نشریه علمی- پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۵، شماره ۲، ۱۳۹۲، صفحات ۸۵-۹۳

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 5, Issue 2, 2013, Pages 85-93

بررسی نقش سازندهای زمین‌شناسی و پارامترهای هیدرولوژیکی بر شاخص جریان پایه، مطالعه موردی: ناحیه خزری

رحیم کاظمی*[۱] و علیرضا اسلامی[۲]
[۱] مربی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و [۲] استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۴/۰۹

چکیده

جریان پایه و شاخص مربوطه که متاثر از عوامل مورفومتری، زمین‌شناسی و هیدرواقلیمی است، همواره یکی از موضوعات مهم در هیدرولوژی بوده و اطلاع از میزان آن، نقش به‌سزایی در برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه منابع آب دارد. در این پژوهش با استفاده از داده‌های جریان روزانه رودخانه، جریان پایه و شاخص آن، از روش فیلتر رقومی برگشتی یک پارامتره، در ۱۸ ایستگاه آب‌سنجی حوضه خزری، استخراج شد. پارامترهای فیزیوگرافی محاسبه و عوامل هیدرولوژیکی، اقلیمی و زمین‌شناسی در محیط GIS برآورد شد. با استفاده از روش آزمون تحلیل عاملی از بین ۱۸ پارامتر مؤثر در شاخص جریان پایه، پنج عامل به‌عنوان عوامل مستقل انتخاب شدند. سپس روابط تحلیل منطقه‌ای به‌روش‌های رگرسیون خطی، توانی، نمایی و چندمتغیره در سطوح معنی‌داری کمتر از یک و پنج درصد به‌دست آمد. علاوه براین، به‌منظور مقایسه و ارزیابی صحت و کارآیی مدل‌های برآوردی، روش آنالیز باقی‌مانده‌ها نیز مورد استفاده قرار گرفت. از بین عامل‌های زمین‌شناسی مشخصاً سازندهای سخت، از بین عوامل مورفومتری، پارامترهای متوسط ارتفاع و تراکم زهکشی حوضه و از جنبه قابلیت اراضی نیز عامل سطح جنگلی، در روش رگرسیون‌های چند متغیره به‌عنوان بهترین برآورد کننده شاخص جریان پایه رودخانه‌ها، تشخیص داده شدند. همچنین، با توجه به مدل‌های رگرسیون خطی، توانی و نمایی تک‌متغیره، پارامتر Q_{90}/Q_{50} به‌عنوان موثرترین عامل هیدرولوژیکی در تخمین شاخص جریان پایه در منطقه تعیین شد. همراهی سازندهای سخت کربناته با نهشته‌های کواترنری و همچنین، سازندهای سخت غیرکربناته با عامل‌های مورفومتری و درصد پوشش جنگلی در مدل‌های به‌دست آمده، موید نقش کنترل‌کننده عامل زمین‌شناسی بر جریان پایه است.

واژه‌های کلیدی: جریان روزانه، سازند کربناته، فیلترهای رقومی، مدل‌های منطقه‌ای، واحدهای سنگ‌شناسی

مقدمه

مشخصه‌های هیدرولوژیکی حوضه‌ها مانند جریان پایه، به‌وسیله پارامترهای فیزیکی مختلف، قابل برآورد است (Nathan و McMahon، ۱۹۹۰). مشخصه‌های فیزیکی عمدتا، شامل پارامترهای فیزیوگرافی بوده و ممکن است پارامترهای زمین‌شناسی نیز از دیدگاه هیدروژئولوژی مورد استفاده قرار گیرد. در این میان یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های هیدروژئولوژیکی که در

* نویسنده مسئول: ra_hkazemi@yahoo.com

پژوهش‌های مختلف بر آن تاکید شده، شاخص جریان پایه[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. این شاخص، بیانگر اطلاعاتی در خصوص مشارکت آب‌های زیرزمینی در آب‌های سطحی است، که ممکن است تحت تاثیر زمین‌شناسی حوضه قرار داشته باشد (Nathan و McMaho ، ۱۹۹۲). براساس نتایج مطالعات McGuire و همکاران (۲۰۰۵) مناطقی که پوشیده از سنگ‌های نفوذپذیر و قابل انحلال است و یا دارای سیستم درز و شکاف زیاد می‌باشد، ارتباط آب‌های زیرزمینی و سطحی بسیار مهم است. در مقابل، مناطقی که پوشیده از سنگ بستر بلورین یا توده‌ای با حداقل شکستگی است، نمی‌تواند مقدار قابل ملاحظه‌ای ذخیره آب داشته باشد و ارتباط آب‌های زیرزمینی، با آب‌های سطحی بسیار ضعیف است. از نظر Delinom (۲۰۰۹) علاوه‌بر سنگ بستر، ساختارهای زمین‌شناسی نیز اهمیت زیادی در هیدرولوژی جریان پایه دارد. نتایج پژوهش‌های Konrad (۲۰۰۶) و Arnott و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که مناطق محصور بین واحدهای زمین‌شناسی، مناطق مهمی از نظر ارتباط بین آب‌های سطحی و زیرزمینی هستند. از نظر این محققین زمین‌شناسی حوضه یک اثر غیرمستقیم بر روی جریان پایه دارد و آن تأثیر بر روی شبکه هیدروگرافی است، زیرا در حوضه‌هایی که ساختار تکتونیکی داشته باشند، شبکه آبراهه‌ای از این ساختارها تبعیت می‌کند.

در دهه اخیر، پژوهش‌های مختلفی در زمینه بررسی نقش عوامل زمین‌شناسی در جریان پایه و شاخص مربوط به آن، انجام شده است. در پژوهشی Haberlandt و همکاران (۲۰۰۱) علاوه بر پارامترهای زمین‌شناسی از مشخصه‌های فیزیکی، مانند تخلخل موثر و هدایت هیدرولیکی اشباع برای بررسی روابط شاخص جریان پایه استفاده کردند. اما در پژوهش‌های آنان، به‌دلیل دخالت دادن عوامل جانبی دیگر و عدم تفکیک واحدهای زمین‌شناسی بر مبنای مشخصه‌های هیدروژئولوژیکی، نقش پارامترهای زمین‌شناسی به‌طور کاملا مجزا مورد بررسی قرار نگرفت. در پژوهشی که در کشور تانزانیا، توسط Mazvimavi و همکاران (۲۰۰۵) انجام شد، واحدهای زمین‌شناسی تفکیک و ارتباط آن با شاخص جریان پایه به‌روش رگرسیونی و شبکه عصبی مورد پژوهش قرار گرفت. نتایج نشان داد که ارتباط ضعیفی بین لیتولوژی و شاخص جریان پایه در منطقه مورد پژوهش وجود دارد. ایشان، این موضوع را به وضعیت آب‌های زیرزمینی منطقه که در اعماق بسیار پایین قرار دارند و غیر مرتبط با سطح هستند، مربوط دانستند.

در پژوهش‌های انجام شده توسط Abebe و Foerch (۲۰۰۶) و Santhi و همکاران (۲۰۰۸) نقش زمین‌شناسی، در شاخص جریان پایه بررسی و تأثیر آن به‌طور کیفی، تحلیل شده است. نقش کنترل‌کننده، واحدهای سنگ‌شناسی بر روی شاخص جریان پایه، با استفاده از روابط رگرسیونی، توسطBloomfield و همکاران (۲۰۰۹) در یک حوزه آبخیز، در کشور انگلستان بررسی شد. آن‌ها مدل‌های مناسب رگرسیونی شاخص جریان پایه را نسبت به میزان پوشش سطحی واحدهای سنگ‌شناسی، ارائه کردند. روش‌های متعددی برای جداسازی جریان پایه از جریان رودخانه توسعه یافته وجود دارد که عمدتا در سه گروه روش‌های گرافیکی، فیلترینگ و روش‌های مبتنی بر ردیاب‌های شیمیایی قابل طبقه‌بندی است (Brodie و Hostetle، ۲۰۰۵). جداسازی جریان پایه به‌روش گرافیکی اغلب زمان‌بر و غیردقیق است و نتایج به‌دست آمده توسط متخصصین مختلف یکسان نمی‌باشد. 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، علاوه‌بر سهولت و قابلیت تشخیص مناسب در تعیین دبی پایه، حساسیت بالایی نسبت به پارامترها دارد. همچنین، به‌دلیل قابلیت اتوماتیک 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، هزینه‌بر بودن روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها، محققین بسیاری نسبت به ارزیابی و مقایسه روش‌های مختلف تفکیک هیدروگراف جریان اقدام نموده‌اند و الگوریتم‌های رقومی مختلفی را

[1] Base Flow Index

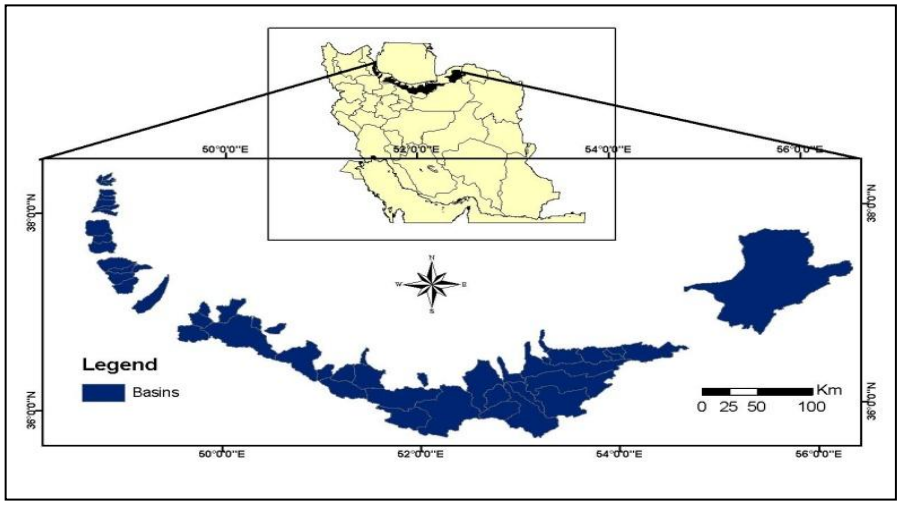
پیشنهاد داده‌اند. در این پژوهش از روش فیلتر رقومی برگشتی تک پارامتره برای استخراج شاخص جریان پایه استفاده شده است. این روش توسط محققین مختلفی از جمله، Ghanbarpor و همکاران (۲۰۰۸)، Teimouri و همکاران (۲۰۱۱) توصیه شده است.

یکی از روش‌های کسب اطلاع در خصوص جریان‌های پایه، تحلیل منحنی تداوم جریان و استخراج شاخص‌های مرتبط با آن می‌باشد. برخی صدک‌های استخراج شده از منحنی تداوم جریان، اغلب به‌عنوان شاخص‌های کلیدی در مطالعات جریان کمینه مورد استفاده قرار می‌گیرند. شاخص‌های متعددی برای نمایش مشخصه‌های رژیم جریان کمینه یک رودخانه معرفی شده‌اند که عمومی‌ترین آن‌ها شامل Q_{90}، Q_{95}، Q_{90}/Q_{50} می‌باشد. در میان آن‌ها نسبت دبی با احتمال عدم تجاوز ۹۰ درصد و ۵۰ درصد (Q_{90}/Q_{50}) یک نسبت معمولی است که برای نشان دادن مشارکت جریان آب زیرزمینی در جریان رودخانه استفاده می‌شود (Smakhtin، ۲۰۰۱).

تا کنون پژوهشی در خصوص تأثیر لیتولوژی بر شاخص جریان پایه در داخل کشور ایران مشاهده نشده است. با توجه به این‌که حسب نتایج با پژوهش‌های Stuckey (۲۰۰۶) و Delin (۲۰۰۷) جریان پایه به‌علت تأثیرات عوامل مختلف مانند کاربری اراضی، خاک، اقلیم، پوشش، توپوگرافی و زمین‌شناسی از نظر زمانی و مکانی متغیر است. براین اساس پژوهش در خصوص اثرات لیتولوژی، بر روی جریان پایه در یک حوزه آبخیز معین، موجب دستیابی به اطلاعاتی برای استفاده در مدیریت منابع آب حوزه خواهد شد. در این تحقیق نقش هر یک از عوامل مورفومتری، اقلیمی، هیدرولوژیکی و لیتولوژی حوضه در تعیین شاخص جریان پایه که نسبتی از سهم مشارکت آب‌های زیرزمینی به کل رواناب بوده، در تعدادی از حوزه‌های آبخیز شمال کشور مورد پژوهش قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

محدوده این پژوهش شامل تعداد ۱۸ حوضه واقع در نوار ساحلی دریای خزر است که بین عرض جغرافیایی $^{\circ}$۳۵ و $'$۴۵ شمالی و طول جغرافیایی $^{\circ}$۳۸ و $'$۲۵ شرقی واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱- منطقه مورد پژوهش

منطقه مورد پژوهش متاثر از آب و هوای خزری و مدیترانه‌ای است و عمدتا دارای کاربری جنگلی، مرتعی و کشاورزی می‌باشد. حداکثر بارش سالیانه در دوره مورد پژوهش با میزان ۱۱۳۱ میلی‌متر متعلق به حوضه خطبه‌سرا و حداقل آن مربوط به حوضه نور با ۵۰۵ میلی‌متر است. سازندهای سخت کربناته دارای گسترش مناسب می‌باشند و حدود ۲۸ درصد سطح منطقه مورد پژوهش را پوشش می‌دهند. حداکثر پوشش سطحی سازندهای کربناته متعلق به حوضه سموش هراتبر با پوشش سطحی ۷۵ درصد می‌باشد. سازندهای سخت

غیرکربناته عمدتا شامل، ماسه‌سنگ، شیل، آندزیت و توف‌های بازالتی است و به‌طور متوسط ۶۴ درصد پوشش سطحی منطقه پژوهش را تشکیل داده‌اند. در این خصوص حداکثر پوشش سطحی آن در حوزه چوبر (بالامحله) با ۹۹ درصد پوشش سطحی است. سازندهای دوره چهارم عمدتا شامل نهشته‌های پادگانه و مخروط‌افکنه‌های جوان و قدیم و نهشته‌های ماسه بادی است. سازندهای تبخیری، و سازندهای کواترنر گسترش بسیار اندک و قابل اغماض با متوسط پوشش سطحی دو و سه درصد را دارند. مشخصه‌های پایه حوزه‌های مورد پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

برای انجام پژوهش حاضر، ابتدا با بررسی داده‌های دبی روزانه ایستگاه‌های آب‌سنجی، تعداد ۱۸ ایستگاه با آمار مناسب و دوره مشترک آماری سال‌های آبی ۱۳۷۵-۱۳۶۵ انتخاب شد. با توجه به اهمیت صحت و دقت آمار در مطالعات هیدرولوژی، کوشش شده است تا ایستگاه‌های دارای آمار کامل و بدون نیاز به بازسازی انتخاب شود.

همچنین، با استفاده از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و تعیین موقعیت ایستگاه‌ها، محدوده مورد پژوهش مشخص و پارامترهای اولیه حوزه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، استخراج شد. سپس شاخص جریان پایه با استفاده از داده‌های روزانه جریان و پس از کنترل سری زمانی، به‌وسیله نرم‌افزار Hydro Office (۲۰۱۰) به‌روش فیلتر رقومی برگشتی تک پارامتره، استخراج شد. واحدهای سنگ‌شناسی با استفاده از نقشه زمین‌شناسی رقومی شده، با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ و براساس نظرات کارشناسی به چهار طبقه عمده تقسیم و مساحت تحت پوشش هر واحد در هر حوزه محاسبه شد.

جدول ۱- مشخصه‌های حوضه‌های مورد پژوهش

نام حوزه	شماره ایستگاه هیدرومتری	شاخص جریان پایه	نسبت Q90/Q50	ارتفاع متوسط (m)	بارش متوسط سالیانه (mm)	سازند های کربناته (%)	سازند های غیرکربناته(%)	سازند های کواترنر (%)	رسوبات تبخیری (%)	کاربری کشاورزی (%)	کاربری جنگل (%)	کاربری مرتع (%)
سلیمان تنگه-تجن	۱۳-۰۱۹	۰/۵۲	۰/۶۳	۲۰۹۵	۶۵۷	۰/۴۳	۰/۴۵	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۶۰	۰/۲۱
شیرگاه(کسیلیان)	۱۴-۰۰۵	۰/۵۹	۰/۳۰	۱۸۳۱	۹۷۹	۰/۰۵	۰/۵۰	۰/۰۰	۰/۴۵	۰/۰۲	۰/۹۸	۰/۰۰
بابلرود(قران طالار)	۱۴-۰۱۱	۰/۵۱	۰/۶۴	۱۶۹۲	۹۷۱	۰/۳۵	۰/۵۷	۰/۰۰	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۹۱	۰/۰۳
نور	۱۵-۰۱۵	۰/۵۱	۰/۶۰	۲۷۲۲	۵۰۵	۰/۱۴	۰/۷۹	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۹۵
کره سنگ	۱۵-۰۱۷	۰/۵۰	۰/۷۲	۲۹۸۹	۵۳۶	۰/۳۳	۰/۵۵	۰/۱۱	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۱۴	۰/۷۹
چالوس	۱۶-۰۲۱	۰/۵۳	۰/۶۶	۲۳۷۸۰	۵۴۴	۰/۳۳	۰/۵۵	۰/۱۲	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۵۱	۰/۴۷
سردابرود-	۱۶-۰۲۳	۰/۵۱	۰/۴۵	۳۰۳۰	۶۲۵	۰/۲۶	۰/۷۲	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۶	۰/۸۲
چشمه گیله-هراتبر	۱۶-۰۴۱	۰/۵۰	۰/۷۱	۲۴۱۰	۶۲۰	۰/۳۷	۰/۵۹	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۵۶	۰/۴۳
سموش(هراتبر)	۱۶-۰۵۹	۰/۶۳	۰/۳۸	۱۸۶۶	۱۰۱۹	۰/۷۵	۰/۲۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۷۳	۰/۲۷
توتکابن	۱۷-۰۴۵	۰/۵۶	۰/۳۸	۱۴۴۰	۴۲۷	۰/۲۰	۰/۷۹	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۵۹	۰/۴۰
زیلکی(شهر بیجار)	۱۷-۰۵۱	۰/۶۵	۰/۲۲	۱۴۱۳	۷۲۷	۰/۳۹	۰/۶۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۹۵	۰/۰۴
دیشام(پاشاکی)	۱۷-۰۵۵	۰/۶۹	۰/۱۹	۷۳۵	۱۰۸۰	۰/۳۴	۰/۵۳	۰/۱۲	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۹۶	۰/۰۰
رودبارسرا-	۱۸-۰۱۹	۰/۵۹	۰/۴۳	۱۳۶۴	۱۱۱۰	۰/۲۸	۰/۷۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۷	۰/۰۳
شفارود(پونل)	۱۸-۰۲۱	۰/۵۶	۰/۴۳	۱۵۰۴	۱۰۷۴	۰/۲۷	۰/۷۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۸۵	۰/۱۵
کرکانرود(گرگانرود)	۱۸-۰۲۹	۰/۵۴	۰/۴۹	۱۶۳۹	۸۴۵	۰/۰۹	۰/۹۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۸۸	۰/۱۲
شیر آباد	۱۸-۰۳۵	۰/۶۰	۰/۲۵	۱۵۵۱	۹۴۲	۰/۰۵	۰/۹۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۹۵	۰/۰۲
چوبر(بالا محله)	۱۸-۰۳۹	۰/۶۰	۰/۱۸	۱۲۰۳	۱۰۱۵	۰/۰۱	۰/۹۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰
خطبه سرا	۱۸-۰۵۵	۰/۵۹	۰/۲۷	۱۱۹۰	۱۱۳۱	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰

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 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 یک پارامتره و پس از بررسی و آماده‌سازی داده‌های روزانه جریان و به‌وسیله نرم‌افزار Hydro Office (۲۰۱۰) انجام شد. با استفاده از قابلیت نمایش گرافیکی نرم‌افزار و به‌کار 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 یک پارامتره: روش فیلتر رقومی برگشتی برای تحلیل و پردازش سیگنال‌های با فرکانس بالا از فرکانس پایین معرفی شده است، فیلتر رقومی تک پارامتره با الگوریتم ذیل اولین‌بار توسط Chapman و Maxwell (۱۹۹۶) معرفی شد.

$$q = \frac{k}{2-k} q_{b(i-1)} + \frac{1-k}{2-k} q_{(i)} \qquad (۱)$$

که در آن، q رواناب مستقیم در زمان i ام، $q_{b(i)} \le q_{(i)}$، k پارامتر فیلتر قابل تعیین به‌وسیله ثابت افت، $q_{b(i-1)}$ جریان پایه فیلتر شده برای زمان قبل از i و $q_{(i)}$ جریان اصلی رودخانه برای زمان i است. الگوریتم فوق حساسیت بالایی نسبت به پارامترها دارد و به‌دلیل قابلیت اتوماتیک کردن، فاقد مشکلات ناشی از عدم همخوانی نتایج توسط افراد مختلف است و به علت قابلیت اعمال چندباره بر داده‌ها، باعث نرم‌شدگی منحنی حاصله و کمتر شدن خطای احتمالی می‌شود.

تفکیک واحدهای زمین‌شناسی: با توجه به اهمیت لیتولوژی از منظر منابع آب و ویژگی‌های سنگ‌شناسی، از دیدگاه امکان نفوذ آب و ذخیره شدن آن، تعداد ۸۴ واحد سنگ‌شناسی مختلف، را به چهار دسته به‌شرح ذیل تقسیم و درصد پوشش سطحی هر کدام در حوزه‌های مورد پژوهش تعیین شد.

۱- **سازندهای سخت کربناته**[1]: نظر به اهمیت سنگ‌های آهکی از دیدگاه تشکیل منابع آب و ویژگی انحلال‌پذیری آن‌ها، از منظر امکان ایجاد پدیده کارست‌شدگی، کلیه واحدهای سنگ‌شناسی آهکی، تحت نام سنگ‌های کربناته، تفکیک و به‌عنوان یک پارامتر در نظر گرفته شد. البته از نظر هیدروژئولوژی سنگ‌های کربناته قابلیت تقسیم‌بندی به زیر تقسیمات بسیاری را دارد، به‌دلیل اینکه گستردگی واحدها منجر به عدم امکان نتیجه‌گیری لازم در خصوص بررسی نقش لیتولوژی در اهداف مورد نظر این پژوهش می‌شد. بدین لحاظ اقدام به تجمیع کلیه زیر تقسیمات در یک واحد، تحت عنوان واحد، سازندهای سخت کربناته شد.

۲- **سازندهای سخت غیرکربناته**[2]: با توجه به تفاوت مشهود سازندهای سخت غیرکربناته با سازندهای کربناته در تأثیر آن‌ها در منابع آب‌های زیرزمینی، کلیه سازندهای سخت غیرکربناته، شامل رسوبی، دگرگونی و آذرین، در یک واحد، تحت عنوان سازندهای سخت غیرکربناته تجمیع شد.

۳- **واحد آبرفت‌های کواترنر:** نظر به اهمیت واحدهای رسوبی کواترنر از منظر شرایط مناسب نفوذپذیری و تشکیل منابع آب، کلیه واحدهای رسوبی کواترنر، شامل آبرفت‌ها، نهشته‌های پادگانه و مخروط افکنه‌های جوان و قدیم، کنگلومرای با جورشدگی‌های متفاوت و نهشته‌های ماسه‌ای تحکیم نیافته و تپه‌های شنی در یک واحد، تحت عنوان واحد آبرفت‌های کواترنر تجمیع شد.

۴- **رسوبات تبخیری و کولابی:** این رسوبات عموما نقش منفی در منابع آب ایفا می‌کنند و دارای نفوذپذیری کمی هستند، لذا کلیه واحدهای تبخیری وکولابی اعم از مارنی و گچی، تحت عنوان واحد رسوبات تبخیری و کولابی نام‌گذاری و تجمیع شد.

تجزیه و تحلیل عاملی برای شناخت عوامل مستقل موثر بر شاخص جریان پایه: در این پژوهش روش تجزیه و تحلیل عاملی به‌روش (PCA)[3] با استفاده از نرم‌افزار SPSS برای ۱۸ متغیر فیزیوگرافی، اقلیمی و

[1] Carbonate Hard Formation
[2] Non Carbonate Hard Formation
[3] Principal Component Analysis

زمین‌شناسی در حوضه‌های منتخب به‌کار برده شد. متغیرهای مورد استفاده شامل ویژگی‌های مختلف حوضه، از جمله مساحت، تراکم زهکشی، ضریب گراولیوس، ارتفاع متوسط، بارش متوسط، نسبت Q_{90}/Q_{50}، شاخص جریان پایه، درصد مساحت سازندهای سخت کربناته، درصد مساحت سازندهای سخت غیرکربناته، درصد مساحت سازندهای آبرفتی کواترنر، درصد مساحت زمین‌های کشاورزی، درصد مساحت جنگل، درصد مساحت مرتع، زمان تمرکز، درصد مساحت سازندهای تبخیری، طول آبراهه اصلی، شیب متوسط و شیب رودخانه اصلی می‌باشند.

با توجه به پیچیدگی نتایج حاصل از تحلیل عاملی و به منظور به حداکثر رساندن واریانس بارهای هر یک از عامل‌ها و تسهیل در تفسیر ساختار عاملی و ایجاد استقلال در عامل‌ها، محورهای عاملی با روش واریماکس[1] دوران یافت. سپس با استفاده از روش مدل رگرسیونی، ماتریس امتیازات عاملی استخراج شد. برای خارج کردن متغیرهای غیرضروری و توجه به هم‌بستگی جزئی، از ماتریس هم‌بستگی Anti-image و آماره MSA[2] استفاده شد. به‌طوری‌که هر متغیر که دارای کمترین مقدار MSA بود، با در نظر گرفتن سطوح معنی‌داری ماتریس ضرایب هم‌بستگی میان متغیرها، از مجموعه متغیرها حذف شد. پس از انتخاب متغیرهای مهم، تجزیه عاملی براساس این متغیرها صورت گرفته و مهم‌ترین پارامترها به‌عنوان عوامل مستقل مشخص شد. سپس روابط بین عامل وابسته شاخص جریان پایه (BFI) با سایر عوامل مستقل، با استفاده از روش رگرسیونی (رابطه ۱) در حالت‌های مختلف خطی، توانی، نمایی و لگاریتمی مورد بررسی قرار گرفت.

$$BFI = aLi + bMr + cHc + d \qquad (۱)$$

که در آن، Li عامل زمین‌شناسی، Mr عامل مورفومتری، Hc عامل هیدرواقلیمی و پارامترهای a و b و c ضرایب ثابت رابطه می‌باشند. همچنین، میزان دقت مدل‌های برآوردی و نیز خطای برآوردی آن‌ها براساس معیارهای ضریب تعیین و خطای استاندارد بررسی شد. ضمن آنکه دقت و کارآیی مدل پرکاربرد خطی تک متغیره با استفاده از آزمون باقی‌مانده‌ها نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. در نتیجه به لحاظ آماری با توجه به سطوح معنی‌داری کمتر از یک و پنج درصد مناسب‌ترین مدل‌ها استخراج شدند.

[1] Varimax Rotation
[2] Measure of Sampling Adequacy

نتایج و بحث

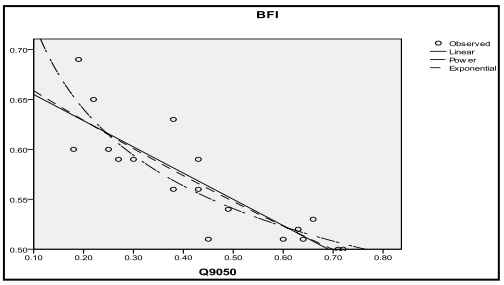
در نتیجه بررسی ماتریس هم‌بستگی، متغیرهای زمان تمرکز و سطح حوزه به‌دلیل هم‌بستگی شدید داخلی با برخی عوامل مانند Forest، Range، از فرآیند تحلیل عاملی حذف شدند. آزمون تحلیل عاملی نشان داد که کلیه متغیرها در قالب پنج عامل طبقه‌بندی می‌شوند که در مجموع در برگیرنده ۸۹/۹ درصد از واریانس داده‌ها می‌باشند (جدول ۲). عوامل ارتفاع متوسط، درصد مساحت پوشش جنگلی و مرتعی و نیز نسبت هیدرولوژیکی Q_{90}/Q_{50} در قالب عامل اول، سازندهای سخت کربناته و غیرکربناته از میان عوامل زمین‌شناسی در عامل دوم، درصد مساحت زمین‌ها با کاربری کشاورزی در عامل سوم، عامل تراکم زهکشی حوضه در عامل چهارم و نهشته‌های کواترنری نیز در عامل پنجم به‌عنوان مؤثرترین پارامترها شناخته شدند.

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	۳۷/۷۵۱	۳۷/۷۵۱
۲	۱۹/۴۵۱	۵۷/۲۰۱
۳	۱۱/۳۵۷	۶۸/۵۵۸
۴	۱۱/۲۷۱	۷۹/۸۲۹
۵	۱۰/۰۹۸	۸۹/۹۲۸

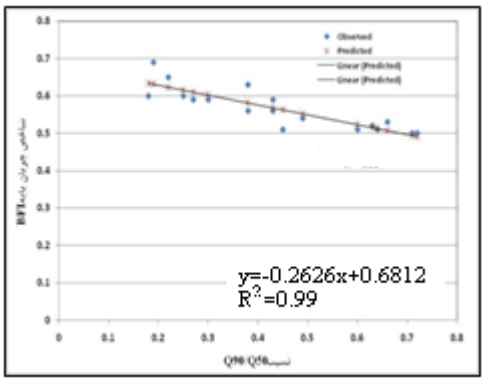
روابط رگرسیونی برآورد شاخص جریان پایه: نتایج روابط استخراجی با دخالت تمامی زیرحوزه‌ها، نشان داد که مقادیر BFI در برابر نسبت Q_{90}/Q_{50} به‌عنوان پارامتر مستقل برگرفته از عوامل هیدرولوژیکی، هم‌بستگی معنی‌داری را در سطح کمتر از یک درصد به‌صورت مدل‌های تک متغیره خطی، توانی و نمایی دارد (روابط ۲ تا ۴).

در این ارتباط نمودار شکل ۲ پراکنش مقادیر شاخص جریان پایه در مقابل نسبت Q_{90}/Q_{50} برای زیرحوضه‌های مورد پژوهش در برازش آنان با مدل‌های خطی، توانی و نمایی را نشان می‌دهد. در همین راستا دقت و کارآیی مدل خطی از بین حالت‌های مختلف مدل با استفاده از روش مقادیر باقی‌مانده حاصل از برآورد مدل و هم‌بستگی آن در برابر مشاهدات در نمودار شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۲- مقایسه حالت‌های مختلف مدل برآوردی BFI در برابر مقادیر مشاهداتی نسبت Q90/Q50

همچنین، عامل مورفومتری ارتفاع متوسط حوضه نیز با شاخص جریان پایه رودخانه‌ها ارتباط معنی‌داری در سطح یک درصد مطابق رابطه (۵) نشان داد. مدل‌های رگرسیونی چند متغیره عامل BFI نسبت به متغیرهای مستقل نیز با استفاده از روش Enter و Stepwise به‌ترتیب در روابط (۶) الی (۹) و (۱۰) الی (۱۲) ارائه شده است.



شکل ۳- آنالیز باقی‌مانده مدل برآوردی نسبت به مشاهده‌ای در رابطه خطی

$$BFI = -0.263(Q90/Q50) + 0.681 \qquad R^2 = 0.75,\ S.E = 0.029 \qquad (۲)$$

$$Log(BFI) = -0.185Log(Q90/Q50) + 0.476 \qquad R^2 = 0.77,\ S.E = 0.048 \qquad (۳)$$

$$BFI = 0.69e^{-0.461(Q90/Q50)} \qquad R^2 = 0.77,\ S.E = 0.047 \qquad (۴)$$

$$BFI = -3.225 \times 10^{-5} Hb + 0.597 \qquad R^2 = 0.72,\ S.E = 0.012 \qquad (۵)$$

$$BFI = -0.283(Q90/Q50) - 8.9 \times 10^{-4} \times NCHF + 0.748 \qquad R^2 = 0.84\ ,S.E = 0.024 \qquad (۶)$$

$$BFI = -2.27 \times 10^{-5} H_b - 0.24(Q90/Q50) + 0.001 \times CHF + 0.003 \times Q_A + 0.683 \qquad R^2 = 0.9\ ,S.E = 0.019 \qquad (۷)$$

$$Log(BFI) = -0.124 \times Log(DD) - 0.195 \times Log(Q90/Q50) - 0.072 \times Log(NCHF) - 0.141 \qquad R^2 = 0.87\ ,S.E = 0.016 \qquad (۸)$$

$$Log(BFI) = -0.083 \times 10^{-5} \times Log(H_(b"")\ )_"") - 0.087Log(DD) - 0.152 \times Log(Q90/Q50) - 0.08 \times Log(NCHF) - 0.06 \times Log(Forest) + 0.153 \qquad R^2 = 0.9\ ,S.E = 0.015 \qquad (۹)$$

$$Log(BFI) = -0.214 \times Log(Q90/Q50) - 0.03 \times Log(CHF) - 0.373 \qquad R^2 = 0.86\ ,S.E = 0.016 \qquad (۱۰)$$

$$Log(BFI) = -0.194 \times Log(Q90/Q50) - 0.089Log(NCHF) - 0.166 \qquad R^2 = 0.86\ ,S.E = 0.017 \qquad (۱۱)$$

$$Log(BFI) = -0.144Log(Q90/Q50)\ 0.087Log(NCHF)\ 0.082Log(H_b) + 0.113 \qquad R^2 = 0.9\ ,S.E = 0.015 \qquad (۱۲)$$

که در آن‌ها، BFI شاخص جریان پایه، H_b ارتفاع متوسط حوضه، $NCHF$ سازندهای سخت غیرکربناته، CHF سازندهای سخت کربناته، Q_A سازندهای کواترنر، DD تراکم زهکشی Q_{90}/Q_{50} نسبت دو شاخص منحنی تداوم جریان، R^2 ضریب تعیین و SE خطای استاندارد مدل است.

با توجه به بررسی‌های انجام گرفته در اغلب پژوهش‌ها، از ویژگی‌های مورفومتری حوضه و عوامل هیدرواقلیمی به‌عنوان عوامل مؤثر بر شاخص جریان پایه، استفاده شده است. در این پژوهش علاوه بر موارد فوق، عامل‌های زمین‌شناسی و نیز شاخص‌های کاربری اراضی از دیدگاه تاثیر آن بر منابع آب، مد نظر قرار گرفته است.

نتایج با استفاده از روش تجزیه و تحلیل عاملی نشان داد که عوامل مستقل موثر بر شاخص جریان پایه، پنج عامل ۸۹/۹ درصد از واریانس داده‌ها را توضیح می‌دهند. این به آن معناست که حدود ۱۰ درصد از کل واریانس قابل تبیین نیست، که با بررسی متغیرهای اضافی در زمینه ویژگی‌های اقلیمی و غیراقلیمی، قابل افزایش است. وزن درصد تغییرات عامل زمین‌شناسی و مشخصا سازندهای سخت، پس از پوشش گیاهی (جنگلی و مرتعی) در درجه دوم اهمیت قرار گرفت. این میزان تأثیرگذاری بالای عامل زمین‌شناسی، بیانگر اهمیت سازندها و همچنین، نوع تفکیک واحدهای زمین‌شناسی و تجمیع آن‌ها براساس رفتارهای هیدروژئولوژیکی است.

در میان مدل‌های رگرسیونی تک‌متغیره، مدل‌های غیرخطی ضریب تعیین بالاتری را نسبت به مدل‌های خطی داشتند، اما به‌دلیل سادگی، خطای استاندارد کمتر و نیز کارآیی بیشتر روابط خطی، این مدل به‌عنوان مناسب‌ترین مدل تک‌متغیره در بین مدل‌های فوق تشخیص داده شد. در این خصوص هم‌بستگی بسیار معنی‌دار، بین مقادیر برآوردی مدل خطی با مقادیر مشاهداتی در روش تحلیل باقی‌مانده با ضریب تعیین ۰/۹۹، نشانگر کارآیی مناسب مدل خطی در برآورد شاخص جریان پایه می‌باشد. دخالت عوامل مختلف مورفومتری، هیدرواقلیمی و زمین‌شناسی در قالب روابط تک‌متغیره، بیانگر اهمیت عامل ارتفاع متوسط حوضه و نیز نسبت هیدرولوژیکی Q90/Q50، به‌عنوان مهم‌ترین عوامل موثر در تخمین پارامتر شاخص جریان پایه در منطقه مورد پژوهش می‌باشد.

در این پژوهش، در روابط رگرسیونی چندمتغیره نیز، نسبت Q_{90}/Q_{50} دارای اهمیت خاصی در برآورد شاخص جریان پایه می‌باشد. ضمن آنکه سوابق پژوهش‌های گذشته از جمله Nathan و McMahon (۱۹۹۰)، Smakhtin (۲۰۰۱) و Welderufael و Woyessa (۲۰۱۰) نیز این موضوع را نشان داده است.

مشارکت عامل سازندهای سخت غیرکربناته در مدل‌های به‌دست آمده و نیز سازندهای سخت کربناته در کنار نهشته‌های کواترنری، نشان از نقش موثر آن‌ها در جریانه پایه رودخانه‌های منطقه دارد. از یک‌سو نفوذپذیری بالای نهشته‌های کواترنر و از سوی دیگر امکان وقوع پدیده کارست‌شدگی در سازندهای کربناته و تشکیل منابع آب در این سازندها، امکان مشارکت آب‌های زیرزمینی در جریان پایه را افزایش می‌دهد. این همراهی با توجه به اینکه جریان پایه به‌عنوان سهم مشارکت آب‌های زیرسطحی در آب‌های سطحی تعریف شده است، موید اهمیت بالای این دو پارامتر مهم زمین‌شناسی در برآورد شاخص جریان پایه در منطقه مورد پژوهش است.

سازندهای سخت غیرکربناته در کنار عامل‌های مورفومتری (متوسط ارتفاع حوضه و تراکم زهکشی) و درصد پوشش جنگلی، دارای اهمیت ویژه‌ای در برآورد شاخص جریان پایه در منطقه مورد پژوهش می‌باشد. این بدان معنا است که تراکم زهکشی و پوشش جنگلی نیز از طریق بالابردن نفوذپذیری حوضه، در افزایش مشارکت آب‌های زیرسطحی در آب‌های سطحی و در نتیجه در میزان شاخص جریان پایه تأثیر به‌سزایی دارند.

تشکر و قدردانی

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

منابع مورد استفاده

1. Abebe, A. and G. Foerch. 2006. Catchment characteristics as predictors of base flow index (BFI) in Wabi Shebele river basin, East Africa. In: Proceedings of the Conference on Prosperity and Poverty in a Globalized World – Challenges for Agricultural Research, October 11-133Tropentag, University of Bonn.
2. Arnott, S., J. Hilton and B.W. Webb.2009. The impact of geological control on flow accretion in lowland permeable catchments. Hydrologic Research, 40(6): 533–543.
3. 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(1-2): 164-176.
4. 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–2 December, Auckland, New Zealand.
5. Chapman, T.G. and A.I. Maxwell. 1996. Base flow separation-comparison of numerical methods with tracer experiments. Proceedings of the Hydrology and Water Resources Symposium. Institution of Engineers Australia, Hobart, 539–545.
6. Delin, G.H. 2007. Comparison of local to regional scale estimates of ground water recharge in Minnesota, USA. Journal of Hydrology, 334: 231-249.
7. Delinom, R.M. 2009. Structural geology controls on groundwater flow: Lembang fault case study, West Java, Indonesia. Hydrogeology Journal, 17: 1011-1023.
8. Ghanbarpor, M., M. Teymori and S.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).
9. Haberlandt, U., B. Klocking, V. Krysanova and A. Becker. 2001. Regionalization of the base flow index from dynamically simulated flow components: A case study in the Elbe River Basin. Journal of Hydrology, 248: 35-53.
10. Konrad, C.P. 2006. Longitudinal hydraulic analysis of river-aquifer exchanges. Water Resources Research, 42: W08425.
11. 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.
12. McGuire, K.J., J.J. McDonnell, M. Weiler, C. Kendall, B.L. McGlynn, J.M. Welker and J. Seibert. 2005. The role of topography on catchment-scale water residence time. Water Resource Research, 41:1-14.
13. Nathan, R.J and T.A. McMahon. 1990. Identification of homogeneous regions for the purposes of regionalization. Journal of Hydrology, 121: 217-238.
14. Nathan, R.J. and T.A. McMahon. 1992. Estimating low flow characteristics in ungauged catchments. Water Resources Management, 6: 85-100.
15. 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.
16. Smakhtin, V.Y. 2001. Low flow hydrology: a review. Journal of Hydrology, 240: 147-186.
17. Stuckey, M. 2006. Low flow, base flow and mean flow regression equations for Pennsylvania streams. Pennsylvania: Us Geological Survey Scientific Investigations Report 2006-5130.
18. 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).
19. 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.

Study role of geological formations and hydrological parameters on the based index, case study: Caspian area

Rahim Kazemi[*1] and Ali Reza Eslami[2]
[1] Scientific Board, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran, [2] Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Received: 09 February 2013 Accepted: 30 June 2013

Abstract

Base flow and related index is influenced by morphometric, geologic and hydroclimatological factors. As a result, it is precondition data for planning and water resources management. In this research, base flow and related index were extracted from daily stream flow data using one parameter recursive digital filter in eighteen hydrometric stations of the Caspian Basin. Physiographic, climatic, hydrological, and geological factors were calculated in GIS environment. Using factor analysis of the eighteen parameters, five factors were selected as independent factors. Statistical models were formulated to calculate several regressions between hydroclimatological and physiographic parameters. Further, residual analysis method was used to compare and evaluate the accuracy and efficiency of the models. Results showed that Hard Formations, the average height of basin, drainage density, and coverage of forest were the best predictors of the base flow index. Statistical models highlights importance of Q90/Q50 ratio as the suitable hydrologic index to estimate the base flow index. Besides, this model confirmed controlling role of Hard formations and the forest coverage on the base flow index.

Key words: Base flow, Carbonate formation, Digital filters, Lithologic units, Regional models

[*] Corresponding author: ra_hkazemi@yahoo.com