

بررسی و ارائه روابط منطقه‌ای شاخص جریان پایه در حوضه‌های همگن استان کرمان

رحیم کاظمی^{۱*} و فرود شریفی^۲

^۱ مربی، 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 پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۱/۲۲

چکیده

برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه منابع آب حوزه‌های آبخیز نیاز به داده‌های مختلفی از جمله، جریان پایه و شاخص آن دارد. این شاخص که متأثر از عوامل مورفومتری، زمین‌شناسی و هیدرواقليمی است، همواره یکی از موضوعات مهم در هیدرولوژی بوده است. در این پژوهش با استفاده از داده‌های جریان روزانه رودخانه، جریان پایه و شاخص آن، از روش فیلتر رقومی برگشتی دو شاخصه در ۴۳ ایستگاه آب‌سنجی مربوط به حوضه‌های درجه چهار استان کرمان، استخراج شد. پارامترهای هیدرولوژیکی و اقلیمی محاسبه و برآورد و عوامل فیزیوگرافی در محیط GIS استخراج شد. با استفاده از روش آزمون تحلیل عاملی از بین ۱۴ پارامتر مؤثر در شاخص جریان پایه، شش عامل ثابت افت منحنی هیدروگراف، بارش متوسط سالانه، تبخیر و تعرق واقعی، نفوذپذیری، توپوگرافی (شیب و ارتفاع) و شماره منحنی، به‌عنوان عوامل مستقل انتخاب شدند. سپس روابط منطقه‌ای به روش رگرسیون خطی، در سطوح معنی‌داری کمتر از یک درصد با ضریب تبیین ۰/۹۹ به‌دست آمد. علاوه بر این، به‌منظور مقایسه و ارزیابی صحت و کارایی مدل‌های برآوردی، روش آزمون استقلال خطاها، نرمال بودن توزیع خطاها و هم‌خطی مورد استفاده قرار گرفت. از بین عوامل مورد بررسی، مشخصاً روش رگرسیون‌های چند متغیره به‌عنوان بهترین برآورد کننده‌ی شاخص جریان پایه رودخانه‌ها در منطقه پژوهش، تشخیص داده شدند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل عاملی، تفکیک هیدروگراف، فیلتر رقومی، مدل‌های منطقه‌ای، مورفومتری

مقدمه

جریان برای تعمیم روابط به حوضه‌های فاقد آمار را دارد (Smakhtin, ۲۰۰۱).

یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های هیدروژئولوژیکی که در پژوهش‌های مختلف بر آن تأکید شده، شاخص جریان پایه^۱ (BFI) است. شاخص جریان پایه، یک نسبت بدون بعد است که از نسبت دبی پایه به کل

آگاهی از وضعیت توزیع مکانی جریان پایه 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

^۱ Base Flow Index

همکاران (۲۰۰۹) مورد پژوهش قرار گرفته، روابط رگرسیونی مربوطه ارائه شده است. تاثیرات مستقیم و غیر مستقیم توپوگرافی بر روی جریان پایه به وسیله Tetzlaff و همکاران (۲۰۰۹) بررسی و گزارش شده است و موارد استثناء مانند وجود پدیده کارست که تاثیرات و روابط مشخص توپوگرافی را مختل می کند نیز به وسیله Price و همکاران (۲۰۱۱) به اثبات رسیده است. اهمیت و نقش توپوگرافی زیرسطحی و مشخصه های خاک، از جمله رطوبت، بافت و نفوذ پذیری بر جریان پایه و نقش آن به عنوان پیش بینی کننده، رطوبت و جریان های زیرقشری در نتایج پژوهش های منتشر شده به وسیله Chaplot و همکاران (۲۰۰۳) به اثبات رسیده است. تاثیر تغییرات اقلیمی و پارامترهای مربوطه به ویژه دما و تبخیر و تعرق واقعی بر روی جریان پایه و اهمیت آن به عنوان پیش بینی کننده به وسیله Tague و همکاران (۲۰۰۸) و Choi و همکاران (۲۰۰۹) مورد پژوهش قرار گرفته و به اثبات رسیده است. پژوهش های متعددی نیز در خصوص تاثیر کاربری اراضی و تغییرات آن بر روی پاسخ هیدرولوژیک حوضه به انجام رسیده که از جمله می توان به نتایج پژوهش Woltemade و همکاران (۲۰۱۰)، Kazemi و Eslami (۲۰۱۳) و Kazemi و همکاران (۲۰۱۳) اشاره کرد.

روش های متعددی برای جداسازی جریان پایه از جریان رودخانه توسعه یافته است که عمدتاً در سه گروه روش های گرافیکی، فیلترینگ و روش های مبتنی بر ردیاب های شیمیایی قابل طبقه بندی است (Brodie و Hostetle, ۲۰۰۵). جداسازی جریان پایه به روش گرافیکی اغلب زمان بر و غیر دقیق است و نتایج به دست آمده به وسیله متخصصین مختلف یکسان نمی باشد. روش های مبتنی بر ردیابها دقیق و قابل اعتماد است ولی زمان بر و مستلزم صرف وقت و هزینه زیادی می باشد. روش های مبتنی بر الگوریتم های رقومی و فیلترینگ، علاوه بر سهولت و قابلیت تشخیص مناسب در تعیین دبی پایه، حساسیت بالایی نسبت به پارامترها دارد. همچنین، به دلیل قابلیت اتوماتیک کردن، مشکلات ناشی از عدم همخوانی نتایج تا حدودی برطرف شده است. به دلیل پیچیدگی و نامشخص بودن میزان واقعی مشارکت دبی پایه در

رواناب برای هر مقطع زمانی یا کل دوره آماری به دست می آید. مشخصه های هیدرولوژیکی حوضه ها مانند جریان پایه، یا سایر مؤلفه های جریان به وسیله پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی و فیزیکی مختلف، قابل برآورد است (Nathan و Mc Mahon, ۱۹۹۰). مشخصه های هیدروکلیماتولوژیکی عمدتاً شامل بارش، دما، تبخیر و تعرق است و عوامل فیزیکی شامل پارامترهای فیزیوگرافی و ثابت حوضه بوده، ممکن است پارامترهای زمین شناسی و خاک شناسی از دیدگاه هیدروژئولوژی نیز مورد استفاده قرار گیرد.

در این میان این شاخص، بیانگر اطلاعاتی در خصوص مشارکت آب های زیرزمینی در آب های سطحی است، که ممکن است تحت تاثیر زمین شناسی حوضه قرار داشته باشد (Nathan و Mc Mahan, ۱۹۹۲). اطلاع از رژیم جریان پایه برای مقاصد متعددی مانند مدیریت منابع آب، حفاظت بوم سازگان های آبی، تولید انرژی، حمل و نقل و پیش بینی جریان های کمینه اهمیت دارد (Brauman و همکاران، ۲۰۰۷ و Cyf و همکاران، ۲۰۱۱). چنین اطلاعاتی در خصوص حوضه های فاقد آمار در دسترس نیست، بنابراین، فرآیند تحلیل منطقه ای برای انتقال روابط شاخص های حوضه های دارای آمار به حوضه های فاقد آمار مورد نیاز است (Blöschl و همکاران، ۲۰۱۳). پژوهش های متعددی مبتنی بر تحلیل منطقه ای برای ایجاد مدل های برآورد (BFI) با استفاده از مشخصه های هیدرولوژیکی، کلیماتولوژی و فیزیوگرافی حوزه های آبخیز انجام شده است از جمله Mazvimavi و همکاران (۲۰۰۵)، Brandes و همکاران (۲۰۰۵)، Villani و Longobardi (۲۰۰۸)، Peña-Arancibia و همکاران (۲۰۱۰)، Krakauer و Temimi (۲۰۱۱)، Ahiablame و همکاران (۲۰۱۳) و Beck و همکاران (۲۰۱۳). پارامترهای بارش، زمین شناسی و خاک، عموماً در تمام این پژوهش ها به عنوان مشخصه های مهم تأثیرگذار مورد استفاده قرار گرفته است.

همچنین، اهمیت مولفه های توپوگرافی، اقلیم و پوشش نیز به عنوان عوامل تأثیرگذار و مفید در پاره ای از موارد به اثبات رسیده است. به طور مشخص، روابط پارامترهای زمین شناسی، به وسیله Bloomfield و

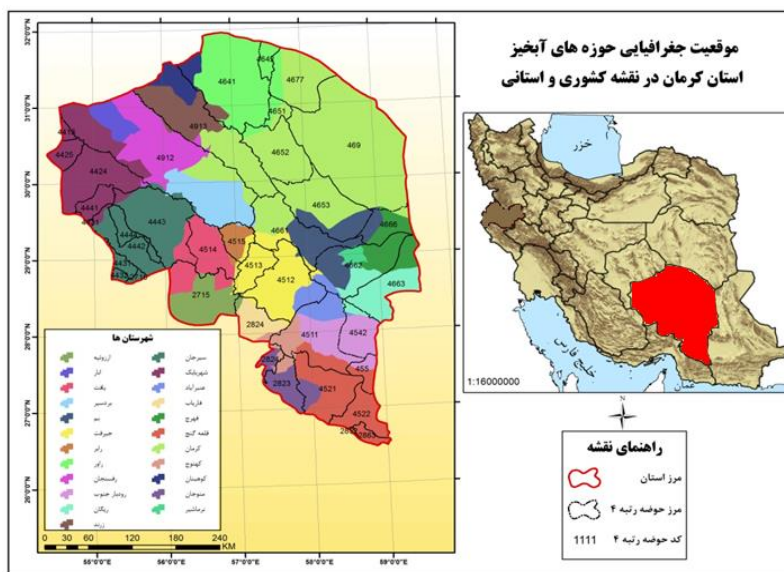
استان کرمان است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: استان کرمان با مساحتی در حدود ۱۸۱۷۳۷ کیلومتر مربع بین $25^{\circ} 55'$ تا 32° عرض شمالی و $53^{\circ} 26'$ تا $59^{\circ} 29'$ طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. حد شمالی استان کرمان به استان‌های خراسان، یزد و حد جنوبی به استان هرمزگان، حد شرقی به استان سیستان و بلوچستان و حد غربی آن به استان فارس محدود است. استان کرمان با در بر گرفتن حدود ۱۱ درصد از مساحت کشور بخش وسیعی از پیکر جنوب شرقی فلات مرکزی ایران را می‌پوشاند. اقلیم استان کرمان از نظر تقسیم‌بندی‌های اقلیمی، جزء اقلیم نیمه‌خشک بیابانی گرم محسوب شده است. امتداد سلسله جبال زاگرس و کوه‌های مرکزی، استان پهناور کرمان را به دو بخش متمایز خشک کویری و معتدل کوهپایه‌ای تفکیک نموده که در تلاقی با یکدیگر از لحاظ اقلیمی سه منطقه کویری و حاشیه کویری، گرمسیری و سردسیری و کوهستانی را شکل داده‌اند. میزان متوسط بارندگی سالیانه استان کرمان ۱۴۵ میلی‌متر و میزان نزولات جوی وارده بر پهنه استان نزدیک به ۲۷ میلیارد مترمکعب برآورد شده است. مشخصه‌های پایه حوضه‌های مورد پژوهش در جدول ۱ و نقشه منطقه مورد پژوهش در شکل ۱ ارائه شده است.

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 پارامتره 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 تاکنون مطالعات جامعی در خصوص تحلیل منطقه‌ای شاخص جریان پایه در سطح منطقه‌ای و استانی در کشور ایران مشاهده نشده است. با توجه به این‌که حسب نتایج مطالعات Stuckey (۲۰۰۶) و Delin (۲۰۰۷) جریان پایه به علت تأثیرات عوامل مختلف مانند بارش، کاربری اراضی، خاک، اقلیم، پوشش، توپوگرافی و زمین‌شناسی از نظر زمانی و مکانی متغیر است. پژوهش در خصوص روابط منطقه‌ای این شاخص، موجب دستیابی به اطلاعاتی برای استفاده در مدیریت منابع آب حوضه در منطقه پژوهش خواهد شد. هدف از این پژوهش، بررسی نسبت سهم مشارکت آب‌های زیرزمینی به کل رواناب به‌عنوان شاخص جریان پایه و بررسی نقش هر یک از عوامل مورفومتری، اقلیمی، هیدرولوژیکی، بر آن در حوضه‌های آبخیز درجه چهار



شکل ۱- منطقه مورد پژوهش

جدول ۱- مشخصه‌های حوضه‌های مورد پژوهش

| ردیف | کد حوضه | ارتفاع متوسط (m) | طول آبراهه اصلی (km) | شیب (%) | مساحت (km ²) |
|------|---------|------------------|----------------------|---------|--------------------------|
| ۱ | ۴۵۵ | ۱۴۸۸/۰۱ | ۴۸۰/۴۶ | ۲۱/۸۳ | ۱۱۳۸/۰۰ |
| ۲ | ۴۶۹ | ۱۸۱۳/۰۰ | ۸۱۷/۳۹ | ۲۷/۵۹ | ۱۸۷۹/۳۴ |
| ۳ | ۲۷۱۵ | ۲۲۶۴/۶۵ | ۶۶۵/۸۸ | ۱۸/۰۴ | ۱۶۹۱/۱۶ |
| ۴ | ۲۷۱۶ | ۲۲۰۶/۴۵ | ۶۸۰/۷۸ | ۱۶/۲۶ | ۱۶۷۳/۸۸ |
| ۵ | ۲۸۱۵ | ۱۲۸۷/۳۲ | ۱۱۹/۵۴ | ۲۵/۹۳ | ۱۶۰/۱۲ |
| ۶ | ۲۸۲۳ | ۳۸۲/۷۳ | ۳۵/۷۷ | ۲۰/۰۳ | ۳۵/۲۴ |
| ۷ | ۲۸۲۴ | ۱۴۴۴/۰۰ | ۵۱۰/۲۵ | ۲۸/۴۱ | ۱۰۶۸/۰۴ |
| ۸ | ۲۸۳۱ | ۳۸۴/۴۶ | ۴۰۷/۷۵ | ۹/۹۰ | ۷۵۲/۷۶ |
| ۹ | ۲۸۴۳ | ۱۰۰۱/۹۶ | ۳۹۴/۳۰ | ۱۹/۸۶ | ۷۳۶/۸۰ |
| ۱۰ | ۲۸۵۲ | ۱۵۶۵/۷۳ | ۵۷۲/۲۷ | ۳۵/۴۰ | ۱۲۴۹/۷۲ |
| ۱۱ | ۲۸۶۳ | ۱۸۸۴/۲۶ | ۵۳۵/۷۶ | ۳۸/۰۲ | ۱۲۳۹/۰۸ |
| ۱۲ | ۴۴۱۳ | ۱۰۵۱/۹۹ | ۸۵۸/۷۴ | ۱۵/۴۱ | ۱۸۹۹/۱۶ |
| ۱۳ | ۴۴۲۴ | ۹۴۷/۴۰ | ۴۰۰/۲۸ | ۱۵/۳۹ | ۶۸۸/۶۸ |
| ۱۴ | ۴۴۲۵ | ۲۱۶/۳۲ | ۱۷۶/۰۰ | ۹/۸۴ | ۱۶۴/۲۴ |
| ۱۵ | ۴۴۲۶ | ۷۴۸/۴۱ | ۷۲۱/۹۸ | ۲۲/۳۵ | ۱۹۲۴/۳۲ |
| ۱۶ | ۴۴۳۱ | ۵۸۱/۵۷ | ۹۸۰/۹۳ | ۱۴/۰۶ | ۲۱۳۳/۴۸ |
| ۱۷ | ۴۴۳۲ | ۱۱۹۹/۷۹ | ۱۰۲۹/۵۰ | ۱۳/۳۶ | ۳۰۵/۳۲ |
| ۱۸ | ۴۴۴۱ | ۴۸۹/۸۸ | ۱۵۲۱/۷۸ | ۱۲/۹۵ | ۳۲۰۹/۲۴ |
| ۱۹ | ۴۴۴۲ | ۱۳۹۳/۰۰ | ۱۴۱۳/۳۲ | ۶/۶۳ | ۱۴۱۸/۵۲ |
| ۲۰ | ۴۴۴۳ | ۱۶۷۰/۵۰ | ۲۰۱/۷۴ | ۳۰/۳۴ | ۳۷۰/۲۰ |
| ۲۱ | ۴۴۴۴ | ۱۸۴۸/۳۹ | ۳۲۲/۹۱ | ۲۹/۹۷ | ۶۷۳/۴۹ |
| ۲۲ | ۴۵۱۱ | ۱۶۹۰/۵۷ | ۳۰۷/۵۳ | ۲۸/۰۷ | ۴۴۹/۳۴ |
| ۲۳ | ۴۵۱۲ | ۱۵۸۰/۱۸ | ۳۵۳/۳۷ | ۳۰/۹۲ | ۵۶۹/۹۸ |
| ۲۴ | ۴۵۱۳ | ۱۴۴۵/۰۸ | ۲۹۲/۲۸ | ۳۰/۹۵ | ۵۸۰/۸۷ |
| ۲۵ | ۴۵۱۴ | ۱۹۱۳/۳۷ | ۴۵۷/۴۶ | ۴۰/۵۸ | ۹۴۱/۳۰ |
| ۲۶ | ۴۵۱۵ | ۱۹۶۳/۵۸ | ۱۷۷/۸۳ | ۴۲/۴۱ | ۳۰۷/۷۵ |
| ۲۷ | ۴۵۲۱ | ۱۸۶۳/۰۰ | ۱۰۷/۳۳ | ۳۳/۸۸ | ۱۵۱/۸۵ |
| ۲۸ | ۴۵۲۲ | ۲۰۸۶/۷۴ | ۱۹۹/۸۲ | ۴۲/۸۲ | ۳۱۶/۸۹ |
| ۲۹ | ۴۵۴۱ | ۱۴۷۶/۴۰ | ۴۵۷/۹۲ | ۲۰/۷۳ | ۸۱۴/۵۳ |
| ۳۰ | ۴۵۴۲ | ۱۶۴۵/۸۱ | ۶۲۱/۶۳ | ۳۹/۶۰ | ۱۴۳۹/۸۶ |
| ۳۱ | ۴۶۳۳ | ۱۹۱۲/۹۹ | ۲۶۴/۵۶ | ۳۰/۰۳ | ۳۵۹/۵۶ |
| ۳۲ | ۴۶۴۱ | ۱۸۷۸/۱۲ | ۴۸۱/۹۲ | ۲۵/۹۱ | ۱۰۵۶/۴۵ |
| ۳۳ | ۴۶۴۲ | ۱۹۲۴/۲۵ | ۲۳۷/۰۱ | ۳۵/۵۸ | ۴۲۱/۵۱ |
| ۳۴ | ۴۶۵۱ | ۱۸۵۲/۸۲ | ۱۷۶۲/۷۰ | ۱۹/۵۰ | ۵۵۴۳/۱۲ |
| ۳۵ | ۴۶۵۲ | ۲۰۶۱/۰۸ | ۶۹۱/۱۸ | ۱۸/۴۱ | ۱۹۱۷/۷۶ |
| ۳۶ | ۴۶۵۳ | ۱۷۴۲/۹۲ | ۶۸۷/۱۰ | ۱۰/۳۹ | ۱۷۳۹/۴۸ |
| ۳۷ | ۴۶۶۱ | ۱۸۵۱/۴۸ | ۲۰۱/۳۸ | ۹/۳۸ | ۳۷۴/۳۲ |
| ۳۸ | ۴۶۶۲ | ۲۰۶۷/۱۸ | ۳۱۰/۳۷ | ۱۲/۴۱ | ۶۸۵/۰۸ |
| ۳۹ | ۴۶۶۳ | ۲۰۲۵/۲۱ | ۲۵۸/۱۵ | ۱۱/۷۲ | ۵۰۶/۳۲ |
| ۴۰ | ۴۶۶۶ | ۲۲۸۴/۳۸ | ۱۵۵۷/۰۸ | ۲۰/۱۶ | ۵۴۹۰/۹۶ |
| ۴۱ | ۴۶۷۷ | ۲۷۰۹/۰۴ | ۲۳۸/۰۹ | ۳۶/۳۲ | ۴۴۱/۴۸ |
| ۴۲ | ۴۹۱۲ | ۲۱۶۶/۵۵ | ۷۱۱/۷۹ | ۲۱/۷۹ | ۱۶۷۴/۹۶ |
| ۴۳ | ۴۹۱۳ | ۱۷۰۳/۴۳ | ۲۹۵/۸۹ | ۱۳/۷۴ | ۵۴۵/۴۰ |

روش پژوهش: ابتدا با بررسی داده‌های دبی روزانه ایستگاه‌های آب‌سنجی، تعداد ۴۳ ایستگاه مربوط به حوضه‌های رتبه چهار با آمار مناسب و دوره مشترک آماری سال‌های آبی ۱۳۸۰-۱۳۵۵ انتخاب شد. با استفاده از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و تعیین موقعیت ایستگاه‌ها، محدوده مورد پژوهش مشخص و پارامترهای اولیه حوضه با استفاده از سامانه

اطلاعات جغرافیایی (GIS)، استخراج شد. سپس، شاخص جریان‌پایه با استفاده از داده‌های روزانه جریان و پس از کنترل سری زمانی و آماده سازی اطلاعات، با استفاده از نرم‌افزار Hydro Office (۲۰۱۲) به روش فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره، استخراج شد. تجزیه و تحلیل عاملی برای شناخت عوامل مستقل موثر بر شاخص جریان‌پایه انجام شد و تقسیم‌بندی حوضه‌ها به

جریان و استخراج جریان پایه و محاسبه شاخص مربوطه با استفاده از الگوریتم فیلتر رقومی دو پارامتره و پس از بررسی و آماده‌سازی داده‌های روزانه جریان و به وسیله نرم‌افزار Hydro Office (۲۰۱۲) انجام شد. با استفاده از قابلیت نمایش گرافیکی نرم‌افزار و به کار بردن مقادیر مختلف پارامتر و واسنجی آن، مقدار پارامتر بهینه مورد نیاز، تعیین و میزان آب پایه و شاخص مربوطه استخراج شد.

فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره^۱: روش فیلتر رقومی برگشتی برای تحلیل و پردازش سیگنال‌های با فرکانس بالا از فرکانس پایین معرفی شده است، فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره با الگوریتم ذیل، اولین بار به وسیله Boughton (۱۹۹۳) و با رابطه (۳) معرفی شد.

$$q_{b(i)} = \frac{k}{1+C} q_{b(i-1)} + \frac{C}{1+C} q_{(i)} \quad (3)$$

$$q_{b(i)} \leq q_{(i)}$$

که در آن، K پارامتر فیلتر، قابل تعیین به وسیله ثابت افت منحنی هیدروگراف است. این پارامتر برابر است با شیب شاخه نزولی منحنی هیدروگراف، که در این روش مقدار 0.975 به دست آمده است. پارامتر C پارامتری است که با تغییر آن، شکل جدا سازی تغییر می‌کند و قابلیت واسنجی مدل را تامین می‌کند. با استفاده از قابلیت نمایش گرافیکی نرم‌افزار و به کار بردن مقادیر مختلف پارامتر و واسنجی آن، مقدار پارامتر بهینه مورد نیاز $C=0.5$ انتخاب شده است. $q_{b(i)}$ جریان پایه فیلتر شده برای زمان قبل از i $q_{(i)}$ جریان اصلی رودخانه برای زمان i $q_{b(i)}$ جریان پایه فیلتر شده، برای زمان i نام می‌باشد.

تجزیه و تحلیل عاملی برای شناخت عوامل

مستقل موثر بر شاخص جریان پایه: در این پژوهش روش تجزیه و تحلیل عاملی به روش PCA^۲ با استفاده از نرم‌افزار SPSS برای ۱۴ متغیر فیزیوگرافی، هیدرولوژیکی و اقلیمی در حوضه‌های منتخب به کار برده شد. متغیرهای مورد استفاده، شامل ویژگی‌های مختلف حوضه از جمله، شاخص جریان پایه، ثابت افت منحنی هیدروگراف، میزان نفوذپذیری، ظرفیت ذخیره

روش Ward مبنای همگن‌بندی قرار گرفت. استخراج روابط رگرسیونی در واحدهای همگن انجام و تامین اعتبار روابط به دست آمده به روش‌های آزمون استقلال خطاها، بررسی توزیع نرمال خطاها و آزمون هم‌خطی انجام شد.

بررسی و آماده‌سازی اطلاعات: در بسیاری از مطالعات هیدرولوژیکی، آگاهی از میزان جریان پایه و شاخص آن از موارد ضروری می‌باشد، این در حالی است که در بیشتر موارد با فقدان و یا کمبود ایستگاه‌های هیدرومتری مواجه بوده، نیز عوامل بسیاری وجود دارند که باعث از دست رفتن آمار برخی ایستگاه‌ها می‌شوند، از این رو در ابتدا اقدام به جمع‌آوری، اصلاح، و بازسازی آمار دبی در منطقه پژوهش شد. به منظور 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.

$$Y_H = Y + K_n S_y \quad (1)$$

$$Y_L = Y + K_n S_y \quad (2)$$

که در آن‌ها، Y_H آستانه داده‌های پرت بالا به صورت لگاریتمی، Y_L آستانه داده‌های پرت پایین به صورت لگاریتمی، K_n ضریبی است که از جداول مربوطه به تعداد داده‌ها 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.

جداسازی جریان آب پایه: جداسازی جریان پایه، طی فرآیند 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 به منظور تفکیک هیدروگراف جریان توسعه یافته و در پژوهش‌های گذشته مورد استفاده قرار گرفته است. در این پژوهش، تفکیک هیدروگراف

¹ Tow Parameter Recursive Digital Filter

² Principal Component Analysis

نتایج و بحث

جریان پایه و شاخص مربوطه در ایستگاه‌های مورد نظر برای سال‌های آبی ۱۳۸۰-۱۳۵۵ به روش فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره محاسبه شد. ضرائب 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 تحلیل عاملی مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۲ نمونه‌ای از تفکیک هیدروگراف جریان و برآورد جریان پایه را در بخشی از دوره پژوهش ایستگاه آدوری با کد ۰۱۳-۴۵ را نشان می‌دهد.

آزمون تحلیل عاملی نشان داد که کلیه متغیرها در قالب شش عامل طبقه‌بندی می‌شوند که در مجموع در برگیرنده ۷۸/۷۲ درصد از واریانس داده‌ها می‌باشند (جدول ۲). پارامترهای ضریب نگهداشت حوضه و ثابت افت هیدروگراف به‌عنوان عامل اول، پارامترهای بارش متوسط سالانه، درصد‌های عدم تجاوز Q_{75} ، Q_{90} در عامل دوم و پارامترهای تبخیر و تعرق واقعی و دمای سالانه در عامل سوم، پارامتر نفوذپذیری به‌عنوان عامل چهارم، پارامتر شیب و طول رودخانه اصلی به‌عنوان عامل پنجم و پارامترهای مساحت، ارتفاع متوسط حوضه و شماره منحنی در عامل ششم به‌عنوان مؤثرترین پارامترها شناخته شدند. تصویر گرافیکی مقادیر ویژه در هر یک از عامل‌های استخراج شده در شکل ۳ نمایش داده شده است. همان‌طور که مشخص است، مقدار واریانس توجیه شده (مقدار ویژه) با استخراج عامل‌های ششم به بعد سریعاً افت می‌کند.

همگن‌بندی حوزه‌ها: یکی از روش‌هایی که می‌توان به‌وسیله آن آمار جریان را به سایر حوضه‌ها تعمیم داد، تعیین همگنی حوزه‌های آبخیز می‌باشد. در این پژوهش به‌منظور همگن‌بندی مناطق مورد نظر، از تحلیل خوشه‌ای استفاده شد. تحلیل خوشه‌ای به‌عنوان نوعی تحلیل چندمتغیره، ابزاری آماری است که در آن داده‌ها و مشاهدات بر اساس متغیرهای تعیین شده به‌وسیله محقق طبقه‌بندی می‌شوند در این روش حوضه‌ها از نظر خصوصیات فیزیکی دو به دو با هم مقایسه می‌شوند و باید از مقیاس‌های کمی استفاده کرد تا بتوان بیشترین شباهت یا کمترین فاصله بین

سطحی، بارش، تبخیر تعرق واقعی، دما، مساحت حوضه، ارتفاع متوسط حوضه، طول آبراهه اصلی، شیب، درصد عدم تجاوز ۹۰ و ۷۵ درصد و متوسط CN حوضه است. محورهای عاملی با روش واریماکس^۱ 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 Anti-image و آماره MSA^۲ 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 از جهت وارد شدن به مدل تجزیه عاملی صلاحیت دارد یا نه؟ مقادیر بزرگ MSA در جهت تایید ورود متغیر به مدل حرکت می‌کنند. پس از انتخاب متغیرهای مهم، تجزیه عاملی بر اساس این متغیرها صورت گرفته و مهم‌ترین شاخصه‌ها به‌عنوان عوامل مستقل مشخص شد. سپس روابط بین عامل وابسته شاخص جریان پایه (BFI) با سایر عوامل مستقل، با استفاده از روش رگرسیونی (رابطه ۴) مورد بررسی قرار گرفت.

$$BFI = aMr + bHc + C \quad (4)$$

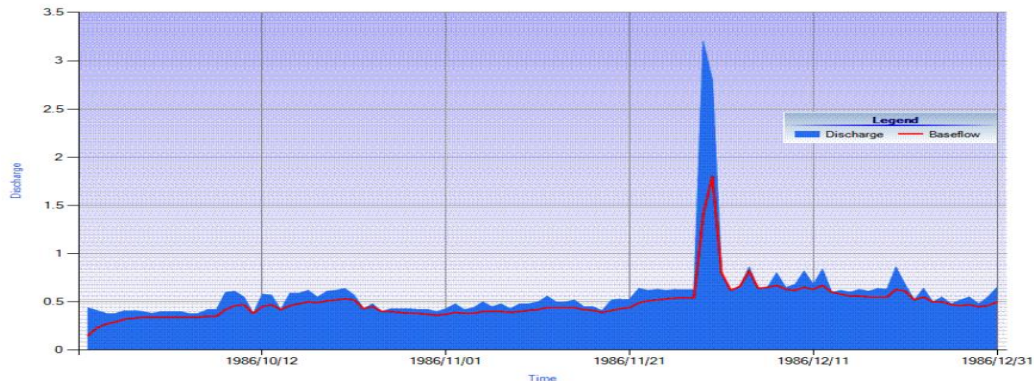
که در آن پارامترهای Mr عامل مورفومتری، Hc عامل هیدرواقليمی و شاخصه‌های a و b و c ضرایب ثابت رابطه می‌باشند. همچنین، میزان دقت مدل‌های برآوردی و نیز خطای برآوردی آن‌ها براساس معیارهای ضریب همبستگی و خطای استاندارد بررسی شد. تامین اعتبار مدل‌ها به روش‌های، آزمون استقلال خطاها، بررسی نرمال بودن توزیع خطاها و بررسی هم-خطی مورد استفاده قرار گرفت. سرانجام به لحاظ آماری با توجه به سطوح معنی‌داری کمتر از یک درصد و پنج درصد مناسب‌ترین مدل‌ها استخراج شدند.

¹ Varimax Rotation

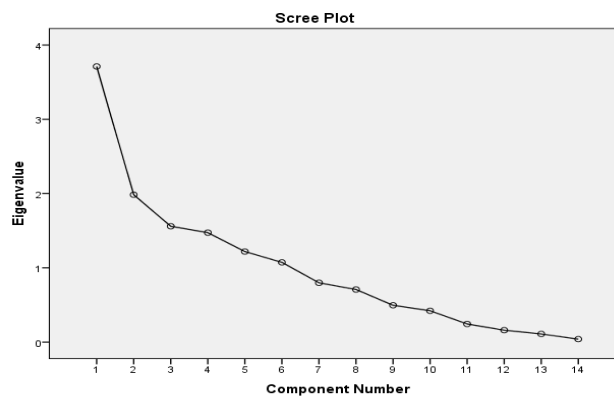
² Measure of Sampling Adequacy

مورد استفاده قرار گرفت و بعد از چهار بار تعویض گروه‌ها بر مبنای ارزیابی مدل، میزان دقت مدل برابر ۱۰۰ درصد شد.

داده‌ها و مشاهدات را اندازه‌گیری نمود. با توجه به دندوگرام استخراج شده (شکل ۴) دو گروه همگن را بر اساس فاصله اقلیدوسی ۱۵ انتخاب شدند، (جدول ۳). سپس برای اعتباریابی گروه‌ها، روش تابع تشخیص



شکل ۲- تفکیک هیدروگراف جریان به روش فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره در بخشی از دوره پژوهش ایستگاه ۰۱۳-۴۵



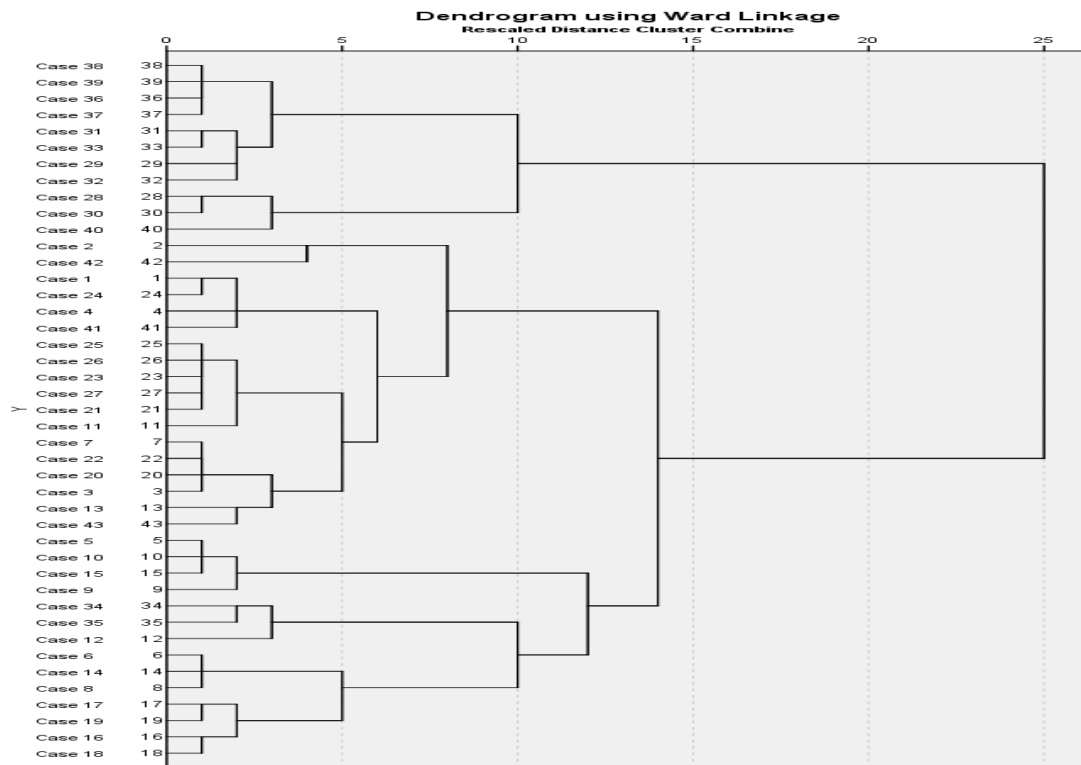
شکل ۳- مقادیر ویژه عامل‌های استخراج شده

جدول ۲- مقادیر کل درصد از واریانس توضیح داده شده براساس عوامل مستقل انتخابی درآزمون تحلیل عاملی

| عامل | درصد از واریانس | درصد واریانس تجمعی |
|------|-----------------|--------------------|
| ۱ | ۲۶/۵۰۹ | ۲۶/۵۰۹ |
| ۲ | ۱۴/۱۷۳ | ۴۰/۶۸۲ |
| ۳ | ۱۱/۱۴۰ | ۵۱/۸۲۲ |
| ۴ | ۱۰/۵۲۷ | ۶۲/۳۴۹ |
| ۵ | ۸/۷۰۸ | ۷۱/۰۵۷ |
| ۶ | ۷/۶۷۱ | ۷۸/۷۲۸ |

جدول ۳- زیرحوضه‌های انتخابی واقع در هر یک از زیرگروه‌ها

| شماره خوشه | کد ایستگاه |
|------------|---|
| ۱ | ۴۶۶۶-۴۶۶۳-۴۶۶۲-۴۶۶۱-۴۶۵۳-۴۶۴۲-۴۶۴۱-۴۶۳۳-۴۵۴۲-۴۵۴۱-۴۵۲۲ |
| ۲ | -۴۴۳۱-۴۴۲۶-۴۴۲۵-۴۴۲۴-۴۴۱۳-۲۸۶۳-۲۸۵۲-۲۸۴۳-۲۸۳۱-۲۸۲۴-۲۸۲۳-۲۸۱۵-۲۷۱۶-۲۷۱۵-۴۶۹-۴۵۵ -۴۹۱۳-۴۹۱۲-۴۶۷۷-۴۶۵۲-۴۶۵۱-۴۵۲۱-۴۵۱۵-۴۵۱۴-۴۵۱۳-۴۵۱۲-۴۵۱۱-۴۴۴۴-۴۴۴۳-۴۴۲-۴۴۴۱-۴۴۳۲ |



شکل ۴- دندوگرام بر مبنای ویژگی‌های فیزیوگرافی و اقلیمی حوزه‌های آبخیز منطقه پژوهش

دارد. مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره عامل BFI نسبت به متغیرهای مستقل نیز با استفاده از روش Stepwise در دو منطقه همگن در جدول ۴ ارائه شده است.

روابط رگرسیونی برآورد شاخص جریان پایه: نتایج روابط استخراجی با دخالت تمامی زیرحوضه‌ها، در دو منطقه همگن یک و دو، نشان داد که مقادیر BFI در برابر شاخص‌های هیدرولوژیکی و فیزیوگرافی منتخب، همبستگی معنی‌داری را در سطح کمتر از یک درصد

جدول ۴- روابط رگرسیونی در دو منطقه همگن

| منطقه همگن | خطای برآورد استاندارد | ضریب همبستگی | رابطه |
|------------|-----------------------|--------------|---|
| یک | ۰/۰۰۱ | ۰/۹۹ | $BFI = -0.007S - 0.000058H + 0.001E - 0.00002P - 0.488K - 0.004Q_{90} + 0.01S_A + 0.020F - 0.003CN + 0.492$ |
| دو | ۰/۰۲۹ | ۰/۶۵ | $BFI = 0.01CN + 0.005F + 0.007S_A - 0.016S + 0.0000558H - 0.042T - 0.001E + 0.001P - 0.171K - 0.004Q_{90} + 1.032$ |

(سانتی‌متر در ساعت)، CN شماره منحنی و T دمای متوسط سالانه (سانتی‌گراد) می‌باشد.

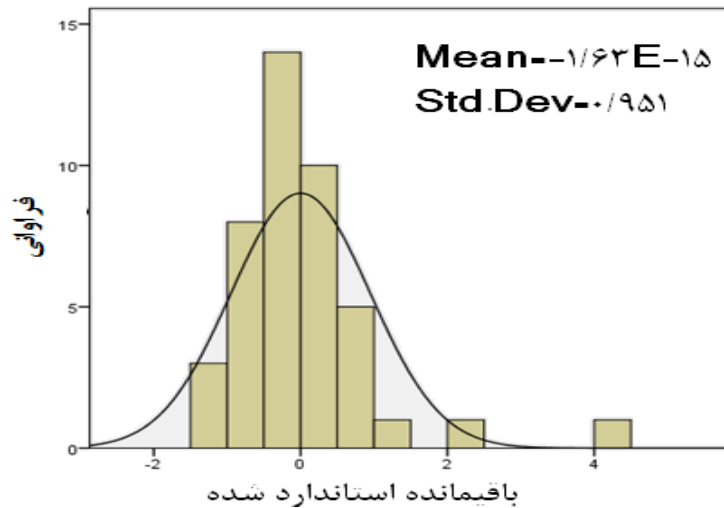
اعتبارسنجی مدل‌های رگرسیونی: نتایج اعتبارسنجی روابط رگرسیونی با استفاده از روش آزمون استقلال خطاها (روش دوربین-واتسون)، نشان داد که مقدار آماره دوربین-واتسون در این پژوهش در

که در آن‌ها، H ارتفاع متوسط حوضه (متر)، S شیب متوسط (درصد)، E تبخیر و تعرق واقعی (میلی‌متر)، P بارش متوسط سالانه (میلی‌متر)، K ثابت‌افت منحنی هیدروگراف، Q_{90} درصد عدم تجاوز، S_A ضریب نگهداشت حوضه، F نفوذپذیری

تمامی مدل‌های استخراج شده، در هر دو منطقه همگن، تقریباً نرمال است که نشان‌دهنده قابلیت استفاده از روابط رگرسیونی است، همچنین مقدار میانگین توزیع خطاها در هر دو منطقه همگن، نزدیک به صفر می‌باشد و انحراف‌معیار آن‌ها نیز تقریباً یک است. شکل ۵ توزیع خطاها برای شاخص BFI در منطقه همگن یک را نشان می‌دهد.

هر دو منطقه همگن به میزان ۱/۶۵ است که در فاصله ۱/۵ تا ۲/۵ قرار دارد و نشان‌دهنده این است که فرض استقلال خطاها پذیرفته است و معادلات رگرسیون قابل استفاده است.

بررسی نرمال بودن خطاها: با مقایسه نمودار توزیع فراوانی خطاها و نمودار توزیع نرمال حاصل از آزمون نرمال بودن خطاها مشاهده شد که توزیع خطاها در



شکل ۵- توزیع خطاها برای شاخص BFI در منطقه همگن یک

نشانگر وجود احتمال هم‌خطی بین متغیرهای مستقل است که هنگام انتخاب روابط به آن توجه شده است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از داده‌های روزانه جریان، جریان پایه و شاخص آن، به روش فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره، در ۴۳ ایستگاه آب‌سنجی مربوط به حوضه‌های درجه چهار استان کرمان در یک بازه ۲۵ ساله استخراج شد. نتایج تحلیل عاملی با استفاده از پارامترهای هیدرولوژیکی و اقلیمی و هندسی حوضه‌ها، شش عامل ثابت افت منحنی هیدروگراف، بارش متوسط سالانه، تبخیر و تعرق واقعی، نفوذپذیری، توپوگرافی (شیب و ارتفاع) و شماره منحنی را به‌عنوان عوامل مستقل موثر بر شاخص جریان پایه معرفی کرد.

تحلیل خوشه‌ای، دو گروه همگن را بر اساس فاصله اقلیدوسی ۱۵ نشان داد. روابط منطقه‌ای به روش رگرسیون خطی در سطوح معنی‌داری کمتر از

آزمون همبستگی داخلی: در جدول همبستگی داخلی، هر چقدر تورانس کم باشد. اطلاعات مربوط به متغیرها کم بوده و مشکلاتی در استفاده از رگرسیون ایجاد می‌شود و باعث می‌شود، واریانس ضرایب رگرسیون، افزایش یافته و رگرسیون را برای پیش‌بینی نامناسب می‌سازد. همچنین، مقادیر ویژه نزدیک به صفر نشان می‌دهد، همبستگی داخلی پیش‌بینی‌ها زیاد است و تغییرات کوچک در مقادیر داده‌ها به تغییرات بزرگ در برآورد ضرایب معادله رگرسیون منجر می‌شود. از طرف دیگر شاخص وضعیت با مقدار بیشتر از ۱۵ نشان‌دهنده احتمال هم‌خطی بین متغیرهای مستقل می‌باشد و مقدار بیشتر از ۳۰ بیانگر مشکل جدی در استفاده از رگرسیون در وضعیت موجود آن است.

با در نظر گرفتن موارد فوق مشخص شد که شاخص وضعیت عامل مساحت با میزان ۵۳/۶۹۷ و Q_{75} با میزان ۳۰/۰۴۹ و همچنین، با دارا بودن مقادیر ویژه نزدیک به صفر (به ترتیب ۰/۰۰۳ و ۰/۰۱۰)

تقدیر و تشکر

این پژوهش با استفاده از امکانات پژوهشکده حفاظت- خاک و آبخیزداری به انجام رسیده است. بدین وسیله از همراهی و مساعدت مسئولین محترم پژوهشکده تشکر می‌نماییم.

یک درصد با ضریب تبیین ۰/۹۹ به‌دست آمد. نتایج اعتبارسنجی روابط رگرسیونی به روش‌های آزمون استقلال خطاها، بررسی نرمال بودن توزیع خطاها و هم‌خطی، قابلیت استفاده از روابط منطقه‌ای استخراج شده را نشان داد.

منابع مورد استفاده

- 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.
- Beck, H.E., A.I.J.M. van Dijk, D.G. Miralles, R.A.M. de Jeu, L.A. Bruijnzeel, T.R. McVicar and J. Schellekens. 2013. Global patterns in base flow index and recession based on streamflow observations from 3394 catchments. *Water Resources Research*, 49(12): 7843-7863.
- Blöschl, G., M. Sivapalan, T. Wagener, A. Viglione and H. Savenije. 2013. *Runoff prediction in Ungauged Basins: synthesis across processes places and scales*. Cambridge University Press, New York.
- 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.
- 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.
- 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. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 41: 1177-1186.
- 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.
- 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*, 28 November to 2 December, Auckland, New Zealand.
- 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. *Geoderma*, 123(3-4): 343-354.
- Chapman, T.G. and A.I. Maxwell. 1996. Base flow separation-comparison of numerical methods with tracer experiments. *Proceedings of the Hydrological and Water Resources Symposium*. Institution of Engineers Australia, Hobart, 11: 539-545.
- Choi, W. 2008. Catchment-scale hydrological response to climate-land-use combined scenarios: a case study for the Kishwaukee River basin, Illinois. *Physical Geography*, 29(1): 79-99.
- Choi, W., P.F. Rasmussen. A.R. Moore and S.J. Kim. 2009. Simulating streamflow response to climate scenarios in central Canada using a simple statistical downscaling method. *Climate Research*, 40(1): 89-102.
- 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), *Renew. Energy*, 36: 2940-2950.
- Delin, G.H. 2007. Comparison of local to regional scale estimates of ground water recharge in Minnesota, USA. *Journal of Hydrology*, 334: 231-249.
- Ghanbarpor, M., M. Teymori and SH.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).
- 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. *Watershed Engineering and Management*, 5(2): 85-93 (in Persian).
- Kazemi, R., H. Davoodi, M.J. Soltani and A. Sarreshtedari. 2013. Investigation of land use change on base flow index, case study: Taleghan catchment. *Engineering and Management*, 5(1): 1-8 (in Persian).

18. Krakauer, N.Y. and M. Temimi. 2011. Stream recession curves and storage variability in small watersheds. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15: 2377–2389.
19. Longobardi, A. and P. Villani. 2008. Baseflow index regionalization analysis in a Mediterranean area and data scarcity context: role of the catchment permeability index. *Journal of Hydrology*, 355: 63–75.
20. 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. *Physics and Chemistry of the Earth*, 30: 639-647.
21. Nathan, R.J and T.A. McMahon. 1990. Identification of homogeneous regions for the purposes of regionalization. *Journal of Hydrology*, 121: 217-238.
22. Nathan, R.J. and T.A. McMahon. 1992. Estimating low flow characteristics in ungauged catchments. *Water Resources Management*, 6: 85-100.
23. Neff, B.P., S.M. Day, A.R. Piggott and L.M. Fuller. 2005. Base flow in the Great Lakes basin. *Scientific Investigations Report 2005-2517*. Reston, VA: US Geological Survey.
24. 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 baseflow recession in tropical catchments. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14: 2193–2205.
25. 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.
26. 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. *Water Resources Research*, 47: 16-25.
27. Santhi, C., P.M. Allen, R.S. Muttiah, J.G. Arnold and P. Tuppada. 2008. Regional estimation of base flow for the conterminous United States by hydrologic landscape regions. *Journal of Hydrology*, 351: 139-153.
28. Smakhtin, V.Y. 2001. Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*, 240: 147-186.
29. Stuckey, M. 2006. Low flow, base flow and mean flow regression equations for pennsylvania streams. *pennsylvania: Us Geological Survey Scientific Investigations*.
30. Tague, C., G.E. Grant, M. Farrell, J. Choate and A. Jefferson. 2008. Deep groundwater mediates streamflow response to climate warming in the Oregon Cascades. *Climate Change*, 86: 189–210
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 Azerbaijan Province. *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. 2009. How does landscape structure influence catchment transit time across different geomorphic provinces? *Hydrological Processes*, 23: 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. *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.