



شرکت آب منطقه‌ای مازندران
کمیته تحقیقات و پژوهش‌های کاربردی

خلاصه گزارش طرح
محاسبه ضریب رواناب سطحی با دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله در حوضه‌های شهسادی استان مازندران (شرق تا غرب)

کد طرح

MAW-91024

پژوهشگر

مهندس بهروز محسنی (دانشگاه پیام نور گلستان)

ناظران طرح

دکتراسین فضل‌اولی و گروه آب سطحی و قعر مطالعات پایه

تاریخ انتشار

پاییز ۱۳۹۸

شناسنامه طرح

این گزارش نتیجه اجرای طرح تحقیقاتی با عنوان «محاسبه ضریب رواناب سطحی با دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله در حوضه‌های پیشنهادی استان مازندران (شرق تا غرب)» می‌باشد که پیشنهاد انجام آن پس از داوری و بررسی در کمیته تحقیقات آب منطقه‌ای مازندران مورد تایید قرار گرفت.

قرارداد این طرح در تاریخ ۹۳/۰۳/۰۳ به شماره ۵۳۹۰/۵۰۰ بین شرکت آب منطقه‌ای مازندران به عنوان کارفرما و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به عنوان مجری (مشاور) تنظیم و با حمایت و پشتیبانی مالی از محل طرح‌های عمرانی (تملک دارایی و سرمایه‌ای) و اعتبارات جاری شرکت آب منطقه‌ای مازندران انجام شده و در تاریخ ۹۸/۷/۳۰ خاتمه یافته است.

پژوهشگر این طرح آقای مهندس بهروز محسنی بوده، داوری نهایی طرح توسط آقای دکتر رامین فضل‌اولی و گروه آب سطحی دفتر مطالعات پایه انجام گردیده است.

کمیته تحقیقات و پژوهش‌های کاربردی
شرکت آب منطقه‌ای مازندران

محاسبه ضریب رواناب سطحی با دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله در حوضه‌های پیشنهادی استان مازندران (شرق تا غرب)

پژوهشگران: بهروز محسنی، هادی رزاقیان، عبدالله درزی نفت‌چالی و اسماعیل نیکزاد
کد طرح: MAW-91024

چکیده

برای انجام اقدامات آبخیزداری و برنامه‌ریزی مدیریت بهینه منابع آب بویژه در حوضه‌های آبریز کوچک، برآورد دقیق رواناب یک حوضه براساس میزان تغییر ضریب رواناب با دوره بازگشت‌های مختلف از اهمیت زیادی برخوردار است. در این تحقیق ضریب رواناب با دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله برای حوضه‌های پیشنهادی (با مساحت غالب تا ۵۰ کیلومتر مربعی) استان مازندران با استفاده از سه روش استدلالی، SCS و سیپرس-کریک برآورد شد. از نرم‌افزار GIS برای هم‌پوشانی لایه‌ها و تحلیل اطلاعات حوضه استفاده شد. روش استدلالی به دلیل عدم تطابق با جدول چاو و محاسبه ضریب رواناب کمتر از واقعیت در اکثر حوضه‌های مطالعاتی، نتایج قابل قبولی را ارائه نداد. تطبیق ضرایب محاسباتی با یافته‌های دیگر محققین بیانگر دقت روش SCS در محاسبه ضریب رواناب می‌باشد. از طرفی تغییر در کاربری اراضی در برخی دیگر از حوضه‌های مطالعاتی و تاثیر آن بر شماره منحنی حوضه‌ها، سبب تغییر در افزایش یا کاهش یک‌باره ضریب رواناب در روش SCS شد. روش سیپرس-کریک نیز به دلیل قرابت با روش SCS کارایی لازم را در برخی از حوضه‌ها نشان داد، به طوری که در تمامی حوضه‌ها، در مقایسه با روش شماره منحنی، ضرایب محاسباتی کمی بیشتر برآورد شد. براساس نتایج حاصله از دو روش قابل قبول در این مطالعه (SCS و سیپرس کریک)، کمترین ضریب رواناب با دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله، مربوط به حوضه ۱۰ و بیشترین آن نیز به زیرحوضه شماره ۲۹ و ۳۷ مربوط می‌باشد.

کلید واژه‌ها: آبخیزداری، کاربری اراضی، دوره بازگشت، GIS، SCS و سیپرس-کریک.

مقدمه

آب منشا حیات و تداوم دهنده زندگی است. بیشتر کشورهای جهان، توسعه شهری روز افزونی پیدا کرده‌اند. یکی از مشکلات عمده در این جوامع و مراکز صنعتی و شهری، رواناب ناشی از بارندگی و ایجاد گرفتگی (انسداد) در معابر و در نهایت وقوع سیلاب است. در دنیای امروز ما، که زندگی شهری خسارات جبران‌ناپذیری را به طبیعت وارد آورده و بسیاری از منابع طبیعی را در معرض تهدید قرار داده است، مدیریت آب‌های سطحی از اهمیت خاصی برخوردار است. آبراهه‌ها و مسیل‌های شهری نقش مهمی در مدیریت آب‌های روان، هدایت قنوات و نیز جمع‌آوری آب‌های سطحی ناشی از نزولات آسمانی بر عهده دارند. بنابراین نگاه ویژه به این آبراهه‌ها و مسیل‌ها، راندمان استفاده از رواناب‌ها را افزایش داده و از ریسک بروز مشکلاتی چون سیل پس از ریزش ناگهانی باران، به‌علت هدایت مدیریت‌شده آب به مجاری پیش‌بینی‌شده، می‌کاهد. با توجه به اینکه مساله پیش‌بینی و برآورد رواناب حاصل از بارش‌های جوی و درک کمی از فرایندهای مختلف تولید آن به‌عنوان یکی از مباحث مهم، اساسی و بنیادی در دانش هیدرولوژی به‌شمار می‌رود، لذا دستیابی به میزان کمی و کیفی آن با نگرش سیستمی از این نظر حائز اهمیت است که پایه و مبنای مطالعاتی طرح‌های عمرانی را در زمینه‌های مختلف توسعه و بهره‌برداری در منابع آب و سازه‌های آبی یا سایر عرصه‌های محیطی در حوضه‌های آبریز تشکیل می‌دهد. جهت برآورد رواناب سطحی روش‌های مختلفی وجود دارد از جمله این روش‌ها برآورد رواناب سطحی با استفاده از نفوذپذیری خاک، روش استدلالی، روش‌های تجربی همچون روش مبتنی بر سطح حوضه، روش کریگر، رابطه دیکن، منحنی پوش، رابطه تجربی فولر و روش کوک و همچنین برآورد رواناب به‌وسیله شماره منحنی (CN) می‌باشد.

یکی از پارامترهای مهم موجود در اغلب روش‌های برآورد رواناب سطحی و دبی حداکثر سیلاب در پروژه‌های مختلف آبخیزداری و مهار سیلاب، ضریب رواناب سطحی است. هرگاه شدت بارندگی از ظرفیت نفوذ خاک حوضه آبریز بیشتر باشد، بخشی از آب حاصل از بارندگی در سطح حوضه باقی می‌ماند، این آب پس از پرکردن گودی‌های سطح زمین در امتداد شیب به راه می‌افتد و از طریق رودخانه اصلی از حوضه خارج می‌شود و به این بخش از بارندگی که می‌توان مقدار آن را در رودخانه اصلی اندازه‌گیری کرد رواناب سطحی می‌گویند. با آنکه ضریب رواناب یا به‌عبارتی دیگر ضریب جریان حوضه، بیانگر درصدی از میزان بارندگی متوسط حوضه آبریز است که تبدیل به رواناب می‌شود و از طریق تقسیم ارتفاع رواناب بر ارتفاع بارندگی متوسط حوضه آبریز تعیین می‌شود؛ مقدار

ضریب جریان در حوضه‌های مختلف متفاوت است و بستگی به عوامل متعددی چون شکل، مساحت، شیب و نوع پوشش حوضه دارد که هر کدام از این عوامل می‌توانند بر میزان حجم رواناب خروجی از حوضه آبریز تاثیر گذارند. با این حال بارندگی عمده‌ترین عاملی است که روی رواناب موثر است. برای انجام اقدامات آبخیزداری و برنامه‌ریزی مدیریت بهینه منابع آب به‌ویژه در حوضه‌های آبریز کوچک، برآورد دقیق رواناب یک حوضه در مدیریت منابع آب (تهیه و تنظیم دقیق تر بیلان منابع آبی) براساس میزان تغییر ضریب رواناب با دوره بازگشت‌های مختلف از اهمیت زیادی برخوردار است. چرا که با افزایش دوره بازگشت نرخ تغییر در میزان رواناب به آرامی کاهش می‌یابد. ایران بر خلاف بسیاری از کشورهای آسیا که رودهای دائمی و پرآب دارند، از داشتن رودهای بزرگ متعدد محروم است و این امر نتیجه مستقیم شرایط خشک و نامساعد آب و هوایی است.

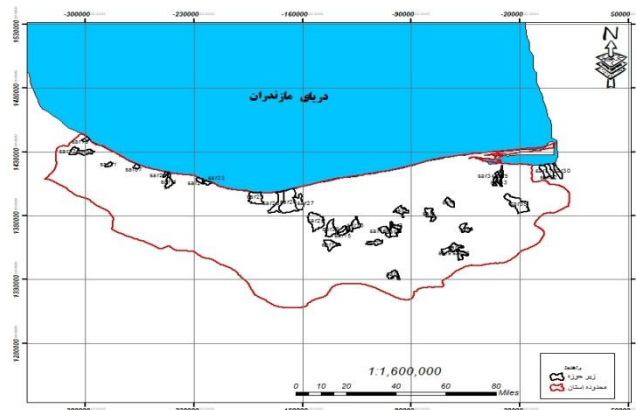
با این همه، رودهای دائمی یا فصلی بسیاری در ایران جریان دارند که به دریا‌های مجاور یا کویرها و دریاچه‌های داخلی می‌ریزند. وقوع پدیده‌های طبیعی چون سیل و خشکسالی تاکنون موجب بروز خسارات زیادی به کشور شده است. آمار و تحقیقات نشان می‌دهد، سالانه حدود ۱۹۶ میلیون نفر در بیش از ۹۰ کشور دنیا در معرض خطر وقوع سیل قرار دارند (۲۰۰۴، UNDP). بر این اساس پدیده سیل یکی از مخاطرات طبیعی ایران است که به فراوانی در نقاط مختلف کشور می‌توان شاهد رخداد آن بود. به‌عبارتی دیگر ۵۵ درصد از سطح کشور در تولید رواناب مستقیم و سریع نقش داشته که حدود ۴۲ میلیون هکتار آن دارای شدت سیل خیزی متوسط تا خیلی زیاد است (احمدی ایلخچی و همکاران، ۱۳۸۱). طبق بررسی‌های به‌عمل آمده از سیل‌های مخاطره‌آمیز در دهه‌های گذشته (۱۳۸۰-۱۳۳۰)، تعداد ۳۷۰۰ سیل مخاطره‌آمیز در ایران به ثبت رسیده است (خسروشاهی، ۱۳۸۱). آمارهای منتشر شده توسط سازمان ملل متحد نیز نشان می‌دهد در یک دوره ۲۵ ساله (۱۹۹۹-۱۹۶۷) در کل دنیا، ۱۳۸۵ مورد سیل مهم اتفاق افتاده است که شامل ۱۳/۵ درصد کل بلایای طبیعی رخ داده در کل دنیا است (معاونت پژوهش و مطالعات پایه مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۸۵). همچنین، در پنج دهه گذشته روند افزایش سیل نشان می‌دهد که تعداد وقوع سیل در دهه ۸۰ نسبت به دهه ۴۰ کمابیش ۱۰ برابر شده است و به‌عبارتی ۹۰۰ درصد افزایش یافته است (عبدی، ۱۳۸۵).

بنابراین با توجه به مسئله سیل و سیل‌خیزی و جلوگیری از خسارات ناشی از آن، دانستن میزان روانابی که تبدیل به سیلاب می‌شود، الزامی است که بایستی این میزان سیل‌خیزی براساس رواناب‌های

حاصله از آن برآورد شود تا این که رواناب را بتوان ذخیره و برای اهداف بعدی استفاده نمود یا این که آنرا از طریق سازه‌های آبی و آبخیزداری بتوان هدایت و کنترل نمود تا بتوان از بروز خسارت‌های جبران‌ناپذیر به خصوص در حوضه‌هایی که از مساحت کمتری برخوردار هستند پیشگیری نمود. روش‌های متعددی برای محاسبه رواناب و ضریب ناشی از آن براساس بارندگی مورد استفاده قرار می‌گیرد که بیشترین این روش‌ها بر روابط آماری بین رواناب و بارندگی استوارند. هدف از انجام این پژوهش، محاسبه ضریب رواناب در حوضه‌های آبریز با سطح کمتر از ۵۰ کیلومتر مربع (۵۰۰۰ هکتار) می‌باشد به طوری که تعیین شود به عنوان مثال در حوضه‌ای با مساحت ۱۰ کیلومتر مربع در نقاط یک پارچه استان (شرق، غرب، دشت‌ها و ...) چقدر سیل براساس میزان دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله تولید می‌شود تا تهیه و تنظیم دقیق‌تر بیان منابع آبی امکان‌پذیر شود. لذا همان‌گونه که ذکر شد با توجه به اهمیت جریان سطحی و بعضی از مهمترین عوامل موثر در تولید رواناب که از درجه اهمیت بیشتری برخوردارند همانند خاک‌شناسی، شیب، نفوذپذیری، کاربری اراضی، پوشش گیاهی و غیره، این تحقیق در قالب تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز در محیط GIS انجام می‌پذیرد.

مواد و روش‌ها

بر اساس موضوع طرح مورد مطالعه، اولویت انتخاب حوضه‌ها مساحت آن‌ها بوده است. به طوری که به دلیل کاربردی شدن نتایج حاصل از این طرح و با توجه به دقت نظر و پیشنهاد نهایی مدیریت و کارشناسان مطالعات پایه شرکت آب منطقه‌ای مازندران، با در نظر گرفتن اهمیت برخی از حوضه‌های شرق تا غرب استان، تعداد ۷ زیرحوضه با مساحت بیشتر از ۵۰ کیلومتر مربع نیز به دلیل سهم بسزای آن‌ها در این گونه مطالعات لحاظ شدند. همچنین با توجه به سوابق مطالعاتی و پژوهش‌هایی که در گذشته انجام شد، حوضه‌هایی که دارای اطلاعات دقیق و جامع از لحاظ فیزیوگرافی و هواشناسی و هیدرولوژی می‌باشند، در اولویت بودند. در نهایت، همان‌گونه که ذکر شد طبق نقاط پیشنهادی دفتر مطالعات تعداد ۳۸ زیرحوضه که پراکنش خوبی از لحاظ جغرافیایی (از شرق تا غرب مازندران) را دارا بودند، در محیط GIS، انتخاب شدند که موقعیت هر یک از آنها در شکل ۱ جانمایی شده است. زیرحوضه‌های مورد مطالعه، شامل حوضه‌های شرق تا غرب استان مازندران می‌باشند.



شکل ۱- موقعیت زیرحوضه‌های مورد مطالعه در استان مازندران

در این تحقیق با در نظر گرفتن بعضی از عوامل موثر بر تولید رواناب که از اهمیت بیش‌تری برخوردارند از جمله خصوصیات فیزیوگرافی حوضه (مساحت، طول، شیب، ارتفاع و غیره)، اطلاعات لیتولوژی، پوشش گیاهی، پوشش خاک و غیره در محیط GIS لایه‌های اطلاعاتی خاصی طراحی و بعد از تلفیق لایه‌ها ضریب رواناب در سطح کل حوضه‌های مورد نظر محاسبه شد.

همان‌طور که عنوان شد، رواناب سطحی به آن قسمت از بارندگی اطلاق می‌شود که روی زمین به‌طرف آبراهه‌ها، دریاچه‌ها یا دریاها به جریان می‌افتد. طراحی کانال‌ها یا سازه‌هایی که بتوانند جریان‌های آب سطحی را از خود عبور دهند، مستلزم تعیین حداکثر دبی رواناب، حجم رواناب، حجم آب جاری شده و نیز توزیع زمانی دبی آب است. عوامل موثر بر رواناب را می‌توان به عوامل مربوط به بارندگی و عوامل مربوط به حوضه آبریز تقسیم نمود. عوامل بارندگی شامل مدت بارندگی، شدت بارندگی، احتمال وقوع یا فراوانی بارندگی که عکس دوره بازگشت آن می‌باشد. عوامل حوضه آبریز نیز مشتمل بر اندازه و شکل حوضه، جهت حوضه از لحاظ حرکت جریان‌های آب و هوایی، پستی و بلندی، وضعیت زمین‌شناسی و پوشش گیاهی سطح حوضه می‌باشد. در این‌جا ۳ روش برای تعیین حداکثر رواناب که به‌منظور طراحی سازه‌های آبخیزداری به‌کار می‌روند ارائه شده است. به‌دلخواه می‌توان هر یک از این روش‌ها را به کار برد یا آن‌که از هر سه روش استفاده کرد و یکی به‌عنوان کنترل دیگری به‌کار گرفته شود. همچنین در این مطالعه، برای تطابق روش‌های موردنظر از ضریب تبیین موتوویلوپ و نرم‌افزار SMADA استفاده شد.

روش استدلالی یا منطقی^۱ در تعیین مقدار ضریب رواناب

از جمله روش‌هایی که برای محاسبه ضریب رواناب با در نظر گرفتن دوره بازگشت ۲۵ ساله مطرح است روش استدلالی است. این روش معمولاً برای حوضه‌های کوچک با مساحت تا حدود ۱۰۰۰ هکتار (۱۰ کیلومتر مربع) و حداکثر تا ۵۰۰۰ هکتار (۵۰ کیلومتر مربع) به کار می‌رود و در آن فرض شده است که باران با شدت ثابت در سطح حوضه می‌بارد، لذا ساده بودن کاربرد آن باعث شده که به‌طور وسیعی در جهان مخصوصاً در مورد هیدرولوژی شهری و امور اجرایی آبخیزها مورد استفاده قرار گیرد. این روش از لحاظ نظری ممکن است فقط در شرایط ویژه‌ای که برای آن بنیان شده است، کاربرد داشته باشد. هر چند این روش دارای مبانی نظری نیست، لیکن می‌توان آن را به‌عنوان ابزاری برای برآورد رواناب‌های حداکثر در حوضه‌های کشاورزی کوچک که معمولاً در مورد آن‌ها ارقام هیدرولوژیکی کافی وجود ندارد، به کار برد. رایج‌ترین روش محاسبه‌ی دبی اوج رواناب سطحی در حوضه‌های کوچک، روش منطقی یا استدلالی است. حداکثر میزان رواناب^۲ زمانی حاصل می‌شود که دوره بارندگی معادل با زمان تمرکز در حوضه آبریز باشد. این مفهوم را از نظر ریاضی می‌توان به‌شرح زیر و به‌عنوان رابطه استدلالی یا منطقی ارائه نمود:

$$Q_p = \frac{1}{360} C.I.A \quad (1)$$

که در آن: Q_p حداکثر میزان رواناب یا دبی اوج سیل (متر مکعب در ثانیه) با دوره بازگشتی برابر با دوره بازگشت رگبار (در این تحقیق دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله مدنظر است)، C ضریب رواناب (بدون بُعد، مثبت و کوچکتر از واحد) ثابت در طول بارش، I حداکثر شدت بارندگی در زمان تمرکز (میلی متر بر ساعت) و A مساحت اراضی حوضه آبریز (هکتار) می‌باشد.

زمان تمرکز^۳ طبق تعریف به دوره زمانی بین شروع بارندگی و لحظه‌ای گفته می‌شود که کلیه محدوده مورد نظر در بالادست نقطه خروجی رواناب تولید می‌نماید (زمان تمرکز یک حوضه عبارت است از مدت زمان لازم برای آن‌که آب بتواند از دورترین نقطه (از نظر مدت جریان آب) حوضه جریان پیدا کرده و به محل خروجی حوضه برسد). طبق تعاریف بیان شده رابطه تجربی زیر^۴ ارائه شده است:

1. Rational Method
2. Peak Runoff Rate
3. Time of concentration
4. Kirpich (1940)

$$T_c = 0.0195(K)^{0.77} = 0.0195L^{0.77} S^{-0.385} \quad (2)$$

که در آن: $S = \frac{H}{L}$ و $K = \frac{L}{\sqrt{S}}$ (شیب بر حسب متر بر متر)، T_c زمان تمرکز (دقیقه)، L حداکثر طول آبراهه در حوضه آبریز (متر) و H اختلاف ارتفاع بین دورترین نقطه تا محل خروجی (متر) می‌باشد.

در این روش روابط و جداول ویژه‌ای برای تخمین زمان تمرکز و ضریب رواناب حوضه وجود دارد. Chow مقدار تقریبی ضریب رواناب را با توجه به وضعیت پوشش سطح زمین، کاربری اراضی (اعم از مسکونی، کشاورزی، جنگل و مرتع) و میزان شیب متوسط سطح زمین به صورت یک جدول و همچنین براساس رابطه زیر ارائه نموده است. به عنوان مثال در مناطق شهری می‌توان ضریب رواناب سطحی را براساس رابطه زیر به دست آورد:

$$C = (5.85 \times 10^{-7}) I^3 - (7.8 \times 10^{-5}) I^2 + 0.00774 I + 0.04 \quad (3)$$

ضمناً ضریب رواناب یک مقدار پایه دارد که بعد از تعیین مقدار پایه با توجه به شرایط منطقه، یک ضریب تعدیل برای آن در نظر گرفته می‌شود تا محاسبه مقدار C دقیق‌تر شود.

روش SCS (محاسبه ارتفاع و ضریب رواناب با استفاده از روش سازمان حفاظت خاک)

روش SCS، رواناب را در حوضه‌های آبریز اندازه‌گیری نشده با توجه به بارندگی و مشخصات حوضه‌های آبریز برآورد می‌کند. اصولاً این روش وقتی رواناب ناشی از بارندگی باشد معتبر خواهد بود و موقعی که برفاب باشد کارایی ندارد (خوجینی، ۱۳۷۷). شرمین (۱۹۴۹) از جمله پژوهش‌گرانی بود که طرح محاسبه رواناب با استفاده از آمار بارندگی را پیشنهاد نمود. براساس این ایده، موکاس (۱۹۴۹) نتیجه‌گیری نمود که برآورد رواناب سطحی با داشتن اطلاعاتی چون شرایط خاک حوضه، نحوه کاربری اراضی، میزان بارندگی قبلی، دوام بارندگی و مقدار بارندگی جمععی، درجه حرارت متوسط سالیانه و زمان وقوع بارندگی امکان‌پذیر است.

یکی از راه‌های تخمین دبی اوج رواناب، استفاده از روش SCS است. در این روش به جای ضریب رواناب که در رابطه استدلالی استفاده می‌شد، از شماره منحنی^۱ (CN) استفاده می‌شود. در این روش، مقدار شماره منحنی از روی مشخصات گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، میزان پوشش گیاهی،

1. Curve Number

کاربری اراضی و میزان رطوبت پیشین خاک محاسبه شده و سپس از روی آن میزان تلفات آب (S) ناشی از ذخایر چالابی محاسبه می‌گردد. در مرحله بعد با توجه به رابطه اصلی روش SCS، میزان ارتفاع رواناب ناشی از بارش محاسبه شده و در نهایت از تقسیم میزان ارتفاع رواناب به ارتفاع بارش، میزان ضریب رواناب محاسبه می‌شود.

روش سیپرس-کریک^۱

این روش توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا، برای حوضه‌های مسطح که شیب آنها کمتر از ۱ تا ۵/۰ درصد و اندازه حوضه نیز از ۵۰۰۰ هکتار (۵۰ کیلومتر مربع) کمتر باشد، پیشنهاد شده است. فرضیات برقراری این روش همانند روش استدلالی است. رابطه اصلی آن به صورت زیر است (نجمایی، ۱۳۶۹):

$$Q_p = CA^{0.833} \quad (4)$$

که در آن Q_p اوج دبی طراحی (متر مکعب بر ثانیه)، A مساحت حوضه (کیلومتر مربع) و C ضریب جریان است که به ویژگی‌های گیاهی، نوع خاک و ارتفاع بارندگی بستگی دارد. این معادله شرایط هیدرولوژیکی و همچنین توجیحات اقتصادی را در نظر می‌گیرد. مقدار دبی طراحی نباید با میزان دبی حداکثر اشتباه شود.

نتایج و بحث

برآورد ضریب رواناب سطحی با روش SCS

از آنجایی که در منطقه شمال و محدوده زیر حوضه، شرایط رطوبتی هوا مانع از تبخیر و هدررفت رطوبت خاک می‌شود، شرایط رطوبت پیشین II در نظر گرفته شده و CN(II) در محاسبات مدل مورد استفاده قرار گرفت. پس از محاسبه دو عامل CN و S و محاسبه ارتفاع بارش حاصله، ارتفاع رواناب (R_{25} و R_{50}) به دست آمد. از آنجایی که بین ضریب رواناب و ارتفاع رواناب رابطه $C=Q/P$ برقرار است، در نهایت میزان ضریب رواناب سطحی با دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله محاسبه و نتایج ارائه شد. بر اساس نتایج مشاهده شد که مطابق آنچه به عنوان بارش ذکر شد، کمترین مقدار ضریب

1. Cypress-Creek

رواناب سطحی ۲۵ و ۵۰ ساله مربوط به زیرحوضه ۱۰ و بیشترین مقدار ضریب رواناب سطحی ۲۵ و ۵۰ ساله مربوط به زیرحوضه ۲۹ و ۳۷ می‌باشد که این امر بر اساس آنچه در جدول چاو ارایه شد، بیانگر دقت قابل قبول این روش در برآورد ضریب رواناب سطحی است.

تحلیل روش استدلالی و پارامترهای آن

روش استدلالی به‌طور گسترده در سطح جهان در طراحی ابنیه هیدرولیکی و مطالعات هیدرولوژیکی استفاده می‌شود، که این امر، به‌خصوص در مورد کاربرد آن‌ها در سطح حوضه‌های حدود ۱۰ و حداکثر تا ۵۰ کیلومترمربع، به‌دلیل ساده و استدلالی بودن آن است. ضریب رواناب سطحی در این روش براساس پارامترهایی چون مساحت، شدت بارندگی و دبی، محاسبه شد. لذا انتخاب مناسب این ضریب، به قضاوت و تجربه و دقت کارشناسان هیدرولوژی وابسته است به‌طوری‌که در تخمین آن باید به کلیه خصوصیات بارندگی و حوضه آبریز توجه نمود.

دبی حداکثر لحظه‌ای

از جمله پارامترهای محاسبه ضریب رواناب سطحی در روش استدلالی، دبی می‌باشد. در این روش، میزان دبی با دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله در حوضه‌های آبریز موردنظر برای حوضه‌های دارای آمار از طریق وارد کردن داده‌ها در نرم‌افزار SMADA براساس توزیع‌های مختلف آماری، در نهایت با توجه به کمترین مقدار مجموع مربعات باقیمانده (RSS)، توزیع گمبل نوع یک انتخاب و با تعیین شدت بارندگی و داشتن مساحت حوضه‌ها، مطابق آنچه در روش تحقیق بیان شد، مقدار ضریب رواناب برآورد شد.

شدت بارندگی

در روش استدلالی با درنظر گرفتن رابطه ارایه شده توسط موحدانش براساس زمان تمرکز حوضه مطابق آنچه در فصل مواد و روش‌ها ارایه شد و با لحاظ کردن مناسب‌ترین توزیع آماری (گمبل) با کمک نرم‌افزار SMADA در هر زیرحوضه در دوره بازگشت‌های موردنظر (۲۵ و ۵۰ ساله)، شدت بارندگی محاسبه شد. در نهایت مقدار شدت بارندگی با دوره بازگشت‌های موردنظر برای حوضه‌های آبریز در محدوده مطالعاتی محاسبه شد.

برآورد ضریب رواناب سطحی با روش استدلالی

با توجه با نتایج محاسباتی پارامترهای روش استدلالی، اقدام به برآورد ضریب رواناب به کمک رابطه استدلالی شد. طبق محاسبات و تحلیل انجام شده، ضریب رواناب با این روش برای حوضه‌های آبریز مورد مطالعه ارائه شد. با توجه به این که ضریب رواناب در این روش برای دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ سال در غالب زیرحوضه‌های مورد مطالعه کمتر از حد قابل قبول (بر اساس جدول مهدوی) محاسبه شد، لذا استفاده از روش استدلالی در سطح استان پیشنهاد نمی‌شود و از دقت قابل قبولی برخوردار نمی‌باشد. بنابراین نسبت به دو روش قبلی در تطبیق با نقشه کاربری اراضی، روش مناسبی تلقی نمی‌شود. لازم به ذکر است برای محاسبه ضریب رواناب سطحی با کمک نرم‌افزار SMADA بهترین توزیع برازش داده شده، توزیع گمبل بوده و از توزیع فوق به‌عنوان مناسب‌ترین توزیع در این روش بهره گرفته شد.

تحلیل روش سیپرس-کریک و پارامترهای آن

این روش به‌منظور برآورد جریان سطحی از روی ارتفاع بارندگی ارائه شده است که مبتنی بر نحوه تاثیر تلفات با توجه به شرایط مختلف خاک حوضه و پوشش آن می‌باشد. همچنین در این روش با اطلاع از ارتفاع کل باران و با در دست داشتن شرایط پوششی و هیدرولوژیکی حوضه، ارتفاع باران مازاد یا رواناب سطحی و در نهایت براساس آن ضریب رواناب سطحی برآورد شد. با در نظر گرفتن رابطه‌ای که بین روش سیپرس-کریک و روش SCS مطرح می‌باشد، ضریب رواناب با دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله محاسبه شد. از طرفی موتوویلوپ و همکاران (۱۹۹۹) بیان نمودند اگر مقدار ضریب R^2 بزرگتر یا مساوی ۰/۷۵ باشد، میزان تطابق خوب و در صورتی که بین ۰/۳۶ و ۰/۷۵ باشد، میزان تطابق قابل قبول می‌باشد. بر این اساس، نتایج حاصل از شاخص آماری ضریب تبیین ($R^2=0.85$) بین روش‌های سیپرس-کریک و روش SCS و همچنین مقایسه نتایج با جدول تجربی چاو، بیانگر تطابق مناسب و قابل قبول بین دو روش فوق بوده است. بر اساس نتایج، در تمامی زیرحوضه‌ها دارای کارایی لازم است به طوری که در قرابت با روش SCS، کم‌ترین ضریب رواناب سطحی در دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله مربوط به زیرحوضه ۱۰ و بیش‌ترین آن نیز مربوط به زیرحوضه ۲۹ و ۳۷ می‌باشد.

در تعیین دبی ۲۵ و ۵۰ ساله مشاهده شد که با افزایش شدت بارندگی در سطح حوضه‌ها میزان دبی نیز افزایش یافته (حتی با افزایش دوره بازگشت) است. براساس آنچه در شدت بارندگی‌ها لحاظ شده، ملاحظه می‌شود در حوضه‌هایی که دارای حداقل شدت یا حداکثر شدت هستند، مقدار ضریب رواناب نیز به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. از طرفی به دلیل برخی از وقایع از جمله احداث سد در برخی از حوضه‌های مطالعاتی، میزان دبی ورودی به حوضه کاهش یافته که این امر خود منجر به کاهش بیش از اندازه ضریب رواناب در دیگر حوضه‌ها، مشابه یافته‌های دیگر محققین (علیزاده، ۱۳۸۱؛ چاو، ۱۹۸۸ و جمشیدنژاد عنبرانی، ۱۳۷۷) شده است. لازم به ذکر است با توجه به این‌که تاکنون تحقیقی جامع مشابه با عنوان این طرح در کشور صورت نگرفته، لذا معیار سنجش این روش‌ها مطابق جدول چاو و بر اساس ضریب تبیین (R^2) موتوویلوف می‌باشد. در روش استدلالی به دلیل اینکه ضریب رواناب حاصله کمتر از مقدار محاسباتی توسط چاو به دست آمده است، با دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ سال در اکثر حوضه‌ها نمی‌تواند کارایی لازم را داشته باشد. شاخص آماری محاسبه شده ($R^2=0.85$) بین دو روش سیپرس-کریک و SCS، حاکی از تطابق خوب آن‌ها بوده و حتی فرضیات این دو روش نیز تا حدودی شبیه به هم می‌باشند، چراکه پارامترهای روش سیپرس-کریک براساس روش SCS محاسبه شدند. بر این اساس ضرایبی که در نتیجه این دو روش برای شرایط کاربری‌های مختلف طبق جدول چاو (معیار اصلی برای سنجش این روش‌ها) به دست آمده‌اند، حاکی از آن است که این اعداد با نتایج حاضر مطابقت خوبی داشته است. به طوری که در تمامی حوضه‌ها با افزایش دوره بازگشت، مقدار ضریب رواناب نیز افزایش یافته است. از طرفی این افزایش مقدار ضریب رواناب وابسته به شدت بارش نیز می‌باشد و با افزایش دوره بازگشت شدت بارندگی‌ها نیز افزایش را نشان داد. نکته دیگر در مورد افزایش یا کاهش یکباره ضریب رواناب در برخی از حوضه‌ها، تغییرات CN در منطقه می‌باشد. با توجه به این‌که غالب کاربری زیرحوضه‌های مورد مطالعه جنگلی می‌باشد، می‌توان اظهار داشت که دخالت‌های بی‌رویه انسان در عرصه‌های طبیعی و نهایتاً تغییر کاربری اراضی، مقدار این پارامتر (CN) را افزایش داده است که خود منجر به کاهش نگهداشت سطحی و افزایش میزان ضریب رواناب سطحی در سطح حوضه‌های آبریز گردیده است. همچنین شیب زیاد حوضه‌های آبریز و افزایش سرعت آب با توجه به جدول شیب محاسباتی، افزایش ضریب رواناب را سبب شده است. این نتیجه نیز با یافته‌های براتی قهفرخی و همکاران (۱۳۹۰) تطابق داشته

است. روش شماره منحنی، براساس آنچه در تطبیق جدول چاو با جدول مهدوی ذکر شده، روشی مناسب‌تر و دقیق‌تر در بین سایر روش‌هاست. این بدان علت است که CN محاسبه شده طبق لایه‌های اطلاعاتی در این روش، خود ویژگی پتانسیل رواناب در حوضه‌های مطالعاتی را بیان می‌کند. از طرفی از آنجا که CN نقش زیادی در افزایش سیل‌خیزی حوضه‌ها دارد با توجه به جداول تهیه شده بیش‌ترین مقدار آن مربوط به واحدهای هیدرولوژیک SAR33 و SAR34 و کم‌ترین آن مربوط به واحدهای هیدرولوژیک SAR0، SAR1 و SAR2 می‌باشد.

با توجه به اینکه زیرحوضه‌های واقع در غرب استان مازندران دارای شیب معمولاً زیادی می‌باشند، دارای ضریب رواناب بیشتری هستند؛ لذا همان‌گونه که از نتایج بر می‌آید در هر دو روش، ضریب رواناب سطحی در حوضه‌های غرب دارای بیش‌ترین مقدار است که این امر به دلیل دارا بودن حداکثر شدت‌های بارندگی با دوره بازگشت‌های موردنظر می‌باشد. از طرفی در تمامی حوضه‌ها، مشاهده می‌شود که ضریب رواناب سطحی برای دوره بازگشت ۲۵ ساله کمتر از مقدار آن برای دوره بازگشت ۵۰ ساله است این امر یعنی با افزایش دوره بازگشت میزان ضریب رواناب سطحی افزایش می‌یابد. حتی در حوضه‌های با دوره بازگشت یکسان به دلیل کاربری‌های متفاوت شاهد ضرایب متفاوتی از رواناب سطحی هستیم. این یافته نیز با نتایج تحقیقات یاری و همکاران (۱۳۸۹) مطابقت داشته است. آنها اظهار داشتند که در یک دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله ضریب رواناب همراه با افزایش شدت بارندگی و دبی اوج سیل، افزایش یافته است.

نتیجه‌گیری

با توجه به این‌که روش استدلالی به دلیل سادگی کاربرد، به‌طور گسترده در سطح جهان استفاده شده است، دلیل بر این است که قضاوت و دقت و تجربه کارشناسان هیدرولوژی در این روش بسیار مدنظر بود. همان‌طوری‌که در این تحقیق ضرایب به‌دست آمده در بخش عمده‌ای از ایستگاه‌ها به دلیل این‌که زیر ۰/۱ به‌دست آمده و بین این ضرایب با کم‌ترین مقدار ضریب رواناب حاصله از جدول چاو و همکاران که حدود ۰/۲۱ است تفاوتی مشاهده می‌شود، بیان‌کننده این مطلب است که در هر منطقه بایستی ضرایب رواناب خاص آن منطقه با سطح احتمال موردنظر تهیه و مورد استفاده ارگان‌ها و نهادهای مرتبط قرار گیرد. همچنین ضریب تبیین $R^2=0.85$ محاسبه‌ای به‌ترتیب بین روش SCS و سپیرس- کریک، بیانگر این است که دو روش مذکور، با توجه به این‌که ضریب رواناب با دوره

بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله را به ترتیب در حوضه ۱۰ کمترین و در حوضه ۲۹ و ۳۷، بیشترین مقدار برآورد کردند، ضرایب آنها قابل اطمینان بوده و تعدد پارامترها در هر یک از این دو روش دقت آنها را بالا برده و می‌توان آنها را با شرایط حوضه‌های مورد مطالعه تطبیق داد و این ضرایب به دست آمده را برای افق بلندمدت در طرح‌ها و پروژه‌های مرتبط با علوم آب در بررسی خسارت سیل و تدوین سیاست‌های لازم در امر بحران آب مدنظر قرار داد. از بین این دو روش نیز، از بُعد تخصصی می‌توان بیان نمود که تحلیل نقشه کاربری نشان می‌دهد در حوضه‌های کوهستانی با رژیم بارشی برف، میزان ارتفاع رواناب ناشی از بارندگی کمتر خواهد بود. بنابراین نسبت R به P در این حوضه‌ها تناسب چندانی با میزان C به دست آمده در حوضه‌های آبریز با حالت رژیم بارشی باران که دارای شرایط کاربری اراضی، شیب و نوع خاک یکسان با حوضه قبلی می‌باشد، نخواهد داشت. به عبارت دیگر در شرایط یکسان فیزیوگرافی و پوشش دو حوضه، حوضه با پوشش برف دارای C کمتری نسبت به حوضه بدون پوشش برف خواهد بود (علیزاده، ۱۳۸۱). براساس این استدلال می‌توان ادعان داشت که روش SCS، با دقت قابل توجه معرفی و در مورد زیرحوضه‌های با نقاط پیشنهادی توسط مطالعات پایه منابع آب شرکت آب منطقه‌ای در سطح استان مازندران با دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله قابلیت کاربرد دارد. همان‌گونه که نتایج نشان داد براساس نقشه کاربری منطقه، تغییر کاربری می‌تواند سبب تغییر در برخی از خصوصیات هیدرولوژیکی از جمله ضریب رواناب سطحی و افزایش دبی اوج سیلاب شود و این تغییرات نیز منجر به فرسایش و برخی خسارات جانی و مالی می‌شود.

تشکر و قدردانی

از شرکت آب منطقه‌ای مازندران برای پشتیبانی مالی این طرح که در دانشگاه پیام نور انجام گردید، تقدیر و تشکر می‌شود.

منابع

۱. درزی نفت‌چالی، ع.، ب. محسنی و ف. کاراندیش. ۱۳۹۶. هیدرولوژی آب‌های سطحی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۲۵۱ ص.
۲. رزاقیان، ه. ۱۳۸۳. تحلیل و بررسی منحنی‌های شدت، مدت و فراوانی بارندگی (IDF)، حوضه آبریز گرگان‌رود. سمینار کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، ۶۰ ص.

۳. رفاهی، ح.ق. ۱۳۹۳. فرسایش آبی و کنترل آن، چاپ هفتم، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۴۷ ص.
۴. زارع، س.، ع.ج. حزبی، ن. جندقی و م. عباسی. ۱۳۸۸. برآورد دبی اوج سیل در دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از روابط تجربی برای حوزه‌های کوچک (مطالعه موردی؛ حوزه آبخیز تول‌بنه گرگان)، مجموعه مقالات پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۶ ص.
۵. زارع‌ایبانه، ح و م. بیات‌ورکشی. ۱۳۹۰. ارزیابی مدل‌های هوشمند عصبی و تجربی در تخمین رواناب سالانه، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع غذایی) ۲۵ (۲): ۳۶۵-۳۷۹ ص.
۶. زرگر، ا. ۱۳۷۴. بررسی تأثیر بارندگی و پاره‌ای از ویژگی‌های هندسی و مدیریت اراضی بر مقدار رواناب کل آبریز، موسسه تحقیقات سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری، ۴۶ ص.
۷. صادقی، س.ح.ر. ۱۳۷۴. بررسی علل مؤثر در سیلاب و ارزیابی عوامل قابل کنترل، مجله جنگل و مرتع (۲۹): ۱۹-۱۲ ص.
۸. عبدی، پ. ۱۳۸۵. بررسی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه زنجان‌رود با روش SCS و سیستم اطلاعات جغرافیایی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی، کارگاه فنی همزیستی با سیلاب، ۲۰۰ ص.
۹. علیزاده، ا. ۱۳۵۴. افزایش آبدهی در حوزه‌های آبریز با از بین بردن پوشش گیاهی و اثرات اکولوژیکی آن، مجموعه مقالات نخستین سمینار بررسی مسائل پوشش گیاهی ایران، مرکز هماهنگی مطالعات محیط‌زیست دانشگاه تهران، ۲۰۲-۱۹۱ ص.
۱۰. علیزاده، ا. ۱۳۸۱. اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ پانزدهم، انتشارات آستان قدس، ۷۳۵ ص.
۱۱. غلامی، ش. ۱۳۷۳. نقش مدیریت پوشش گیاهی (جنگل و مراتع) در شکل هیدروگراف سیل (کاهش خطرات سیل)، خلاصه مقالات سمینار ملی مرتع و مرتعداری در ایران، سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۷۱-۳۳ ص.
۱۲. محسنی، ب.، ع. درزی نفت‌چالی و ه. رزاقیان. ۱۳۹۳. آبخیزداری با معرفی جدیدترین مدل‌های حوزه آبریز. چاپ اول، انتشارات سخن گستر، ۳۱۲ ص.

13. Amutha, R. and Porchelvan P. 2009. Estimation of Surface Runoff in Malattar Sub-Watershed using SCS-CN method. Journal of Indian Society of Remote Sensing, Vol. 37, pp: 291-304.

14. Beven, K. J. 1993. Prophecwww.wy, reality and uncertainty in distributed hydrologic modeling. Adv. Water Resour, 16: 41-51.

15. Busby, R.E. and Gifford, G.E. 1981. Effects of livestock grazing on infiltration and erosion rates measured on chained and unchained pinyon-junipersites in Southeastern Utah. *J. of Range manage*, 34: 400-405.
16. Chow, Ven te., Maidment., D. SARYS, L. 1988. "Applied Hydrology" McGraw-Hill international editions civil Engineering series, pp: 572.29.
17. Drayton, R.S., Wild, B.M., Haris, J.H.k. 1992. Geographical Information System approach to distribute modeling, In: Terrian Analysis and Distributed Modeling, Hydrological Processes, 6, 36-368.
18. Mockus, V. 1949. Estimation of total (and peak rates of) surface runoff for individual storms, Exhibit A in Appendix B. Interim Survey Report Grand (Neosho) River Watershed, USDA.
19. Motovilov, Y.G. Gottschalk, L. England, K. and Rohde, A. 1999. Validation of a distributed hydrological model against spatial observations. *Forest Meteorology*, 98-99: 257-277.
20. Sherman, L.K. 1949. The unit hydrograph method. In O. E. Meinzer (e, d) *Physics of the Earth*, Dover Publications, Inc., New York, N.Y. pp: 514-525.
21. Soil Conservation Service. 2005. *A Guide to Hydrologic Analysis using SCS Method*, Washington D.C, 145 pp.
22. Stephen, A.T. 1999. *Hydrology for water management*, A. A. Balkeman/ Rotterdam/Brookfield, 36 pp.
23. Tokar, A.S. and Johnson, P.A. 1999. Rainfall-Runoff Modeling Using Artificial Neural Networks, *Journal of Hydrologic Engineering*, 4(3), 232-240.
24. Tokar, A.S. and markus, M. 2000. Precipitation-runoff modeling using artificial neural networks and conceptual models. *Journal of Hydrologic Engineering*, 45: 156-161.
25. United Nations Development Programme, *A global report Reduce disaster risk: A challenge for development*. 2004. Vol 267, p.p: 2541-2553.
26. Wood, M. and Blackburn, E.H. 1981. Grazing systems: Their influence on infiltration in the Rolling Plains of Texas. *J. of Range manage*, 34: 331-335.

Computing of Surface Runoff Coefficient with 25 & 50 years Return Period for Suggested on Mazandaran Province (East to West)

Abstract

Watershed management and planning for optimization management of water resources, particularly in small watersheds, accurate estimation of basin runoff based on changes in runoff coefficient for different return periods is very important. In this study, the coefficient of runoff with return periods of 25 and 50 was estimated using rational, SCS and Cypress-Creek methods for basins up to 50 square kilometers. GIS software was used to overlay layers and basin analysis. Due to the lack of compliance with Chow's table, runoff coefficient less than reality in most of the study area, Rational method did not provide suitable results. Good agreement between the results of present study with previous studies demonstrate high accuracy of SCS method for calculating runoff coefficient. However, changes in land use in other parts of the study area and its effect on the curve number, caused increase or decrease in the runoff coefficient in the SCS method. Cypress-Creek method was also effective in some basins due to its similarity with the SCS method so that in all basins, compared with the curve number method, runoff coefficients were over estimated. According to the results, the lowest runoff coefficient with return periods of 25 and 50 was related to watershed No.10 and its maximum was related to watershed No.29.

Keywords: Watershed management, Land use, Return period, GIS, SCS, Cypress-Creek.