

آشکارسازی آماری تأثیر پدیده گرمایش جهانی بر ناهنجاری‌های دبی حوضه رودخانه ارس

فریبا اسفندیاری درآباد* - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
مهدی عالی جهان - دانشجوی کارشناسی ارشد آب‌وهواشناسی کاربردی، دانشگاه تربیت مدرس تهران
مسعود رحیمی - دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران
ارسلان مهرورز - دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۰۶/۲۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۰۲/۰۵

چکیده

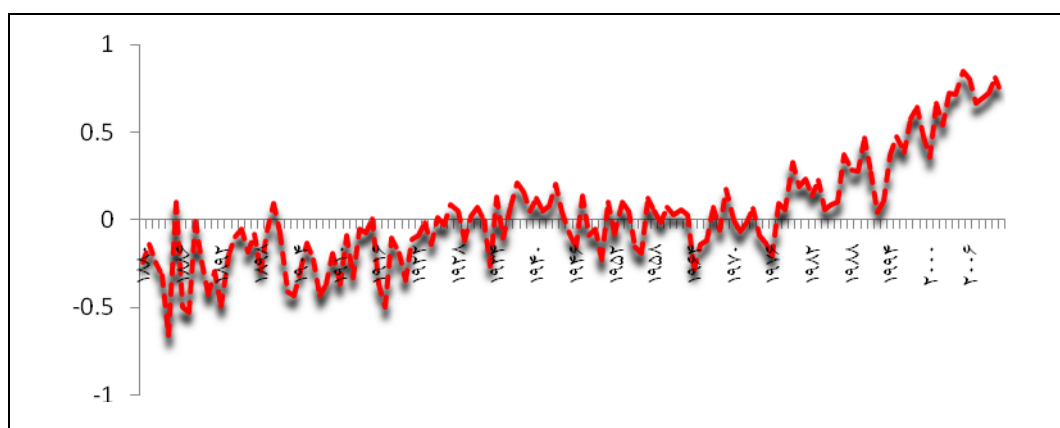
پژوهش پیش رو برای آشکارسازی اثرهای گرمایش جهانی بر آبدهی حوضه ارس انجام گرفته است. داده‌های استفاده شده برای انجام این پژوهش، شامل داده‌های سالانه و فصلی گرمایش جهانی و داده‌های دبی حوضه ارس در بازه زمانی چهل ساله (۱۹۶۸-۲۰۰۸) بوده و براساس روش‌های همبستگی پیرسون و رگرسیون خطی و غیرخطی برای مطالعات فصلی و سالانه به انجام رسیده است. مطالعات نشان از ارتباط معکوس و قوی گرمایش جهانی با آبدهی حوضه ارس دارد. این فرآیند، به خصوص از سال ۱۹۹۴ به بعد آشکار است و با افزایش گرمایش جهانی آبدهی حوضه ارس، کاهش چشمگیری از خود نشان می‌دهد. تغییرات آبدهی حوضه ارس نشان از روند کاهنده آن طی بازه زمانی بلندمدت خود دارد که ارتباط آن با گرمایش جهانی دارای همبستگی معکوس برابر با $-0/68$ - درصد با ضریب تعیین $0/46$ است. در بین فصول سال بیشترین تأثیرپذیری از گرمایش جهانی متعلق به فصل زمستان با همبستگی معکوس $-0/70$ و ضریب تعیین $0/49$ است. فصل بهار با همبستگی معکوس $-0/57$ و ضریب تعیین $0/32$ ، پاییز با همبستگی معکوس $-0/54$ درصد و ضریب تعیین $0/29$ و در نهایت تابستان با همبستگی معکوس $-0/17$ و ضریب تعیین $0/03$ درصد، در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. در تمامی مطالعات انجام گرفته، روند دبی حوضه ارس همواره کاهنده بوده و از سال ۱۹۹۴ به بعد زیر میانگین بلند مدت خود است که وقوع خشکسالی و کاهش آبدهی شدید حوضه، در نتیجه تأثیر گرمایش جهانی را نشان می‌دهد. مقایسه مدل‌های رگرسیون خطی و غیر خطی در شبیه‌سازی تغییر پذیری آبدهی حوضه ارس از گرمایش جهانی نشان از دقت بالای مدل غیر خطی نسبت به نوع خطی خود دارد.

کلیدواژه‌ها: آشکارسازی، گرمایش جهانی، شبیه‌سازی، دبی، حوضه ارس.

مقدمه

شواهد نشان از تغییر آب‌وهوای کره زمین در نتیجه فعالیت‌های بشری دارد (پرایس^۱ و همکاران، ۱۹۹۹: ۸۵). از آنجاکه تغییرات معنادار دمای کره زمین یا گرمایش جهانی، مهم‌ترین نمودهای تغییر اقلیم در قرن حاضر است، مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (علیجانی و قویدل رحیمی، ۱۳۸۴: ۲۲). گرمایش جهانی در درجه اول نتیجه وارد شدن مقدار بسیار زیاد گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر است (بارکر و رز^۲، ۱۹۹۹: ۱۲۱۶).

از دسته مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای متأثر در گرمایش زمین، دی‌اکسیدکربن است که در نتیجه سوزاندن سوخت‌های فسیلی و جنگل‌زدایی ایجاد می‌شود؛ شواهد روشنی وجود دارد که در حال حاضر شاهد بیشترین مقدار تمرکز این گاز در نیم میلیون سال اخیر روی کره زمین هستیم که این فرآیند، سبب گرم‌تر شدن زمین خواهد شد. اعضای بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)^۳ میزان گرم شدن کره زمین و بالا آمدن سطح آب دریا در قرن بیستم را ۰/۶ درجه سانتی‌گراد و ۲۰ سانتی‌متر برآورد کرده‌اند. آنها همچنین پیش‌بینی می‌کنند، درجه‌حرارت جهانی بین ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سانتی‌گراد و سطح آب دریا بین ۲۰ تا ۸۸ سانتی‌متر تا سال ۲۱۰۰ برسد (ماسلین^۴، ۲۰۰۴: ۱).



شکل ۱. روند تغییرات دمای کره زمین از سال ۱۸۸۰ تا سال ۲۰۱۱ (نگارندگان)

همان‌گونه که از شکل شماره ۱ نیز پیداست، دمای کره زمین از سال ۱۸۸۰ تا سال ۲۰۱۱ میلادی روند افزایشی چشمگیری را نشان می‌دهد که از سال ۱۹۷۸ شدت بیشتری گرفته و حتی در سال ۲۰۰۶ میلادی به رقم ۰/۸ درجه سانتی‌گراد نیز رسیده است. گرمایش جهانی تأثیر قابل توجهی در هیدرولوژی و منابع آب حوضه‌های آبخیز دارد، افزایش خطر سیل، خشکسالی و لغزش در نتیجه تغییر اقلیم، آثار بسیار زیادی را در تغییرات زیستی و فیزیکی حوضه‌های آبخیز به دنبال خواهد داشت (پیکه^۵ و همکاران، ۲۰۰۸). بنابراین، به دلیل اهمیت حیاتی این موضوع، پژوهش پیش رو برای

1. Price
2. Barker and Ross
3. Intergovernmental Panel on Climate change
4. Maslin
5. Pike

آشکارسازی تأثیر این پدیده بر آبدهی حوضه ارس به‌انجام رسیده است. حوضه ارس یکی از حوضه‌های آبخیز بزرگ و پُراهمیت کشور به‌شمار می‌رود و تغییرات آبدهی آن می‌تواند تغییرات بسیار زیادی در مورفولوژی حوضه، تغییر بستر رودخانه و جابه‌جایی خط مرزی ایران و آذربایجان، در فرآیند حمل رسوب و رسوب‌گذاری پشت سدها و غیره داشته باشد. تا کنون در زمینه تأثیرات گرمایش جهانی بر آبدهی حوضه‌های آبخیز در داخل کشور، پژوهشی انجام نگرفته و این پژوهش برای نخستین‌بار در کشور با هدف آشکارسازی آماری این فرآیند انجام می‌گیرد. همچنین بر اساس بررسی‌های انجام گرفته، در سطح جهانی نیز مطالعه‌ای در زمینه آشکارسازی آماری تأثیر گرمایش جهانی بر آبدهی حوضه‌های آبخیز به‌انجام نرسیده است و مطالعات انگشت‌شماری در زمینه تأثیر تغییر اقلیم و گرمایش جهانی روی منابع آب و آبدهی رودخانه‌ها با استفاده از مدل‌های دینامیکی مقیاس جهانی GCM ها یا مدل‌های هیدرولوژیکی در داخل و خارج از کشور انجام شده است. از جمله این مطالعات، می‌توان به پژوهشی با عنوان "شبیه‌سازی تأثیر گرمایش جهانی بر تغییرات آبدهی رودخانه" که منابه^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۴ انجام داده‌اند، اشاره کرد. نتایج این پژوهشگران نشان از افزایش دبی رودخانه‌ها در مناطق قطب شمال و نواحی استوایی، همچنین کاهش و افزایش آن در مناطق گرمسیری و عرض‌های جغرافیایی میانه است. فوجی حارا^۲ و همکاران (۲۰۰۸)، در پژوهشی با عنوان "بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر روی منابع آب حوضه آبخیز، با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی" آثار تغییر اقلیم را بر حوضه رودخانه سیحون مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج حاصل از مطالعه این پژوهشگران، نشان از افزایش درجه‌حرارت و به‌دنبال آن، کاهش بارش و دبی در حوضه رودخانه سیحون داشته است. در پژوهشی دیگر با عنوان "بررسی تأثیرات گرمایش جهانی بر روی حوضه رودخانه" که کوچیری^۳ و همکاران در سال ۲۰۰۸ با استفاده از مدل مقیاس جهانی GCM انجام دادند، آثار تغییر اقلیم را بر حوضه ناگارا بررسی کردند. نتایج این مطالعه که در دو بازه زمانی متفاوت (بازه اول ۲۰۷۹-۲۰۰۰ و بازه زمانی دوم ۲۱۰۰-۲۰۷۹) انجام گرفته، نشان از افزایش بارش و دبی در تابستان و افزایش دمای هوا و دمای آب دارد. بوئیج^۴ و همکاران (۲۰۱۱)، در پژوهشی آثار تغییر اقلیم بر دبی رودخانه را با استفاده از مدل GCM مورد شبیه‌سازی قرار داده و به این نتیجه رسیده‌اند که تغییرات اقلیمی، اثرهای چشمگیری بر آبدهی حوضه رودخانه نیل داشته و آبدهی آن طی سال‌های آتی روندی کاهشی را طی خواهد کرد. همچنین در پژوهشی دیگر با عنوان "بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی هیدرولوژی حوضه رودخانه" که از سوی تشی مانگا و هوقس^۵ (۲۰۱۲) انجام گرفته، آثار تغییر اقلیم روی منابع آب رودخانه‌های حوضه گنگو با استفاده از مدل مقیاس جهانی GCM مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصل از کار آنان نشان می‌دهد، در آینده‌ای نزدیک مناطقی از گنگو که دارای آب‌وهوای گرمسیری یا استوایی هستند، دچار کاهش در رواناب خواهند شد. در داخل کشور هم مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴) با استفاده از مدل‌های Hadsms و GCM اثرهای تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده‌رود را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج این پژوهش که با طرح‌های فرضی A2 و B2

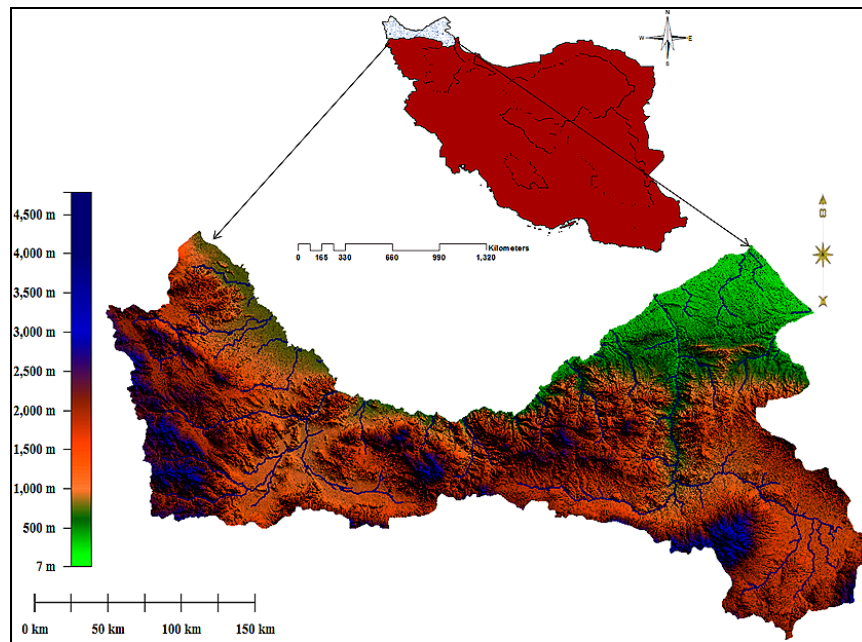
1. Manabe
2. Fujihara
3. Kojiri
4. Boojj
5. Tshimanga and Hughes

برای دو دوره سی‌ساله (۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹) انجام گرفته، نشان از کاهش بارندگی و افزایش درجه‌حرارت در هر دو دوره، به‌خصوص دوره دوم را داشته است. در پژوهشی دیگری که آشفته و مساح بوانی (۱۳۸۹) با عنوان "ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر دبی‌های حداکثر" انجام داده‌اند با استفاده از مدل‌های Hadcm3 و IHACRES تأثیرات تغییر اقلیم بر دبی‌های حداکثر حوضه آیدوغموش را مورد مطالعه قرار داده‌اند؛ نتایج این پژوهش که در بازه زمانی ۲۰۴۰-۲۰۶۹ با طرح فرضی A2 به‌انجام رسیده، حکایت از تغییرات ۳۰ تا ۴۰ درصدی بارندگی و افزایش ۰/۵ تا ۴ درجه دما دارد. کمال و مساح بوانی (۱۳۸۹)، تأثیرات نوسان‌های اقلیمی بر رواناب حوضه را با استفاده از مدل Hadcm3 با طرح فرضی A2، در بازه زمانی ۲۰۴۰-۲۰۶۹ مورد ارزیابی قرار داده‌اند که نتایج کار آنان نشان از افزایش ۰/۵ تا ۲ درجه سانتی‌گرادی دما و تغییرات ۱۰ تا ۲۰ میلی‌متری بارش دارد.

در این پژوهش تلاش شده است تا با استفاده از داده‌های گرمایش جهانی و آبدهی حوضه ارس، تأثیرات پدیده گرمایش جهانی بر آبدهی حوضه رودخانه ارس مورد ارزیابی قرار گیرد و کم‌وکیف این قضیه به‌صورت آماری آشکار شود. حوضه رودخانه ارس یکی از حوضه‌های پُراهمیت و بزرگ کشور شمرده می‌شود که تغییرات آبدهی آن، می‌تواند اثرهای بسیار شدیدی بر شرایط زیستی، فیزیکی و... حوضه داشته باشد، بنابراین این پژوهش با توجه به اهمیت حیاتی موضوع روی زمین‌های اطراف حوضه ارس و به‌دلیل عدم وجود مطالعه‌ای در این راستا در سطح کشور، به‌انجام رسیده است.

موقعیت پهنه مورد مطالعه

رودخانه ارس یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های ایران در حوضه آبریز دریای خزر است. حوضه آبریز رودخانه ارس با مساحت بیش از صد هزار کیلومتر مربع، قسمت‌هایی از خاک کشورهای ترکیه، آذربایجان، ارمنستان و ایران را دربرمی‌گیرد. آن قسمت از حوضه ارس که در ایران قرار گرفته است، در منتهی‌الیه شمال باختری کشور و در ساحل سمت راست رودخانه و در استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، اردبیل و بخش کوچکی از استان گیلان است که حدود ۴۱ درصد از مساحت کل حوضه ارس را تشکیل می‌دهد. رودخانه ارس از کوه‌های هزار برکه ترکیه، واقع در جنوب ترکیه، سرچشمه می‌گیرد و پس از پیمودن قسمتی از کشور ترکیه با شاخه دیگری که از کوه‌های واردینسکی قفقاز سرچشمه می‌گیرد، تلاقی می‌یابد و در محل مرز مشترک ترکیه، آذربایجان و ایران در سه کیلومتری شمال شرقی روستای دم قشلاق شهرستان ماکو، وارد ایران می‌شود. این رودخانه پس از پیمودن مسیری در حدود ۴۵۰ کیلومتر در روستای تازه‌کند پارس‌آباد، از مرز ایران جدا شده و وارد خاک جمهوری آذربایجان می‌شود و با رودخانه کورا در داخل این کشور تلاقی و سپس به دریای خزر می‌ریزد. طول کل رودخانه ارس ۱۰۷۲ کیلومتر است که در مسیر خود بیش از ۱۶۰ شاخه کوچک و بزرگ به آن ملحق می‌شوند. شاخه‌هایی مانند نخجوان، مگری، اخچی چای، ماکوچای، حاجیلر، قطورچای و دوره‌رود از شاخه‌های مهم ارس هستند (اردبیلی اصل و آقای، ۱۳۸۶). مساحت این حوضه برابر با ۳۹۸۹۷ کیلومتر مربع بوده و میزان آبدهی آن ۵۷۰۰ میلیون متر مکعب در سال است.



شکل ۲. نقشه موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز رودخانه ارس

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش از دو دسته داده استفاده شده است، داده‌های دبی حوضه ارس و داده‌های گرمایش جهانی به صورت میانگین سالانه و فصلی. داده‌های دبی حوضه ارس در بازه زمانی چهل ساله از سال ۱۳۴۷ تا سال ۱۳۸۷ بوده که به وسیله ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و اردبیل به ثبت رسیده و از سازمان آب منطقه‌ای استان اردبیل دریافت شده است و مقادیر متناظر آن، داده‌های مربوط به گرمایش جهانی است که به وسیله ایستگاه‌های هواشناسی موجود در سطح جهانی از سال ۱۸۶۰ به بعد مورد ثبت قرار گرفته و از تارنمای مرکز پیش‌بینی‌های اقلیمی ناسا^۱ دریافت و مورد استفاده قرار گرفته است. نخست با استفاده از آزمون ران تست کنترل کیفی روی داده‌ها انجام شد و از همگن بودن داده‌ها اطمینان حاصل شد. سپس مقادیر مربوط به گرایش به مرکز و پراکنندگی داده‌ها، مانند میانگین، میانه، دامنه تغییرات، ضریب تغییرات، ضریب رعنائی و چولگی داده‌ها استخراج شد. برای مشخص کردن ارتباط بین دو مقادیر گرمایش جهانی و آبدی حوضه ارس از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد و برای پیش‌بینی روند تغییرات سالانه دبی حوضه ارس تا سال ۲۰۵۰ میلادی، از روش رگرسیون نمایی استفاده شد. در نهایت با استفاده از مدل رگرسیون خطی و غیرخطی، ارتباط بین این دو پدیده و شبیه‌سازی تأثیرپذیری آبدی حوضه ارس از گرمایش جهانی به دست آمد (با توجه به عمومیت روش‌های بیان شده، از درج معادله‌های به کار رفته در پژوهش صرف نظر شده است). برای مقایسه ناهنجاری‌های دبی حوضه ارس با ناهنجاری‌های دمایی کره زمین و مدل‌سازی روند تغییرات آنها، همچنین شناسایی تأثیر ناهنجاری‌های دمایی کره زمین بر آبدی حوضه رودخانه ارس، هر دو گروه داده‌ها با استفاده از رابطه نمره‌های Z استاندارد، بین $-1/5$ تا $+1/5$ استانداردسازی شده و مورد استفاده قرار گرفتند تا امکان

مقایسه دو گروه داده مذکور که در رده‌های عددی متفاوتی نسبت به همدیگر قرار داشتند، فراهم شود، رابطه نمره‌های Z استاندارد به شرح زیر است:

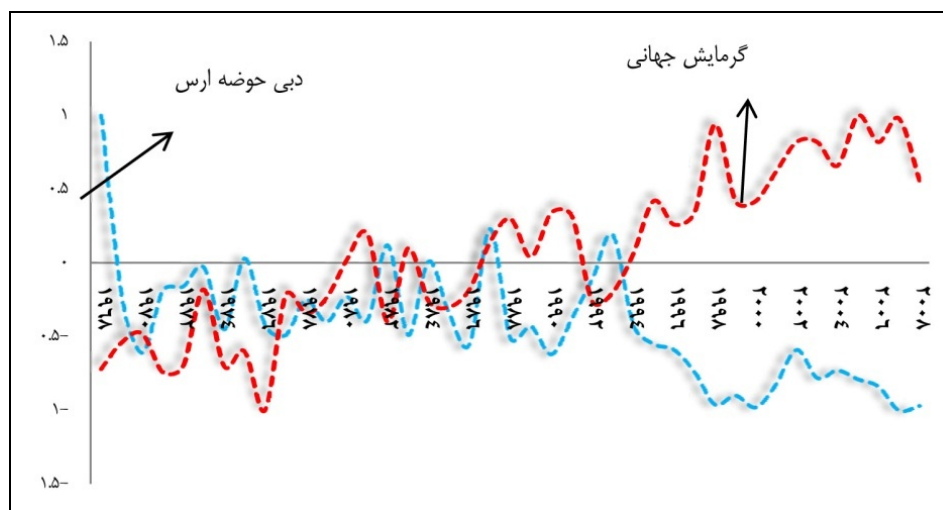
$$F_{sd} = (f_i - \bar{F}) / \sigma \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در معادله فوق، F_{sd} : مقدار عنصر استاندارد شده دبی حوضه؛ f_i : مقدار دبی در سال مفروض؛ \bar{F} : میانگین بلندمدت دبی و σ : انحراف معیار دبی در بازه زمانی مورد مطالعه است (دستجردی و قویدل، ۱۳۸۶). به کمک کمیت نمره‌های استاندارد Z می‌توان تفاوت موجود در پراکندگی میان یک سری انحراف نمره از میانگین را به وسیله تقسیم انحراف هر نمره از میانگین $(f_i - \bar{F})$ ، بر انحراف استاندارد آن سری نمره (σ) ، مرتفع کرد و نمره‌ها را با یکدیگر مورد سنجش قرار داد (حافظ نیا، ۱۳۸۹: ۲۸۸).

یافته‌های پژوهش

آشکارسازی سالانه

مطالعات نشان می‌دهد، آبدهی حوضه ارس طی بازه زمانی مورد مطالعه، دچار نوسان‌های کوتاه در بین سری‌های زمانی کوتاه‌مدت خود بوده که روند افزایشی - کاهشی را در پی داشته، اما در سری زمانی بلند مدت خود، همواره دارای روندی کاهشی است که درست برعکس تغییرات سری زمانی گرمایش جهانی است. براساس شکل شماره ۳، تغییرات آبدهی سالانه حوضه ارس با داده‌های گرمایش جهانی همخوانی قابل قبولی را نشان می‌دهد، چنانچه در دوره‌هایی که گرمایش جهانی روند افزایشی داشته، دبی حوضه روند کاهشی را طی کرده و با کاهش گرمایش جهانی، دبی حوضه ارس روند افزایشی را سپری می‌کند؛ این فرآیند به‌ویژه از سال ۱۹۹۳ تا سال ۲۰۰۸ میلادی به‌روشنی قابل درک است. از این سال به بعد دمای کره زمین روند افزایشی شدیدی را داشته و در پی آن دبی حوضه ارس نیز کاهش بی‌سابقه‌ای را تجربه می‌کند.



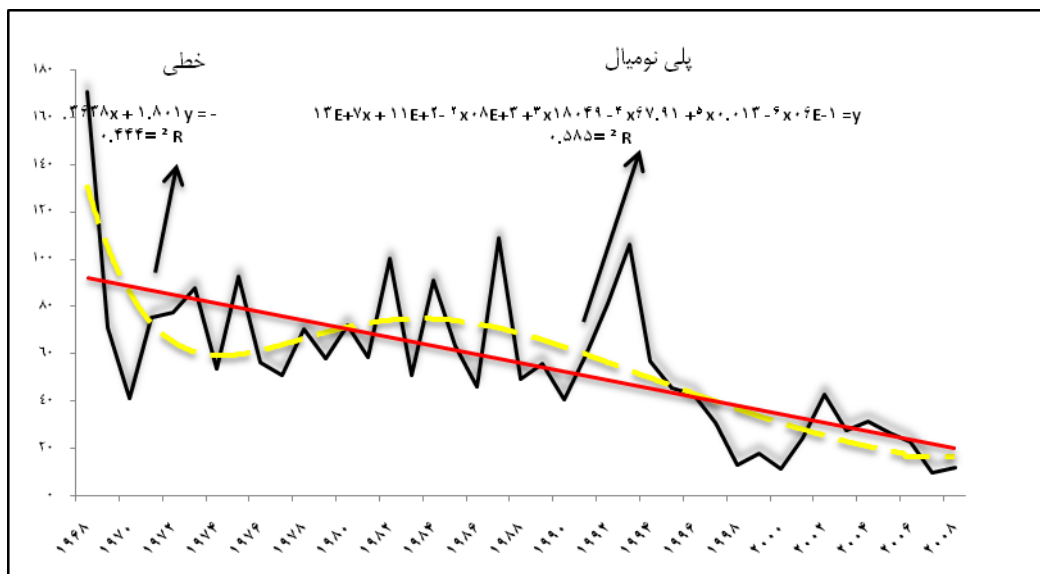
شکل ۳. نمودار استاندارد شده نوسان‌های بلندمدت دبی حوضه ارس و گرمایش جهانی طی بازه زمانی چهل ساله

جدول شماره ۱ آماره‌های توصیفی داده‌های دبی سالانه حوضه ارس را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، میانگین دبی حوضه برابر با ۵۶/۲۵ متر مکعب با انحراف معیار ۳۲/۳۷ متر مکعب در سال است. دبی حوضه دارای چوله به راست است که نشان می‌دهد فراوانی مقادیر زیاد بیشتر بوده، همچنین با توجه به ضریب تغییرات داده‌ها که برابر با ۵۷/۵۴ مترمکعب در ثانیه است، می‌توان گفت داده‌ها دارای تغییرات نسبی زیاد در واحد سطح هستند.

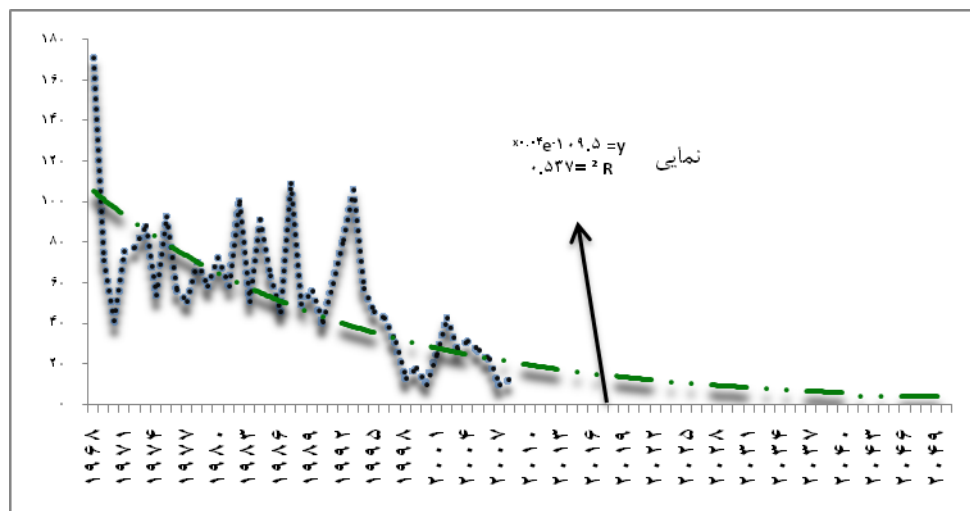
جدول ۱. مقادیر مربوط به آماره‌های توصیفی داده‌ها

میانگین	واریانس	انحراف معیار	دامنه تغییرات	ضریب رعنائی	ضریب چولگی	ضریب تغییرات
۵۶/۲۵۲۵	۱۰۴۷/۶۰	۳۲/۳۷	۱۶۱/۲۴	۲/۵۸	۱/۱۲۶	۵۷/۵۴

نوسان‌های آبدی حوضه ارس با نوسان‌های دمایی کره زمین، دارای همبستگی معکوس ۰/۶۸- درصد با ضریب معناداری ۰/۰۱ و ضریب تعیین ۰/۴۶ است که تأثیر پدیده گرمایش جهانی بر آبدی حوضه ارس را مشخص می‌کند. بدین گونه که با افزایش دمای کره زمین آبدی این حوضه کاهش پیدا کرده و می‌توان گفت ۰/۴۶ کاهش آبدی آن در نتیجه تأثیر گرمایش جهانی بوده است. با توجه به روند کاهشی آبدی حوضه ارس و تأثیرپذیری آن از پدیده گرمایش جهانی، روند تغییرات سالانه آبدی این حوضه در آینده، به وسیله مدل رگرسیون نمایی تا سال ۲۰۵۰ میلادی مورد پیش‌بینی قرار گرفت که نتیجه حاصل شده حاکی از افت شدید آبدی این حوضه و رسیدن آن به ۱۰ مترمکعب در سال، تا سال ۲۰۵۰ میلادی دارد (شکل ۵).

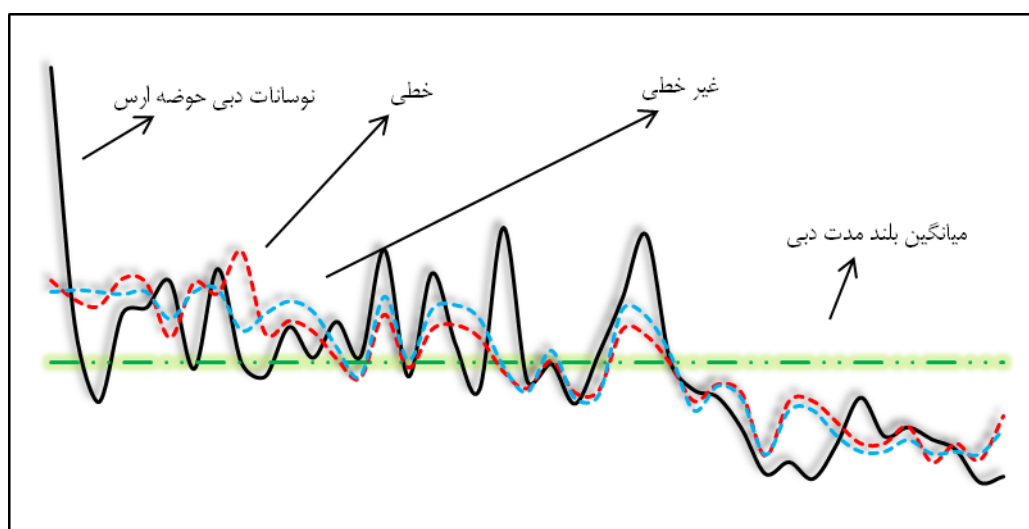


شکل ۴. تغییرات سری زمانی دبی حوضه ارس طی بازه زمانی چهل ساله



شکل ۵. پیش‌بینی روند تغییرات آبدهی حوضه ارس به صورت نمایی تا سال ۲۰۵۰

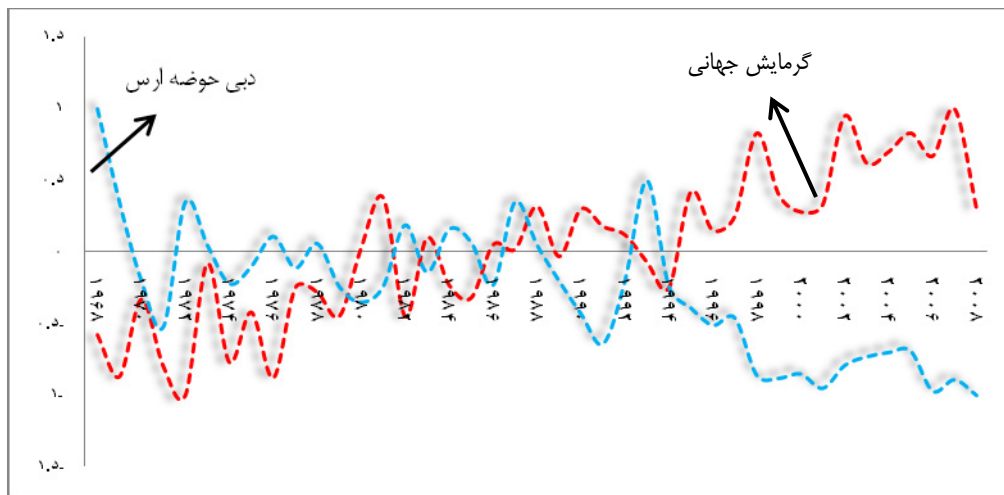
با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی و غیرخطی، میانگین دبی سالانه ارس به وسیله تأثیر گرمایش جهانی برآورد شده که نتایج نشان می‌دهد، رگرسیون غیرخطی توانسته است با ضریب تعیین ۰/۵۱ در مقابل ضریب تعیین ۰/۴۶ رگرسیون خطی برآورد دقیق‌تر و بهتری را نسبت به رگرسیون خطی انجام دهد. همان‌طور که از شکل شماره ۶ پیدا است، آبدهی حوضه ارس از سال ۱۹۹۴ تا سال ۲۰۰۸ زیر میانگین دبی بلندمدت حوضه بوده که به شدت دبی حوضه کاهش یافته و نشان از بروز خشکسالی در حوضه داشته است و مطابقت بسیار زیادی را با نوسان‌های دمای کره زمین دارد؛ به طوری که گرمایش جهانی نیز از همین سال روند روبه‌رشد فزاینده‌ای از خود نشان داده که به پیروی از آن، دبی حوضه ارس نیز روند کاهشی بسیار شدیدی را تجربه می‌کند. این فرآیند تأثیرپذیری آبدهی حوضه ارس از گرمایش جهانی را آشکار می‌کند.



شکل ۶. نمودار برآورد شده رگرسیون خطی و غیرخطی با میانگین بلندمدت و نوسان‌های دبی حوضه ارس

فصل زمستان

بیشترین ارتباط معکوس بین آبدهی حوضه ارس و ناهنجاری‌های دمایی کره زمین در فصل زمستان مشاهده می‌شود که فصل پر بارش و مرطوب بیشتر نقاط ایران و حوضه‌های آبخیز شمرده می‌شود. در این فصل کاهش آبدهی حوضه ارس در نتیجه گرمایش جهانی به بیشینه خود رسیده، به گونه‌ای که همبستگی میان دبی ارس و گرمایش جهانی برابر با -0.70 با سطح اطمینان 0.99 درصد است. با محاسبه ضریب تعیین، می‌توان گفت 0.49 کاهش آبدهی این حوضه در نتیجه گرمایش جهانی به وجود آمده است که در شکل شماره ۷ به روشنی قابل درک است. روند تغییرات آبدهی حوضه ارس با گرمایش جهانی، نشان از ارتباط زیاد این دو پدیده در سری‌های زمانی کوتاه‌مدت و بلندمدت دارد، چنانچه با افزایش گرمایش جهانی میزان دبی کاهش و با کاهش آن، افزایش در دبی را شاهد هستیم. البته در سری‌های زمانی بلندمدت خود نیز این فرآیند مشاهده می‌شود، به خصوص از سال ۱۹۹۴ به بعد که تغییرات فاحشی در دمای کره زمین به وجود آمده و افزایش چشمگیری داشته و به دنبال آن، دبی حوضه ارس نیز روند کاهشی را سپری کرده است.

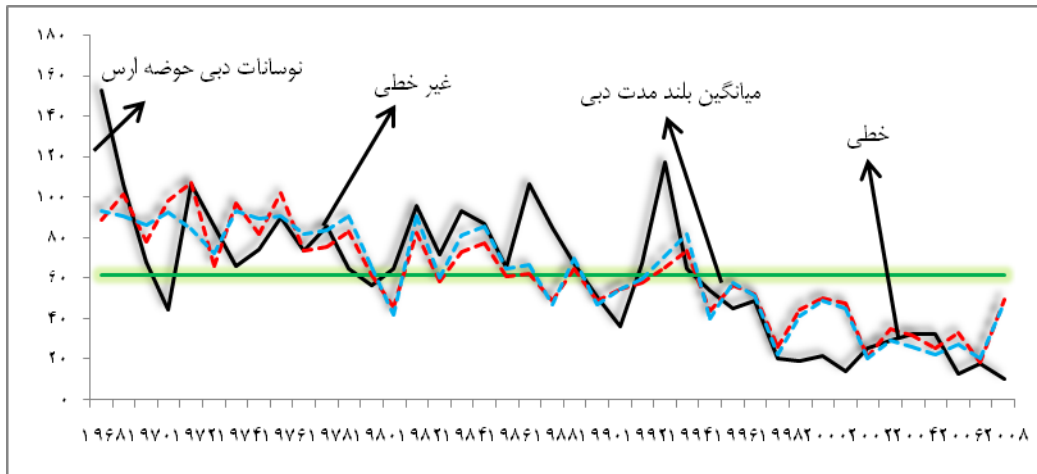


شکل ۷. نمودار استاندارد شده نوسان‌های بلندمدت فصل زمستان دبی حوضه ارس و گرمایش جهانی طی بازه زمانی چهل ساله

بررسی نوسان‌های سری زمانی آبدهی حوضه ارس در فصل زمستان طی سال‌های ۱۹۶۸ تا ۲۰۰۸ میلادی، نشان از تغییرات کمتر آبدهی حوضه نسبت به فصول دیگر سال است، چنانچه ضریب تغییرات دبی حوضه ارس در فصل زمستان برابر با $53/14$ درصد بوده که تغییرات نسبی زیاد دبی در واحد سطح را نشان می‌دهد، اما نسبت به فصول دیگر دارای نوسان کمتری است.

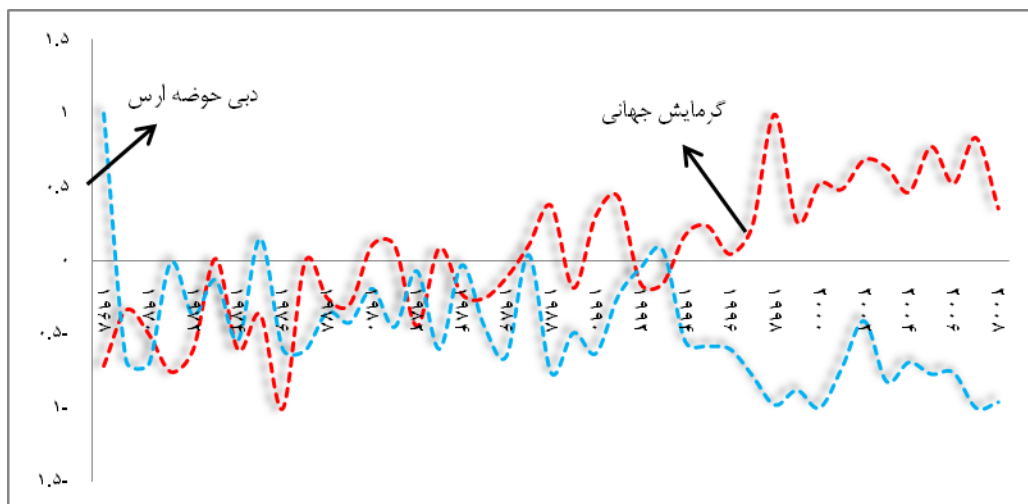
جدول ۲. مقادیر مربوط به آماره‌های توصیفی داده‌ها در فصل زمستان

میانگین	واریانس	انحراف معیار	دامنه تغییرات	ضریب رعنائی	ضریب چولگی	ضریب تغییرات
۶۱/۹۹	۱۰۸۵/۰۵	۳۲/۹۴	۱۴۲/۷۱	۰/۰۰۱	۰/۳۹	۵۳/۱۴



شکل ۹. نمودار برآورد شده رگرسیون خطی و غیرخطی با میانگین بلندمدت و نوسانات دبی حوضه ارس در فصل بهار

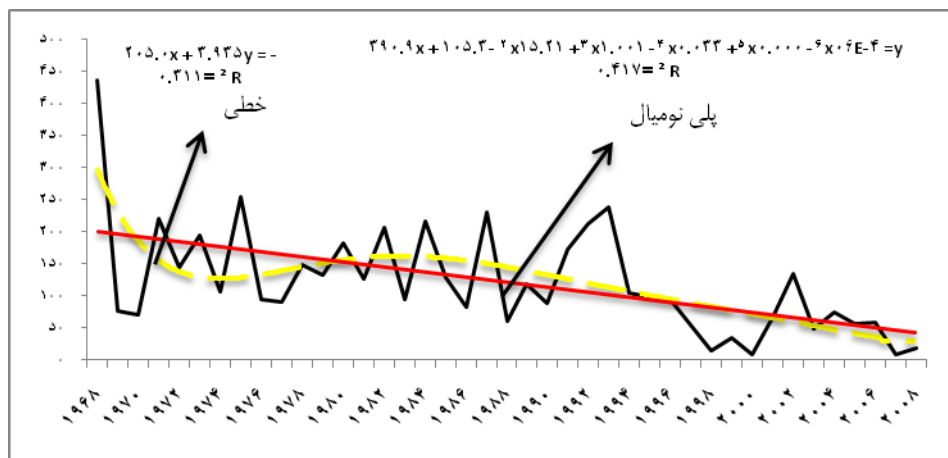
دبی حوضه ارس در فصل بهار طی بازه زمانی چهل ساله خود، دارای میانگین $۱۲۲/۴۳$ متر مکعب با انحراف معیار ۴۰ و چولگی $۸۴/۴۸$ است که نشان از گرایش به راست بودن چوله دارد. ضریب تغییرات بهاره دبی حوضه طی بازه زمانی مورد مطالعه، تغییرات زیاد آبدهی حوضه را نشان می‌دهد، چنانچه ضریب تغییرات آن برابر با ۶۹ مترمکعب است که روی نمودار تغییرات سری زمانی بلندمدت خود به وضوح مشاهده می‌شود. دبی بهاره حوضه ارس طی بازه زمانی چهل ساله، ناهنجاری‌های شدیدی از خود نشان می‌دهد که ضریب رگرسیون خطی و پلی نومیال مرتبه ۶ آن، به ترتیب برابر با $۰/۳۱$ و $۰/۴۱$ است که نشان از روند کاهشی دبی طی بازه زمانی مورد مطالعه دارد.



شکل ۱۰. نمودار استاندارد شده نوسانات دبی بلند مدت فصل بهار دبی حوضه ارس و گرمایش جهانی طی بازه زمانی چهل ساله

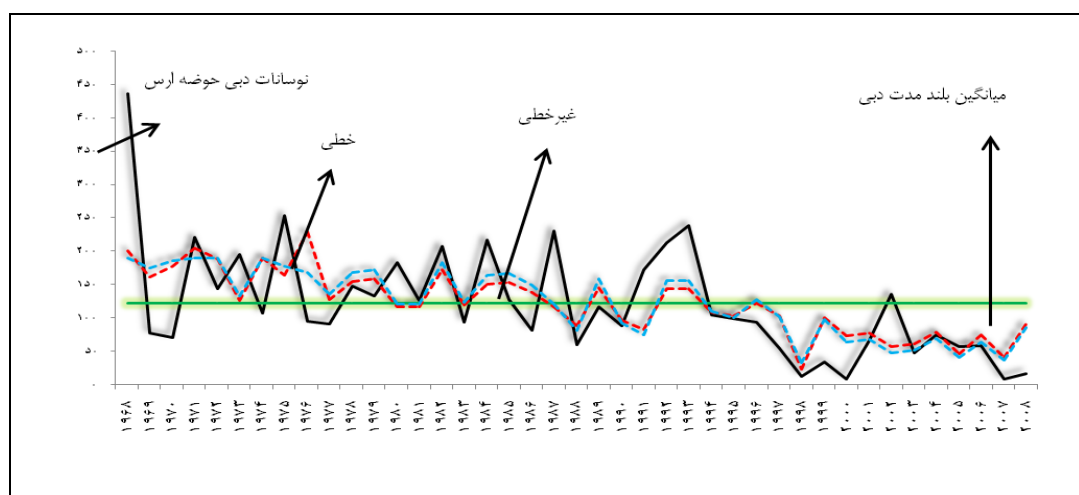
جدول ۳. مقادیر مربوط به آماره‌های توصیفی داده‌ها در فصل بهار

میانگین	واریانس	انحراف معیار	دامنه تغییرات	ضریب رعنایی	ضریب چولگی	ضریب تغییرات
۱۲۲/۴۳	۷۱۳۷/۴۰	۸۴/۴۸	۴۲۹/۲۰	۳/۴۱	۱/۴۰	۶۹



شکل ۱۱. تغییرات سری زمانی فصل بهار دبی حوضه آرس طی بازه زمانی چهل ساله

پیش‌بینی‌ای که به کمک رگرسیون خطی و غیرخطی انجام شده (شکل ۱۳)، نتیجه نزدیک به هم داشته است، رگرسیون غیر خطی با ضریب تعیین ۰/۳۵ درصد در مقابل ۰/۳۲ رگرسیون خطی، پیش‌بینی دقیق‌تری را انجام داده است. این امر می‌تواند به دلیل تغییرات نه‌چندان زیاد دبی حوضه طی فصل بهار باشد که کمابیش روند افزایشی - کاهش‌ی را داشته است. همچنان‌که از نمودار پیداست، دبی بهاره حوضه آرس از سال ۱۹۹۴ به بعد، همواره زیر میانگین بلندمدت خود است که فقط در سال ۲۰۰۲ به مقدار بسیار اندکی فراتر از میانگین بلندمدت خود رفته و در بقیه سال‌ها یک خشکسالی بی‌سابقه‌ای را تجربه می‌کند. با بررسی روند تغییرات دمای کره زمین می‌توان گفت این فرآیند نتیجه آثار شدید پدیده گرمایش جهانی بوده که تأثیرات شدیدی بر آبدهی حوضه در فصل بهار داشته است.

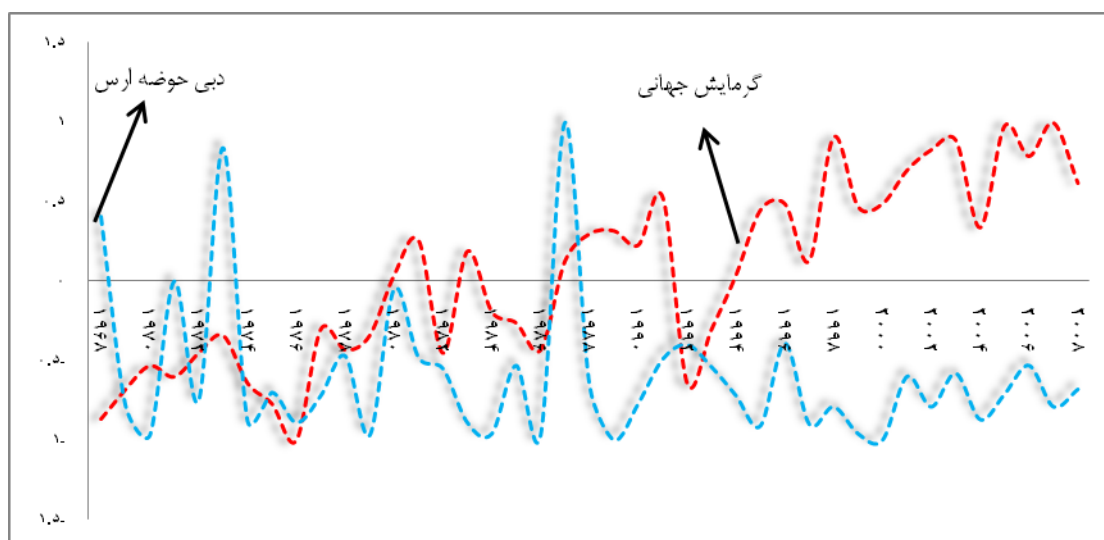


شکل ۱۲. نمودار برآورد شده رگرسیون خطی و غیرخطی با میانگین بلندمدت و نوسان‌های دبی حوضه آرس در فصل بهار

فصل تابستان

همبستگی تابستانه دبی آرس با ناهنجاری‌های دمایی کره زمین برابر با ۰/۱۷- درصد با ضریب تعیین ۰/۰۳- است که

نسبت به فصل‌های دیگر سال، همبستگی معکوس بسیار کمتری در این فصل مشاهده می‌شود. این فرآیند می‌تواند به دلیل کاهش آبدهی حوضه ارس در فصل تابستان باشد (در این موقع از سال مقدار بارندگی کاهش می‌یابد)؛ چرا که در این فصل پُرفشار آزر بر منطقه تسلط داشته و منطقه خارج از تأثیرات بادهای غربی است که به‌دنبال آن ریزش‌های جوی به مقدار چشمگیری کاهش می‌یابد. این عامل باعث شده تا گرمایش جهانی که تأثیر عکسی بر آبدهی این حوضه در فصل تابستان داشته، به مقدار کمتری نسبت به سایر فصول سال نمود یابد؛ به‌گونه‌ای که شکل شماره ۱۳ نشان‌دهنده این روند است. نوسان‌های دبی حوضه با گرمایش جهانی طی دوره مطالعاتی همخوانی چندانی با همدیگر نداشته و آشفتگی‌هایی در این روند مشاهده می‌شود، اما باز هم از سال ۱۹۹۳ با افزایش قابل توجه دمای کره زمین، دبی حوضه کاهش محسوسی را در فصل تابستان از خود نشان می‌دهد.

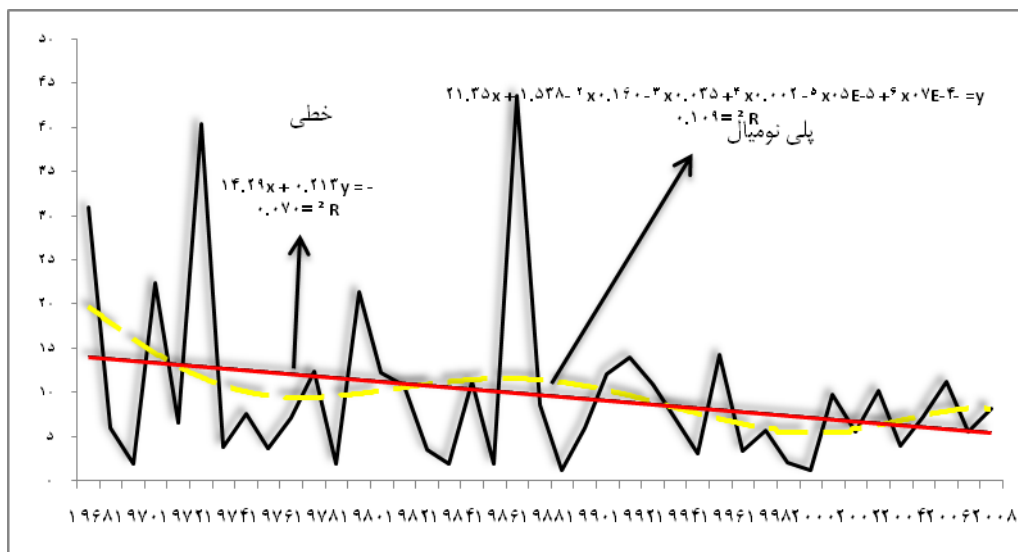


شکل ۱۳. نمودار استاندارد شده نوسان‌های بلندمدت فصل تابستان دبی حوضه ارس و گرمایش جهانی طی بازه زمانی چهل‌ساله

میانگین بلندمدت تابستانه دبی حوضه ارس برابر با $9/82$ مترمکعب با انحراف معیار $9/62$ مترمکعب بوده که دارای $97/96$ درصد ضریب تغییرات است. این رقم بالا، حاکی از تغییرات بسیار زیاد دبی حوضه ارس طی فصل تابستان دارد که نشان‌دهنده متغیر بودن آبدهی این حوضه در این فصل است؛ به‌طوری که با توجه به شکل شماره ۱۴، این روند تغییرات بسیار زیاد حوضه ارس که به‌وسیله رگرسیون خطی و پلی‌نومیال ترسیم شده است را می‌توان شناسایی کرد. ضرایب رگرسیون خطی و پلی‌نومیال دبی تابستانه ارس، به‌ترتیب برابر با $0/07$ و $0/10$ درصد است که حاکی از تشنجی بودن آبدهی این حوضه در فصل تابستان دارد.

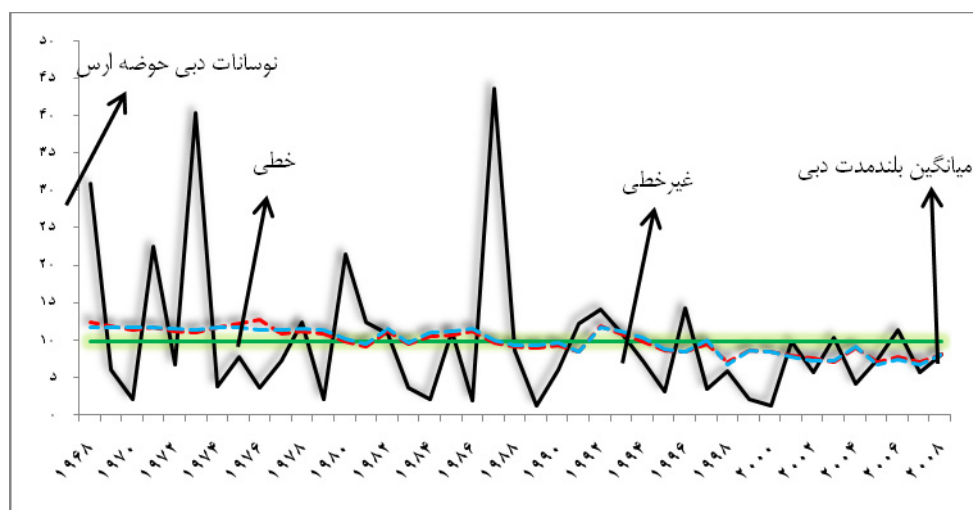
جدول ۴. مقادیر مربوط به آماره‌های توصیفی داده‌ها در فصل تابستان

میانگین	واریانس	انحراف معیار	دامنه تغییرات	ضریب رعنائی	ضریب چولگی	ضریب تغییرات
۹/۸۲	۹۲/۵۵	۹/۶۲	۴۲/۴۹	۵/۱۶	۲/۲۱	۹۷/۹۶



شکل ۱۴. تغییرات سری زمانی فصل تابستان دبی حوضه ارس طی بازه زمانی چهل ساله

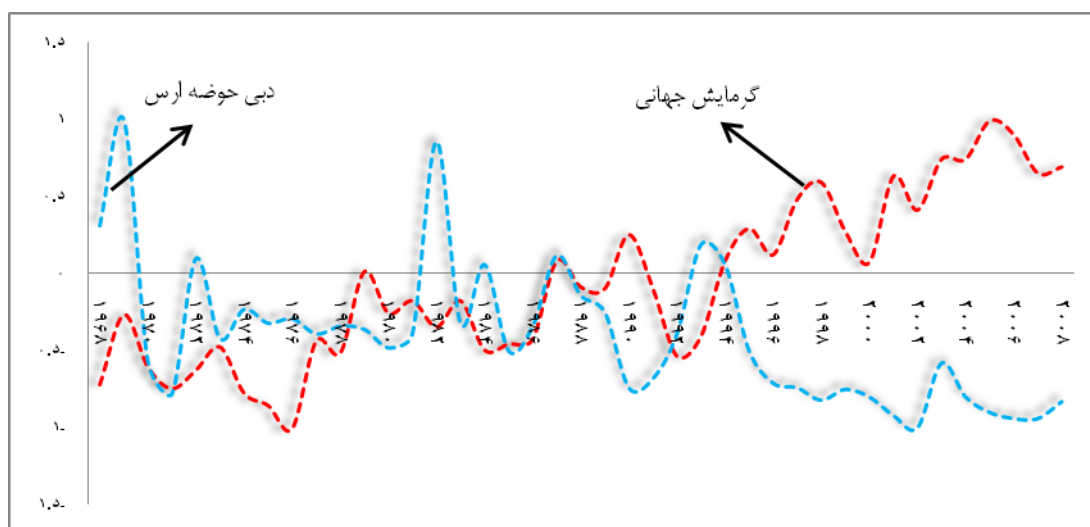
با این روند نوسان‌های بسیار شدید، طبیعی است که مدل‌های رگرسیونی به‌خوبی نتوانند این فرآیند پیچیده را پیش‌بینی کنند. همچنان‌که شکل شماره ۱۵ به‌وضوح این فرآیند را نمایش می‌دهد، رگرسیون خطی و غیرخطی به‌ترتیب با ضریب تعیین 0.03 و 0.02 توانسته‌اند این تغییرات شدید را شبیه‌سازی کنند که باز مدل غیرخطی نسبت به مدل خطی موفق‌تر عمل کرده است. مقایسه نوسان‌های دبی حوضه در فصل تابستان با میانگین بلندمدت آن، نشان از تشنجی بودن آبدهی حوضه ارس در این فصل دارد، به‌گونه‌ای که در بعضی سال‌ها به‌شدت دوره ترسالی را سپری کرده و در بعضی سال‌ها هم خشکسالی‌های بی‌سابقه‌ای را تجربه کرده است؛ اما همانند فصل‌های دیگر، از سال ۱۹۹۴ به بعد، کمابیش در اکثر سال‌ها دبی حوضه زیر میانگین بلندمدت خود بوده که نشان از وقوع خشکسالی طی این سال‌ها در این حوضه دارد.



شکل ۱۵. نمودار برآورد شده رگرسیونی خطی و غیرخطی با میانگین بلندمدت و نوسان‌های دبی حوضه ارس در فصل تابستان

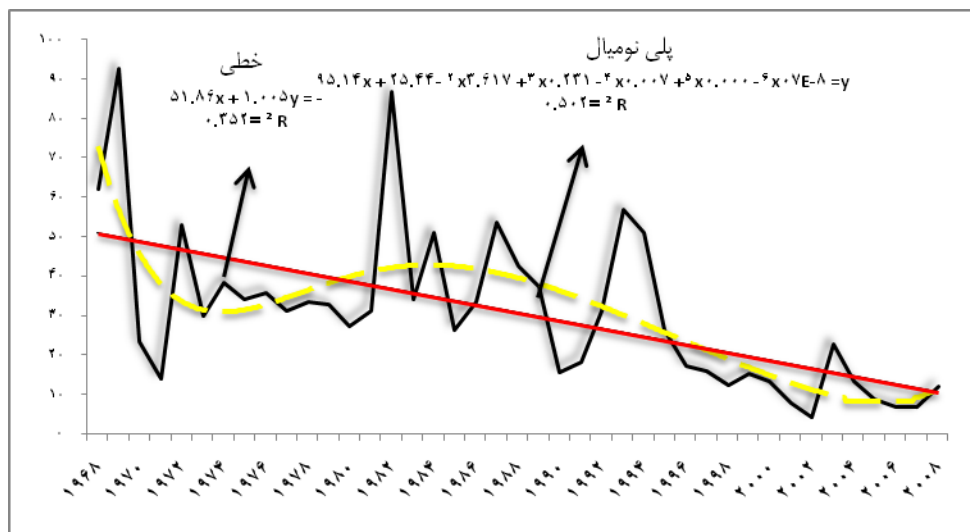
فصل پاییز

شکل شماره ۱۶ نوسان‌های دبی حوضه ارس و گرمایش جهانی در فصل پاییز را نشان می‌دهد. دمای کره زمین در فصل پاییز، اگرچه دارای نوسان‌های کوتاه است، اما در سری زمانی بلندمدت خود روندی افزایشی را سپری می‌کند. همچنین دبی حوضه ارس هم طی بازه زمانی بلندمدت خود روندی رو به کاهش را تجربه می‌کند. تحلیل‌ها حاکی از تأثیرپذیری دبی این حوضه در فصل پاییز از ناهنجاری‌های دمایی کره زمین است؛ چنانچه ضریب همبستگی دبی فصل پاییز حوضه با گرمایش جهانی فصل پاییز دارای همبستگی معکوس به نسبت قوی $-0/54$ درصد با سطح معناداری $0/01$ درصد یا به‌گفته‌ای با ضریب اطمینان $0/99$ درصد است که کاهش دبی حوضه در نتیجه افزایش دمای کره زمین را نشان می‌دهد. همچنین ضریب تعیین این رابطه معکوس برابر با $0/29$ بوده که نشان می‌دهد $0/29$ کاهش دبی پاییزه ارس، در نتیجه گرمایش جهانی به‌وجود آمده است. چنانچه از شکل شماره ۱۶ پیداست، کاهش یا افزایش دمای کره زمین بر دبی حوضه تأثیر به‌سزایی داشته و مطابقت کاملی را با گرمایش جهانی نشان می‌دهد؛ به‌گونه‌ای که از سال ۱۹۹۴ تا سال ۲۰۰۸ میلادی، دمای کره زمین افزایشی شدید داشته که به‌دنبال آن، دبی حوضه هم روند کاهشی شدید را سپری کرده است.



شکل ۱۶. نمودار استاندارد شده نوسان‌های بلندمدت فصل پاییز دبی حوضه ارس و گرمایش جهانی طی بازه زمانی چهل‌ساله

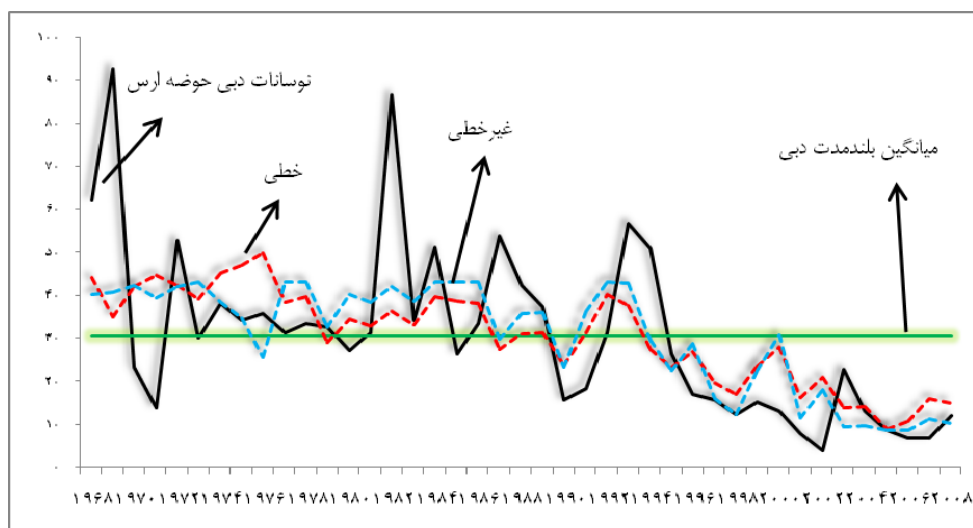
میانگین بلندمدت پاییزه دبی حوضه ارس برابر با $30/75$ مترمکعب با انحراف معیار $20/28$ و ضریب تغییرات برابر با $65/95$ مترمکعب است که حاکی از تغییرات زیاد دبی حوضه در واحد سطح است؛ چنانچه شکل شماره ۱۷ نشان‌دهنده این تغییرات در سری زمانی دبی حوضه است. دبی حوضه ارس، ناهنجاری‌های به‌نسبت شدیدی را طی سال‌های مختلف تجربه کرده و در سری زمانی بلندمدت خود روند کاهشی را نشان می‌دهد. چنانچه ضرایب رگرسیون خطی و پلی‌نومیال مرتبه ۶ پاییزه آن، به‌ترتیب برابر با $0/35$ و $0/50$ است که حاکی از کاهش آبدهی حوضه طی چهل سال دوره مطالعاتی در فصل پاییز است.



شکل ۱۷. تغییرات سری زمانی فصل پاییز دبی حوضه ارس طی بازه زمانی چهار ساله

جدول ۵. مقادیر مربوط به آماره‌های توصیفی داده‌ها در فصل پاییز

میانگین	واریانس	انحراف معیار	دامنه تغییرات	ضریب رعنائی	ضریب چولگی	ضریب تغییرات
۳۰/۷۵	۴۱۱/۴۹	۲۰/۲۸	۸۸/۶۹	۱/۸۰	۱/۲۳	۶۵/۹۵



شکل ۱۸. نمودار برآوردشده رگرسیون خطی و غیرخطی با میانگین بلندمدت و نوسانات دبی حوضه ارس در فصل پاییز

در پیش‌بینی انجام گرفته با کمک رگرسیون خطی و غیرخطی، رگرسیون غیرخطی توانست با ضریب تعیین ۰/۳۸ درصد در مقابل ضریب تعیین ۰/۲۹ رگرسیون خطی پیش‌بینی دقیق‌تری را انجام دهد و همخوانی بیشتری را با دبی حوضه، نسبت به نوع خطی خود داشته باشد. دبی حوضه ارس طی فصل پاییز در بازه زمانی مورد مطالعه تا سال ۱۹۹۴ در

بیشتر مواقع، بالای میانگین بلندمدت خود است و فقط در بعضی از سال‌ها این مقدار پایین‌تر از میانگین بلندمدت خود قرار گرفته است. اما باز از سال ۱۹۹۴ به بعد، دبی حوضه همواره زیر میانگین پاییزه خود بوده و کم‌آبی شدید یا به‌گفته‌ای، وقوع خشکسالی بی‌سابقه‌ای را از سال ۱۹۹۴ به بعد نشان می‌دهد که با مقایسه این تغییرات با نوسان‌های دمای کره زمین، تأثیر آن بر کاهش آبدی حوضه ارس آشکار می‌شود و می‌تواند مشکلات بسیاری را برای مناطق واقع در شمال غرب کشور در زمینه‌های مختلف ایجاد کند.

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با استفاده از روش‌های آماری برای آشکارسازی سالانه و فصلی تأثیر گرمایش جهانی بر آبدی حوضه ارس انجام گرفته است. با توجه به پیشینه مطالعات، فقط مطالعات مشابهی در این راستا وجود داشت، اما پژوهش مشابهی که با داده‌های به‌کار گرفته شده در این پژوهش همخوانی داشته باشد، به‌انجام نرسیده و کم‌وکیف این موضوع برای نخستین بار در سطح جهانی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. نتایج نشان از تأثیرپذیری معکوس آبدی حوضه ارس از گرمایش جهانی دارد؛ چنانچه با افزایش گرمایش جهانی، شاهد کاهش آبدی حوضه ارس هستیم. این فرآیند به‌طور کامل در مطالعه تغییرات سری زمانی کوتاه‌مدت و بلندمدت گرمایش جهانی و آبدی حوضه ارس نمایان بوده و از سال ۱۹۹۴ به بعد با پیش گرفتن روند فزاینده گرمایش جهانی، آبدی حوضه ارس روند کاهنده را طی می‌کند.

مطالعات در مقیاس سالانه نشان می‌دهد که دبی حوضه ارس با گرمایش جهانی دارای ارتباط معکوس $0/68-$ است که در نتیجه، $0/46$ کاهش آبدی سالانه حوضه ارس در پی گرمایش جهانی به‌وجود آمده است. در بین فصول سال، بیشترین تأثیرپذیری به فصل زمستان با ضریب تعیین $0/49$ اختصاص داشته و فصل بهار با $0/32$ و پاییز با $0/29$ درصد، در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. کمترین تأثیرپذیری هم با ضریب تعیین $0/03$ متعلق به فصل تابستان است. نتایج نشان از دقت بالای مدل رگرسیون غیرخطی نسبت به نوع خطی خود در پیش‌بینی آبدی حوضه ارس به‌وسیله گرمایش جهانی دارد. مطالعه تغییرات سری زمانی آبدی حوضه ارس حاکی از کاهنده بودن روند آبدی حوضه دارد. اگرچه در سری‌های زمانی کوتاه‌مدت خود روندی افزایشی - کاهشی را از خود نشان می‌دهد؛ اما در بلندمدت همواره روندی کاهشی را سپری کرده، به‌خصوص در ۱۵ سال اخیر هم به‌صورت سالانه و هم به‌صورت فصلی زیر میانگین بلندمدت خود قرار گرفته و با روند افزایش گرمایش جهانی در سال‌های آینده، امکان افت بیش از اندازه آبدی حوضه ارس امری انکارنکردنی است. این فرآیند تغییرات بسیار زیادی را از دید ریخت‌شناسی بر حوضه خواهد داشت. بنابراین مطالعه چگونگی تغییرات لندفرم‌های حوضه ارس در سال‌های آینده، نیاز به پژوهش‌های دیگری دارد که امید است محققان مربوطه در پژوهش‌های آینده خود به این امر مهم مبادرت ورزیده و چگونگی این فرآیند را مورد مطالعه قرار دهند.

منابع

اردبیلی اصل، ب.؛ آقایی، ل. (۱۳۸۶)، بررسی داده‌های بارندگی در حوضه آبریز سد ارس با استفاده از آرشیو داده‌های سایت NASA، مقاله سمینار سومین کنگره ملی مهندسی عمران، سال ۱۳۸۶، تبریز.

- آشفته، پ.؛ مساح بوانی، ع. (۱۳۸۹)، تأثیر تغییر اقلیم بر دبی‌های حداکثر (مطالعه موردی: حوضه آیدوغموش، آذربایجان شرقی)، فصلنامه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، شماره ۵۳، صص. ۳۹-۲۵.
- حافظ نیا، م. (۱۳۸۹)، مقدمه‌ای بر روش تحقیق در علوم انسانی، چاپ ۱۷، تهران: انتشارات سمت.
- خوشحال دستجردی، ج.؛ قویدل رحیمی، ی. (۱۳۸۶)، بررسی رابطه تغییرات بارش سالیانه تبریز با ناهنجاریهای دمایی کره زمین و شبیه سازی عددی آن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۲، شماره ۲، صص ۵۳-۲۹.
- علیچانی، ب.؛ قویدل رحیمی، ی. (۱۳۸۴)، مقایسه و پیش‌بینی تغییرات دمای سالانه تبریز با ناهنجاری‌های دمایی کره زمین با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی و شبکه عصبی مصنوعی، مجله جغرافیا و توسعه، سال سوم، شماره ۶، صص. ۳۸-۲۱.
- کمال، ع.؛ مساح بوانی، ع. (۱۳۸۹)، تأثیر تغییر و نوسانات اقلیمی بر رواناب حوضه با دخالت عدم قطعیت دو مدل هیدرولوژی، نشریه آب و خاک، سال بیست و چهارم، شماره ۵، صص. ۹۳۱-۹۲۰.
- مساح بوانی، ع.؛ مرید، س. (۱۳۸۴)، اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده رود اصفهان، فصلنامه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، شماره ۳۴، زمستان ۱۳۸۴، صص. ۲۷-۱۷.
- Barker, J.R., Ross, M.H., 1999, **An Introduction to Global Warming**, American Association of Physics Teachers, American Journal of Physics, Vol. 67. No. 12, PP. 1216-1226.
- Booij, M.J., Tollenaar, D., van Beek, E., Kwadijk, J. C.J., 2011, **Simulating Impacts of Climate Change on River Discharges in the Nile Basin**, Physics and Chemistry of the Earth, Vol. 36, No. 13, PP. 696-709.
- Fujihara, Y., Tanaka, K., Watanabe, T., Nagano, T., Kojiri, T., 2008, **Assessing the Impacts of Climate Change on the Waterresources of the Seyhan River Basin in Turkey: Use of Dynamically Downscaled Data for Hydrologic Simulations**, Journal of Hydrology, Vol. 353, No. 1/2, PP. 33- 48.
- Kojiri, T., Hamaguchi, T., Ode, M., 2008, **Assessment of Global Warming Impacts on Water Resources and Ecology of a River Basin in Japan**, Journal of Hydro Environment Research, Vol. 1, No. 3/4, PP. 164-175.
- Manabe, S., Milly, P. C. D., Wetherald, R., 2004, **Simulated Long-term Changes in River Discharge and Soil Moisture Due to Global Warming**, Hydrological Sciences Journal, Vol. 49, No. 4, PP. 625-642.
- Maslin, M., 2004, **Global Warming a Veryshort Introduction**, Oxford, New York.
- Pike, R.G., Spittlehouse, D.L., Bennett, K.E., Egginton, V.N., Tschaplinski, P.J., Murdock, T.Q. and Werner, A.T., 2008, **Climate Change and Watershed Hydrology: Part II – Hydrologic Implications for British Columbia**, Streamline Watershed Management Bulletin, Vol. 11, No. 2, PP. 8-13.
- Price, C., Michaelides, S., Pashiardis, S., Alpert, P., 1999, **Long Term Changes in Diurnal Temperature Range in Cyprus**, Atmospheric Research, Vol. 51, No. 2, PP. 85-98.
- Tshimanga, R.M., Hughes, D.A., 2012, **Climate Change and Impacts on the Hydrology of the Congo Basin: The Case of the Northern Sub-basins of the Oubangui and Sangha Rivers**, Physics and Chemistry of the Earth, Vol. 50-52, PP. 72-83.