

منطقه طی سالهای ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۸، تعداد ۳۲ رگبار با زمان بارش بیش از زمان تمرکز ۲/۹ ساعت حوزه و هم‌چنین ایجاد نوسان در آب‌نمود، انتخاب و میانگین ضریب روان‌آب کل واقعه، چارک‌ها و دهک‌ها محاسبه شد. سپس ارتباط بین متغیرهای گوناگون بارش کل و هم‌چنین بارش مازاد با میانگین مقدار ضریب روان‌آب و ضریب روان‌آب جزئی از راه تحلیل روابط رگرسیونی دو و چند متغیره و با شکل‌های گوناگون ساده و تغییر شکل یافته‌ی متغیرها بررسی شد. نتایج بدست آمده از پژوهش، دلالت بر تغییرات زیاد بین رگباری ضریب روان‌آب مشاهداتی در دامنه‌ی ۰/۶ تا ۴۵/۷ درصد با میانگین حسابی، میانه، معکوس میانگین لگاریتم و انحراف معیار به ترتیب ۰/۶۵، ۰/۹۶، ۰/۵۹، ۰/۳۵ درصد داشته است. روی هم رفته، یافته‌های پژوهش بر امکان شبیه‌سازی منحنی تغییرات ضریب یاد شده با استفاده از رگرسیون‌های دو متغیره با ضریب همبستگی بین ۲۸ تا ۸۸ درصد ($0.03 \leq P \leq 0.68$) و با برتری متغیرهای چارک دوم و سوم در تبیین آن دلالت داشته است.

واژه‌های کلیدی: پویایی ضریب روان‌آب، حوزه‌ی آبخیز بار، ضریب روان‌آب و مدل بارش- روان‌آب.

مقدمه

امروزه سیر افزایشی جمعیت کره‌ی زمین از یک سو و محدودیت منابع طبیعی از سوی دیگر، بشر خاکی را به چاره‌اندیشی و اتخاذ تدابیر گوناگون بمنظور صرفه‌جویی، بهره‌وری بهینه و آینده‌نگری در این منابع وادار نموده است. این موضوع، در کشورهای با منابع آب محدود و بویژه مناطق خشک و نیمه خشک، جنبه‌های حیاتی‌تر به خود گرفته است. قرار گرفتن کشور ایران روی کمربند مناطق خشک کره زمین در نتیجه‌ی کاهش بارندگی و ضریب تغییرات زمانی و مکانی بالای آن [۱۵]، اهمیت برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آبی کشور را دو چندان نموده

شبیه‌سازی تغییرات درون رگباری ضریب روان‌آب با استفاده از مؤلفه‌های بارشی در حوزه‌ی آبخیز بار نیشابور

احمد توسلی^۱، سید حمیدرضا صادقی^۲ و حمیدرضا مرادی^۳

تاریخ دریافت: ۸۸/۴/۱۳ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱/۳۱

چکیده

استفاده از روش‌های تجربی گوناگون برای برآورد روان‌آب سطحی در حوزه‌های آبخیز فاقد ایستگاه هیدرومتری، اجتناب‌ناپذیر است. یکی از پارامترهای مهم موجود در بیش‌تر این روش‌ها، ضریب روان‌آب است. تخمین صحیح ضریب روان‌آب سطحی و بررسی تغییرات آن در شرایط گوناگون، برآورد صحیح روان‌آب سطحی سیلاب‌ها را امکان‌پذیر می‌سازد. پژوهش‌ها در زمینه‌ی بررسی ضریب روان‌آب و عامل‌های مؤثر بر آن، بیش‌تر در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه در مناطق گوناگون جهان انجام شده است، ولی در زمینه‌ی تغییرات ضریب روان‌آب در مقیاس یک واقعه‌ی رگبار، پژوهش‌های کمی صورت پذیرفته است. حال آن‌که اساس بسیاری از تحلیل‌های هیدرولوژیک بر مقیاس رگبار استوار است. از این‌رو، هدف اصلی پژوهش، بررسی امکان شبیه‌سازی تغییرات ضریب روان‌آب در مقیاس رگبار و شناسایی عامل‌های مؤثر بارشی بر آن، در حوزه‌ی آبخیز بار نیشابور با مساحت ۱۱۳۸۸ هکتار بوده است. پس از بررسی ۴۴۰ باران‌نگار و آب‌نگار سیل‌های موجود در

۱- دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم دریایی

دانشگاه تربیت مدرس

۲- نویسنده‌ی مسئول و دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری دانشکده‌ی منابع

طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس

sadeghi@modares.ac.ir

۳- استادیار گروه مهندسی آبخیزداری دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم دریایی

دانشگاه تربیت مدرس

است و از سوی دیگر، وقوع سیل و آسیب‌های مداوم آن بر مردم در گستره‌ی کشور در حال افزایش است. آخرین آمار منتشره، تعداد دفعات وقوع سیل در طول سال‌های ۱۳۳۰ تا ۱۳۸۰ را ۳۷۰۰ مورد اعلام نموده اند [۵]. جبران خسارات مالی پس از بروز هر سیلاب، منوط به صرف بودجه‌های کلان است؛ در حالی‌که اگر این بودجه‌ها صرف پیش‌گیری از خطر سیل و تعیین و تشخیص مناطق سیل‌گیر شود، صرفه‌جویی اقتصادی را در پی خواهد داشت. روش‌های گوناگونی برای برآورد روان‌آب سطحی و پیشینه‌ی دبی سیلاب در پروژه‌های گوناگون آبخیزداری، کنترل و مهار سیلاب و طراحی بیش‌تر سازه‌های هیدرولوژی وجود دارد. از آن‌جا که بیش‌تر حوزه‌های آبخیز کشور فاقد ایستگاه هیدرومتری هستند، لذا استفاده از فرمول‌های تجربی برای تخمین متغیرهای یاد شده اجتناب‌ناپذیر است. روش‌های گوناگونی از قبیل استدلالی، شماره‌ی منحنی، میزان نفوذپذیری و آنالیز سیلاب‌ها برای برآورد روان‌آب سطحی وجود دارند که یکی از متغیرهای مهم موجود در بیش‌تر این روش‌ها، ضریب روان‌آب سطحی یا جریان^۱ است. تجربیات بسیاری نشان داده است، در صورتی‌که داده‌های مربوط به مؤلفه‌های بارش و سیلاب از دقت لازم برخوردار باشد، میزان ضریب روان‌آب برآورد شده، اختلاف چندانی با میزان اندازه‌گیری شده یا واقعی ندارد [۸]. در روش‌هایی مانند ضریب جریان در مقیاس دراز مدت نظیر ماه و سال، وضعیت جذب و دفع آب در سطح حوزه‌ی آبخیز به‌صورت ایستاق قابل ارزیابی است. به‌بیان دیگر، جریان سطحی اندازه‌گیری شده در نقطه‌ی خروجی حوزه‌های آبخیز، برآیند موازنه‌ی دراز مدتی است که در آن، تمامی عوامل دخیل از قبیل توزیع زمانی بارش، تبخیر و تعرق، نفوذ و حرکت آب در سطح و لایه‌های زیرین و در پی آن، تلفات مربوط به اثرات خود را به‌گونه‌ی کامل اعمال می‌کنند [۱۲]. حال آن‌که در مقیاس کوتاه‌مدت، تولید روان‌آب از یک پدیده ویژه بارش، به‌دلیل تأثیر ناچیز عوامل اتلاف، بویژه تبخیر و تا حدودی نفوذ، طبیعتاً مقدار روان‌آب و در پی آن، ضرایب جریان، به‌مراتب متفاوت‌تر از مقادیر ناشی از شرایط یاد شده در مقیاس دراز مدت بوده و بنابراین، ضرورت انجام مطالعات بیش‌تر را تأکید می‌نماید.

¹ -Runoff Coefficient

² -Static

مطالعات زیادی برای تعیین ضریب روان‌آب سطحی انجام یافته است که در هر یک از آن‌ها جدول‌هایی ارائه شده که از یک یا چند عامل استفاده می‌شود. هم‌چنین، مطالعات زیادی در مناطق گوناگون انجام شده است که منجر به ارائه‌ی رابطه‌ی میانگین ضریب روان‌آب برای منطقه‌ی خاص شده است. پژوهش‌های انجام‌شده در سطح جهان، دلالت بر نقش کنترل‌کنندگی وضعیت زمین و خصوصیات حوزه‌ی آبخیز (روش جامعه‌ی امریکایی مهندسان عمران^۳ و کمیته‌ی آلودگی آب^۴، رابطه‌ی مک مت^۵، رابطه‌ی هاف بور^۶ و جدول ریچارد^۷)، سطح نفوذناپذیر (جدول چو^۸)، پوشش گیاهی (جدول کامل^۹ و آل بینونی^{۱۰})، مقدار بارندگی (جدول تی جی بارلو^{۱۱} و آل بینونی) و مدیریت حاکم بر سامانه (جدول چو) دارد [۱۱، ۱۴، ۱۷]. حال آن‌که مطالعات مرتبط با تغییرپذیری روان‌آب در مقیاس‌های گوناگون زمانی و بویژه تحلیل آن در مقیاس رگبار بسیار محدود است. توری و همکاران [۳۱] تغییرات ضریب روان‌آب در فصل‌های گوناگون یک حوزه‌ی آبخیز در ایتالیا را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد ارتباط نمایی بین ضریب روان‌آب با بارش جمعی و انرژی سینماتیک باران در دو تیمار پلات‌های آزمایشی و کل حوزه‌ی آبخیز برقرار بود. گورگف و لوزانف [۱۹] ضمن طرح ایده‌ی تغییرات دینامیک ضریب روان‌آب، به بررسی تغییرات آن در مقیاس یک رگبار در حوزه‌ی آبخیز جنگلی یوندولا^{۱۲} در بلغارستان پرداختند. نتایج پژوهش ایشان مشخصاً دلالت بر نقش کنترل‌کنندگی مؤلفه‌ی مدت بارش و هم‌چنین میزان پوشش گیاهی و نوع خاک در تعیین ضریب روان‌آب در حوزه‌ی آبخیز مورد پژوهش داشته است. مرز و همکاران [۲۵] در رابطه با متغیرهای زمانی و مکانی مؤثر بر ضریب روان‌آب در ۳۳۷ حوزه‌ی آبخیز اتریش پژوهش نموده و مشاهده کردند که بین ضریب روان‌آب و میانگین بارش سالانه همبستگی معنی‌دار وجود داشته و ارتباط آن با نوع خاک و کاربری اراضی، پایین ارزیابی شد. تاپیا و همکاران

³ -American Society of Civil Engineers, ASCE

⁴ -Water Pollution Committee

⁵ -Mc Math

⁶ -Hafbaure

⁷ -Richard

⁸ -Chow

⁹ -Curnel

¹⁰ -Al-Binonie

¹¹ -T.G. Barlow

¹² -Yundola

[۳۰]، ضریب روان‌آب لحظه‌ای در حوزه‌ی آبخیز رودخانه‌ی توتوون^۱ شیلی را مورد مطالعه قرار دادند. ایشان شدت بارندگی را مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده‌ی ضریب روان‌آب در منطقه معرفی کردند. شی و همکاران [۲۸] طی پژوهشی در منطقه‌ی شنزن^۲ چین روی تغییرات ضریب روان‌آب از راه مدل SCS، به این نتیجه رسیدند که بارش‌های با احتمال وقوع بالاتر، دارای ضریب روان‌آب بیش‌تری بودند. ژانگ و همکاران [۳۲] با استفاده از معادلات رگرسیونی بررسی روابط بارش-روان‌آب متوسط، محاسبه‌ی ضریب روان‌آب در سال‌ها و ماه‌های گوناگون در دو حوزه‌ی آبخیز مجاور در چین را موفق ارزیابی نمودند. مک اینتایر و همکاران [۲۴]، ۳۶ رگبار در حوزه‌ی آبخیز وادی آهین^۳ عمان را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها رابطه‌ی بین دبی اوج، حجم روان‌آب و ضریب روان‌آب را با چهار متغیر بارش و شاخص رطوبت پیشین مطالعه نمودند. نتایج نشان داد که حجم بارش، کنترل‌کننده‌ی اولیه حجم روان‌آب و دبی اوج بوده است. ضریب روان‌آب در رگبارهای حوزه‌ی آبخیز مطالعاتی بین ۲ تا ۳۶ درصد بدست آمد. سن [۲۷]، تغییرات ضریب روان‌آب لحظه‌ای و دبی اوج را با استفاده از یک سری ورودی‌های فرضی در ترکیه شبیه‌سازی نمود. نتایج نشان داد که ضریب روان‌آب با توجه به تغییرات بارش و روان‌آب در بازه‌های زمانی متفاوت بوده است. ایشان یک مدل نمایی را برای تغییرات ضریب روان‌آب در فاصله‌های زمانی بسیار کوچک با فرض ثابت بودن دیگر متغیرها ارائه نمود. در داخل کشور نیز شریفی و همکاران [۸] با ارزیابی ضریب روان‌آب ناشی از بارش در حوزه‌ی آبخیز کسلیان، به این نتیجه رسیدند که ضریب روان‌آب بدست آمده از روش SCS به تغییرات شماره‌ی منحنی بسیار حساس است. اعتمادی [۳] تغییرات ضریب روان‌آب سطحی در مقیاس ماهانه و فصلی در حوزه‌ی آبخیز درجین سمنان را مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت که ضریب روان‌آب در دوره‌های مورد بررسی با شدت بارندگی و میزان رطوبت پیشین خاک رابطه‌ی مستقیم و با درجه‌ی حرارت و میزان تبخیر و تعرق رابطه‌ی عکس داشته است. قهرمان و همکاران [۱۳] تغییر روابط بارش- روان‌آب سالانه در شرایط گوناگون اقلیمی را در دو حوزه‌ی آبخیز

^۱ -Tutuvén

^۲ -Shenzhen

^۳ -Wadi Ahin

کشف‌رود و اترک مطالعه نمودند. آن‌ها دریافتند که ضریب همبستگی بین ضریب جریان و مقدار بارندگی صرف‌نظر از نوع معادله، همواره مثبت و با افزایش میزان بارندگی، ضریب جریان در حوزه‌ی آبخیز مطالعاتی افزایش داشته است. اسلامیان و همکاران [۲] در حوزه‌ی آبخیز بازفت استان چهارمحال و بختیاری در رابطه با تحلیل ضرایب روان‌آب و همبستگی بین روان‌آب و بارش، پژوهش نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از آمار روان‌آب کل برای بیان ضریب روان‌آب صحیح نبوده و باید از آمار روان‌آب مستقیم ناشی از رگبارهای هم‌زمان استفاده شود. اسلامی و ثقفیان [۱] نقش عامل‌های مورفومتری و اقلیمی حوزه‌های آبخیز ناحیه‌ی غربی خزر در تولید جریان‌های سیلابی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که مقادیر دبی جریان با افزایش مساحت حوزه‌ی آبخیز، تا مقداری معین افزایش و سپس کاهش می‌یابد، یعنی آن‌که در حوزه‌های آبخیز بزرگ‌تر و بویژه کم بارش به‌دلیل تلفات بین راهی بیش‌تر، ضریب روان‌آب و به‌بیان دیگر، بده جریان ویژه کاهش می‌یابد.

همان‌گونه که از بررسی پیشینه‌ی پژوهش برداشت می‌گردد، در زمینه‌ی بررسی مؤلفه‌های مؤثر بر تغییرات ضریب روان‌آب پژوهش‌هایی صورت گرفته است. حال آن‌که در زمینه‌ی شبیه‌سازی روند تغییرات درون رگباری^۴ ضریب روان‌آب با استفاده از مؤلفه‌های بارشی در مقیاس یک واقعه‌ی رگبار، تنها پیشینه‌ی پژوهش‌های انجام شده به وسیله‌ی گورگف و لوزانف [۱۹]، مرز و همکاران [۲۵] و نیز مک اینتایر و همکاران [۲۴] در خارج از کشور و مشخصاً در این راستا قابل دسترس بوده که طبیعتاً ضرورت انجام مطالعات و بررسی‌های گسترده در این زمینه را تأکید نموده است.

از این‌رو، پژوهش با هدف اصلی بررسی امکان شبیه‌سازی تغییرات درون رگباری ضریب روان‌آب و شناسایی عامل‌های مؤثر بارشی بر آن، در حوزه‌ی آبخیز بار نیشابور، به‌دلیل برخورداری از داده‌های جامع و در دسترس بارش و روان‌آب در مقیاس رگبار، انجام پذیرفت.

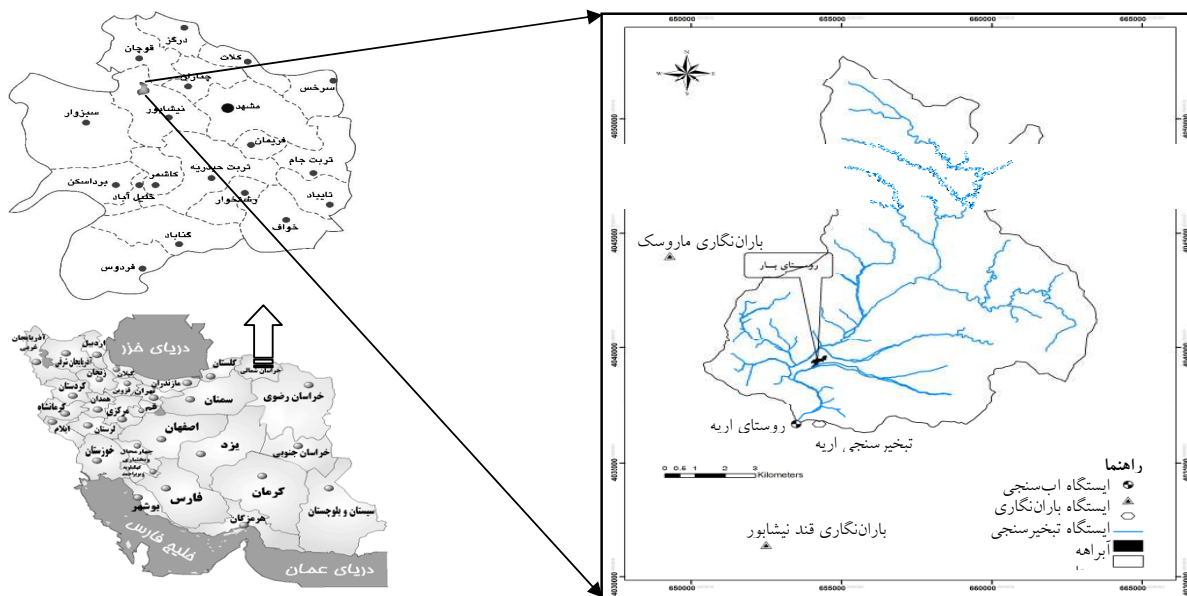
^۴ -Inter-Storm Variation

مواد و روش‌ها

الف) شناسایی منطقه‌ی مورد مطالعه

متر می‌باشد. محیط حوزه‌ی آبخیز ۵۴ کیلومتر و میانگین شیب آن ۱۱/۹ درصد محاسبه شده است. زمان تمرکز حوزه‌ی آبخیز بار با استفاده از تحلیل آب‌نگار و باران‌نگار مشاهداتی و محاسبه‌ی میانگین فاصله‌ی زمانی پایان بارش مازاد تا نخستین نقطه‌ی عطف شاخه‌ی نزولی آب‌نگارها ۲/۹ ساعت برآورد شد. در حوزه‌ی آبخیز مورد نظر، رودخانه‌ی فصلی بار با طول آبراهه‌ی اصلی ۲۲/۵ کیلومتر و میانگین شیب ۴/۲ درصد جریان داشته و به دشت نیشابور می‌ریزد. آب و هوای منطقه نیمه خشک، میانگین بارندگی سالانه، درجه‌ی حرارت، دبی و ضریب روان‌آب آن به ترتیب ۳۳۰/۴ میلی‌متر، ۵/۴ درجه‌ی سانتی‌گراد، ۰/۶۶ متر مکعب بر ثانیه و ۳۴/۸ درصد می‌باشد [۶].

حوزه‌ی آبخیز بار از جمله حوزه‌های است که با توجه به ویژگی‌های فیزیکی در رابطه با سیلاب‌های تولیدی با تنگناهایی ویژه مواجه بوده و با توجه به برخورداری از داده‌های جامع و گسترده‌ی در دسترس، برای این پژوهش در نظر گرفته شده است. محدوده‌ی مورد مطالعه (حوزه‌ی آبخیز بار- اریه نیشابور) به مساحت ۱۱۳۸۸ هکتار در جنوب غربی سلسله جبال بینالود قرار گرفته است. این منطقه در ۸۲ کیلومتری شمال غربی مشهد و بین $36^{\circ} 27' 38''$ تا $36^{\circ} 36' 32''$ عرض شمالی و $58^{\circ} 40' 46''$ تا $58^{\circ} 49' 31''$ طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). میانگین ارتفاع حوزه‌ی آبخیز بار ۲۲۲۶ متر و در محل ایستگاه هیدرومتری ۱۵۶۰



شکل ۱- موقعیت و سیمای کلی حوزه‌ی آبخیز بار در استان خراسان رضوی و کشور

خروجی این حوزه‌ی آبخیز تأسیس شده است. با توجه به نبود ایستگاه باران‌سنجی ثابت در منطقه، از دو ایستگاه باران‌نگاری ماروسک و کارخانه‌ی قند نیشابور با فاصله‌ی به ترتیب کم‌تر از ۳ و ۵/۵ کیلومتر (شکل ۱) در خارج و نزدیکی حوزه‌ی آبخیز مطالعاتی برای تهیه‌ی باران‌نگارها استفاده گردید. ایستگاه باران‌سنجی ماروسک و کارخانه‌ی قند به ترتیب با ارتفاع ۱۹۰۰ و ۱۰۷۴ متر از سطح دریا در سال‌های ۱۳۶۹ و ۱۳۶۵ شروع بکار کردند [۴]. بررسی همبستگی زمانی و حجمی موجود بین

ب) گردآوری داده‌ها

بمنظور شبیه‌سازی روند تغییرات ضریب روان‌آب با استفاده از مؤلفه‌های بارشی رگبار، ابتدا داده‌های تمامی رگبارهای ثبت شده به وسیله‌ی آب‌نگار و باران‌نگار موجود در منطقه، با مراجعه به سازمان‌های هواشناسی کشور، تحقیقات منابع آب (تماب)، آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی و اداره‌ی جهاد کشاورزی نیشابور گردآوری شد. ایستگاه آب‌سنجی ثابت بار-اریه با ارتفاع ۱۵۶۰ متر از سطح دریا در سال ۱۳۲۹ روی رودخانه‌ی بار و در

ایستگاههای بارانسنجی با هیدرومتری نشان داد که ایستگاه بارانسنجی ماروسک همبستگی بیش‌تری با سیلاب‌های رخ داده در منطقه را نشان داده است، لذا داده‌های مربوط به آن به‌عنوان مبنای بارش‌های ورودی به سامانه در نظر گرفته شد. سپس تمامی آب‌نگارهای سیلاب‌های منفرد و باران‌نگارهای متناظر آن‌ها پس از اطمینان از درستی ثبت، استخراج و برای انجام مراحل بعدی آماده شدند.

تمامی وقایع بارش برف، باران، برف توأم و رگبارهایی با فاصله‌ی زمانی کم‌تر از ۷۲ ساعت، جهت کاهش تأثیر روان‌آب ناشی از ذوب برف، از رگبارهای انتخابی حذف گردیدند. در این مرحله، رگبارهایی با مدت بارش برابر یا بیش از زمان تمرکز حوزه‌ی آبخیز انتخاب شدند.

ج) محاسبه‌ی ضریب روان‌آب

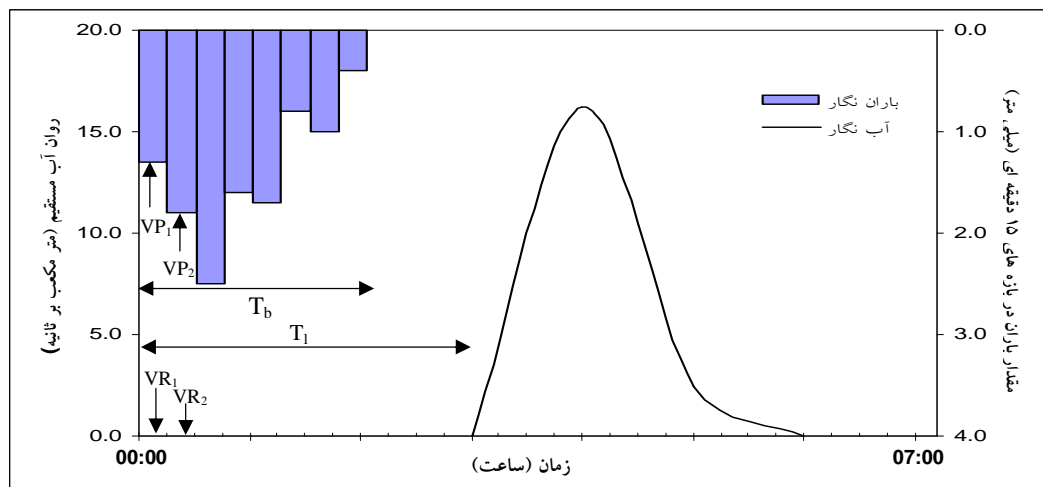
در مرحله‌ی بعد، به تجزیه‌ی آب‌نگار و تعیین روان‌آب مستقیم ناشی از رگبار مربوطه [۱۷ و ۲۹] مبادرت گردید. سپس از راه تقسیم حجم روان‌آب بدست آمده از سطح زیر منحنی آب‌نگار

(V_R) به حجم بارش (V_P)، میانگین ضریب روان‌آب کل واقعه (RC) با استفاده از رابطه‌ی (۱) محاسبه شد [۳]. در مرحله‌ی بعد، تقسیم‌بندی لازم برای هر یک از آب‌نگارها و باران‌نگارها با توجه به زمان دوام و همچنین لحاظ تغییرات جزئی در آن‌ها در قالب چارک‌ها (رابطه‌ی ۲) و پایه‌های پانزده دقیقه‌ای (رابطه‌ی ۳) صورت‌پذیرفت. در ادامه، ضریب روان‌آب هر یک از اجزای تفکیکی محاسبه شد. همچنین، مقادیر تجمعی ضریب روان‌آب و حجم بارش نسبت به‌هم مورد بررسی قرار گرفتند. روش محاسبه‌ی ضریب روان‌آب در پایه‌های زمانی مربوطه، در رابطه با یکی از رگبارهای مطالعاتی، در شکل (۲) نشان داده شده است.

$$RC = \frac{V_R}{V_P} \quad \Delta t = T_b \quad (۱) \text{ رابطه‌ی}$$

$$RC_{1to 4} = \frac{V_{Ri+T_1}}{V_{Pi}} \quad \Delta t = \frac{1}{4}T \quad (۲) \text{ رابطه‌ی}$$

$$RC_i = \frac{V_{Ri}}{V_{Pi}} \quad \Delta t = 15\text{min} \quad (۳) \text{ رابطه‌ی}$$



شکل ۲- روش محاسبه‌ی ضریب روان‌آب در قالب چارک‌ها و پایه‌های پانزده دقیقه‌ای مربوط به نخستین رگبار مورخ ۱۳۷۱/۱۱/۱۵

نرم‌افزارهای Excel2003، SPSS13.5 و Curve Expert1.3 [۷، ۱۶] و [۲۱] برای تهیه‌ی بانک اطلاعاتی، نمایش ترسیمی خروجی‌ها و نیز انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری استفاده شدند. در رگرسیون‌های دو متغیره، رابطه‌ی هر یک از متغیرهای ۱۳ گانه‌ی مستقل (X) شامل بارش کل به میلی‌متر (P)، چارک اول تا چهارم

د) تعیین روابط رگرسیونی

برای تعیین ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته، از آزمون ارتباط رگرسیون دو و چند متغیره به‌ترتیب بمنظور دستیابی به ارزیابی سریع متغیرهای مورد نظر و همچنین مشارکت عوامل مهم کنترل‌کننده‌ی ضریب روان‌آب و اجزای آن استفاده گردید.

$$Y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_nx_n + b \quad (8) \text{ رابطه‌ی}$$

کارآیی مدل‌های بدست آمده، با استفاده از مقادیر قابل قبول خطای تخمین و تأیید [۲۰؛ ۲۳]، و مجذور میانگین مربعات خطای کم‌تر [۱۰] و همبستگی بالاتر ارزیابی شد. از مجموع ۳۲ سری داده‌های جمع‌آوری شده، به ترتیب ۲۱ و ۱۱ داده برای مراحل واسنجی و تأیید مدل‌های نهایی استفاده شد. در مرحله بعد ضمن تحلیل نهایی نتایج به دست آمده، مدل برتر به همراه استدلال‌های منطقی ارائه شد.

نتایج

با توجه به روش کار ارائه شده در بخش پیش، تمامی داده‌های باران‌نگار و آب‌نگار سیل‌های موجود در منطقه، به تعداد ۴۴۰ مورد طی سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۸ با توجه به موجودیت داده‌های مورد نظر در مقیاس رگبار، بررسی گردید. در نهایت و پس از حذف رگبارهای نامناسب، تعداد ۳۲ رگبار به شرح مندرج در جدول (۱) انتخاب شدند. یادآور می‌شود که رگبارهای (۲) و (۱) ۱۳۶۹/۱۲/۲۴، ۱۳۷۱/۰۱/۱۴، (۱) ۱۳۷۱/۱۱/۱۵، ۱۳۷۱/۱۲/۱۳ و ۱۳۷۶/۰۱/۰۶ با وجود برخورداری از مدت بارش کم‌تر از زمان تمرکز حوزه‌ی آبخیز به دلیل ایجاد سیل‌های مشخص با دبی اوج نسبتاً بالا و شدت بارندگی بسیار زیاد برای بررسی انتخاب شدند. دلیل مشارکت زیاد آن‌ها در تولید روان‌آب را طبیعتاً می‌توان با توجه به داده‌های مندرج در جدول ۱، به شرایط مستعدکننده‌ی ایجاد روان‌آب از راه تأمین رطوبت پیشین زیاد و طبعاً میزان کم نفوذپذیری خاک از راه تأثیر بر شاخص ϕ نسبت داد. در ادامه، باران‌نگار و آب‌نگارهای سیل‌های مورد مطالعه پس از کسر آب پایه با روش خط مستقیم، با شیب رو به بالای متوسط ۷/۷ درصد با توجه به شکل آب‌نگارها و ویژگی‌های منطقه بدست آمد. نمونه‌ای از نتایج بدست آمده و مربوط به رگبار ۱۳۷۳/۱۲/۲۵ در شکل (۳) نشان داده شده است. پس از استخراج حجم بارش و روان‌آب رگبارهای مطالعاتی، ضریب روان‌آب در بازه‌های ۱۵ دقیقه‌ای به شکل کلی ارائه شده برای رگبار ۱۳۷۳/۱۲/۲۵ در شکل (۴) محاسبه گردید. برای بررسی بیش‌تر روند تغییرات ضریب روان‌آب و چگونگی ارتباط تغییرات آن با میزان بارش، مقادیر بالا در قالب چارک‌های گوناگون به صورت متناظر تهیه و

بارش به میلی‌متر (P_1 تا P_4)، میانگین شدت بارش به میلی‌متر بر ساعت (I)، چارک اول تا چهارم میانگین شدت بارش به میلی‌متر بر ساعت (I_1 تا I_4)، شاخص فی به میلی‌متر بر ساعت (ϕ Index)، مدت بارش به دقیقه (T)، مجموع بارش پنج روز پیش به میلی‌متر (P_5) و هر یک از متغیرهای وابسته (Y) مربوط به ضریب روان‌آب شامل ضریب میانگین روان‌آب کل به درصد (RC) و چارک اول تا چهارم ضریب روان‌آب به درصد (RC_1 تا RC_4) بررسی شد. شکل کلی روابط رگرسیونی دو متغیره‌ی مورد استفاده در این پژوهش با فرض مقادیر ضریب رگرسیون و ثابت a و b در روابط (۵) تا (۷) ارائه شده است.

$$Y = f(x) \quad (5) \text{ رابطه‌ی}$$

$$RC, RC_{1 تا 4} = f(P, P_{1 تا 4}, I, I_{1 تا 4}, \phi \text{ Index}, T, P_5) \quad (6) \text{ رابطه‌ی}$$

$$Y = ax + b \quad (7) \text{ رابطه‌ی}$$

تهیه‌ی مدل‌های رگرسیونی، در واقع از بررسی ارتباط مستقیم متغیرها با یکدیگر و یا شکل‌های تغییر یافته آن‌ها صورت پذیرفت، لذا روابط دوتایی بین متغیرها در حالت‌های گوناگون خطی و غیر خطی [۷] در نرم‌افزار SPSS13.5 و تعداد ۳۳ حالت گوناگون موجود در نرم‌افزار Curve Expert 1.3 مورد بررسی قرار گرفت. سپس با توجه به درجه‌ی آزادی $n-2$ مدل‌هایی با ضریب همبستگی قابل قبول در سطح ۱ و ۵ [۱۶] به عنوان مدل‌های نهایی در این مرحله، انتخاب شدند. برای تعیین ارتباط خطی بین متغیرهای مستقل و وابسته، آزمون ارتباط خطی چندگانه به سه روش معمول گام به گام، پس‌رو و پیش‌رو نیز مورد استفاده قرار گرفت [۹؛ ۲۶]. در این مرحله، بمنظور تأیید آزمون رگرسیون و تثبیت فرضیه‌های مرتبط با آن، نرمال بودن توزیع فراوانی داده‌ها، متغیرهای مستقل و وابسته با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف انجام شد [۷]. سپس با توجه به درجه‌ی آزادی $n-2$ و سطح معنی‌دار بودن [۱۶]، روابط با ضریب همبستگی معنی‌دار مشخص گردیدند. شکل کلی روابط رگرسیونی خطی چند متغیره مورد استفاده در این پژوهش با فرض مقادیر ضریب رگرسیون و ثابت به ترتیب a و b در رابطه‌ی (۸) ارائه شده است.

¹- Normal Distribution

برای نمونه در شکل (۵) در ارتباط با رگبار ۱۳۷۳/۱۲/۲۵ ارایه شد.

در ادامه، تمامی متغیرهای مستقل و وابسته شناسایی و سپس روابط رگرسیونی بین متغیرهای مستقل و وابسته به شرح روش کار به دو صورت رگرسیون دو و چند متغیره بررسی گردید. در مجموع، ۲۸۱۲۸ مدل در این بخش مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت، تمامی روابط معنی‌دار از دیدگاه آماری در جدول (۲) خلاصه گردیده تا بهره‌برداران گوناگون برحسب موجودیت داده‌ها و یا ضرورت دقت مورد نیاز، رابطه‌ی مناسب را مورد استفاده قرار دهند. بدیهی است در شرایط مساوی، مدل‌هایی با ضریب همبستگی بالاتر، خطای تخمین و تأیید کم‌تر و تعداد پارامترهای مستقل محدودتر نسبت به سایرین برتری خواهند داشت.

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی امکان شبیه‌سازی روند درون و بین رگباری^۱ تغییرات ضریب روان‌آب و شناسایی عامل‌های مؤثر بارشی بر آن صورت گرفته است. بر اساس نتایج مندرج در جدول (۱) تغییرات زیاد در میانگین ضریب روان‌آب کل رگبار مشاهده شد به گونه‌ای که میزان کمینه‌ی این ضریب ۰/۶ در تاریخ ۱۳۷۰/۹/۲۳ و بیشینه‌ی آن ۴۵/۷ درصد در تاریخ ۱۳۷۶/۱/۵ به وقوع پیوسته است. اصولاً فاصله‌ی زمانی بین شروع بارش و آغاز روان‌آب در رگبارهای مطالعاتی دارای میانگین، میانه و انحراف معیار به ترتیب ۲/۹، ۳/۰ و ۱/۲ ساعت می‌باشد. میانگین حسابی ضریب روان‌آب برای کل رگبارهای مطالعاتی ۱۰/۶۵، میانه ۷/۹۶ و انحراف معیار ۹/۳۵ درصد می‌باشد. همچنین، معکوس میانگین لگاریتم مقادیر ضریب روان‌آب [۷] برابر ۷/۵۹ درصد محاسبه گردید که نزدیکی آن به میانه‌ی ضریب روان‌آب‌های مطالعاتی، کارآیی بیش‌تر پارامتر آماری میانه در مطالعات هیدرولوژی را تأیید می‌نماید. نتایج بدست آمده با مطالعات گورگف و لوزانف [۱۹]، اسلامیان و همکاران [۲]، تاپیا و همکاران [۳۰]، مک اینتایر و همکاران [۲۴] و سن [۲۷] مبنی بر تغییرات قابل ملاحظه میانگین ضریب روان‌آب کل رگبار در بین رگبارهای گوناگون مطابقت دارد. این در حالی است که میانگین و میانه‌ی ضریب روان‌آب سالانه‌ی حوزه‌ی آبخیز مورد مطالعه به ترتیب ۵۰/۵ و

۴۴/۸ درصد می‌باشد. مسلماً تفاوت در مقادیر ضریب روان‌آب سالانه و رگبار را می‌توان به تغییرپذیری شدید و نیز نوع عامل‌های مؤثر بین و حتی در طول یک رگبار نسبت داد حال آن که تطویل دوره‌ی زمانی در مقیاس سال، نشان‌گر حاکمیت شرایط متوسط در مقیاس یاد شده است. به‌هر تقدیر، نتایج یاد شده مشخصاً بر نقش مقیاس در مطالعات هیدرولوژی تأکید دارد.

از سوی دیگر، بررسی تغییرات ضریب روان‌آب با حجم بارش تجمعی، این امکان را فراهم می‌سازد تا الگوی تغییرات این دو متغیر را نسبت به زمان نمایش داده و بررسی‌های لازم صورت پذیرد که با تأکیدات گورگف و لوزانف [۱۹] درخصوص مطالعه‌ی تغییرپذیری ضریب روان‌آب در یک حوزه‌ی آبخیز جنگلی در بلغارستان و تاپیا و همکاران [۳۰]، در بررسی ضریب روان‌آب لحظه‌ای در حوزه‌ی آبخیزی در شیلی و همچنین سن [۲۷]، در رابطه با مطالعه‌ی تغییرات ضریب روان‌آب لحظه‌ای و دبی اوج با استفاده از یک سری ورودی‌های فرضی در ترکیه هم‌خوانی دارد. با دقت در نمودارهای تهیه شده برای رگبارهای مطالعاتی (برای نمونه رگبار ۱۳۷۳/۱۲/۲۵ در شکل ۴)، می‌توان الگوی یک‌سان و S شکل منحنی ضریب روان‌آب تجمعی را مشاهده نمود.

در این پژوهش، چارک‌ها بمنظور شبیه‌سازی ضریب روان‌آب و بررسی دینامیک این ضریب، در طول رگبار مورد استفاده قرار گرفتند. با بررسی بیش‌تر تغییرات چارک‌های ضریب روان‌آب (شکل ۵)، می‌توان بیان داشت که نقش چارک دوم و سوم (۲۵ تا ۷۵ درصد) در تعیین میانگین ضریب روان‌آب کل بیش از چارک‌های اول و چهارم است. تأثیر تلفات و گیرش اولیه‌ی حوزه‌ی آبخیز در چارک اول و مشارکت حوزه، ضمن قطع بارش در چارک چهارم می‌تواند دلایل مشارکت کم آن‌ها در تبدیل بارش به روان‌آب رگبارهای مورد مطالعه باشد که با یافته‌های گورگف و لوزانف [۱۹]، در حوزه‌ی آبخیز یوندولا در بلغارستان و نتایج تاپیا و همکاران [۳۰]، در بررسی ضریب روان‌آب لحظه‌ای در سه بازه‌ی زمانی ۱، ۲ و ۴ ساعته در حوزه‌ی آبخیز رودخانه‌ی توتوون در شیلی هم‌سو است.

روی هم رفته، روابط برتر و جداگانه‌ی هریک از مؤلفه‌های ضریب روان‌آب با متغیرهای بارشی (جدول ۲) دلالت بر برتری شکل‌های گوناگون روابط رگرسیونی دو متغیره دارد. این یافته

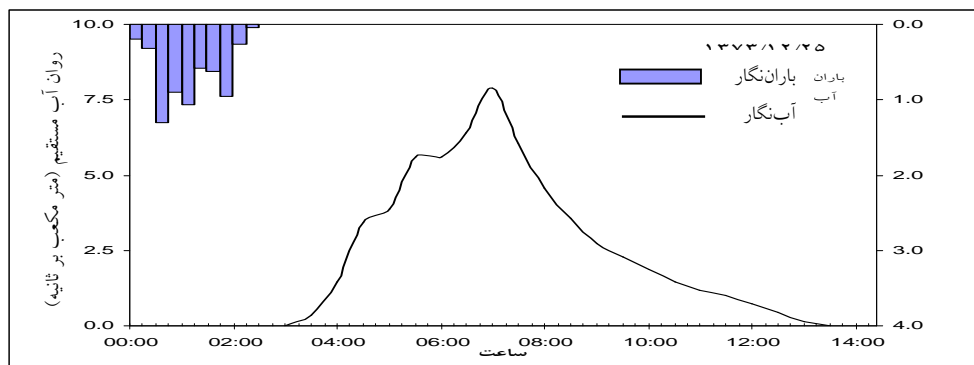
¹ -Intra-Storm Variation

نشان از توانایی قابل قبول مدل‌های یاد شده در عین سادگی آن‌ها
دارد که با یافته‌های صادقی و همکاران [۱۰] بر دقت قابل قبول

رگرسیون‌های دو متغیره در شبیه‌سازی‌های هیدرولوژیکی حوزه
آبخیز کسلیان، به دلیل اثر درونی و متقابل متغیرهای گوناگون در

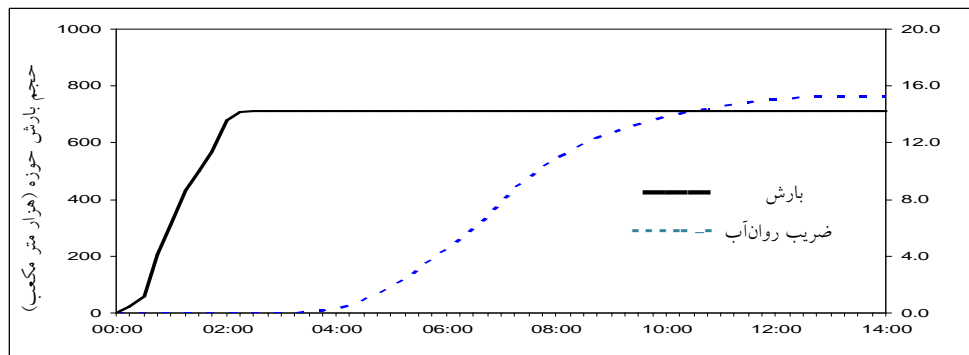
جدول ۱- ویژگی‌های رگبارهای مورد مطالعه در تحلیل مدل دینامیک ضریب روان‌آب در حوزه‌ی آبخیز بار نیشابور

ردیف	تاریخ رگبار	متغیر							
		میزان بارش (میلی‌متر)	مدت بارش (دقیقه)	میانگین شدت بارش (میلی‌متر بر ساعت)	دبی اوج (متر مکعب بر ثانیه)	میانگین ضریب روان‌آب کل (درصد)	شاخص Θ (میلی‌متر بر ساعت)	جمع بارش ۵ روز پیش (میلی‌متر)	چولگی آب‌نگار
۱	۱۳۶۹/۱۲/۱۶	۱۰/۴	۵۴۰	۱/۱۶	۳/۳۶	۲/۲۶	۲/۱۵	۰/۰	راست
۲	۱۳۶۹/۱۲/۲۴ (۱)	۳/۳	۵۱۰	-/۲۹	-/۹۹	۳/۷۰	۰/۶۵	۸/۵	راست
۳	۱۳۶۹/۱۲/۲۴ (۲)	۲/۳	۱۰۵	۱/۳۱	-/۸۴	۲/۷۴	۱/۲۴	۸/۵	راست
۴	۱۳۷۰/۰۲/۲۱	۱۸/۴	۴۶۵	۲/۲۷	۲/۸۷	۲/۷۹	۴/۹۰	۱/۷	نرمال
۵	۱۳۷۰/۰۹/۲۳	۱۰/۰	۳۳۰	۱/۸۲	-/۷۲	۰/۶۱	۴/۱۴	۷/۵	راست
۶	۱۳۷۰/۱۲/۲۶	۹/۶	۶۷۵	-/۸۵	۵/۰۲	۶/۸۹	۱/۵۵	۱/۹	چپ
۷	۱۳۷۱/۰۱/۱۱	۱۳/۹	۳۰۰	۲/۷۸	۱۱/۵۸	۱۲/۸۳	۳/۳۵	۰/۰	راست
۸	۱۳۷۱/۰۱/۱۴	۲/۶	۹۰	۱/۷۳	۱/۶۰	۵/۴۰	۱/۳۶	۲۲/۷	راست
۹	۱۳۷۱/۰۲/۰۶	۳/۷	۱۸۰	۱/۲۳	۵/۷۰	۲۶/۶۵	۱/۱۲	۳/۰	راست
۱۰	۱۳۷۱/۰۲/۲۲	۱۴/۹	۲۱۰	۴/۲۶	۲۸/۴۳	۱۸/۳۶	۴/۹۰	۱۱/۲	نرمال
۱۱	۱۳۷۱/۱۱/۱۴	۲۴/۳	۷۳۵	۱/۹۸	۱۴/۷۹	۸/۷۳	۲/۶۲	۱۵/۴	چپ
۱۲	۱۳۷۱/۱۱/۱۵ (۱)	۱۱/۱	۱۲۰	۵/۵۵	۱۶/۲۲	۵/۳۱	۵/۰۵	۳۶/۵	نرمال
۱۳	۱۳۷۱/۱۱/۱۵ (۲)	۱۰/۹	۱۶۵	۳/۹۶	۴/۰۹	۲/۴۰	۵/۱۴	۳۶/۵	چپ
۱۴	۱۳۷۱/۱۱/۱۶	۱۱/۲	۹۴۵	-/۷۱	۳/۳۶	۴/۶۳	۱/۲۵	۶۴/۲	راست
۱۵	۱۳۷۱/۱۲/۱۳	۵/۶	۱۲۰	۲/۸۰	۳/۴۵	۷/۲۴	۲/۶۰	۵/۱	راست
۱۶	۱۳۷۱/۱۲/۱۵	۸/۵	۳۹۰	۱/۳۱	۷/۸۵	۱۰/۲۳	۱/۶۳	۱۰/۵	چپ
۱۷	۱۳۷۱/۱۲/۱۸	۷/۲	۲۱۰	۲/۰۶	۱۴/۳۸	۲۶/۳۱	۱/۵۰	۱۷/۰	راست
۱۸	۱۳۷۲/۰۳/۰۹	۱۰/۷	۴۹۵	۱/۲۰	۵/۰۹	۶/۳۸	۱/۸۵	۰۰/۴	چپ
۱۹	۱۳۷۲/۱۲/۲۱	۳۱/۴	۱۲۴۵	۱/۵۱	۱۸/۴۱	۸/۶۹	۴/۸۰	۱۱/۰	راست
۲۰	۱۳۷۳/۰۱/۱۳	۴/۵	۲۵۵	۱/۰۶	۲/۸۶	۶/۹۴	۱/۴۵	۳/۱	راست
۲۱	۱۳۷۳/۰۹/۱۰	۴/۳	۲۵۵	۱/۰۱	۳/۲۵	۶/۳۲	۱/۴۳	۷/۳	راست
۲۲	۱۳۷۳/۰۹/۱۳	۹/۰	۷۳۵	-/۷۳	۷/۶۰	۱۱/۹۸	۱/۸۲	۱۰/۸	چپ
۲۳	۱۳۷۳/۱۱/۱۷	۹/۳	۸۱۰	-/۶۹	۵/۳۶	۹/۵۱	۱/۹۰	۰/۳	چپ
۲۴	۱۳۷۳/۱۲/۲۵	۶/۳	۱۵۰	۲/۵۰	۷/۸۸	۱۵/۳۱	۲/۲۲	۸/۲	راست
۲۵	۱۳۷۴/۱۲/۱۵	۱۳/۱	۳۴۵	۲/۲۸	۱۵/۷۴	۱۷/۳۹	۲/۰۸	۲۲/۹	راست
۲۶	۱۳۷۴/۱۲/۲۴	۱۳/۹	۶۶۰	۱/۲۶	۱۶/۶۹	۹/۹۳	۱/۵۸	۳/۴	راست
۲۷	۱۳۷۶/۰۱/۰۵	۳/۸	۲۲۵	-/۴۵	۴۳/۲۳	۴۵/۷۴	۰/۶۰	۲/۵	راست
۲۸	۱۳۷۶/۰۱/۰۶	۴/۶	۱۰۵	۲/۶۳	۱۹/۶۲	۲۳/۷۲	۲/۰۱	۶/۳	نرمال
۲۹	۱۳۷۶/۰۱/۳۱	۸/۴	۲۱۰	۲/۴۰	۹/۷۴	۱۲/۳۶	۵/۵۰	۴/۱	راست
۳۰	۱۳۷۶/۰۸/۰۹	۱۰/۱	۵۴۰	۱/۱۲	۸/۹۰	۹/۹۹	۱/۹۵	۰/۰	راست
۳۱	۱۳۷۶/۱۰/۱۶ (۱)	۶/۲	۲۴۰	۱/۵۵	۱/۰۷	۱/۳۹	۲/۶۲	۳/۹	نرمال
۳۲	۱۳۷۶/۱۰/۱۶ (۲)	۴/۳	۱۶۵	۱/۵۶	۱/۳۳	۴/۰۹	۱/۹۳	۳/۹	راست
		میانگین	۹/۶۰	۳۹۱/۴۱	۱/۸۴	۸/۸۴	۴/۷۷	۱۰/۶۰	
		انحراف معیار	۶/۳	۲۸۳/۰	۱/۱	۸/۲	۴/۳	۱۳/۶	-----



کمیت (میلی) دقیقاً ۱۵ باران در ۲۰:۰۰؛ مقدار باران در ۱۰:۰۰

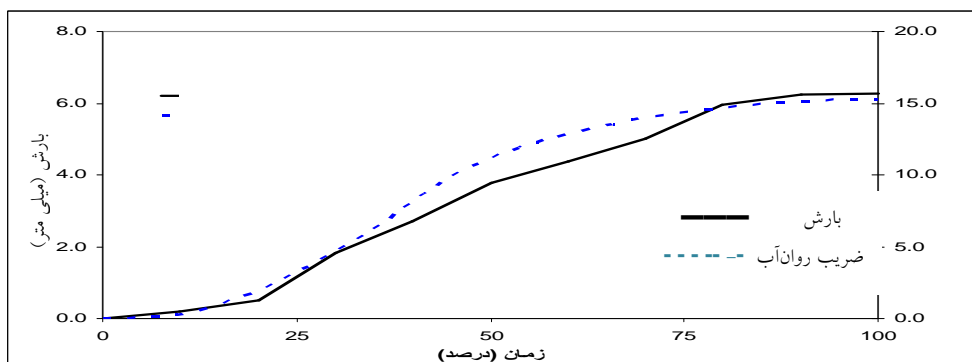
شکل ۳- باران نگار و آب نگار رگیندر (ساعت) ۱۲:۰۰ در حوزه آبخیز بار نیشابور



حجم بارش (هزار متر مکعب) ضریب روان آب

زمان (ساعت)

شکل ۴- تغییرات ضریب روان آب با حجم بارش تجمعی رگبار ۱۳۷۳/۱۲/۲۵ در حوزه آبخیز بار نیشابور



ضریب روان آب (درصد)

شکل ۵- تغییرات ضریب روان آب و میزان پریس زمان (درصد) -ی زمانی رگبار ۱۳۷۳/۱۲/۲۵ در حوزه آبخیز بار

نیشابور

جدول ۲- روابط برتر رگرسیونی دو و چند متغیره موجود بین مؤلفه‌های گوناگون ضریب روان‌آب و هریک از متغیرهای بارشی

شماره‌ی رابطه	رابطه	ضریب همبستگی	مجموع مربعات		خطا (درصد)
			باقیمانده	تخمین	
۹	$RC=(4.583-1.89(I_4^{1/2}))(1-0.859(I_4^{1/2})+0.178(I_4))$	۰/۷۶ **	۳/۹۳	۴۵/۱۶	۲۵۷/۶۳
۱۰	$RC=(6.172+22.6 \text{ Log } I_2)/(1+2.82 \text{ Log } I_2-3.088 \text{ Log } I_2^2)$	۰/۷۵ **	۴۷/۹۶	۹۱/۴۶	۲۷۸/۲۷
۱۱	$RC=0.911/(1+891.843 * e^{(-18.35 \text{ log } P)})$	۰/۶۵ **	۱۰/۱۰	۸۵/۹۱	۸۲/۷۲
۱۲	$RC=(3.353+0.016 P_4)/(1-0.872 P_4+0.218 P_4)$	۰/۶۴ **	۷/۹۰	۵۱/۵۱	۸۴۲/۸۶
۱۳	$RC=(-1.67+0.864(\text{Log}T))/(1-0.905(\text{Log}T)+0.209(\text{Log}T)^2)$	۰/۵۳ *	۵/۲۹	۶۸/۴۸	۲۷۰/۵۹
۱۴	$RC=(6.78 * -0.03+8.485(I_3^{1/2})^{29.755})/(-0.03+(I_3^{1/2})^{29.755})$	۰/۵۳ *	۵/۱۳	۶۲/۹۶	۲۰۴/۲۲
۱۵	$RC=3.135+5.083(I)^2-0.853(I)^4+0.034(I)^6$	۰/۵۱ *	۵/۳۲	۵۷/۳۹	۸۵۰/۵۳
۱۶	$RC=(-3.417+0.418(T)^{1/2})/(1-0.134(T)^{1/2}+0.005(T))$	۰/۴۹ *	۷/۷۷	۱۱۹/۲۷	۴۹۲/۴۸
۱۷	$RC=1/(-23.528+23.628(P_1)^{0.001})$	۰/۴۳ *	۷/۳۲	۱۰۶/۷۸	۲۲۹/۳۷
۱۸	$(RC)^2=2.981(P)^2-8.078(P_1)^2-1.421(P_2)^2-15.167(P_3)^2-604.436(I)^2+72.713(I_1)^2+108.043(I_2)^2+123.456(I_3)^2+133.902(I_4)^2-2.733(\emptyset_{\text{Index}})^2+3.05 * 10^{(-4)}(T)^2+243.675$	۰/۸۹ **	۲۹۷/۴۵	۶۴۲/۱۴	۵۷۰۳/۳۲
۱۹	$(RC)^2=2.65(P)^2-7.332(P_1)^2-13.802(P_3)^2-603.899(I)^2+72.575(I_1)^2+107.189(I_2)^2+123.086(I_3)^2+134.494(I_4)^2-2.773(\emptyset_{\text{Index}})^2-2.99 * 10^{(-4)}(T)^2+248.066$	۰/۸۷ **	۷۳/۹۷	۲۲۸/۵۲	۵۷۳۷/۱۶
۲۰	$\text{Log}(RC)=3.5 * 10^{-8}-182.427(\text{Log}T)+279.725(\text{Log}T)^2-159.126(\text{Log}T)^3+39.916(\text{Log}T)^4-3.729(\text{Log}T)^5$	۰/۷۰ **	۰/۲۵	۲۹/۳۷	۱۳۱/۳۴
۲۱	$\text{Log}(RC)=0.094+4.24 \text{ Log}(\emptyset_{\text{Index}})-6.418 \text{ Log}(\emptyset_{\text{Index}})^2+2.866 \text{ Log}(\emptyset_{\text{Index}})^3$	۰/۶۵ **	۰/۲۶	۳۱/۱۵	۱۲۱/۶۶
۲۲	$\text{Log}(RC)=0.868+0.231 * \cos(-20.21 \text{ Log}(I_1)+9.348)$	۰/۵۳ *	۰/۲۴	۲۸/۳۲	۱۴۳/۴۳
۲۳	$\text{Log}(RC)=0.804+0.321 * \cos(4.909 \text{ Log}(P_2)-2.797)$	۰/۵۲ *	۰/۲۶	۲۷/۳۰	۱۰۸/۹۳
۲۴	$\text{Log}(RC)=0.882+0.252 * \cos(10.415 \text{ Log}(P_3)-3.159)$	۰/۵۲ *	۰/۲۵	۲۸/۹۵	۱۲۴/۸۴
۲۵	$RC_1=2.252-0.023/\text{Log } I_2$	۰/۴۳ *	۱/۸۰	۱۶۸/۱۹	۱۴۶/۱۴
۲۶	$(RC_1)^2=e^{1.231-0.123(I_4)^2}$	۰/۵۱ *	۱۵/۸۱	۲۵۷/۱۲	۱۳۹۸/۸۶
۲۷	$(RC_1)^2=5.488+0.079(\emptyset_{\text{Index}})^2$	۰/۴۶ *	۱۲/۹۹	۴۵۷۰/۲۴	۵۲۹۳/۷۶
۲۸	$RC_2=0.657+0.918(P)-0.153(P)^2+0.007(P)^3$	۰/۵۸ **	۲۱/۴۳	۲۹۰/۳۴	۱۱۵/۶۰
۲۹	$RC_2=-1.153+0.069(T)-2.18 * 10^{-4}(T)^2+2.38 * 10^{-7}(T)^3-8.38 * 10^{-11}(T)^4$	۰/۵۱ *	۲/۹۸	۱۰۸/۵۹	۳۶۱/۴۲
۳۰	$RC_3=(1.596-0.034(P_5))/(1-0.072(P_5)+0.001(P_5)^2)$	۰/۴۳ *	۳/۴۸	۶۱۴۷/۵	۳۹۶/۸۸
۳۱	$RC_3=2.199/(1-229166630 * e^{-5.28(P)})$	۰/۶۸ **	۱/۶۹	۱۱۰/۶۱	۲۹۰/۶۵
۳۲	$RC_4=-0.114+0.358 P-0.054(P)^2+0.003(P)^3$	۰/۶۱ **	۱۱/۸۰	۹۵۱/۵۶	۴۴۱/۶۳
۳۳	$RC_4=0.64+0.488 \text{ Log}(I_4)$	۰/۴۵ *	۰/۳۹	۴۷۴/۱	۲۷۹/۶۶
۳۴	$RC_4=0.175+0.420(I_4)^{1/2}$	۰/۴۵ *	۰/۳۹	۶۹/۵۶	۲۶۴/۸۳
۳۵	$(RC_4)^2=0.303+0.025(P_3)^2$	۰/۶۱ **	۰/۶۴	۳۴۷/۰۱	۳۹۱۲/۵۳
۳۶	$(RC_4)^2=0.25+0.053(P_4)^2$	۰/۴۷ *	۰/۷۱	۳۵۹/۹۸	۳۸۴۱/۰۲
۳۷	$\text{Log}(RC_4)=-0.299+0.311 \text{ Log}(I_4)$	۰/۴۲ *	۰/۲۷	۲۰۶/۲۱	۴۲۸/۳۸
۳۸	$(RC_4)^{1/2}=0.47+0.252(I_4)^{1/2}$	۰/۴۶ *	۰/۲۳	۲۶/۲۰	۶۳/۷۹

در روابط بالا، ** و * به ترتیب بیانگر سطح معنی‌داری ۱ و ۵ درصد، RC میانگین ضریب روان‌آب کل رگبار (درصد)، P بارش (میلی‌متر)، I میانگین شدت بارش (میلی‌متر بر ساعت)، RC_۱ تا RC_۴ چارک اول تا چهارم ضریب روان‌آب (درصد)، P_۱ تا P_۴ چارک اول تا چهارم بارش (میلی‌متر)، I_۱ تا I_۴ چارک اول تا چهارم شدت متوسط بارش (میلی‌متر بر ساعت)، P_۵ مجموع بارش پنج روز پیش (میلی‌متر)، T مدت بارش (دقیقه) و \emptyset_{Index} شاخص فی (میلی‌متر بر ساعت) می‌باشد.

جمع‌بندی

این پژوهش بمنظور مطالعه، تحلیل و بررسی امکان شبیه‌سازی تغییرات ضریب روان‌آب با استفاده از مؤلفه‌های بارشی رگبار در حوزه‌ی آبخیز بار نیشابور با توجه به موجودیت داده‌های پایه و امکان دست‌رسی به داده‌های تفضیلی مورد نیاز انجام پذیرفت. نتایج بدست آمده ضمن تأیید تفاوت معنی‌دار مقادیر ضریب روان‌آب بین رگبارهای گوناگون در مقیاس رگبار، بر تغییرپذیری مشخص ضریب روان‌آب طی هر رگبار نیز تأکید داشته است. همچنین، بر اساس نتایج بدست آمده طی این پژوهش، ضمن تأیید نسبی مدل‌های رگرسیون بدست‌آمده پیش‌بینی ضریب روان‌آب رگبارهای حوزه‌ی آبخیز بار نیشابور، ضرورت افزایش دقت‌های زمانی و دسته‌بندی رگبارها تأیید می‌گردد. به این ترتیب از نتایج بدست آمده می‌توان جمع‌بندی نمود که دامنه‌ی تأثیر متغیرهای گوناگون هیدرومتئورولوژی بسته به مقیاس‌های زمانی و مکانی مورد مطالعه، متفاوت بوده و لذا انجام مطالعات تفضیلی در راستای دست‌یابی به نتایج کاربردی و قابل توسعه در مدیریت صحیح پروژه‌های مرتبط با مقوله‌های منابع آب و خاک ضروری است.

قدردانی

نویسندگان بر خود وظیفه می‌دانند از آقایان مهندس اسحاقیان (آب منطقه‌ای خراسان رضوی)، مهندس علی‌پور (اداره آب نیشابور) و مهندس اردمه (منابع طبیعی و آبخیزداری نیشابور) به پاس همکاری‌های ارزنده و ارایه‌ی داده‌های مورد نیاز در انجام این پژوهش قدردانی نمایند.

منابع

۱- اسلامی، ع. و ثقفیان، ب. ۱۳۸۷. نقش عوامل مورفومتری و اقلیمی حوزه در تولید جریان‌های سیلابی (مطالعه‌ی موردی حوزه‌های آبخیز ناحیه‌ی غربی خزر)، فصل‌نامه پژوهش و سازندگی، ۸۷(۴):۱۴۹-۱۵۷.

۲- اسلامیان، س.س.، مامن‌پوش، ع.ر.، نصری، ز. و اعتمادی، ه. ۱۳۸۵. تحلیل ضرایب روان‌آب و همبستگی بین روان‌آب و بارش حوزه‌ی بازفت، اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری از

رگرسیون چندمتغیره، مطابقت دارد. همچنین روابط بالا در مجموع نشان‌گر برتری روابط غیرخطی لگاریتمی (روابط ۲۰ تا ۲۴) و در نهایت، برتری متغیر مدت زمان بارش (رابطه‌ی ۲۰) در تبیین ضریب روان‌آب کل رگبار می‌باشد. نتایج بدست آمده در این بخش، بر غیرخطی بودن روابط بین متغیرهای بارشی و روان‌آب دلالت دارد که با پژوهش‌های سینگ [۲۹]، صادقی و همکاران [۱۰]، توری و همکاران [۳۱]؛ قهرمان و همکاران [۱۳]؛ مرز و همکاران [۲۵]، تاپیا و همکاران [۳۰]، مک اینتایر و همکاران [۲۴] و سن [۲۷] در خصوص غالبیت روابط غیرخطی در بیان فرایندهای هیدرولوژیکی حاکم بر سامانه‌ی آبخیز هم‌خوانی دارد. از سوی دیگر، مداخله معنی‌دار و مؤثر چارک دوم بارش نیز بیانگر آغاز مشارکت بارش در تولید روان‌آب پس از تأمین مقادیر هدررفت اولیه‌ی حوزه‌ی آبخیز داشته که با اصول اولیه حاکم بر فرآیند تولید روان‌آب [۱۷، ۱۸، ۲۲ و ۲۹] مطابقت دارد. مقایسه کلی روابط بدست آمده برای تخمین ضریب روان‌آب کل (روابط ۹ تا ۲۴) با اجزای گوناگون آن (روابط ۲۵ تا ۳۸) نیز نشان‌گر توانایی بیش‌تر مدل‌های تهیه شده در تخمین ضریب روان‌آب کل می‌باشد. به گونه‌ای که بهترین رابطه‌ی بدست آمده تنها بین چارک چهارم ضریب روان‌آب و چارک چهارم شدت بارش با ضریب همبستگی ۰/۴۶ و خطای تخمین و تأیید به‌ترتیب حدود ۲۶ و ۶۴ درصد تهیه شده و سایر مدل‌های بدست آمده از عمل‌کردی مناسب در این باره $0/88 \leq$ ضریب همبستگی $\leq 0/28$ ، $0/68 \leq$ سطح معنی‌داری $\leq 0/003$ ، $297 \leq$ مجموع مربعات باقی‌مانده ≤ 4570 ، $0/23 \leq$ خطای تخمین ≤ 26 درصد، $5737 \leq$ خطای تأیید ≤ 63 درصد) برخوردار نمی‌باشند. این یافته‌ها، دلالت بر امکان شبیه‌سازی مقدار کل ضریب روان‌آب از راه لحاظ شرایط متوسط حاکم بر واقعه داشته و همچنین، بر تغییرات بین رگباری هر واقعه‌ی بارندگی و شرایط حاکم بر آن تأکید دارد. این نتایج با مطالعات صورت گرفته به وسیله‌ی توری و همکاران [۳۱]، گورگف و لوزانف [۱۹]، ژانگ و همکاران [۳۲] و مک اینتایر و همکاران [۲۴] مبنی بر نقش سامانه‌ی حوزه‌ی آبخیز بر تغییرات ضریب روان‌آب به ترتیب در حوزه‌های آبخیز ایتالیا، یونان، بلغارستان، کبازیدونگ و کبازیکسی^۱ چین و حوزه‌ی آبخیز وادی آهین عمان مطابقت دارد.

¹ -Qiaozidong and Qiaozixi

۱۳- قهرمان، ب.، حسینی، س.م. و داوری، ک. ۱۳۸۳. تغییر روابط بارش-روان آب در شرایط مختلف اقلیمی؛ خلاصه‌ی پروژه‌ی تحقیقاتی شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان، ۱۵ص.

۱۴- گش، اس. ان. ۱۳۷۷. مهار سیلاب و مهندسی رودخانه، ترجمه مسعود قدسیان، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۳۹۱ص.

۱۵- مسعودیان، س. ا. ۱۳۸۲. بررسی پراکندگی جغرافیایی بارش در ایران به روش تحلیل عاملی دوران یافته، مجله‌ی جغرافیا و توسعه، ۱: ۷۹-۸۸.

۱۶- مصداقی، م. ۱۳۸۳. روش‌های رگرسیونی در تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، ۲۹۰ص.

۱۷- مهدوی، م. ۱۳۸۱. هیدرولوژی کاربردی، جلد دوم، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۳۷ص.

18- Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W. 1988. Applied Hydrology, McGraw-Hill, New York, 572 p.

19- Gergov, G. and Lozanova, L. 2005. Formation and Dynamics of Runoff Coefficient, *In: Proceedings. of Symposium. on Forest Impact on Hydrological Processes and Soil Erosion, Yundola, October 5-8, 2005: 89-94.*

20- Green, I.R.A. and Stephenson, D. 1986. Criteria for Comparison of Single Event Model, *Hydrological Sciences Journal*, 31:395-411.

21- Hyams, D. 1997. Curve Expert 1.34- A Curve Fitting System for Windows, Ebicom Software, USA, Available at: <http://curveexpert.webhop.net>

22- Kinnell, P.I.A. 2005. Why the universal soil loss equation and the revised version of it do not predict event erosion well, *Hydrological Processes*, 19:851-854

23- Liu, X. and Li, J. 2008. Application of SCS Model in Estimation of Runoff from Small Watershed in Loess Plateau of China, *Chinese Geographical Sciences*, 18(3):235-241.

24- McIntyre, N. Al-Qurashi, A. and Wheeler, H.S. 2007. Analysis of rainfall-runoff events from an arid catchment in Oman, *Hydrological Sciences Journal*, 52(6):1103-1118.

25- Merz, R., Bloschl, G. and Parajka, J. 2006. Spatio-Temporal Variability of Event Runoff Coefficients, *Journal of Hydrology*, 331:591- 604.

26- Saxena, A., Gupta, B.M. and Jauhari, M. 2007. Exploring Models for the Growth of Literature Data, *DESIDOC Bulletin of Information Technology*, 27(3):3-12.

منابع آب حوزه‌های کارون و زاینده‌رود، دانشگاه شهرکرد ۱۴-۱۵ شهریور ۱۳۸۵: ۱۰۸۱-۱۰۹۰.

۳- اعتمادی، ح. ۱۳۷۶. بررسی تغییرات ضریب روان آب در یک حوزه‌ی آبخیز (مطالعه موردی در حوزه آبخیز درجین سمنان)، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، ۸۶ص.

۴- بی‌نام. ۱۳۸۳. مطالعات آبخیزداری حوزه‌ی آبخیز بار، شهرستان نیشابور (مرحله تفصیلی-اجرائی)، جلد سوم (هیدرولوژی)، شرکت خدمات مهندسی آب و خاک کشور، نمایندگی خراسان، ۷۸ص.

۵- بی‌نام. ۱۳۸۶. بررسی علل افزایش و تشدید سیل در ایران با تاکید بر نقش پوشش گیاهی، دفتر مهندسی و ارزیابی طرح‌ها، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، ۸۳ص.

۶- توسلی، ا. ۱۳۸۷. دینامیک ضریب روان آب در مقیاس رگبار در حوزه‌ی آبخیز بار نیشابور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، ۸۵ص.

۷- رضایی، ع.م. ۱۳۷۴. مفاهیم آمار و احتمالات، نشر مشهد، ۴۳۱ص.

۸- شریفی، م.، رفاهی، ح.ق. و معزاردلان، م. ۱۳۷۵. ارزیابی ضریب روان آب ناشی از بارش در حوزه معرف کسلیان، مجله‌ی علوم کشاورزی ایران، ۲۷(۳):۶۳-۷۹.

۹- صادقی، س.ح.ر.، توفیقی، ب. و مهدوی م. ۱۳۸۴. الف: تهیه‌ی مدل تخمین رسوب لحظه‌ای در حوزه‌ی آبخیز زرین درخت، مجله‌ی منابع طبیعی ایران، ۵۸(۴):۷۵۹-۷۶۷.

۱۰- صادقی، س.ح.ر.، مرادی، ح.ر.، مزین، م. و وفاخواه، م. ۱۳۸۴. ب: کارایی روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل آماری در مدل‌سازی بارش-روان آب (مطالعه‌ی موردی: حوزه‌ی آبخیز کسلیان)، مجله‌ی علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲(۳):۸۱-۹۰.

۱۱- ضیایی، ح.ا. ۱۳۸۰. اصول مهندسی آبخیزداری، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، ۵۴۲ص.

۱۲- فکور، ن. ۱۳۷۷. بررسی و مقایسه‌ی روش‌های تعیین روان آب سطحی و تعیین ضریب CN در حوزه‌ی آبریز کسلیان، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۵۱ص.

coefficients for Tutuvén river basin, Maule Region, Chile, *Bosque*, 27(2):83-91.

31- Torri, D., Regues, D., Pellegrini, S. and Bazzoffi, P. 1999. Within-Storm Soil Surface Dynamics and Erosive Effects of Rainstorms, *Catena*, 38:131-150.

32- Zhang, X.M., Yu, X.X., Zhang, M.L. and Li, J.L. 2007. Response of Land Use/Coverage Change to Hydrological Dynamics at Watershed Scale in the Loess Plateau of China, *Acta Ecologica Sinica*, 27(2):414-423.

27- Sen, Z. 2008. Instantaneous Runoff Coefficient Variation and Peak Discharge Estimation Model, *Journal Hydrologic Engineering*, 13(4):270-277.

28- Shi, P.J., Yuan, Y., Zheng, J., Wang, J.A., Ge, Y. and Qiu, G.Y. 2007. The Effect of Land Use/Cover Change on Surface Runoff in Shenzhen Region, China, *Catena*, 69:31-35.

29- Singh, V.P. 1992. *Elementary Hydrology*, Eastern Economy Edition, India, 973 p.

30- Tapia, R.P., Cornejo, M.T., Arellano, L.R., Díaz, C.J. and Daz, C.F. 2006. Instantaneous runoff

Abstract

Simulating Intra-Storm Variation of Runoff Coefficient Using Precipitation Components for Neyshabour Bar Watershed, Iran

A. Tavasoli¹, S.H.R. Sadeghi² and H.R. Moradi³

Application of empirical methods in estimation of surface runoff is a must in ungauged watersheds. The runoff coefficient is one of the important input variables in empirical models. Proper calculation of runoff coefficient and study on its variation in different conditions facilitates proper estimation of runoff and flood peaks. So far, many studies have been conducted for estimation of runoff coefficient on monthly, seasonal and annual bases. However, limited researches have considered the variation of runoff coefficient during a storm event. The present study was therefore formulated to study on the intra variation of runoff coefficient and its affecting factors in Bar Neyshabour watershed comprising an area of 11388ha. Towards this attempt, 32 storm events, with duration of equal to or more than watershed concentration time of 2.9h and significant changes in hydrographs were selected from 440 events recorded during 1980 to 1989 and corresponding hydrographs and hyetographs were collected. The mean runoff coefficient and associated quarterly and deciles were also calculated. The relationships between different rainfall and excess rainfall with mean runoff coefficient and its components was then analyzed with the help of bivariate and multivariate regressions and applying ordinary and transformed data. The results of the study verified a dynamic drastic change from 0.6 to 45.7% in runoff coefficient with respective arithmetic, median, antilogarithm mean and standard deviation of 10.65, 7.96, 7.59 and 9.35%. In general, the results of the study also revealed the inter changes of runoff coefficient during storm events and feasibility of its simulation by using bivariate regression with correlation coefficient from 28 to 88% ($0.003 \leq p \leq 0.68$). It was also found that the 2nd and 3rd quartiles could estimate the runoff coefficient variability better than other rainfall components in the study watershed.

Keywords: Bar Watershed, Rainfall-Runoff Model, Runoff Coefficient and Runoff Coefficient Dynamic.

¹ - Former Master Student Department of Watershed Management Engineering, College of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University.

² - Associate Professor, Department of Watershed Management Engineering, College of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, sadeghi@modares.ac.ir.

³ - Assistant Professor, Department of Watershed Management Engineering, College of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University.