



کاربرد تبدیل موجک در جداسازی جریان پایه چشمه‌های کارستی

اباذر سلگی^۱، حیدر زارعی^{۲*}، صفر معروفی^۳

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۰۴/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۱۷

مقاله علمی پژوهشی

چکیده

جداسازی جریان پایه یکی از موضوعات مهم در هیدرولوژی و مدیریت منابع آب می‌باشد. روش‌های مختلفی تاکنون برای جداسازی جریان پایه در رودخانه و چشمه‌های کارستی مورد استفاده قرار گرفته است. در این مطالعه از تبدیل موجک به‌عنوان یک ابزار جدید، برای جداسازی جریان پایه روزانه دو چشمه کارستی، گاماسیاب در شهرستان نهاوند و کهمان در شهرستان الشتر استفاده شده است. دوره آماری مورد استفاده برای چشمه گاماسیاب یک دوره ۴۹ ساله (سال آبی ۱۳۴۸-۴۹ تا ۱۳۹۶-۹۷) و در چشمه کهمان یک دوره آماری ۲۷ ساله (سال آبی ۱۳۷۰-۷۱ تا ۱۳۹۶-۹۷) بوده است. به منظور بررسی دقت ابزار از روش شیمی نگار با داده‌های کیفی نمونه‌برداری در سال آبی (۱۳۹۶-۹۷) در دو چشمه صورت گرفته است. نتایج نشان داد که در چشمه گاماسیاب، تبدیل موجک با تابع موجک Db4 در سطح تجزیه ۶، با ضریب تعیین تعدیل شده ۰/۹۶ و جذر میانگین مربعات خطای ۰/۶۵۱ (مترمکعب در ثانیه) نسبت به روش شیمی نگار دارای بهترین عملکرد می‌باشد. در چشمه کهمان، تبدیل موجک با تابع موجک Db2 در سطح تجزیه ۵، با ضریب تعیین تعدیل شده ۰/۹۹ و جذر میانگین مربعات خطای ۰/۱۸۷ (مترمکعب در ثانیه)، دارای بهترین عملکرد بوده است. به طور کلی، نتایج نشان داد که تبدیل موجک دارای دقت بالایی در تفکیک جریان پایه در چشمه‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبدهی روزانه، تبدیل موجک، جداسازی جریان، جریان پایه، چشمه‌های کارستی.

^۱-دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز. abazar_solgi@yahoo.com

^{۲*}-دانشیار گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز (نویسنده مسئول). zareih@scu.ac.ir

^۳-استاد گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان. smarofi@yahoo.com



مقدمه

جریان پایه در چشمه‌های کارستی و رودخانه‌ها، از مواردی هستند که به شدت برنامه‌ریزی بخش منابع آب و مسائل زیست محیطی کشور را تحت تأثیر قرار می‌دهند، چرا که بیشتر طرح‌ها و مسائل زیست محیطی و منابع آب با توجه به جریان پایه‌ی چشمه‌ها و رودخانه‌ها، امکان ایجاد و بهره‌برداری دارند. لذا دقت در برآورد و سهم این بخش، می‌تواند کمک بسیار بزرگی به بخش آب کشور باشد.

شکل آب‌نمود چشمه، بازتاب‌کننده منحصر به فرد واکنش آبخوان در مقابل تغذیه است. به‌ویژه شکل و روند فروکش، اطلاعات مهمی در مورد ذخیره و ویژگی‌های ساختاری سامانه آبخوان تأمین‌کننده چشمه فراهم می‌آورد. به این دلایل، تحلیل آب‌نمود چشمه، اطلاعات قابل توجهی درباره ماهیت و چگونگی کار سامانه زهکشی کارست ارائه می‌کند. در مورد چشمه‌های کارستی مطالعات فراوانی با اهداف مختلف صورت گرفته است، در این بخش به برخی از این مطالعات اشاره می‌شود.

شی و همکاران (۲۰۰۸) شبیه‌سازی پاسخ‌های بارش-جریان زیرسطحی از یک حوضه کارستی در جنوب غربی چین را با شبکه عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه برای تعیین ورودی‌های مدل و تأخیرهای زمانی از بارندگی روزانه و سری جریان خروجی استفاده شده است. نتایج نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی آکیفرهای کارستی، به خوبی عمل کرده است.

صاحب‌دل (۱۳۸۸) به بررسی هیدروشیمیایی کارست منطقه شمیبار (شیرین‌بهار) در شمال شرق استان خوزستان پرداخت. به منظور ارزیابی هیدروشیمیایی آب زیرزمینی در آبخوان کارستی منطقه شمیبار چندین مرحله نمونه‌برداری از چشمه‌های مورد مطالعه در منطقه در سال‌های ۸۶-۸۷

انجام گرفت. تحلیل نتایج آنالیز نمونه‌ها نشان می‌دهد که تنها یک رخساره غالب بی‌کربناته-کلسیم و منیزیم در همه چشمه‌ها وجود دارد. نمودار بی‌کربنات در برابر کلسیم و منیزیم نشان می‌دهد که تغییرات بی‌کربنات با تغییرات کلسیم و منیزیم هماهنگ بوده و عامل کنترل‌کننده اصلی مقدار این پارامترها انحلال سنگ مخزن کربناته آسماری است.

محمدی بهزاد (۱۳۹۰) به بررسی و شناسایی منشأ تغذیه و خصوصیات فیزیکو-شیمیایی چشمه کارستی بی‌بی تلخون در استان خوزستان پرداخت. نتایج این بررسی نشان داد که در دوره بارندگی علاوه بر افزایش درصد مشارکت منابع آب کارستی مجاور، با آغاز فعالیت رودخانه تالوگ، تعداد مولفه‌های تغذیه چشمه افزایش می‌یابد.

بهرامی و همکاران (۱۳۹۵) به ارزیابی توسعه کارست با استفاده از ویژگی‌های هیدرودینامیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی تاق‌دیس قلاجه و توده پراو بیستون پرداختند. در این تحقیق، منحنی فروکش چشمه‌های کارستی، مهم‌ترین اکسیدهای موجود در سازندهای آهکی، داده‌های هیدرولوژی چشمه‌ها، مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل آهک‌های دو محدوده و نیز آنالیز شیمیایی آب چشمه نشان دهنده خلوص بالای آهک بیستون نسبت به آهک آسماری و در نتیجه وجود جریان انتشاری-مجرایبی در بیستون در مقایسه با رژیم انتشاری در آبخوان کارستی قلاجه است.

روش‌های مختلفی برای تفکیک جریان پایه رودخانه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. به طور کلی روش‌های تفکیک جریان پایه به‌طور کلی به دو دسته زیرتقسیم‌بندی می‌شوند (فلامرزی، ۱۳۹۳):

- ۱- روش‌های غیرردیاب ۲- روش‌های ردیاب.
- هر یک از این روش‌ها، شامل فنون مختلفی می‌باشند. روش‌های غیرردیاب شامل: فنون جداسازی

الگوریتم‌های یک پارامتری، چاپمن، اکهاردت، Talaksen و مدل WHAT استفاده کردند. نتایج نشان داد که الگوریتم‌های اکهاردت و چاپمن مناسب‌تر بوده اند.

تبدیل موجک را می‌توان یکی دیگر از روش‌های فیلترینگ به حساب آورد که در زمینه استفاده از آن می‌توان به مطالعه سالرنو و تارتاری (۲۰۰۹) اشاره نمود. آنها یک رویکرد همراه با مدل‌سازی هیدرولوژیکی سطحی و تبدیل موجک را برای درک اجزای جریان پایه از دبی رودخانه در محیط کارستی ارائه دادند. در این مطالعه به بررسی پتانسیل تبدیل موجک برای کمک به تعریف ماهیت و رفتار سهم کارست در جریان رودخانه به منظور بهبود عملکرد آبی از مدل‌سازی هیدرولوژیکی سطحی پرداخته شده است. هر چند این منبع به تفکیک جریان رودخانه در محیط کارستی پرداخته است ولی به دلیل اینکه از ابزار تبدیل موجک برای این کار استفاده نموده است، بیان شده است.

علی‌رغم حالت مرسوم که تفکیک جریان پایه، برای رودخانه‌ها مورد بررسی قرار می‌گرفته است، در این مطالعه اقدام به بررسی جداسازی این جریان برای هیدروگراف چشمه‌های کارستی گاماسیاب و کهمان شده است. با توجه به بررسی منابع مشخص شد که بیشتر مطالعات جداسازی جریان پایه، متمرکز بر روخانه‌ها بوده است و تنها مطالعه مالی و محمدی (۱۳۹۳) در ایران روی چشمه‌های کارستی صورت گرفته است.

مالی و محمدی (۱۳۹۳) روش‌های برآورد جریان پایه در دو چشمه کارستی پیرغار و دیمه واقع در استان چهارمحال و بختیاری را مورد ارزیابی قرار دادند. آنها تغییرات دبی جریان پایه را بر اساس شیمی نگار چشمه، به عنوان معیار ارزیابی و مبنای مقایسه جهت انتخاب

گرافیکی و فنون جداسازی فیلترینگ، و تبدیل موجک می‌باشند. از روش‌های ردیابی می‌توان به روش‌های ایزوتوپی و شیمی نگار اشاره نمود (فلامرزی، ۱۳۹۳). روش‌های ردیابی دقیق‌ترین روش‌ها می‌باشند. استفاده از روش‌های ایزوتوپی هزینه بر و زمان بر می‌باشند.

روش‌های گرافیکی با وجود سریع بودن، اغلب نتایج قابل قبولی ارائه نمی‌دهند. روش‌های فیلترینگ معمولاً دارای دقت قابل قبولی بوده و سریع هم به نتیجه می‌رسند. تاکنون فیلترهای مختلفی برای جداسازی جریان پایه ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به روش‌های بسته^۱ HYSEP، الگوریتم‌های چاپمن، لینه و هولیک، اکهاردت، فری و گوپتا، اوما، یک پارامتری، دو پارامتری و سه پارامتری اشاره نمود. در ادامه به برخی از این مطالعات صورت گرفته با روش‌های مختلف جداسازی جریان پایه اشاره می‌گردد.

فلامرزی و همکاران (۲۰۱۴)، از روش‌های ADUKIH و RDF برای جداسازی جریان پایه رودخانه در حوضه ابوالعباس در ایران استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که روش RDF دارای عملکرد بهتری نسبت به روش ADUKIH می‌باشد.

رادرا و همکاران (۲۰۱۵) استفاده از شاخص‌های جریان پایه را برای شناخت جریان پایه و جریان سریع در ۱۵۰ حوضه در آناتاریو (کانادا) مورد بررسی قرار دادند. آنها از ۶ روش PART، فیلتر دیجیتال بازگشتی (RDF)، UKIH، حداقل موضعی، فواصل ثابت و فواصل متحرک استفاده کردند. آنها ابراز داشتند که مقدار BFI بالای ۸۰ درصد، در خاک‌های گروه A و B و کمتر از ۸۰ درصد در گروه‌های C و D اتفاق می‌افتد.

مینا (۲۰۱۷) به بررسی جریان پایه برای سه حوضه در منطقه شمال شرقی رومانی پرداخت. ایشان از ۶ روش حداقل موضعی، فیلتر دیجیتال بازگشتی با

^۱ - Hydrograph Separation



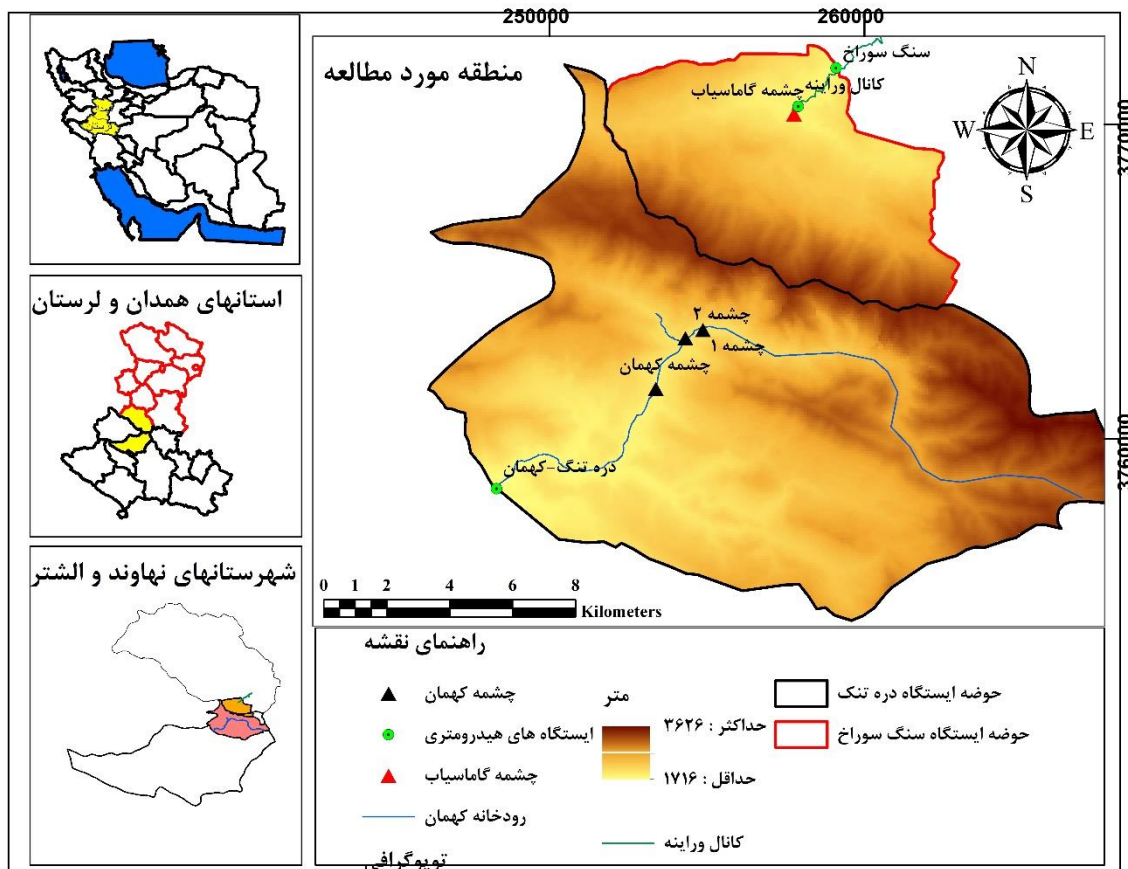
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

چشمه گاماسیاب در فاصله ۲۰ کیلومتری شهر نهاوند و در مسیر جاده نهاوند به نورآباد واقع شده است. سرچشمه‌ی اصلی آن از دره‌های رشته کوه گرین می باشد. این چشمه دارای آبی با کیفیت خوب بوده که آبدهی آن به طور متوسط ۴ مترمکعب در ثانیه و دمای متوسط آن حدود ۵ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد. در واقع چندین چشمه به هم چسبیده در محدوده‌ای حدود ۱۰۰ مترمربع در کنار هم قرار گرفته‌اند، که به طور کلی به عنوان چشمه گاماسیاب شناخته می‌شوند. چشمه کهمان مشابه چشمه گاماسیاب در طرف مقابل آن در شهرستان الشتر از توابع استان لرستان قرار دارد. این چشمه در قسمت شرقی دره کهمان قرار دارد، در شکل (۱) موقعیت چشمه گاماسیاب در استان همدان و چشمه کهمان در استان لرستان و کشور ایران ارائه شده است.

مناسب‌ترین روش فیلتر دیجیتال بازگشتی و روش‌های مرسوم جداسازی جریان پایه چشمه‌های کارستی در نظر گرفتند. با استفاده از روش فیلتر اکهاردت، که مناسب‌ترین روش تفکیک جریان در بین روش‌های دیجیتال الگوریتم عددی بود، میانگین شاخص جریان پایه در چشمه‌های دیمه و پیرغار به ترتیب ۰/۹ و ۰/۶۱ محاسبه شده است.

از تبدیل موجک در زمینه‌های مختلفی تاکنون استفاده شده است، ولی هدف این مطالعه، استفاده از این ابزار برای جداسازی جریان پایه می‌باشد. همچنین برای بررسی میزان دقت آن از روش شیمی نگار با استفاده از داده‌های کیفی نمونه‌برداری شده در سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ استفاده شده است.



شکل (۱): موقعیت چشمه‌های گاماسیاب و کهمان در ایران.

استفاده شد. این ایستگاه از سال ۱۳۶۸ دارای آمار آبدهی روزانه می‌باشد. همچنین این ایستگاه از سال ۱۳۷۲ دارای آمار بارندگی روزانه می‌باشد. به دلیل نواقص اطلاعات فراوان در سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۷۲ در ایستگاه دره تنگ، بررسی وضعیت آبدهی این ایستگاه در دوره آماری ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۷ صورت گرفت. مساحت حوضه آبریز ایستگاه دره تنگ حدود ۱۸۰ کیلومتر مربع می‌باشد. متوسط آبدهی روزانه چشمه کهمان ۲/۶ مترمکعب در ثانیه، حداقل آبدهی آن ۰/۲ و حداکثر آن ۳۴/۶ مترمکعب در ثانیه بوده است. پارامترهای آماری ایستگاه‌های مورد استفاده در مقیاس روزانه در جدول (۱) ارائه شده است. همچنین مشخصات ایستگاه‌های استفاده شده در جدول (۲) ارائه شده است.

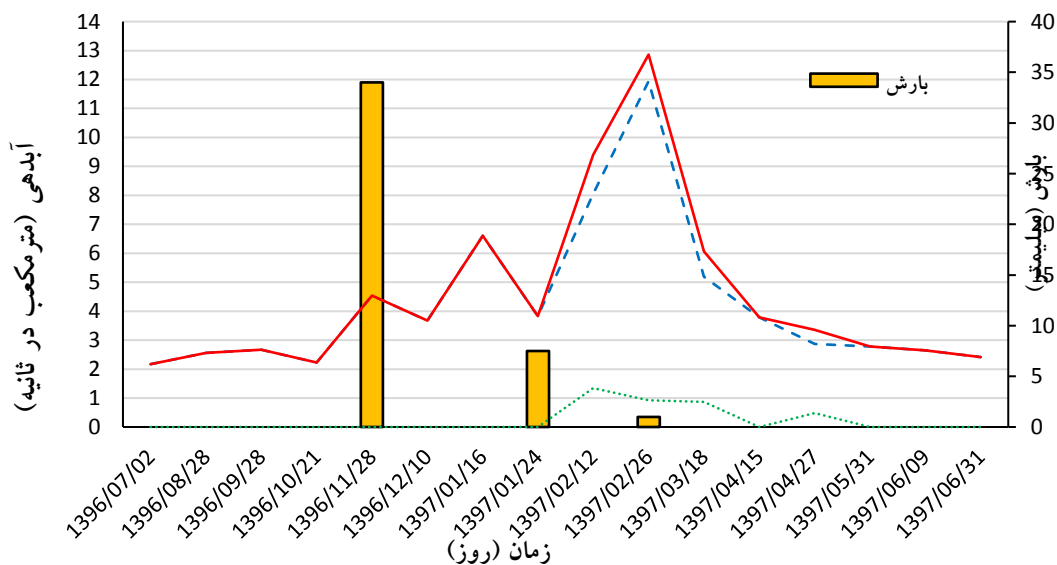
آبدهی چشمه گاماسیاب، مجموع آبدهی دو ایستگاه هیدرومتری سنگ سوراخ با کد ۱۰۵-۲۱ و کانال وراینه با کد ۵۳۴-۲۱ می‌باشد. ایستگاه سنگ سوراخ از سال ۱۳۴۸ و ایستگاه کانال وراینه از سال ۱۳۸۵ دارای آمار می‌باشند. خاطر نشان می‌گردد که قبل از احداث کانال وراینه و ایستگاه وراینه همه آبدهی چشمه از محل ایستگاه سنگ سوراخ عبور می‌کرده است. متوسط آبدهی روزانه چشمه ۴ مترمکعب در ثانیه، حداقل آبدهی آن ۰/۳ و حداکثر آن ۳۷/۹۷ مترمکعب در ثانیه بوده است. مساحت حوضه آبریز ایستگاه سنگ سوراخ حدود ۶۰ کیلومتر مربع می‌باشد. برای بدست آوردن آبدهی چشمه کهمان از آمار ایستگاه هیدرومتری دره تنگ-کهمان با کد ۹۵۴-۲۱

جدول (۱): پارامترهای آماری روزانه ایستگاه‌های مورد استفاده.

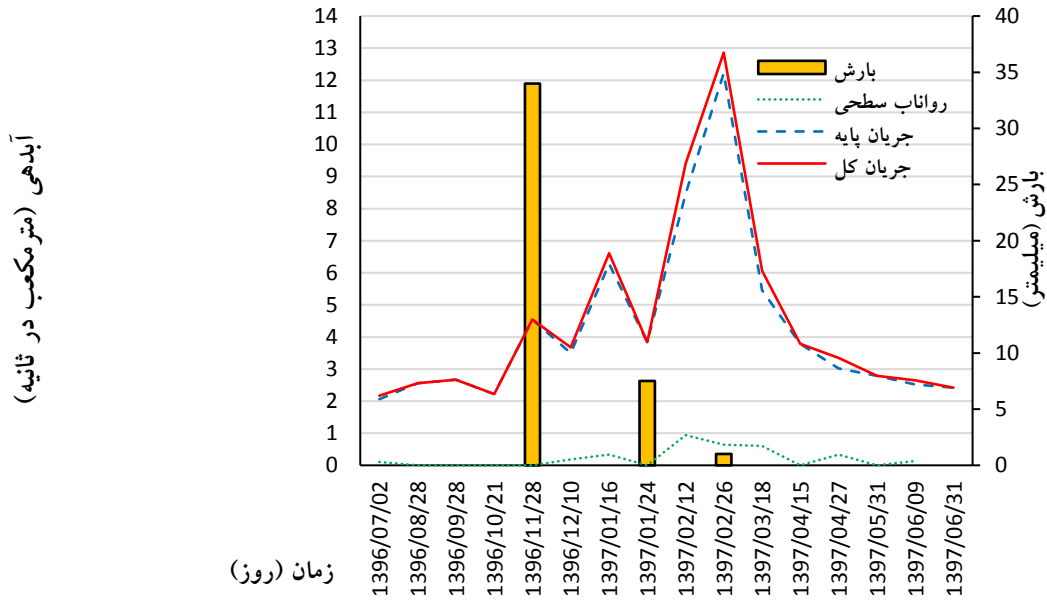
ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	کد ایستگاه	مشخصات جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	سال شروع
۱	وراینه (سنگ سوراخ)	هیدرومتری	۱۰۵-۲۱	طول (درجه، دقیقه، ثانیه) عرض (درجه، دقیقه، ثانیه)	۱۷۸۶	۱۳۴۸
۲	کانال وراینه	هیدرومتری	۵۳۴-۲۱	طول (درجه، دقیقه، ثانیه) عرض (درجه، دقیقه، ثانیه)	۱۸۵۲	۱۳۸۵
۳	وراینه	هواشناسی	۲۱-۵۳۴	طول (درجه، دقیقه، ثانیه) عرض (درجه، دقیقه، ثانیه)	۱۷۹۵	۱۳۴۸
۴	دره تنگ	هیدرومتری	۲۱-۹۵۴	طول (درجه، دقیقه، ثانیه) عرض (درجه، دقیقه، ثانیه)	۱۷۳۰	۱۳۶۸
۵	دره تنگ	هواشناسی	۲۱-۹۵۴	طول (درجه، دقیقه، ثانیه) عرض (درجه، دقیقه، ثانیه)	۱۷۳۰	۱۳۷۲

جدول (۲): مشخصات ایستگاه‌های استفاده شده.

نام ایستگاه	متغیر	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	ضریب تغییرات
وراینه (سنگ سوراخ)	آبدهی (مترمکعب در ثانیه)	۳/۴۷	۳۷/۹۷	۰/۱۱	۲/۶	۰/۷۴
کانال وراینه	آبدهی (مترمکعب در ثانیه)	۲/۱۵	۴/۸۱	۰/۰۱	۰/۹	۰/۴۲
وراینه	بارش (میلیمتر)	۱/۴۷	۱۰۵/۰۰	۰/۰۰	۵/۵	۳/۷۳
دره تنگ	آبدهی (مترمکعب در ثانیه)	۲/۶۷	۳۴/۶	۰/۲۲	۲/۷	۱/۰۱
دره تنگ	بارش (میلیمتر)	۱/۴۸	۸۳/۵	۰/۰۰	۵/۴	۳/۶۳



شکل (۲): جداسازی جریان پایه چشمه گاماسیاب با استفاده از یون کلسیم.



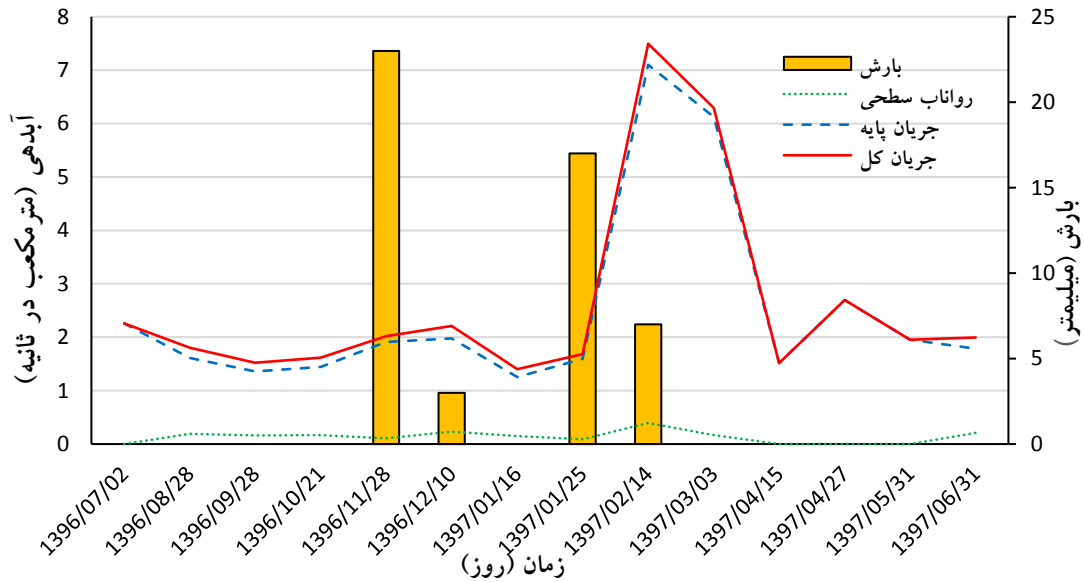
شکل (۳): جداسازی جریان پایه چشمه گاماسیاب با استفاده از یون منیزیم.

جدول (۳): نتایج حاصل از جداسازی جریان پایه چشمه گاماسیاب با استفاده از یون های کلسیم و منیزیم.

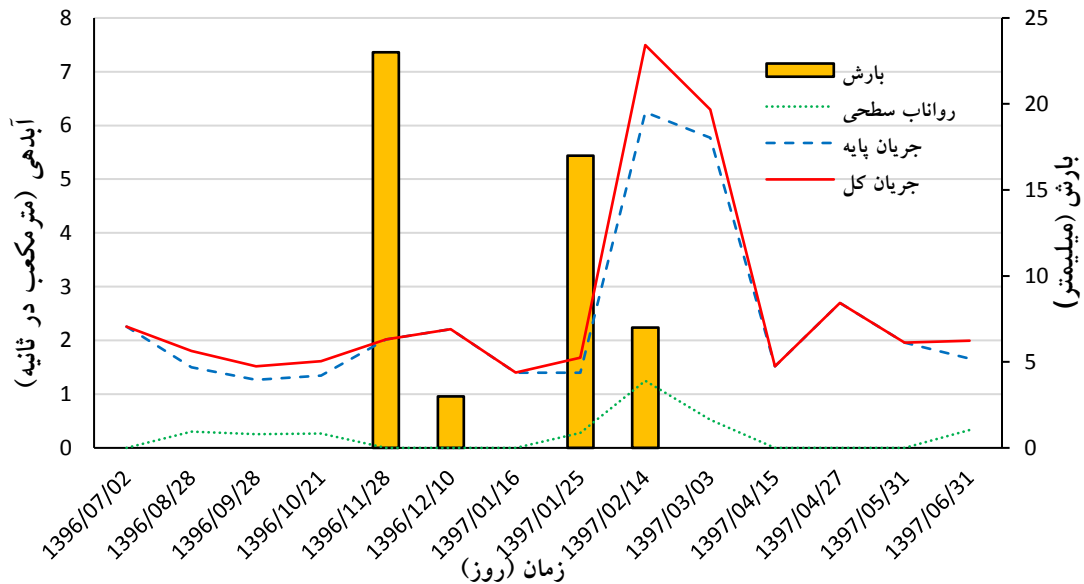
رواناب سطحی (%)		جریان پایه (%)		جریان کل (مترمکعب در ثانیه)		تاریخ
منیزیم	کلسیم	منیزیم	کلسیم			
۰/۰	۵/۰	۱۰۰/۰	۹۵/۰	۲/۱۷		۱۳۹۶/۰۷/۰۲
۰/۰	۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۲/۵۶		۱۳۹۶/۰۸/۲۸
۰/۰	۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۲/۶۷		۱۳۹۶/۰۹/۲۸
۰/۰	۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۲/۲۲		۱۳۹۶/۱۰/۲۱
۰/۰	۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۲/۵۴		۱۳۹۶/۱۱/۲۸
۰/۰	۵/۰	۱۰۰/۰	۹۵/۰	۳/۶۸		۱۳۹۶/۱۲/۱۰
۰/۰	۵/۰	۱۰۰/۰	۹۵/۰	۶/۶۱		۱۳۹۷/۰۱/۱۶
۰/۰	۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۳/۸۳		۱۳۹۷/۰۱/۲۴
۱۴/۳	۱۰/۰	۸۵/۷	۹۰/۰	۹/۴۰		۱۳۹۷/۰۲/۱۲
۷/۱	۵/۰	۹۲/۹	۹۵/۰	۱۲/۸۶		۱۳۹۷/۰۲/۲۶
۱۴/۳	۱۰/۰	۸۵/۷	۹۰/۰	۶/۰۶		۱۳۹۷/۰۳/۱۸
۰/۰	۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۳/۷۹		۱۳۹۷/۰۴/۱۵
۱۴/۳	۱۰/۰	۸۵/۷	۹۰/۰	۳/۳۵		۱۳۹۷/۰۴/۲۷
۰/۰	۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۲/۷۸		۱۳۹۷/۰۵/۳۱
۰/۰	۵/۰	۱۰۰/۰	۹۵/۰	۲/۶۵		۱۳۹۷/۰۶/۰۹
۰/۰	۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۲/۴۲		۱۳۹۷/۰۶/۳۱
۳/۱	۳/۴	۹۶/۹	۹۶/۶	۴/۴۷		میانگین
۱۴/۳	۱۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۲/۸۶		حداکثر

یون‌های کلسیم و منیزیم به ترتیب به ۹۴/۲ و ۹۲/۳ درصد می‌رسد، و سهم جریان سطحی براساس مقدار یون‌های کلسیم و منیزیم به ترتیب به ۵/۸ و ۷/۷ درصد می‌باشد.

در شکل‌های (۴) و (۵) جداسازی جریان پایه چشمه کهمان با دو کاتیون کلسیم و منیزیم ارائه شده است. نتایج این بررسی در جدول (۴) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهند که سهم جریان پایه براساس مقدار



شکل (۴): جداسازی جریان پایه چشمه کهمان با استفاده از یون کلسیم.



شکل (۵): جداسازی جریان پایه چشمه کهمان با استفاده از یون منیزیم.

جدول (۴): نتایج حاصل از جداسازی جریان پایه چشمه کهمان با استفاده از یون‌های کلسیم و منیزیم.

رواناب سطحی (%)		جریان پایه (%)		جریان کل (مترمکعب در ثانیه)	تاریخ
منیزیم	کلسیم	منیزیم	کلسیم		
۰/۰	۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۲/۲۶	۱۳۹۶/۰۷/۰۲
۱۶/۷	۱۰/۵	۸۳/۳	۸۹/۵	۱/۸۰	۱۳۹۶/۰۸/۲۸
۱۶/۷	۱۰/۵	۸۳/۳	۸۹/۵	۱/۵۲	۱۳۹۶/۰۹/۲۸
۱۶/۷	۰/۰	۸۳/۳	۸۹/۵	۱/۶۲	۱۳۹۶/۱۰/۲۱
۰/۰	۵/۳	۱۰۰/۰	۹۴/۷	۲/۰۲	۱۳۹۶/۱۱/۲۸
۰/۰	۱۰/۵	۱۰۰/۰	۸۹/۵	۲/۲۱	۱۳۹۶/۱۲/۱۰
۰/۰	۱۰/۵	۱۰۰/۰	۸۹/۵	۱/۴۰	۱۳۹۷/۰۱/۱۶
۱۶/۷	۵/۳	۸۳/۳	۹۴/۷	۱/۶۸	۱۳۹۷/۰۱/۲۵
۱۶/۷	۵/۳	۸۳/۳	۹۴/۷	۷/۴۹	۱۳۹۷/۰۲/۱۴
۸/۳	۲/۶	۹۱/۷	۹۷/۴	۶/۲۹	۱۳۹۷/۰۳/۰۳
۰/۰	۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱/۵۲	۱۳۹۷/۰۴/۱۵
۰/۰	۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۲/۷۰	۱۳۹۷/۰۴/۲۷
۰/۰	۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱/۹۶	۱۳۹۷/۰۵/۳۱
۱۶/۷	۱۰/۵	۸۳/۳	۸۹/۵	۱/۹۹	۱۳۹۷/۰۶/۳۱
۷/۷	۵/۸	۹۲/۲	۹۴/۲	۲/۶۰	میانگین
۱۶/۷	۱۰/۵	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۷/۴۹	حداکثر

نتایج تبدیل موجک

شده است. براساس جدول (۴) متوسط جریان پایه تفکیک شده با استفاده از تبدیل موجک در چشمه گاماسیاب برابر ۳/۷۸ مترمکعب در ثانیه و در چشمه کهمان برابر ۲/۴۸ مترمکعب در ثانیه می‌باشد. متوسط جریان سطحی در چشمه گاماسیاب ۰/۲۲ مترمکعب در ثانیه و در چشمه کهمان ۰/۱۹ مترمکعب در ثانیه می‌باشد. همچنین حداکثر جریان پایه در چشمه‌های گاماسیاب و کهمان به ترتیب برابر ۱۳/۳۶ و ۱۸/۰۰ مترمکعب در ثانیه بوده است.

متوسط جریان پایه و جریان سطحی جداسازی شده در چشمه گاماسیاب در سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ با استفاده از تبدیل موجک، به ترتیب برابر ۳/۵۷ و ۰/۳۳ مترمکعب در ثانیه می‌باشد. همچنین متوسط جریان پایه و جریان سطحی جداسازی شده در چشمه کهمان در سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ با استفاده از تبدیل موجک، به

به منظور بررسی دقت روش، نتایج با روش شیمی نگار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از استفاده از توابع مختلف موجک در سطوح مختلف در جدول (۵) ارائه شده است. براساس جدول (۵) در چشمه گاماسیاب بهترین عملکرد با توجه به سه معیار ارزیابی، مرتبط به تابع موجک Db4 در سطح تجزیه ۶ می‌باشد. در این ترکیب برتر، ضریب تعیین ۰/۹۵۸، جذر میانگین مربعات خطا ۰/۶۵۱ مترمکعب در ثانیه و ضریب تعیین تعدیل شده برابر ۰/۹۵۵ بدست آمده است. در چشمه کهمان بهترین عملکرد مربوط به تابع موجک Db2 در سطح تجزیه ۵ می‌باشد. در این ترکیب برتر، ضریب تعیین ۰/۹۹۳، جذر میانگین مربعات خطا ۰/۱۸۶ مترمکعب در ثانیه و ضریب تعیین تعدیل شده برابر ۰/۹۹۲ بدست آمده است.

در جدول (۶) پارامترهای آماری حاصل از جداسازی جریان پایه برای دو چشمه گاماسیاب و کهمان ارائه

شده است. در شکل (۸) آبدهی روزانه چشمه کهمان در دوره آماری ۹۷-۱۳۷۰ به همراه جریان پایه تفکیک شده آن با استفاده از تابع موجک Db2 در سطح تجزیه ۵ ارائه شده است. در شکل (۹) آبدهی چشمه کهمان به همراه جریان پایه آن در سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ ارائه شده است.

ترتیب برابر ۲/۴۳ و ۰/۱۶ مترمکعب در ثانیه بدست آمده است.

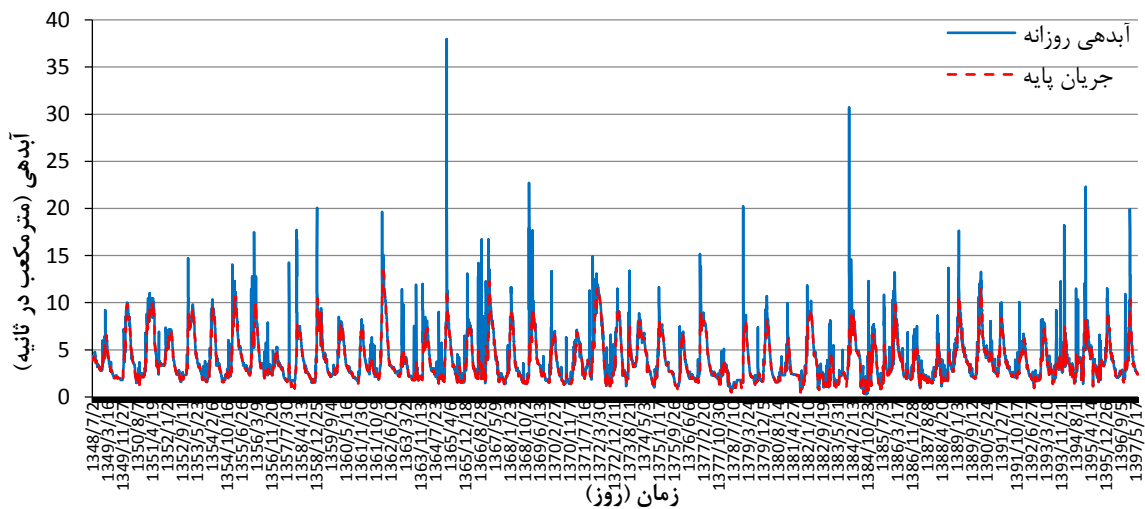
در شکل (۶) آبدهی روزانه چشمه گاماسیاب در دوره آماری ۹۷-۱۳۴۸ به همراه جریان پایه جداسازی شده آن با استفاده از تابع موجک Db4 در سطح تجزیه ۶ ارائه شده است. در شکل (۷) آبدهی چشمه گاماسیاب به همراه جریان پایه آن در سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ ارائه

جدول (۵): بهترین عملکرد در سطوح مختلف تجزیه.

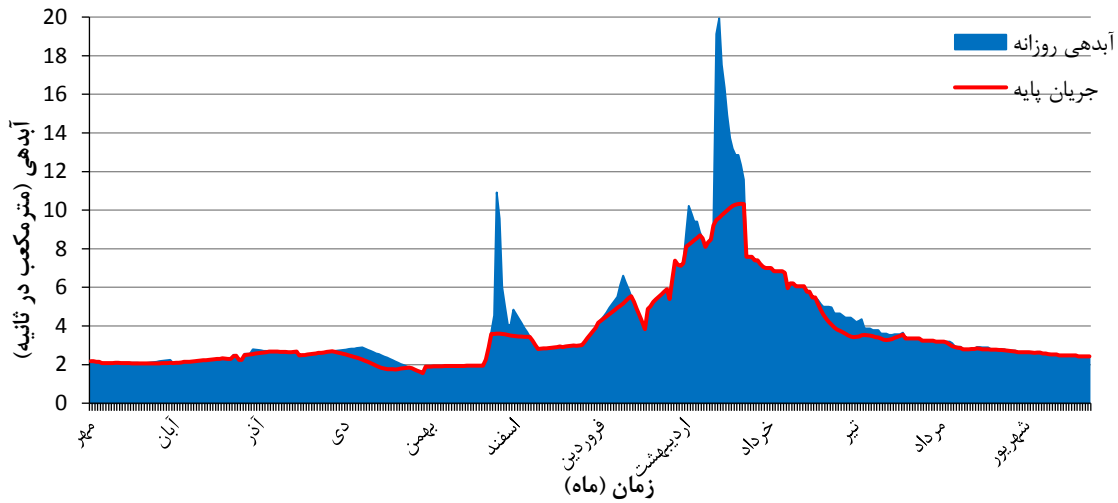
ضریب تعیین تعدیل شده $R^2_{adjusted}$	جذر میانگین مربعات خطا RMSE	ضریب تعیین R^2	سطح تجزیه L	تابع موجک Wavelet Function	نام چشمه Spring
۰/۹۲۸	۰/۷۱۷	۰/۹۳۳	۵	Haar	گاماسیاب
۰/۹۵۵	۰/۶۵۱	۰/۹۵۸	۶	Db4	
۰/۸۰۴	۱/۲۲۰	۰/۸۱۷	۷	Db4	
۰/۶۳۶	۱/۹۲۷	۰/۶۶۰	۸	Db4	
۰/۳۹۷	۲/۶۴۴	۰/۴۳۷	۹	Db2	
۰/۹۹۲	۰/۱۸۷	۰/۹۹۳	۵	Db2	کهمان
۰/۹۴۵	۰/۴۲۳	۰/۹۴۹	۶	Db2	
۰/۹۰۰	۰/۶۲۱	۰/۹۰۸	۷	Sym3	
۰/۸۱۷	۱/۲۰۲	۰/۸۳۱	۸	Db4	
۰/۸۰۴	۱/۳۱۴	۰/۸۱۹	۹	Sym3	

جدول (۶): نتایج تبدیل موجک برای دو چشمه گاماسیاب و کهمان.

نام چشمه-دوره آماری	پارامتر	حداقل	متوسط	حداکثر
چشمه گاماسیاب ۱۳۴۸-۱۳۹۷	آبدهی (m^3/s)	۰/۲۹۷	۳/۹۹	۳۷/۹۷
	جریان سطحی (m^3/s)	۰/۰۰۰	۰/۲۲	۲۶/۶۶
	جریان پایه (m^3/s)	۰/۲۹۷	۳/۷۸	۱۳/۳۶
چشمه گاماسیاب ۱۳۹۶-۱۳۹۷	شاخص جریان سطحی (%)	۰/۰۰	۴/۱۶	۷۸/۷۸
	شاخص جریان پایه (%)	۲۱/۲۲	۹۵/۸۴	۱۰۰/۰۰
	آبدهی (m^3/s)	۱/۵۶	۳/۹۰	۱۹/۹۳
چشمه کهمان ۱۳۷۰-۱۳۹۷	جریان سطحی (m^3/s)	۰/۰۰	۰/۳۳	۱۰/۳۲
	جریان پایه (m^3/s)	۱/۵۶	۳/۵۷	۱۰/۳۲
	شاخص جریان سطحی (%)	۰/۰۰	۵/۰۱	۶۷/۰۷
چشمه کهمان ۱۳۹۶-۱۳۹۷	شاخص جریان پایه (%)	۳۲/۹۳	۹۴/۹۹	۱۰۰/۰۰
	آبدهی (m^3/s)	۰/۲۱۸	۲/۶۷	۳۴/۶۲
	جریان سطحی (m^3/s)	۰/۰۰۰	۰/۱۹	۲۱/۸۴
چشمه کهمان ۱۳۹۶-۱۳۹۷	جریان پایه (m^3/s)	۰/۲۱۸	۲/۴۸	۱۸/۰۰
	شاخص جریان سطحی (%)	۰/۰۰	۴/۶۳	۷۸/۳۶
	شاخص جریان پایه (%)	۲۱/۶۴	۹۵/۳۷	۱۰۰/۰۰
چشمه کهمان ۱۳۹۶-۱۳۹۷	آبدهی (m^3/s)	۱/۰۴۶	۲/۵۸	۱۹/۹۳
	جریان سطحی (m^3/s)	۰/۰۰۰	۰/۱۵	۸/۳۸
	جریان پایه (m^3/s)	۱/۰۴۶	۲/۴۳	۷/۷۱
چشمه کهمان ۱۳۹۶-۱۳۹۷	شاخص جریان سطحی (%)	۰/۰۰	۴/۰۱	۷۵/۵۳
	شاخص جریان پایه (%)	۲۴/۴۷	۹۵/۹۹	۱۰۰/۰۰



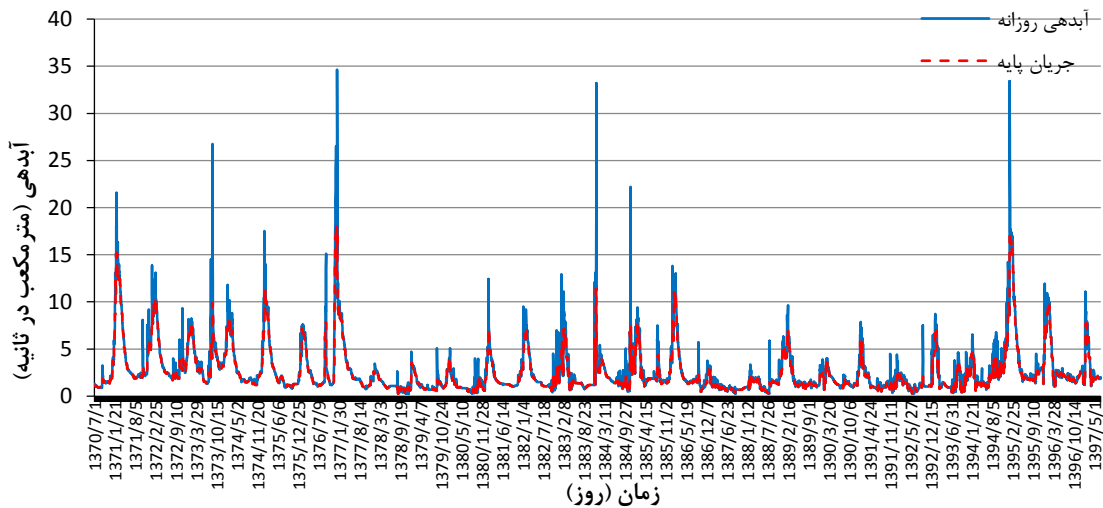
شکل (۶): جداسازی جریان پایه چشمه گاماسیاب با تبدیل موجک - تابع موجک $Db4$ در سطح ۶- دوره آماری ۹۷-۱۳۴۸.



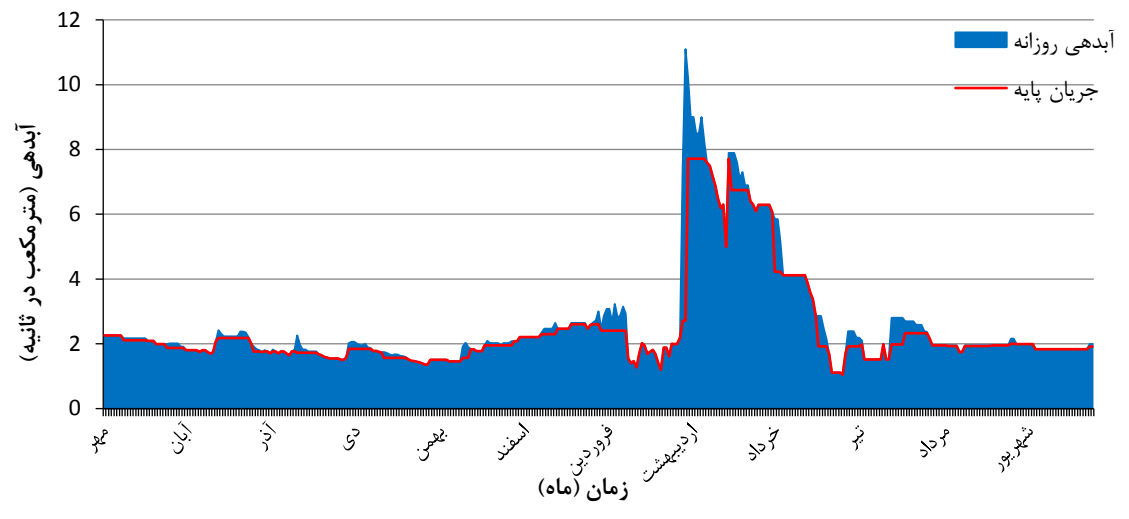
شکل (۷): جداسازی جریان پایه چشمه گاماسیاب با تبدیل موجک-تابع موجک Db4 در سطح ۶- سال آبی ۹۷-۱۳۹۶.

یافته است، و در بقیه موارد به مقدار جریان پایه روش شیمی نگار نزدیک بوده است. در شکل (۱۱) که برای چشمه کهمان ترسیم شده است، مقدار جریان پایه حاصل از تبدیل موجک به مقدار جریان پایه روش شیمی نگار، بسیار نزدیک بوده است.

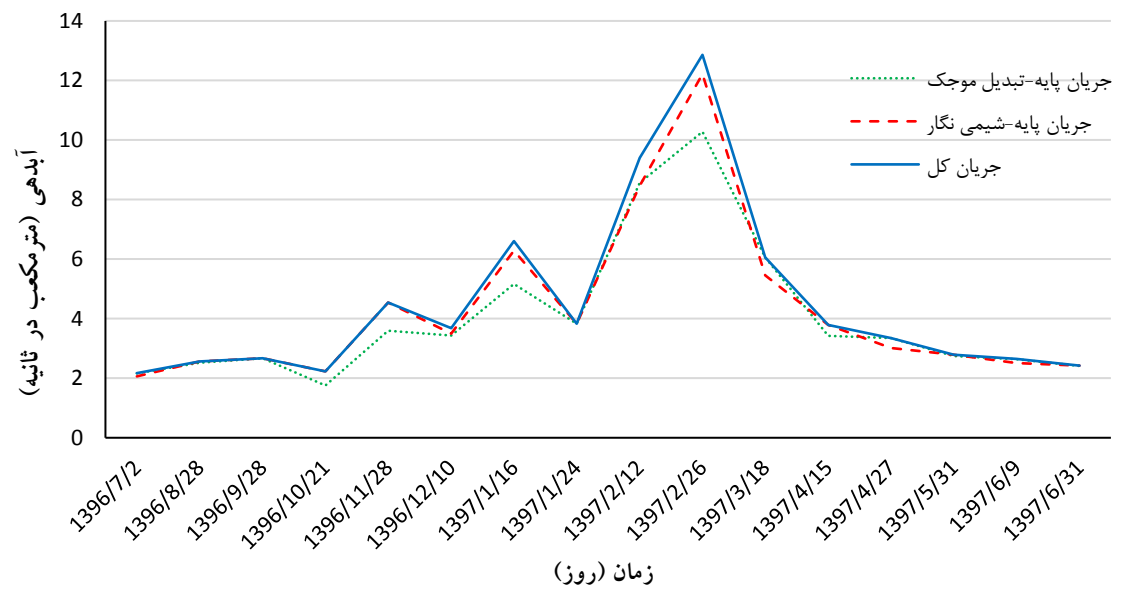
در شکل‌های (۱۰) و (۱۱) نتایج حاصل از جداسازی جریان پایه با تبدیل موجک و روش شیمی نگار با استفاده از غلظت یون کلسیم ارائه شده است. در شکل (۱۰) که برای چشمه گاماسیاب ترسیم شده است، در زمان اوج آبدهی، عملکرد تبدیل موجک قدری کاهش



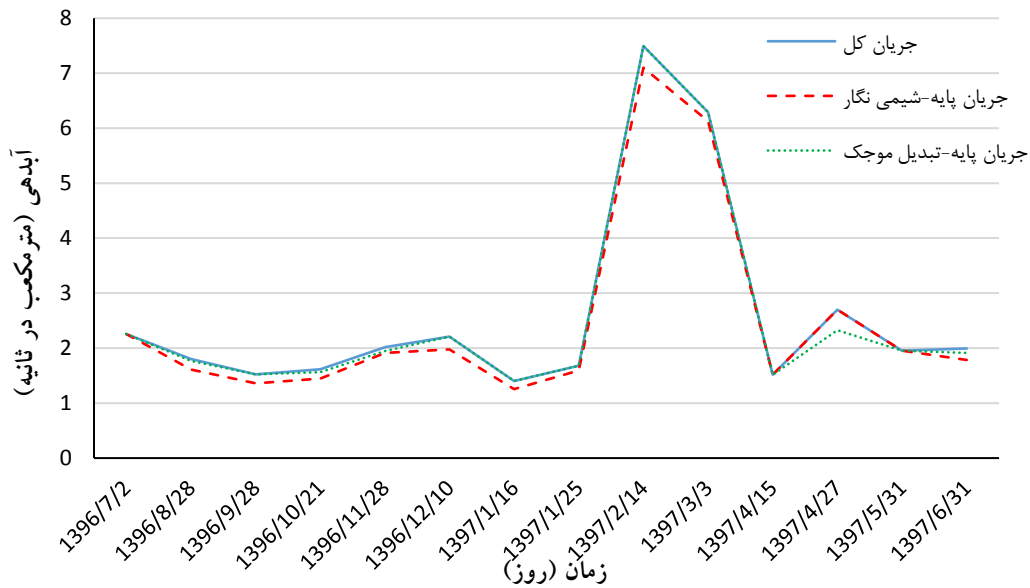
شکل (۸): جداسازی جریان پایه چشمه کهمان با تبدیل موجک-تابع موجک Db2 در سطح ۵- دوره آماری ۹۷-۱۳۷۰.



شکل (۹): جداسازی جریان پایه چشمه کهمان با تبدیل موجک-تابع موجک Db2 در سطح ۵- سال آبی ۹۷-۱۳۹۶.



شکل (۱۰): مقایسه نتایج جداسازی جریان پایه چشمه گاماسیاب با تبدیل موجک با روش شیمی نگار-سال آبی ۹۷-۱۳۹۶.



شکل (۱۱): مقایسه نتایج جداسازی جریان پایه چشمه کهمان با تبدیل موجک با روش شیمی نگار - سال آبی ۹۷-۱۳۹۶.

نتیجه‌گیری

در دیگر روش‌های جداسازی جریان پایه (مانند الگوریتم‌های مختلف روش RDF، روش‌های بسته HYSEP و ...)، تعدادی از داده‌های ابتدایی و انتهایی دوره آماری از بین رفته و جریان پایه برای آنها ارائه نمی‌شود، اما ابزار تبدیل موجک ضمن داشتن دقت بالا در جداسازی جریان پایه، برای هر روز، جریان پایه را ارائه می‌دهد. به طور کلی نتایج نشان داد که تبدیل موجک دارای دقت بالایی در جداسازی جریان پایه در چشمه‌ها می‌باشد و این قابلیت را دارد که از آن برای جداسازی جریان پایه چشمه‌ها و رودخانه‌ها استفاده شود.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این اثر، از شرکت آب منطقه‌ای همدان و شرکت آب منطقه‌ای لرستان به دلیل همکاری‌های لازم و در اختیار قرار دادن اطلاعات مورد نیاز این مطالعه، کمال تقدیر و تشکر را بعمل می‌آورند.

در این تحقیق از تبدیل موجک به عنوان یک ابزار جدید برای جداسازی جریان پایه چشمه‌های گاماسیاب و کهمان استفاده شد. آبدهی روزانه یک دوره ۴۹ ساله (سال آبی ۴۹-۱۳۴۸ تا ۹۷-۱۳۹۶) برای چشمه گاماسیاب و آبدهی روزانه یک دوره ۲۷ ساله (سال آبی ۷۱-۱۳۷۰ تا ۹۷-۱۳۹۶) برای چشمه کهمان مورد استفاده قرار گرفت. به منظور بررسی دقت تبدیل موجک در جداسازی جریان پایه چشمه‌ها، از داده‌های کیفی نمونه‌برداری شده در سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ استفاده شد. در چشمه گاماسیاب، تابع موجک Db4 در سطح تجزیه ۶ دارای بهترین عملکرد بوده است. در حالی که در چشمه کهمان، تابع موجک Db2 در سطح تجزیه ۵ دارای عملکرد بهتری نسبت به دیگر توابع موجک در سطوح تجزیه مختلف بوده است. نتایج نشان داد که متوسط جریان پایه جداسازی شده با استفاده از تبدیل موجک در چشمه گاماسیاب برابر ۳/۷۸ مترمکعب در ثانیه و در چشمه کهمان برابر ۲/۴۸ مترمکعب در ثانیه می‌باشد.

منابع

- بهرامی، ش.، زنگنه اسدی، م.ع. و جهانفر، ع. ۱۳۹۵. ارزیابی توسعه کارست با استفاده از ویژگی‌های هیدرودینامیکی و هیدرو ژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی در زاگرس (منطقه مورد مطالعه: تاق‌دیس قلاجه و توده پراو بیستون). مجله جغرافیا و توسعه. شماره ۴۴: ۱۰۷-۱۲۲.
- سلگی، ا. ۱۳۹۳. پیش‌بینی جریان رودخانه با مدل ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی-موجک و مقایسه آن با روش‌های سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی و شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: رودخانه گاماسیاب نهاوند). پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- صاحب‌دل، م. ۱۳۸۸. بررسی هیدروشیمیایی کارست منطقه شیرین بهار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی. دانشکده علوم. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- فلامرزی، ب. ۱۳۹۳. تخمین جریان پایه رودخانه به روش FUKIH و مقایسه آن با روش‌های UKIH و RDF (مطالعه موردی: رودخانه ابوالعباس). پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- مالی، س. و محمدی، ض. ۱۳۹۳. ارزیابی روش‌های برآورد جریان پایه در چشمه‌های کارستی، مطالعه‌ی موردی چشمه‌های پیرغار و دیمه. فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته. شماره ۱۴: ۲۲-۳۷.
- محمدی‌بهباد، ح. ر. ۱۳۹۰. شناسایی منشأ تغذیه و بررسی خصوصیات فیزیکی-شیمیایی چشمه کارستی بی‌بی تلخون. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی. دانشکده علوم. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- Dreiss, S.J. 1989. Regional Scale Transport in a Karst Aquifer, Part 1, Component Separation of Spring Flow Hydrographs. *Water Resources Research*, 25(1): 117-125.
- Falamarzi, B., Zarei, H., Radmanesh, F. and Bagherian Marzouni, M. 2014. Study on Baseflow Separation of "Abolabas River" Using ADUKIH and RDF Methods. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2(9): 2616-2626.
- Foufoula-Georgiou, E. and Kumar, P. 1994. *Wavelet in Geophysics: An Introduction*. San Diego New York Boston, London, Sydney, Tokyo, Toronto. Academic Press.
- Mallat, S. 1998. *A wavelet tour of signal processing: San Diego*.
- Minea, I. 2017. Streamflow-Base Flow Ratio in a Lowland Area of North-Eastern Romania. *Water Resources and the Regime of Water Bodies*, 44 (4):579-585.
- Nourani, V., Kisi, Ö. and Komasi, M. 2011. Two Hybrid Artificial Intelligence Approaches for Modeling Rainfall-Runoff Process. *Journal of Hydrology*, 402: 41-59.
- Rudra, R., Ahmed, I., Khan, A.A. and Singh, K.G. 2015. Use of Baseflow Indices to Delineate Baseflow Dominated and Rapid Response Flow Dominated Watersheds. *Canadian Biosystems Engineering / Le Genie des biosystems au Canada*, 57: 1.1-1.11.
- Salerno, F. and Tartari, G. 2009. A Coupled Approach of Surface Hydrological Modelling and Wavelet Analysis for Understanding The Baseflow Components of River Discharge in Karst Environments. *Journal of Hydrology*, 376(1-2): 295-306.
- Xi, C., Cai, C., Qingqing, H., Zhicai, Z. and Peng, S. 2008. Simulation of rainfall-underground outflow responses of a karstic watershed in Southwest China with an artificial neural network. *Water Science and Engineering*, 1(2): 1-9.



Application of Wavelet Transform in Baseflow Separation of Karstic Springs

Abazar Solgi*, Heidar Zarei**†, Safar Marofi‡

Abstract

Baseflow separation is one of the important topics in hydrology and water resources management. Different methods have been used to baseflow separation in the river and karstic springs. In this study, the wavelet transform was used as a new tool to baseflow separation in Gamasiyab spring in Nahavand County and Kahman spring in Aleshter County. In this study the data of the 49 years period for the Gamasiyab spring and data of the 27 years period for the Kahman spring were used. For evaluation of this tool, the Hydrochemical method was used by sampling quality data in water year of 2017-2018 for the two springs. The results showed that, in Gamasiyab spring, wavelet function Db4 at level 6 has the best performance. This best performance has the adjusted R^2 of 0.96, and RMSE of 0.651 (m^3/s). The best performance in Kahman spring related to wavelet function Db2 at level 5, that has adjusted R^2 of 0.99, and RMSE of 0.187 (m^3/s). Generally, the Wavelet Transform has high accuracy in baseflow separation.

Keyword: Daily Discharge, Wavelet Transform, Flow Separation, Baseflow, Karstic Springs.

* -Ph.D. Student, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Water Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. Abazar_solgi@yahoo.com.

† -Associate Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran (corresponding author). zareih@scu.ac.ir.

‡ -Professor, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. smarofi@yahoo.com.