



## ارزیابی سیل خیزی بالقوه حوزه آبخیز زیارت با روش مبتنی بر CN و مدل هیدرولوژیکی WetSpa

عبدالرضا بهره‌مند<sup>۱</sup>، پروانه حاتمی گل‌مکانی<sup>۲</sup>

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۱۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۴

مقاله علمی پژوهشی

چکیده

سیل از جمله بلاای طبیعی است که هر ساله خسارات مالی و جانی فراوانی را در سراسر جهان به بار می‌آورد. به طور کلی شاید بتوان گفت که بهترین شاخص معرف وضعیت سیل‌خیزی و تولید رواناب و سیل بالقوه حوزه، ضریب رواناب می‌باشد. بنابراین تهیه یک نقشه مناسب که بیش‌ترین شباهت را با واقعیت داشته باشد می‌تواند راه‌گشای بسیاری از برنامه‌ریزی‌های مرتبط با کنترل سیل باشد. بدین منظور در این پژوهش نقشه ضریب رواناب بالقوه دو روش تهیه شد و مورد مقایسه قرار گرفت. روش اول روش تجربی و مبتنی بر CN بوده که روش رایجی در بین محققان این حیطه است و روش دوم استفاده از مدل هیدرولوژیکی توزیعی مکانی WetSpa می‌باشد. بنابراین متوسط وزنی نقشه ضریب بالقوه سیل‌خیزی تهیه شده به روش SCS، ۰/۰۴۵ و با مدل WetSpa ۰/۷۱۴ برآورد گردید. در انتها متوسط ضریب بالقوه سیل‌خیزی روزانه با استفاده از آمار بارش و رواناب روزانه ثبت شده در طول دوره چهار ساله، مورد مقایسه قرار گرفت. با نظر به اینکه مقدار ضریب رواناب برآورد شده با آمار ثبت شده ۰/۴۷ بوده و این مقدار به نتایج مدل WetSpa نزدیک‌تر است بنابراین مدل WetSpa عملکرد بهتری داشته است. با این حال با توجه به اینکه هر یک از دو روش ویژگی‌های منحصر بفردی دارد (به طور مثال مدل WetSpa نیازمند داده‌ها و جزئیات بیش‌تر و مدل SCS نیازمند داده‌ها و جزئیات کم‌تری نسبت به مدل WetSpa است) هر یک از این دو روش کاربردهای متفاوتی دارد که می‌تواند در شرایط خاصی مؤثر واقع شود.

واژه‌های کلیدی: ضریب رواناب بالقوه، مدل SCS، شماره منحنی، مدل بارش-رواناب، مدل توزیعی مکانی

۱. دانشیار گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان ۰۹۱۳۳۴۸۹۸۰۱  
[abdolreza.bahreman@yahoo.com](mailto:abdolreza.bahreman@yahoo.com) (نویسنده مسئول)

۲. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان ۰۹۳۸۱۰۷۹۰۶۶  
[hatamiparvane@gmail.com](mailto:hatamiparvane@gmail.com)

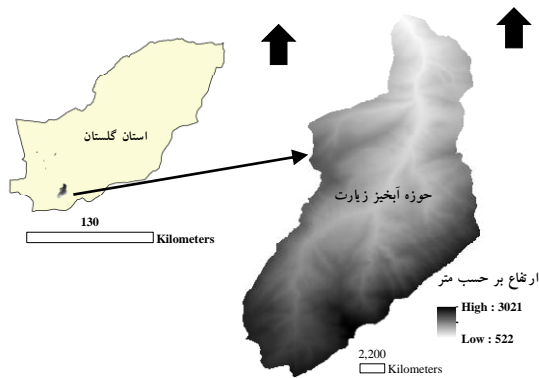
## مقدمه

سیلاب‌ها از جمله بلایای طبیعی هستند که هر ساله در نقاط مختلف جهان بر اثر پراکنش نامنظم زمانی و مکانی بارش اتفاق افتاده و موجب بروز زیان‌های جانی و مالی بسیاری برای انسان و محیط می‌شوند (رجبی و همکاران، ۱۳۹۶). بمنظور کاهش خسارات وارده، برنامه‌ریزی‌ها و همچنین بهره‌برداری بهینه از منابع طبیعی، آگاهی از وضعیت و شناخت مناطق سیل‌خیز ضروری است (اعظمی‌راد و همکاران، ۱۳۹۷). توانایی یک عرصه در ایجاد سیل را سیل‌خیزی آن عرصه (نوحه‌گر و همکاران، ۱۳۹۳) و ضریب سیل‌خیزی بدون در نظر گرفتن تأثیر رطوبت خاک، ضریب سیل‌خیزی بالقوه نامیده می‌شود که بر اساس وضعیت کاربری، پوشش زمین، خاک و شیب عرصه تعیین می‌شود (لاجوردی و همکاران، ۱۳۹۲). بهره‌مند و محمودی ۱۳۹۱ بین سیل‌خیزی عرصه و حوزه تفکیک قائل شده و علاوه بر عواملی مانند وضعیت کاربری اراضی، پوشش گیاهی، خاک و شیب که هم در بحث سیل‌خیزی عرصه و هم سیل‌خیزی حوزه مطرح هستند عواملی همچون شکل حوزه و الگو و نحوه شاخه‌بندی آبره‌ها را از جمله فاکتورهای موثر بر سیل‌خیزی می‌دانند که فقط در سطح حوزه مطرح می‌شوند (Kumar و همکاران، ۲۰۰۳، بهره‌مند و محمودی، ۱۳۸۹). شاید بتوان گفت که بهترین شاخص معرف وضعیت سیل‌خیزی، ضریب رواناب می‌باشد. ضریب رواناب، نسبت آب جاری شده به بارندگی بوده و مقدار آن بین صفر تا یک تغییر می‌کند (Kumar و همکاران، ۲۰۰۳، بهره‌مند و محمودی، ۱۳۸۹). بمنظور تعیین سیل‌خیزی بالقوه مناطق مختلف تا کنون مطالعات بسیاری صورت گرفته است. مرور مطالعات انجام شده در نقاط مختلف دنیا نشان می‌دهد که در این راستا مفاهیم کاربردی مشابه و بسیار نزدیکی وجود دارد که تفکیک آن‌ها بسیار دشوار بوده به طوری

که در بسیاری از مطالعات، سیل‌خیزی بالقوه<sup>۱</sup> با خطر بالقوه سیل<sup>۲</sup> (سیل‌گیری) بجای هم بکار برده شده‌اند این در حالی است که این دو مفهوم کاملاً متفاوت بوده و کاربردهای متفاوتی نیز دارند. سیل‌خیزی بالقوه همان پتانسیل تولید رواناب در بالادست می‌باشد در حالیکه خطر بالقوه سیل و یا سیل‌گیری مربوط به خطری است که سیل عمدتاً در پایین دست برای نقاط آسیب‌پذیر ایجاد می‌کند. در برخی از مطالعات مشاهده شده که در عنوان تحقیق از تیترا سیل‌خیزی بالقوه استفاده شده اما روش کار و شرح تحقیق دلالت بر بررسی خطر سیل و یا پهنه‌بندی خطر سیل دارد. همچنین در برخی مطالعات دیگر عنوان مقاله و روش کار در مورد سیل‌خیزی بالقوه است اما در بخش مقدمه و مرور منابع به بررسی مطالعات صورت گرفته در خصوص خطر بالقوه سیل پرداخته شده است. البته مفاهیم مشابه به همین دو مفهوم محدود نشده و با مطالعه در این حیطه با مفاهیمی بسیار نزدیک به هم مواجه می‌شویم که نیاز است دقت نظر کافی بکارگرفته شود. لازم به ذکر است مرور مطالعات انجام شده در مورد سیل‌خیزی بالقوه غالباً بر پایه روش‌های ایستا و تلفیقی از عوامل مؤثر در ایجاد سیل، فرمول‌های تجربی و تحلیل‌های کارشناسی انجام شده است. بر همین اساس در این تحقیق سعی بر این است نقشه ضریب رواناب بالقوه به روش SCS به گونه‌ای که در مطالعات کشور مرسوم است تهیه شده و با ضریب رواناب بالقوه تهیه شده توسط مدل هیدرولوژیکی توزیعی مبتنی بر فیزیک WetSpa مقایسه گردد. در ادامه متوسط ضریب رواناب محاسبه شده از دو روش با ضریب رواناب واقعی مقایسه می‌شود تا بتوان با نقد روش مرسوم و ارائه پیشنهادات عملی برای تهیه نقشه سیل‌خیزی بالقوه به منظور کاربرد در مدیریت و برنامه‌ریزی‌های مربوط به سیل، گامی در جهت کاهش خسارات ناشی از این پدیده پر خطر هیدرولوژیکی برداشته شود.

<sup>۲</sup> . Flood Risk Potential

<sup>۱</sup> . Flooding Potential



شکل (۱): موقعیت حوزه آبخیز مورد مطالعه در استان گلستان

### جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز

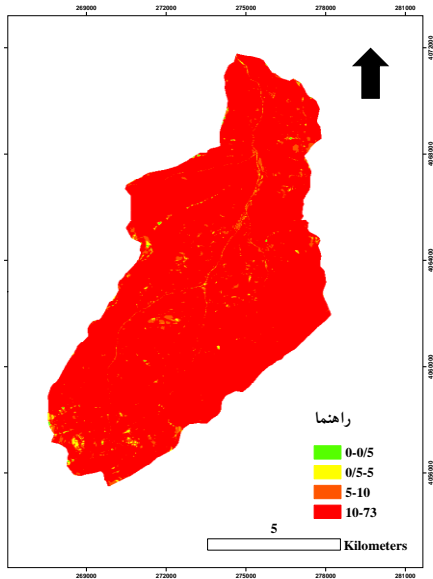
به منظور اجرای این پژوهش دو سری داده شامل الف) اطلاعات پایه رقومی شامل مدل رقومی ارتفاعی، کلاس‌های کاربری اراضی (شکل ۲)، بافت خاک (شکل ۳) همچنین ب) آمار هواشناسی و هیدرولوژیکی (دما، بارش و رواناب) مرتبط با منطقه مطالعاتی از تاریخ ۱۳۸۶/۷/۱ تا ۱۳۹۰/۶/۳۱ به صورت روزانه مورد استفاده قرار گرفته است. مدل رقومی ارتفاعی در مدل WetSpa برای تهیه نقشه شیب و کلاس‌های آن (شکل ۴) و در مدل SCS برای تهیه نقشه خطوط همباران مورد استفاده قرار گرفت.

## مواد و روش

### منطقه مورد مطالعه

حوزه مورد بررسی در این تحقیق حوزه آبخیز زیارت گرگان واقع در استان گلستان می‌باشد. حوزه رودخانه زیارت از لحاظ موقعیت جغرافیایی در حد فاصل طول ۲۴' ۵۴° تا ۳۰' ۵۴° و عرض جغرافیایی ۳۶' ۳۶° تا ۴۲' ۳۶° می‌باشد. این حوزه با مساحت ۹/۵۵۳ کیلومترمربع، در جنوب شهرستان گرگان قرار گرفته و دسترسی به آن از طریق بلوار اصلی نهار خوران در شهر گرگان امکان‌پذیر می‌باشد (دفتر مطالعات پایه اداره آبخیزداری و منابع طبیعی استان گلستان، ۱۳۸۴). موقعیت قرارگیری این حوزه در استان گلستان در شکل ۱ نمایش داده شده است. حوزه آبخیز زیارت دارای اقلیم و آب و هوای معتدل و سرد و کوهستانی است و میانگین درجه حرارت در آن ۱۰/۷۸ درجه سانتی‌گراد و نیز بیشترین میزان بارندگی در فصول سرد (پاییز و زمستان) رخ داده و میانگین آن معادل ۴۵۲ میلی‌متر در سال برآورد شده است. بیشینه رطوبت در فصول سرد سال ۷۸ و در فصول گرم به ۷۱ درصد می‌رسد (دفتر مطالعات پایه اداره آبخیزداری و منابع طبیعی استان گلستان، ۱۳۸۴). شیب متوسط حوزه ۴۴/۸۹ درصد، ارتفاع متوسط، حداقل و حداکثر بترتیب ۱۷۱۵، ۵۱۸/۹ و ۳۰۲۲/۸ متر، طول آبراهه اصلی ۱۶/۳۶ کیلومتر، مجموع طول آبراهه‌ها ۳۲۶/۲۱ کیلومتر و تراکم زهکشی آن ۳۴/۱۵ کیلومتر در هر کیلومتر مربع می‌باشد.

محاسبات مربوط به نقشه بافت خاک نشان داد که حدود ۳۳ درصد مساحت منطقه از خاک رسی، ۴۱ درصد خاک لومی رسی و ۲۶ درصد باقی مانده نیز از خاک لومی شنی تشکیل شده است.

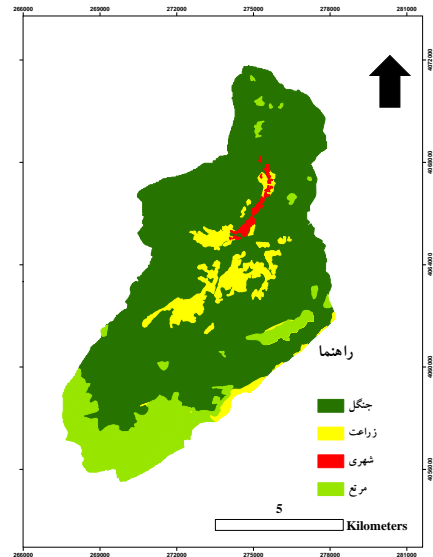


شکل (۴): نقشه شیب حوزه آبخیز زیارت

محاسبات مربوط به نقشه شیب منطقه نیز نشان داد که حدود یک درصد از مساحت این منطقه شیبی در حدود ۵-۰/۵ درصد، سه درصد مساحت منطقه شیبی در حدود ۵ تا ۱۰ درصد و حدود ۹۶ درصد سطح منطقه شیبی در حدود ۱۰ تا ۷۳ درصد را دارا است.

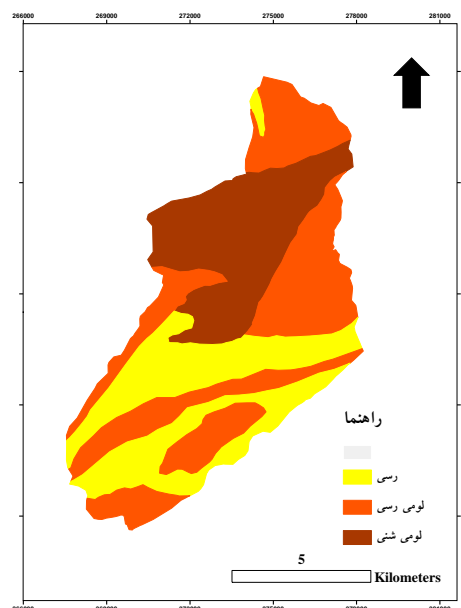
#### تهیه نقشه‌های ضریب سیل خیزی بالقوه

در این تحقیق ابتدا سیل خیزی بالقوه حوزه آبخیز زیارت گرگان با استفاده از نقشه ضریب رواناب بالقوه و سپس آمار ثبت شده بارش و رواناب تحلیل شد. به این منظور، تهیه نقشه ضریب رواناب بالقوه حوزه به دو روش کاملاً مجزا، از مدل SCS و مدل WetSpa استخراج شده و مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه به منظور مقایسه



شکل (۲): نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز زیارت

محاسبات مربوط به نقشه کاربری اراضی نشان داد حدود ۷۸ درصد مساحت منطقه از کاربری جنگل، ۱۵ درصد کاربری مرتع، شش درصد کاربری زراعت و یک درصد کاربری مسکونی و شهری تشکیل شده است.



شکل (۳): نقشه بافت خاک حوزه آبخیز زیارت



تقسیم کردن نقشه رواناب بر نقشه بارندگی (R/P)، نقشه ضریب رواناب بالقوه منطقه ترسیم می‌شود (شکل ۶). این نقشه در نرم‌افزار ARC GIS و با عملگر Raster Calculator قابل ترسیم است. در ادامه به جزئیات روش تهیه خطوط همباران پرداخته شده است.

به منظور ترسیم نقشه خطوط همباران، از رابطه ۱ و ۲ استفاده شده است (دفتر مطالعات پایه آبخیزداری و منابع طبیعی استان گلستان، ۱۳۸۴)

$$P_{24}=57.093 \times e^{(-0.0002H)} \quad \text{رابطه ۱}$$

P24 متوسط بارندگی روزانه بر حسب میلی‌متر، H ارتفاع از سطح دریا بر حسب متر، e فشار بخار اشباع بر حسب میلی‌بار می‌باشد. مقدار فشار بخار اشباع، با داشتن متوسط درجه حرارت و با استفاده از جدول مربوطه (علیزاده، ۱۳۸۵) بر حسب میلی‌متر جیوه محاسبه می‌شود. با محاسبه فشار بخار اشباع و جایگذاری آن، رابطه ۱ به رابطه ۲ تبدیل شده و با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی در GIS، نقشه خطوط همباران منطقه ترسیم گردید.

$$P_{24}=57.093 \times 9.08^{(-0.0002H)} \quad \text{رابطه ۲}$$

روش‌ها، در ابتدا نقشه‌ها تهیه شده و پس از مقایسه میانگین و مقادیر حدی ضرایب بالقوه سیل‌خیزی آن‌ها، با قرار دادن نقشه‌ها در مدل WetSpa، تأثیر هر یک از این دو نقشه در نقاط بیشینه و حجم جریان مورد مقایسه قرار گرفت. ضمناً بایست اشاره کرد که در این مقاله از ضریب رواناب پتانسیل و ضریب سیل‌خیزی پتانسیل بطور معادل و مترادف استفاده شده است (بهره‌مند و محمودی ۱۳۹۱).

### تهیه نقشه ضریب سیل‌خیزی بالقوه با روش مبتنی بر شماره منحنی<sup>۱</sup>

در مطالعات و گزارشات متعددی در کشور از جمله صفاری و همکاران، ۱۳۹۲، مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶ و حسین‌زاده و ایمنی، ۱۳۹۷، نقشه ضریب رواناب بالقوه محاسبه شده بر اساس روش شماره منحنی (روش SCS) مبنای تحلیل سیل‌خیزی بوده است. در این مطالعات برای محاسبه رواناب بالقوه یا از متوسط بارندگی حداکثر روزانه (حداکثر ۲۴ ساعته) استفاده شده است یا از بارش حداکثر محتمل روزانه. برای محاسبه حداکثر بارش محتمل روزانه هم یا از روش‌های آماری و یا از روش‌های سینوپتیکی استفاده کرده‌اند (عباسی و قائمی، ۱۳۹۲). در تحقیق حاضر از روش سینوپتیکی محاسبه حداکثر بارش ۲۴ ساعته مطابق گزارش دفتر مطالعات پایه آبخیزداری و منابع طبیعی استان گلستان (۱۳۸۴) استفاده شد.

در روش تهیه نقشه ضریب سیل‌خیزی بالقوه با روش مبتنی بر شماره منحنی (روش SCS) ابتدا نقشه خطوط همباران ۲۴ ساعته از رابطه گرادیان بارندگی ترسیم می‌شود پس از آن نقشه ارتفاع رواناب (شکل ۵) منطقه نیز با استفاده از روش شماره منحنی تهیه شده و در نهایت با

<sup>۲</sup> . Saturated Vapor Pressure

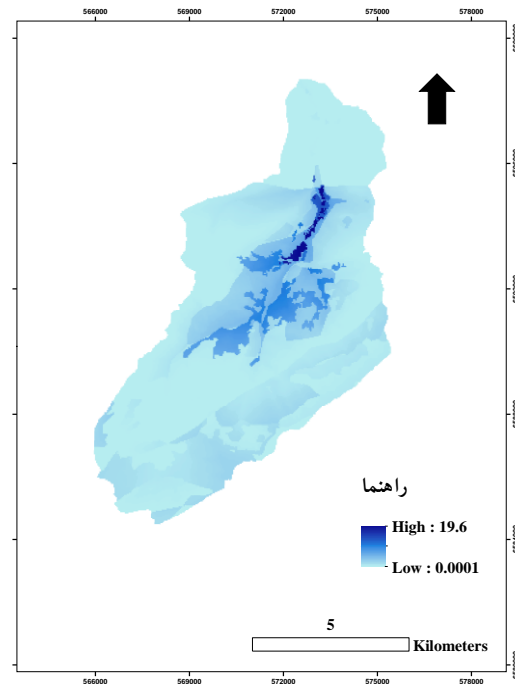
می‌شود (آب‌شناسان و همکاران، ۱۳۹۴، سالار جزی و همکاران، ۱۳۹۵).

$$S = (25400 / CN) - 254 \quad \text{رابطه ۴}$$

در این رابطه S حداکثر توان نگهداری مربوط به ربایش برگی<sup>۲</sup>، نفوذ در خاک و ذخیره سطحی برحسب میلی‌متر و CN مقدار شماره منحنی می‌باشد. CN یا شماره منحنی نیز اعدادی هستند که با استفاده از جدول ارائه شده توسط مهدوی (۱۳۸۸) با تعیین وضعیت هیدرولوژیکی خاک (در این تحقیق خاک رسی معادل گروه هیدرولوژیکی D، خاک لومی رسی معادل گروه هیدرولوژیکی C و خاک لومی شنی معادل گروه هیدرولوژیکی B در نظر گرفته شدند) و کاربری اراضی برای حالت‌هایی از خاک با رطوبت پیشین زیاد، متوسط و کم قابل محاسبه است که البته در این پژوهش نقشه شماره منحنی برای رطوبت متوسط خاک تهیه شد. پس از تعیین مقدار CN، مقدار S مشخص شده و با در نظر گرفتن نقشه خطوط همباران، نقشه ارتفاع رواناب محاسبه می‌شود (مقدار CN بین صفر تا ۱۰۰ بوده که عدد صفر به معنی عدم تولید رواناب و عدد ۱۰۰ به معنی تبدیل تمام بارندگی به رواناب می‌باشد (مهدوی، ۱۳۸۸)). در ادامه با تقسیم کردن نقشه سلولی ارتفاع رواناب بر ارتفاع بارش که بصورت روزانه تهیه شده‌اند، نقشه ضریب سیل‌خیزی بالقوه تولید می‌شود (شکل ۹).

#### تهیه نقشه ضریب سیل‌خیزی بالقوه با مدل WetSpa

تهیه نقشه ضریب رواناب بالقوه با کمک مدل توزیعی مکانی WetSpa دومین روشی است که در این پژوهش بکار گرفته شده است. مدل فیزیکی WetSpa که ویژه پیش‌بینی سیل توسعه یافته است (Liu و De Smedt، ۲۰۰۴) یک مدل کاملاً توزیعی



شکل (۵): نقشه ارتفاع رواناب روزانه (بر حسب سانتیمتر) حوزه آبخیز زیارت به روش SCS

در روش SCS ارتفاع رواناب ناشی از باران که براساس مشاهدات مختلف در اقلیم مختلف و در حوزه‌های معرف آمریکا توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا<sup>۱</sup> ارائه شده است از رابطه ۳ بدست می‌آید که در مورد بارش‌های برف نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرد و آب پایه را نیز در بر نمی‌گیرد (مهدوی، ۱۳۸۸).

$$P > 0.2s \quad \text{رابطه ۳} \quad Q = \frac{(P - 0.2s)^2}{(P + 0.8s)}$$

که در آن Q ارتفاع رواناب بر حسب میلی‌متر، P ارتفاع بارندگی ۲۴ ساعته بر حسب میلی‌متر و S میزان تلفات کل یا ذخیره سطحی است که از طریق رابطه ۴ محاسبه

<sup>۲</sup> . Interception

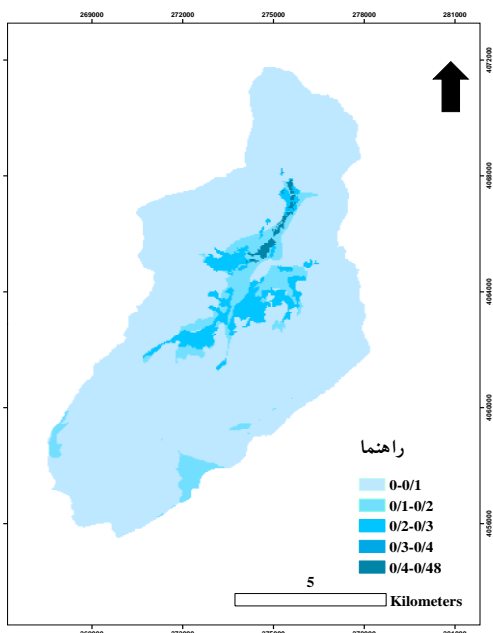
<sup>۱</sup> . SCS: Soil Conservation Service



## نتایج و بحث

### کلاس‌بندی و مقایسه نقشه‌های ضریب سیل‌خیزی بالقوه

پس از تهیه نقشه‌های ضریب رواناب بالقوه با دو روش (روش مبتنی بر CN و با مدل WetSpa) نقشه‌ها کلاس‌بندی شد تا مورد مقایسه قرار گیرند. براین اساس سعی شد کلاس‌بندی دو نقشه حتی‌الامکان مشابه باشد تا تفاوت‌های آن‌ها به صورت چشمی قابل درک باشد (شکل ۶ و ۷).



شکل (۶): نقشه ضریب رواناب بالقوه حوزه زیارت به روش SCS

بر مبنای محاسبه پویای ضریب رواناب می‌باشد. در مدل WetSpa ضریب رواناب بالقوه با استفاده از نقشه‌های شیب، کاربری و تیپ خاک با جداول موجود در منابع متعدد (Kirkby, ۱۹۷۸; Fetter, ۱۹۸۰; Chow و همکاران، ۱۹۸۸ و Browne, ۱۹۹۰) با توجه به نوع خاک، کاربری اراضی و شیب بصورت توزیعی مکانی محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است که در این مدل برای شبیه‌سازی آبنمود در هر گام زمانی بر اساس میزان رطوبت خاک این ضریب به مقدار ضریب رواناب واقعی تبدیل می‌گردد (بهره‌مند و محمودی، ۱۳۹۱; Liu و De Smedt, ۲۰۰۴). بنابراین می‌توان گفت بدلیل در نظر گرفتن میزان رطوبت در هر گام زمانی، این روش یک روش پویا قلمداد می‌شود. شرح کامل روش در مقاله بهره‌مند و محمودی (۱۳۹۱) آمده است.

### ارزیابی نتایج و برآورد میزان خطا

به منظور ارزیابی نتایج و برآورد میزان خطای رواناب شبیه‌سازی شده نسبت به رواناب مشاهداتی از معیار کارایی نش ساتکلیف استفاده شد. مقدار این معیار از منهای بینهایت تا یک متغیر است. هرچه مقدار این معیار به عدد یک نزدیکتر باشد، نشان دهنده‌ی عملکرد بهتر مدل موردنظر است. این معیار از طریق رابطه ۵ قابل محاسبه است (بهره‌مند و حاتمی گل‌مکانی، ۱۳۹۵).

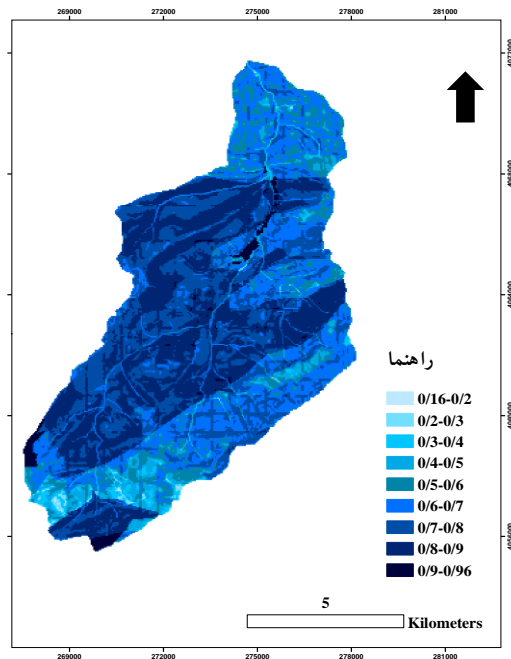
$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=0}^n (Q_o - Q_e)^2}{\sum_{i=0}^n (Q_o - \bar{Q}_o)^2} \quad \text{رابطه ۵}$$

در این رابطه  $Q_e$  دبی مشاهداتی،  $Q_o$  دبی شبیه‌سازی شده،  $\bar{Q}_o$  میانگین دبی مشاهداتی و  $n$  تعداد داده‌های دوره شبیه‌سازی است.

ارقام محاسبه شده از دو روش محاسبه کنیم، با نظر به اینکه مساحت منطقه در حدود ۹/۵۵۳ کیلومتر مربع است، اگر بارندگی سالانه در این منطقه ۴۵۲ میلی‌متر باشد، با احتساب میانگین وزنی ضریب رواناب بالقوه با مدل WetSpa مقادیر حجم سالانه رواناب ۲۳۳۱۶۹۶ متر مکعب (در حدود ۲/۳ میلیون متر مکعب) و با احتساب مدل مرسوم در کشور ۱۹۴۳۰۸ متر مکعب خواهد بود. بنابراین عدد محاسبه شده با مدل WetSpa حدوداً ۱۲ برابر عدد محاسبه شده با روش مرسوم شده در کشور بوده و تفاوت مقدار رواناب محاسبه شده از این دو روش بسیار قابل تأمل است. درباره دلیل اصلی این تفاوت در ادامه بحث خواهد شد. پس از محاسبه ضریب رواناب بالقوه به دو روش مذکور، ضریب رواناب واقعی (مشاهداتی) نیز بر اساس آمار مشاهداتی محاسبه گردید. آمار بارش و رواناب روزانه در طول دوره زمانی چهارساله مورد مطالعه، بررسی شد و ضریب رواناب متوسط روزانه با تقسیم مستقیم رواناب ثبت شده به بارش ثبت شده ۰/۴۷ برآورد گردید.

#### بررسی توزیع مکانی ضریب رواناب بالقوه

به منظور مقایسه مکانی و بررسی جزئیات نقشه‌های تهیه شده، پس از کلاس‌بندی نقشه‌های ضریب رواناب نسبی (شکل ۶ و ۷)، درصد سطح اختصاص یافته به هر کلاس محاسبه شده و بصورت نمودار شکل ۸ نمایش داده شدند. محققین متعددی به ارتباط نزدیک شماره منحنی و ضریب رواناب پرداخته و یا اشاره کرده‌اند (حسین‌زاده و ایمنی، ۱۳۹۷، صفاری و همکاران، ۱۳۹۲). نگارندگان این مقاله نیز چنین تصور می‌کنند که شماره منحنی بخودی خود می‌تواند نقش ضریب رواناب بالقوه را داشته باشد و محاسبه ضریب رواناب بالقوه از طریق فرمول رواناب SCS می‌تواند منجر به نتایج دور از انتظاری شود. از آنجایی که در روش SCS، ارتفاع رواناب با توجه به رابطه ۳ و بنابراین با استفاده از نقشه بارندگی محاسبه می‌شود، به منظور مقایسه و تحلیل بیشتر، نقشه CN منطقه به تنهایی (حذف اثر نقشه بارش و شیوه محاسبه ارتفاع رواناب) در این



شکل (۷): نقشه ضریب رواناب بالقوه حوزه زیارت تهیه شده با مدل WetSpa

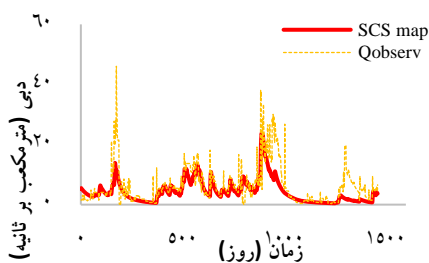
نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل نقشه‌های ضریب رواناب بالقوه حاصل از دو روش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول (۱): آنالیز ضریب سیل‌خیزی بالقوه حوزه زیارت در نقشه‌های تهیه شده با روش SCS و مدل WetSpa

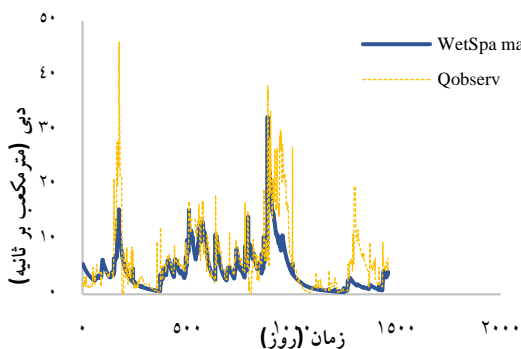
روش SCS	مدل WetSpa
بیشینه ضریب رواناب بالقوه	۰/۴۷۸
کمینه ضریب رواناب بالقوه	بسیار نزدیک به صفر
میانگین وزنی ضریب رواناب بالقوه	۰/۰۴۵
ضریب تغییرات ضریب رواناب بالقوه	۰/۰۶۵
	۰/۹۶
	۰/۱۶
	۰/۵۴
	۰/۱۳

به منظور درک بهتر اعداد و ارقام جدول ۱ اگر بخواهیم بارندگی و رواناب سالانه این منطقه را با اعداد و

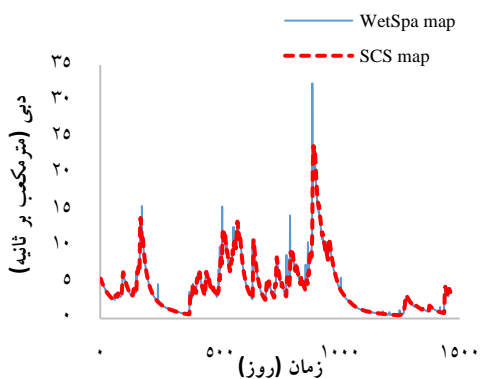




شکل (۸): مقایسه دبی خروجی مدل SCS و دبی مشاهداتی روزانه

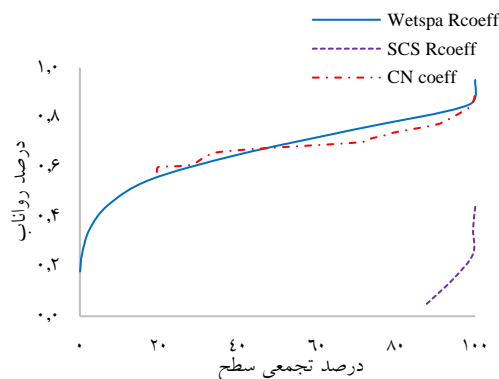


شکل (۹): مقایسه منحنی‌های ضریب رواناب- سطح حوزه زیارت تهیه شده با مدل SCS و مدل WetSpa در مقایسه با ضریب CN



شکل (۱۰): مقایسه دبی خروجی روزانه نقشه ضریب رواناب بالقوه مدل SCS و مدل WetSpa

مقایسه شرکت داده شد. همانطور که در شکل ۸ نمایش داده شده توزیع مکانی سیل خیزی بالقوه تهیه شده با مدل WetSpa و روش SCS تفاوت بسیاری دارد، این در حالیست که مقادیر CN به تنهایی و بدون محاسبه بارش و رواناب حداکثر روزانه به مقادیر ضریب رواناب پتاسیل مدل WetSpa نزدیکتر است. این نتایج همچنین حاکی از آن است که بهبود روش‌های تهیه نقشه بارندگی و رواناب بالقوه منطقه می‌تواند در بهبود نتایج راه‌گشا باشد.



شکل (۱۱): مقایسه منحنی‌های ضریب رواناب- سطح حوزه زیارت تهیه شده با مدل SCS و مدل WetSpa در مقایسه با ضریب CN

### مقایسه بیشینه و حجم جریان به صورت روزانه

به منظور درک بهتر تفاوت‌ها و مقایسه نتایج حاصل از دو روش با واقعیت، پس از تهیه نقشه‌ها، نقشه‌های ضریب رواناب بالقوه تهیه شده با مدل SCS و WetSpa در مدل WetSpa قرار داده شده و نتایج آن به صورت روزانه مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج کسب شده در تصاویر ۹ تا ۱۱ نمایش داده شده است.

WetSpa نتایج ضعیف‌تری نشان می‌دهد و نقشه شیب عرصه که از عوامل مؤثر در تولید رواناب است در این روش به کار گرفته نشده است، با این حال از امتیازات این روش استفاده از چندین عامل مهم و اثر گذار بر میزان سیل-خیزی همچون کاربری اراضی، بافت خاک از طریق محاسبه شماره منحنی است که همگی بسرعت برای یک منطقه مورد مطالعه قابل تعیین هستند. لازم به ذکر است اگرچه محاسبات مربوط به این روش نسبت به مدل‌های یکپارچه، بهبود یافته اما همچنان در تهیه برخی از اجزا، خصوصاً محاسبه نقشه بارش نیازمند بهبود است. اگرچه این مدل پویا نبوده و نسبت به مدل WetSpa یک مدل سنتی‌تر با نتایج ضعیف‌تر است اما در صورت بکارگیری صحیح همچنان برای مناطقی که فاقد آمار بوده و اطلاعات کمی از منطقه در دسترس است قابل استفاده است (نوحه‌گر و همکاران، ۱۳۹۳). در خصوص مدل WetSpa نیز همانطور که از نتایج بر می‌آید در شبیه‌سازی‌های مربوط به حجم جریان و نقاط بیشینه جریان (سیل) با استفاده از نقشه ضریب سیل‌خیزی بالقوه تهیه شده توسط خود مدل، نسبت به مدل SCS توانایی بیشتری داشته است که البته توانایی مدل WetSpa در شبیه‌سازی نقاط بیشینه جریان در بسیاری از مطالعات اثبات شده است (کبیر، ۱۳۸۹، یعقوبی و همکاران، ۱۳۸۹، Zeinivand و De Smedt، ۲۰۰۹). بعلاوه از مزایای مدل WetSpa در تهیه نقشه سیل‌خیزی، کاستن نظرات کارشناسی است (بهرمند و محمودی، ۱۳۹۱). همچنین از آنجایی که وقوع سیل‌ها نیازمند بررسی در گام‌های زمانی کمتر از روز است و همانطور که قبلاً هم گفته شد ضریب رواناب بطور قابل توجهی متأثر از رطوبت خاک است و مدل WetSpa که یک مدل توزیعی و پویاست، قادر بوده در هرگام از شبیه‌سازی‌ها با افزودن اثر رطوبت خاک تغییرات جدید را اعمال کرده و نتایج منطقی‌تری را ارائه کند. البته هدف از

همانطور که در جدول شماره ۲ نشان داده شده علاوه بر اینکه نتایج کلی شبیه‌سازی شده با مدل WetSpa عملکرد بهتری دارد، تصاویر ۹ تا ۱۱ نیز بیانگر این مطلب است که نقشه ضریب سیل‌خیزی تهیه شده به روش مرسوم در کشور قادر به شبیه‌سازی جریان در نقاط پیک جریان نبوده که این مسئله در مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده با مدل SCS و WetSpa به خوبی نمایان شده و ملموس است.

جدول (۲): مقایسه دبی خروجی حاصل از نقشه‌های تهیه شده با مدل WetSpa و SCS

مقدار	معیار
۰/۴۴۳	NSS روزانه مدل SCS با واقعیت
۰/۴۴۸	NSS روزانه مدل WetSpa با واقعیت

### نتیجه‌گیری

همانطور که در نتایج به چشم می‌خورد بیشترین ضریب سیل‌خیزی بالقوه مربوط به مناطق شهری و مسکونی است که تأکیدی بر نقش انسان در طبیعت و کاربری نامناسب اراضی‌ست (اعظمی‌راد و همکاران، ۱۳۹۷) و توسعه سکونتگاه‌ها و مناطق مسکونی گسترش هرچه بیشتر پهنه‌های آسیب‌پذیر سیل را به همراه دارد (عبدالله‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). بنابراین با توجه به سیل-خیزی بالقوه زیاد، حساسیت، خطر و خسارت سیل در مناطق شهری پیشنهاد می‌شود که اولویت‌های عمرانی جهت توسعه فضای سبز و ساماندهی رواناب شهری به این مناطق تعلق گرفته و سرمایه‌گذاری‌های مرتبط با کاهش سیل‌خیزی در این مناطق به صورت جدی‌تری دنبال شود (بهرمند و حاتمی‌گل مکانی، ۱۳۹۸). در خصوص روش-های بکار گرفته شده در تهیه نقشه ضریب سیل‌خیزی بالقوه در این تحقیق نیز همانطور که از نتایج کسب شده قابل مشاهده است اگرچه مدل SCS نسبت به مدل



بینی هیدروگراف سیل توسعه یافته در سایر طرح‌های پیش‌بینی سیل شرکت‌های آب منطقه‌ای، اداره‌های منابع طبیعی و سایر شرکت‌ها و سازمان‌های وابسته در حوزه‌هایی با شرایط مشابه با حوزه زیارت مورد استفاده قرار گیرد.

### تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی با همین عنوان است. با تشکر از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان که هزینه‌های مربوط به این طرح را تأمین کرده است.

این مقاله نقد شیوه مرسوم در کشور بوده و مدل WetSpa صرفاً جهت کمک به این نقد و بررسی بکار گرفته شد. در نهایت لازم به ذکر است در تهیه نقشه‌های مهمی همچون نقشه‌های سیل‌خیزی بالقوه از طریق روش‌های سنتی مرسوم تجدید نظرهای لازم است صورت گیرد و با آموزش مسئولین و کارشناسان ذیربط حتی الامکان استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی و پویا ترویج یابد. چراکه مدل‌ها معمولاً برای مدیران و کارشناسان این امکان را فراهم می‌نماید که قبل از اجرای هر گونه عملیات، مناطق مختلف بالقوه سیل را شناسایی کنند. بنابراین توصیه می‌شود مدل WetSpa بعنوان مدلی که با هدف پیش

### منابع

- آب‌شناسان، ز. خدانشناس، س. ر. علیزاده، ا. داوری، ک. و اکبری، م. ۱۳۹۴. تعیین مکان مناسب جهت جمع‌آوری رواناب باران در یک حوضه؛ مطالعه موردی: حوزه آبخیز دو آبی کلات. مهندسی آبیاری و آب ایران. ۵: ۱۹، ۱۰۸-۹۴.
- اعظمی‌راد، م. قهرمان، ب. و اسماعیلی، ک. ۱۳۹۷. بررسی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه آبخیز کشف‌رود مشهد بر اساس روش SCS در محیط GIS. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. ۹: ۱۷. ۳۸-۲۶.
- بهره‌مند، ع. ر. و حاتمی گل‌مکانی، پ. ۱۳۹۸. مقایسه نقشه پتانسیل سیل‌خیزی حوزه آبخیز زیارت گرگان، به دو روش مبتنی بر CN و روش مبتنی بر نقشه ضریب رواناب پتانسیل مدل WetSpa. گزارش طرح تحقیقاتی شماره ۳۸-۳۲۳-۹۳، انتشارات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۴۵ ص.
- بهره‌مند، ع. ر. و حاتمی گل‌مکانی، پ. ۱۳۹۵. معرفی نرم‌افزار آموزشی محاسبه نیم‌رخ سطح آب در کانال‌های روباز. حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی. ۵ (۲). ۵۳-۵۹.
- بهره‌مند، ع. ر. و محمودی، ع. ۱۳۹۱. ارزیابی توزیع مکانی توان سیل‌خیزی حوزه آبخیز لتیان مبتنی بر تحلیل نقشه ضریب رواناب. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۶ (۱۹). ۳۶-۲۹.
- حسین‌زاده، م. م. ایمنی، س. ۱۳۹۷. برآورد ارتفاع رواناب با استفاده از روش شماره منحنی و ابزار Arc- CN Runoff در حوزه آبخیز افجه. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۵ (۲). ۹۱-۶۹.
- دفتر مطالعات پایه اداره آبخیزداری و منابع طبیعی استان گلستان، ۱۳۸۴. مطالعات پایه حوزه آبخیز زیارت. ۲۲۳ صفحه.

رجبی، م. حجازی، م. ع. روستایی، ش. و عالی، ن. ۱۳۹۶. پهنه‌بندی آسیب‌پذیری مخاطرات طبیعی و ژئومورفولوژیکی سکونتگاه‌های روستایی شهرستان سقز (مطالعه موردی: سیل و زلزله). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. ۷ (۲). ۱۸۳-۱۹۵.

سالارحزلی، م. قربانی، خ. و عبدالحسینی، م. ۱۳۹۵. برآورد هیدروگراف رواناب در حوضه فاقد آمار بدون استفاده از داده‌های پوشش خاک و کاربری اراضی. مهندسی آبیاری و آب ایران. ۷: ۲۶، ۴۶-۶۱.

صفاری، ا. قنواتی، ع. بهشتی جاوید، ا. و حسینی، ه. ۱۳۹۲. برآورد و پهنه‌بندی رواناب ناشی از بارش‌های حداکثر ۲۴ ساعته با استفاده از روش SCS-CN (حوزه سد یامچی اردبیل). جغرافیا. ۱۱ (۳۸). ۲۰۱-۲۱۷.

عباسی، ا. و قائمی، ه. ۱۳۹۲. برآورد حداکثر بارش محتمل به روش سینوپتیکی در حوزه آبخیز رودخانه کرج. جغرافیا و برنامه‌ریزی. ۱۷ (۴۳). ۱۴۵-۱۶۸.

عبدالله‌زاده، ع. اونق، م. سعدالدین، ا. و مصطفی‌زاده، ر. ۱۳۹۵. گزارش فنی: محدودیت توسعه کاربری سکونتگاهی ناشی از سیلاب و ضریب رواناب در چارچوب آمایش سرزمین، مطالعه موردی: حوزه آبخیز زیارت گرگان. مهندسی و مدیریت آبخیز. ۸ (۲). ۲۳۵-۲۲۱.

علیزاده، ا. ۱۳۸۵. اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد. ۹۴۲ ص.

کبیر. آ. ۱۳۸۹. کاربرد و توسعه مدل توزیعی مکانی WetSpa در شبیه‌سازی رواناب در حوزه آبخیز گرگانرود، استان گلستان. رساله دکتری آبخیزداری، دانشگاه آزاد علوم و تحقیقات. ۲۲۰ ص.

لاجوردی، م. خالدی، ش. و ستاری، ش. ۱۳۹۲. پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه آبخیز مردق چای (شرق آذربایجان). جغرافیا و برنامه‌ریزی. ۱۷ (۴۴). ۲۵۵-۲۷۷.

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

مهدوی، م. ۱۳۸۸. هیدرولوژی کاربردی، جلد دوم. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۴۱ ص.

نوحه‌گر، ا. کاظمی، م. قصردشتی روشن، م. و رضایی، پ. ۱۳۹۳. بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر پتانسیل سیل‌خیزی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز تنگ بستانک شیراز). پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۲ (۵). ۲۸-۴۱.

یعقوبی، ف. بهره‌مند، ع. ر. و نورا، ن. ۱۳۸۹. تهیه نقشه ضریب پتانسیل رواناب حوضه چهلچای با استفاده از مدل WetSpa. ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس. نور.

Browne, F. X. 1990. Storm water management, Standard Handbook of Environmental Engineering, R. A. Corbitt (ed.), McGraw-Hill, New York. 424 pp.



Chow, V. T. Maidment, D. R. and Mays, L.W. 1988. Applied Hydrology, McGrawHill, New York.

Fetter, C. W. 1980. Applied Hydrogeology, Charles E. Merrill Publishing Co, Columbus, Ohio. 488 pp.

Kirkby, M. J. 1978. Hill Slope Hydrology, John Wiley and Sons, Ltd. 235 P.

Kumar, R. Chatterjee, C. Panigrihy, N. Patwary, B. C. and Singh, R. D. 2003. Development of Regional Flood Formulae using L-moments for Gauged and Ungauged Catchments of North Brahmaputra RiverSystem. IE (I) Journal, 84 P.

Liu, Y. B. De Smedt, F. 2004. Flood modeling for complex terrain using GIS and remote sensed information, Water Resources Management, 19(5), 605-624.

Liu, Y. B. De Smedt, F. 2007. WetSpa Model Manual, Department of Hydrology and Hydrolic engineering, Vrije Universities Brussels, Belgium 135P.

Zeinivand, H. and De Smedt.,2009. Hydrological modeling of snow accumulation and melting on river basin scale. Water Resource Management, 23:2271-2287.



## Evaluation of the potential flooding of Ziarat watershed by CN-based method and WetSpa hydrological model

Abdolreza Bahremand<sup>1</sup>, Parvaneh Hatami Golmakani<sup>2</sup>

### Abstract

Floods are one of the natural disasters that cause many financial damage and loss of life in worldwide. In general, it could be said that the runoff coefficient is the best indicator which can represent the flooding situation in the watershed. Runoff coefficient is the ratio of rainfall that flows on the ground and its value varies from zero to one. Therefore, providing an appropriate map with most similarity to the reality can be the facilitator of many flood control planning. For this purpose, the runoff coefficient map was compiled by two methods and then was compared. The first method is an experimental and CN-based method that is common among researchers and the second one is using the WetSpa spatially distributed hydrological model. Therefore, the average weight of flooding potential coefficient map which prepared by SCS method was 0.045 and by WetSpa model was 0.714. Finally, for understanding the results of these two methods, the daily average of flooding potential coefficient was compared using daily rainfall and runoff data recorded over a four years period. Since the estimated runoff coefficient was 0.47, which is closer to the results of the WetSpa model, so the WetSpa model performed better. However, due to the fact that each of two methods has unique features (for example, the WetSpa model needs more data and details but on the contrary, SCS model needs less data and details), both of these has different uses which can be effective in certain situations.

**Key words: potential runoff coefficient, SCS model, curve number, rainfall-runoff model, spatially distributed model**

---

<sup>1</sup>. Associate Professor in Department of Watershed Management Science and Engineering in Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. 09133489801. [abdolreza.bahremand@yahoo.com](mailto:abdolreza.bahremand@yahoo.com) (corresponding author).

<sup>۲</sup>. PHD candidate of Watershed Management Science and Engineering in Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. 09381079066. [hatamiparvane@gmail.com](mailto:hatamiparvane@gmail.com).