نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۹، شماره ۳، ۱۳۹۶، صفحات ۳۳۲-۳۴۵

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 9, Issue 3, 2017, Pages 332-345

تحلیل روند تغییرات زمانی جریان رودخانه‌های استان مازندران با استفاده از آزمون ناپارامتری مان-کندال

علی کولاییان*[۱]، مجتبی خوش‌روش[۲]، نیما محمدی گل‌افشانی[۳] و محمدجواد میرزایی[۴]

[۱] کارشناس ارشد رشته آبیاری و زه‌کشی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، [۲] استادیار، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، [۳] کارشناس ارشد رشته سازه‌های آبی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات و [۴] استادیار، دانشکده کشاورزی و دامپروری، مجتمع آموزش عالی کشاورزی و دامپروری تربت‌جام

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۰۶

چکیده

امروزه ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع هیدرولوژیکی یک منطقه، مهمترین پارامتر مورد بررسی قبل از هر گونه برنامه‌ریزی در بهره‌برداری منابع آب می‌باشد. آنالیز روند دبی جریان رودخانه با استفاده از آزمون ناپارامتری مان-کندال برای حوزه آبخیز استان مازندران در دوره‌های ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ ساله در سه مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه و همچنین دبی اوج انجام پذیرفت. نتایج نشان داد که اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه تغییر اقلیم، روی رواناب رودخانه حوزه‌های آبخیز منطقه اثر شدیدی گذاشته که باعث کاهش دبی رودخانه‌ها به ویژه در قسمت شرقی حوزه‌های آبخیز استان شده است. نتایج آنالیز روند در مقیاس ماهانه نشان داد که در اکثر ماه‌ها به ویژه فصل تابستان، عمده ایستگاه‌های هیدرومتری روند نزولی معنی‌داری را تجربه کردند. تنها در فصل زمستان برای ایستگاه‌های هیدرومتری روند مثبتی را در طول چند دهه شاهد بودیم. به نظر می‌رسد روند افزایشی در فصل زمستان به‌دلیل افزایش دما و در نتیجه ذوب شدن برف می‌باشد که باعث افزایش دبی آب پایه و به تبع آن افزایش دبی رودخانه در طول زمان باشد. همچنین نتایج آنالیز روند دبی اوج نشان داد که در طول چهار دهه اخیر، دبی اوج روند مثبتی را تجربه کرده که به دلیل تغییرات در الگوی بارش می‌باشد. دستاورد این پژوهش می‌تواند در پیش‌بینی خشکسالی‌های آتی، برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت منابع آب منطقه کمک شایانی باشد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز روند، تغییر اقلیم، حوزه‌های آبخیز مازندران، مقیاس زمانی، منابع آب

مقدمه

رشد صنایع و کارخانه‌ها از آغاز انقلاب صنعتی و در پی آن افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی از یک‌سو و ویرانی جنگل‌ها و تغییر کاربری اراضی کشاورزی از سوی دیگر باعث افزایش گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه گاز CO_2 در چند دهه اخیر شده است، به گونه‌ای که غلظت این گاز از ۲۸۰ میلی‌گرم در لیتر در سال ۱۷۵۰ به ۳۷۹ میلی‌گرم در لیتر در سال ۲۰۰۵ افزایش‌یافته است (Solomon و همکاران، ۲۰۰۷). تحقیقات نشان می‌دهد که در صورت ادامه روند کنونی مصرف سوخت‌های فسیلی، غلظت این گاز در سال‌های پایانی سده ۲۱ می‌تواند به بیش از ۶۰۰

* مسئول مکاتبات: a.koolaian@sanru.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

میلی‌گرم در لیتر برسد (Carter و همکاران، ۱۹۹۹). افزایش گازهای گلخانه‌ای تغییراتی را در اقلیم کره زمین به وجود آورده که در منابع علمی به آن تغییر اقلیم گفته می‌شود (Solomon و همکاران، ۲۰۰۷). فرایند تغییر اقلیم، به‌ویژه تغییرات دما و بارش، مهمترین بحث مطرح در قلمرو علوم محیطی می‌باشد. این پدیده به دلیل ابعاد علمی و کاربردی (اثرات محیطی و اقتصادی-اجتماعی) آن از اهمیت فزاینده‌ای برخوردار است، چون کارکرد سامانه‌های زیستی وابسته اقلیم، مانند کشاورزی و صنایع، بر پایه پایداری اقلیم طراحی شده است. تغییرات معنی‌دار دمای کره زمین یا گرایش جهانی به‌عنوان مهمترین نمودهای تغییر اقلیم در قرن حاضر مورد توجه قرار گرفته است (Solomon و همکاران، ۲۰۰۷). از طرفی ارزیابی تاثیرات تغییر اقلیم بر منابع هیدرولوژیکی یک کشور، مهمترین ارزیابی به‌کار گرفته قبل از هر گونه برنامه-ریزی جهت برنامه بهره‌برداری منابع آب می‌باشد. بنابراین بررسی تغییرات اقلیمی، پیش‌بینی و پی-آمدهای آن به‌ویژه روی منابع آب بسیار مهم است (Maurer، ۲۰۰۷).

تأثیر تغییرات اقلیمی بر خصوصیات جریان رودخانه به‌صورت گسترده در سراسر جهان انجام شده است. از جمله این کارها می‌توان به تحقیقات Khaliq و همکاران (۲۰۰۹)، Lins و Slack (۱۹۹۹)، Shaban (۲۰۰۸)، Zhang و همکاران (۲۰۰۶) اشاره کرد. Douglas و همکاران (۲۰۰۰) شواهدی مبنی بر وجود روند در جریان‌های ماکزیمم در ایالت متحده آمریکا پیدا نکردند اما یک روند مثبتی را در جریان‌های کم در مناطق غرب در مینه‌سوتا کشف کردند.

McCabe و Wolock (۲۰۰۲) با بررسی رفتار روند با استفاده از مدل‌های آماری، افزایش جریان رودخانه را به‌ویژه در قسمت شرقی آمریکا از سال ۱۹۷۰ گزارش کردند. Monlar و Ramirez (۲۰۰۱) در تحلیل مشابهی به بررسی وجود روند در متغیرهای اقلیمی برای حوضه ریوپورکو با تأکید بر تأثیرات آن روی رفتار ژئومورفولوژیکی سیستم‌های آبرفتی پرداختند. آن‌ها روند افزایشی را در ماه‌های کم آب و روند کاهشی را در ماه‌های جریان زیاد به‌دست آوردند. Chen و همکاران (۲۰۱۳) روند داده‌های جریان رودخانه سالانه را از ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۹ با استفاده از آزمون مان-کندال در حوضه رودخانه کایدو در چین بررسی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که حوضه رودخانه کایدو با روند صعودی روبرو بوده است. همچنین، آن‌ها نقطه تغییر در افزایش جریان رودخانه را در سال ۱۹۹۳، آشکار کردند. Bassiouni و Oki (۲۰۱۳) روند داده‌های جریان رودخانه را از سال ۱۹۱۳ تا ۲۰۰۸ برای هاوایی با استفاده از آزمون مان-کندال آنالیز کردند که نتایج نشان داد، جریان‌های حداکثر و حداقل روند نزولی معنی‌داری را نشان دادند.

در ایران، Farrokhi و Abrishamchi (۲۰۰۹) با روش‌های طیفی و آماری، روندها را در سری‌های زمانی جریان رودخانه مشخص کردند. آن‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری مان-کندال، روندهای کاهشی را در ماه‌های کم آب (مرداد تا آبان) آشکار کردند که در ماه مهر، این روند معنی‌دار بوده است. Masih و همکاران (۲۰۱۱) روندهای جریان رودخانه را برای سرشاخه‌های ارتفاعات زاگرس در ارتباط با اقلیم محلی بررسی کردند. آن‌ها از پنج ایستگاه اصلی رودخانه برای دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱ جهت بررسی تعدادی از متغیرهای جریان رودخانه استفاده کردند. این متغیرها شامل جریان ماهانه و سالانه میانگین و جریان مینیمم و ماکزیمم یک و هفت روزه با تعداد و مدت پالس‌های جریان کم و زیاد بودند. نتایج این تحقیق روندهای معنی‌داری را برای متغیرهای هیدرولوژیکی هم به‌صورت افزایشی (جریان ماه دسامبر) و هم نزولی (جریان ماه می) برای تمام ایستگاه‌ها نشان داد.

Marofi و Tabari (۲۰۱۱) روند تغییرات سالانه، فصلی و ماهانه دبی رودخانه مارون را با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری مان-کندال و سنچچ و همچنین تحلیل پارامتری رگرسیونی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که دبی سالانه در همه ایستگاه‌ها، دارای روند نزولی در دو دهه اخیر بوده است. همچنین، تحلیل سه آزمون انجام شده بر روی دبی‌های فصلی بیانگر آن است که مقادیر دبی فصل-های بهار و زمستان، کاهش و برای فصل تابستان، افزایش داشته است.

Archive of SID

www.SID.ir

Rahbar و همکاران (۲۰۰۵) روند تغییرات رواناب در حوزه آبخیز خررود تا ایستگاه آبگرم واقع در زیر حوضه قزوین را بررسی نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که در دوره سی‌ساله، با وجود ثبات بارش سالانه و اندکی کاهش دمای سالانه، ارتفاع رواناب و همچنین نسبت رواناب به بارش سالانه، روندی فزاینده و معنی‌دار داشته است. Mirabbasi و Dinpazhoh (۲۰۱۰) روند جریان ۱۶ ایستگاه هیدرومتری منطقه شمال غرب ایران در سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه در دوره آماری ۱۳۸۳-۱۳۵۳ با روش مان-کندال با حذف اثر کلیه ضرایب خود همبستگی معنی‌دار آزمون قرار دادند. نتایج نشان داد که جریان رودخانه‌های شمال غرب ایران در مقیاس سالانه در همه ایستگاه‌ها دارای روند نزولی است. همچنین روند نزولی معنی‌دار در مقیاس فصلی، در تمام فصل‌ها مشاهده شده که در آن شدیدترین روند متعلق به فصل بهار بود. Ghezelsefloo و همکاران (۲۰۱۱) داده‌های دبی ۱۰ ایستگاه هیدرومتری (۱۳۸۷-۱۳۶۲) را پس از حذف اثر خود همبستگی با استفاده از مان-کندال مورد آزمون قرار دادند. نتایج نشان داد که ۳۰ درصد ایستگاه‌ها، در مقیاس سالانه، روند کاهشی معنی‌دار نشان می‌دهد.

به‌طور کلی، با توجه پژوهش‌های قبلی انجام گرفته، داده‌های هواشناسی و یافته‌های مدل‌های شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی نشان می‌دهد که میانگین دمای هوا روندی افزایشی دارد، که خود ممکن است سبب کاهش مقدار بارش تابستانه و افزایش احتمال رخداد خشکسالی و موج گرمایی، به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک شود (Chartzoulakis و Psarras، ۲۰۰۵). از سویی دیگر، انتظار می‌رود که پدیده تغییر اقلیم در سده ۲۱ ادامه یابد (Steele-Dunne و همکاران، ۲۰۰۸)، بنابراین، افزایش پیوسته انتشار گازهای گلخانه‌ای این اثرات را تشدید خواهد کرد. از این‌رو به رسمیت شناختن مدیریت منابع آب نقش قاطعی در حمایت از اقتصاد منطقه خواهد داشت (Maurer، ۲۰۰۷). بنابراین هدف از این پژوهش بررسی روند دبی ماهانه، فصلی و سالانه رودخانه‌های استان مازندران با روش ناپارامتری مان–کندال با حذف اثر خود همبستگی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: حوزه‌های آبخیز استان مازندران منطقه مورد مطالعه می‌باشد. این ناحیه در حد فاصل عرض جغرافیایی شمالی ′۲۰ °۵۰ تا ′۱۰ °۵۴ و ′۴۵ °۳۵ تا ′۵۵ °۳۶ طول شرقی می‌باشد. مساحت استان مازندران ۲۳۸۱۳ کیلومتر مربع که معادل ۱/۴ درصد مساحت کل ایران است. اقلیم مازندران با توجه به وجود دریا، کوه و جنگل به دو نوع معتدل مرطوب و کوهستانی تقسیم می‌شود. پوشش گیاهی استان شامل جنگل، اراضی زراعی، مرتع و می‌باشد. در این پژوهش برای بررسی روند جریان آب رودخانه‌های استان مازندران از داده‌های میانگین دبی ماهانه در سه مقیاس زمانی سالانه، فصلی، ماهانه و دبی اوج برای چهار دوره ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ ساله استفاده شد. برای دوره ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ ساله به‌ترتیب از شش، نه، ۲۴ و ۴۲ ایستگاه برای آنالیز روند استفاده شد. قبل از انجام آزمون داده‌های دبی ماهانه، جهت همگن بودن داده‌ها از آزمون‌های همگنی (RUNTest) استفاده شد. همچنین جهت رفع نواقص آماری از روش تفاضل و نسبت‌ها استفاده شد. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های منتخب را نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه نشان داده شده است.

در این پژوهش، روند تغییرات سری‌های زمانی جریان ماهانه، فصلی، سالانه و دبی اوج ایستگاه‌های حوزه‌های آبخیز استان مازندران در چهار دوره ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ ساله به شرح جدول ۱ با آزمون ناپارامتری مان-کندال مورد بررسی قرار گرفت. شرط لازم برای استفاده از این آزمون، عدم وجود خودهمبستگی در سری زمانی داده‌ها می‌باشد. با این حال ممکن است داده‌ها دارای خودهمبستگی معنی‌دار باشند. بنابراین، لازم است تا ابتدا اثر خود همبستگی داده‌ها حذف شود تا بتوان از آزمون مان-کندال استفاده نمود. برای این منظور در این پژوهش از ویرایش اصلاح شده این آزمون استفاده شد (Kumar و همکاران، ۲۰۰۹). در این ویرایش ابتدا ضرایب همبستگی تا هر مرتبه‌ای که معنی‌دار باشند، محاسبه و اثر خودهمبستگی داده‌ها روی روند آن‌ها به‌طور

Archive of SID

www.SID.ir

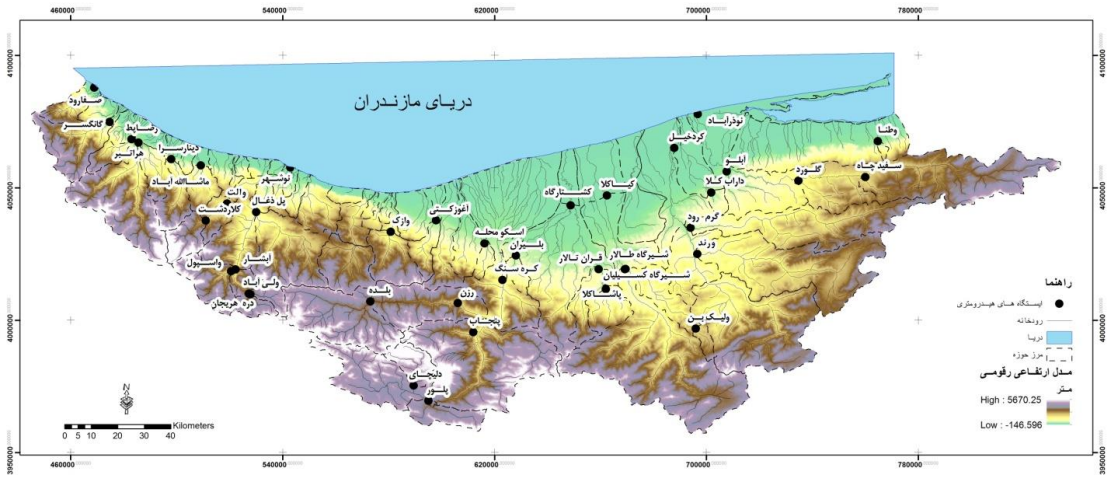
کامل حذف شد. سپس آزمون مان-کندال اصلاح شده برای هر مقطع زمانی انجام شد.

جدول ۱- مشخصات و موقعیت مکانی ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی در استان مازندران

ایستگاه	رودخانه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع m	مساحت حوضه Km^2	سال تأسیس
پلور	هراز	۵۲ ۳ ۲۳	۳۵ ۵۱ ۲۲	۲۲۵۰	۷۶۷	۱۳۳۰
دلیچای	هراز	۵۱ ۵۹ ۲۹	۳۵ ۵۵ ۴	۲۵۵۰	۱۹۰	۱۳۵۲
پنجاب	هراز	۵۲ ۱۴ ۴۱	۳۶ ۵ ۴۶	۹۷۴	۲۳۶	۱۳۵۲
ولیک بن	تالار	۵۳ ۱۰ ۲۴	۳۶ ۵ ۴۶	۱۰۹۵	۶۴	۱۳۴۹
رزن	هراز	۵۲ ۱۰ ۴۹	۳۶ ۱۱ ۴۷	۱۲۵۵	۱۱۸۲	۱۳۴۸
بلده	هراز	۵۱ ۴۹ ۱۴	۳۶ ۱۲ ۱۸	۱۹۷۰	۷۵۳	۱۳۴۹
دره هریجان	چالوس	۵۱ ۱۸ ۵۶	۳۶ ۱۳ ۵۷	۱۸۱۴	۸۵	۱۳۵۶
ولی‌آباد	چالوس	۵۱ ۱۸ ۱۰	۳۶ ۱۴ ۰	۱۷۴۹	۱۸۱	۱۳۶۱
پاشاکلا	بابلرود	۵۲ ۴۸ ۴	۳۶ ۱۴ ۱۴	۲۴۶	۲۱۱	۱۳۷۱
کره‌سنگ	هراز	۵۲ ۲۲ ۵	۳۶ ۱۶ ۲۵	۳۳۶	۳۹۸۷	۱۳۲۹
واسپول	چالوس	۵۱ ۱۳ ۴۹	۳۶ ۱۸ ۳۹	۹۶۳	۳۰۲	۱۳۷۲
قران‌تالار	بابلرود	۵۲ ۴۶ ۲۳	۳۶ ۱۸ ۱۸	۱۵۱	۴۰۷	۱۳۲۸
شیرگاه تالار	تالار	۵۲ ۵۳ ۱۰	۳۶ ۱۷ ۵۷	۲۲۰	۱۷۷۶	۱۳۲۹
شیرگاه کسیلیان	تالار	۵۲ ۵۳ ۱۴	۳۶ ۱۸ ۵	۲۵۲	۳۴۳	۱۳۳۴
آبشار	چالوس	۵۱ ۱۵ ۲۱	۳۶ ۱۹ ۵۰	۸۲۳	۵۸۶	۱۳۶۱
بلیران	بابلرود	۵۲ ۲۵ ۳۲	۳۶ ۲۱ ۳۲	۱۷۳	۸۲	۱۳۶۵
ورند	تجن	۵۳ ۱۱ ۲۱	۳۶ ۲۰ ۵۷	۲۸۳	۱۲۰۲	۱۳۴۸
اسکو محله	آلیش رود	۵۲ ۱۸ ۲۷	۳۶ ۲۳ ۲۶	۱۸۵	۸۱	۱۳۶۷
وازک	گلندرود	۵۱ ۵۴ ۱۵	۳۶ ۲۶ ۳۲	۵۸۳	۳۰۳	۱۳۷۲
گرم‌رود	تجن	۵۳ ۹ ۵۴	۳۶ ۲۶ ۱۷	۱۶۲	۸۷۷	۱۳۶۱
کلاردشت	سردآبرود	۵۱ ۷ ۲۱	۳۶ ۲۸ ۵۷	۱۳۸۷	۱۹۰	۱۳۳۶
آغوزکتی	لاویج	۵۲ ۵ ۰	۳۶ ۲۹ ۰	۹۹	۱۴۱	۱۳۷۹
پل‌ذغال	چالوس	۵۱ ۲۰ ۱۳	۳۶ ۳۰ ۳۸	۳۵۱	۱۵۸۳	۱۳۲۸
والت	سردآبرود	۵۱ ۱۲ ۴۵	۳۶ ۳۲ ۳۱	۱۰۱۸	۳۳۱	۱۳۵۴
کشتارگاه	بابلرود	۵۲ ۳۹ ۴۹	۳۶ ۳۲ ۴۳	-۱	۱۶۲۵	۱۳۲۸
کیاکلا	تالار	۵۲ ۴۸ ۴۱	۳۶ ۳۳ ۳۴	--۲	۲۳۸۷	۱۳۲۹
داراب‌کلا	دارابکلا	۵۳ ۱۵ ۷	۳۶ ۳۳ ۳۲	۱۵۳	۲۸	۱۳۴۸
گلورد	نکارود	۵۳ ۳۷ ۲۹	۳۶ ۳۵ ۱۹	۶۶۰	۱۴۲۸	۱۳۵۰
سفیدچاه	نکارود	۵۳ ۵۲ ۵۸	۳۶ ۳۵ ۵۵	۱۰۴۶	۱۰۳۷	۱۳۴۷
نوشهر	کورکورسر	۵۱ ۲۸ ۴۱	۳۶ ۳۹ ۲۷	-۲۴	۷۵	۱۳۴۸
آبلو	نکارود	۵۳ ۱۷ ۴۱	۳۶ ۳۸ ۵۴	۱۵	۱۹۰۶	۱۳۴۷
ماشاالله آباد	کاظمرود	۵۱ ۶ ۳	۳۶ ۴۰ ۱۱	۳۱	۱۵۱	۱۳۵۲
دینارسرا	آزادرود	۵۰ ۵۸ ۳۶	۳۶ ۴۱ ۴۷	۱۳۶	۲۲۵	۱۳۵۶
کردخیل	تجن	۵۳ ۶ ۱۷	۳۶ ۴۲ ۳۶	-۱۷	۴۰۲۷	۱۳۴۸
هراتبر	چشمه کیله	۵۰ ۵۰ ۱۳	۳۶ ۴۵ ۵۳	۱۲۲	۷۷۶	۱۳۴۸
وطنا	خلیج گرگان	۵۳ ۵۷ ۵۲	۳۶ ۴۳ ۱	۹۹	۱۸	۱۳۴۸
رضاپط	شیررود	۵۰ ۴۸ ۵۲	۳۶ ۴۵ ۲۸	۱۵۷	۱۰۸	۱۳۶۷
گانگسر	چالکرود	۵۰ ۴۳ ۵	۳۶ ۴۹ ۷	۷۳	۴۰۹	۱۳۴۴
نوذرآباد	نکارود	۵۳ ۱۴ ۳۱	۳۶ ۴۸ ۳۸	-۲۴	۲۰۱۷	۱۳۴۵
رامسر	صفارود	۵۰ ۳۷ ۴۳	۳۶ ۵۴ ۴۹	۸۳	۱۳۶	۱۳۴۴

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی در استان مازندران

آزمون مان-کندال[1]: در آزمون مان-کندال یا MK هر مقدار در سری زمانی به‌صورت پیوسته و پشت سرهم با بقیه مقادیر سری، مورد مقایسه قرار می‌گیرد. آماره S که حاصل جمع همه شمارش‌ها را نشان می‌دهد، به‌صورت زیر به‌دست می‌آید.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} \mathrm{sgn}(x_j - x_i) \qquad (۱)$$

که در آن، S آماره مربوط به آزمون مان-کندال، x_j و x_i به‌ترتیب مقدار مشاهداتی مربوط به داده jام و iام، n تعداد داده‌ها و $sgn(x_j-x_i)$ تابع علامت بوده و به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\mathrm{sgn}(x_j - x_i)\begin{cases} 1 & if \quad (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & if \quad (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & if \quad (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \qquad (۲)$$

مان و کندال نشان دادند که وقتی n>8 باشد، آماره S تقریباً به‌طور نرمال توزیع شده و میانگین آن صفر و انحراف معیار آن به شرح زیر می‌باشد.

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{n} t_i (t_i - 1)(2t_i + 5)}{18} \qquad (۳)$$

که در آن، S آماره مان-کندال که از رابطه (۱) با توجه به مقادیر داده‌ها محاسبه می‌شود. $V(S)$ واریانس آماره S است و اندیس i نشان‌دهنده شماره دسته iام است که دارای داده‌های مشابه هم در ترتیب تاریخی می‌باشند. T_i تعداد داده‌های یکسان در دسته iام می‌باشند. آماره آزمون استاندارد شده Z به شرح زیر می‌باشد.

$$Z = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{V(S)}} & S > 0 \\ 0 \quad S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{V(S)}} & S < 0 \end{cases} \qquad (۴)$$

آماره آزمون MK استاندارد شده Z از توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس واحد پیروی می‌کند. فرض صفر به شرطی پذیرفته می‌شود که قدر مطلق Z محاسبه شده از مقدار Z نرمال استاندارد در سطح معنی‌دار α کمتر باشد. در این پژوهش سطوح معنی‌دار یک و پنج درصد مورد استفاده قرار گرفت. اگر Z محاسبه شده بزرگ‌تر از رقم آستانه‌ای ۱/۹۶ باشد، روند داده‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار و در غیر این صورت، غیرمعنی‌دار فرض می‌شود. به همین ترتیب اگر Z محاسبه شده بزرگ‌تر از رقم ۲/۳۳ باشد، روند داده‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار فرض می‌شود. در غیر این صورت فرض صفر مبنی بر وجود روند در داده‌ها در سطح معنی‌دار مورد نظر، رد می‌شود.

نتایج و بحث

جدول‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ نتایج آنالیز روند آزمون مان-کندال اصلاح شده را برای رواناب ماهانه، فصلی، سالانه و دبی اوج در چهار دوره ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ ساله در سطح معنی‌داری یک، پنج و ۱۰ درصد، نشان

[1] Mann-Kendall Test

Archive of SID
www.SID.ir

می‌دهد. همان‌گونه که از جدول ۲ می‌توان استنباط کرد، برای دوره ۳۰ ساله برای اکثر ایستگاه‌ها روند منفی را شاهد هستیم. در دوره ۳۰ ساله، ۴۲ ایستگاه برای مطالعه انتخاب شد که آنالیز روند در مقیاس ماهانه نشان می‌دهد که ماه اردیبهشت دارای بیشترین تعداد ایستگاه‌ها از لحاظ دارا بودن روند مثبت در منطقه می‌باشد به‌طوری که در سطح اطمینان پنج و ۱۰ درصد به‌ترتیب چهار و پنج ایستگاه، روند مثبت معنی داری را تجربه کردند.

جدول ۲- روند متغیرهای دبی جریان رودخانه در سطح اطمینان ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد در دوره ۳۰ ساله

متغیر	تعداد ایستگاه‌های بدون روند	تعداد ایستگاه‌های دارای روند منفی				تعداد ایستگاه‌های دارای روند مثبت			
		Z منفی	>۹۰٪	>۹۵٪	>۹۹٪	Z مثبت	>۹۰٪	>۹۵٪	>۹۹٪
مهر	۲۳	۳۵	۱۷	۱۴	۶	۷	۲	۲	۱
آبان	۳۱	۲۴	۷	۷	۶	۱۷	۴	۲	۰
آذر	۲۸	۲۴	۹	۶	۴	۱۸	۵	۲	۰
دی	۳۰	۲۸	۱۰	۹	۵	۱۴	۲	۱	۱
بهمن	۳۲	۲۵	۷	۴	۳	۱۷	۳	۱	۰
اسفند	۳۰	۲۱	۸	۵	۴	۲۰	۴	۲	۰
فروردین	۲۶	۲۸	۱۱	۱۰	۴	۱۴	۵	۳	۰
اردیبهشت	۳۲	۲۱	۵	۴	۲	۲۱	۵	۴	۰
خرداد	۳۱	۲۲	۷	۵	۲	۱۹	۴	۳	۱
تیر	۳۴	۲۲	۶	۵	۳	۲۰	۲	۲	۱
مرداد	۳۰	۲۸	۱۱	۷	۲	۱۴	۱	۱	۰
شهریور	۳۱	۲۷	۹	۷	۲	۱۵	۲	۲	۰
پاییز	۳۰	۳۰	۱۱	۸	۶	۱۲	۱	۱	۰
زمستان	۲۸	۲۲	۱۱	۷	۵	۲۰	۳	۲	۰
بهار	۲۹	۲۵	۹	۶	۴	۱۷	۴	۴	۰
تابستان	۳۴	۲۸	۶	۵	۴	۱۳	۲	۱	۰
سالانه	۲۵	۲۶	۱۲	۹	۴	۱۵	۵	۳	۰
دبی اوج	۳۲	۱۹	۷	۶	۲	۲۲	۳	۱	۰

ماه مهر با دارا بودن هفت ایستگاه از لحاظ داشتن روند مثبت، کمترین تعداد ایستگاه‌ها را دارا می‌باشد. ۳۵ ایستگاه از ۴۲ ایستگاه در ماه آذر روند منفی را تجربه کرده‌اند که در سطوح معنی‌داری ۱۰، پنج و یک درصد به‌ترتیب دارای ۱۷، ۱۴ و شش ایستگاه دارای روند منفی معنی‌دار می‌باشند. به‌طوری که مشاهده می‌شود، اکثر ایستگاه‌ها دارای روند منفی و البته معنی‌داری را در اغلب ماه‌ها دارند. در مقیاس فصلی، فصل زمستان بیشترین تعداد ایستگاه‌های دارای روند مثبت را تجربه کرده است، به‌طوری که در سطح اطمینان ۱۰ و پنج درصد به‌ترتیب سه و دو ایستگاه دارای روند منفی معنی‌دار می‌باشند. البته در هیچ یک از ایستگاه‌ها در مقیاس فصلی، شاهد معنی‌داری یک درصد نبودیم. تعداد ۳۰ ایستگاه در فصل پاییز روند منفی را نشان دادند که شش ایستگاه آن در سطح اطمینان یک درصد معنی‌دار بوده‌اند. در مقیاس سالانه، ۲۶ ایستگاه روند منفی را تجربه کردند که چهار ایستگاه آن در سطح اطمینان یک درصد معنی‌دار بوده‌اند. آنالیز روند دبی اوج نشان می‌دهد که تعداد ایستگاه‌های با روند مثبت از تعداد ایستگاه‌های با روند منفی پیشی گرفته‌اند به‌طوری که ۲۲ ایستگاه مورد مطالعه دارای روند مثبت بوده‌اند. افزایش دما در طول این دوره و تحت تأثیر قرار دادن جریان رودخانه حوضه‌هایی که رژیم آن‌ها در فصل زمستان برفی

Archive of SID

www.SID.ir

می‌باشد، علت روند صعودی جریان در این ماه می‌باشد. همچنین روند منفی در سایر ماه‌ها به دلیل افزایش احتمال خشکسالی و کاهش نزولات باران می‌باشد (Ghezelsefloo و همکاران، ۲۰۱۱؛ Mirabbasi و Dinpazhoh، ۲۰۱۰).

برای دوره ۴۰ ساله ۲۴ ایستگاه برای مطالعه انتخاب شد (جدول ۳) که در مقیاس ماهانه، ماه آذر دارای بیشترین تعداد ایستگاه (۱۴ ایستگاه) از لحاظ دارا بودن روند مثبت، شناخته شد که در این میان، پنج ایستگاه در سطح اطمینان ۱۰ درصد معنی‌دار بوده‌اند. همچنین سه و یک ایستگاه به‌ترتیب در سطح اطمینان پنج و یک درصد، معنی‌دار بوده‌اند. به همین ترتیب ماه مهر ۱۸ ایستگاه دارای روند منفی بود که در سطوح اطمینان ۱۰، پنج و یک درصد به‌ترتیب چهار، چهار و سه ایستگاه دارای روند منفی معنی‌دار بودند. بعد از آن ماه فروردین با بیشترین تعداد ایستگاه (۱۷ ایستگاه) از لحاظ دارا بودن روند منفی در مرتبه دوم قرار دارد. در مقیاس فصلی، در فصول پاییز و زمستان، تعداد ۱۱ ایستگاه روند مثبت را تجربه کردند که در زمستان، تعداد ایستگاه‌های با روند مثبت معنی‌دار، بیشتر می‌باشد. فصل تابستان ۱۶ ایستگاه دارای روند منفی را تجربه کردند که در سطوح اطمینان ۱۰، پنج و یک درصد به‌ترتیب چهار، سه و دو ایستگاه روند منفی معنی‌دار را تجربه کردند.

جدول ۳- روند متغیرهای دبی جریان رودخانه در سطح اطمینان ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد در دوره ۴۰ ساله

متغیر	تعداد ایستگاه‌های بدون روند	تعداد ایستگاه‌های دارای روند منفی				تعداد ایستگاه‌های دارای روند مثبت			
		Z منفی	>۹۰٪	>۹۵٪	>۹۹٪	Z مثبت	>۹۰٪	>۹۵٪	>۹۹٪
مهر	۱۹	۱۸	۴	۴	۳	۶	۱	۰	۰
آبان	۱۸	۱۱	۳	۳	۳	۱۳	۳	۲	۱
آذر	۱۷	۱۰	۲	۱	۱	۱۴	۵	۳	۱
دی	۱۷	۱۳	۵	۴	۲	۱۱	۲	۱	۱
بهمن	۱۹	۱۲	۲	۲	۱	۱۲	۳	۳	۲
اسفند	۱۵	۱۳	۴	۳	۱	۱۱	۵	۲	۱
فروردین	۱۷	۱۷	۵	۳	۲	۷	۲	۲	۱
اردیبهشت	۱۳	۱۴	۷	۵	۳	۱۰	۴	۳	۳
خرداد	۱۴	۱۵	۶	۴	۳	۹	۴	۳	۱
تیر	۱۵	۱۴	۴	۴	۴	۱۰	۵	۲	۱
مرداد	۱۷	۱۴	۵	۵	۲	۱۰	۲	۱	۰
شهریور	۲۰	۱۲	۲	۲	۲	۱۲	۲	۲	۲
پاییز	۲۰	۱۳	۳	۳	۲	۱۱	۱	۱	۱
زمستان	۱۷	۱۳	۳	۳	۳	۱۱	۴	۳	۱
بهار	۱۴	۱۵	۷	۵	۳	۹	۳	۳	۲
تابستان	۱۷	۱۶	۴	۳	۲	۸	۳	۲	۱
سالانه	۱۴	۱۶	۵	۵	۴	۸	۵	۴	۲
دبی اوج	۱۸	۷	۱	۱	۰	۱۷	۵	۵	۱

در مقیاس سالانه، ۱۶ ایستگاه روند منفی را تجربه کردند که در سطح اطمینان یک درصد، چهار ایستگاه دارای روند منفی معنی‌دار می‌باشند. آنالیز روند دبی اوج نیز نشان می‌دهد که ۱۷ ایستگاه دارای روند مثبت می‌باشد که در سطح اطمینان ۱۰ درصد پنج ایستگاه دارای روند مثبت معنی‌دار می‌باشند. افزایش احتمال خشکسالی و شدت آن و کاهش نزولات باران در فصل‌های تابستان و پاییز (Khoshravesh و همکاران، ۲۰۱۶) منجر به روند صعودی معنی‌دار به‌ویژه در بخش شرقی استان شده است. همچنین

Archive of SID
www.SID.ir

افزایش دما و تغییر الگوی بارش از برف به باران، علت روند صعودی معنی‌دار در زمستان می‌باشد (Mirabbasi و Dinpazhoh، ۲۰۱۰).

برای دوره ۵۰ ساله، نه ایستگاه برای مطالعه انتخاب شد که در مقیاس ماهانه در ماه‌های دی، بهمن و اسفند هفت ایستگاه دارای روند مثبت بوده‌اند که تنها سه ایستگاه در این ماه‌ها دارای روند مثبت معنی‌دار در سطح ۱۰ درصد و همچنین دو ایستگاه دارای روند مثبت معنی‌دار در سطح پنج درصد بودند (جدول ۴). در ماه آذر هشت ایستگاه دارای روند مثبت بودند که در سطح اطمینان ۱۰ و پنج درصد به‌ترتیب دو و یک ایستگاه معنی‌دار بودند. ماه‌های مرداد و شهریور بیشترین ایستگاه‌ها از لحاظ دارا بودن روند منفی بودند که برای هریک از سطوح اطمینان، تعداد دو ایستگاه معنی‌دار بوده است. در فصل بهار، بیشترین ایستگاه‌ها را از لحاظ دارا بودن روند منفی شاهد هستیم که شامل شش ایستگاه که چهار ایستگاه آن در سطح یک درصد دارای روند نزولی معنی‌دار می‌باشد. در مقیاس سالانه، پنج ایستگاه دارای روند منفی می‌باشد که دو تا از این ایستگاه‌ها دارای روند منفی در سطح اطمینان یک درصد می‌باشد. چهار ایستگاه مورد مطالعه نیز بدون روند معنی‌داری را تجربه کرده‌اند. برای متغیر دبی اوج، دو ایستگاه دارای روند مثبت می‌باشد که یکی از آن‌ها دارای روند مثبت معنی‌دار در سطح ۱۰ درصد می‌باشد. هفت ایستگاه دارای روند منفی می‌باشد که در سطح اطمینان یک درصد، سه ایستگاه دارای روند منفی معنی‌دار می‌باشد (جدول ۴).

جدول ۴- روند متغیرهای دبی جریان رودخانه در سطح اطمینان ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد در دوره ۵۰ ساله

متغیر	تعداد ایستگاه‌های بدون روند	تعداد ایستگاه‌های دارای روند منفی				تعداد ایستگاه‌های دارای روند مثبت			
		Z منفی	>۹۰٪	>۹۵٪	>۹۹٪	Z مثبت	>۹۰٪	>۹۵٪	>۹۹٪
مهر	۲	۶	۴	۳	۱	۳	۰	۰	۰
آبان	۳	۴	۱	۱	۰	۵	۰	۰	۰
آذر	۱	۱	۰	۰	۲	۸	۲	۱	۰
دی	۰	۲	۲	۲	۰	۷	۰	۰	۰
بهمن	۲	۲	۰	۰	۰	۷	۱	۱	۰
اسفند	۲	۲	۰	۰	۱	۷	۲	۱	۰
فروردین	۳	۶	۳	۱	۲	۳	۱	۱	۰
اردیبهشت	۳	۶	۳	۲	۴	۳	۰	۰	۰
خرداد	۱	۵	۴	۴	۲	۳	۰	۰	۰
تیر	۲	۴	۲	۲	۲	۴	۰	۰	۰
مرداد	۵	۷	۲	۲	۲	۲	۰	۰	۰
شهریور	۵	۷	۲	۲	۱	۲	۰	۰	۰
پاییز	۳	۴	۱	۱	۰	۵	۰	۰	۰
زمستان	۲	۲	۰	۰	۴	۷	۲	۰	۰
بهار	۲	۶	۴	۴	۳	۳	۰	۰	۰
تابستان	۲	۵	۳	۳	۳	۴	۰	۰	۰
سالانه	۲	۵	۳	۳	۲	۴	۰	۰	۰
دبی اوج	۴	۷	۳	۳	۱	۲	۱	۰	۰

برای دوره ۶۰ ساله، در اکثر ایستگاه‌ها روند منفی را شاهد هستیم. به‌طوری که روند مثبت معنی‌داری در سطح ۱۰ و پنج درصد وجود دارد که برای ۱۰ درصد شامل چهار ایستگاه در ماه‌های آذر، بهمن و اسفند و همین‌طور برای سطح معنی‌داری پنج درصد تنها شامل دو ایستگاه در ماه‌های آذر و بهمن می‌باشد

Archive of SID

www.SID.ir

(جدول ۵). روندهای مثبت اکثرا در ماه‌های سرد (پاییز و زمستان) اتفاق افتاده است که تعداد ایستگاه‌های با روند مثبت، بیشتر از تعداد ایستگاه‌های منفی در فصل زمستان می‌باشد. به نظر می‌رسد روند افزایشی در فصل زمستان به‌دلیل افزایش دما و در نتیجه ذوب شدن برف در این فصل‌ها باشد که باعث افزایش دبی آب پایه و به تبع آن افزایش دبی رودخانه در طول زمان می‌شود. اما برای روندهای منفی، سطح معنی‌داری در سطوح ۱۰، پنج و یک درصد اتفاق افتاده است که بیشتر در فصل‌های گرم (بهار و تابستان) بوده است.

Burn و Hag Elnur (۲۰۰۲) هم در تحقیقات خود به نتایج مشابهی دست یافتند. در ماه‌های خرداد، مرداد و شهریور تمام شش ایستگاه مورد مطالعه دارای روند منفی می‌باشد که در ماه‌های خرداد و مرداد در سطح ۱۰ درصد، چهار ایستگاه معنی‌دار بوده است. از این میان در سطح پنج و یک درصد در ماه خرداد به‌ترتیب چهار و سه ایستگاه دارای روند منفی معنی-دار می‌باشد. تنها در ماه اسفند، ایستگاه‌ها روند منفی معنی‌داری تجربه نکردند اما دو ایستگاه از شش ایستگاه صرفاً روند منفی را شاهد بودیم. در مقیاس فصلی چهار ایستگاه دارای روند مثبت بوده است که یکی از ایستگاه‌ها دارای روند منفی معنی‌داری را در سطح ۱۰ درصد تجربه کردند. در فصل تابستان هر شش ایستگاه روند منفی را تجربه کردند که در سطح ۱۰، پنج و یک درصد به‌ترتیب چهار، سه و دو ایستگاه روند منفی معنی‌داری را شاهد هستیم.

برای فصل بهار هم پنج ایستگاه روند منفی را تجربه کردند که سه تا از این ایستگاه‌ها روند منفی در سطح معنی‌داری یک درصد را داشتند. در مقیاس سالانه پنج ایستگاه روند منفی معنی‌داری را تجربه کرده‌اند که چهار تا از این ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ۱۰ درصد معنی‌دار بوده‌اند. برای روند مثبت تنها یک ایستگاه روند مثبت را شاهد بودیم که معنی‌دار نبوده است. برای دبی اوج هر شش ایستگاه مورد مطالعه در دوره ۶۰ ساله دارای روند مثبت بود که برای سطح ۱۰، پنج و یک درصد به‌ترتیب چهار، سه و سه ایستگاه معنی‌دار بوده است.

جدول ۵- روند متغیرهای دبی جریان رودخانه در سطح اطمینان ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد در دوره ۶۰ ساله

متغیر	تعداد ایستگاه‌های بدون روند	تعداد ایستگاه‌های دارای روند منفی				تعداد ایستگاه‌های دارای روند مثبت			
		Z منفی	٪۹۰>	٪۹۵>	٪۹۹>	Z مثبت	٪۹۰>	٪۹۵>	٪۹۹>
مهر	۳	۵	۳	۲	۲	۱	۰	۰	۰
آبان	۴	۵	۲	۱	۱	۱	۰	۰	۰
آذر	۴	۲	۱	۱	۰	۴	۱	۱	۰
دی	۴	۲	۲	۲	۱	۴	۰	۰	۰
بهمن	۳	۲	۱	۰	۰	۴	۲	۱	۰
اسفند	۵	۲	۰	۰	۰	۴	۱	۰	۰
فروردین	۳	۵	۳	۲	۱	۱	۰	۰	۰
اردیبهشت	۲	۵	۴	۳	۲	۱	۰	۰	۰
خرداد	۲	۶	۴	۴	۳	۰	۰	۰	۰
تیر	۳	۴	۳	۲	۲	۲	۰	۰	۰
مرداد	۲	۶	۴	۴	۲	۰	۰	۰	۰
شهریور	۳	۶	۳	۲	۱	۰	۰	۰	۰
پاییز	۴	۴	۲	۲	۱	۲	۰	۰	۰
زمستان	۴	۲	۱	۱	۰	۴	۱	۰	۰
بهار	۱	۵	۵	۵	۳	۱	۰	۰	۰
تابستان	۲	۶	۴	۳	۲	۰	۰	۰	۰
سالانه	۲	۵	۴	۳	۲	۱	۰	۰	۰
دبی اوج	۲	۶	۴	۳	۳	۰	۰	۰	۰

Archive of SID

www.SID.ir

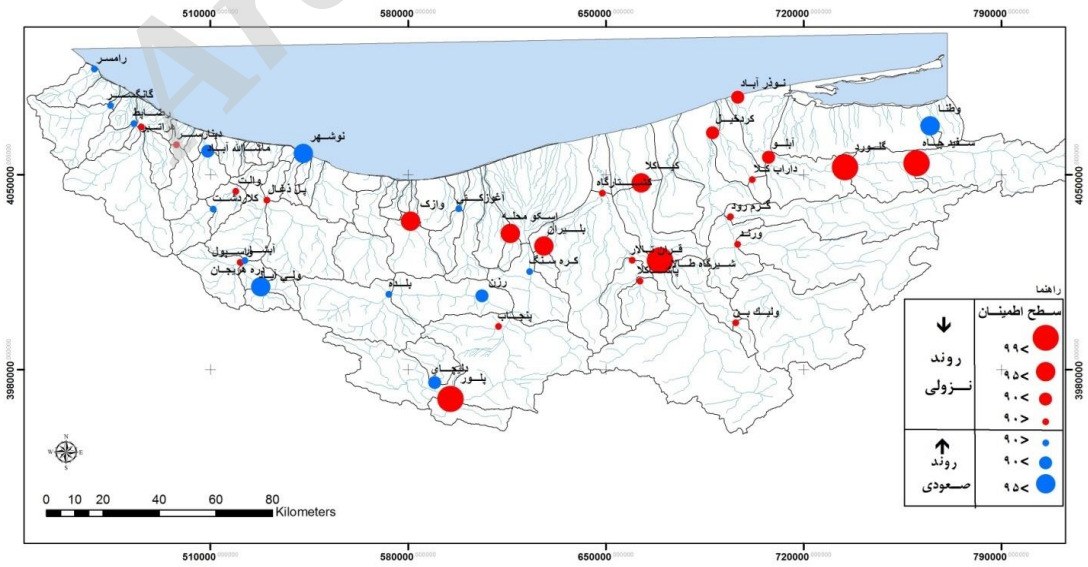
شکل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ الگوی مکانی روند تغییرات میانگین رواناب سالانه ایستگاه‌های هیدرومتری برای حوزه‌های آبخیز مازندران در دوره‌های ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ ساله را نشان می‌دهد. همان‌طور که شکل ۲ نشان می‌دهد، روند تغییرات میانگین رواناب سالانه در حوضه‌های شرق استان (شامل حوزه‌های آبخیز نکارود، تالار و هراز) دارای روند منفی معنی‌دار در سطح اعتماد یک درصد می‌باشد. اما هر چه به طرف غرب استان پیش می‌رویم، روند تغییرات مثبت معنی‌داری را شاهد هستیم (حوضه چالوس‌رود). الگوی مکانی تغییرات دبی سالانه نشان می‌دهد که اثرات تغییر اقلیم در شرق استان شدیدتر از سایر مناطق بوده است.

شکل ۳ الگوی مکانی روند تغییرات دبی سالانه در دوره ۴۰ ساله را برای حوزه‌های آبخیز استان مازندران نشان می‌دهد که روند تغییرات همانند دوره ۳۰ ساله دارای روند منفی معنی‌دار در شرق استان (حوزه‌های آبخیز نکارود، تجن و تالار) می‌باشد. همچنین، روند مثبت معنی‌دار در غرب استان (شامل حوضه‌های چالوس‌رود و رزن و لاویج) ملاحظه می‌شود.

شکل ۴ الگوی مکانی روند تغییرات دبی سالانه در دوره ۵۰ ساله را برای حوزه آبخیز استان مازندران نشان می‌دهد که روند تغییرات منفی معنی‌دار را برای حوزه‌های آبخیز تالار و بابلرود شاهد هستیم. برای حوزه آبخیز لاویج، سردآبرود و صفارود روند مثبتی را اما بدون معنی‌دار، در دوره ۵۰ ساله شاهد هستیم.

در شکل ۵ الگوی مکانی روند تغییرات دبی سالانه در دوره ۶۰ ساله برای حوزه‌های آبخیز تالار، بابل‌رود و هراز منفی و معنی‌دار در سطح اعتماد یک، پنج و ۱۰ درصد می‌باشد. برای حوزه آبخیز چالوس‌رود، روند مثبتی ولی بدون معنی‌دار شاهد هستیم.

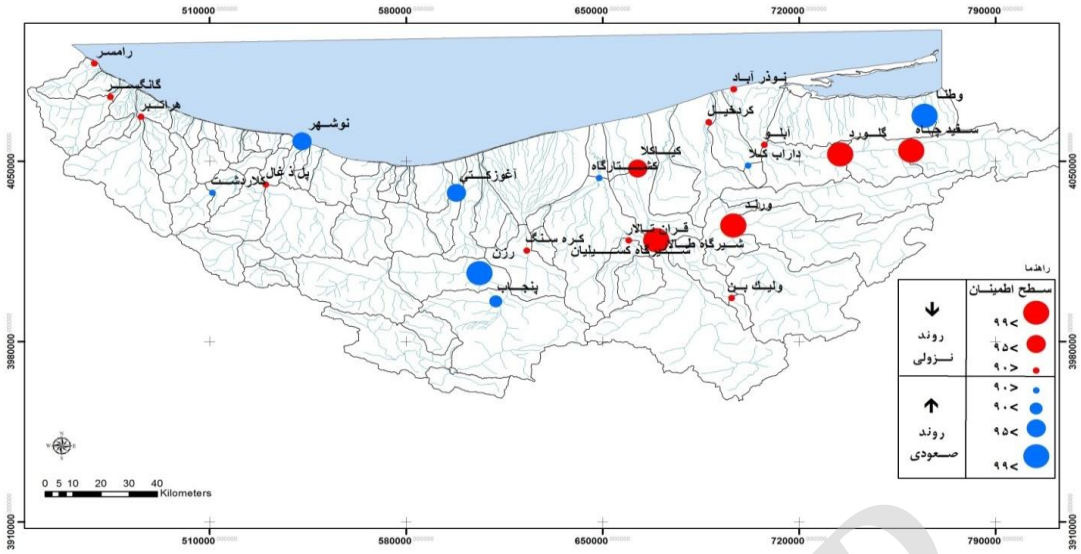
به‌طور کلی، بررسی روند تغییرات با استفاده از آزمون مان-کندال در حوزه‌های آبخیز مازندران نشان داد که اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه تغییر اقلیم روی رواناب رودخانه‌ها اثر شدیدی گذاشته است که باعث کاهش دبی رودخانه‌ها به‌ویژه در قسمت شرقی حوزه‌های آبخیز استان شده است. از طرفی، هرچه دوره مورد مطالعه جهت آنالیز روند تغییرات افزایش پیدا می‌کند، تعداد ایستگاه‌های دارای روند منفی افزایش یافته و همچنین بر شدت آن نیز افزوده می‌شود. به نظر می‌رسد روند افزایشی در فصل زمستان به دلیل افزایش دما و در نتیجه ذوب شدن برف در این فصل‌ها می‌باشد که باعث افزایش دبی آب پایه و به تبع آن افزایش دبی رودخانه در طول زمان باشد. افزایش روند مثبت در دبی اوج در دوره ۳۰ و ۴۰ ساله به دلیل تغییرات در الگوی بارش می‌باشد. به‌عبارت دیگر شدت بارش در طول زمان افزایش و مدت آن کاهش پیدا کرده است که باعث افزایش دبی اوج و سیلاب‌های مخرب شده است.



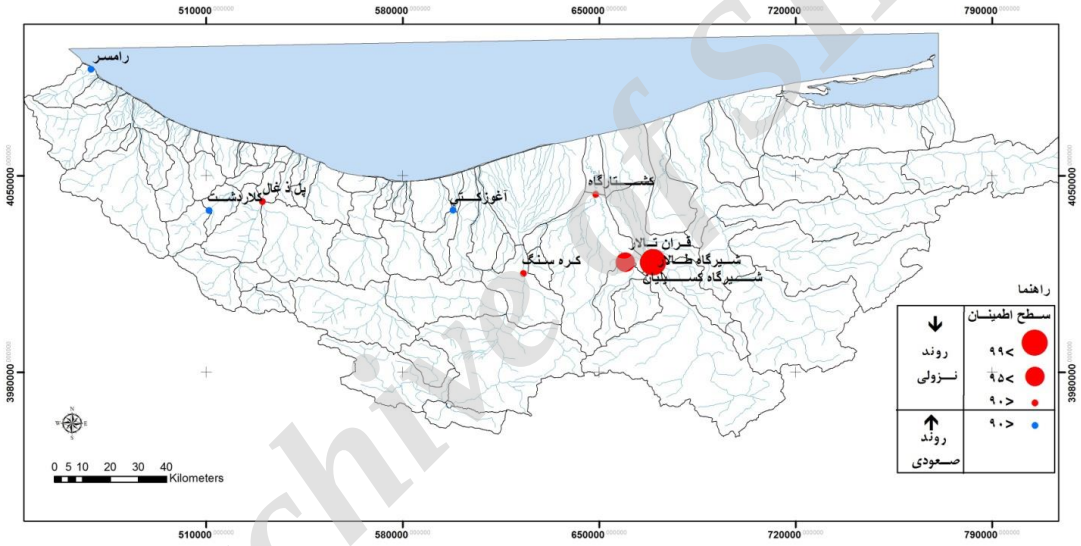
شکل ۲- الگوی مکانی روند تغییرات میانگین رواناب سالانه ایستگاه‌های هیدرومتری در دوره ۳۰ ساله

Archive of SID

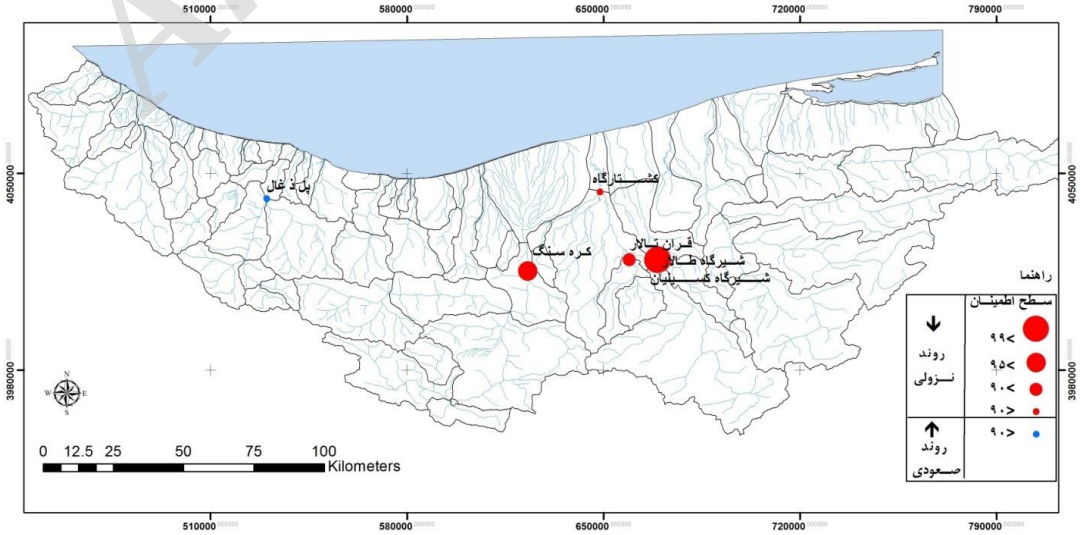
www.SID.ir



شکل ۳- الگوی مکانی روند تغییرات میانگین رواناب سالانه ایستگاه‌های هیدرومتری در دوره ۴۰ ساله



شکل ۴- الگوی مکانی روند تغییرات میانگین رواناب سالانه ایستگاه‌های هیدرومتری در دوره ۵۰ ساله



شکل ۵- الگوی مکانی روند تغییرات میانگین رواناب سالانه ایستگاه‌های هیدرومتری در دوره ۶۰ ساله

Archive of SID
www.SID.ir

نتیجه‌گیری

در این پژوهش روند دبی ماهانه، فصلی، سالانه و اوج رودخانه‌های استان مازندران در چهار دوره ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ ساله با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال با حذف اثر خود همبستگی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در دوره ۳۰ ساله، ۳۵ ایستگاه از ۴۲ ایستگاه مورد بررسی در ماه مهر دارای روند منفی می‌باشد. ماه اردیبهشت نیز دارای بیشترین تعداد روند مثبت در دوره ۳۰ ساله می‌باشد. در مقیاس فصلی، فصل پاییز، ۳۰ ایستگاه روند منفی را تجربه کردند و زمستان نیز ۲۰ ایستگاه از ۴۲ ایستگاه، روند مثبت را تجربه کردند. در مقیاس سالانه نیز بیشتر ایستگاه‌ها (۲۶ ایستگاه) روند منفی را تجربه کردند. برای دبی اوج ۲۲ ایستگاه روند مثبت و ۱۹ ایستگاه روند منفی را تجربه کردند. اما تعداد روند منفی معنی‌دار در سطح اطمینان ۱۰ درصد برای منطقه مورد مطالعه بیشتر می‌باشد.

در دوره ۴۰ ساله، ۱۸ ایستگاه از ۲۴ ایستگاه مورد بررسی در ماه مهر دارای روند منفی می‌باشد. ماه آذر نیز دارای بیشترین تعداد روند مثبت در دوره ۴۰ ساله می‌باشد. در مقیاس فصلی، فصل تابستان، ۱۶ ایستگاه روند منفی را تجربه کردند و زمستان و پاییز نیز ۱۱ ایستگاه از ۲۴ ایستگاه، روند مثبت را تجربه کردند. در مقیاس سالانه نیز بیشتر ایستگاه‌ها (۱۶ ایستگاه) روند منفی را تجربه کردند. برای دبی اوج، اکثر ایستگاه‌ها (۱۷ ایستگاه) روند مثبت را تجربه کردند.

در دوره ۵۰ ساله، نه ایستگاه مورد آزمون قرار گرفت که در مقیاس ماهانه، هفت ایستگاه از نه ایستگاه مورد بررسی در ماه مرداد و شهریور دارای روند منفی می‌باشد. ماه‌های فصل زمستان نیز دارای بیشترین تعداد روند مثبت در دوره ۵۰ ساله می‌باشد. از طرفی تعداد ایستگاه‌های دارای روند منفی معنی‌دار برای ماه‌های مختلف بیشتر شده است. در مقیاس فصلی، فصل بهار، شش ایستگاه روند منفی را تجربه کردند و زمستان نیز هفت ایستگاه از نه ایستگاه، روند مثبت را تجربه کردند. در مقیاس سالانه نیز پنج ایستگاه روند منفی را تجربه کردند. در دوره ۵۰ ساله، برای دبی اوج اکثر ایستگاه‌ها (هفت ایستگاه) روند منفی را تجربه کردند.

در دوره ۶۰ ساله، شش ایستگاه مورد آزمون قرار گرفت که در مقیاس ماهانه، اکثر ماه‌ها روند منفی شدیدی را تجربه کردند که در این میان اکثر ماه‌های فصل تابستان و بهار دارای بیشترین روند منفی معنی‌دار می‌باشد. ماه‌های فصل زمستان نیز دارای بیشترین تعداد ایستگاه‌های دارای روند مثبت می‌باشد. در مقیاس فصلی، فصل تابستان، شش ایستگاه روند منفی را تجربه کردند و زمستان نیز چهار ایستگاه از شش ایستگاه، روند مثبت را تجربه کردند. در مقیاس سالانه پنج ایستگاه روند منفی را تجربه کردند که چهار ایستگاه آن روند منفی معنی‌دار داشته است. در دوره ۶۰ ساله، برای دبی اوج، همه ایستگاه‌ها (هفت ایستگاه) روند منفی را تجربه کردند.

Ghezelsefloo و همکاران (۲۰۱۱) روند منفی را در اکثر ایستگاه‌ها و ماه‌های مورد بررسی در آذربایجان شرقی، گزارش دادند. Mirabbasi و Dinpazhoh (۲۰۱۰) به نتایجی مشابه مطالعه اخیر رسیدند که جریان رودخانه‌های شمال غرب ایران در مقیاس سالانه در همه ایستگاه‌های مورد بررسی دارای روند منفی می‌باشد. Marofi و Tabari (۲۰۱۱) نیز روند منفی را در همه ایستگاه‌ها مشاهده کردند. Sahoo و Smith (۲۰۰۹) تغییر در رژیم فصلی رواناب رودخانه‌ها در منطقه سن آنتانیو در ایالات متحده را مطالعه و نشان دادند که روند رواناب ۳۳ درصد ایستگاه‌ها در فصل زمستان مثبت و معنی‌دار می‌باشد. Birsan و همکاران (۲۰۰۵) افزایش رواناب را در فصل زمستان در ۴۸ ایستگاه گزارش دادند که با نتایج صورت گرفته در این مطالعه هم‌خوانی دارد. آن‌ها دلیل آن را افزایش در درجه حرارت هوای سوئیس می‌دانند که به نظر می‌رسد در این منطقه نیز روند مثبت اغلب جریان رواناب در ماه‌های زمستان به دلیل افزایش درجه حرارت در فصل سرد باشد. Khoshravesh و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی روند متغیرهای هیدروکلیماتولوژی در حوضه نکارود، نتیجه گرفتند که با کم شدن میزان بارش در بالادست حوضه، دبی متوسط سالانه و کم‌آب از روند نزولی شدیدی برخوردار می‌باشند.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع مورد استفاده

1. Bassiouni, M. and D.S. Oki. 2013. Trends and shifts in streamflow in Hawai'i, 1913–2008. Hydrological Processes, 27: 1484–1500.
2. Birsan, M.V., P. Molnar, P. Burlando and M. Bfoundler. 2005. Streamflow trends in Switzerland. Journal of Hydrology, 314: 312-329.
3. Burn, D.H. and M.A. Hag Elnur. 2002. Detection of hydrological trends and variability. Journal of Hydrology, 255(1–4): 107–122.
4. Chartzoulakis, K. and G. Psarras. 2005. Globalchange effects on crop photosynthesis and production in Mediterranean: the case study of Greece. Agriculture, Ecosystems and Environment, 106: 147 157.
5. Chen, Z., Y. Chen and B. Li. 2013. Quantifying the effects of climate variability and human activities on runoff for Kaidu River Basin in arid region of north-west China. Theoretical and Applied Climatology, 111: 537–545.
6. Douglas, E.M., R.M. Vogel and C.N. Kroll. 2000. Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation. Journal of Hydrology, 240: 90–105.
7. Farrokhi, A. and A. Abrishamchi. 2009. Detection of streamflow trends and variability in Karun River, Iran as parts of climate change and climate variability. World Environmental and Water Resources Congress, 2009: 1-12.
8. Ghezelsefloo, M., Y. Dinpazhoh, M.A. Ghorbani and A. Fakherifard. 2011. Trend analysis of the flow in time changes of rivers in East Azerbaijan Province. Journal of Irrigation Sciences and Engineering, 1: 71-81(in Persian).
9. Carter, T.R., M. Hulme and M. Lal. 1999. IPCC-TGCIA, guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment, Eds. Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment, 69 pages.
10. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B Averyt, M. Tignor and H.L Miller. 2007. IPCC, Summary for Policymakers, in: Climate Change. Eds. Cambridge University Press, Cambridge, 1-18.
11. Khaliq, M.N., T. Ouarda, P. Gachon, L. Sushama and A. St-Hilaire. 2009. Identification of hydrological trends in the presence of serial and cross correlations: A review of selected methods and their application to annual flow regimes of Canadian rivers. Journal of Hydrology, 368: 117-130.
12. Khoshravesh, M., J. Abedi-Koupai and E. Nikzad-Tehrani. 2016. Detection of trend in hydro-climatological variables using parametric and non-parametric tests in Neka Basin. Journal of Water and Soil Science, 19(74): 1-14 (in Persian).
13. Kumar, S., V. Merwade, J. Kam and K. Thurner. 2009. Streamflow trends in India a: effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. Journal of Hydrology, 374(1-2): 171-183.
14. Lins, H.F. and J.R. Slack. 1999. Stream flow trends in the United States. Geophysical Research Letters, 26: 227–230.
15. Marofi, S. and H. Tabari. 2011. Detection of trend in discharge variable of Maroon River using parametric and non-parametric tests. Geographical Research, 2: 17119-17141 (in Persian).
16. Masih, I., S. Uhlenbrook, S. Maskey and V. Smakhtin. 2011. Streamflow trends and climate linkages in the Zagros Mountains, Iran. Climatic Change, 104: 317-338.
17. Maurer, E.P. 2007. Uncertainty in hydrologic impacts of climate change in the Sierra Nevada, California, under two emissions scenario. Climatic Change, 82: 309–325.
18. McCabe, G.J. and D.M. Wolock. 2002. A step increase in streamflow in the conterminous United States. Geophysical Research Letters, 29(24): 38.1–38.4.
19. Mirabbasi, R. and Y. Dinpazhoh. 2010. Trend analysis of streamflow across the north-west of Iran in recent three decades. Journal of Water and Soil, 24(4): 757-768 (in Persian).
20. Monlar, P. and J.A. Ramirez. 2001. Recent trends in precipitation and streamflow in the Rio Puerco Basin. Journal of Climate, 14: 2317-2328.
21. Rahbar, E., M. Pakparvar, M. Masoudi and L. Jokar. 2005. The trend of runoff variable in Kharroud Basin. Iranian Journal of Range and Desert Research, 12: 357-375 (in Persian).
22. Sahoo, D. and P.K. Smith. 2009. Hydroclimatic trend detection in a rapidly urbanizing semi-arid and coastal river basin. Journal of Hydrology, 367: 217-227.

Archive of SID

www.SID.ir

23. Shaban, A. 2008. Indicators and aspects of hydrological drought in Lebanon. Water Resource Research, 23(10): 1875-1891.
24. Steele-Dunne, S., P. Lynch, R. McGrath, T. Semmler, S. Wang, J. Hanafin and P. Nolan. 2008. The impacts of climate change on hydrology in Ireland. Journal of Hydrology, 356: 28–45.
25. Zhang, Q., C.Y. Xu, S. Becker and T. Jiang. 2006. Sediment and runoff changes in the Yangtze River basin during past 50 years. Journal of Hydrology, 331: 511-523.

Archive of SID

www.SID.ir

Analysis of streamflow trend in Mazandaran rivers using non-parametric Mann-Kendal test

Ali Koulaian[*1], Mojtaba Khoshravesh[2], Nima Mohammadigolafshani[3] and Mohammadjavad Mirzaee[4]

[1] MSc, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran, [2] Assistant Professor, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran, [3] MSc, Hydraulic Structures, Sciences and Research Branch of Islamic Azad University, Iran and [4]Assistant Professor, Faculty of Agricultural Engineering and Animal Husbandry, The Education Complex of Agriculture and Animal Science of Torbat-e-Jam

Received: 23 February 2016 Accepted: 26 June 2016

Abstract

Nowadays, the impacts of climate change evaluation on watershed hydrological resources is the most important task before any water resources planning. Stream flow trend was analyzed using non parametric Man-Kendall test conducted for 30, 40, 50 and 60 year periods in three, monthly, seasonal and annual time-scales and also peak discharge in Mazandaran Province watersheds. Results showed that the increase in Greenhouse gases and consequently climate change influenced severely on river stream flow which led to reduced river stream flows, especially in the eastern parts of the region the trend analysis results showed that most of hydrometric stations had significant downward trend especially in summer season and only they experienced positive trend in winter. It seems that increase in winter season is due to temperature rise and consequently melting of snow which led to increase of base-flow and upward trend during the studied period. Results of peak flow trend analysis showed that upward trend for recent four decades is due to changes in precipitation pattern. The research achievement may considerably help in forecasting the upcoming drought, irrigation planning and water resources management.

Key words: Climate change, Mazandaran catchments, Time-scale, Trend analysis, Water resources

Archive of SID

[*] Corresponding Author: a.koolaian@sanru.ac.ir

www.SID.ir