



دانشگاه گوارن و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و ششم، شماره اول، ۱۳۹۸

<http://jwsc.gau.ac.ir>

۱-۲۵

بررسی رابطه شاخص دبی پایه با دما و بارندگی به روش موجک همدوس (مطالعه موردی: حوزه آبخیز گرگان‌رود)

سید رضا حسینی دوکی^۱، * سید مرتضی سیدیان^۲، حامد روحانی^۲ و معصومه فراستی^۲

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه آبخیزداری، دانشگاه گنبد کاووس، ^۲استادیار گروه آبخیزداری، دانشگاه گنبد کاووس

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۷/۳

چکیده

سابقه و هدف: تغییر اقلیم در نواحی مختلف دنیا باعث تغییر پارامترهای هواشناسی شده است. خشکسالی و کم‌آبی منجر به بحران در بسیاری از کشورها می‌شود. بنابراین مطالعه تغییرات پارامترهای هواشناسی و تأثیر آن بر دبی رودخانه‌ها که عامل مهمی در تأمین نیازهای آبی می‌باشند دارای اهمیت است. هدف از این پژوهش بررسی ارتباط پارامترهای دما و بارندگی با شاخص دبی پایه در رودخانه گرگان‌رود با روش انتقال موجک پیوسته و همدوسی موجک می‌باشد تا تأثیر دما و بارندگی بر شاخص دبی پایه در ایستگاه‌های مختلف در طول دوره آماری مورد بررسی مشخص شود.

مواد و روش‌ها: ابتدا دبی پایه با استفاده از روش دو پارامتره اکهارت تعیین و سپس شاخص دبی پایه در شش ایستگاه (تمر، لزوره، نوده، ارازکوسه، سدگرگان و تقی‌آباد) محاسبه شد. شاخص دبی پایه نشان‌دهنده سهم آب‌های زیرزمینی در جریان سطحی رودخانه است که کم‌ترین شاخص سالیانه مربوط به ایستگاه تقی‌آباد با مقدار ۰/۳۰ و بیش‌ترین شاخص مربوط به ایستگاه تمر با مقدار ۰/۶۶ است. سپس رابطه درجه حرارت و بارندگی با شاخص دبی پایه در شش ایستگاه واقع در حوزه آبخیز گرگان‌رود در یک دوره ۳۳ ساله (۱۳۶۰ تا ۱۳۹۲) با روش انتقال موجک پیوسته و همدوسی موجک بررسی شد. روش همدوسی موجک نشان می‌دهد با افزایش دما و یا بارندگی میزان دبی پایه افزایش و یا کاهش می‌یابد.

یافته‌ها: تحلیل ارتباط داده‌های سالیانه دما و بارش بیانگر تأثیر دو پارامتر دما و بارش بر شاخص دبی پایه است. بررسی شدت همدوسی بین بارندگی و شاخص دبی پایه در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد بیش‌ترین همبستگی در دوره‌های ۱ تا ۴ ساله وجود دارد که این همبستگی در سال‌های میانی ایستگاه‌های سد گرگان و تقی‌آباد غیرمستقیم و در سایر ایستگاه‌ها و سال‌های ابتدایی و انتهایی ایستگاه تقی‌آباد مستقیم است. در دوره‌های ۴ تا ۸ ساله نیز ارتباط و همبستگی‌هایی بین بارندگی و شاخص دبی پایه وجود دارد که در ایستگاه‌های لزوره و نوده مستقیم و ارازکوسه و تمر

* مسئول مکاتبه: s.m.seyedian@gmail.com

غیرمستقیم است. همچنین در دوره ۸ تا ۱۰ ساله بیش‌ترین همبستگی در ایستگاه‌های ارازکوسه و نوده و با شدت کم‌تر در ایستگاه سدگرگان وجود دارد که جهت پیکان‌ها مستقیم بودن این ارتباط را نشان داد. تحلیل شدت هم‌دوسی بین دما و شاخص دبی پایه نشان می‌دهد ارتباط و همبستگی‌های مستقیم و با شدت زیاد مربوط به ایستگاه‌های سد گرگان در سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۸ در دوره ۳-۴ ساله، لزوره در سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۵ با دوره بازگشت ۴ ساله و تقی‌آباد در سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۶۸ با دوره بازگشت ۱ تا ۵ ساله است. همچنین همبستگی‌های غیرمستقیم مربوط به ایستگاه‌های نوده و تمر به ترتیب در سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۶۹ و ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۲ با دوره بازگشت کوتاه‌مدت ۲ و ۳ ساله و ایستگاه تقی‌آباد در سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۷۹ و تمر ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۲ با دوره بازگشت بلندمدت ۸ تا ۱۰ ساله است.

نتیجه‌گیری: با توجه به شرایط ایستگاه‌ها ممکن است ارتباط بارندگی با شاخص دبی پایه مستقیم و یا غیرمستقیم باشد. همچنین در بعضی از ایستگاه‌ها در دوره‌هایی رابطه مستقیم و در مابقی دوره رابطه عکس وجود دارد. ارتباط بین شاخص دبی پایه و دما نیز در بعضی از ایستگاه‌ها مستقیم و در برخی غیرمستقیم است.

واژه‌های کلیدی: بارندگی، دبی پایه، دما، موجک پیوسته، موجک هم‌دوس

مقدمه

با توجه به گرمایش جهانی، آب و هوای جهانی دچار تغییرات شدیدی مانند افزایش جهانی دما، افزایش ذوب برف و یخ و بارندگی‌های نامنظم شده است (۳۵). این تغییرات تأثیر قابل‌توجهی بر عوامل هیدرولوژیکی مانند دبی جریان رودخانه‌ها، دبی پایه و سطح آب‌های زیرزمینی دارد. بنابراین پژوهش‌ها در مورد بررسی روند هیدرولوژیکی این عوامل، به موضوعی مهم تبدیل شده است (۶ و ۲۷). جریان رودخانه را می‌توان به جریان مستقیم و دبی پایه تقسیم کرد. منشاء جریان مستقیم، رواناب سطحی حاصل از باران و ذوب برف و یخ می‌باشد و منشاء دبی پایه تغذیه ناشی از جریان‌ات آب‌های زیرزمینی (چشمه‌ها) می‌باشد (۳۳). به‌طور معمول دبی پایه به باران کم‌تر حساس بوده و بیش‌تر به مقدار تخلیه از آب‌های زیرزمینی بستگی دارد. پژوهش‌های مختلفی نشان داده است دبی پایه همبستگی بالایی با تغییرات آب و هوا دارد (۵، ۲۱ و ۳۱). از این‌رو ایجاد مطالعات دبی جریان رودخانه، به‌ویژه دبی پایه و

بررسی و پیش‌بینی روند این جریان‌ها عامل مهمی در مدیریت (منابع آب، سیل و خشکسالی)، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، احداث سدها و ... می‌باشد. روش‌های زیادی برای تفکیک دبی پایه ارائه شده که از آن جمله می‌توان روش استفاده از ردیاب‌های شیمیایی و بیلان جرمی، روش‌های گرافیکی، روش‌های منحنی خشکیدگی و روش‌های فیلترینگ (شامل روش‌های، Hysep، فیلتر رقومی لینه و هالیک، فیلترهای رقومی تک‌پارامتره و دوپارامتره، فیلتر رقومی چاپمن، فیلتر رقومی اکهارت و...) را نام برد. دقیق‌ترین روش، استفاده از ردیاب‌ها است که هزینه‌بر و زمان‌بر بوده که مقرون به صرفه نمی‌باشد. روش‌های گرافیکی نیز علی‌رغم سریع بودن اغلب نتایج قابل‌قبولی ارائه نمی‌دهند. روش‌های فیلترینگ علاوه بر دقت بالا در تفکیک جریان، سریع هم به نتیجه می‌رسد و در صورت انتخاب روش مناسب در منطقه می‌تواند انتظارات یک پژوهشگر را در تفکیک دبی پایه برآورد کند.

خشکیدگی حوضه‌ها از روش فیلتر برگشتی اکهارت استفاده نموده و مقادیر BFI_{max} را برای حوضه‌ها بین ۰/۲۵۰ تا ۰/۷۹۴ به دست آوردند (۴۴).

با توجه به اهمیت دبی پایه در تأمین بخشی از نیاز آبی و تأثیر تغییرات آب و هوایی بر آن، در سال‌های اخیر پژوهشگرانی روند تغییرات و ارتباط دبی پایه با شاخص‌های آب و هوایی را بررسی کرده‌اند. بررسی تغییرات روند دبی پایه و تغییرات آب و هوایی با استفاده از روش‌های مختلف اعم از آزمون‌های پارامتریک مانند تحلیل رگرسیون و آزمون‌های ناپارامتریک مانند آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن^۱، آزمون من-کندال^۲، آزمون سن^۳ و یا روش تبدیل موجک^۴ بین سری‌های زمانی مختلف در سراسر جهان صورت گرفته است. با وجود پژوهش‌های مختلف، یافتن معیار مناسب برای بررسی تغییرات هیدرولوژیکی یکی از مباحث مهم در مدیریت منابع آب است (۱۵). کاهیا و کالایچی (۲۰۰۴) با استفاده از روش‌های مختلف ناپارامتری در ۲۶ حوزه در کشور ترکیه نشان دادند که در قسمت‌های غربی ترکیه دبی ماهانه روند نزولی معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد و بالاتر دارد اما در قسمت‌های شرقی روند معینی در دبی ماهانه مشاهده نگردید (۲۴). جیانگ و همکاران (۲۰۰۷) روند تغییرات بارندگی و دبی رودخانه را در تعدادی از ایستگاه‌های حوضه رودخانه یانگ تسه در یک دوره ۴۰ ساله بررسی کردند و نتایج بیانگر افزایش معنی‌دار دبی رودخانه در بیش‌تر ایستگاه‌ها بود (۲۳).

کومار و همکاران (۲۰۰۹) برای شناسایی روند جریان در ایالت ایندیانا آمریکا از آزمون ناپارامتری من-کندال در ۳۱ ایستگاه آب‌سنجی که دارای آمار

اکهارت (۲۰۰۵) در پژوهش خود یک الگوی تجربی برای الگوریتم فیلترینگ با فرض رابطه خطی جریان و ذخیره آبخوان توسعه داد و مفهوم شاخص دبی پایه حداکثر در حوضه‌های مختلف و کاربردهای آن در تجزیه جریان را بیان نمود و یک رابطه برای تعیین دبی پایه ارائه کرد (۸). هفت روش مختلف استخراج دبی پایه با استفاده از تحلیل آماری و روش همبستگی توسط اکهارت (۲۰۰۸) بررسی و با روش ردیاب مقایسه شد. نتایج نشان داد الگوریتم پیشنهادی تحت عنوان فیلتر رقومی برگشتی اکهارت در صورت تعیین دقیق پارامترها مناسب‌ترین روش در مناطق مختلف می‌باشد (۹). جداسازی دبی پایه به روش‌های مختلف توسط گزنالس و همکاران (۲۰۰۹) در هلند صورت گرفت. آن‌ها پس از تعیین دو پارامتر روش فیلتر برگشتی اکهارت مقدار دبی پایه را تعیین کردند (۱۶). تیموری و همکاران (۲۰۱۱) نیز از روش دو پارامتره اکهارت به‌عنوان مبنا برای مقایسه روش‌های دیگر تعیین دبی پایه استفاده کردند (۴۶). پژوهشگران زیادی با تعیین دو پارامتر روش اکهارت، در مناطق مختلفی از این روش استفاده کرده‌اند و نتایج قابل‌قبولی به دست آورده‌اند. اوبرین و همکاران (۲۰۱۳) نیز طی پژوهشی با هدف توسعه یک راهکار جامع برای تجزیه هیدروگراف، روش فیلتر برگشتی اکهارت را برای تجزیه هیدروگراف در ایرلند سریع و مناسب دانسته‌اند و تاکید کردند که می‌توان از این روش در مناطقی که داده‌های دبی جریان و خصوصیات زمین‌شناسی در دسترس است، استفاده کرد و نتایج قابل‌قبول و قابل اعتمادی برای مطالعات مختلف به دست آورد (۳۶). تارمینا و همکاران (۲۰۱۵) جریان کل و پایه را از طریق شبکه عصبی مصنوعی (ANNs) در ۹ حوضه در ایالات متحده آمریکا پیش‌بینی کردند. آن‌ها برای جداسازی دبی پایه بعد از بررسی لایه‌های زمین‌شناسی و منحنی

- 1- Spearman's ratio
- 2- Man-Kendall Test
- 3- Sen Test
- 4- Wavelet transform

کرخه با استفاده از روش‌های ناپارامتریک من- کندال و برآوردگر سن در یک دوره آماری ۴۰ ساله به این نتیجه رسیدند که روند بارش در سری زمانی سالانه ایستگاه‌های شمالی حوضه افزایشی و در ایستگاه‌های جنوبی حوضه کاهش‌ی است. همچنین روند دبی در مقیاس سالانه و فصلی کاهش‌ی است (۲۵).

فیکلین و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند در حوضه‌های ایالات متحده امریکا بارش، درجه حرارت و تبخیر بر روند دبی جریان مؤثر است (۱۲). استراج و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی تأثیر درجه حرارت بر دبی پایه رودخانه به صورت روزانه، ماهانه و فصلی در مناطق استوایی جزیره هاوایی به این نتیجه رسیدند که با افزایش درجه حرارت مقدار دبی پایه نیز کاهش می‌یابد (۴۳).

پژوهش‌هایی در مورد تبدیل موجک پیوسته^۱، تبدیل موجک گسسته^۲ و انتخاب موجک مادر^۳ توسط فارگ (۱۹۹۲) و همچنین در مورد آنالیز تبدیل موجک متقابل^۴ و ارتباط موجکی^۵ توسط گرینستد و همکاران (۲۰۰۴) بین سری‌های زمانی، برای به دست آوردن رابطه بین پارامترهای هیدرولوژیکی انجام شده است (۱۱ و ۱۸). مهمت و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از روش انتقال موجک، خصوصیات داده‌های بارش در کونجاشن را تحلیل کردند. نتایج آن‌ها نشان داد ارتباط بین داده‌های بارش و چرخه‌های سالانه ممکن است به توالی دوره‌های خشک و مرطوب کمک کند (۳۰). هولمان و همکاران (۲۰۱۱) و رجایی و ابراهیمی (۲۰۱۵) با روش تبدیل موجک تغییرات سطح آب زیرزمینی را بررسی کردند (۲۲). قاسم‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی تأثیر پارامترهای

۵۰ ساله یا بیش‌تر بود استفاده کردند. نتایج نشان داد روند مثبت و معنی‌داری در کمینه و میانگین جریان وجود دارد (۲۶). بیرسان و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی‌هایی که بر روی روند دبی جریان در یک دوره ۳۰ ساله در حوضه‌ای در کشور رومانی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که در مقیاس ماهانه روند جریان دارای نوسان بوده اما در مقیاس سالانه روند نزولی بوده است (۳). پژوهش فان و همکاران (۲۰۱۳) در رودخانه تاریم که یکی از بزرگ‌ترین روخانه‌های چین است نشان داد دبی پایه و شاخص دبی پایه تغییرات فصلی واضحی دارند (۱۰).

چن و همکاران (۲۰۱۵) روند دبی جریان را در شمال تایوان با استفاده از آزمون من- کندال بر روی چهار رودخانه و ۱۲ ایستگاه مورد بررسی قرار دادند. نتایج تجزیه و تحلیل دبی ماهانه و فصلی جریان نشان داد در بهار، ۷۲/۲ درصد ایستگاه‌ها روندی کاهش‌ی داشته که بیش‌تر این ایستگاه‌ها مربوط به دو رودخانه می‌باشد (۴). نتایج آزمون من- کندال توسط رحیمی و همکاران (۱۳۹۳) در ایستگاه ارازکوسه استان گلستان نشان داد در مقیاس سالانه، میانگین دبی پایه و دبی کل، روند نزولی داشته است و در کل منطقه رو به خشکی می‌رود (۳۹). پژوهش‌های زیادی در مورد روند تغییرات پارامترهای هیدرولوژیکی مانند بارندگی و دبی رودخانه در نقاط مختلف ایران انجام شده است.

شیخ و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری در حوزه آبخیز اترک به این نتیجه رسیدند که دبی متوسط روزانه در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه روند نزولی دارد و حجم آبدهی سالانه حوضه آبخیز اترک کاهش پیدا کرده است (۴۱). خورشیددوست و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی روند تغییرات بارش- دبی در زیر حوضه‌های رودخانه

- 1- Continuous wavelet transform (CWT)
- 2- Discrete wavelet transform (DWT)
- 3- Mother Wavelet
- 4- Cross wavelet transform (XWT)
- 5- Wavelet Transform Coherence (WTC)

تشکیل می‌دهند. از نظر موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز گرگانرود بین عرض‌های جغرافیایی 33° تا 36° تا 45° شمالی و در طول‌های جغرافیایی 03° تا 54° شرقی قرار دارد. حداکثر ارتفاع این حوضه در حدود ۶۰۰ متر و حداقل آن ۲۶ متر از سطح دریا می‌باشد. در این پژوهش با توجه به کفایت داده‌های مورد نیاز شش ایستگاه هیدرومتری (تمر، لزوره، نوده، ارازکوسه، سدگرگان و تقی‌آباد) از حوزه آبخیز گرگانرود واقع در استان گلستان با پایه مشترک آماری ۳۴ ساله (۱۳۶۰ تا ۱۳۹۳) دبی روزانه انتخاب گردید. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ و موقعیت جغرافیایی آن‌ها در شکل ۱ ارائه شده است.

روش کار: هیدروگراف رواناب دارای مقدار پیک زیاد و زمان جریان کم می‌باشد اما هیدروگراف دبی پایه با مقدار پیک کم و زمان جریان طولانی خواهد بود. دبی پایه در ارتباط با ذخیره آب زیرزمینی بوده و فرض کلی بر این اساس است که جریان خروجی از آبخوان در دوره‌های بدون تغذیه رابطه خطی با ذخیره آن دارد (۹). بدین‌منظور روش‌های زیادی برای ارزیابی بهتر و دقیق‌تر تجزیه هیدروگراف ارائه شده که دقیق‌ترین آن، استفاده از ردیاب‌های شیمیایی است. بنابراین در این پژوهش با توجه به مرور منابع از روش فیلتررقومی اکهارت برای تجزیه هیدروگراف و تخمین دبی پایه استفاده شد.

هیدروگراف جریان شامل دو مولفه اصلی (شامل الف) رواناب مستقیم و ب) دبی پایه می‌باشد (رابطه ۱).

هیدروکلیماتولوژیکی روی سطح آب دریاچه ارومیه با استفاده از معیار ارتباط موجکی به این نتیجه رسیدند که رواناب نسبت به سایر پارامترها دارای بیش‌ترین تأثیر روی سطح آب است و دما، بارش، رطوبت نسبی و تبخیر در اولویت‌های بعدی قرار دارد (۱۵).

مرور منابع نشان می‌دهد پژوهش‌های کمی در داخل کشور تغییرات شاخص دبی پایه با دما و بارش را با روش انتقال موجک بررسی کرده‌اند. در این پژوهش برای تفکیک دبی پایه از روش دوپارامتره فیلتررقومی اکهارت استفاده می‌گردد که دو پارامتر با توجه به سازندهای زمین‌شناسی و روش منحنی افت اصلی تعیین می‌گردد. سپس تغییرات سالانه دما و بارش با شاخص دبی پایه با روش انتقال موجک (پیوسته و همدوس) در طول دوره آماری شش ایستگاه در حوزه آبخیز گرگانرود بررسی می‌شود. ابتدا تغییرات دبی، بارندگی و دبی پایه و نوسانات و دوره بازگشت‌های آن‌ها بررسی می‌شود. سپس تأثیر تغییرات دما و بارندگی بر شاخص دبی پایه در ایستگاه‌های مختلف تعیین می‌شود.

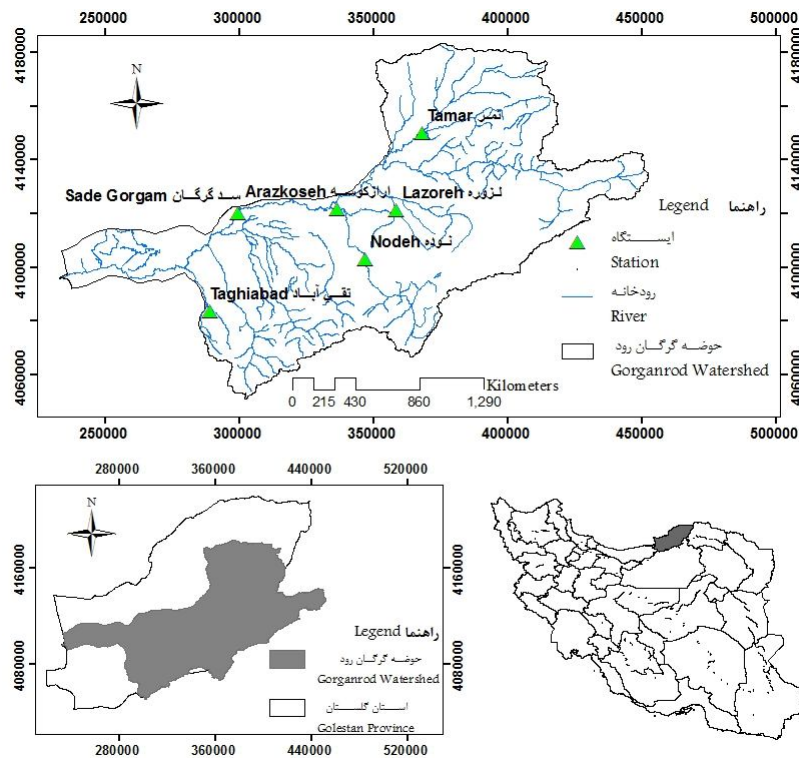
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: حوضه آبخیز گرگانرود با مساحت ۱۱۳۸۰ کیلومترمربع در شمال کشور و در جنوب‌شرقی دریاچه خزر واقع شده است. این منطقه از شمال به حوضه آبریز اترک سفلی، از جنوب به حوضه‌های آبریز کویر نمک، از غرب به دریای خزر و از جنوب‌غربی به حوضه نکارود محدود شده است. ارتفاعات البرز بخش‌های جنوبی و شرقی حوضه را

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در حوضه آبخیز گرگانرود.

Table 1. Characteristics of hydrometric stations in the watershed Gorganrod

نسبت هیدرولوژیکی Hydrological ratio Q90/Q50	انحراف استاندارد دبی جریان Standard deviation of Flow Discharge	متوسط دبی جریان Average Flow Discharge (m ³ /s)	ارتفاع Height (m)	مختصات		کد ایستگاه Station Code	ایستگاه Station
				UTM coordinates			
				Y	X		
0.22	4.18	1.56	132	4150504	367584	12-005	تمر Tamer
0.27	9.39	5.48	35	4121414	336132	12-019	ارازکوسه Arazkoseh
0.16	16.86	7.94	12	4119958	299510	12-025	سد گرگان Sadgorgan
0.34	2.51	2.18	280	4102953	346617	12-017	نوده Nodeh
0.42	3.39	2.52	190	4120965	358258	12-013	لزوره Lazoreh
0.30	1.37	0.39	100	4083239	288986	12-033	تقی‌آباد Taghiabad



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز گرگانرود در استان گلستان.

Figure 1. Geographical location watershed Gorganrod in Golestan province.

به شرط $q_b(i) \leq q(i)$ که در آن α پارامتر فیلتر مرتبط با حوزه آبخیز است که توسط ثابت افت منحنی هیدروگراف قابل تعیین می‌باشد، $q_b(i-1)$ دبی پایه فیلتر شده برای زمان قبل از i ، $q(i)$ جریان اصلی رودخانه برای زمان i و $q_b(i)$ دبی پایه فیلتر شده برای زمان i ام و BFI_{max} ماکزیمم شاخص دبی پایه است.

در این روش نیاز است تا دو پارامتر BFI_{max} و α تعیین گردد. براساس مطالعات اکهارت (۲۰۰۵) مقادیر BFI_{max} برای رودخانه‌های دائمی با حوزه آبخیز نفوذپذیر برابر $0/8$ ، برای رودخانه‌های فصلی با حوزه آبخیز نفوذپذیر برابر $0/5$ و برای رودخانه‌های دائمی با حوزه آبخیز سخت و سنگی برابر $0/25$ تعیین گردید (۸). با تهیه نقشه زمین‌شناسی $1:250000$ حوزه‌های مورد مطالعه در محیط GIS و تعیین نوع سازند و سنگ‌های تشکیل‌دهنده سازندها و تعیین نفوذپذیری هر یک از سازندها و سنگ‌های تشکیل‌دهنده و کلاس‌بندی کردن (A-B-C-D-E) براساس هرم شماتیک نفوذپذیری سنگ‌ها میزان نفوذپذیری هر یک از سازندها برآورد شد. در مورد خصوصیات سنگ‌شناسی، واحدهای لیتولوژیکی موجود را با توجه به این هرم، می‌توان در پنج کلاس (کوآترنری (A)، سنگ آهک (B)، آهک- دولومیت- کنگلومرا- نئوزن و شیل (C)، ماسه‌سنگ به همراه سیلت- مارن- ژپیس (D)، ماسه‌سنگ- سیلت سنگ- سنگ‌های آذرین و دگرگونی (E)) طبقه‌بندی کرد که از کلاس A به E نفوذپذیری و دبی پایه کاهش و رواناب مستقیم افزایش می‌یابد. سپس BFI_{max} به صورت رابطه ۳ برای حوزه تعیین گردید. در فیلتر رقومی اکهارت مقدار BFI_{max} بالاتر از $0/8$ نمی‌تواند محاسبه شود زیرا در این روش BFI_{max} حداکثر برابر با $0/8$ است (۱۷).

$$q(i) = q_b(i) + q_f(i) \quad (1)$$

که در آن، $q(i)$ جریان کل در زمان i ام، $q_b(i)$ دبی پایه در زمان i ام و $q_f(i)$ رواناب مستقیم در گام زمانی i می‌باشد.

شاخص دبی پایه^۱: شاخص دبی پایه (BFI) یک نسبت بدون بعد است که به وسیله انستیتوی هیدرولوژی (۱۹۸۰) معرفی شده است. این شاخص با استفاده از داده‌های روزانه جریان رودخانه محاسبه می‌شود. برای محاسبه BFI ابتدا دبی پایه از روان‌آب سطحی تفکیک می‌شود. سپس BFI از تقسیم حجم دبی پایه بر حجم کل روان‌آب برای هر سال و یا برای کل دوره به دست می‌آید. شاخص BFI به صورت پارامتری مؤثر در مدل‌سازی بارش روان‌آب به کار می‌رود. همچنین این شاخص را می‌توان به عنوان مشخصه یک حوضه برای مقایسه خصوصیات جریان در حوضه‌های مختلف به کار برد. شاخص BFI به طور کلی بیانگر این است که چه درصدی از دبی پایه در تشکیل روان‌آب مشارکت دارد (۳۴). مقدار زیاد این شاخص نشان می‌دهد حوضه، رژیم جریان پایداری دارد و در طول دوره خشکی قادر به حفظ جریان رودخانه است. شاخص دبی پایه به مقدار زیادی به خصوصیات هیدرولوژیکی خاک، زمین‌شناسی و سایر ویژگی‌های مرتبط با ذخیره‌سازی وابسته است (۷).

فیلتر رقومی برگشتی دوپارامتره اکهارت: این روش اولین بار توسط اکهارت (۲۰۰۵). ارائه گردید. براساس رابطه ۲ برای تجزیه هیدروگراف به دبی پایه و جریان سطحی به ضریب فروکش (α) و ماکزیمم شاخص دبی پایه (BFI_{max}) نیاز است (۸).

$$q_b(i) = \frac{(1 - \alpha BFI_{max}) \alpha q_{(i-1)} + (1 - \alpha) BFI_{max} q(i)}{1 - \alpha BFI_{max}} \quad (2)$$

$$Q_t = Q_0 e^{-kt} \quad (۴)$$

$$a = \exp(-k) \quad (۵)$$

که در آن، Q_t دبی در زمان t ، Q_0 دبی اولیه، k ثابت خشکیدگی و a ضریب خشکیدگی مرتبط با حوزه است.

روش تحلیل موجک: موجک‌ها توابع ریاضی‌اند که داده‌ها را به مولفه‌های فرکانسی تشکیل‌دهنده آن‌ها تفکیک می‌کنند و هر مؤلفه را با قدرت متناسب با مقیاس آن مؤلفه مورد مطالعه قرار می‌دهند. تحلیل موجک، یکی از راه‌های پیشرفته برای پردازش سیگنال‌ها است که توسط گروسمن و مورلت در سال ۲۰۰۴ توسعه داده شده است (۱۸).

عبارت موجک به معنای موج کوچک هست که دارای سه مشخصه تعداد نوسان محدود، بازگشت سریع به صفر در هر دو جهت مثبت و منفی در دامنه خود و میانگین صفر است که شرط مقبولیت نامیده می‌شود و به صورت رابطه ۶ می‌باشد که در آن $\Psi(t)$ تابع تبدیل موجک (موجک مادر) است (۱۱).

$$\int \Psi(t) dx = 0 \quad (۶)$$

در نظریه موجک اگر پنجره مورد مطالعه بزرگ باشد ویژگی‌های کلی سری زمانی دیده می‌شود و اگر پنجره مورد مطالعه کوچک باشد جزئیات مورد توجه بیش‌تری خواهند بود. در این تبدیل با استفاده از موجک پایه و با مقیاس کردن و انتقال زمانی آن، داده‌ها تجزیه و تحلیل می‌گردند. هرچه مقیاس مورد استفاده بزرگ‌تر باشد موجک پایه بیش‌تر کشیده شده و تجزیه و تحلیل بر روی مؤلفه‌های فرکانس پایین اطلاعات انجام خواهد شد. برعکس هرچه مقیاس مورد استفاده کوچک‌تر باشد موجک پایه بیش‌تر

$$BFI_{max} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n A_i * C_i \quad (۳)$$

که در آن، A مساحت کل حوضه، A_i مساحت منطقه مربوط به سازند i ، C_i ضریب نفوذپذیری مربوط به سازند i و BFI_{max} پارامتر مربوط به روش فیلتر رقومی اکهارت می‌باشد. در این پژوهش i از یک تا ۵ می‌باشد که براساس طبقه‌بندی هرم لیتولوژیکی مقدار نفوذپذیری آن (ضریب C) مشخص می‌شود و در مساحت آن (A) ضرب می‌شود. با توجه به سازندهای تشکیل‌دهنده هر حوضه مساحت هر سازند در ضریب نفوذپذیری ضرب و کل سازندها با یکدیگر جمع شده و در نهایت بر کل مساحت حوضه تقسیم می‌شود. پارامتر a در رابطه با تحلیل منحنی خشکیدگی تعیین می‌شود.

منحنی خشکیدگی^۱: یکی از روش‌هایی که به‌عنوان مبنا برای بررسی دقت روش‌های مختلف تعیین دبی پایه مورد استفاده قرار می‌گیرد روش منحنی خشکیدگی است. این روش براساس تحلیل سری زمانی جریان رودخانه و تعیین مولفه‌های آن استوار است. این روش نتیجه قابل‌قبولی ارائه می‌دهد اما سختی کار، صرف وقت زیاد، مشکلات اجرایی و تعداد بسیار زیاد سیلاب‌های رخ داده در سال باعث پیچیده شدن اجرای این روش می‌گردد (۱۴). همچنین روش‌هایی به‌منظور میانگین‌گیری یا ترکیب شاخه‌های خشکیدگی مجزا به‌منظور یافتن افت دبی پایه مبنا در یک حوضه وجود دارد که می‌توان به روش منحنی افت اصلی^۲ اشاره کرد (۴۵). در این پژوهش از روش منحنی افت اصلی برای تعیین ثابت خشکیدگی در رابطه اکهارت استفاده می‌شود. ضریب خشکیدگی به استفاده از رابطه‌های ۴ و ۵ تعیین می‌شود.

1- Recession Curve, RC

2- Master Recession Curve, MRC

که در آن، N تعداد نقاط موجود در سری زمانی، S مقیاس موجک، n شاخص زمان موضعی شده و علامت (\cdot) معرف مزدوج مختلط است.

طیف توان موجک^۳: طیف توان موجک به صورت $|W_n(s)|^2$ تعریف می‌شود که واریانس موضعی سری زمانی $X(t)$ در مقیاس‌های زمانی s را نشان می‌دهد و نوسانات واریانس در فرکانس‌های مختلف را ارائه می‌دهد (۴۸). در نمودار طیف توان موجک، نواحی که به لحاظ آماری در سطح ۰.۵٪ معنی‌دار می‌باشند با خطوط پررنگ مشکی مشخص شده‌اند. بنابراین در نمودار طیف توان موجک، نقاطی که با رنگ قرمز و با خطوط پررنگ مشکی مشخص شده‌اند، نواحی هستند که در مقیاس زمانی مشخص شده، بیش‌ترین واریانس و یا نوسانات را دارند. همچنین نواحی خارج از منحنی‌های مخروطی شکل، نقاطی هستند که تفسیر آن‌ها به راحتی امکان‌پذیر نیست و باید با احتیاط بیش‌تری تفسیر شوند (۱۸ و ۴۸).

روش مونت کارلو: احتمال این‌که توان موجک بیش‌تر از توان موجک پس‌زمینه (P_k) باشد توسط روش مونت کارلو با رابطه ۹ محاسبه می‌شود.

$$D\left(\frac{|W_n(s)|^2}{\sigma_X^2} < p\right) = \frac{1}{2} P_k X_{\vartheta}^2(P) \quad (9)$$

که در آن، ϑ برابر است با یک برای موجک ساده و دو برای موجک پیچیده، σ_X^2 واریانس سری زمانی است. **همدوسی موجک^۴:** همبستگی موجکی همبستگی را در مقیاس‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد اما هم‌فاز و یا غیرهم‌فاز بودن دو متغیر را نشان نمی‌دهند که این موضوع توسط نمودارهای همدوسی و جهت‌های اختلاف فازی موجود در این نمودارها بررسی می‌شود (۴۸). با توجه به روش تبدیل طیف بسامدی فوری،

فشرده شده و تجزیه و تحلیل بر روی مولفه‌های فرکانس بالا انجام می‌گردد. تبدیل موجک عملگری هست که یک تابع را به مجموعه‌ای از تبدیل موجک‌های مادر اصلاح شده تبدیل می‌کند.

تبدیل موجک ابزار مهمی برای تحلیل فرکانس غالب متغیر در سری زمانی و شناسایی دوره وقوع آن است. با تحلیل موجک می‌توان نمایش گرافیکی از دامنه و دوره تغییرات را با زمان نشان داد. تبدیل موجک پیوسته و همدوس روش توانمندی برای آزمون ارتباط دو سری زمانی است. از آنجایی‌که هدف این مطالعه، شناسایی فرکانس غالب وقوع این تغییرات است، از روش تبدیل موجک پیوسته و همدوس استفاده شده است. روش مورلت رابطه (۷) روش مناسبی برای شناسایی تغییرات مداوم در سیگنال‌های ژئوفیزیکی است. موجک مورلت^۱ موج مسطح مدوله^۲ شده توسط تابع گوسین است (۳۷ و ۴۸).

$$\Psi_0(\eta) = \pi^{-1/4} \cdot e^{-i\omega_0\eta} \cdot e^{-\eta^2/4} \quad (7)$$

در رابطه ۷ پارامتر ω_0 نشان‌دهنده فرکانس (بدون بعد) هست که جهت برقراری شرط مقبولیت عدد ۶ در نظر گرفته شده است (۱۱). از تبدیل موجک به‌منظور تحلیل سری‌های زمانی با سیگنال‌های مختلف از نوع نا ایستا استفاده می‌گردد (۷). تبدیل موجک پیوسته از یک توالی گسسته x_n به‌صورت حلقه‌ای از x_n با پارامترهای مقیاس و انتقال از $\Psi_0(\eta)$ به‌صورت رابطه ۸ تعریف می‌شود.

$$W_n(s) = \sum_{n'}^{N-1} x_{n'} \Psi\left[\frac{(n'-n)\delta t}{s}\right] \quad (8)$$

3- Wavelet Power Spectrum
4- Wavelet Coherence

1- Morlet wavelet
2- Modulated

سری‌های زمانی هم‌فاز و متغیرها با یکدیگر رابطه مستقیمی دارند و در صورتی که به سمت چپ باشد در فاز مخالف همدیگر هستند و متغیرها با یکدیگر رابطه عکس دارند (۴۷).

نتایج و بحث

دبی روزانه شش ایستگاه در یک دوره ۳۳ ساله از سال ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۲ با روش فیلتر رقومی اکهارت تفکیک و شاخص سالیانه دبی پایه محاسبه می‌شود. سپس تغییرات سالیانه شاخص دبی پایه با داده‌های سالیانه دما و بارش به روش انتقال موجک (پیوسته و همدوس) ارائه، تفسیر و مقایسه می‌گردد.

در تفکیک دبی پایه به روش اکهارت دو پارامتر α (پارامتر فیلتر مرتبط با حوزه آبخیز) و BFI_{max} (ماکزیمم شاخص دبی پایه) باید تعیین شود (رابطه ۹). پارامتر فیلتر مرتبط با حوزه با استفاده از روش منحنی خشکیدگی اصلی مربوط به هر یک از حوزه‌ها تعیین می‌گردد. با توجه به رابطه ۲ و شیب منحنی پوش، مقدار α (ثابت خشکیدگی) تعیین و با جایگزینی ضریب k در رابطه ۵ مقدار پارامتر α (ضریب خشکیدگی مرتبط با حوزه در روش اکهارت) محاسبه می‌گردد. جدول ۲ پارامتر α مربوط به هر یک از ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد که کم‌ترین مقدار α مربوط به ایستگاه تقی‌آباد با ۰/۷۵ و بیش‌ترین مقدار مربوط به ایستگاه نوده با ۰/۹ است.

ماکزیمم شاخص دبی پایه (BFI_{max}) در روش اکهارت براساس نفوذپذیری سازندهای حوضه و نوع رودخانه (دائمی، غیردائمی) تعیین می‌شود. با توجه به دائمی بودن رودخانه‌های منطقه مورد مطالعه و همچنین تعیین ضریب نفوذپذیری هر یک از سازندها و مساحت تشکیل‌دهنده هر سازند و براساس رابطه ۵ مقدار BFI_{max} در روش اکهارت برای حوضه‌های

همدوسی موجکی را می‌توان به صورت نسبت طیف بسامدی متقاطع دو سری زمانی به ضرب طیف بسامدی هر یک از سری‌های زمانی تعریف کرد (۱). به عبارت ساده‌تر، خودهمبستگی در فضای زمانی سری زمانی تعریف می‌شود و همدوسی همان خودهمبستگی اما در فضای بسامدی سری زمانی است. در همدوسی می‌توان به خودهمبستگی در مقاطع زمانی خاص و هم‌زمان به مقیاس‌های زمانی خاص دست یافت. همدوسی موجکی به صورت رابطه ۱۰ تعریف می‌شود که در این رابطه S یک عملگر هموارسازی است.

$$R_n^2(s) = \frac{|S(S^{-1}W_n^{xy}(s))|^2}{S|(S^{-1}W_n^x(s))^2(S^{-1}W_n^y(s))^2|} \quad (10)$$

همدوسی را می‌توان به عنوان همبستگی خطی موضعی^۱ بین دو سری زمانی ایستا و مشابه ضریب همبستگی در رگرسیون خطی دانست که در فضای فرکانسی انجام می‌شود. بنابراین با همدوسی می‌توان بررسی کرد که چه اندازه ارتباط بین دو سری زمانی در فرکانس‌های مختلف و در طول زمان وجود دارد. همدوسی در حقیقت همان طیف بسامدی متقاطع نرمال سازی شده است (۴۷).

فاز^۲: از اختلاف‌های فازی همدوسی موجکی برای تشخیص ارتباط بین دو سری زمانی استفاده می‌شود. اختلاف فاز، جزئیاتی پیرامون تأخیرات نوسان‌های (و یا چرخه‌های) دو سری زمانی معین ارائه می‌دهد. اختلاف‌های فازی به وسیله پیکان‌هایی در نمودارهای همدوسی موجکی پدیدار می‌شوند. اختلاف فازی صفر یعنی سری‌های زمانی مورد بررسی در یک مقیاس زمانی خاص S با هم حرکت می‌کنند. علامت پیکان‌ها در صورتی که به سمت راست باشد،

1- Local Linear Correlation

2-Phase

به ترتیب با مقدار ۰/۳۰ و ۰/۶۶ است که بیانگر سهم آب‌های زیرزمینی در تأمین جریان رودخانه می‌باشد. تغییرات شاخص دبی پایه، دما و بارش با استفاده از داده‌های سالیانه بررسی گردید. در ابتدا شکل‌های این روش (به‌عنوان مثال شکل ۲) توضیح و تفسیر و سپس به آن پرداخته می‌شود. در این نمودارها سه مؤلفه شامل مقیاس، زمان و همدوسی موجک وجود دارد. مقیاس روی محور عمودی و زمان روی محور افقی نشان داده می‌شود. شدت همدوسی نیز با ستون رنگی کنار نمودار به‌صورت عمودی نشان داده شده است. قسمت‌هایی که توسط خط سیاه پر رنگ احاطه و با رنگ قرمز نشان داده شده قسمت‌هایی است که همدوسی با اهمیت آماری در سطح ۹۵ درصد وجود دارد. برای رسیدن به این سطح آماری از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو استفاده شده است. خطوط سیاه کم‌رنگی که در نمودار شکل را به‌صورت یک مخروط نشان می‌دهد بیانگر آن است که مقادیر بیرون از این مخروط باید با احتیاط تفسیر و توجیه شود و به‌نظر می‌رسد نمی‌توان به‌راحتی در مورد این مقادیر اظهار نظر کرد. همچنین پیکان‌های جهت‌دار موجود در شکل، اختلاف فاز را نشان می‌دهند.

مربوط به هر ایستگاه محاسبه و در جدول ۲ آورده شده است. بیش‌ترین BFI_{max} مربوط به ایستگاه تمر با مقدار ۰/۶۵ است که نشان‌دهنده تخلخل بالای سازندهای تشکیل‌دهنده حوضه و سهم بالای آب‌های زیرزمینی در جریان رودخانه می‌باشد. کم‌ترین BFI_{max} مربوط به ایستگاه تقی‌آباد با مقدار ۰/۳۸ است که نشان می‌دهد به‌دلیل سخت بودن سازندهای تشکیل‌دهنده حوضه، آب‌های زیرزمینی سهم کمی در جریان سطحی دارند.

بررسی منابع نشان داد پژوهشگران مختلف از روش اکهارت به‌عنوان روشی که نتایج قابل‌قبولی ارائه می‌دهد استفاده کرده‌اند. با تعیین پارامتر α و ماکزیمم شاخص دبی پایه (BFI_{max}) در حوضه‌های مورد مطالعه، دبی پایه به روش فیلتر برگشتی اکهارت (رابطه ۴) تفکیک شد. خصوصیات آماری شاخص دبی پایه سالانه به‌دست آمده توسط روش فیلتر برگشتی اکهارت مربوط به ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۳ آورده شده است. پایین بودن انحراف استاندارد در همه ایستگاه‌ها نشان می‌دهد نتایج قابل‌قبول است (۲۰ و ۲۸). کم‌ترین و بیش‌ترین شاخص دبی پایه مربوط به ایستگاه وطن و تمر

جدول ۲- پارامترهای مربوط به منحنی خشکیدگی اصلی و حداکثر شاخص دبی پایه در روش اکهارت در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Table 2. Parameters related to the main recession curve and the maximum base flow index in Eckhart method at stations.

تقی‌آباد Taghiabad	سدگرگان Sadgorgan	ارازکوسه Arazcoseh	نوده Nodeh	لزوره Lazoreh	تمر Tamer	نام ایستگاه پارامتر
0.29	0.16	0.14	0.16	0.15	0.13	پارامتر k Parameter K
0.75	0.85	0.87	0.90	0.86	0.88	پارامتر α Parameter α
0.38	0.63	0.58	0.60	0.59	0.65	BFI_{max}

جدول ۳- خصوصیات آماری سالیانه شاخص دبی پایه مربوط به روش اکهارت.

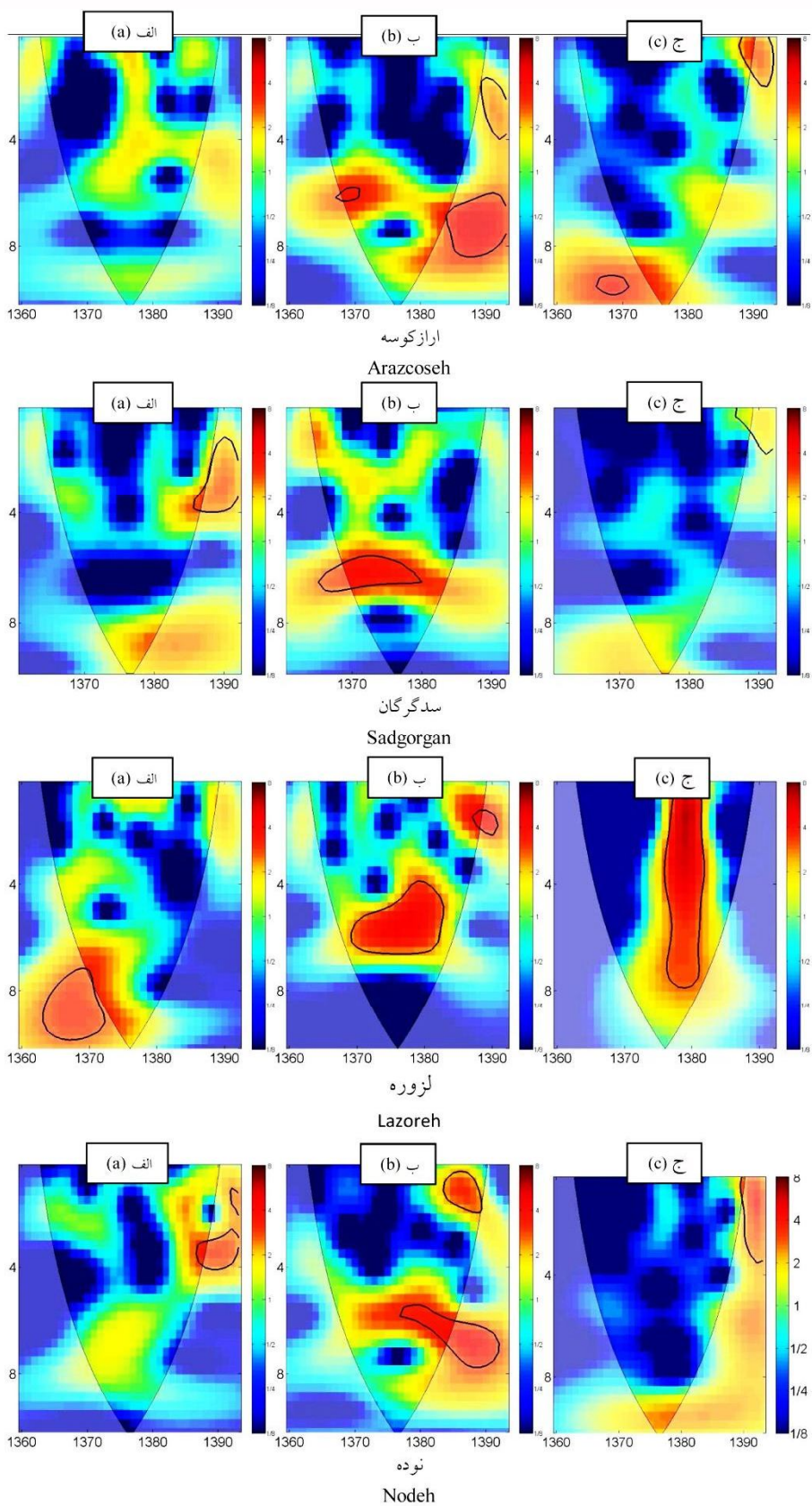
Table 3. Annual Statistical Characteristics of Base Flow Index, based on Eckhardt Method.

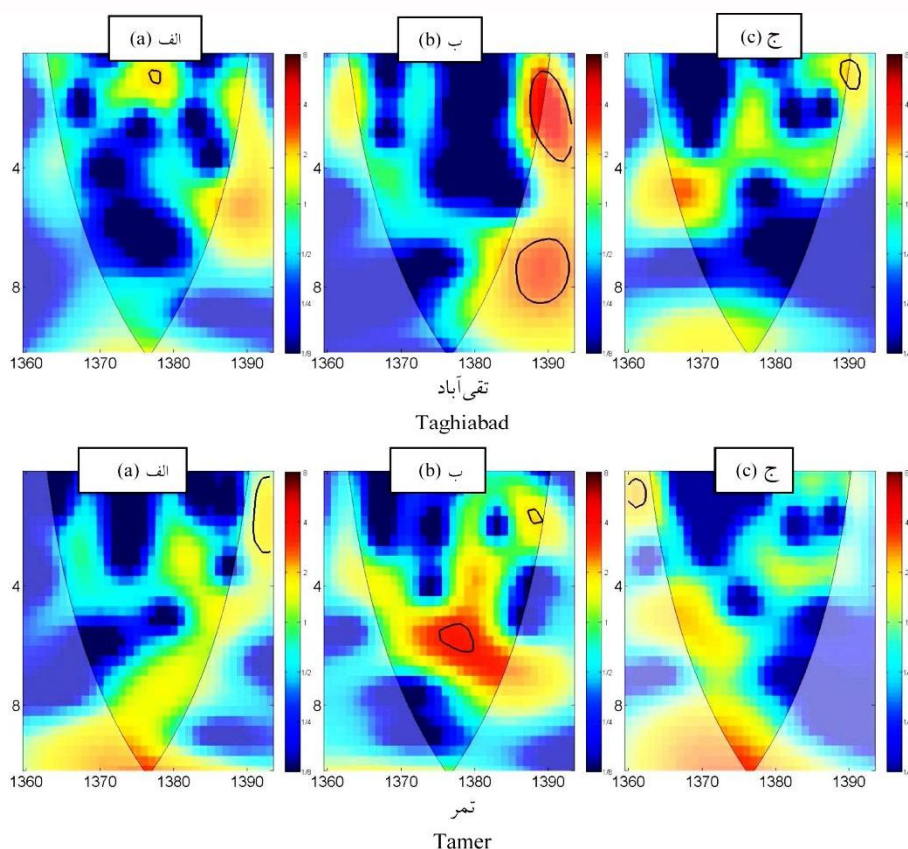
نام ایستگاه	شاخص آماری	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Avreg	ماکزیمم Max	مینیمم Min
تمر tamer		0.06	0.60	0.66	0.47
لزوره lazoreh		0.01	0.58	0.60	0.54
نوده nodeh		0.02	0.58	0.61	0.53
ارازکوسه arazcoseh		0.02	0.57	0.59	0.52
سدگرگان sadgorgan		0.03	0.60	0.64	0.54
تقی‌آباد taghiabad		0.02	0.36	0.40	0.30

سطح ۵٪ معنی‌دار نمی‌باشد. در حالی که تغییرات بارندگی با دوره بازگشت ۵ تا ۷ سال در سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۷۵ در سطح ۵٪ معنی‌دار است. تغییرات دما نشان‌دهنده معنی‌دار بودن قسمت‌هایی از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰ در دوره بازگشت یک تا دو ساله است و در سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۳۷۹ نیز در دوره ۸ تا ۹ ساله تکرار مشاهده می‌شود اما در سطح ۵٪ معنی‌دار نیست.

به‌طور کلی اگر جهت این پیکان‌ها به سمت راست باشد بیانگر آن است که دو متغیر هم فاز می‌باشند و اگر جهت پیکان‌ها به سمت چپ باشد بیانگر آن است که دو متغیر در فاز مخالف همدیگر هستند یعنی دو متغیر رابطه عکس با یکدیگر دارند.

نتایج حاصل از تحلیل موجک پیوسته در ایستگاه اراز کوسه (شکل ۲) نشان می‌دهد شاخص دبی پایه در سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۰ در دوره‌های یک تا دو ساله و چهار و پنج‌ساله دارای تکرار است اما در





شکل ۲- موجک پیوسته ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره آماری ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۲: (الف) شاخص دبی پایه، (ب) بارندگی، (ج) دما.
Figure 2. The continuous wavelet of studied stations in the period of 1981 to 2013: (a) base flow index, (b) rainfall, (c) temperature.

می‌شود. طیف توان موجک و طیف توان کلی تغییرات بارندگی ایستگاه لزوره در چرخه زمانی ۲ ساله و همچنین چرخه زمانی ۴ تا ۶ ساله به ترتیب بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۸ و ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۳ در سطح ۵٪ معنی‌دار است. همچنین در این ایستگاه تغییرات دما با دوره بازگشت ۱ تا ۸ سال از سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۳ معنی‌دار است.

نقشه موجک پیوسته شاخص دبی پایه در ایستگاه نوده نشان می‌دهد تغییرات دبی پایه با دوره بازگشت حدود ۳ سال در سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۸ معنی‌دار می‌باشد. تغییرات بارش نیز در دو دوره بازگشت متفاوت ۱ تا ۲ و ۵ تا ۷ به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۹ و ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۴ معنی‌دار است. در این ایستگاه

تغییرات شاخص دبی پایه در ایستگاه سد گرگان دارای دوره بازگشت‌های ۳ تا ۴ ساله و ۷ تا ۱۰ ساله به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۷ و ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۱ است که قسمت قابل توجهی از آن خارج از هسته می‌باشد. تغییرات بارندگی در این ایستگاه بین سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ دارای دوره بازگشت ۶ تا ۷ ساله در سطح اطمینان ۹۵ درصد است. تغییرات دما در این ایستگاه بدون نوسان خاصی می‌باشد.

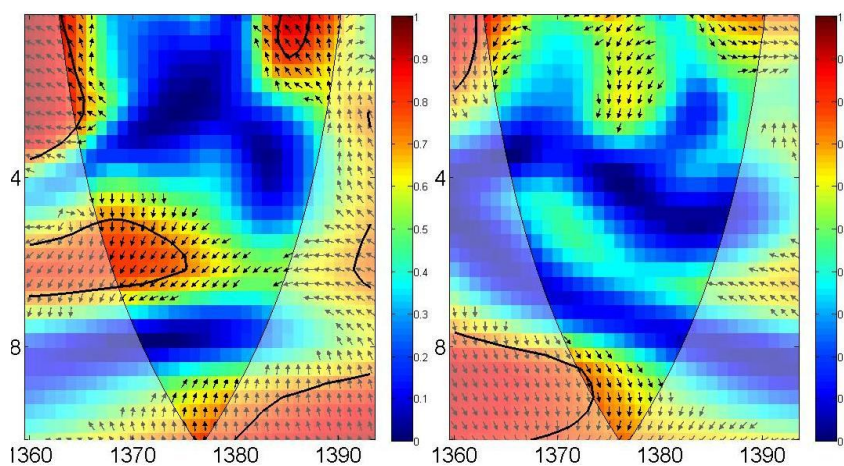
موجک پیوسته شاخص دبی پایه در ایستگاه لزوره طی سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۷۲ در خارج از هسته، چرخه زمانی معنی‌داری را نشان می‌دهد. همچنین در کل سال‌های مورد مطالعه دوره بازگشت ۱ تا ۲ ساله و ۳ تا ۵ ساله برای دبی پایه مشاهده

تغییرات دمایی دارای دوره بازگشت مشخصی نمی‌باشد و فقط دوره بازگشت ۹ ساله از سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۲ مشاهده می‌شود که با توجه به خارج از محدوده بودن آن قابل اعتماد نیست.

تحلیل موجک پیوسته بین توان موجک و توان شاخص دبی پایه در ایستگاه تقی‌آباد نشان می‌دهد در سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۷۸ تغییرات دبی پایه با دوره ۱ ساله معنی‌دار است. تغییرات بارندگی نیز در این ایستگاه در چرخه ۱ تا ۲ ساله از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰ مشاهده می‌شود که در سطح ۵٪ معنی‌دار نیست. در دوره‌هایی نیز تغییرات در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد که به دلیل قرار داشتن خارج از هسته قابل اعتماد

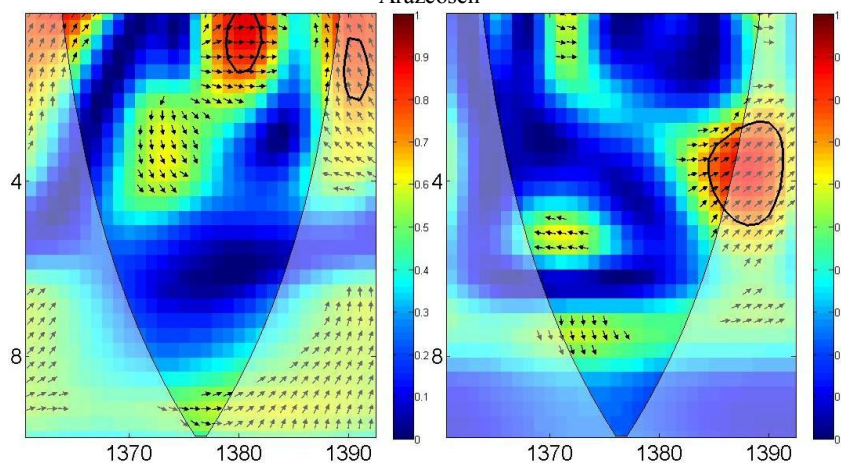
تغییرات دمایی نیز در این ایستگاه دارای دوره ۴ تا ۵ ساله از سال ۱۳۶۶ تا ۱۳۷۱ است.

تغییرات بارش در ایستگاه تمر در دوره ۵ تا ۶ ساله از سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۰ و همچنین دوره ۲ تا ۳ ساله در سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۸ مشاهده می‌شود. تغییرات دما در ایستگاه تمر قابل توجه نمی‌باشد و فقط در سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۷۳ دوره بازگشت ۴ تا ۶ سال مشاهده می‌شود. شاخص دبی پایه نیز در این ایستگاه تغییرات قابل توجهی ندارد و روند خاصی مشاهده نمی‌شود. شکل ۳ نمودار هم‌دوسی بین شاخص دبی پایه با دما (سمت راست) و شاخص دبی پایه با بارش (سمت چپ) را نشان می‌دهد.



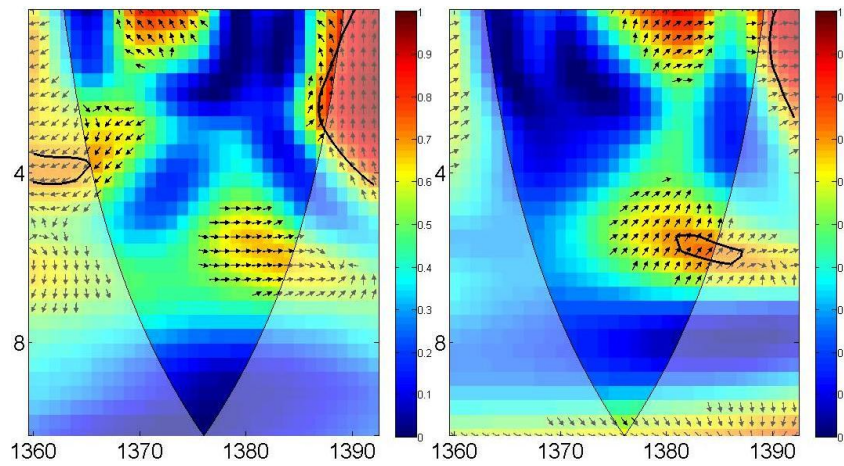
ارازکوسه

Arazcoseh

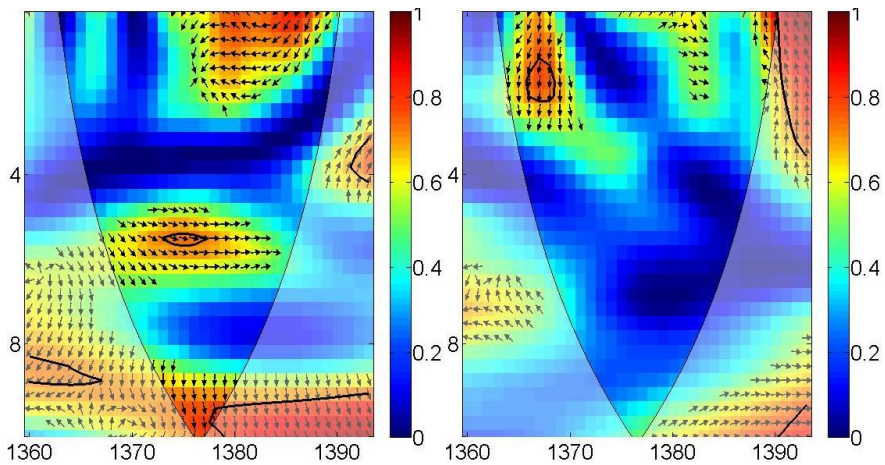


سدگرگان

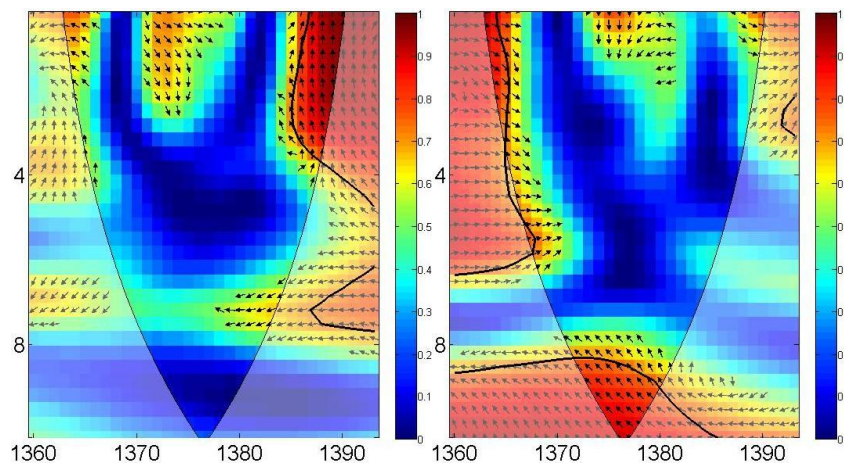
Sadgorgan



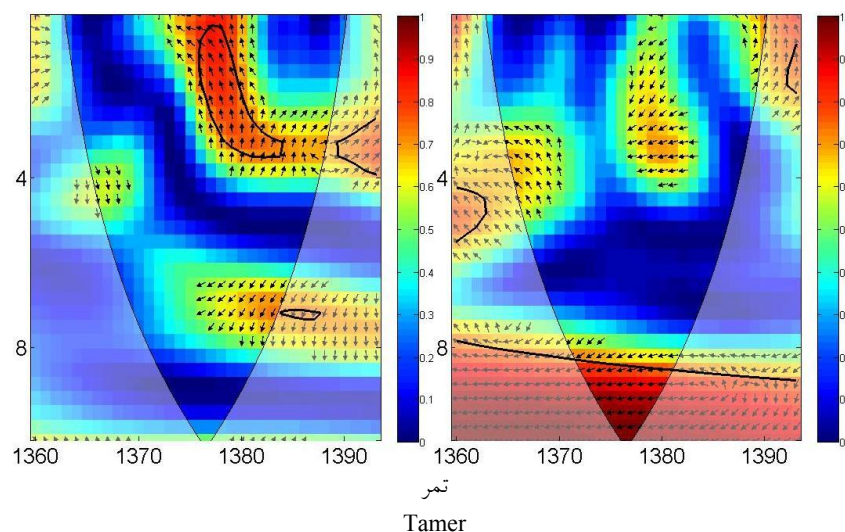
لزوره
Lazoreh



نوده
Nodeh



تقی‌آباد
Taghiabad



شکل ۳- نمودار همدوسی ایستگاه‌های مورد مطالعه از سال ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۲. شکل‌های سمت چپ همدوسی بین بارندگی و شاخص دبی پایه و شکل‌های سمت راست همدوسی بین دما و شاخص دبی پایه می‌باشد.

Figure 3. Wavelet coherence of studied stations from 1981 to 2013. The left Figures is Wavelet coherence between rainfall and base flow index and the right figures is Wavelet coherence between temperature and base flow index.

در ایستگاه سد گرگان همبستگی بسیار بالایی بین شاخص دبی پایه و بارندگی در دوره ۱ تا ۳ ساله در سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۷ مشاهده می‌شود که جهت پیکان‌ها نیز هم فاز بودن این رابطه را نشان می‌دهد. بدین ترتیب با افزایش بارندگی در این سال‌ها شاخص دبی پایه نیز در ایستگاه سد گرگان افزایش یافته است. ارتباط بین شاخص دبی پایه و دما نیز در این ایستگاه در بازه ۲ تا ۵ ساله بین سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۸ معنی‌دار است که این همبستگی از نوع مستقیم می‌باشد.

تقریباً ارتباط بین شاخص دبی پایه و بارندگی در ایستگاه لزوره در تمامی دوره‌ها و در طول سال‌های مورد بررسی معنی‌دار نمی‌باشد اما در سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۹ در یک دوره کوتاه‌مدت ۱ تا ۴ ساله یک همبستگی در سطح اطمینان ۹۵٪ خارج از محدوده مشاهده می‌شود که جهت پیکان‌ها غیرمستقیم بودن این ارتباط را نشان می‌دهد. در همین دوره بین سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۶ نیز همبستگی خوب و غیرمستقیم مشاهده می‌شود. همبستگی مستقیم و نسبتاً

در ایستگاه ارازکوسه شاخص دبی پایه با بارش در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت ۱ تا ۲ ساله و ۱ تا ۳ ساله طی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۷ و ۱۳۶۴ تا ۱۳۶۶ و در دوره‌های میان‌مدت ۵ تا ۷ ساله طی سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۷۵ دارای ارتباط است. جهت پیکان‌ها نشان‌دهنده آن است که شاخص دبی پایه و بارش، مخالف فاز یکدیگر هستند و یا به عبارت دیگر رابطه عکس بین آن‌ها برقرار است. در این بازه‌ها شدت ارتباط بین دو متغیر شاخص دبی پایه و بارش قابل توجه و معنی‌دار است. رابطه بین شاخص دبی پایه و دما در ایستگاه ارازکوسه در دو دوره ۱ تا ۳ ساله و ۷ تا ۱۰ ساله دارای همبستگی نسبتاً خوبی است که جهت پیکان‌ها در دوره ۱ تا سه ساله در برخی از سال‌ها هم فاز و مستقیم بوده ولی در برخی از سال‌ها رابطه عکس و غیرمستقیمی دارند. همچنین در دوره ۷ تا ۱۰ ساله نیز بین سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۰ ارتباط مستقیم بین شاخص دبی پایه و دما وجود دارد.

زیاد بین این دو متغیر در دوره‌های ۵ تا ۷ ساله وجود دارد. در این ایستگاه بین شاخص دبی پایه و دما همبستگی زیادی در دو دوره ۱ تا ۲ ساله بین سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۴ و دوره ۴ تا ۷ ساله بین سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ وجود دارد که جهت پیکان‌ها تأثیر مثبت و مستقیم دما بر روی شاخص دبی پایه را نشان می‌دهد. در ایستگاه لزوره بعد از سال ۱۳۷۰ تشابه قابل‌توجهی بین شکل‌های مربوط به ارتباط دبی پایه با بارندگی و دما وجود دارد که نشان می‌دهد در این ایستگاه بین دما و بارندگی ارتباط زیادی وجود دارد. جهت فلش‌ها نشان می‌دهد در اکثر سال‌ها ارتباط خوب و غیرمستقیمی بین دما و بارندگی وجود دارد و افزایش یا کاهش یکی از این پارامترها باعث کاهش و یا افزایش پارامتر دیگر می‌شود.

بین بارندگی و شاخص دبی پایه در ایستگاه نوده در دوره‌های کوتاه‌مدت ۱ تا ۲ سال در سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۹ همبستگی نسبتاً خوب و غیرمستقیم وجود دارد. در دوره‌های میان‌مدت ۵ تا ۶ ساله بین سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۳۸۰ نیز ارتباط خوبی مشاهده می‌شود که جهت پیکان‌ها نشان می‌دهد این ارتباط مستقیم است. ارتباط مستقیم و غیرمستقیم مشاهده شده در یک ایستگاه با پژوهش‌های قاسم‌زاده و همکاران (۱۳۹۵)، عطایی و فنایی (۱۳۹۵) و نادمی و خوچیانی (۱۳۹۶) مبنی بر این‌که در چرخه اول همبستگی از نوع غیرمستقیم و در چرخه دوم همبستگی مستقیم مشاهده کردند مطابقت دارد (۲، ۱۵ و ۳۲). همچنین در همین ایستگاه بین دو متغیر بارندگی و شاخص دبی پایه همبستگی بسیار زیاد در دوره بلندمدت ۹ تا ۱۰ ساله در کل دوره مورد بررسی وجود دارد که این ارتباط مستقیم می‌باشد. در این ایستگاه بین دو متغیر دما و شاخص دبی پایه در دوره ۱ تا ۳ ساله بین سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۶۹ همبستگی زیادی وجود دارد که جهت پیکان‌ها

غیرهم‌فاز بودن این ارتباط را نشان می‌دهد. در ایستگاه تقی‌آباد در دوره ۱ تا ۴ ساله در سه بخش جداگانه، در سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۶۶ و ۱۳۷۲ تا ۱۳۷۶ همبستگی نسبتاً خوب و در سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۰ همبستگی بسیار زیادی بین شاخص دبی پایه و بارندگی مشاهده می‌شود که این همبستگی در سال‌های ابتدایی غیرمستقیم، بعد از آن مستقیم و سپس در سال‌های انتهایی مجدد غیرمستقیم بوده است. همچنین در این ایستگاه بین متغیر دما و شاخص دبی پایه دو نوع ارتباط مستقیم و غیرمستقیم در سال‌های متوالی و دوره‌های مختلف وجود دارد. ارتباط مستقیم در دوره ۱ تا ۶ ساله در سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۶۸ و ارتباط غیرمستقیم در سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۷۹ در دوره‌های ۸ تا ۱۰ ساله مشاهده می‌شود. همبستگی‌های بسیار زیادی نیز خارج از هسته مشاهده می‌شود.

همدوسی یا ارتباط بین شاخص دبی پایه و بارندگی در ایستگاه تمر نشان می‌دهد همدوسی شدید و یا همبستگی زیادی در دوره‌های کوتاه‌مدت ۱ تا ۴ ساله در سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ وجود دارد. به‌دلیل متمایل شدن پیکان‌ها به سمت چپ ارتباط غیرمستقیم وجود دارد یعنی با افزایش شدت بارندگی، شاخص دبی پایه کاهش یافته است. رابطه بین شاخص دبی پایه و دما نیز در این ایستگاه در دوره‌های ۲ تا ۴ ساله و ۳ تا ۵ ساله و همچنین ۸ تا ۱۰ ساله در سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۲ و ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۰ و همچنین ۱۳۷۱ تا ۱۳۸۲ وجود دارد و جهت پیکان‌ها نیز در این سال‌ها غیرمستقیم و غیرهم‌فاز بودن این ارتباط را در این ایستگاه نشان می‌دهد.

همدوسی در ایستگاه وطن ارتباط و همبستگی بالا بین شاخص دبی پایه و بارندگی در دوره کوتاه‌مدت ۱ تا ۴ ساله را نشان می‌دهد که این همبستگی در سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۶۶ در دوره ۱ تا ۳ ساله غیرمستقیم و در دوره ۱ تا ۲ ساله بین سال‌های ۱۳۷۱

افزایش داده و موجب افزایش دبی پایه گردند (۱۳). ارتباط بین دما و دبی پایه موضوع پیچیده‌ای است که به عوامل زیادی بستگی دارد و در هر منطقه با توجه به مشخصات آن تغییر می‌کند (۳۸). افزایش بارندگی موجب اشباع شدن خاک از رطوبت شده که این عامل باعث غالب شدن رواناب سطحی نسبت به دبی جریان می‌شود که در نتیجه آن شاخص دبی پایه کاهش می‌یابد (۴۳).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش ارتباط موجکی و تبدیل موجک پیوسته و همدوس بین سری‌های زمانی ۳۳ ساله بارش، دما و شاخص دبی پایه بررسی و آنالیز شد. ارتباط موجکی بین دو سری زمانی بیانگر همبستگی‌های موضعی بین دو سری زمانی است. به‌منظور تعیین سهم تغییرات آب و هوایی بر روی جریان آب رودخانه‌های حوزه آبخیز گرگان‌رود، ارتباط موجکی بین پارامترهای دما و بارش با شاخص دبی پایه در تعدادی از ایستگاه‌ها بررسی شد. در ایستگاه‌های مورد مطالعه ارتباط موجک پیوسته بین سری زمانی سالانه بارش، دما و شاخص دبی پایه بررسی شدند و سپس همبستگی و هم‌فاز بودن موجک متقابل و همدوس بین سری زمانی سالانه بارش و دما با شاخص دبی پایه تعیین شد. بررسی‌ها بر روی داده‌های سالانه بارش، دما و شاخص دبی پایه در ایستگاه‌های مورد مطالعه به روش تحلیل موجک پیوسته معنادار بودن ارتباط بین آن‌ها را نشان می‌دهد. به‌طورکلی برای تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوزه آبخیز گرگان‌رود به‌جز ایستگاه تقی‌آباد تغییرات بارندگی در چرخه‌های ۴ تا ۸ سال تقریباً در کل دوره آماری تکرار می‌شود که این ارتباط نشان از همبستگی بالا و معنادار بودن در سطح ۵٪ بارش‌های سالانه است. همچنین بررسی ارتباط بین داده‌های سالانه دما

تا ۱۳۷۷ مستقیم و مجدد در دوره ۲ تا ۴ ساله بین سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۹ غیرمستقیم می‌باشد. در مجموع می‌توان گفت که بیش‌ترین شدت همدوسی در سطح اطمینان بیش از ۹۵ درصد بین بارندگی و شاخص دبی پایه در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه مربوط به ایستگاه‌های ارازکوسه و تمر است که در هر دو ایستگاه همبستگی و ارتباط از نوع غیرمستقیم می‌باشد که با نتایج پژوهش فیکلین و همکاران (۲۰۱۶) مبنی بر افزایش یا کاهش بارش موجب افزایش یا کاهش دبی جریان می‌شود که به تبع آن باعث کاهش یا افزایش شاخص دبی پایه می‌گردد، مطابقت دارد (۱۲). همچنین گان و همکاران (۲۰۱۵) نیز نشان دادند افزایش بارندگی موجب اشباع شدن خاک از رطوبت شده که این عامل باعث می‌شود رواناب سطحی نسبت به دبی جریان غالب شود و در نتیجه شاخص دبی پایه کاهش می‌یابد (۱۳)، که مشابه نتایج در ایستگاه‌های ارازکوسه و تمر است. بیش‌ترین شدت ارتباط و همبستگی (بیش از ۹۵ درصد که با رنگ قرمز پررنگ و دوایر مخروطی شکل مشخص است) بین دما و شاخص دبی پایه در منطقه مورد مطالعه مربوط به ایستگاه‌های سد گرگان، نوده، تقی‌آباد و تمر است. این ارتباط در ایستگاه سد گرگان مستقیم که با نتایج فیکلین و همکاران (۲۰۱۶) و کین و همکاران (۲۰۱۷) همخوانی دارد (۱۲ و ۳۸). به‌طورکلی بارش و دما با شاخص دبی پایه می‌تواند رابطه مستقیم و یا غیرمستقیم داشته باشند. به‌طوری‌که افزایش دمای هوا می‌تواند باعث افزایش تبخیر و تعرق شود و نفوذ بارندگی را در خاک کاهش دهد و موجب کاهش آب‌های زیرزمینی و دبی پایه گردد (۱۹). با این حال همچنین می‌تواند آب‌های حاصل از ذوب برف و یخچال‌های طبیعی را افزایش دهد (۲۹، ۴۰ و ۴۲) که این آب‌ها می‌توانند به‌طور مؤثر، آب موجود در خاک و آب‌های زیرزمینی را

و با شدت کم‌تر در ایستگاه سد گرگان وجود دارد که جهت پیکان‌ها مستقیم بودن این ارتباط را نشان داد.

شدت همدوسی بین شاخص دبی پایه و دما در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که ارتباط و همبستگی‌های مستقیم و با شدت زیاد که با رنگ قرمز و دوایر مشکی مشخص است مربوط به ایستگاه‌های سدگرگان از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۸ در دوره ۳-۵ ساله، لزوره از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۵ با دوره بازگشت ۵ ساله و تقی‌آباد از سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۶۸ با دوره بازگشت ۱ تا ۵ ساله می‌باشد که این همبستگی به صورت مستقیم بوده و با افزایش و کاهش دما، شاخص دبی پایه نیز افزایش و کاهش یافته است که مطابق با پژوهش کین و همکاران (۲۰۱۷) است (۳۸). همچنین همبستگی‌های غیرمستقیمی هم مشاهده شده است که این همبستگی در ایستگاه‌های نوده و تمر به ترتیب از سال ۱۳۶۶ تا ۱۳۶۹ و ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۱ با دوره بازگشت کوتاه مدت ۳ ساله و ۲ ساله و ایستگاه‌های تقی‌آباد از سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۷۹ و تمر ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۲ با دوره بازگشت بلندمدت ۸ تا ۱۰ ساله می‌باشد. یعنی در این سال‌ها ارتباط عکس بین دما و شاخص دبی پایه برقرار است. به دلیل تأثیر کاهش دما بر سطح آب‌های زیرزمینی و دبی پایه، شاخص دبی پایه افزایش می‌یابد که با پژوهش‌های فان و همکاران (۲۰۱۳) و استراچ و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد (۱۰ و ۴۳).

پیشنهاداتی را به منظور تکمیل این پژوهش می‌توان مطرح نمود. به عنوان مثال، به غیر از بارش و دما عواملی مانند شدت بارندگی، تغییر کاربری اراضی، عوامل انسانی، سازندهای تشکیل دهنده حوضه، نوع پوشش گیاهی منطقه و سطح آب‌های زیرزمینی در طول سری‌های زمانی را بررسی کرده و سهم هر کدام در نوسانات شاخص دبی پایه رودخانه‌ها مشخص گردد. همچنین امکان استفاده از سایر موجک‌های مادر برای تحلیل داده‌ها نیز وجود دارد.

در ایستگاه‌های مورد مطالعه با روش موجک پیوسته نشان داد فقط در ایستگاه لزوره بین سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۳ در دوره ۱ تا ۸ ساله ارتباط معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵٪ وجود دارد و در سایر ایستگاه‌ها ارتباط معنی‌داری بین داده‌های سالیانه دما مشاهده نمی‌شود. همچنین بررسی ارتباط بین تغییرات سالیانه شاخص دبی پایه نیز بیش‌تر در دوره‌های کوتاه مدت ۱ تا ۴ ساله و بلندمدت ۸ تا ۱۰ ساله مشاهده شد که این ارتباط چندان زیاد نبوده است.

تحلیل نقشه‌های موجک همدوس بین بارندگی و شاخص دبی پایه در ایستگاه‌های مورد مطالعه، بیش‌ترین همبستگی را در دوره‌های ۱ تا ۴ ساله نشان می‌دهد. این همبستگی در سال‌های میانی دوره ۳۳ ساله در ایستگاه‌های سدگرگان و تقی‌آباد غیرمستقیم است یعنی با افزایش بارندگی در این سال‌ها مقدار شاخص دبی پایه کاهش یافته است. در این ایستگاه‌ها با کاهش بارندگی، رواناب مستقیم کاهش یافته و دبی جریان تقریباً برابر با دبی پایه خواهد شد که باعث افزایش شاخص دبی پایه می‌گردد که با نتایج استراچ و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد (۴۳). در سال‌های ابتدایی و انتهایی ایستگاه تقی‌آباد و کل دوره آماری ایستگاه‌های دیگر ارتباط و همبستگی مستقیم در دوره ۱ تا ۴ ساله وجود دارد و تغییرات شاخص دبی پایه و بارندگی در راستای هم می‌باشد. این بخش از نتایج با پژوهش‌های کین و همکاران (۲۰۱۷) و هودکینز و دادلی (۲۰۱۱) مبنی بر تأثیر افزایش بارندگی بر تغذیه سفره آب زیرزمینی و افزایش دبی پایه و به تبع آن افزایش شاخص دبی پایه، همخوانی دارد (۲۱ و ۳۸). در دوره میان مدت (۴ تا ۸ ساله) نیز همبستگی و ارتباط بین شاخص دبی پایه و بارندگی در ایستگاه‌های لزوره و نوده مستقیم و ارازکوسه و تمر غیرمستقیم است. در دوره بلندمدت ۸ تا ۱۰ ساله بیش‌ترین همبستگی در ایستگاه‌های ارازکوسه و نوده

منابع

1. Aguiar-Conraria, L., Azevedo, N., and Soares, M.J. 2008. Using wavelets to decompose the time-frequency effects of monetary policy. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 387: 12. 2863-2878.
2. Ataee, H., and Fanayi, R. 2016. Association of solar spots and minimum temperature of Isfahan province. *Geography and Environmental Planning*. 27: 2. 35-48. (In Persian)
3. Birsan, M.V., Zaharia, L., Chendes, V., and Branesco, E. 2012. Recent trends in stream flow in Romania (1976-2005). *Romanian Reports in Physics*. 64: 1. 275-280.
4. Chen, F.Y., Jinge, W., Hsin, F.Y., and Cheng, H.L. 2015. Spatial and Temporal Streamflow Trends in Northern Taiwan. *Water*, 7: 2. 634-651.
5. Chen, L.Q., Liu, C.M., Hao, F.H., Liu, J.Y., and Dai, D. 2006. Change of the Baseflow and It's Impacting Factors in the Source Regions of Yellow River. *J. Glaciol. Geocryol*. 28: 2. 141-148.
6. Dams, J., Salvadore, E., Van Daele, T., Ntegeka, V., Willems, P., and Batelaan, O. 2012. Spatio-temporal impact of climate change on the groundwater system. *Hydrological Earth System Sciences*. 16: 5. 1517-1531.
7. Daubechies, I. 1990. The wavelet transform time-frequency localization and signal analysis. *J. Inf. Theory*. 36: 5. 961-1004.
8. Eckhardt, K. 2005. How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrological Procece*. 19: 2. 507-515.
9. Eckhardt, K. 2008. A comparison of base flow indices, which were calculated with seven different base flow separation methods. *J. Hydrol*. 352: 1-2. 168-173.
10. Fan, Y., Chen, Y., Liu, Y., and Li, W. 2013. Variation of baseflows in the headstreams of the Tarim River Basin during 1960-2007. *J. Hydrol*. 487: 3. 98-108.
11. Farge, M. 1992. Wavelet transforms and their applications to turbulence. *J. Ann. Rev. Fluid Mech*. 24: 1. 395-457.
12. Ficklin, D.L., Robeson, S.M., and Knouft, J.H. 2016. Impacts of recent climate change on trends in baseflow and stormflow in United States watersheds, *Geophys. Res. Lett*. 43: 10. 1002-1012.
13. Gan, R., Sun, L., and Luo, Y. 2015. Baseflow characteristics in alpine rivers - A multi-catchment analysis in Northwest China. *J. Moun. Sci*. 12: 3. 614-625.
14. Ghanbarpur, M.R., Teymuri, M., and Gholami, Sh.A. 2008. Comparison of hydrograph separation methods (Case study: Karun catchment). *J. Agric. Sci. Natur. Resour*. 12: 44. 1-10. (In Persian)
15. Ghasmzadeh, M., Azad, N., and Sharghi, A. 2016. Investigating the influence of hydroclimatological parameters of Russian water level in Urmia Lake using Wavelet Connection Criterion. *J. Civil Environ. Res*. 2: 1. 37-50. (In Persian)
16. Gonzales, A.L., Nonner, J., Heijkers, J., and Uhlenbrook, S. 2009. Comparison of different base flow separation methods in a lowland catchment. *Hydrological Earth System Sciences*. 13: 11. 2055-2068.
17. Gregor, M. 2010. User Manual "BFI+ 3.0".
18. Grinsted, A., Moore, J.C., and Jevrejeva, S. 2004. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear processes in geophysics*. 11: 5. 561-566.
19. Haeberli, W., Guodong, C., Gorbunov, A.P., and Harris, S.A. 1993. Mountain permafrost and climatic change. *Permafrost and Periglacial Processes*. 4: 2. 165-174.
20. Hasani, M., Rahimi, M., Samee, M., and Khamoushi, M.R. 2012. Study of efficiency of various base flow separation methods in arid and semi-arid rivers (Case study: Hablehroud basin). *Arid Biom. Sci. Res. J*. 2: 2. 275-287. (In Persian)
21. Hodgkins, G.A., and Dudley, R.W. 2011. Historical summer baseflow and stormflow trends for New England Rivers. *Water Resources Research*. 47: 7. 1-16.
22. Holman, I.P., Rivas-Casado, M., Bloomfield, J.P., and Gurdak, J.J. 2011. Identifying non-stationary groundwater level response to North Atlantic ocean-atmosphere teleconnection patterns using wavelet coherence. *Hydrogeol. J*. 19: 6. 1269-1278.

23. Jiang, T., Su, B., and Hartmann, H. 2007. Temporal and spatial trends of precipitation and river flow in the Yangtze River Basin, 1961-2000. *Geomorphology* 85: 3-4. 143-154.
24. Kahya, E., and Kalayci, S. 2004. Trend analysis of stream flow in Turkey. *J. Hydrol.* 289: 1-4. 128-144.
25. Khorshiddost, A.M., Rezaei Banafsheh, M., Mir Hashemi, H., and Kakolvand, Y. 2015. Investigation of the process of rainfall-discharge changes in the sub basins of Karkheh river using non-parametric methods Case study: Kashkan Basin. *Science and Engineering of Irrigation* 38: 4. 177-188. (In Persian)
26. Kumar, S., Merwad, V., Kam, J., and K., Thurner. 2009. Stream flow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. *J. Hydrol.* 374: 1-2. 171-183.
27. Liang, L., and Liu, Q. 2014. Streamflow sensitivity analysis to climate change for a large water-limited basin. *Hydrological Process* 28: 4. 1767-1774.
28. Longobardi, A., and Villani, P. 2008. Baseflow index regionalization analysis in a Mediterranean area and data scarcity context: Role of the catchment permeability index. *J. Hydrol.* 355: 1-4. 63-75.
29. Lyon, S.W., and Destouni, G. 2010. Changes in catchment-scale recession flow properties in response to permafrost thawing in the Yukon River Basin. *Inter. J. Climatol.* 30: 14. 2138-2145.
30. Mehmet, O., Ashok, K., Mishra, V., and Singh, P. 2010. Scaling characteristics of precipitation data in conjunction with wavelet analysis. *J. Hydrol.* 395: 3-4. 279-288.
31. Mwakalila, S., Feyen, J., and Wyseureb, G. 2002. The influence of physical catchment properties on baseflow in semi-arid environments. *J. Arid Environ.* 52: 2. 245-258.
32. Nademi, Y., and Khochiani, R. 2017. Interaction of Stock, Currency and Gold Markets in Iran: An Economic Physics Analysis. *Magazine of Finance and Management of Bonds.* 31: 2. 149-166. (In Persian)
33. Nader Sefat, M.H., and Saidian, F. 2010. Study of Flooding Process in Watershed Areas by Investigating the Permeability and Potential of Runoff in Geological Formations, Case study in Kardeh Watershed - Razavi Khorasan Province. *Geograph. Res. Quar. J.* 4: 12. 198-163. (In Persian)
34. Nathan, R.J., and McMahon, T.A. 1990. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. *Water Resource Research.* 26: 7. 1465-1473.
35. Nicholls, R.J., and Cazenave, A. 2010. Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science.* 328: 5985. 1517-1520.
36. O'Brien, R.J., Misstear, B.D., Gill, L.W., Deakin J.L., and Flynn, R. 2013. Developing an integrated hydrograph separation and lumped modeling approach to quantifying hydrological pathways in Irish river catchments. *J. Hydrol.* 486: 12. 259-270.
37. Percival, D.B., and Walden, A.T. 2000. *Wavelet methods for time series analysis.* Cambridge University Press, Cambridge, 594p.
38. Qin, J., Ding, Y., Han, T., and Liu, Y. 2017. Identification of the Factors Influencing the Baseflow in the Permafrost Region of the Northeastern Qinghai-Tibet Plateau. *Water.* 9: 10. 666-682.
39. Rahimi, L., Dehghani, A.A., Ghorbani, Kh., and Abdolhosseini, M. 2014. Study of changes in total flow rate and flow rate at the base of the hydrometric station of Erzakoush (Gorgan-e-Rud watershed in Golestan province). *J. Water Soil Cons.* 21: 2. 173-189. (In Persian)
40. Rogger, M., Chirico, G.B., Hausmann, H., Krainer, K., Bruckl, E., Stadler, P., and Bloschl, G. 2017. Impact of mountain permafrost on flow path and runoff response in a high alpine catchment. *Water Resources Research* 53: 2. 1288-1308.
41. Sheikh, V.B., Bahremand, A., and Mooshakhian, Y. 2011. A comparison of trends in hydrologic variables in the Atrak River basin using non-parametric trend analysis tests. *J. Water Soil Cons.* 18: 2. 1-23. (In Persian)

42. Sheng, Y., Li, J., and Wu, J.C. 2010. Distribution patterns of permafrost in the upper area of Shule River with the application of GIS technique. *J. China Univ. Min. Technol.* 39: 3. 32-39.
43. Strauch, A.M., MacKenzie, R.A., and Tingley, R.W. 2017. Base flow-driven shifts in tropical stream temperature regimes across a mean annual rainfall gradient. *Hydrological Processes*. 31: 10. 1678-1689.
44. Taormina, R., Chau, K.W., and Sivakumar, B. 2015. Neural network river forecasting through baseflow separation and binary-coded swarm optimization. *J. Hydrol.* 529: 3. 1788-1797.
45. Teymuri, M. 2014. Evaluation of base discharge separation methods based on the analysis of deformation branch. *Geograph. Res. Quar. J.* 29: 4. 57-66. (In Persian)
46. Teymuri, M., Ghanbarpur, M.R., Bashir Gonbad, M., Zolfaqari, M., and Kazemi Nia, S. 2011. Comparison of base flow index in hydrograph separation methods in some river of west Azarbayjan province. *J. Water Soil Sci.* 15: 57. 219-228. (In Persian)
47. Torrence, C., and Webster, P.J. 1999. Interdecadal changes in the enso-monsoon system. *J. Clim.* 12: 8. 2679-2690.
48. Torrence, C., and Compo, G.P. 1998. A practical guide to wavelet analysis. *American Meteorological Society*. 79: 1. 61-78.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 26(1), 2019
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Investigation of the relationship between base flow index with temperature and rainfall using wavelet coherence (Case study: Gorganroud River Basin)

S.R. Hosseini Dooki¹, *S.M. Seyedian², H. Rouhani² and M. Farasati²

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Watershed Management, University of Gonbad Kavous,

²Assistant Prof., Dept. of Watershed Management, University of Gonbad Kavous

Received: 02.01.2018; Accepted: 09.25.2018

Abstract

Background and Objectives: Climate change has changed meteorological parameters in different parts of the world. Drought and water scarcity may lead to crisis in many countries. Therefore, the study of the past meteorological parameters changes and their effect on river flow which is a key element of water supply is important. The purpose of this study was to investigate the relationship between temperature and rainfall parameters with base flow index using continuous wavelet transform and wavelet coherence in Gorganroud River Basin.

Materials and Methods: At first, we used the base flow indices resulting from the Eckhart's two-parameter method and then the base flow index which is the portion of groundwater in river surface flow, was calculated at six gauge stations (Tamar, Lazoreh, Nodeh, Arazkooseh, Gorgan Dam and Taghiabad). The results illustrated that the lowest annual index found at Taghiabad gauge station with a value of 0.30 and the highest yearly baseflow index found at Tamer gauge station with a value of 0.66. Then, the annual trend of temperature and rainfall were investigated with base flow index of each station in Gorganroud River Basin during a period of 33 years (1981 to 2013) using continuous wavelet transform and wavelet Coherence. An analysis of wavelet coherence analysis showed a strong relation between temperature and rainfall with base flow.

Results: Our analysis reveals the impact of yearly temperature and rainfall on the base flow index. Investigation of wavelet coherence between rainfall and base flow index showed that there is the highest correlation between 1-4 year period length, which indirect correlation was observed in the middle years of Gorgan dam and Taghiabad stations and positive correlation in other stations and the early and the end years of Taqiabad station. Similarly, a direct relationship exists between the rainfall and the base flow index in the 4-8 year period length, which are direct at Lazoreh and Nodeh gauge stations and indirect correlation in Tamer gauge station. Also, in the period length of 8 to 10 years, the high correlation between rainfall and base flow index were found at Arzokesh and Nodeh gauge stations with lower correlation at Sadegran gauge station, which arrows direction indicated direct relationship. The analysis of the wavelet coherence between temperature and base flow index exhibit positive and high strength correlation at Gorgan dam gauge station in 2005 to 2009 in 3-4 year period length, at Lazoreh gauge station in 2002 to 2006 with 4 year period length and at Taghiabad gauge station in 1984 to 1989 with period length of 1 to 5 years. Indirect correlations were found at Nodeh and Tamer gauge stations between 1987 to 1990 and 2011 to 2013, respectively, with a short 2-year and 3-year period length and Taghiabad gauge station between 1993 to 2000 and between 1992 to 2013 with a long-term period of 8 to 10 years.

* Corresponding Author; Email: s.m.seyedian@gmail.com

Conclusion: The rainfall relationship with the base flow index can be direct or indirect due to the watershed characteristics (e.g., human activities, soil, land-use, climate, hydrology, and geology). Also, in some stations there is a direct relationship in the periods and indirect relationship in the rest of the period. The relationship between the base flow index and temperature is also indirect in some of the stations.

Keywords: Base flow index, Continuous wavelet transform, Temperature, Wavelet Coherence

