

تعیین شماره منحنی از رویدادهای بارش و رواناب و تغییرات آن با مؤلفه‌های بارش در یک حوضه آبخیز جنگلی

رئوف مصطفی‌زاده^{*}، شهناز میرزایی و پریا ندیری^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۰۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۲۶)

چکیده

روش شماره منحنی سرویس حفاظت خاک آمریکا (SCS-CN) یکی از روش‌هایی است که به‌طور گسترده در برآورد ارتفاع رواناب از داده‌های بارش استفاده می‌شود. شماره منحنی هر حوضه نشانگر رفتار هیدرولوژیکی و توان تولید رواناب حوضه در مواقع بارندگی می‌باشد. هدف از این پژوهش محاسبه مقدار شماره منحنی از رویدادهای مشاهداتی بارش و رواناب در فصول مختلف و تحلیل ارتباط آن با مؤلفه‌های بارش در حوضه آبخیز جعفرآباد استان گلستان است. در این پژوهش ابتدا مقادیر شماره منحنی ۴۳ رویداد ثبت شده همزمان بارش و رواناب با استفاده از مدل SCS-CN محاسبه شده و بعد از تفکیک فصلی رویدادها، معنی‌داری تفاوت مقادیر شماره منحنی در فصول مختلف با آزمون ANOVA مورد تحلیل قرار گرفت. همچنین برای تجزیه و تحلیل ارتباط تغییرات شماره منحنی با مؤلفه‌های بارش در مدل SCS-CN، از نمودارهای سه متغیره در نرم‌افزار Surfer استفاده شد. نتایج نشان داد که میانگین مقادیر شماره منحنی در فصل‌های تابستان و زمستان حدود ۶۰ و در فصل‌های بهار و پاییز به ترتیب ۵۰ و ۵۶ می‌باشد. با برقراری ارتباط بین شماره منحنی با خصوصیات بارش در نمودارهای سه متغیره، مقدار بالای شماره منحنی در بارش‌هایی با شدت بیشتر از ۱۰ میلی‌متر در ساعت و مقدار بیش از ۴۰ میلی‌متر برآورد شد. همچنین در رخدادهایی با ضریب رواناب ۸۰-۴۰ درصد، مقدار شماره منحنی برآورد شده بالای ۷۰ بود.

واژه‌های کلیدی: شماره منحنی، روش SCS-CN، خصوصیات رگبار، ضریب رواناب، مدل نمودار سه متغیره، حوضه آبخیز جعفرآباد

۱. گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: raofmostafazadeh@uma.ac.ir

مقدمه

رواناب ناشی از بارش در ایجاد سیلاب، فرسایش و انتقال رسوبات مؤثر می‌باشد و بنابراین برآورد رواناب سطحی برای مدیریت خطرات سیلاب، فرسایش خاک و تجزیه و تحلیل تغییر کاربری ضروری است (۱۵، ۲۳ و ۴۱). در تحلیل رواناب و تغییرات آن در اثر عوامل مختلف اغلب از مدل‌های هیدرولوژیکی مبتنی بر رویداد استفاده می‌شود (۱۳ و ۱۴). مدل‌های زیادی برای برآورد مستقیم رواناب توسعه یافته‌اند که یکی از این مدل‌ها، مدل شماره منحنی سرویس حفاظت خاک است (۳۴). مدل SCS-CN توسط وزارت کشاورزی ایالات متحده توسعه یافته و یکی از مدل‌های ساده و تجربی است که به‌طور گسترده در مدیریت منابع آب، مدل‌سازی بارش و برآورد رواناب مورد استفاده است (۱۳، ۱۸، ۳۰، ۳۹ و ۴۱). پارامترهای ورودی این مدل بارش و شماره منحنی (CN) است که در مطالعات هیدرولوژی جهت تعیین مقدار بارش نفوذ یافته در خاک و مقدار بارشی که به رواناب سطحی تبدیل می‌شود، کاربرد دارد (۲۸). شماره منحنی تابعی از گروه‌های هیدرولوژیک خاک، شرایط رطوبتی خاک، نوع کاربری اراضی و وضعیت هیدرولوژیک بوده و مقدار آن بین صفر تا صد متغیر می‌باشد (۱۶ و ۲۴). به عبارتی شماره منحنی نشان‌دهنده پتانسیل رواناب حوضه می‌باشد (۸). مقدار شماره منحنی از روی جداول استاندارد برآورد می‌شود که در آنها، خصوصیات خاک با یک عامل هیدرولوژیکی که نشان‌دهنده حداقل سرعت نفوذپذیری در حالت مرطوب بودن طولانی مدت خاک است، بیان می‌شود. بر این اساس سازمان حفاظت خاک آمریکا تمام خاک‌ها را در چهار گروه اصلی A، B، C و D به ترتیب با شدت نفوذپذیری بالا، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم می‌کند. همچنین وضعیت هیدرولوژیکی اراضی که بیانگر توان ایجاد رواناب در کاربری‌های مختلف بوده و وضعیت رطوبت پیشین خاک که در سه حالت مختلف بررسی می‌شود، در جداول ارائه شده است (۲۴ و ۳۹). با توجه به اینکه این جداول از تجزیه و تحلیل حوضه‌های کوچک در منطقه‌ای خاص تهیه شده‌اند بنابراین

استفاده از آنها در تعیین شماره منحنی برای مناطق مختلف بدون صحت سنجی، دارای خطای بالایی خواهد بود (۱۶). از اینرو، برخی محققان با استفاده از داده‌های بارش و رواناب اندازه‌گیری شده برای تعیین شماره منحنی استفاده کرده‌اند (۱۸).

از جمله مطالعات انجام شده در زمینه تعیین مقادیر شماره منحنی، می‌توان به مطالعه چاترج و همکاران اشاره نمود که با استفاده از ۷ رویداد ثبت شده بارش و رواناب برای حوضه پاپون در هند مقادیر شماره منحنی را محاسبه کرده و بیان کردند که مقادیر شماره منحنی محاسبه شده در کاهش خطای شماره منحنی به دست آمده از جداول استاندارد مؤثر خواهد بود (۱۶). تدلا و همکاران در بررسی تأثیر تغییرات فصلی بر روی شماره منحنی در پنج حوضه جنگلی جرجیای آمریکا به این نتیجه رسیدند که مقدار شماره منحنی در فصل رشد کمتر از فصل زمستان می‌باشد (۳۶). ایکسائو و همکاران، با استفاده از مدل SCS-CN برای حوضه لیدگو چین میزان رواناب را با اصلاح مقدار Ia/S (Ia: تلفات اولیه و S: حداکثر پتانسیل نگهداشت) به دست آوردند و بیان کردند که با اصلاح مقدار Ia/S عملکرد مدل برای منطقه مورد مطالعه به‌خصوص بارش بیش از ۵۰ میلی‌متر بهبود یافته است (۴۱). سولیس و والیتز مقادیر شماره منحنی را در دو سیستم ناهمگن در منطقه لیکورم ایالات متحده آمریکا براساس داده‌های بارش و رواناب محاسبه کرده و بیان کردند که برآورد شماره منحنی در دو سیستم دقت قابل قبولی داشته است (۳۵). بناشیک و همکاران، با هدف تعیین مقادیر شماره منحنی و بررسی کارایی روش SCS-CN در مناطق فاقد آمار، از داده‌های ثبت شده بارش و رواناب در حوضه شهری لوزوکوک لهستان با ۳۹ رویداد بارش - رواناب در طول ۴ سال (۲۰۱۲-۲۰۰۹) استفاده نموده و دریافتند که با طبقه‌بندی رویدادهای بارش - رواناب، مقادیر شماره منحنی برای بارش‌های سنگین از ۶۷ تا ۷۴ متغیر بوده است (۱۲). کوالیک و والگا با انجام مطالعه‌ای در چهار حوضه کشاورزی کوچک در لهستان با استفاده از توابع مجانبی نتیجه گرفتند که بین مقدار

می‌دهد. هدف از پژوهش حاضر محاسبه مقدار شماره منحنی رویدادهای ثبت شده در طول فصول مختلف با استفاده از داده‌های بارش و رواناب و مدل SCS-CN است. در این پژوهش برای ۴۳ رویداد که در فصول مختلف ثبت شده‌اند، مقادیر شماره منحنی محاسبه شده و ارتباط تغییرات شماره منحنی و مؤلفه‌های بارش با استفاده از نمودارهای سه متغیره مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

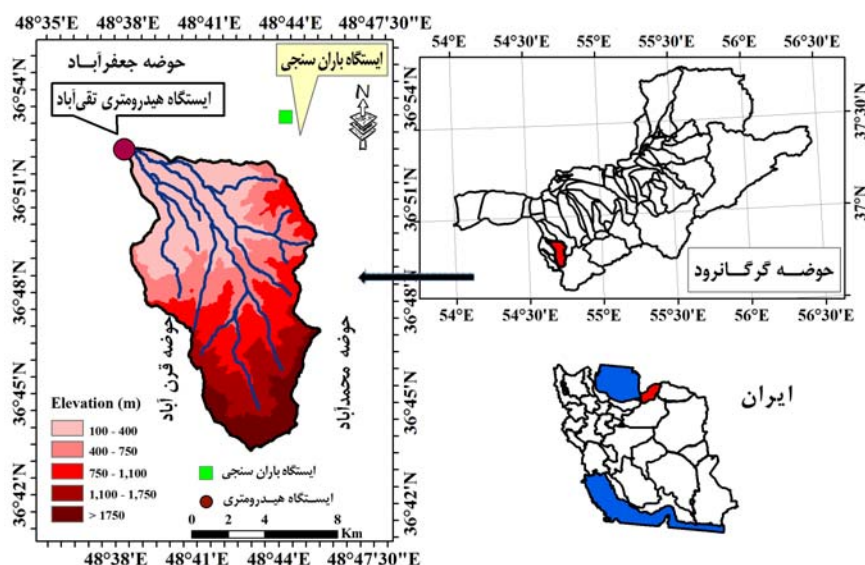
حوضه آبخیز جعفرآباد در محدوده جغرافیایی 37° تا 48° تا 45° تا 48° طول شرقی و 36° تا 52° عرض شمالی با مساحت تقریبی 110 کیلومتر مربع در 25 کیلومتری جنوب شرق گرگان واقع شده و دارای رودخانه‌ای به طول 21 کیلومتر در استان گلستان قرار می‌باشد. میانگین دمای سالانه منطقه 15 درجه سانتی‌گراد و متوسط بارش سالانه آن 566 میلی‌متر است. بخش قابل توجهی از این حوضه را مناطق کوهستانی پوشیده از جنگل با شیب زیاد تشکیل می‌دهد. خاک منطقه مربوط به گروه‌های هیدرولوژیک B و C بوده و زمین‌شناسی آن نیز بیشتر مربوط به سازندهای خوش بیلاق، جیروود و لس است (۵) و (۲۷). در شکل (۱) موقعیت حوضه آبخیز جعفرآباد در ایران و حوضه گرگانرود استان گلستان نشان داده شده است.

روش تحقیق

در اکثر مطالعات برآورد رواناب در شرایط کشور از روش شماره منحنی استفاده می‌گردد. با وجود اینکه در اکثر حوضه‌ها نتایج ارائه شده توسط روش مذکور قابل قبول است (۶، ۱۲ و ۴۱)، اما استفاده از آن نیازمند برآورد دقیق شماره منحنی و نیز واسنجی مقدار تلفات اولیه براساس مقدار ضریب تجربی است. در پژوهش حاضر مقادیر شماره منحنی به صورت معکوس از داده‌های مشاهداتی بارش - رواناب محاسبه شده است. روش SCS-CN یک توصیف کمی از ویژگی‌های کاربری ارضی،

شماره منحنی مشاهداتی با مقدار بارش ارتباط قوی وجود دارد (۲۱). بیشتر مطالعات انجام شده در ایران در زمینه روش SCS-CN شامل برآورد رواناب مستقیم از داده‌های بارش و ارزیابی این مدل بوده است. قهرودی تالی با انجام مطالعه‌ای در حوضه آبریز سد امیرکبیر کرج بیان نمود که با محاسبه شماره منحنی اکثر عوامل مؤثر در تولید رواناب در نظر گرفته می‌شود (۳). در زمینه بررسی قابلیت شماره منحنی در برآورد رواناب، واعظی و عباسی در حوضه تهم‌چای زنجان با تصحیح مقدار ضریب $\lambda = I_a/S$ کارایی مدل را ارزیابی نموده و دقت نتایج برآورد رواناب را افزایش دادند (۶). عزیزیان و شکوهی، برای تخمین شماره منحنی حوضه روشی را با استفاده از مفهوم ملازاد اشباع در حوضه آبریز کسلیان استان مازندران توسعه داده و بیان کردند که این روش از دقت کافی برخوردار می‌باشد (۲). معتمدنیا و همکاران، دقت روش‌های مختلف برای به‌دست آوردن مقادیر شماره منحنی را برای حوضه بار در خراسان رضوی بررسی نموده و به این نتیجه رسیدند که روش نیتز و همکاران دارای بهترین نتایج بوده است (۲۲ و ۲۳).

با توجه به اینکه شماره منحنی تابعی از شرایط خاک و پوشش می‌باشد، لذا مقادیر آن در فصل‌های مختلف متغیر بوده که این مقادیر بر پاسخ حوضه در تبدیل بارش به رواناب مؤثر است. از طرفی میزان و خصوصیات بارندگی بر مقدار رواناب حاصل از روش شماره منحنی مؤثر است. در این راستا، استفاده از مدل نمودار سه متغیره می‌تواند در تحلیل خصوصیات بارندگی و عوامل مؤثر بر شماره منحنی و نیز رواناب مورد استفاده قرار گیرد. در این روش روابط متقابل میان ویژگی‌های بارش و رواناب بر تخمین شماره منحنی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در نمودارهای سه متغیره دامنه تغییرات شماره منحنی براساس دامنه تغییرات خصوصیات بارش و رواناب مشخص می‌گردند (۹، ۲۹ و ۳۲). یکی از روش‌های محاسبه شماره منحنی استفاده از داده‌های ثبت شده بارش و رواناب به‌عنوان ورودی و پاسخ حوضه است و مدل SCS-CN بر پایه داده‌های بارش و شماره منحنی، رواناب مستقیم حوضه را به‌دست



شکل ۱. موقعیت حوضه آبخیز جعفرآباد در استان گلستان

منطقه و بارش متفاوت بوده و نیازمند تصحیح می‌باشد (۱۶) و (۳۹). حداکثر پتانسیل نگهداشت (میلی‌متر) نیز از رابطه زیر برآورد شده است (۳۹).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4)$$

که در آن CN، شماره منحنی می‌باشد. با توجه به اینکه S براساس شماره منحنی محاسبه می‌گردد و شماره منحنی خود تابعی از گروه‌های هیدرولوژیک خاک، نوع کاربری اراضی، بارش پیشین و وضعیت هیدرولوژیک است، بنابراین موارد مذکور در I_a در نظر گرفته شده است (۳۱ و ۳۵). همچنین مقادیر شماره منحنی براساس جدول‌های استاندارد که در شرایط مختلف و برای انواع کاربری‌های اراضی ارائه شده است، تخمین زده می‌شود (۱۹، ۳۸ و ۴۰).

در این پژوهش از آمار بارش ایستگاه باران‌سنجی فاضل‌آباد که در ۷ کیلومتری شرق آبخیز جعفرآباد قرار دارد و اطلاعات ایستگاه هیدرومتری تقی‌آباد که در خروجی حوضه واقع شده است، استفاده گردید. داده‌های بارش و رواناب متناظر برای حوضه مورد مطالعه براساس طول دوره آماری مشترک ۱۹ ساله ایستگاه‌ها بین سال‌های ۶۷-۱۳۶۶ تا ۸۶-۱۳۸۵ استخراج گردید. جدول (۱) برخی از خصوصیات آماری داده‌های بارش

پوشش و خاک حوضه آبخیز است و بر بیلان آب استوار می‌باشد (۸ و ۲۵). در روش SCS-CN رواناب از اختلاف بارش و تلفات محاسبه شده و کل تلفات به دو بخش تلفات اولیه (I_a)، شامل گیرش گیاهی، اشباع خاک و ذخیره چالابی که مستقل از زمان است و تلفات ثانویه (F)، که شامل نفوذ عمقی بوده و تابعی از زمان می‌باشد تقسیم می‌شود (۴ و ۳۹).

$$Q = P - (I_a + F) \quad (1)$$

در این رابطه Q ، ارتفاع رواناب (میلی‌متر) و P ارتفاع بارش (میلی‌متر) است. پس از تحلیل روابط بارش و جریان سطحی ناشی از آن، رابطه بین رواناب و بارش به شکل رابطه (۲) و (۳) توسط SCS ارائه شد (۱۸ و ۳۹).

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

$$Q = \frac{(P - \lambda / 2S)^2}{P + \lambda / 8S} \quad (3)$$

که این روابط برای بارش‌های بزرگ‌تر از $I_a = \lambda / 2S$ کاربرد داشته و در غیر این صورت مقدار رواناب برآوردی صفر خواهد بود. مقدار تلفات اولیه به‌طور تجربی برابر با ۲۰ درصد ($\lambda = 0/2$) حداکثر پتانسیل نگهداشت (S) فرض می‌شود. مقادیر ضریب λ بین صفر - ۰/۲ می‌باشد که براساس شرایط

جدول ۱. خصوصیات آماری داده‌های بارش و رواناب مشاهداتی در فصول مختلف سال

آماره	فصل			
	بهار	زمستان	پاییز	تابستان
میانگین	خصوصیات بارش و رواناب			
	مدت زمان بارش (ساعت)			
	۷/۱۴	۷/۸۹	۱۰/۸۰	۶/۵۰
	بارش کل (میلی‌متر)			
	۱۷/۲۷	۲۱/۰۷	۱۷/۵۱	۲۷/۹۰
	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)			
۱۰/۴۷	۱۹/۶۸	۴/۵۰	۷/۴۶	
دبی میانگین (مترمکعب بر ثانیه)				
۱/۷۷	۴/۵۳	۱/۴۹	۱/۷۲	
ضریب رواناب (درصد)				
۲۲/۵۴	۴۶/۴۹	۲۲/۸۸	۱۹/۰۱	
شدت بارش (میلی‌متر بر ساعت)				
۲/۷۰	۲/۸۹	۲/۰۱	۴/۷۴	
انحراف معیار	مدت زمان بارش (ساعت)			
	۴/۱۲	۳/۹۱	۷/۲۲	۲/۹۶
	بارش کل (میلی‌متر)			
	۱۲/۶۹	۱۱/۹۱	۱۱/۰۳	۱۸/۷۶
	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)			
	۱۷/۶۷	۲۳/۴۶	۲/۸۵	۴/۸۱
دبی میانگین (مترمکعب بر ثانیه)				
۲/۴۱	۳/۸۴	۰/۹۶	۰/۹۹	
ضریب رواناب (درصد)				
۳۲/۹۹	۲۵/۷۳	۱۷/۸۷	۱۳/۰۳	
شدت بارش (میلی‌متر بر ساعت)				
۱/۵۶	۱/۸۶	۰/۹۱	۳/۵۶	
حداکثر	مدت زمان بارش (ساعت)			
	۱۶/۰۰	۲۰/۰۰	۲۸/۰۰	۱۲/۰۰
	بارش کل (میلی‌متر)			
	۴۶/۷۰	۴۵/۸۰	۴۵/۳۰	۶۳/۵۰
	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)			
	۵۳/۰۰	۹۸/۰۰	۱۱/۷۰	۱۶/۵۰
دبی میانگین (مترمکعب بر ثانیه)				
۷/۲۸	۱۴/۰۲	۳/۸۳	۳/۱۷	
ضریب رواناب (درصد)				
۱۰۰/۰۰	۱۰۸/۶۲	۶۰/۷۶	۵۲/۶۹	
شدت بارش (میلی‌متر بر ساعت)				
۶/۲۰	۹/۳۳	۳/۴۰	۱۲/۲۵	
حداقل	مدت زمان بارش (ساعت)			
	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۴/۰۰
	بارش کل (میلی‌متر)			
	۷/۲۰	۵/۰۰	۶/۴۰	۵/۷۰
	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)			
	۰/۲۱	۳/۶۰	۱/۳۸	۲/۶۰
دبی میانگین (مترمکعب بر ثانیه)				
۰/۰۳	۱/۰۶	۰/۴۴	۰/۸۲	
ضریب رواناب (درصد)				
۰/۳۸	۷/۶۵	۳/۱۵	۹/۱۶	
شدت بارش (میلی‌متر بر ساعت)				
۱/۲۰	۰/۹۰	۰/۷۸	۱/۴۳	
ضریب تغییرات	مدت زمان بارش (ساعت)			
	۰/۵۸	۰/۵۰	۰/۶۷	۰/۴۶
	بارش کل (میلی‌متر)			
	۰/۷۳	۰/۵۷	۰/۶۳	۰/۶۷
	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)			
	۱/۶۹	۱/۱۹	۰/۶۳	۰/۶۴
دبی میانگین (مترمکعب بر ثانیه)				
۱/۳۶	۰/۸۵	۰/۶۴	۰/۵۷	
ضریب رواناب (درصد)				
۱/۴۶	۰/۵۵	۰/۷۸	۰/۶۹	
شدت بارش (میلی‌متر بر ساعت)				
۰/۵۸	۰/۶۴	۰/۴۵	۰/۷۵	

و رواناب مشاهداتی به تفکیک فصول مختلف سال را نشان می‌دهد.

در ادامه برای ۴۳ رویداد متناظر بارش و رواناب براساس رابطه SCS-CN مقادیر ارتفاع رواناب محاسبه شد. همچنین مقادیر دبی پایه هیدروگراف ثبت شده به روش مستقیم تفکیک شده و ارتفاع رواناب مشاهداتی نیز محاسبه گردید. در استفاده از روش تفکیک دبی پایه به روش مستقیم، واکنش سریع آبخیز و پراکندگی بودن روش مذکور مدنظر بوده است (۷ و ۲۰)، علاوه بر این، در پژوهش‌های انجام شده در منطقه مورد مطالعه نیز در تحقیق بهره‌مند و مصطفی‌زاده (۱۱) و مصطفی‌زاده و همکاران (۲۷) از روش خط مستقیم در تفکیک هیدروگراف پایه مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه مقادیر شماره منحنی به وسیله ابزار Solver در اکسل با هدف یکسان بودن مقادیر ارتفاع رواناب مشاهداتی و محاسباتی بهینه شده و برای λ های ۰/۲، ۰/۱۵، ۰/۱ و ۰/۰۵ مقدار شماره منحنی برآورد گردید. با توجه به اینکه رویدادهای همزمان بارش و رواناب مربوط به فصول مختلف سال بودند بنابراین تفاوت مقادیر شماره منحنی در چهار فصل، با نرم‌افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا همگنی واریانس مقادیر شماره منحنی با آزمون Levene که همگنی واریانس نمونه‌های متفاوت را بررسی می‌کند، برای چهار فصل مورد آزمون قرار گرفت و سپس برای تعیین تفاوت معنی‌داری بین مقادیر شماره منحنی، از تحلیل واریانس یک طرفه به روش Dunnett استفاده شد (۲۲).

در مرحله‌ی بعد به منظور تحلیل ارتباط تغییرات شماره منحنی با مؤلفه‌های بارش از مدل نمودار سه متغیره استفاده شد. مدل نمودار سه متغیره ابزاری برای نمایش تغییرپذیری متغیرهای مؤثر بر یک متغیر وابسته در فضای سه بعدی است (۹). تهیه نمودارهای سه متغیره می‌تواند با استفاده از روش کریجینگ صورت گیرد، که در آن با استفاده از دو متغیر مستقل، نمودار پراکنش رسم می‌شود. سومین متغیر نیز، متغیر وابسته است که پراکنش مقادیر آن برآورد می‌گردد (۳۳). بنابراین در این

پژوهش، ارتباط میان شماره منحنی محاسباتی و خصوصیات مربوط به بارش شامل مدت زمان بارش کل (ساعت)، مقدار بارش کل (میلی‌متر)، مقدار بارش مؤثر یا مقدار بارشی که به رواناب مستقیم تبدیل شده (میلی‌متر)، شدت بارندگی (میلی‌متر بر ساعت) و ضریب رواناب (درصد) و ارتفاع رواناب (میلی‌متر) در رویدادهای مورد مطالعه با استفاده از نمودارهای سه متغیره در محیط نرم‌افزار Surfer مورد ارزیابی قرار گرفت. در روش کریجینگ به درک رفتار عوارض و پدیده‌های طبیعی بر مبنای مختصات $x-y$ پرداخته می‌شود. اگر $Z(x)$ و $Z(x+h)$ دو جزء از یک میدان تصادفی باشد، منطقه به دست آمده را در x و $x+h$ ، به ترتیب نشان خواهد داد که h بیانگر بردار فاصله است. واریانس $Z(x)$ از طریق مربع انحراف $Z(x)$ از مقادیر میانگین $m(x)$ براساس رابطه (۵) محاسبه گردید:

$$\text{Var}[Z(x)] = E[Z(x) - m(x)]^2 \quad (5)$$

که E نمایش دهنده مقادیر عملگر مورد انتظار است همچنین واریانس $Z(x+h)$ به‌عنوان معیار سنجش پراکندگی از میانگین به همین روش می‌تواند مشخص شود. قبل از تخمین مقادیر شماره منحنی توسط کریجینگ، تغییر نما داده‌ها معین می‌شود که به این منظور جفت داده‌ها بر مبنای فاصله آنها پیکربندی می‌شوند. سپس نیم تغییر نما به‌صورت تجربی با استفاده از رابطه (۶) محاسبه می‌شود. در محاسبه تغییر نما، تغییرپذیری متغیر نسبت به فاصله مکانی یا زمانی مشخص می‌گردد. در این روش مجموع مربع تفاضل زوج نقاطی که به فاصله معلوم (h) از یکدیگر قرار دارند، محاسبه و تغییرات در مقابل h رسم گردید (۱۰ و ۲۹).

$$\gamma(|h|) = \frac{1}{2N(|h|)} \sum_{i=1}^{N(|h|)} [Z(x_i + h') - Z(x_i)]^2 \quad (6)$$

که در آن، $Z(x_i)$ مقادیر محاسباتی شماره منحنی در نقطه x_i ، $Z(x_i + h')$ اندازه‌گیری مقادیر در نقطه $x_i + h'$ ، $|h|$ میانگین فاصله بین نقاط جفت داده‌های مربوط به فاصله گام‌ها و $N(|h|)$ تعداد نقاط جفت داده‌های بارش و رواناب می‌باشد. بعد از تعیین نیم تغییر نمای مناسب، برآزش آن بر داده‌ها صورت

وارینانس یک طرفه بررسی شد که نتایج در شکل (۲) ارائه شده است.

با توجه به شکل (۲) میانگین مقادیر شماره منحنی در $\lambda = 0/05$ بیشتر از میانگین مقادیر شماره منحنی در $\lambda = 0/2$ است. در این پژوهش مقدار شماره منحنی براساس داده‌های بارش و رواناب مشاهداتی محاسبه شده و به دلیل اینکه در $\lambda = 0/05$ ارتفاع رواناب برآوردی کمتر از ارتفاع رواناب مشاهداتی برآورد می‌گردد، مقادیر شماره منحنی بیشترین مقدار به دست آمده است. شکل (۳) مقادیر شماره منحنی هر رویداد در فصول مختلف و میانگین مقادیر شماره منحنی رویدادها در چهار فصل را نشان می‌دهد. همچنین جدول (۳) مقادیر حداقل، حداکثر و متوسط شماره منحنی برآورد شده در چهار فصل مختلف سال را ارائه می‌دهد.

براساس شکل (۳) میانگین مقادیر شماره منحنی در فصل زمستان بیشترین و در فصل بهار کمترین مقدار را دارد. همچنین طبق جدول (۳) مقادیر حداکثر شماره منحنی نیز مربوط به فصل زمستان به دلیل پوشش برف و در فصل بهار به دلیل رطوبت پیشین خاک می‌باشد. کمترین مقدار شماره منحنی نیز در فصل بهار و تابستان است که احتمالاً به دلیل بارش‌هایی با مقدار و مدت زمان کم است که رواناب مستقیم کمی تولید کرده‌اند. از طرفی فصل بهار و تابستان در منطقه مورد مطالعه مصادف با دوره رشد پوشش جنگلی بوده و در نتیجه مقدار رواناب کمتری تولید نموده و مقادیر شماره منحنی نیز کم محاسبه شده است. همچنین نتایج ارتباط مقادیر شماره منحنی برآورد شده و خصوصیات بارش و ضریب رواناب به صورت نمودارهای سه متغیره در شکل‌های (۴) تا (۱۲) ارائه شده است. با توجه به شکل (۴) و (۵) مقدار شماره منحنی در بارش‌های کل بین ۳۵ تا ۵۰ میلی‌متر و مقدار بارش مؤثر بین ۲۵ تا ۳۵ میلی‌متر بیشترین مقدار را داشته است. همچنین براساس شکل (۶) در شدت بارش بالا و مدت کم و یا عکس آن در شدت بارش کم و مدت بالا مقدار شماره منحنی به میزان بیشتری برآورد شده است.

گرفت. مقادیر مورد انتظار برای Z (شماره منحنی) در نقطه x_0 به عنوان جمع وزنی داده‌های اندازه‌گیری شده، تخمین زده می‌شود به طوری که اگر مقادیر اندازه‌گیری شده به صورت $Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_n)$ در نظر گرفته شوند، مقادیر تخمینی با استفاده از رابطه (۷) قابل محاسبه می‌باشد.

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (7)$$

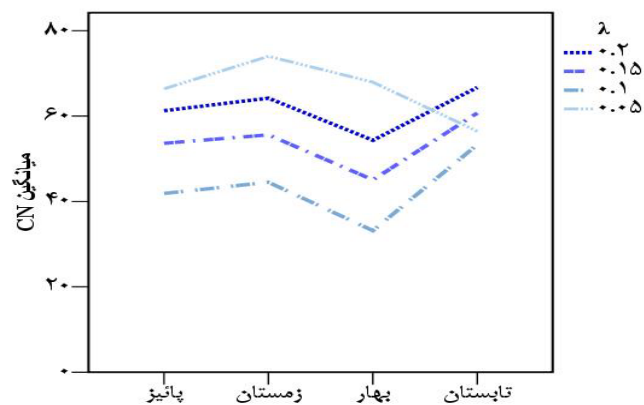
که در آن، مقادیر Z در نقطه x_0 توسط $Z^*(x_0)$ تخمین زده می‌شود، λ_i وزن‌های انتخابی برای بهترین تخمین آماری است و n تعداد نقاطی است که در تخمین استفاده می‌گردد. برای انتخاب روش مناسب درون‌یابی جهت تهیه نمودارهای سه متغیره از روش ارزیابی مقاطع با حذف متوالی نقاط و برآورد مقادیر آن و سپس جایگزینی و برآورد مجدد مقادیر حذف شده استفاده شد. فاصله‌ای که در آن تغییر نما به حد ثابتی می‌رسد و به خط افقی تمایل پیدا می‌کند را دامنه تأثیر می‌نامند. به مقدار ثابت تغییر نما در دامنه تأثیر، سقف یا آستانه اطلاق می‌گردد که از مجموع اثر قطعه‌ای (C_0) و بخش ساختاردار نیم تغییر نما (C) به دست می‌آید و به عبارتی برابر واریانس نمونه‌هایی است که در محاسبه تغییر نما استفاده شده‌اند (۱). در این تحقیق زمینه تصادفی به وسیله نمودارهای پراکنش از متغیرهای بارش و رواناب مشخص می‌شود و مقادیر به دست آمده مربوط به مقادیر شماره منحنی می‌باشند. در اینجا بردار فاصله h نشان‌دهنده فاصله بین دو متغیر ورودی است که فرض می‌شود در سیستم مختصات $x-y$ قرار گرفته‌اند. از اینرو براساس دو متغیر ورودی، امکان رسم دامنه‌های مختلف تغییرات شماره منحنی در نقشه فراهم می‌گردد.

نتایج

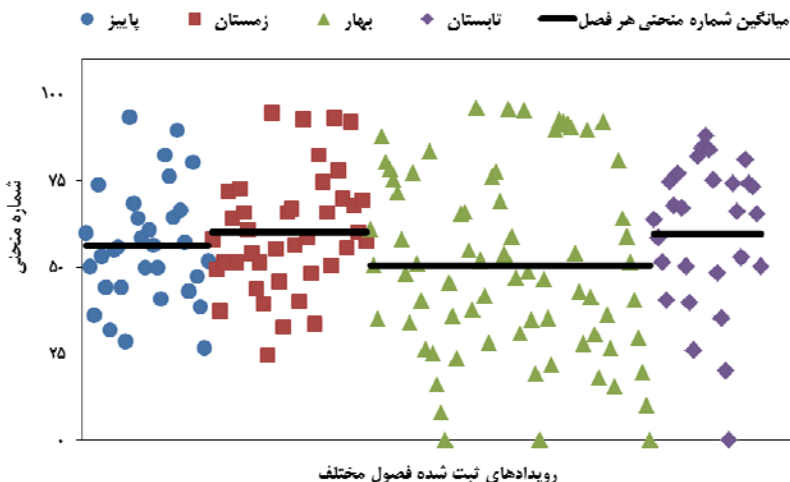
مقادیر شماره منحنی برای ۴۳ رویداد با استفاده از مدل SCS-CN و دستور Solver براساس ارتفاع رواناب بهینه شد که در جدول (۲) ارائه شده است. بعد از تفکیک داده‌های بارش و رواناب براساس فصل، تفاوت آماری میان مقادیر شماره منحنی در فصول مختلف و مقادیر متفاوت λ با آزمون آنالیز

جدول ۲. مقادیر شماره منحنی برای ۴۳ رویداد در حوضه آبخیز جعفرآباد استان گلستان

رویداد	$\lambda=0/2$	$\lambda=0/15$	$\lambda=0/1$	$\lambda=0/05$	رویداد	$\lambda=0/2$	$\lambda=0/15$	$\lambda=0/1$	$\lambda=0/05$
۱	۵۹/۸۸	۵۰/۲۶	۳۶/۲۹	۷۳/۸۳	۲۳	۵۸/۷۱	۴۶/۹۶	۳۰/۶۴	۹۵/۳۱
۲	۵۸/۰۹	۴۹/۵۳	۳۷/۲۹	۵۱/۴۵	۲۴	۴۸/۵۵	۳۴/۶۹	۱۹/۰۹	۰/۰۰
۳	۶۰/۹۰	۵۰/۳۱	۳۴/۹۴	۸۷/۶۷	۲۵	۶۶/۸۸	۵۶/۴۲	۴۰/۲۴	۹۲/۷۴
۴	۸۰/۳۰	۷۸/۱۰	۷۵/۲۲	۷۱/۲۱	۲۶	۴۶/۳۱	۳۵/۲۱	۲۱/۶۲	۸۹/۵۹
۵	۵۸/۰۵	۴۸/۰۶	۳۳/۸۵	۷۷/۲۴	۲۷	۹۲/۴۹	۹۱/۹۰	۹۱/۱۹	۹۰/۳۳
۶	۵۳/۳۳	۴۴/۳۱	۳۱/۹۲	۵۵/۰۳	۲۸	۵۰/۲۹	۳۹/۶۸۲	۲۵/۸۸	۸۲/۰۱
۷	۲۵/۰۴	۱۶/۰۹	۷/۹۹	۰/۰۰	۲۹	۳۶/۰۹	۲۶/۴۵	۱۵/۶۳	۸۰/۸۶
۸	۵۰/۸۸	۴۰/۱۸	۲۶/۱۹	۸۳/۳۹	۳۰	۴۱/۴۱	۳۰/۴۷	۱۷/۸۸	۹۱/۹۱
۹	۶۳/۶۸	۵۸/۴۸	۵۱/۲۹	۴۰/۳۵	۳۱	۵۴/۰۹	۴۲/۹۰	۲۷/۹۵	۸۹/۵۰
۱۰	۶۸/۳۷	۶۴/۲۰	۵۸/۵۱	۵۰/۰۳	۳۲	۷۴/۰۹	۶۶/۱۹	۵۲/۹۱	۸۱/۰۵
۱۱	۵۵/۹۰	۴۴/۳۱	۲۸/۶۸	۹۳/۲۹	۳۳	۴۸/۲۱	۳۵/۲۵	۲۰/۱۱	۰/۰۰
۱۲	۴۵/۳۸	۳۵/۷۹	۲۳/۶۷	۶۵/۳۴	۳۴	۸۴/۴۸	۸۷/۸۷	۸۳/۸۰	۷۵/۰۸
۱۳	۷۱/۹۷	۶۴/۱۷	۵۱/۴۲	۷۲/۶۸	۳۵	۴۷/۴۴	۳۸/۴۶	۲۶/۷۵	۵۱/۸۸
۱۴	۶۵/۷۷	۶۰/۸۹	۵۴/۱۰	۴۳/۷۴	۳۶	۶۶/۶۲	۵۷/۳۷	۴۳/۰۰	۸۰/۲۸
۱۵	۶۰/۹۷	۵۶/۲۶	۴۹/۹۸	۴۰/۹۵	۳۷	۷۷/۸۶	۶۹/۸۹	۵۵/۷۴	۹۱/۹۰
۱۶	۸۲/۵۵	۷۶/۲۵	۶۴/۵۰	۸۹/۴۹	۳۸	۷۴/۷۵	۶۵/۷۸	۵۰/۴۶	۹۳/۲۴
۱۷	۵۵/۴۸	۴۶/۰۰	۳۲/۷۸	۶۵/۸۵	۳۹	۵۸/۶۷	۴۸/۳۴	۳۳/۶۲۹	۸۲/۵۵
۱۸	۵۱/۳۷	۳۹/۵۶	۲۴/۵۳	۹۴/۵۱	۴۰	۶۳/۹۰	۵۸/۶۹	۵۱/۴۴	۴۰/۳۹
۱۹	۶۵/۸۰	۵۴/۶۱	۳۷/۶۷	۹۵/۹۸	۴۱	۲۹/۵۷	۱۹/۵۷	۱۰/۰۲	۰/۰۰
۲۰	۷۷/۵۵	۶۸/۹۴	۵۳/۶۶	۹۵/۴۸	۴۲	۷۴/۲۱	۷۳/۳۲	۶۵/۳۶	۵۰/۱۸
۲۱	۵۱/۹۳	۴۱/۷۳	۲۸/۱۰	۷۶/۱۶	۴۳	۶۷/۸۶	۶۰/۱۳	۶۹/۳۸	۵۷/۵۶
۲۲	۷۴/۶۴	۶۷/۶۹	۷۷/۰۴	۶۷/۰۵	-	-	-	-	-



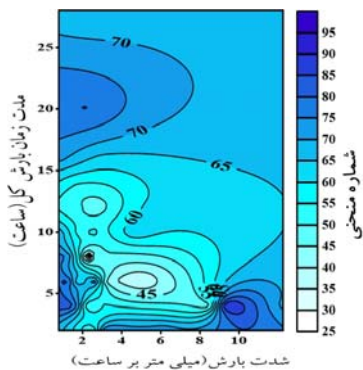
شکل ۲. میانگین مقادیر شماره منحنی محاسباتی در چهار فصل با مقادیر مختلف λ



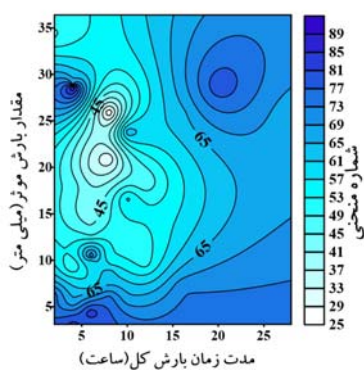
شکل ۳. مقادیر شماره منحنی محاسباتی رویدادهای ثبت شده و میانگین آنها در فصول مختلف در دوره مورد مطالعه

جدول ۳. خصوصیات آماری مقادیر شماره منحنی در فصول مختلف سال

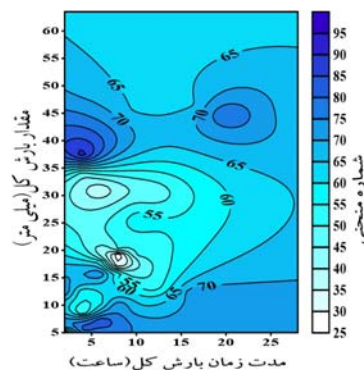
آماره	پاییز	زمستان	بهار	تابستان
حداکثر	۹۳/۲۹	۹۴/۵۱	۹۵/۹۸	۸۷/۸۷
حداقل	۲۶/۷۵	۲۴/۵۳	۰/۰۰	۰/۰۰
میانگین	۵۶/۲۸	۶۰/۱۳	۵۰/۶۲	۵۹/۶۵



شکل ۶. تغییرات CN و ارتباط آن با شدت بارش و مدت بارش کل



شکل ۵. تغییرات CN و ارتباط آن با مدت بارش و مقدار بارش مؤثر

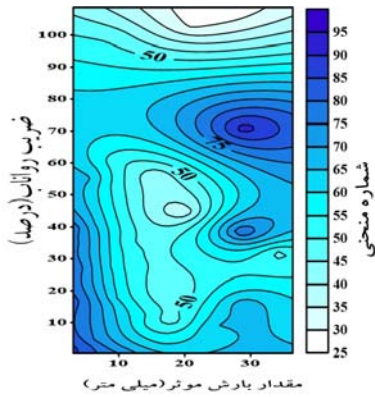


شکل ۴. تغییرات CN و ارتباط آن با مدت بارش کل و مقدار بارش کل

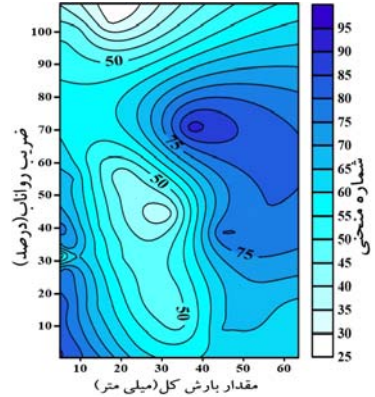
شده است.

با توجه به نتایج ارائه شده در شکل (۱۰)، تغییرات مقدار شماره منحنی با ارتفاع رواناب دارای ارتباط ضعیفی است. از طرفی در شکل (۱۱) مشخص است که مقدار شماره منحنی در بارش‌هایی با تداوم ۲۰ ساعت، دارای شماره منحنی بالای ۷۰

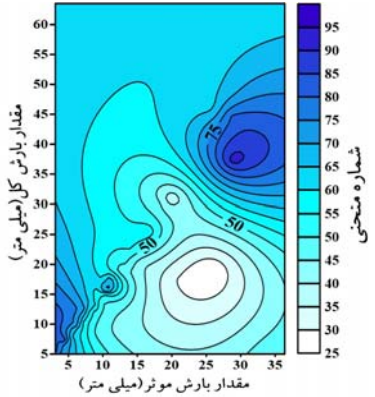
مقدار شماره منحنی با مقدار بارش کل و بارش مؤثر براساس شکل (۷) دارای ارتباط مستقیم است. در مقادیر بالای بارش کل و بارش مؤثر که بیشترین نقش را در تولید رواناب داشته‌اند و مقادیر بالای ضریب رواناب را تولید کرده‌اند، براساس شکل (۸) و (۹) مقدار شماره منحنی نیز به میزان بیشتری محاسبه



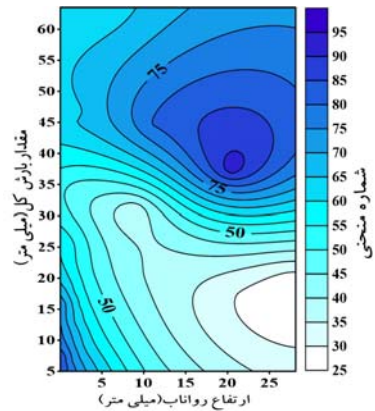
شکل ۹. تغییرات CN و ارتباط آن با مقدار بارش مؤثر و ضریب رواناب



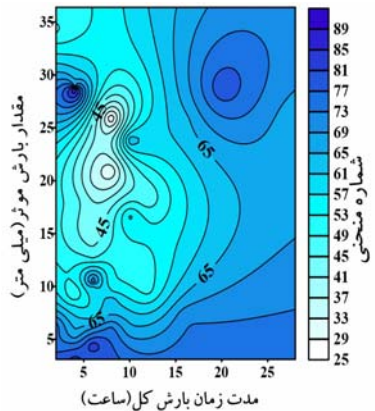
شکل ۸. تغییرات CN و ارتباط آن با مقدار بارش کل و ضریب رواناب



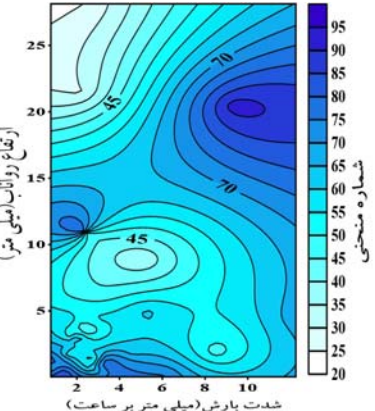
شکل ۷. تغییرات CN و ارتباط آن با مقدار بارش مؤثر و مقدار بارش کل



شکل ۱۲. تغییرات CN و ارتباط آن با ارتفاع رواناب و مقدار بارش کل



شکل ۱۱. تغییرات CN و ارتباط آن با ارتفاع رواناب و مدت بارش کل



شکل ۱۰. تغییرات CN و ارتباط آن با شدت بارش و ارتفاع رواناب

شماره منحنی از روی جداول بدون صحت‌سنجی دارای خطا می‌باشد، بنابراین در این پژوهش با استفاده از ۴۳ رویداد همزمان بارش و رواناب و مدل SCS-CN مقدار شماره منحنی برای هر رویداد محاسبه شد. براساس نتایج تحلیل‌های آماری، تفاوت معنی‌داری میان مقادیر شماره منحنی در فصول مختلف وجود ندارد و وجود تفاوت در مقادیر میانگین شماره منحنی را می‌توان این گونه تفسیر نمود که حوضه آبخیز جعفرآباد یک حوضه کوهستانی و جنگلی با درختان پهن برگ می‌باشد و در فصل تابستان به دلیل وجود پوشش گیاهی انبوه که باعث کاهش رسیدن بارش به سطح زمین و نفوذ در خاک می‌شود و در فصل

می‌باشد. همچنین تغییرات شماره منحنی در شکل (۱۲) ارتباط بیشتری با تغییرات مقدار بارش نسبت به ارتفاع رواناب دارد. در مجموع، در رویدادهایی با مدت و مقدار بارش بالا مقدار شماره منحنی نیز بالا برآورد شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

مدل SCS-CN به منظور برآورد رواناب مستقیم از داده‌های بارش و شماره منحنی ارائه شده است و شماره منحنی هر حوضه نشانگر رفتار هیدرولوژیکی و رژیم آب‌دهی آن حوضه در مواقع بارندگی می‌باشد. با توجه به اینکه برآورد مقدار

منحنی بالای ۷۵ را نشان می‌دهند شکل (۸) و (۹). در این خصوص، لوی‌ترازون و همکاران (۲۳) نیز به ارتباط مستقیم ضریب رواناب با مقدار بارش در پژوهش خود دست یافته بودند. براساس نتایج شکل‌های ۱۰ تا ۱۲، مقدار شماره منحنی در بارش‌هایی با تداوم ۲۰ ساعت، دارای شماره منحنی بالای ۷۰ می‌باشد. همچنین تغییرات شماره منحنی در شکل (۱۲) ارتباط بیشتری با تغییرات مقدار بارش نسبت به ارتفاع رواناب دارد. در مجموع، در رویدادهایی با مدت و مقدار بالا مقدار شماره منحنی نیز بالا برآورد شده است. بر این اساس، در رخدادهایی با بارش‌های شدید و طولانی مدت مقدار برآوردی شماره منحنی بالا بوده است. در این راستا، کوالیک و والگا نیز به ارتباط قوی میان مقادیر شماره منحنی مشاهداتی و مقدار بارش اشاره نموده‌اند (۲۱). براساس نتایج، مقادیر بالای شماره منحنی مربوط به فصول زمستان و تابستان و کمترین مقدار آن در فصل بهار می‌باشد. استفاده از مدل‌های نمودار سه متغیره، امکان ارزیابی همزمان عوامل مؤثر بر تغییرات شماره منحنی و تحلیل تغییرات آن در دامنه‌های مختلف عوامل مؤثر را فراهم نموده است. با بررسی نمودارهای سه متغیره می‌توان نتیجه گرفت که در بارش‌های با شدت و مقدار بالا و مدت زمان طولانی مقدار شماره منحنی بالا بوده و مقادیر بالای ضریب رواناب نشان‌دهنده مقدار بالای شماره منحنی می‌باشد. براساس نتایج، استفاده از یک مقدار ثابت شماره منحنی در حوضه برای رخدادهای مختلف در شبیه‌سازی‌های بارش-رواناب و نیز برآورد رواناب در فصول مختلف، باید براساس تحلیل خصوصیات بارش و رواناب در حوضه‌های مشابه و یا دارای آمار صورت گیرد و انجام پژوهش‌های بیشتر در خصوص لحاظ ویژگی‌های بارش در برآورد شماره منحنی از پیشنهادها پژوهش حاضر است.

زمستان به دلیل وجود جنگل‌های خزان‌کننده و پوشش اندک سطح زمین، میانگین شماره منحنی ۶۰ برآورد شده است (شکل‌های ۲ و ۳). همچنین در فصل بهار به دلیل وجود پوشش کم و فصل رویش میانگین شماره منحنی در مقایسه با سایر فصل‌ها کمتر و به میزان ۵۰ برآورد شده است که با نتایج تدلا و همکاران در مورد کاهش شماره منحنی در فصل رشد و افزایش آن در فصل زمستان همخوانی دارد (۳۶). در پاییز به دلیل خزان درختان پهن برگ میانگین شماره منحنی ۵۶ بوده ولی مقدار آن نسبت به فصل بهار بیشتر است که دلیل آن احتمالاً پوشیده شدن سطح زمین با برگ است. در مجموع، تغییرات فصلی مقادیر شماره منحنی در فصول مرطوب و خشک و نیز در دوره‌های مختلف رشد پوشش گیاهی در تحقیقات متعدد تدلا و همکاران، (۳۶)، سولیس و والینتز، (۳۵)، تدلا و همکاران، (۳۷)، گوندالیا و دولاکیا، (۱۷) گزارش شده است و در این تحقیق نیز این تغییرات در فصل‌های مختلف مورد تأیید قرار گرفت. در بررسی ارتباط میان شماره منحنی با خصوصیات بارش، شکل (۴) نشان‌دهنده این است که در بارش کل بین ۳۵ تا ۵۰ میلی‌متر در تمام مدت بارش‌های ثبت شده مقدار شماره منحنی بالا بوده و مقدار شماره منحنی در این ارتباط بیشتر متأثر از بارش کل است که با اظهارات کوالیک و والگا (۲۱) در خصوص تأثیر مقدار بارش بر روی شماره منحنی هم‌سو است. همچنین، نتیجه مشابهی در خصوص ارتباط بین بارش مؤثر و مدت بارش کل شکل (۵) نیز مشاهده گردید. در بارش‌هایی با شدت بالا در مدت زمان کم و یا شدت پایین و مدت بارش طولانی‌تر شکل (۶)، مقدار شماره منحنی بیشتر از ۶۵ بوده که این ارتباط در تحقیق لوی‌ترازون و همکاران (۲۳) نیز گزارش شده است. در رخدادهایی که ۸۰-۴۰ درصد مقدار بارش آنها به‌عنوان رواناب مستقیم از حوضه خارج شده‌اند مقادیر شماره

منابع مورد استفاده

۱. حسنی پاک، ع. ا. ۱۳۸۹. زمین‌آمار (ژئواستاتستیک). انتشارات دانشگاه تهران. تهران.
۲. عزیزیان، ا.، و ع. شکوهی. ۱۳۹۳. توسعه روشی برای تخمین شماره منحنی حوضه با استفاده از مفهوم مازاد اشباع (مطالعه موردی):

- حوضه آبریز کسلیان). تحقیقات منابع آب ایران ۳(۱۰): ۲۶-۳۷.
۳. قهرودی تالی، م. ۱۳۸۵. ارزیابی مدل SCS-CN در تخمین رواناب (مطالعه موردی: حوضه آبریز سد امیر کبیر کرج). جغرافیا و توسعه. ۴(۷): ۱۸۵-۱۹۸.
۴. محمدی مطلق، ر.، ن. جلال کمالی و ا. جلال کمالی. ۱۳۹۳. ارزیابی رابطه SCS در تعیین تلفات اولیه باران در حوضه آبریز دالکی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۶۷(۱۸): ۱۰۹-۱۲۱.
۵. مصطفی زاده، ر.، ا. سعدالدین، ع. ر. بهره‌مند، ب. شیخ و ح. نظرنژاد. ۱۳۸۹. ارزیابی اثرات هیدرولوژیک طرح آبخیزداری جعفرآباد استان گلستان با استفاده از مدل HEC-HMS. مهندسی و مدیریت آبخیز ۲(۲): ۸۳-۹۳.
۶. واعظی، ع. و م. عباسی. ۱۳۹۱. کارایی روش شماره منحنی رواناب (SCS-CN) در برآورد رواناب در حوضه آبخیز تهم‌چای، شمال غرب زنجان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۶۱(۱۶): ۲۰۹-۲۱۹.
7. Agirre, U., M. Goni, J. J. Lopez and F. N. Gimena. 2005. Application of a unit hydrograph based on sub-watershed division and comparison with Nash's instantaneous unit hydrograph. *Catena*. 64: 321-332.
8. Ahmad, I., V. Verma and M. K. Verma. 2015. Application of curve number method for estimation of runoff potential GIS environment. 2nd ICGCE 80:16-20, 10-11 January, United Arab Emirates.
9. Altunkaynak, A., M. Özger and Z. Sen. 2003. Triple diagram model of level fluctuation in Lake Van, Turkey. *Hydrol. Earth. Syst. Sci.* 7(2): 235-244.
10. Altunkaynak, A., and K. Wang. 2010. Triple diagram models for prediction of suspended solid concentration in Lake Okeechobee, Florida. *J. Hydrol.* 387: 165-175.
11. Bahreman, A and R. Mostafazadeh. 2010. Comparison of different methods for parameter estimation of Nash's instantaneous unit hydrograph in JafarAbad watershed. *Watershed Mgmt. Res. J.* 86: 42-51.
12. Banasik, K., A. Krajewski., A. Sikorska and L. Hejduk. 2014a. Curve number estimation for a small urban catchment from recorded rainfall-runoff events. *J. Environ. Prot.* 40(3): 75-86 .
13. Banasik, K., A. Rutkowska and S. Kohnova. 2014b. Retention and curve number variability in a small agricultural catchment: the probabilistic approach. *Water*. 6: 1118-1133 .
14. Beasley, D. B., L. F. Huggins and E. J. Monke. 1980. ANSWERS: A model for watershed planning. *Transactions of the ASAE*. 23(4): 938-944 .
15. Blume, T., E. Zehr and A. Bronstert. 2007. Rainfall-runoff response, event-based runoff coefficients and hydrograph separation. *Hydrolog. Sci. J.* (52)5: 843-862 .
16. Chatterjee, C., R. Jha., A. K. Lohani., R. Kumar and R. Singh. 2002. Estimation of SCS curve number for a basin using rainfall-runoff data. *J. Hydraul. Eng.* 8(1): 40-49.
17. Gundalia, M and M. Dholakia. 2014. Impact of monthly curve number on daily runoff estimation for Ozat catchment in India. *OJMH*. 4: 144-155.
18. Hawkins, R. H. 1993. Asymptotic determination of runoff curve number from data. *J. Irrig. Drain. E-ASCE*. 119: 334-345 .
19. Hjelmfelt, A. T. 1980. Empirical investigation of curve number technique. *ASCE*. 106 (HY9): 1471-1476.
20. Kilgore, J. L. 1997. Development and evaluation of a GIS-based spatially distributed unit hydrograph model. Master degree Thesis, Biological Systems Engineering. Virginia Polytechnic Institute and State University.
21. Kowalik, T and A. Walega. 2015. Estimation of CN parameter for small agricultural watersheds using asymptotic functions. *Water*. 7:939-955 .
22. Landau, S and B. S. Everitt. 2003. *A Handbook of Statistical Analyses using SPSS*. PP. 1- 339. CRC Press LLC, Chapman and Hall .
23. Lopez Tarazon, J. A., R. J. Batalla., D. Vericat and J. C. Balasch. 2010. Rainfall, runoff and sediment transport relation in a mesoscale mountainous catchment: the river Isabena (Ebro basin). *Catena*. 82: 23-34 .
24. McCuen, R.H. 1998. *Hydrologic Analysis and Design*. PP. 1-883. Pearson Education, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458.
25. Mishra, S. K and V. P. Singh. 1999. Another look at SCS-CN method. *J. Hydrol. Eng.* 257-264 .
26. Moatamednia, M., A. Nohegar., A. Malekian., K. Karimi Zarchi and A. Tavasoli. 2015. Performance of the different models for curve number estimation (Case study: Bar watershed in Khorasan Razavi province, Iran). *Ecopersia*.

- 3(3): 1031-1049 .
27. Mostafazadeh, R., A. Bahremand and M, Zabihi. 2015. Efficiency evaluation of Diskin method in derivation of Instantaneous Unit Hydrograph in Jafar-Abad watershed, Golestan Province. *Ecohydrology*. 2(2): 141-150.
28. Neitsch, S. L., J. G. Arnold., J. R. Kiniry., J. R. Williams and K. W. King. 2002. Soil and water assessment tool (SWAT): Theoretical documentation, version 2000. Texas Water Resources Institute, College station, PP. 1-506. TX, TWRI Report TR-191.
29. Ozger, M and Z. Sen. 2007. Triple diagram method for the prediction of wave height and period. *Ocean. Eng.* 34(7): 1060–1068.
30. Ponce, V. M and R. H. Hawkins. 1996. Runoff curve number: has it reached maturity. *J. Hydrol. Eng.* 11-19 .
31. Raghunath, H. M. 2006. *Hydrology: Principles, Analysis and Design*. PP. 1-476. New Age International.
32. Sadeghi, S. H. R. and R. Mostafazadeh. 2016. Triple diagram models for changeability evaluation of precipitation and flow discharge for suspended sediment load in different time scales. *Env. Earth. Sci.* 75: 843. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5621-6>
33. Sen, Z. 2008. *Wadi Hydrology*. PP. 1-347. CRC Press.
34. Simanton, J. R., R. H. Hawkins., M. Mohseni-Saravi and K. G. Renard. 1996. Runoff curve number variation with drainage area, Walnut Gulch, Arizona. *ASCE*. 39(4): 1391-1394 .
35. Soulis, K. X and J. D. Valiantzas. 2012. SCS-CN parameter determination using rainfall-runoff data in heterogeneous watershed-the two-CN system approach. *Hydrol. Earth. Syst. Sci.* 16: 1001-1015 .
36. Tedela, N. H., S. C. McCutcheon and T. C. Rasmussen. 2007. Effects of seasonal variation on runoff curve number for selected watersheds of Georgia – preliminary study. *GWRC*, 27-29 March. Georgia .
37. Tedela, N. H., S. C. McCutcheon., J. L. Campbell., W. T. Swank., M. B. Adams and T. C. Rasmussen. 2012. Curve number for nine mountainous Eastern United States watersheds: seasonal variation and forest cutting. *J. of Hydrol. Eng.* 17: 1199-1203.
38. U.S.DA. Soil Conservation Service. 1993. *National Engineering Handbook, Hydrology (NEH-4)*, Chapter 4.
39. USDA. Natural Resources Conservation Service. 2004. Estimation of direct runoff from storm rainfall. Part 630 *Hydrology. National Engineering Handbook*. 79p. Chapter 10.
40. Wanielista, M. P. 1997. *Hydrology Water Quantity and Water Quality Control*. PP. 1-565. Wiley New York.
41. Xiao, B., Q. H. Wang., J. Fan., F. P. Han and Q. H. Dai. 2011. Application of the SCS-CN model to runoff estimation in a small watershed with high spatial heterogeneity. *Pedosphere*. 21(6): 738-749.

Curve Number Determination using Rainfall and Runoff Data and its Variations with Rainfall Components in a Forested Watershed

R. Mostafazadeh*, SH. Mirzaei and P. Nadiri¹

(Received: May 28-2016 ; Accepted: Nov. 16-2016)

Abstract

The SCS-CN developed by the USDA Soil Conservation Service is a widely used technique for estimation of direct runoff from rainfall events. The watershed CN represents the hydrological response of watershed as an indicator of watershed potential runoff generation. The aim of this research is determining the CN from recorded rainfall-runoff events in different seasons and analyzing its relationship with rainfall components in the Jafarabad Watershed, Golestan Province. The CN values of 43 simultaneous storm events were determined using SCS-CN model and the available storm events of each season have been separated and the significant differences of CN values were analyzed using ANOVA method. The Triple Diagram Models provided by Surfer software were used to analyze the relationships of CNs and rainfall components. Results showed that the mean values of CN were 60 for summer and winter seasons and the CN values in the spring and autumn seasons were 50 and 65, respectively. The inter-relationships of CN amounts and rainfall characteristic showed that the high values of CNs were related to high rainfall intensities (>10 mm/hr) and rain-storms with total rainfall more than 40 mm. Also the CN values were about >70 for the storm events with 40-80% runoff coefficient values.

Keywords: Curve Number, Rainfall characteristics, Runoff coefficient, SCS-CN Method, The Jafarabad Watershed, Triple Diagram Model.

1. Dept. of Range & Watershed Manage. Faculty of Agric. & Natural Resour., Mohaghegh Ardabili Univ., Ardabil. Iran.

*: Corresponding Author, Email: raofmostafazadeh@uma.ac.ir