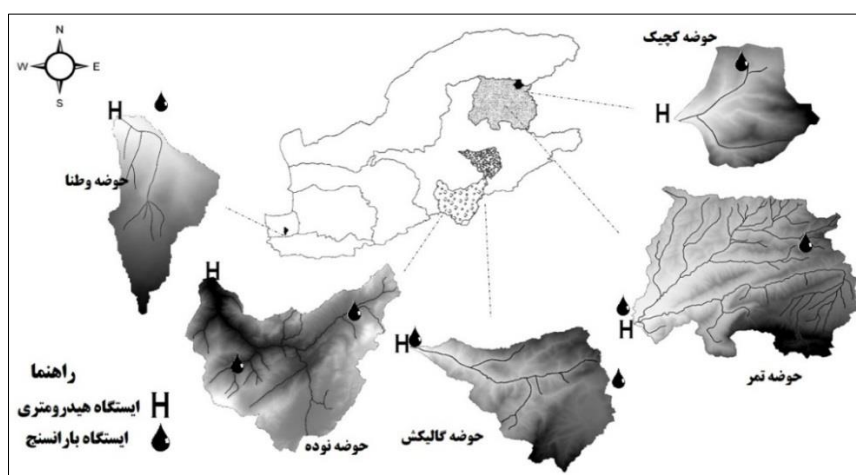
مواد و روش‌ها

معرفی حوضه‌های مورد مطالعه

در این تحقیق پنج حوضه‌ی گالیکش، تمر، کچیک، نوده و وطنای انتخاب شده‌اند. در انتخاب حوضه‌ها سعی شده است تا شرایط اقلیمی متفاوت آنها مد نظر قرار گیرد. مشخصات فیزیوگرافی حوضه‌های مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است، در شکل (۱) نیز موقعیت حوضه‌ها در استان گلستان آورده شده است.

جدول (۱) مشخصات فیزیوگرافی حوضه‌های مطالعاتی

ردیف	نام حوضه	مساحت (کیلومتر مربع)	محیط (کیلومتر)	ارتفاع متوسط (متر)	شیب متوسط حوضه (درصد)	طول آبراهه اصلی (کیلومتر)	تعداد رویداد بارش-رواناب
۱	تمر	۱۵۲۷	۲۸۷/۸۷	۱۱۳۱/۵	۱۹/۵	۹۴	۱۰
۲	گالیکش	۴۰۱/۴۵	۱۳۸/۵۴	۱۳۵۸/۵	۲۷/۵	۵۷/۸	۱۳
۳	کچیک	۳۶	۲۵/۸۱	۹۲۸	۱۸/۷۵	۹/۶	۳
۴	نوده	۷۸۹/۶۵	۲۰۷/۷۷	۱۵۴۰/۷	۲۸	۶۵/۶۹	۹
۵	وطنای	۱۰/۷۷	۲۰/۳۵	۸۹۸/۵	۳۲/۷۸	۷/۸	۴



شکل (۱) موقعیت حوضه‌های آبریز مورد مطالعه در استان گلستان

– مدل‌های مورد استفاده

در این تحقیق جهت شبیه‌سازی بارش از مدل متداول SCS-CN و مدل اصلاحی پیشنهاد شده توسط میشر و سینگ استفاده شده است تا در نهایت نتایج شبیه‌های بارش حاصل از این دو روش با هم مقایسه شوند.

الف) مدل متداول SCS-CN:

مقدار رواناب (Q) در مدل SCS-CN، با استفاده از بارش (P) و جذب اولیه ($Ia = \lambda S$) برآورد می‌شود:

$$Q = \frac{(P-Ia)^2}{(P-Ia)+S} \quad \text{اگر } P \geq Ia \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

$$Q = 0 \quad \text{اگر } P \leq Ia$$

مقدار S (حداکثر پتانسیل نگهداشت) با استفاده از پارامتر بی‌بعد CN (شماره‌ی منحنی) تعیین می‌شود. مقدار CN از صفر (بدون رواناب، $S = \infty$) تا ۱۰۰ (همه بارش به رواناب تبدیل شود، $S = 0$) متغیر است. برای $\lambda = 0.2$ رابطه (۱) به صورت رابطه‌ی (۲) درمی‌آید. در رابطه‌ی (۳) نحوه‌ی محاسبه‌ی مقدار S با استفاده از پارامتر CN آورده شده است (مقدار S برحسب میلی‌متر است).

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad \text{اگر } P \geq Ia \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

$$Q = 0 \quad \text{اگر } P \leq Ia$$

$$S = \frac{24500}{CN} - 254 \quad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

مقدار CN بر اساس کاربری اراضی، گروه هیدرولوژیک خاک و جدول SCS به دست می‌آید. مقدار شماره‌ی منحنی که از این جدول به دست می‌آید 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 می‌شود (میشرا و سینگ، ۲۰۱۳).

$$CN_I = \frac{4.2 CN_{II}}{10 - 0.058 CN_{II}} \quad \text{رابطه‌ی (۴)}$$

$$CN_{III} = \frac{23 CN_{II}}{10 + 0.13 CN_{II}} \quad \text{رابطه‌ی (۵)}$$

(ب) مدل شماره‌ی منحنی اصلاح شده (میشرا-سینگ سه پارامتری)^۱

با استفاده از مفهوم درجه‌ی اشباع ($C=Sr$) که C ضریب رواناب $Q/(P - Ia)$ می‌باشد، (میشرا و سینگ، ۲۰۰۲: ۳۹۱) و (میشرا و همکاران، ۲۰۰۶: ۶۴۳)، رابطه‌ی (۲) را برای رطوبت پیشین (M) به شکل رابطه‌ی (۶) اصلاح کردند.

$$Q = \frac{(P - Ia)(P - Ia + M)}{P - Ia + M + S} \quad \text{رابطه‌ی (۶)}$$

با در نظر گرفتن رابطه مستقیم بین ظرفیت نگهداشت (S)، مقدار رطوبت نگهداری شده توسط خاک و بارش $P5$ (بارش پنج روز قبل) رابطه (Y) توسط (میشرا و همکاران، ۲۰۰۶: ۶۴۳)، ارائه شده است. در رابطه‌ی (Y) α ضریب بی‌بعد می‌باشد.

$$M = \alpha \sqrt{S P_5} \quad \text{رابطه‌ی (۷)}$$

از آنجائی که افزایش رطوبت پیشین خاک منجر به کاهش مقدار جذب اولیه آب توسط خاک می‌شود (میشرا و همکاران، ۲۰۰۶: ۶۴۳) رابطه‌ی بین مقدار جذب اولیه (I_a) و رطوبت پیشین خاک (M) را به صورت رابطه‌ی (۸) اصلاح کردند.

$$I_a = \frac{\lambda S^2}{S + M} \quad \text{رابطه‌ی (۸)}$$

- برآورد هیدروگراف رواناب

هیدروگراف بی‌بعد SCS یک هیدروگراف واحد مصنوعی است. مختصات نقاط هیدروگراف واحد از جدول بدون بعدی که در آن مقادیر نسبت زمان (t/T_p) در مقابل نسبت دبی هیدروگراف (q/q_p) داده شده است، به دست می‌آید. با مشخص بودن مقادیر دبی اوج و زمان تأخیر برای بارش مازاد، می‌توان با استفاده از هیدروگراف مصنوعی، هیدروگراف واحد را برآورد کرد. جهت محاسبه‌ی دبی اوج و زمان اوج از روابط (۹) و (۱۰) استفاده می‌شود (میشرا و سینگ، ۲۰۱۳).

$$q_p = \frac{CA}{T_p} \quad \text{رابطه‌ی (۹)}$$

در این معادله $C = 2/0.8$ و A مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع می‌باشد. مطالعه هیدروگراف‌های واحد تعدادی از حوضه‌های کوچک و بزرگ نشان داده است که زمان تأخیر (t_p) حوضه تقریباً برابر $0.6 T_c$ (زمان تمرکز T_c) حوضه است ($t_p = 0.6 T_c$). در رابطه‌ی (۱۰)، t_r نشان‌دهنده‌ی زمان تداوم بارش مازاد است.

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p \quad \text{رابطه‌ی (۱۰)}$$

- تخمین شماره‌ی منحنی و ضریب جذب اولیه در مدل SCS-CN و مدل شماره‌ی منحنی اصلاح شده (میشرا- سینگ سه پارامتری)

تخمین شماره‌ی منحنی در مدل متداول SCS-CN:

در مدل SCS-CN، بر اساس معادله‌ی (۲) پارامترهای ورودی به مدل، شامل مقدار بارش، ظرفیت نگهداشت حوضه‌ی (S) یا شماره‌ی منحنی (CN) می‌باشد که مقدار S بر اساس CN به دست می‌آید. مقدار شماره‌ی منحنی حوضه‌های مورد مطالعه از تلفیق نقشه‌های کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیک خاک (تهیه شده از اداره‌ی منابع طبیعی و

آبخیزداری استان گلستان) و با استفاده از جدول SCS برآورد می‌شود. در جدول (۲)، مقدار شماره‌ی منحنی هر حوضه آورده شده است.

تخمین شماره‌ی منحنی و ضریب جذب اولیه در مدل شماره‌ی منحنی اصلاح شده (میشرا-سینگ سه پارامتری): در این مدل مقادیر شماره‌ی منحنی (به دست آمده از جدول SCS)، ضریب جذب اولیه و مقدار ضریب بی‌بعد (α) با استفاده از معیار ارزیابی خطای نش-ساتکلیف (NSE) در محیط EXCEL، برای هر رویداد بهینه می‌شود. ۷۰ درصد از رویدادها برای واسنجی استفاده شده است و مقدار میانه‌ی پارامتر بهینه شده، برای صحت‌سنجی ۳۰ درصد رویدادهای باقیمانده به کار رفته است.

جدول (۲) درصد مساحت کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیک حوضه‌ها

ردیف حوضه	کاربری اراضی (درصد)								میانگین وزنی حوضه CN	
	کشت آبی	کشت دیم	جنگل	مرتع	مسکونی	A	B	C		D
۱ کچیک	۵۸/۵۸	-	۱۷/۰۹	۲۳/۹۷	۱/۳۶	-	۸/۴۷۵	۱۰۸۸۲	۳/۴۵۱	۷۴
۲ وطن	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	۸۳/۵۲	۰/۳	۷۶

معیارهای ارزیابی مدل: برای ارزیابی عملکرد مدل و تعیین مقدار خطا بین داده‌های مشاهده‌ای و محاسبه‌ای، از سه معیار ارزیابی خطا استفاده شده است. معیارهای ارزیابی خطا عبارتند از: (۱) ریشه‌ی میانگین مربعات خطا RMSE (ساهو و همکاران، ۲۰۱۰: ۷۴۹ و دشموک و همکاران، ۲۰۱۳: ۸۹). زمانی عملکرد مدل کامل است که مقدار RMSE برابر صفر باشد. (۲) معیار کارایی (نش-ساتکلیف، ۱۹۷۰: ۲۸۲) Nash و (۳)

خطای برآورد دبی اوج PEP (ادیب و همکاران^۱، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱: ۹۱، ۱۳ و ۲۰۱ و عیدی پورو همکاران^۲، ۲۰۱۶: ۲۶).

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_o - Q_c)_i^2} \quad \text{رابطه‌ی (۱۱)}$$

$$\text{NSE} = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Q_o - Q_c)_i^2}{\sum_{i=1}^N (Q_o - \bar{Q}_o)_i^2} \right] \quad \text{رابطه‌ی (۱۲)}$$

$$\text{PEP} = 1 - \frac{Q_{pc}}{Q_{po}} \quad \text{رابطه‌ی (۱۳)}$$

در روابط ۱۱، ۱۲ و ۱۳، N: تعداد رویدادهای مشاهده شده، QO: دبی مشاهده شده در گام i، QC: دبی محاسبه شده در گام i، \bar{Q}_o : میانگین دبی هیدروگراف سیل مشاهده شده، QPC: دبی اوج محاسبه شده و QPO: دبی اوج مشاهده شده است. معیار RMSE دارای بعد دبی و معیارهای NSE و PEP بدون بعد است.

نتایج و بحث

در این بخش نتایج حاصل از شبیه‌سازی بارش با استفاده از دو مدل متداول SCS-CN و مدل شماره‌ی منحنی اصلاح شده (میشرا-سینگ سه پارامتری) با هم مقایسه شده‌اند. در هر حوضه ۷۰٪ از رویدادها برای مرحله‌ی واسنجی انتخاب شده و پارامترهای مدل اصلاح شده، بهینه شدند. پارامترهای بهینه شده برای صحت‌سنجی در رویدادهای باقی مانده به کار گرفته شده و نتایج حاصل با استفاده از معیارهای ارزیابی خطا، با نتایج مدل متداول شماره‌ی منحنی SCS-CN مقایسه شدند. در جدول (۳)، مقادیر شماره‌ی منحنی حاصل از جدول SCS و مقدار پارامترهای بهینه‌شده در مدل شماره‌ی منحنی

1- Adib et al.,

2- Eidipour et al.,

اصلاح شده (میشرا- سینگ سه پارامتری) برای رویدادهای منتخب در مرحله‌ی واسنجی، آورده شده است.

جدول (۳) مقادیر شماره‌ی منحنی جدول SCS و پارامترهای بهینه شده برای حوضه‌های مورد مطالعه

MS(3P)			SCS-CN			وطن	MS(3P)			SCS-CN			حوضه‌ی گالیکش
α	λ	CN	λ	CN	α		λ	CN	λ	CN			
۰/۵	۰/۱۴	۷۰			۱۳۹۰/۶/۵	۰/۲۱	۰/۰۴	۶۸			۱۳۹۲/۲/۵		
۰/۲	۰/۰۳	۷۳/۴	۰/۲	۷۲	۱۳۹۱/۶/۱۲	۰/۱	۰/۱۳	۵۱			۱۳۸۳/۱۰/۱۸		
۰	۰/۱۶	۵۰			۱۳۹۱/۷/۲۲	۰/۰۶	۰/۰۷	۷۶			۱۳۹۲/۱۲/۲۲		
۰/۲	۰/۱۴	۷۰	۰/۲	۷۲	میان	۰/۱۵	۰/۱۴	۶۳	۰/۲	۷۵	۱۳۹۱/۴/۳۰		
کچیک						۰/۱۵	۰/۰۹	۶۸			۱۳۹۰/۷/۲۹		
۰/۰۹	۰/۱۱	۸۵			۱۳۹۱/۶/۱۲	۰/۰۳	۰/۱۸	۶۰			۱۳۹۱/۱۱/۱۵		
۰/۰۱	۰/۱۸	۵۴	۰/۲	۷۴	۱۳۹۳/۵/۲۳	۰/۰۷	۰/۰۸	۵۵			۱۳۸۳/۱۰/۲۲		
۰/۰۵	۰/۱۴۵	۶۹/۵	۰/۲	۷۴	میان	۰/۱	۰/۰۹	۶۳	۰/۲	۷۵	میان		
MS(3P)			SCS-CN			حوضه نوده	MS(3P)			SCS-CN			حوضه تمر
α	λ	CN	λ	CN	α		λ	CN	λ	CN			
۰/۱۸	۱/۱۰	۵۰			۱۳۸۸/۸/۱۳	۰/۱۰	۰/۱۲	۴۹			۱۳۹۱/۱۱/۱۱		
۰/۱۵	۰/۰۹	۶۷			۱۳۹۱/۱۱/۱۲	۰/۱۰	۰/۱۲	۵۹			۱۳۸۹/۴/۱		
۰/۰۹	۰/۱	۷۰	۰/۲	۷۳	۱۳۸۹/۴/۱	۰	۰/۰۶	۸۰	۰/۲	۷۶	۱۳۹۱/۶/۲		
۰/۰۸	۰/۱۲	۶۶			۱۳۹۰/۷/۳۰	۰/۵	۰/۱۰	۶۵			۱۳۹۱/۲/۲۷		
۰/۲	۰/۱۸	۶۱			۱۳۸۸/۹/۱	۰/۵	۰/۰۸	۸۱			۱۳۹۰/۶/۴		
-	-	-	-	-	-	۰/۰۱	۰/۲۱	۵۴			۱۳۹۱/۱۱/۱۵		
۰/۱۵	۰/۱	۶۶	۰/۲	۷۳	میان	۰/۱۰	۰/۱۱	۶۲	۰/۲	۷۶	میان		

جدول (۴) نشان‌دهنده‌ی مقادیر معیارهای ارزیابی خطا در رویدادهای انتخاب شده برای صحت‌سنجی هر پنج حوضه و برای هر سه معیار می‌باشد. در هر چهار رویداد حوضه‌ی گالیکش استفاده از مدل شماره‌ی منحنی اصلاح شده (میشرا- سینگ سه پارامتری) موجب کاهش در مقدار خطای ریشه‌ی میانگین مربعات شده و مقدار نش-ساتکلیف را بهبود بخشیده است. خطای برآورد دبی اوج در سه رویداد کاهش یافته

است اما در رویداد ۱۳۸۸/۱۲/۳ مقدار این خطا با استفاده از مدل اصلاح شده افزایش یافته است. مدل متداول SCS-CN در سه رویداد از چهار رویداد تمایل به بیش‌برآوردی دبی اوج دارد و مدل اصلاح شده در دو رویداد بیش‌برآوردی و در دو رویداد دیگر کم‌برآوردی داشته است. در حوضه‌ی نوده و در رویدادهای ۱۳۹۱/۱/۹ و ۱۳۹۱/۶/۱۶ کاربرد مدل اصلاح شده موجب شده است تا مقدار ریشه‌ی میانگین مربعات خطا به مقدار کمی افزایش و مقدار معیار نش- ساتکلیف کاهش یابد اما در دو رویداد دیگر یعنی رویدادهای ۱۳۸۶/۵/۱۳ و ۱۳۹۰/۰۶/۰۴ کاربرد مدل اصلاح شده به ترتیب موجب کاهش و افزایش معیارهای ریشه‌ی میانگین مربعات خطا و نش- ساتکلیف شده است. در رویداد ۱۳۹۱/۱/۹ خطای برآورد دبی اوج با استفاده از مدل اصلاح شده کاهش یافته اما در سه رویداد دیگر مقدار این خطا کاهش داشته است. در این حوضه هر دو مدل در بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی دبی در رویدادها عملکرد مشابهی دارند. از چهار رویداد حوضه‌ی تمر، در دو رویداد ۱۳۹۰/۶/۳ و ۱۳۸۸/۱۲/۴ استفاده از مدل اصلاح شده موجب بهبود مقادیر ریشه‌ی میانگین مربعات و نش- ساتکلیف شده است و در دو رویداد دیگر باقیمانده برآورد هیدروگراف سیلاب با استفاده از مدل متداول مناسب‌تر بوده است. در رویداد ۱۳۹۱/۱/۱۲ با کاربرد مدل اصلاح شده خطای برآورد دبی اوج افزایش و در سه رویداد دیگر مقدار این خطا کاهش یافته است. مدل متداول SCS-CN در سه رویداد از چهار رویداد موجب بیش‌برآوردی دبی اوج شده است و در مدل اصلاح شده در دو رویداد این اتفاق افتاده است. در تک رویداد مرحله‌ی صحت‌سنجی در حوضه‌های وطن‌ا و کچیک مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا و نش- ساتکلیف با کاربرد مدل اصلاح شده به شکل قابل توجه بهبود یافته است. در حوضه‌ی وطن‌ا مقدار خطای برآورد دبی اوج کاهش داشته است که هر دو مدل در برآورد دبی اوج کم‌برآوردی را نشان داده‌اند. در حوضه‌ی کچیک نیز مقدار خطای برآورد دبی اوج کاهش داشته است اما در مدل متداول SCS-CN بیش‌برآوردی و در مدل اصلاح شده کم‌برآوردی مشاهده می‌شود.

جدول (۴) مقادیر RMSE، NSE و PEP برای مرحله‌ی صحت‌سنجی در حوضه‌های مورد مطالعه

نوده						گالیکش						رویداد	
SCS-CN			MS(3P)			SCS-CN			MS(3P)			گالیکش	
PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE
-۱	-۵/۳۱	۱۱/۸۳	-۱/۱۹	-۶/۸۸	۱۳/۲۲	۱۳۹۱/۱/۹	۰/۲۴	-۱/۳۷	۱۷/۹۴	۰/۴	-۰/۸۸	۱۶	۱۳۸۸/۱۲/۰۳
-۲/۴	-۲/۴۶	۲۲/۷۴	-۱/۹۸	-۲/۷	۲۳/۵۷	۱۳۹۱/۶/۱۶	-۲/۱۱	-۱/۳۸	۱۴	-۱/۴	-۸۴/۴۴	۱۱/۰۵	۱۳۹۱/۱۱/۲۵
۰/۹۹	-۰/۴۶	۸۸/۹۶	۰/۸۳	-۰/۱۷	۷۹/۵۳	۱۳۸۶/۵/۱۳	-۱/۳۹	-۹/۷	۶/۵۶	۰/۵۵	-۰/۹	۲/۸	۱۳۸۷/۱۱/۳۰
-۲/۵۷	-۶۹/۵۴	۶۹/۹۲	-۲/۴۸	-۶۶	۶۸/۱۵	۱۳۹۰/۶/۴	-۰/۶۲	-۸/۴	۱۳/۵۶	-۰/۳	-۴/۷۷	۱۰/۶۳	۱۳۹۱/۱۱/۱۳
وطن						تمر						رویداد تمر	
SCS-CN			MS(3P)			SCS-CN			MS(3P)			گالیکش	
PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE
۰/۹۵	-۰/۸۲	۴/۸	۰/۴۵	۰/۵۱	۲/۵	۱۳۹۳/۳/۲۴	۰/۶۲	-۰/۷۳	۱۲/۰۴	۰/۵۲	-۰/۹۲	۱۳/۰۴	۱۳۹۰/۶/۵
کچیک						کچیک						کچیک	
SCS-CN			MS(3P)			SCS-CN			MS(3P)			گالیکش	
PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE
۰/۹۶	-۲/۹۳	۲/۹۱	-۰/۳	-۰/۰۷	۱/۵	۱۳۹۱/۴/۲۶	-۱/۰۹	-۶/۳۷	۴۸/۸۱	۰/۶۲	-۰/۱۴	۱۹/۲۶	۱۳۸۸/۱۲/۴
نوده						گالیکش						رویداد	
SCS-CN			MS(3P)			SCS-CN			MS(3P)			گالیکش	
PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE
-۱	-۵/۳۱	۱۱/۸۳	-۱/۱۹	-۶/۸۸	۱۳/۲۲	۱۳۹۱/۱/۹	۰/۲۴	-۱/۳۷	۱۷/۹۴	۰/۴	-۰/۸۸	۱۶	۱۳۸۸/۱۲/۰۳
-۲/۴	-۲/۴۶	۲۲/۷۴	-۱/۹۸	-۲/۷	۲۳/۵۷	۱۳۹۱/۶/۱۶	-۲/۱۱	-۱/۳۸	۱۴	-۱/۴	-۸۴/۴۴	۱۱/۰۵	۱۳۹۱/۱۱/۲۵
۰/۹۹	-۰/۴۶	۸۸/۹۶	۰/۸۳	-۰/۱۷	۷۹/۵۳	۱۳۸۶/۵/۱۳	-۱/۳۹	-۹/۷	۶/۵۶	۰/۵۵	-۰/۹	۲/۸	۱۳۸۷/۱۱/۳۰
-۲/۵۷	-۶۹/۵۴	۶۹/۹۲	-۲/۴۸	-۶۶	۶۸/۱۵	۱۳۹۰/۶/۴	-۰/۶۲	-۸/۴	۱۳/۵۶	-۰/۳	-۴/۷۷	۱۰/۶۳	۱۳۹۱/۱۱/۱۳
وطن						تمر						رویداد تمر	
SCS-CN			MS(3P)			SCS-CN			MS(3P)			گالیکش	
PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE
۰/۹۵	-۰/۸۲	۴/۸	۰/۴۵	۰/۵۱	۲/۵	۱۳۹۳/۳/۲۴	۰/۶۲	-۰/۷۳	۱۲/۰۴	۰/۵۲	-۰/۹۲	۱۳/۰۴	۱۳۹۰/۶/۵
کچیک						کچیک						کچیک	
SCS-CN			MS(3P)			SCS-CN			MS(3P)			گالیکش	
PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE	RMSE	PEP	NSE
۰/۹۶	-۲/۹۳	۲/۹۱	-۰/۳	-۰/۰۷	۱/۵	۱۳۹۱/۴/۲۶	-۱/۰۹	-۶/۳۷	۴۸/۸۱	۰/۶۲	-۰/۱۴	۱۹/۲۶	۱۳۸۸/۱۲/۴

جدول (۵)، دامنه‌ی تغییرات و میانه‌ی مقادیر معیارهای ارزیابی خطا در حوضه‌های مطالعاتی را نشان می‌دهد. از آنجایی که تنها یک رویداد در مرحله‌ی صحت‌سنجی حوضه‌های وطن و کچیک باقیمانده است، ارائه‌ی دامنه‌ی تغییرات و میانه برای معیارهای ارزیابی خطای این دو حوضه امکان‌پذیر نیست. بررسی جدول (۵) نشان می‌دهد در حوضه‌ی گالیکش مقادیر میانه و دامنه‌ی تغییرات هر سه معیار ارزیابی خطا با کاربرد مدل شماره‌ی منحنی اصلاح شده (میشرا-سینگ سه پارامتری) کاهش یافته است. در حوضه‌ی نوده استفاده از مدل اصلاح شده موجب کاهش میانه و دامنه‌ی

تغییرات معیارهای ریشه میانگین مربعات خطا و خطای برآورد دبی اوج شده است اما در مقدار میانه‌ی نش- ساتکلیف افزایش مشاهده می‌شود هر چند که دامنه‌ی تغییرات در این معیار کاهش یافته است. در حوضه‌ی تمر، در مدل اصلاح شده نسبت به مدل متداول SCS-CN بهبود مقادیر میانه و دامنه‌ی تغییرات هر سه معیار ارزیابی خطا مشاهده می‌شود.

نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه مقایسه عملکرد مدل متداول SCS-CN با مدل شماره‌ی منحنی اصلاح شده (میشرا- سینگ سه پارامتری) در پنج حوضه منتخب استان گلستان (گالیکش، تمر، نوده، وطن و کچیک) است. در حوضه‌های گالیکش، تمر و نوده به ترتیب ۱۳، ۱۰ و ۹ رویداد بارش- رواناب انتخاب شدند که ۴ رویداد برای مرحله‌ی صحت‌سنجی در نظر گرفته شد. در حوضه‌ی وطن از ۴ رویداد و در حوضه‌ی کچیک از سه رویداد، ۱ رویداد برای صحت‌سنجی پارامترها انتخاب شدند.

جدول (۵) دامنه تغییرات و میانه مقادیر RMSE, NSE و PEP در حوضه‌های مورد مطالعه

مدل	معیار خطا	پارامتر	گالیکش	نوده	تمر
MS(3P)	RMSE	میان دامنه تغییرات	۱۰/۸۴ (۱۶) تا (۲/۸)	۴۵/۸۶ (۷۹/۵۳) تا (۱۳/۲۲)	۱۶/۱۵ (۲۶/۸۵) تا (۵/۹)
	NSE	میان دامنه تغییرات	-۲/۸۴ (-۰/۸۸) تا (-۸۴/۴۴)	-۴/۷۹ (-۰/۱۷) تا (-۶۶)	-۲/۹۱ (-۰/۱۴) تا (-۲۰/۳)
SCS-CN	PEP	میان دامنه تغییرات	۰/۱۲ (۰/۵۵) تا (-۱/۴۴)	-۱/۵۹ (۰/۸۳) تا (-۲/۴۸)	۰/۱۴ (۰/۶۲) تا (-۰/۸)
	NSE	میان دامنه تغییرات	-۹/۰۵ (-۱/۳۷) تا (-۱۳۸)	-۳/۸۹ (-۶۹/۵۴) تا (-۰/۴۶)	-۵/۰۶ (-۰/۷۳) تا (-۲۵۲/۵۵)
PEP	RMSE	میان دامنه تغییرات	۱۳/۷۸ (۱۷/۹۴) تا (۶/۵۶)	۴۶/۳۳ (۸۸/۹۴) تا (۱۱/۸۳)	۳۰/۴۲ (۹۲/۶۲) تا (۵/۲۶)
	PEP	میان دامنه تغییرات	-۱/۰۱ (-۲/۱۱) تا (۰/۲۴)	-۱/۷ (۰/۹۹) تا (-۲/۵۷)	-۰/۹۲ (۰/۶۲) تا (-۵/۱۴)

بررسی عملکرد این دو مدل بر اساس معیارهای ریشه‌ی میانگین مربعات خطا، نش-ساتکلیف و خطای برآورد دبی اوج، در پنج حوضه صورت گرفته است. موارد زیر از بررسی این معیارها نتیجه‌گیری گردیده است:

۱- بررسی معیار ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE) و معیار نش-ساتکلیف (NSE) در مجموع پنج حوضه و ۱۴ رویداد نشان می‌دهد استفاده از مدل شماره‌ی منحنی اصلاح شده (میشرا-سینگ سه پارامتری)، هرکدام در ۷۱٪ موارد موجب بهبود دقت برآورد هیدروگراف سیل شده است و در سایر موارد نیز تفاوت بین نتایج دو مدل مورد بررسی قابل توجه نبوده است.

۲- کاربرد مدل شماره‌ی منحنی اصلاح شده (میشرا-سینگ سه پارامتری) موجب کاهش ۷۸ درصدی خطای برآورد دبی اوج نسبت به کاربرد مدل متداول SCS-CN در مجموع رویدادهای منتخب در مرحله‌ی صحت‌سنجی شده است. همچنین مدل شماره‌ی منحنی اصلاح شده (میشرا-سینگ سه پارامتری) در ۵۷٪ موارد و مدل متداول SCS-CN در ۶۴٪ موارد تمایل به بیش‌برآوردی از خود نشان دادند.

منابع

- Adib, A., Salarijazi, M., Vaghefi, M., Shooshtari, 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, Vol. 34, No.2, PP.91-104.
- Adib, A., Salarijazi, M. and Najafpour, K., (2010), **Evaluation of synthetic outlet runoff assessment models**, Journal of Applied Sciences and Environmental Management, Vol. 14, No. 3, PP.13-18.
- Adib, A., Salarijazi, M., Shooshtari, 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, Vol. 19, No.2, PP.201-209.
- Bahrami, E., Mohammadrezapour, O., Salarijazi, M., Haghghat jou, Parviz. (2019), **Effect of Base Flow and Rainfall Excess Separation on Runoff Hydrograph Estimation using Gamma Model (Case Study: Jong Catchment)**, KSCE Journal Civil Engineering, Vol. 23, No.3, PP. 1-7.
- Suresh Babu, P. and Mishra, S.K., (2011), **Improved SCS-CN-inspired model**, J Hydrol Eng, Vol. 17, No.11, PP.1164-1172.
- Deshmukh, D.S., Chaube, U.C., Hailu, A.E., Gudeta, D.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, PP.89-101.
- 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, Vol. 36, No.36, PP.26-33.
- Ghorbani, K., Salarijazi, M., Abdolhosseini, M., Eslamian, S., Ahmadianfar, I., (2019), **Evaluation of Clark IUH in rainfall-runoff modelling (case study: Amameh Basin)**, International Journal of Hydrology Science and Technology, Vol. 9, No. 2, PP.137-153.

- Fan, F., Deng, Y., Hu, X. and Weng, Q., (2013), **Estimating composite curve number using an improved SCS-CN method with remotely sensed variables in Guangzhou, China**, Remote Sensing, Vol. 5, No.3, PP.1425-1438.
- Lin, W., Yang, F., Zhou, L., Xu, J.G. and Zhang, X.Q., (2017), **Using modified Soil Conservation Service curve number method to simulate the role of forest in flood control in the upper reach of the Tingjiang River in China**, Journal of Mountain Science, Vol. 14, No.1, PP. 1-14.
- Nash, J.E. and Sutcliffe, J.V., (1970), **River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles**, Journal of hydrology, Vol. 10, No. 3, PP. 282-290.
- Michel, C., Andréassian, V. and Perrin, C., (2005), **Soil conservation service curve number method: How to mend a wrong soil moisture accounting procedure**, Water Resources Research, Vol. 41, No. 2, PP. 1-12.
- Mishra, S.K. and Singh, V.P., (2002), **SCS-CN-based hydrologic simulation package. Mathematical models in small watershed hydrology and applications**, PP. 391-464.
- Mishra, S.K., Sahu, R.K., Eldho, T.I. and Jain, M.K., (2006), **An improved I a S relation incorporating antecedent moisture in SCS-CN methodology**, Water Resources Management, Vol. 20, No.5, PP. 643-660.
- Mishra, S.K. and Singh, V.P. (1999), **Another look at SCS-CN method**, Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 4, No.3, PP.257-264.
- Jain, M.K., Mishra, S.K., Babu, P.S. and Venugopal, K., (2006) , **On the Ia-S relation of the SCS-CN method**, Hydrology Research, Vol. 37, No.3, PP. 261-275.
- Sahu, R.K., Mishra, S.K., Eldho, T.I. and Jain, M.K., (2007), **An advanced soil moisture accounting procedure for SCS curve number method**, Hydrological Processes: An International Journal, Vol. 21, No.21, PP. 2872-2881.

-
- 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, Vol. 97, No.5, PP. 749-756.
- Sahu, R.K., Mishra, S.K. and Eldho, T.I., (2012) , **Performance evaluation of modified versions of SCS curve number method for two watersheds of Maharashtra, India**, ISH Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 18, No.1, PP. 27-36.
- 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, Vol. 97, No.5, PP. 749-756.
- Singh, P.K., Mishra, S.K., Berndtsson, R., Jain, M.K. and Pandey, R.P., (2015), **Development of a modified SMA based MSCS-CN model for runoff estimation**, Water resources management, Vol. 29, No.11, PP. 4111-4127.
- Shi, W., Huang, M., Gongadze, K. and Wu, L., (2017), **A modified SCS-CN method incorporating storm duration and antecedent soil moisture estimation for runoff prediction**, Water resources management, Vol. 31, No.5, PP. 1713-1727.
- Wang, J.J., Ding, J.L., Zhang, Z. and Chen, W.Q., (2017), **Improved Algorithm of SCS-CN Model Parameters in Typical Inland River Basin in Central Asia**, In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 57, No. 1, P. 012051), IOP Publishing.