

## تحلیل منطقه‌ای آبدهی رودخانه‌های حوضه مرکزی ایران

علیرضا اسلامی<sup>۱\*</sup>، جهانگیر پرهت<sup>۲</sup> و نادرقلی ابراهیمی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و <sup>۲</sup>دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۲۳

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۸/۰۸

### چکیده

تحلیل کمی آورد رودخانه‌ها و برآورد جریان در مناطق اندازه‌گیری شده و تعمیم آن به نقاط فاقد آمار در برنامه‌ریزی منابع آب، مدیریت حوزه‌های آبخیز و اراضی زراعی پایین‌دست دارای اهمیت ویژه‌ای است. همچنان‌که جانمایی و طراحی بهینه سازه‌های کنترلی و انحراف جریان در نقاط برداشت و بهره‌برداری از بندها و سدها، نیازمند آگاهی از اطلاعات آبدهی در سطوح مختلف احتمالاتی دارد. در این پژوهش، آمار آبدهی ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در رودخانه‌های حوزه‌های آبخیز استان‌های اصفهان، مرکزی، قم، تهران، همدان و قزوین جمع‌آوری و مورد بررسی قرار گرفت. ایستگاه‌های آبسنجی دارای آمار مناسب از نظر کمی و کیفی، در یک دوره زمانی مشترک انتخاب شدند. آزمون تحلیل خوشه‌ای با توجه به پارامترهای تأثیرگذار، سه گروه همگن از حوزه‌های آبخیز را در منطقه نشان داد. با توجه به تحلیل احتمالاتی آبدهی متوسط سالانه بر مبنای توزیع آماری مناسب برازش داده شده، مقادیر آبدهی با دوره‌های بازگشت مختلف برآورد شد. با استفاده از پارامترهای هیدرولوژیکی و مورفومتری، روابط منطقه‌ای آبدهی با دوره‌های بازگشت مختلف برای مناطق همگن استخراج شد. سپس برای ارزیابی و دقت روابط رگرسیونی به‌دست آمده، تعدادی ایستگاه آبسنجی شاهد، در هر منطقه انتخاب شد. در منطقه پژوهش، عوامل مساحت، شیب متوسط، شیب آبراهه اصلی، طول و ضریب گراویلیوس حوضه از مهمترین پارامترهای تأثیرگذار در تخمین آبدهی تشخیص داده شد. میزان خطای برآوردی بر اساس معیار جذر میانگین خطا، بیانگر کمترین خطای در برآورد آبدهی با دوره بازگشت دوساله معادل ۱/۲، ۵ و ۷/۶ و بیشترین میزان خطا در برآورد آبدهی ۱۰۰ ساله معادل ۱۴/۴، ۳۲/۸ و ۱۸ به‌ترتیب در گروه همگن یک، دو و سه به‌دست آمد.

**واژه‌های کلیدی:** ایستگاه آبسنجی، برآورد آبدهی، پارامترهای هیدرولوژیکی، حوضه‌های همگن، مورفومتری

### مقدمه

حوضه‌های بزرگ به حالت نمایی گزارش شده است. به‌طور کلی، در خصوص مدل‌سازی منطقه‌ای جریان رودخانه‌ها و استخراج روابط آن نسبت به ویژگی‌های موثر حوضه با افزایش دقت و کارایی بیشتر در برآورد، تعیین و تفکیک حوزه‌های آبخیز همگن هیدرولوژیکی، در اکثر پژوهش‌ها مورد توجه قرار گرفته است. بررسی‌های Mosely (۱۹۸۱)، Wiltshires (۱۹۸۵)،

در تحلیل منطقه‌ای آبدهی رودخانه‌ها از روش‌های تجربی که اغلب در کشورهای آسیایی نظیر هند پیشنهاد شده، استفاده می‌شود که از جمله آن‌ها می‌توان به بررسی Subramanaya (۲۰۰۰) اشاره نمود. طی این پژوهش، رابطه آبدهی سالانه با بارش سالانه در حوضه‌های کوچک به‌صورت خطی و در

\*مسئول مکاتبه: eslamiar72@gmail.com

Dinpajoh (۲۰۱۰) در پژوهشی روند تغییرات آبدهی رودخانه‌های شمال غرب ایران در سه دهه اخیر را تحلیل کردند. نتایج آنان در سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه با روش Mann-Kendal نشان داد که جریان رودخانه‌های شمال غرب ایران در مقیاس سالانه در همه ایستگاه‌ها روند نزولی دارند.

رواناب متوسط سالیانه و ضریب جریان در رودخانه‌های واقع در حوزه آبخیز کرخه توسط Porhemmat و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از مدل‌های منطقه‌ای مورد تحلیل قرار گرفت. در بررسی آنان با استفاده از روابط منطقه‌ای مولفه‌های جریان، تغییرات ضریب جریان در سطح حوضه و همچنین، سهم هریک از زیرحوضه‌های کرخه در تولید جریان بررسی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که عمق رواناب همبستگی بالایی با بارندگی و شیب حوضه‌ها دارد. همچنین، Rezaee (۲۰۰۸) در حوزه‌های آبخیز سفیدرود، Abbasi و Porhemmat (۲۰۰۹) در قره‌قوم و کشف‌رود، Ghiasi و همکاران (۲۰۱۱) در ناحیه خزری، Mahdian و همکاران (۲۰۱۱) در حوضه‌های واقع در استان اصفهان و همدان و Ghermezcheshmeh و Porhemmat (۲۰۱۲) در حوضه دریاچه ارومیه، روابط آبدهی رودخانه‌های واقع در حوزه‌های آبخیز مورد نظر را مورد بررسی و تحلیل قرار دادند. نتیجه مهم و مشترک این بررسی‌ها گویای این مطلب است که برآورد آبدهی براساس ویژگی‌های فیزیوگرافی به‌ویژه مساحت و پارامتر اقلیمی بارش از دقت خوبی برخوردار است. Farajzadeh (۲۰۱۳) در پژوهشی با تحلیل وضعیت عوامل هواشناسی دما و بارندگی ماهانه با استفاده از ۱۸ مدل AOGCM، اثرات تغییر اقلیم بر میزان آبدهی را برای رودخانه ششپیر در افق سال‌های مختلف مورد بررسی قرار داد. همچنین، برآورد میزان آورد جریان برای افق‌های مورد نظر با استفاده از مدل هیدرولوژیکی AWBM و داده‌های روزانه بارندگی و آبدهی رودخانه در سطح حوضه، حاکی از کاهش شدید آوردها در دوره‌های آتی بوده است.

در پژوهش Dsa در سال ۲۰۰۰، به‌منظور برآورد و تحلیل آبدهی علاوه بر روش‌های تجربی، روش‌های رگرسیونی تک متغیره و چند متغیره بین آبدهی

Cunderlik و Burn (۲۰۰۲)، Ghiasi (۲۰۱۱) و Eslami و Saghafian (۲۰۰۸) بیانگر چنین مطلبی است. به‌عنوان مثال، در کشور تانزانیا، Muhara (۲۰۰۱) بر اساس دیاگرام گشتاورهای خطی، ۱۲ منطقه همگن هیدرولوژیکی را شناسایی نمود. تعیین مدل ریاضی (روابط رگرسیونی) برآورد بده سالانه با استفاده از ویژگی‌های کمی در زیر حوضه‌های همگن با دوره بازگشت‌های مختلف و کارایی آن‌ها برای حوضه‌های بدون آمار و دستیابی به روابط منطقه‌ای آبدهی متوسط سالانه از جمله اهداف پژوهش یادشده بوده است.

Samiee و همکاران (۲۰۰۵) آنالیز منطقه‌ای جریان‌های کم را در تعدادی از حوزه‌های آبخیز تهران مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی، پس از همگن‌بندی هیدرولوژیکی حوضه‌ها، با استفاده از مدل ریاضی رگرسیون چند متغیره خطی و شاخص جریان کم، میزان حجم جریان کم را با دوره بازگشت‌های متفاوت در ۱۲ حوضه شبیه‌سازی نمودند. نتیجه تجزیه و تحلیل عاملی در پژوهش آنان، تعداد چهار پارامتر مستقل موثر بر فرآیند هیدرولوژی شامل مساحت، بارش متوسط سالانه، متوسط وزنی نفوذپذیری و شیب متوسط حوضه را در برآورد کمینه مقدار جریان نشان داد. نتایج این پژوهش گویای برتری و دقت بیشتر روش رگرسیون چند متغیره نسبت به روش شاخص جریان کم، در برآوردها می‌باشد.

در پژوهش Eslami و Telvari (۲۰۰۵)، از میان عوامل موثر در ایجاد جریان‌های سیلابی در حوزه‌های آبخیز شمال کشور، عامل مساحت حوضه مهم‌ترین متغیر اثرگذار تشخیص داده شده است. همچنین، بررسی‌های نامبردگان نشان داد که برآوردهای مربوط به مدل گروه‌های همگن از دقت بیشتری نسبت به مدل کل منطقه، برخوردار است. همچنین Massah Bavani و Morid (۲۰۰۶) برای مدل نمودن رژیم ماهانه جریان در رودخانه زاینده‌رود اصفهان، از روش شبکه عصبی مصنوعی و با استفاده از متغیرهای بیشینه و کمینه دما و بارندگی ماهانه ماه مورد نظر و ماه قبل و میزان تشعشع همان ماه استفاده کرده‌اند. Mirabbasi Najafabadi و

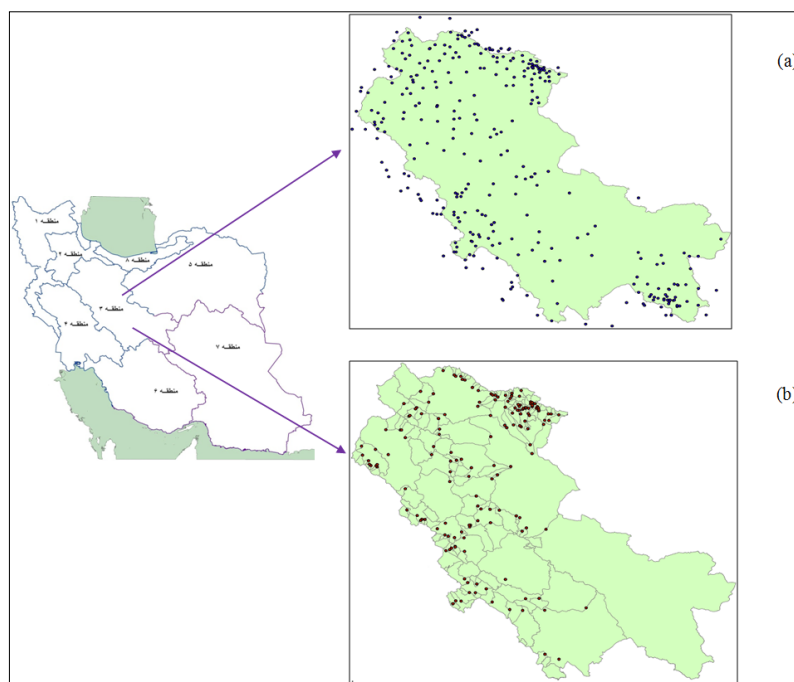
## مواد و روش‌ها

**منطقه مورد پژوهش:** منطقه مورد پژوهش شامل حوزه‌های آبخیز واقع در استان‌های اصفهان، مرکزی، قم، تهران، همدان و قزوین می‌باشد. شکل ۱ پراکندگی تمام ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی این منطقه را نشان می‌دهد. اطلاعات مربوط به بارش سالانه و رواناب سالانه از زمان تاسیس ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی به دست آمد. در منطقه مورد نظر، تعداد ۱۸۵ ایستگاه هیدرومتری و ۳۲۵ ایستگاه هواشناسی وجود دارد. در ابتدا آمار بارش ایستگاه‌های هواشناسی و آبدهی ایستگاه‌های آبنجی واقع در منطقه جمع‌آوری و مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به هدف اصلی پژوهش (تحلیل آبدهی)، ایستگاه‌های آبنجی دارای آمار کافی از نظر کمی و کیفی در یک دوره مشترک ۲۰ ساله (۱۳۸۵-۱۳۶۵) انتخاب شدند. در این خصوص آبدهی متوسط سالانه رودخانه‌های منتهی به ایستگاه‌های آبنجی برآورد شد.

از سوی دیگر، پارامترهای موثر فیزیوگرافی، مورفومتری و اقلیمی (بارش) حوزه‌های آبخیز بالادست ایستگاه‌های آبنجی، در محیط GIS استخراج شد. بارش منطقه‌ای با توجه به فرآیند تعمیم از نقاط ایستگاه‌ها به سایر مناطق به صورت مکانی با استفاده از روش‌های زمین آماری بر مبنای نقشه‌های رقومی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ کشور، در مقیاس زمانی سالانه برای هر یک از زیرحوضه‌های مورد نظر استخراج شد. برای محاسبه میزان بارندگی سالانه زیرحوضه‌ها، ابتدا مقادیر بارش در تمام ایستگاه‌ها در هر دوره بازگشت به دست آمد. برای تهیه نقشه هم‌بارش با استفاده از روش اسپلاین در نرم‌افزار GIS استفاده شد. در نهایت، با استفاده از Zonal Statistics مقادیر بارش در هر حوضه و هر دوره بازگشت استخراج شد. در مرحله بعد، با استفاده از پارامترهای اقلیمی و فیزیوگرافی مانند بارش متوسط سالانه و مساحت حوضه و شیب، روابط منطقه‌ای آبدهی محتمل با دوره‌های بازگشت مختلف برای مناطق همگن استخراج شد. سپس، بر اساس ایستگاه‌های شاهد، روابط به دست آمده مورد ارزیابی و برای هر منطقه روابط مناسب ارائه شد.

سالانه و بارش و نیز سایر پارامترها از جمله دما، شیب حوضه، نوع خاک و پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گرفته است (Ghermezcheshmeh, ۲۰۱۲). Ren و همکاران (۲۰۱۳) مدل ANFIS را برای پیش‌بینی جریان ماهانه ایستگاه Yichang رودخانه یانگ‌تسه کشور چین بر پایه تحلیل موجک تهیه کردند. آنان دریافتند که با استفاده از مدل مذکور روند قابل پیش‌بینی است، اما مدل مربوطه به تغییرات ناگهانی بارش حساس است. Zhang و همکاران در سال ۲۰۱۱، تغییرات بارش و جریان رودخانه را برای کشور چین مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش کاهش شدید بارندگی در فصل بهار و افزایش بارش در پاییز و زمستان ملاحظه شد. بر اساس این تغییرات، تغییرات شدیدی در رواناب فصول بهار و پاییز ملاحظه شد (Farajzadeh, ۲۰۱۳). لازم به توضیح است که در سال‌های اخیر کارایی روش شبکه عصبی مصنوعی و نروفازی نیز در برآورد و پیش‌بینی جریان رودخانه مورد توجه محققان از جمله Keskin و Taylan (۲۰۰۹) و Bakshi و Bhar (۲۰۱۲) قرار گرفته است. Dai و همکاران (۲۰۱۳) تغییرات آبدهی ماهانه و فصلی رودخانه Xiaoyangqi واقع در شمال شرق چین را در بازه زمانی ۲۰۱۰-۱۹۹۲ با استفاده از روش همبستگی کندال مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش همبستگی ارتباط بین جریان فصل بهار با پارامترهای اقلیمی درجه حرارت و بارش با استفاده از رگرسیون چند متغیره در محیط نرم‌افزار SPSS استخراج و مورد تحلیل قرار گرفت.

به‌طور کلی به دلیل پیچیدگی سیستم هیدرولوژیکی حوضه و تنوع عوامل مؤثر در ایجاد رواناب، به‌کارگیری روابط آبدهی به‌عنوان فرمول یا مدل منطقه‌ای حاوی ضرایب معین و ثابتی که در دیگر نقاط جهان استخراج و ارزیابی شده است، برای حوزه‌های آبخیز ایران خطای برآوردی قابل توجهی را به همراه خواهد داشت. در این پژوهش، هدف شناسایی عوامل مؤثر منطقه‌ای در تولید آبدهی و دستیابی به روابط منطقه‌ای آبدهی سالانه با دوره بازگشت‌های مختلف و کارایی آن برای مناطق فاقد آمار می‌باشد.



شکل ۱- منطقه مورد پژوهش، موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی (a) و آبسنجی (b) مورد استفاده

ارزیابی دقت روابط آبدهی رودخانه‌ها: به منظور ارزیابی کارایی روابط به دست آمده، حوزه‌های آبخیزی با مساحت‌های متفاوت که دارای ایستگاه آبسنجی با آمار کافی مشاهداتی بوده و همچنین، در تعیین روابط استخراجی نیز دخالت نداشتند، برای هر یک از گروه‌های همگن در نظر گرفته شدند. در ابتدا آبدهی متوسط سالیانه با دوره بازگشت‌های مختلف آن‌ها از طریق تابع توزیع احتمالاتی مناسب به عنوان مقادیر مشاهداتی محاسبه شد. همچنین، با توجه به عوامل دخیل در روابط گروه همگن مربوطه، مقادیر آبدهی حوزه آبخیز مورد نظر با دخالت پارامترهای آن، برآورد شد. دقت مدل‌های مورد نظر نیز با استفاده از معیار جذر میانگین مربع خطا (RMSE) مطابق رابطه (۱)، مورد ارزیابی قرار گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}} \quad (1)$$

که در آن،  $X_{obs}$  و  $X_{model}$  به ترتیب مقادیر مشاهداتی و برآوردی مدل و  $n$  نیز تعداد می‌باشد.

### نتایج و بحث

شکل ۲، نقشه هم‌بارش برای دوره آماری ۲۰ سال و دوره بازگشت ۲۵ سال را به عنوان نمونه نشان

تعیین زیرحوضه‌های همگن هیدرولوژیکی: تحلیل همگنی حوضه‌ها با توجه به آبدهی و پارامترهای تأثیرگذار منتخب (عوامل مورفومتریکی و اقلیمی) از طریق آزمون خوشه‌ای<sup>۱</sup> به روش Ward و تفکیک گروه‌های همگن حاصل از آزمون فوق با استفاده از توابع تشخیص<sup>۲</sup> با استفاده از نرم‌افزار SPSS صورت گرفت.

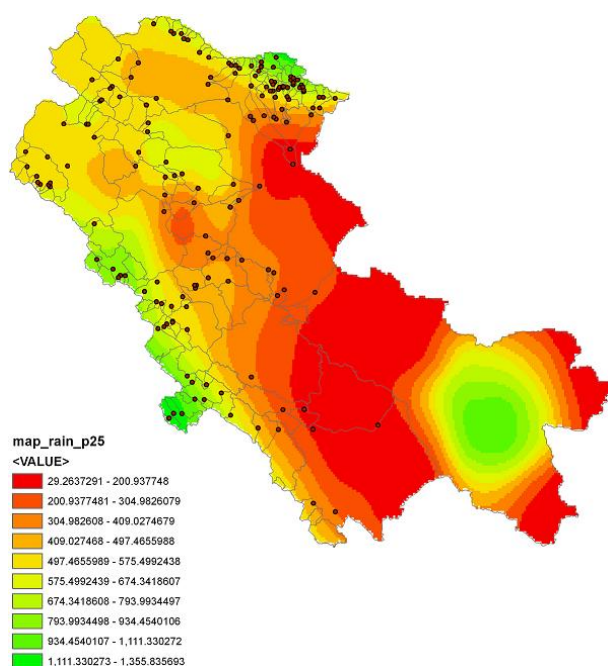
برآورد آبدهی سالیانه رودخانه با دوره بازگشت-های مختلف: تحلیل احتمالاتی بر روی آبدهی متوسط سالانه با استفاده از نرم‌افزار SMADA و به کارگیری هفت توزیع احتمالاتی شامل نرمال، لوگ نرمال دو پارامتری، لوگ سه پارامتری، پیرسون تیپ سه، لوگ پیرسون تیپ سه، گامبل تیپ یک حدی و توزیع حد تعمیم یافته (GEV) برای هر کدام از ایستگاه‌های منتخب، برازش سری داده‌ها در طول دوره آماری انجام شد. سپس، بر مبنای کمترین میانگین مجموع مربع خطا (MSE)، دبی با دوره بازگشت دو تا ۱۰۰ ساله بر اساس مناسب‌ترین توزیع احتمالاتی برای هر سری از داده‌های ایستگاه‌های آبسنجی استخراج شد.

<sup>1</sup> Cluster Analysis

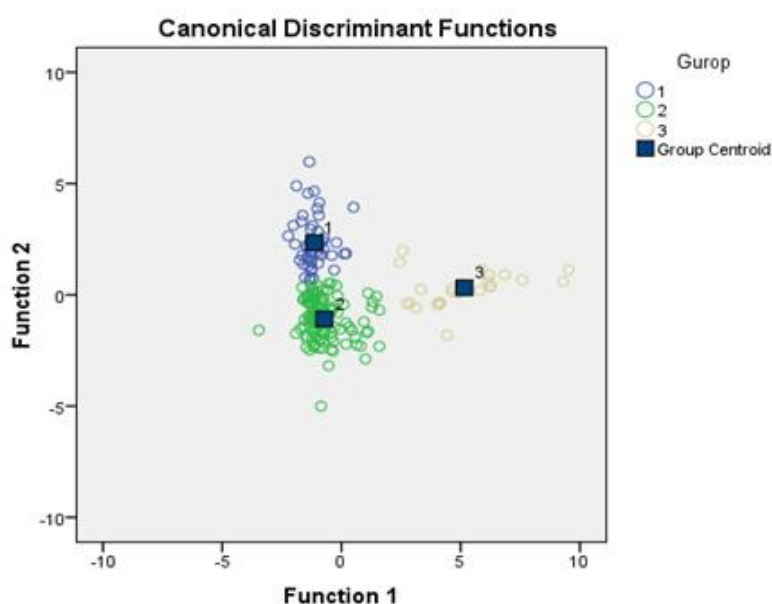
<sup>2</sup> Discriminate Analysis

گروه دو دارای ۱۱۱ زیرحوضه و گروه سه شامل ۲۶ زیرحوضه شد. در این خصوص صحت تفکیک کامل همگن‌بندی حوضه‌ها به‌روش تابع تشخیص به‌طور ۱۰۰ درصدی صورت گرفته که نشان از دقت خوب همگن‌بندی می‌دهد (شکل ۳). همچنین، شکل ۴ نقشه پراکنش حوضه‌های همگن هیدرولوژیکی را نشان می‌دهد.

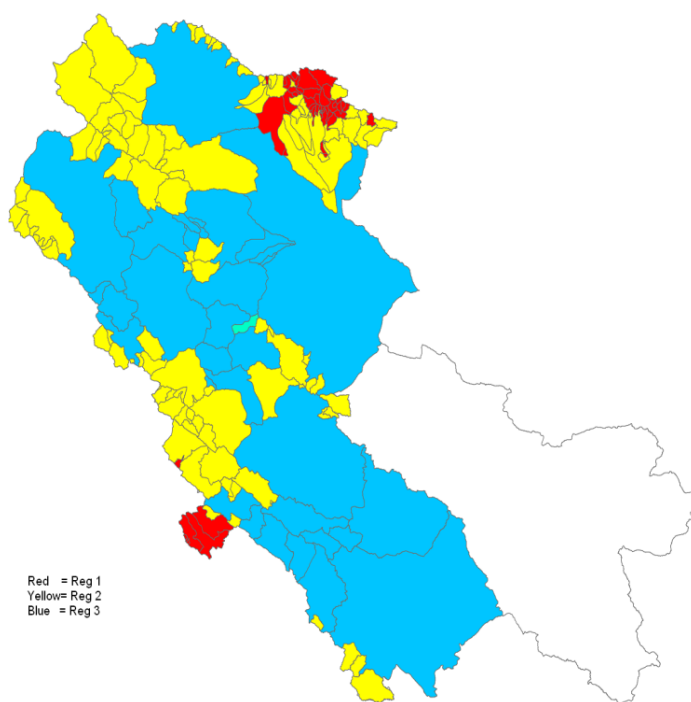
می‌دهد. در واقع این نقشه نتیجه تعمیم مقادیر بارش در محل ایستگاه‌های هواشناسی (به‌صورت نقطه) به منطقه مورد پژوهش در قالب تغییرات مکانی می‌باشد. **تعیین حوزه‌های آبخیز همگن:** تعیین زیرحوضه‌های همگن هیدرولوژیکی در روش خوشه‌بندی زنجیره‌ای با انتخاب فاصله اقلیدوسی معادل هفت، منجر به تفکیک سه گروه همگن هیدرولوژیکی به‌ترتیب گروه یک دارای ۴۸ زیرحوضه،



شکل ۲- نقشه هم‌بارش برای دوره آماری ۲۰ سال و دوره بازگشت ۲۵ سال



شکل ۳- گروه‌های همگن زیرحوضه‌های انتخابی به‌روش توابع تشخیص کانونیک



شکل ۴- موقعیت سه گروه همگن هیدرولوژیکی در منطقه پژوهش

پارامترهای دخیل در روابط گروه دو با جایگزینی فاکتور ضریب گراویلیوس به جای تراکم زهکشی به دست آمد که برای اختصار از ارائه آن صرف نظر شده است.

**روابط منطقه‌ای آبدهی:** روابط آبدهی با استفاده از تحلیل همبستگی چند متغیره بر اساس پارامترهای حوضه‌ای و بارندگی و برای زیرحوضه‌های همگن یک و دو در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. روابط مربوطه برای گروه سه همگن عملاً با دخالت همان

جدول ۱- روابط آبدهی با دوره بازگشت‌های مختلف در زیر حوضه‌های همگن گروه یک (سطح معنی‌داری کمتر از یک درصد)

$$Q_2 = 0.02832P_{a_2} + 0.02148A - 0.17973L_b + 0.23802S_r - 0.10658S_b - 15.23283, \quad (1)$$

$$R = 0.935, \quad Sig = 0.001$$

$$Q_5 = 0.02588P_{a_5} + 0.03151A - 0.30901L_b + 0.29535S_r - 0.16063S_b - 15.72185, \quad (2)$$

$$R = 0.954, \quad Sig = 0.000$$

$$Q_{10} = +0.02388P_{a_{10}} + 0.03656A - 0.37085L_b + 0.29755S_r - 0.16391S_b - 15.3583, \quad (3)$$

$$R = 0.963, \quad Sig = 0.000$$

$$Q_{20} = 0.02205P_{a_{20}} + 0.04037A - 0.41537L_b + 0.28414S_r - 0.15346S_b - 14.80191, \quad (4)$$

$$R = 0.969, \quad Sig = 0.000$$

$$Q_{25} = 0.0215P_{a_{25}} + 0.04139A - 0.42694L_b + 0.27772S_r - 0.14831S_b - 14.60606, \quad (5)$$

$$R = 0.971, \quad Sig = 0.000$$

$$Q_{30} = 0.01992P_{a_{30}} + 0.04412A - 0.4651L_b + 0.25434S_r - 0.12927S_b - 13.98567, \quad (6)$$

$$R = 0.975, \quad Sig = 0.000$$

$$Q_{100} = 0.01651P_{a_{100}} + 0.04536A - 0.46585L_b + 0.16746S_r - 0.07486S_b - 11.63022, \quad (7)$$

$$R = 0.977, \quad Sig = 0.000$$

جدول ۲- روابط آبدهی با دوره بازگشت‌های مختلف در زیرحوضه‌های همگن گروه دو (سطح معنی‌داری کمتر از یک درصد)

$$Q_2 = 0.0007A + 0.00628P_{a_2} - 2.14654D_d + 0.34413S_r - 0.23296S_b - 0.656, \quad (8)$$

$$R = 0.676, \quad Sig = 0.001$$

$$Q_5 = 0.00129A + 0.00555P_{a_5} - 3.63085D_d + 0.38306S_r - 0.24919S_b - 0.15754, \quad (9)$$

$$R = 0.75, \quad Sig = 0.001$$

$$Q_{10} = 0.00171A + 0.00473P_{a_{10}} - 4.63315D_d + 0.37425S_r - 0.23671S_b - 0.44202, \quad (10)$$

$$R = 0.78, \quad Sig = 0.000$$

$$Q_{20} = 0.00212A + 0.00393P_{a_{20}} - 5.57435D_d + 0.35071S_r - 0.21732S_b + 1.12085, \quad (11)$$

$$R = 0.811, \quad Sig = 0.000$$

$$Q_{25} = 0.00225A + 0.0037P_{a_{25}} - 5.86771D_d + 0.34131S_r - 0.21061S_b + 1.34676, \quad (12)$$

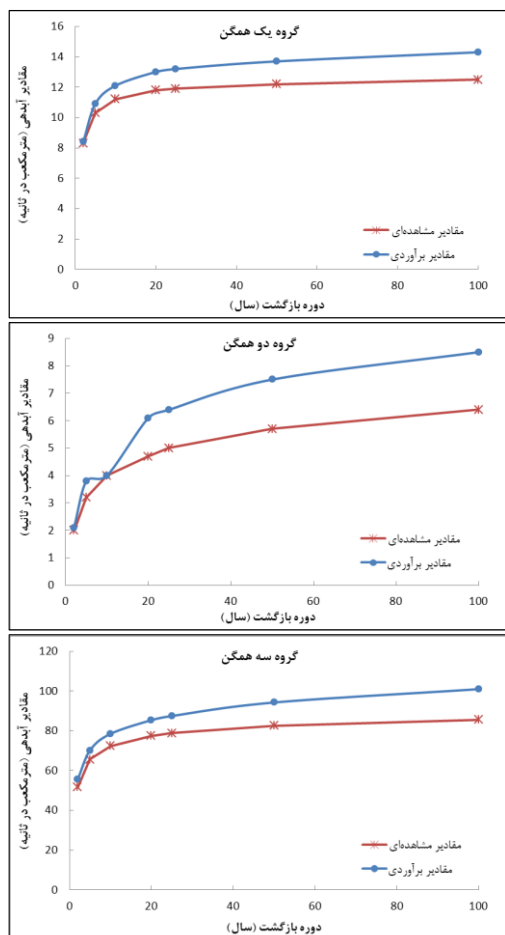
$$R = 0.819, \quad Sig = 0.000$$

$$Q_{50} = 0.00264A + 0.00305P_{a_{50}} - 6.75503D_d + 0.30821S_r - 0.18948S_b + 2.05489, \quad (13)$$

$$R = 0.837, \quad Sig = 0.000$$

$$Q_{100} = 0.00301A + 0.00177P_{a_{100}} - 7.54214D_d + 0.24263S_r - 0.14822S_b + 3.2111, \quad (14)$$

$$R = 0.848, \quad Sig = 0.000$$



شکل ۵- نمودار مقادیر آبدهی مشاهداتی (Q<sub>obs</sub>) در مقابل مقادیر برآوردی (Q<sub>est</sub>) با دوره بازگشت‌های مختلف برای سه حوزه آبخیز شاهد

که در آن‌ها،  $Q_t$  دبی جریان متوسط سالانه با دوره بازگشت  $t$  ساله (مترمکعب بر ثانیه)،  $P_{a_t}$  بارندگی سالانه با دوره بازگشت  $t$  (میلی‌متر)،  $A$  مساحت حوضه (کیلومترمربع)،  $S_b$  شیب حوضه (درصد)،  $S_r$  شیب رودخانه اصلی (درصد)،  $L_b$  طول حوضه و  $D_d$  تراکم زهکشی می‌باشد.

ارزیابی دقت و کارایی روابط آبدهی: شکل ۵ نمودار مقایسه‌ای مقادیر آبدهی مشاهداتی و برآوردی روابط استخراجی با دوره بازگشت‌های مختلف را برای سه حوزه آبخیز نمونه انتخابی یعنی قهرود-حسین‌آباد، مزلقان-رازین و زاینده‌رود-پل زمانخان به ترتیب با مساحت‌های ۴۴۰/۶، ۱۷۷۹/۱ و ۴۶۹۵/۱ کیلومترمربع در هر یک از گروه‌های همگن نشان می‌دهد.

میزان خطای برآوردی روابط نیز برای هر یک از سه گروه همگن به تفکیک در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس نتایج این جدول، خطای برآورد در حوضه قم قهرود-حسین‌آباد بین ۱/۲ تا ۱۴/۴ درصد است که نسبت به دو حوضه دیگر از خطای کمتری برخوردار است. برای حوضه مرکزی، مزلقان-رازین، خطای برآورد برای دبی‌های با دوره برگشت‌های مختلف بین ۵ تا ۳۲/۸ درصد است که نسبت به دو حوضه دیگر، از محدوده خطای بیشتری برخوردار است.

و تفاوت شرایط هیدرولوژیکی و نیز تا حدودی مورفومتریکی آن‌ها است.

نتایج مربوط به تحلیل روابط آبدهی نشان داد که عوامل مهم و موثر در ایجاد رواناب سطحی رودخانه‌ها در حوزه‌های آبخیز گروه یک همگن، مساحت، شیب حوضه و طول، شیب رودخانه اصلی به همراه بارندگی با دوره بازگشت متناظر می‌باشند. همچنین، در حوزه‌های آبخیز همگن گروه دوم و سوم نیز علاوه بر این عوامل (به جز طول حوضه) عامل تراکم زهکشی و پارامتر ضریب گراویلیوس از اهمیت خاصی برخوردارند. همچنان‌که سایر پژوهشگران (از جمله Porhemmat و همکاران، ۲۰۱۱ و Ghiasi و همکاران، ۲۰۱۱) در این خصوص به نتایجی مشابه آن دست یافته‌اند. از آنجا که تحلیل جریان سطحی رودخانه‌ها با توجه به اهداف کار در برنامه‌ریزی منابع آبی برای فعالیت‌های مختلف کشاورزی، صنعتی، زیست‌محیطی نقش مهمی را ایفاء می‌کند، بررسی و تحلیل آبدهی متوسط در مقیاس‌های زمانی مورد نظر به‌ویژه برآورد آن در مناطق فاقد آمار با استفاده از روابط منطقه‌ای با دقت لازم، کارایی و اهمیت خاص خود را در تخمین و آگاهی از پتانسیل منابع آب (سطحی) منطقه دارد.

پژوهش حاضر نشان داد که به‌کارگیری روش‌های آماری و رگرسیونی چندمتغیره ابزاری مناسب و کارآمد در این راستا می‌باشد، کما اینکه در تازه‌ترین پژوهش‌های مرتبط از جمله Dai و همکاران (۲۰۱۳) نیز این موضوع مورد توجه قرار گرفته است. ضمن آن‌که استفاده از سایر روش‌ها به‌منظور تحلیل آبدهی سالانه از جمله روش‌هایی نظیر هیبرید و شبکه عصبی مصنوعی نیز برای پژوهش‌های بعدی مورد پیشنهاد است.

### تشکر و قدردانی

بدین وسیله از کلیه همکاران به‌ویژه آقای دکتر محمدحسین مهدیان برای هم‌فکری در موضوعات پیرامون این پژوهش و نیز از مسئولین پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور به‌سبب در اختیار گذاشتن امکانات پژوهش، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

برای حوضه اصفهان، زاینده‌رود-پل زمانخان، خطای برآوردی بین ۶/۸ تا ۱۸ درصد محاسبه شده است. از طرفی براساس مقادیر جدول ۳، به‌طور کلی با افزایش دوره بازگشت در هر سه گروه میزان خطای برآوردی نیز افزایشی است.

جدول ۳- میزان خطای برآوردی روابط استخراجی سه گروه همگن برای سه حوضه شاهد

گروه یک	گروه دو	گروه سه		
قم	مرکزی	اصفهان	دوره بازگشت (سال)	
قهرود-	مزلقان-	زاینده‌رود-پل		
حسین‌آباد	رازین	زمانخان		
۱/۲	۵/۰	۷/۶	۲	
۵/۸	۱۸/۸	۶/۸	۵	
۸/۰	۰/۰	۸/۴	۱۰	
۱۰/۲	۲۹/۸	۱۰/۲	۲۰	
۱۰/۹	۲۸/۰	۱۰/۹	۲۵	
۱۲/۳	۳۱/۶	۱۴/۲	۵۰	
۱۴/۴	۳۲/۸	۱۸/۰	۱۰۰	

در منطقه مورد پژوهش، تعداد ۶۷ ایستگاه آبسنجی و ۲۷۵ ایستگاه هواشناسی دارای آمار کامل و یا با بازسازی نواقص آماری شناسایی و مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اطلاعات ایستگاه‌های آبسنجی و هواشناسی موجود در منطقه و مشارکت حداکثری ایستگاه‌های آبسنجی، طول دوره آماری ۲۰ ساله در نظر گرفته شد. تعیین گروه‌های همگن بر مبنای روش خوشه‌بندی زنجیره‌ای، نشان از وجود سه ناحیه همگن مجزا داشت به‌گونه‌ای که هر یک به‌ترتیب مشتمل بر ۴۸ زیرحوضه، ۱۱۱ زیرحوضه و ۲۶ زیرحوضه همگن بودند.

نتایج صحت همگن‌بندی حوضه‌ها نیز به‌روش Discriminate، تفکیک کامل و ۱۰۰ درصدی گروه‌های به‌دست آمده را با دقت بالا نشان داد. در واقع وجود سه گروه همگن هیدرولوژیکی برای حوزه‌های آبخیز در منطقه مورد پژوهش، گویای تنوع



## منابع مورد استفاده

1. Abbasi, A. and J. Porhemmat. 2009. Investigating and determining equations for annual runoff estimation in province and surrounding areas (region 5). Final Report of Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran, 63 pages (in Persian).
2. Bakshi, S., K.K. Bhar. 2012. Estimation of discharge in rivers using ANN modeled rating curves. Journal of the Institution of Engineers (India): Series A, 93(3): 181-186.
3. Cunderlik, J.M. and D.H. Burn. 2002. Analysis of the linkage between rain and flood regime and its application to regional flood frequency estimation. Journal of Hydrology, 261(1-4): 115-131.
4. Dai, C., X. Liu, J. Wang and C. Yu. 2013. Analysis of runoff characteristics of the Xiaoyangqi River in Northeast China. ISCORD, 495-503.
5. Dsa, G.H. 2000. Hydrology and soil conservation engineering. Printed Hall of India, New Delhi, 490 pages.
6. Eslami, A.R. and A.R. Telvari. 2005. Effect of homogeneity of the basins on precision flood estimation methods. Journal of Water and Watershed, 1(3): 39-48 (in Persian).
7. Eslami, A.R. and B. Saghafian. 2008. The role of watershed morphometric and climatic factors in producing of flood flows. Journal of Pajouhesh-va-Sazandegi in Natural Resources, 21(1): 149-157 (in Persian).
8. Farajzadeh, M. Climate change effects on river discharge-case study Sheshpir River. 2013. Geography and Environmental Planning Journal, 49(1): 17-32 (in Persian).
9. Ghiasi, N., J. Porhemmat and A.R. Telvari. 2011. Investigating and determining equations for annual runoff estimation in Caspian Region (region 8). Final Report of Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran, 42 pages (in Persian).
10. Ghermezcheshmeh, B. and J. Porhemmat. 2012. Investigating and determining equations for annual runoff estimation in region 1. Final Report of Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran, 68 pages (in Persian).
11. Keskin, M. and D. Taylan. 2009. Artificial models for inter basin flow prediction in Southern Turkey. Journal of Hydrologic Engineering, 14(7): 752-758.
12. Massah Bavani, A.R. and S. Morid. 2006. Impact of climate change on the water resources of Zayandeh Rud Basin. JWSS-Isfahan University of Technology, 9(4): 17-28 (in Persian).
13. Mahdian, M.H., M. Hydarizadeh and N. Ghiasi. 2011. Investigating and determining equations for annual runoff estimation in provinces of Isfahan, Markazi, Qom, Tehran, Hamadan and Qazvin (Region 3). Final Report of Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran, 56 pages (in Persian).
14. Mirabbasi Najafabadi, R. and R. Dinpajoh. 2010. Trend analysis of stream flow across the North West of Iran in recent three decades. Journal of Water and Soil, 24(4): 757-768 (in Persian).
15. Mosely, M.P. 1981. Delimitation of New Zeland hydrological regions. Journal of Hydrology, 49: 173-192.
16. Muhara, G. 2001. Selection of flood frequency model in Tanzania, using l-moments and the region of influence approach. 2nd WARFSA/WaterNet Symposium: Integrated Water Resources Management: Theory, Practice, Cases, Cape Town.
17. Porhemmat, J., R. Kazemi and B. Ghermezcheshmeh. 2011. Regional analysis of water yield and runoff coefficient in Karkheh Basin. Final Report of Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran, 130 pages (in Persian).
18. Rezaee, A. 2008. Investigating and determining equations for annual runoff estimation in sub-catchments of Sefidrud Dam (Region 2). Final Report of Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran, 55 pages (in Persian).
19. Ren, L., X. Xiang and J. Ni. 2013. Forecast modeling of monthly runoff with adaptive neural fuzzy inference system and wavelet analysis. Journal of Hydrologic Engineering, 18(9): 1133-1139.
20. Samiee, M., B. Saghafian and M.M. Saruji. 2005. Regional analysis of low flows in the catchment basins of Tehran. Journal of Pajouhesh-va-Sazandegi in Natural Resources, 58(1): 51-63 (in Persian).
21. Subramanaya, K. 2000. Engineering hydrology. McGraw-Hill, New Delhi, 394 pages.
22. Zhang, Q., V.P. Singh, S. Peng, X. Chen, Z. Zhang and J. Li. 2011. Precipitation and stream flow changes in China: changing patterns, causes and implications. Journal of Hydrology, 410: 204-216.
23. Wiltshires, S.E. 1985. Identification of homogeneous regions for flood frequency analysis. Journal of Hydrology, 84: 287-302.

## Regional analysis of river discharge in Markazi Basin of Iran

Alireza Eslami<sup>\*1</sup>, Jahangir Porhemmat<sup>2</sup> and Nadergholi Ebrahimi<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran and

<sup>2</sup> Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Received: 30 October 2013      Accepted: 13 January 2014

### Abstract

Quantitative analysis of runoff and estimates of stream flow in gauged basins and its transferring to ungauged sites has special importance for water resources planning, watershed and agricultural lands management, as the layout and optimal design of diversion structures and flow control need runoff information with different probability levels. In this research, runoff information of hydrometric stations which located in river catchments of Isfahan, Markazi, Qom, Tehran, Hamadan and Qazvin provinces was collected and investigated. In this regard, such stations which included data with the appropriate quality and quantity were selected in a common period of time. In this case study, results of cluster analysis concluded three homogeneous regions of watershed based on independent variables. According to mean annual runoff probability analysis; the best statistical distribution was fitted and runoff values were determined with return periods of 2 to 100 year. Also, regional runoff models based on hydrological and morphometric parameters were extracted with different return periods for each homogeneous region. In each homogeneous region, evaluation of regression models obtained was carried out using a number of hydrometric stations control. In this case study, area, average slope, main river slope, length and gravilus coefficient of watershed were detected as the most influential parameters in estimation of runoff. Root Mean Square Error (RMSE) for models represented minimum values of 1.2, 5, 7.6 with two years return period and maximum values of 14.4, 32.8 and 18 with 100 years return period in the first, second and third homogeneous groups , respectively.

**Key words:** Homogeneous basins, Hydrological parameters, Hydrometric station, Morphometric, Regional analysis, Runoff Estimation

---

\* Corresponding author: [eslamiar72@gmail.com](mailto:eslamiar72@gmail.com)