اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۳، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۵، ص ۴۷۶-۴۶۵

مطالعهٔ اثر تغییرات بارش بر میزان آبدهی رودخانهٔ درکه طی سال‌های ۱۳۶۸ـ ۱۳۹۱

نگین بینش[۱]، محمدحسین نیک‌سخن[۲*]، امین سارنگ[۳]

۱. دانشجوی دکترای مهندسی محیط زیست- منابع آب، دانشگاه تهران

۲. دانشیار دانشکدهٔ محیط زیست دانشگاه تهران

۳. استادیار دانشکدهٔ محیط زیست دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۰۸/۲۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۰۹/۲۰)

چکیده

بارش و دبی جریان از مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی هستند که بررسی و شناسایی رفتار آنها در مدیریت منابع آب اهمیت زیادی دارد. از مناسب‌ترین روش‌های موجود برای ارزیابی شرایط هیدروکلیماتولوژی در حوضه‌های آبریز، تحلیل روند است که به‌منظور بررسی تغییرات یک متغیر در طول زمان استفاده می‌شود. تحقیق حاضر در دو بخش انجام شده است که در بخش اول به بررسی اثر تغییرات بارش بر دبی رودخانهٔ درکه طی سال‌های ۱۳٦۸- ۱۳۹۱ می‌پردازد. بدین‌منظور از داده‌های بارش ماهانهٔ ثبت‌شده در ایستگاه هفت‌حوض- درکه استفاده شده و آزمون‌هایی مثل روش گرافیکی من- کندال و رگرسیون خطی به‌کار گرفته شده است. همچنین ناهنجاری‌های بارش و آبدهی رودخانه طی دورهٔ ۲٤ سالهٔ مطالعه‌شده بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد سری زمانی بارش در حوضهٔ درکه روندی مثبت و افزایشی داشته، هر چند این روند معنادار نیست. آبدهی رودخانه نیز در دورهٔ بررسی‌شده با شیب بسیار اندکی افزایش یافته است و روند ندارد. درمجموع، می‌توان نتیجه گرفت که به‌جز برخی بازه‌های زمانی خاص، افزایش و کاهش بارش و دبی همسو نبوده است. بخش دوم به پیش‌بینی بارش آیندهٔ حوضه با استفاده از مدل اقلیمی MRI-CGCM2.3.2a تحت سناریوی انتشار A1B در سه افق زمانی ۲۰۳۰، ۲۰٦۰، و ۲۰۹۰ می‌پردازد. نتایج درمجموع نشان از کاهش مقدار بارش حوضه در دورهٔ آتی دارد.

کلیدواژگان: آبدهی رودخانه، پیش‌بینی بارش، رگرسیون خطی، مدل اقلیمی، من- کندال.

* نویسندهٔ مسئول مقاله

Email: niksokhan@ut.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

تغییرات آب و هوایی در دهه‌های اخیر بیشتر متأثر از افزایش دی‌اکسید کربن و دیگر گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر و ناشی از فعالیت‌های انسانی و صنعتی‌شدن جوامع است [۱ و ۲] که سبب برهم‌خوردن تعادل آب و هوایی کرهٔ زمین شده است [۳ و ۴]. پدیدهٔ تغییر اقلیم بر دما و بارش و نیز سایر پارامترهای اقلیمی مؤثر و از این طریق بر چرخهٔ هیدرولوژی و منابع آب نیز تأثیرگذار است. دما فراسنجی هیدرومتئورولوژی است که نوسان‌های بزرگ آن با ناهنجاری‌های فراوانی در چرخهٔ هیدرولوژی کرهٔ زمین همراه است؛ به‌طوری که در برخی نواحی کرهٔ زمین موجب افزایش و در برخی مناطق موجب کاهش بارش می‌شود. مهم‌ترین پیامد این تغییر ایجادشده در چرخهٔ هیدرولوژیکی، تمایل آن به سوی رفتارهای مرزی و وقایع حدی چون بارش‌های سیل‌آسا و خشکسالی‌های گسترده است که خسارت‌های اقتصادی و اجتماعی بسیاری را در بخش‌های زیرساختی، منابع آب و کشاورزی به دنبال دارد و اختلال جدی در برنامه‌ریزی‌های توسعهٔ منطقه‌ای را سبب می‌شود [۵].

پارامترهای اقلیمی به‌دلایل متعددی در مقیاس زمان و مکان تغییر می‌کنند که لازم است چگونگی تغییرات آنها براساس مشاهدات و با بهره‌گیری از روش‌های آماری تعیین شود. تحلیل روند از مهم‌ترین روش‌های آماری است که کاربرد فراوانی در بررسی‌های مختص‌به ارزیابی تأثیرات بالقوهٔ تغییر اقلیم بر سری‌های زمانی هیدرولوژیکی دارد [۶]. فرایندهای هیدرولوژیکی بیشتر فرایندهایی ایستا شناخته می‌شوند؛ اما مطالعات جدید نشان داده است که بسیاری از سری‌های زمانی هیدرولوژیکی روند و تغییرپذیری بلندمدت دارند که می‌تواند ناشی از تأثیرات فعالیت‌های انسانی یا ویژگی‌های طبیعی آب و هوای کرهٔ زمین باشد [۳].

از سال ۱۹۸۷ سازمان جهانی هواشناسی[1] بر لزوم تحقیق دربارهٔ تأثیرات تغییر اقلیم بر منابع آب تأکید کرد [۳ و ۷]. بررسی‌ها نیز نشان می‌دهند مطالعهٔ روند در بارندگی‌ها به‌ویژه از دههٔ ۱۹۸۰ به بعد به شکل گسترده‌ای مورد توجه بوده است. به‌طور مثال نتایج مطالعهٔ ژانگ و همکارانش [۸] روی روند بارش‌های کانادا در طول قرن بیستم نشان از روند افزایشی در بارش سالانه داشت، هرچند که این روند در فصل زمستان کاهشی بود. در مطالعهٔ آکرینرمت و مک‌گین [۹] در زمینهٔ روند تغییرات مکانی و زمانی بارش در کانادا، افزایش معناداری در مقدار بارش و تعداد روزهای بارانی مشاهده شد. این محققان همچنین نشان دادند افزایش بارش و تعداد روزهای بارانی در سرتاسر منطقهٔ مطالعه‌شده یکنواخت نیست. کتیرایی بروجردی و همکارانش [۱۰] روند تغییرات روزانهٔ بارندگی در ۳۸ ایستگاه را در کشور ایران طی دورهٔ آماری ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۱ بررسی کردند. نتایج شامل روندهای افزایشی و کاهش در موارد مختلف بود. بارش فصل بهار در اغلب ایستگاه‌های بررسی‌شده روند کاهشی نشان داد. وانگ و ژو [۱۱] نشان دادند بارش متوسط سالانهٔ چین در جنوب غرب، شمال غرب و شرق روند افزایشی و در مرکز، شمال و شمال شرق روند کاهشی داشته است. حجام و همکارانش [۱۲] به تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوضهٔ مرکزی ایران پرداختند. نتایج نشان داد بارندگی ایستگاه‌ها با روند کاهشی مواجه بوده است. همچنین پال و ال‌ـ تابا [۱۳] در بررسی روند بارش فصلی در هند با استفاده از تکنیک‌های آماری پارامتری و غیرپارامتری نتیجه گرفتند که بارش، روند کاهشی در فصل‌های بهار و تابستان و روند افزایشی در پاییز و زمستان داشته است. بابائیان و همکارانش [۵] رفتار منابع آب حوضهٔ قره‌قوم تحت شرایط تغییر اقلیم را بررسی کردند. یافته‌های پژوهش آنها نشان از کاهش بارش و نیز کاهش دبی رودخانه در دوره‌های زمانی آتی داشت. جهانبخش اصل و همکارانش [۴] نیز تغییرات دما و بارش ناشی از تغییر اقلیم را در حوضهٔ شهرچای ارومیه بررسی کردند که نتایج نشان از کاهش بارش و افزایش دما در آینده نزدیک داشت.

از آنجا که ازجمله پیامدهای تغییر در مقدار و رژیم بارش، دگرگونی در جریان آبراهه‌هاست [۱۴]، تأثیرات تغییر اقلیم بر تعیین روند سری زمانی دبی رودخانه‌ها نیز در مطالعات متعددی بررسی شده است. تحقیق انجام‌شده توسط لتنمایر و همکارانش [۱۵] در تعدادی از ایالت‌های آمریکا نشان داد روند تغییر جریان در آبراهه‌ها به‌طور کامل همسو با تغییرات بارش و دما نیست. در حالی که برن و النور [۱۶] خلاف آن را برای نقاطی از کانادا نشان دادند. از جملهٔ این مطالعات، می‌توان به بررسی رهبر و مسعودی [۱۷] اشاره کرد که روند تغییرات رواناب در رودخانهٔ کردان واقع در زیرحوضهٔ قزوین را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد روند تغییرات

1. WMO

Archive of SID

www.SID.ir

رواناب سالانه و در فصول بهار و پاییز به‌طور معناداری رو به افزایش است. بررسی جریان آبراهه‌ها توسط کومار و مرواده [۱۸] در ۳۱ ایستگاه اندازه‌گیری دبی در کشور در یک دورهٔ آماری ۵۰ ساله، بیانگر وجود روند افزایشی در جریان‌های متوسط و کم بود. ژائو و همکارانش [۱۹] نیز نتایج مشابهی را در حوضهٔ دریاچهٔ پویانگ[1] چین گزارش کردند [۱۴]. عزتی و همکارانش [۲۰] روند تغییر دبی رودخانهٔ قزل‌اوزن را به‌روش آزمون من‌ـ کندال مطالعه کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد شدت جریان رودخانهٔ قزل‌اوزن در مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه در همهٔ ایستگاه‌ها روند نزولی داشت که این نتایج در سطح ۵ درصد معنادار است و تأثیر تغییر اقلیم بر کاهش جریان سطحی در این رودخانه را نشان می‌دهد. سلامی و همکارانش [۲۱] روند متغیرهای آب و هواشناسی در حوضهٔ بنو[2] و رودخانهٔ نیجر[3] در نیجریه را تحلیل کردند و بدین‌منظور از آزمون ناپارامتری من‌ـ کندال استفاده کردند. نتایج نشان از کاهش رواناب در بیشتر ایستگاه‌های بررسی‌شده داشت. این محققان کاهش رواناب و سطح آب در رودخانه را پیامد احتمالی پدیدهٔ تغییر اقلیم گزارش کردند و نتیجه گرفتند که کاهش آبدهی رودخانه نشانه‌ای از کاهش در منابع آب در زیرحوضهٔ بررسی‌شده است که می‌تواند به کاهش جریان ورودی به مخزن سدهای واقع در حوضه منجر شود.

مطالب یادشده نشان می‌دهد شناسایی پدیدهٔ تغییر اقلیم نخستین گام در جهت مدیریت آن و نیز برنامه‌ریزی منابع آب است. بنابراین، مقالهٔ حاضر به تحلیل روند سری زمانی بارش در حوضهٔ آبریز درکه و بررسی تأثیر آن بر روند سری زمانی آبدهی رودخانهٔ درکه، طی یک دورهٔ ۲۴ ساله می‌پردازد. در ادامه، مواد و روش‌های به‌کار گرفته‌شده در این تحقیق شرح داده شده است و سپس نتایج و بحث در زمینهٔ آنها آورده می‌شود.

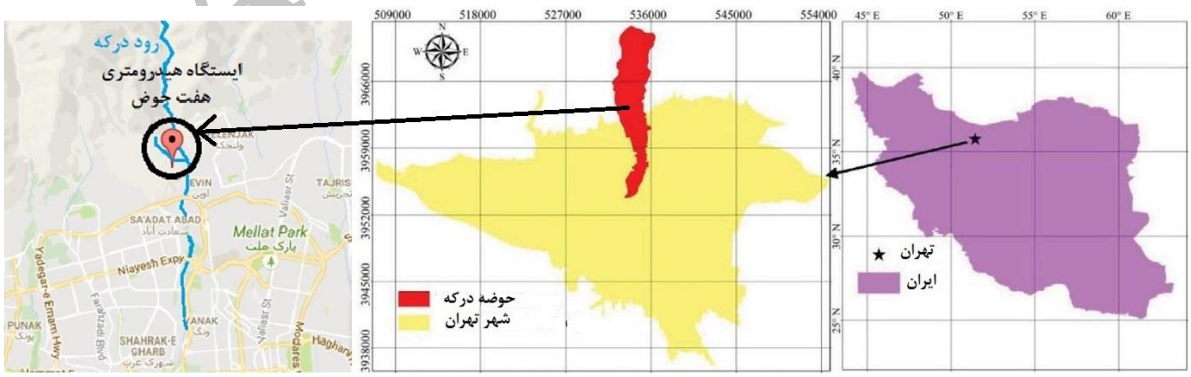
مواد و روش‌ها

محدودهٔ مطالعه‌شده

با توجه به اینکه در ایستگاه هفت‌حوض‌ـ که تنها ایستگاه موجود در محدودهٔ مطالعه‌شده است‌ـ تنها داده‌های بارش ماهانه مختص‌به تعداد محدودی از سال‌های آماری ثبت شده است، به‌منظور آشکارسازی تغییرات بارش در دورهٔ گذشته، درهٔ آماری ۲۴ ساله ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۱ به‌کار گرفته شد. به‌منظور مقایسهٔ تطبیقی روند تغییر بارش و دبی، داده‌های میانگین سالانهٔ دبی نیز در همین ۲۴ سال بررسی شد. شایان یادآوری است که ایستگاه هفت‌حوض‌ـ درکه درواقع ایستگاهی هیدرومتری است، اما آمار ثبت‌شدهٔ بارش نیز دارد و به‌دلیل نبود ایستگاه هواشناسی در محدودهٔ مطالعه‌شده، داده‌های ثبت‌شده توسط این ایستگاه به‌منظور افزایش دقت نتایج استفاده شد. مشخصات ایستگاه هفت‌حوض در جدول ۱ آمده است. شکل ۱ نیز موقعیت این ایستگاه را در حوضهٔ آبریز درکه نشان می‌دهد.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه هواشناسی استفاده‌شده

نام ایستگاه	ارتفاع (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
هفت‌حوض‌ـ درکه	۱۷۰۰	۵۱° ۲۳′ ۰۰″	۳۵ ۴۸′ ۰۰″



شکل ۱. موقعیت ایستگاه هیدرومتری هفت‌حوض در حوضهٔ آبریز درکه [۲۲ و ۲۳]

1. Poyang
2. Benue
3. Niger

Archive of SID

www.SID.ir

بازسازی نواقص آماری

به‌منظور استفاده از داده‌های ثبت‌شدهٔ بارش، گام نخست تکمیل و بازسازی آنهاست. آمار بارش ثبت‌شده در ایستگاه هفت‌حوض- درکه داده‌های مفقود دبی ماهانه در سال ۱۳۷۱ بود که با استفاده از داده‌های ایستگاه رودک و به‌روش نسبت‌ها بازسازی شد. همچنین داده‌های پرت حذف شدند.

براساس روش نسبت‌ها، تطویل و بازسازی داده‌های مفقود با استفاده از داده‌های ثبت‌شده در ایستگاه مجاور که آمار کامل و معتبر داشته باشد، صورت می‌گیرد که در این مطالعه، ایستگاه رودک به‌عنوان ایستگاه مبنا در نظر گرفته شد. بدین‌ترتیب که میانگین داده‌های ثبت‌شدهٔ بارش در سال‌های مشترک آماری برای هریک از دو ایستگاه (ایستگاه مبنا و ایستگاه دارای داده‌های مفقود) محاسبه و از رابطهٔ ۱ مقدار بارش در مقطع زمانی مد نظر بازسازی می‌شود [۱ و ۲۴]:

$$P_{ai} = P_{bi} \times \frac{P_A}{P_B} \qquad (۱)$$

در رابطهٔ ۱ P_{ai} بارش مفقودشده در ماه iاُم در ایستگاه مد نظر، P_{bi} بارش ایستگاه مبنا در همان ماه iاُم، P_A میانگین بارش در سال‌های مشترک آماری برای ایستگاه مد نظر، و P_B میانگین بارش در سال‌های مشترک آماری برای ایستگاه مبناست.

روش‌های استفاده‌شده در این تحقیق برای آشکارسازی اثر بارش بر دبی رودخانه، روش‌هایی چون آزمون گرافیکی من- کندال و رگرسیون خطی است. همچنین آنومالی (ناهنجاری) تغییرات بارش نیز بررسی شده است. در ادامه آزمون من- کندال به‌اختصار معرفی می‌شود. از توضیح آزمون رگرسیون خطی به‌دلیل سادگی آن صرف‌نظر می‌شود.

آزمون من- کندال

آزمون من- کندال یکی از روش‌های متداول ناپارامتری تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به‌شمار می‌رود. این آزمون ابتدا توسط من[1] [۲۵] ارائه و سپس توسط کندال[2] [۲۶] توسعه یافت [۲۷ و ۲۸]. از جمله مزایای این روش می‌توان به مناسب‌بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی اشاره کرد که از توزیع خاصی پیروی نمی‌کنند. از دیگر قوت‌های این روش، اثرپذیری ناچیز آن از مقادیر حدی است که در برخی سری‌های زمانی مشاهده می‌شود [۱۲].

در این روش، دو عامل U_i و U'_i محاسبه و برای بررسی روند، در کنار یکدیگر ترسیم می‌شوند تا با توجه به موقعیت آنها نسبت به یکدیگر، بتوان معناداری یا بی‌معنابودن روند را مشخص کرد. در صورتی که مقادیر آنها از دو مقدار عددی آستانه ۲/۵۸ ± (در سطح احتمال ۱ درصد) یا ۱/۹۶ ± (در سطح احتمال ۵ درصد) و یا ۱/۶۴ ± (در سطح احتمال ۱۰ درصد) تجاوز کند، روند معنادار و در صورتی که میان این دو آستانه قرار گیرند، روند غیرمعنادار است. در شرایطی که دو خط U_i و U'_i یکدیگر را قطع کنند، نقطهٔ تقاطع، نقطهٔ جهش (تغییر ناگهانی) محسوب می‌شود، که اگر پس از این جهش، دو خط یادشده در یک حریم و محدوده باشند، جهش معنادار نخواهد بود، اما چنانچه از حریم یکدیگر تجاوز و محدوده را به‌طور کل یا موقت ترک کنند، جهش معنادار خواهد بود. همچنین در صورت معناداری روند، معمولاً دو نمودار در نقطهٔ آغازین یکدیگر را قطع و در جهات مخالف یکدیگر حرکت می‌کنند. در حالی که در شرایط نبود روند، دو دنبالهٔ U_i و U'_i تقریباً به‌صورت موازی حرکت کرده و یا با چند بار برخورد، به‌طوری که به تغییر جهت آنها منجر نشود، حرکت می‌کنند [۲۹].

محاسبهٔ ناهنجاری‌های سری زمانی بارش

به‌منظور محاسبهٔ ناهنجاری‌های سری‌های زمانی بارش، از روابط ۲ و ۳ استفاده شد. آنومالی (ناهنجاری) به‌معنای میزان تغییرات سالانهٔ یک پارامتر اقلیمی از مقدار نرمال (بلندمدت) آن است [۳۰].

$$P_a = \frac{(P - \bar{P})}{\bar{P}} \times ۱۰۰ \qquad (۲)$$

$$\bar{P} = \frac{۱}{n} \sum_{i=۱}^{n} P_i \qquad (۳)$$

که در آن P_a درصد آنومالی بارش، P مقدار بارش سالانه، و $\bar{P}$ میانگین بلندمدت بارندگی، n طول دورهٔ آماری، و i=۱، ۲، و....، n است [۳۱].

پیش‌بینی بارش در دورهٔ آتی

بخش دوم این مقاله به پیش‌بینی بارش حوضهٔ آبریز درکه در سه دورهٔ زمانی آینده (نزدیک، متوسط و دور) اختصاص

1. Mann
2. Kendall

Archive of SID
www.SID.ir

دارد. بدین‌منظور از مدل‌های جفت‌شده اقیانوس- جوّ (AOGCM) استفاده می‌شود. این مدل‌ها برپایهٔ قوانین فیزیکی استوارند که به‌وسیلهٔ روابط ریاضی ارائه می‌شوند. این روابط در یک شبکهٔ سه‌بعدی با مقیاس مکانی افقی ۲۵۰ تا ۶۰۰ کیلومتر و ۱۰ تا ۲۰ لایه در اتمسفر و ۳۰ لایه در اقیانوس در سطح کرهٔ زمین حل می‌شوند [۱]. در تحقیق حاضر با بررسی دقت مدل‌های مختلف گردش عمومی جوّ مختص‌به گزارش چهارم IPCC، تصمیم بر آن شد تا از مدل MRI-CGCM2.3.2a که بهتر از سایر مدل‌ها امکان شبیه‌سازی بارش حوضهٔ بررسی‌شده را فراهم می‌کند، در تخمین بارندگی در دوره‌های آتی استفاده شود. دورهٔ زمانی پایه با توجه به توصیهٔ IPCC لازم بود یکی از دوره‌های ۱۹۶۱ـ ۱۹۹۰ و یا ۱۹۷۱ـ ۲۰۰۰ انتخاب شود [۳۲]. اما با توجه به موجودیت داده‌های تنها ایستگاه واقع در حوضهٔ بررسی‌شده (ایستگاه هفت‌حوض) از سال ۱۳۶۸ به بعد، درنهایت دورهٔ زمانی ۱۱ ساله ۱۹۹۰-۲۰۰۰ به‌عنوان دورهٔ پایهٔ محاسبات انتخاب شد. شبیه‌سازی بارش آینده نیز در سه دورهٔ زمانی ۱۱ ساله در افق‌های ۲۰۳۰، ۲۰۶۰، و ۲۰۹۰ تحت سناریوی انتشار A1B صورت گرفت. شایان یادآوری است که ریزمقیاس‌سازی خروجی‌های مدل گردش عمومی جوّ (MRI-CGCM2.3.2a) با استفاده از روش عامل تغییر صورت گرفت که توضیحات تکمیلی در زمینهٔ این روش را می‌توان دریافت [۱].

نتایج و بحث

نتایج این تحقیق در دو بخش: الف) روند بارش حوضه در دورهٔ گذشته و اثر احتمالی آن بر تغییر روند آبدهی رودخانهٔ درکه و ب) پیش‌بینی تغییرات بارش حوضهٔ بررسی‌شده در سه دورهٔ زمانی آینده ارائه می‌شود.

بررسی روند بارش و دبی در دورهٔ گذشته

شکل ۲ مجموع بارش سالانه و فصلی رودخانهٔ درکه را براساس داده‌های ثبت‌شده در ایستگاه هفت‌حوض طی دورهٔ آماری ۲۴ ساله (۱۳۶۸ـ ۱۳۹۱) نشان می‌دهد. همان گونه که در نمودارهای ترسیم‌شده مشخص است، میزان بارش در فصل زمستان بیشترین و در فصل تابستان کمترین است. به‌طوری که ماه‌های فروردین، آذر و اسفند پربارش‌تر از سایر ماه‌هاست، در حالی که از ماه خرداد تا مهر بارش ناچیزی را در حوضهٔ درکه شاهدیم.

دبی ماهانه و فصلی نیز در شکل ۳ به تصویر کشیده شده است. در نمودارهای این شکل ملاحظه می‌شود که رود درهٔ درکه کمترین میزان دبی خود را در فصل تابستان و اوایل پاییز (ماه‌های تیر تا مهر) داراست، در حالی که از اواخر زمستان تا اواخر فصل بهار، رودخانه آبدهی نسبتاً خوبی دارد. میزان دبی رودخانه در ماه‌های فروردین و اردیبهشت بیشترین است، که این مسئله را می‌توان براساس اضافه‌شدن آب به‌دست‌آمده از ذوب برف‌ها در اوایل فصل بهار به رواناب رگبارهای بهاری توجیه کرد.

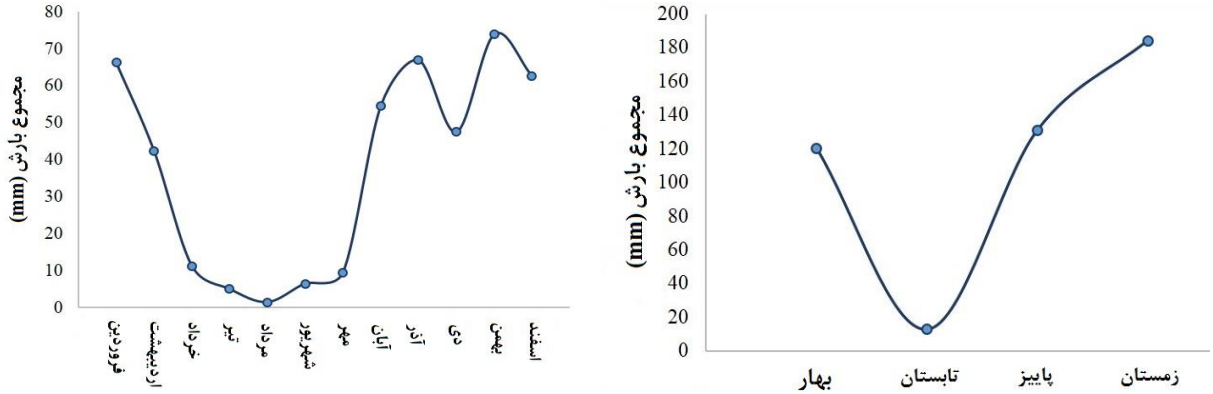
بنابراین، با توجه به نمودارهای ترسیم‌شده برای بارش و دبی، به نظر می‌رسد که در فصول و ماه‌هایی که افزایش بارش اتفاق می‌افتد، افزایش در آبدهی رودخانه را نیز شاهدیم.

به‌منظور بررسی بیشتر در این زمینه، در ادامه از آزمون رگرسیون خطی در تعیین روند بارش و دبی استفاده می‌شود. جدول‌های ۲ و ۳ نتایج آزمون رگرسیون خطی را برای بارش و دبی ماهانه، فصلی، و سالانه ارائه می‌دهند. همان طور که از جدول ۲ مشخص است، تنها در فصل پاییز روند سری زمانی بارش در سطح اطمینان ۹۰ درصد معنادار است و در سایر موارد، روند معناداری در سری زمانی بارش طی دورهٔ ۲۴ ساله بررسی‌شده در ایستگاه هفت‌حوض- درکه مشاهده نمی‌شود. با این‌حال، می‌توان نتیجه گرفت که روند تغییرات بارش در این دورهٔ زمانی در تمام فصول مثبت و رو به افزایش بوده است.

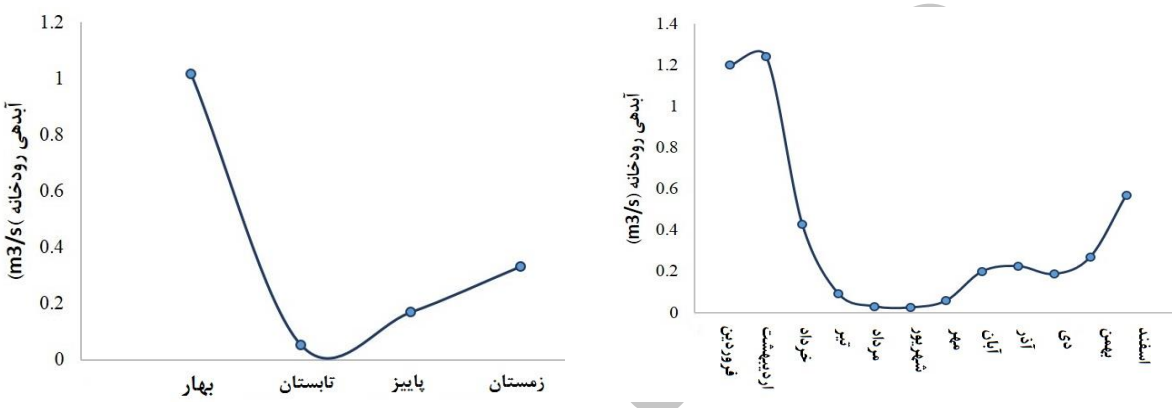
در زمینهٔ دبی رودخانه نیز نتایج ارائه‌شده در جدول ۳ گویای آن است که طی دورهٔ زمانی ۱۳۶۹ـ ۱۳۹۱ آبدهی رودخانه روندی مثبت داشته است، اما این روند در هیچ‌یک از فصول سال معنادار نیست و با شیب بسیار ملایمی رو به افزایش داشته است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲. نمودار مجموع بارش ماهانه و فصلی در ایستگاه هیدرومتری هفت‌حوض- درکه طی دورهٔ آماری ۱۳۶۸- ۱۳۹۱



شکل ۳. نمودار میانگین ماهانه و فصلی دبی در ایستگاه هیدرومتری هفت‌حوض- درکه طی دورهٔ آماری ۱۳۶۸- ۱۳۹۱

جدول ۲. نتایج آزمون رگرسیون خطی برای بارش فصلی و سالانهٔ ایستگاه هفت‌حوض- درکه (دورهٔ زمانی ۱۳۶۸- ۱۳۹۱)

	بارش سالانه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
شیب خط رگرسیون	۱/۰۹۵	-۰/۸۵	-۰/۲۵	۰/۴	۱/۷۶*

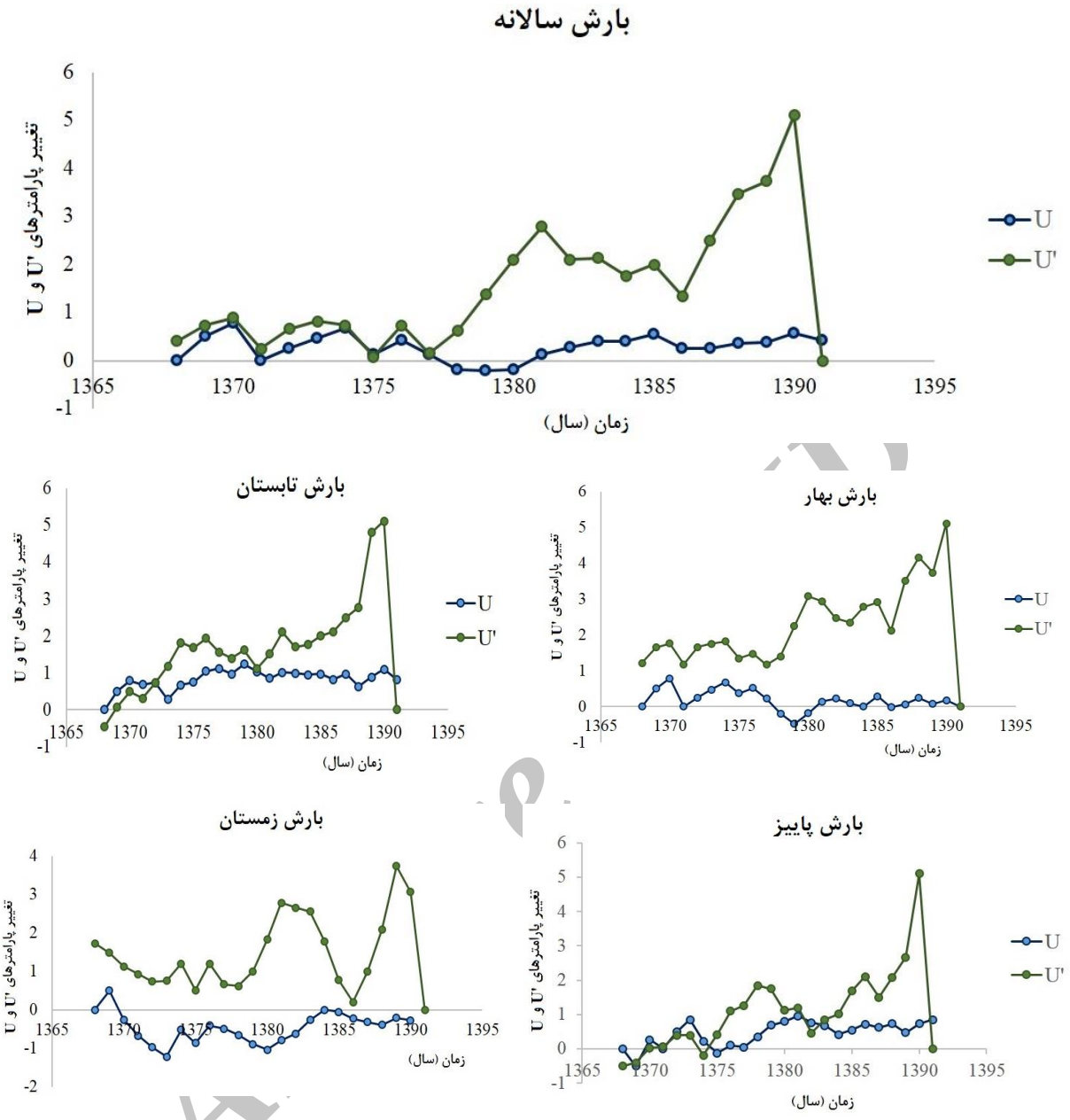
علامت * نشانگر سطح معناداری در سطح ۵ درصد است.

جدول ۳. نتایج آزمون رگرسیون خطی برای دبی فصلی و سالانهٔ ایستگاه هفت‌حوض- درکه (دورهٔ زمانی ۱۳۶۸- ۱۳۹۱)

	دبی سالانه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
شیب خط رگرسیون	-۰/۰۰۶	-۰/۰۰۲	-۰/۰۲۵	-۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱

در ادامه، بررسی‌های تکمیلی درخصوص وجود داشتن یا نداشتن روند در سری زمانی بارش و دبی رودخانه، از طریق آزمون گرافیکی من- کندال انجام می‌شود که یک آزمون ناپارامتری است. همان طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، براساس آزمون من- کندال، روند تغییر بارش در فصول مختلف، با نوسانات زیادی همراه است و معنادار نیست. در زمینهٔ بارش سالانه، در سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۷۴، ۱۳۷۵، و ۱۳۷۷ جهش‌های غیرمعناداری مشاهده می‌شود که سبب تغییرات اندک در روند افزایشی یا کاهشی بارش شده است. این در حالی است که در فصول بهار و زمستان، جهشی در روند تغییرات بارندگی دیده نمی‌شود. دربارهٔ فصل تابستان، چنین جهش‌هایی در سال‌های ۱۳۷۲ و ۱۳۸۰ رخ داده است و در فصل پاییز نیز جهش‌هایی متعدد و فاقد معنا در سال‌های ۱۳۶۹، ۱۳۷۱، ۱۳۷۲، ۱۳۷۵، ۱۳۸۱، و ۱۳۸۳ شاهد هستیم که نتیجهٔ آن، تنها ایجاد نوسان در روند بارندگی بوده است.

Archive
www.SID.ir

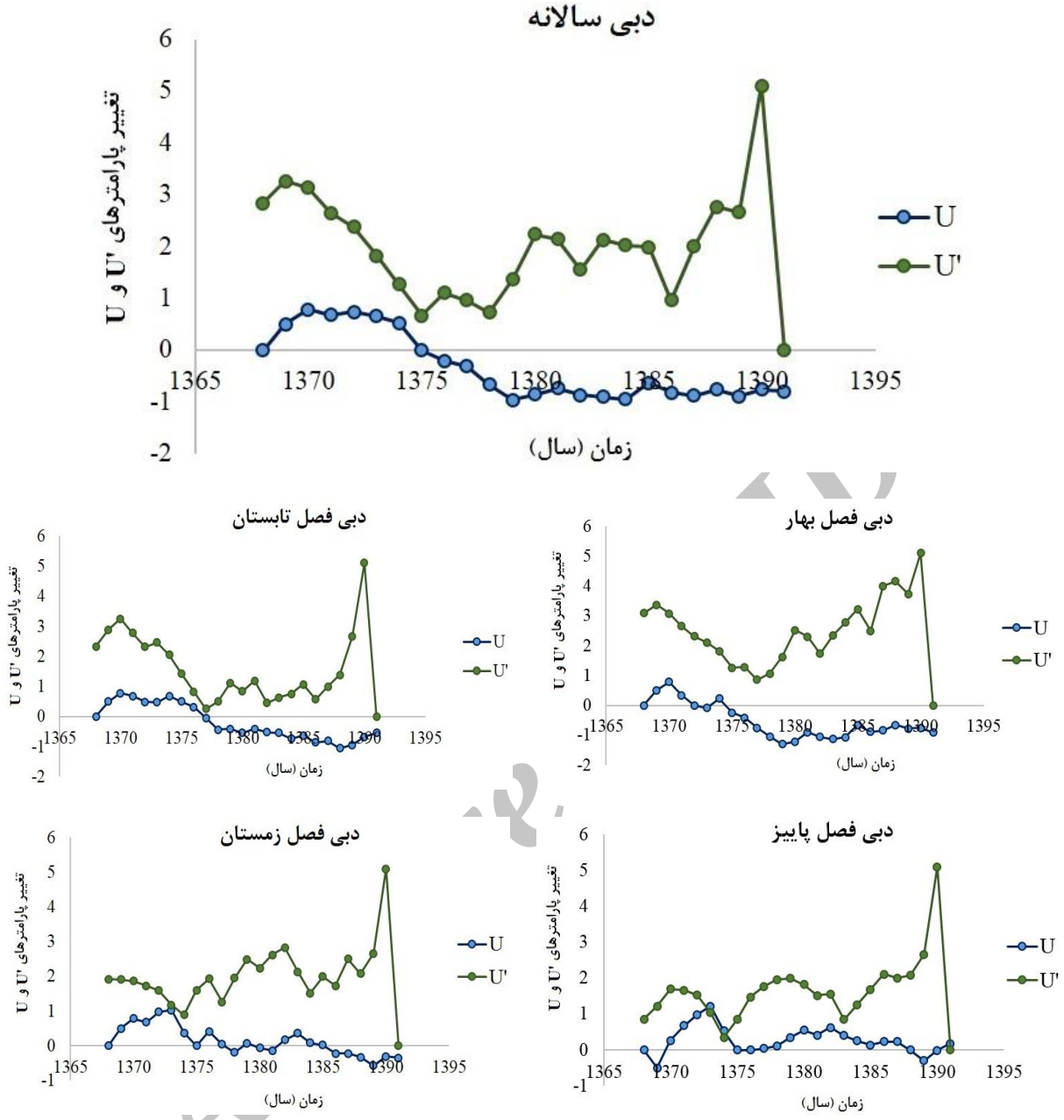


شکل ۴. تغییرات پارامترهای U و U' به‌دست‌آمده از آزمون من‌ـ کندال برای سری زمانی بارش در فاصلهٔ سال‌های ۱۳۶۸ـ ۱۳۹۱

نتایج آزمون من‌ـ کندال سری زمانی دبی در شکل ۵ نیز نشان می‌دهد روند تغییرات آبدهی رودخانه نیز همچون متغیر هواشناسی بارش، معنادار نیست و این روند در دو دههٔ اخیر، در مجموع رو به کاهش بوده است. جهش معناداری در هیچ‌یک از سری‌های زمانی دبی سالانه و فصلی رودخانهٔ درکه در دورهٔ بررسی‌شده مشاهده نمی‌شود، تنها در فصل زمستان یک جهش در سال ۱۳۷۳ رخ داده و در فصل پاییز نیز جهش‌هایی را در سال‌های ۱۳۷۳ و ۱۳۷۴ شاهد هستیم که تنها نوسانات جزئی در روند تغییرات آبدهی را موجب شده‌اند.

نتایج این بررسی نشان می‌دهد از دههٔ ۱۳۷۰ و به‌ویژه پس از سال ۱۳۷۵، دبی رودخانهٔ درکه رو به کاهش نهاده است که این کاهش آبدهی در فصول پاییز و زمستان با یک جهش همراه بوده است.

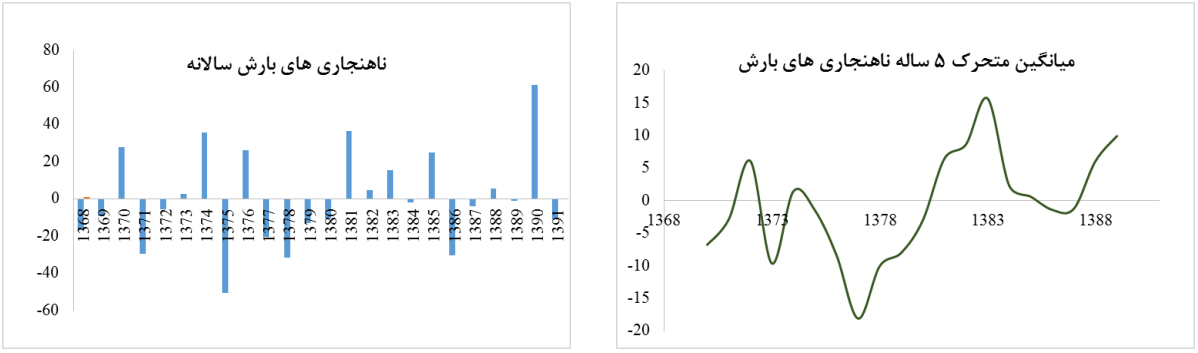
www.SID.ir



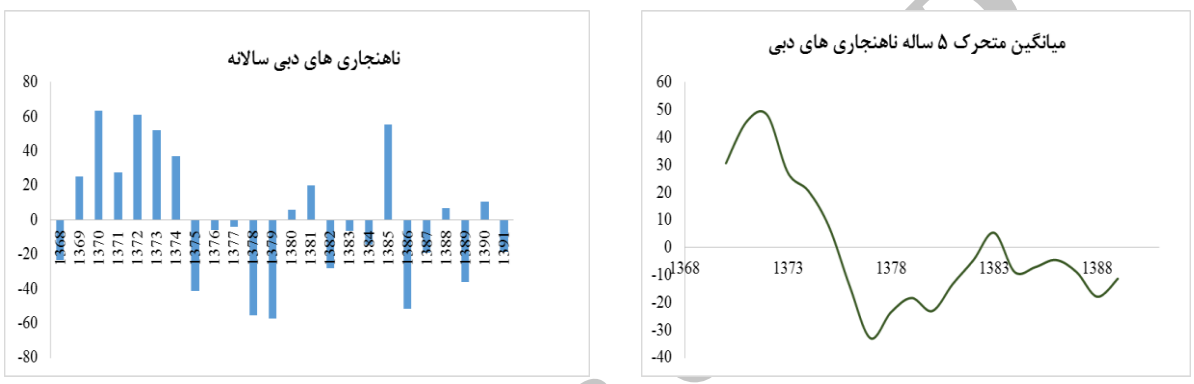
شکل ۵. تغییرات پارامترهای U و U' به‌دست‌آمده از آزمون من‌ـ کندال برای سری زمانی دبی در فاصله سال‌های ۱۳۶۸-۱۳۹۱

به‌منظور به‌دست‌آمدن دید جامع‌تر در زمینهٔ چگونگی تغییرات بارش و دبی در فاصلهٔ زمانی سال‌های ۱۳۶۸ـ ۱۳۹۱، نمودار ناهنجاری‌های بارش و دبی سالانه در شکل‌های ۶ و ۷ به همراه میانگین متحرک پنج‌سالهٔ آنها رسم شده است. همان گونه که در بخش مواد و روش‌ها توضیح داده شد، منظور از ناهنجاری، تغییرات متغیر مد نظر (بارش یا دبی) نسبت به میانگین بلندمدت آن است. نتایج این بررسی نوسانات متعدد بارش را در دورهٔ زمانی بررسی‌شده نشان می‌دهد، به‌طوری که در برخی سال‌ها ناهنجاری‌های مثبت بارش و در برخی سال‌ها ناهنجاری منفی را برای بارندگی شاهدیم. نمودار میانگین متحرک نیز نشان می‌دهد در دههٔ ۱۳۷۰، بیشتر ناهنجاری بارش در منطقهٔ مطالعه‌شده منفی بوده است، اما می‌توان گفت که در دههٔ ۱۳۸۰ درمجموع با ناهنجاری مثبت در سری زمانی بارش سالانه مواجه بوده‌ایم، بدین‌معنا که مقدار بارش سالانه از میانگین بلندمدت آن بیشتر بوده است.

www.SID.ir



شکل ۶. نمودارهای ناهنجاری‌های بارش سالانه و میانگین متحرک آن



شکل ۷. نمودارهای ناهنجاری‌های دبی سالانه و میانگین متحرک آن

در زمینهٔ دبی، از اواخر دههٔ ۱۳۶۰ تا اواسط دههٔ ۱۳۷۰، ناهنجاری مثبت را برای آبدهی رودخانهٔ درکه مشاهده می‌کنیم؛ بدین‌معنا که میزان دبی رودخانه از میانگین بلندمدت آبدهی در دورهٔ بررسی‌شده بیشتر بوده است؛ اما در ادامهٔ دههٔ ۱۳۷۰، آبدهی رودخانه از میانگین بلندمدت آن کمتر شده است و ناهنجاری منفی را در این مدت شاهدیم. در دو دههٔ اخیر نیز تغییر ناهنجاری‌های دبی رودخانهٔ درکه با نوساناتی همراه بوده و در برخی سال‌ها مثبت و در برخی دیگر منفی بوده است. با این‌حال، با مشاهدهٔ نمودار میانگین متحرک این تغییرات می‌توان این‌گونه برداشت کرد که در مجموع در دو دههٔ اخیر، آبدهی این رودخانه از میانگین بلندمدت آن کمتر بوده است.

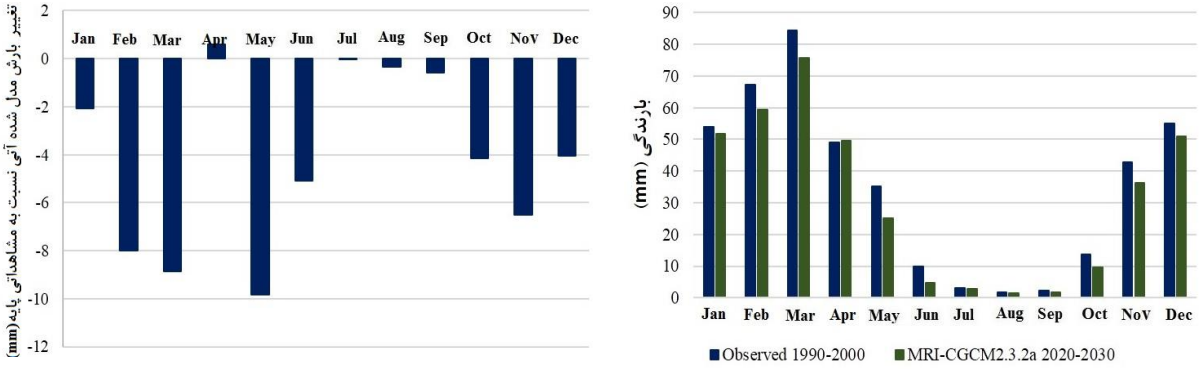
پیش‌بینی بارش آیندهٔ حوضهٔ درکه

شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ تغییرات بارش مدل‌سازی‌شده را نسبت به دورهٔ مشاهداتی به‌ترتیب برای افق‌های ۲۰۳۰، ۲۰۶۰، و ۲۰۹۰ نشان می‌دهد. نتایج گویای آن است که برای دورهٔ زمانی ۲۰۲۰ـ ۲۰۳۰ به‌طور کلی مقدار بارش کمتر از مقادیر ماهانهٔ بارندگی دورهٔ پایه خواهد بود، البته در ماه آوریل اندکی افزایش در بارش مشاهده می‌شود. در دورهٔ ۲۰۵۰ـ ۲۰۶۰ نیز به‌جز ماه ژانویه، کاهش در بارش حوضه توسط مدل اقلیمی استفاده‌شده پیش‌بینی شده است. در ماه‌های سپتامبر و نوامبر نیز تغییر شایان توجهی در بارندگی حوضه مشاهده نمی‌شود. در زمینهٔ دورهٔ زمانی آینده در (۲۰۸۰ـ ۲۰۹۰) نیز به‌جز در ماه‌های ژانویه و فوریه، در مجموع با کاهش بارش مواجهیم.

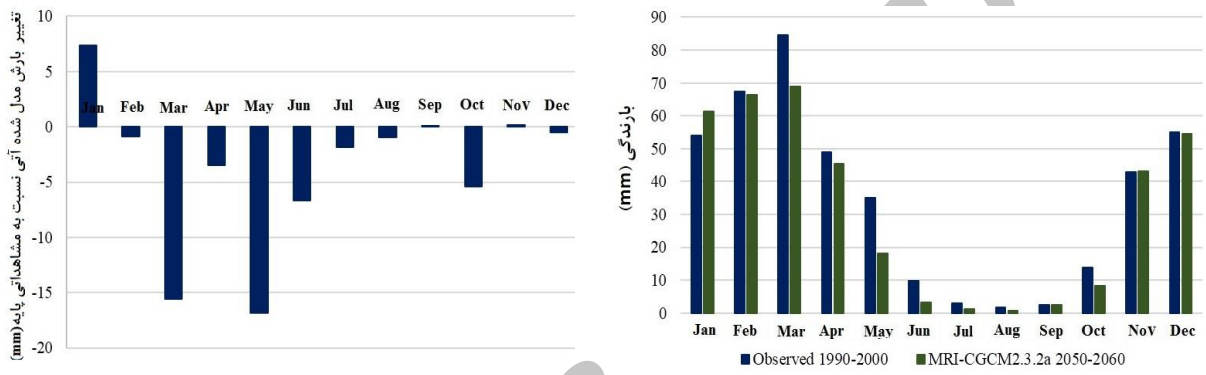
همچنین، با مشاهدهٔ شکل‌های یادشده، این نتیجه به‌دست می‌آید که بیشترین مقدار کاهش بارش مختص‌به ماه می است که مقدار این کاهش برای افق‌های ۲۰۳۰، ۲۰۶۰، و ۲۰۹۰ به‌ترتیب معادل ۱۰، ۱۷، و ۱۹ میلی‌متر است.

Archive of SID

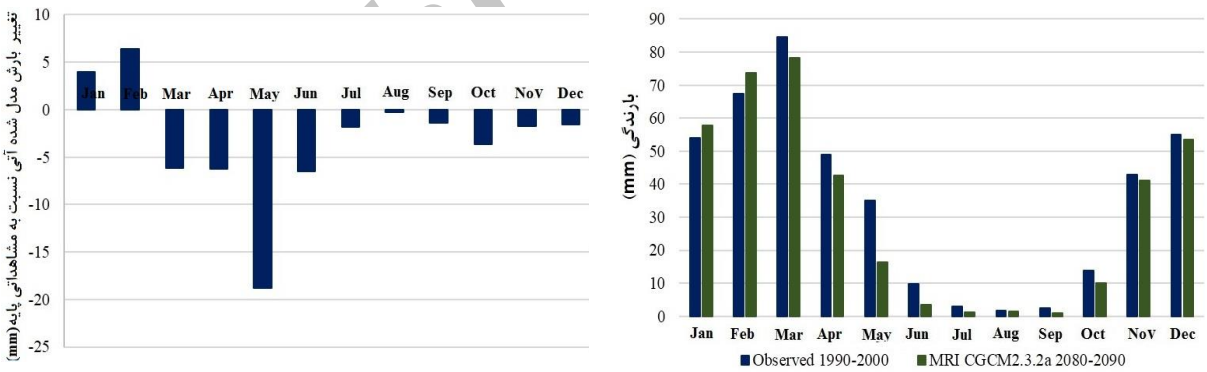
www.SID.ir



شکل ۸. تغییرات بارش پیش‌بینی‌شده و تصحیح‌شده توسط مدل MRI-CGCM2.3.2a طی دورهٔ زمانی ۲۰۲۰ـ ۲۰۳۰ در مقایسه با بارش مشاهداتی دورهٔ پایه



شکل ۹. تغییرات بارش پیش‌بینی‌شده و تصحیح‌شده توسط مدل MRI-CGCM2.3.2a طی دورهٔ زمانی ۲۰۵۰ـ ۲۰۶۰ در مقایسه با بارش مشاهداتی دورهٔ پایه



شکل ۱۰. تغییرات بارش پیش‌بینی‌شده و تصحیح‌شده توسط مدل MRI-CGCM2.3.2a طی دورهٔ زمانی ۲۰۸۰ـ ۲۰۹۰ در مقایسه با بارش مشاهداتی دورهٔ پایه

نتیجه‌گیری

این مقاله به بررسی روند تغییرات بارش و دبی حوضهٔ آبریز درکه در استان تهران طی سال‌های ۱۳۶۸ـ ۱۳۹۱ پرداخت. مقایسهٔ تطبیقی روند تغییرات بارش و دبی، همسویی کامل این دو متغیر هواشناسی و هیدرولوژیکی را نشان نمی‌دهد. با این‌حال، در برخی موارد هماهنگی‌هایی در سری‌های زمانی بارش و دبی مشاهده می‌شود. از جمله این موارد می‌توان به منفی‌بودن ناهنجاری‌های بارش و دبی در دههٔ ۱۳۷۰ اشاره کرد. همچنین براساس آزمون رگرسیون خطی، روند تغییرات بار و دبی حوضهٔ درکه طی سال‌های مطالعه‌شده درمجموع مثبت ارزیابی می‌شود، هرچند تغییرات افزایشی دبی رودخانه با شیب بسیار ناچیزی صورت گرفته و در سال‌های انتهای

www.SID.ir

دورهٔ بررسی‌شده رو بـه کـاهش داشـته اسـت. ایـن نتـایج بـا یافته‌های برخی از محققان چـون لتنمـایر و همکـارانش [۱۵] مشابه است؛ هـرچنـد در برخـی دیگـر از نقـاط جهـان نتـایج به‌گونه‌ای دیگر است. با توجه به متفاوت‌بـودن تـأثیرات تغییـر اقلـیم بـر منـابع آب در نـواحی مختلـف جهـان، لازم اسـت بررسی‌های جداگانه‌ی برای هـر منطقـه انجـام شـود و نتـایج مختص‌به آن منطقه با انجـام مطالعـات مخصـوص بـه آن بـه دست آید.

شبیه‌سازی بارش آینده حوضه نیز نشان مـی‌دهـد کـه در مجموع به جز چند ماه سال در آینـده متوسـط و دور (عمـدتاً در اوایل فصل زمستان)، در سایر اوقات سـال در دوره آتـی بـا کاهش مقدار بارش در حوضه آبریز درکه مواجه هسـتیم. ذکـر این نکته در رابطه با استفاده از نتایج این بررسی در مطالعـاتی هیدرولوژیکی ضروری اسـت کـه کـاهش مقـدار بـارش لزومـاً نشان‌دهندهٔ خشکسالی و عدم وقوع سـیل در حوضـه نیسـت، چرا که تغییر اقلیم بر میـزان شـدت و دوره‌بازگشـت بـارش و توزیع مکانی و زمانی آن تأثیرگذار است. بررسی تغییرات دبـی رودخانه ناشی از تغییر بارش در دورهٔ آتـی و چگـونگی تغییـر شدت و فراوانی بارندگی حوضه در آینده در مجموعـه اهـداف مقاله حاضر نبـوده و لازم اسـت در بررسـی‌هـای آتـی بـه آن پرداخته شود.

منابع

[1]. Ashofteh Parisa Sadat, Massah Bavani AR, The effect of climate change uncertainty on temperature and rainfall in Aydoghmoush watershed during 2040-2069, Journal of Knowledge of Water and Soil, 2009, 1/19(2): 85-98 [in Persian].

[2]. IPCC, "Climate Change 2013: The Physical Science Basis", Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, and G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley(eds.)]. 2013, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

[3]. Ebrahimi H., Kordavai P., A study of climate change in Anzali International Wetland through Mann-Kendall method, Journal of Echo-biology of Wetlands, Islamic Azad University of Ahvaz, 2014, 6(12): 59-72 [in Persian].

[4]. Jahanbakhsh Asl S., Khorshid Doust AM., Aali Nejad MH., Pour Asghar F., The effect of climate change on Temperature and rainfall considering uncertainty of models and emission scenarios (Case Study: Shahr-Chai watershed in Oroumieh), Hydrogeomorphology,2016, 7:107-122 [in Persian].

[5]. Baba'eeyan I., Zarghami M., Kouhi M., Baba'eeyan A., Karimiyan M., Modirian R., Investigating the behavior of water resources in Ghara-Ghoum catchment under climate change condition (Case Study: Dargaz sub-basin), Journal of Water and Soil (Agricultural science and industry), 2013, 27(5): 907-918 [in Persian].

[6]. Modarresi F., Araghi Nejad Sh., Ebrahimi K., Khalghi M., Regional investigating of climate change using statistical tests (Case study: Gorganroud-Gharasou watershed, Journal of Water and Soil, 2010, 24(3):476-489 [in Persian].

[7]. Karl TR., Nicholls N., Gregory J., The coming climate. Scientific American, 1997, 276(5), 78-83.

[8]. Zhang X., Vincent LA., Hogg WD., Niitsoo A., Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century. Atmospheric Ocean, 2000, 38: 395-429.

[9]. Akinremi OO., McGinn SM., Cutforth HW., Seasonal and Spatial Patterns of Rainfall Trends on the Canadian Prairies. Journal of Climate, 2001, 14(9): 2177-2182.

[10]. Katiraee Boroujerdi P., Hejam S., Iran Nejad P., Exemining the trend of rainfall changes in Iran during 1960-2001, PhD thesis of Meteorology, 2005, Islamic Azad University (Science AND Research Unit) [in Persian].

[11]. Wang YQ., Zhou L., Observed trends in extreme precipitation events in China during 61-2001 and the associated changes in large-scale circulation. Geophys Res. 2005, Lett. 32:L09707.

[12]. Hejam S., Khoshkhou Y., Shamseddin Vandi R., Trend analysis of annual and seasonal rainfall changes of some selected stations in central catchment of Iran using nonparametric methods, Journal of Geographic researches, 2008, 40(64):157-168 [in Persian].

[13]. Pal I., and Al-Tabbaa A., Assessing seasonal precipitation trends in India using parametric and nonparametric statistical techniques, Theor. Appl. Climatol, 2011, 103:1-11.

[14]. Regional council of Oroumieh lake watershed management, investigating the trend of meteorological and hydrologic variable in the catchment, Drought Risk Management Program of Oroumieh lake watershed, 2012, 3, 90 pages.

Archive of SID

www.SID.ir

[15]. Lettenmaier DP., Wood EF., Wallis JR., Hydro-climatological trends in the continental United States 1948-1988. Journal of Climate, 1994, 7: 586-607.

[16]. Burn H B., Elnur MAH., detection of hydrologic trends and variability, Journal of Hydrology, 2002, 225: 107-122.

[17]. Rahbar A., and Mas'oudi M., Trend of runoff changes in Kordan watershed, Journal of Iranian Research of Range and Desert, 2009, 16(2):161-173 [in Persian].

[18]. Kumar S., Merwade V., Stream flow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation, and subsurface drains. Journal of Hydrology, 2009, 374: 171-183.

[19]. Zhao G., Hormann G., Fohrer N., Zhang Z., Zhai J., Stream flow trends and climate variability impacts in Poyang Lake Basin, China. Water Resource Management, 2010, 24:689-706.

[20]. Ezzati S., Panahi M., Misaghi F., Ojaghlou H., Investigating the trend of runoff changes in Ghezel-Ozan River through Mann-Kendall test, the 2nd national conference on applicable researches in agricultural research, 2014, University of Tehran, Tehran, Iran [in Persian].

[21]. Salami A., Mohammed A., Abdulmalik Z., Olanlokun O., Trend Analysis of Hydro-meteorological Variables using the Mann-Kendall Trend Test: Application to the Niger River and the Benue Sub-Basins in Nigeria. *International Journal of Technology, 2014*, 5(2): 100-110.

[22]. Ahmadi Sharaf E., Tajrishy M., Alamdari N., Integrating flood hazard into site selection of detention basins using spatial multi-criteria decision-making, Journal of Environmental Planning and Management, 2015, 59(8): 1-21.

[23]. Google Maps website: available online at: www.maps.google.com

[24]. Alizadeh, A., Principles of Applied Hydrology, 14th edition, University of Imam Reza (Peace be upon him), Mah'had, Iran, 2002, 735 pages.

[25]. Mann HB., Nonparametric tests against trends Econometrica, 1945, 13: 245-259.

[26]. Kendall MG., Rank correlation methods, Charles Griffin, London, 1975.

[27]. Khalili A., Bazr Afshan J., Trend analysis of annual, seasonal, and monthly precipitation changes in five old stations of Iran during previous 116 years, Journal of Desert, 2004, 9(1):25-33 [in Persian].

[28]. Serrano A., Mateos V.L., Garcia JA., Trend Analysis of Monthly Precipitation Over the Iberian Peninsula for the Period 1921-1995. Phys. Chem. EARTH(B), 1999, 24(1-2):85-90.

[29]. Khosh'hal Dastjerdi J., Ghavidel Rahimi Y., Application of Mann-Kendall nonparametric test in estimating temperature changes (Case study: Isfahan), Journal of Geographic Space, 2008, 8(22): 21-38 [in Persian].

[30]. Arabi Yazdi A., Sanaee Nejad Seyyed Hossein, Banayan M., Estimation of annual temperature and rainfall anomalies in north-eastern part of Iran and its influence on performance of rain-fed wheat production, Iran's Journal of Irrigation and drainage, 2013, 4(7):554-558 [in Persian].

[31]. Gibbs WJ., Maher JV., Rainfall deciles as drought indicators. Bureau of Meteorology, 1967, Bulletin No. 48, Commonwealth of Australia, Melbourne.

[32]. IPCC-TGCIA, 1999: Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment. Version 1. Prepared by Carter, T.R., M. Hulme, and M. Lal, Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment, 69pp.

Archive of SID

www.SID.ir