Archive of SID

مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی
جلد سیزدهم، شماره ششم، بهمن- اسفند ۱۳۸۵
www.magiran.com/jasnr
www.sid.ir

تعیین روابط پیش‌بینی رواناب در حوضه‌های آبریز کوهستانی (مطالعه موردی: حوضه‌های آبریز معرف امامه و کسیلیان)

رامین فضل‌اولی[1]*، علی‌محمد آخوندعلی[2] و عبدالکریم بهنیا[2]
[1]به‌ترتیب دانشجوی دکتری و اعضاء هیأت علمی گروه آبیاری، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۸٤/۱۰/۱۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۵/۲/۱٤

چکیده

در این تحقیق روابط پیش‌بینی عمق رواناب ناشی از بارش برای حوضه‌های آبریز کوهستانی کوچک واقع در دامنه‌های شمالی و جنوبی رشته کوه البرز استخراج شد. برای این منظور دو حوضه مورد مطالعه به گونه‌ای انتخاب شدند که علاوه‌بر دارا بودن داده‌های بارش ـ رواناب کامل و مورد اطمینان، از موقعیت منطقه‌ای مناسبی نیز در محدوده مورد مطالعه برخوردار باشند. روابط پیش‌بینی براساس عمق بارش، شاخص بارش پیشین و دبی پایه به‌دست آمد. از روش‌های آماری به‌منظور استخراج روابط رگرسیون چند متغیره خطی و ضرایب همبستگی و خطاهای استاندارد مربوطه در مورد حوضه‌های مورد مطالعه استفاده شد. کلیه وقایع اوج مستقل برابر یا بزرگ‌تر از ۰/۷ مترمکعب در ثانیه برای حوضه آبریز معرف امامه و کلیه وقایع اوج مستقل برابر یا بزرگ‌تر از یک مترمکعب در ثانیه برای حوضه آبریز معرف کسیلیان، جهت آنالیز و استخراج روابط نهایی مد نظر قرار گرفتند. خطای استاندارد روابط بهینه پیش‌بینی رواناب در حوضه آبریز معرف امامه برابر با ۰/۲٤۸ میلی‌متر و برای حوضه آبریز معرف کسیلیان برابر با ۰/۲۰۵ میلی‌متر بوده است. همچنین ضریب همبستگی چندگانه در دو حوضه مورد مطالعه به‌ترتیب برابر با ۰/۸٤۲ و ۰/۸۵۷ به‌دست آمد. در پایان نتایج حاصل از روابط رگرسیونی تهیه شده به حوضه‌های مجاوری که از نظر خصوصیات هیدرولوژیکی مشابه بودند، تعمیم داده شد.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون چند متغیره، شاخص بارش پیشین، عمق بارش، دبی پایه، رواناب

مقدمه

از آنجا که تا کنون رابطه جهانی واحدی برای پیش‌بینی دقیق حجم رواناب ناشی از رگبار ارائه نشده است، در مناطق مختلف، آزمایش‌ها و پروژه‌های تحقیقاتی متعددی به منظور استخراج روابط بارش ـ رواناب براساس شرایط محلی انجام شده و در نتیجه رابطه میان حجم بارش و رواناب توسط فرمول‌های تجربی و نیمه تجربی متعددی بیان شده است. کمیت رواناب ناشی از وقوع بارش برروی یک حوضه مفروض، بستگی به عوامل متعددی از جمله شرایط رطوبتی اولیه خاک حوضه و خصوصیات بارش نظیر مقدار بارش و شدت و تداوم آن دارد.

از میان روش‌های متنوعی که در گذشته به منظور تخمین حجم رواناب به کار برده شده‌اند می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

*- مسئول مکاتبه: raminfazl@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

کریگر و همکاران (۱۹٤٥) برای تخمین حجم رواناب ناشی از بارش، مطالعاتی را با منظور نمودن شاخص نفوذ به انجام رساندند.

کوهلر و لینزلی (۱۹۵۱) از پارامترهای عمق بارش، شاخص بارش پیشین[1] (API)، شماره هفته و تداوم بارش به‌منظور استخراج روابط میان رواناب ناشی از بارش و پارامترهای مذکور با استفاده از روش همبستگی نموداری استفاده نمودند.

سازمان حفاظت خاک ایالات متحده (۱۹۵۷) روشی را برای تخمین حجم رواناب ناشی از بارش با استفاده از شرایط رطوبتی پیشین و پوشش سطح حوضه ارائه نمود که هم اکنون تحت عنوان روش شماره منحنی، دارای معروفیت جهانی می‌باشد.

هاپکینز و هاکت (۱۹٦۱) با وارد نمودن شاخص دمای پیشین[2] (ATI) و دمای میانگین سالانه حوضه به‌عنوان پارامترهای اضافی تجزیه و تحلیل‌هایی را برای استخراج روابط بارش ـ رواناب به انجام رساندند. لی و بری (۱۹٦۹) با استفاده از روش همبستگی چند متغیره روابطی را میان ارتفاع رواناب به‌عنوان متغیر وابسته و ارتفاع بارش، دبی پایه، شاخص بارش پیشین و شماره هفته به‌عنوان متغیرهای مستقل برای چند حوضه از استان نیو برانزویک استخراج نمودند.

همچنین در موارد متعددی برای طراحی زهکش‌های سیلاب و نیز در پروژه‌های کنترل سیل از ضرایب رواناب برای تخمین حجم رواناب استفاده شده‌است (لینزلی و فرانزینی، ۱۹۸۷). لینزلی و همکاران (۱۹۸۸) با استفاده از پارامترهایی نظیر تداوم رگبار و حجم آن و نیز اینکه چه زمانی از سال باشد (هفته یا فصل) روابطی را میان بارندگی و رواناب ناشی از آن با استفاده از روش همبستگی نموداری[3] به‌دست آوردند. همچنین در بسیاری از مدل‌های هیدرولوژیک از پارامتر شاخص بارش پیشین جهت تعیین مقادیر رواناب و یا رطوبت خاک استفاده شده‌است.

به‌عنوان مثال، بوید و همکاران (۲۰۰۰) مدل شاخص بارش پیشین (API) را به‌عنوان یک مدل تجربی جهت پیش‌بینی رواناب و جریان ناشی از یک واقعه سیل، معرفی نمودند.

ویسکرمی و تلوری (۱۳۸۰)، در یک کار تحقیقاتی روابط میان شاخص بارش پیشین و رواناب سطحی را در حوضه آبریز کشکان در استان لرستان مورد بررسی قرار داده و روابط همبستگی را تنها براساس شاخص بارش پیشین و ارتفاع رواناب استخراج نمودند.

به هر حال مطالعات بیشماری در گوشه و کنار دنیا به‌منظور تعیین روابط میان بارش و رواناب انجام شده و هنوز هم در بسیاری از مناطق، روابط بهینه همبستگی میان بارش و رواناب در حال بررسی و استخراج می‌باشد.

بنابراین هدف اصلی این تحقیق استخراج روابط بارش ـ رواناب در حوضه‌های آبریز معرف امامه و کسیلیان به‌عنوان نماینده‌هایی برای حوضه‌های آبریز کوهستانی کوچک واقع در دامنه‌های شمالی و جنوبی رشته کوه البرز و ارزیابی میزان کارایی روابط استخراج شده به‌منظور تخمین ارتفاع رواناب در مقایسه با مشاهدات صحرایی و اندازه‌گیری‌های مستقیم انجام شده در حوضه‌های مذکور بوده است. همچنین روابط به‌دست آمده در این تحقیق را می‌توان با رعایت موارد ذکر شده در بخش نتایج این تحقیق، در مورد سایر حوضه‌های مشابه نیز به کار برد.

مواد و روش‌ها

با توجه به این که هدف این مطالعه استخراج روابطی برای پیش‌بینی عمق رواناب ناشی از بارش برای حوضه‌های آبریز کوهستانی کوچک واقع در دامنه‌های شمالی و جنوبی رشته کوه البرز بوده است، حوضه‌های مورد مطالعه به گونه‌ای انتخاب شدند که اولاً موقعیت مکانی مناسبی را در سرتاسر رشته کوه مذکور داشته و ثانیاً از آمار با کیفیت و طول دوره آماری مناسبی

1- Antecedent Precipitation Index
2- Antecedent Temperature Index
3- Coaxial Method

www.SID.ir

Archive of SID

برخوردار باشند. با توجه به شروط ذکر شده دو حوضه آبریز معرف امامه و کسیلیان جهت انجام تحقیق حاضر انتخاب شدند. حوضه‌های مذکور نظر به ویژگی‌های خاصی که دارند معرف مناسبی برای مناطق مورد مطالعه بوده‌اند که اولی معرف مناطق وسیعی از دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز و دومی معرف مناطق وسیعی از دامنه‌های شمالی این رشته کوه بوده‌است. همچنین حوضه‌های مورد مطالعه علاوه‌بر داشتن باران‌سنج‌های متعدد در سطح حوضه، در محل خروجی نیز دارای ایستگاه هیدرومتری می‌باشند. به این ترتیب جهت انجام تحقیق حاضر از آمار روزانه بارندگی و دبی، طی یک دوره آماری ۲۹ ساله (از اول مهر ۱۳٤۹ لغایت سی و یکم شهریور ۱۳۷۸) استفاده شد، آمار مذکور از مرکز تحقیقات منابع آب ایران (تماب) دریافت گردید.

در مرحله بعد داده‌های مورد استفاده جهت انجام تحقیق مورد بررسی دقیق قرار گرفت. در این رابطه باید توجه داشت که هر چند استاندارد بودن قرائت و ثبت داده‌های هیدرولوژی تا حدود زیادی از ایجاد اشتباه در آنها می‌کاهد، اما اطمینان از کیفیت داده‌ها و کامل بودن سری آماری قبل از تجزیه و تحلیل داده‌ها ضروری است و باید به این نکته مهم توجه داشت که بدون ارزیابی صحیح داده‌ها، انجام تحلیل‌های پیچیده آماری نتایج قابل اعتمادی را به‌دست نخواهد داد (علیزاده، ۱۳۸۲). برای این منظور داده‌های روزانه بارش ـ رواناب مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری، کلیماتولوژی و باران‌سنجی موجود در حوضه‌های مورد مطالعه برای دوره آماری مورد مطالعه، پس از مرتب‌سازی در محیط صفحه گسترده نرم افزار Excel به‌طور دقیق مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت و در مواردی که آمار نیاز به اصلاح و بازسازی داشته، با استفاده از روش‌های مرسوم از جمله روش نسبت‌ها و نیز روش‌های رگرسیونی، تصحیحات لازم به عمل آمد. در این رابطه جهت تسهیل و تسریع فرآیند آماده‌سازی داده‌ها، در موارد متعددی اقدام به تهیه برنامه‌های ماکرو در محیط نرم افزار Excel گردید. بنابراین کلیه آمار و اطلاعات جمع‌آوری شده پس از بررسی و حذف داده‌های پرت و بازسازی داده‌های مفقوده، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و در نهایت همگنی آمار کلیه ایستگاه‌ها مورد تأیید قرار گرفت. در جدول ۱، مساحت حوضه‌های مورد مطالعه و نیز نام و مساحت تحت پوشش ایستگاه‌های باران سنجی موجود در هریک از حوضه‌های مورد مطالعه که آمار روزانه آنها موجود بود، ارائه شده است. لازم به توضیح است که ایستگاه کلیماتولوژی راحت‌آباد در ٤/٥ کیلومتری شرق روستای امامه و در خارج از حوضه آبریز معرف امامه قرار داشته ولی به لحاظ نزدیکی و هم ارتفاعی با حوضه مذکور از آمار بارندگی آن استفاده شد. از میان ایستگاه‌های مربوط به حوضه آبریز معرف امامه، کامل‌ترین آمار مربوط به ایستگاه امامه با ۲۹ سال آمار بوده است. ایستگاه امامه تقریباً در مرکز ثقل حوضه قرار گرفته است. همچنین از میان ایستگاه‌های واقع در حوضه آبریز معرف کسیلیان، کامل‌ترین آمار بارندگی مربوط به ایستگاه سنگده با ۲۹ سال آمار می‌باشد. ایستگاه سنگده نیز در مرکز ثقل حوضه آبریز کسیلیان واقع شده است. در شکل‌های ۱ و ۲، نقشه پلی‌گون تیسن برای ایستگاه‌های باران‌سنجی که دارای آمار بارش روزانه بوده‌اند، در دو حوضه مورد مطالعه ارائه شده است. لازم به توضیح است که پلی‌گون‌های تیسن در این شکل‌ها با استفاده از اکستنشن[1] تیسن از نرم افزار ArcView و بدون نیاز به ترسیم عمود منصف‌ها محاسبه شده‌اند.

1- Extension

www.SID.ir

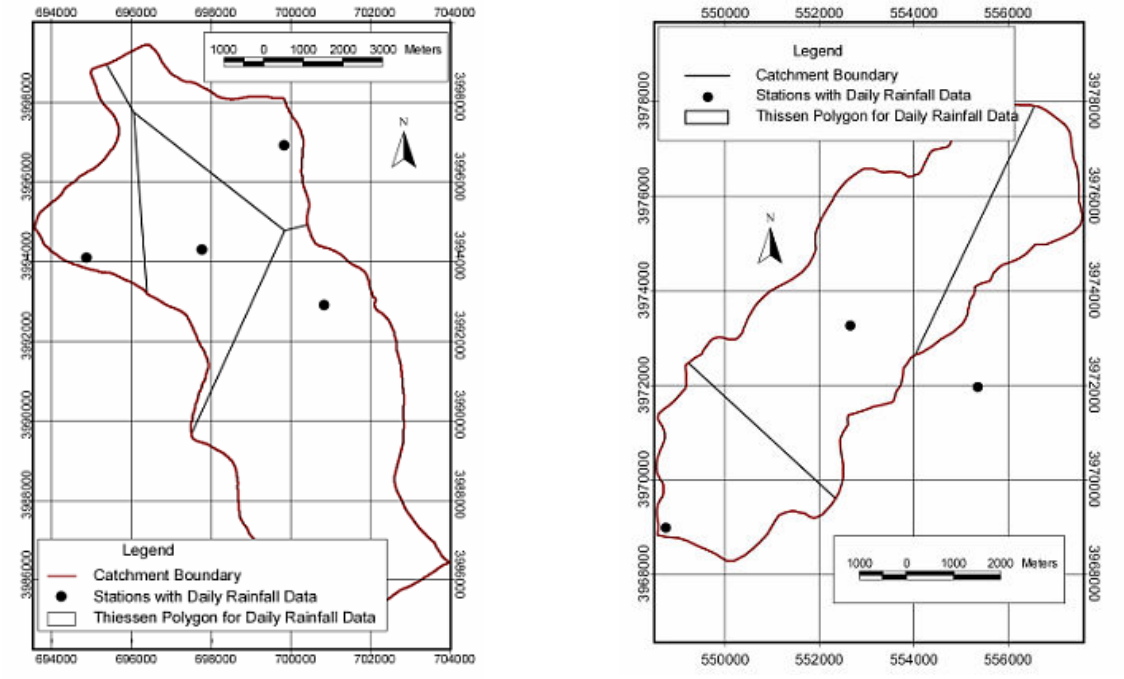
Archive of SID

جدول ۱- ایستگاه‌های مورد استفاده جهت محاسبه میانگین بارش به روش تیسن.

نام حوضه	مساحت حوضه (km^2)	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	سطح تحت پوشش (km^2)
امامه	۳۷/۲۰٤	امامه	کلیماتولوژی	۲۲/۵۳۰
		کلوکان	کلیماتولوژی	۸/٦۰٦
		راحت آباد	کلیماتولوژی	٦/۰٦۸
کسیلیان	٦۷/۵۱۳	سنگده	کلیماتولوژی	۳٦/۹۷٤
		درزیکلا	کلیماتولوژی	۱۲/۹٦٦
		ولیک چال	باران سنج معمولی	۱۰/۲۹۹
		کله	باران سنج معمولی	۷/۲۷٤

(۱) $p>k$

(۲) $q_{max}>q_{lim}$



(الف) حوضه آبریز معرف امامه

(ب) حوضه آبریز معرف کسیلیان

شکل ۱- نقشه پلی‌گون‌های تیسن برای حوضه‌های آبریز مورد مطالعه.

p= مدت زمان لازم برای فروکش دبی اوج اول تا لحظه شروع بازوی بالارونده هیدروگراف مربوط به دبی اوج بعدی (برحسب روز)

k= ثابت فروکش دبی پایه (برحسب روز)

q_{min}= دبی حداقل میان دو دبی اوج متوالی

q_{max}= دبی اوج

q_{lim}= شرط مرزی برای انتخاب دبی اوج

f= نسبت دبی حداقل به دبی اوج

گام بعد جهت انجام تحقیق حاضر، گزینش داده‌های مستقل دبی اوج، از میان سری داده‌های روزانه موجود بوده‌است که به این منظور از شرط استقلال دبی‌های اوج متوالی، براساس روابط ۱ تا ۳ استفاده شد (ویلمز، ۲۰۰۵):

$$\frac{q_{min}}{q_{max}} < f \qquad (۳)$$

که در روابط فوق:

www.SID.ir

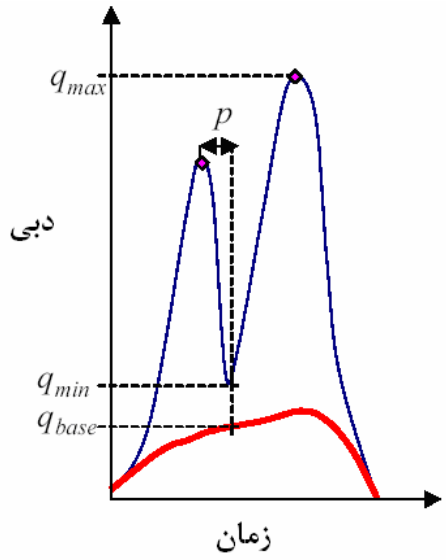
Archive of SID

۱- فاصله زمانی آن با دبی اوج بعدی یا قبلی بزرگ‌تر از ثابت فروکش دبی پایه (k) باشد.

۲- دبی مذکور از یک آستانه مفروض (q_{lim}) بزرگ‌تر باشد.

۳- نسبت دبی حداقل به دبی اوج مورد نظر کوچک‌تر از یک مقدار مفروض (f) باشد.در شکل ۳ نحوه جداسازی دبی‌های اوج مستقل، به‌صورت شماتیک نشان داده شده است.

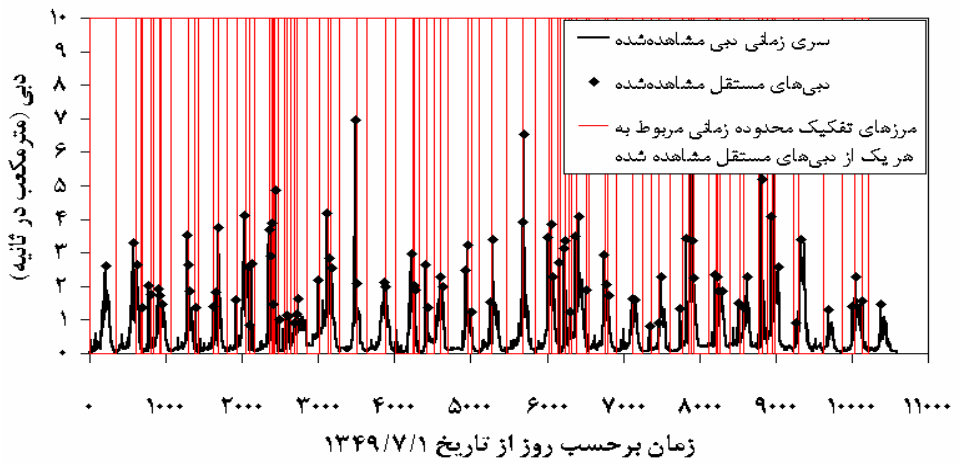
برای این منظور پارامتر k از آنالیز مقادیر فروکش دبی روزانه براساس روابط فیلتر دیجیتال متوالی که توسط چاپمن (۱۹۹۱) ارائه شده، برای حوضه‌های آبریز معرف امامه و کسیلیان به‌ترتیب برابر با ۱۳ و ۱۵ روز به‌دست آمد. مقدار آستانه مرزی برای انتخاب دبی اوج مستقل در دو حوضه آبریز معرف امامه و کسیلیان به‌ترتیب برابر با ۰/۷ و ۱/۰ مترمکعب در ثانیه در نظر گرفته شد. مقادیر آستانه مذکور با انجام سعی و خطا و به گونه‌ای تعیین شدند که حداقل تعداد دبی‌های اوج مستقل، جهت انجام تجزیه و تحلیل‌های بعدی ایجاد شود. همچنین، برای استخراج دبی‌های اوج مستقل از میان داده‌های دبی روزانه مشاهده‌ای، مقدار نسبت دبی حداقل به دبی اوج (f) پس از انجام سعی و خطا برابر با ۰/۵ مناسب تشخیص داده شد و در نظر گرفته شد مفهوم شرط اخیر این است که هنگامی دبی مورد نظر مستقل خواهد بود که مقدار آن از دو برابر مقدار حداقل بین دو دبی اوج متوالی بزرگ‌تر باشد. با در نظر گرفتن این شروط و اعمال آن برروی سری داده‌های دبی روزانه مشاهده شده که مشتمل بر ۱۰۵۹۲ مشاهده (از ۱۳٤۹/۷/۱ لغایت ۱۳۷۸/٦/۳۱) در هر یک از حوضه‌های مورد مطالعه بوده است تعداد ۹٦ واقعه مستقل دبی اوج برای حوضه آبریز معرف امامه و تعداد ۱۷۵ واقعه مستقل دبی اوج برای حوضه آبریز معرف کسیلیان از میان کل مشاهدات مطابق شکل‌های ٤ و ۵ استخراج شد.



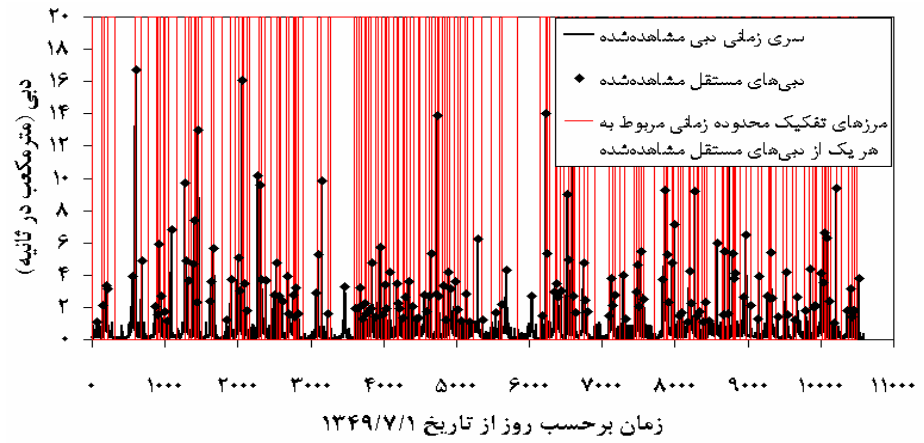
شکل ۲- نمایش شماتیک نحوه جداسازی دبی‌های اوج مستقل.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- دبی‌های مستقل مشاهده شده در حوضه آبریز معرف امامه.



شکل ٤- دبی‌های مستقل مشاهده شده در حوضه آبریز معرف کسیلیان.

همچنین شاخص بارش پیشین (API) به‌عنوان پارامتری برای ارزیابی شرایط رطوبتی خاک در هر حوضه انتخاب گردید. در این تحقیق به‌منظور محاسبه شاخص بارش پیشین از شکل اصلاح شده معادله ارائه شده توسط کوهلر و لینزلی(۱۹۵۱)، که طبق بررسی‌های انجام شده عمومی‌ترین رابطه موجود جهت تعیین شاخص بارش پیشین (API) بوده است، استفاده شد. فرم کلی معادله اصلاح شده که در این تحقیق پیشنهاد شده به‌صورت زیر می‌باشد:

$$API=P_0+KP_{-1}+K^2P_{-2}+\ldots+K^{-t}P_t=\sum_{t=0}^{-i}(K^{-t}P_t) \quad (٤)$$

که در آن:

API= شاخص بارش پیشین برحسب میلی‌متر

K= ثابت فروکش رطوبت خاک که کمتر از واحد بوده و بدون بعد می‌باشد.

i= تعداد روزهای پیشین و P_t مقدار بارش روزانه در طول روز t ام برحسب میلی‌متر است.

شایان ذکر است که تفاوت رابطه ٤ با فرم اولیه معادله، در تعداد جملات آن می‌باشد زیرا تعداد جملات معادله اولیه برابر با (i) جمله و تعداد جملات معادله اصلاح شده برابر با (i+1) جمله می‌باشد و علت اختلاف این است که در فرم اولیه معادله برای محاسبه مقدار پارامتر API در هر روز، مقدار بارش در آن روز که اتفاقاً بیشترین تأثیر را نیز برروی رطوبت خاک داشته در نظر گرفته نمی‌شد ولی در فرم اصلاح شده معادله، این مشکل رفع شده و با انجام این اصلاح ضرایب همبستگی معادلات استخراج شده مقادیر بالاتری را نشان دادند. بنابراین در این تحقیق، مقدار API در هر روز با توجه به رابطه ٤، از ضرب نمودن متوسط مقدار بارش در همان

www.SID.ir

Archive of SID

روز و سی روز قبل از آن در یک فاکتور کاهش مناسب و تجمیع i+1 جمله حاصل به‌دست آمد.

پارامتر K در رابطه ٤، ثابت فروکش رطوبت خاک بوده و طبق تحقیقات انجام شده توسط وایزمن و لویس (١٩٩٦) محدوده تغییرات آن بین ٠/٨ تا ٠/٩٨ می‌باشد. که جهت انجام این تحقیق از مقدار متوسط محدوده مذکور یعنی ٠/٩٠ استفاده شد.

جهت محاسبه شاخص بارش پیشین، بعد از اینکه مقدار ثابت فروکش رطوبت خاک (K)، تعیین گردید، میزان بارندگی در روزهای قبل نیز مورد نیاز بوده‌است و برای این منظور ابتدا می‌بایست تعداد روزهای پیشین در نظر گرفته می‌شد. تعداد روزهای قبل، در منابع مختلف معمولاً از ٧ تا ٦٠ روز بسته به شرایط منطقه در نظر گرفته شده است، البته مقادیر حدی حداقل ٥ روز (وایزمن و لویس، ١٩٩٦) و حداکثر١٢٠ روز (انکتیل و همکاران، ٢٠٠٤) نیز در منابع دیده شده است. تعداد روزهای قبل، بستگی به وضعیت اقلیمی منطقه داشته و هر چه اقلیم منطقه به سمت گرم و خشک بودن متمایل می‌گردد، تعداد روزهای قبل نیز کاهش پیدا می‌کند زیرا در این حالت تأثیر بارندگی‌های قبلی روی رطوبت خاک زودتر خنثی می‌گردد. با این وجود تعداد روزهای قبل، هر چه بیشتر در نظر گرفته شود، محاسبه API نیز دقیق‌تر خواهد بود ولی از آنجایی‌که از یک حد معین به بعد، تأثیر آن شدیداً کاهش می‌یابد، در حوضه‌های آبریز مورد مطالعه با توجه به وضعیت اقلیمی این حوضه‌ها، تعداد روزهای قبل برابر با ٣٠ روز در نظر گرفته شد و به این ترتیب از انجام محاسبات طویل، پیچیده و زمان‌بر که در اثر طولانی شدن دوره پیشین ایجاد می‌شد، جلوگیری به عمل آمد. از سوی دیگر با توجه به تاریخ وقوع دبی‌های اوج مستقل، مقادیر بارش ثبت شده در ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود در حوضه‌های مورد مطالعه در طی روز وقوع دبی اوج و ٣٠ روز قبل از آن، استخراج شد و پس از آن میزان متوسط بارش برای هر روز با در نظر گرفتن میانگین وزنی باران ثبت شده از روش تیسن محاسبه گردید.

همچنین طول مدت یک سیل برابر با یک، دو و یا سه روز بسته به تداوم بارش، قبل و بعد و یا در همان تاریخی که حداکثر بارش روزانه بـه وقـوع پیوسـته بـود، در نظـر گرفته شد.

دبی پایه به‌عنوان شاخص ذخیره زیر سـطحی در نظـر گرفته شد و هیدروگراف‌ها همراه با هایتوگراف بارش‌های مربوطه به طور تـوأم در گـراف‌هـای مشـترک در مقیـاس زمانی روزانه ترسیم شدند. سپس رواناب سطحی ناشی از بارش پس از جداسازی دبی پایه از هیدروگراف دبی کـل با استفاده از روش فیلتر دیجیتال متوالی به‌دست آمد و نیز زمان فروکش رواناب مستقیم پـس از دبـی اوج از رابطـه زیر محاسبه شد (علیزاده، ١٣٨٢).

$$N = 0.83\ A^{0.2} \qquad (٥)$$

که در آن:

N= زمان پس از دبی اوج هیدروگراف برحسب روز

A= مساحت حوضه برحسب کیلومترمربع

جهت تعیین بهترین رابطه میان متغیرهای مستقل و متغیر وابسته، سه شکل کلی از معادلات پیش‌بینی با فرم عمومی ارائه شده به‌صورت معادلات زیر، بر داده‌های موجود برازش داده شد:

$$R=a+bP+cAPI+dBF \qquad (٦)$$

$$R^{0.5}=a+bP+cAPI+dBF \qquad (٧)$$

$$R/P=1-e^{a+bP+cAPI+dBF} \qquad (٨)$$

در سه رابطه اخیر R، P و API به‌ترتیب ارتفاع رواناب سطحی، ارتفاع بارش و شاخص بارش پیشین برحسب میلی‌متر بوده و BF دبی پایه برحسب مترمکعب در ثانیه می‌باشد. همچنین ضرایب a، b، c و d ضرایب معادلات رگرسیونی می‌باشند که در این تحقیق جهت تعیین ضرایب مذکور با استفاده از روش حداقل مربعات، از برنامه رایانه‌ای SPSS استفاده شد.

با مرتب‌سازی معادله ٨ و گرفتن لگاریتم در مبنای عدد نپرین از طرفین آن، این معادله به‌صورت خطی در

www.SID.ir

Archive of SID

آمده که در نتیجه ضرایب آن از روش رگرسیون خطی چندگانه قابل تعیین بوده است. معادله ۸ پس از تبدیل به‌صورت زیر بازنویسی گردید:

$$Ln(1-R/P)=a+bP+cAPI+dBF \qquad (۹)$$

به این ترتیب با توجه به ترکیب بهینه میان متغیرهای مستقل و متغیر وابسته، بین یک تا حداکثر سه ضریب رگرسیونی (و نیز یک مقدار ثابت) برای هر یک از روابط ٦، ۷ و ۹ تعیین شد و خطای استاندارد تخمین[1] (S.E.) و ضریب همبستگی چندگانه (r) براساس روابط پایه آماری با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS محاسبه شد.

به‌منظور تعیین روابط رگرسیونی بهینه برای پیش‌بینی رواناب در حوضه‌های مورد نظر، داده‌های موجود به‌صورت زیر دسته‌بندی شدند:

۱- دبی‌های اوج مستقل ناشی از بارش‌هایی با عمق بیشتر از یک میلی‌متر

۲- دبی‌های اوج مستقل ناشی از بارش‌هایی با عمق بیشتر از پنج میلی‌متر

۳- دبی‌های اوج مستقل ناشی از بارش‌هایی با عمق بیشتر از ده میلی‌متر

براساس این دسته‌بندی تعداد کل مشاهدات مربوط به هر دسته در هریک از حوضه‌های مورد مطالعه به شرح جدول ۲ به‌دست آمد.

در این مرحله به‌منظور تعیین ضرایب مربوط به معادلات ٦، ۷ و ۹، برای هر یک از دبی‌های مستقل گروه‌بندی شده، ۳٦ معادله با توجه به اندیس‌های ممکن در نظر گرفته شد که نهایتاً تعداد کل معادلات در نظر گرفته شده برای هر حوضه ۱۰۸ مورد بوده است (البته در مورد حوضه آبریز معرف امامه با توجه به یکی بودن ارقام مربوط به دسته‌های اول و دوم، تعداد کل معادلات بررسی شده برابر با ۷۲ مورد بوده است). در ارتباط با معادلات ممکن برای هر حوضه باید اشاره نمود که برای استخراج آنها از پارامترهای P_0، API_0، API_{-1}، BF_0، BF_{-1}، R_0، R_{0+1} و R_{-1+0+1} استفاده شده است که در این پارامترها اندیس‌های ۱-، ۰ و ۱ به‌ترتیب نمایشگر مقدار پارامتر در روز قبل از وقوع دبی اوج، روز وقوع دبی اوج و یک روز بعد از وقوع دبی اوج می‌باشد. بر این اساس با استفاده از معادلات ٦، ۷ و ۹ و از ترکیب این پارامترها در حالت‌های مختلف، تعداد قابل توجهی معادله قابل استخراج بوده که در این تحقیق از میان حالت‌های ممکن، ۳٦ معادله که آرایش مناسب‌تری داشته برای هر یک از دسته‌های مفروض در نظر گرفته شد و در نهایت پس از انجام تجزیه و تحلیل‌ها، بهترین فرم معادلات برای هر یک از حوضه‌های مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه گردید.

نتایج و بحث

نتایج ارائه شده در این مقاله براساس همبستگی بهینه میان متغیر وابسته (ارتفاع رواناب) و سه متغیر مستقل شامل ارتفاع بارش، شاخص بارش پیشین و دبی پایه در فرآیند تبدیل بارش به رواناب به‌دست آمد. ضرایب رگرسیون خطی چند متغیره، خطاهای استاندارد و ضرایب همبستگی روابط رگرسیونی بهینه برای حوضه‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. در این جدول، اندیس‌های منفی یک و صفر به‌ترتیب نشان‌دهنده مقدار پارامتر در یک روز قبل و در همان روز وقوع دبی اوج می‌باشد.

نتایج حاصل از استخراج روابط رگرسیونی نشان داد که در حوضه آبریز امامه بهترین ضرایب همبستگی به ازای مقادیر دبی اوج ناشی از بارش‌هایی با ارتفاع بیشتر از ۵ میلی‌متر و برای حوضه آبریز کسیلیان بهترین روابط به ازای بارش‌هایی با ارتفاع بیشتر از ۱ میلی‌متر به‌دست می‌آید. همچنین اعداد و ارقام ارائه شده در جدول ۳ نشان می‌دهد که بارش برای هر دو حوضه مورد مطالعه یک پارامتر اصلی می‌باشد و معنی آن این است که همبستگی براساس مدل آماری، با معنی‌دارترین پارامتر فیزیکی دخیل در فرآیند بارش رواناب یعنی بارش، به‌طور مناسبی سازگاری داشته است.

1- Standard Error

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- تعداد دبی‌های اوج مستقل مشاهده شده در حوضه‌های مورد مطالعه.

متغیر	حوضه آبریز معرف امامه	حوضه آبریز معرف کسیلیان
تعداد کل دبی‌های اوج مستقل در دوره مشاهدات	۹۶	۱۷۵
دبی‌های اوج مستقل ناشی از بارش‌هایی با عمق بیشتر از یک میلی‌متر	۵۹	۱۱۲
دبی‌های اوج مستقل ناشی از بارش‌هایی با عمق بیشتر از پنج میلی‌متر	۵۹	۱۰۸
دبی‌های اوج مستقل ناشی از بارش‌هایی با عمق بیشتر از ده میلی‌متر	۵۵	۸٤

جدول ۳- شاخص‌های آماری پایه برای دبی‌های اوج مستقل ناشی از بارندگی‌هایی به‌ترتیب برابر یا بزرگ‌تر از ۱ و ۵ میلی‌متر به‌ترتیب برای حوضه‌های آبریز معرف کسیلیان و امامه.

نام حوضه	شاخص رواناب	ثابت معادله	P_0	API_0	BF_0	API_{-1}	ضریب همبستگی	خطای استاندارد تخمین
		-	(mm)	(mm)	(m^3/s)	(mm)	r	S. E.
کسیلیان	$R^{0.5}$=	۰/۵٤۷۵۱	۰/۰۳۳۵٤	۰/۰۱۱۱۵	۱/٦٤۱۰۲	-	۰/۸۵٦۷۱	۰/٤۵۲٦۸
	$R^{0.5}$=	۰/۵٤٦۹۳	۰/۰٤٤۷۰	-	۱/٦٤۱۰۲	۰/۰۱۰۰۱	۰/۸۵٦٦۹	۰/٤۵۲۷۲
	R=	-٤/۵۳۰۷۰	۰/۱۸۹۰۸	۰/۰۷۷۸۰	9/21456	-	۰/۸٤۸۷٦	۲/۷٤۷۹۳
	R=	-٤/۵۳۰۹٦	۰/۲٦٦۸۸	-	۹/۲۱۷۱۵	۰/۰٦۹۷۷	۰/۸٤۸٦۵	۲/۷٤۸۸۵
	$Ln(1-R/P_0)$=	-۰/۱۵٦۹۳	۰/۰۰۹٤۰	-۰/۰۰۳۷۵	-۰/٤۱۷۹۲	-	۰/٦۳۲۹۰	۰/۱۷۵٤۸
	$Ln(1-R/P_0)$=	-۰/۱۵۷۱۰	۰/۰۰۵٦۵	-	-۰/٤۱۸۱۷	-۰/۰۰۳۳٦	۰/٦۳۲۵۹	۰/۱۷۵۵۳
امامه	$R^{0.5}$=	۱/۲۲۰۸۱	۰/۰۰۰۷٤	۰/۰۱۳۵۹	۱/۵٤۷۹۹	-	۰/۸٤۲۵۳	۰/٤۹۸۱۳
	$R^{0.5}$=	۱/۲۲۰۸۲	۰/۰۱٤۳۵	-	۱/۵٤۷۳٦	۰/۰۱۲۲۰	۰/۸٤۲٤۱	۰/٤۹۸۳۰
	R=	-۲/۲۷۱٦۷	۰/۰۱۷٦۷	۰/۰۹۰۳۱	۱۰/۱۵٦۵۸	-	۰/۸۲٦۳۱	۳/۵۵۳۸۱
	R=	-۲/۲۷۰۵۰	۰/۱۰۸۱٤	-	۱۰/۱۵۳۲۲	۰/۰۸۱۰۲	۰/۸۲٦۱۱	۳/۵۵۵٦۲
	$Ln(1-R/P_0)$=	-۰/۲٦۸۱۲	۰/۰۱۰۰۷	-۰/۰۰۲۵۸	-۰/٤۳۳۹۹	-	۰/۷۳۹۵۹	۰/۱۸۷۹٦
	$Ln(1-R/P_0)$=	-۰/۲٦۸۳۲	۰/۰۰۷٤۸	-	-۰/٤۳٤۰۲	۰/۰۰۲۳۰	۰/۷۳۹۲۸	۰/۱۸۸۰٦

علت اینکه ضریب همبستگی روابط حاصل بسیار بالا (نزدیک به عدد یک) به‌دست نیامده ممکن است به واسطه محدود بودن داده‌های موجود باشد. علاوه‌بر این، برخی از پارامترهای دخیل در مدل، نظیر API و دبی پایه و نیز API و ارتفاع بارش ممکن است اثرات متقابلی بر یکدیگر داشته باشند. با وجود این ضریب همبستگی روابط استخراج شده، نسبت به حالتی که تنها از یک متغیر مستقل در روابط نهایی استفاده می‌شده بسیار بالاتر بوده و در ضمن با اطمینان ۹۵ درصد در محدوده مناسب و قابل قبولی می‌باشد.

بنابراین با توجه به ضرایب همبستگی و خطای استاندارد روابط استخراج شده در جدول ۳، بهترین روابط به منظور پیش بینی ارتفاع رواناب در دو حوضه مورد مطالعه به‌صورت زیر پیشنهاد می‌شود:

الف) برای حوضه آبریز معرف امامه

$$R^{0.5}=1.22082+0.01435P_0+0.01220API_{-1}+1.54736BF_0 \quad (۱۰)$$

ب) برای حوضه آبریز معرف کسیلیان؛

$$R^{0.5}=0.54751+0.03354P_0+0.01115API_0+1.64102BF_0 \quad (۱۱)$$

در مورد رابطه پیشنهادی برای حوضه آبریز معرف امامه ذکر این نکته لازم است که به‌رغم این که از میان روابط ارائه شده برای حوضه آبریز معرف امامه در جدول ۳، ضریب همبستگی و خطای استاندارد مربوط به رابطه ردیف اول، اندکی نسبت به رابطه ردیف دوم بهتر بوده ولی با وجود این، رابطه ردیف دوم برای حوضه آبریز

www.SID.ir

Archive of SID

معرف امامه پیشنهاد می‌شود که دلیل آن مناسب‌تر بودن ضریب بارش مربوط به روز وقوع دبی اوج (ضریب P_0) در رابطه دوم برای این حوضه می‌باشد زیرا در رابطه اول، این ضریب تقریباً نزدیک به صفر است (۰/۰۰۰۷٤) که معقول نمی‌باشد.

به‌منظور نمایش کاربرد نتایج به‌دست آمده به‌وسیله روابط رگرسیون بهینه، مقایسه‌ای میان رواناب تخمینی از روابط مذکور و رواناب واقعی مشاهده شده برای تعدادی از وقایع مشاهده شده در حوضه‌های مورد مطالعه در جدول ٤ ارائه شده است. از مطالعه ستون انتهایی سمت چپ این جدول ملاحظه می‌شود که برای حوضه آبریز معرف امامه، حداکثر قدر مطلق میزان اختلاف میان مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده برابر با ۲ میلی‌متر و حداکثر اختلاف مذکور برای حوضه آبریز معرف کسیلیان برابر با ۳/۲ میلی‌متر به‌دست آمده که نشان‌دهنده دقت قابل قبول روابط ارائه شده می‌باشد.

نتیجه‌گیری

مروری بر تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که اولاً یک رابطه کاربردی جهانی ساده و دقیق برای پیش‌بینی سیلاب وجود ندارد و ثانیاً دقت پیش‌بینی روابط ارائه شده برای حوضه‌های منفرد بستگی زیادی به در دسترس بودن داده‌های بارش و دبی رودخانه دارد. در این تحقیق روابط پیش‌بینی بهینه برای تخمین ارتفاع رواناب در دو حوضه آبریز معرف امامه و کسیلیان به وسیله مدل رگرسیون خطی چند متغیره براساس پارامترهای بارش، شاخص بارش پیشین و دبی پایه استخراج شد.

جدول ٤- مقایسه مقادیر مشاهده شده و برآورد شده با استفاده از بهترین معادله رگرسیونی پیشنهاد شده برای حوضه‌های آبریز معرف امامه و کسیلیان.

نام حوضه	تاریخ وقوع سیل			ارتفاع رواناب مشاهده شده (میلی‌متر)	ارتفاع رواناب برآورد شده (میلی‌متر)	اختلاف میان مقادیر ارتفاع رواناب مشاهده شده و برآورد شده (میلی‌متر)
	سال	ماه	روز			
امامه	۱۳٦۱	مهر	۱٦	۱۰/۳	۹	۱/۳
	۱۳٥۱	آبان	۱۳	٤/۹	٦	-۱/۱
	۱۳۷۰	آذر	۱۸	٥/٥	٥/۹	-۰/٤
	۱۳٥٤	دی	۲	٥/۲	٥/۲	۰/۰
	۱۳۷٤	بهمن	۲۲	۳/٦	٤/۸	-۱/۲
	۱۳٦۸	اسفند	۲۳	٦/۳	٦/٤	-۰/۱
	۱۳٥٦	فروردین	۱۸	۹/٤	۸/۹	۰/٥
	۱۳۷۱	اردیبهشت	۷	۲۳/۰	۲٥/۰	-۲/۰
	۱۳٦۲	خرداد	۱	٦/۹	۸/٥	-۱/٦
	۱۳٥۳	تیر	۱٦	٤/۹	۳/۷	۱/۲
	۱۳٥۱	مرداد	۱٥	۳/۷	۳/٥	۰/۲
کسیلیان	۱۳٦۷	مهر	۹	۱٥/۷	۱۲/٥	۳/۲
	۱۳٦۷	آبان	۳۰	۲/۲	۲/۱	۰/۱
	۱۳۷٦	آذر	۳	۳/٤	۳/٥	-۰/۱
	۱۳٥۹	دی	٥	۳/٥	۳/٤	۰/۱
	۱۳٥۷	بهمن	۲۸	٤/۰	۳/۲	۰/۸
	۱۳۷۳	اسفند	۲۷	٤/۲	٤/۲	۰/۰
	۱۳٦۲	فروردین	٤	٤/٦	٤/۸	-۰/۲
	۱۳٥۱	اردیبهشت	۳۱	۲۹/۳	۲۸/۲	۱/۱
	۱۳٥٥	خرداد	۱۷	٥/۰	٤/۰	۱/۰
	۱۳۷۱	تیر	۲۰	۹/٥	۹/۲	۰/۳
	۱۳٦۷	مرداد	٥	۱۱/۷	۱۱/٤	۰/۳
	۱۳٦۲	شهریور	۲۳	۲٤/٦	۲٥/۲	-۰/٦

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج بـه‌دسـت آمـده نشـان داد هنگـامی کـه روابـط پیش‌بینی به‌صورت رابطه میان جذر ارتفاع رواناب با سایر متغیرهای وابسته استخراج شود دقت کلی پیش‌بینی نسبت به دو رابطه دیگر (روابط ٦ و ٨) بیشتر خواهد بود.

خطای اسـتاندارد تخمـین در رابطـه بهینـه پـیش‌بینـی روانـاب در حوضـه آبریـز معـرف امامـه برابـر بـا ۰/۲٤۸ میلی‌متر و برای حوضـه آبریـز معـرف کسـیلیان برابـر بـا ۰/۲۰۵ میلی‌متر بوده همچنین ضریب همبستگی چندگانه برای بهترین روابط پیش‌بینی در دو حوضه مـورد مطالعـه به‌ترتیب برابر با ۰/۸٤۲ و ۰/۸۵۷ به‌دست آمد.

روابط رگرسیونی ارائه شده، جهـت تخمـین روانـاب ناشی از بارش در حوضه‌های آبریز مجاور، تحت شـرایط ذیل قابل کاربرد بوده و پیشنهاد می‌شود:

۱- وضعیت اقلیمی مشابه.

۲- وضعیت توپوگرافی مشابه.

۳- وضعیت زمین‌شناسی مشابه.

٤- نوع خاک و پوشش جنگلی مشابه.

همچنین با توجه به اینکه دبی پایه یکی از پارامترهای دخیل در روابط رگرسیـونی پیشنهادی می‌باشـد بنابـراین، مساحت زهکشی یکسان نیز باید به شـروط فـوق اضـافه شود زیرا مساحت‌های متفاوت در شرایط یکسان دبی‌های پایه متفـاوتی را تولیـد خواهنـد نمـود و اگـر حوضـه‌هـا مساحت یکسان نداشته باشند آنگاه یـک فـاکتور تصـحیح مناسب برای تطابق دبی‌های پایه باید تعریف شود.

در اینجا تاکید می‌شود که نتایج حاصل از این تحقیـق با رعایت احتیاط در مورد حوضه‌های فاقـد آمـار مجـاور (با خصوصیات هیدرولوژیکی مشابه) به کار بـرده شـود و نیز آزمون‌های بیشتری در ارتباط با اختلاف‌هـای ناشـی از تعمیم نتایج باید انجام شود.

سپاسگزاری

مؤلفین مقاله بر خود لازم می‌دانند تا از زحمات پروفسور پاتریک ویلمز در بخش هیدرولیک دانشگاه کاتولیک لون کشور بلژیک که باراهنمایی‌های ارزشمند خود نقش مؤثری را در انجام تحقیق حاضر به عهده داشته‌اند کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند.

منابع

۱.علیزاده، ا. ۱۳۸۲. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ شانزدهم. مشهد: دانشگاه امام رضا (ع). ۸۱۵ ص.

۲.گزارش‌های آماری حوضه‌های آبریز معرف امامه و کسیلیان از سال آبی ۵۰-۱۳٤۹ الی ۷۸-۱۳۷۷. مرکز تحقیقات منابع آب ایران (تماب).

۳.ویسکرمی الف. و تلوری، ع. ۱۳۸۰. بررسی تأثیر رطوبت قبلی خاک بر میزان آبدوی در حوزه آبخیز کشکان. مجموعه مقالات اولین همایش بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب. ۲۱-۱۸ اسفند ماه ۱۳۸۰. دانشگاه زابل. ۱۳٦ - ۱۲۳.

4.Anctil, F., Michel, C., Perrin, C., and Andreassian, V. 2004. A Soil Moisture Index as an Auxiliary ANN Input for Stream Flow Forecasting. Journal of Hydrology. Vol. 286. pp. 155-167.

5.Boyd, D., Smith, A.F., and Veale, B. 2000. Flood Management on the Grand River Basin. Grand River Conservation Authority Flood Management System. Cambridge. Ontario. Canada. 26pp.

6.Chapman, T.G. 1991. Comment on 'Evaluation of Automated Techniques for Base Flow and Recession Analysis' by R. J. Nathan and T. A. McMahon. Water Resources Research. Vol. 27. No. 7. pp. 1783-1784.

7.Creager, W.P., Justin, J.D., and Hinds, J. 1945. Engineering for Dams. John Wiley & Sons, Inc. New York. pp. 143-155.

8.Hopkins Jr, C.D., and Hackett, D.O. 1961. Average Antecedent Tempratures as a Factor in Predicting Runoff from Storm Rainfall. Journal of Geophysics Research. Vol. 66. pp. 3313-3315.

9.Kohler, M.A., and Linsley, R.K. 1951. Predicting the Runoff from Storm Rainfall. U. S. Weather Bureau Research Paper No 34. Washington D. C. 9pp.

www.SID.ir

Archive of SID

10. Lee, J., and Bray, D.I. 1969. The Estimation of Runoff from Rainfall for New Brunswick Watersheds. Journal of Hydrology. Vol. 9. pp. 427-437.
11. Linsley, R.K., and Franzini, J.B. 1987. Water Resources Engineering. McGraw–Hill, Inc. New York. 716pp.
12. Linsly, Jr. R.K., Kohler, M.A., and Paulhus, J.L.H. 1988. Hydrology for Engineers. London. McGraw–Hill, Inc. 492p.
13. U.S. Soil Conservation Service. 1957. National Engineering Handbook. Sec. 4, Supplement A, Hydrology. pp. 3.10-1-3.10-8.
14. Viessman, Jr. W., and Lewis, G.L. 1996. Introduction to Hydrology. 4th Ed. Harper Collins. New York. 655pp.
15. Willems, P. 2005. Statistics for Water Engineering. IUPWARE. Interuniversity Programme in Water Resources Engineering. Academic Year 2004-2005. Katholieke Universiteit Leuven. Belgium. 355pp.

www.SID.ir

Archive of SID

J. Agric. Sci. Natur. Resour., Vol. 13(6), Feb-Mar 2007
www.magiran.com/jasnr
www.sid.ir

Determination of runoff prediction equations in mountainous catchments (Case study: Amameh and Kasilian representative catchments)

[1]R. Fazloula, [2]A.M. Akhound Ali and [2]A. Behnia
[1]Respectively, Ph.D. student of hydrology, and Faculty members of, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran.

Abstract

Prediction equations for runoff depth from rainfall in small mountainous catchments located in the north and south face of the Alborz chain have been derived in this research. For this purpose two catchments were selected so as having full and reliable rainfall runoff data and suitable regionally representative distribution over the studying area. The prediction equations have been obtained based on the rainfall depth, antecedent precipitation index and baseflow. Statistical methods were used to obtain the multiple linear regression equations, correlation coefficients and the standard error for each of the techniques used for the watersheds. All peak events greater than 0.7 cms for Amameh representative catchment and also all peak events greater than 1.0 cms for Kasilian representative catchment were considered for analysis and deriving final equations. The standard error of the optimum prediction equations for runoff was 0.248 and 0.205 mm for Amameh and Kasilian representative catchments, respectively. Also, the multiple correlation coefficient (R) was 0.842 and 0.857, respectively. Finally, the results of the developed regression equations were extended to the nieghbouring catchments of similar hydrological characteristics.

***Keywords*:** Multiple Regression; Antecedent Precipitation Index; Rainfall Depth; Baseflow; Runoff

www.SID.ir