



دوره‌ی ۳۲، شماره‌ی ۳، شماره‌ی پیاپی ۱۲۴، پاییز ۱۳۹۸، صفحات ۹۴-۷۸
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2019.126114.1215

پژوهش‌های آبخیزداری

مقایسه‌ی روش‌های مختلف برآورد کردن روان‌آب سطحی ماهانه مبتنی بر شماره‌ی منحنی ماهانه

زهرا پریسای

دانشجوی دکترای آبخیزداری، دانشکده‌ی مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
واحدبردی شیخ*

(نویسنده‌ی مسئول)* دانشیار، دانشکده‌ی مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

عبدالرضا بهره‌مند

دانشیار، دانشکده‌ی مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چوقی‌بایرام کمکی

استادیار، دانشکده‌ی مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

خدایار عبدالهی

استادیار، دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: sheikh@gau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳ اردیبهشت ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: ۲۸ خرداد ۱۳۹۸

چکیده

برآورد کردن دقیق روان‌آب سطحی آبخیزها برای مدیریت کردن منابع آب مهم است. با توجه به نقص داشتن اطلاعات و پایش نشدن روان‌آب سطحی در برخی منطقه‌ها، و خطای زیاد در آن، و نیازداشت نسبتاً زیاد روش‌های برآورد کردن روان‌آب روزانه به داده، به روش‌های برآورد کردن روان‌آب ماهانه توجه شده است. در این پژوهش حالت‌های احتمالی متنوعی از ترکیب سه روش برآورد کردن روان‌آب سطحی ماهانه مبتنی بر شماره‌ی منحنی (روش سازمان حفاظت خاک (SCS) ماهانه، روش ضریب روان‌آب مبتنی بر SCS، و روش تلفیق شماره‌ی منحنی و ضریب روان‌آب) در آبخیز آرازکوسه در شرق استان گلستان بررسی و مقایسه شد. فراسنجه‌های ورودی این بررسی سه روش مختلف محاسبه‌ی شماره‌ی منحنی ماهانه (روش مبتنی بر شاخص سطح برگ، روش مبتنی بر توان نگه‌داشت و روش میانگین آبخیز با جدول‌های مرجع) بود. نتیجه‌ها نشان داد که روش برآورد کردن روان‌آب SCS ماهانه در ترکیب با همه‌ی روش‌های محاسبه‌ی شماره‌ی منحنی ماهانه، روان‌آب سطحی را با ضریب ناش-ساتکلیف بیش‌تر از ۰/۶ و انحراف کم‌تر از ۰/۳ به‌خوبی شبیه‌سازی می‌کند. درحالی‌که روش ضریب روان‌آب مبتنی بر SCS به‌ویژه زمانی که شماره‌ی منحنی متوسط ماهانه‌ی آبخیز فقط با مراجعه به جدول‌های مرجع محاسبه می‌شود، پاسخ مناسبی نمی‌دهد (ضریب ناش-ساتکلیف منفی و انحراف بیش‌تر از ۰/۴). روش تلفیق شماره‌ی منحنی و ضریب روان‌آب برای همه‌ی روش‌های محاسبه‌ی شماره‌ی منحنی نتیجه‌هایی به‌نسبت پذیرفتنی را با ضریب ناش-ساتکلیف حدود ۰/۶ در دوره‌ی واسنجی نشان داد؛ اما در دوره‌ی اعتبارسنجی، اطمینان نتیجه‌های آن در ترکیب با برخی از روش‌های محاسبه‌ی شماره‌ی منحنی ماهانه کم‌تر بود. در این پژوهش روش SCS ماهانه روش مناسب و پایدار برای آبخیز آرازکوسه دانسته شد، که می‌تواند در محاسبه‌های ترازنامه‌ی آب ماهانه‌ی آبخیزهای مشابه در منطقه به‌کار رود.

واژگان کلیدی: آبخیز آرازکوسه، روان‌آب مستقیم ماهانه، ضریب روان‌آب ماهانه، SCS، CN

مقدمه

هم‌زمان با افزایش یافتن روزافزون تقاضای آب، سالانه حجم زیادی از روان آب آبخیزهای منطقه‌های مختلف کشورمان به دلیل مهار نشدن، از دسترس خارج می‌شود و به هدر می‌رود؛ بنابراین شناختن و برآورد کردن مقادیر پذیرفتنی جریان آب‌های سطحی آبخیزها برای سیاست‌ها و برنامه‌ریزی‌های تأمین آب بسیار ضروری و مهم است (ستاری و رضازاده‌جودی ۲۰۱۸). روان آب سطحی که مهم‌ترین مولفه‌ی ترازنامه‌ی آب است، بخشی از روان آب است که در سطح زمین حرکت می‌کند تا به نهر و در نهایت به خروجی آبخیز برسد (فرز ۱۹۷۲) در کشورهایی نظیر ایران، یکی از مشکلات اساسی در برآورد کردن روان آب کم‌بود داده و اطلاعات آب‌دهی رودخانه‌ها یا نبود ایستگاه‌های آب‌سنجی در خروجی آبخیزها است (ملکیان و همکاران ۲۰۰۵). از این رو، خاصه در آبخیزهایی که داده‌ی آن‌ها در دست نیست، برای برآورد کردن روان آب سطحی روش‌های تجربی و مدل‌سازی به کار برده می‌شود. با توجه به پیچیدگی سامانه‌های آب‌شناختی، کم‌بود و نقص اطلاعات دسترس، محدودیت دسترسی به داده‌های آب‌شناختی کافی، خطاهای موجود در اندازه‌گیری داده‌های روزانه و قطعیت کم در نتیجه‌ی تعمیم‌دادن داده‌ها در این مقیاس، بیش‌تر مدل‌های ترازنامه‌ی آب، ماهانه معرفی شده‌اند. ساختار این مدل‌ها نسبتاً ساده است و فراسنجه‌های کم‌تری از مدل‌های با مقیاس زمانی کوچک‌تر دارند (صانع و ثقفیان ۲۰۱۸). از آن‌جا که مولفه‌ی روان آب سطحی نیز بخش مهمی از اجزای این مدل‌ها است، برای ارزیابی کردن مقدار جریان خروجی از آبخیزها برای مدیریت کردن آب‌های سطحی به روش‌های ماهانه‌ی برآورد کردن روان آب سطحی، که روشی ساده‌تر و با قطعیت بیش‌تر است، توجه شده است.

روش‌های متعددی برای مدل‌سازی روان آب سطحی هست که از ساده‌ترین آن‌ها می‌توان روش ضریب روان آب و روش سازمان حفاظت خاک (SCS) را نام برد (حاتمی یزد و قهرمان ۲۰۰۸). روش شماره‌ی منحنی^۱ سازمان حفاظت خاک^۲ (SCS-CN) یکی از رایج‌ترین و ساده‌ترین روش‌های مدل‌سازی روان آب سطحی است (ساتشکومار و همکاران ۲۰۱۷؛ سولیس و والیانتراس ۲۰۱۲؛ وودوارد و همکاران ۲۰۰۲؛ زللو ۲۰۱۷)، اما این روش برای برآورد کردن روان آب در مقیاس روزانه، در سال ۱۹۷۲ براساس رابطه‌ی جامع شماره‌ی منحنی (SCS-CN) نشان داده شده (دینگمان ۱۹۹۴)، و به‌گسترده‌ی پذیرفته و برای شبیه‌سازی روی داده‌های سیلاب و روان آب در مقیاس روزانه به‌کارگرفته شده است (میشرا و ساین ۲۰۰۲؛ پونس و هاوکینز ۱۹۹۶). تحقیقات

متعددی در کاربرد این روش در مقیاس ماهانه به انجام رسیده است، اما هنوز نیازمند بررسی است. نتیجه‌های محاسبه‌ی روان آب سطحی ماهانه با تلفیق روش سازمان حفاظت خاک (SCS) و ضریب روان آب (پیس‌توچی و همکاران ۲۰۰۸) نشان داد که روش پیشنهادشده نتیجه‌هایی با گام زمانی ماهانه می‌دهد که با محاسبه‌های دیگر مدل‌ها نسبتاً سازگار است. نتیجه‌های رستمیان و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که کاربرد مدل SWAT^۳ در تخمین زدن روان آب ماهانه با روش سازمان حفاظت خاک در یکی از زیرآبخیزهای کارون شمالی (آبخیز بهشت‌آباد) پذیرفتنی است. برخورداری و همکاران (۲۰۱۵) روان آب مستقیم را با ضریب روان آب محاسبه، و مدل توزیعی ترازنامه‌ی آب ماهانه را به‌روش تورنت وایت ماتر تهیه کردند. زارع گاریزی و طالبی (۲۰۱۷) نیز با مدل SWAT^۳ ترازنامه‌ی آب و روان آب سطحی ماهانه را در آبخیز قره‌سو شبیه‌سازی کردند. مدل اصلاح‌شده‌ی WetSpas-M^۳ در غرب آفریقا نیز برای محاسبه‌ی روان آب سطحی ماهانه ضریب روان آب را به کار می‌برد، که عامل‌های موثر بر روان آب مانند کاربری زمین، سطح‌های نفوذناپذیر، نوع خاک، عمق و شدت بارش و شیب را در نظر می‌گیرد (عبدالهی و همکاران ۲۰۱۷). ترکیب روش سازمان حفاظت آب و خاک (SCS) با توزیع نمایی از عمق بارش (گوسوا و همکاران ۲۰۱۸) تخمین‌هایی پذیرفتنی از روان آب مستقیم ماهانه و سالانه را در ۵۴۴ آبخیز در سراسر ایالات‌متحده نشان داد، که ممکن است در تصمیم‌گیری برای مدیریت کردن زمین در شرایط نبود اطلاعات باران روزانه به‌کارگرفته شود.

در کنار محبوبیت داشتن روش سازمان حفاظت خاک، محدودیت‌ها و ضعف‌هایی نیز در آن مشاهده می‌شود، که یکی از آن‌ها حساس بودن این روش به تک‌فراسنجه‌ی CN است (هاوکینز ۱۹۷۵؛ میشراسو ساین ۲۰۰۲). ثابت گرفتن فراسنجه‌ی شماره‌ی منحنی در یک سال از یک‌طرف، و نبود اطمینان در برآورد کردن CN از جدول‌ها و منبع‌ها از طرف دیگر کاربرد آن را محدود می‌کند (هاوکینز ۱۹۸۴؛ حسین و همکاران ۱۹۸۹). علاوه‌براین، در نظر گرفتن اثر شرایط رطوبت پیشین در شبیه‌سازی‌های پیوسته نیز بسیار مبهم است (پونس و هاوکینز ۱۹۹۶؛ سولیس و همکاران ۲۰۰۹؛ سنتهویس و همکاران ۱۹۹۵). با این حال، توسعه‌ی این مدل در وضعیت فعلی پیشرفت زیادی داشته است؛ و برای پیشرفت‌های بیش‌تر و بررسی چالش‌های موجود نیاز به بررسی و توسعه‌ی مناسب است (گوندالیا و دهولاکیا ۲۰۱۴). هاوکینز (۱۹۹۳) براساس تابع استاندارد مجانبی^۴ با روش رتبه-مرتبه^۵ رابطه‌ی نمایی بین شماره‌ی منحنی و بارش برقرار کرد که

1- Curve Number

2- Soil Conservation Services

3- Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere under quasisteady state-Modified

4- standard asymptotic functions

5- rank-order

مقایسه‌ی روش‌های مختلف برآورد کردن روان‌آب سطحی...

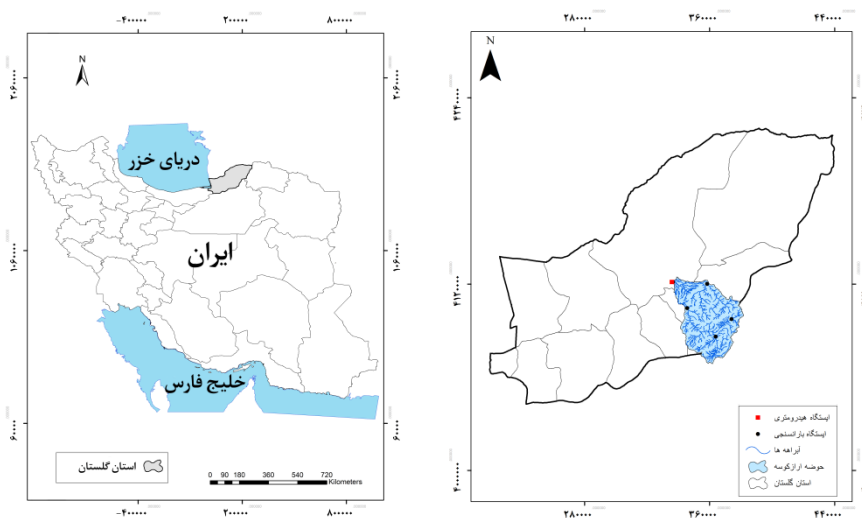
همه‌ی روش‌های به‌کاررفته و پیشنهادشده در این پژوهش را می‌توان به‌شکل رابطه‌ی مستقل برای محاسبه‌ی روان‌آب سطحی (که مهم‌ترین مولفه‌ی مدل‌ها است) در مدل‌های ترازنامه‌ی آب ماهانه به کار برد.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی بررسی‌شده

آبخیز ارازکوسه با مساحتی حدود ۱۵۳۵ کیلومتر مربع در شرق استان گلستان، بین عرض جغرافیایی $37^{\circ}15'10''$ تا $36^{\circ}45'15''$ شمالی و طول جغرافیایی $55^{\circ}40'40''$ تا $55^{\circ}09'12''$ شرقی است (شکل ۱) که از جنوب به آبخیزی شاهرود و از شمال، شرق و غرب به بخشی از آبخیز بزرگ گرگان‌رود محدود می‌شود. بخش عمده‌ی آن در استان گلستان، و در تقسیم‌بندی سیاسی در شهرستان‌های آزادشهر، مینودشت و گنبد است. دامنه‌ی ارتفاع این آبخیز از ۲۸۸۹ متر در منطقه‌های کوهستانی تا ۲۸ متر در منطقه‌های دشتی است. متوسط بارش سالانه‌ی آبخیز حدود ۴۵۲ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه‌ی آن $18/4$ درجه‌ی سانتی‌گراد است (سلمانی ۲۰۱۵). با توجه به وقوع سیلاب‌های بزرگ و زیان‌بار در آبخیز، در این تحقیق روش‌های محاسبه‌ی روان‌آب سطحی بررسی شد.

می‌تواند شماره‌ی منحنی را با تغییر زمان محاسبه کند. نتیجه‌ی محاسبه‌ی شماره‌ی منحنی با داده‌های ثبت‌شده‌ی بارش-روان‌آب برای آبخیزی در هند نشان داد که مقدار شماره‌ی منحنی محاسبه‌شده در کاهش دادن خطای شماره‌ی منحنی به‌دست‌آمده از جدول‌های استاندارد موثر است (چاترج و همکاران ۲۰۰۲). باناسیک و همکاران (۲۰۱۴) نیز براساس روی داده‌های بارش-روان‌آب در آبخیزهای کوچک شهری شماره‌ی منحنی را به‌شکل تابعی از بارش درآوردند. نتیجه‌ی CN برای ماه‌های مختلف، با داده‌های بارش و روان‌آب هم‌زمان در یکی از آبخیزهای هندوستان نشان داد که با توجه به متفاوت بودن مقدار CN در فصل‌های مختلف، توانایی پیش‌بینی روش‌های برآورد کردن روان‌آب با کاربرد CN ماهانه بهبود می‌یابد (گوندالیا و دهولاکیا ۲۰۱۴). مصطفی‌زاده و همکاران (۲۰۱۸) نیز شماره‌ی منحنی روی داده‌های مشاهده‌ی بارش و روان‌آب را در فصل‌های مختلف محاسبه، و ارتباط آن را با مولفه‌های بارش در آبخیز جعفرآباد استان گلستان تحلیل کردند. در پژوهش پیش رو، علاوه بر کاربردی کردن روش SCS در مقیاس ماهانه، به ماهانه کردن CN با تغییرات ماهانه‌ی شاخص سطح برگ^۶ (LAI) و بیشینه‌ی توان نگه‌داشت^۷ آبخیز (S) و بررسی تغییرات آن‌ها در مقیاس زمانی ماهانه پرداخته شد، که تاکنون تحقیقات کمی در این زمینه به‌انجام رسیده است.



شکل ۱- نقشه‌ی موقعیت آبخیز ارازکوسه در کشور و استان گلستان.

6- Leaf Area Index

7- potential maximum retention

داده‌ها

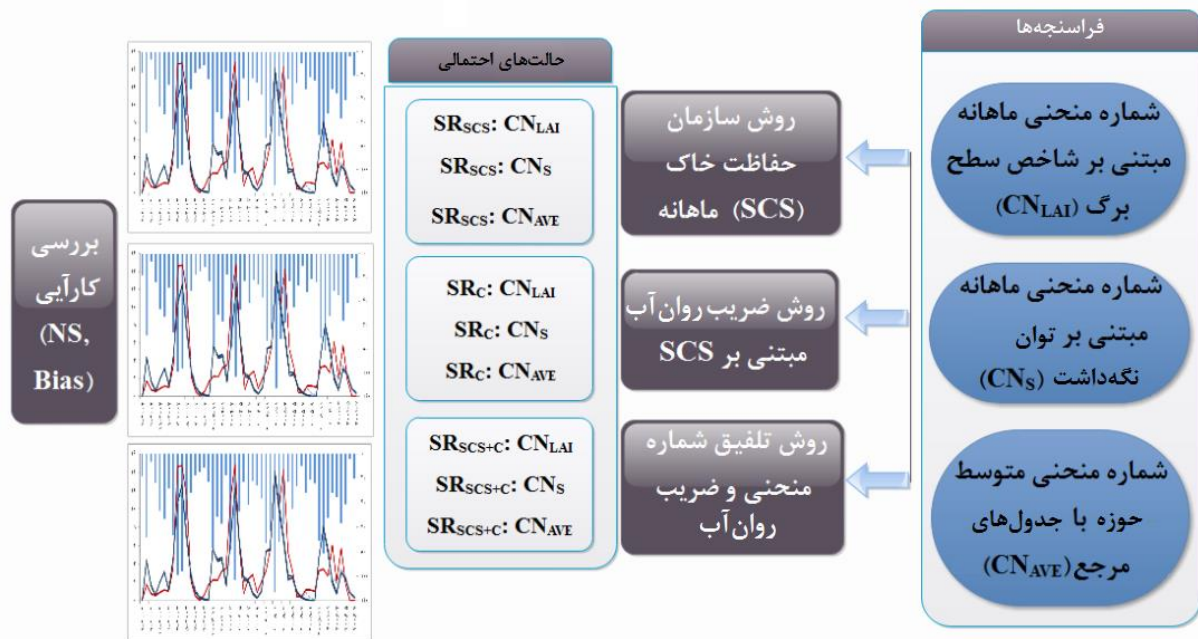
داده‌های به‌کاررفته برای محاسبه‌ی روان‌آب سطحی آبخیز ارازکوسه شامل بارش ماهانه (پنج ایستگاه ارازکوسه، نوده، لزوره، تیل‌آباد و نراب)، تعداد روزهای بارانی هر ماه، آب‌دهی مشاهده‌شده‌ی روان‌آب سطحی^۸ (روان‌آب سطحی جداشده از آب‌پایه^۹ با WHAT^{۱۰} (لیم و همکاران ۲۰۰۵) با صافی دیجیتال بازگشتی یا^{۱۱} (RDF)، و داده‌های ماهانه‌ی شاخص سطح برگ (داده‌های شاخص سطح برگ سنجنده‌ی مودیس^{۱۲} (MCD15A2H) با مقیاس زمانی ۸ روزه و تفکیک مکانی ۵۰۰ متر (ماینی و همکاران ۲۰۱۵) بود. داده‌های این تحقیق برای یک دوره‌ی زمانی مشترک ۱۴ ساله از ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۴ (۱۳۸۱ تا ۱۳۹۰ دوره‌ی واسنجی و ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ دوره‌ی

اعتبارسنجی) به‌کاربرده شد.

روش‌ها

برای مقایسه‌ی روش‌های مختلف برآوردکردن روان‌آب سطحی ماهانه سه روش مبتنی بر شماره‌ی منحنی سازمان حفاظت خاک به‌کار برده‌شد. با توجه به اهمیت شماره‌ی منحنی (CN) که در این روش‌ها فراسنجه‌ی ورودی است، با روش‌های مختلف برای محاسبه‌ی شماره‌ی منحنی با تغییرات ماهانه، حالت‌های احتمالی مختلفی در نظر گرفته‌شد. این روش‌ها به‌طورکلی عبارت است از سه روش محاسبه‌ی روان‌آب سطحی ماهانه با دو روش برای محاسبه‌ی شماره‌ی منحنی ماهانه، و شماره‌ی منحنی متوسط آبخیز در حالت‌های احتمالی مختلف (شکل ۲).

شبیه‌سازی روان‌آب سطحی و شماره‌ی منحنی ماهانه با تلفیق روش‌های مختلف مبتنی بر SCS



شکل ۲- نمودار جریان‌ی تحقیق.

8- Surface Runoff

9- Base Flow

10- WHAT: Web-based Hydrograph Analysis Tool (<https://engineering.purdue.edu/mapserve/WHAT/>)

11- Recursive Digital Filter

12- Moderate Resolution ImagingSpectroradiometer (MODIS)

در حالت فرضی، λ می‌تواند بین ۰ تا ∞ باشد (میشرا و ساین ۱۹۹۹ الف، ۱۹۹۹ ب، ۲۰۰۴، ۲۰۱۳). S بیشینه‌ی توان نگه‌داشت (میلی‌متر) است که بین ۰ تا ∞ است (رابطه‌ی ۵)، و با فراسنجه‌ی بی‌بعد شماره‌ی منحنی ($0 \leq CN \leq 100$) مرتبط است (پونس و هاوکینز ۱۹۹۶).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (5)$$

$E_1(x)$ تابع انتگرال نمایی است (آبراموویتز و استگون ۱۹۶۵):

$$E_1(x) = \int_x^{\infty} \frac{\exp(-u)}{u} du \quad (6)$$

راه‌حل‌های تقریبی زیادی برای تابع انتگرال نمایی هست؛ که یکی از آن‌ها حل کردن تقریبی زیر است (سوامی و اوجها ۱۹۹۰):

$$E_1(x) = (A^{-7.7} + B)^{-0.13}$$

$$A = \left[\ln \left[\left(\frac{0.56146}{x} + 0.65 \right) (1+x) \right] \right]; B = x^4 e^{7.7x} (2+x)^{3.7}$$

روش ضریب روان‌آب^{۱۴} مبتنی بر SCS

روش SCS فرض می‌کند که رابطه‌ی زیر بین فراسنجه‌ی نگه‌داشت و روان‌آب است:

$$\frac{F}{S} = \frac{SR}{P} \quad (10)$$

$F=P-SR$ نگه‌داشت واقعی؛ S توان نگه‌داشت؛ SR روان‌آب واقعی و P توان روان‌آب که برابر با مجموع بارندگی است. باران (P) مجموع عمق یک روی‌داد باران، و روان‌آب (SR) مجموع عمق روان‌آب مستقیم (حاصل همان روی‌داد باران) است. توان نگه‌داشت (S) بیشینه‌ی عمق باران است که ممکن است در همان روی‌داد تلف شود (پونس و هاوکینز ۱۹۹۶). در این رابطه نسبت روان‌آب به بارش ضریب روان‌آب در نظر گرفته می‌شود.

مطابق این روش مقداری از باران تلفات اولیه^{۱۵} دانسته می‌شود، که شامل ذخیره‌ی برگ‌آب^{۱۶}، نفوذ اولیه^{۱۷} و ذخیره‌ی سطحی^{۱۸} قبل از شروع روان‌آب است. اگر در روش شماره‌ی منحنی تلفات اولیه (I_a) از بارش کم شود (پونس و هاوکینز ۱۹۹۶):

روش‌های محاسبه‌ی روان‌آب سطحی ماهانه

روش سازمان حفاظت خاک (SCS) ماهانه

گوسوا و همکاران (۲۰۱۸) روشی جدید از سازمان حفاظت خاک، برای محاسبه‌ی روان‌آب مستقیم ماهانه و سالانه پیشنهاد کردند که توزیع واقعی عمق باران را نمایی محاسبه می‌کند. توزیع نمایی، مدلی شناخته‌شده از عمق باران است (ایگلسون ۱۹۷۸؛ ریچاردسون ۱۹۸۱؛ رودریگوز-ایتورب و همکاران ۱۹۹۹ و لایو و همکاران ۲۰۰۱). علاوه‌براین، توزیع نمایی (رابطه‌ی ۱) با فراسنجه-بی توصیف می‌شود (میانگین عمق باران) که برای منطقه‌های با داده‌های محدود کاربرد دارد.

$$f(P) = \frac{1}{\alpha} \exp\left(-\frac{P}{\alpha}\right) \quad (1)$$

P عمق باران ماهانه (میلی‌متر بر ماه) و α عمق متوسط روی‌داد باران است که با رابطه‌ی ۲ محاسبه می‌شود:

$$\alpha = \frac{P_N}{\eta N} \quad (2)$$

P_N بارش کل در طول دوره، N تعداد روزهای بارانی در هر ماه (روز در ماه) و η فراوانی روی‌دادهای بارندگی است. با ترکیب معادله‌ی روان‌آب مبتنی بر روی‌داد (معادله‌ی عمومی SCS) با معادله‌ی توزیع نمایی عمق بارش، معادله‌ی برای میانگین روان‌آب در هر روی‌داد در روش جدید داده شد (رابطه‌ی ۳):

$$SR_{SCS} = \int_{\lambda S}^{\infty} \frac{(P - \lambda S)^2}{(P + (1 - \lambda)S)} \cdot \frac{1}{\alpha} \exp\left(-\frac{P}{\alpha}\right) dP \quad (3)$$

با حل کردن معادله‌ی ۳ برای میانگین روان‌آب، نتیجه در معادله‌ی ۴ آورده شد:

$$SR_{SCS} = (\alpha - S) \exp\left(-\frac{\lambda S}{\alpha}\right) + \frac{S^2}{\alpha} \exp\left(\frac{(1 - \lambda)S}{\alpha}\right) E_1\left(\frac{S}{\alpha}\right) \quad (4)$$

λ نرخ تلفات اولیه^{۱۳} است (مقدار استاندارد آن ۰/۲ گرفته می‌شود ولی مقداری ثابت نیست، بل که فراسنجه‌ی واسنجی‌شدنی است).

- 13- Initial abstraction ratio
- 14- Runoff coefficient
- 15- Initial abstraction
- 16- Interception
- 17- Infiltration
- 18- Surface storage

آورد. پس از آن بررسی‌های زیادی بر آن شد که به‌طور تجربی نشان داد که رابطه‌ی معکوسی بین شماره‌ی منحنی و بارش هست (هاوکینز ۱۹۹۳؛ باناسیک و همکاران ۲۰۱۴؛ گوندالیا و دهولاکیا ۲۰۱۴؛ کووالیک و والگا ۲۰۱۵). در این پژوهش برای محاسبه‌ی شماره‌ی منحنی ماهانه، شاخص سطح برگ $(LAI)^2$ جای‌گزین بارش شد، و رابطه‌ی شماره‌ی منحنی با شاخص سطح برگ به‌شکل زیر درآمد (پریسای و همکاران ۲۰۱۹):

(۱۸)

$$CN_i(LAI_i) = CN_{min} + (100 - CN_{min}) \exp(-k * LAI_i)$$

CN_i شماره‌ی منحنی در ماه i

LAI_i شاخص سطح برگ در ماه i

CN_{min} شماره‌ی منحنی کمینه و k پارامتر واسنجی است که با توجه به هر منطقه و شرایط رطوبتی آن متغیر است. مزیت این روش در این است که با توجه به دسترس بودن داده‌های شاخص سطح برگ با سنجنده‌های از راه دور، این رابطه را می‌توان برای برآورد کردن شماره‌ی منحنی توزیعی- ماهانه به‌کاربرد.

محاسبه‌ی شماره‌ی منحنی ماهانه مبتنی بر توان نگاهداشت (CN_S)

برای محاسبه‌ی توان نگاهداشت ماهانه رابطه‌ی نمایی مشابهی برای محاسبه‌ی ذخیره‌ی چال‌آبی (وایس ۱۹۹۹؛ لیو و دسمت ۲۰۰۴) به‌کاربرده شد:

$$S_i = S_{max} [1 - \exp(-bP)] \quad (19)$$

S_i توان نگاهداشت ماهانه (mm)

P باران ماهانه (mm)

و b پارامتر واسنجی است. توان نگاهداشت به S_{max} محدود می‌شود. در نهایت شماره‌ی منحنی نیز از رابطه‌ی ۲۰ به‌شکل ماهانه محاسبه می‌شود:

$$CN_i(S_i) = \frac{25400}{S_i + 254} \quad (20)$$

محاسبه‌ی شماره‌ی منحنی میانگین آبخیز با جدول‌های مرجع $(CNAVE)$

شماره‌ی منحنی متوسط آبخیز با جدول‌های مرجع مربوط به شماره‌ی منحنی، و با توجه به نقشه‌ی کاربری زمین و گروه‌های

$$\frac{P - I_a - SR}{S} = \frac{SR}{P - I_a} \quad (11)$$

حل کردن معادله‌ی بالا برحسب SR به رابطه‌ی زیر منجر می‌شود (میشرا و ساین ۱۹۹۹ الف):

$$SR = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (12)$$

$I_a = \lambda S$ است. با فرض $I_a = 0$ رابطه‌ی بالا به‌شکل زیر خلاصه می‌شود (میشرا و ساین ۱۹۹۹ ب؛ آستون و همکاران ۲۰۰۸):

$$SR = \frac{P^2}{P + S} = \frac{P}{1 + (S/P)} \quad (13)$$

$$\frac{SR}{P} = [1 + (S/P)]^{-1} \quad (14)$$

با توجه به $C = SR/P$ ، ضریب توان روان‌آب به‌شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$C = \frac{P}{P + S} \quad (15)$$

$$SR_C = CP \quad (16)$$

اگر $S = P$ باشد؛ ضریب روان‌آب 0.5 و مقدار روان‌آب نصف باران است $(SR_C = 0.5 P)$.

۲-۱-۳-۲ روش تلفیق شماره‌ی منحنی و ضریب روان‌آب پیستوجی و همکاران (۲۰۰۸) روشی را برای محاسبه‌ی روان‌آب ماهانه همچون تابعی ساده از باران ماهانه پیشنهاد کردند. این روش با ترکیب مدل $SCS-CN$ و مدل روان‌آب خطی با ضریب روان‌آب رابطه‌ی را به‌دست می‌دهد:

$$SR_{SCS+C} = (1 - \gamma) \emptyset + \gamma \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (17)$$

γ ضریب نگاهداشت^{۱۶} (برای ارتباط دادن ظرفیت سطح زمین به جذب بارش) C_\emptyset ضریب روان‌آب است.

روش‌های محاسبه‌ی شماره‌ی منحنی ماهانه محاسبه‌ی شماره‌ی منحنی ماهانه مبتنی بر شاخص سطح برگ (CN_{LAI})

هاوکینز (۱۹۹۳) رابطه‌ی را بین شماره‌ی منحنی و بارش به‌دست

19- retention coefficient

20- Leaf Area Index

آب شناختی خاک منطقه، ۷۵ به‌دست آمد.

Q_{oi} و Q_{si} : جریان شبیه‌سازی شده و مشاهده‌شده در گام زمانی i و N تعداد گام‌های زمانی در طول دوره‌ی شبیه‌سازی است.

محاسبه‌ی روان‌آب سطحی با در نظر گرفتن ذخیره‌ی سطحی ماهانه

پژوهش‌های پیشین نشان داد که با توجه به ذخیره‌ی سطحی ماهانه، مقدار روان‌آب ماه قبل در مقدار روان‌آب ماه بعد مشارکت دارد (عبدالهی و همکاران ۲۰۱۷):

$$SR(t) = xSR(t-1) + (1-x)SR \quad (21)$$

x ضریب تاخیر (بین ۰ تا ۱)، $SR(t-1)$ روان‌آب سطحی در ماه گذشته و SR روان‌آب سطحی در ماه کنونی است. زمان تمرکز و ذخیره‌ی آبخیز اثر زیادی در ضریب x دارد.

معیارهای ارزیابی مدل

معیار کارآیی ناش - ساتکلیف ۲۲

برای ارزیابی مدل‌ها علاوه بر بررسی چشمی معیار ناش و ساتکلیف (۱۹۷۰) که ضریبی بی‌بعد به نام کارآیی مدل است، به‌کاربرده شد. این معیار می‌تواند از مقداری منفی تا ۱ باشد، و در پیش‌بینی کامل ۱ است:

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Qs_i - Qo_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Qo_i - Qo)^2} \quad (22)$$

انحراف (انحراف مدل) ۲۳

انحراف مدل را می‌توان به‌شکل تفاوت میانگین نسبی بین جریان مشاهده‌شده و پیش‌بینی شده در شبیه‌سازی بزرگ بیان کرد، که نمایانگر ترازنامه‌ی آبی است و شاید در عمل مهم‌ترین عامل برای مقایسه‌ی کارآیی مدل باشد. انحراف کم نشان‌دهنده‌ی برازش بهتر، و مقدار صفر نمایانگر شبیه‌سازی شدن کامل جریان مشاهده‌شده است. این معیار به‌شکل معادله‌ی زیر بیان می‌شود (جاروسلاو و بتلن ۲۰۱۱):

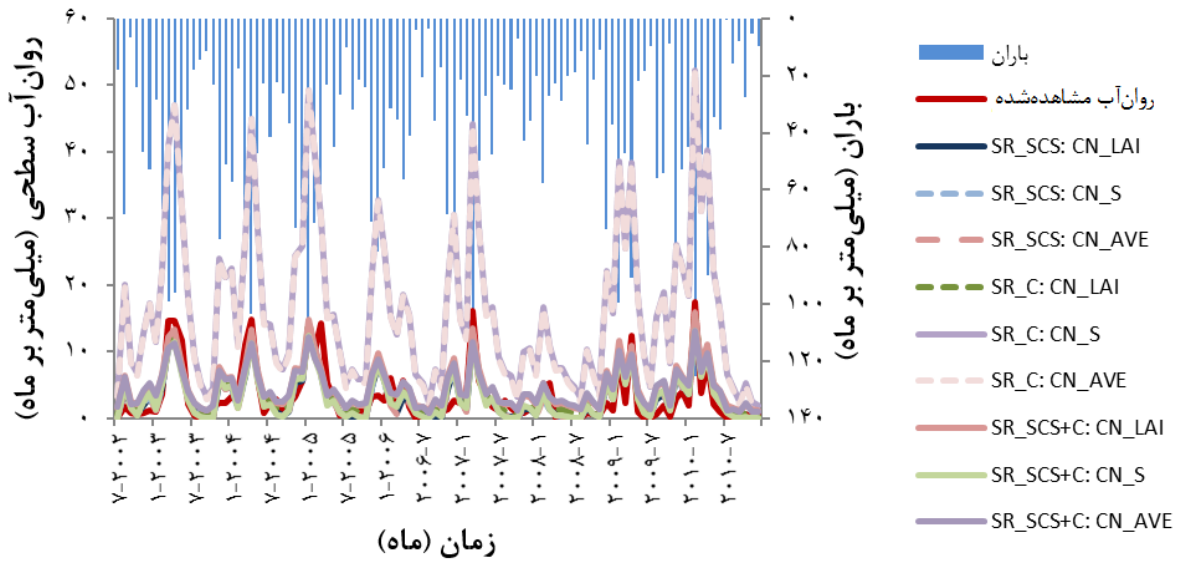
$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^N (Qs_i - Qo_i)}{\sum_{i=1}^N Qo_i} \quad (23)$$

نتایج و بحث

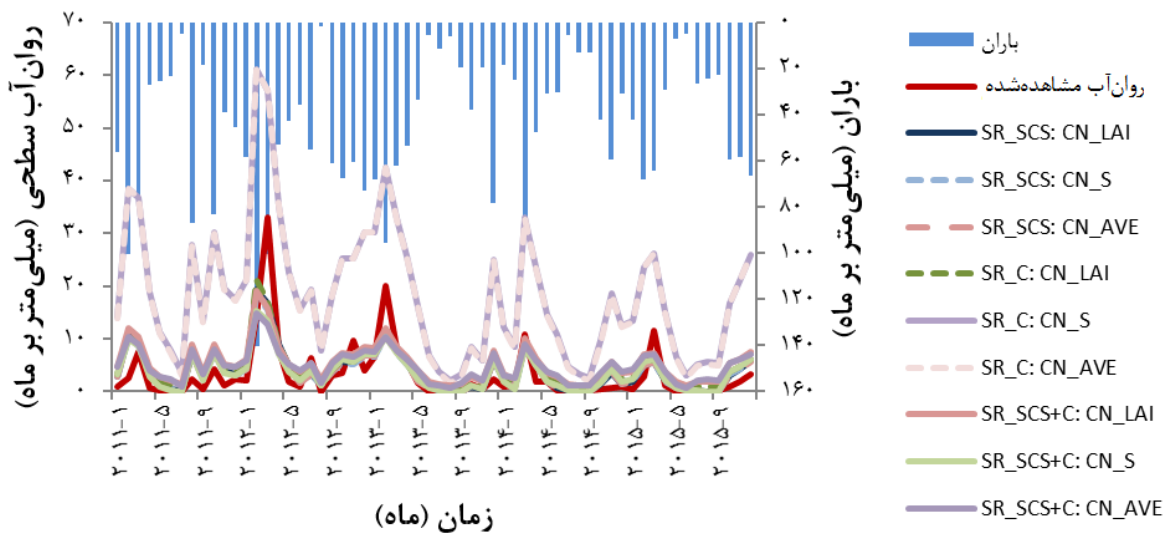
مقایسه‌ی آب‌نمودهای مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده‌ی حالت‌های احتمالی مختلف

با ترکیب کردن روش‌های مختلف برآورد روان‌آب سطحی و روش‌های محاسبه‌ی شماره‌ی منحنی ماهانه، حالت‌های احتمالی مختلفی ایجاد، و روان‌آب سطحی در هر حالت احتمالی شبیه‌سازی شد. آب‌نمودهای مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده‌ی هر حالت احتمالی در دو دوره‌ی واسنجی و اعتبارسنجی به‌ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ آورده شد. شکل ۵ نیز خط یک‌به‌یک برای همه‌ی حالت‌ها را نشان می‌دهد.

- 21- Evaluation criteria
- 22- Nash-Sutcliffe efficiency
- 23- model bias

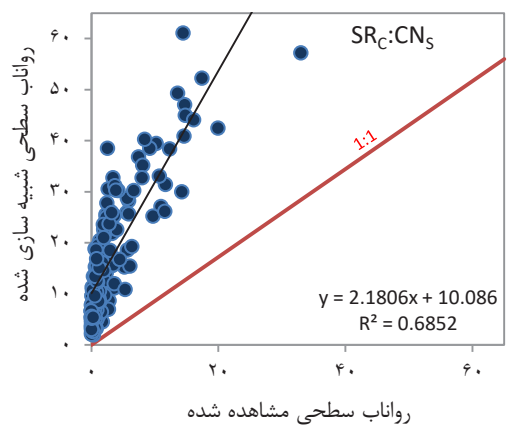
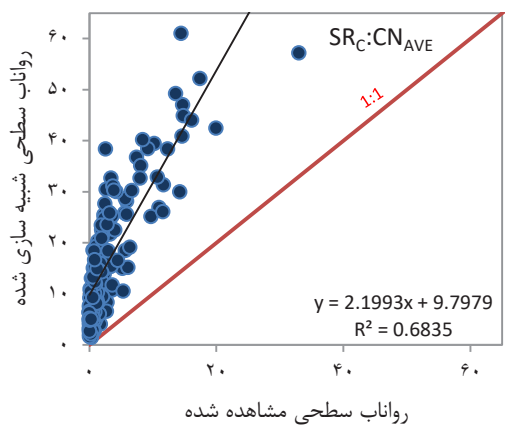
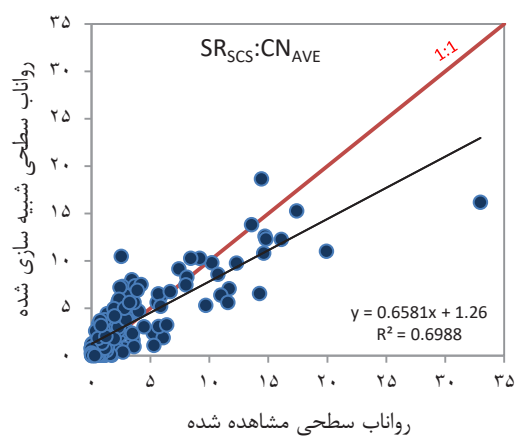
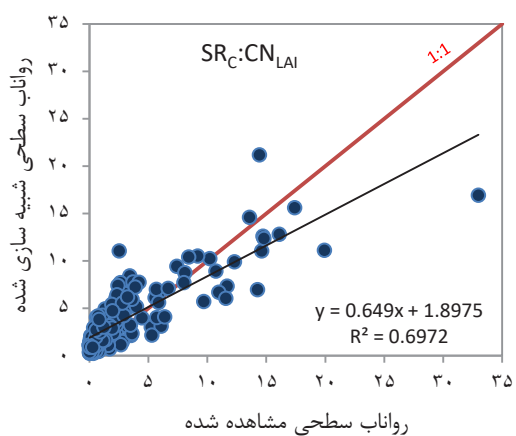
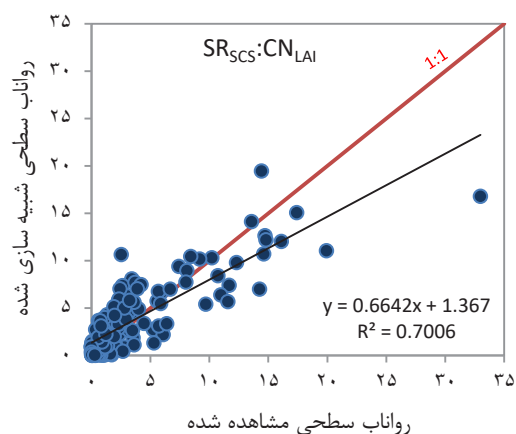
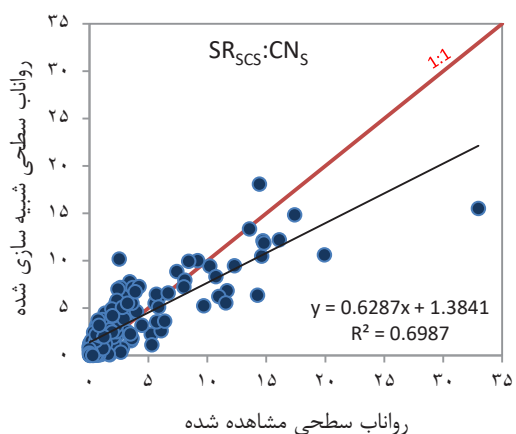


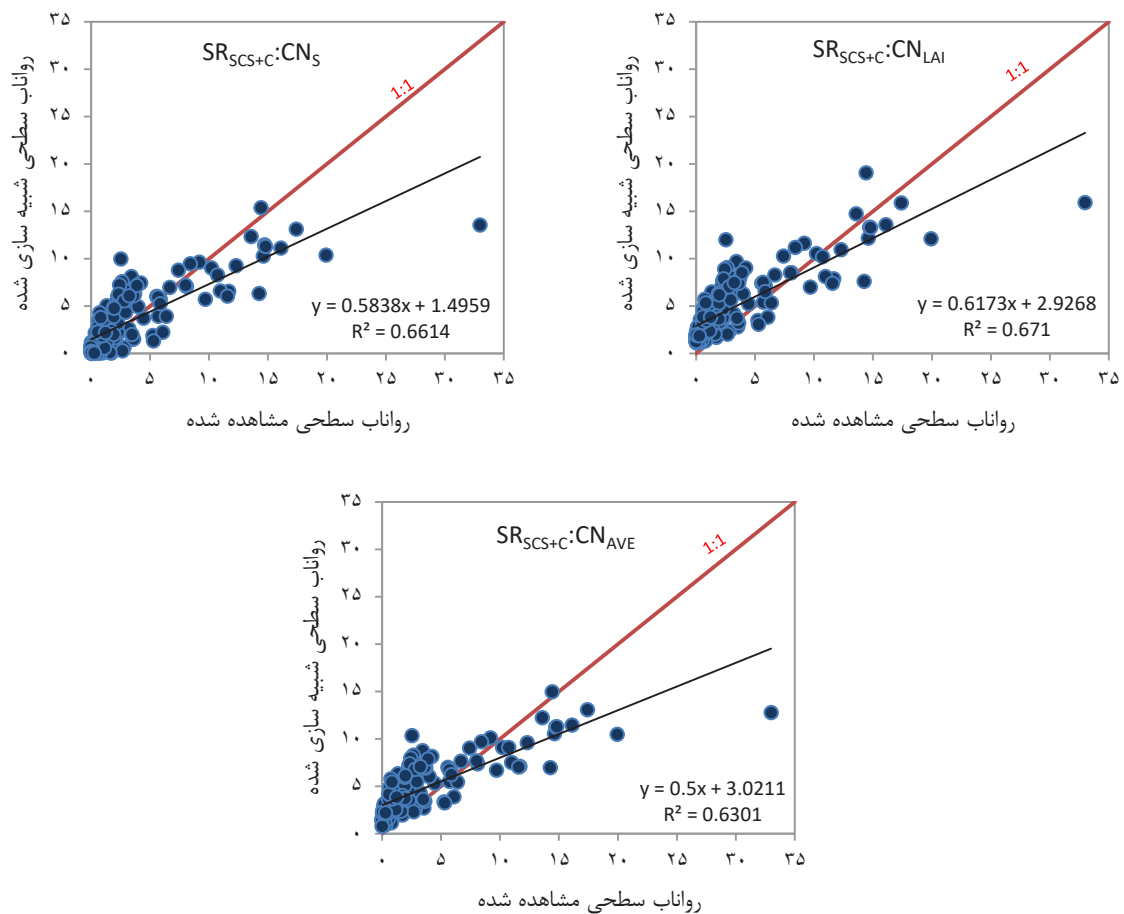
شکل ۳- مقایسه‌ی آب‌نمودهای برآورد روان آب سطحی ماهانه‌ی حالت‌های احتمالی مختلف در دوره‌ی واسنجی.



شکل ۴- مقایسه‌ی آب‌نمودهای برآورد شده‌ی روان آب سطحی ماهانه‌ی حالت‌های احتمالی مختلف در دوره‌ی اعتبارسنجی.

مقایسه‌ی روش‌های مختلف برآورد کردن روان‌آب سطحی...





شکل ۵- ارتباط بین روان آب سطحی مشاهده شده و شبیه سازی شده در تمامی حالت ها و خط یک به یک آن ها.

شد، و تنها در حالت های احتمالی $SR_C: CN_{AVE}$ و $SR_C: CN_S$ بیش برآورد بسیار زیادی شد.

واسنجی و اعتبارسنجی حالت های احتمالی مختلف
جدول ۱ و ۲ به ترتیب نتیجه ی واسنجی و اعتبارسنجی در هر حالت احتمالی را با هدف بهینه سازی تابع معیار کارایی ناش-ساتکلیف و انحراف نشان می دهد. نتیجه ی نهایی بهینه سازی فراسنجه ها پس از واسنجی نیز در جدول ۳ آورده شد.

مقایسه ی آب نمود های شبیه سازی شده و مشاهده شده ی دوره ی واسنجی و اعتبارسنجی (شکل های ۳ و ۴) نشان می دهد که تنها حالت های احتمالی $SR_C: CN_{AVE}$ و $SR_C: CN_S$ از آب نمود مشاهده شده فاصله ی بسیار زیاد دارند، و خط یک به یک (شکل ۵) نیز گویای آن است. حالت های دیگر تقریباً با آب نمود مشاهده شده منطبق بود، و اختلاف کمی بین آن ها بود. نمودار های خط یک به یک نیز نشان می دهد که در تمامی حالت ها مقدار روان آب سطحی شبیه سازی شده نسبت به مشاهده شده تا حدی کم برآورد

مقایسه‌ی روش‌های مختلف برآورد کردن روان‌آب سطحی...

جدول ۱- کارآیی حالت‌های احتمالی مختلف در مرحله‌ی واسنجی.

حالت‌های احتمالی SR:CN	CN _{LAI} [#]		CN _S ^{##}		CN _{AVE} ^{###}	
	NS	bias	NS	bias	NS	bias
SR _{SCS} [*]	۰/۷۶	۰/۰۳	۰/۷۶	۰/۰۱	۰/۷۶	-۰/۰۱
SR _C ^{**}	۰/۷۴	۰/۱۸	-۱۳/۷۸	۴/۱۳	-۱۳/۵۴	۴/۰۶
SR _{SCS} + SR _C ^{***}	۰/۶۰	۰/۴۸	۰/۷۲	-۰/۰۱	۰/۵۹	۰/۴۰

*روش سازمان حفاظت خاک (SCS) ماهانه**روش ضریب روان‌آب مبتنی بر SCS***روش تلفیق شماره‌ی منحنی و ضریب روان‌آب# شماره‌ی منحنی ماهانه مبتنی بر شاخص سطح برگ ## شماره‌ی منحنی ماهانه مبتنی بر توان نگه‌داشت ### شماره‌ی منحنی میانگین آبخیز با جدول‌های مرجع

جدول ۲- کارآیی حالت‌های احتمالی مختلف در مرحله‌ی اعتبارسنجی.

حالت‌های احتمالی SR:CN	CN _{LAI} [#]		CN _S ^{##}		CN _{AVE} ^{###}	
	NS	bias	NS	bias	NS	bias
SR _{SCS} [*]	۰/۶۴	۰/۱۸	۰/۶۳	۰/۱۴	۰/۶۴	۰/۱۳
SR _C ^{**}	۰/۶۰	۰/۳۱	-۹/۱۶	۴/۵۴	-۹/۰۳	۴/۴۸
SR _{SCS} + SR _C ^{***}	۰/۴۸	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۱۳	۰/۴۵	۰/۴۸

*روش سازمان حفاظت خاک (SCS) ماهانه**روش ضریب روان‌آب مبتنی بر SCS***روش تلفیق شماره‌ی منحنی و ضریب روان‌آب# شماره‌ی منحنی ماهانه مبتنی بر شاخص سطح برگ ## شماره‌ی منحنی ماهانه مبتنی بر توان نگه‌داشت ### شماره‌ی منحنی میانگین آبخیز با جدول‌های مرجع

احتمالی $SR_C: CN_{LAI}$ و $SR_C: CN_S$ با مقدار ضریب ناش-ساتکلیف منفی و انحراف بیش‌تر از ۴ پذیرفتنی نیست. حالت احتمالی $SR_{SCS}+C: CN_S$ نیز که از ترکیب روش تلفیق شماره‌ی منحنی و ضریب روان‌آب با فراسنجه‌ی ورودی شماره‌ی منحنی ماهانه مبتنی بر توان نگه‌داشت (CN_S) به‌دست آمد با ضریب ناش-ساتکلیف ۰/۷۲ در دوره‌ی واسنجی و ۰/۵۹ در دوره‌ی اعتبارسنجی و مقدار انحراف کم، نتیجه‌ی نسبتاً خوبی در شبیه‌سازی روان‌آب سطحی نشان داد. حالت‌های احتمالی $SR_{SCS}+C: CN_{LAI}$ و $SR_{SCS}+C: CN_{AVE}$ نیز که به‌ترتیب از ترکیب روش تلفیق شماره‌ی منحنی و ضریب روان‌آب با در نظر گرفتن فراسنجه‌ی ورودی شماره‌ی منحنی ماهانه‌ی مبتنی بر شاخص سطح برگ (CN_{LAI}) و شماره‌ی منحنی میانگین آبخیز با کاربرد جدول‌های مرجع (CN_{AVE}) به‌دست آمد، با ضریب ناش-ساتکلیف نزدیک به ۰/۶ و انحراف بیش‌تر از ۰/۴ در دوره‌ی واسنجی و ضریب ناش-ساتکلیف نزدیک به ۰/۴۵ و انحراف بیش‌تر از ۰/۵ در دوره‌ی اعتبارسنجی، نتیجه‌هایی نسبتاً پذیرفتنی نشان داد.

نتیجه‌ها نشان می‌دهد که حالت‌های احتمالی $SR_{SCS}: CN_{LAI}$ ، $SR_{SCS}: CN_S$ و $SR_{SCS}: CN_{AVE}$ که مربوط به روش سازمان حفاظت خاک (SCS) ماهانه است و به‌ترتیب از ترکیب روش SCS ماهانه با در نظر گرفتن سه حالت فراسنجه‌ی ورودی شماره‌ی منحنی ماهانه مبتنی بر شاخص سطح برگ (CN_{LAI})، شماره‌ی منحنی ماهانه‌ی مبتنی بر توان نگه‌داشت (CN_S) و شماره‌ی منحنی میانگین آبخیز با جدول‌های مرجع (CN_{AVE}) به‌دست آمد، با ضریب ناش-ساتکلیف ۰/۷۶ و انحراف کم‌تر از ۰/۰۳ در دوره‌ی واسنجی و ضریب ناش-ساتکلیف بیش‌تر از ۰/۶۰ و انحراف کم‌تر از ۰/۲ در دوره‌ی اعتبارسنجی، روان‌آب سطحی را در هر دو دوره‌ی واسنجی و اعتبارسنجی به‌خوبی شبیه‌سازی کرد. حالت احتمالی $SR_C: CN_{LAI}$ نیز که از ترکیب روش ضریب روان‌آب مبتنی بر SCS با فراسنجه‌ی ورودی شماره‌ی منحنی ماهانه‌ی مبتنی بر شاخص سطح برگ (CN_{LAI}) به‌دست آمد، با ضریب ناش-ساتکلیف ۰/۷۴ و انحراف کم‌تر از ۰/۲ در دوره‌ی واسنجی و ضریب ناش-ساتکلیف ۰/۶۰ و انحراف ۰/۳ در دوره‌ی اعتبارسنجی روان‌آب سطحی را در هر دو دوره‌ی واسنجی و اعتبارسنجی به‌خوبی شبیه‌سازی کرد. نتیجه‌ی حالت‌های

جدول ۳- اندازه‌های بهینه‌ی فراسنجه‌ها در حالت‌های احتمالی مختلف با بهینه‌سازی دستی.

فراسنجه‌ها								حالت‌های احتمالی
x	γ	\emptyset	b	CN _{AVE}	k	λ	CN _{min}	
۰/۳۹	-	-	-	-	۱۵	۰/۲۰	۷۵	۱:۱
۰/۳۵	-	-	۰/۰۶	۷۵	-	۰/۱۹	-	۱:۲
۰/۳۶	-	-	-	۷۵	-	۰/۲۰	-	۱:۳
۰/۳۵	-	-	-	-	۱۸	۰/۲۰	۳۰	۲:۱
۰/۴۰	-	-	۰/۱۰	۷۵	-	۰/۲۰	-	۲:۲
۰/۴۰	-	-	-	۷۵	-	۰/۲۰	-	۲:۳
۰/۲۸	۰/۲۰	۰/۱۰	-	-	۱۹	۰/۲۰	۷۰	۳:۱
۰/۳۰	۰/۰۰۰۸	۰/۱۸	۰/۰۷	۷۵	-	۰/۱۵	-	۳:۲
۰/۲۴	۰/۰۶	۰/۱۰	-	۷۵	-	۰/۲۰	-	۳:۳

حالت احتمالی $CN_S + C: SR_{SCS}$ که از ترکیب این روش با شماره‌ی منحنی ماهانه مبتنی بر توان نگه‌داشت به‌دست آمد، نتیجه‌هایی خوب در دوره‌ی واسنجی، و نتیجه‌هایی پذیرفتنی در دوره‌ی اعتبارسنجی نشان داد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش با هدف محاسبه‌کردن روش‌های مختلف برآوردکردن روان‌آب سطحی ماهانه و شماره‌ی منحنی ماهانه در قالب حالت‌های احتمالی مختلف، و مقایسه‌کردن نتیجه‌ی خروجی‌های این روش‌ها در دوره‌ی زمانی ۱۴ ساله (۱۳۹۴-۱۳۸۱) انجام شد. برای این کار سه روش برآوردکردن روان‌آب سطحی ماهانه با تغییر فراسنجه‌ی ورودی CN در سه حالت مختلف به‌کارگرفته، و بررسی و مقایسه شد. با توجه به مقایسه‌ی نتیجه‌های کارآیی روش‌های به‌کاررفته (جدول‌های ۱ و ۲) حالت‌های احتمالی $CN_S + C: SR_{SCS}$ و $CN_{LAI} + C: SR_{SCS}$ و $CN_{AVE} + C: SR_{SCS}$ روان‌آب سطحی را در هر دو دوره‌ی واسنجی و اعتبارسنجی به‌خوبی شبیه‌سازی کرد. به‌طورکلی روش سازمان حفاظت خاک (SCS) ماهانه در همه‌ی حالت‌های احتمالی، روان‌آب سطحی را به‌خوبی شبیه‌سازی کرد، که با نتیجه‌های گوسوا و همکاران (۲۰۱۸) در کارآیی زیاد این روش در شبیه‌سازی روان‌آب سطحی ماهانه مطابقت دارد.

در روش ضریب روان‌آب مبتنی بر SCS تنها حالت احتمالی $CN_{LAI} + C: SR_{SCS}$ نتیجه‌های خوبی نشان داد، که در حالت احتمالی حاضر مقدار فراسنجه‌ی CN_{min} نسبت به حالت‌های احتمالی $CN_S + C: SR_{SCS}$ و $CN_{AVE} + C: SR_{SCS}$ بسیار کم بود (جدول ۳). به‌طور کلی روش ضریب روان‌آب مبتنی بر SCS به‌دلیل کم‌بودن ضریب روان‌آب آبخیز، با درنظرگرفتن مقدار شماره‌ی منحنی متوسط آبخیز پاسخ خوبی نداد؛ اما با فراسنجه‌ی ورودی شماره‌ی منحنی ماهانه مبتنی بر شاخص سطح برگ به‌دلیل در نظر گرفتن عدد CN_{min} کم، می‌توان ضریب روان‌آب مناسب آبخیز

فراسنجه‌ها در روش سازمان حفاظت خاک (SCS) ماهانه، در هر سه حالت احتمالی تقریباً یکسان و پایدار است و مقدار CN در همه‌ی حالت‌های احتمالی ۷۵ است که برابر با مقدار CN متوسط آبخیز است (جدول ۳). بنابراین، این روش به تغییرات فراسنجه‌ی ورودی CN حساس نبود و با درنظرگرفتن شماره‌ی منحنی متوسط آبخیز نیز نتیجه‌هایی پذیرفتنی داد. این ممکن است به خصوصیات منطقه مرتبط باشد و در آبخیزهایی با ویژگی‌های متفاوت، نتیجه‌های متفاوتی به‌دست آید. با توجه به نتیجه‌های این تحقیق می‌توان فراسنجه‌ی ورودی CN_{AVE} را به‌کار برد، و بی‌نیاز به زیادکردن حجم محاسبه‌ها به نتیجه‌هایی پذیرفتنی دست یافت.

نتیجه‌ی بهینه‌سازی فراسنجه‌ها نشان می‌دهد که در حالت احتمالی $CN_{LAI} + C: SR_{SCS}$ مربوط به روش ضریب روان‌آب مبتنی بر SCS، مقدار فراسنجه‌ی CN_{min} در جایگاه کم‌ترین شماره‌ی منحنی، ۳۰ درنظرگرفته شد، و این حالت احتمالی نتیجه‌هایی پذیرفتنی از شبیه‌سازی روان‌آب را به‌دست می‌دهد. در حالی که حالت‌های احتمالی $CN_S + C: SR_{SCS}$ و $CN_{AVE} + C: SR_{SCS}$ که محاسبه‌ی آن‌ها با توجه به CN متوسط آبخیز (CN=۷۵) انجام شد، نمی‌توانست ضریب روان‌آب مناسب را برای آبخیز برآوردکند، و نتیجه‌های شبیه‌سازی در این دو حالت احتمالی ضعیف به‌نظر می‌رسد. با توجه به کم‌بودن ضریب روان‌آب آبخیز، نتیجه‌ها در مرحله‌ی واسنجی با درنظرگرفتن عددهای بسیار کوچکی برای CN و آزمون‌وخطا براساس تغییر مقدار CN، تا حدی بهتر می‌شود، درحالی که مقدار متوسط CN آبخیز حدود ۷۵ است و به‌کار بردن اندازه‌های کم‌تر از این منطقی و واقعی نیست.

در روش تلفیق شماره‌ی منحنی و ضریب روان‌آب در اندازه‌های فراسنجه‌های ضریب روان‌آب، تفاوت زیادی در حالت‌های احتمالی مختلف وجود داشت (جدول ۳)؛ از این‌رو ضریب روان‌آب فراسنجه‌ی حساسی در این روش است. در این روش نیز تنها

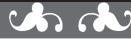
بنابراین، در این پژوهش روش سازمان حفاظت خاک (SCS) ماهانه، روشی مناسب و پایدار برای شبیه‌سازی روان‌آب سطحی ماهانه دانسته می‌شود که می‌توان در بررسی‌های آینده به آن اعتماد کرد. این روش را می‌توان در مدل‌های ترازنامه‌ی آب ماهانه برای شبیه‌سازی روان‌آب سطحی به کار برد. شماره‌ی منحنی ماهانه‌ی مبتنی بر شاخص سطح برگ را به دلیل توزیعی بودن نقشه‌های LAI می‌توان در مدل‌های توزیعی ماهانه به کار برد. پیشنهاد می‌شود که برای دستیابی به اعتمادپذیری بیش‌تر، این روش‌ها در آبخیزهایی با شرایط متفاوت نیز به کار رود و بررسی شود.

را برآورد و به‌خوبی شبیه‌سازی کرد. حالت‌های احتمالی $SR_{SCS+C}: CN_{LAI}$ ، $SR_{SCS+C}: CN_{S}$ و $SR_{SCS+C}: CN_{AVE}$ نسبتاً خوبی در شبیه‌سازی روان‌آب سطحی در دوره‌ی واسنجی نشان داد؛ ولی تنها حالت احتمالی $SR_{SCS+C}: CN_{S}$ نتیجه‌هایی پذیرفتنی در دوره‌ی اعتبارسنجی نشان داد. به‌طور کلی روش تلفیق شماره‌ی منحنی و ضریب روان‌آب نیز نتیجه‌هایی نسبتاً پذیرفتنی داشت، اما به دلیل انحراف زیاد و ضریب ناش-ساتکلیف کم در دوره‌ی اعتبارسنجی و حساس بودن به تغییر فراسنجه‌ها، اطمینان به آن کم‌تر از روش سازمان حفاظت خاک (SCS) ماهانه است.

- Abdollahi K, Bashir I, Verbeiren B, Harouna MR, Van Griensven A, Huysmans M, Batelaan O. 2017. A distributed monthly water balance model: Formulation and application on black volta basin. *Environmental Earth Sciences*. 76(5):198.
- Abramowitz M, Stegun IA. 1965. *Handbook of mathematical functions: With formulas, graphs, and mathematical tables*. Courier Corporation.
- Banasik K, Krajewski A, Sikorska A, Hejduk L. 2014. Curve number estimation for a small urban catchment from recorded rainfall-runoff events. *Archives of Environmental Protection*. 40(3):75-86.
- Barkhordari J, Vartanian T, Khosravi H. 2015. Determination of Yazd-Ardakan watershed water balance by using Thornthwaite-Mather method and application of distributed rainfall-runoff model. *Iranian Journal of Range and Desert Research*. 22(3):466-480. (In Persian).
- Chatterjee C, Jha R, Lohani A, Kumar R, Singh R. 2002. Estimation of scs curve numbers for a basin using rainfall-runoff data. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*. 8(1):40-49.
- Dingman SL. 1994. *Physical hydrology* prentice hall. Inc, New Jersey. 7458.
- Eagleson PS. 1978. Climate, soil, and vegetation: 1. Introduction to water balance dynamics. *Water Resources Research*. 14(5):705-712.
- Easton ZM, Fuka DR, Walter MT, Cowan DM, Schneiderman EM, Steenhuis TS. 2008. Reconceptualizing the soil and water assessment tool (swat) model to predict runoff from variable source areas. *Journal of hydrology*. 348(3-4):279-291.
- Freeze RA. 1972. Role of subsurface flow in generating surface runoff: 1. Base flow contributions to channel flow. *Water Resources Research*. 8(3):609-623.
- Gundalia M, Dholakia M. 2014. Impact of monthly curve number on daily runoff estimation for ozat catchment in india. *Open Journal of Modern Hydrology*. 4(04):144.
- Guswa AJ, Hamel P, Meyer K. 2018. Curve number approach to estimate monthly and annual direct runoff. *Journal of Hydrologic Engineering*. 23(2):04017060.
- Hatami Yazd A, Ghahrman B. 2008. Survey and extrapolation of monthly and annual rainfall – runoff equations to ungauged watersheds. *Scientific Journal of Agriculture*. 30(4):1-15. (In Persian).
- Hawkins R, Woodward D, Jiang R. 2001. Investigation of the runoff curve number abstraction ratio. USDA-NRCS hydraulic engineering workshop, Tucson, Arizona.
- Hawkins RH. 1975. The importance of accurate curve numbers in the estimation of storm runoff 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*. 11(5):887-890.
- Hawkins RH. 1984. A comparison of predicted and observed runoff curve numbers. *American Society of Civil Engineers*.
- Hawkins RH. 1993. Asymptotic determination of runoff curve numbers from data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 119(2):334-345.
- Hoesein A, Pilgrim D, Titmarsh G, Cordery I. 1989. Assessment of the US Conservation Service method for estimating design floods. *New Directions for Surface Water Modeling Proceedings of the Baltimore Symposium*.
- Jarosl aw C, Batelaan O. 2011. Application of the wetspa distributed hydrological model for catchment with significant contribution of organic soil. Upper biebza case study. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW Land Reclamation*. 43(1):25-35.

- Kowalik T, Walega A. 2015. Estimation of cn parameter for small agricultural watersheds using asymptotic functions. *Water*. 7(3):939-955.
- Laio F, Porporato A, Ridolfi L, Rodriguez-Iturbe I. 2001. Plants in water-controlled ecosystems: Active role in hydrologic processes and response to water stress: II. Probabilistic soil moisture dynamics. *Advances in Water Resources*. 24(7):707-723.
- Lim KJ, Engel BA, Tang Z, Choi J, Kim KS, Muthukrishnan S, Tripathy D. 2005. Automated web gis based hydrograph analysis tool, what 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*. 41(6):1407-1416.
- Liu Y, De Smedt F. 2004. Wetspa extension, a gis-based hydrologic model for flood prediction and watershed management. *Vrije Universiteit Brussel, Belgium*. 1:e108.
- Malekian A, Mohseni Saravi M, Mahdavi M. 2005. Applicability of the USDA-NRCS Curve Number Method for Runoff Estimation. *Iranian Journal of Natural Resources*. 57(4):621-633. (In Persian).
- Mishra S, Singh V. 1999b. Behaviour of SCS-CN method in CI* a- λ spectrum. *Proceedings "Hydrologic Modeling"*, International Conference on Water, Environment, Ecology, Socioeconomics, and Health Engineering. 112-117.
- Mishra SK, Singh VP. 1999a. Another look at scs-cn method. *Journal of Hydrologic Engineering*. 4(3):257-264.
- Mishra SK, Singh VP. 2002. Scs-cn-based hydrologic simulation package. *Water Resources Publications: Littleton, CO*.
- Mishra SK, Singh VP. 2004. Validity and extension of the scs-cn method for computing infiltration and rainfall-excess rates. *Hydrological Processes*. 18(17):3323-3345.
- Mishra SK, Singh VP. 2013. *Soil conservation service curve number (scs-cn) methodology*. Springer Science & Business Media.
- Myneni R, Knyazikhin Y, Park T. 2015. MCD15A2H MODIS/Terra+Aqua Leaf Area Index/FPAR 8-day L4 Global 500m SIN Grid V006. *NASA EOSDIS Land Processes DAAC*. <http://doi.org/10.5067/MODIS/MCD15A2H.006>
- Mostafazadeh R, Mirzaei SH, Nadiri P. 2018. Curve Number Determination using Rainfall and Runoff Data and its Variations with Rainfall Components in a Forested Watershed. *Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*. 21(4):15-28. (In Persian).
- Nash JE, Sutcliffe JV. 1970. River flow forecasting through conceptual models part i—a discussion of principles. *Journal of hydrology*. 10(3):282-290.
- Parisay Z, Sheikh V, Bahremand A, Komaki CB, Abdollahi K. 2019. An approach for estimating monthly curve number based on remotely-sensed modis leaf area index products. *Water Resources Management*. 1-18.
- Pistocchi A, Bouraoui F, Bittelli M. 2008. A simplified parameterization of the monthly top-soil water budget. *Water Resources Research*. 44(12).
- Ponce VM, Hawkins RH. 1996. Runoff curve number: Has it reached maturity? *Journal of hydrologic engineering*. 1(1):11-19.
- Richardson CW. 1981. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation. *Water resources research*. 17(1):182-190.
- Rodriguez-Iturbe I, Porporato A, Ridolfi L, Isham V, Coxi D. 1999. Probabilistic modelling of water balance at a point: The role of climate, soil and vegetation. *Proceedings of the Royal Society of London Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 455(1990):3789-3805.
- Roostamiyan R, Mosavi SF, Heydarpor M, Afyoni M, Abaspor K. 2009. Application of SWAT2000 model for estimation of runoff and sediment in the Behesht-abad sub-watershed of the North Karon river basin. *Journal of Science*

- es and Technology of Agriculture and Natural Resources, 12(46b):517–531. (In Persian).
- Salmani H, Bahremand A, Saber Chenari K, Rostami Khalaj, M. 2015. Evaluation of the Efficiency of AWBM, Sacramento and Tank Rainfall Runoff Model in Runoff Simulation in Arazkoose - Goorganrood Basin, Golestan Porovince. Iranian Journal of EcoHydrology. 1(3):207–221. (In Persian).
- Sane I, Saghafan B. 2018. A Review of Conceptual Monthly Water Balance Models. Journal of Water and Sustainable Development. 5(1):101–114. (In Persian).
- Satheeshkumar S, Venkateswaran S, Kannan R. 2017. Rainfall–runoff estimation using scs–cn and gis approach in the pappiredipatti watershed of the vaniyar sub basin, south india. Modeling Earth Systems and Environment. 3(1):24.
- Sattari M, Joudi A. 2018. Modelling monthly runoff by using data mining methods based on attribute selection algorithms. Journal of Water and Soil Resources Conservation. 7(4):39–54. (In Persian).
- Soulis K, Valiantzas J, Dercas N, Londra P. 2009. Analysis of the runoff generation mechanism for the investigation of the scs-cn method applicability to a partial area experimental watershed. Hydrology & Earth System Sciences Discussions. 6(1).
- Soulis K, Valiantzas J. 2012. Scs-cn parameter determination using rainfall-runoff data in heterogeneous watersheds—the two-cn system approach. Hydrology and Earth System Sciences. 16(3):1001-1015.
- Steenhuis TS, Winchell M, Rossing J, Zollweg JA, Walter MF. 1995. Scs runoff equation revisited for variable-source runoff areas. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 121(3):234-238.
- Swamee PK, Ojha CSP. 1990. Pump test analysis of confined aquifer. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 116(1):99-106.
- Vaes G. 1999. The influence of rainfall and model simplification on the design of combined sewer systems. PhD thesis, University of Leuven, Belgium.
- Woodward DE, Hawkins RH, Hjelmfelt A, Van Mullem J, Quan QD. 2002. Curve number method: Origins, applications and limitations. US Geological Survey Advisory Committee on Water Information–Second Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference July.
- Zare Garizi A, Talebi A. 2017. Water balance simulation for the Ghare-Sou Watershed, Golestan, using the SWAT model. Journal Management System. 9(30):37–50. (In Persian).
- Zeleelew DG. 2017. Spatial mapping and testing the applicability of the curve number method for ungauged catchments in northern ethiopia. International Soil and Water Conservation Research. 5(4):293-301.



Watershed Management Research

VOL: 32, No. 3, Ser. No: 124, Autumn 2019, pp. 78 -94
DOI: 10.22092/wmej.2019.126114.1215

Comparison of Different Methods in Monthly Surface Runoff Estimation Based on the Monthly Curve Number

Zahra Parisay

Ph.D. Student, Faculty of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

Vahedberdi Sheikh*

(Corresponding Author)*Associate Professor of Faculty of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

Abdolreza Bahreman

Associate Professor of Faculty of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

ChooghiBairam Komaki

Assistant Professor of Faculty of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

Khodayar Abdollahi

Assistant Professor of Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Iran

*Corresponding Author Email: sheikh@gau.ac.ir

Received: 03 May 2019 Accepted: 18 June 2019

Abstract

It is a matter of utmost importance to estimate accurately watersheds' surface runoff in order to manage a region's water resources. Due to the inadequacy and lack of surface runoff monitoring in some watersheds, as well as high error and relatively high data demand of the daily runoff estimation methods, it is necessary to rely on the monthly runoff estimation methods. Different scenarios of combining monthly surface runoff estimation methods (the monthly SCS method, SCS-based runoff coefficient, the integrated curve number (CN), and the runoff coefficient method) with three methods of calculating monthly curve number (based on the leaf area index, on the retention potential, and on the average CN-based reference tables) as input parameters for the surface runoff estimation methods. These estimations were applied and compared across the Araz-Kouseh Watershed, east of the Province of Golestan. Results indicated that the monthly SCS method in combination with all methods of monthly CN has appropriately simulated the surface runoff with the Nash-Sutcliffe (NS) coefficient and bias values of higher than 0.6 and lower than 0.3, respectively. While the SCS-based runoff coefficient method performed poorly (with negative NS values and bias values above 4), particularly in combination with the average CN estimation based on the reference table. The integrated method of curve number and runoff coefficient in combination with all methods of monthly CN estimation indicated relatively acceptable results (with the NS values of about 0.6) during the calibration period; however, for the validation period, the results in combination with some monthly CN calculation methods were less reliable. Therefore, the monthly SCS method was selected as a suitable and robust method for the monthly surface runoff simulation of the Araz-Kouseh Watershed; thus it may be recommended for estimation of the water balance in similar watersheds in the region.

■ **Keywords:** Araz-Kouseh Watershed, CN, monthly direct runoff, monthly runoff coefficient, SCS ■