

تعیین تغییرات بلندمدت رژیم جریان رودخانه کوهستانی خیاوچای با استفاده از رویکرد محدوده تغییرپذیری (RVA)

صیاد اصغری سراسکانرود* - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
حسن ستایشی نساژ - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
رئوف مصطفی‌زاده - دانشیار گروه آموزشی منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
عقیل مددی - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۱/۲۳ تأیید نهایی: ۱۴۰۲/۰۵/۲۱

چکیده

هدف از این مطالعه تعیین تغییرات در شاخص‌های هیدرولوژیک جریان در رودخانه خیاوچای است که در این راستا، از آمار بلندمدت دبی جریان و رویکرد محدوده تغییرپذیری (RVA) استفاده شده است. تغییرات در آمار دبی سالانه در دوره از ۱۳۴۸ تا ۱۳۹۸ ارزیابی شد و سپس بر اساس نرم‌افزار CPA، دوره‌های مورد مطالعه مشخص شدند. مقادیر شاخص‌های تغییر هیدرولوژیک با استفاده از نرم‌افزار IHA محاسبه و در دوره‌های مختلف مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد که سری زمانی رواناب سالانه در دو سال دچار تغییر شده است. مقادیر تغییرات مقادیر دبی میانه در ماه‌های مختلف در هر دو دوره مورد مطالعه سال کاهشی بوده است و میزان شاخص تغییر هیدرولوژیکی در مقایسه با دوره‌های قبلی منفی بوده است. نتایج نشان داد که مقادیر دبی‌های کمینه ۱، ۳، ۷، ۳۰ و ۹۰ روزه کاهش پیدا کرده و این کاهش در دوره سوم نسبت به دوره دوم، از مقدار ۱/۰٪ به مقدار صفر کاهش رسیده است. تغییرات میانه شاخص جریان پایه نیز حاکی از کاهش از ۲/۰٪ به مقدار صفر بوده است. روند افزایشی نرخ ضربان‌های کم جریان و فروکش جریان نیز به سمت کاهش دبی است. در مجموع، الگوی تغییرات شاخص‌های جریان رودخانه‌ای بر اساس رویکرد دامنه تغییرپذیری در هر دو دوره مطالعاتی دارای روند مشابهی بوده است که نشان از تداوم عوامل موثر بر تغییر رژیم جریان رودخانه بوده است و این تغییرات در اثر برداشت و انحراف آب اتفاق افتاده است.

واژگان کلیدی: شاخص دبی پایه، جریان کمینه، آینده جریان، تغییر شاخص هیدرولوژیک، فروکش جریان.

مقدمه

رژیم هیدرولوژیکی رودخانه نیروی محرکه و عامل اصلی پویایی زیست‌بوم آن است و فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیمی می‌تواند به تغییر در شاخص‌های جریان منجر شود (اصغری سراسکانرود، ۱۳۹۳؛ نصیری و همکاران، ۱۳۹۸). هم‌چنین رژیم‌های هیدرولوژیکی، نقش عمده‌ای در تغییر ساختار و عملکرد فرآیندهای بوم‌شناختی و بوم‌سازگان رودخانه‌ای ایفا می‌کنند (نادری و همکاران، ۱۴۰۲). از طرفی، رودخانه‌ها سیستم‌های پویایی هستند که مرزهای جانبی و مشخصات ریخت‌شناسی آن‌ها در طول زمان و به‌طور پیوسته در حال تغییر است و این تغییرات در اثر تغییرات در دبی جریان رودخانه و نیز قدرت انتقال رسوب تفاوت خواهد نمود (اصغری سراسکانرود، ۱۳۹۶؛ مرادی‌نژاد و حسینی، ۱۴۰۱). با افزایش جمعیت و متناسب با آن نیاز فزاینده به آب، فشار بر منابع آبی تبدیل به یک چالش زیست‌محیطی تبدیل شده است (شاکری‌زارع و همکاران، ۱۳۹۹). تغییرات قابل توجه در رژیم‌های هیدرولوژیکی جریان رودخانه‌ها، باعث ایجاد تغییرات مکانی و زمانی سامانه‌های رودخانه‌ای و تخریب خدمات طبیعی بوم‌سازگان و تهدید تنوع زیستی می‌شود (نادری و همکاران، ۱۴۰۲). در همین راستا، مدیریت منابع آبی به‌ویژه آب‌های سطحی تحت عنوان رژیم طبیعی جریان به‌عنوان یک الگو به جهت نگهداری و حفاظت رودخانه‌ها به‌ویژه جریان‌های فصلی مورد توجه قرار گرفته است (شاکری‌زارع و همکاران، ۱۳۹۹). مسئله تغییرپذیری رژیم جریان به‌عنوان نیروی محرکه اصلی در پایداری اکوسیستم رودخانه دارای اهمیت ویژه‌ای است، چون با تغییر رژیم طبیعی رودخانه‌ها، احداث سدها و اثرات تغییر اقلیم، باعث ایجاد اثرات منفی زیست‌محیطی بر اکوسیستم‌های رودخانه‌ای پایین‌دست شده است (گو^۱ و همکاران، ۲۰۲۲؛ امینی و همکاران، ۱۳۹۸؛ شاکری‌زارع و همکاران، ۱۳۹۹). در این خصوص پژوهش‌های متعددی صورت گرفته است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره شده است. خان‌محمدی فلاح و علی‌رضا شکوهی (۱۳۹۷) از روش RVA برای تبیین رژیم اکولوژیکی رودخانه کاظم‌رود در حوضه آبخیز چالوس در شمال ایران به‌منظور تعیین جریان زیست‌محیطی استفاده نمودند. بر اساس نتایج ایشان و بررسی آماری دبی‌های ماهانه رودخانه مورد مطالعه، مشخص شد که دبی جریان محیط زیستی محاسباتی با روش RVA ریان زیست‌محیطی می‌تواند تمام معیارهای مورد انتظار را برای حفظ محیط زیست در رودخانه را تامین نماید. نصیری و همکاران (۱۳۹۸) تغییر شاخص‌های هیدرولوژیک جریان رودخانه بالخلوچای را در اثر ترکیب تغییر در مولفه‌های اقلیمی و احداث سد یامچی اردبیل در دوره‌های قبل از احداث سد (۱۳۸۳-۱۳۵۳) و بعد از احداث سد (۱۳۹۲-۱۳۸۴) با استفاده از رویکرد دامنه تغییرپذیری مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که تغییر در متغیرهای اقلیمی به‌صورت کاهش بارش و افزایش دما بر کاهش مقادیر جریان بوده است و مقدار متوسط دبی جریان رودخانه در دوره بعد از احداث سد نسبت به دوره قبل از احداث سد، ۵۲ درصد کاهش داشته است. نصیری و همکاران (۱۳۹۸) با ارزیابی تغییرات شاخص الاستیسیته در برخی رودخانه‌های استان اردبیل دریافتند که مقدار شاخص مذکور در دبی‌های پایین، بیش‌تر است و در ماه‌های خشک سال مقدار شاخص الاستیسیته بالاتر از سایر ماه‌هاست که به این معنی است که بارش در ماه‌های خشک سال تأثیر بیش‌تری بر افزایش دبی داشته است. پیروزی و همکاران (۱۳۹۹) با هدف بررسی تغییرات هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی رودخانه گیوی‌چای ناشی از احداث سد گیوی، نتیجه گرفتند که میان مقادیر دبی نرمال پراپی، دبی حداکثر، دبی میانگین، دبی عادی، دبی میانه، دبی مد و دبی سالانه، تفاوت معناداری، بین دو ایستگاه آبگرم (در بالادست) و ایستگاه فیروزآباد (در پایین‌دست)، در بازه زمانی مورد مطالعه دیده می‌شود. مصطفی‌زاده و همکاران (۱۳۹۹) تغییرات کمی شاخص‌های هیدرولوژیک جریان رودخانه‌ای بعد از احداث سد یامچی اردبیل را از نظر آماری مقایسه نمودند و نتیجه گرفتند که دبی رودخانه در ایستگاه پل-آلماس تحت تأثیر سد یامچی قرار گرفته که منجر به کاهش میانگین دبی شده است. علاوه بر این، بیان نمودند که بین شاخص‌های هیدرولوژیکی حداقل و حداکثر دبی و FDC در ایستگاه‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود دارد. نادری و همکاران

1- Gu

(۱۳۹۹) تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیک جریان رودخانه کارون در دوره‌های قبل و پس از احداث سد گتوند را از سال ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۷ با استفاده از رویکرد محدوده تغییرپذیری تحلیل نمودند. نتایج ایشان نشان داد که شاخص‌های هیدرولوژیک در ایستگاه‌های هیدرومتری ملاتانی و اهواز در دوره رژیم جریان تغییر یافته، تغییرات قابل توجهی داشته است به طوری که مقادیر میانگین دبی در اکثر ماه‌ها، کاهش معنی‌داری داشته‌اند. احمدی و همکاران (۱۴۰۱) با هدف ارزیابی تغییرات هیدرواکولوژیک رودخانه هلیل‌رود و تحلیل نقش توسعه انسانی در ایجاد آن، پارامتر هیدرولوژیک متاثر از سدهای مخزنی بافت و جیرفت را با استفاده از رویکرد محدوده تغییرپذیری در دو دوره قبل و بعد از احداث سدها مورد تحلیل قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد که اثرات منفی ساخت سدها بر ۳۳ ویژگی هیدرواکولوژیک جریان رودخانه هلیل‌رود از زمان بهره‌برداری سد جیرفت در سال ۱۳۷۱ شده است و بهره‌برداری سد بافت منجر به تشدید اثرات منفی ویژگی‌های جریان (خارج از محدوده قابل قبول تغییرپذیری اکولوژیک) هلیل‌رود شده است. نادری و همکاران (۱۴۰۲) تغییرات رژیم جریان رودخانه‌ای را با استفاده از شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیک در حوزه آبخیز حبله‌رود تحلیل نمودند. ایشان از نرم‌افزار شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیک (IHA)، برای ارزیابی تغییرات شاخص‌های مختلف هیدرولوژیک در دوره آماری قبل و بعد از نقطه تغییر معنادار در سری زمانی دبی سالیانه استفاده نمودند. نتایج ایشان نشان داد که اکثر شاخص‌های هیدرولوژیک کاهش در وضعیت جریان رودخانه حبله‌رود را نشان می‌دهند، به طوری که متوسط آبدی در تمام ماه‌های سال و مقدار جریان پایه حوضه کاهش یافته است. همچنین هم افزایش فراوانی و هم افزایش طول دوره پالس‌های جریان کمینه را گزارش نمودند. همچنین ایشان بر اساس تحلیل روند طولانی‌مدت بیان نمودند که ۲۵ شاخص از بین ۳۳ شاخص تغییرات هیدرولوژیک دارای روند نزولی معنادار از نظر آماری بوده‌اند. ژنگ^۱ و همکاران (۲۰۱۶) با هدف تعیین تغییرات میانگین سری رواناب سالانه و پارامتر مشخصه هیدرولوژیک رودخانه ونیو^۲ در چین تغییرات آب و هوا و فعالیت‌های انسانی را برای ارزیابی عوامل موثر تغییرات هیدرولوژیک رودخانه مورد بحث قرار دادند و دریافته‌اند که سری رواناب سالانه یک روند کلی کاهشی با دو نقطه تغییر معنی‌دار در سال‌های ۱۹۷۲ و ۱۹۸۴ نشان می‌دهد. تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای نشان داد که تغییرات رواناب به جای تغییرات آب و هوایی ناشی از فعالیت‌های انسانی است. ایشان بهره‌برداری از مخزن سد و تغییرات در مصرف آب ناشی از توسعه اقتصادی منطقه‌ای را به‌عنوان عوامل انسانی در تغییر ویژگی‌های هیدرولوژیک رودخانه ونیو موثر دانستند. ژه^۳ و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از طیف تجدیدنظر شده روش‌های محدوده تغییرپذیری ارزیابی تغییر رژیم جریان رودخانه یانگ‌تسه را به‌صورت کمی ارزیابی نمودند و یک شاخص جدید، درجه کلی تغییر رژیم جریان ارائه دادند. ایشان نتیجه گرفتند که روش تجدید نظر شده RVA محدودیت‌های رویکرد سنتی دامنه تغییرپذیری را بهبود بخشیده است. یو‌کین^۴ و همکاران (۲۰۱۹) برآورد تغییرات هیدرولوژیک رودخانه کالیکندکی در کشور نپال را با استفاده از شاخص‌های هیدرولوژیک معرف مورد آزمون قرار دادند. ایشان از رویکردهای مقایسه هیستوگرام (HCA) همراه با انواع سال‌های هیدرولوژیک (HYT) استفاده نمودند و نتیجه گرفتند که ۶۰/۷۱ درصد تغییر در رژیم جریان طبیعی در منطقه در اثر ساخت نیروگاه برق‌آبی بوده است که در دسته تغییر زیاد طبقه بندی می‌شود. شیخ^۵ و همکاران (۲۰۲۲) رویکرد تفاوت تراکم و رویکرد وزنی دامنه تغییرپذیری را برای ارزیابی تغییر رژیم هیدرولوژیک رودخانه قرناوه در شمال شرق ایران به‌کار گرفتند. نتایج ایشان نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در مقادیر تغییر و رتبه‌های محاسبه‌شده با رویکردهای مختلف تحلیل تغییر است. در مقایسه با رویکرد دامنه تغییرپذیری معمول، رویکرد وزنی منجر به درجات تغییر بالاتر برای اکثر

۱- Zhang

2- Wenyu

3- Ge

4- Yuqin

5- Sheikh

شاخص‌های تغییر هیدرولوژیک جریان شده است. در مجموع روش رویکرد تفاوت تراکم به دلیل در نظر گرفتن تغییر در ویژگی‌های کلیدی توزیع احتمال (شامل پارامترهای مکان، پراکندگی و چولگی) سری داده‌های تولید شده، به عنوان رویکرد مناسب معرفی شد. وانگ^۱ و همکاران (۲۰۲۲) تغییرات رژیم هیدرولوژیکی حوضه رودخانه لالین^۲ در کشور چین را در دوره زمانی ۱۹۵۴ تا ۲۰۱۵ با استفاده از رویکرد دامنه تغییرپذیری تحلیل نمودند و نتیجه گرفتند که کاهش شدید میانگین جریان ماهانه و خشک شدن رودخانه اتفاق افتاده است. نتایج ایشان نشان داد که تغییر کاربری اراضی در منطقه باعث افزایش مساحت شالیزارها و کاهش مساحت تالاب‌ها شده است و با افزایش دمای منطقه و کاهش بارندگی در ۵۰ سال گذشته، وضعیت هیدرولوژیکی در حوضه رودخانه لالین تحت تأثیر دوگانه فعالیت‌های انسانی و گرمایش جهانی به طور قابل توجهی تغییر کرده است. لی^۳ و همکاران (۲۰۲۲) با هدف مطالعه تغییرات هیدرولوژیکی رودخانه داون^۴ به عنوان شاخه‌ای از رودخانه زرد، از روش‌های مختلف آماری هیدرولوژیکی مانند آزمون ناپارامتریک من-کندال، ناهنجاری تجمعی، خوشه‌بندی مرتب‌شده، آزمون T لغزان و منحنی تجمعی بارش-رواناب برای بررسی ویژگی‌های تکاملی عوامل هیدرولوژیکی در رودخانه داون استفاده شد. نتیجه نشان داد که بارندگی و رواناب رودخانه داون از سال ۱۹۵۶ تا ۲۰۱۶ به طور کلی کاهش یافته است، اما روند نزولی منظم نبوده است. بر این اساس، وضعیت هیدرولوژیکی رودخانه داوون دستخوش تغییرات قابل توجهی شده است و از سال ۱۹۷۸ پدیده خشک‌شدن جدی اتفاق افتاده است. مصطفی‌زاده و همکاران (۲۰۲۳) با هدف ارزیابی تغییرات زمانی و تحلیل الگوی جریان با استفاده از شاخص‌های Colwell در رودخانه‌های کوهستانی استان اردبیل به این نتیجه رسیدند که مقادیر شاخص پایداری جریان ماهانه در ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه اهل ایمان و پل سلطانی کم‌تر از سایر ایستگاه‌های مورد بررسی بوده و ایستگاه نیر در دامنه سیلان بیش‌ترین پایداری جریان را داشته است. ایشان دریافتند که رژیم هیدرولوژیکی و شاخص‌های جریان رودخانه در رودخانه‌های مورد مطالعه تحت تأثیر بارش و تغییر دما تغییر کرده است. قابل‌نظام و همکاران (۲۰۲۳) پس از تعیین شدت خشکسالی هیدرولوژیکی در دوره‌های بازگشت مختلف در رودخانه‌های استان اردبیل به این نتیجه رسیدند که در تمامی مقیاس‌های زمانی مطالعه خشکسالی، شدت خشکسالی در هر دو رودخانه با دبی کم و زیاد با افزایش دوره بازگشت افزایش یافت. به این ترتیب حداکثر شدت خشکسالی برای رودخانه‌های با دبی بالا در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله به دست آمد. در دهه‌های اخیر، تغییرات هیدرولوژیکی قابل توجه ناشی از تغییرات آب و هوایی و فعالیت‌های انسانی به طور قابل توجهی بر رودخانه‌ها در سطح جهان تأثیر گذاشته است. بنابراین، برای برنامه ریزی و مدیریت منابع آب محلی بررسی تغییرات رژیم هیدرولوژیکی دارای اهمیت است (ژنگ^۵ و همکاران، ۲۰۱۶). رژیم هیدرولوژیکی رودخانه‌ها به طور چشم‌گیری تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی و فعالیت‌های انسانی در حال تغییر است که کانون توجه بسیاری از پژوهش‌ها در زمینه مسائل آب و محیط زیستی تبدیل شده است (گو و همکاران، ۲۰۲۲الف). مدیریت مؤثر اکوسیستم رودخانه‌های، نیازمند توصیف پارامترهای رژیم هیدرولوژیکی جریان طبیعی و تعیین درجه تغییرات دبی جریان تنظیمی نسبت به آبدی طبیعی می‌باشد. بر اساس جمع‌بندی سوابق پژوهش، ارزیابی تغییرات در رژیم رودخانه‌ها در مناطق کوهستانی از مواردی است که نیازمند پژوهش‌های جامع است. رودخانه خیاوچای مشگین‌شهر به عنوان یکی از رودخانه‌هایی که از رژیم برفی رودخانه سیلان تغذیه می‌شود، به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. لذا، هدف پژوهش حاضر تعیین تغییرات بلندمدت رژیم جریان رودخانه کوهستانی خیاوچای با استفاده از رویکرد محدوده تغییرپذیری (RVA) است. در این راستا برای تعیین دوره‌های تغییر در رژیم جریان رودخانه خیاوچای با استفاده از نرم‌افزار تحلیل نقاط تغییر استفاده شده است.

1. Wang

2. Lalin

3. Li

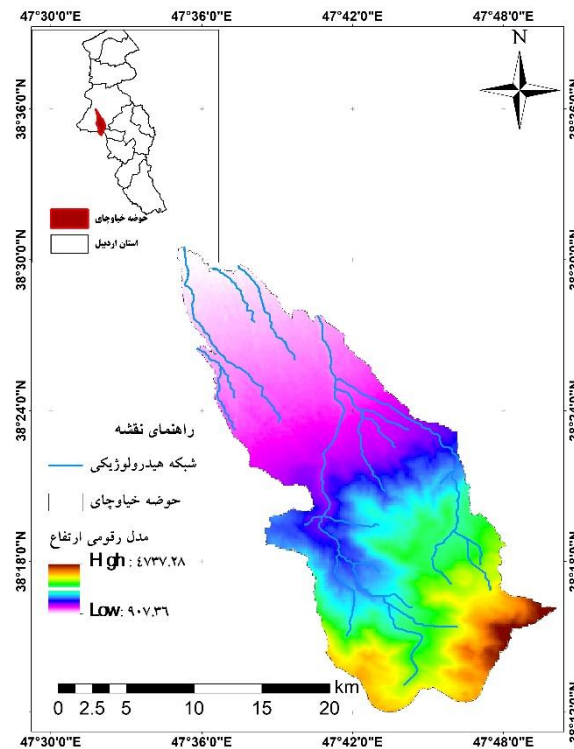
4. Dawen

5. Zhang

مواد و روش‌ها

خصوصیات منطقه مورد مطالعه

رودخانه خیاوچای در بالادست شهر مشگین‌شهر واقع شده و از زیرشاخه‌های رودخانه قره‌سو است رودخانه اصلی این حوزه خیاوچای نام دارد که از ارتفاعات سبلان سرچشمه می‌گیرد. رودخانه خیاوچای پس از طی نمودن دره موئیل به محدوده شهر وارد شده و در نهایت به رودخانه قره‌سو می‌ریزد. وسعت محدوده بالادست رودخانه برابر ۱۱۵ کیلومترمربع و متوسط بارش منطقه برابر ۳۷۵ میلی‌متر است (عیوضی و همکاران، ۱۴۰۱). اقلیم منطقه مورد مطالعه بر اساس روش طبقه‌بندی دومارتن اصلاح شده به‌عنوان نیمه‌خشک سرد طبقه‌بندی می‌شود. رژیم آبدهی رودخانه خیاوچای بر اساس آمار دبی ایستگاه پل سلطان نشان می‌دهد که حداقل دبی سالانه رودخانه برابر ۰/۲۵ مترمکعب در ثانیه، و حداکثر آن برابر ۱/۳۶ مترمکعب در ثانیه است. همچنین مقدار متوسط آبدهی سالانه برابر ۰/۷۶ مترمکعب در ثانیه ثبت شده است (پرچی و همکاران، ۱۴۰۱).



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه و مدل رقومی ارتفاعی منطقه

روش پژوهش

در این پژوهش آمار دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری پل سلطانی رودخانه خیاوچای در یک دوره طولانی استفاده شده است. دوره آماری داده‌های استفاده شده از ۱۳۴۸ تا ۱۳۹۸ بوده است. ابتدا صحت و همگنی داده‌ها با استفاده از روش‌های معمول مورد ارزیابی قرار گرفت و پس از اطمینان از تناسب داده‌ها، بر اساس تغییر در مقادیر دبی متوسط سالانه جریان، دوره‌های زمانی ارزیابی مشخص شدند.

در این پژوهش از نرم‌افزار Change Point Analysis که توسط پتیت^۱ (۱۹۷۹) ارائه شده، برای آزمون تغییرات ناگهانی مورد استفاده قرار گرفت. سپس داده‌های مربوط به دبی سالانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته، و تعداد و زمان نقاط تغییر در آن‌ها تعیین، و همچنین میزان و نوع تغییر که به صورت افزایشی (بیش‌تر از میانگین دبی) یا کاهش (کم‌تر از میانگین دبی) می‌باشد، نیز قابل استخراج است (عسگری و همکاران، ۱۳۹۸). در ادامه داده‌های تهیه شده برای ورود به نرم‌افزار IHA آماده شدند و پس از محاسبه شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیک جریان مختلف جریان، ویژگی‌های آماری دبی جریان با رویکرد دامنه تغییرپذیری مورد تحلیل قرار گرفتند (خسروی و همکاران، ۱۳۹۸؛ کاظمی و همکاران، ۱۴۰۲). در جدول ۱، دوره‌های تفکیک شده بر اساس نرم‌افزار Change Point Analysis ارائه شده است.

جدول ۱: دوره‌های مورد مطالعه در تعیین تغییرات رژیم جریان رودخانه خیاوچای با استفاده از روش RVA

دوره	دوره اول	دوره دوم	دوره سوم
سال آبی شمسی	۱۳۴۸-۱۳۵۷	۱۳۵۸-۱۳۷۸	۱۳۷۹-۱۳۹۴
سال میلادی معادل	۱۹۶۹-۱۹۷۸	۱۹۷۹-۱۹۹۹	۲۰۰۰-۲۰۱۹

وقتی هدف تحلیل تغییرات جریان رودخانه بین دو دوره دوره زمانی متفاوت باشد، نرم‌افزار این امکان را برای کاربر فراهم می‌کند که روش رویکرد محدوده تغییرات RVA را برای محاسبه شاخص‌ها و مقایسه نتایج، به کار گیرد (ریشتر و همکاران، ۱۹۹۷). در این پژوهش از نرم‌افزار IHA و رویکرد محدوده تغییرپذیری برای ارزیابی تغییر در مولفه‌های هیدرولوژیک جریان بهره گرفته شده است.

روش رویکرد محدوده تغییرپذیری (RVA)

رویکرد محدوده تغییرپذیری RVA نوعی کاربردی مبتنی بر روش‌های هیدرولوژیکی است که توسط ریشتر و همکاران (۱۹۹۷) برای تحلیل جریان رودخانه‌ها ارائه شده است. مبنای روش رویکرد محدوده تغییرپذیری RVA این است که حوضه‌های رودخانه‌ای به گونه‌ای مدیریت شوند که توزیع مقادیر سالانه هر یک از ۳۳ پارامتر تغییرات هیدرولوژیک IHA تا حد امکان در محدوده تغییرات طبیعی پارامترها واقع شوند (نصیری و همکاران، ۱۳۹۸). در همین راستا، اهداف مدیریتی باید بر مبنای اطلاعات اکولوژیکی موجود تعیین شوند. در صورت نبود اطلاعات اکولوژیکی مناسب، توصیه می‌شود که دامنه انحراف معیار به عنوان پیش فرض برای تعیین اولیه اهداف به کار رود. به این معنا که مقادیر طبیعی هر یک از پارامترهای IHA در حالت طبیعی در دامنه انحراف معیار ($\pm STD$) از مقادیر متوسط در نظر گرفته شود و یا اینکه چارک‌های ۲۵ و ۷۵ درصد به ترتیب به عنوان حدود پایین و بالای پارامترها لحاظ شود (نادری و همکاران، ۱۴۰۲؛ ریشتر و همکاران، ۲۰۱۱). باید دقت شود که تحلیل RVA، دامنه کامل مقادیر هر پارامتر در دوره رژیم طبیعی به سه طبقه عددی (پایین، میانه و بالا) تقسیم می‌شوند. مرز بین این طبقات بر اساس مقادیر صدک (برای آنالیز ناپارامتریک) و یا مقادیر انحراف معیار (برای آنالیز پارامتریک) توسط کاربر تعیین می‌شود. به طور پیش فرض در نرم‌افزار IHA، این مرز در آنالیز ناپارامتریک روی صدک ۱۷ از میانه قرار دارد و این رقم به صورت اتوماتیک سه طبقه عددی با اندازه یکسان را ایجاد می‌کند. پایین‌ترین طبقه شامل همه مقادیر کم‌تر یا مساوی صدک ۳۳ است. طبقه متوسط شامل همه مقادیری که در بازه صدک ۳۴ تا ۶۷ هستند، می‌شود و بالاترین طبقه همه مقادیر بیش‌تر از صدک ۶۷ را در بر می‌گیرد. سپس، فاکتور درجه تغییر هیدرولوژیکی (میزان عدم دستیابی به اهداف RVA) بر حسب درصد با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود (متتو و ریشتر، ۲۰۰۷؛ TNC, 2009).

$$D_i = \frac{N_0 - N_e}{N_e} \times 100 \quad (1)$$

^۱- Pettitt

که در آن، D_i درجه تغییر هیدرولوژیکی پارامتر i ام IHA و N_0 فراوانی مورد انتظار است که در دوره رژیم طبیعی جریان‌های هریک از سه طبقه هدف RVA، بر اساس تعداد سال‌هایی که رقم پارامتر i ام IHA در هر طبقه قرار دارد، محاسبه می‌شود و N_e فراوانی مشاهداتی یا تعداد سال‌هایی است که مقدار پارامتر هیدرولوژیکی مربوطه دوره رژیم تغییر یافته در هر یک از سه طبقه هدف RVA قرار دارد (TNC, 2009). مقادیر مثبت تغییرات هیدرولوژیکی در هر یک از سه طبقه عددی نشان می‌دهد فراوانی مقادیر پارامتر هیدرولوژیکی مد نظر در هر یک از سه طبقه هدف RVA در دوره رژیم و تغییر یافته افزایش یافته است (بیش‌ترین مقدار تغییرات مثبت تا بی نهایت است) در حالی که مقادیر منفی تغییرات هیدرولوژیکی نشان‌دهنده کاهش فراوانی مقادیر پارامتر مدنظر در طبقه مربوطه در دوره رژیم تغییر یافته است (حداقل مقدار تغییرات تا -۱ می‌باشد) (TNC, 2009). در این خصوص برای ارزیابی شدت تغییرات هیدرولوژیکی از سیستم سه کلاسه استفاده می‌شود. ریشتر و همکاران (۱۹۹۶ و ۱۹۹۷) نشان دادند که مقادیر D_i بین صفر تا ۳۳ درصد بیان‌کننده میزان تغییرات هیدرولوژیکی کم، بین ۳۳ تا ۶۷ درصد نشان‌دهنده میزان تغییرات هیدرولوژی متوسط و بین ۶۷ تا ۱۰۰ درصد بیان‌کننده مقدار تغییرات هیدرولوژیکی زیاد است.

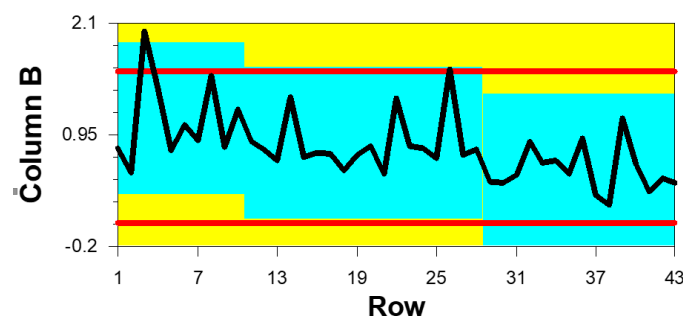
نتایج تغییرات پنج گروه پارامتر تغییرات هیدرولوژیکی (IHA) در محدوده تغییرات RVA در ایستگاه هیدرومتری پل سلطانی رودخانه خیاوچای که از نرم‌افزار IHA به‌دست آمد در بخش نتایج ارائه شده است. مقادیر منفی نشان می‌دهد در بیش‌تر این پارامترها قرارگیری مقدار فراوانی سالیانه آن‌ها در محدوده RVA کم‌تر از مقدار مورد انتظار (رژیم طبیعی) است.

یافته‌ها و بحث

نتایج مرحله تعیین نقاط تغییر در داده‌های دبی جریان با استفاده از نرم‌افزار Change Point Analysis در جدول ۲ ارائه شده است. همچنین محدوده‌ها و دامنه تغییرات در دبی رودخانه خیاوچای در دوره مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: مشخصات تغییر در داده‌های دبی رودخانه خیاوچای با نرم‌افزار CPA در دوره آماری مورد مطالعه

Row	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
11	(2, 21)	87%	1.123	0.86684	3
29	(12, 35)	86%	0.86684	0.59308	2



شکل ۲: نتیجه گرافیکی تغییر در مقادیر دبی رودخانه خیاوچای با نرم‌افزار CPA در دوره آماری مورد مطالعه

نتایج پارامترهای ماهانه جریان (پارامترهای گروه اول) در ارزیابی تغییرات هیدرولوژیک میان دوره اول (۱۹۶۹-۱۹۷۸) و دوره دوم (۱۹۷۹-۱۹۹۹) بر اساس طبقات RVA در ایستگاه خیابوچای در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج پارامترهای ماهانه جریان (گروه‌های ۲ تا ۵) در ارزیابی تغییرات هیدرولوژیک میان دوره اول و دوم بر اساس طبقات RVA در ایستگاه خیابوچای در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۳: نتایج پارامترهای ماهانه جریان (گروه ۱) در ارزیابی تغییرات هیدرولوژیک میان دوره اول و دوم بر اساس طبقات RVA در ایستگاه خیابوچای

درصد تغییر هیدرولوژیکی	حدود RVA		۱۹۶۹-۱۹۷۸				۱۹۷۹-۱۹۹۹				پارامتر	دوره
	بالا	پایین	حداکثر	حداقل	پراکندگی	میانه	حداکثر	حداقل	پراکندگی	میانه		
	حد متوسط											
-۰/۱۷	-۰/۹۹	-۰/۱۳	۲/۶۲	-۰/۰۱	۳/۳۵	-۰/۳۰	۳/۰۰	-۰/۰۶	۳/۲۹	-۰/۳۴	اکتبر	
-۰/۶۴	-۰/۱۰	-۰/۰۳	۷/۷۹	-۰/۰۱	۲/۱۱	-۰/۲۸	۱/۰۰	-۰/۰۱	۳/۲۹	-۰/۰۶	نوامبر	
-۰/۰۷	-۰/۴۷	-۰/۰۳	۵/۲۴	-۰/۰۱	۳/۱۸	-۰/۱۴	۲/۷۶	-۰/۰۱	۸/۵۲	-۰/۱۱	دسامبر	
-۰/۲۹	-۰/۵۰	-۰/۲۱	۱/۵۷	-۰/۰۱	۲/۲۲	-۰/۱۹	-۰/۹۶	-۰/۰۹	۱/۵۶	-۰/۳۷	ژانویه	
-۰/۱۹	۱/۰۵	-۰/۳۴	۱/۱۷	-۰/۰۲	۱/۴۱	-۰/۴۷	۱/۸۵	-۰/۲۸	۲/۵۷	-۰/۴۲	فوریه	
-۰/۰۷	-۰/۹۸	-۰/۵۸	۱/۳۸	-۰/۲۸	-۰/۶۴	-۰/۸۰	۱/۷۰	-۰/۴۲	-۰/۶۲	-۰/۸۳	مارس	
-۰/۵۲	۱/۴۸	۱/۱۶	۱/۴۵	-۰/۳۶	-۰/۴۲	۱/۰۴	۱/۶۴	-۰/۸۸	-۰/۲۵	۱/۳۵	آوریل	
-۰/۴۳	۱/۵۴	۱/۲۰	۱/۵۳	-۰/۴۲	-۰/۳۱	۱/۰۸	۱/۶۵	۱/۱۵	-۰/۳۱	۱/۳۷	می	
-۰/۲۹	۱/۴۳	۱/۱۶	۱/۶۴	-۰/۴۷	-۰/۳۳	۱/۱۵	۱/۶۸	-۰/۸۵	-۰/۳۱	۱/۳۷	ژوئن	
-۰/۰۵	۱/۳۵	۱/۰۶	۱/۳۷	-۰/۱۳	-۰/۴۱	-۰/۹۹	۴/۷۸	-۰/۶۲	-۰/۴۵	۱/۱۸	ژولای	
-۰/۷۶	-۰/۸۸	-۰/۷۳	۳/۶۱	-۰/۰۵	-۰/۵۲	-۰/۸۷	۵/۳۰	-۰/۲۷	-۰/۸۹	-۰/۷۸	آگوست	
-۰/۷۶	۱/۶۰	-۰/۸۵	۲/۶۳	-۰/۰۱	۲/۱۵	-۰/۳۷	۳/۵۹	-۰/۲۵	-۰/۹۱	۱/۲۳	سپتامبر	

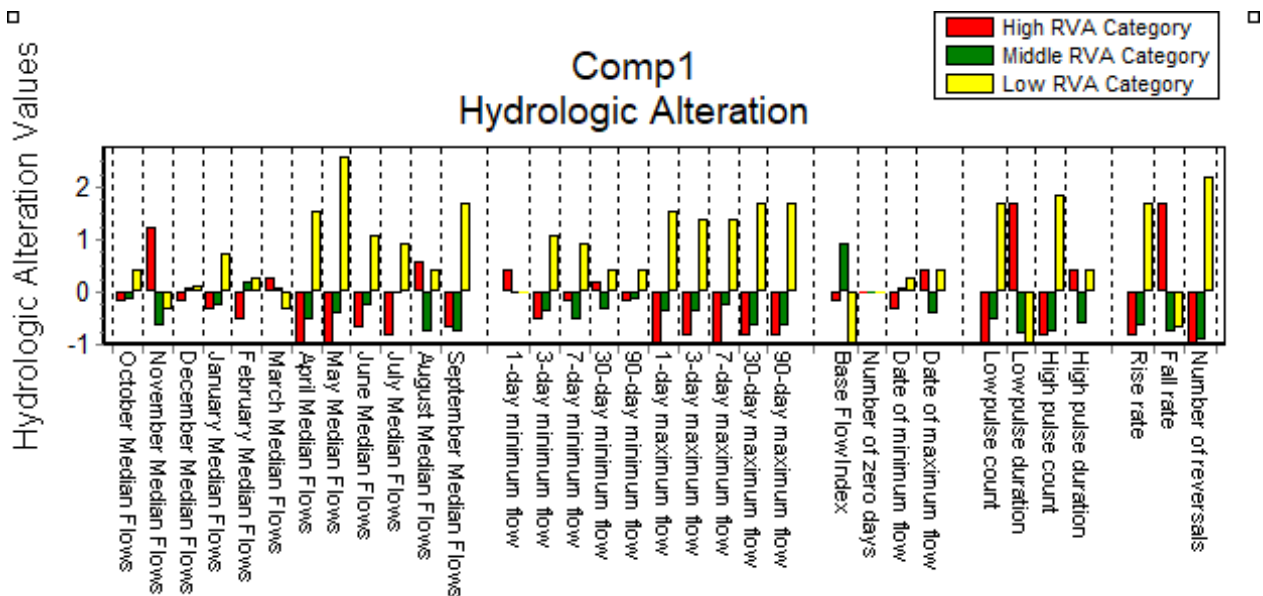
جدول ۴: نتایج پارامترهای جریان (گروه‌های ۲ تا ۵) در ارزیابی تغییرات هیدرولوژیک میان دوره اول و دوم بر اساس طبقات RVA در ایستگاه خیابوچای

درصد تغییر هیدرولوژیکی	حدود RVA		۱۹۶۹-۱۹۷۸				۱۹۷۹-۱۹۹۹				پارامتر	دوره
	بالا	پایین	حداکثر	حداقل	پراکندگی	میانه	حداکثر	حداقل	پراکندگی	میانه		
	حد متوسط											
-۰/۰۵	-۰/۰۲	-۰/۰۱	-۰/۶۷	-۰/۰۱	-۰/۵۰	-۰/۰۱	-۰/۱۷	-۰/۰۱	۱/۰۰	-۰/۰۱	حداقل ۱ روزه	
-۰/۴۰	-۰/۰۲	-۰/۰۱	-۰/۶۷	-۰/۰۱	-۰/۹۴	-۰/۰۱	-۰/۱۷	-۰/۰۱	۱/۳۷	-۰/۰۲	حداقل ۳ روزه	
-۰/۵۲	-۰/۰۴	-۰/۰۱	-۰/۶۸	-۰/۰۱	۲/۷۳	-۰/۰۱	-۰/۱۷	-۰/۰۱	۱/۶۶	-۰/۰۲	حداقل ۷ روزه	
-۰/۲۳	-۰/۱۳	-۰/۰۳	-۰/۷۰	-۰/۰۱	۱/۹۲	-۰/۰۶	-۰/۳۰	-۰/۰۲	۱/۷۰	-۰/۰۹	حداقل ۳۰ روزه	
-۰/۱۷	-۰/۳۸	-۰/۱۶	-۰/۷۵	-۰/۰۱	۱/۸۶	-۰/۱۹	-۰/۴۸	-۰/۰۵	۱/۰۰	-۰/۳۰	حداقل ۹۰ روزه	
-۰/۴۰	۳۶/۷۶	۷/۷۴	۳۷/۶۲	-۰/۶۷	۳/۰۲	۲/۵۶	۱۱۶/۰۰	۲/۶۰	۴/۸۴	۱۵/۶۵	حداکثر ۱ روزه	
-۰/۴۰	۱۶/۸۸	۶/۳۲	۱۹/۴۱	-۰/۶۷	۲/۴۴	۲/۳۳	۴۳/۷۷	۲/۴۰	۲/۸۸	۹/۷۲	حداکثر ۳ روزه	
-۰/۲۹	۱۰/۵۶	۴/۲۹	۱۰/۴۸	-۰/۶۶	۲/۰۹	۲/۰۰	۲۰/۵۷	۲/۲۰	۱/۹۰	۷/۴۳	حداکثر ۷ روزه	
-۰/۶۴	۵/۱۱	۲/۵۵	۷/۹۱	-۰/۶۴	-۰/۴۵	۱/۴۴	۵/۸۷	۱/۶۹	۱/۰۴	۳/۷۴	حداکثر ۳۰ روزه	
-۰/۶۴	۲/۶۷	۱/۶۵	۵/۲۲	-۰/۵۹	-۰/۳۱	۱/۱۹	۳/۹۵	۱/۳۳	-۰/۶۰	۱/۹۸	حداکثر ۹۰ روزه	
-۰/۰۰	-۰/۰۰	-۰/۰۰	-۰/۰۰	-۰/۰۰	-۰/۰۰	-۰/۰۰	-۰/۰۰	-۰/۰۰	-۰/۰۰	-۰/۰۰	تعداد روزهای دبی صفر	
-۰/۹۰	-۰/۰۴	-۰/۰۱	-۰/۶۹	-۰/۰۱	۱/۴۹	-۰/۰۲	-۰/۱۸	-۰/۰۱	۲/۶۶	-۰/۰۲	شاخص جریان پایه	
-۰/۰۷	۳۰۷/۵۰	۲۷۶/۱۰	۳۳۰/۰۰	۳/۰۰	-۰/۱۴	۲۹۰/۰۰	۳۴۸/۰۰	۶/۰۰	-۰/۱۵	۳۰۸/۰۰	زمان حداقل جریان	
-۰/۴۳	۲۷۵/۰۰	۲۵۰/۷۰	۳۲۲/۰۰	۲۸/۰۰	-۰/۲۴	۲۶۶/۰۰	۳۱۴/۰۰	۴۵/۰۰	-۰/۱۲	۲۶۰/۵۰	زمان حداکثر جریان	
-۰/۵۲	۱۱/۳۷	۴/۸۹	۹/۰۰	-۰/۰۰	۱/۰۰	۳/۰۰	۱۶/۰۰	۲/۰۰	۱/۳۲	۸/۰۰	تعداد پالس حداقل	

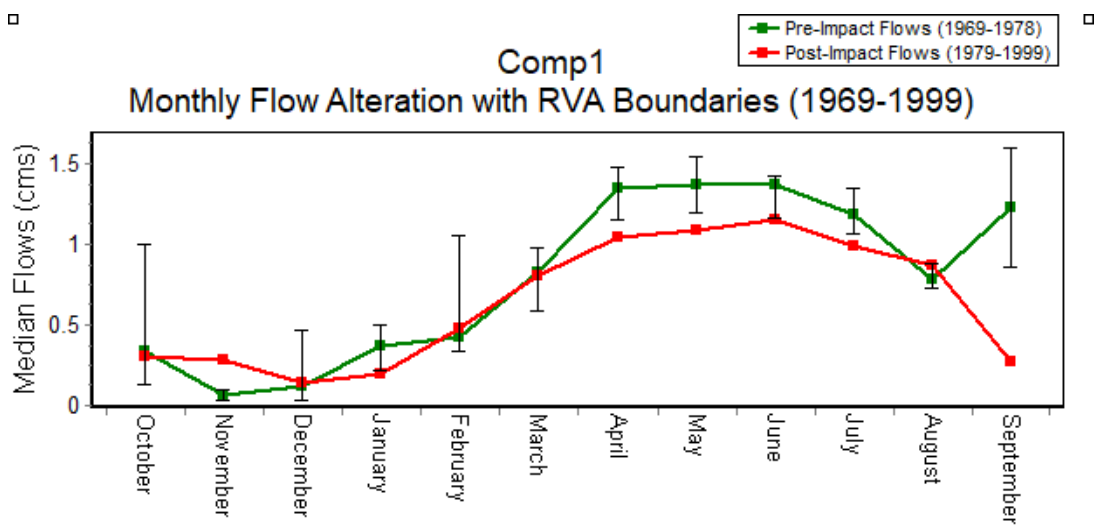
مدت پالس حداقل	۳/۰۰	۱/۱۳	۲/۵۰	۵۱/۵۰	۲۴/۰۰	۱/۷۱	۳/۰۰	۱۶۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۳۷	-۰/۸۱
تعداد پالس حداکثر	۱۰/۵۰	۱/۱۰	۷/۰۰	۲۲/۰۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰	۱۸/۰۰	۹/۶۳	۱۷/۴۸	-۰/۷۶
مدت پالس حداکثر	۲/۵۰	۰/۸۰	۱/۵۰	۹/۰۰	۴/۰۰	۲/۹۴	۱/۰۰	۴۰/۵۰	۲/۰۰	۳/۶۹	-۰/۶۰
نرخ اوج‌گیری	۰/۱۱	۰/۶۶	۰/۰۲	۰/۱۵	۰/۰۲	۱/۵۰	۰/۰۰	۰/۱۴	۰/۰۹	۰/۱۳	-۰/۶۴
نرخ فروکش	-۰/۱۱	-۰/۲۶	-	۰/۱۸	-۰/۰۲	-۳/۵۵	-	۰/۱۴	-۰/۱۲	-۰/۱۰	-۰/۷۶
تعداد برگشت‌ها	۱۳۷/۵۰	۰/۳۰	۶۰/۰۰	۱۵۹/۰۰	۱۶/۰۰	۳/۰۰	۱/۰۰	۱۴۵/۰۰	۱۳۷/۴۰	۱۵۰/۰۰	-۰/۹۰

تغییرات مقادیر میانگین دبی در ماه‌های مختلف نشان داد که غیر از دو ماه فوریه و مارس، مقادیر در همه ماه‌های سال کاهش یافته است و میزان شاخص تغییر هیدرولوژیکی منفی بوده است. تحلیل مقادیر حداقل و حداکثر دبی ماهانه نیز نشان می‌دهد که در دوره دوم دارای کاهش قابل توجهی بوده‌اند. نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که در دوره دوم مورد مطالعه، مقادیر دبی‌های کمینه ۱، ۳، ۷، ۳۰ و ۹۰ روزه کاهش یافته‌اند. این در حالی است که مقادیر دبی‌های حداکثر دارای افزایش بوده‌اند. تغییرات میانه شاخص جریان پایه در دو دوره مورد مطالعه تغییراتی نشان نداده است. کاهش مقدار نرخ اوج‌گیری به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم نشان داد که میانه شاخص مذکور، از مقدار ۰/۱۱ در دوره اول، به مقدار ۰/۰۲ در دوره دوم به‌شدت کاهش پیدا کرده است.

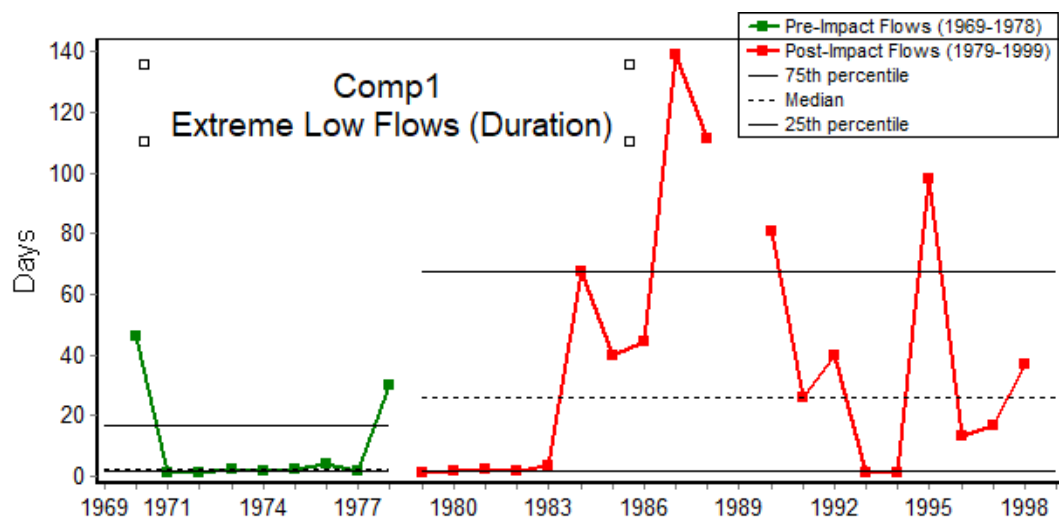
نتایج تغییرات پارامترهای ۳۳ گانه در دامنه‌های مختلف رویکرد دامنه تغییرپذیری (RVA) در ارزیابی تغییرات هیدرولوژیکی میان دوره اول (۱۹۶۹-۱۹۷۸) و دوره دوم (۱۹۷۹-۱۹۹۹) در ایستگاه خیاوچای در شکل ۳ ارائه شده است. همچنین، نتایج تغییر در میانه جریان ماهانه و نیز حد بالا و پایین RVA بین دوره اول و دوم در ایستگاه خیاوچای در شکل ۴ نشان داده شده است. به‌ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ نیز، مقایسه تغییر مدت دبی‌های حدی کمینه و تعداد ضربان‌های دبی کمینه میان دوره اول و دوم (۱۹۶۹-۱۹۷۸) و دوره دوم (۱۹۷۹-۱۹۹۹) نمایش داده شده است.



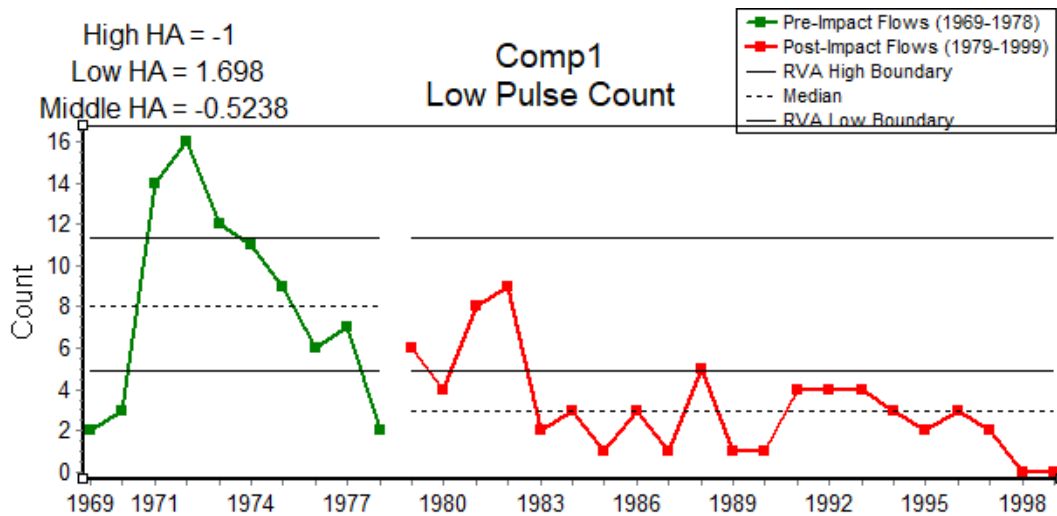
شکل ۳: تغییرات ۳۳ پارامتر IHA در سه دامنه مختلف RVA بین دوره اول و دوم



شکل ۴: میانه جریان ماهانه و حد بالا و پایین RVA بین دوره اول و دوم (خط سبز و قرمز به ترتیب نشان‌دهنده دوره قبل و بعد از تغییر رژیم جریان)



شکل ۵: مقایسه تغییر مدت دبی‌های حدی کمینه بر حسب روز بین دوره اول و دوم (خط سبز و قرمز به ترتیب نشان‌دهنده دوره قبل و بعد از تغییر رژیم جریان)



شکل ۶: مقایسه تعداد ضربان‌های کمینه بین دوره اول و دوم (خط سبز و قرمز به ترتیب نشان‌دهنده دوره قبل و بعد از تغییر رژیم جریان)

بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۳ می‌توان گفت که بیش‌ترین تغییرات مربوط به دبی‌های حداکثر و شدت اوج‌گیری و فروکش بوده است. نتایج شکل ۴ نشان داد که مقادیر میانه جریان‌های ماهانه در دوره دوم کاهش یافته است. مقایسه تغییر مدت دبی‌های حدی کمینه بر حسب روز بین دوره اول و دوم در شکل ۵ نشان داد که مقادیر شاخص مذکور در دوره دوم افزایش داشته است. این در حالی است که بر اساس شکل ۶ تعداد ضربان‌های کمینه جریان در دوره دوم کاهش یافته است و مقدار میانه شاخص مذکور در دوره دوم نیز کاهش داشته است.

نتایج پارامترهای ماهانه جریان (پارامترهای گروه اول) در ارزیابی تغییرات هیدرولوژیک میان دوره دوم (۱۹۷۹-۱۹۹۹) و دوره سوم (۲۰۰۰-۲۰۲۱) بر اساس طبقات RVA در ایستگاه خیابچای در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج پارامترهای ماهانه جریان (گروه‌های ۲ تا ۵) در ارزیابی تغییرات هیدرولوژیک میان دوره دوم و سوم بر اساس طبقات RVA در ایستگاه خیابچای در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۵: نتایج پارامترهای ماهانه (گروه ۱) جریان در ارزیابی تغییرات هیدرولوژیک میان دوره دوم و سوم بر اساس طبقات RVA در ایستگاه خیابچای

درصد تغییر هیدرولوژیکی	حدود RVA		۲۰۰۰-۲۰۲۱				۱۹۷۹-۱۹۹۹				پارامتر	دوره
	پایین	بالا	حداکثر	حداقل	پراکندگی	میانه	حداکثر	حداقل	پراکندگی	میانه		
-۰/۴۵	۰/۰۸	۰/۶۵	۳/۵۱	۰/۰۵	۰/۵۴	۰/۹۹	۲/۶۲	۰/۰۱	۳/۳۵	۰/۳۰	اکتبر	۱۹۷۹
-۰/۸۶	۰/۱۱	۰/۵۳	۳/۰۹	۰/۰۰	۰/۵۸	۰/۷۷	۷/۷۹	۰/۰۱	۲/۱۱	۰/۲۸	نوامبر	
-۰/۴۵	۰/۰۴	۰/۳۱	۱/۶۴	۰/۰۰	۱/۰۷	۰/۷۰	۵/۲۴	۰/۰۱	۳/۱۸	۰/۱۴	دسامبر	
۰/۵۰	۰/۰۳	۰/۳۳	۱/۲۰	۰/۰۰	۲/۴۱	۰/۱۰	۱/۵۷	۰/۰۱	۲/۲۲	۰/۱۹	ژانویه	
-۰/۵۹	۰/۲۵	۰/۷۱	۲/۱۹	۰/۰۰	۹/۴۹	۰/۰۵	۱/۱۷	۰/۰۲	۱/۴۱	۰/۴۷	فوریه	
-۰/۸۸	۰/۶۶	۱/۰۱	۲/۱۸	۰/۰۰	۱۴/۴۰	۰/۰۲	۱/۳۸	۰/۲۸	۰/۶۴	۰/۸۰	مارس	
-۱/۰۰	۰/۸۲	۱/۱۱	۰/۵۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۴۵	۰/۳۶	۰/۴۲	۱/۰۴	آوریل	
-۰/۸۶	۰/۹۴	۱/۱۶	۱/۱۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۵۳	۰/۴۲	۰/۳۱	۱/۰۸	می	
-۱/۰۰	۰/۹۲	۱/۱۷	۱/۲۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۶۴	۰/۴۷	۰/۳۳	۱/۱۵	ژوئن	

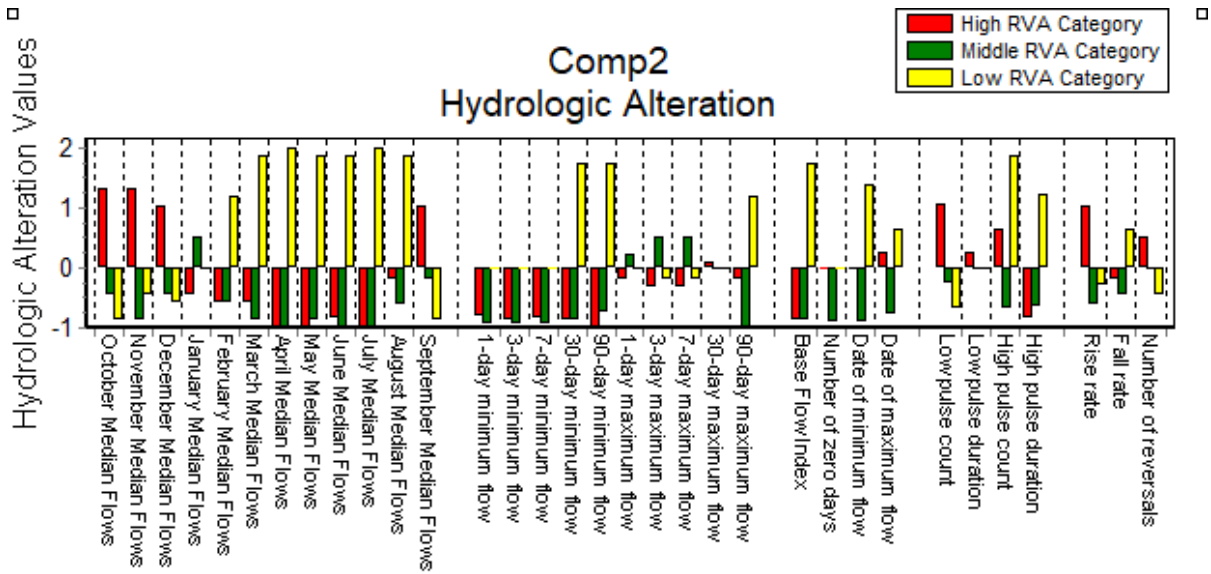
ژولای	۰/۹۹	۰/۴۱	۰/۱۳	۱/۳۷	۰/۰۵	۳/۴۲	۰/۰۰	۰/۷۵	۰/۸۵	۱/۱۷	-۱/۰۰
آگوست	۰/۸۷	۰/۵۲	۰/۰۵	۳/۶۱	۰/۵۲	۱/۹۳	۰/۰۰	۲/۳۱	۰/۵۷	۰/۹۷	-۰/۶۲
سپتامبر	۰/۲۷	۲/۱۵	-۰/۰۱	۲/۶۳	۰/۷۴	۰/۹۴	-۰/۰۲	۲/۰۱	۰/۰۶	۰/۵۴	-۰/۱۸

جدول ۶: نتایج پارامترهای جریان (گروه‌های ۲ تا ۵) در ارزیابی تغییرات هیدرولوژیک میان دوره دوم و سوم بر اساس طبقات RVA در ایستگاه خیابوچای

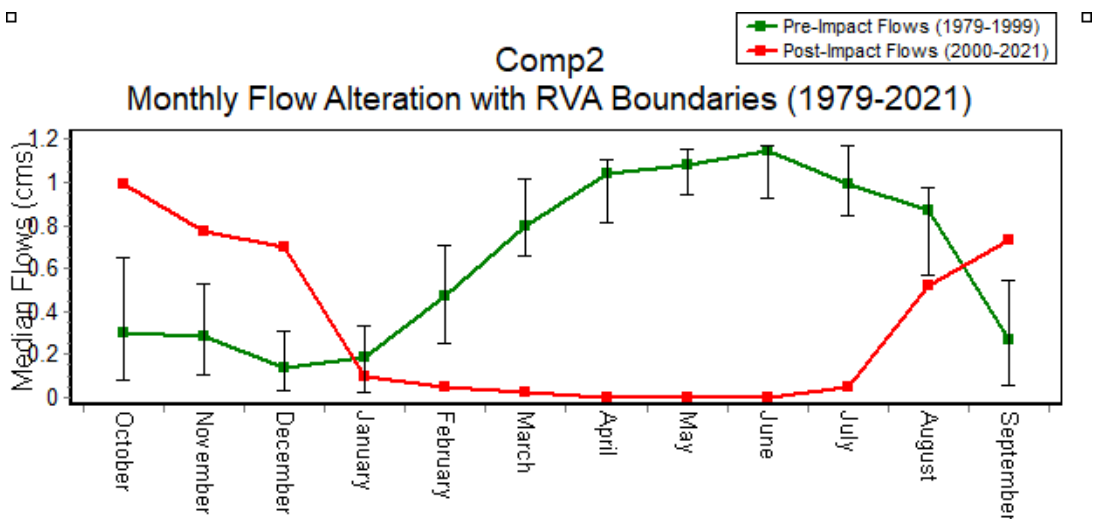
دوره	۱۹۷۹-۱۹۹۹				۲۰۰۰-۲۰۲۱				حدود RVA		درصد تغییر هیدرولوژیکی	
	پارامتر	میان	پراکندگی	حداقل	حداکثر	میان	پراکندگی	حداقل	حداکثر	پایین		بالا
گروه ۲	حداقل ۱ روزه	۰/۰۱	۰/۵۰	-۰/۰۱	-۰/۶۷	-۰/۰۰	-۰/۰۰	-۰/۰۰	-۰/۱۵	-۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۹۴
	حداقل ۳ روزه	۰/۰۱	۰/۹۴	-۰/۰۱	-۰/۶۷	-۰/۰۰	-۰/۰۰	-۰/۱۵	-۰/۰۱	-۰/۰۳	-۰/۰۳	-۰/۹۳
	حداقل ۷ روزه	۰/۰۱	۲/۷۳	-۰/۰۱	-۰/۶۸	-۰/۰۰	-۰/۰۰	-۰/۱۵	-۰/۰۱	-۰/۰۳	-۰/۰۳	-۰/۹۴
	حداقل ۳۰ روزه	۰/۰۶	۱/۹۲	-۰/۰۱	-۰/۷۰	-۰/۰۰	-۰/۰۰	-۰/۱۵	-۰/۰۳	-۰/۱۰	-۰/۱۰	-۰/۸۶
	حداقل ۹۰ روزه	۰/۱۹	۱/۸۶	-۰/۰۱	-۰/۷۵	-۰/۰۰	-۰/۰۰	-۰/۱۵	-۰/۰۵	-۰/۲۷	-۰/۲۷	-۰/۷۳
	حداکثر ۱ روزه	۲/۵۶	۳/۰۲	-۰/۶۷	۲۷/۶۲	۳/۷۳	۱/۲۱	۱۷/۸۰	۲/۲۸	۵/۴۲	۵/۴۲	۰/۲۳
	حداکثر ۳ روزه	۲/۳۳	۲/۴۴	-۰/۶۷	۱۹/۴۱	۳/۰۳	۱/۱۲	۱۴/۰۰	۱/۶۶	۵/۱۰	۵/۱۰	۰/۵۰
	حداکثر ۷ روزه	۲/۰۰	۲/۰۹	-۰/۶۶	۱۰/۴۸	۲/۰۸	۱/۲۱	۱۳/۴۹	۱/۴۰	۳/۷۰	۳/۷۰	۰/۵۰
	حداکثر ۳۰ روزه	۱/۴۴	۰/۴۵	-۰/۶۴	۷/۹۱	۱/۴۴	۰/۷۱	۶/۷۲	۱/۲۵	۱/۶۵	۱/۶۵	-۰/۰۵
	حداکثر ۹۰ روزه	۱/۱۹	۰/۳۱	-۰/۵۹	۵/۲۲	۰/۹۴	۰/۵۹	۳/۰۰	۰/۶۴	۱/۲۹	۱/۲۹	-۱/۰۰
گروه ۳	تعداد روزهای دبی صفر	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۱۶/۵۰	۰/۰۰	۰/۷۹	۲۰۹/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۹۱
	شاخص جریان پایه	۰/۰۲	۱/۴۹	-۰/۰۱	-۰/۶۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۵۵	-۰/۰۳	-۰/۰۳	-۰/۰۳	-۰/۸۶
	زمان حداقل جریان	۲۹۰/۰۰	-۰/۱۴	۳/۰۰	۳۳۰/۰۰	۳۴/۵۰	-۰/۲۸	۴/۰۰	۳۶۳/۰۰	۲۷۵/۰۰	۲۹۰/۰۰	-۰/۸۹
	زمان حداکثر جریان	۲۶۶/۰۰	-۰/۲۴	۲۸/۰۰	۳۲۲/۰۰	۵۴/۰۰	۰/۳۱	۱۷/۰۰	۲۶۰/۰۰	۲۳۲/۰۰	۲۷۴/۰۰	-۰/۷۶
	تعداد پالس حداقل	۲/۰۰	۱/۷۵	-۰/۰۰	۱۱/۰۰	۴/۰۰	۱/۰۶	۰/۰۰	۹/۰۰	۲/۰۰	۳/۰۰	-۰/۲۶
گروه ۴ (آستانه حداقل = ۰/۳۲، آستانه حداکثر = ۱/۰۸)	مدت پالس حداقل	۱۸/۰۰	۲/۷۲	۳/۰۰	۱۵۵/۰۰	۳۳/۰۰	۱/۰۰	۱۲۸/۰۰	۱۰/۶۰	۴۴/۶۰	-۰/۰۵	
	تعداد پالس حداکثر	۲/۰۰	۱/۵۰	-۰/۰۰	۳۶/۰۰	۴/۰۰	۱/۶۳	۰/۰۰	۱۲/۰۰	۲/۰۰	۳/۷۴	-۰/۶۸
	مدت پالس حداکثر	۱۹/۷۵	۱/۶۹	۲/۰۰	۱۲۶/۰۰	۵/۵۰	۱/۵۹	۵۶/۰۰	۱۰/۹۳	۳۵/۷۱	-۰/۶۴	
	نرخ اوج گیری	-۰/۰۲	۱/۵۰	-۰/۰۰	-۰/۱۴	-۰/۰۶	۱/۷۰	-۰/۰۰	-۰/۴۱	-۰/۰۱	-۰/۰۳	-۰/۶۲
	نرخ فروکش	-۰/۰۲	-۳/۵۵	-۰/۱۴	-۰/۰۰	-۰/۰۶	-۲/۴۴	-۰/۶۱	-۰/۰۰	-۰/۰۵	-۰/۰۱	-۰/۴۵
گروه ۵	تعداد برگشت‌ها	۱۶/۰۰	۳/۰۰	۱/۰۰	۱۴۵/۰۰	۲۲/۰۰	۱/۹۶	۱۰۵/۰۰	۱۱/۲۶	۲۳/۲۲	-۰/۰۵	

بر اساس نتایج جدول ۵، مقادیر تغییرات مقادیر حداقل دبی در ماه‌های مختلف در اکثر ماه‌های سال کاهش یافته است و بر همین اساس، میزان شاخص تغییر هیدرولوژیکی در همه ماه‌های سال در دوره سوم در مقایسه با دوره دوم، منفی بوده است. تحلیل مقادیر حداقل و حداکثر دبی ماهانه نیز نشان می‌دهد که در دوره دوم دارای کاهش قابل توجهی بوده‌اند. نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که در دوره سوم مورد مطالعه، مقادیر دبی‌های کمینه ۱، ۳، ۷، ۳۰ و ۹۰ روزه از مقدار ۰/۰۱ به مقدار صفر کاهش پیدا کرده‌اند. در همین دوره، مقادیر دبی‌های حداکثر نیز دارای کاهش بوده‌اند. تغییرات میان‌شاخص جریان پایه در دو دوره مورد مطالعه از ۰/۰۲ به مقدار صفر رسیده است.

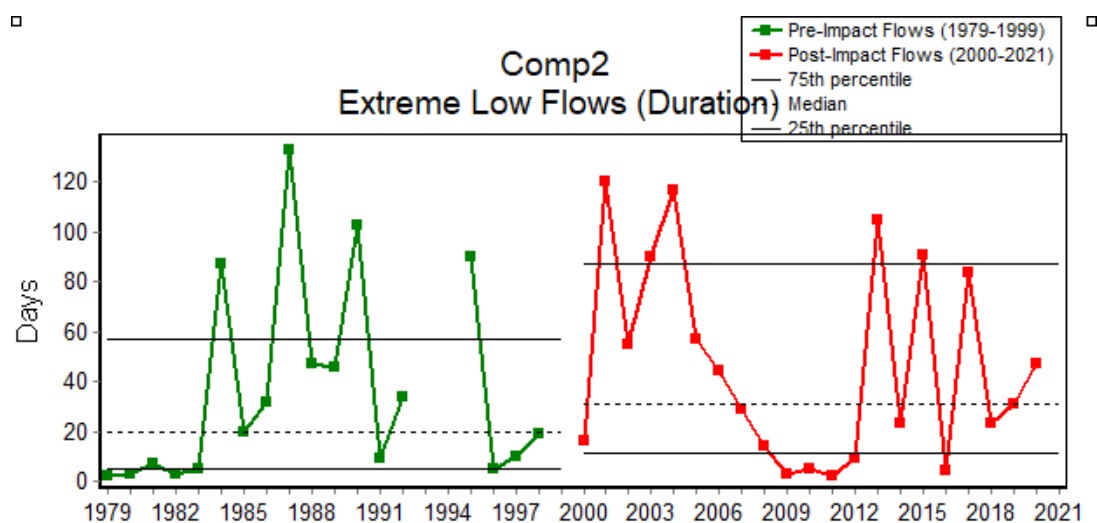
نتایج تغییرات پارامترهای ۳۳ گانه در دامنه‌های مختلف رویکرد دامنه تغییرپذیری (RVA) در ارزیابی تغییرات هیدرولوژیک میان دوره‌های دوم (۱۹۷۹-۱۹۹۹) و سوم (۲۰۰۰-۲۰۲۱) در ایستگاه خیابچای در شکل ۷ ارائه شده است. هم‌چنین، نتایج تغییر در میانه جریان ماهانه و نیز حد بالا و پایین RVA بین دوره دوم و سوم در ایستگاه خیابچای در شکل ۸ نشان داده شده است. به‌ترتیب در شکل‌های ۹ و ۱۰ نیز، مقایسه تغییر مدت دبی‌های حدی کمینه و تعداد ضربان‌های دبی کمینه میان دوره دوم و سوم (۱۹۶۹-۱۹۷۸) و دوره دوم (۱۹۷۹-۱۹۹۹) نمایش داده شده است.



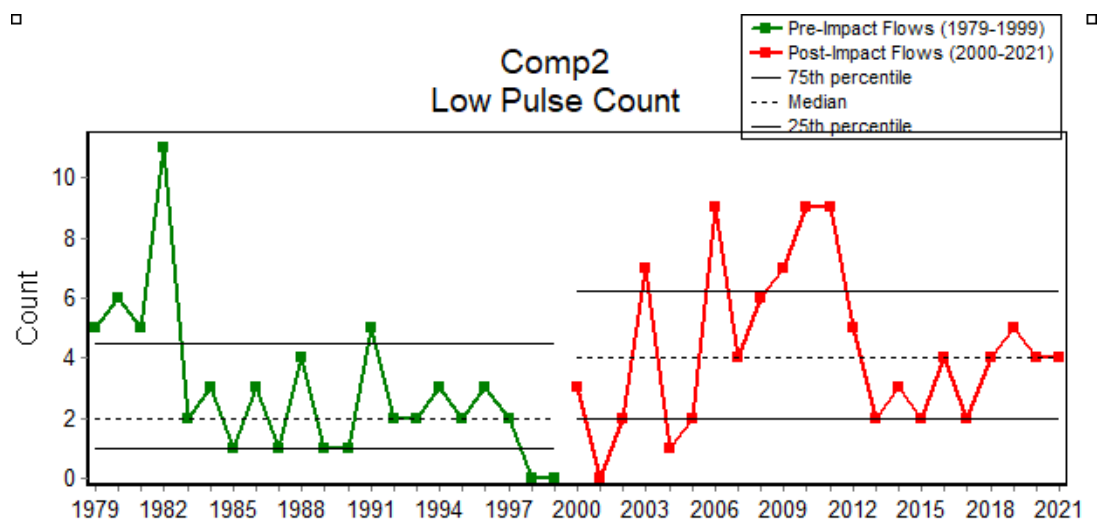
شکل ۷: تغییرات ۳۳ پارامتر IHA در سه دامنه مختلف RVA بین دوره دوم و سوم



شکل ۸: میانه جریان ماهانه و حد بالا و پایین RVA بین دوره دوم و سوم (خط سبز و قرمز به ترتیب نشان‌دهنده دوره قبل و بعد از تغییر رژیم جریان)



شکل ۹: مقایسه تغییر مدت دبی‌های حدی کمینه بر حسب روز بین دوره دوم و سوم (خط سبز و قرمز به ترتیب نشان‌دهنده دوره قبل و بعد از تغییر رژیم جریان)



شکل ۱۰: مقایسه تعداد ضربان‌های کمینه بین دوره دوم و سوم (خط سبز و قرمز به ترتیب نشان‌دهنده دوره قبل و بعد از تغییر رژیم جریان)

نتایج ارائه شده در شکل ۸ نشان می‌دهد که میانه جریان ماهانه و حد بالا و پایین در دوره سوم نسبت به دوره دوم، دارای تغییرات قابل توجهی بوده است و میانه جریان ماهانه در سه ماه اکتبر، نوامبر و دسامبر افزایش و در سایر ماه‌ها به شدت کاهش پیدا کرده است. در همین راستا، ونگ و همکاران (۲۰۲۲) نیز به روند کاهشی شدید میانگین جریان ماهانه رودخانه با شیب منفی $-۲/۵۱۸$ تا $-۲/۹۲۵$ در ماه‌های گرم سال اشاره نموده‌اند. ایشان بین نمودند که روند افزایشی نرخ ضربان‌های کم جریان و فروکش جریان، بیان‌گر خشک شدن منابع آب است. همچنین ایشان کاهش جریان سیلابی ۱، ۳، ۷، ۳۰ و ۹۰ روزه را نیز گزارش نموده‌اند. مقایسه تغییر مدت دبی‌های حدی کمینه بر حسب روز بین دوره دوم و سوم در شکل ۹ نشان داد که دامنه تغییرات در دو دوره مورد مطالعه مشابه بوده است. الگوی تغییر مشابهی در خصوص تعداد ضربان‌های کمینه بین دوره دوم و سوم مشاهده شد.

بر اساس نتایج دبی ماهانه جریان رودخانه خیاوچای در دوره‌های مختلف کاهش پیدا کرده است، در منطقه مورد مطالعه، سازه‌های بزرگ مانند سد احداث نشده است، لذا می‌توان گفت که تغییرات در رژیم جریان رودخانه در اثر برداشت و انحراف آب در مسیر اتفاق افتاده است. هر چند بخشی از تغییرات دبی رودخانه‌ها را می‌توان با تغییر در مقدار بارش مرتبط دانست، اما با توجه به مطالعات جامعی در خصوص تغییر مولفه‌های اقلیمی مانند بارش و دما در بالادست محدوده مورد مطالعه انجام نشده است، در این خصوص نمی‌توان با قاطعیت نتیجه‌گیری نمود. در این خصوص می‌توان گفت که ارزیابی جامع در خصوص تاثیر مولفه‌های اقلیمی نیازمند مطالعات بیش‌تری است. این در حالی است که، ژنگ و همکاران (۲۰۱۶) در ارزیابی تغییرات هیدرولوژیکی رودخانه ونیو در کشور چین بیان نمودند که تغییرات رواناب بیش‌تر تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی است و تغییرات مولفه‌های اقلیمی تاثیر چندانی در تغییر رژیم رودخانه نداشته است. هم‌چنین لی و همکاران (۲۰۲۲) نیز به تاثیر کاهش بارش و در نتیجه تغییر رژیم جریان رودخانه زرد در کشور چین اشاره نموده‌اند این در حالی است که، تحلیل الگوی تغییرات جریان با استفاده از شاخص‌های Colwell در رودخانه‌های کوهستانی اردبیل توسط مصطفی‌زاده و همکاران (۲۰۲۳) نیز نشان داد که مقادیر شاخص پایداری جریان ماهانه در ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه خیاوچای کم‌تر از سایر ایستگاه‌های مورد بررسی بوده است و رژیم تغییرات رودخانه تحت تاثیر کاهش بارش بوده است. در همین راستا، احمدی و همکاران (۱۴۰۱) نیز به اثرات منفی ساخت سدها بر ۳۳ ویژگی هیدرواکولوژیک جریان رودخانه هلیل‌رود و تشدید اثرات منفی ویژگی‌های جریان (خارج از محدوده قابل قبول تغییرپذیری اکولوژیکی) اشاره نموده‌اند. علاوه بر این، نادری و همکاران (۱۴۰۲) نیز با تحلیل تغییرات رژیم جریان رودخانه حبله‌رود با استفاده از شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی نشان دادند که اکثر شاخص‌های هیدرولوژیکی کاهش در وضعیت جریان رودخانه مذکور است، به‌طوری‌که متوسط آبدی در تمام ماه‌های سال و مقدار جریان پایه حوضه کاهش یافته است و به افزایش فراوانی و طول دوره پالس‌های جریان کمینه اشاره نمودند.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، پس از ارزیابی نقاط تغییر در آمار ایستگاه هیدرومتری پل سلطانی رودخانه خیاوچای، شاخص‌های تغییر جریان با استفاده از رویکرد دامنه تغییرپذیری (RVA) و نرم‌افزار IHA مورد ارزیابی قرار گرفت. رویکرد دامنه تغییرپذیری، یکی از اولین روش‌هایی است که برای محاسبه تغییرات جریان رودخانه از نظر بزرگی، فراوانی، زمان‌بندی، مدت زمان و نرخ تغییر در رویدادهای جریان رودخانه استفاده می‌شود (یو کین و همکاران، ۲۰۱۹). رویکرد محدوده تغییرپذیری، تغییرات پارامترهای موجود در محدوده هدف و پارامترهای خارج از محدوده را در نظر نمی‌گیرد، و گاهی اوقات درجه تغییر را مقداری کم‌تر از واقعیت برآورد می‌کند (یو کین و همکاران، ۲۰۱۹). بر اساس نتایج، تغییرات مقادیر میانگین دبی میان دوره اول (۱۹۶۹-۱۹۷۸) و دوره دوم (۱۹۷۹-۱۹۹۹) در اکثر ماه‌های سال کاهش یافته است و شاخص تغییر هیدرولوژیکی نیز منفی بوده است. نتایج نشان داد که مقادیر دبی‌های کمینه ۱، ۳، ۷، ۳۰ و ۹۰ روزه در دوره دوم مورد مطالعه کاهش یافته‌اند. این در حالی است که مقادیر دبی‌های حداکثر دارای افزایش بوده‌اند. تغییر روند مذکور حاکی از کاهش جریان رودخانه در شرایط نرمال و کم‌آبی‌ها و افزایش نوسانات جریان در شرایط پرآبی بوده است که می‌تواند دلیلی بر افزایش بی‌نظمی دبی‌ها در شرایط پرآبی باشد. کاهش مقدار نرخ اوج‌گیری به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم که نشان‌دهنده خشک شدن رودخانه است، نشان داد که در دو دوره مورد مطالعه، مقدار شاخص مذکور کاهش پیدا کرده است. در مقایسه دوره دوم (۱۹۷۹-۱۹۹۹) و سوم (۲۰۰۰-۲۰۲۱) نیز مشخص شد که میانه جریان ماهانه و حد بالا و پایین در دوره سوم نسبت به دوره دوم، تغییرات قابل‌توجهی را تجربه نموده است. باید اشاره شود که روند افزایشی نرخ ضربان‌های کم جریان و فروکش جریان یکی از شاخص‌های مهم در کاهش جریان رودخانه است که در هر دو دوره بیان‌گر کاهش دبی جریان رودخانه بوده است. در مجموع، الگوی تغییرات شاخص‌های جریان رودخانه‌ای بر اساس رویکرد دامنه تغییرپذیری در هر

دو دوره مطالعاتی دارای روند مشابهی بوده است که نشان از تداوم عوامل موثر بر تغییر رژیم جریان رودخانه بوده است. بر اساس نتایج، کاهش میانه شاخص جریان پایه در دو دوره مورد مطالعه از ۰/۰۲ به مقدار صفر بیان‌گر کاهش سهم دبی پایه جریان رودخانه خیاوچای است. قابل ذکر است که شاخص جریان پایه می‌تواند ناشی از کاهش ذخیره برفی و یا تخریب پوشش گیاهی و در نتیجه تولید رواناب بیش‌تر در بالادست منطقه مورد مطالعه باشد. در همین راستا مهری و همکاران (۱۳۹۶) نیز با ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی شاخص جریان پایه در رودخانه‌های استان اردبیل به این نتیجه رسیدند که در رودخانه‌های مختلف استان اردبیل، مقدار جریان پایه و BFI کاهش یافته و شدت کاهش جریان پایه در سه ماه فصل پاییز بیش‌تر بوده است. تعیین سهم تغییرات انسانی و تغییر در مولفه‌های اقلیمی بر رژیم رودخانه‌ها از پیشنهاداتی است که می‌تواند به تعیین عوامل موثر بر تغییر رفتار رودخانه و نیز مدیریت بهتر آب‌های سطحی منجر شود.

منابع

- احمدی، ن.، مصطفوی، ح.، پیری، خ.، زینی‌وند، ح. ۱۴۰۱. ارزیابی تغییرات هیدرواکولوژیک رودخانه هلیل رود و تحلیل نقش توسعه انسانی در ایجاد آن. علوم محیطی، doi: 10.52547/envs.2022.1228
- اصغری سراسکانرود، ص. ۱۳۹۳. تحلیل تأثیرات برداشت شن و ماسه بر مورفولوژی رودخانه قرقو (محدوده بعد از سد سهند تا روستای خراسانک). هیدروژئومورفولوژی، ۱(۱): ۳۹-۲۱.
- اصغری سراسکانرود، ص. ۱۳۹۷. تحلیل شکل مجرای رودخانه کلکان چای (حد فاصل سد کلکان تا الحاق به رودخانه قرقو). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۶(۲): ۱۳۲-۱۱۶.
- امینی، ح.، اسمعیلی‌عوری، ا.، مصطفی‌زاده، ر.، شرری، م.، ذبیحی، م. ۱۳۹۸. واکنش خشکسالی هیدرولوژیک در جریان تنظیمی رودخانه تحت تأثیر احداث سد در استان اردبیل. فیزیک زمین و فضا، ۴۵(۲): ۴۸۶-۴۷۳. doi: 10.22059/jesphys.2019.272671.1007078
- پرجمی، ن.، مصطفی‌زاده، ر.، اسمعیلی‌عوری، ا.، ایمانی، ر. ۱۴۰۱. تغییرات مکانی خشکسالی هیدرولوژیک جریان در مقیاس‌های مختلف زمانی در رودخانه‌های استان اردبیل. هیدروژئومورفولوژی، ۹(۳۳): ۳۶-۲۱. doi: 10.22034/hyd.2022.51550.1637
- پیروزی، ا.، مددی، ع.، اصغری سراسکانرود، ص. ۱۳۹۹. بررسی تغییرات هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی رودخانه گیوی‌چای ناشی از احداث سد گیوی. نشریه جغرافیا و توسعه ۱۸(۶۱): ۵۸-۲۹. doi: 10.22111/gdij.2021.5833
- خان‌محمدی‌فلاح، س.، و شکوهی، ع. ۱۳۹۷. استفاده از مدل RVA در تبیین رژیم اکولوژیکی رودخانه‌ها به‌منظور تعیین جریان زیست محیطی. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۴(۲): ۲۴۱-۲۳۱.
- خسروی، غ.، سعدالدین، ا.، اونق، م.، بهره‌مند، ع.، مصطفوی، ح. ۱۳۹۸. طبقه‌بندی و تعیین تغییرات رژیم جریان آب رودخانه‌ای با استفاده از شاخص‌های هیدرولوژیکی IHA (مطالعه موردی: رودخانه خرمارود، استان گلستان). اکوهیدرولوژی، ۶(۳): ۶۷۱-۶۵۱.
- شاکری‌زارع، ح.، کرم، ا.، صفاری، ا.، کیانی، ط. ۱۳۹۹. ارزیابی نیاز جریانی زیست‌محیطی بستر رودخانه مرزی هریرود بعد از احداث و آبیگری سد سلما افغانستان (با روش‌های هیدرولوژیکی). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۹(۲): ۲۰۷-۲۲۴. doi: 10.22067/geo.v9i2.85447
- عسگری، ا.، مصطفی‌زاده، ر.، حاجی، خ. ۱۳۹۸. تحلیل نقاط تغییر در سری زمانی دبی برخی ایستگاه‌های هیدرومتری استان گلستان. علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۱(۵): ۹۳-۸۱.

- عیوضی، م.، علایی، ن.، مصطفی‌زاده، ر.، ۱۴۰۱. تغییرات زمانی رواناب و رسوب جریان رودخانه‌های کوهستانی سیلان. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۳(۲۶): ۴۳-۵۷.
- کاظمی، م.، ذبیحی سیلابی، م.، قره‌محمودلی، س.، جعفرپور، ع.، محمدی، ف. (۱۴۰۲). تأثیر احداث سد بر شاخص‌های هیدرولوژیکی سد شمیل و نیان استان هرمزگان. اکوهیدرولوژی، انتشار آنلاین: doi: 10.22059/ije.2023.354193.1709
- مرادی‌نژاد، و حسینی، س.ا. ۱۴۰۱. روند تغییرات هندسی رودخانه قره‌چای در سال‌های ۱۳۴۷ تا ۱۴۰۰. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۲(۴): ۹۰-۷۷. doi: 10.22098/mmws.2022.10941.1092
- مصطفی‌زاده، ر.، اسفندیاری‌درآباد، ف.، محمدی‌راد، ل.، حاجی، خ. ۱۳۹۹. تغییرات کمی و مقایسه آماری شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان رودخانه‌ای بعد از احداث سد یامچی اردبیل. محیط زیست و مهندسی آب، ۶(۲): ۱۰۷-۱۲۱. doi: 10.22034/jewe.2020.230926.1359
- نادری، م.، شیخ، و.، بهره‌مند، ع.، کمکی، چ.، و قانقرمه، ع. ۱۴۰۲. تحلیل تغییرات رژیم جریان آب رودخانه‌ای با استفاده از شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز حبله‌رود). مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۳(۳): ۱۹-۱. doi: 10.22098/mmws.2022.11430.1129
- نادری، م.، علی‌اوغلی، س.، پورغلام آمیجی، م.، فضل‌اولی، ر.، قجقی، آ. ۱۳۹۹. تحلیل تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان رودخانه کارون در دوره‌های قبل و پس از احداث سد گتوند با استفاده از رویکرد محدوده تغییرپذیری. آبیاری و زهکشی ایران، ۱۴(۳): ۷۸۲-۷۶۵.
- نصیری خیاوی، ع.، فرجی، ع.، مصطفی‌زاده، ر. (۱۳۹۸). پاسخ دبی جریان به تغییرات بارندگی با استفاده از شاخص الاستیسیته اقلیمی در برخی از ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل. هیدروژئومورفولوژی، ۶(۲۱): ۲۲-۱.
- نصیری خیاوی، ع.، مصطفی‌زاده، ر.، اسمعیلی‌عوری، ا.، غفارزاده، ا.، و گلشن، م. ۱۳۹۸. تغییر شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان رودخانه بالخلوچای ناشی از تأثیر ترکیبی تغییر مولفه‌های اقلیمی و احداث سد یامچی اردبیل با استفاده از رویکرد دامنه تغییرپذیری. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۴(۱۱): ۸۶۵-۸۵۱. doi: 10.22092/ijwmse.2018.116873.1413
- Ghabelnezam, E., Mostafazadeh, R., Hazbavi, Z., & Huang, G. (2023). Hydrological drought severity in different return periods in rivers of Ardabil Province, Iran. *Sustainability*, 15(3), 1993.
- Ge, J., Peng, W., Huang, W., Qu, X., and Singh, S. K. 2018. Quantitative assessment of flow regime alteration using a revised range of variability methods. *Water*, 10(5), 597.
- Guo, W., Jiao, X., Zhou, H., Zhu, Y., and Wang, H. 2022a. Hydrologic regime alteration and influence factors in the Jialing River of the Yangtze River, China. *Scientific Reports*, 12(1), 11166.
- Guo, W., Yao, L., Xu, J., Shao, J., OuYang, S., Cui, F., and Yang, Y. 2022b. Study on water regime assessment and prediction of stream flow based on an improved RVA. *Open Geosciences*, 14(1), 1347-1355.
- Li, Y., Zhao, L., Zhang, Z., Li, J., Hou, L., Liu, J., and Wang, Y. 2022. Research on the Hydrological Variation Law of the Dawen River, a Tributary of the Lower Yellow River. *Agronomy*, 12(7), 1719.
- Mathews R, Richter B.D. 2007. Application of the indicators of hydrologic alteration software in environmental flow setting. *Journal of American Water Resources Association*, 43: 1400-1413.
- Mostafazadeh, R., Nasiri Khiavi, A., & Ghabelnezam, E. (2023). Temporal changes and flow pattern analysis using Colwell indices in mountainous rivers. *Environment, Development and Sustainability*, 1-18.

- Pettitt, A.N. 1979. *A non-parametric approach to change point problem. Applied Statistics, Vol. 28, No. 2, pp. 126-135.*
- Richter B.D, Baumgartner J.V, Wigington R, and Braun D. P. 1997. *How much water does a river need? Freshwater Biology, 37: 231-249.*
- Richter B.D, Davis M.M, Apse C, Konrad C. 2018. *A presumptive standard for environmental flow protection. River Research, 28: 1312–1321.*
- Sheikh, V., Sadoddin, A., Najafinejad, A., Zare, A., Hollisaz, A., Siroosi, H., Tajikim M., Gholipour, M. and Sheikh, J. 2022. *The density difference and weighted RVA approaches for assessing hydrologic regime alteration. Journal of Hydrology, 613, 128450.*
- The Nature Conservancy. 2009. *Indicators of Hydrologic Alteration Version 7.1 User's Manual. 81pp.* Available online at: <https://www.conservationgateway.org>
- Wang, X., Ma, W., Lv, J., Li, H., Liu, H., Mu, G., and Bian, D. (2022). *Analysis of changes in the hydrological regime in Lalin River basin and its impact on the ecological environment. Frontiers in Earth Science, 10, 987296.*
- Yuqin, G., Pandey, K. P., Huang, X., Suwal, N., and Bhattarai, K. P. 2019. *Estimation of hydrologic alteration in Kaligandaki River using representative hydrologic indices. Water, 11(4), 688.*
- Zhang, H., Wang, B., Lan, T., Shi, J., and Lu, S. 2016. *Change-point detection and variation assessment of the hydrologic regime of the Wenyu River. Toxicological & Environmental Chemistry, 98(3-4), 358-375.*