Iranian Journal of
Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سامانه های سطوح آبگیر باران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

مقایسه چند حالت تخمین رواناب بر مبنای روش شماره منحنی

حمیدرضا فولادمند*[۱] سید علی شاه امیریان[۲] فاطمه کیانی[۳]

۱. دانشیار آبیاری و زهکشی، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران
۲. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران
۳. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد عمران آب، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴

نوع مقاله: علمی-پژوهشی

چکیده

روش شماره منحنی (CN) از متداول‌ترین روش‌های تخمین رواناب در حوضه‌های آبخیز است. مقدار CN به نفوذ آب در خاک، پوشش زمین و رطوبت قبلی خاک وابسته است. با توجه به شرایط رطوبتی خاک سه حالت CN شرایط رطوبتی خشک، متوسط و مرطوب رخ خواهد داد، اما تعیین مقدار CN با استفاده از شرایط نفوذ و پوشش زمین کار چندان آسانی نیست و به‌دقت زیادی نیاز دارد. در این تحقیق با استفاده از ۶۳ واقعه اندازه‌گیری شده بارش- رواناب در حوضه باغان در استان بوشهر و ۳۴ واقعه در حوضه بوشیگان در استان فارس کارایی روش CN برای تخمین رواناب موردبررسی قرار گرفت و هفت حالت برای تخمین رواناب در نظر گرفته شدند: ۱) روش متداول تعیین CN با استفاده از اطلاعات خاک و پوشش گیاهی. ۲) اصلاح ضریب نگهداشت سطحی معادله تخمین رواناب با در نظر گرفتن شرایط رطوبتی متوسط. ۳) اصلاح ضریب نگهداشت سطحی معادله تخمین رواناب با در نظر گرفتن شرایط رطوبتی مربوط به هر واقعه (شرایط خشک، متوسط و یا مرطوب). ۴) استفاده از میانگین CN مشاهداتی وقایع رخداده. ۵ تا ۷) استفاده از رابطه‌های خطی، توانی و استاندارد بین CN برحسب مقدار باران. برای این منظور از ۴۸ واقعه در حوضه باغان و ۲۶ واقعه در حوضه بوشیگان برای واسنجی نتایج و از ۱۵ واقعه در حوضه باغان و ۸ واقعه در حوضه بوشیگان برای ارزیابی نتایج استفاده شد. نتایج در دو حوضه نشان داد که حالت‌های خطی، توانی و استاندارد برای تخمین رواناب مناسب‌تر می‌باشند. هر سه حالت فوق برای تعیین CN به‌جای استفاده از اطلاعات نفوذ خاک و پوشش گیاهی به داده‌های اندازه‌گیری شده بارش- رواناب وابسته هستند. همچنین نتایج نشان داد که روش متداول تعیین CN بر مبنای نفوذپذیری و پوشش زمین و سپس استفاده از آن برای تخمین رواناب مناسب نمی‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بارش، رواناب، شماره منحنی، ضریب نگهداشت اولیه.

[1]* نویسنده مسئول: حمیدرضا فولادمند hrfoolad@yahoo.com

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.1.5]

مقدمه

روش شماره منحنی (CN) که توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا ارائه‌شده است از متداول‌ترین روش‌های تخمین مقدار رواناب در حوضه‌های آبخیز است. مقدار CN بین صفر تا صد تغییر می‌کند و هرچه بیشتر باشد نشان‌دهنده پتانسیل ایجاد رواناب بیشتری است. در این روش ابتدا باید مقدار عددی CN تعیین گردد و سپس با توجه به مقدار باران و ضریب نگهداشت رطوبت سطحی خاک، مقدار رواناب تخمین زده می‌شود. برای تعیین مقدار عددی CN ابتدا باید وضعیت نفوذپذیری خاک تعیین شود و برای این منظور خاک‌ها به چهار گروه مختلف تقسیم می‌شوند. پس از تعیین گروه نفوذپذیری خاک و با توجه به وضعیت پوشش زمین از جدول‌های موجود می‌توان عدد CN را استخراج کرد. عدد استخراج‌شده بیانگر شرایط رطوبتی متوسط خاک است که به آن CN(II) گفته می‌شود. درحالی‌که در بعضی از شرایط رطوبت خاک در شرایط خشک و یا مرطوب است که به ترتیب با CN(I) و CN(III) نشان داده می‌شوند. برای تعیین شرایط رطوبتی خاک از مجموع باران پنج روز قبل استفاده می‌شود. مجموع باران پنج روز قبل کمتر از ۳۵/۶ میلی‌متر بیانگر شرایط خشک، بین ۳۵/۶ تا ۵۳/۳ میلی‌متر بیانگر شرایط متوسط و بیشتر از ۵۳/۳ میلی‌متر بیانگر شرایط مرطوب است (فولادمند، ۱۳۹۹). ازنظر عددی CN(III) بزرگ‌تر از CN(II) بوده و CN(II) بزرگ‌تر از CN(I) است. لذا در این روش مقدار رواناب تابع شرایط نفوذ آب در خاک، وضعیت پوشش زمین، مقدار باران و شرایط رطوبت قبلی خاک است. در اکثر پروژه‌ها به دلیل عدم دسترسی به آمار کامل بارندگی روزانه از شرایط رطوبتی متوسط استفاده می‌شود که خود منجر به خطای قابل‌توجهی در تخمین مقدار رواناب می‌گردد. بااین‌حال از دیگر مشکلات اساسی این روش برآورد دقیق و صحیح مقدار عددی CN است، زیرا در صورت برآورد اشتباه آن، نتایج تخمین رواناب نیز با خطای زیادی مواجه می‌شود. به‌عنوان نمونه تحقیقات نشان داده است که مقدار CN در مقایسه با پارامترهایی مانند زمان تمرکز، مقدار باران و مساحت حوضه در برآورد رواناب از حساسیت بیشتری برخوردار است و لذا تعیین دقیق‌تر آن اهمیت زیادی خواهد داشت (ملکی‌نژاد و کوثری، ۱۳۸۷). یکی از راهکارهای موجود برای افزایش دقت محاسبه رواناب در این روش تقسیم حوضه به زیر حوضه‌های متعدد و برآورد مقدار CN در هر زیر حوضه است که درنهایت با گرفتن میانگین وزنی یک مقدار CN ثابت برای کل حوضه در نظر گرفته می‌شود، اما بازهم در این حالت دقت کار وابسته به برآورد اولیه صحیح CN در هر زیر حوضه است. ازاین‌رو در بعضی تحقیقات مانند تحقیقات ملکیان و همکاران (۱۳۸۳)، نساجی زواره و مهدوی (۱۳۸۴)، مصطفی‌زاده و همکاران (۱۳۹۶)، معتمد نیا و سلیمان‌پور (۱۳۹۹)، Chatterjee et al., (2002)، Xiao et al., (2011)، Soulis & Valiantzas, (2012)، Banasik et al., (2014) و Kowalik & Walega (2015) برای محاسبه رواناب به‌جای تخمین مقدار عددی CN از اطلاعات اندازه‌گیری شده بارش و رواناب استفاده‌شده است. همچنین در تحقیقاتی با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده بارش و رواناب، ضریب شاخص نگهداشت سطحی آب اولیه مدل SCS تعیین‌شده است تا از آن به‌جای ضریب اولیه این مدل که برابر ۰/۲ است استفاده شود (رابطه ۱). به‌عنوان نمونه ضریب فوق برای حوضه آبریز دالکی در جنوب غرب ایران برابر ۰/۱۹ و برای حوضه‌های آبخیز امامه، کسیلیان، درجزین و خانمیرزا به ترتیب برابر ۰/۰۹، ۰/۱۶، ۰/۲ و ۰/۳ و به‌دست‌آمده است (صادقی و همکاران، ۱۳۸۷؛ محمدی مطلق و همکاران، ۱۳۹۳).

هدف از این پژوهش مقایسه روش‌های مختلف برآورد رواناب بر مبنای روش شماره منحنی در دو حوضه آبریز باغان در استان بوشهر و بوشیگان در استان فارس با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده بارش و رواناب است.

مواد و روش‌ها

حوضه آبریز باغان در استان بوشهر از زیر حوضه‌های رودخانه مند است. ایستگاه هیدرومتری باغان بر روی رودخانه باغان واقع‌شده است و مساحت حوضه فوق ۹۵۶/۵ کیلومترمربع می‌باشد. حوضه آبریز بوشیگان در استان فارس نیز از

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.1.5]

زیرحوضه‌های رودخانه حله می‌باشد. ایستگاه هیدرومتری بوشیگان در خروجی حوضه واقع‌شده و مساحت حوضه فوق ۱۳۴۷/۳ کیلومترمربع است. برای انجام این تحقیق از داده‌های بارندگی و هیدروگراف سیلاب اندازه‌گیری شده ۶۳ واقعه حوضه باغان طی سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۲ (۴۸ واقعه معادل ۷۶/۲ درصد داده‌ها برای واسنجی و ۱۵ واقعه انتهایی برای ارزیابی نتایج) و ۳۴ واقعه حوضه بوشیگان طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۱ (۲۶ واقعه معادل ۷۶/۵ درصد داده‌ها برای واسنجی و ۸ واقعه انتهایی برای ارزیابی نتایج) استفاده‌شده است. وقایع بارندگی روزانه نقطه‌ای حوضه‌های باغان و بوشیگان با توجه به مساحت این دو حوضه به ترتیب در اعداد ۰/۹۱ و ۰/۸۸ ضرب شدند تا به بارندگی منطقه‌ای تبدیل شوند (علیزاده، ۱۳۹۳). برای محاسبه ارتفاع رواناب نیز با در نظر گرفتن دبی پایه، حجم هر واقعه سیلابی (برابر سطح زیر هیدروگراف) به مساحت هر حوضه تقسیم گردید. داده‌های اندازه‌گیری شده بارش و رواناب بکار رفته در این تحقیق در جدول‌های (۱) و (۲) آورده شده‌اند.

همچنین با توجه به نقشه‌های کاربری اراضی و نقشه‌های گروه‌های هیدرولوژیکی خاک دو حوضه، میانگین وزنی CN در شرایط رطوبتی متوسط در قسمت‌های مختلف هر حوضه استخراج گردید و در جدول‌های (۳) و (۴) آورده شده‌اند. بر این اساس میانگین وزنی CN در شرایط رطوبتی متوسط در حوضه‌های باغان و بوشیگان به ترتیب برابر ۷۰/۱۱ و ۷۹/۰۸ به دست آمد.

جدول (۱): داده‌های رواناب و بارندگی نقطه‌ای حوضه باغان از ۱۳۷۰/۳/۱۴ تا ۱۳۹۲/۱/۱۸ (برحسب میلی‌متر)

رواناب	باران	رواناب	باران	رواناب	باران	رواناب	باران
۱/۲۹	۶۱	۱۱/۶۴	۵۳	۳/۰۰	۳۹	۱/۴۸	۳۴
۲/۳۳	۳۶	۵/۱۹	۴۲	۹/۰۲	۳۱	۱۳/۴۳	۵۹
۱/۹۴	۲۷	۱/۸۳	۱۸	۰/۱۰	۸/۳۳	۶/۹۴	۲۲
۰/۱۲	۳۲	۲/۰۲	۴۹	۰/۳۲	۸	۴/۰۸	۶۱
۰/۸۹	۲۴	۰/۲۸	۱۶	۳۸/۷۴	۱۳۵	۰/۱۴	۱۶
۲/۰۵	۱۹	۱/۳۶	۴۴	۰/۲۶	۷	۱/۸۸	۲۴
۱۵/۲۱	۱۳۳	۰/۴۰	۳۳	۷/۲۴	۶۸	۱/۱۶	۱۹
۲/۳۹	۷۴	۵/۵۲	۳۹	۳/۰۹	۴۸	۰/۰۷	۳۵
۰/۶۷	۳۱	۳/۶۸	۳۱	۱/۲۲	۳۴	۸/۷۰	۱۳۸
۲/۰۲	۴۳	۶/۲۱	۶۵	۰/۷۰	۱۴	۰/۵۴	۲۵
۰/۷۲	۲۰	۱/۴۱	۶۳	۷/۷۶	۷۳	۱/۵۸	۲۰
۰/۳۹	۳۳	۰/۲۸	۱۱	۰/۳۷	۱۷	۰/۶۶	۲۰
۰/۳۵	۵۴	۰/۳۱	۲۵	۲/۱۱	۲۳	۰/۷۹	۱۷
۲/۳۳	۴۷	۱/۵۹	۳۲	۰/۰۳	۲۷	۰/۳۰	۳۷
۳/۴۳	۱۵	۱۰/۰۲	۳۰	۰/۰۲	۲۶	۳/۰۱	۵۲
۵/۸۰	۵۰	۱/۶۷	۳۵	۰/۰۵	۱۶		

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.1.5]

جدول (۲): داده‌های رواناب و بارندگی نقطه‌ای حوضه بوشیگان از ۱۳۸۴/۱۰/۱۹ تا ۱۳۹۱/۱۱/۱۳ (برحسب میلی‌متر)

رواناب	باران	رواناب	باران	رواناب	باران	رواناب	باران
۰/۷۹	۳۲	۰/۳۱	۲۴	۰/۰۸	۳	۰/۷۳	۳۴
۰/۳۷	۳۸	۰/۲۶	۴	۰/۰۶	۱۹	۱/۵۵	۳۷
۰/۰۴	۲۳	۰/۱۸	۱۴	۰/۲۵	۵۳	۰/۱۹	۱۸
۰/۵۶	۴۰	۰/۱۳	۳۱	۰/۱۷	۲۲	۰/۱۱	۲۰
۰/۱۳	۴۴	۰/۳۸	۲۷	۰/۰۷	۴	۰/۰۵	۱۴
۰/۳۸	۳۳	۰/۱۹	۲۳	۲/۸۹	۷۷	۰/۰۹	۴
۰/۴۶	۳۳	۲/۱۶	۳۱	۰/۲۸	۲۷	۰/۰۹	۷
۰/۲۳	۵۹	۰/۳۸	۱۹	۰/۰۸	۱۰		
۱/۱۹	۳۰	۰/۶۴	۳۴	۰/۰۷	۱۷		

در این تحقیق برای برآورد رواناب از روش شماره منحنی هفت حالت مختلف در نظر گرفته شدند که در ادامه شرح داده‌شده‌اند.

حالت اول: در این حالت مقدار عددی CN با توجه به اطلاعات موجود در حوضه (نقشه‌های خاک و پوشش گیاهی) برآورد گردید و به کمک روابط زیر مقدار رواناب تخمین زده شد (فولادمند، ۱۳۹۹):

جدول (۳): مقدار عددی CN شرایط رطوبتی متوسط در کاربری‌های اراضی مختلف در حوضه باغان

کاربری اراضی	مساحت (کیلومترمربع)	میانگین CN
پوشش جنگلی	۳۴۱/۳۲	۶۳/۶۵
مرتع	۵۱۲/۳۳	۷۳/۸۹
اراضی آبی	۵۶/۳۶	۶۳/۰۰
اراضی دیم	۷/۳۲	۶۵/۰۰
اراضی لخت و بایر	۳۰/۶۴	۸۷/۰۰
مناطق مسکونی	۸/۵۵	۹۲/۰۰
مجموع	۹۵۶/۵۲	
میانگین وزنی		۷۰/۱۱

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.1.5]

جدول (۴): مقدار عددی CN شرایط رطوبتی متوسط در کاربری‌های اراضی مختلف در حوضه بوشیگان

کاربری اراضی	مساحت (کیلومترمربع)	میانگین CN
رخنمون سنگی	۱۹۲/۵۲	۹۶/۶۸
اراضی دیم	۱۹/۲۸	۷۵/۴۰
اراضی آبی	۲۰۲/۵۲	۷۴/۵۱
جنگل‌های انبوه	۶۹/۶۲	۶۹/۲۲
جنگل‌های تنگ	۶۸/۶۸	۷۹/۹۹
جنگل‌های نیمه انبوه	۷۰۳/۸۹	۷۷/۱۶
مراتع متوسط	۲۳/۴۸	۶۳/۳۸
مراتع فقیر	۴۷/۷۶	۷۳/۷۵
بستر رودخانه	۶/۰۸	۱۰۰/۰۰
مناطق مسکونی	۱۳/۴۷	۸۵/۰۰
مجموع	۱۳۴۷/۳۰	
میانگین وزنی		۷۹/۰۸

$$R = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (۱)$$

$$S = (\frac{1000}{CN} - 10) \times 25.4 \quad (۲)$$

در رابطه‌های فوق P، R و S به ترتیب مقدار باران، رواناب و ضریب نگهداشت سطحی آب برحسب میلی‌متر می‌باشند. مقدار ۰/۲ نیز ضریب شاخص نگهداشت سطحی آب مدل است که چنانچه اشاره شد برای بعضی از مناطق ایران واسنجی شده است. در حالت اول ذکرشده تنها از ۱۵ واقعه انتهایی حوضه باغان و ۸ واقعه انتهایی حوضه بوشیگان استفاده شد (جهت یکسانی مقایسه با هفت حالت دیگر) و برای هر واقعه از شرایط رطوبتی مختص همان واقعه (خشک، متوسط و یا مرطوب) استفاده شد. برای این منظور جهت تبدیل CN شرایط رطوبتی متوسط (CN II) به شرایط رطوبتی خشک (CN I) و مرطوب (CN III) از روابط زیر استفاده شد (فولادمند، ۱۳۹۹):

$$CN\ I = \frac{4.2\ CN\ II}{10 - 0.058\ CN\ II} \quad (۳)$$

$$CN\ III = \frac{23\ CN\ II}{10 + 0.13\ CN\ II} \quad (۴)$$

بنابراین مقدار رواناب ۱۵ واقعه انتهایی حوضه باغان و ۸ واقعه انتهایی حوضه بوشیگان محاسبه شد و با مقادیر اندازه‌گیری شده مورد مقایسه قرار گرفت. در ادامه رواناب به‌دست‌آمده در این حالت با علامت اختصاری R_1 نشان داده‌شده است.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.1.5]

حالت دوم: در این حالت ضریب ۰/۲ رابطه (۱) با استفاده از ۴۸ واقعه ابتدایی حوضه باغان و ۲۶ واقعه ابتدایی حوضه بوشیگان اصلاح شد و برای کلیه وقایع شرایط رطوبتی متوسط منظور شد. برای این منظور رابطه (۱) به‌صورت زیر تغییر یافت:

$$R = \frac{(P - aS)^2}{P + (1-a)S} \qquad (۵)$$

جهت به دست آوردن مقدار اصلاح‌شده ضریب a از تکنیک حداقل کردن اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده‌شده از منوی Solver نرم‌افزار Excel استفاده شد. سپس با استفاده از ضریب اصلاح‌شده a مقدار رواناب ۱۵ واقعه انتهایی حوضه باغان و ۸ واقعه انتهایی حوضه بوشیگان محاسبه شد و با مقادیر رواناب واقعی مورد مقایسه قرار گرفت. در ادامه رواناب به‌دست‌آمده در این حالت با علامت اختصاری R_2 نشان داده‌شده است.

حالت سوم: در این حالت نیز ضریب ۰/۲ رابطه (۱) با استفاده از ۴۸ واقعه ابتدایی حوضه باغان و ۲۶ واقعه ابتدایی حوضه بوشیگان اصلاح گردید، اما برای هر واقعه از شرایط رطوبتی مربوطه (خشک، متوسط و یا مرطوب) استفاده شد و مطابق توضیحات ذکرشده حالت دوم مقدار ضریب a تعیین گردید و پس‌ازآن مقدار رواناب ۱۵ واقعه انتهایی حوضه باغان و ۸ واقعه انتهایی حوضه بوشیگان تخمین زده شد و با مقادیر رواناب واقعی مورد مقایسه قرار گرفت. در ادامه رواناب به‌دست‌آمده در این حالت با علامت اختصاری R_3 نشان داده‌شده است.

حالت چهارم: در این حالت با توجه به مقادیر بارش و رواناب اندازه‌گیری شده مطابق رابطه‌های زیر مقدار عددی CN هر واقعه محاسبه شد (فولادمند، ۱۳۹۹):

$$S = 5\left[P + 2R - \sqrt{4R^2 + 5PR}\right] \qquad (۶)$$

$$CN = \frac{1000}{\frac{S}{25.4} + 10} \qquad (۷)$$

در ادامه مقدار میانگین CN کلیه وقایع (۴۸ واقعه ابتدایی حوضه باغان و ۲۶ واقعه ابتدایی حوضه بوشیگان) به‌عنوان میانگین عددی CN کل هر حوضه در نظر گرفته شد. سپس با توجه به میانگین CN به‌دست‌آمده و با استفاده از رابطه‌های (۱) و (۲) مقدار رواناب ۱۵ واقعه انتهایی حوضه باغان و ۸ واقعه انتهایی حوضه بوشیگان محاسبه شد و با مقادیر رواناب واقعی مورد مقایسه قرار گرفت. در ادامه رواناب به‌دست‌آمده در این حالت با علامت اختصاری R_4 نشان داده‌شده است.

حالت‌های پنجم تا هفتم: در این حالت‌ها با استفاده از ۴۸ واقعه ابتدایی حوضه باغان و ۲۶ واقعه ابتدایی حوضه بوشیگان پس از تعیین مقدار CN هر واقعه مطابق رابطه‌های (۶) و (۷)، بین مقادیر بارندگی و CN محاسبه‌شده همان واقعه رابطه‌های زیر برقرار گردید (ملکیان و همکاران، ۱۳۸۳):

$$CN_P = b + cP \qquad (۸)$$

$$CN_P = mP^n \qquad (۹)$$

$$CN_P = CN_\infty + (100 - CN_\infty)\exp(-k_1 P) \qquad (۱۰)$$

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.1.5]

رابطه‌های (۸) تا (۱۰) به ترتیب روش‌های خطی، توانی و استاندارد نامیده می‌شوند که هر روش دارای ضرایبی مشخص است. ضرایب روش‌های اول و دوم به کمک رگرسیون خطی و توانی به‌دست‌آمده و ضریب مربوط به روش استاندارد از تکنیک حداقل کردن اختلاف به کمک منوی Solver نرم‌افزار Excel قابل‌تعیین است. سپس با توجه به ضرایب به‌دست‌آمده رابطه‌های (۸) تا (۱۰) و با استفاده از رابطه‌های (۱) و (۲) مقدار رواناب ۱۵ واقعه انتهایی حوضه باغان و ۸ واقعه انتهایی حوضه بوشیگان برمبنای مقدار بارندگی هر واقعه از روش‌های خطی، توانی و استاندارد محاسبه گردید و با مقادیر رواناب واقعی مورد مقایسه قرار گرفت. در ادامه رواناب به‌دست‌آمده در حالت‌های خطی، توانی و استاندارد به ترتیب با علامت‌های اختصاری R_5 تا R_7 نشان داده‌شده‌اند.

برای مقایسه رواناب تخمین زده از حالت‌های ذکرشده با مقادیر واقعی رواناب ۱۵ واقعه انتهایی حوضه باغان و ۸ واقعه انتهایی حوضه بوشیگان از میانگین خطای مطلق (MAE)، ضریب جرم مانده (CRM) و ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) مطابق رابطه‌های زیر استفاده شد (فولادمند، ۱۳۹۹):

$$MAE=\frac{\sum|x_i-y_i|}{n} \quad (۱۱)$$

$$CRM=\frac{\sum(x_i-y_i)}{\sum x_i} \quad (۱۲)$$

$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum(x_i-y_i)^2}{n}} \quad (۱۳)$$

در رابطه‌های فوق x_i مقادیر اندازه‌گیری شده رواناب، y_i مقادیر تخمین زده‌شده رواناب از حالت‌های مختلف هفت‌گانه و n تعداد داده‌ها در مرحله ارزیابی (برابر ۱۵ در حوضه باغان و ۸ در حوضه بوشیگان) می‌باشد. هرچه مقدار MAE و RMSE کمتر باشد مناسب‌تر است. همچنین حداکثر مقدار CRM برابر یک است و چنانچه مقدار آن مثبت شود یعنی مقادیر اندازه‌گیری شده بیشتر از مقادیر تخمین زده‌شده بوده و به عبارتی مدل کم تخمین زده است و برعکس. بنابراین درمجموع هرچه مقدار CRM به صفر نزدیک‌تر باشد مناسب‌تر است.

نتایج و بحث

در جدول (۵) نتایج به‌دست‌آمده مرحله واسنجی حالت‌های مختلف در دو حوضه آورده شده است. چنانچه دیده می‌شود ضریب a در حوضه باغان با در نظر گرفتن شرایط رطوبتی متوسط و شرایط رطوبتی مربوطه به ترتیب برابر ۰/۲۹ و ۰/۰۹ و در حوضه بوشیگان با در نظر گرفتن شرایط رطوبتی متوسط و شرایط رطوبتی مربوطه به ترتیب برابر ۰/۵۰ و ۰/۶۵ شده است. در جدول (۶) نیز مقادیر MAE، CRM و RMSE مرحله ارزیابی نتایج در دو حوضه باغان و بوشیگان آورده شده است. نتایج این جدول برای حوضه باغان نشان می‌دهد که با توجه به مقدار MAE به ترتیب حالت‌های R_5، R_7 و R_6، با توجه به مقدار CRM به ترتیب حالت‌های R_6، R_7، R_3 و R_5 و با توجه به مقدار RMSE به ترتیب حالت‌های R_5، R_7 و R_6 مناسب می‌باشند. بنابراین درمجموع می‌توان نتیجه گرفت که حالت‌های R_5 و R_7 مناسب‌ترین حالت‌های تخمین رواناب در حوضه باغان می‌باشند. همچنین نتایج جدول فوق برای حوضه بوشیگان نیز نشان می‌دهد که با توجه به مقادیر MAE، CRM و

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.1.5]

RMSE به ترتیب حالت‌های به ترتیب حالت‌های R_6، R_5 و R_7 مناسب‌ترین حالت‌های تخمین رواناب می‌باشند. بنابراین نتایج استخراج‌شده از دو حوضه موردمطالعه نشان می‌دهد که حالت‌های خطی، توانی و استاندارد که همگی روش‌های وابسته CN به مقدار باران هستند مناسب‌تر از سایر روش‌ها می‌باشند و در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان برای هر دو حوضه روش خطی را توصیه نمود. استفاده از روش‌های تعیین CN که وابسته به داده‌های باران باشند توسط سایر محققین نیز توصیه‌شده است (ملکیان و همکاران، ۱۳۸۳؛ نساجی زواره و مهدوی، ۱۳۸۴).

جدول (۵): نتایج به‌دست‌آمده در دو حوضه

حالت	حوضه باغان	حوضه بوشیگان
CN رطوبتی متوسط	۷۰/۱۱	۷۹/۰۸
CN رطوبتی خشک	۴۹/۶۳	۶۱/۳۵
CN رطوبتی مرطوب	۸۴/۳۶	۸۹/۶۸
ضریب a حالت R_2	۰/۲۹	۰/۵۰
ضریب a حالت R_3	۰/۰۹	۰/۶۵
میانگین CN مشاهداتی	۷۴/۵۷	۷۱/۵۸
ضریب b رابطه خطی	۸۶/۷۳	۹۱/۸۵
ضریب c رابطه خطی	-۰/۳۴	-۰/۷۰
ضریب m رابطه توانی	۱۴۲/۱۲	۱۳۰/۷۰
ضریب n رابطه توانی	-۰/۲۰	-۰/۱۹
ضریب CN_∞ رابطه استاندارد	۵۳/۳۱	۳۶/۸۲
ضریب k_1 رابطه استاندارد	۰/۰۳	۰/۰۲

جدول (۶): نتایج ارزیابی حالت‌های مختلف تخمین رواناب

حوضه	معیار آماری	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7
باغان	MAE	۴/۰۹	۴/۱۴	۳/۱۲	۵/۶۴	۱/۸۹	۲/۶۱	۲/۵۶
	CRM	-۰/۳۵	-۰/۵۳	۰/۱۱	-۱/۱۸	۰/۱۲	-۰/۰۴	-۰/۰۸
	RMSE	۵/۱۴	۹/۵۸	۶/۲۲	۱۳/۶۷	۲/۸۳	۵/۰۹	۴/۹۹
بوشیگان	MAE	۳/۶۱	۲/۹۰	۳/۲۴	۰/۳۱	۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۲۵
	CRM	-۹/۷۶	۸/۰۵	۹/۰۱	۰/۸۵	۰/۵۸	۰/۴۶	۰/۶۸
	RMSE	۵/۹۵	۳/۹۶	۸/۴۶	۰/۴۸	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۴۱

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق برای دو حوضه موردمطالعه نشان داد که روش ساده خطی برای تعیین مقدار CN و سپس تخمین رواناب مناسب‌تر از سایر حالت‌ها است. همچنین نتایج نشان داد که استفاده از روش متداول تعیین مقدار شماره منحنی برمبنای اطلاعات نفوذپذیری خاک و پوشش زمین برای تخمین رواناب کارایی مناسبی ندارد، این در حالی است که در اکثر پروژه‌ها برای تخمین رواناب از این حالت استفاده می‌شود. لذا ضروری است تا برای استفاده از حالت ساده فوق دقت بیشتری در برآورد مقدار عددی CN از روی اطلاعات خاک و پوشش گیاهی صورت گیرد. همچنین روش‌های اصلاح ضریب a رابطه (۵) برمبنای شرایط رطوبتی متوسط و متناسب با هر واقعه دقت خوبی برای تخمین رواناب در دو حوضه موردمطالعه نداشتند.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.1.5]

منابع

۱. صادقی، س. ح. ر.، م. مهدوی و س. ل. رضوی (۱۳۸۷). واسنجی ضریب شاخص حداکثر ذخیره و شماره منحنی مدل SCS در حوضه‌های آبخیز امامه، کسیلیان، درجزین و خانمیرزا. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۴: ۱۲-۲۴.

۲. علیزاده، ا. (۱۳۹۳). اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). چاپ سی و نهم. ۹۴۲ صفحه.

۳. فولادمند، ح. ر. (۱۳۹۹). اصول کاربردی آب‌وخاک. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان. چاپ اول، صفحه ۴۸۲.

۴. محمدی مطلق، ر.، ن. جلال کمال و ا. جلال کمالی (۱۳۹۳). ارزیابی رابطه SCS در تعیین تلفات اولیه باران در حوضه‌های آبریز. علوم آب‌وخاک. ۶۷: ۱۰۹-۱۲۱.

۵. مصطفی‌زاده، ر.، ش. میرزایی و پ. ندیری (۱۳۹۶). تعیین شماره منحنی از رویدادهای بارش و رواناب و تغییرات آن با مؤلفه‌های بارش در یک حوضه آبخیز جنگلی. علوم آب‌وخاک. ۲۱(۴): ۱۵-۲۸.

۶. معتمد نیا، م. و س. م. سلیمان‌پور (۱۳۹۹). تغییرات ماهانه، فصلی و سالانه شماره منحنی و رواناب در حوزه آبخیز باریه نیشابور. ترویج و توسعه آبخیزداری. ۳۰: ۱-۹.

۷. ملکیان، آ.، م. محسنی ساروی و م. مهدوی (۱۳۸۳). بررسی کارایی روش شماره منحنی در برآورد عمق رواناب. منابع طبیعی ایران. ۵۷(۴): ۶۲۱-۶۳۳.

۸. ملکی‌نژاد، ح. و م. ر. کوثری (۱۳۸۷). تجزیه‌وتحلیل حساسیت و بررسی نسبی اهمیت عوامل مؤثر بر دبی اوج درروش شماره منحنی. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۵: ۳۱-۴۰.

۹. نساجی زواره، م. و م. مهدوی (۱۳۸۴). برآورد دبی حداکثر سیل با استفاده از روش‌های مختلف شماره منحنی (مطالعه‌ی موردی در البرز مرکزی). منابع طبیعی ایران. ۵۸(۲): ۳۱۵-۳۲۴.

10. Banasik K., Krajewski A., Sikorska A. and Hejduk L. *(2014). Curve number estimation for a small urban catchment from recorded rainfall-runoff events.* J. Environ. Prot. *40(3): 75-86*
11. Chatterjee C., Jha R., Lohani A.K., Kumar R. and Singh R. *(2002). Estimation of SCS curve number for a basin using rainfall-runoff data*. J. Hydraul. Eng. *8(1): 40-49.*
12. Kowalik T. and Walega A. *(2015). Estimation of CN parameter for small agricultural watersheds using asymptotic functions.* Water. *7:939-955*
13. Soulis K. X. and Valiantzas J. D. *(2012). SCS-CN parameter determination using rainfall-runoff data in heterogeneous watershed-the two-CN system approach*. Hydrol. Earth. Syst. Sci. *16: 1001-1015*
14. Xiao B., Wang Q. H., Fan J., Han F. P. and Dai Q. H. (2011). *Application of the SCS-CN model to runoff estimation in a small watershed with high spatial heterogeneity*. Pedosphere. *21(6): 738-749.*

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.1.5]

Comparison of some conditions for runoff estimation based on the curve number method

Hamid Reza Fooladmand[1]*, Seyyed Ali Shahamirian[2], Fatemeh Kiani[3]

1. Associated Professor of Irrigation and Drainage, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran
2. M. Sc. of Irrigation and Drainage, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran
3. M. Sc. of Civil Water Engineering, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran

Received: 2017/11
Accepted: 2021/07

Abstract

The curve number (CN) method is one of the most common methods for estimating runoff in watersheds. The CN value depends on the soil infiltration, vegetation cover, and antecedent soil moisture content. According to the antecedent soil moisture content, three types of CN can be used: CN for dry soil moisture condition, CN for medium soil moisture condition, and CN for wet soil moisture condition. However, the determination of CN from the vegetation cover and soil infiltration needs high accuracy. In this study, 63 measured rainfall-runoff events in the Baghan watershed and 34 measured rainfall-runoff events in the Booshigan watershed were used for estimating runoff with seven conditions: 1) Calculating the CN value based on soil information and vegetation cover in different parts of the watershed. 2) Calibrating the surface storage coefficient of the runoff estimation equation by considering the medium condition for all events. 3) Calibrating the surface storage coefficient of the runoff estimation equation by considering the real soil moisture condition (dry or medium or wet) of each event. 4) Considering the average of observed CN in all measured rainfall-runoff events. 5 to 7) Calculating the relationship between the observed CN and measured rainfall as linear, power, and standard equation. For mentioned conditions, 48 measured rainfall-runoff events in the Baghan watershed and 26 measured rainfall-runoff events in the Booshigan watershed were used for calibrating the results, and the remained measured data in each watershed were used to evaluate the results. The results in two watersheds demonstrated that the linear, power, and standard conditions were better for runoff estimation. In the three mentioned conditions, the CN value depends on the measured rainfall data instead of using the soil infiltration information and vegetation cover of the watershed. Also, the results showed that it is not suitable to use the common method for determining the CN value (based on soil infiltration and vegetation cover of the watershed), and then estimating the runoff amount.

Keywords: Rainfall, Runoff, Curve number, Initial storage coefficient.

[1] *Corresponding author Email: hrfoolad@yahoo.com

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.1.5]