

برآورد تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های سیل و جریان کمینه مستخرج از منحنی تداوم جریان (FDC) در رودخانه‌های استان اردبیل

لیلا بابایی؛ دانشجوی دکتری مهندسی آبخیزداری، گروه منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

ناهیده پرچمی؛ دانشجوی دکتری آبخیزداری، گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.

رئوف مصطفی‌زاده؛ دانشیار گروه آموزشی منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۰۸/۱۸

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۸/۰۹

چکیده

در ارزیابی تغییرات پاسخ هیدرولوژیکی ناشی از تغییر در عوامل موثر بر رژیم رودخانه‌ها می‌توان از شاخص‌های مستخرج از منحنی تداوم جریان استفاده نمود. هدف از این تحقیق مشخص کردن شاخص‌های سیل و جریان کمینه با استفاده از منحنی تداوم جریان در ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل است. در این تحقیق تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های Q_{10} ، Q_{50} ، Q_{90} و شاخص Lane در ۲۱ ایستگاه هیدرومتری استان اردبیل طی دوره ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۳ ارزیابی شد. در این مطالعه ۵ ایستگاه (حاج‌احمدکندی، ننه‌کران، شمس‌آباد، پل‌سلطانی و بوران) که دارای جریان‌های حداقل، متوسط و حداکثر هستند، برای نمایش نتایج گرافیکی انتخاب شدند. ایستگاه‌های مذکور از نظر دبی و مساحت بررسی شده و منحنی تداوم جریان و منحنی تداوم جریان بی‌بعد براساس متوسط دبی و مساحت رسم شد. همچنین روند تغییرات زمانی شاخص‌های Q_{10} ، Q_{50} ، Q_{90} و شاخص Lane با آزمون ناپارامتری من‌کنندال محاسبه شد. براساس نتایج به‌دست آمده شاخص Q_{10} (جریان سیلابی) در ایستگاه‌های واقع بر روی رودخانه اصلی قره‌سو در سطح یک درصد دارای روند کاهشی معنی‌دار بوده است. شاخص Q_{50} (جریان متوسط) در اکثر ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی معنی‌دار بوده است. علاوه بر این، مقدار شاخص‌های Q_{90} و Q_{10} نیز در اکثر ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی معنی‌دار در سطح $(p < 0.05)$ بوده‌اند. در خصوص شاخص Lane به‌عنوان شاخص مرتبط با سیل، در ایستگاه‌های ارباب‌کندی و دوست‌بیگلو که تحت تاثیر احداث سد بوده‌اند روند کاهشی معنی‌دار داشته‌اند. براساس یافته‌ها مقادیر شاخص جریان سیلاب در رودخانه‌های بالادست استان اردبیل روند افزایشی داشته است. همچنین مقادیر شاخص‌های مربوط به جریان متوسط و جریان کمینه روند کاهشی معنی‌داری داشتند. نتایج می‌تواند در ارزیابی آسیب‌پذیری سیل و تخمین وضعیت جریان رودخانه در دوره‌های کم آبی جریان رودخانه استفاده شود. واژه‌های کلیدی: تغییرات مکانی، سیل‌خیزی، روند تغییرات، شاخص جریان کمینه.

مقدمه

برآورد تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های سیل و جریان کمینه یکی از موضوعات مهم در علوم آب است که برای بسیاری از پروژه‌های مربوط به برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب و کنترل سیلاب و خشکسالی بسیار حائز اهمیت است. تحلیل رژیم جریان رودخانه با استفاده از روش‌ها و شاخص‌های مختلف قابل ارزیابی است و از طرفی تحلیل تغییرات جریان رودخانه‌ها اطلاعات مهمی در خصوص تغییر در عوامل موثر بر واکنش رودخانه در اثر تغییرات در مولفه‌های اقلیمی، کاربری اراضی و برداشت‌های انسانی در دوره‌های مختلف زمانی ارائه خواهد داد (Mostafazadeh et al., ۲۰۲۳). روش‌های متعددی برای برآورد تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های سیل و جریان کمینه به‌منظور برنامه‌ریزی منابع آب و مدیریت سیلاب و خشکسالی استفاده می‌شوند (تقوی، ۱۳۸۹). در روش‌های مبتنی بر مدل‌سازی از داده‌های هواشناسی، آب و هیدروگراف‌های دبی، مقادیر شاخص‌های سیل و جریان کمینه برآورد می‌شود که دارای دقت قابل توجهی هستند ولی به‌دلیل نیاز به داده‌های دقیق و پیچیده، پیاده‌سازی آن‌ها نیاز در عمل دشوار است. در روش‌های آماری از داده‌های آماری بلندمدت مانند تحلیل خودکار سری زمانی، تحلیل موجک و رگرسیون چند متغیره استفاده می‌شود که معمولاً کاربرد آن‌ها ساده است (اکبری و همکاران، ۱۳۸۹). در روش‌های ترکیبی از تلفیق روش‌های آماری و مدل‌سازی استفاده می‌شود تا دقت بالایی در برآورد تغییرات شاخص‌های سیل و جریان کمینه به‌دست آید. برآورد تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های سیل و جریان کمینه، می‌تواند در مدیریت منابع آبی و کنترل سیلاب و خشکسالی استفاده شود. علاوه بر این، در تعیین اثرات تغییرات اقلیمی بر وقایع حدی (سیلاب و خشکسالی) و ارائه راهکارهای مناسب برای مقابله با آن‌ها کاربرد دارد (پورمحمدی و همکاران، ۱۳۹۶). هم‌چنین، شاخص‌های سیل و جریان کمینه در تعیین حداکثر دبی و حجم جریان مجاز در طراحی سازه‌های هیدرولیکی (سدها و مخازن) و نیز ارزیابی حداقل دبی مورد نیاز برای حفظ زیستگاه‌های آبی و تأثیرات تغییرات انسانی بر وقایع سیلابی و خشکسالی مفید هستند. منحنی تداوم جریان^۲ (FDC) یا دبی کلاسه یکی از روش‌های مفید برای تحلیل رژیم هیدرولوژیکی جریان است که اطلاعات مربوط به جریان‌های کم تا سیلابی را نمایش می‌دهد (اکبری و همکاران، ۱۳۸۹). این منحنی، درصدهایی را که یک جریان روزانه، ماهانه یا سالانه در یک دوره طولانی مدت، از مقداری مشخص تجاوز می‌کند را ارائه می‌دهد. منحنی تداوم جریان از رسم تجمعی دبی رودخانه نسبت به زمان و یا برحسب احتمال وقوع به‌دست می‌آید و مکرراً برای مقایسه رژیم جریان حوضه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. شکل منحنی منعکس‌کننده تأثیر پارامترهای آب و هوایی و فیزیوگرافی بر جریان رودخانه و پاسخ هیدرولوژیکی حوضه است (کاظمی و همکاران، ۱۳۹۶). شکل منحنی تداوم جریان در بخش فوقانی و انتهایی آن اهمیت ویژه‌ای در ارزیابی رژیم حاکم بر رودخانه و مشخصه‌های ذاتی حوضه دارد. بخش فوقانی منحنی FDC، انعکاسی از رژیم جریان سیلابی حاکم بر حوضه است، در حالی که بخش انتهایی آن نماینده مشخصه‌های ذاتی برای تامین جریان پایه و تداوم جریان در زمان‌های کم آبی است (اسلامیان و همکاران، ۱۳۹۱؛ Vogel, ۱۹۹۴). از منحنی‌های تداوم جریان شاخص‌های متعددی استخراج می‌شود، شاخص Q_{50} ، شاخصی است که دبی از ۵۰ درصد متوسط جریان تجاوز می‌کند یا به‌عبارتی ۵۰ درصد دوره آماری دارای دبی بزرگ‌تر از آن هستند. برای بررسی جریان‌های پایین یا حداقل جریان شاخص Q_{10} یا Q_{90} مورد استفاده قرار می‌گیرد. نسبت Q_{90} به Q_{50} (شاخص مشارکت جریان)، برای تشخیص جریان‌های پایه

^۲ - Flow Duration Curve (FDC)

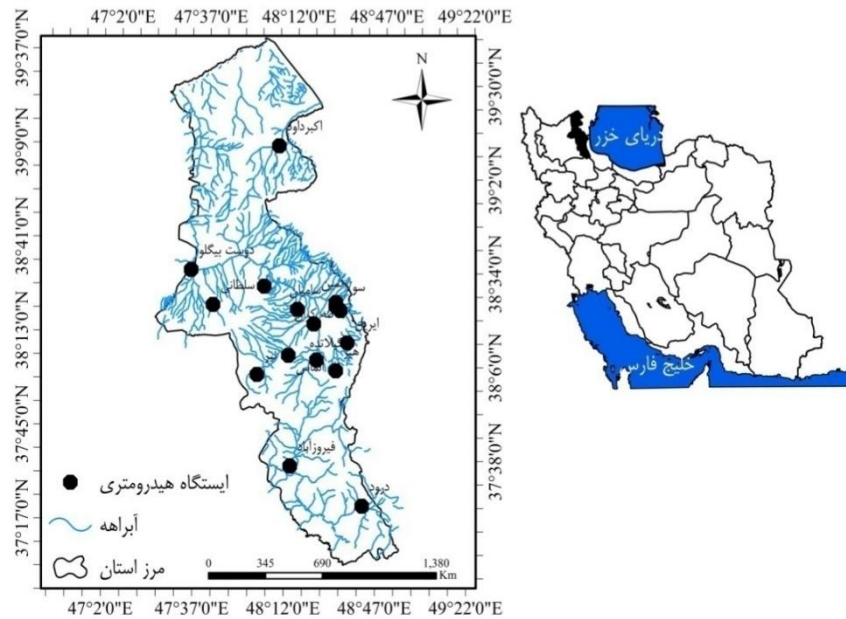
مناسب است، همین‌طور نسبت Q_{100} به Q_{50} (شاخص Lane) برای تعیین سیلاب اوج کاربرد دارد و مقدار بین شاخص‌های Q_{10} و Q_{20} نیز برای آنالیز مقدار و اهمیت دشت‌های سیلابی و مقدار آب بررسی می‌شود (اسلامیان و همکاران، ۱۳۹۱). تحقیقات متعددی در داخل و خارج کشور در خصوص تحلیل تغییرات زمان-مکانی شاخص‌های جریان سیل و خشکسالی انجام شده است. اسماکتین (Smakhtin ۲۰۰۱) طی تحقیقی به بررسی روابط بین خصوصیات جریان کم در رودخانه‌های آفریقای جنوبی پرداختند، بررسی‌ها نشان دادند که تعداد زیادی از شاخص‌های جریان کم با یکدیگر همبستگی دارد و بنابراین یک شاخص جریان کم را می‌توان با استفاده از همبستگی رگرسیونی با شاخص‌های دیگر به دست آورد. ایشان در تحقیق شاخص‌های مختلف جریان کم را مورد آزمون قرار دادند و از آمار دبی روزانه ۲۰۰ ایستگاه هیدرومتری استفاده کردند، شاخص‌های کاربردی در مطالعه ایشان ($Q_{2.7}$, $Q_{7.0}$, $Q_{9.0}$) بوده‌اند. لاه و بلاشل (Lahha and Bloschl., ۲۰۰۷) برای تخمین شاخص $Q_{9.0}$ در حوضه‌های دارای آمار و حوضه‌های فاقد آمار اتریش روشی را ارائه دادند. روش ایشان شامل ۵ مرحله بود و در نهایت نقشه‌های منطقه $Q_{9.0}$ را برای زیرحوضه‌های مورد نظر در اتریش ارائه دادند. در انگلستان پاتل (Patel, ۲۰۰۷) در مطالعه‌ای به ارزیابی روش‌های تخمین جریان کم برای حوضه‌های فاقد آمار پرداخت. روش مورد استفاده در تحقیق ایشان شامل جریان پایه، میانگین بارندگی سالانه Q_{10} ، $Q_{9.0}$ بود. نتایج نشان داد که این روش نسبت به روش‌های دیگر سریع و ساده است. تحقیقات انجام شده در مورد شاخص‌های جریان کم، اهمیت این شاخص‌ها را نشان می‌دهد و هم‌چنین بیان‌گر این نکته است که جریان‌های کم نیز مانند سیلاب مورد توجه محققین بوده است. جیانگ و همکاران (Jiang et al., ۲۰۰۷) روند تغییرات بارندگی و دبی رودخانه را در حوضه رودخانه یانگ تسه در دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۰ را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند، نتایج آن‌ها روند مثبت و معنی‌دار داده‌های بارندگی فصل تابستان است. در نتیجه دبی رودخانه در بیش‌تر ایستگاه‌ها در دوره آماری ۴۰ ساله به طور معنی‌دار افزایش یافته است. میجساسکویک-اسویشینویک و ماریکیک (Mijuskovic-Svetinovic and Maricic, ۲۰۰۸) در تحقیقی به تجزیه و تحلیل جریان حداقل در پایین‌دست رودخانه دراوا پرداختند، آن‌ها برای این تحقیق از داده‌های دبی روزانه ایستگاه دانجی میهولجاک طی دوره آماری ۲۰۰۷-۱۹۸۰ استفاده کردند سپس با استفاده از روش $Q_{9.0}$ پارامترهای خشکسالی از قبیل حجم کمبود، تداوم، حداکثر حجم کمبود و حداکثر تداوم را استخراج نمودند، نتایج آن‌ها نشان داد توزیع پیرسون در سطح اطمینان ۹۵ درصد بهترین برازش را با داده‌های جریان حداقل دارد. آیش و همکاران (Aich et al., ۲۰۱۴) افزایش خطر سیل و آسیب‌های ناشی از آن را در حوضه نیجریه مورد بررسی قرار دادند آمار از منابع مختلف (EM-DAT) رصدخانه سیلاب داتموت، NatCat مونیخ در مورد مناطق مستعد سیل نشان می‌دهد ۵ روند مثبت برای کل حوضه از دهه ۱۹۸۰ و چهار زیر مجموعه در حوضه نیجر ارزیابی شد و نتایج حاکی از حیرت‌انگیز بودن حوادث منطقه ساحل و سودان است. این روند مثبت برای آسیب‌های سیلاب تا یک سری زمانی مطابقت دارد. نکا و همکاران (Nka et al., ۲۰۱۵) به بررسی روند در حداکثر جریان در رودخانه‌های آفریقای غربی و برای ۱۱ حوضه پرداختند برای این منظور از دو روش برای نمونه‌برداری از وقایع سیل روش Am (حداکثر سالانه) و Pot (حداکثر تا آستانه) نتایج نشان داد که وجود روند در مقدار سیل و سری زمانی فرکانس سیل، با دو الگوی اصلی سیلاب ساحلی نشان‌دهنده روند افزایشی است. سارایلیدیس (Sarailidis et al., ۲۰۱۵) به مطالعه جریان‌های کم، با روش حد آستانه‌ای (روزانه، ماهانه، فصلی و ثابت) پرداختند که این مطالعه در حوزه آبخیز Yermasuyia قبرس با استفاده از داده‌های دبی روزانه سی ساله انجام شد که در این

مطالعه از Q_{۷۰} و Q_{۹۰} درصد منحنی‌های تداوم جریان استفاده شده و منحنی‌های بزرگی-مدت-فراوانی (SDF) جداگانه‌ای برای هر کدام از آستانه‌ها رسم شد و به این نتیجه رسیدند که آستانه‌های مختلف روزانه و ماهانه نقص بیش‌تری را نسبت به آستانه‌های ثابت و فصلی در دبی ۷۰ درصد منحنی تداوم جریان Q_{۷۰} نشان داد. مصطفی‌زاده و مهری (۱۳۹۵) تغییرات زمانی و مکانی شاخص جریان پایه در رودخانه‌های استان اردبیل را بررسی کردند، براساس نتایج ایشان تغییرات کاهشی دبی در تعداد بیش‌تری از ایستگاه‌ها مشاهده شد. مقایسه مقادیر بارش با تغییرات دبی پایه، حاکی از تاثیر اندک بارش بر روند کاهشی دبی ایستگاه‌ها است. در رودخانه‌های استان اردبیل نیز توجه به‌تنوع اقلیمی و توپوگرافی ارزیابی تغییرات زمانی-مکانی شاخص‌های سیل و خشکسالی می‌تواند در تعیین منشاء تغییرات رژیم رودخانه‌ها مفید باشد. قابل ذکر است که در پژوهش‌های مختلف معمولاً از شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیک برای ارزیابی دوره‌های کم‌آبی جریان رودخانه استفاده می‌شود. از طرفی، معمولاً تحلیل‌های مرتبط با سیل‌خیزی آبخیزها با استفاده از ویژگی‌های فیزیوگرافی، کاربری اراضی و نیز داده‌های دبی حداکثر جریان انجام می‌شود. در پژوهش حاضر، تحلیل همزمان شاخص‌های مرتبط با جریان سیلابی و خشکسالی هیدرولوژیک انجام شده است. با توجه به اینکه شاخص‌های مورد مطالعه از منحنی تداوم جریان مستخرج شده اند، بهتر می‌توانند تغییرات پاسخ هیدرولوژیک حوضه را نمایش دهند که وجه تمایز این پژوهش با پژوهش‌های قبلی است. علاوه براین، ارزیابی روند تغییرات زمانی شاخص‌های سیل و جریان کمینه مستخرج از منحنی تداوم جریان در ایستگاه‌های مختلف، در پژوهش‌های قبلی کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. لذا هدف از پژوهش حاضر ارزیابی تغییرات زمانی شاخص‌های هیدرولوژیک مرتبط با جریان رودخانه‌ای مستخرج از منحنی‌های تداوم جریان است. در این راستا، تغییرات مکانی شاخص‌های مذکور و نیز روند معنی‌داری تغییرات زمانی مشخص می‌شود.

داده‌ها و روش کار

الف) منطقه مورد مطالعه

استان اردبیل در منطقه‌ای سردسیر و در شمال غربی فلات ایران با وسعت ۱۷۹۵۳ کیلومتر مربع قرار گرفته است. (مختصات جغرافیایی در شمال غربی فلات ایران "۲۶' ۴۶" تا "۳۴' ۵' ۴۸" طول شرقی و "۵۳' ۵۱' ۳۷" تا "۳۳' ۱۴' ۳۸" عرض شمالی) واقع شده است. این استان از شمال با جمهوری آذربایجان، از قسمت شرق با استان گیلان، از جنوب با استان زنجان و از غرب با استان آذربایجان شرقی هم‌جوار است. متوسط بارش سالیانه در غرب استان بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر، مناطق جنوبی استان ۳۵۰ میلی‌متر و مناطق شمالی استان ۲۱۰ تا ۲۴۰ میلی‌متر است (آسیابی و همکاران، ۱۳۹۶). مقدار تبخیر و تعرق متوسط سالانه در استان اردبیل از ۶۰۰ تا ۱۷۰۰ میلی‌متر است (مطالعات طرح آمایش استان اردبیل، ۱۳۹۱). ارتفاع حداقل و حداکثر به‌ترتیب در پارس آباد و قله سبلان، معادل ۲۰ و ۴۸۱۱ متر از سطح دریا است (مطالعات طرح آمایش استان اردبیل، ۱۳۹۱). در شکل ۱ و جدول ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در استان اردبیل

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری برای تحلیل شاخص‌های جریان با استفاده از منحنی تداوم جریان در استان اردبیل

ردیف	نام محدوده مطالعاتی	نام رودخانه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	سطح حوضه (کیلومتر مربع)
۱	اردبیل	بالخوچای	پل الماس	۴۸-۱۱-۱۹	۴۸-۰۸-۱۶	۱۰۷۰
۲		قره‌سو	سامیان	۴۸-۱۴-۴۸	۵۳-۲۲-۳۸	۴۰۰۴
۳		نیرچای	نیر	۳۸-۵۹-۴۷	۳۸-۰۲-۰۲	۲۵۶
۴		قره‌سو	آلادیزگه	۴۸-۳۵-۲۲	۳۸-۱۷-۰۰	۲۲
۵		نئور	نئور	۴۸-۳۳-۴۳	۳۸-۰۰-۵۳	۴۴
۶		بالخوچای	یامچی	۴۸-۰۲-۱۱	۳۸-۰۲-۰۵	۷۱۰
۷		ویلادرق‌چای	ویلادرق	۳۸-۱۰-۳۸	۱۹-۴۸-۰۳	۹۴
۸		شهریورچای	باروق	۴۸-۱۰-۰۶	۳۸-۱۸-۱۷	۹۶
۹		یدی‌بولیک‌چای	عموقین	۴۷-۱۰-۴۰	۳۸-۱۵-۰۷	۱۱۰
۱۰		آق‌چای	شمس‌آباد	۴۸-۱۵-۱۴	۳۷-۵۹-۵۳	۱۲۸
۱۱		لای‌چای	لای	۴۷-۵۴-۰۳	۳۸-۰۷-۰۰	۳۶
۱۲		نوران‌چای	آت‌شگاه	۴۸-۰۳-۲۳	۳۸-۱۳-۰۵	۴۴
۱۳		نوران‌چای	نوران	۴۸-۱۱-۳۷	۳۸-۱۳-۵۹	۱۲۶
۱۴	هیر	قوری‌چای	کوزه‌تپراقی	۴۸-۲۲-۰۱	۳۸-۰۷-۲۸	۸۱۲.۵
۱۵		بالخوچای	گیلانده	۴۸-۲۱-۴۳	۳۸-۱۸-۱۶	۱۶۳۸
۱۶		هیرچای	هیر	۳۸-۱۰-۲۸	۳۸-۰۴-۵۵	۱۷۸
۱۷	نمین	نمین‌چای	نمین	۴۸-۲۹-۰۶	۳۸-۲۵-۴۵	۴۴
۱۸		عنبران	عنبران	۴۸-۲۹-۰۶	۳۹-۲۹-۴۰	۳۶

۴۰	۳۸-۲۲-۱۷	۴۸-۳۱-۲۲	ننه‌کران	نرگس‌چای		۱۹
۸	۳۸-۱۳-۲۳	۴۸-۳۴-۳۰	ایریل	سقرچی‌چای		۲۰
۴۴	۳۸-۲۳-۱۴	۴۸-۲۹-۰۴	سولا	سولاچای		۲۱
۱۵۸	۳۷-۲۴-۳۸	۴۸-۴۱-۴۸	درو	شاهرود	خلخال	۲۲
۱۵۱۵	۳۷-۳۵-۰۸	۴۸-۱۳-۳۵	فیروزآباد	فیروزآبادچای		۲۳
۵۹۰	۳۷-۴۱-۴۵	۴۸-۲۴-۲۵	آبگرم	هروچای		۲۴
۷۳۱۱	۳۸-۳۳-۰۲	۴۷-۳۲-۱۸	دوست‌بیگللو	قره‌سو	مشگین‌شهر	۲۵
۴۸۰۰	۳۸-۲۹-۴۱	۴۸-۰۱-۵۸	ارباب‌کندی	قره‌سو		۲۶
۹۸	۳۸-۲۳-۵۶	۴۷-۴۱-۳۹	پل‌سلطانی	خیابوچای		۲۷
۱۳۹۷۹	۳۹-۱۷-۴۱	۴۷-۳۱-۰۸	بوران	دره‌رود	مغان	۲۸
۱۱۳۷۹	۳۸-۴۱-۱۰	۴۷-۳۲-۰۱	مشیران	دره‌رود		۲۹
۱۵۷	۳۹-۰۲-۱۰	۴۷-۵۶-۱۷	حاج‌احمدکندی	برزندچای		۳۰
۷۱۰	۳۹-۱۱-۴۵	۱۹-۴۸-۰۵	اکبرداوود	ساریقمیش		۳۱

ب) روش تحقیق

• داده‌های مورد استفاده

مقادیر دبی روزانه ۳۱ ایستگاه هیدرومتری استان اردبیل در یک بازه زمانی ۲۱ ساله از (۱۳۷۲ تا ۱۳۹۳) از شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل اخذ و پس از پردازش و تهیه دوره آماری مشترک، در تحقیق حاضر مورد استفاده قرار گرفت.

• شاخص‌های منحنی تداوم جریان (FDC)

منحنی تداوم جریان یکی از روش‌های ارزنده است و اطلاعات مفید که همه دبی‌های رودخانه (اعم از کم و جریان سیلابی) را نشان می‌دهد. باید اشاره شود که رژیم جریان رودخانه برآیند همه عوامل موثر بر تولید رواناب شامل ویژگی‌های فیزیوگرافی، بارش، کاربری اراضی و برداشت‌های انسانی است که از طریق ثبت داده‌های دبی در ایستگاه‌های هیدرومتری و هیدروگراف جریان نشان داده می‌شود. لذا، تحلیل پارامترهای هیدرولوژیک رودخانه در مقیاس‌های مختلف زمانی، نقش به‌سزایی در مطالعات تولید و ذخیره‌سازی انرژی برقی، کنترل سیلاب و خشکسالی دارد و منعکس‌کننده رفتار رودخانه‌ها است (موسوی و همکاران، ۱۳۹۷). از طرفی، دبی جریان رودخانه در زمان‌های مختلف نشان‌دهنده وقوع جریان‌های پرآب (سیلابی)، و کم‌آب (خشکسالی جریان) است که می‌تواند با شاخص‌های مختلف از منحنی‌های تداوم جریان نمایش داده شود (اسفندیاری درآباد و همکاران، ۱۳۹۹). تحلیل روند و شناسایی نقطه تغییر، یک مسأله مهم در تحلیل سری‌های زمانی هیدرولوژیکی است و تحلیل همزمان وقایع کمینه و بیشینه بر اساس تحلیل دبی‌های جریان و واکنش رژیم جریان رودخانه فراهم می‌شود (نادری و همکاران، ۱۴۰۲). این منحنی رابطه بین مقادیر دبی و درصد زمانی که این دبی مساوی یا بیش‌تر از آن است به نمایش می‌گذارد (Reilly and Kroll, ۲۰۰۳). شاخص‌های مورد بررسی در تحقیق حاضر شاخص‌های Q_{10} ، Q_{50} ، Q_{90} ، $Q_{90/50}$ و شاخص Lane است. شاخص Q_{10} نشان‌گر جریان سیلابی است، جریانی که ۱۰ درصد دوره آماری دارای دبی بزرگ‌تر از آن هستند. شاخص Q_{50} جریان متوسط را بیان می‌کند، شاخص Q_{90} جریان کم یا حداقل را نشان می‌دهد که ۹۰ درصد دوره آماری دارای دبی بزرگ‌تر از آن هستند، شاخص $Q_{90/50}$ شاخص مشارکت جریان است که برای تشخیص جریان پایه مناسب است و شاخص Lane برای تعیین سیلاب اوج کاربرد دارد. برای تحلیل شاخص‌های Q_{10} ، Q_{50} ، Q_{90} ، $Q_{90/50}$ و شاخص Lane ابتدا منحنی FDC برای هر ایستگاه براساس داده‌های روزانه در هر سال رسم شد و سپس مقادیر شاخص‌های هیدرولوژیک

در هر سال محاسبه شد و از مقادیر آن‌ها در دوره آماری میانگین گرفته شد (اسفندیاری درآباد و همکاران، ۱۳۹۸). در مرحله بعد منحنی‌های بی‌بعد منحنی تداوم جریان از طریق تقسیم مقادیر محور عمودی منحنی بر مساحت هر حوضه و نیز دبی متوسط هر ایستگاه ترسیم و مجدد مقادیر شاخص‌های انتخابی در هر ایستگاه محاسبه شد. در این پژوهش، از داده‌های دبی مشاهداتی که پس از پردازش، صحت آن‌ها مورد تأیید قرار گرفته است، برای رسم منحنی تداوم جریان استفاده شده است و در ادامه شاخص‌های مختلف از منحنی‌ها استخراج شده‌اند. به عبارتی محاسبه شاخص‌ها بر اساس مدل‌های منطقه‌ای نبوده است و در ادامه شاخص‌ها در مناطق مختلف مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته‌اند. در این پژوهش ۵ ایستگاه هیدرومتری (ننه‌کران، شمس‌آباد، حاج‌احمدکندی، بوران و پل‌سلطانی) دارای جریان‌های حداقل، متوسط و حداکثر از نظر دبی و مساحت از میان ایستگاه‌های مورد مطالعه جهت ارائه نتایج گرافیکی انتخاب شد و منحنی تداوم جریان، منحنی تداوم جریان بی‌بعد براساس میانگین دبی و مساحت هر یک از حوضه‌ها حاصل شد.

• تعیین روند شاخص‌های مورد بررسی با نرم‌افزار Pro UCL

روند شاخص‌های Q_{10} ، Q_{50} ، Q_{90} ، $Q_{90/50}$ و Lane در محیط نرم‌افزار Pro UCL انجام شد. در تحقیق حاضر از آزمون من‌کنندال برای تعیین روند استفاده شد، آزمون ناپارامتریک من‌کنندال از لحاظ عدم نیاز به وجود پیش فرض در مورد توزیع آماری داده‌ها نسبت به آزمون پارامتریک برتری دارد (Rood et al, ۲۰۰۵). که از روش‌های مهم برای آزمون روند سری‌های زمانی محسوب می‌شود. از مزایای این روش اثرپذیری کم از مقادیر حدی است (حجام و همکاران، ۱۳۸۷). فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک و رد فرض صفر دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. مراحل محاسبه این آزمون به شرح زیر می‌باشد (Karpouzou et al., ۲۰۱۰).

الف) محاسبه اختلاف بین تک‌تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت Sign function و استخراج پارامتر S به شرح رابطه (۱) است:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n Sgn(x_j + x_k) \quad (1)$$

که در آن، n تعداد مشاهدات سری X_k و X_j داده‌های زام و Kام است و تابع علامت نیز به شرح رابطه (۲) قابل محاسبه است.

$$sign(\theta) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

ب) محاسبه واریانس اگر n کوچک‌تر از ۱۰ باشد.

$$\text{var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (3)$$

اگر n بزرگ‌تر از ۱۰ باشد از رابطه (۴) استفاده می‌شود.

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (4)$$

n تعداد گره‌های که داده مشابه دارند و i فراوانی داده‌هایی که ارزش یکسانی دارند.

ج) استخراج آماره Z براساس یکی از روابط (۵) یا (۶) می باشد.

$$Z_s = \begin{cases} \frac{S-1}{VAR(S)}; & if S > \cdot \\ \cdot; & if S = \cdot \\ \frac{S+1}{VAR(S)}; & if S < \cdot \end{cases} \quad (۵)$$

د) در یک آزمون دو دامنه‌ای برای بررسی روند داده‌ها، فرض صفر در حالتی پذیرفته می‌شود که رابطه (۶) برقرار باشد.

$$|MK| \leq Z_{s/\tau} \quad (۶)$$

که در آن، α سطح معنی‌دار است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود $\frac{Z}{\alpha}$ آمار و توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری α است که با توجه به دو دامنه بودن آزمون $\alpha/2$ استفاده شده است، در صورتی که آمار Z مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود. پس از محاسبه مقادیر متوسط شاخص‌ها در دوره آماری، تغییرات مکانی آن در نرم‌افزار Arc GIS ارائه شد.

• درون‌یابی تغییرات شاخص‌های Q_{10} ، Q_{50} ، Q_{90} ، $Q_{90/50}$ و شاخص Lane

پس از محاسبه شاخص‌های مستخرج از FDC براساس آمار طولانی مدت در ۳۱ ایستگاه هیدرومتری در منطقه مورد مطالعه مقادیر مذکور به روش وزنی معکوس فاصله^۳ (IDW) درون‌یابی شد. تفاوت عمده روش‌های درون‌یابی، در برآورد متغیر وزنی است. روش‌های به کار رفته در این پژوهش به شرح زیر می‌باشند: در درون‌یابی به روش وزن‌دهی عکس فاصله یا IDW مقادیر اندازه‌گیری شده که نزدیک‌ترین موقعیت را به محل پیش‌بینی دارند نسبت به موقعیت‌های دورتر تاثیر بیشتری بر مقدار پیش‌بینی دارند. در این روش فرض بر این است که هر نقطه اندازه‌گیری شده یک تاثیر محلی دارد که با فاصله کاهش می‌یابد. بنابراین نقاط نزدیک‌تر در پیش‌بینی وزن بیشتری نسبت به نقاط دورتر خواهند داشت و تاثیر پدیده مورد نظر با افزایش مسافت کاهش می‌یابد. در حالت کلی می‌توان گفت که این روش سطحی از نقاط اندازه‌گیری شده بر پایه مسافت و همسانی را ایجاد می‌کند و معادله آن به صورت زیر است (روشنی و همکاران، ۱۳۹۹؛ جان بزرگی و همکاران، ۱۴۰۰).

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(D_i)^q} Z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(D_i)^q}} \quad (۷)$$

که در آن؛ Z مقدار درون‌یابی شده، Z_i مقدار نمونه‌برداری شده، D_i فاصله بین مقادیر درون‌یابی شده و نمونه‌برداری شده و q یک ثابت مناسب است.

شرح و تفسیر نتایج

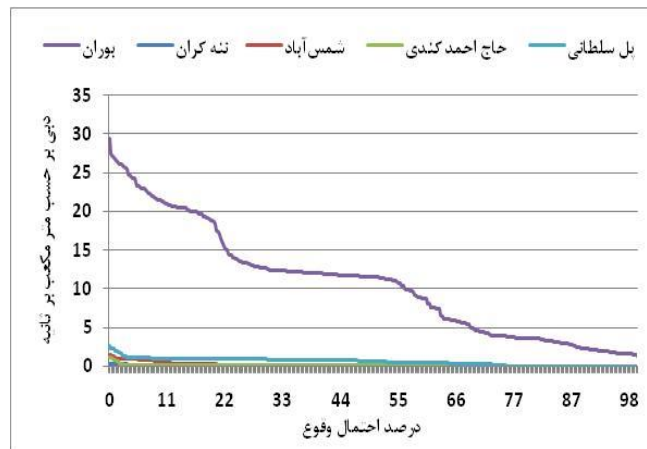
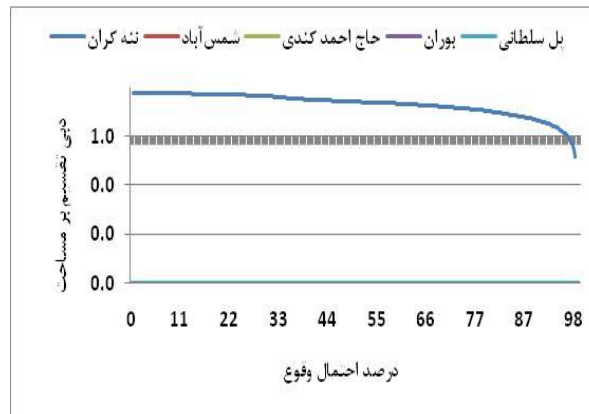
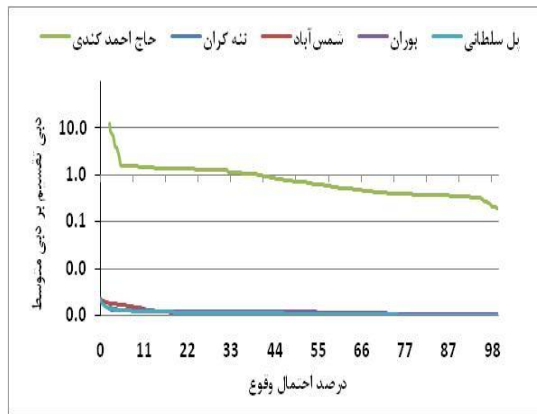
در این پژوهش برای تحلیل شاخص‌های Q_{10} ، Q_{50} ، Q_{90} ، $Q_{90/50}$ و شاخص Lane ابتدا منحنی FDC برای هر ایستگاه براساس داده‌های روزانه در هر سال رسم شد و سپس مقادیر شاخص‌های هیدرولوژیک در هر سال محاسبه و از مقادیر آن‌ها در دوره آماری میانگین گرفته شد در مرحله بعد منحنی‌های بی‌بعد منحنی تداوم جریان از طریق تقسیم مقادیر محور عمودی منحنی

^۳ - Inverse Distance Weight (IDW)

بر مساحت هر حوضه و نیز دبی متوسط هر ایستگاه ترسیم و مجدد مقادیر شاخص‌های انتخابی در هر ایستگاه محاسبه شد. در این پژوهش ۵ ایستگاه (ننه کران، شمس‌آباد، حاج‌احمدکندی، بوران و پل سلطانی) دارای جریان‌های حداقل، متوسط و حداکثر از نظر دبی و مساحت جهت ارائه نتایج گرافیکی انتخاب شد و نمودار منحنی‌های تداوم جریان، بی‌بعد جریان براساس میانگین دبی و مساحت هر یک از حوضه‌ها بررسی شد. در شکل (۲) نمودار منحنی تداوم جریان، بی‌بعد براساس دبی متوسط، بی‌بعد براساس مساحت ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب برای نتایج گرافیکی ارائه شده است.

جدول ۲- مقدار مساحت و دبی متوسط ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب برای ارائه نتایج گرافیکی

نام ایستگاه	دبی (مترمکعب بر ثانیه)	مساحت (کیلومتر مربع)
حاج‌احمدکندی	۰/۰۱۵	۱۴۵/۶۱
ننه کران	۰/۰۸۵	۳۲/۰۶
شمس‌آباد	۰/۲۳۴	۱۷۳/۷۴
پل سلطانی	۰/۷۴۵	۱۲۳/۱۱۷
بوران	۱۲/۲۹۰	۱۳۴۳۱



شکل ۲- نمودار منحنی تداوم جریان، بی‌بعد براساس دبی متوسط، بی‌بعد براساس مساحت ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب برای ارائه نتایج گرافیکی

جدول ۳- نتایج روند شاخص Q_{10} و Q_{50} با آزمون من کندال در ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل

Q_{50}			Q_{10}			ایستگاه
روند	MK	p-vale	روند	MK	p-vale	
کاهشی**	-۱۸۵	۰	کاهشی**	-۱۶۹	۰	پل الماس
افزایشی**	۱۱۷	۰/۰۰۰۳	افزایشی**	۱۱۲	۰/۰۰۰۴	ایریل
کاهشی*	-۶۴	۰/۰۰۳۶	افزایشی**	۹۴	۰/۰۰۰۴	فیروزآباد
افزایشی**	۹۸	۰/۰۰۲۸	افزایشی**	۹۴	۰/۰۰۳۲	باروق
-	-۴۴	۰/۱۱۱	-	۷۱	۰/۲۲۹	آتشگاه
-	۴۱	۰/۱۲۶	افزایشی*	۷۵	۰/۰۵۱	ارباب‌کندی
-	۳۶	۰/۱۵۷۵	افزایشی**	۸۹	۰/۰۰۵۰	عموقین
افزایشی*	۵۹	۰/۰۴۲۳	کاهشی*	-۱۷	۰/۰۳۲۵	آلادیزگه
-	۴۵	۰/۱۰۷۰	افزایشی*	۷۱	۰/۰۲۳۵	اکبرداوود
-	۱۲	۰/۳۷۷	افزایشی*	۶۶	۰/۰۳۱	آبگرم
افزایشی**	۱۰۴	۰/۰۰۱۶	-	۴۱	۰/۱۲۳	حاج‌احمدکندی
کاهشی*	-۷۲	۰/۰۰۲۲	افزایشی**	۷۹	۰/۰۱	ننه‌کران
-	-۲۲	۰/۲۷۵	کاهشی*	-۶۴	۰/۰۳۷	ویلادرق
-	-۲۷	۰/۲۳۰	-	۴۷	۰/۰۹۱	شمس‌آباد
کاهشی**	-۱۰۱	۰/۰۰۲۲	افزایشی**	۱۰۷	۰/۰۰۱	سولا
-	۱۰	۰/۳۹۸	-	۳۴	۰/۱۷۵	لای
-	۴۶	۰/۱۰۱	-	۴۴	۰/۱۱۱	نئور
کاهشی*	-۵۶	۰/۰۲۸۹	-	۸	۰/۴۲۰	پل سلطانی
-	۵	۰/۴۵۵	-	-۳۹	۰/۱۴۰	دوست‌ببگلو
کاهشی**	-۱۷۱	۰	-	۱۲	۰/۳۷۶	سامیان
کاهشی**	-۱۳۷	۰/۰۰۰۱	کاهشی**	-۹۶	۰	کوزه‌تپراقی
کاهشی**	-۷۶	۰/۰۰۴۲	کاهشی**	-۷۷	۰/۰۱۶۱	نیر
-	-۲۶	۰/۲۳	-	۵۴	۰/۰۶۷	هیر
کاهشی**	-۱۰۳	۰/۰۰۲۰	-	۲۰	۰/۲۵۸	گیلانده
-	۲۱	۰/۲۸۶	افزایشی**	۱۱۷	۰/۰۰۰۳	نوران
کاهشی**	-۱۳۰	۰	کاهشی**	-۱۴۳	۰	مشیران
کاهشی**	-۱۴۹	۰	افزایشی**	۱۳۲	۰/۰۰۰۱	یامچی
افزایشی**	۱۰۲	۰/۰۰۱۹	افزایشی**	۹۷	۰/۰۰۱۵	عنبران
افزایشی**	۸۱	۰/۰۰۳۰	افزایشی**	۷۶	۰/۰۱۵	نمین
کاهشی**	-۱۳۰	۰	کاهشی**	-۱۴۰	۰	بوران
کاهشی**	-۸۴	۰/۰۰۹۶	کاهشی*	-۶۷	۰/۰۳۱۴	درو

*معنی‌دار در سطح ۵ درصد، **معنی‌دار در سطح ۱ درصد، علامت منفی نشان‌دهنده کاهشی، علامت مثبت نشان‌دهنده افزایشی

براساس جدول (۳)، شاخص Q_{10} در ایستگاه‌های پل‌الماس، کوزه‌تپراقی، نیر، مشیران و بوران در سطح یک درصد دارای روند کاهشی معنی‌دار است. از آن‌جا که Q_{10} نشان‌گر جریان سیلابی است بنابراین این شاخص در ایستگاه‌های مذکور روند کاهشی را نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد که مقادیر شاخص جریان سیلابی در رودخانه اصلی قره‌سو و ایستگاه‌های واقع بر روی آن

کاهش نموده است. این در حالی است که در ایستگاه‌های واقع در سرشاخه‌ها و مناطق بالادست، مقدار ضریب سیلابی دارای روند افزایشی معنی‌دار هستند. مقدار شاخص Q_{10} در ایستگاه‌های (ایریل، فیروآباد، باروق، ارباب‌کندی، عموقین، اکبرداوود، آبگرم، ننه‌کران، سولا، نوران، یامچی، عنبران و نمین) در سطح یک درصد دارای روند افزایشی است. شاخص Q_{50} جریان متوسط در منطقه را نشان می‌دهد، در این راستا، اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند کاهشی هستند، به عبارتی، متوسط جریان رودخانه‌ها با کاهش آبدهی مواجه شده است، این کاهش آبدهی ممکن است در اثر افزایش بهره‌برداری از آب و نیز چاه‌های اطراف رودخانه، کاهش بارش و یا انحراف جریان در بالادست باشد. نتایج شاخص‌های Q_{10} ، Q_{50} و شاخص Lane در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- نتایج روند شاخص Q_{10} و Q_{50} و شاخص Lane با آزمون من‌کندال در ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل

Lane			Q_{50}			Q_{10}			ایستگاه
روند	MK	p-vale	روند	MK	p-vale	روند	MK	p-vale	
افزایشی**	۱۰۱	۰/۰۰۲۴	-	-۴۳	۰/۱۱۸۱	کاهشی**	-۱۴۹	۰	پل‌الماس
-	-۱۳	۰/۲۳۰	-	۱۵	۰/۲۲۱	افزایشی**	۱۲۴	۰/۰۰۰۲	نوران
-	۴	۰/۱۵۴	کاهشی**	-۸۱	۰/۰۰۰۶	کاهشی**	-۸۳	۰/۰۰۵۶	ایریل
-	-۳۵	۰/۰۶۲	-	۲۶	۰/۱۲۹	افزایشی**	۱۰۹	۰/۰۰۰۹	فیروزآباد
-	۲	۰/۴۰۳	کاهشی**	-۶۵	۰/۰۰۰۹	کاهشی**	-۸۵	۰/۰۰۲۸	باروق
کاهشی*	-۳۷	۰/۰۵۲	-	۲۹	۰/۱۰۳۵	افزایشی*	۷۰	۰/۰۲۳۳	آتشگاه
کاهشی**	-۲۴	۰/۰۱۸۴	کاهشی*	-۲۷	۰/۰۳۱	-	-۶	۰/۴۰۵	ارباب‌کندی
-	-۲	۰/۴۵۰	-	۶	۰/۳۲۴	-	۲	۰/۴۸۵	عموقین
-	۱۱	۰/۳۶۳	کاهشی**	-۹۴	۰/۰۰۲۲	کاهشی**	-۱۰۹	۰/۰۰۰۸	آلادیزگه
-	۱۰	۰/۳۱۰	-	-۲۵	۰/۱۵۵	-	-۴۲	۰/۰۹۶	اکبرداوود
-	-۷	۰/۳۸۳	-	-۳۱	۰/۰۶۶	افزایشی*	۶۱	۰/۰۳۱	آبگرم
-	۲۶	۰/۰۶۳	-	-۳۵	۰/۱۵۰	کاهشی**	-۸۵	۰/۰۰۸۱	حاج‌احمدکندی
-	۷	۰/۳۱۹	کاهشی**	-۶۰	۰/۰۱۴۹	کاهشی*	-۶۵	۰/۰۲۰۴	ننه‌کران
کاهشی*	-۵۷	۰/۰۵۷	افزایشی*	۷۳	۰/۰۲۱۲	افزایشی*	۶۱	۰/۰۴۳	ویلادرق
-	-۲۳	۰/۰۶۵	کاهشی**	-۷۱	۰/۰۰۱۴	کاهشی**	-۱۴	۰	شمس‌آباد

**معنی‌دار در سطح ۵ درصد، *معنی‌دار در سطح ۱ درصد، علامت منفی نشان‌دهنده کاهشی، علامت مثبت نشان‌دهنده افزایشی

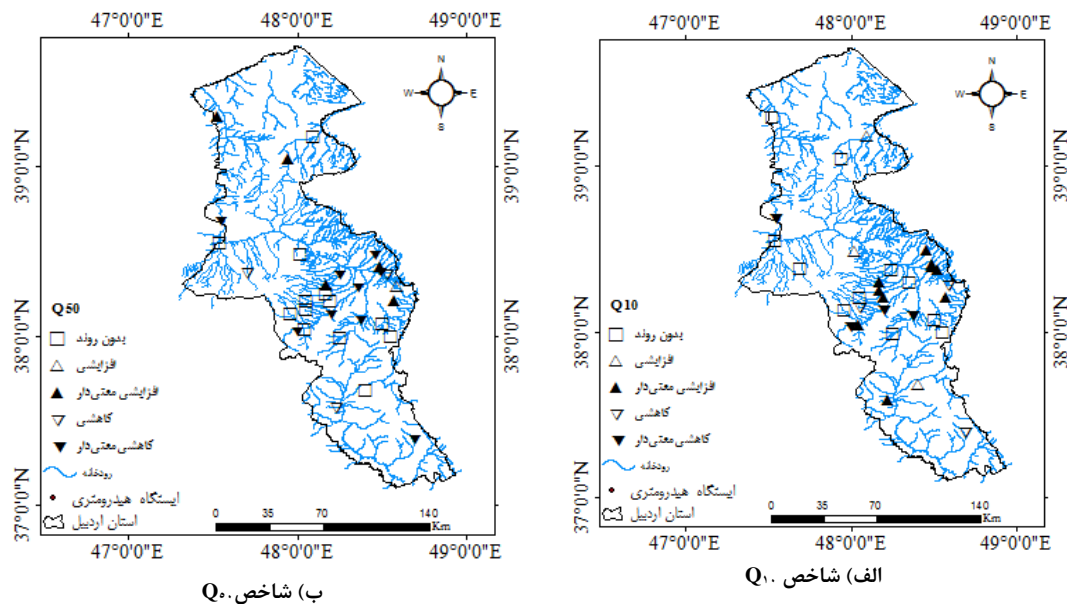
ادامه جدول ۴- نتایج روند شاخص Q_{10} و Q_{50} و شاخص Lane با آزمون من‌کندال در ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل

Lane			Q_{50}			Q_{10}			ایستگاه
روند	MK	p-vale	روند	MK	p-vale	روند	MK	p-vale	
-	-۲۳	۰/۰۶۵	کاهشی**	-۷۱	۰/۰۰۱۴	کاهشی**	-۱۴	۰	شمس‌آباد
-	-۶	۰/۲۶۸	-	۱۱	۰/۳۱۳	-	-۲	۰/۴۸۶	سولا
-	-۴۹	۰/۰۸۷	-	۴۵	۰/۱۰۷۴	افزایشی**	۷۹	۰/۰۱۳۵	لای
-	-۳	۰/۱۰۸	-	۰		-	-۲	۰/۴۷	نئور
-	۱۸	۰/۰۶۳۴	کاهشی*	-۲۱	۰/۰۵۷	-	-۱۸	۰/۰۶۰۳	پل‌سلطانی
کاهشی**	-۵۱	۰/۰۰۶	-	-۲۵	۰/۲۴۶	-	-۴۹	۰/۰۸۵	دوست‌بیگلو
-	-۲۳	۰/۰۶۵	کاهشی**	-۷۳	۰/۰۱۶۲	کاهشی**	-۸۲	۰/۰۰۸۰	سامیان
-	-۱۷	۰/۰۷۶	-	-۲۸	۰/۱۲۹	کاهشی**	-۹۹	۰/۰۰۱۷	کوزه‌تپراقی

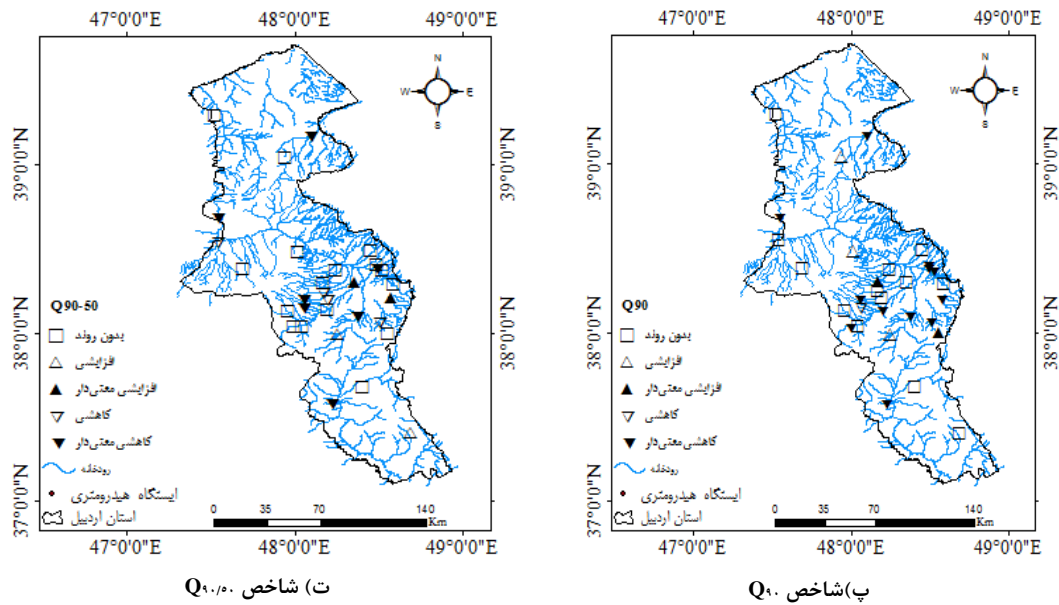
نمین	۰/۰۱۷۲	-۷۳	کاهشی**	۰/۰۲۱	-۵۷	کاهشی*	۰/۵۰۰۰	۱	-
نیر	۰/۲۸۶	۲۱	-	۰/۰۰۷۷	۸۷	افزایشی**	۰/۳۹۹	-۱۰	-
هیر	۰/۲۳۱	-۲۷	-	۰/۰۲۲۶	-۷۲	کاهشی*	۰/۰۰۳۱	۹۸	افزایشی**
گیلانده	۰	-۱۲۹	کاهشی**	۰/۰۰۲۶	-۳۹	کاهشی**	-	-	-
مشیران	۰/۴۶۳	-۴	-	۰/۳۰۳	۱۸	-	۰/۲۱۴	-۲۹	-
یامچی	۰/۰۰۳۲	۹۶	کاهشی**	۰/۱۴۹	-۲۲	-	۰/۰۴۲	۵	افزایشی*
عنبران	۰/۵	۱	-	۰/۱۰۵۶	-۶	-	-	-	-
درو	۰/۱۳۵	-۴۰	-	۰/۰۲۱	۷۳	افزایشی*	۰/۴۷۷	-۳	-
بوران	۰/۴۶	-۴	-	۰/۳۰	۱۸	-	۰/۲۱	-۲۹	-

**معنی‌دار در سطح ۵ درصد، *معنی‌دار در سطح ۱ درصد، علامت منفی نشان‌دهنده کاهش، علامت مثبت نشان‌دهنده افزایش

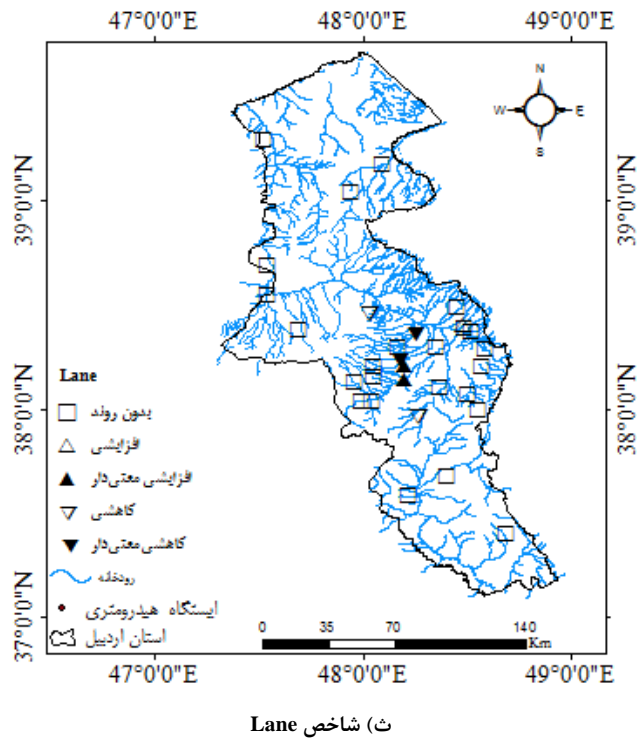
با توجه به جدول ۴، شاخص $Q_{۱۰}$ نشان‌دهنده جریان کم است. در سطح یک درصد ایستگاه‌های پل‌الماس، ایریل، باروق، آلاذیگه، حاج‌احمدکندی، شمس‌آباد، سامیان، کوزه‌تپراقی، نمین، گیلانده و یامچی دارای روند کاهش معنی‌دار هستند. به‌عبارتی از ۱۸ ایستگاه که روند آن‌ها تشخیص داده شده است حدود ۱۲ ایستگاه دارای روند کاهش در مقدار دبی $Q_{۱۰}$ هستند. شاخص $Q_{۱۰/۵۰}$ شاخص مشارکت جریان که جریان پایه را بیان می‌کند در سطح یک درصد برای ایستگاه‌های ایریل، باروق، آلاذیگه، ننه‌کران، شمس‌آباد، سامیان و گیلانده کاهش دارای روند کاهش معنی‌دار هستند، در این راستا مهری و همکاران (۱۳۹۶) نیز کاهش مقادیر شاخص دبی پایه در رودخانه‌های استان اردبیل را گزارش نموده است. شاخص Lane بیان‌گر دبی سیلاب اوج است در ایستگاه‌های ارباب‌کندی و دوست‌بیگلر در سطح یک درصد دارای روند کاهش معنی‌دار است. نقشه شاخص‌های مورد بررسی در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۳- روند تغییرات زمانی شاخص‌های مورد بررسی در ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل



ادامه شکل ۳- روند تغییرات زمانی شاخص‌های مورد بررسی در ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل

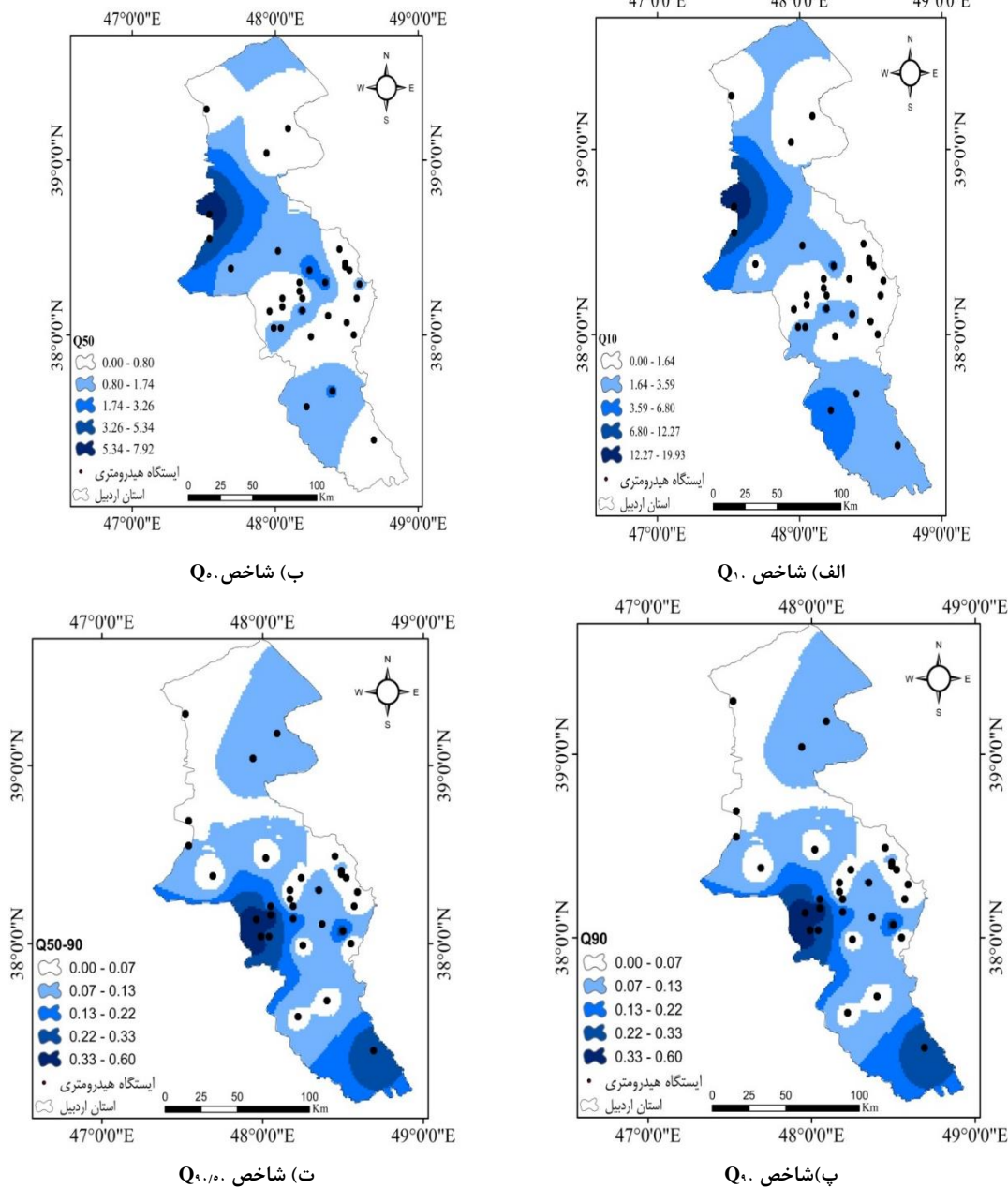


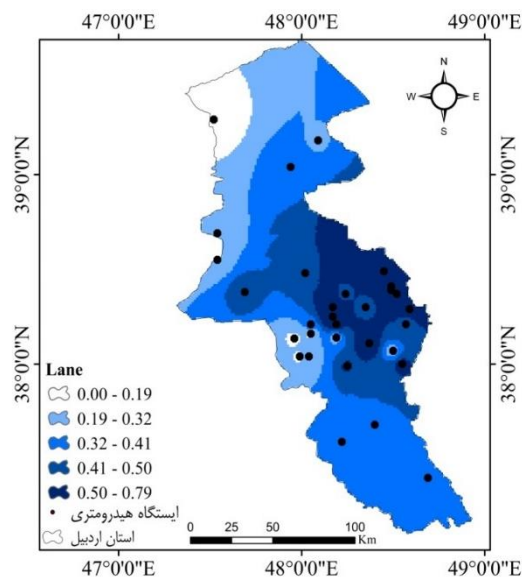
ادامه شکل ۳- روند تغییرات زمانی شاخص‌های مورد بررسی در ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل

براساس نقشه‌های ارائه شده در شکل ۳ می‌توان گفت که روند تغییرات شاخص‌های مورد مطالعه در محدوده مرکزی استان اردبیل بیش‌تر از سایر بخش‌های استان است. در مجموع مقادیر شاخص‌های مرتبط با جریان‌های سیلابی در حوزه‌های

بالادست استان روند افزایش داشته و نیز مقادیر مرتبط با جریان متوسط و نیز شاخص مشارکت جریان پایه در اکثر ایستگاه‌ها روند کاهشی معنی‌دار داشته است و در سایر ایستگاه‌ها هم مقدار جزئی روند کاهشی داشته ولی از نظر آماری معنی‌دار نبوده است.

نتایج تغییرات مکانی شاخص‌های Q_{10} ، Q_{50} ، Q_{90} و شاخص Lane با استفاده از روش وزنی معکوس فاصله (IDW) برای ۳۱ ایستگاه هیدرومتری استان اردبیل در شکل ۴ ارائه شده است.





ش (ث) شاخص Lane

شکل ۴- تغییرات مکانی شاخص‌های Q_{10} ، Q_{50} ، Q_{90} و شاخص Lane در آبخیزهای استان اردبیل

براساس شکل ۴، نتایج تغییرات شاخص Q_{10} (جریان سیلابی) در ایستگاه ارباب‌کندی دوست‌بیگلو، پل سلطانی در مشگین‌شهر دارای سیل‌خیزی بالاتری است. شاخص Q_{90} (جریان کم) در ایستگاه‌های لای، نیر و یامچی بالاتر است. همچنین ایستگاه درو در شهرستان خلخال نیز دارای جریان کمینه بالاتری است. شاخص (Lane) بیان‌گر سیلاب اوج بالاتری است که مقدار آن در ایستگاه‌های واقع در محدوده مرکزی و شرق استان بیش‌تر است. تغییرات مکانی سایر شاخص‌ها نیز در بخش‌های مختلف استان قابل مشاهده است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه پس از محاسبه شاخص‌های جریان سیلابی و جریان کمینه در ۳۱ ایستگاه هیدرومتری در استان اردبیل، روند تغییرات زمانی شاخص‌ها با آزمون من-کندال ارزیابی شد. شناخت چگونگی تغییرات شاخص‌های جریان کمینه و عوامل تاثیرگذار بر آن، توسعه استراتژی و مدیریت کیفی و کمی منابع آب، مورد نیاز است. اطلاعات جریان کمینه در یک حوزه آبخیز برای فعالیت‌های گسترده از جمله برای برنامه‌ریزی زمان‌های کم آبی و خشکسالی، بررسی وضعیت اکوسیستم، برنامه‌ریزی نیازمندی‌های آب شرب، مطالعات زیست محیطی، مباحث آلودگی آب رودخانه و چگونگی انتشار آلودگی کاربرد دارد. براساس نتایج به‌دست آمده، شاخص Q_{10} (جریان سیلابی) ایستگاه‌های پل‌الماس، کوزه‌تپراقی، نیر، مشیران و بوران در سطح یک درصد دارای روند کاهشی معنی‌دار است، در حالی که سایر ایستگاه‌های واقع در مناطق بالادست روند شاخص مذکور افزایشی است که بیان‌گر افزایش مقادیر ضریب سیل‌خیزی در حوزه‌های آبخیز استان است. بنابراین باید دقت نمود که علی‌رغم کاهش جریان رودخانه‌ها، استعداد وقوع سیل در سال‌های اخیر افزایش نموده است. از طرفی مقدار شاخص Q_{90} به‌عنوان مشخصه دبی‌های کم‌آبی، دارای روند کاهشی است. به‌عبارتی برآیند عوامل طبیعی و انسانی باعث کاهش دبی جریان‌های کمینه رودخانه شده است. شاخص $Q_{90/50}$ شاخص جریان پایه است که این میزان در ایستگاه‌های ایریل، باروق،

آلادیزگه، ننه‌کران، شمس‌آباد، سامیان و گیلانده در سطح یک درصد کاهش معنی‌دار است. بر اساس تحلیل شاخص $Q_{90/50}$ جریان رودخانه بالخلوچای (ایستگاه پل‌الماس و گیلانده) و رودخانه قره‌سو (ایستگاه سامیان) دارای روند کاهشی بوده است. قابل ذکر است که رودخانه بالخلوچای با توجه به کاهش جریان ناشی از احداث سد یامچی دچار کم‌آبی شدید شده است که این تغییرات در منحنی تداوم جریان رودخانه منعکس شده است. تغییرات مکانی شاخص‌های مطالعه شده تغییرات شاخص Q_{10} (جریان سیلابی) در حوضه مشگین‌شهر دارای سیل‌خیزی بالاتری است، علاوه بر این مقدار شاخص مذکور در بخش‌های مرکزی و شرقی استان نیز دارای مقدار بیش‌تری است. مقادیر شاخص Q_{90} (جریان کم) در ایستگاه‌های لای، نیر و یامچی بالاتر از سایر ایستگاه‌هاست که می‌توان دلیل آن را در تغذیه از رودخانه‌های سرچشمه گرفته از دامنه سبلان مرتبط دانست. در مجموع روند تغییرات شاخص‌های مرتبط با سیل حاکی از افزایش معنی‌دار در تعدادی از ایستگاه‌ها است، این در حالی است که اکثر شاخص‌های مرتبط با جریان پایه و دبی‌های کمینه نشان‌دهنده کاهش معنی‌دار در دوره آماری مورد مطالعه در استان اردبیل هستند. نتایج در مجموع نشان داد که شاخص Q_{10} یا جریان سیلابی در ایستگاه‌های واقع در ایستگاه‌های واقع در بخش‌های پایین‌دست روند کاهشی داشته است و نیز شاخص Q_{50} یا جریان میانگین، در اکثر ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی معنی‌داری بوده است. همچنین شاخص‌های Q_{90} و $Q_{90/50}$ نیز در اکثر ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی معنی‌داری بوده‌اند. این نتایج می‌توانند در تحلیل تغییرات آبی و نیز ارزیابی وضعیت جریان رودخانه در دوره‌های کم‌آبی مورد استفاده قرار گیرند.

منابع

- اسفندیاری درآباد، فریبا؛ رئوف مصطفی‌زاده؛ رضا شاهمرادی؛ علی نصیری خیابوی. ۱۳۹۸. بررسی اثر ا حداث سد بوکان بر شاخص‌های هیدرولوژیک رودخانه زربینه‌رود بر اساس منحنی تداوم جریان. دانش آب و خاک، ۲۹(۴): ۱۵۹-۱۴۷.
- اسفندیاری درآباد، فریبا؛ رئوف مصطفی‌زاده؛ رضا شاهمرادی؛ علی نصیری خیابوی. ۱۳۹۹. اثر احداث سد بر تغییرات شاخص‌های جریان سیلاب و کم‌آبی در جنوب دریاچه ارومیه. مخاطرات محیط طبیعی، ۹(۲۴): ۱-۱۴.
- اسلامیان سید سعید؛ محسن قاسمی؛ سمیه سلطانی گردفرامری ۱۳۹۱. محاسبه و ناحیه‌بندی شاخص‌های جریان کم و تعیین دوره‌های خشک‌سالی هیدرولوژیک. علوم آب و خاک، ۱۶(۵۹): ۱-۱۴.
- اکبری مسلم؛ کریم سلیمانی؛ محمد مهدوی؛ محمود حبیب‌نژادروشن. (۱۳۸۹). بررسی و تحلیل فراوانی‌های کمینه با تداوم‌های متفاوت در مناطق خشک و نیمه‌خشک (حوزه‌های آبخیز استان لرستان). مهندسی منابع آب، ۳(۶): ۱۷-۲۶.
- آسیابی‌هیر، رقیه؛ رئوف مصطفی‌زاده، مجید رئوف و اباذر اسمعیلی عوری. ۱۳۹۶. ارزیابی چند معیاره تغییرات مکانی شاخص فقر آب در تعدادی از حوزه‌های آبخیز استان اردبیل. اکوهیدرولوژی، ۴(۴): ۱۰۰۹-۹۹۷.
- پورمحمدی سمانه؛ محمدتقی دستورانی؛ علیرضا مساح بوانی؛ مسعود گودرزی؛ هادی جعفری؛ محمد حسن رحیمیان. ۱۳۹۶. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه و ارائه راهکارهای سازگاری با اثرات آن (مطالعه موردی: حوزه آبریز تویسرکان همدان). علوم ومهندسی آبخیزداری ایران، ۱۱(۳۷): ۱-۱۲.
- تقوی فرحناز. ۱۳۸۹. ارتباط بین تغییر اقلیم و رویدادهای حدی. فیزیک زمین و فضا، ۳۶(۲): ۴۳-۳۳.
- جان بزرگی، محمد؛ مهین حنیفه پور و حسن خسروی. ۱۴۰۰. تغییرات زمانی خشکسالی هواشناسی-هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: استان گیلان. مدل سازی و مدیریت آب و خاک، ۱(۲): ۱-۱۳.
- حجام، سهراب؛ یونس خوشخو و رضا شمس‌الدین وندی. ۱۳۸۷. تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری. پژوهش‌های جغرافیایی، ۶۴: ۱۶۸-۱۵۷.
- روشنی حمیده، رئوف مصطفی‌زاده؛ اباذر اسمعیلی عوری؛ محسن ذبیحی محسن. ۱۳۹۹. تغییرات مکانی و زمانی الگوی وقوع بارش با استفاده از شاخص‌های SI و PCI در استان گلستان. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۷(۴): ۲۰۴-۱۸۷.
- کاظمی، رحیم؛ رضا بیات. ۱۳۹۶. بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر شاخص‌های جریان کمی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱(۲۴): ۲۹۴-۲۸۷.
- مصطفی‌زاده، رئوف و سونیا مهری. ۱۳۹۵. روند تغییرات ضریب سیلابی در ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۹(۱۷): ۸۲-۹۵.
- مطالعات طرح آمایش استان اردبیل، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان اردبیل، ۱۳۹۱. ۱۵۷ ص.
- موسوی، سید فرهاد؛ مهسا بوستانی؛ حجت کرمی؛ سعید فرزین. ۱۳۹۷. تحلیل پارامترهای رودخانه با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر نظریه آشوب (مطالعه موردی: دبی جریان رودخانه زاینده رود). تحقیقات منابع آب ایران، ۱۴(۴): ۲۵۶-۲۵۳.
- مهری، سونیا؛ رئوف مصطفی‌زاده، اباذر اسمعیلی عوری و اردوان قربانی. ۱۳۹۶. تغییرات زمانی و مکانی جریان پایه در رودخانه‌های استان اردبیل. فیزیک زمین و فضا، ۳(۴۳): ۶۳۴-۶۲۳.
- نادری، مهین؛ واحدبردی شیخ؛ عبدالرضا بهره‌مند؛ چوقی بایرام کمکی؛ عبدالعظیم قانقرمه. ۱۴۰۲. تحلیل تغییرات رژیم جریان آب رودخانه‌ای با استفاده از شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز حبله‌رود). مدل سازی و مدیریت آب و خاک، ۳(۳): ۱-۱۹.
- Aich, V., B kone, F. F. Hattermann, and E. N. Muller. ۲۰۱۴. floods in the Niger basin-analysis and attribution. Natural Hazard and Earth System Sciences. ۲: ۵۱۷۱-۵۲۱۲.
- Issaks, H. E., & Srinivasan, R. M. (۱۹۸۹). Applied geostatistics. Oxford University Press: Oxford. ۵۶۱p.
- Jiang, T., B. Su, and H. Hartmann. ۲۰۰۷. temporal and spatial of precipitation and river flow in the Yangtze River Basin, ۱۹۶۱-۲۰۰۰. Geomorphology, ۸۵: ۱۴۳-۱۵۴.

- Karpouzou, D. K., Kavalieratou, S., & Babajimopoulos, C. (۲۰۱۰). Non-parametric trend analysis of precipitation data in Pireia region (Greece). *European Water*, ۳۰, ۳۱-۴۰.
- Lahha, G., G. Bloschl. ۲۰۰۷. A national low flow estimation procedure for Austria. *Hydrological Sciences Journal*, ۵۲(۴): ۶۲۵-۶۴۴.
- Mijuskovic-Svetinovic, T., S. Maricic. ۲۰۰۸. Low flow analysis of the lower Drava river. *Journal of Earth and Environmental Science*, ۴(۱): ۱۷۵-۱۳۰۷.
- Mostafazadeh, R., Nasiri Khiavi, A. & Ghabelnezam, E. ۲۰۲۳. Temporal changes and flow pattern analysis using Colwell indices in mountainous rivers. *Environment Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03033-2>
- Nka., B.N., L. Oudin, H. Karambiri, J. E. Paturel, and P. Ribstein. ۲۰۱۵. Trends in Floods in west Africa analysis based on ۱۱ catchments in the region. *Hydrology and Earth System Sciences*, ۱۹: ۴۷۰۷-۴۷۱۹.
- Patel, J. A. ۲۰۰۷. Evaluation of low flow estimation techniques for ungauged catchment. *Water and Environ Journal*, ۲۱: ۴۱- ۴۶.
- Reilly, C. F., & Kroll, C. N. (۲۰۰۳). Estimation of ۷-day, ۱۰-year low-streamflow statistics using baseflow correlation. *Water Resources Research*, ۳۹(۹), ۱۲۳۹. <https://doi.org/10.1029/2002WR001740>
- Rood, S. B., G. M. Samuelson, J. K. Weber, and K. A. Wywort. ۲۰۰۵. Twentieth- century decline in Stream flow from the hydrographic apex of North America. *Journal of Hydrology*, ۳۰۶ (۱): ۲۱۵-۲۳۳.
- Sarailidis, G., L. Vasilides, and A. Loukas. ۲۰۱۵. The quantification of threshold level method on lows studies, *Proceedings of the ۱۴th International Conference on Environmental Science and Technology Rhodes, Greece*, ۱-۵.
- Smakhtin, V. U. ۲۰۰۱. Estimating continuous monthly base flow time series and their possible application in the context of the ecological reserve. *Water S.A.*, ۲۷(۲): ۲۱۳- ۲۱۷.
- Vogel, R. M., C. N. Kroll. ۱۹۹۲. Regional geohydrologic- geomorphic relationship for the estimation of low flow statistics. *Journal Water Resources Research*, ۲۸(۹): ۲۴۵۱- ۲۴۵۰.