

روش SCS-CN به دلیل در نظر گرفتن نسبت نگهداشت اولیه بالا ($\lambda = 0/2$) دارای دقت پایینی در برآورد رواناب در رخدادهای باران در منطقه است. تجزیه داده‌ها نشان داد که نسبت نگهداشت اولیه برابر با $0/02$ ، برآورد رواناب در منطقه را می‌تواند تصحیح کند. با اعمال این ثابت ($\lambda = 0/02$) همبستگی بین رواناب برآوردی و مشاهده‌ای افزایش ($R^2 = 0/53$) و ضریب کارایی مدل بهبود یافت ($E = -0/194$).
واژه‌های کلیدی: برآورد رواناب، روش شماره منحنی، نسبت نگهداشت اولیه و هشتروند

مقدمه

رواناب نقشی مهم در فرآیندهای آب‌شناختی سطحی و فرسایش خاک بازی می‌کند [۲۵]. برآورد رواناب سطحی برای ارزیابی توانمندی عملکرد آب حوزه آبخیز، طراحی سنجنده‌هایی برای حفاظت خاک و آب و کاهش خطرات رسوب و سیلاب در حوزه‌ها ضروری است [۳۵]. اگرچه مدل‌های زیادی برای برآورد مستقیم رواناب در دسترس است لیکن بسیاری از مدل‌ها به دلیل داده‌های ورودی زیاد و نیازمندی به واسنجی، کاربردی محدود دارند. بنابراین مدل‌های استفاده شده برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی، باید ساده و تاثیرناپذیر و نیز دارای نیازهای داده‌ای کم و فرضیه‌های مشخص باشند [۱۵]. روش شماره منحنی^۳ (SCS-CN) ارایه شده توسط دفتر حفاظت خاک آمریکا [۳۳]، به عنوان روشی تجربی است [۱۶] که به طور وسیعی برای برآورد مستقیم رواناب برای یک رخداد باران در حوزه‌های آبخیز کوچک کشاورزی استفاده می‌شود. شماره (عدد) منحنی رواناب (CN) به کاربری زمین و گروه آب‌شناختی خاک بستگی دارد و از صفر تا ۱۰۰ تغییر می‌کند. مقادیر بالای شماره منحنی، نفوذ کمتر آب حاصل از بارندگی و توانمندی بالای حوزه در تولید رواناب را نشان می‌دهند [۳۸]. به دلیل نیازمندی این روش به داده‌های ورودی کم و سادگی آن، در بسیاری از مدل‌های آبخیز مانند CREAMS [۲۰]، AGNPS [۴۰]، EPIC [۳۴] و SWAT [۱۱] از این مدل جهت برآورد رواناب استفاده می‌شود.

روش شماره منحنی در سال‌های اخیر برای کاربردهای دیگری شامل مدل‌سازی عملکرد رسوب^۴ و رطوبت خاک توسعه یافته است [۲۷، ۳۱ و ۳۶]. این روش بر اساس معادله هورتون استوار است و

قابلیت روش شماره منحنی در برآورد رواناب در کشتزارهای دیم در ناحیه‌ای نیمه‌خشک در شمال غربی ایران

علیرضا واعظی^۱ و سیدحمیدرضا صادقی^۲

تاریخ دریافت: ۸۸/۰۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۲/۱۱

چکیده

روش شماره منحنی رواناب (SCS-CN) به عنوان روشی تجربی به طور وسیعی برای برآورد رواناب مستقیم برای یک رخداد باران در حوزه‌های آبخیز کوچک کشاورزی استفاده می‌شود. در این روش مقدار نگهداشت اولیه (I_a) به حداکثر توانمندی نگهداشت (S) که به عنوان ثابت نسبت نگهداشت اولیه ($\lambda = I_a/S$) بیان می‌شود، برابر $0/2$ است. این ثابت ($0/2$)، فرضی غیرقابل اطمینان و نیازمند تصحیح است. این پژوهش به منظور ارزیابی توانایی روش شماره منحنی در برآورد رواناب و تعیین نسبت نگهداشت اولیه بر اساس تجزیه رخدادهای باران-رواناب انجام گرفت. داده‌های باران از ایستگاه باران‌نگاری و داده‌های رواناب از اندازه‌گیری رواناب در ۳۶ دیمزار در شهرستان هشتروند در شمال غربی ایران طی دوره دو ساله از ۱۳۸۴-۱۳۸۶ به دست آمد. تجزیه ۴۱ رخداد باران-رواناب نشان داد که تولید رواناب رابطه خطی معنی‌دار با ارتفاع بارندگی ($R^2 = 0/68$)، $P < 0/001$) دارد. از ۴۱ رخداد بارندگی، تنها ۱۳ رخداد دارای ارتفاع بارندگی (P) بزرگتر از نگهداشت اولیه ($I_a = 0/2 S$) بودند و در نتیجه بر اساس روش شماره منحنی، توان تولید رواناب داشتند. میانگین مقدار رواناب مشاهده‌ای در منطقه در ۴۱ رخداد $2/988$ برابر بزرگتر از مقدار برآوردی بود. همبستگی بین مقدار رواناب برآوردی و اندازه‌گیری شده پایین ($R^2 = 0/21$) بود. ضریب کارایی مدل SCS-CN، (E) در ۳۶ زمین پایین و به طور میانگین $-8/032$ بود. به طور کلی نتایج نشان می‌داد که

۱- نویسنده مسئول و استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان vaezialreza@gmail.com

۲- دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

3- Soil Conservation Service- Curve Number Method

4- Modeling Sediment Yield

دقتی بالا ($R^2=0/88$ و $E=0/87$) و در شرایط رطوبت متوسط دارای دقتی پایین ($R^2=0/42$ و $E=0/36$) می باشد [29].

با وجود آن که مطالعات متعددی در مورد روش SCS-CN در برآورد رواناب در نقاط مختلف دنیا انجام گرفته است، لیکن مطالعات در ایران اغلب در ارتباط با تاثیر ویژگی های خاک بر رواناب [8]، تاثیر پوشش های مختلف بر رواناب [3]، اثر کاربری زمین بر رواناب [7]، اثر شیب بر رواناب [4]، اثر چرای بی رویه بر رواناب [6]، اثر پوشش طبیعی بر مهار رواناب [2] و برآورد رواناب [1] بوده است. به طور کلی مطالعات در مورد برآورد رواناب در حوزه های کشاورزی نواحی نیمه خشک محدود است. تعیین کارایی مدل های برآورد رواناب و ارایه مدل های کاربردی رواناب، گامی ضروری در مطالعات آب شناختی و آبخیزداری است. از این رو این پژوهش بر اساس تجزیه رخدادهای باران- رواناب در ناحیه ای نیمه خشک به منظور ارزیابی توانایی روش شماره منحنی در برآورد رواناب، تعیین میزان قطعیت نسبت نگهداشت اولیه ($\lambda=0/2$) و ارایه نسبت نگهداشت اولیه منطقی انجام گرفت.

مواد و روش ها

- منطقه مورد بررسی

این پژوهش در شهرستان هشتگرد واقع در جنوب استان آذربایجان شرقی از سال 1384 تا سال 1386 انجام گرفت. این منطقه دارای آب و هوای نیمه خشک سرد با میانگین بارندگی سالانه 340 میلی متر است. خاکها اغلب زیر کشت دیم گندم قرار دارند. آزمایش در منطقه ای کشاورزی به ابعاد 30 کیلومتر x 30 کیلومتر به اجرا درآمد. در سطح منطقه 36 شبکه مربعی به ابعاد 5 کیلومتر x 5 کیلومتر در نظر گرفته شد. در هر شبکه یک قطعه زمین دیم با شیب جنوبی 9 درصد و تحت آیش برای استقرار کرت های رواناب انتخاب شد. برای این کار نقشه شیب 9 درصد منطقه با استفاده از نرم افزار 3 Ilwis، تهیه شد و با بازدید از هر شبکه، زمین های دارای شیب واقعی 9 درصد مشخص و از بین آنها، یک قطعه زمین با شیب رو به جنوب و در حال آیش انتخاب شد (شکل 1).

- اندازه گیری رواناب و برآورد آن با روش SCS-CN

برای اندازه گیری رواناب، کرت های رواناب مطابق با شرایط کرت استاندارد⁶ [42] احداث شدند. برای این کار زمین ها در اوایل فروردین 1384 در جهت شیب شخم خورده و دیسک زده شدند. تعداد سه کرت (عرض 1/83 متر و به طول 22/1 متر)، با فاصله 1/2 متر از هم در امتداد شیب در هر زمین احداث شدند. پیرامون کرت ها با پشته های خاکی به ارتفاع 30 سانتی متر بسته شد و در انتهای آنها مخزن 70 لیتری [30] قرار داده شد. مقدار رواناب حاصل از باران های طبیعی در سال 1384 و 1385 در کرت ها اندازه گیری

نسبت به سایر مدل های مبتنی بر معادله گرین- امپت، برآورد بهتری از رواناب را ارایه می دهد [41]. روش شماره منحنی بر اساس تعادل آب استوار است [29 و 35]. معادله تعادل آب عبارتست از:

$$P = Ia + F + Q \quad (1)$$

که در آن: P بارندگی (میلی متر)، Ia نگهداشت اولیه (میلی متر)، F نفوذ تجمعی غیر از Ia (میلی متر)، Q رواناب مستقیم (میلی متر) است. نگهداشت اولیه (Ia) تابعی از حداکثر توانمندی نگهداشت¹ (S) است:

$$Ia = \lambda S \quad (2)$$

که در آن: λ عبارت از نسبت نگهداشت اولیه (Ia/S) است که به عنوان عامل منطقه ای، وابسته به عوامل زمین شناسی و آب و هوایی می باشد. برای برآورد رواناب (Q) رابطه زیر استفاده می شود:

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{P + S - Ia} \quad (3)$$

رابطه (4) برای $P > Ia$ صدق می کند در غیر این صورت مقدار رواناب برآوردی صفر خواهد بود ($Q=0$). نگهداشت اولیه (Ia) در حقیقت بخشی از بارندگی است که در تولید رواناب مشارکت نمی کند [39] و در روش SCS-CN برابر 0/2 در نظر گرفته می شود:

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{P + S - Ia} = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad (4)$$

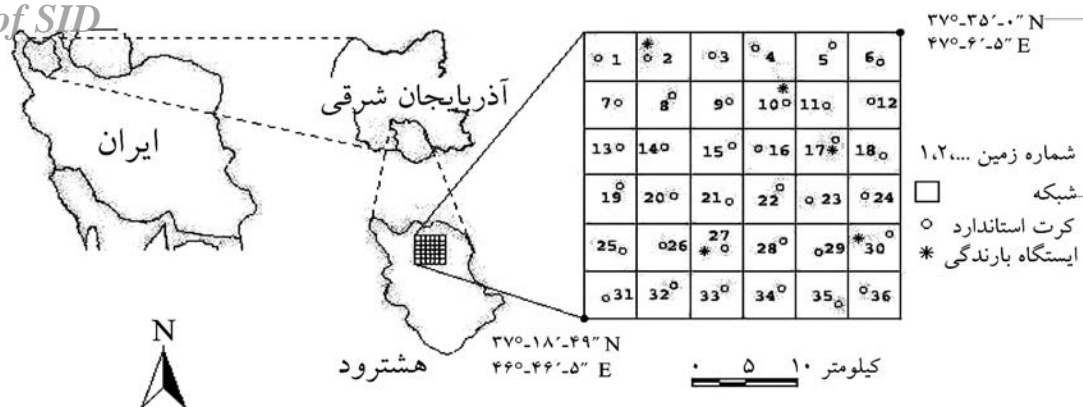
حداکثر توانمندی نگهداشت یا S (میلی متر) بر اساس شماره منحنی (CN) از رابطه زیر تعیین می شود [35]:

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

که در آن: CN وابسته به شرایط رطوبتی پیشین خاک: خشک (کلاس I)، متوسط (کلاس II) و مرطوب (کلاس III) می باشد.

بررسی های شی و همکاران [35] نشان داد با وجود آن که در روش SCS-CN، مقدار نگهداشت اولیه به طور تجربی برابر با 20 درصد حداکثر توانمندی نگهداشت (S) فرض می شود ($\lambda=0/2$)، لیکن 0/2 ثابت مطمئنی نیست و نیازمند تصحیح است. آنها با اندازه گیری رخدادهای بارندگی- رواناب در یک آبخیز پژوهشی در چین طی دوره شش ساله نشان دادند که نسبت نگهداشت اولیه (Ia/S) از 0/10 تا 0/154 تغییر می کند و به طور میانگین 0/052 است. روش SCS-CN، برآورد پایینی² را در رخدادهای بزرگ رواناب نتیجه داد. در این پژوهش مقدار $Ia/S=0/05$ پیش بینی بهتری را در منطقه نتیجه داد [35]. در پژوهشی مقادیر اندازه گیری شده رواناب با مقادیر برآوردی با روش SCS-CN در حوزه آبخیزی در هند در شرایط مختلف رطوبت پیشین خاک مقایسه شد. نتایج نشان داد که CN تصحیح شده برای شرایط خشک دارای بالاترین دقت ($R^2=0/92$) و $E=0/89$ یا ضریب کارایی مدل⁴) و برای شرایط رطوبتی اشباع دارای

- 1- Potential Maximum Retention
- 2- Initial Abstraction Ratio
- 3- Underestimate
- 4- Model Efficiency Coefficient



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و کرت‌های اندازه‌گیری رواناب

ترتیب کمتر از ۱۳/۵ و ۳۵ میلی‌متر بود به عنوان شرایط خشک (I) و چنانچه بیشتر از ۳۷/۵ و ۵۳/۵ میلی‌متر بود، به عنوان شرایط مرطوب (III) لحاظ شد [۵].

تعیین توزیع مکانی باران

مقدار باران در چهار ایستگاه اندازه‌گیری باران در شبکه‌های ۲، ۱۰، ۱۷ و ۲۶ در منطقه اندازه‌گیری شد (شکل ۱). ایستگاه‌های ۲، ۱۰ و ۲۶ از نوع باران‌سنجی و ایستگاه واقع در شبکه ۱۷ از نوع باران‌نگاری بود. مقدار بارندگی در رخداد‌های باران منجر به رواناب در ایستگاه‌های مختلف نسبت به هم مقایسه شدند. برای این کار به دلیل نرمال بودن توزیع داده‌ها، از آزمون دانکن^۱ استفاده شد.

تحلیل داده‌ها

برای ارزیابی توانایی روش SCS-CN در پیش‌بینی رواناب، مقایسه بین رواناب اندازه‌گیری شده و برآوردی با نمایانه ضریب تبیین^۲ (R^۲) و ضریب کارایی مدل (E) بررسی شد. نمایانه ضریب کارایی مدل (E) که اغلب برای تعیین کارکرد مدل‌ها در آب‌شناختی استفاده می‌شود [۲۶]، از رابطه زیر به دست آمد [۲۸ و ۳۲]:

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_p - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{ave})^2} \quad (V)$$

که در آن: n، تعداد رخداد، Q_{pi}، i امین مقدار پیش‌بینی شده رواناب، Q_i، i امین مقدار مشاهده‌ای (اندازه‌گیری شده) و Q_{ave} میانگین مقادیر مشاهده‌ای است. مقدار E به طور معمول از R^۲ کمتر است [۲۴].

نتایج و بحث

از ۹۶ رخداد بارندگی طی دوره دو ساله، ۴۱ رخداد در تولید رواناب در کرت‌ها موثر واقع شدند. میانگین ارتفاع بارندگی در ۴۱ رخداد ۶/۸۶ میلی‌متر و تداوم آن ۹۶ دقیقه بود. شدت بارندگی نیز از ۲/۱۱ میلی‌متر در ساعت تا ۱۳/۷۸ میلی‌متر در ساعت تغییر یافت و میانگین آن ۴/۸۴ میلی‌متر در ساعت بود. میانگین حجم

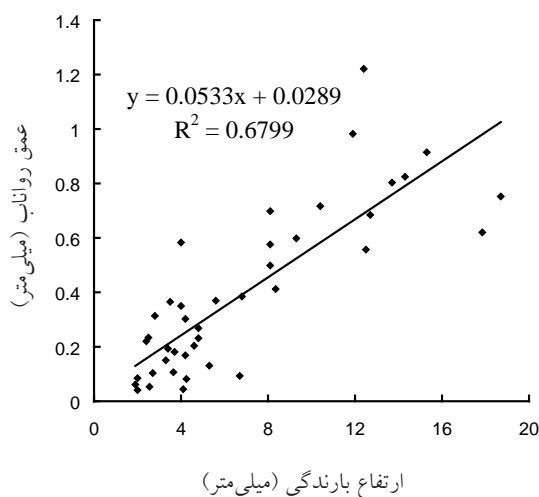
شوند. برای این کار، پس از پایان هر باران منجر به رواناب، ابتدا وزن و حجم مخلوط داخل مخزن‌ها اندازه‌گیری شد و برای تعیین مقدار رواناب، محتویات مخزن‌ها با همزن دستی [۱۹] به صورت یکنواخت درآمد. سپس نمونه ۵۰۰ میلی‌لیتری از مخلوط داخل مخزن برداشت و در آزمایشگاه ابتدا توزین و پس از جداسازی رسوب با کاغذ صافی، نمونه رسوب در آن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک [۳۰] و سپس وزن شد. وزن آب نمونه از تفاضل وزن اولیه و وزن رسوب تعیین و از روی آن حجم آب به دست آمد. مقدار رواناب کرت از ضرب نسبت حجم آب نمونه و حجم کل مخلوط مخزن به دست آمد. میانگین رواناب در هر رخداد، از متوسط مقدار رواناب سه کرت به دست آمد.

برای برآورد رواناب با روش شماره منحنی رواناب (SCS-CN)، مقدار عدد منحنی رواناب (CN) هر یک از زمین‌ها بر اساس نوع کاربری زمین، چگونگی کشت و گروه آب‌شناختی خاک مشخص شد. با توجه به این که تمامی زمین‌ها از نظر نوع کاربری در شرایط آیش بودند و نحوه کشت در سال‌های پیشین در آنها یکسان بود، تنها تفاوت آنها از نظر گروه آب‌شناختی خاک بود. مطابق روش دفتر حفاظت خاک آمریکا (SCS)، خاک‌ها بر اساس سرعت نفوذ آب در گروه‌های آب‌شناختی A (۱۱/۶-۷/۵ سانتی‌متر در ساعت)، B (۷/۵-۳/۸ سانتی‌متر در ساعت)، C (۳/۸-۱/۳ سانتی‌متر در ساعت) و D (کمتر از ۱/۳ سانتی‌متر در ساعت) قرار می‌گیرند. برای این منظور، نفوذپذیری خاک هر زمین در صحرا با روش استوانه مضاعف [۱۳] بر اساس سرعت نفوذ نهایی در سه نقطه اندازه‌گیری شد و گروه آب‌شناختی خاک مشخص شد. پس از تعیین عدد منحنی، مقدار حداکثر توانمندی نگهداشت (S) از رابطه (۵) محاسبه شد. مقدار رواناب نیز بر اساس مقدار بارندگی و نگهداشت اولیه (Ia) از رابطه (۴) برآورد شد. برای این منظور مقدار بارندگی (P) در هر رخداد از اطلاعات ایستگاه باران‌نگاری واقع در شبکه ۱۷ به دست آمد و نسبت نگهداشت اولیه (Ia) برابر ۰/۲ در نظر گرفته شد (Ia=۰/۲ S). مقدار CN هر زمین در هر رخداد باران-رواناب بسته به رطوبت پیشین خاک نیز تصحیح شد. برای این منظور چنانچه در فصل خواب و فصل رشد گیاه، مجموع ارتفاع بارندگی پنج روز پیش به

1- Duncan Test

2- Determination Coefficient

شمار رخداده	تاریخ ۱۳۸۴ (روز/ماه)	ارتفاع باران (میلی‌متر)	شدت باران (میلی‌متر در ساعت)	حجم رواناب (لیتر در کرت)	شماره رخداده	تاریخ ۱۳۸۵ (روز/ماه)	ارتفاع باران (میلی‌متر)	شدت باران (میلی‌متر در ساعت)	حجم رواناب (لیتر در کرت)
۱	۱/۱۳	۲/۵۵	۲/۲۱	۲/۱۵	۲۴	۱/۹	۵/۳	۶/۳۱	۵/۲۸
۲	۱/۱۴	۳/۶۵	۲/۶۸	۴/۳۱	۲۵	۱/۱۶	۴/۲	۲/۵۴	۳/۳۱
۳	۱/۲۵	۱۳/۷	۴/۰۳	۳۲/۴۹	۲۶	۱/۱۸	۶/۷	۲/۱۱	۳/۷۶
۴	۱/۲۶	۲/۷	۲/۷۰	۴/۱۸	۲۷	۱/۲۸	۱۲/۷	۷/۸۹	۲۷/۶۷
۵	۱/۲۷	۴/۸	۳/۷۰	۹/۳۶	۲۸	۲/۴	۴/۲	۲/۸	۶/۸۲
۶	۱/۲۸	۳/۷	۳/۳۶	۷/۳۳	۲۹	۲/۵	۳/۳	۲/۶۴	۶/۰۸
۷	۲/۶	۱۷/۸	۲/۵۶	۲۵/۰۸	۳۰	۲/۶	۵/۶	۳/۶	۱۴/۹۵
۸	۲/۷	۲/۸	۴/۰۰	۱۲/۶۹	۳۱	۲/۱۳	۸/۱	۳/۴	۲۰/۱۷
۹	۲/۱۲	۸/۳	۵/۵۸	۱۶/۶۶	۳۲	۲/۱۴	۴/۰	۲/۹۴	۱۴/۱۵
۱۰	۲/۱۳	۲/۰	۲/۸۲	۳/۴۳	۳۳	۲/۱۵	۳/۴	۲/۵۴	۷/۸۱
۱۱	۲/۱۴	۲/۵	۳/۴۲	۹/۴۶	۳۴	۲/۱۶	۴/۸	۲/۵۸	۱۰/۸۵
۱۲	۲/۱۵	۴/۲	۳/۶۵	۱۲/۲۳	۳۵	۲/۲۰	۶/۸	۳/۷۸	۱۵/۵۷
۱۳	۲/۲۴	۱۱/۹	۱۰/۰۸	۳۹/۷۲	۳۶	۴/۲۸	۴/۱	۸/۲	۱/۷۹
۱۴	۲/۲۵	۱۲/۴	۱۳/۷۸	۴۹/۳۸	۳۷	۶/۲۶	۱۸/۷	۵/۳۵	۳۰/۴۳
۱۵	۲/۲۶	۸/۱	۵/۰۶	۲۸/۲۴	۳۸	۷/۲۳	۴/۶	۹/۸	۸/۲۴
۱۶	۲/۲۹	۱۲/۵	۵/۹۵	۲۲/۵۳	۳۹	۷/۲۸	۲/۰	۴/۰	۱/۶۵
۱۷	۲/۳۰	۱۰/۴	۸/۰۰	۲۸/۹۹	۴۰	۸/۳	۱۴/۳	۶/۶۵	۳۳/۳۴
۱۸	۳/۱۰	۳/۵	۷/۰۰	۱۴/۷۶	۴۱	۸/۵	۸/۱	۴/۵۶	۲۳/۲۹
۱۹	۳/۱۲	۱/۹	۲/۴۷	۲/۴۸	-	-	-	-	-
۲۰	۷/۶	۱۵/۳	۱۱/۰۸	۳۶/۹۹	-	-	-	-	-
۲۱	۱۱/۱۵	۴/۰	۶/۱۵	۲۳/۵۹	-	-	-	-	-
۲۲	۱۱/۲۰	۲/۴	۴/۱۳	۸/۹۱	-	-	-	-	-
۲۳	۱۲/۱۸	۹/۳	۲/۳۲	۴۲/۲۰	-	-	-	-	-



شکل ۲- رابطه بین میانگین رواناب کرت‌ها و بارندگی در ۴۱ رخداده در منطقه مورد بررسی از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۶

در ۴۱ رخداده منجر به رواناب در ایستگاه‌های اندازه‌گیری باران مستقر در شبکه‌های ۲، ۱۰، ۱۷ و ۲۶ به ترتیب ۷/۱۵، ۶/۷۶، ۶/۹۷ و ۷/۰۸ میلی‌متر است. مقایسه آماری مقدار باران در ایستگاه‌ها نشان داد که $F\text{-Value} = ۰/۰۲۹$ و $p\text{-level} = ۰/۹۹۴$ است. در حقیقت مقدار باران‌ها در ایستگاه‌های مختلف، تفاوتی معنی‌دار با یکدیگر نداشتند و توزیع بارندگی در سطح منطقه یکنواخت بود. بنابراین تفاوت در مقدار رواناب در ۳۶ زمین به دلیل تفاوت در ویژگی‌های خاک آن‌ها بود. تفاوت در سرعت نفوذ آب به خاک، مهمترین عامل

رواناب در کرت‌ها در ۴۱ رخداده از ۱/۶۴ لیتر در کرت تا ۴۹/۳۸ لیتر در کرت تغییر یافت (جدول ۱). علت وقوع رواناب، تخریب تدریجی ساختمان خاک سطحی در اثر ضربه قطرات باران و کاهش نفوذپذیری خاک سطحی بود. با تشدید تخریب ساختمان خاک سطحی، اندوده سطحی^۱ و سله^۲ در خاک مشاهده شد. این لایه به دلیل داشتن منافذ ریز و جرم ویژه بالا، نفوذپذیری اشباع پایین‌تری از لایه زیرین داشت [۱۰ و ۱۴]. به این دلیل در اثر وقوع باران‌های با شدت پایین نیز رواناب تولید شد. این نتیجه در راستا با پژوهش‌های لی‌بیسونایس و همکاران [۲۳] بود.

با توجه به اهمیت مقدار بارندگی در برآورد رواناب در روش SCS-CN، بررسی رابطه بین مقدار بارندگی و تولید رواناب در ۴۱ رخداده بر اساس مدل خطی (ساده‌ترین و کاربردی‌ترین مدل) نشان داد که میانگین عمق رواناب تولید شده در زمین‌ها، تحت تاثیر معنی‌دار ارتفاع بارندگی قرار دارد ($R^2 = ۰/۶۸$, $P < ۰/۰۰۱$). با افزایش ارتفاع بارندگی، عمق رواناب تولید شده در زمین‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت (شکل ۲). در باران‌های با ارتفاع بیشتر در کنار تخریب زیاد ساختمان خاک، به دلیل افزایش رطوبت خاک سطحی، سرعت نفوذ آب به خاک کاهش یافته و در نتیجه رواناب بیشتری تولید شد.

بررسی توزیع مکانی بارندگی نشان داد که میانگین ارتفاع بارندگی

1- Surface Seal
2- Crust

محاسبه شده از رابطه (۲) است ($P > I_a$). بنابراین بر اساس فرض‌های روش SCS-CN، تنها این رخدادهای توانایی تولید رواناب در زمین‌ها را داشتند و در سایر رخدادهای مقدار رواناب برآوردی (Q) صفر بود. از این رو مقدار حداکثر توانمندی نگهداشت (S) در ۱۳ رخداد بارندگی مورد توجه قرار گرفت (جدول ۳) و مقدار رواناب آن‌ها برای ۳۶ زمین بر اساس رابطه (۴) برآورد شد (جدول ۴).

برای تشریح جدول (۳)، اگر زمین شماره ۱۰ با $CN = ۰/۹۱$ که مقدار حداکثر توانمندی نگهداشت (S) آن $۲۵/۱۲۱$ میلی‌متر می‌باشد، در نظر گرفته شود، چنانچه شرایط رطوبتی خاک پیشین خشک (I) بود، مقدار CN تصحیح شده $۷۹/۵$ بوده و در نتیجه مقدار S تصحیح شده برابر $۶۵/۴۹۷$ میلی‌متر بود و اگر شرایط رطوبتی مرطوب (III) باشد، مقدار $CN = ۹۶/۵$ ، و میلی‌متر $S = ۹/۲۱۲$ تصحیح می‌شد.

جدول (۴) نشان داد که میانگین رواناب برآوردی در زمین‌ها در ۱۳ رخداد بارندگی از $۰/۰۰۳$ میلی‌لیتر (در رخداد ۳) تا $۱/۹۴۳$ میلی‌لیتر (در رخداد ۴۱) تغییر کرد. با این وجود میانگین مقدار رواناب اندازه‌گیری شده در کرت‌ها در ۴۱ رخداد از $۰/۰۴۱$ میلی‌متر تا $۱/۲۲۱$ میلی‌متر متغیر و به طور متوسط $۰/۳۹۵$ میلی‌متر بود. جدول ۵ میانگین رواناب برآورد شده و اندازه‌گیری شده ۳۶ زمین در ۴۱ رخداد بارندگی طی دوره پژوهش را نشان می‌دهد. بر اساس اطلاعات جدول (۵)، میانگین مقدار رواناب اندازه‌گیری

در بروز اختلاف در تولید رواناب در آن‌ها می‌تواند باشد. سرعت نفوذ نهایی آب به خاک در ۳۶ زمین بین $۱/۳$ و $۵/۸$ سانتیمتر در ساعت بود. از این رو گروه آب‌شناختی خاک‌ها، B (برای خاک‌های با سرعت نفوذ بین $۳/۸$ تا $۷/۵$ سانتیمتر در ساعت) و C (برای خاک‌های با سرعت نفوذ بین $۱/۳$ تا $۳/۸$ سانتیمتر در ساعت) بود. مقدار عدد منحنی رواناب (CN) در ۳۶ زمین، ۸۶ (برای خاک‌های با گروه آب‌شناختی B) و ۹۱ (برای خاک‌های با گروه آب‌شناختی C) بود (جدول ۲). از آنجا که تمامی زمین‌ها در شرایط آیش بودند، تفاوت در مقدار CN آن‌ها به دلیل تفاوت در گروه آب‌شناختی و در نتیجه تفاوت در نفوذپذیری خاک‌ها بود.

با توجه به این که توزیع مکانی بارندگی در منطقه یکنواخت بود، بر این اساس شرایط رطوبتی خاک (کلاس I، II و III) برای تمامی زمین‌ها یکسان در نظر گرفته شد. از آنجا که در هر یک از زمین‌ها، ۴۱ رخداد بارندگی منجر به رواناب شده بودند بنابراین ۴۱ عدد منحنی رواناب (CN) برای هر زمین تصحیح شد و در مجموع تعداد ۱۴۷۸ (۴۱ رخداد \times ۳۶ زمین) CN تصحیح شد. تعداد ۱۴۷۸ حداکثر توانمندی نگهداشت (S) با استفاده از رابطه (۵) نیز تصحیح شد. نتایج نشان داد که تنها در ۱۳ رخداد بارندگی (رخدادهای ۱، ۳، ۷، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۲۰، ۲۱، ۲۳، ۳۷، ۳۹، ۴۰ و ۴۱ مذکور در جدول (۱))، مقدار بارندگی (P) بزرگتر از مقدار نگهداشت اولیه ($S = ۰/۲ I_a$)

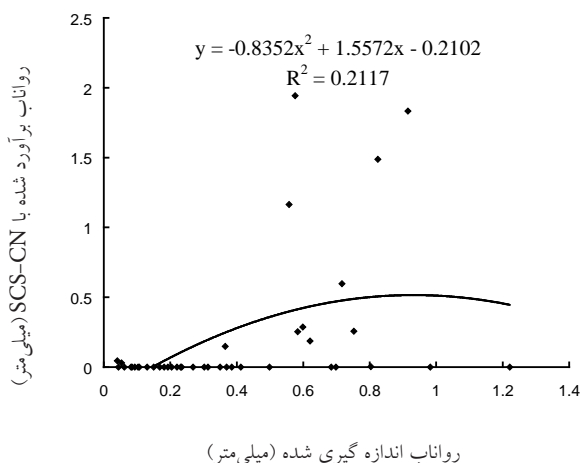
جدول ۲- نفوذپذیری خاک، گروه آب‌شناختی و شماره منحنی رواناب (CN) در ۳۶ زمین مورد بررسی در شهرستان هشترود

شماره زمین	نفوذپذیری خاک (سانتی‌متر در ساعت)	گروه آب‌شناختی خاک	شماره منحنی رواناب	شماره زمین	نفوذپذیری خاک (سانتی‌متر در ساعت)	گروه آب‌شناختی خاک	شماره منحنی رواناب
۱	۲/۱	C	۹۱	۱۹	۱/۷	C	۹۱
۲	۱/۸	C	۹۱	۲۰	۳/۴	C	۹۱
۳	۲/۷	C	۹۱	۲۱	۴/۳	B	۹۱
۴	۵/۱	B	۸۶	۲۲	۳/۵	C	۹۱
۵	۳/۳	C	۹۱	۲۳	۳/۹	B	۸۶
۶	۵/۳	B	۸۶	۲۴	۳/۷	C	۹۱
۷	۵/۸	B	۸۶	۲۵	۱/۴	C	۹۱
۸	۴/۶	B	۸۶	۲۶	۴/۲	B	۸۶
۹	۲/۹	C	۹۱	۲۷	۴/۷	B	۸۶
۱۰	۲/۶	C	۹۱	۲۸	۱/۸	C	۹۱
۱۱	۱/۵	C	۹۱	۲۹	۳/۹	B	۸۶
۱۲	۴/۹	B	۸۶	۳۰	۳/۱	C	۹۱
۱۳	۲/۵	C	۹۱	۳۱	۳/۸	B	۸۶
۱۴	۳/۲	C	۹۱	۳۲	۴/۸	B	۸۶
۱۵	۳/۸	B	۸۶	۳۳	۳/۷	C	۹۱
۱۶	۵/۱	B	۸۶	۳۴	۳/۸	B	۸۶
۱۷	۵/۳	B	۸۶	۳۵	۲/۹	C	۹۱
۱۸	۳/۵	C	۹۱	۳۶	۳/۶	C	۹۱

رواناب (میلی متر)		شماره رخداد	رواناب (میلی متر)		شماره رخداد
اندازه‌گیری شده	برآورد شده		اندازه‌گیری شده	برآورد شده	
۰/۱۳۱	۰/۰۰۰	۲۴	۰/۰۵۳	۰/۰۲۹	۱
۰/۰۸۲	۰/۰۰۰	۲۵	۰/۱۰۶	۰/۰۰۰	۲
۰/۰۹۳	۰/۰۰۰	۲۶	۰/۸۰۳	۰/۰۰۳	۳
۰/۶۸۴	۰/۰۰۰	۲۷	۰/۱۰۳	۰/۰۰۰	۴
۰/۱۶۹	۰/۰۰۰	۲۸	۰/۲۳۱	۰/۰۰۰	۵
۰/۱۵۰	۰/۰۰۰	۲۹	۰/۱۸۱	۰/۰۰۰	۶
۰/۳۷۰	۰/۰۰۰	۳۰	۰/۶۲۰	۰/۱۸۷	۷
۰/۴۹۹	۰/۰۰۰	۳۱	۰/۳۱۴	۰/۰۰۰	۸
۰/۳۵۰	۰/۰۰۰	۳۲	۰/۴۱۲	۰/۰۰۰	۹
۰/۱۹۳	۰/۰۰۰	۳۳	۰/۰۸۵	۰/۰۰۰	۱۰
۰/۲۶۸	۰/۰۰۰	۳۴	۰/۲۳۴	۰/۰۰۰	۱۱
۰/۳۸۵	۰/۰۰۰	۳۵	۰/۳۰۲	۰/۰۰۰	۱۲
۰/۰۴۴	۰/۰۰۰	۳۶	۰/۹۸۲	۰/۰۰۰	۱۳
۰/۷۵۲	۰/۲۵۷	۳۷	۱/۲۲۱	۰/۰۰۰	۱۴
۰/۲۰۴	۰/۰۰۰	۳۸	۰/۶۹۸	۰/۰۰۰	۱۵
۰/۰۴۱	۰/۰۴۴	۳۹	۰/۵۵۷	۱/۱۶۴	۱۶
۰/۸۲۴	۱/۴۸۷	۴۰	۰/۷۱۷	۰/۵۹۶	۱۷
۰/۵۷۶	۱/۹۴۳	۴۱	۰/۳۶۵	۰/۱۴۹	۱۸
-	-	-	۰/۰۶۱	۰/۰۰۰	۱۹
-	-	-	۰/۹۱۵	۱/۸۳۳	۲۰
-	-	-	۰/۵۸۳	۰/۲۵۳	۲۱
-	-	-	۰/۲۲۰	۰/۰۰۰	۲۲
-	-	-	۰/۵۹۸	۰/۲۸۷	۲۳

شده در سطح منطقه در ۴۱ رخداد بارندگی به طور متوسط ۲/۹۸۸ برابر بزرگتر از مقدار برآوردی با روش SCS-CN می‌باشد. همبستگی بین مقدار رواناب برآوردی و اندازه‌گیری شده در ۴۱ رخداد بسیار ضعیف ($R^2=۰/۲۱$) و غیرمعنی‌دار بود (شکل ۳). بروز همبستگی پایین عمدتاً به دلیل عدم توانایی تولید رواناب ($Q=۰$) برای رخدادهای باران با شرایط $S < ۰/۲ P$ در روش SCS-CN است. مطابق این روش در ۲۸ رخداد باران، مقدار رواناب برآوردی صفر بود در حالی که به طور عملی این رخدادهای منجر به تولید رواناب در کرت‌های تحت بررسی شدند.

نتایج نشان داد که تفاوت بین مقدار رواناب اندازه‌گیری شده و برآورد شده در رخدادهای با ارتفاع بارندگی پایین (نزدیک به $S < ۰/۲$) بیشتر است. همانطور که شکل (۴) نشان می‌دهد در بسیاری از رخدادهای باران (۳۷ رخداد) مقدار رواناب برآورد شده کمتر از مقدار مشاهده‌ای بود و تنها در ۴ رخداد (رخدادهای شماره ۱۶، ۲۰، ۴۰، ۴۱)، مقدار رواناب برآوردی بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده بود. این نتیجه نشان می‌دهد که روش SCS-CN دقت لازم در برآورد رواناب به ویژه در

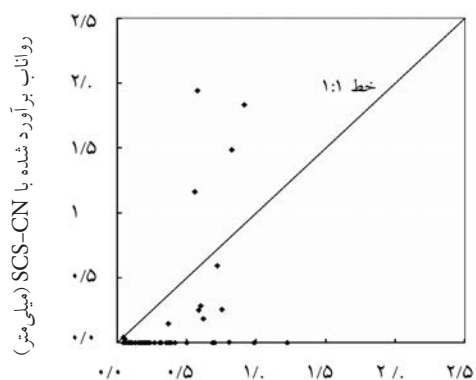


شکل ۳- همبستگی بین رواناب برآوردی با روش SCS-CN و رواناب اندازه‌گیری شده در ۴۱ رخداد بارندگی ($Ia=۰,۲S$)

نگهداشت (S) بود ($\lambda < 0.2$). نتایج این پژوهش یافته‌های سالیانه پژوهشگران در مورد لزوم تغییر ثابت نگهداشت اولیه شده در روش SCS-CN را تایید می‌کند. در این راستا گزارش‌های کومار و همکاران [۲۱] نشان داد که برای شرایط هند مقدار نگهداشت اولیه بهتر است برابر با 0.3 در نظر گرفته شود. نتایج بررسی می‌شرا و همکاران [۲۷] در مورد تعیین رابطه بین نگهداشت اولیه (Ia) و حداکثر توانمندی نگهداشت (S) با استفاده از داده‌های ۸۴ حوزه آبخیز کوچک در آمریکا نشان داد که رابطه این دو تابعی از رطوبت پیشین (M) می‌باشد: $Ia = \lambda S^{\lambda} / (S + M)$. در این رابطه λ عبارت از ضریب نگهداشت اولیه است. مقدار M به بارندگی ۵ روز پیش بستگی دارد. بر اساس این پژوهش وابستگی λ به M بیشتر با واقعیت سازگار است. این نتیجه بیانگر آن است که بکارگیری مدل SCS-CN موجب می‌شود برآوردهای غیرمعقول و غیرقابل قبولی از رواناب حاصل شود. در مطالعه‌ای هوانگ و همکاران [۱۸] اثر رطوبت اولیه در برآورد رواناب با روش SCS-CN را در چین مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور داده‌های ۱۰ ساله باران، رواناب و رطوبت خاک مربوط به کرت‌های یونجه، سیب‌زمینی و مرتع تحلیل شد. نتایج نشان داد که روش SCS-CN مقدار رواناب را در ۸۵ رگبار از ۹۸ رخداد کمتر برآورد کرده و کارایی این مدل (E) برابر 0.243 بود. در پژوهشی ترزودلی و همکاران [۳۷] قابلیت کاربرد یک مدل تجربی برآورد رواناب را در خاکهای آهکی واقع در اراضی شیبدار و تحت شخم در مرکز یونان بررسی کرده و نتایج آن را با مقادیر برآوردی با روش SCS-CN مقایسه کردند. در مدل تجربی برای برآورد رواناب از مشخصه‌های شدت بارندگی، هدایت هیدرولیکی اشباع (نفوذپذیری خاک)، سرعت نفوذ اولیه، تداوم بارندگی و حداکثر ظرفیت ذخیره سطحی استفاده شد. نتایج نشان داد که روش SCS-CN نسبت به مدل تجربی بدون تصحیح قابل استفاده نمی‌باشد. بررسی داده‌های ارتفاع باران و حداکثر توانمندی نگهداشت (S) در ۴۱ رخداد بارندگی نشان داد که ثابت نگهداشت اولیه برابر 0.2 ($\lambda = S/Ia = 0.02$) ثابتی منطقی برای برآورد رواناب در رخدادهای

باران‌های با مقدار پایین را ندارد.

بررسی ضریب کارایی مدل (E) برای هر یک از زمین‌های تحت بررسی در رخدادهای بارندگی نشان داد که مقدار E از 0.957 - (در زمین ۱۶) تا 0.19 - (در زمین ۳۳) تغییر کرد و میانگین آن در منطقه 0.32 - بود (جدول ۶). به طور کلی مقدار ضریب کارایی مدل از صفر (کارایی کامل) تا منفی بی‌نهایت (ضعیفترین کارایی) تغییر می‌کند. با دور شدن از مقدار صفر، کارایی مدل پایین‌تر می‌رود. بر اساس گزارش‌ها، نمایانه E بهتر از نمایانه R^2 (شکل ۳) تناسب مدل را برای اهداف ارزیابی نشان می‌دهد [۲۴].



رواناب اندازه گیری شده (میلی متر)

شکل ۴- رواناب برآوردی در مقابل رواناب اندازه‌گیری شده در ۴۱ رخداد بارندگی منجر به رواناب

به طور کلی نتایج نشان می‌داد که روش SCS-CN دارای دقت پایینی در برآورد رواناب در رخدادهای باران در منطقه بود. یکی از علل دقت پایین این روش، عدم قطعیت نسبت نگهداشت اولیه ارایه شده در این روش ($\lambda = S/Ia = 0.2$) بود. اعمال این نسبت موجب می‌شود در بسیاری از رخدادهای باران، رواناب برآوردی صفر در نظر گرفته شود در حالی که در این رخدادهای رواناب در کرت‌ها مشاهده شد. بنابراین مقدار نگهداشت اولیه (Ia) در منطقه نیمه‌خشک تحت بررسی به طور عملی کمتر از ۲۰ درصد حداکثر توانمندی

جدول ۶- مقدار ضریب کارایی مدل عدد منحنی رواناب (SCS-CN) در برآورد رواناب در ۳۶ زمین مورد بررسی

شماره زمین	ضریب کارایی مدل (E)	شماره زمین	ضریب کارایی مدل (E)	شماره زمین	ضریب کارایی مدل (E)
۱	-۱۱/۱۳۵	۱۳	-۸/۲۲۱	۲۵	-۱۲/۳۰۵
۲	-۱۱/۳۹۸	۱۴	-۷/۴۳۰	۲۶	-۲/۳۱۰
۳	-۱۲/۲۱۵	۱۵	-۵/۷۶۳	۲۷	-۱/۵۹۵
۴	-۳/۹۲۷	۱۶	-۰/۹۵۷	۲۸	-۱۳/۸۵۱
۵	-۱۲/۱۶۲	۱۷	-۲/۱۶۳	۲۹	-۴/۴۷۶
۶	-۱/۲۳۱	۱۸	-۱۳/۱۱۷	۳۰	-۱۲/۳۶۰
۷	-۱/۴۵۶	۱۹	-۱۲/۷۹۳	۳۱	-۲/۱۳۶
۸	-۱/۵۵۷	۲۰	-۱۴/۳۳۸	۳۲	-۱/۰۸۶
۹	-۸/۵۵۳	۲۱	-۱۲/۴۹۶	۳۳	-۱۶/۰۱۹
۱۰	-۸/۷۹۱	۲۲	-۱۵/۰۷۷	۳۴	-۲/۵۳۲
۱۱	-۹/۹۴۶	۲۳	-۳/۷۶۲	۳۵	-۱۴/۰۴۶
۱۲	-۱/۲۹۴	۲۴	-۱۲/۶۷۸	۳۶	-۱۳/۹۷۶

نگهداشت اولیه برای برآورد درازمدت رواناب سطحی بهتر خواهد بود. در پژوهشی بالتاس و همکاران [۱۲] با تحلیل رخدادهای باران-رواناب در یک آبخیز پژوهشی نشان دادند که مقدار نسبت نگهداشت اولیه از حداقل ۰/۰۰۴ تا حداکثر ۰/۰۳۷ تغییر می‌یابد و استفاده از نسبت ۰/۰۱۴ برآورد مطمئنی از رواناب را ارایه می‌دهد. در پژوهشی وودوارد و همکاران [۲۳] داده‌های باران-رواناب در ۳۰۷ حوزه یا کرت در ۲۳ ایالت آمریکا را برای دستیابی به نسبت نگهداشت اولیه بررسی کردند. نتایج نشان داد که مقدار λ از رگباری به رگبار دیگر و از حوزه آبخیزی به حوزه دیگر تغییر می‌کند و فرض $\lambda = 0.2$ به طور غیرمعمولی بالا است. در این راستا بکارگیری $\lambda = 0.05$ برآزش بهتری با داده‌ها پیدا می‌کند و برای پیش‌بینی رواناب مناسب خواهد بود.

نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری رواناب در ۴۱ رخداد بارندگی در ۳۶ کشتزار دیم در ناحیه‌ای نیمه‌خشک در شمال غرب ایران طی دوره دو ساله نشان داد که تولید رواناب رابطه خطی معنی‌دار با ارتفاع بارندگی ($R^2 < 0.01$, $P < 0.01$) دارد. از ۴۱ رخداد بارندگی منجر به رواناب، تنها در ۱۳ رخداد ارتفاع بارندگی (P) بزرگتر از نگهداشت اولیه بود ($S > 0.2$). بنابراین بر اساس روش شماره منحنی رواناب (SCS-CN)، تنها ۱۳ رخداد مذکور دارای توانایی تولید رواناب بودند. همبستگی بین مقدار رواناب برآوردی و اندازه‌گیری شده پایین ($R^2 = 0.21$) بود. ضریب کارایی مدل (E) در ۳۶ زمین پایین و به طور میانگین -0.32 بود. روش SCS-CN به دلیل بالا بودن نسبت نگهداشت اولیه ($Ia/S = \lambda = 0.2$) دارای دقت پایینی در برآورد رواناب در رخدادهای باران در منطقه بود. تحلیل داده‌ها نشان داد که با ارایه نسبت نگهداشت اولیه برابر با ۰/۰۲، امکان برآورد رواناب در تمامی ۴۱ رخداد بارندگی فراهم می‌شود. در این صورت همبستگی بین رواناب برآوردی و اندازه‌گیری شده افزایش یافته ($R^2 = 0.53$) و ضریب کارایی مدل بهبود می‌یابد ($E = -0.194$).

منابع

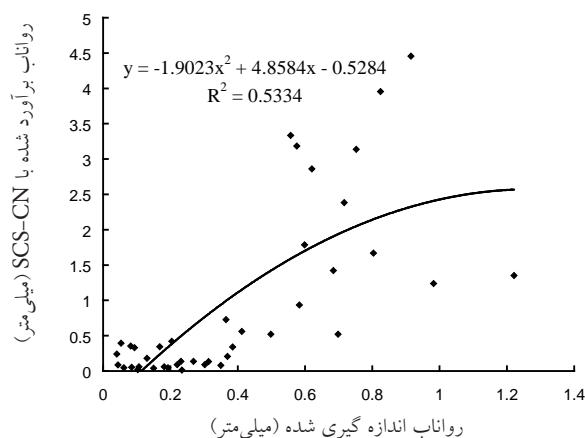
- ۱- اعظمه، ژ.، افیونی، م.، جلالیان، الف. و عباسپور، ک. ۱۳۸۶. ارزیابی تخمین رواناب با استفاده از مدل SWAT۲۰۰۰ در زیر حوزه ونک از حوزه آبخیز کارون شمالی. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، کرج، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، ۴-۶ شهریور ۱۳۸۶، صفحه ۱۱۵۰-۱۱۵۱.
- ۲- بیات موحد، ف. و نیک‌کامی، د. ۱۳۸۶. تاثیر کاربرد مالچ کاه و کلش گندم بر مقدار رواناب اراضی زراعی دیم شیبدار. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، کرج، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، ۴-۶ شهریور ۱۳۸۶، صفحه ۱۱۲۸-۱۱۳۰.
- ۳- حسینی، م.، عطاپور، ع.، کرمی، س.ع.، روغنی، م. و روشن، ب. ۱۳۸۴. بررسی تاثیر پوشش پلاستیکی در تولید رواناب و نگهداشت رطوبت خاک. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و

باران در منطقه است. این نسبت (۰/۰۲) را به عنوان بالاترین نسبت نگهداشت اولیه در منطقه می‌توان در نظر گرفت که با اعمال آن، تمامی ۴۱ رخداد بارندگی در روش SCS-CN توانایی تولید رواناب خواهند داشت و رواناب برآوردی در آن‌ها بزرگتر از صفر خواهد بود. بنابراین رابطه (۵) به صورت رابطه زیر قابل تصحیح است:

$$Q = \frac{(P-Ia)^2}{P+S-Ia} = \frac{(P-0.02S)^2}{(P+0.98S)} \quad (7)$$

بر اساس نسبت نگهداشت اولیه ۰/۰۲، مقدار رواناب در ۴۱ رخداد برآورد شد. نتایج نشان داد که بین مقدار رواناب برآوردی و اندازه‌گیری شده همبستگی معنی‌دار ($R^2 = 0.53$, $P < 0.01$) وجود دارد (شکل ۵). البته با وجود آن که در صورت بکارگیری نسبت‌های نگهداشت اولیه کمتر از ۰/۰۲ نیز، باران‌های مذکور توانایی تولید رواناب را داشتند لیکن این کار منجر به کاهش ضریب تبیین (R^2) بین رواناب برآوردی و اندازه‌گیری شده گردید. همچنین اعمال نسبت نگهداشت اولیه ۰/۰۲ موجب شد ضریب کارایی مدل (E) نیز افزایش یابد به طوری که در ۳۶ زمین مقدار E بین $-2/893$ (در زمین ۳۲) و $0/758$ (در زمین ۱۵) قرار گرفت و به طور متوسط برابر $-0/194$ شد. در حقیقت با اعمال نسبت نگهداشت تصحیح شده، ضریب کارایی مدل از $-0/32$ به $-0/194$ (حدود ۴۱ برابر) افزایش یافت.

در پژوهش‌های مختلف مقادیر متفاوتی برای نسبت نگهداشت اولیه ارایه شده است. نتایج پژوهش‌های شی و همکاران [۳۵] در حوزه آبخیزی با میانگین بارندگی سالانه ۳۹۰ میلی‌متر در چین نشان داد که نسبت ۰/۰۵۲ را به عنوان ثابتی قابل اطمینان برای نسبت نگهداشت اولیه ($Ia/S = \lambda$) می‌توان به کار گرفت. در مطالعات هاوکنیس و همکاران [۱۷]، تعداد ۲۸۳۰۱ رخداد در ۳۰۷ آبخیز با روش برآزش مدل مورد تحلیل قرار گرفت و نشان داده شد که مقدار λ از ۰/۰۰۵ تا ۰/۴۹۱۰ تغییر می‌کند. تغییر نسبت نگهداشت اولیه از ۰/۲ به ۰/۰۵ به عنوان نسبتی دقیق‌تر برای برآورد رواناب پیشنهاد شد. در مطالعه‌ای لیم و همکاران [۲۲] با بررسی اثر نگهداشت اولیه بر رواناب سطحی نشان دادند که استفاده از نمایانه ۵٪ نسبت



شکل ۵- همبستگی بین رواناب برآوردی با روش CN-SCS بر اساس نسبت نگهداشت اولیه ۰/۰۲ و رواناب اندازه‌گیری شده

14- Carmi, G. and Berliner, P. 2008. The effect of soil crust on the generation of runoff on small plots in an arid environment. *Catena*. 74: 37-42.

15- Grayson, R.B., Moore, I.D. and McMahon, T.A. 1992. Physically based hydrologic modelling 2. Is the concept realistic? *Water Resources Research*. 28: 2659-2666.

16- Hawkins, R.H., 1993. Asymptotic determination of runoff curve numbers from data. *J. Irrig. Drain. Eng. ASCE*. 119 (2): 334-345.

17- Hawkins, R.H., Jiang, R., Woodward, D.E., Hjelmfelt, A.T., Van Mullem, J.A. and Quan, Q.D. 2002. Runoff curve number method: examination of the initial abstraction ratio. *Proceedings of the Second Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference, Las Vegas, Nevada*. U.S. Geological Survey, Lakewood, Colorado. CD-ROM.

18- Huang, M., Gallichand, J., Dong, C., Wang, Z. and Shao, M. 2006. Use of soil moisture data and curve number method for estimating runoff in the Loess Plateau of China. *Hydrological Processes*. 21(11): 1471-1481.

19- Hussein, M.H., Kariem, T.H. and Othman, A.K. 2007 Predicting soil erodibility in northern Iraq using natural runoff data. *Soil & Tillage Research*. 94: 220-228.

20- Knisel, W.G. 1980. CREAMS: a field-scale model for chemical, runoff and erosion from agricultural management systems. *Conservation Research Report*, vol. 26. South East Area, US Department of Agriculture, Washington, DC.

21- Kumar, P., Tiwari, K.N. and Pal, D.K. 1991. Establishing SCS curve number from IRS digital data base. *Journal of Indian Society of Remote Sensing*. 19(4):245-251.

22- Lim, K.J., Engel, B.A., Muthukrishnan, S. and Harbor, J. 2006. Effects of initial abstraction and urbanization on estimated runoff using CN technology. *Journal of the American Water Resources Association*. 42: 629-643.

23- Le Bissonnais, Y., Renaux, B. and Delouche, H. 1995. Intraction between soil properties and moisture content in crust formation, runoff and interrill erosion from tilled loess soils. *Catena*. 25(1-4): 33-46.

24- Legates, D.R. and McCabe, G.J. 1999.

رسوب، تهران، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، ۹-۶ شهریور ۱۳۸۴، صفحه ۲۶-۳۰.

۴- رئیسبان، ر. ۱۳۸۴. بررسی اثر شیب زمین، شرایط رطوبتی خاک و کاربری اراضی در زمان شروع رواناب. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، تهران، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، ۹-۶ شهریور ۱۳۸۴، صفحه ۳۰۵-۳۰۹.

۵- رفاهی، ح. ق. ۱۳۷۵. فرسایش آبی و کنترل آن. چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، ایران، صفحه ۱۴۰-۱۴۷.

۶- شاه‌کرمی، ع.، خادمی، ک. و سیاه‌منصور، ر. ۱۳۸۴. بررسی تاثیر شدت چرا بر تولید رواناب و رسوب با دو روش اندازه‌گیری مستقیم و مدل RUSLE. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، تهران، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، ۹-۶ شهریور ۱۳۸۴، صفحه ۵۹۳-۵۹۸.

۷- عبدلی، ص. و قریشی‌راد، س. ح. ر. ۱۳۸۴. بررسی تاثیر بهره‌برداری‌های مختلف اراضی در کاهش رواناب و رسوب. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، تهران، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، ۹-۶ شهریور ۱۳۸۴، صفحه ۸۰-۸۲.

۸- فیض‌نیا، س.، سلاجقه، ع.، احمدی، ح. و فضل‌الهی آقاملکی، ع. ۱۳۸۶. بررسی رابطه خصوصیات فیزیکی خاک و میزان رواناب و رسوب در پادگان‌های آبرفتی با استفاده از باران ساز (منطقه مورد مطالعه: زیر حوزه عباس آباد جاجرود). مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، کرج، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، ۶-۴ شهریور ۱۳۸۶، صفحه ۱۳۱۴-۱۳۱۶.

۹- نوری، ح.، خوشحال، ج. و علی‌ولی، ع. ۱۳۸۶. بررسی اثر اجرای عملیات آبخیزداری بر ضریب رواناب در مناطق نیمه‌خشک. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، کرج، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، ۶-۴ شهریور ۱۳۸۶، صفحه ۱۳۰۷-۱۳۰۹.

10- Agassi, M., Morin, J. and Shainberg, I. 1985. Effect of drop impact energy and water salinity on filtration rates of sodic soils. *Soil Science Society of America Journal*. 49: 186-190.

11- Arnold, J.G., Williams, J.R., Srinivasan, R. and King, K.W. 1996. SWAT: Soil and Water Assessment Tool. USDA-ARS, Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Temple, TX.

12- Baltas, E.A., Dervos, N.A. and Mimikou, M.A. 2007. Determination of the SCS initial abstraction ratio in an experimental watershed in Greece. *Hydrology and Earth System Sciences*. 11: 1825-1829.

13- Bouwer, H. 1986. Intake rate: Cylinder infiltrometer. In: Klutem A., *Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods, Second edition*, Agronomy, Soil Science

Agriculture Technical Bulletin, vol. 1768. US Government Printing Office, Washington, DC.

35- Shi, Z.H., Chen, L.D., Fang, N.F. Qin, D.F. and Cai, C.F. 2009. Research on the SCS-CN initial abstraction ratio using rainfall-runoff event analysis in the Three Gorges Area, China. *Catena*. 77(1): 1-7.

36- Singh, P.K., Bhunya, P.K., Mishra, S.K. and Chaube, U.C. 2008. A sediment graph model based on SCS-CN method. *Journal of Hydrology*. 349: 244–255.

37- Terzoudi, Chr. B., Gemtos, T.A., Danalatos, N.G. and Argyrokastritis, I. 2007. Applicability of an empirical runoff estimation method in central Greece. *Soil & Tillage Research*. 92: 198–212.

38- Tyagi, J.V., Mishra, S.K., Singh, R. and Singh, V.P. 2008. SCS-CN based time-distributed sediment yield model. *Journal of Hydrology*. 352: 388–403.

39- Young, D.F. and Carleton, J.N. 2006. Implementation of a probabilistic curve number method in the PRZM runoff model. *Environmental Modelling and Software*. 21: 1172-1179.

40- Young, R.A., Onstad, C.A., Bosch, D.D. and Anderson, W.P. 1989. AGNPS: a nonpoint-source model for evaluating agricultural watersheds. *Journal of Soil and Water Conservation*. 44: 168–173.

41- Wilcox, B.P., Rawls, W.J., Brakensiek, D.L., and Wright, R. 1990. Predicting runoff from rangeland catchments. *Water Resources Research*. 26 (10):2401-2410.

42- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. *Agriculture Handbook No. 537*. US Department of Agriculture, Washington DC., pp: 13-27.

43- Woodward, D.E., Hawkins, R.H., Jiang, R., Hjelmfelt, A.T., Van Mullem, J.A. and Quan, Q.D. 2009. Runoff curve number method: Examination of the initial abstraction ratio. Available on the: <http://frontpage.et.byu.edu/ce531/Papers/CNInitialAbstraction.pdf>.

Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resources Research*. 35: 233–241.

25- Liera, Q.J., Sparovek, G., Flanagan, C., Bloem, E.M. and Schnug, E. 2005. Runoff mapping using WEPP erosion model and GIS tools. *Computers & Geosciences*. 31: 1270–1276.

26- Loague, K.M. and Freeze, R.A. 1985. A comparison of rainfall-runoff modeling techniques on small upland catchments. *Water Resources Research*. 21: 229–248.

27- Mishra, S.K., Sahu, R.K., Eldho, T.I. and Jain, M.K. 2006. An improved Ia–S relation incorporating antecedent moisture in SCS-CN methodology. *Water Resources Management*. 20: 643–660.

28- Nash, J. and Sutcliffe, J. 1970. River flow forecasting through conceptual models, 1. A discussion of principles. *Journal of Hydrology*. 10: 282–290.

29- Patila, J.P., Sarangia, A., Singha, A.K. and Ahmad, T. 2008. Evaluation of modified CN methods for watershed runoff estimation using a GIS-based interface. *Biosystem Engineering*. 100: 137 – 146.

30- Rejman, J., Turski, R. and Paaluszek, J. 1998. Spatial and temporal variation in erodibility of loess soil. *Soil & Tillage Research*. 46: 61-68.

31- Reshmidevia, T.V., Janab, R. and Eldho, T.I. 2008. Geospatial estimation of soil moisture in rain-fed paddy fields using SCS-CN-based model. *Agricultural Water Management*. 95: 447–457.

32- Sarangi A. and Bhattacharya, A.K. 2005. Comparison of artificial neural network and regression models for sediment loss prediction from Banha watershed in India. *Agricultural Water Management*. 78:195–208.

33- SCS (Soil Conservation Service). 1972. SCS National Engineering Handbook, Section 4. Hydrology, Soil Conservation Service. US Department of Agriculture, Washington, DC.

34- Sharpley, A.N. and Williams, J.R. 1990. EPIC—Erosion/Productivity Impact Calculator: 1. Model Documentation. US Department of