

شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی در مناطق خشک (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کارده در استان خراسان رضوی)

حبیب‌اله مهدوی وفا^{۱*}، رحمان شریفی^۱

۱. استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۰۷/۳۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۷/۱۰/۲۳)

چکیده

تقاضای آب از مؤلفه‌های اصلی تصمیم‌گیری برای مدیریت منابع، آبخیزها و پدیده‌هایی نظیر خشکسالی به شمار می‌رود. بنابراین، شناخت ظرفیت‌های آبی برای مدیریت بهینه منابع، آبخیزها و پدیده‌هایی نظیر خشکسالی لازم است. مدیریت منابع آب‌های سطحی و ریسک خشکسالی کشور، همچنان با نبود سامانه‌ای مواجه است که تصمیم‌گیران را در به‌کارگیری تصمیم‌های درست و به‌موقع پشتیبانی کند. برای ایجاد چنین سامانه‌ای، لازم است اقدامات اساسی در خصوص شناخت موضوع و ظرفیت‌های داده‌های کشور بررسی و ارزیابی شود. با توجه به اینکه شبیه‌سازی بارش-رواناب یکی از تحقیقات مهم هیدرولوژیکی در علوم مهندسی آب محسوب می‌شود، در پژوهش حاضر شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه کارده با استفاده از شاخص بارش پیشین (API) بررسی شد که به تخمین آستانه شروع رواناب با بهره‌گیری از شبیه‌ساز بارش و رواناب می‌پردازد. سپس، شاخص بارش پیشین به دست آمد و بین هر دو شاخص با روزهای پیشین ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ روزه با رواناب حوضه همبستگی برقرار شده و نتایج مقایسه شد. نتایج تحقیق نشان داد بیشترین تفاوت‌ها در شاخص بارش پیشین با رواناب در حوضه کارده مربوط به روزهای ۲۰ و ۳۰ با تفاوت مقدار ضریب تبیین ۴ درصد است. در نهایت، بیشترین همبستگی شاخص بارش پیشین با رواناب در روز یکم بوده که مقدار ضریب تبیین برابر ۵۶ درصد است.

کلیدواژه‌گان: بارش-رواناب، حوضه کارده، خراسان رضوی، شبیه‌سازی.

مقدمه

امروزه به منابع آبی به عنوان عنصری حیات‌بخش و یکی از سه عامل تشکیل و بقای محیط زیست (خاک، هوا و آب) بیش از پیش توجه شده است. در کنار استفاده از مجموعه مدل‌های موجود، فرصت‌ها و چالش‌های بسیاری فراروی مدیران و برنامه‌ریزان قرار دارد که با شناخت و استفاده درست و بجا از آنها می‌توانند گام بسیار مؤثری در بهره‌برداری هرچه بیشتر از دانش روز و به‌کارگیری آن در خدمت تأمین آب بردارند [۱]. از طریق رابطه حجم رواناب و بارش می‌توان با شناخت بارش‌ها، جریان‌های سیلابی و کل حجم جریان را تخمین زد. تخمین صحیح جریان رودخانه در مسائل مربوط به مدیریت آب، مصارف کشاورزی، ذخیره آب و خسارت‌های ناشی از سیل، کمک فراوانی می‌کند [۲]. مدل‌های متعددی به وسیله محققان ارائه شده و مدل‌های شبیه‌سازی بارش-رواناب یکی از روش‌های تخمین رواناب و ابزاری مناسب برای مطالعه فرایندهای هیدرولوژیکی و ارزیابی منابع آبی هستند [۳]. دو کاربرد مهم مدل‌های بارش-رواناب، پیش‌بینی سیلاب و شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی است [۴]. صحت و دقت هر مدل به مفروضات آن بستگی دارد، بنابراین امکان تهیه مدل‌هایی با دقت‌های متفاوت وجود دارد [۵]. هر مدل بسته به ساده یا پیچیده بودن، نیاز به یک سری داده‌های ورودی و خروجی برای واسنجی و بررسی دارد [۶]. از آنجا که در حوضه‌های آبخیز امکان اندازه‌گیری تمام کمیت‌های مورد نیاز به منظور بررسی واکنش حوضه میسر نیست، انتخاب مدلی که بتواند در عین سادگی ساختار و با استفاده از کمترین داده ورودی پیش‌بینی با دقت مد نظر را ارائه کند، امری ضروری است. از آنجا که شاخص API (شاخص بارش پیشین) مبنای آماری ساده و کاربردی دارد، مدل‌های زیادی براساس این شاخص برای تفکیک بارش مؤثر و تلفات ارائه شده است [۷]. بنابراین، پژوهش حاضر شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه کارده، که در منطقه خشک استان خراسان رضوی واقع شده، با استفاده از شاخص API است که به تخمین آستانه شروع رواناب با بهره‌گیری از شبیه‌ساز بارش و رواناب می‌پردازد.

فدورا و همکارانش (۱۹۸۹) براساس شاخص بارش پیشین مدلی را برای پیش‌بینی رواناب و شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در حوضه‌های با پوشش درختی در آمریکا

تهیه کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد شاخص بارش پیشین می‌تواند به‌خوبی عملیات کاربری اراضی روی سیکل هیدرولوژی را ارزیابی کند و این مدل می‌تواند نوعی سامانه پیش‌بینی‌کننده و هشداردهنده باشد [۸]. لینسکی و کوهلر (۱۹۸۸) با استفاده از شاخص بارش پیشین، روابطی میان بارندگی و رواناب به‌صورت گرافیکی به دست آوردند. آنها روابط سه‌متغیره و واسنجی آن را براساس تخمین‌های متوالی برای رسیدن به بهترین پاسخ ارائه دادند [۹]. زمیر و راس (۱۹۹۰) با استفاده از شاخص بارش پیشین و تحلیل رگرسیون در حوضه‌های آبخیز آمریکا دریافتند که بهترین مقدار ثابت کاهش برای پیش‌بینی دبی اوج در بارش‌های با گام‌های زمانی پنج‌دقیقه‌ای ۰/۹۹۶ بوده و برای بارش‌های با گام‌های زمانی روزانه برابر ۰/۳۸ است [۱۰]. کامیلی و بن آشر (۱۹۹۳) در چهار حوضه در آریزونا آمریکا با شبیه‌سازی رواناب روزانه مشاهده کردند که آستانه شروع رواناب تابعی از متوسط بافت خاک هر حوضه است و خاک‌های رسی کمترین آستانه و خاک‌های شنی بیشترین آستانه شروع رواناب را دارند و نتیجه گرفتند که در حوضه‌های جنوب غربی آمریکا میزان آب اولیه خاک اثر مهمی بر تولید رواناب دارد [۱۱]. هاردن (۱۹۹۵) شاخص بارش پیش‌بینی ۶۰ روزه برای بررسی شرایط رطوبتی خاک قبل از هر رگبار به منظور مقایسه شش رگبار سیل‌زا را در آمریکا به کار برد [۱۲]. کاپورلی و همکارانش (۱۹۹۶) با استفاده از سری‌های زمانی بارش روزانه و با فرض کاهش توانی رطوبت خاک زمان‌هایی که بارش وجود ندارد، مقدار شاخص پیشین (API) را محاسبه کردند و سپس API نرمال را به‌دست آوردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد بین دما و API رابطه‌ای خطی وجود دارد [۱۳]. همچنین، زیا و همکارانش (۱۹۹۷) برای پیش‌بینی جریان رودخانه نوعی مدل غیرخطی با استفاده از شاخص بارش پیشین ارائه دادند. نتایج پژوهش آنها نشان داد شاخص بارش پیشین هنگامی که داده‌های تبخیر موجود نباشد، بسیار موفقیت‌آمیز عمل می‌کند. همچنین، شاخص بارش در روابط بارش-رواناب سبب افزایش دقت مدل غیرخطی می‌شود [۱۴]. سولیوان و همکارانش (۲۰۰۴) بین شاخص بارش پیشین هفت‌روزه (API) و دبی‌های اوج رودخانه بریتانیا روابط رگرسیونی ایجاد کردند و ضریب همبستگی برابر ۰/۷۳ را به‌دست آوردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد دبی از اوج این رودخانه به مقدار بسیار زیادی تحت تأثیر رطوبت پیشین

شاخص بارش پیشین را در دو حوضه معرف امامه و کسلیان به کار برد. ایشان با به‌کارگیری رابطه به‌دست‌آمده به‌وسیله ویس کرمی، مقدار بهینه ثابت فروکش رطوبت خاک را برای حوضه امامه ۰/۹۰۴ و کسلیان ۰/۹۶۵ به دست آورد. همچنین، ایشان بهترین روابط رگرسیونی پیش‌بینی براساس داده‌های ساعتی و روزانه را برای حوضه‌های یادشده به دست آورد [۲۳]. احمدی‌نژاد و همکارانش (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای به این نتیجه رسیدند که مقادیر بارش برای ماه‌های سال به استثنای اردیبهشت و خرداد، بیشتر از مقدار رواناب است [۲۴]. خیرقام و همکارانش (۱۳۹۰) طی مطالعه‌ای به این نتیجه رسیدند که با داده‌های روزانه، دبی سال‌های ۱۳۷۴-۱۳۸۶ و سپس طول دوره آماری ۱۳۸۱-۱۳۸۷ را اعتبارسنجی کردند و از معیار ضریب همبستگی برای فرایند واسنجی بهره بردند [۲۵]. غفاری و وفاخواه (۱۳۹۲) طی مطالعه‌ای نشان دادند با ترکیب ورودی بارش روزانه با دو تأخیر، کمترین میزان و بیشترین درجه همبستگی را دارد [۲۶].

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه‌شده

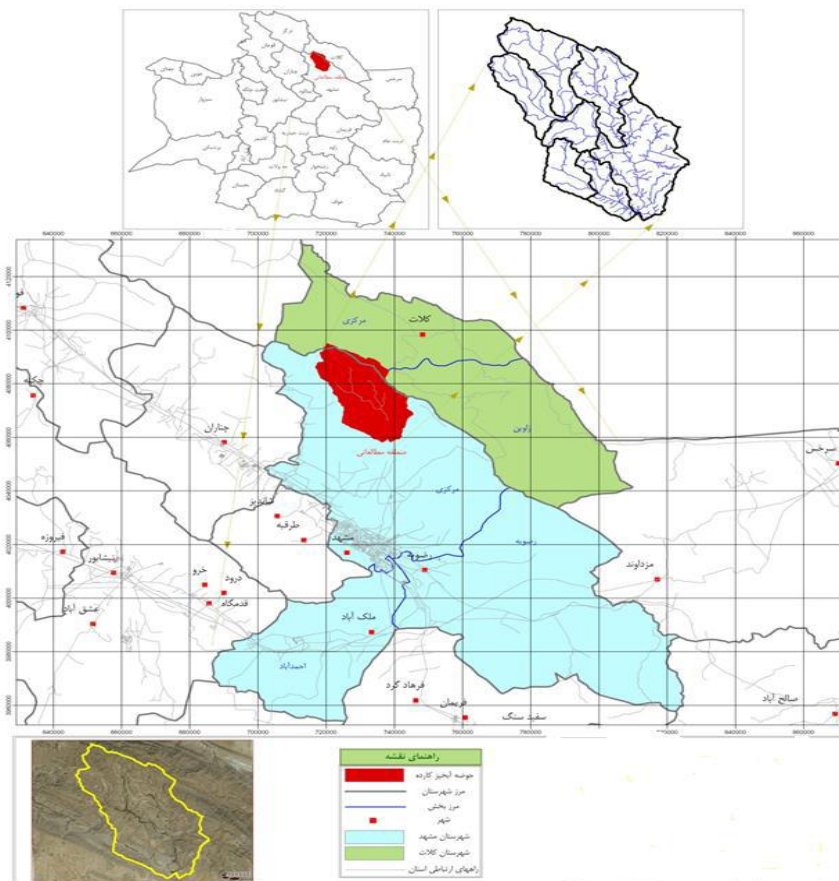
مساحت استان خراسان رضوی ۱۱۶۴۸۵ کیلومترمربع است که حدود ۷ درصد مساحت ایران را در بر می‌گیرد. ۴۹ درصد سطح استان را مناطق کوهستانی و ۵۱ درصد آن را دشت‌ها تشکیل می‌دهند. این استان شامل چهار حوضه آبخیز اترک، قره‌قوم، کویر مرکزی و شرق ایران است. حوضه آبخیز کارده با مساحت ۵۵۷/۹ کیلومترمربع در استان خراسان رضوی، شهرستان مشهد و در محدوده مختصات جغرافیایی ۲۶ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۴۴ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۳۶ دقیقه عرض جغرافیایی قرار گرفته است. این منطقه در دامنه‌های رضوی رشته‌کوه‌های هزارمسجد و زون کپه‌داغ واقع شده و از شمال به کوه‌های ساری‌میدان، کوه کمر و کوه قوری‌قوت، از جنوب به دشت مشهد، از شرق به کوه‌های صندوق‌شکن و سنجدی و از سمت غرب به کوه‌های گندچا و زهر بهره محدود می‌شود. فاصله پایین‌ترین قسمت حوضه تا شهر مشهد ۴۲ کیلومتر است (شکل ۱). میانگین بارندگی سالانه در سطح حوضه ۲۶۷ میلی‌متر و میانگین بارندگی سالانه در ارتفاع متوسط حوضه ۳۸۷ میلی‌متر است [۲۷].

خاک است [۱۵]. آنستیل و همکارانش (۲۰۰۴) شاخص بارش پیشین به همراه متغیرهای دیگری را به ازای گام‌های مختلف در مدل بارش - رواناب شبکه عصبی مصنوعی ارتباط دادند و نتیجه گرفتند که API در مدل بارش-رواناب با استفاده از شبکه عصبی موفق عمل نمی‌کند. همچنین، با توجه به اینکه تعداد روز API در شبکه عصبی مصنوعی سبب ایجاد محدودیت نمی‌شود، ولی تعداد روزهای بیشتر برای API نتایج بهتری را ارائه خواهد کرد [۱۶]. یازینگ (۲۰۰۶) طی پژوهشی نشان داد تغییر کاربری زمین آثار درخور توجهی بر روند هیدرولوژیکی در سطح حوضه آبخیز دارد [۱۷]. استیل و همکارانش (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای بر هیدرولوژی نه حوضه کشور ایرلند نشان دادند این حوضه‌ها با مدل بارش-رواناب، HBV-LIGHT بارش زمستانی روندی افزایشی و بارش تابستانی روند کاهش طی دوره ۲۰۱۰-۲۰۶۰ داشته‌اند [۱۸]. چن و همکارانش (۲۰۰۹) از مدل بارش-باران برای کالیبراسیون و واسنجی رویداد سیلاب در چند حوضه آبخیز چین استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد هماهنگی خوبی بین هیدروگراف‌های مشاهده و محاسبه وجود دارد [۱۹]. شیمیل و همکارانش (۲۰۱۰) نشان دادند از میان عوامل مؤثر توپوگرافی، کاربری اراضی، مشخصات خاک، بارش و تبخیر و تعرق در سطح حوضه آبخیز، عامل تغییرات مدیریت زمین کارکردی اصلی در میزان بارش-رواناب دارد [۲۰].

ویس کرمی (۱۳۷۸) پژوهشی را در حوضه کشکان (لرستان) به منظور بررسی روابط مربوط به کاهش‌های هیدرولوژیک برای تعیین هیدروگراف سیلاب انجام داد و روابط میان شاخص بارش پیشین و رواناب را به‌صورت معادلات دومتغیره با ضرایب همبستگی نسبتاً مناسب ارائه کرد [۲۱].

شریفی و همکارانش (۱۳۸۵) گزارش دادند که روش‌های متعددی برای برآورد رواناب به‌وجودآمده از بارندگی در حوضه‌های آبخیز وجود دارد. یکی از این روش‌ها استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی است. مدل‌های هیدرولوژیکی این امکان را می‌دهند که با شبیه‌سازی فرایند رواناب - بارش، رواناب حاصل از بارندگی در حوضه‌هایی که جریان رودخانه اندازه‌گیری شده است با کمینه‌زمان ممکن و کمترین هزینه ارزیابی شود [۲۲].

فصل‌اولی (۱۳۸۵) برای شبیه‌سازی بارش - رواناب



شکل ۱. نقشه استان خراسان رضوی و موقعیت حوضه آبخیز کارده

P_t : ارتفاع بارش در t روز قبل از بارش به میلی‌متر
 at : ضریب ثابت که به صورت $a_t = k^t$ است.
 K : ضریب ثابت کاهش رطوبت خاک که مقدار آن بین ۰/۸۵ تا ۰/۹۸ است [۱۵].
 مقدار API را برای ۲۰ تا ۶۰ روز و اغلب ۳۰ روز محاسبه می‌کنند (رابطه ۲).

$$API_t = K API_{t-1} + P \quad (2)$$

که در آن:

- API_t : مقدار API در روز i ام
- API_{t-1} : مقدار API در روز قبل از روز i ام
- P_{t-1} : ارتفاع بارش در روز قبل از روز i ام
- K : ضریب کاهش رطوبت خاک
- API : در گام زمانی روزانه محاسبه می‌شود.

نتایج مربوط به بررسی روابط شاخص بارش پیشین با رواناب نشان داد همبستگی بین این دو متغیر بسیار کم است. بنابراین، برای ارزیابی دقیق‌تر، از بارش‌های بیش از ۱۰ میلی‌متر و رواناب‌های متناظر آن استفاده شد که باز هم نتایج،

در پژوهش حاضر از شاخص API استفاده شده است. این شاخص API نخستین بار به وسیله $Kohler$ و $linsley$ برای پیش‌بینی سیلاب در امریکا به کار گرفته شد. با استفاده از این مدل می‌توان شروع رواناب را با توجه به شدت بارندگی به طور تخمینی محاسبه کرد. زمانی که در روش API برای وقایع منفرد به کار گرفته می‌شود، اندازه‌گیری بارش در دوره زمانی روز قبل به عنوان معیاری برای رطوبت پیشین استفاده می‌شود.

در شاخص API بارش پیشین با تلفات بارش و رواناب روابط بسیار زیادی وجود دارد. در پژوهش حاضر از دو رابطه کاربردی محاسبه شاخص بارش پیشین استفاده شد. با استفاده از روابط ۱ و ۲ برای حوضه، محاسبات انجام شد. سپس، بین هر دو شاخص با روزهای پیشین ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ روزه با رواناب حوضه همبستگی برقرار شده و نتایج مقایسه شد (رابطه ۱).

$$API_t = a_1 P_t + a_2 P_{t-1} + \dots + a_n P_{t-n} \quad (1)$$

که در آن،

تبیین ۴ درصد بین دو رابطه ۱ و ۲ است. بیشترین همبستگی شاخص بارش پیشین با رواناب در روز یکم بوده که مقدار ضریب تبیین روابط ۱ و ۲ برابر ۵۶ درصد است.

بحث

در روابط بارش و رواناب و تخمین آستانه شروع رواناب با استفاده از شبیه‌ساز بارش و رواناب باید برای به‌دست‌آوردن رابطه‌ای بین آستانه شروع رواناب به‌عنوان متغیر تابع و متغیرهای مستقل عمق بارش، شدت بارش، عمق رواناب، درصد رس، درصد شن، درصد پوشش گیاهی و درصد شیب ابتدا مشخص شود که آستانه با کدام‌یک از این متغیرها مرتبط است. به این منظور، استفاده از نمودار می‌تواند نمایش خوبی از این ارتباط باشد. بنابراین، بررسی چشمی گراف‌های نمایش متغیرها نسبت به یکدیگر مد نظر قرار گرفت (شکل‌های ۳ تا ۷).

همبستگی کمی بین بارش و رواناب را نشان دادند. بنابراین، چنین استدلال شد که عوامل یا حداقل عامل دیگری می‌تواند تأثیرگذار باشد، زیرا در بارش‌های با شدت یا تداوم زیاد، چنانچه وضعیت رطوبتی خاک بسیار کم باشد، همان‌قدر تولید رواناب می‌تواند کم باشد که بارش‌های با شدت و مدت بسیار کم. بنابراین، پس از محاسبه ضرایب افت رطوبتی خاک و به‌دست‌آوردن شاخص بارش پیشین، رابطه آن با رواناب بررسی شد. نتایج این بررسی در شکل‌های ۲-۸ ارائه شده است. همان‌طور که در شکل‌های یادشده پیداست، ضریب تبیین زیاد است. چنانچه در شکل پراکنش اعداد پرت حذف شوند، ضرایب تبیین بسیار افزایش می‌یابد. این نتایج بیان‌کننده تأثیر بنیادین رطوبت پیشین حوضه روی رواناب است.

همچنین، جدول ۲ نتایج محاسبات رابطه شاخص بارش پیشین با رواناب را در حوضه کارده نشان می‌دهد. بیشترین تفاوت‌ها مربوط به روزهای ۲۰ و ۳۰ با تفاوت مقدار ضریب



شکل ۲. وضعیت تغییرات ثابت کاهش رطوبت خاک در ماه‌های مختلف در حوضه کارده

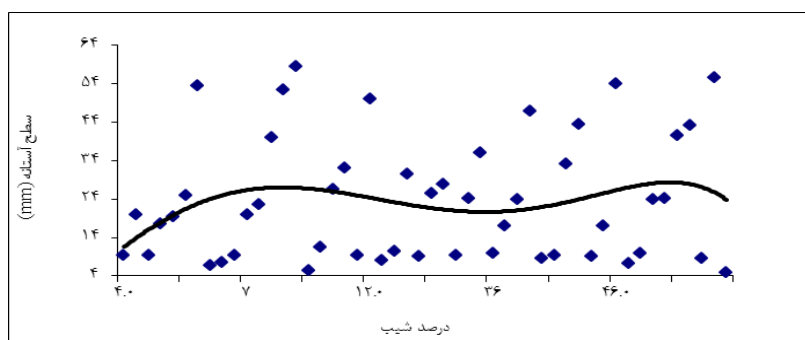
جدول ۱. محاسبه مقدار ثابت کاهش رطوبت خاک ماهانه برای حوضه کارده

ماه	K_{ave}	E_{ave}	Z	E	K
مهر	۰/۹	۵/۱۷	۰/۰۲	۴/۲۸	۰/۹۱۷
آبان	۰/۹	۵/۱۷	۰/۰۲	۲/۲	۰/۹۵۷
آذر	۰/۹	۵/۱۷	۰/۰۲	۱/۳۷	۰/۹۷۴
دی	۰/۹	۵/۱۷	۰/۰۲	۰/۸	۰/۹۸۵
بهمن	۰/۹	۵/۱۷	۰/۰۲	۰/۸۹	۰/۹۸۳
اسفند	۰/۹	۵/۱۷	۰/۰۲	۱/۹۳	۰/۹۶۳
فروردین	۰/۹	۵/۱۷	۰/۰۲	۳/۵۸	۰/۹۳۱
اردیبهشت	۰/۹	۵/۱۷	۰/۰۲	۵/۵۸	۰/۸۹۲
خرداد	۰/۹	۵/۱۷	۰/۰۲	۸/۴۳	۰/۸۳۷
تیر	۰/۹	۵/۱۷	۰/۰۲	۱۱	۰/۷۸۷
مرداد	۰/۹	۵/۱۷	۰/۰۲	۱۱/۲۱	۰/۷۸۳
شهریور	۰/۹	۵/۱۷	۰/۰۲	۸/۶۴	۰/۸۳۳

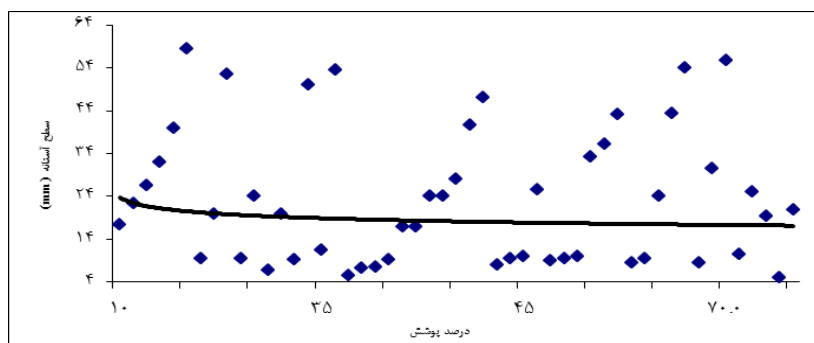
جدول ۲. رابطه همبستگی شاخص بارش پیشین با رواناب حوضه کارده

ضریب تبیین (R ²)	معادله همبستگی	رابطه API	تعداد روزهای پیشین
۰/۵۶*	$Q = -0.239API - 0.1449$	(۱)	۱
۰/۵۶*	$Q = -0.239API - 0.1449$	(۲)	
۰/۵۳	$Q = -0.215API - 0.1252$	(۱)	۲
۰/۵۳	$Q = -0.213API - 0.1234$	(۲)	
۰/۴۴	$Q = -0.139API + 0.095$	(۱)	۳
۰/۴۴	$Q = -0.134API + 0.163$	(۲)	
۰/۴۲	$Q = -0.126API + 0.1449$	(۱)	۴
۰/۴۲	$Q = -0.12API + 0.268$	(۲)	
۰/۴۰	$Q = -0.115API + 0.367$	(۱)	۵
۰/۳۹	$Q = -0.107API + 0.431$	(۲)	
۰/۳۹	$Q = -0.107API + 0.573$	(۱)	۶
۰/۳۸	$Q = -0.096API + 0.573$	(۲)	
۰/۳۹	$Q = -0.11API + 0.749$	(۱)	۷
۰/۳۸	$Q = -0.1API + 0.418$	(۲)	
۰/۴۲	$Q = -0.114API + 0.598$	(۱)	۱۰
۰/۴۰	$Q = -0.094API + 0.543$	(۲)	
۰/۴۰	$Q = -0.093API + 0.383$	(۱)	۱۵
۰/۴۱	$Q = -0.075API + 0.633$	(۲)	
۰/۳۱	$Q = -0.0598API + 0.144$	(۱)	۲۰
۰/۳۵	$Q = -0.055 + 0.919$	(۱)	
۰/۲۹	$Q = -0.05API + 0.1325$	(۱)	۲۵
۰/۳۲	$Q = -0.043API + 0.1158$	(۲)	
۰/۲۷	$Q = -0.043API + 0.1469$	(۱)	۳۰
۰/۳۱	$Q = -0.0388API + 0.1189$	(۲)	

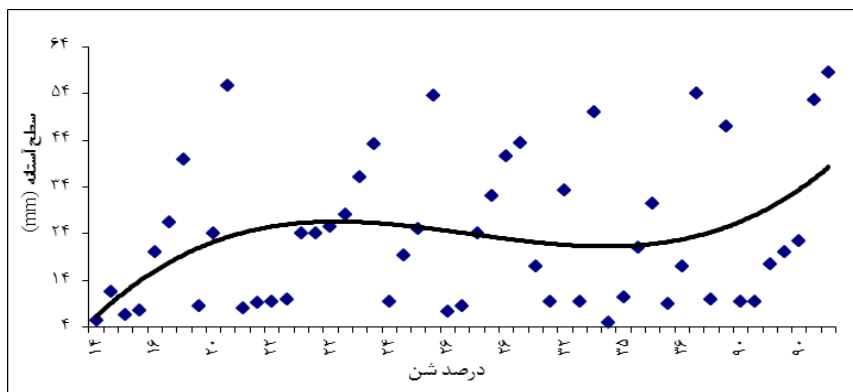
* حداکثر ضریب تبیین حوضه کارده



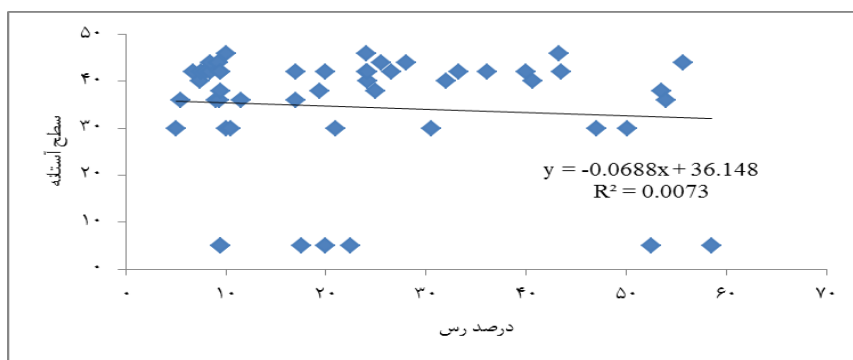
شکل ۳. رابطه بین آستانه شروع رواناب و شیب



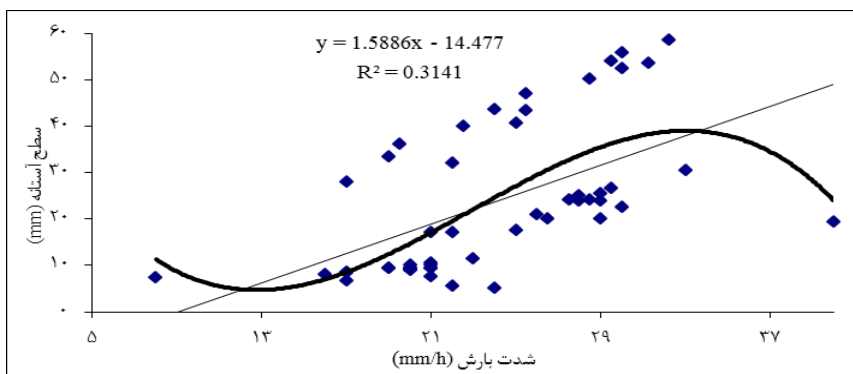
شکل ۴. رابطه بین درصد پوشش گیاهی - آستانه شروع رواناب



شکل ۵. رابطه بین درصد شن - آستانه شروع رواناب



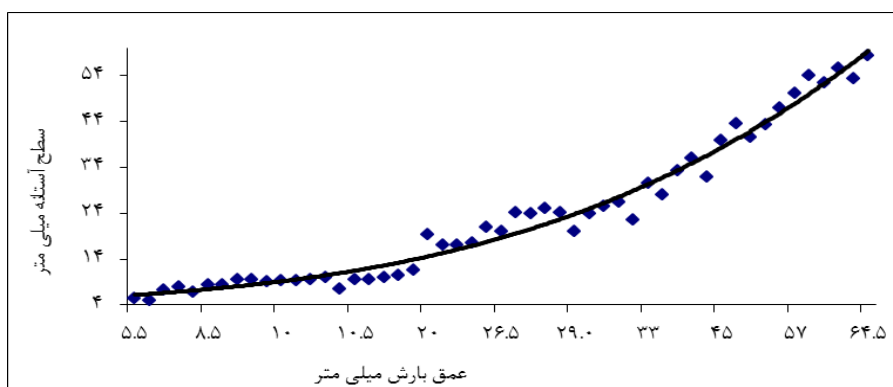
شکل ۶. رابطه بین درصد رس - آستانه شروع رواناب



شکل ۷. رابطه بین شدت بارش - آستانه شروع رواناب

از ضرایب همبستگی بین آستانه شروع رواناب و این متغیرها استفاده شد که نتایج آن در جدول ۳ آمده است. با توجه به جدول ۳ مشخص می‌شود که متغیرهای مؤثر بر آستانه شروع رواناب به ترتیب اهمیت عبارت‌اند از: عمق بارش، عمق رواناب، شدت بارش، درصد پوشش، درصد شن، درصد رس و درصد شیب.

نمودارهای به‌دست‌آمده نشان می‌دهد آستانه شروع رواناب بیشترین همبستگی را با عمق بارش دارد که نمودار آن در شکل ۸ آمده است. برای بررسی میزان تأثیر هر یک از متغیرهای عمق بارش، شدت بارش، عمق رواناب، درصد رس، درصد شن، درصد پوشش گیاهی و درصد شیب بر آستانه شروع رواناب



شکل ۸. رابطه بین عمق بارش - آستانه شروع رواناب

جدول ۳. ضرایب همبستگی بین آستانه شروع رواناب و متغیرهای شدت بارش، عمق بارش، درصد رس، درصد شن، درصد پوشش گیاهی و درصد شیب

متغیر	شیب	پوشش گیاهی	شن	رس	عمق بارش	شدت بارش
آستانه شروع رواناب	-۰/۰۰۶	-۰/۱۲۷	۰/۱۱۹	-۰/۰۸۵	۰/۹۹۲	۰/۰۵۶

در معادله یادشده y آستانه شروع رواناب برحسب میلی‌متر، x_1 شدت بارش به میلی‌متر در ساعت، x_2 عمق بارش برحسب میلی‌متر، x_3 درصد رس، x_4 درصد شن، x_5 درصد پوشش گیاهی و x_6 درصد شیب است.

با توجه به رابطه ۴ و با استفاده از داده‌های واقعی آستانه شروع رواناب، نمودار بین آستانه شروع رواناب واقعی و آستانه شروع رواناب محاسباتی در شکل ۹ نشان داده شده است.

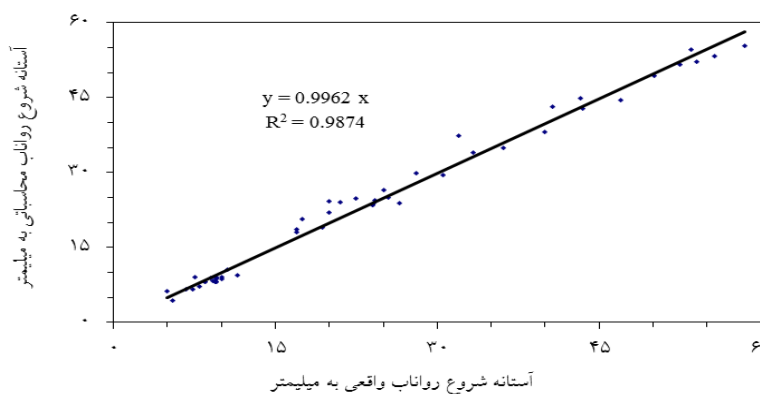
بررسی رابطه همبستگی غیرخطی بین متغیرها با استفاده از روش نتایج رابطه رگرسیونی غیرخطی در جدول‌های ۴ و ۵ آمده است.

برای محاسبه رابطه رگرسیونی خطی بین متغیر تابع (آستانه شروع رواناب) و متغیرهای مستقل (عمق بارش، عمق رواناب، شدت بارش، درصد پوشش، درصد شن، درصد رس و درصد شیب) از رابطه ۳ استفاده شد:

$$y = m_1x_1 + m_2x_2 + \dots + b \quad (3)$$

با استفاده از رابطه ۳ رابطه خطی بین متغیر تابع آستانه شروع رواناب و متغیرهای مستقل شدت بارش، عمق بارش، درصد رس و درصد شن خاک، درصد پوشش گیاهی و درصد شیب به دست می‌آید (رابطه ۴):

$$-0.02x_6 - 2.34y = -0.06x_1 + 0.89x_2 - 0.23x_3 + 0.02x_4 + 0.05x_5 \quad (4)$$



شکل ۹. رابطه آستانه شروع رواناب محاسباتی و آستانه شروع رواناب واقعی

جدول ۴. تجزیه و تحلیل متغیرها در معادله رگرسیونی غیر خطی

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین
رگرسیون	۴۰۶۵۸	۱۳	۳۱۲۷/۵
باقی‌مانده	۱۵۹/۵	۳۸	۴/۲
جمع اصلاح‌نشده	۴۰۸۱۷/۵	۵۱	
جمع اصلاح‌شده	۱۲۵۵۰/۵	۵۰	

مجموع مربعات=۱- باقی‌مانده/جمع اصلاح‌شده=۰/۹۸۷

در معادله ۶ y آستانه شروع رواناب برحسب میلی‌متر، x₁ شدت بارش به میلی‌متر در ساعت، x₂ عمق بارش برحسب میلی‌متر، x₃ درصد رس، x₄ درصد شن، x₅ درصد پوشش گیاهی و x₆ درصد شیب است. با توجه به رابطه ۶، با استفاده از داده‌های واقعی آستانه شروع رواناب نمودار بین آستانه شروع رواناب واقعی و آستانه شروع رواناب محاسباتی در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

با توجه به ضرایب به دست آمده، رابطه رگرسیونی غیر خطی به صورت رابطه ۵ است:

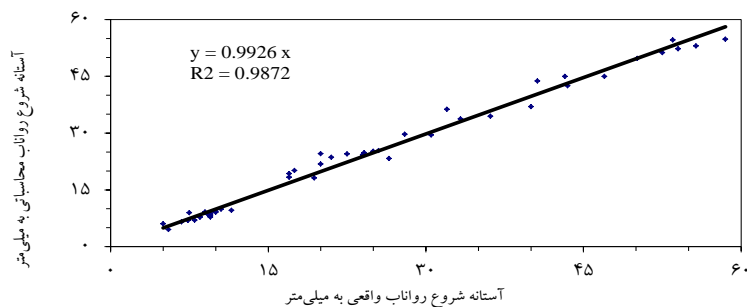
$$y = A_1 x_1^{A_2} + A_2 x_2^{A_3} + A_3 x_3^{A_4} + A_4 x_4^{A_5} + A_5 x_5^{A_6} + A_6 x_6^{A_7} + A_7 x_8^{A_9} + A_8 x_9^{A_{10}} + A_9 \quad (5)$$

با قراردادن ضرایب و توان‌های محاسبه شده در جدول ۳، رابطه ۶ به وجود می‌آید:

$$y = -0.01 x_1^{0.93} + 0.88 x_2 - 9.62 x_3^{-9.7} + 0.99 x_4^{0.21} - 13.9 x_5^{-0.42} + x_6^{-0.05} + 0.14 \quad (6)$$

جدول ۵. محاسبه ضرایب معادله رگرسیونی غیر خطی

پارامتر	تخمین	خطای تقریبی Std.	خطای تقریبی با فاصله اطمینان ۹۵ درصد	
			پایین	بالا
A0	۰/۰۱	۱/۴۹	۳/۰۳	۳/۰۱
A1	۰/۹۳	۳۳/۷۶	۶۷/۴۱	۶۹/۲۶
A2	۰/۸۸	۰/۳۳	۰/۲۰	۱/۵۶
A3	۱/۰۰	۰/۰۹	۰/۸۳	۱/۱۷
A4	۹/۶۲	۶۳۲۱۵۱۱۸/۷۸	۱۲۷۹۷۲۳۲۷/۱	۱۲۷۹۷۲۳۰۷/۹۱
A5	۹/۶۹	۴۴۱۰۰۱۸/۳۸	۸۹۲۷۶۲۵/۱۷	۸۹۲۷۶۰۵/۷۹
A6	۰/۹۹	۱۱۰/۵۵	۲۲۲/۸۲	۲۲۴/۷۹
A7	۰/۲۱	۱۴/۰۱	۲۸/۱۶	۲۸/۵۸
A8	۱۳/۸۶	۱۵/۱۴	۴۴/۵۱	۱۶/۷۸
A9	۰/۴۲	۱/۲۵	۲/۹۵	۲/۱۰
A10	۱/۰۰	۵۳۸/۱۳	۱۰۸۱/۳۹	۱۰۹۰/۳۹
A11	۰/۰۵	۳۲/۲۲	۶۵/۲۶	۶۵/۱۷
A12	۰/۱۴	۵۶۶/۴۳	۱۱۴۶/۵۷	۱۱۴۶/۱۸



شکل ۱۰. رابطه آستانه شروع رواناب محاسباتی و آستانه شروع رواناب واقعی

جدول ۶. پارامترهای واسنجی شده مدل AWBM2002 (مقادیر مبنا در تحلیل ساسیت) در حوضه کارده

پارامترهای دبی پایه		ظرفیت‌های ذخیره سطحی (mm)			درصد سطوح متناظر با ظرفیت‌های ذخیره			نام حوضه کارده
mm/d	---	C _{c1}	C _{c2}	C _{c3}	A ₁	A ₂	A ₃	
K	BFI	۱	۱۵	۲۹	۳۳/۸	۶	۶۰/۲	
۰/۹۸۶	۰/۶۳							

- [3].Lang, J.A., P. Schick and C. Leibundgut. A Noncalibrated rainfall-runoff model for large, arid catchments. *Water Resource Research*, 1999. 35(7):2126-2177.
- [4].Sharifi, F. and Boyd M., Evaluation of three continuous rainfall-runoff models, a new approach. *Proceedings of the 8th International Conference on Rainwater Catchments Systems*, 1997. 416-432.
- [5].Afshar M. , *Engineering Hydrology*, University Press Publishing Center., 1985. (in Persian).
- [6].Telvari R., *Hydrological models in plain language*, published by Forest Research Institute and Rangeland. 1996. (in Persian).
- [7].Hartman. H., Bales R. and S. Sorooshian. *Weather, climate and hydrologic forecasting for the southwest U. S.*, The Climate Assessment Project for the Southwest (CLIMAS), Working Paper Series: WP2-99, Tucson, Arizona, USA, 1999. 172pp.
- [8].Fedora, M.A. and R.L. Beschta. R.L. , *Runoff Simulation Using an Antecedent Precipitation Index (API) Model*, *Journal of Hydrology*, 1989. 112:121-133
- [9].Linsley, Jr, Kohler M. A. and. Paulhus J.L. , *Hydrology for engineers*, McGraw-Hill Book Company, London, 1988. 492pp.
- [10]. Ziemer, R.R. and Rice. R.M. *Tracking rainfall impulses through progressively larger drainage basins in steep forested terrain*, In: *Proceedings of Two Lausanne Symposia, August 1990, Hydrology in Mountainous Regions, Hydrological Measurements; The Water Cycle*, IAHS Publication, 1990.193:413-420.
- [11]. Karnieli, A. and Ben-Asher. J. , *A Daily Runoff Simulation in Semi-Arid Watersheds Based on Deficit Calculations*. *J. Hydrology*, 1993.149: 9-25.
- [12]. Harden, D.R. , *A comparison of flood-producing storms and their impacts in northwestern California*, In: Nolan, K. M., H. M. Kelsey and D. C. Marron (B d.), *Geomorph Processes and Aquatic Habitat in the Redwood Creed Basin, Northwestern California*, U.S. Geological Survey Professional Paper. 1995. 1454: pp. DI-D9.

پارامترهای ثابت فروکش جریان پایه (K)، شاخص جریان پایه (BFI)، ظرفیت‌های ذخیره سطحی و سطوح متناظر با ظرفیت‌های ذخیره سطحی، در حوضه کارده محاسبه شده و در جدول ۶ ارائه شده است. با توجه به شکل‌های ۹ و ۱۰ ملاحظه می‌شود که معادله خطی ۳ و معادله غیر خطی ۴ با توجه به ضریب همبستگی بیش از ۹۸ درصد به خوبی می‌توانند آستانه شروع رواناب واقعی را تخمین بزنند. ضرایب این دو معادله نشان می‌دهد معادله غیر خطی بهتر می‌تواند خصوصیات فیزیکی منطقه را نشان دهد، بنابراین معادله غیر خطی برای تخمین آستانه شروع رواناب مناسب‌تر است.

نتیجه‌گیری

مقایسه نتایج نشان می‌دهد در حالی که ویس کرمی در تحقیق خود برای شبیه‌سازی بارش رواناب شاخص بارش پیشین را در دو حوضه امامه و کسلیان مقدار بهینه ثابت فروکش رطوبت خاک برای حوضه امامه ۰/۹۰۴ و کسلیان ۰/۹۶۵ به دست آورده است، اما در پژوهش حاضر بر اساس جدول ۶، نتایج محاسبات رابطه شاخص بارش پیشین با رواناب را در حوضه کارده نشان می‌دهد که بیشترین تفاوت‌ها مربوط به روزهای ۲۰ و ۳۰ با تفاوت مقدار ضریب تبیین ۴ درصد بین روابط ۱ و ۲ است. بنابراین، بیشترین همبستگی شاخص بارش پیشین با رواناب در روز یکم بوده که مقدار ضریب تبیین روابط ۱ و ۲ برابر ۵۶ درصد است.

منابع

- [1].Karamoz M., Ahmadi A. and Nazif S. , *Review the Challenges and Opportunities for Optimizing Water Resources Systems*. First Water Resources Optimization Conference, City of Shahr e Kord , 2006. (in Persian).
- [2].Kazemikia S. and Habibnezhad M. , *Predicting flow of the Barandoz River Basin*. *Quarterly Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 2006. Volume 15, pp. 94-79. (in Persian).

- [13]. Caporali E., Entekhabi D. and Castelli F., Rainstorm statistics conditional on soil moisture index: temporal and spatial characteristics. *Journal of Meccanica*.1996, 31:103-116.
- [14]. Xia J., O'Connor K.M. Kachroo R.K. and G.C. Liang , A non-linear perturbation model considering catchment wetness and its application in river flow forecasting. *Journal of Hydrology*,1997. 200:164-178.
- [15]. Sullivan A., J.L. Ternan and Williams A.G., Land use change and hydrological response in the camel catchment, Cornwall. *Journal of Applied Geography*,2004. 24:119-137.
- [16]. Anctil F., C. Michel C. , Perrin C. and Andreassian V. , A soil moisture index as an auxiliary ANN input for stream flow forecasting. *Journal of Hydrology*,2004. 286(1):155-167
- [17]. Yixing Yin. , Impacts of land use change scenarios on storm-runoff generation in Xitiaoxi basin, China. *Quaternary International*. (2009). 208. 121-128.
- [18]. Steele-Dunni ,S. Lynch ,Mcgrath , Semmler T. , The Impact of Climate Change on Hydrology in Ireland *Journal of Hydrology*, 2008.365:28-45.
- [19]. Chen, Ying. Youpeng Xu., Yixing Yin. , Impacts of land use change scenarios on storm runoff generation in Xitiaoxi basin, China. *Quaternary International*. 2009.208. 121-128.
- [20]. Shimelis, G., Setegn, R., Srinivasan, A., Melesse, M., Bijan, D. , SWAT model application and prediction uncertainty analysis in the Lake Tana Basin, Ethiopia, *Hydrol. Process*..2010. 24, 357-367.
- [21]. Visekarami A., Investigating the relationship between hydrological reductions for determining the hydrograph of the flood in the Kashkan Basin (Lorestan), Master's thesis, Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.1999. (in Persian).
- [22]. Sharfi F. , Namdorost J. and Zaren H. , Evaluation of AWBM Model in Several Sub-basins, Karoon Springs, First Regional Conference on Water Resources Utilization in Karoon and Zayandeh Rood Basins (Opportunities and Challenges). 2006. (in Persian).
- [23]. Fazleavail.R. , Rainfall-runoff simulation model using previous rainfall index, Case study: Amameh and Kasilian watersheds. Phd dissertation on hydrology. Chamran of Ahwaz University..2006. (in Persian).
- [24]. Ahmadienezhad. A ,Golmae S. and Ahmadi M. , Simulation of Rainfall Processes - Runoff and Water Discharges in Rivers Basin (Case Study, kor korsar Basin), *Journal of Watershed Management*, First Year, No 1, Spring and Summer.2010. (in Persian).0
- [25]. Khierfam, H. ,Asadi O. and Rohani H. ,Rainfall-run Simulation using the IHACRESS model, 7th National Conference on Watershed Management, Iran. 2011. (in Persian).
- [26]. Ghafari G. and Vafakhah M. , Simulation of Rainfall-Runoff Processes Using Artificial Neural Network and Fuzzy-Neural System, Comparative (A Case Study of Haji Ghoshan Basin, *Journal of Watershed Management*, 2013.Vol.4, No. 8, Autumn and Winter, pp. 86-74. (in Persian).
- [27]. Nadersefat M. and Saidian F. , Investigating the flooding trend in watersheds by investigating the permeability and potential for the formation of rowan in the geological formations of the lagoon. *Geography Quarterly Journal*. 2010. pp.163-199. (in Persian).