نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۰، شماره ۴، ۱۳۹۷، صفحات ۶۴۵-۶۵۸

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 10, Issue 4, 2019, Pages 645-658
DOI: 10.22092/ijwmse.2018.117877

بررسی و تحلیل عوامل موثر بر جریان پایه در اقالیم مختلف ایران

رحیم کاظمی*[۱] و فرود شریفی[۲]

[۱] استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و [۲] دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۲۵

چکیده

برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه منابع آب حوزه‌های آبخیز نیاز به داده‌های مختلفی از جمله، جریان پایه و شاخص آن دارد. این پارامتر که متأثر از عوامل مورفومتری، زمین‌شناسی و هیدرواقلیمی است، همواره یکی از موضوعات مهم در هیدرولوژی بوده است. در این پژوهش ابتدا نقشه اقلیم نمای ایران با استفاده از داده‌های بارش و دما به روش دو مارتن تهیه شد. سپس، با استفاده از داده‌های جریان روزانه رودخانه، جریان پایه و شاخص آن، از روش فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتری پس از کنترل سری زمانی و آماده‌سازی اطلاعات در حوضه‌های انتخابی شش منطقه اقلیمی خشک، نیمه‌خشک، مرطوب، نیمه‌مرطوب، بسیار مرطوب و مدیترانه‌ای استخراج شد. پارامترهای هیدرولوژیکی و اقلیمی حوضه‌ها محاسبه و برآورد و عوامل فیزیوگرافی در محیط رقومی استخراج شد. تجزیه و تحلیل عاملی برای شناخت عوامل مستقل موثر بر جریان پایه با استفاده از ۱۴ پارامتر در هر منطقه اقلیمی به‌طور مجزا انجام شد. سپس عوامل موثر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که پارامترهای مورد استفاده بیش از ۸۰ درصد واریانس داده‌ها را توجیه می‌کنند. عوامل ذاتی مرتبط با نفوذ و نگهداشت آب در خاک، با وزن بیش از ۴۵ درصد در تمام اقلیم‌ها در مرتبه اول تأثیرگذاری قرار داشت. شاخص‌های منحنی تداوم جریان در مناطق اقلیمی، بسیار مرطوب، مرطوب، نیمه-مرطوب و نیمه‌خشک، به‌ترتیب با درصد وزنی ۴۵، ۵۳، ۵۲ و ۵۳ درصد و در مناطق مدیترانه‌ای و منطقه خشک پارامتر ظرفیت نگه‌داشت به‌ترتیب با درصد وزنی ۴۹ و ۵۸ بیشترین تأثیرگذاری را بر جریان پایه را دارند. همچنین، نتایج نشان داد که وزن عوامل موثر بر جریان پایه، متناسب با نوع اقلیم تغییر می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل عاملی، تفکیک هیدروگراف، روش دو مارتن، فیلتر رقومی، مناطق اقلیمی

مقدمه

آگاهی از عوامل موثر بر جریان پایه در اقالیم مختلف ایران و اطلاع از وضعیت توزیع مکانی جریان‌پایه در سطح حوزه‌های آبخیز کشور، نقش مهمی در برنامه‌ریزی و اولویت‌بندی منابع آب دارد. با توجه به محدودیت داده‌های اندازه‌گیری شده، تعمیم داده‌ها به حوضه‌های فاقد آمار نیازمند پژوهش و بررسی جامع در خصوص ارتباط ویژگی‌های ثابت و پایدار حوضه‌ها با داده‌های جریان برای تعمیم روابط به حوضه‌های فاقد آمار را دارد (Smakhtin، ۲۰۰۱).

جریان پایه حسب تعریف عبارت است از بخشی از جریان رودخانه که از منابع آب زیرزمینی و زیرسطحی تأخیری مانند مخازن ساحلی رودها، دریاچه‌ها، تالاب‌ها و ذوب برف و یخ، سرچشمه می‌گیرد. یکی از

* مسئول مکاتبات: ra_hkazemi@yahoo.com

مهمترین مشخصه‌های هیدروژئولوژیکی که در پژوهش‌های مختلف بر آن تأکید شده، شاخص جریان‌پایه[1] (BFI) است. شاخص جریان پایه، یک نسبت بدون بعد است که از نسبت دبی پایه به کل رواناب برای هر مقطع زمانی یا کل دوره آماری به‌دست می‌آید. مشخصه‌های هیدرولوژیکی حوضه‌ها مانند جریان پایه، یا سایر مؤلفه‌های جریان به‌وسیله پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی و فیزیکی مختلف، قابل برآورد است (Nathan و Mahon، ۱۹۹۰). مشخصه‌های هیدروکلیماتولوژیکی عمدتاً شامل بارش، دما، تبخیر و تعرق است و عوامل فیزیکی شامل پارامترهای فیزیوگرافی و ثابت حوضه بوده و ممکن است پارامترهای زمین‌شناسی و خاک‌شناسی از دیدگاه هیدروژئولوژی نیز مورد استفاده قرار گیرد. در این میان این شاخص، بیانگر اطلاعاتی در خصوص مشارکت آب‌های زیرزمینی در آب‌های سطحی است که ممکن است تحت تأثیر زمین‌شناسی حوضه قرار داشته باشد (Nathan و Mc Mahon، ۱۹۹۲). اطلاع از رژیم جریان پایه برای مقاصد متعددی مانند مدیریت منابع آب، حفاظت بوم‌سازگان‌های آبی، تولید انرژی، حمل و نقل و پیش‌بینی جریان‌های کمینه اهمیت دارد (Brauman و همکاران، ۲۰۰۷؛ Cyr و همکاران، ۲۰۱۱). چنین اطلاعاتی در خصوص حوضه‌های فاقد آمار در دسترس نیست، بنابراین فرایند تحلیل منطقه‌ای برای انتقال روابط پارامترهای حوضه‌های دارای آمار به حوضه‌های فاقد آمار مورد نیاز است (Blöschl و همکاران، ۲۰۱۳). Mazvimavi و همکاران (۲۰۰۵)، Brandes و همکاران (۲۰۰۵)، Longobardi و Villani (۲۰۰۸)، Santhi و همکاران (۲۰۰۸)، Peña-Arancibiaو همکاران (۲۰۱۰)، Krakauer و Temimi (۲۰۱۱)، Ahiablame و همکاران (۲۰۱۳) و Beck و همکاران (۲۰۱۳) پژوهش‌های متعددی مبتنی بر تحلیل منطقه‌ای برای ایجاد مدل‌های برآورد جریان پایه با استفاده از مشخصه‌های، هیدرولوژیکی، کلیماتولوژی و فیزیوگرافی حوزه‌های آبخیز انجام داده‌اند. پارامترهای بارش، زمین‌شناسی و خاک، عموما در تمام این پژوهش‌ها به‌عنوان مشخصه‌های مهم تأثیرگذار مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین، اهمیت مولفه‌های توپوگرافی، اقلیم و پوشش نیز به‌عنوان عوامل تأثیرگذار و مفید در پاره‌ای از موارد به اثبات رسیده است. به‌طور مشخص، روابط پارامترهای زمین‌شناسی سطحی، به‌وسیله Bloomfield و همکاران (۲۰۰۹) مورد پژوهش قرار گرفته، روابط رگرسیونی مربوطه ارائه شده است. تأثیر ساختمان زمین‌شناسی و تکتونیک به‌وسیله Delinom و همکاران (۲۰۰۹) و نقش مرز بین واحدهای زمین‌شناسی به‌عنوان زون‌های مهم برهم‌کنش آب‌های سطحی و زیرزمینی بر روی جریان پایه به‌وسیله پژوهش‌های Arnott و همکاران (۲۰۰۹) به اثبات رسیده است. سازندهای سخت کربناته به‌عنوان یک پارامتر پیش‌بینی کننده موثر جریان پایه در حوضه‌های جنگلی شمال کشور ایران به‌وسیله Kazemi و Eslami (۲۰۱۳) معرفی شد. تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم توپوگرافی بر روی جریان پایه به‌وسیله Tetzlaff و همکاران (۲۰۰۹) بررسی و گزارش شده است و موارد استثناء مانند وجود پدیده کارست که تاثیرات و روابط مشخص توپوگرافی را مختل می‌کند نیز به‌وسیله Price و همکاران (۲۰۱۱) به اثبات رسیده است. اهمیت و نقش توپوگرافی زیرسطحی و مشخصه‌های خاک، از جمله رطوبت، بافت و نفوذ‌پذیری بر جریان پایه و نقش آن به‌عنوان پیش‌بینی کننده رطوبت و جریان‌های زیرقشری در نتایج پژوهش‌های منتشر شده به‌وسیله Chaplot و همکاران (۲۰۰۳) به اثبات رسیده است. تأثیر ترکیبی توپوگرافی و خاک بر جریان پایه و نقش تغییرات مکانی رطوبت خاک در طی شرایط غیر اشباع بین وقایع بارش، بر جریان پایه در نتایج منتشر شده به‌وسیله Kim و همکاران (۲۰۰۵) مورد تأکید قرار گرفته است. پژوهش‌های متعددی نیز در خصوص تأثیر کاربری‌های ناشی از دخالت انسانی بر جریان پایه شامل تأثیر تغییرات کاربری اراضی و شهرسازی بر روی پاسخ هیدرولوژیک حوضه به انجام رسیده که از جمله می‌توان به نتایج پژوهش Woltemade و همکاران (۲۰۱۰) و Kazemi و Eslami (۲۰۱۳) اشاره کرد. پژوهش‌های بسیاری نیز برای بررسی تأثیر اقلیم بر روی جریان پایه طراحی و اجرا شده است. تفسیر

[1] Base Flow Index

بسیار مهمی را Juckem و همکاران (۲۰۰۸) در نتیجه تحلیل تجربی تغییرات جریان پایه در حوضه رودخانه کیکاپو در ایالت ویسکانسن ارائه دادند و نتیجه گرفتند که تغییر اقلیم به‌طور غالب بر روی جریان پایه تأثیر دارد، ولی تغییر کاربری میزان بزرگی این تأثیر را تشدید می‌کند. علاوه بر این، تغییر اقلیم ممکن است با تغییر در شدت بارش همراه باشد که تأثیر هیدرولوژیک آن می‌تواند به‌وسیله تغییر اقلیم در شکل متراکم شدن خاک و افزایش سطح غیر قابل نفوذ تشدید شود.

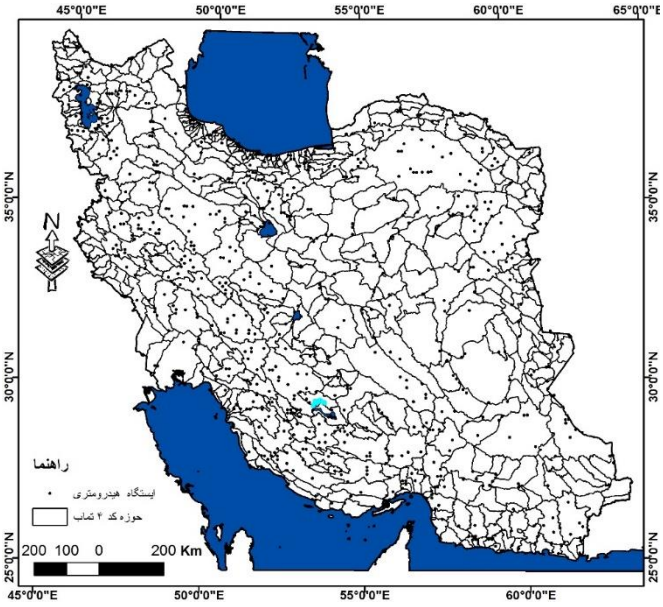
روش‌های متعددی برای جداسازی جریان پایه از جریان رودخانه توسعه یافته است که عمدتا در سه گروه روش‌های گرافیکی، فیلترینگ و روش‌های مبتنی بر ردیاب‌های شیمیایی قابل طبقه‌بندی است (Brodie و Hostetle، ۲۰۰۵). جداسازی جریان پایه به روش گرافیکی اغلب زمان بر و غیردقیق است و نتایج به‌دست آمده به‌وسیله متخصصین مختلف یکسان نیست. روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها دقیق و قابل اعتماد است ولی زمان‌بر و مستلزم صرف وقت و هزینه زیادی می‌باشد. روش‌های مبتنی بر الگوریتم‌های رقومی و فیلترینگ، علاوه بر سهولت و قابلیت تشخیص مناسب در تعیین دبی پایه، حساسیت بالایی نسبت به پارامترها دارد. همچنین، به‌دلیل قابلیت خودکار کردن، مشکلات ناشی از عدم هم‌خوانی نتایج تا حدودی برطرف شده است. به‌دلیل پیچیدگی و نامشخص بودن میزان واقعی مشارکت دبی پایه در رواناب و همچنین، هزینه بر بودن روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها، محققین بسیاری نسبت به ارزیابی و مقایسه روش‌های مختلف تفکیک هیدروگراف جریان اقدام نموده‌اند و الگوریتم‌های رقومی مختلفی را پیشنهاد داده‌اند. در این پژوهش از روش فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتری برای استخراج شاخص جریان پایه استفاده شده است. این روش به‌وسیله محققین مختلفی از جمله Neff و همکاران (۲۰۰۵)، Ghanbarpor و همکاران (۲۰۰۸)، Welderufael و همکاران (۲۰۱۰) و Teimouri و همکاران (۲۰۱۱) توصیه شده است.

با بررسی‌های به‌عمل آمده تا کنون، مطالعات جامعی در خصوص بررسی و تحلیل عوامل موثر بر جریان پایه در اقالیم مختلف درکشور ایران مشاهده نشده است. با توجه به این‌که حسب نتایج مطالعات Stuckey (۲۰۰۶) و Delin (۲۰۰۷) جریان پایه به‌علت تأثیرات عوامل مختلف مانند اقلیم، بارش، کاربری اراضی، خاک، پوشش، توپوگرافی و زمین‌شناسی از نظر زمانی و مکانی متغیر است. پژوهش در خصوص شناخت عوامل موثر بر جریان پایه در اقلیم‌های مختلف، موجب دستیابی به اطلاعاتی برای برآورد منطقه‌ای جریان پایه و استفاده در مدیریت منابع‌آب حوضه خواهد شد. هدف از این پژوهش، بررسی و مقایسه عوامل مختلف موثر بر جریان پایه در اقالیم مختلف کشور است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: منطقه مورد بررسی در گستره کشور ایران و در شش منطقه اقلیمی (شکل۱) شامل ۷۴ حوضه واقع در اقلیم خشک در مرکز کشور و محدوده استان کرمان، ۴۷ حوضه واقع در اقلیم نیمه‌خشک محدوده استان فارس، تعداد ۵۶ حوضه واقع اقلیم مدیترانه‌ای در محدوده استان کرمانشاه، چهار محال بختیاری، آذربایجان شرقی و غربی، تعداد ۴۵ حوضه واقع در اقلیم مرطوب در استان مازندران، تعداد ۳۸ حوضه واقع در اقلیم نیمه‌مرطوب واقع در استان لرستان، چهار محال بختیاری و کرمانشاه و تعداد ۵۴ حوضه واقع در اقلیم بسیار مرطوب استان گیلان قرار دارد. کد ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

روش پژوهش: ابتدا با استفاده از داده‌های بارش و دمای کل کشور نقشه مناطق اقلیمی کشور به روش دومارتن تهیه شد. سپس، با بررسی داده‌های دبی روزانه ایستگاه‌های آب‌سنجی در هر منطقه اقلیمی، تعداد دست‌کم ۳۰ ایستگاه با آمار مناسب و دوره مشترک آماری سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۵۵ در در هر منطقه اقلیمی انتخاب شد. با استفاده از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و تعیین موقعیت ایستگاه‌ها، محدوده مورد پژوهش مشخص و ۱۴ پارامتر موثر بر جریان پایه شامل، ارتفاع متوسط حوضه، مساحت حوضه، متوسط شیب حوضه برحسب درصد و طول رودخانه اصلی محاسبه شد.



شکل ۱- منطقه مورد پژوهش

جدول ۱- کد ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد پژوهش

اقلیم	کد ایستگاه آب‌سنجی
بسیار مرطوب	-۱۴۱۴۱-۱۲۱۲-۱۲۱۳-۱۲۱۴-۱۲۱۵-۱۲۱۶-۱۲۱۷-۱۲۱۸-۱۲۱۹-۱۲۲۲-۱۲۲۳-۱۲۲۴-۱۲۲۵-۱۲۶-۱۲۲۷ -۱۴۲۵۴-۱۴۲۶-۱۲۲۸-۱۲۲۹-۱۳۱۱۱-۱۳۱۱۲-۱۳۱۲۱-۱۳۱۲۲-۱۳۱۳۱-۱۳۱۳۲-۱۴۱۱-۱۴۱۲-۱۴۱۳-۱۴۱۴ -۱۴۳۱۴-۱۵۲۲۳-۱۵۲۳۲-۱۵۲۳۳-۱۴۱۵۱-۱۴۱۵۲-۱۴۱۵۳-۱۴۱۶۲-۱۴۲۱-۱۴۲۲-۱۴۲۴-۱۴۲۵۱-۱۴۲۵۲-۱۴۲۵۳ ۱۵۱۵-۱۵۳۳-۱۵۳۴-۱۵۳۵-۱۴۲۷۱-۱۴۲۷۲-۱۴۲۸۲-۱۴۲۸۳-۱۴۲۹۲-۱۴۳۱۲-۱۴۳۱۳
مرطوب	-۲۳۲۳۳۱-۱۴۳۸-۱۵۱۱-۱۵۱۲-۱۵۲۱-۱۵۲۴-۱۵۳۱-۱۵۳۲-۱۵۴۱-۲۱۱۱-۲۱۱۳-۲۱۱۴-۲۲۲۲-۱۴۲۸۴ -۲۳۳۳۱۱-۲۳۳۳۱۲-۱۵۲۲۲-۱۵۲۳۱-۱۵۴۲۲-۱۵۴۲۳-۲۳۳۲۱-۲۳۳۲۲-۲۶۲۲۱-۳۰۲۱۴-۲۲۳۴۳۲-۲۳۲۳۲۱ -۴۱۵۳۴۴-۴۱۵۳۴۵-۲۳۳۳۲۳۳-۲۳۲۳۳۲-۲۳۲۳۳۳-۲۳۲۳۳۴-۲۳۲۴۴۱۳-۲۳۲۴۵۲-۲۳۲۴۵۳-۲۳۲۴۶۱-۲۳۲۴۷۱ -۲۳۳۳۲۳۴-۲۳۳۳۱۳-۲۳۳۳۱۴-۲۳۳۳۱۵-۲۳۳۳۳۲-۲۳۳۳۳۳-۲۳۳۳۳۴-۴۱۵۳۴۳
نیمه‌مرطوب	-۲۳۳۳۲۲۱-۱۴۲۹۵-۱۴۲۹۶-۱۴۳۲۲-۱۵۴۲۱-۲۱۲۱۱-۲۲۲۳-۲۲۲۷-۲۲۳۴۲۲-۲۲۳۴۲۳-۲۲۳۴۳۱-۲۲۳۴۳۳ -۲۴۲۶۵-۲۴۲۶۶-۴۱۵۲۳-۲۲۳۵۳۱-۲۲۳۵۳۲-۲۳۲۳۱-۲۳۲۳۲۲-۲۳۲۴۴۱-۲۳۲۴۵۱-۲۳۳۳۱۶-۲۳۳۳۱۷-۲۳۳۳۲۱ -۲۳۳۳۲۲۲-۲۳۳۳۲۳۱-۲۳۳۳۲۳۲-۲۳۳۳۳۱-۲۴۲۶۳-۲۴۲۶۴
خشک	-۲۷۱۵۶-۲۷۱۵۵-۲۷۱۵۴-۴۶۶۶-۴۵۴۲-۴۶۵۱—۴۵۲۱-۴۵۱۴-۴۵۱۱-۴۴۴۴-۴۴۴۲-۴۴۴۱-۴۴۳۲-۴۶۹-۴۵۵ -۴۵۱۳۲-۴۵۱۳۱-۴۵۱۲۳-۴۵۱۲۲-۴۴۴۳۲-۴۴۴۳۳—۴۴۴۳۱-۴۴۲۴۳-۲۸۲۴۵-۲۸۲۴۴-۲۸۲۴۳-۲۸۲۴۲-۲۸۲۳۲ -۴۶۵۲۲-۴۶۴۱۳-۴۶۵۲۱-۴۶۴۲۱—۴۶۴۱۲-۴۶۴۱۱-۴۵۱۵۳-۴۵۱۴۵-۴۵۱۴۳-۴۵۱۴۲-۴۵۱۴۱-۴۵۱۳۴-۴۵۱۳۳ -۴۶۶۲۱-۴۶۶۱۷-۴۶۶۱۶-۴۶۶۱۵-۴۶۶۱۴-۴۶۶۱۳-۴۶۶۱۱-۴۶۶۱۲—۴۶۵۳۳-۴۶۵۳۱-۴۶۵۲۵-۴۶۵۲۴-۴۶۵۲۳ -۴۹۱۲۵۱-۴۴۲۴۲۱-۴۹۱۳۵-۴۹۱۳۴-۴۹۱۳۳-۴۹۱۳۲-۴۹۱۲۴-۴۹۱۲۳-۴۹۱۲۲-۴۶۷۷۱-۴۶۶۳۱-۴۶۶۳۳-۴۶۶۲۲ ۴۹۱۲۶۳-۴۹۱۲۶۲-۴۹۱۲۶۱-۴۹۱۲۵۲
نیمه‌خشک	-۲۶۱۳۵-۲۶۱۳۴-۲۵۲۳۷-۲۵۲۳۵-۲۵۲۳۴-۲۵۲۳۳-۲۵۲۲۵-۲۵۲۲۴-۲۴۲۶۲-۲۴۲۶۱-۴۳۲۴-۴۳۲۳-۴۳۲۲ -۴۳۲۱۳-۴۳۲۱۲-۴۳۲۱۱-۴۳۱۳۷-۲۶۱۷۶-۲۶۱۷۵-۲۶۱۷۴-۲۶۱۷۳-۲۶۱۷۲-۲۶۱۶۳-۲۶۱۶۲-۲۶۱۶۱-۲۶۱۳۶ -۴۳۱۳۲۶-۴۳۱۳۲۵-۴۳۱۳۲۴-۴۳۱۳۲۳-۴۳۱۳۲۱-۴۳۱۱۱۳-۲۶۱۷۱۲-۲۶۱۷۱۱-۲۶۱۶۶۱-۲۶۱۶۵۱-۴۳۲۱۴ -۴۴۲۴۲۲-۴۳۱۳۶۲-۴۳۱۳۶۱-۴۳۱۳۵۲-۴۳۱۳۵۱-۴۳۱۳۴۲-۴۳۱۳۴۱-۴۳۱۳۳۳-۴۳۱۳۳۲-۴۳۱۳۳۱ -۲۲۳۴۱-۲۲۳۴۴-۱۶۱-۱۱۲۱-۱۱۴۷-۱۱۶۵-۱۵۵۱-۱۶۲۱-۲۱۲۵-۲۱۳۱-۲۲۲۴-۲۲۲۵-۲۲۲۶-۴۲۱۹-۱۳۲۹۲ -۳۰۱۳۲-۳۰۲۱۳-۳۰۳۱۳-۳۰۴۱۳-۱۴۲۹۳-۱۴۲۹۴-۲۱۲۴۱-۲۱۲۴۲-۲۲۳۲۳-۲۲۳۲۴-۲۲۳۲۵-۲۲۳۳۳-۲۲۳۳۵ -۲۲۳۴۲۱-۲۲۳۵۵۳-۲۳۲۳۲۳-۲۳۲۴۴۳-۲۳۲۴۷۳-۲۲۳۵۱-۲۲۳۵۲-۲۲۳۵۴-۲۳۲۲۲-۲۵۲۳۶-۲۶۱۷۷-۳۰۱۱۴ -۲۳۲۴۷۲۱-۲۳۲۴۷۲۲-۲۳۲۴۷۴۱-۴۱۲۲۴۴۱-۴۱۲۲۴۴۲-۴۱۲۲۴۴۳-۳۰۵۵۳-۳۰۵۶۱-۳۰۵۶۲-۳۰۵۶۳-۳۰۵۶۴ -۴۱۲۲۴۵۲-۴۱۵۳۳۳-۴۱۵۳۴۲-۴۲۱۸۲۴	مدیترانه‌ای

پارامترهای کلیماتولوژیکی و هیدرولوژیکی شامل متوسط بارش سالانه و تبخیر سالانه، ضریب افت هیدروگراف جریان، شماره منحنی، ضریب نفوذپذیری متوسط حوضه و ظرفیت نگه‌داشت، برای هر حوضه محاسبه شد. سپس، جریان پایه و شاخص آن با استفاده از داده‌های روزانه جریان و پس از کنترل سری زمانی و آماده‌سازی اطلاعات، با استفاده از نرم‌افزار Hydro Office (۲۰۱۲) به روش فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتری، استخراج شد. با ترسیم منحنی تداوم جریان برای هر ایسستگاه آب‌سنجی، درصدهای عدم تجاوز وقوع ۹۰، ۷۵ و ۹۵ محاسبه شد. سپس، تجزیه و تحلیل عاملی برای شناخت عوامل مستقل موثر بر جریان پایه در هر منطقه اقلیمی به‌طور مجزا انجام شد. سرانجام عوامل موثر طبقه‌بندی شده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

بررسی و آماده‌سازی اطلاعات: به‌منظور آماده‌سازی اطلاعات اقدام به اصلاح و بازسازی آمار دبی در منطقه پژوهش شد. برای شناسایی داده‌های پرت، از آزمون داده‌های پرت استفاده شد. آزمون مربوطه برای هر دو وضعیت داده‌های بالا و پایین، انجام شد که برای تعیین آستانه داده‌های پرت بالا از رابطه (۱) و برای تعیین آستانه داده‌های پرت پایین از رابطه (۲) استفاده شد.

$$Y_H = Y + K_n + S_y \quad (۱)$$

$$Y_L = Y + K_n + S_y \quad (۲)$$

که در آن، Y_H آستانه داده‌های پرت بالا به‌صورت لگاریتمی، Y_L آستانه داده‌های پرت پایین به‌صورت لگاریتمی، K_n ضریبی است که از جداول مربوطه به تعداد داده ها انتخاب می‌شود و S_y انحراف از معیار داده‌ها می‌باشد.

در سال‌هایی که داده‌های دبی ثبت نشده بود، با استفاده از ماتریس همبستگی و رابطه همبستگی با ایستگاه‌های دیگر، نواقص دبی کلیه ایستگاه‌ها تا ۲۵ سال آماری مشترک تکمیل شد.

تهیه نقشه اقلیم کشور: با توجه به این‌که سامانه طبقه‌بندی اقلیمی "دومارتن" برای مطالعات هیدرومتری طرح‌ریزی شده است (Alizade، ۲۰۰۲). لذا، در این پژوهش برای تعیین مناطق اقلیمی کشور به‌منظور بررسی جریان پایه از این روش استفاده شده است. بدین منظور، ابتدا لایه‌های رقومی خطوط هم‌باران و خطوط هم‌دما که بر اساس داده‌های دراز مدت منتهی به ۱۳۸۰ تهیه شده بود و نقاط ایستگاه-های هواشناسی از شرکت جاماب دریافت شد. با روش IDW[1] و با کمک نقاط ایستگاهی جدید میان‌یابی انجام و بر اساس رابط اقلیم نمای دومارتن رابطه (۳) لایه مربوطه تهیه و در شش منطقه اقلیمی بر اساس ضرائب دو مارتن جدول ۲ طبقه‌بندی شد.

$$I = P/(T+10) \quad (۳)$$

که در آن، I ضریب خشکی دومارتن، P بارندگی سالانه (میلی‌متر)، T درجه حرارت سالانه (سانتی‌گراد) می‌باشد.

جداسازی جریان آب پایه: جداسازی جریان پایه، طی فرایند تفکیک هیدروگراف جریان و با شناسایی نقطه شروع و خاتمه رواناب مستقیم قابل انجام است. نقطه شروع، نقطه‌ای است که جریان، روند صعودی پیدا می‌کند و نقطه خاتمه، زمانی است که لگاریتم شاخه نزولی در برابر زمان به خط راست تبدیل می‌شود. روش‌های مختلفی به‌منظور تفکیک هیدروگراف جریان توسعه یافته و در پژوهش‌های گذشته مورد استفاده قرار گرفته است. در این پژوهش، تفکیک هیدروگراف جریان و استخراج جریان پایه و محاسبه شاخص مربوطه با استفاده از الگوریتم فیلتر رقومی دو پارامتری و پس از بررسی و آماده‌سازی داده‌های روزانه جریان و به‌وسیله نرم‌افزار Hydro Office(۲۰۱۲) انجام شد. با استفاده از قابلیت نمایش گرافیکی نرم‌افزار و به‌کار بردن مقادیر مختلف پارامتر و کالیبراسیون آن، مقدار پارامتر بهینه مورد نیاز، تعیین و میزان آب‌پایه و شاخص مربوطه استخراج شد.

فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتری[2]: روش فیلتر رقومی برگشتی برای تحلیل و پردازش سیگنال‌های با فرکانس بالا از فرکانس پایین معرفی شده است، فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتری با الگوریتم زیر، اولین‌بار به‌وسیله Boughton (۱۹۹۳) و با رابطه (۴) معرفی شد.

[1] Inverse Distance Weighting
[2] Tow Parameter Recursive Digital Filter

$$q_{b(i)} = \frac{k}{1+C} q_{b(i-1)} + \frac{C}{1+C} q_{(i)}$$
$$q_{b(i)} \leq q_{(i)} \qquad (۴)$$

که در آن، K پارامتر فیلتر، قابل تعیین به‌وسیله ثابت افت منحنی هیدروگراف است. این پارامتر برابر است با شیب شاخه نزولی منحنی هیدروگراف که محدوده پارامترهای به‌دست آمده برای واسنجی در این پژوهش ۰/۹۶۱ تا ۰/۹۸۹ و متوسط آن ۰/۹۷۵ است. پارامتر C پارامتری است که با تغییر آن، شکل نمایش گرافیکی جداسازی تغییر می‌کند و قابلیت واسنجی مدل را تامین می‌کند. با استفاده از قابلیت نمایش گرافیکی نرم‌افزار و به‌کار بردن مقادیر مختلف پارامتر و واسنجی آن، مقدار متوسط پارامتر بهینه مورد نیاز C=0.5 انتخاب شده است. $q_{b(i-1)}$ جریان پایه فیلتر شده برای زمان قبل از i، $q_{(i)}$ جریان اصلی رودخانه برای زمان i و $q_{b(i)}$ جریان پایه فیلتر شده، برای زمان iام است.

واسنجی مدل و محاسبه پارامتر فیلتر: برای واسنجی مدل و به‌دست آوردن مقادیر صحیح پارامتر-های آن، با این فرض که داده‌های جریان مربوط به ماه‌های خشک سال (تیر و مرداد) به‌دلیل عدم وجود بارندگی، تقریباً برابر با جریان پایه است. ابتدا مدل‌ها در محدوده مورد نیاز هر روش با استفاده از داده‌های واقعی و اندازه‌گیری شده مربوط به ماه‌های تیر و مرداد هر ایستگاه اجرا شد. سپس با روش سعی و خطا و تغییر دادن پارامترها تا زمانی که هیدروگراف جریان پایه با هیدروگراف جریان کل ازنظر گرافیکی همسان شوند، اجرای مدل متوقف و پارامتر مربوطه به‌عنوان پارامتر بهینه برای سری زمانی کل داده‌ها اجرا و جریان پایه برای کل دوره مورد پژوهش، تفکیک شد.

جدول ۲- محدوده ضرایب طبقه‌بندی دو مارتن

I < 10	19.9 >I > 10	23.9 >I > 20	27.9 >I > 24	28 > I > 34.9	I > 35
خشک	نیمه خشک	مدیترانه‌ای	نیمه‌مرطوب	مرطوب	بسیار مرطوب

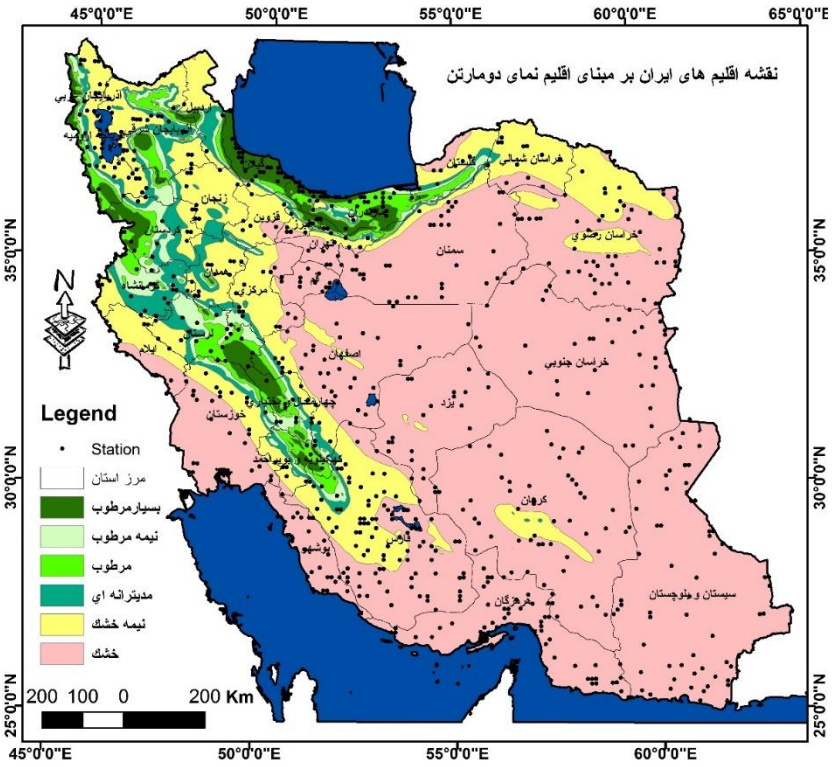
تجزیه و تحلیل عاملی برای شناخت عوامل مستقل موثر بر شاخص جریان پایه: در این پژوهش، روش تجزیه و تحلیل عاملی به روش PCA[1] با استفاده از نرم‌افزار SPSS برای ۱۴ متغیر فیزیوگرافی، هیدرولوژیکی و اقلیمی در حوضه‌های منتخب واقع در اقالیم مختلف به‌کار برده شد. متغیرهای مورد استفاده، شامل ویژگی‌های مختلف حوضه از جمله، شاخص جریان پایه، ثابت افت منحنی هیدروگراف، میزان نفوذپذیری، ظرفیت ذخیره سطحی، بارش، تبخیر، مساحت حوضه، ارتفاع متوسط حوضه، طول آبراهه اصلی، شیب متوسط حوضه، درصد عدم تجاوز وقوع ۹۰، ۹۵ و ۷۵ درصد و متوسط شماره منحنی حوضه است. محورهای عاملی با روش واریماکس[2] که روش مناسب و استاندارد برای ساده کردن ساختار عامل‌ها و به بیشینه رساندن رابطه همبستگی بین متغیرها می‌باشد، دوران یافت. سپس با استفاده از روش مدل رگرسیونی، ماتریس امتیازات عاملی استخراج شد. برای تعیین متغیرهایی که خروج آن‌ها از مدل تجزیه عاملی به روند بهتر شدن کیفیت تجزیه عاملی کمک می‌کند، از ماتریس همبستگی آنتی ایمیج[3] و آماره MSA[4] استفاده شد. عناصر روی قطر ماتریس همبستگی، مقادیر اندازه دقت نمونه‌گیری با نماد MSA نامیده می‌شود. این معیار که برای هر متغیر جداگانه تحلیل می‌شود، بیان می‌کند که آیا متغیر خاصی به‌منظور وارد شدن به مدل تجزیه عاملی صلاحیت دارد یا نه؟ مقادیر بزرگ MSAبرای تأیید ورود متغیر به مدل حرکت می-کنند. پس از انتخاب متغیرهای مهم، تجزیه عاملی بر اساس این متغیرها صورت گرفته، مهمترین پارامترها

[1] Principal Component Analysis
[2] Varimax Rotation
[3] Anti-image
[4] Measure of Sampling Adequacy

به‌عنوان عوامل مستقل مشخص و مورد تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج خروجی اجرای روش دومارتن برای طبقه‌بندی اقلیمی کشور، در شکل ۲ ارائه شده است. همان‌گونه که از نقشه قابل دریافت است، کشور به شش منطقه اقلیمی، مطابق با ضرائب دومارتن تقسیم شده است و توزیع منطقه‌ای و گستره هر نوع اقلیم در نقشه نشان داده شده است. از نظر میزان حوضه‌های واقع در هر منطقه اقلیمی، منطقه خشک با تقریبا ۵۸/۳۱ درصد، نیمه‌خشک با حدود ۲۳/۷۵ درصد، منطقه مدیترانه‌ای با حدود ۴/۹۳ درصد، منطقه بسیار مرطوب با ۵/۸۰ درصد، مرطوب با حدود ۳/۸۷ درصد و منطقه اقلیمی نیمه‌مرطوب با حدود ۳/۳۴ درصد، ازحوزه‌های آبخیز مرتبه چهار را تشکیل داده‌اند.



شکل ۲- نقشه اقلیم منطقه مورد پژوهش بر اساس روش دومارتن

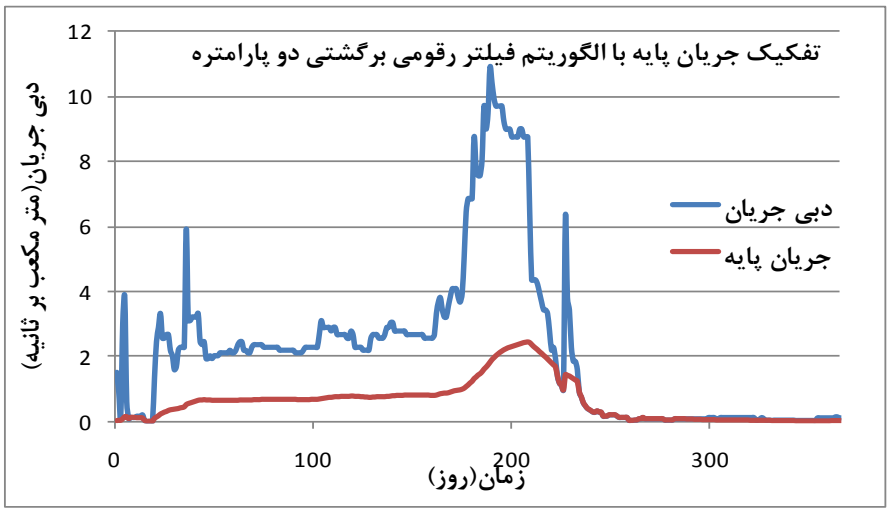
جریان‌پایه و شاخص مربوطه در ایستگاه‌های مورد نظر برای سال‌های آبی ۱۳۸۰-۱۳۵۵ به روش فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتری محاسبه شد. ضرایب فیلتر استفاده شده در محدوده مورد نیاز هر روش و با توجه به بهترین پاسخ داده شده به تغییرات ضرایب و با استفاده از قابلیت نمایش گرافیکی نرم‌افزار Hydro Office و مقایسه چشمی انتخاب و نتایج برای استفاده در تحلیل‌عاملی مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۳، نمونه‌ای از تفکیک هیدروگراف جریان و برآورد جریان پایه را در بخشی از دوره پژوهش در ایستگاه با کد ۲۱۱-۲۱ مربوط به اقلیم نیمه‌مرطوب را نشان می‌دهد.

توزیع شاخص جریان پایه در مناطق اقلیمی مختلف در شکل ۴ ارائه شده است. همان‌طور که از نمودار قابل دریافت است، کمینه شاخص جریان در کلیه مناطق اقلیمی در محدوده ۰/۳ تا ۰/۴ قرار دارد و میانگین و بیشینه شاخص جریان پایه در کلیه مناطق اقلیمی به استثناء منطقه مدیترانه‌ای، نیز در یک محدوده نزدیک به هم و در محدوده ۰/۵ تا ۰/۶ می‌باشد.

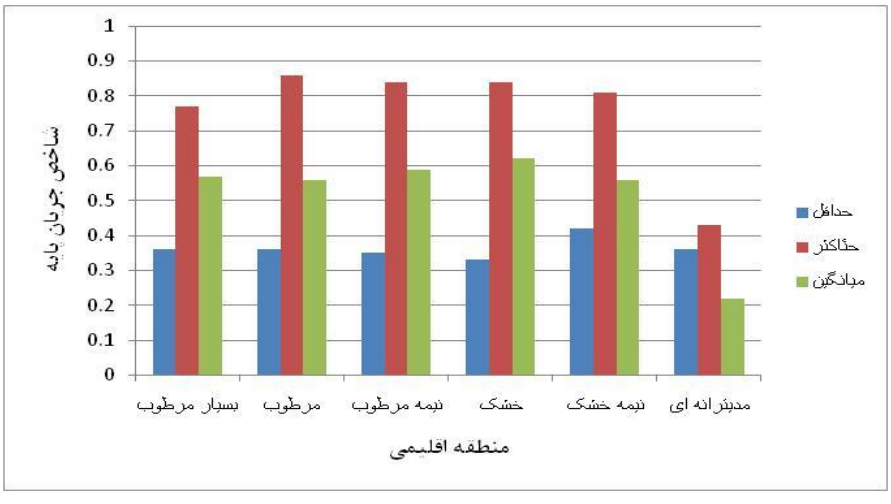
شاخص‌های منحنی تداوم جریان، پس از ترسیم منحنی تداوم جریان محاسبه شد. سایر مولفه‌های هیدروکلیماتولوژی و فیزیوگرافی محاسبه و برای تحلیل عاملی مورد استفاده قرار گرفت. تحلیل عاملی

با استفاده از ۱۴ پارامتر موثر بر جریان پایه به‌طور مجزا برای حوضه‌های منتخب در هر منطقه اقلیمی انجام و نتایج آن مورد تحلیل واقع شد. توزیع پارامتر-های موثر بر جریان پایه در دسته‌بندی عوامل تفکیک شده به‌وسیله فرایند تحلیل عاملی به‌صورت موردی در هر منطقه اقلیمی و به‌طور مقایسه‌ای بین مناطق مختلف به شرح ذیل، مورد تحلیل و نتیجه‌گیری قرار گرفت.

منطقه اقلیمی بسیار مرطوب: نتایج حاصل از تقاطع نقشه حوزه‌های آبخیز کشور و نقشه اقلیمی در محیط رقومی، نشان داد که منطقه اقلیمی "بسیار مرطوب"، در مناطق شمال و غرب کشور مستقر است و مناطقی از استان‌های گیلان، مازندران، کردستان، چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد را پوشش داده و تقریبا ۵/۸۰ درصد از حوزه‌های آبخیز کشور در این اقلیم واقع شده است. در این منطقه، به‌منظور تحلیل عاملی، تعداد ۵۴ حوضه با آمار مناسب و دوره مشترک مورد آزمون قرار گرفت. آزمون تحلیل عاملی نشان داد که کلیه متغیرها در قالب چهار عامل طبقه‌بندی می‌شوند که در مجموع در برگیرنده ۸۶/۸۳ درصد از واریانس داده‌ها هستند (جدول ۳). پارامترهای شماره منحنی، ضریب افت منحنی هیدروگراف، Q_{75}، Q_{90}، Q_{95}، تعداد روزهای بارانی، نفوذپذیری و ضریب نگه‌داشت حوضه در قالب عامل اول دسته‌بندی شدند که در این میان عوامل Q_{90} و Q_{95} در بالاترین مرتبه تأثیرگذاری قرار دارند و به تنهایی حدود ۴۵ درصد از تغییرپذیری داده‌ها را توضیح می‌دهند.

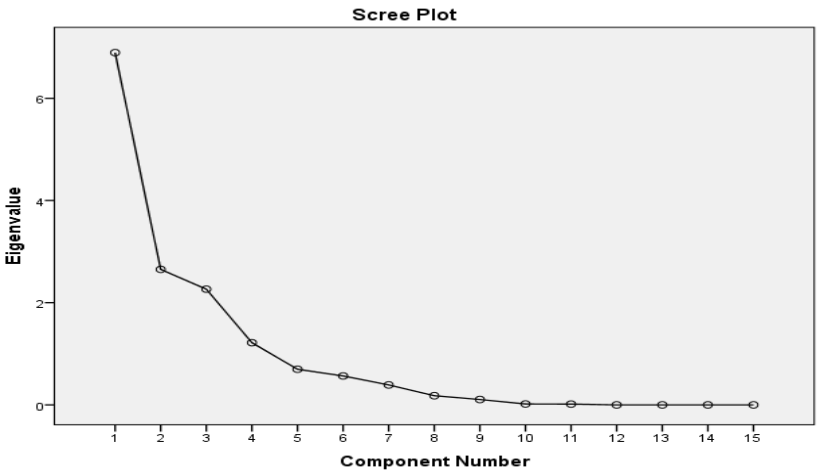


شکل ۳- تفکیک هیدروگراف جریان به روش فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتری در بخشی از دوره پژوهش ایستگاه ۲۱۱-۲۱



شکل ۴- توزیع شاخص جریان پایه در مناطق مختلف اقلیمی

کلیه عواملی که در قالب عامل اول قرار گرفتند، ارتباط ذاتی با وظیفه تامین و تداوم جریان پایه دارند. بدین صورت که پارامترهای شماره منحنی، نفوذپذیری و ضریب نگه‌داشت حوضه، انعکاسی از قابلیت حوضه برای تامین شرایط تداوم جریان پایه از طریق آب‌های زیرسطحی را نمایان می‌کنند و پارامتر تعداد روزهای بارانی علاوه بر این‌که نماینده عامل ایجاد کننده جریان پایه، یعنی بارش است، عامل تداوم جریان پایه نیز محسوب می‌شود. بدین صورت که هرچه میزان این پارامتر بیشتر باشد، میزان و دوره تداوم جریان پایه بیشتر خواهد بود. شاخص‌های منحنی تداوم جریان و ضریب افت منحنی هیدروگراف، نمایشی از میزان و چگونگی جریان پایه را ارائه می‌دهند. زیرا بخش انتهایی منحنی تداوم جریان به نوعی نماینده جریان‌های کمینه و از جمله جریان پایه است (Smakhtin، ۲۰۰۱). عوامل هیدرواقلیمی شامل بارش سالانه و تبخیر سالانه در قالب عامل دوم و با میزان تأثیرپذیری یکسان، قرار گرفتند. عوامل فیزیوگرافی شامل مساحت و طول رودخانه اصلی با ضریب تأثیرگذاری یکسان در قالب عامل سوم طبقه‌بندی شدند و عوامل توپوگرافی شامل شیب و ارتفاع متوسط در عامل چهارم قرار دارند که در این میان، پارامتر شیب دارای ضریب تأثیرگذاری بیشتری است. تصویر گرافیکی مقادیر ویژه در هر یک از عامل‌های استخراج شده به‌طور نمونه در شکل ۵ نمایش داده شده است. همان‌طور که مشخص است، مقدار واریانس توجیه شده (مقدار ویژه) با استخراج عامل‌های چهارم به بعد سریعا افت می‌کند.



شکل ۵- مقادیر ویژه عامل‌های استخراج شده مربوط به حوضه‌های منطقه اقلیمی "بسیار مرطوب"

جدول ۳- مقادیر کل درصد از واریانس توضیح داده شده بر اساس عوامل مستقل انتخابی در آزمون تحلیل عاملی منطقه اقلیمی "بسیار مرطوب"

عامل	درصد از واریانس	درصد واریانس تجمعی
۱	۴۵/۹۶۵	۴۵/۹۶۵
۲	۱۷/۶۷۹	۶۳/۶۴۴
۳	۱۵/۰۹۷	۷۸/۷۴۱
۴	۸/۱۱۲	۸۶/۸۵۳

منطقه اقلیمی مرطوب: نتایج خروجی نقشه حاصل از تقاطع مرز حوضه‌ها با نقشه اقلیم نشان داد که منطقه اقلیمی "مرطوب" در شمال، غرب و شمال غرب کشور گسترش دارد و عمداً در محدوده استان‌های مازندران، کردستان، چهارمحال بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد واقع شده است. حدود ۳/۸۷

درصد از حوضه‌های کشور در این اقلیم قرارگرفته‌اند که از میان آن‌ها تعداد ۴۵ حوضه با آمار مناسب و دوره مشترک مورد آزمون و تحلیل قرار گرفته است. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که عوامل موثر بر جریان پایه در این منطقه اقلیمی نیز در قالب چهار عامل طبقه‌بندی شده‌اند که ۹۰/۸۲۰ درصد از تغییرپذیری داده‌ها را نشان می‌دهد. این میزان بالا از واریانس داده‌ها نشان‌دهنده پوشش بسیار خوب داده‌های انتخابی برای تحلیل عاملی در خصوص جریان پایه در این منطقه اقلیمی می‌باشد که با افزایش اندکی در نوع پارامترهای موثر بر جریان می‌توان این واریانس را تا حد بسیار قابل قبولی افزایش داد.

در این منطقه، عوامل دسته‌بندی شده در عامل اول دقیقا مانند منطقه اقلیمی بسیار مرطوب است ولی ضرایب تأثیرگذاری آن‌ها با منطقه بسیار مرطوب متفاوت است. در این دسته، بیشترین تأثیرگذاری مربوط است به شاخص‌های Q_{90}، Q_{95} که ۵۳/۹۳۵ درصد از واریانس داده‌ها را توضیح می‌دهد. عوامل بارش متوسط سالانه و تبخیر در عامل دوم با میزان تأثیرگذاری تقریبا یکسان، ولی کمتر از منطقه بسیار مرطوب است. پارامترهای فیزیوگرافی و توپوگرافی شامل مساحت، طول رودخانه اصلی، ارتفاع متوسط و شیب حوضه، در قالب عامل سوم و چهارم دسته‌بندی شدند که در این میان، بیشترین تأثیر مربوط به عامل شیب حوضه است. در هر دو منطقه بسیار مرطوب و مرطوب، عوامل فیزیوگرافی و توپوگرافی در مرتبه سوم و چهارم تأثیرگذاری جای گرفته‌اند. این امر نشان-دهنده این است که این عوامل عمدتاً نقش تسهیل کننده و تداوم دهنده جریان پایه را ایفا می‌کنند و نقش ایجادی مربوط به عامل اصلی بارش و عوامل ذاتی حوضه که نگه‌داشت و آزادسازی تدریجی جریان را به عهده دارند، می‌باشد که این عوامل در دسته اول خود را نشان داده‌اند.

منطقه اقلیمی نیمه‌مرطوب: این منطقه اقلیمی در نوار باریکی از شمال و گستره غرب کشور استقرار دارد و شامل بخش‌هایی از محدوده استان‌های لرستان، کردستان، کرمانشاه و مازندران می‌باشد. حدود ۳/۳۴ درصد از حوزه‌های آبخیز کشور در این منطقه قرار دارند و در این پژوهش تعداد ۳۸ حوضه برای تحلیل مورد استفاده قرار داده شد. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که عوامل موثر بر جریان پایه در این اقلیم نیز به چهار دسته تقسیم شدند که حدود ۸۹/۶۴۳ درصد از واریانس داده‌ها را توجیه می‌کنند. پارامترهای واقع در دسته اول، کاملا شبیه پارامترهای واقع در دسته اول مناطق اقلیمی بسیار مرطوب و مرطوب می‌باشد و پارامترهای درصد عدم تجاوز ۹۰ و ۹۵ دارای ضریب تأثیرگذاری بیشتری هستند. عوامل مساحت و طول رودخانه اصلی در قالب عامل دوم، خود نمایی می‌کنند که بیشترین تأثیر مربوط به طول رودخانه اصلی است. عوامل بارش سالانه و تبخیر با ضریب تأثیر یکسان در قالب عامل سوم دسته‌بندی شدند و عوامل ارتفاع متوسط و درصد شیب در قالب عامل چهارم هستند که درصد شیب حوضه بیشترین وزن تأثیرگذاری را دارد. در این منطقه اقلیمی نسبت به دو منطقه مرطوب و بسیار مرطوب، عامل بارش دارای وزن کمتری است و در رتبه‌بندی عوامل در مرتبه تأثیرگذاری سوم واقع شده است. عامل شیب در هر سه منطقه مرطوب، نیمه‌مرطوب و بسیار مرطوب در مرتبه چهارم اهمیت واقع شده است.

منطقه اقلیمی مدیترانه‌ای: مناطق تحت پوشش این منطقه اقلیمی در گستره غرب و شمال غرب کشور در محدوده استان‌های کرمانشاه، لرستان، همدان، کردستان، آذربایجان شرقی و غربی و اردبیل استقرار دارند و حدود ۴/۹۳ درصد از حوضه‌های کشور در این اقلیم واقع شده است. برای تحلیل عاملی در این اقلیم تعداد ۵۶ حوزه آبخیز با آمار مناسب و دوره مشترک آماری انتخاب شد. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که به مانند سایر مناطق، پارامترهای موثر بر جریان پایه در چهار دسته قرار گرفتند که ۸۷/۱۵۲ درصد از وایانس داده‌ها را توجیه می‌کنند. پارامترهای شماره منحنی، درصد عدم تجاوز ۷۵، ۹۰، ۹۵ و تعداد روزهای بارانی، ظرفیت نگه‌داشت حوضه و نفوذپذیری در قالب عامل اول دسته‌بندی شدند که پارامتر ظرفیت نگه‌داشت، بالاترین وزن تأثیرگذاری را به خود اختصاص داده است. پارامترهای مساحت، ارتفاع و طول آبراهه اصلی در قالب عامل دوم خود نمایی می-کنند که پارامتر طول رودخانه اصلی بیشترین وزن تأثیرگذاری را دارد و عامل سوم شامل پارامترهای

بارش سالانه و تبخیر با وزن برابر است و ضریب افت هیدروگراف جریان به تنهایی در قالب عامل چهارم نقش ایفا می‌کند. در این منطقه اهمیت عامل توپوگرافی و فیزیوگرافی نسبت به سایر مناطق اقلیمی بالاتر قرار دارد. مناطق واقع در اقلیم مدیترانه‌ای دارای زمستان‌های نسبتاً ملایم و تابستان‌های خیلی گرم هستند و اختلاف نسبتاً کمی بین کمینه دمای زمستان و بیشینه دمای تابستان وجود دارد. این مشخصه به‌دلیل واقع شدن این مناطق در مناطق کوهستانی و ارتفاعات غرب و شمال غرب کشور است و در این مناطق عمده جریان پایه، متاثر از ذخایر برفی و منابع آب کارستی می‌باشد که در ارتفاعات منطقه واقع شده است و به این علت نقش عامل توپوگرافی را برجسته‌تر می‌کند.

منطقه اقلیمی خشک: نتایج نقشه‌های خروجی تقاطع حوضه‌ها با نقشه اقلیم نشان داد که این منطقه اقلیمی دارای بیشترین گستره در جغرافیای کشور است و کل مناطق مرکز، جنوب، شرق و جنوب شرق را پوشش داده است. حوضه‌های واقع در این منطقه تقریبا ۵۸/۳۱ درصد حوزه‌های آبخیز درجه چهار کشور را شامل می‌شود. برای این پژوهش تعداد ۷۴ حوضه واقع در محدوده استان کرمان انتخاب شد. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که به مانند سایر مناطق، پارامترهای موثر بر جریان پایه در چهار دسته قرار گرفتند که ۸۸/۳۴۶ درصد از وایانس داده‌ها را توجیه می‌کنند. پارامترهای عامل اول شامل شماره منحنی، ضریب افت منحنی هیدروگراف، درصد عدم تجاوز ۷۵، ۹۰ و ۹۵ منحنی تداوم جریان و ظرفیت نگه‌داشت حوضه است که بیشترین وزن تأثیرگذاری به ظرفیت نگه‌داشت حوضه مربوط می‌شود. عامل دوم شامل پارامترهای ارتفاع متوسط و بارش سالانه و تبخیر است که وزن بیشتر به بارش تعلق دارد. عامل سوم شامل پارامترهای مساحت و طول رودخانه اصلی است که طول رودخانه بالاترین وزن را دارد و پارامتر درصد متوسط شیب حوضه به تنهایی در جایگاه چهارم قرار گرفته است.

با توجه به کمبود بارش در این منطقه اقلیمی، بیشترین وزن تأثیرگذاری بر جریان پایه، به پارامتر مرتبط با خصوصیت ذاتی حوضه مبنی بر ظرفیت نگه‌داشت آن مربوط می‌شود. همراهی عامل بارش که عامل مسبب است با پارامتر مساحت و طول رودخانه اصلی موجب افزایش نقش آن در تامین شرایط لازم برای دریافت ورودی بیشتر آب به حوضه و نهایتاً تداوم جریان پایه در این منطقه اقلیمی می‌شود.

منطقه اقلیمی نیمه‌خشک: نتایج خروجی تقاطع نقشه‌های اقلیم و حوضه‌ها نشان داد که این منطقه اقلیمی در گستره شمال شرق، غرب و شمال غرب کشور پراکنده است و بخش‌هایی از استان‌های خراسان شمالی و رضوی، گلستان، فارس، مرکزی، همدان، قزوین، زنجان، آذربایجان شرقی و غربی، ایلام و لرستان و کرمانشاه گسترش دارد. حدود ۲۳/۷۵ درصد از حوضه‌های کشور در این اقلیم واقع شده است که تعداد ۴۷ حوضه دارای آمار مناسب و دوره مشترک برای تحلیل عاملی انتخاب شد. در این منطقه عوامل موثر بر جریان پایه در قالب سه دسته طبقه‌بندی شدند که حدود ۷۸/۹۸۰ درصد از تغییرپذیری داده‌ها را توضیح می‌دهند. پارامترهای بارش سالانه، تبخیر، شماره منحنی، ضریب افت هیدروگراف جریان، درصد عدم تجاوز ۷۵، ۹۰، ۹۵ و تعداد روزهای بارانی، ضریب نگه‌داشت و نفوذپذیری حوضه در قالب عامل اول قرار گرفته‌اند که عوامل درصد عدم تجاوز ۹۵ و ۹۰ با وزن تأثیرگذاری یکسان در بالاترین سطح تأثیرگذاری قرار دارند و به تنهایی تمام ۷۸ درصد واریانس داده‌ها را توجیه می‌کنند. درصد عدم تجاوز ۹۵ و۹۰ به‌عنوان شاخص‌های کمینه در این مناطق دارای اعتبار هستند و می‌توانند انعکاسی از شرایط جریان پایه مناطق نیمه‌خشک باشند.

پارامترهای دسته دوم شامل ارتفاع متوسط حوضه، مساحت و طول رودخانه اصلی است که پارامتر طول رودخانه اصلی بیشترین وزن تأثیرگذاری را در این منطقه اقلیمی به خود اختصاص داده است. پارامترهای شیب متوسط حوضه و درصد عدم تجاوز ۷۵ در عامل سوم قرار دارند که عامل شیب دارای بیشترین وزن تأثیرگذاری است. جانمایی شاخص درصد عدم تجاوز ۷۵ در عامل سوم و کاهش نقش آن در نمایش جریان پایه، به‌دلیل تمایل این شاخص به سمت شاخص‌های نرمال یا پر آبی در مناطق نیمه‌خشک است، لذا، نقش

و رابطه آن برای تفسیر شرایط جریان پایه در این مناطق کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با استفاده از داده‌های روزانه جریان، جریان پایه و شاخص آن، به روش فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتری، در ایستگاه‌های آب‌سنجی مربوط به حوضه‌های درجه چهار واقع در شش منطقه اقلیمی در یک بازه ۲۵ ساله استخراج شد. نتایج تحلیل عاملی با استفاده از ۱۴ پارامتر هیدرولوژیکی، اقلیمی و هندسی موثر بر جریان پایه رودخانه‌ها در مناطق مختلف اقلیمی نشان داد که کلیه عواملی که ارتباط ذاتی با وظیفه نفوذ، نگه‌داشت آب در خاک و تأمین تداوم جریان پایه را دارند، در قالب عامل اول نمایان می‌شوند و عامل بارش در تمام مناطق با ترکیبی از پارامترهای افزایش دهنده سهم دریافتی، مانند مساحت و طول رودخانه همراه است. همچنین، عوامل توپوگرافی در رده سوم و چهارم عوامل تأثیرگذار بر جریان پایه جای گرفتند. با مقایسه درصد واریانس توضیح داده شده بر اساس عوامل مستقل انتخابی در مناطق اقلیمی مختلف، مشخص شد که این میزان در کلیه مناطق به استثناء منطقه نیمه‌خشک بسیار به هم نزدیک است و عوامل انتخابی به‌طور متوسط بیش از ۸۸ درصد از واریانس داده‌ها را توضیح می‌دهند که این میزان با افزایش عوامل مستقل انتخابی قابل افزایش است. با توجه به این‌که پیش‌نیاز یک تحلیل متناسب با واقعیت، انتخاب صحیح پارامترهای موثر بر جریان پایه است و نظر به این‌که در این سطح از پژوهش، استخراج و استفاده از برخی پارامترهای موثر بر جریان پایه مقدور نبوده است. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، عوامل مرتبط با توپوگرافی زیرسطحی و مشخصه‌های زمین-شناسی زیرسطحی، شیب و جهت لایه‌های زمین-شناسی، چگالی گسل‌ها، درز و شکاف‌ها و مرز بین واحدهای لیتولوژیک نیز به‌عنوان عوامل موثر بر جریان پایه، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مد نظر قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش مستخرج از بخشی از نتایج طرح تحقیقاتی با عنوان ارزیابی پارامترهای هیدرولوژیکی است که در پژوهشکده حفاظت‌خاک و آبخیزداری به انجام رسیده است. بدین وسیله از همراهی و مساعدت مسئولین محترم پژوهشکده تشکر می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Ahiablame, L., I. Chaubey, B. Engel, K. Cherkauer and V. Merwade. 2013. Estimation of annual baseflow at ungauged sites in Indiana, USA. Journal of Hydrology, 476: 13–27.
2. Alizadeh, A. 2002. Principles of applied hydrology. Astan Ghods Razavi, 815 pages.
3. Arnot, S., J. Hilton and B.W. Webb. 2009. The impact of geological control on flow accretion in lowland permeable catchments. Hydrology Research, 40(6): 533–543.
4. Beck, H.E., A.I.J.M. van Dijk, D.G. Miralles, R.A.M. de Jeu, L.A. Bruijnzeel, T.R. Mc Vicar and J. Schellekens. 2013. Global patterns in base flow index and recession based on stream flow observations from 3394 catchments. Water Resources Research, 49, doi: 2013WR013918.
5. Blöschl, G., M. Sivapalan, T. Wagener and A. Viglione. 2013. Runoff prediction in ungauged basins: synthesis across processes, places and scales. Cambridge University Press, New York, 465 pages.
6. Bloomfield, J.P., D.J. Allen and K.J. Griffiths. 2009. Examining geological controls on Base Flow Index (BFI) using regression analysis: An illustration from the Thames Basin, UK. Journal of Hydrology, 373: 164-176.
7. Boughton, W.C. 1993. A hydrograph-based model for estimating the water yield of ungauged catchments. In: Hydrology and Water Resources Conference. Institution of Engineers, Australia, National Conference Publication No. 93(14): 317–324.
8. Brandes, D., J.G. Hoffmann and J.T. Mangarillo .2005. Base flow recession rates, low flows, and hydrologic features of small watersheds in Pennsylvania, USA. Journal of the American Water Resources Association, 41(5):1177-1186.
9. Brauman, K.A., G.C. Daily, T.K. Duarte, and H.A. Mooney .2007. The nature and value of ecosystem services: An overview highlighting hydrologic services. Annual Review of Environment and Resources, 32: 67–98.

10. Brodie, R.S. and S. Hostetle. 2005. A review of techniques for analyzing base-flow from stream hydrographs. Proceedings of the NZHS-IAH-NZSSS Conference (Vol. 28), Auckland, New Zealand.
11. Chaplot, V., C. Walter, P. Curmi, P. Lagacherie and D. King. 2004. Using the topography of the saprolite upper boundary to improve the spatial prediction of the soil hydromorphic index. Journal of Geoderma, 123: 343–354.
12. Cyr, J., M. Landry and Y. Gagnon .2011. Methodology for the large-scale assessment of small hydroelectric potential: Application to the province of New Brunswick (Canada). Journal of Renewable Energy, 36(11):2940–2950.
13. Delin, G.H. 2007. Comparison of local to regional scale estimates of ground water recharge in Minnesota, USA. Journal of Hydrology, 334: 231-249.
14. Delinom, R.M. 2009. Structural geology controls on groundwater flow: Lembang Fault case study, West Java, Indonesia. Hydrogeology Journal, 17(4): 1011–1023.
15. Ghanbarpor, M., M. Teymori and S.H.A. Gholami. 2008. Comparison of base flow estimation methods based on hydrograph separation, case study: Karun Basin. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science, 1: 1-10 (in Persian).
16. Juckem, P.F., R.J. Hunt, M.P. Anderson and D.M. Robertson. 2008. Effects of climate and land management change on stream flow in the drift less area of Wisconsin. Journal of Hydrology, 355(1–4): 123–130.
17. Kazemi, R. and A.R. Eslami. 2013. Investigation on the role of geological formation and hydrological parameter on base flow index, case study: Khazar region. Journal of Watershed Engineering and Management, 5(2): 85-93 (in Persian).
18. Kazemi, R., H. Davoodi, M.J. Soltani and A. Sarreshtedari. 2013. Investigation of land use change on base flow index, case study: Taleghan catchment. Journal of Watershed Engineering and Management, 5 (1): 1-8 (in Persian).
19. Kim, S., M.L. Kawas and J. Yoon. 2005. Upscaling of vertical unsaturated flow model under infiltration condition. Journal of Hydrologic Engineering, 10(2): 151–159.
20. Krakauer, N.Y. and M. Temimi. 2011. Stream recession curves and storage variability in small watersheds. Journal of Hydrology and Earth System Sciences, 15: 2377–2389.
21. Longobardi, A. and P. Villani. 2008. Base flow index regionalization analysis in a Mediterranean area and data scarcity context: role of the catchment permeability index. Journal of Hydrology, 355: 63–75.
22. Mazvimavi, D., A.M.J. Maijerink, H.H.G. Savenije and A. Stein. 2005. Prediction of flow characteristics using multiple regression and neural networks: a case study in Zimbabwe. Journal of Physics and Chemistry of the Earth, 30: 639-647.
23. Nathan, R.J. and T.A. McMahon. 1990. Identification of homogeneous regions for the purposes of regionalization. Journal of Hydrology, 121: 217-238.
24. Nathan, R.J. and T.A. McMahon.1992. Estimating low flow characteristics in ungauged catchments. Journal of Water Resources Management, 6: 85-100.
25. Neff, B.P., S.M. Day, A.R. Piggott and L.M. Fuller. 2005. Base flow in the Great Lakes basin. Scientific investigations report, No. 2005-2517, Reston, VA: US Geological Survey.
26. Peña-Arancibia, J.L., A.I.J.M. Van Dijk, M. Mulligan and L.A. Bruijnzeel. 2010. The role of climatic and terrain attributes in estimating base flow recession in tropical catchments. Journal of Hydrology and Earth System Sciences, 14: 2193–2205.
27. Price, K., C.R. Jackson and A.J. Parker. 2010. Variation of surficial soil hydraulic properties across land uses in the southern Blue Ridge Mountains, NC, USA. Journal of Hydrology, 383(3–4): 256–268.
28. Price, K., C.R. Jackson, A.J. Parker, T. Reitan, J. Dowd and M. Cyterski. 2011. Effects of watershed land use and geomorphology on stream low flows during severe drought conditions in the southern Blue Ridge Mountains, A and NC, USA. Journal of Water Resources Research, 47: W02516.
29. Santhi, C., P.M. Allen, R.S. Muttiah, J.G. Arnold and P. Tuppad. 2008. Regional estimation of base flow for the conterminous United States by hydrologic landscape regions. Journal of Hydrology, 351: 139-153.
30. Smakhtin, V.Y. 2001. Low flow hydrology: a review. Journal of Hydrology, 240: 147-186.
31. Teimouri, M., M.R. Ghanbarpour, M. Bashirgonbad, M. Zolfaghari and S. Kazemikia. 2011. Comparison of base flow index in hydrograph separation with different methods in some rivers of West Azarbaijan Province. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science, 15: 219-228 (in Persian).

32. Tetzlaff, D., J. Seibert, K.J. McGuire, H. Laudon, D.A. Burn, S.M. Dunn and C. Soulsby. 2009. How does landscape structure influence catchment transit time across different geomorphic provinces? Journal of Hydrological Processes, 23(6): 945–953.
33. Welderufael, W.A. and Y.E. Woyessa. 2010. Stream flow analysis and comparison of base flow separation methods, case study of the Modder River basin in central South Africa. Journal of European Water, 31: 3-12.
34. Woltemade, C. 2010. Impact of residential soil disturbance on infiltration rate and stormwater runoff. Journal of the American Water Resources Association, 46(4): 700–711

DOI: 10.22092/ijwmse.2018.117877

Investigation and analysis of factors affecting base flow in different climates of Iran

Rahim Kazemi[1*] and Forood Sharifi[2]
[1] Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran and [2] Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 02 November August 2016 Accepted: 15 March 2017

Abstract

Watershed planning and management of water resources requires various data including base flow and its index. This parameter is influenced by Morphometric, geologic, hydrologic and climatologically factors and has always been one of the most important issues in hydrology. In this research, the Domarton method was used to map the climate of Iran with the use of temperature and precipitation data. Then, using daily stream flow data and after controlling for time series, base flow and related index, using two parameter the recursive digital filter were extracted in selected catchments of six climatic zones including; arid, semi-arid, humid and semi-humid and very wet and Mediterranean. Hydrological and climatically parameters of the basins measured and physiographic factors were extracted in the digital environment. To identify independent factors affecting base flow, factor analysis were down using 14 parameters in each climate zone and then effective factors were analyses. The results showed that more than 80 percent of the variance of parameters was explained by selected parameters. The intrinsic factors related to the penetration and retention of water in all climate zones are in the first importance order with the weight more than 45 percent. Flow duration curve indices in very humid, humid, semi-humid and semi-dry climatic zones respectively with 45, 53, 52, and 53 percent and in the dry and Mediterranean climate zones parameter of storage capacity, Respectively with 49 and 58 percent have the greatest influence over the base flow. The results showed that the weight of the factors affecting base flow, vary depending on the type of climate.

Keywords: Climate zone, Digital filter, Domarton method, Factor analysis, Hydrograph separation

[*] Corresponding author: ra_hkazemi@yahoo.com