



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۱۲ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۴۰۱

صفحه‌های ۳۰۹-۳۲۵

DOI: 10.22059/jwim.2022.337092.959

مقاله پژوهشی:

ارزیابی مدل بارش-رواناب-نگهداشت (3RM) در حوزه‌های آبخیز کسلیان و درجزین

سعیده ایزدی^۱، شایان شامحمدی^{۲*}

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی و علوم آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

۲. استاد، گروه مهندسی و علوم آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۲۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱/۲۸

چکیده

مدل‌های هیدرولوژیکی این امکان را می‌دهند تا با شبیه‌سازی فرایند بارش-رواناب، مقدار رواناب حاصل از بارندگی در حوزه‌های فاقد آمار یا دارای آمار ناقص با کم‌ترین هزینه و حداقل زمان، ارزیابی و برنامه‌ریزی برای مهار و مدیریت سیلاب‌ها صورت پذیرد. هدف از این مطالعه ارزیابی مدل بارش-رواناب-نگهداشت 3RM در حوزه‌های آبخیز کسلیان و درجزین می‌باشد. مدل مورد مطالعه یک مدل ریاضی است که بر مبنای مدل مفهومی SCS-CN نگارش شده و در آن به جای رطوبت پیشین از مقادیر نگهداشت مؤثر پیشین (I_{ER}) استفاده می‌گردد. پارامتر نگهداشت مؤثر پیشین نیز به روش بیلان آبی قابل محاسبه است. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که حوزه آبخیز درجزین با ۲۹/۳۸ درصد پوشش سنگی و ۳/۲۷ درصد گروه هیدرولوژیکی A دارای پتانسیل نگهداشت ۲۰/۶۶ میلی‌متر و حوزه آبخیز کسلیان با پوشش جنگلی ۷۷ درصد و پوشش توده سنگی صفر از پتانسیل نگهداشت بسیار بیش‌تری (۵۱/۱۱ میلی‌متر) برخوردار است. مقدار α (نسبت نگهداشت مقدماتی به نگهداشت پتانسیل) نیز در حوزه کسلیان ۰/۰۵ و در حوزه درجزین برابر با ۰/۱۳ حاصل شد. هم‌چنین، نتایج برازش مدل بر داده‌های بارش-رواناب نشان داد که شاخص‌های ارزیابی شامل ضریب تعیین، ریشه مربعات خطای میانگین، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال و ضریب نش برای پیش‌بینی رواناب حوزه درجزین و کسلیان به ترتیب (۰/۹۹۸، ۰/۴۳۹، ۰/۰۲۹، ۰/۹۹۸) و (۰/۸۶۷، ۰/۲۶۴، ۱/۰۰۹، ۰/۸۵۹) حاصل شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان ادعان داشت مدل 3RM برای پیش‌بینی رواناب و نگهداشت واقعی در هر دو حوزه از توانایی قابل‌قبولی برخوردار است.

کلیدواژه‌ها: بیلان آب، حوزه آبخیز، مدل بارش-رواناب-نگهداشت، نگهداشت مؤثر پیشین.

Evaluation of Rainfall-Runoff-Retention Model (3RM) in Kassilian and Darjazin Watersheds

Saeedeh Izadi¹, Shayan Shamohammadi^{2*}

1. M.Sc. Graduated, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran.

2. Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran.

Received: April 17, 2022

Accepted: January 10, 2022

Abstract

Hydrological models make it possible to simulate the rainfall-runoff process, the amount of runoff from rainfall in areas without statistics or with incomplete statistics. One of the most practical and globally accepted rainfall-runoff model provided by American Soil Conservation Service, (SCS) known as SCS-CN where CN refer to Curve Numbers based on soil hydrological conditions. In this research, Rainfall-Runoff-Retention Model (3RM) was used introduced the new concept for rainfall Interceptions as Antecedent Effective Retention (I_{ER}) instead of the Antecedent Moisture Content (AMC) and calculating it by water balance method. SCS-CN model with this new revision were applied in Darjazin (semi-arid climate) and Kassilian (very humid climate) catchments in Iran. The results of the study showed that Darjazin watershed with 29.38 percent rock cover (D) and 3.27 percent hydrologic soil group (A) with a holding potential of 20.66 mm and Kassilian watershed with forest cover 77 percent and rock mass cover 0.0 percent has a lot of retention potential (51.11 mm). The value of α (ratio of initial retention to potential retention) was obtained between 0.05 and 0.13 in different basins. Also, the results of model fitting on rainfall-runoff data showed that the evaluation indices including coefficient of determination R^2 , RMSE, NRMSE and NSE for predicting runoff in Darjazin catchment (0.998, 0.439, 0.029, and 0.998) respectively, while the same indicators for the Kassilian watershed are (0.867, 0.264, 1.009 and 0.859) respectively. The results show that the model has an acceptable ability to predict runoff and actual retention in all two watersheds.

Keywords: Previous effective retention, Water Balance, Watershed, 3RM.

مقدمه

SCS. Williams *et al.* (2012) نشان دادند که در روش SCS، استفاده از اصلاح شاخص رطوبت به جای استفاده مستقیم از رطوبت پیشین نتایج بهتری دارد. Singh *et al.* (2015) با استفاده از مفهوم SMA و مدل Michel *et al.* (2005) که برگرفته از این مفهوم و بر پایه مدل اصلی SCS-CN است، مدل دیگری به نام MMSCS-CN ارائه دادند. در سال ۲۰۱۳ مدلی تحت عنوان «مدل جدید ایزوترم جذب» توسط شامحمدی معرفی شد (Shamohammadi, 2013)، که به عنوان مدل تعادلی جذب شناخته شد. این مدل از نظر مفهومی هماهنگی زیادی با مدل مفهومی SCS-CN داشت. Bartlett *et al.* (2016) به این موضوع اشاره کردند که روش SCS-CN به دلیل تجربی بودن به منطقه جغرافیایی خاص و نوع کاربری زمین محدود شده و علاوه بر آن تغییرات مکانی رواناب را توصیف نمی کند. Shamohammadi (2017) مدل مفهومی SCS-CN را به صورت مدل نگهداشت ریاضی مورد بررسی قرار داد و بیان کرد که اساساً مدل SCS-CN دارای ضعف تئوریک بوده و قادر به نمایش ریاضی مدل مفهومی بارش-رواناب نمی باشد. همچنین اذعان نمود یکی از نقاط ضعف روش SCS-CN این است که نگهداشت پتانسیل به عنوان تنها ظرفیت نهایی حوزه محسوب نمی شود، بلکه سه نوع CN و در نتیجه سه نوع پتانسیل معرفی می شود. وی ضمن اصلاح مدل مفهومی SCS-CN، نشان داد که با در نظر گرفتن فرضیات صحیح مدل مفهومی SCS-CN، مدلی بر مبنای قانون بقای جرم به دست می آید که ضمن افزایش دقت در برآورد رواناب و نگهداشت، سرعت عملیات را نیز افزایش خواهد داد. Ara & Zakwan (2018) از روش اصلاح شده شماره منحنی حفاظت خاک آمریکا در کانال شرقی سون^۱ به منظور برآورد رواناب با استفاده از پارامترهایی مانند شیب، پوشش گیاهی و مساحت حوزه استفاده و از نقشه پوشش سطح زمین در

رواناب سطحی یکی از مهم ترین اجزای چرخه هیدرولوژیکی و درعین حال به وجود آورنده جریان رودخانه ای و یکی از مهم ترین منابع آبی است که برای مصارف مختلف مورد استفاده قرار می گیرد، برآورد دقیق و قابل قبول رواناب تولید شده از یک حوزه، بخشی مهم و غیرقابل انکار از اطلاعات لازم برای سیاست گذاری و مدیریت حوزه آبخیز است. مدل سازی بارش-رواناب یکی از روش های تخمین رواناب و ابزاری مناسب برای مطالعه فرایندهای هیدرولوژیکی و ارزیابی منابع آبی می باشد، به گونه ای که یکی از اهداف مهم مطالعات هیدرولوژی دستیابی به مدلی است که بتواند برآورد قابل اطمینانی از رواناب سیلابی در حوزه های آبخیز داشته باشد (Moradkhani & Sorooshian, 2009). برای نیل به این مقصود، مدل های متعددی ارائه شده است (Ebrahimian *et al.*, 2009; Bartlett *et al.*, 2016). این وجود مدل تجربی SCS-CN، همواره مورد توجه بوده (Williams *et al.*, 2012; Buszney 1989; Huang *et al.*, 2019) و به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرد. در این روش طبقه بندی شرایط رطوبت خاک در هر حوزه صرفاً برحسب بارندگی پنج روز قبل و در دو حالت فصل رشد و فصل خواب صورت می گیرد و این طبقه بندی خود تأثیر به سزایی در تعیین شماره منحنی و در نهایت میزان رواناب برآورد شده دارد. Hawkins (1984) نشان داد که روش SCS-CN برای حوزه های آبخیز کارست و نیز مناطق جنگلی کارایی لازم را ندارد. Sahu *et al.* (2010) با توجه به کاستی ها و ناتوانی مدل SCS-CN و نسخه های اصلاح شده آن در نمایش تأثیر وضعیت رطوبت پیشین بر تولید رواناب، اقدام به معرفی مدلی کردند که در آن ترکیب یک تابع پیوسته برای محاسبه رطوبت پیشین ارائه شده است.

اراضی بوده است. Ebrahimiyan *et al.* (2012) هدف از مطالعه خود را ارزیابی کاربرد روش شماره منحنی سازمان حفاظت منابع طبیعی (NRCS-CN)^۲ همراه با به‌کارگیری نرم‌افزار GIS به منظور تخمین عمق رواناب در حوزه آبخیز کوهستانی کارده قرار دادند. Vaezi & Abbasi (2012) به برآورد کارایی روش شماره منحنی SCS-CN در برآورد رواناب حوزه تهم چای شمال غرب زنجان پرداختند. ارائه مدل، طبق فرضیه پیشنهادی SCS با ضریب λ برابر با $0/2$ در منطقه، کارایی خوبی نداشته و نیاز به واسنجی دارد. بدین صورت که میزان رواناب برآورد شده بر مبنای این ضریب، $2/67$ برابر میزان رواناب مشاهده شده است. مقادیر ضریب تبیین برای داده‌های فصول بهار، پاییز و زمستان به ترتیب $0/071$ ، $0/111$ و $0/099$ حاصل شد. Shamohammadi & Zomorodian (2013) در پژوهشی به مقایسه عملکرد مدل‌های SCS و SMA-B در برآورد میزان سیلاب در حوزه آبخیز رود زرد پرداختند که نتایج این پژوهش حاکی از عدم کارایی مطلوب مدل SCS و کم‌ترین اختلاف در برآورد دبی و کم‌ترین اختلاف در برآورد هیدروگراف (حجم سیلاب) در مدل SMA-B بود. نتایج مطالعات Azizian & Shokoohi (2014) نشان داد که متوسط وزنی شماره منحنی حوزه به دست آمده از روش‌های متداول و رابطه پیشنهادی به ترتیب در حدود $059/6$ و $62/8$ می‌باشد. نتایج پژوهش Salarijazi *et al.* (2017) نشان داد هر دو مدل مورد بررسی، تمایل به بیش‌برآوردی حجم رواناب و کم‌برآوردی زمان رسیدن به اوج دارند، در حالی که مدل متداول SCS میل به کم‌برآوردی و مدل پیشنهادی، میل به بیش‌برآوردی دبی اوج دارند. مطالعات Mahmoodi *et al.* (2020) نشان داد که میزان دبی اوج و حجم سیلاب حوزه کشف‌رود طی دوره مورد مطالعه به طور متوسط به ترتیب $15/2$ و $13/7$

تجزیه و تحلیل رواناب حاصل از منطقه نیز بهره بردند. Muche *et al.* (2019) در مطالعه خود از تجزیه و تحلیل رگرسیون استفاده کرده و یک CN پویا (CNNDVI) بر اساس اعمال تغییرات فصلی در شاخص پوشش گیاهی تعریف نمودند. در مدل اعتبارسنجی آن‌ها، میزان رواناب CNNDVI تقریباً به‌ازای هر واحد رواناب مشاهده شده به میزان $0/96$ و میزان رواناب حاصل شده از روش SCS-CN مقدار $0/49$ افزایش داشته است. یافته‌ها نشان داد که CNNDVI می‌تواند تخمین‌های بهبودیافته‌ای از رواناب سطحی به بار آورد و منجر به تصمیم‌گیری‌هایی با آگاهی بیش‌تر در حوزه مدیریت منابع آب شود.

پژوهش‌گران در ایران نیز روش SCS و نسخه‌های اصلاح شده آن را در برخی از حوزه‌های آبخیز کشور مورد بررسی قرار دادند. Fazloulou *et al.* (2007) پژوهش خود را بر مبنای تعیین روابط پیش‌بینی رواناب در حوزه‌های آبخیز کوهستانی کسلیان و امامه قرار دادند. در این پژوهش روابط پیش‌بینی عمق رواناب ناشی از بارش برای حوزه‌های آبخیز کوهستانی کوچک واقع در دامنه‌های شمالی و جنوبی رشته کوه البرز استخراج شد، در مطالعه ایشان ضریب هم‌بستگی چندگانه در حوزه کسلیان برابر $0/857$ حاصل شد. Sadeghi *et al.* (2008) ادعان داشتند که استفاده از مدل‌های تجربی هم‌چون SCS-CN به منظور برآورد رواناب حوزه‌های آبخیز، در خارج از مناطق تهیه آن‌ها با خطا همراه می‌باشد. Seyyed Kaboli *et al.* (2009) در حوزه آبخیز کسلیان به ارزیابی روش‌های تلفاتی که بر حجم رواناب و شکل آب‌نمود تولیدی ناشی از مدل‌های هیدرولوژیکی مؤثر می‌باشد، پرداختند. Gholami *et al.* (2010) اثر تغییرات کاربری اراضی در ایجاد رواناب و خطر سیلاب حوزه آبخیز کسلیان را بررسی نمودند، نتایج نشان داد پتانسیل تولید رواناب و خطر سیلاب صرفاً در اثر تغییرات کاربری

مواد و روش‌ها

معرفی حوزه‌های آبخیز

برای ارزیابی مدل، دو حوزه آبخیز کسلیان و درجزین که هر دو مجهز به ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری بودند، مورد مطالعه قرار گرفتند. در این راستا براساس روش De Martonne (Tabari *et al.*, 2014) حوزه آبخیز کسلیان دارای اقلیم خیلی مرطوب و حوزه درجزین دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد می‌باشد. این حوزه‌ها از نظر هیدرولوژیکی، دارای زمان تمرکز کمتر از شش ساعت بوده و جزو حوزه‌های آبخیز کوچک به شمار می‌روند (شکل ۱). مشخصات کلی حوزه‌ها نیز در جدول (۱) درج شده است.

درصد افزایش یافته، اما زمان رسیدن به دبی اوج هیدروگراف سیل تغییری نداشته است. براساس مطالعات پژوهش حاضر، تاکنون مدل هیدرولوژی که بتواند ضمن محاسبه عددی نگهداشت پیشین بارش هدف، رابطه ریاضی ساده‌ای برای محاسبه رواناب حوزه ارائه دهد، در آن به تعریف نگهداشت متغیر پردازد و نگهداشت پتانسیل را توسط مدل ریاضی به‌دست آورد، ارائه نشده است. هدف از این مطالعه بسط مدل Shamohammadi (2017) و ارزیابی آن به‌منظور برآورد مقادیر نگهداشت و رواناب در حوزه‌های آبخیز کسلیان و درجزین می‌باشد.

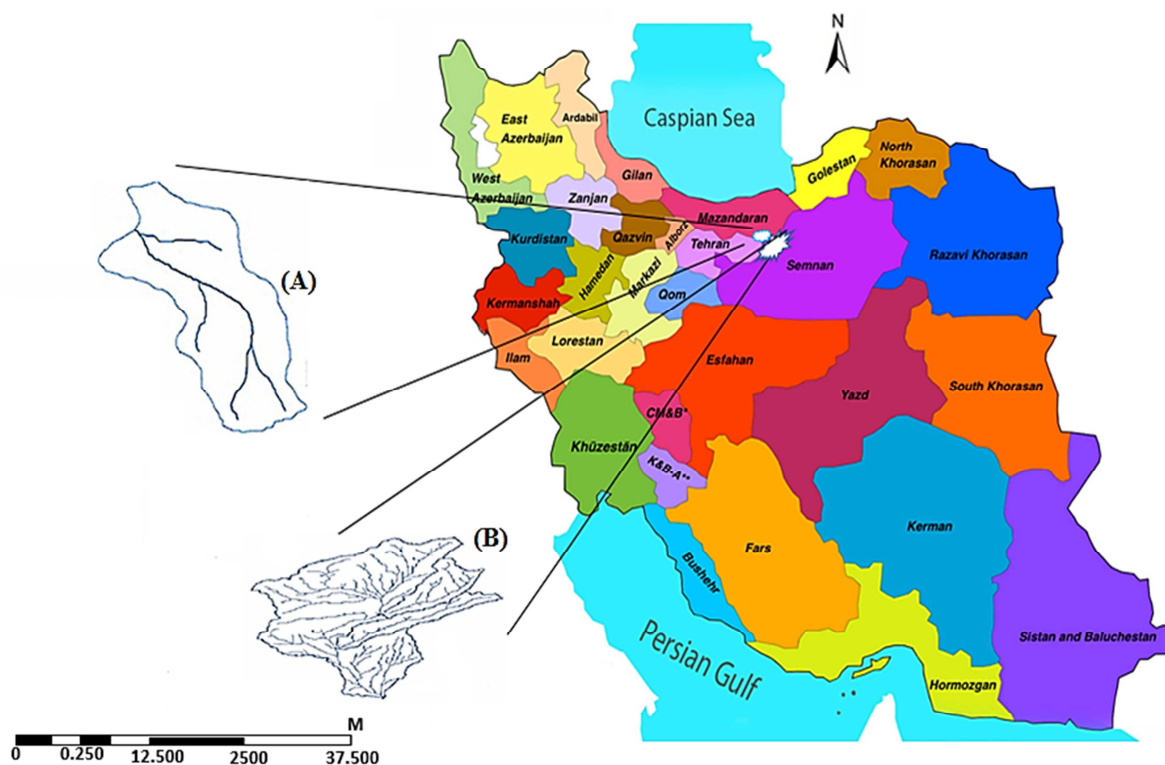


Figure 1. Geographical position of two representative catchments, in north east Iran; A) Kassilian, B) Darjazin.

Table 1. General characteristics of Kassilian and Darjazin watersheds

Name of the watershed	Area (Km ²)	Average height (m)	Slope (%)	Geographic Area		Average Annual Rainfall (mm)
				Eastern Length	Northern Latitude	
Kassilian	66.750	1620.00	15.80	53° 8' 44'' - 53° 15' 42''	35° 58' 30'' - 36° 7' 15''	813.80
Darjazin	331.200	2152.50	14.60	53° 12' 00'' - 53° 29' 00''	35° 37' 00'' - 35° 51' 00''	385.00

تهیه آمار

کلیه آمار و اطلاعات هواشناسی و بارش-رواناب حوزه‌ها از شرکت تخصصی اطلاعات منابع آب ایران (تماب) تهیه شد، برای افزایش دقت مطالعات و کاهش خطاهای احتمالی، از داده‌هایی استفاده شد که ذوب برف در ایجاد سیلاب ناچیز بوده و یا اصولاً دخالت نداشته باشد. همچنین، داده‌های موردبررسی مربوط به سال‌های مشترک آبی ۱۳۷۵-۱۳۹۹ می‌باشند. پس از دریافت داده‌های بارش (از ایستگاه باران‌نگار) و سیلاب (از ایستگاه هیدرومتری)، با تبدیل حجم به عمق رواناب، در نهایت ۵۵ داده از حوزه کسلیان و ۲۴ داده بارش-رواناب متناظر از حوزه درجزین به‌منظور تجزیه و تحلیل حاصل شد. داده‌های درازمدت هواشناسی نیز از ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه (پل سفید در حوزه کسلیان و شه میرزاد در حوزه آبخیز درجزین) تهیه و با استفاده از معادله پنمن مانیت-ASCE (ASCE-EWRE 2005)، مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_0) حوزه‌های آبخیز برآورد شد.

معرفی مدل بارش-رواناب-نگهداشت

تعاریف

نگهداشت کل (S_t): مقدار S_t حاصل جمع مقادیر I_a و F می‌باشد و در طول بارش متغیر است. این پارامتر شامل بخشی از بارندگی است که به رواناب تبدیل نمی‌شود. عواملی که مانع تبدیل بارش به رواناب می‌شوند عبارتند از برگاب، چالاب، نفوذ، تبخیر و غیره. این تعریف هم برای نگهداشت اولیه (I_a) صدق می‌کند و هم برای نگهداشت واقعی (F). صرفاً تفاوت آن‌ها در این است که نگهداشت واقعی هم‌زمان با تولید رواناب نمایان می‌شود (Shamohammadi, 2017; Shamohammadi & Razavi, 2018).

نگهداشت پتانسیل (S_p or S_{max}): به حداکثر نگهداشتی

گفته می‌شود که پس از آن بارش به‌طورکلی به رواناب تبدیل شود. از نظر تئوری، زمانی که بارندگی به سمت بی‌نهایت میل می‌کند، شرایطی حاصل می‌شود که در آن تمامی چالاب‌ها پر شده، خاک اشباع شده و حتی رطوبت هوا نیز به حد اشباع رسیده است، در نتیجه بعد از رسیدن به ظرفیت S_{max} در حوزه، به هر میزانی که بارش به سطح زمین می‌رسد به همان میزان نیز رواناب ایجاد می‌شود. در این حالت شیب منحنی بارش-رواناب برابر یک خواهد بود. بدیهی است که پتانسیل نگهداشت (ظرفیت حوزه) یک شرایط ایده‌آل و فرضی برای حالت خشک خاک است و فقط از طریق مدل قابل محاسبه است (Shamohammadi, 2017). این در حالی است که در روش SCS-CN از سه شماره منحنی خشک، تر و میانه استفاده و در نتیجه سه نگهداشت پتانسیل محاسبه می‌گردد (Mishra & Singh, 1999; Ebrahimian et al., 2009).

نگهداشت مؤثر پیشین (I_{ER}): براساس پیشنهاد Shamohammadi (2017)، بخشی از نگهداشت ناشی از بارندگی پیشین (P_A) است که در سیستم بارش-رواناب هدف نیز تأثیرگذار می‌باشد و از روش بیلان آبی قابل محاسبه است. در رابطه I_{ER} به‌دلیل فاصله زمانی بین بارش پیشین (P_A) و بارش هدف (P)، مقادیر تبخیر و تعرق نیز از بارندگی کسر می‌شود. تفاوت نگهداشت پیشین با رطوبت پیشین در این است که در نگهداشت پیشین، چالاب‌ها و برگاب‌های احتمالی نیز منظور می‌شود. در این مقاله از پارامتر نگهداشت مؤثر پیشین (I_{ER}) به‌جای پارامتر رطوبت یا بارش پیشین استفاده می‌شود که محاسبه آن نیز به‌صورت معادله (۱) امکان‌پذیر است. این روش از این جهت اهمیت دارد که مقدار نگهداشت پیشین برای هر بارش به‌صورت جداگانه برآورد می‌شود، در صورتی‌که در روش SCS این‌گونه نمی‌باشد (USDA Soil Conservation Service, 1972).

بارندگی‌هایی کاربرد داشت که نگهداشت مؤثر پیشین (I_{ER}) آن‌ها صفر باشد. در این مطالعه، در کنار شکل (۲-ا)، شکل (۲-ب) نیز نشان داده شده است، تا اثر نگهداشت مؤثر پیشین (I_{ER}) در سیستم بارش-رواناب یک حوزه نیز به‌وضوح بیان شود.

در حقیقت در شکل (۲) مدل مفهومی در دو حالت حداکثر و حداقل نگهداشت اولیه ($B: I_a = 0, A: I_a = I_{a \max}$) با یکدیگر مقایسه شده‌اند. لذا در شکل (۲-ب)، مشاهده می‌شود که شروع بارندگی هم‌زمان با آغاز سیلاب و نگهداشت واقعی است. سپس وی نشان داد که در حالت عمومی می‌توان برای یک بارندگی خاص، شاهد تأثیر هر دو نگهداشت به‌طور هم‌زمان بود (به شکل (۳) نگاه کنید). با این وصف، فرضیات مدل ارتقایافته Shamohammadi (2017) با شرایط جدید قابل مشاهده است.

فرضیات

در یک بارندگی مجزا (P)، پس از اتمام مرحله نگهداشت اولیه (I_a)، مقادیر نگهداشت واقعی (F)، نگهداشت کل (S_t) و رواناب (Q)، با افزایش عمق بارندگی به‌صورت دینامیک افزایش می‌یابند (شکل ۴).

$$I_{ER} = P_A - [Q_A + (\sum_{n_1}^{n_t} ET_0)_A] \quad (\text{رابطه ۱})$$

پارامترهای P_A, Q_A و ET_0 به‌ترتیب عمق بارندگی پیشین، عمق رواناب نظیر پیشین، تبخیر و تعرق پتانسیل پیشین و n_1 و n_t به‌ترتیب روز شروع بارش پیشین (P_A) و روز شروع بارش هدف (P) می‌باشند. انتخاب ET_0 به‌عنوان فاکتور تبخیر به این دلیل است که فاصله زمانی بارندگی پیشین (P_A) تا بارش هدف (P)، حداکثر پنج روز انتخاب می‌شود (Williams and et al., 2012; Mockus, 1949). در دو حوزه مورد مطالعه، در طول سال‌های مورد بررسی در مجموع ۴۷ بارش دارای بارندگی پیشین بوده که ابتدا مقادیر تبخیر و تعرق برای روزهای قبل از هر یک از بارش‌های هدف برآورد و براساس رابطه (۱) مجموع مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل حاصل شد. Shamohammadi (2017) ابتدا مدل ارائه‌شده خود را برای حالت رطوبت پیشین خشک توضیح داد و سپس مدل ریاضی نگهداشت را بر مبنای مدل مفهومی SCS-CN ارائه کرد (شکل ۲-ا). همان‌طور که مشاهده می‌شود، نگهداشت اولیه (I_a) به‌طور کلی از طریق بارندگی (P) تأمین می‌شود و فرض شده است که نگهداشت مؤثر پیشین (I_{ER}) حوزه صفر باشد. بنابراین، مدل صرفاً برای

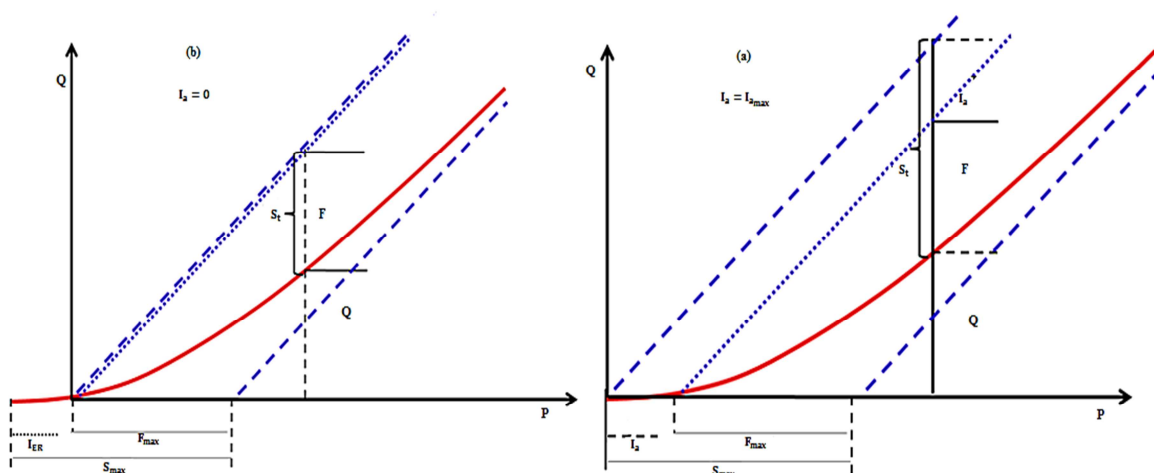


Figure 2. Conceptual Rainfall-Runoff-Retention Model (A): $I_a = I_{a \max}$, (B): $I_a = 0$.

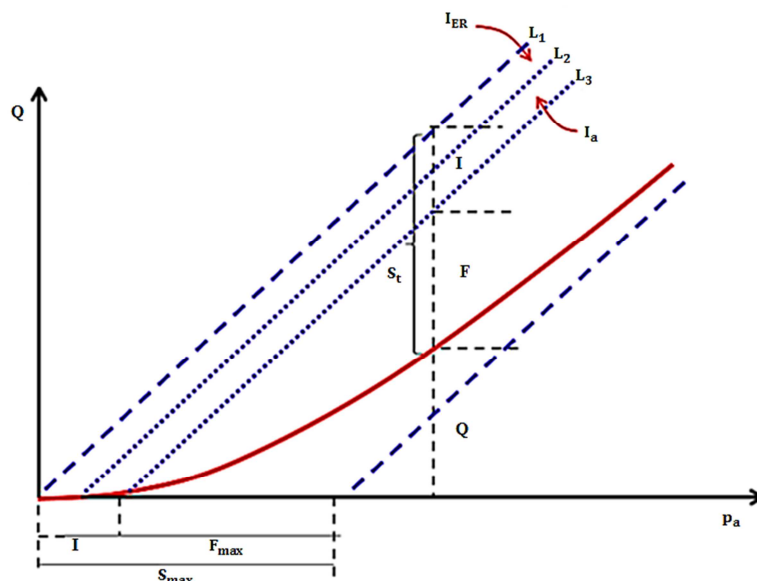


Figure 4. Schematic of the conceptual Shamohammadi (2017).

ریاضی زیر مشاهده می‌شود، وقتی مقدار بارش P_a به سمت I میل می‌کند، مقدار k_{sh} برابر F_{max} می‌شود. به عبارت دیگر، k_{sh} همان F_{max} است.

$$\lim_{P_a \rightarrow I} (S_t) = I \leftrightarrow k_{sh} = F_{max}$$

در نتیجه فرمولاسیون نهایی به صورت رابطه (۱۳) معرفی می‌شود (به شکل (۵) نگاه کنید).

$$S_t = S_{max} \frac{P_a}{F_{max} + P_a} \quad (\text{رابطه ۱۳})$$

اساس مدل بارش- رواناب- نگهداشت (3RM) را تشکیل می‌دهد. بقیه پارامترها نیز با استفاده از روابط زیر (روابط ۱۴ و ۱۵) قابل محاسبه و بررسی هستند. شمای کلی مدل (۱۳) در شکل (۵) نشان داده شده است.

$$Q = P_a - S_t, \quad S_t = F + I \quad (\text{رابطه ۱۴})$$

$$S_{max} - F_{max} = I \quad (\text{رابطه ۱۵})$$

در این صورت، چنانچه مقادیر F_{max} و S_{max} از رابطه (۱۳) حاصل شوند، می‌توان با تفاضل دو مقدار F_{max} و S_{max} (رابطه ۱۵) مقدار I را نیز محاسبه نمود.

در این مطالعه برای استفاده از رابطه (۱۳) ابتدا عمق رواناب ناشی از سیلاب‌های انتخابی محاسبه و سپس

با جابه‌جایی عبارت‌های رابطه (۹)، رابطه (۱۰) براساس مقدار F به دست می‌آید.

$$F = F_{max} \frac{(P_a - I)}{k_{sh} + (P_a - I)} \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

در نهایت به طرفین رابطه (۱۰) مقادیر I اضافه شده (رابطه ۱۱) و مدل کاربردی بارش- نگهداشت حاصل می‌شود (رابطه ۱۲).

$$I + F = (I + F_{max}) \frac{(P_a - I + I)}{k_{sh} + (P_a - I + I)} \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

$$S_t = S_{max} \frac{P_a}{k_{sh} + P_a} \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

شرایط حدی رابطه (۱۲) نشان می‌دهد که وقتی P_a به سمت صفر میل می‌کند، مقدار S_t نیز به سمت صفر میل می‌نماید که این نتیجه با واقعیت نیز مطابقت دارد. هم‌چنین در زمان میل P_a به سمت بی‌نهایت، مقدار S_t نیز به سمت S_{max} میل می‌کند که این نتیجه با تئوری مدل سازگار است. تا این‌جا می‌توان اذعان داشت مدل (۱۲) به درستی تعریف شده است. در نتیجه با توجه به این دو مقدمه، لازم است زمانی که مقدار بارش P_a به سمت I (که یک پارامتر مهم هیدولوژیکی است) میل می‌کند، مدل دوباره مورد بررسی قرار گیرد. همان‌طور که در رابطه

$$Q = P_a - S_{\max} \frac{P_a}{F_{\max} + P_a} \quad (\text{رابطه ۱۷})$$

پارامترهای مدل (۱۷) در قسمت‌های پیشین نیز معرفی شده‌اند. معادلات (۱۳) و (۱۷) مدل‌های کاربردی پژوهش پیش رو می‌باشند. در شکل (۶) مراحل برآورد رواناب و واسنجی و ارزیابی مدل در مطالعه حاضر نشان داده شده است.

شاخص‌های ارزیابی مدل

چهار معیار ارزیابی، ضریب همبستگی^۴ (R^2) خطای مربع میانگین ریشه^۵ (RMSE)، خطای مربع میانگین ریشه نرمال^۶ (NRMSE) و ضریب نش-سانکلیف^۷ (NSE) به‌عنوان معیار مناسب برای ارزیابی عملکرد مدل استفاده شده است (Nash & Sutcliffe, 1970) که در آن میزان رواناب مشاهداتی، Q_{comp} مقدار رواناب محاسباتی و N تعداد داده‌های موردبررسی می‌باشد (روابط ۱۸ تا ۲۰).

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (Q_{\text{obs}} - Q_{\text{obs}_i})(Q_{\text{comp}} - Q_{\text{comp}_i})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Q_{\text{obs}} - Q_{\text{obs}_i})^2 \sum_{i=1}^N (Q_{\text{comp}} - Q_{\text{comp}_i})^2}} \right)^2 \quad (\text{رابطه ۱۸})$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_{\text{obs}} - Q_{\text{comp}_i})^2} \quad (\text{رابطه ۱۹})$$

$$\text{NRMSE} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_{\text{obs}} - Q_{\text{comp}_i})^2}}{Q_{\text{obs}}} \quad (\text{رابطه ۲۰})$$

عمق بارش‌های پیشین همراه با عمق بارندگی‌های نظیر (بارش هدف) در جدولی تنظیم شد.

در مرحله بعد، بارندگی‌های پیشین (P_A) مرتبط با بارش‌های هدف موردبررسی قرار گرفت. هرکدام از بارش‌های هدف (P) که دارای بارش پیشین (P_A) بودند، مقدار نگهداشت مؤثر (I_{ER}) مربوط به آن‌ها از رابطه (۱۶) محاسبه شد و مقدار حاصل‌شده به مقدار بارش هدف (P) افزوده ($P + I_{ER}$) و حاصل آن با نماد P_a نمایش داده شد. یادآور می‌شود که در لیست بارش‌های هدف، همه بارش‌ها شامل بارش‌هایی که دارای بارش مؤثر پیشین یا فاقد آن بوده، انتخاب و مورد استفاده قرار می‌گیرند و تنها مواردی که بارش پیشین مؤثر دارند با مقادیر I_{ER} جمع شده تا در این صورت تمامی بارش‌ها یکسان‌سازی شوند. بدیهی است در این حالت محور بارش، P_a (بارش اصلاح‌شده) می‌باشد. در این مطالعه هیچ‌کدام از بارش‌های پیشین منجر به ایجاد رواناب نشد، بنابراین معادله (۲) به صورت معادله (۱۶) مورد استفاده قرار گرفته است.

$$I_{ER} = P_A - \left(\sum_{n_1}^{n_t} ET_0 \right)_A \quad (\text{رابطه ۱۶})$$

به منظور مدل‌کردن رابطه بارش- رواناب با استفاده از ترکیب معادلات (۱۳) و (۱۴) می‌توان نوشت:

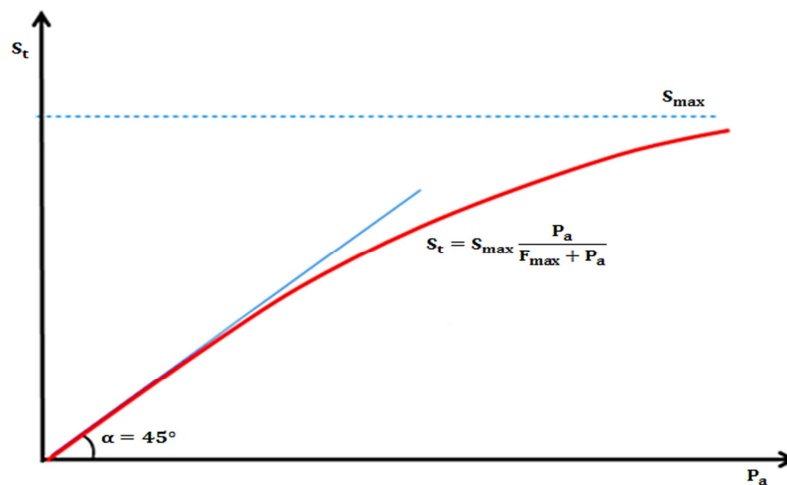


Figure 5. Schematic of the mathematical model of Retention.

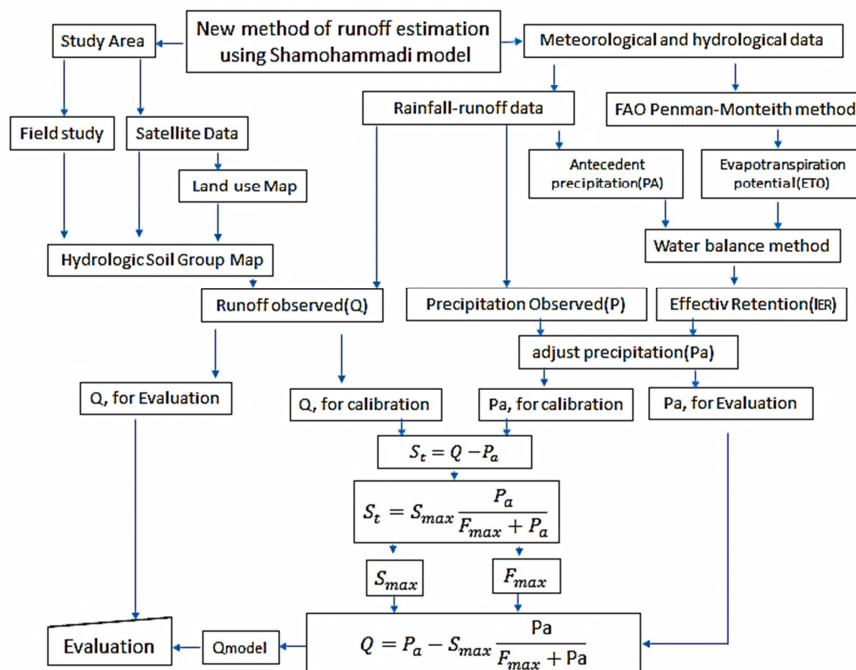


Figure 6. Steps of studying and evaluating 3RM in order to estimate runoff of Kasilian and Darjazin catchments.

هدف، ۱/۰۴ میلی‌متر می‌باشد که مقدار قابل‌ملاحظه‌ای نبوده و نشان می‌دهد انتخاب معیار ET_0 به‌عنوان شاخص تبخیر، حتی اگر دقیق نباشد، خطای زیادی در محاسبه بارش هدف ایجاد نمی‌کند. مقدار نگهداشت مقدماتی (I) برای حوزه کسلیان و درجین به ترتیب ۲/۵۵ و ۳/۲۴ میلی‌متر برآورد شد. این مقادیر نشان می‌دهد، مجموع درصد مساحت گروه‌های هیدرولوژی خاک A و B (جدول ۲) که دارای نفوذپذیری بیشتری هستند (به‌طور عمده چالاب‌ها هم در همین بخش از حوزه قرار می‌گیرند) در حوزه کسلیان ۹۳/۷ درصد و حوزه درجین ۳۶/۲۳ درصد بوده است که این مورد تأثیر زیادی در تعیین نگهداشت اولیه داشته است، فقط باید در نظر گرفت که مساحت حوزه آبخیز درجین بیش از پنج برابر حوزه آبخیز کسلیان بوده که موجب می‌شود رواناب برای رسیدن به نقطه خروجی حوزه، سطح و طول بیشتری را طی کند. بنابراین فرصت بیشتری برای

نتایج و بحث

بررسی بارندگی‌های پیشین نشان داد که بیش‌ترین بارش پیشین در حوزه آبخیز کسلیان (۲۹ آبان‌ماه ۱۳۸۸) به مقدار ۸/۷ میلی‌متر و کم‌ترین مقدار آن، در حوزه آبخیز درجین (۴ مهرماه ۱۳۸۴) به میزان ۱/۵ میلی‌متر می‌باشد. هم‌چنین بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار L_{ER} به ترتیب ۸/۴ میلی‌متر در حوزه آبخیز کسلیان و ۰/۵ میلی‌متر در حوزه درجین رخ داده است. نسبت مجموع مقدار ET_0 ($r = \frac{\sum_{n1}^{nt} ET_0}{I_{ER}}$) به نگهداشت مؤثر پیشین بین ۰/۰۳ درصد تا ۷۵ درصد متغیر است. مقدار r در حوزه‌های با اقلیم خشک و در فصل گرما بیش‌ترین مقدار را به این دلیل که کم‌ترین مقدار بارش در این حوزه‌ها اتفاق افتاده، به‌خود اختصاص داده است. از طرفی بیش‌ترین مقدار تبخیر نیز در همین شرایط رخ داده است. در صورتی‌که حداکثر مطلق تبخیر دو روز قبل از بارش

است (Shamohammadi, 2017). حداکثر نگهداشت پتانسیل (S_{max}) برای حوزه‌های کسلیان و درجین به ترتیب ۵۱/۱۱ و ۲۴/۷۶ می‌باشد، به گونه‌ای که در رابطه با مقادیر نگهداشت S_{max} حاصل شده در دو حوزه مورد مطالعه رابطه مقابل برقرار است: حوزه کسلیان < حوزه درجین. در این مورد نیز اگر چه پارامترهای مربوط به نگهداشت مقدماتی بر نگهداشت کل و نگهداشت پتانسیل اثرگذار است، اما نفوذ عمقی تأثیر بسیار بیش تری بر دو نگهداشت S_p و S_{max} دارد. در حوزه کسلیان ۷۷/۲ درصد سطح حوزه را کاربری اراضی جنگلی به خود اختصاص داده است (جدول ۳)، در صورتی که فقط ۸/۲ درصد از اراضی پوشش سنگی دارند. با توجه به این که پوشش سنگی نمی‌تواند سهم زیادی در نگهداشت کل داشته باشد، پوشش سنگی در حوزه درجین ۴۷/۸۷ درصد از حوزه آبخیز را به خود اختصاص داده است (Ebrahimian et al., 2012). مجموعه این عوامل موجب شده تا حوزه کسلیان بیشترین مقادیر نگهداشت کل و نگهداشت پتانسیل را دارا باشد. مقادیر پارامترهای F_{max} و S_p حاصل شده از مطالعه Shamohammadi (2013)، ۵۴/۲ و ۵۹/۲ میلی‌متر بوده است که هر دو از مقادیر مطالعه حاضر بیش تر می‌باشد. در این حالت به نظر می‌رسد که علاوه بر اثر دما در منطقه خوزستان، کارست بودن زمین عامل مهمی در افزایش نگهداشت حداکثر یا نگهداشت پتانسیل بوده است.

Table 2. Soil hydrological group coverage (%)

Hydrological group	Kassilian	Darjazin
A	24.60	3.27
B	69.10	32.96
C	6.30	34.39
D	0.00	29.38

Table 3. Catchments land use coverage (%)

Land use %	Rocky	Pasture	Forest	Cultivate	Residential and Rivers	Rainfed	Wasteland
Kassilian	8.20	7.30	77.2	6.10	1.20	0.00	0.00
Darjazin	47.87	45.23	0.00	4.45	2.45	0.00	0.00

نگهداشت (تبخیر، نفوذ، چالاب و ...) وجود خواهد داشت. این موضوع با توجه به کم‌تر بودن شیب حوزه درجین نسبت به حوزه کسلیان نیز تشدید می‌یابد (جدول (۱) را نگاه کنید). البته نقش روستاها نیز در محاسبه مقادیر نگهداشت مقدماتی قابل توجه است، ولی با توجه به این که نسبت پوشش سطح، توسط روستاها در هر دو حوزه تقریباً یکسان می‌باشد، عامل نسبت پوشش سطح توسط روستاها نمی‌تواند به عنوان عاملی تعیین کننده تلقی شود. نسبت نگهداشت مقدماتی به نگهداشت پتانسیل (α) برای دو حوزه کسلیان و درجین ۰/۰۵ و ۰/۱۳ حاصل شد (جدول ۴). این مقادیر از مقدار توصیه شده در روش SCS-CN که ۰/۲ می‌باشد (Ponce & Hawkins, 1996) کم تر است. دلیل آن را می‌توان در تفاوت نحوه محاسبه نگهداشت اولیه جست‌وجو کرد. در این مطالعه مقدار نگهداشت مؤثر صرفاً به نگهداشت اولیه افزوده شده است (معادلات ۵ و ۶) و از این طریق اگرچه سهم نگهداشت مقدماتی نسبت به نگهداشت پتانسیل افزایش پیدا کرده است، ولی نسبت به دست آمده با روش SCS-CN هم‌خوانی ندارد. در این روش، بارش‌های پیشین به صورت مستقیم به بارش هدف افزوده شده و یکسان‌سازی بارش صورت می‌پذیرد، این در صورتی است که در روش SCS-CN بارش‌ها از نظر رطوبت پیشین به سه دسته تر، خشک و متوسط تقسیم بندی می‌شوند (Mockus, 1949)، که این موضوع خود منجر به ایجاد سه نوع CN و در نتیجه سه نوع نگهداشت پتانسیل می‌شود. Shamohammadi (2013) ضریب α را کم تر از ۱۰ درصد در حوزه آبخیز ماشین به دست آورد که اختلاف زیادی با نتایج این پژوهش دارد، علت آن را در به کارگیری صرفاً نگهداشت اولیه (I_a) و عدم بررسی نگهداشت مؤثر پیشین می‌توان جست‌وجو کرد. در حالت کلی همواره مقدار I_a از مقدار I کم تر یا با آن مساوی

میل کند. در این صورت شیب نگهداشت نیز به عدد صفر نزدیک می‌شود (مقدار نگهداشت به حداکثر خود رسیده و ثابت می‌ماند، رابطه ۱۳).

مقایسه منحنی بارش- رواناب در شکل (۸) حاکی از آن است که شیب رواناب در حوزه آبخیز کسلیان کم‌تر از حوزه درجزین می‌باشد، که دلیل آن را می‌توان مربوط به افزایش میزان نفوذپذیری در مناطق جنگلی دانست. بدین صورت که حوزه آبخیز کسلیان با اختصاص بیش از ۷۷ درصد پوشش جنگلی، موجب کم‌تر شدن سرعت افزایش مقادیر رواناب نسبت به حوزه درجزین شده است، این در حالی است که با افزایش بارندگی، شیب رواناب برای هر دو حوزه به سمت عدد یک میل خواهد کرد.

Table 4. Results of 3RM fitting on Rainfall-Runoff data of Kassilian and Darjazin Watershed

Watershed	Rainfall-Runoff model and important parameters
Kassilian	$Q = P_a - \left(\frac{51.11 P_a}{48.56 + P_a} \right)$
	$I = 2.55 \text{mm}$
	$\alpha = \frac{I}{S_{\max}} = 0.05$
Darjazin	$Q = P_a - \left(\frac{24.76 P_a}{21.52 + P_a} \right)$
	$I = 3.24 \text{mm}$
	$\alpha = \frac{I}{S_{\max}} = 0.13$

شکل (۷) برازش مدل مورد مطالعه بر داده‌های نگهداشت کل را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، با افزایش مقدار بارش، شیب نگهداشت کل $\left(\frac{dS}{d(P_a)} \right)$ در هر دو حوزه کاهش می‌یابد، به طوری که در آغاز ایجاد رواناب شیب نگهداشت از عدد یک به تدریج شروع به کاهش می‌کند تا زمانی که P_a به سمت بی‌نهایت

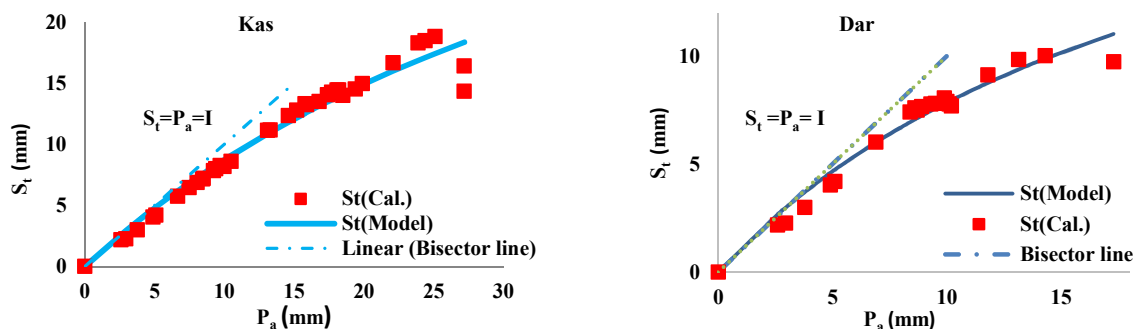


Figure 7. 3RM output (in Excel environment) in estimating the actual retention of Kassilian and Darjazin catchments.

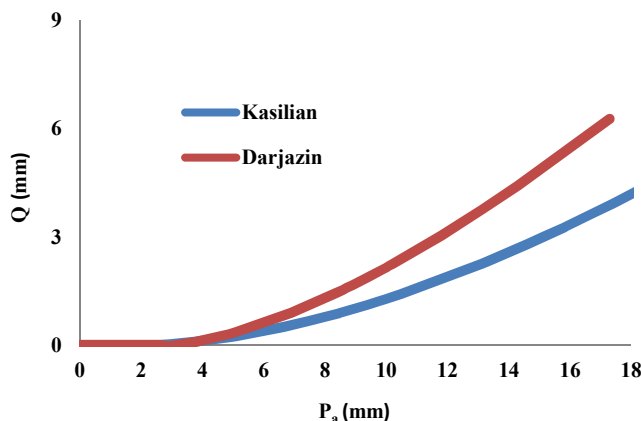


Figure 8. Runoff relationship of Kassilian and Darjazin catchments (3RM output in Excel environment).

حوزه، پوشش گیاهی و گروه هیدرولوژیکی را عامل اصلی این روند دانست که موجب اثبات نتایج قبلی پژوهش است.

در شکل (۱۰) تغییرات نگهداشت مقدماتی (I)، نگهداشت حداکثر واقعی (F_{max}) و تغییرات نگهداشت پتانسیل (S_{max}) همراه با مقادیر آن‌ها برای حوزه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود، همان‌گونه که ملاحظه می‌شود تغییرات این سه پارامتر با یکدیگر هماهنگ است و مقادیر نگهداشت واقعی در هر دو حوزه کم‌تر از مقادیر نگهداشت پتانسیل است. این موضوع از این جهت اهمیت دارد که با یک مدل ساده (مدل ۱۳) می‌توان به راحتی مقادیر F_{max} ، S_{max} و I را محاسبه کرد، درحالی‌که محاسبه هر یک از این پارامترهای مهم هیدرولوژیکی در روش SCS، بسیار پیچیده، زمان‌بر و پرهزینه است.

شکل (۹) تغییرات هم‌زمان نگهداشت کل با تغییرات رواناب حوزه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در هر دو حوزه با کاهش شیب تغییرات نگهداشت و کاهش سرعت نفوذ آب به داخل خاک، شیب تغییرات رواناب افزایش یافته و جریان رواناب با سرعت بیشتری افزایش می‌یابد. همچنین، این‌گونه می‌توان استنباط کرد که تغییرات شیب نگهداشت کل برخلاف تغییرات شیب رواناب است، به‌گونه‌ای که همواره مجموع شیب رواناب و شیب نگهداشت برابر با عدد یک می‌باشد (معادله ۹). موضوع مهم‌تری که باید بدان اشاره کرد، این است که در حوزه آبخیز کسلیان با افزایش بارندگی، شیب نگهداشت با سرعت بیشتری نسبت به حوزه درجزین افزایش می‌یابد و در مقابل نیز شیب رواناب با سرعت بیشتری (نسبت به حوزه درجزین) کاهش می‌یابد. دوباره می‌توان مساحت

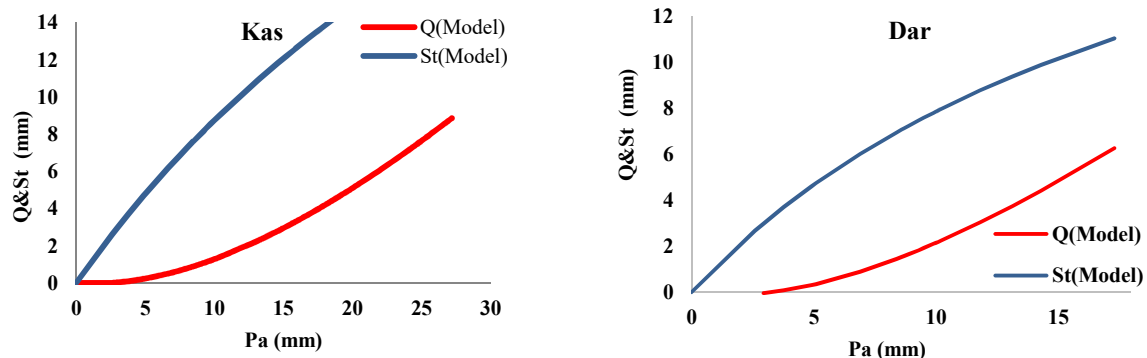


Figure 9. Real retention changes with runoff in Kassilian and Darjazin catchments.

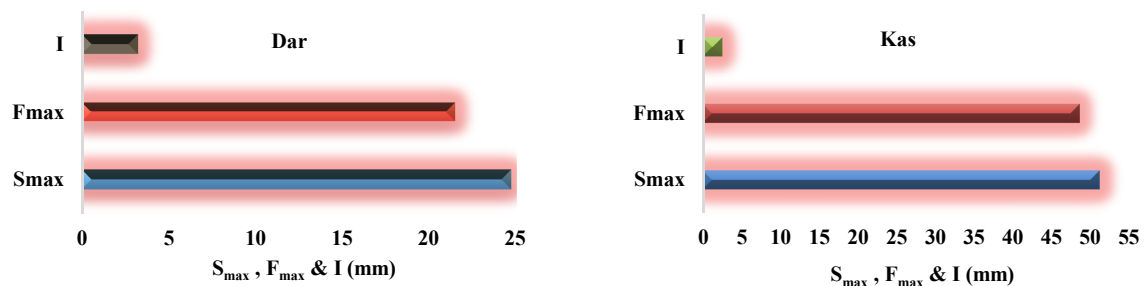


Figure 10. Demonstration of I, F_{max} and S_{max} with potential retention in Kassilian and Darjazin.

نتیجه گیری

با استفاده از مدل ارائه شده در این پژوهش و داده‌های بارش-رواناب ثبت شده در حوزه‌های آبخیز کسلیان و درجین، نگهداشت پتانسیل (S_{max}) به ترتیب ۵۱/۱۱ و ۲۴/۷۶ میلی‌متر حاصل شد. همچنین نسبت نگهداشت مقدماتی به نگهداشت پتانسیل (α) نیز به ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۱۳ محاسبه شد. نتیجه مهم دیگری که به سادگی از مدل مورد مطالعه حاصل شد، تعیین مقادیر نگهداشت مقدماتی (I) برای دو حوزه آبخیز کسلیان و درجین بود که از تفاضل مقادیر F_{max} و S_{max} به ترتیب ۲/۵۵ و ۳/۲۴ میلی‌متر به دست آمد. حوزه آبخیز کسلیان با اقلیم مرطوب و پوشش جنگلی، مقدار نگهداشت واقعی بیش‌تری (۴۸/۵۶ میلی‌متر) نسبت به حوزه خشک درجین (۲۱/۵۲ میلی‌متر) دارد. نتایج این مطالعه نشان داد که روش بیلان آبی می‌تواند به منظور برآورد نگهداشت مؤثر پیشین (I_{ER}) حاصل از بارندگی‌های پنج روز قبل، کارآمد باشد. نتایج برازش مدل بر داده‌های بارش-رواناب با استفاده از شاخص‌های ارزیابی شامل ضریب تعیین، ریشه مربعات خطای میانگین، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال و ضریب نش برای پیش‌بینی رواناب حوزه درجین و کسلیان به ترتیب (۰/۹۹۸، ۰/۴۳۹، ۰/۸۸۹ و ۱۸/۰۹ و ۰/۹۹۸) و (۰/۸۶۶، ۰/۹۰۵، ۰/۲۵۵) می‌توان گفت مدل 3RM برای پیش‌بینی رواناب و نگهداشت واقعی در هر دو حوزه از توانایی قابل قبولی برخوردار است. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که مدل مورد بررسی یک مدل پویا است و اثر متقابل بارش و حوزه آبخیز را برای محاسبه مقادیر I ، F و S_t به صورت توأمان در نظر می‌گیرد. این مدل بسیار ساده و کاربردی بوده و داده‌های مورد استفاده به راحتی از ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری قابل دریافت است و نیازی به آزمایش‌های

نتایج ارزیابی مدل بر پایه داده‌های صحت‌سنجی در جدول (۵) قابل مشاهده است. ضریب تعیین به ترتیب در حوزه‌های کسلیان و درجین برای پیش‌بینی رواناب ۰/۸۵۹، ۰/۹۹۸ و برای نگهداشت پتانسیل ۰/۹۳۴ و ۰/۹۹۹ حاصل شد که مقادیر به دست آمده در محدوده قابل قبولی واقع شده است. این موضوع با قرارگرفتن سایر شاخص‌های ارزیابی در محدوده‌های $RMSE < 1.009$ ، $0.439 < NRMSE < 0.264$ و $0.029 < 0.998$ و $0.867 < NSE$ مورد تأیید قرار می‌گیرد. آماره $RMSE$ و $NRMSE$ عددی مثبت بوده و هرچه قدر به صفر نزدیک باشد نشان‌دهنده تکامل مدل است. R^2 نیز عددی بین ۰ تا +۱ است که به هر میزان که به عدد یک نزدیک باشد، مدل قابل اعتمادتر تلقی می‌شود. $R^2 = 0$ نیز به معنای عدم همبستگی بین داده‌ها است (Moriasi et al., 2007). مقدار معیار NSE بین $-\infty$ تا +۱ می‌باشد. $NSE = 1$ برای حالتی است که مدل انطباق کامل داشته و $NSE = 0$ بیان‌کننده دقت پیش‌بینی مدل به اندازه میانگین داده‌های مدل است و در مورد بازه کم‌تر از صفر ($NSE < 0$) حاکی از آن است که پیش‌بینی میانگین داده‌های مشاهده شده بهتر از پیش‌بینی مدل بوده است (Nash & Sutcliffe, 1970)؛ بنابراین با توجه به محدوده شاخص‌ها در جدول (۵)، مدل ارائه شده قابلیت پیش‌گویی مقادیر رواناب و نگهداشت را در حوزه‌های کسلیان و درجین با اقلیم و پوشش گیاهی متفاوت داشته است.

Table 5. Values of statistical indicators for estimating Runoff (Based on validation data)

Watershed	Index	S_{max}	Q
Kasilian	R^2	0.934	0.859
	RMSE	1.008	1.009
	NRMSE	0.131	0.264
	NSE	0.930	0.867
Darjazin	R^2	0.999	0.998
	RMSE	0.439	0.439
	NRMSE	0.029	0.029
	NSE	0.998	0.998

2. Ara, Z., & Zakwan, M. (2018). Estimating runoff using SCS curve number method. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 8(5), 195-200.
3. Azizian, A., & Shokoohi, A. (2014). Development of a New Method for Estimation of SCS Curve Number Based on Saturation Excess Concept. *Iran-Water Resources Research*, 10(3), 26-37. (In Persian)
4. Ayman, A. & Hoogenboom, G. (2009). A comparison of ASCE and FAO-56 reference evapotranspiration for a 15-min time step in humid climate conditions. *Journal of Hydrology*, 375, 326-333.
5. Bartlett, M. S., Parolari, A. J., McDonnell, J. J., & Porporato, A. (2016). Beyond the SCS-CN method: A theoretical framework for spatially lumped rainfall-runoff response. *Water Resources Research*, 52(6), 4608-4627.
6. Buszney, M. (1989). Improving the efficiency of SCS runoff curve number. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 115(1), 798-805.
7. Ebrahimian, M., See, L., & Abdul Malek, I. (2009). Application of natural resources conservation service- curve number method for runoff estimation with GIS in the Kardeh watershed, Iran. *European Journal of scientific research*, 34(4), 575-590.
8. Ebrahimian, M. (2012). Application of NRCS-curve number method for runoff estimation in a mountainous watershed. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 10(1), 103-114.
9. Fazloulou, R., & Akhound ali, A., & Behnia, A. (2007). Determination of runoff prediction equations in mountainous catchments (case study: amameh and kasilian representative catchments). *Journal of agricultural sciences and natural resources*, 13(6), 1-13. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=96694> (In persion)
10. Gholami, V., & Bashirgonbad, M., & Azodi, M., & Jokar Sarhangi, E. (2010). The influence of land use changes on intensifying runoff generation and flood hazard in kasilian watershed. *Iranian journal of watershed management science and engineering*, 3(9), 55-57. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=215913> (In Persian)
11. Hawkins, R. H. (1984). A comparison of predicted and observed runoff curve numbers. American Society of Civil Engineers.
12. Huang, M., Gallichand, J., Dong, C., Wang, Z., & Shao, M. (2007). Use of soil moisture data and curve number method for estimating runoff in the Loess Plateau of China. *Hydrological Processes: An International Journal*, 21(11), 1471-1481.

وسیع خاک‌شناسی و مطالعه پوشش سطح حوزه و حتی اندازه‌گیری نفوذ و شیب حوزه ندارد. در مدل حاضر داده‌های نگهداشت پیوسته بوده و از این‌رو خطای ناشی از میان‌یابی به حداقل می‌رسد. همچنین، نگهداشت که پارامتری بسیار مهم است، به‌ازای هر مقدار بارش قابل محاسبه می‌باشد. نگهداشت پیشین در مدل جدید برای هر بارش به‌طور جداگانه محاسبه می‌شود و نسبت به‌روش SCS که از داده‌های شماره منحنی (داده‌هایی پالسی و گسسته) استفاده می‌کند، کاملاً متفاوت است. برای استفاده از مدل حاضر پیشنهاد می‌شود، داده‌های بارش- رواناب به‌گونه‌ای انتخاب شوند که با منحنی مفهومی مدل هماهنگ باشد. در غیر این‌صورت لازم است سطوح پوششی بارش در حوزه آبخیز، چالاب‌های غیرطبیعی از جمله سدهای کوچک، استخرها، نهرهای خشک، میزان ذوب برف و ... موردبررسی قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های بعدی حوزه‌های آبخیز دیگری به‌منظور ارزیابی و تعیین کارایی بیشتر مدل مورد مطالعه در تمامی شرایط و اقلیم‌های متفاوت موردبررسی قرار گیرند.

پی‌نوشت‌ها

1. Sone
2. Natural Resources Conservation Service-Curve Number
3. Shamohammadi Constant
4. Regression
5. Root Mean Square Error
6. Normal Root Mean Square Error
7. Nash-Sutcliffe Efficiency

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

1. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *Fao, Rome*, 300(9), D05109.

13. Mahmoodi, M., & Honarmand, M., & Naseri, F., & Mohammadi, S. (2020). The Effect of Land Use Changes on the Flood Hydrograph in the Kashaf-Rood River by Analyzing of SCS-CN Results. *Journal of water and soil (agricultural sciences and technology)*, 34(1), 43-54. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=758832> (In Persian)
14. Michel, C., Andréassian, V., & Perrin, C. (2005). Soil conservation service curve number method: How to mend a wrong soil moisture accounting procedure?. *Water Resources Research*, 41(2).
15. Mishra, S., & Singh, V. (1999). Another look at SCS-CN method. *Journal of Hydrological Engineering* 4, 257-264.
16. Mockus, V. (1949). Estimation of total surface runoff for individual storms. Exhibit A, Appendix B, Interim Survey Rep., (Neosho) River Watershed USDA, Washington, DC.
17. Moradkhani, H., & Sorooshian, S. (2009). General review of rainfall-runoff modelling: model calibration data assimilation and uncertainty analysis. *Advanced Water Resource*, 28(2), 135-147.
18. Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.
19. Muiche, M. E., Hutchinson, S. L., Hutchinson, J. S., & Johnston, J. M. (2019). Phenology-adjusted dynamic curve number for improved hydrologic modeling. *Journal of Environmental Management*, 235, 403-413.
20. Nandhakumar, S., Arsheya, S., & Kirtika Sri, V.K. (2019). Estimation of Precipitation Runoff Using SCS and GIS Approach in Puzhal Watershed. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 10(1), 1978-1998.
21. Nash, J.E., & Sutcliffe, J.V. (1970). River flow forecasting through conceptual models: Part I-a discussion of principles. *J. Hydrol.*, 10(3), 282-290.
22. Ponce, V.M., & Hawkins, R.H. (1996). Runoff curve number: Has it reached maturity?. *Journal of Hydrologic Engineering*, 1 (1), 11-19.
23. Sadeghi, S. H. R., Mahdavi, M., & Razavi, S. L. (2008). Importance of Calibration of Maximum Storage Index Coefficient and Curve Number in SCS Model in Amameh, Kasilian, Darjazin and Khanmirza Watersheds. (In Persian)
24. Sahu, R. K., Mishra, S. K., & Eldho, T. I. (2010). An improved AMC-coupled runoff curve number model. *Hydrological Processes*, 24(20), 2834-2839.
25. Salarijazi, M., Ghorbani, K. H., & Abdolhosseini, M. (2017). Estimation of Surface Runoff Hydrograph in Ungauged Basin without Land Cover and Land Use Data, *Irrigation & Water Engineering*, 7(26), 46. magiran.com/p1707802. (In Persian)
26. Seyyed Kaboli, H., & Akhond-Ali, A. (2009). Evaluation of Loss Methods to Simulate flood events (Case study: Kasilian Basin). *Water and Soil*, 23(3). doi: 10.22067/jsw.v0i0.2288 (In Persian)
27. Shamohammadi, S. (2013). Presenting the new adsorption isotherm model. *Second international conference on environmental hazarde*, Kharazmi University–Tehran, Oct 29& 30 (In Persian)
28. Shamohammadi, S. (2017). Presenting the mathematical model to determine retention in the watersheds. *European Water* 57,207-213.
29. Shamohamadi, S., & Razavi Vanani, L. (2018). Water Resources Engineering. Shahrekord University. (In Persian).
30. Shamohamadi, S., & Zomorodian, M. (2013). Comparison of Soil Conservation Service Model SCS and the Bennett Soil Moisture Accounting Model (SMA-B) in the Flood Estimation Zard River Basin, *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 7(20), 9. magiran.com/p1193841. (In Persian)
31. Singh, P. K., Mishra, S. K., Berndtsson, R., Jain, M. K., & Pandey, R. P. (2015). Development of a modified SMA based MSCS-CN model for runoff estimation. *Water Resources Management*, 29(11), 4111-4127.
32. Soulis, K. X., Valiantzas, J. D., Dercas, N., & Londra, P. A. (2009). Investigation of the direct runoff generation mechanism for the analysis of the SCS-CN method applicability to a partial area experimental watershed. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(5), 605-615.
33. Sutradhar, H. (2018). Surface runoff estimation using SCS-C N method in Siddheswari River basin, Eastern India. *J. Geog. Environ. Earth Sci. Int*, 17(2), 1-9.
34. Tabari, H., Talaei, P. H., Nadoushani, S. M., Willems, P., & Marchetto, A. (2014). A survey of temperature and precipitation based aridity indices in Iran. *Quaternary International*, 345, 158-166.

35. USDA Soil Conservation Service. (1972). National engineering handbook, Section 4: Hydrology, Chapters 4-10, *Washington, DC.*, 15(7), 15-11.
36. Vaezi, A., & Abbasi, M. (2012). Efficiency of the SCS-CN Method in Estimating Runoff in Taham Cahi Watershed, North West of Zanjan. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 16(61), 209-219.
37. Wang, J. J., Ding, J. L., Zhang, Z., & Chen, W. Q. (2017, February). Improved Algorithm of SCS-CN Model Parameters in Typical Inland River Basin in Central Asia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (57(1),012051). IOP Publishing.
38. Williams, J. R., Kannan, N., Wang, X., Santhi, C., & Arnold, J. G. (2012). Evolution of the SCS runoff curve number method and its application to continuous runoff simulation. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(11), 1221-1229.