

مطالعه اثر تغییرات بارش بر میزان آبدهی رودخانه درکه طی سال‌های ۱۳۶۸-۱۳۹۱

نگین بینش^۱، محمدحسین نیک‌سخن^{۲*}، امین سارنگ^۳

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

۲. دانشیار دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

۳. استادیار دانشکده 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 به منظور 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 رودخانه درکه طی سال‌های ۱۳۶۸-۱۳۹۱ می‌پردازد. بدین منظور از داده‌های بارش ماهانه ثبت شده در ایستگاه هفت‌حوض- درکه استفاده شده و آزمون‌هایی مثل روش گرافیکی من- کندال و رگرسیون خطی به کار گرفته شده است. همچنین ناهنجاری‌های بارش و آبدهی رودخانه طی دوره ۲۴ ساله مطالعه شده بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد سری زمانی بارش در حوضه درکه روندی مثبت و افزایشی داشته، هر چند این روند معنادار نیست. آبدهی رودخانه نیز در دوره بررسی شده با شیب بسیار اندکی افزایش یافته است و روند ندارد. در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که به جز برخی بازه‌های زمانی خاص، افزایش و کاهش بارش و دبی همسو نبوده است. بخش دوم به پیش‌بینی بارش آینده حوضه با استفاده از مدل اقلیمی MRI-CGCM2.3.2a تحت سناریوی انتشار A1B در سه افق زمانی ۲۰۳۰، ۲۰۶۰ و ۲۰۹۰ می‌پردازد. نتایج در مجموع نشان از کاهش مقدار بارش حوضه در دوره آتی دارد.

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

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 صنعتی شدن جوامع است [۱ و ۲] که سبب برهم‌خوردن تعادل آب و هوایی کره زمین شده است [۳ و ۴]. پدیده تغییر اقلیم بر دما و بارش و نیز سایر پارامترهای اقلیمی مؤثر و از این طریق بر چرخه هیدرولوژی و منابع آب نیز تأثیرگذار است. دما فراسنجی هیدرومتئورولوژی است که نوسان‌های بزرگ آن با ناهنجاری‌های فراوانی در چرخه هیدرولوژی کره زمین همراه است؛ به طوری که در برخی نواحی کره زمین موجب افزایش و در برخی مناطق موجب کاهش بارش می‌شود. مهم‌ترین پیامد این تغییر ایجادشده در چرخه 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 توسعه منطقه‌ای را سبب می‌شود [۵].

پارامترهای اقلیمی به دلایل 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 مختص به ارزیابی تأثیرات بالقوه 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 کره زمین باشد [۳].

از سال ۱۹۸۷ سازمان جهانی هواشناسی^۱ بر لزوم تحقیق درباره تأثیرات تغییر اقلیم بر منابع آب تأکید کرد [۳ و ۷]. بررسی‌ها نیز نشان می‌دهند مطالعه روند در بارندگی‌ها به‌ویژه از دهه ۱۹۸۰ به بعد به شکل گسترده‌ای مورد توجه بوده است. به طور مثال نتایج مطالعه 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 کاهش می‌بود. در مطالعه آکرینرمت و مک‌گین [۹] در زمینه 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 منطقه مطالعه‌شده یکنواخت نیست. کتیاری بروجردی و همکارانش [۱۰] روند تغییرات روزانه بارندگی در ۳۸ ایستگاه را در کشور ایران طی دوره 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 سالانه 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 حوضه مرکزی ایران پرداختند. نتایج نشان داد بارندگی ایستگاه‌ها با روند کاهشی مواجه بوده است. همچنین پال و ال-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 حوضه 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 حوضه شهرچای ارومیه بررسی کردند که نتایج نشان از کاهش بارش و افزایش دما در آینده نزدیک داشت.

از آنجا که از جمله 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 لتنمپر 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 جمله این مطالعات، می‌توان به بررسی رهبر و مسعودی [۱۷] اشاره کرد که روند تغییرات رواناب در رودخانه کردان واقع در زیرحوضه قزوین را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد روند تغییرات

ساله می‌پردازد. در ادامه، مواد و روش‌های به کار گرفته شده در این تحقیق شرح داده شده است و سپس نتایج و بحث در زمینه آنها آورده می‌شود.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعه شده

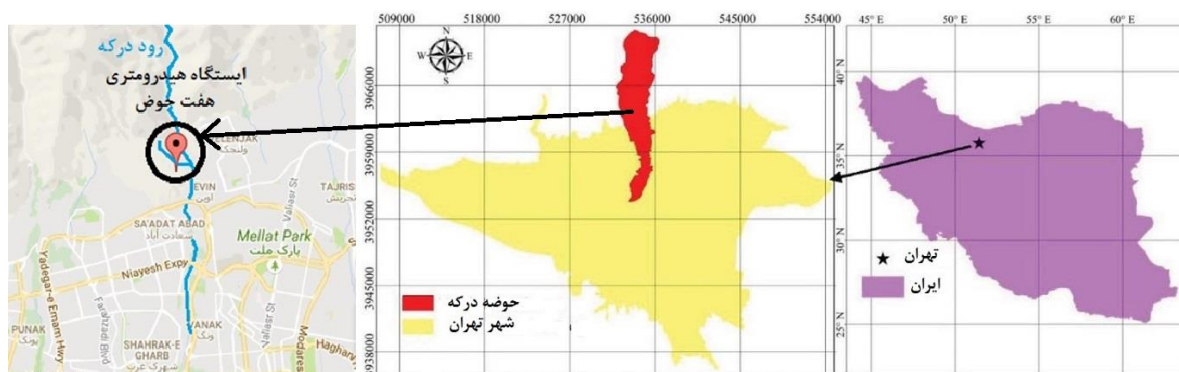
با توجه به اینکه در ایستگاه هفت‌حوض- که تنها ایستگاه موجود در محدوده مطالعه شده است- تنها داده‌های بارش ماهانه مختص به تعداد محدودی از سال‌های آماری ثبت شده است، به منظور آشکارسازی تغییرات بارش در دوره گذشته، دره آماری ۲۴ ساله ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۱ به کار گرفته شد. به منظور مقایسه تطبیقی روند تغییر بارش و دبی، داده‌های میانگین سالانه دبی نیز در همین ۲۴ سال بررسی شد. شایان یادآوری است که ایستگاه هفت‌حوض- درکه در واقع ایستگاهی هیدرومتری است، اما آمار ثبت شده بارش نیز دارد و به دلیل نبود ایستگاه هواشناسی در محدوده مطالعه شده، داده‌های ثبت شده توسط این ایستگاه به منظور افزایش دقت نتایج استفاده شد. مشخصات ایستگاه هفت‌حوض در جدول ۱ آمده است. شکل ۱ نیز موقعیت این ایستگاه را در حوضه آبریز درکه نشان می‌دهد.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه هواشناسی استفاده شده

نام ایستگاه	ارتفاع (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
هفت‌حوض- درکه	۱۷۰۰	۵۱° ۲۳' ۰۰"	۳۵° ۴۸' ۰۰"

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 دوره آماری ۵۰ ساله، بیانگر وجود روند افزایشی در جریان‌های متوسط و کم بود. ژائو و همکارانش [۱۹] نیز نتایج مشابهی را در حوضه دریاچه پویانگ^۱ چین گزارش کردند [۱۴]. عزتی و همکارانش [۲۰] روند تغییر دبی رودخانه قزل‌اوزن را به روش آزمون من- کندال مطالعه کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد شدت جریان رودخانه قزل‌اوزن در مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه در همه 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 حوضه بنو^۲ و رودخانه نیجر^۳ در نیجریه را تحلیل کردند و بدین‌منظور از آزمون ناپارامتری من- کندال استفاده کردند. نتایج نشان از کاهش رواناب در بیشتر ایستگاه‌های بررسی شده داشت. این محققان کاهش رواناب و سطح آب در رودخانه را پیامد احتمالی پدیده تغییر اقلیم گزارش کردند و نتیجه گرفتند که کاهش آبدهی رودخانه نشانه‌ای از کاهش در منابع آب در زیرحوضه بررسی شده است که می‌تواند به کاهش جریان ورودی به مخزن سدهای واقع در حوضه منجر شود.

مطالب یادشده نشان می‌دهد شناسایی پدیده تغییر اقلیم نخستین گام در جهت مدیریت آن و نیز برنامه‌ریزی منابع آب است. بنابراین، مقاله حاضر به تحلیل روند سری زمانی بارش در حوضه آبریز درکه و بررسی تأثیر آن بر روند سری زمانی آبدهی رودخانه درکه، طی یک دوره ۲۴



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

1. Poyang
2. Benue
3. Niger

بازسازی نواقص آماری

بهنظور استفاده از داده‌های ثبت‌شده 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. بدین ترتیب که میانگین داده‌های ثبت‌شده بارش در سال‌های مشترک آماری برای هر یک از دو ایستگاه (ایستگاه مبنا و ایستگاه دارای داده‌های مفقود) محاسبه و از رابطه ۱ مقدار بارش در مقطع زمانی مد نظر بازسازی می‌شود [۱ و ۲۴]:

$$P_{ai} = P_{bi} \times \frac{P_A}{P_B} \quad (1)$$

در رابطه ۱ P_{ai} بارش مفقودشده در ماه i در ایستگاه مد نظر، P_{bi} بارش ایستگاه مبنا در همان ماه i ، 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^۱ [۲۵] ارائه و سپس توسط کندال^۲ [۲۶] توسعه یافت [۲۷ و ۲۸]. از جمله مزایای این روش می‌توان به مناسب بودن 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 $\pm 2/58$ (در سطح احتمال ۱ درصد) یا $\pm 1/96$ (در سطح احتمال ۵ درصد) و یا $\pm 1/64$ (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، نقطه تقاطع، نقطه 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 نقطه آغازین یکدیگر را قطع و در جهات مخالف یکدیگر حرکت می‌کنند. در حالی که در شرایط نبود روند، دو دنباله 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].

محاسبه ناهنجاری‌های سری زمانی بارش

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

$$P_a = \frac{(P - \bar{P})}{\bar{P}} \times 100 \quad (2)$$

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (3)$$

که در آن P_a درصد آنومالی بارش، P مقدار بارش سالانه، و \bar{P} میانگین بلندمدت بارندگی، n طول دوره آماری، و $i=1, 2, \dots, n$ است [۳۱].

پیش‌بینی بارش در دوره آتی

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

بارش در فصل زمستان بیشترین و در فصل تابستان کمترین است. به طوری که ماه‌های فروردین، آذر و اسفند پربارش‌تر از سایر ماه‌هاست، در حالی که از ماه خرداد تا مهر بارش ناچیزی را در حوضه در که شاهدیم.

دبی ماهانه و فصلی نیز در شکل ۳ به تصویر کشیده شده است. در نمودارهای این شکل ملاحظه می‌شود که رود دره در که 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 آبدی نسبتاً خوبی دارد. میزان دبی رودخانه در ماه‌های فروردین و اردیبهشت بیشترین است، که این مسئله را می‌توان براساس اضافه شدن آب به دست آمده از ذوب برف‌ها در اوایل فصل بهار به رواناب رگبارهای بهاری توجیه کرد.

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

به منظور 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 دوره ۲۴ ساله بررسی شده در ایستگاه هفت حوض- در که مشاهده نمی‌شود. با این حال، می‌توان نتیجه گرفت که روند تغییرات بارش در این دوره زمانی در تمام فصول مثبت و رو به افزایش بوده است.

در زمینه دبی رودخانه نیز نتایج ارائه شده در جدول ۳ گویای آن است که طی دوره زمانی ۱۳۶۹-۱۳۹۱ آبدی رودخانه روندی مثبت داشته است، اما این روند در هیچ یک از فصول سال معنادار نیست و با شیب بسیار ملایمی رو به افزایش داشته است.

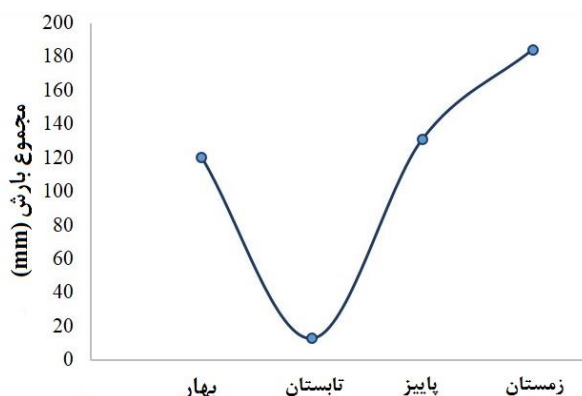
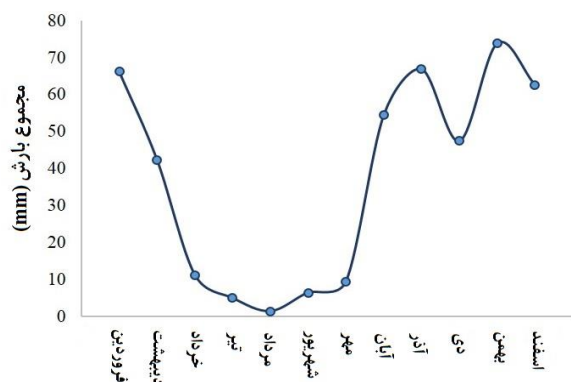
دارد. بدین منظور از مدل‌های جفت شده اقیانوس- جو (AOGCM) استفاده می‌شود. این مدل‌ها بر پایه قوانین فیزیکی استوارند که به وسیله روابط ریاضی ارائه می‌شوند. این روابط در یک شبکه سه بعدی با مقیاس مکانی افقی ۲۵۰ تا ۶۰۰ کیلومتر و ۱۰ تا ۲۰ لایه در اتمسفر و ۳۰ لایه در اقیانوس در سطح کره زمین حل می‌شوند [۱]. در تحقیق حاضر با بررسی دقت مدل‌های مختلف گردش عمومی جو مختص به گزارش چهارم IPCC، تصمیم بر آن شد تا از مدل MRI-CGCM2.3.2a که بهتر از سایر مدل‌ها امکان شبیه سازی بارش حوضه بررسی شده را فراهم می‌کند، در تخمین بارندگی در دوره‌های آتی استفاده شود. دوره زمانی پایه با توجه به توصیه IPCC لازم بود یکی از دوره‌های ۱۹۶۱-۱۹۹۰ و یا ۱۹۷۱-۲۰۰۰ انتخاب شود [۳۲]. اما با توجه به موجودیت داده‌های تنها ایستگاه واقع در حوضه بررسی شده (ایستگاه هفت حوض) از سال ۱۳۶۸ به بعد، در نهایت دوره زمانی ۱۱ ساله ۱۹۹۰-۲۰۰۰ به عنوان دوره پایه محاسبات انتخاب شد. شبیه سازی بارش آینده نیز در سه دوره زمانی ۱۱ ساله در افق‌های ۲۰۳۰، ۲۰۶۰ و ۲۰۹۰ تحت سناریوی انتشار A1B صورت گرفت. شایان یادآوری است که ریزمقیاس سازی خروجی‌های مدل گردش عمومی جو (MRI-CGCM2.3.2a) با استفاده از روش عامل تغییر صورت گرفت که توضیحات تکمیلی در زمینه این روش را می‌توان دریافت [۱].

نتایج و بحث

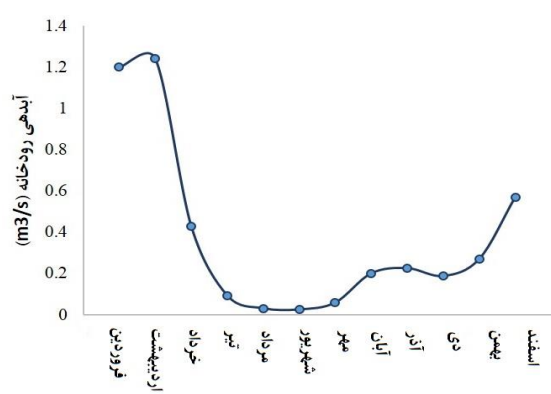
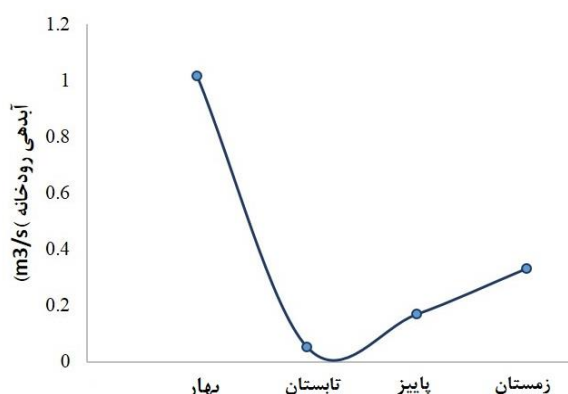
نتایج این تحقیق در دو بخش: الف) روند بارش حوضه در دوره گذشته و اثر احتمالی آن بر تغییر روند آبدی رودخانه در که و ب) پیش بینی تغییرات بارش حوضه بررسی شده در سه دوره زمانی آینده ارائه می‌شود.

بررسی روند بارش و دبی در دوره گذشته

شکل ۲ مجموع بارش سالانه و فصلی رودخانه در که را براساس داده‌های ثبت شده در ایستگاه هفت حوض طی دوره آماری ۲۴ ساله (۱۳۶۸-۱۳۹۱) نشان می‌دهد. همان گونه که در نمودارهای ترسیم شده مشخص است، میزان



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



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

جدول ۲. نتایج آزمون رگرسیون خطی برای بارش فصلی و سالانه ایستگاه هفت‌حوض- در که (دوره زمانی ۱۳۶۸-۱۳۹۱)

پاییز	تابستان	بهار	زمستان	بارش سالانه
۱/۷۶*	۰/۴	-۰/۳۵	-۰/۸۵	۱/۰۹۵

علامت * نشانگر سطح معناداری در سطح ۵ درصد است.

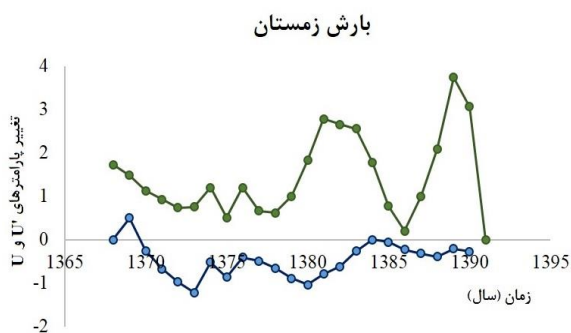
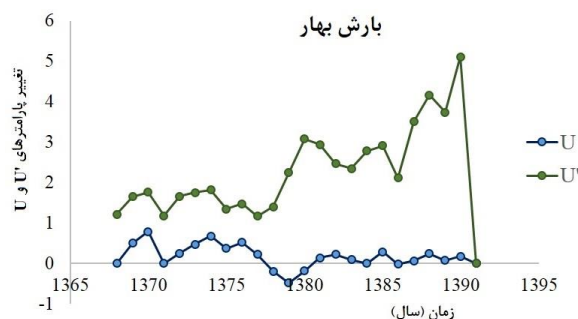
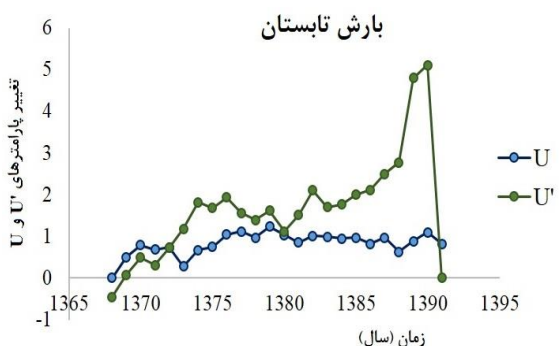
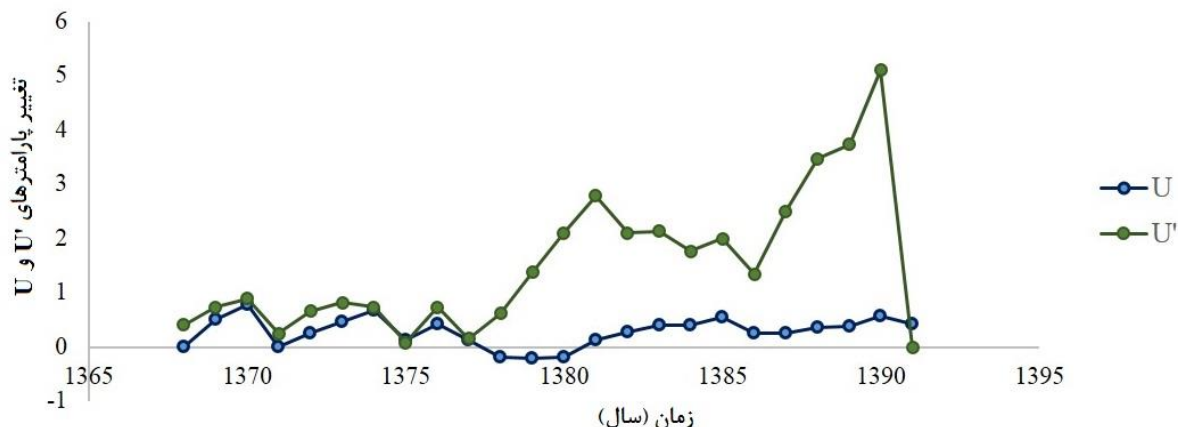
جدول ۳. نتایج آزمون رگرسیون خطی برای دبی فصلی و سالانه ایستگاه هفت‌حوض- در که (دوره زمانی ۱۳۶۸-۱۳۹۱)

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

که سبب تغییرات اندک در روند افزایشی یا کاهش بارش شده است. این در حالی است که در فصول بهار و زمستان، جهشی در روند تغییرات بارندگی دیده نمی‌شود. درباره 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 نتیجه آن، تنها ایجاد نوسان در روند بارندگی بوده است.

در ادامه، بررسی‌های تکمیلی در خصوص 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. همان‌طور 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 زمینه بارش سالانه، در سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۷۴، ۱۳۷۵ و ۱۳۷۷ جهش‌های غیرمعناداری مشاهده می‌شود

بارش سالانه

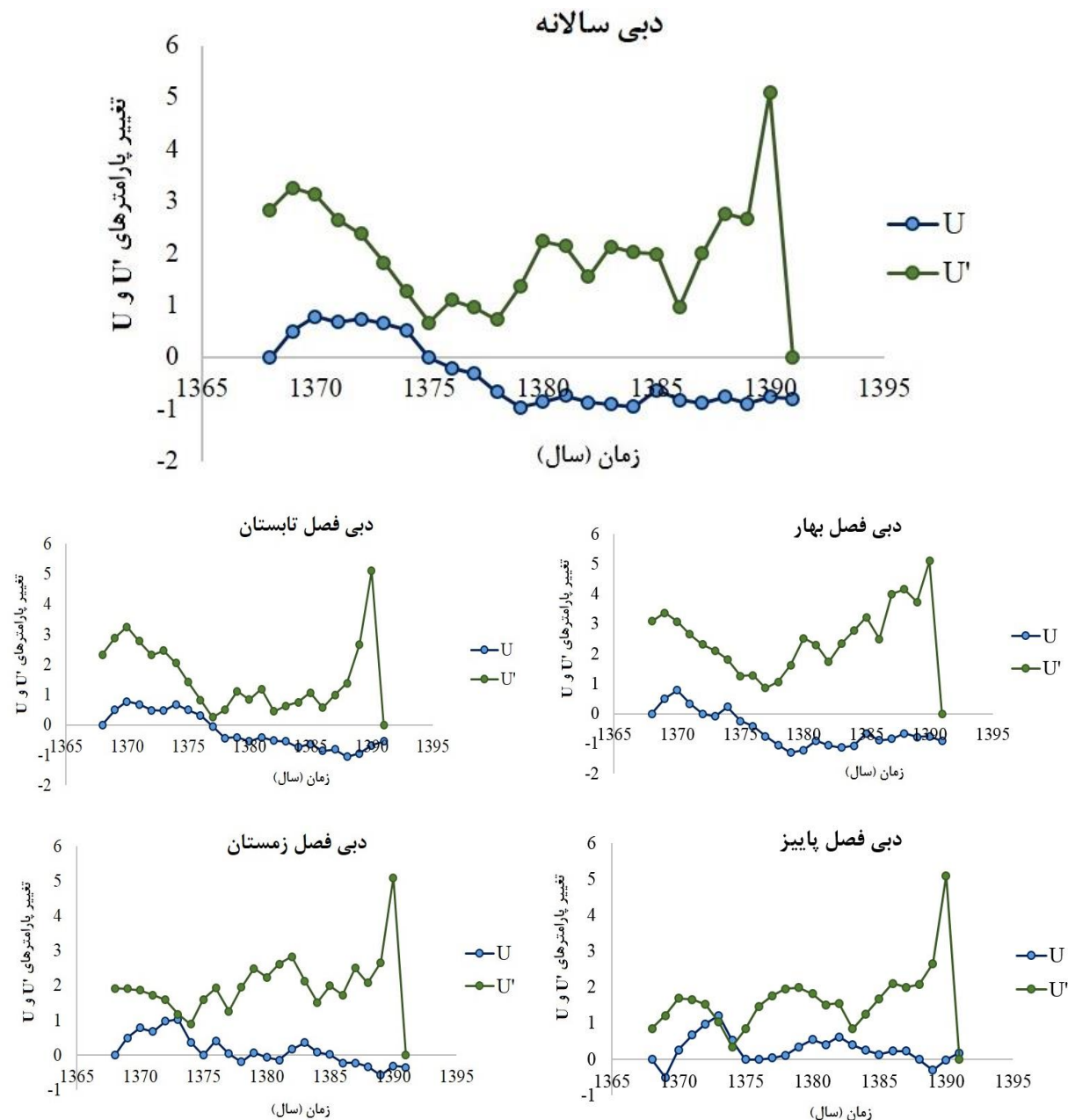


شکل ۴. تغییرات پارامترهای U و U' به دست آمده از آزمون من-کنندال برای سری زمانی بارش در فاصله سال‌های ۱۳۶۸-۱۳۹۱

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 دهه ۱۳۷۰ و به‌ویژه پس از سال ۱۳۷۵، دبی رودخانه درکه رو به کاهش نهاده است که این کاهش آبدهی در فصول پاییز و زمستان با یک جهش همراه بوده است.

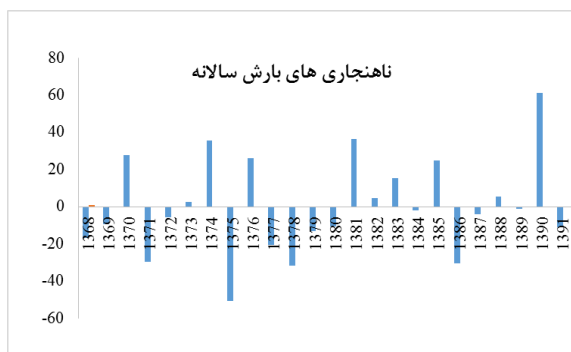
نتایج آزمون من-کنندال سری زمانی دبی در شکل ۵ نیز نشان می‌دهد روند تغییرات آبدهی رودخانه نیز همچون متغیر هواشناسی بارش، معنادار نیست و این روند در دو دهه اخیر، در مجموع رو به کاهش بوده است. جهش معناداری در هیچ‌یک از سری‌های زمانی دبی سالانه و فصلی رودخانه درکه در دوره بررسی شده مشاهده نمی‌شود، تنها در فصل زمستان یک جهش در سال ۱۳۷۳



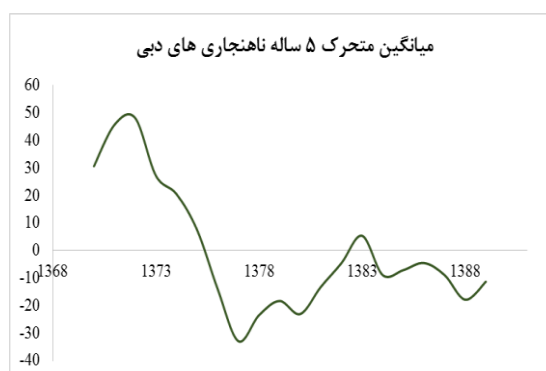
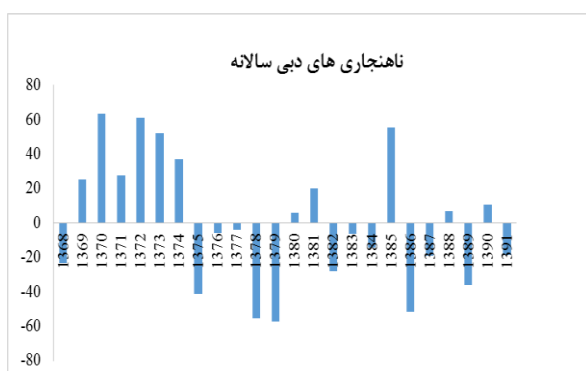
شکل ۵. تغییرات پارامترهای U و U' به دست آمده از آزمون من-کندال برای سری زمانی دبی در فاصله سال‌های ۱۳۶۸-۱۳۹۱

بررسی شده نشان می‌دهد، به طوری که در برخی سال‌ها ناهنجاری‌های مثبت بارش و در برخی سال‌ها ناهنجاری منفی را برای بارندگی شاهدیم. نمودار میانگین متحرک نیز نشان می‌دهد در دهه ۱۳۷۰، بیشتر ناهنجاری بارش در منطقه مطالعه شده منفی بوده است، اما می‌توان گفت که در دهه ۱۳۸۰ در مجموع با ناهنجاری مثبت در سری زمانی بارش سالانه مواجه بوده‌ایم، بدین معنا که مقدار بارش سالانه از میانگین بلندمدت آن بیشتر بوده است.

به منظور به دست آمدن دید جامع‌تر در زمینه چگونگی تغییرات بارش و دبی در فاصله زمانی سال‌های ۱۳۶۸-۱۳۹۱، نمودار ناهنجاری‌های بارش و دبی سالانه در شکل‌های ۶ و ۷ به همراه میانگین متحرک پنج‌ساله 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 دوره زمانی



شکل ۶. نمودارهای ناهنجاری‌های بارش سالانه و میانگین متحرک آن



شکل ۷. نمودارهای ناهنجاری‌های دبی سالانه و میانگین متحرک آن

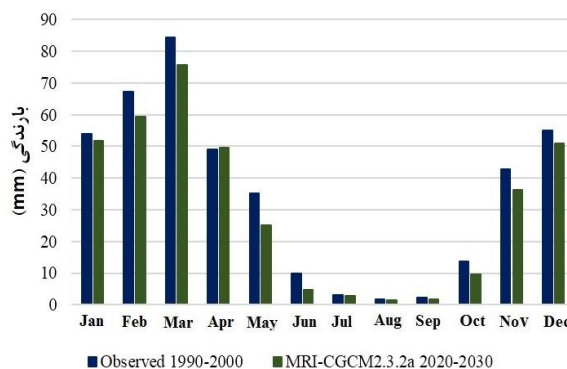
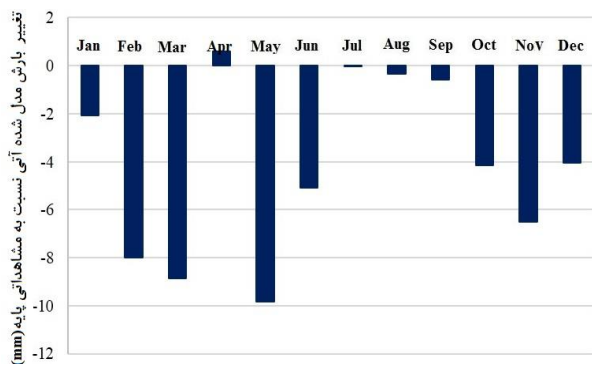
در زمينه دبی، از اواخر دهه ۱۳۶۰ تا اواسط دهه ۱۳۷۰، ناهنجاری مثبت را برای آبدهی رودخانه درکه مشاهده می‌کنیم؛ بدین‌معنا که میزان دبی رودخانه از میانگین بلندمدت آبدهی در دوره بررسی شده بیشتر بوده است؛ اما در ادامه دهه ۱۳۷۰، آبدهی رودخانه از میانگین بلندمدت آن کمتر شده است و ناهنجاری منفی را در این مدت شاهدیم.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

پیش‌بینی بارش آینده حوضه درکه شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ تغییرات بارش مدل‌سازی شده را نسبت به دوره مشاهداتی به‌ترتیب برای افق‌های ۲۰۳۰، ۲۰۶۰، و ۲۰۹۰ به‌ترتیب معادل ۱۰، ۱۷، و ۱۹ میلی‌متر است.

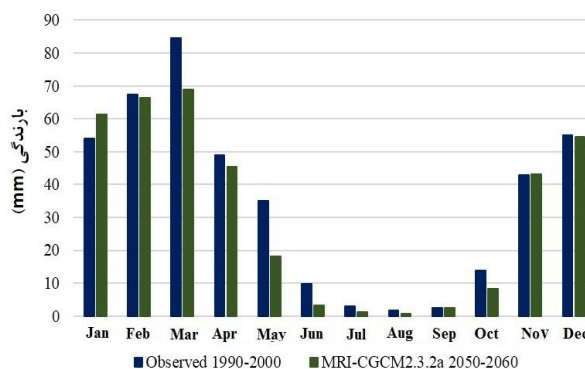
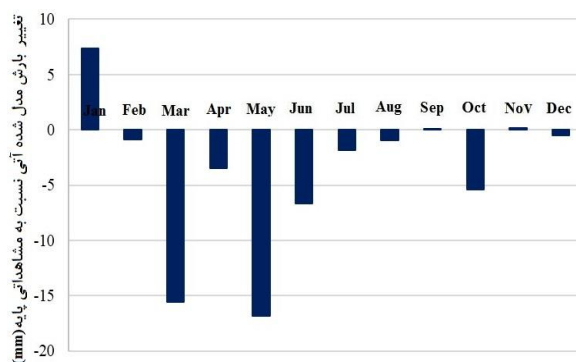
۲۰۶۰، و ۲۰۹۰ نشان می‌دهد. نتایج گویای آن است که برای دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۳۰ به‌طور کلی مقدار بارش کمتر از مقادیر ماهانه بارندگی دوره پایه خواهد بود، البته در ماه آوریل اندکی افزایش در بارش مشاهده می‌شود. در دوره ۲۰۵۰-۲۰۶۰ نیز به‌جز ماه ژانویه، کاهش در بارش حوضه توسط مدل اقلیمی استفاده شده پیش‌بینی شده است. در ماه‌های سپتامبر و نوامبر نیز تغییر شایان توجهی در بارندگی حوضه مشاهده نمی‌شود. در زمينه دوره زمانی آینده در (۲۰۸۰-۲۰۹۰) نیز به‌جز در ماه‌های ژانویه و فوریه، در مجموع با کاهش بارش مواجهیم.

پیش‌بینی بارش آینده حوضه درکه

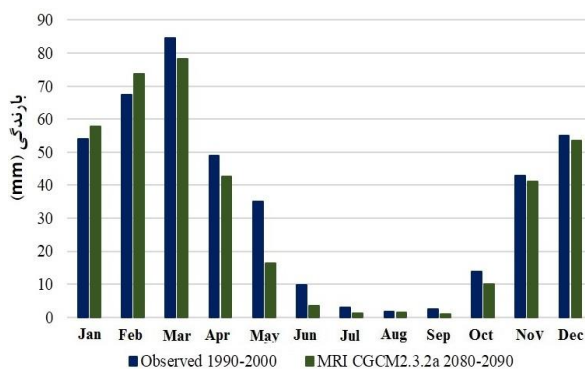
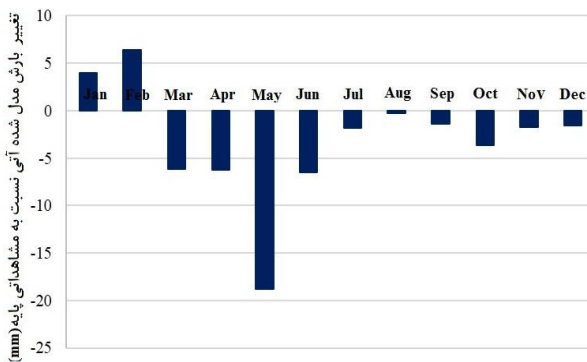
همچنین، با مشاهده شکل‌های یادشده، این نتیجه به‌دست می‌آید که بیشترین مقدار کاهش بارش مختص به ماه می است که مقدار این کاهش برای افق‌های ۲۰۳۰، ۲۰۶۰، و ۲۰۹۰ به‌ترتیب معادل ۱۰، ۱۷، و ۱۹ میلی‌متر است.



شکل ۸. تغییرات بارش پیش‌بینی شده و تصحیح شده توسط مدل MRI-CGCM2.3.2a طی دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۳۰ در مقایسه با بارش مشاهداتی دوره پایه



شکل ۹. تغییرات بارش پیش‌بینی شده و تصحیح شده توسط مدل MRI-CGCM2.3.2a طی دوره زمانی ۲۰۵۰-۲۰۶۰ در مقایسه با بارش مشاهداتی دوره پایه



شکل ۱۰. تغییرات بارش پیش‌بینی شده و تصحیح شده توسط مدل MRI-CGCM2.3.2a طی دوره زمانی ۲۰۸۰-۲۰۹۰ در مقایسه با بارش مشاهداتی دوره پایه

بارش و دبی مشاهده می‌شود. از جمله این موارد می‌توان به منفی بودن ناهنجاری‌های بارش و دبی در دهه ۱۳۷۰ اشاره کرد. همچنین براساس آزمون رگرسیون خطی، روند تغییرات بار و دبی حوضه درکه طی سال‌های مطالعه شده در مجموع مثبت ارزیابی می‌شود، هرچند تغییرات افزایشی دبی رودخانه با شیب بسیار ناچیزی صورت گرفته و در سال‌های انتهایی

نتیجه‌گیری

این مقاله به بررسی روند تغییرات بارش و دبی حوضه آبریز درکه در استان تهران طی سال‌های ۱۳۶۸-۱۳۹۱ پرداخت. مقایسه تطبیقی روند تغییرات بارش و دبی، همسویی کامل این دو متغیر هواشناسی و هیدرولوژیکی را نشان نمی‌دهد. با این حال، در برخی موارد هماهنگی‌هایی در سری‌های زمانی

- 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]. Katirae Boroujerdi P., Hejam S., Iran Nejad P., Examining 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. Lett.* 2005, 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.
- دوره بررسی شده رو به کاهش داشته است. این نتایج با یافته‌های برخی از محققان چون لئمایر و همکارانش [۱۵] مشابه است؛ هرچند در برخی دیگر از نقاط جهان نتایج به‌گونه‌ای دیگر است. با توجه به متفاوت بودن تأثیرات تغییر اقلیم بر منابع آب در نواحی مختلف جهان، لازم است بررسی‌های جداگانه‌ی برای هر منطقه انجام شود و نتایج مختص به آن منطقه با انجام مطالعات مخصوص به آن به دست آید.
- شبیه‌سازی بارش آینده حوضه نیز نشان می‌دهد که در مجموع به جز چند ماه سال در آینده متوسط و دور (عمدتاً در اوایل فصل زمستان)، در سایر اوقات سال در دوره آتی با کاهش مقدار بارش در حوضه آبریز در که مواجه هستیم. ذکر این نکته در رابطه با استفاده از نتایج این بررسی در مطالعاتی هیدرولوژیکی ضروری است که کاهش مقدار بارش لزوماً نشان‌دهنده خشکسالی و عدم وقوع سیل در حوضه نیست، چرا که تغییر اقلیم بر میزان شدت و دوره‌بازگشت بارش و توزیع مکانی و زمانی آن تأثیرگذار است. بررسی تغییرات دبی رودخانه ناشی از تغییر بارش در دوره آتی و چگونگی تغییر شدت و فراوانی بارندگی حوضه در آینده در مجموعه اهداف مقاله حاضر نبوده و لازم است در بررسی‌های آتی به 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

- [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., Ojaghloou 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-TGCI, 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.