

هیدروژئومورفولوژی، شماره ۲، بهار ۱۳۹۴، صص ۱۳۵-۱۱۷

وصول مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۲۰ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۴/۰۲/۱۹

نقش گازهای گلخانه‌ای در نوسانات دبی کشکان رود

محمدحسین ناصرزاده^۱

میثم طولابی نژاد^۲

چکیده

تحقیق حاضر، در راستای بررسی ارتباط آماری گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن و متان به‌عنوان عوامل گرم‌کننده هوا در سطح جهان با مقادیر دبی کشکان رود صورت پذیرفت. داده‌های به‌کار گرفته شده در این مطالعه، شامل داده‌های فصلی و سالانه گازهای گلخانه‌ای و دبی کشکان رود بین سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۰ است و با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون، رگرسیون خطی چندمتغیره و روش گرافیکی من-کندال به انجام رسیده است. نتایج این پژوهش از ارتباط معکوس و قوی گرمایش جهانی با دبی کشکان رود حکایت می‌کند. این فرآیند طی ۱۵ سال اخیر و از سال ۱۹۹۵ به بعد تشدید شده است و در پی آن آبدهی کشکان رود با سیر نزولی شدیدی مواجه بوده است. مطالعه تغییرات آبدهی در مقیاس سالانه ارتباط معکوس دبی کشکان رود با گرمایش جهانی را نشان می‌دهد، به‌طوری که ۵۵/۲ درصد از کاهش آبدهی سالانه حوضه کشکان رود ناشی از گرمایش جهانی بوده است. همچنین در مقیاس فصلی، دبی کشکان رود در فصل تابستان با ۴۷/۷، پاییز با ۴۵/۶، بهار با ۳۸ و زمستان با ۳۳/۱ درصد، از گرمایش جهانی بصورت کاهش آبدهی تأثیر پذیرفته است. در نهایت با استفاده از مدل رگرسیون نمایی پیش‌بینی شد که اگر روند گرم شدن جهانی به همین روال ادامه یابد، میانگین دبی سالانه این رودخانه تا ۳۰ سال آینده، یعنی تا سال ۲۰۴۰ میلادی به زیر ۱۰ مترمکعب در ثانیه خواهد رسید.

واژگان کلیدی: گرمایش جهانی، گازهای گلخانه‌ای، تغییرات دبی، حوضه آبریز کشکان رود.

۱- استادیار آب و هوا شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد آب و هوا شناسی کاربردی، دانشگاه تربیت مدرس، (نویسنده مسئول) E-mail: meysam.toulabi@gmail.com

مقدمه

رودخانه‌ها که مهم‌ترین منابع تأمین آب در مناطق شهری و روستایی کشور هستند، کم و بیش تحت تأثیر تغییر اقلیم و گرمایش جهانی ناشی از آن قرار می‌گیرند. در این گرمایش بیش از ۲۰ گاز دخالت دارند که سهم چند گاز از جمله گازهای دی‌اکسیدکربن (CO_2) و متان (CH_4)، که گازهای گلخانه‌ای نامیده می‌شوند، بیش از سایر گازهاست. بیشترین تأثیرات گرمایش گلخانه‌ای به تغییرات اقلیم و تغییر در الگوهای بارندگی و دمای کره زمین مربوط است و آثار این بی‌نظمی‌ها از هم اکنون آشکار شده است (خورشیددوست و قویدل رحیمی، ۱۳۸۴: ۲). شواهد نشان می‌دهند که اکثر تغییرات آب و هوای کره زمین در نتیجه فعالیت‌های بشری، به‌خصوص در چند دهه اخیر بوده است (پرایس و همکاران، ۱۹۹۹: ۸۵). گرمایش جهانی نتیجه وارد شدن مقدار بسیار زیادی از گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر زمین است (بارکر و رُز، ۱۹۹۹: ۱۲۱۷). این گازها به امواج بلند زمینی حساس‌اند و آن‌ها را جذب و به گرما تبدیل، و در واقع گرما را در سطح زمین حبس می‌کنند (پارک، ۲۰۰۱: ۲۵۷). در نتیجه انتظار می‌رود که درجه حرارت زمین افزایش یابد و در چرخه آب در طبیعت تغییرات اساسی ایجاد شود و الگوی بارندگی و در نتیجه دبی حوضه‌های آبخیز مناطق مختلف دچار نوسان شده و تغییر یابد (خسروی و نظری‌پور، ۱۳۸۹: ۵). این گازها توانایی جذب انرژی گرمایی بازتابی از سطح زمین را دارند لذا می‌توانند موجب افزایش جذب انرژی گرمایی توسط جو شوند و در نتیجه اثر گلخانه‌ای تشدید می‌شود (روپاش و فریزر، ۲۰۱۱: ۱۶). گرم شدن کره زمین موجب کاهش برف در زمستان می‌شود که بر الگوی فصلی جریان آب رودخانه‌ها تأثیر می‌گذارد. به این ترتیب تغییر الگوی بارش می‌تواند بر کلیه فعالیت‌هایی که از آب استفاده می‌کنند، تأثیر منفی داشته باشد (تقدیسیان و میناپور، ۱۳۸۲: ۲۵). همان‌طور که شکل ۱ نشان می‌دهد، گازهای دی‌اکسیدکربن و متان هم‌چنان با روندی مثبت در حال افزایش هستند. این روند در گاز دی‌اکسیدکربن به‌صورت خطی یکنواخت در حال افزایش است ولی گاز متان تا سال ۱۹۹۵ با شیبی تند و از سال ۱۹۹۵ به بعد با شیب ملایم‌تری به‌صورت لگاریتمی در حال افزایش است. قطعاً با افزایش روند صعودی این گازها، عناصر اقلیمی و هیدرولوژیکی نیز دستخوش تغییر و تحول خواهند شد. مطالعه در این زمینه می‌تواند در مدیریت منابع آب، به‌ویژه آب‌های سطحی در منطقه کم‌بارانی نظیر ایران بسیار سودمند باشد.

در مورد تأثیر گازهای گلخانه‌ای بر دبی رودها تحقیقاتی صورت گرفته است. از جمله میشل (۱۹۸۹: ۱۱۵) به این نتیجه رسیده است که با دو برابر شدن CO_2 ، در مناطقی با عرض جغرافیایی بالا، به‌طورکلی میزان بارندگی و روان‌آب افزایش می‌یابد ولی در مناطق با عرض جغرافیایی کم، بارندگی متناسب با منطقه افزایش یا کاهش نشان می‌دهد هرچند که این افزایش و کاهش به‌صورت محلی در مناطق مختلف از مدلی به مدل دیگر متفاوت است. فری و همکاران (۱۹۹۸: ۱۴۳۱) با شبیه‌سازی افزایش گرمای پاییز با استفاده از مدل منطقه‌ای

آب و هوا در سراسر اروپا، به این نتیجه رسیدند که با افزایش دما تا ۲ درجه سانتی‌گراد، رطوبت ۱۵ درصد افزایش خواهد یافت و در نتیجه بارش‌های بیش از ۳۰ میلی‌متر افزایش چشم‌گیری پیدا می‌کند و به تبع آن نیز دبی رودها افزایش می‌یابد. کیلی (۱۹۹۹: ۱۴۱)، تغییر اقلیم را در ایرلند با استفاده از داده‌های بارش و دبی بررسی نموده و نتیجه‌گیری کرده است که افزایش بارش و دبی رودخانه‌های ایرلند در چند دهه اخیر با نوسان های فشار هوا در سطح اقیانوس اطلس شمالی ارتباط دارد. هم‌چنین بارن و حق‌النور (۲۰۰۲: ۱۰۷) نیز در زمینه ارتباط نزدیک بین گرمایش جهانی و هیدرولوژی مطالعاتی صورت داده‌اند. مانیب و همکاران (۲۰۰۴: ۶۲۵) با شبیه‌سازی تأثیر گرمایش جهانی بر تغییرات آبدهی رودخانه در عرض‌های مختلف کره زمین‌های به این نتیجه رسیدند که آثار این گرمایش در قطب شمال و نواحی استوایی به‌صورت افزایش و در عرض‌های میانه و مناطق گرمسیری به‌صورت کاهش دبی بوده است. فوجی هارا و همکاران (۲۰۰۸: ۳۳)، آثار تأثیر اقلیم بر حوضه رودخانه سیحون را بررسی کردند. نتایج آنان از افزایش درجه حرارت و به‌دنبال آن کاهش بارش و در نتیجه کاهش دبی رودخانه سیحون حکایت می‌کند. ژو و همکاران (۲۰۱۰: ۲۵۶) در بررسی روند دما بارش و دبی در حوضه رودخانه تاریم در چین نشان دادند که ضمن افزایش بارش و دما در این حوضه، قسمت‌های بالادستی حوضه آبخیز افزایشی و در قسمت‌های پایین دستی دبی با کاهش روبه‌رو بوده است. افزایش دما در مناطق کوهستانی باعث ذوب برف و یخ در فصل بهار شده و دبی را افزایش داده است و روند کاهشی دبی در مناطق دشتی را به‌علت افزایش فعالیت‌های انسانی و برداشت آب دانسته‌اند. روپاش و فریزر (۲۰۱۱: ۱)، با بررسی تغییر اقلیم نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی باعث نوساناتی در میزان برف و باران و به‌خصوص کاهش برف نسبت به باران و هم‌چنین تغییراتی در میزان رطوبت خاک، شدت و فراوانی طوفان‌ها، روان‌آب‌ها، سیلاب‌ها، طول خشکی و خشکسالی شده است. بوئیچ و همکاران (۲۰۱۱: ۶۹۶)، با شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر دبی رودخانه نیل با استفاده از مدل GCM به این نتیجه رسیدند که تغییرات اقلیمی آثار چشمگیری بر آبدهی حوضه رود نیل داشته و آبدهی آن طی سال‌های آتی را کاهش خواهد داد. هم‌چنین تشی مانگا و هاگس (۲۰۱۲: ۷۲) با بررسی آثار تغییر اقلیم بر منابع آب در حوضه کنگو با استفاده از مدل مقیاس جهانی GCM به این نتیجه رسیدند که در آینده‌ای نزدیک مناطقی از کنگو که دارای آب و هوای گرمسیری یا استوایی هستند، با کاهش روان‌آب مواجه خواهند شد.

در ایران نیز مطالعاتی در این زمینه انجام گرفته است. از جمله می‌توان به پژوهش منتظری و فهمی (۱۳۸۲: ۱) اشاره کرد که با استفاده از سناریوهای مختلف تغییر اقلیم به این نتیجه رسیدند که با بالا رفتن دما، تبخیر در اکثر حوضه‌های رودخانه‌ای در تمام سال افزایش می‌یابد. در سی حوضه مورد مطالعه، افزایش دما در حدود ۲ تا ۶ درجه سانتی‌گراد، موجب افزایش در تبخیر به میزان ۶ تا ۱۲ درصد و موجب تغییر در

بارش به میزان ۷۱-۷۸ شده است. مساحت بوانی و مرید (۱۳۸۴: ۴۰) اثر تغییر اقلیم بر جریان زاینده رود اصفهان را مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه، آثار ناشی از تغییر اقلیم بر روی دما، بارندگی و روان آب در این حوضه تحت دو سناریوی اقلیمی و برای دو دوره سی ساله ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ میلادی، مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج مطالعه ایشان در مجموع، کاهش بارندگی و افزایش درجه حرارت در هر دو دوره و به خصوص در دوره دوم را نشان می‌دهد به طوری که در طی این دوره‌ها، میزان کاهش بارندگی به ترتیب ۱۰ و ۱۶ درصد برای دو سناریوی A2 و B2 پیش‌بینی شد. آبابایی و همکاران (۱۳۹۰: ۱)، به کمک مدل بلندمدت روان آب در ۳۰ حوضه کشور نشان دادند که افزایش دما باعث افزایش حجم روان آب در زمستان و کاهش حجم آن در بهار می‌گردد. زیرا افزایش دما باعث تبدیل بارش برف به بارش باران می‌شود و این امر فرآیند ذوب برف را تسریع می‌کند. این مطالعات هم‌چنین نشان دادند که افزایش دما، روان آب حوضه‌ها را تحت تأثیر قرار داده، تغییرات روان آب حاصل از بارندگی را کاهش می‌دهد. وفاخواه و همکاران (۱۳۹۱: ۷۷)، با تحلیل روند بارش و دبی حوضه کشف رود در ۱۳ ایستگاه هیدرومتری به این نتیجه رسیدند که مقدار دبی در هیچ‌یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه روند افزایشی مشاهده نشد به طوری که در دو ایستگاه بدون روند و در سایر ایستگاه‌ها دبی دارای روندی کاهشی بوده است. اسفندیاری درآباد و همکاران (۱۳۹۲: ۴۳) با بررسی تأثیر گرمایش جهانی بر ناهنجاری دبی حوضه رود ارس به این نتیجه رسیدند که ارتباط معکوس و نیرومندی بین گرمایش جهانی با آبدی حوضه ارس وجود دارد. این فرایند، به خصوص از سال ۱۹۹۴ به بعد آشکار است و با افزایش گرمایش جهانی آبدی حوضه ارس، کاهش چشمگیری از خود نشان می‌دهد. تغییرات آبدی حوضه ارس روند کاهنده آن طی بازه زمانی بلندمدت را نشان می‌دهد که ارتباط آن با گرمایش جهانی دارای همبستگی معکوس برابر با ۰/۶۸- درصد با ضریب تعیین ۰/۴۶ است. شریفیان و حبیبی (۱۳۹۲: ۱) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر روند تغییرات منابع آب سطحی در بخشی از حوضه‌های استان گلستان به این نتیجه رسیدند که مقادیر دبی سالانه ایستگاه‌ها دارای روندی نزولی در دو دهه اخیر بوده است. هم‌چنین بر اساس دیگر نتایج به دست آمده از این تحقیق مشخص شده است که دبی فصلی در فصول بهار، زمستان و پاییز، کاهش داشته است ولی دبی فصل تابستان با افزایش آبدی همراه بوده است. طولابی‌نژاد (۱۳۹۲: ۱) با بررسی ارتباط آماری گازهای گلخانه‌ای دی اکسید کربن، متان، اکسید نیتروژن و هگزا فلوراید گوگرد با بارش سراسر ایران به این نتیجه رسید که تأثیرپذیری مقادیر مختلف بارش ایران دارای تفاوت‌های مکانی و زمانی است و این تأثیر در مناطق غربی و شمالی کشور در ماه‌های اکتبر تا مارس و فصول پاییز و زمستان از نوع کاهش و در مناطق شرقی کشور از نوع افزایش بارش نمایان است. تأثیر این گازها بر بارش ماه‌های خشک، فصل تابستان و اواخر بهار در مناطق شرق و جنوب شرقی کشور از نوع کاهش بارش خود را به خوبی نمایان

کرده است. از میان سایر ایستگاه های کشور، بارش ایستگاه های ایلام، کرمانشاه، گرگان، خرم آباد و مشهد به ترتیب با ۵۱/۸، ۵۱/۳، ۴۶/۱، ۴۹/۵ و ۵۹/۲ درصد بیشترین تاثیر را از این گازها پذیرفته اند.

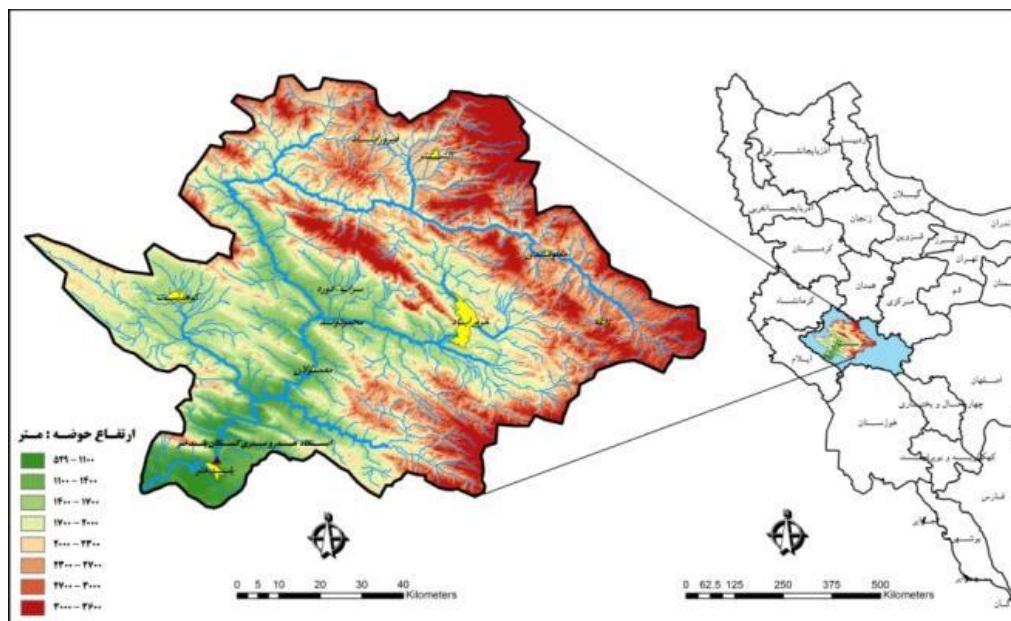
بررسی داده های هیدرولوژیکی و هواشناسی چند دهه اخیر نشان می دهد که گرمایش جهانی آثار قابل توجهی بر منابع آب و حوضه های آبخیز داشته است. در نتیجه این فعل و انفعالات؛ میزان روان آبها و دبی رودخانه ها با کاهش محسوسی روبه رو بوده است و پیامدهای مخرب آن در آینده ای نزدیک نه تنها گریبان دنیا را خواهد گرفت، بلکه منابع آب کشور خشک و کم بارانی نظیر ایران را نیز با خطرات جدی مواجه خواهد کرد. با توجه به اهمیت حیاتی این موضوع، تحقیق حاضر در راستای بررسی آماری ارتباط گازهای گلخانه ای به عنوان عناصر گرمایش جهانی با ناهنجاری های دبی کشکان رود در ایستگاه هیدرومتری پل دختر لرستان به انجام رسید.

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، حوضه آبخیز کشکان از زیرحوضه های آبریز کرخه است که از طول جغرافیایی ۱۰' ۴۷° تا ۴۹° درجه شرقی و از عرض جغرافیایی ۰۲' ۳۳° تا ۰۳' ۳۴° درجه شمالی گسترده شده است. این حوضه بیش از یک سوم خاک استان لرستان یعنی حدود ۹۵۶۰ کیلومترمربع را دربرمی گیرد که شهرستان های خرم آباد، کوهدشت، الشتر و پلدختر داخل آن قرار دارند. مهم ترین رودخانه این حوضه، کشکان رود است که از ارتفاع ۳۶۰۰ متری کوه گرین در شمال استان لرستان در شهرستان الشتر تا ۵۳۰ متری در پلدختر، مسافتی به طول ۳۷۴ کیلومتر را طی می کند. منطقه مورد مطالعه ما چون در منطقه زاگرس واقع شده دارای توپوگرافی کوهستانی و پرشیب است. بنابراین به دلیل وجود این ارتفاعات، بارندگی ها به سرعت به جریانات سطحی تبدیل شده و بر حجم روان آبها افزوده می شود که در پی آن سیلاب های خطرناکی در این حوضه به راه می افتد (کرمی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۰۱). این رودخانه در ۲۵ کیلومتری جنوب شهر پلدختر در محل پل گاو میشان با رودخانه سیمره تلاقی پیدا کرده و رودخانه کرخه را تشکیل می دهند. این رودخانه و سرشاخه های آن در تأمین آب کشاورزی شهرستان های الشتر، خرم آباد و پلدختر نقش بسیار مهمی دارد به طوری که حدود ۸۲ درصد از اراضی کشاورزی شهرستان پلدختر، توسط رودخانه کشکان رود تأمین می شود (سازمان آب منطقه ای استان لرستان، ۱۳۹۰).

جدول (۱) مشخصات ایستگاه هیدرومتری کشکان پلدختر

ایستگاه	رود	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع ایستگاه	مساحت حوضه (Km ²)
کشکان پلدختر	کشکان	۴۳' ۴۷°	۹' ۳۳°	۶۵۰	۹۵۶۰



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز کشکان رود

داده‌ها و روش‌شناسی

برای انجام این پژوهش از دو دسته داده استفاده شد. این داده‌ها شامل داده‌های دبی حوضه کشکان رود و دو نوع از داده‌های گرمایش جهانی (گازهای گلخانه‌ای)، شامل دی‌اکسیدکربن (CO_2) بر حسب قسمت در میلیون (ppm) و متان (CH_4) بر حسب قسمت در بیلیون (ppb) به صورت فصلی و سالانه هستند. داده‌های دبی کشکان رود در بازه زمانی ۲۷ ساله از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۰ در ایستگاه هیدرومتری کشکان پل دختر از سازمان آب منطقه‌ای استان لرستان اخذ شد. همچنین آمار و اطلاعات مربوط به گازهای گلخانه‌ای در همین بازه زمانی (۱۹۸۴-۲۰۱۰) از ایستگاه شاخص مونالوا (جدول ۲) واقع در هاوایی از تارنمای سازمان NOAA به آدرس <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/dv/data> دریافت شدند. پس از آزمون برازش و اطمینان از همگن بودن داده‌ها، مقادیر گرایش به مرکز و پراکندگی آن‌ها نیز استخراج گردید. برای مشخص کردن روابط بین مقادیر گرمایش جهانی و میزان آبدهی کشکان رود از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. سپس به منظور تعیین اثر تجمعی این گازها بر نوسان‌پذیری دبی کشکان رود، رگرسیون چندمتغیره خطی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین برای تشخیص روند در دبی کشکان رود از آزمون گرافیکی من-کندال استفاده شد. پس از مشخص شدن روند تغییرات، با استفاده از روش رگرسیون نمایی، مقدار دبی کشکان تا سال ۲۰۴۰ میلادی مورد پیش‌بینی قرار گرفت.

جدول (۲) مشخصات ایستگاه اندازه‌گیری جهانی گازهای گلخانه‌ای (مونالوا)

منطقه	سال تأسیس	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع ایستگاه
جزیره هاوایی	۱۹۵۷	۱۵° E۵۷	۱۹° N۵۳	۳۳۹۷ متر

یافته‌های تحقیق

-ارتباط روند دمای ایستگاه منطقه مورد پژوهش با مقدار دی‌اکسید کربن و متان

جهت تحلیل ارتباط گازهای گلخانه‌ای با دبی کشکان‌رود، ابتدا با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون، ارتباط روند دمای ایستگاه منطقه پژوهش (ایستگاه سینوپتیک پل‌دختر) با مقدار دی‌اکسید کربن و متان در بازه زمانی سالانه و فصلی مورد واکاوی قرار گرفت و مشخص شد که دمای منطقه مورد مطالعه با مقدار این دو گاز دارای ارتباط معنی‌دار و مثبت بوده است (جدول ۳). هم‌چنین با استفاده از تحلیل عاملی مشخص شد که ۹۶ درصد از گرمایش مربوط به دی‌اکسید کربن و ۴ درصد مربوط به متان است.

جدول (۳) ضرایب همبستگی ارتباط بین دمای ایستگاه سینوپتیک پل‌دختر و گازهای گلخانه‌ای

بازه زمانی	گاز متان	گاز دی‌اکسید کربن	دما
سالانه	۰/۷۹۹**	۰/۸۰۹**	
فصل بهار	۰/۷۱۵*	۰/۸۶۷**	
فصل تابستان	۰/۸۹۰**	۰/۹۱۵**	
فصل پاییز	۰/۷۸۴**	۰/۸۷۷**	
فصل زمستان	۰/۷۵۸*	۰/۶۶۵*	

(** ضریب معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ درصد، * ضریب معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد)

پس از آشکار شدن ارتباط معنادار بین دمای منطقه مورد مطالعه با گازهای دی‌اکسید کربن و متان، رابطه این گازها با دبی کشکان‌رود نیز در مقیاس فصلی و سالانه مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در ادامه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

ارتباط دبی بهاره با گرمایش جهانی

بر اساس محاسبات انجام شده، همبستگی نسبتاً زیادی میان گازهای دی‌اکسید کربن و متان با دبی کشکان‌رود در فصل بهار به ترتیب به میزان ۰/۵۷- و ۰/۴۳- و سطح معنی‌داری ۰/۰۱ وجود دارد که نشان از ارتباط دبی بهاره کشکان‌رود با گازهای دی‌اکسید کربن و متان از نوع معکوس است. بر این اساس، افزایش این دو گاز، باعث کاهش آبدهی و کاهش در مقدار گازها موجب افزایش آبدهی بهاره در حوضه کشکان‌رود می‌شود. چنان‌که از سال ۱۹۹۵ این ارتباط معکوس بسیار قوی‌تر از سال‌های قبل است. هم‌چنین مشخص شد که در

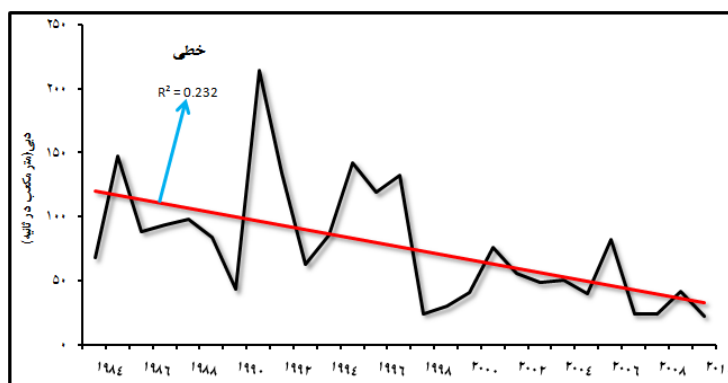
این فصل تأثیر گاز دی اکسیدکربن بر دبی کشکان بیشتر از گاز متان بوده است. با محاسبه ضریب تعیین، می‌توان گفت که ۳۸ درصد از کاهش آبدهی در حوضه کشکانرود در نتیجه گرمایش جهانی ناشی از افزایش این دو گاز بوده است.

با عنایت به مقادیر، دبی حوضه کشکان در فصل بهار طی بازه زمانی ۲۷ ساله دارای آبدهی با میانگین ۷۷ متر مکعب در ثانیه و انحراف معیار ۴۷/۳ بوده است. با توجه به مقادیر محاسبه شده، دبی کشکانرود در این فصل ۶۱/۴ درصد نسبت به بلندمدت تغییر نشان می‌دهند. تا جایی که ضریب تغییرات بهاره دبی حوضه طی دوره زمانی مورد مطالعه، نشان از تغییرات زیاد آبدهی حوضه در واحد سطح دارد. بررسی نوسان‌های سری زمانی آبدهی حوضه کشکانرود در فصل بهار طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۰ میلادی نوسانات زیاد آبدهی حوضه را نشان می‌دهد اما نسبت به فصول دیگر دارای نوسان کمتری است (جدول ۳).

جدول (۳) فراسنج‌های آمار توصیفی دبی کشکانرود در فصل بهار

دامنه تغییرات	کمترین	بیشترین	ضریب تغییرات	چولگی	انحراف معیار	میانگین
۱۹۲/۵	۲۲/۵	۲۱۵	۶۱/۴	۱/۱	۴۷/۳	۷۷

همان‌طور که از شکل (۳) پیداست، دبی حوضه کشکانرود طی بازه زمانی مورد مطالعه در بعضی از سال‌ها پایین‌تر از میانگین بلندمدت خود بوده است که نشان از خشکسالی دارد و در بعضی سال‌ها هم بالاتر از میانگین بلندمدت بهاره خود است که نشان از ترسالی در آن سال است اما از سال ۱۹۹۶ به بعد، همواره دبی کشکانرود مقادیری زیر میانگین بلندمدت خود را تجربه کرده که با مقایسه نوسان‌های دمای کره زمین، تأثیر نامشروط گرمایش جهانی در کاهش آبدهی آن را آشکار می‌کند. با وجود این می‌توان گفت که این حوضه در ۱۵ سال اخیر به دنبال افزایش گرمایش جهانی، طی فصل بهار با کم‌آبی روبه‌رو بوده است و با ادامه این روند، در آینده عواقب وخیمی در زمینه‌های مختلف برای این رود قابل پیش‌بینی است.



شکل (۳) نوسانات بلندمدت دبی حوضه کشکانرود در فصل بهار

ارتباط دبی تابستانه با گرمایش جهانی

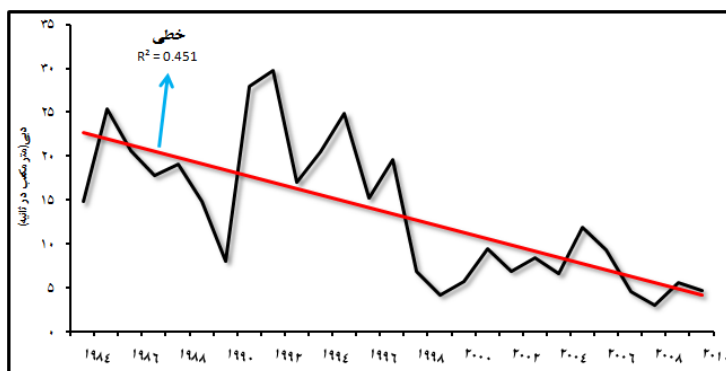
در ابتدا باید متذکر شد که فصل تابستان، فصل کاهش بارندگی در ایران و به تبع آن در حوضه کشکان رود است. زیرا در این فصل، استان لرستان تحت استیلای پرفشار آזור قرار دارد و عوامل صعود و بادهای غربی به عرض‌های بالاتر منتقل می‌شود و بر اثر آن نزولات جوی به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد. با این اوصاف همبستگی تابستانه دبی کشکان رود با گرمایش ناشی از دو گاز دی‌اکسیدکربن و متان به ترتیب با ۰/۶۵- و ۰/۵۹- در سطح ۰/۰۱ ارتباط معنی‌داری نشان می‌دهد که نسبت به فصول دیگر این همبستگی معکوس بسیار قوی‌تر است. بنابراین بر اساس محاسبات صورت گرفته می‌توان گفت با افزایش دمای جو در این فصل، مقدارآبدهی در حوضه کشکان رود با کاهش شدیدتری مواجه بوده است. همچنین با محاسبه ضریب تعیین، می‌توان اظهار نمود که ۴۷/۷ درصد از کاهش آبدهی در حوضه کشکان رود در نتیجه گرمایش جهانی ناشی از این دو گاز بوده است. این کاهش آبدهی از تابستان سال ۱۹۹۵ به یکباره شدیدتر شده است. همچنین مشخص شد که در این فصل تأثیر گاز دی‌اکسیدکربن بر دبی کشکان رود بیش از گاز متان بوده است.

میانگین بلندمدت تابستانه دبی کشکان رود برابر با ۱۳/۸ مترمکعب در ثانیه و انحراف از میانگین آن ۸ متر مکعب بوده است که دارای ۵۸/۳ درصد تغییر نسبت به مدت مشابه بلندمدت خود است. این رقم تغییر نسبتاً زیاد دبی کشکان رود را طی فصل تابستان نشان می‌دهد که با نوسانات زیادی روبه‌رو بوده است. همچنین دامنه تغییرات این رودخانه در ایستگاه مورد مطالعه ۲۶/۸ مترمکعب در ثانیه بوده است که نسبت به فصول دیگر سال کاهش بسیار چشمگیری را نشان می‌دهد (جدول ۴).

جدول (۴) فراسنج‌های آمار توصیفی دبی کشکان رود در فصل تابستان

دامنه تغییرات	کمترین	بیشترین	ضریب تغییرات	چولگی	انحراف معیار	میانگین
۲۶/۸	۳/۱	۲۹/۹	۵۸/۳	۰/۴	۸	۱۳/۸

چنان‌که از شکل ۴ هم پیداست، پیش‌بینی انجام گرفته به‌کمک رگرسیون خطی فصل تابستان دبی کشکان رود نشان می‌دهد که ضریب تعیین رگرسیون خطی برابر با ۰/۴۵ درصد است. همان‌گونه که این مدل نشان می‌دهد، آبدهی حوضه کشکان به‌صورت تشنجی است به‌گونه‌ای که در برخی از سال‌ها (۱۹۹۴) به شدت با ترسالی و در برخی دیگر از سال‌ها (۱۹۹۹) با خشکسالی‌های بسیار شدیدی مواجه بوده است. همه این رفتارهای آشفته و تشنجی نشان از اقلیم نیمه بیابانی منطقه زاگرس و به تبع آن حوضه مورد مطالعه این تحقیق دارد.



شکل (۴) نوسانات بلندمدت دبی حوضه کشکانرود در فصل تابستان

ارتباط دبی پاییزه با گرمایش جهانی

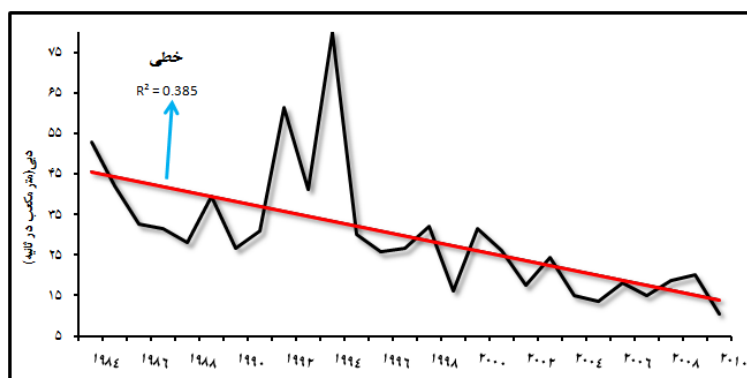
با توجه به داده‌های فصل پاییز، دبی کشکانرود هم‌زمان با افزایش گرمایش جهانی ناشی از گازهای گلخانه‌ای با نوسانات بسیاری روبه‌رو بوده است. اگر چه دمای کره زمین در فصل پاییز دارای تغییرات کوتاه-مدت است، در سری‌های زمانی بلندمدت خود روندی افزایشی را طی می‌کند. هم‌زمان با طی این دوره، دبی کشکانرود نیز روند کاهشی خود را تجربه کرده است. تحلیل‌های انجام گرفته در فصل پاییز از تأثیرپذیری آبدهی حوضه کشکانرود با ناهنجاری‌های دمایی کره زمین حکایت دارد به طوری که در این فصل بین دو گاز دی‌اکسیدکربن و متان با دبی کشکانرود در فصل پاییز به ترتیب به میزان $-0/64$ و $-0/49$ و سطح معنی‌داری $0/01$ درصد، ارتباط معکوس و معنادار وجود دارد. این ارتباط معنادار نشان از کاهش آبدهی حوضه کشکانرود هم‌زمان با روند افزایشی گرمایش جهانی دارد. هم‌چنین در این فصل با محاسبه ضریب تعیین، می‌توان گفت که $45/6$ درصد از کاهش آبدهی در حوضه کشکانرود در نتیجه گرمایش جهانی ناشی از این دو گاز بوده است. این فصل بعد از فصل تابستان که حوضه کشکان با کاهش بارش مواجه است، بیشترین تأثیر را از گرمایش جهانی پذیرفته است.

بررسی نوسانات سری زمانی آبدهی حوضه کشکانرود در فصل پاییز طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۰ میلادی نشان می‌دهد که تغییرات آبدهی حوضه نسبت به فصول دیگر سال کمتر بوده است، چنان‌چه ضریب تغییرات دبی حوضه کشکانرود در فصل پاییز برابر ۵۲ درصد بوده است که تغییرات نسبی زیاد دبی در واحد سطح را نشان می‌دهد اما نسبت به فصول دیگر دارای نوسان کمتری است (جدول ۵).

جدول (۵) فراسنج‌های آمار توصیفی دبی کشکانرود در فصل پاییز

دامنه تغییرات	کمترین	بیشترین	ضریب تغییرات	چولگی	انحراف معیار	میانگین
۶۹/۳	۱۰/۷	۸۰	۵۲	۱/۶	۱۵/۵	۲۹/۹

با پیش‌بینی صورت گرفته به کمک رگرسیون خطی در فصل پاییز، ضریب تعیین رگرسیون خطی برابر با ۰/۳۸ درصد است. چنان‌چه از شکل شماره ۵ هم پیداست، دبی حوضه کشکان رود طی بازه زمانی مورد مطالعه در بعضی از سال‌ها پایین‌تر از میانگین بلندمدت خود بوده است و خشکسالی را نشان می‌دهد و در بعضی از سال‌ها هم بالاتر از میانگین بلندمدت پاییز خود است که از ترسالی در آن سال حکایت می‌کند اما از سال ۱۹۹۵ به بعد، همواره دبی حوضه کشکان رود مقادیری زیر میانگین بلندمدت خود را تجربه کرده است که با مقایسه نوسان‌های دمای کره زمین، تأثیر گرمایش جهانی در کاهش آبدهی آن را آشکار می‌کند. با وجود این می‌توان گفت که این حوضه در پانزده سال اخیر طی فصل پاییز با خشکسالی بیشتری نسبت به قبل از ۱۹۹۵ روبه‌رو بوده و در آینده می‌تواند منابع آب حوضه را به خطر اندازد.



شکل (۴) نوسانات بلندمدت دبی حوضه کشکان رود در فصل پاییز

ارتباط دبی زمستانه با گرمایش جهانی

بر اساس محاسبات انجام گرفته، همبستگی میان گازهای دی‌اکسیدکربن و متان با دبی کشکان رود در فصل زمستان به ترتیب به میزان $-0/57$ و $-0/50$ و سطح $0/01$ معنی‌دار است. ارتباط دبی زمستانه در ایستگاه کشکان با گازهای دی‌اکسیدکربن و متان از نوع معکوس است. بر این اساس، افزایش این دو گاز، باعث کاهش آبدهی و کاهش در مقدار گازها موجب افزایش آبدهی زمستانه در حوضه کشکان رود خواهد شد. هم‌چنین با محاسبه ضریب تعیین، می‌توان گفت که $33/1$ درصد از کاهش آبدهی در حوضه کشکان رود در نتیجه گرمایش جهانی ناشی از این دو گاز بوده است. در این فصل سهم دو گاز دی‌اکسیدکربن و متان در گرمایش جهانی و کاهش دبی کشکان رود تقریباً به یک اندازه بوده است.

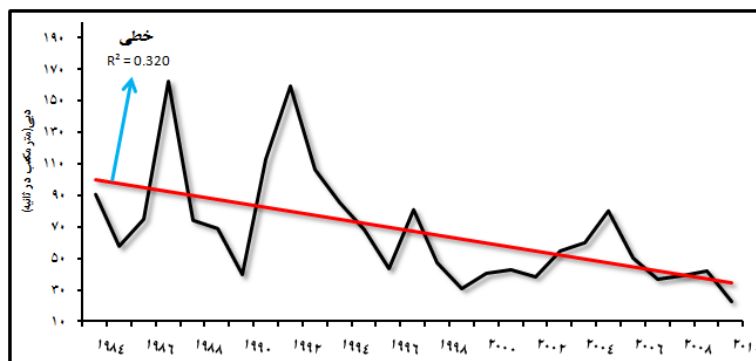
بررسی نوسان‌های سری زمانی آبدهی حوضه کشکان رود در فصل زمستان طی سال‌های ۱۹۶۸ تا ۲۰۰۸ میلادی، از تغییرات کمتر آبدهی حوضه نسبت به فصول دیگر سال حکایت می‌کند، چنان‌که ضریب تغییرات

دبی حوضه کشکان رود در فصل زمستان برابر ۵۸/۷ درصد بوده است که تغییرات نسبی زیاد دبی در واحد سطح را نشان می‌دهد و این میزان نسبت به فصول دیگر دارای نوسان بیشتری است (جدول ۶).

جدول (۶) فراسنج‌های آمار توصیفی دبی کشکانرود در فصل زمستان

دامنه تغییرات	کمترین	بیشترین	ضریب تغییرات	چولگی	انحراف معیار	میانگین
۱۵۱/۷	۲۳/۳	۱۷۵	۵۸/۷	۱/۵	۴۲/۷	۷۲/۸

در این فصل نیز پیش‌بینی انجام گرفته دبی کشکانرود در فصل زمستان به‌گونه‌ای است که ضریب تعیین رگرسیون خطی برابر با ۰/۳۲ درصد بوده است. چنان‌که از شکل (۵) هم پیداست، دبی حوضه کشکانرود طی بازه زمانی مورد مطالعه در بعضی سال‌ها پایین‌تر از میانگین بلندمدت خود بوده که نشان از خشکسالی دارد و در بعضی از سال‌ها هم بالاتر از میانگین بلندمدت زمستان خود بوده است و ترسالی را در آن سال نشان می‌دهد اما از سال ۱۹۹۵ به بعد، همواره دبی زمستانه حوضه کشکانرود مقادیری زیر میانگین بلندمدت خود را تجربه کرده است که با مقایسه نوسان‌های دمای کره زمین، تأثیر نامشروط گرمایش جهانی در کاهش آبدهی آن را آشکار می‌کند. با وجود این، می‌توان گفت که این حوضه مانند فصول دیگر، در ۱۵ سال اخیر طی فصل زمستان با خشکسالی شدید روبه‌رو بوده است.



شکل (۵) نوسانات بلندمدت دبی حوضه کشکانرود در فصل زمستان

ارتباط دبی سالانه با گرمایش جهانی

بر اساس محاسبات انجام گرفته، همبستگی میان مقدار سالانه گازهای دی اکسیدکربن و متان با دبی سالانه کشکانرود به ترتیب به‌میزان $-0/73$ و $-0/62$ و سطح $0/01$ معنی‌دار است. مطالعات نشان می‌دهند که آبدهی حوضه آبخیز و آبریز کشکانرود طی دوره زمانی مور مطالعه دچار نوسانات کوتاه‌مدت در سری‌های کوتاه‌مدت بوده است و روندهای افزایشی - کاهشی در پی داشته است اما در سری‌های بلندمدت خود همواره دارای روندی کاهشی بوده است. این روند کاهشی در آبدهی حوضه کشکانرود همزمان با افزایش روند سری‌های

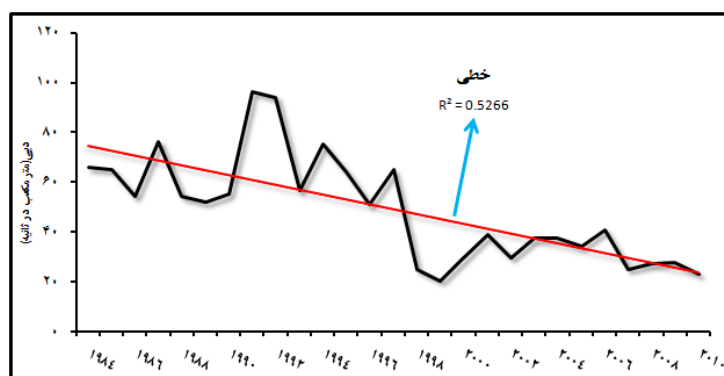
زمانی بلندمدت در گازهای گلخانه‌ای و گرمایش ناشی از این گازها است. هم‌چنین با محاسبه ضریب تعیین، می‌توان گفت که ۵۵/۲ درصد از کاهش آبدهی سالانه در حوضه کشکان رود در نتیجه گرمایش جهانی ناشی از این دو گاز بوده است.

جدول ۷ مقادیر فراسنج‌های آمار توصیفی داده‌های سالانه دبی کشکان رود طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۰ میلادی را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، میانگین سالانه دبی حوضه کشکان رود برابر با ۴۸/۶ مترمکعب در ثانیه و انحراف معیار آن ۲۱/۷ مترمکعب در سال است. مقدار چولگی داده‌ها مثبت بوده است که نشان فراوانی بیشتر مقادیر پایین‌تر از میانگین دبی در کشکان رود است. هم‌چنین مقدار ضریب تغییرات داده‌ها برابر با ۴۴/۶ درصد است که تغییرات نسبتاً زیاد مقدار دبی کشکان رود را نشان می‌دهد.

جدول (۷) فراسنج‌های آمار توصیفی سالانه دبی کشکان رود

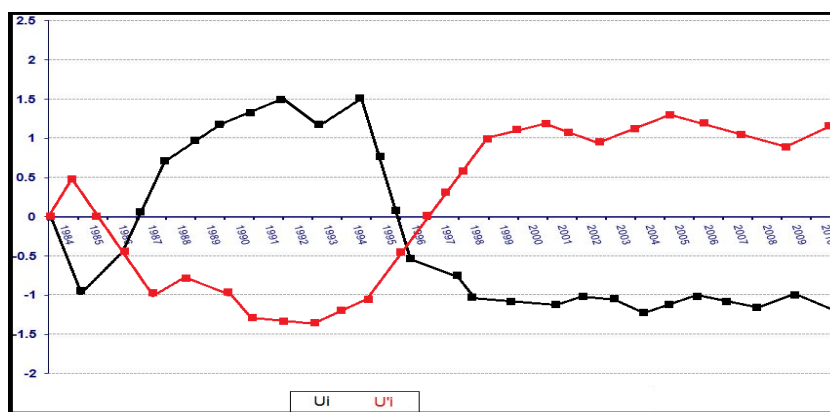
دامنه تغییرات	کمترین	بیشترین	ضریب تغییرات	چولگی	انحراف معیار	میانگین
۸۱/۴	۱۵/۳	۹۶/۷	۴۴/۶	۰/۶	۲۱/۷	۴۸/۶

در بازه زمانی سالانه نیز پیش‌بینی انجام گرفته به کمک رگرسیون خطی برای دبی کشکان رود، ضریب تعیین آن برابر با ۰/۵۲ درصد بوده است. همان‌گونه که از آمارها پیداست، تغییرات آبدهی سالانه حوضه کشکان رود با داده‌های گرمایش جهانی همخوانی بالایی دارد. در دوره‌هایی که گرمایش جهانی روند افزایشی داشته، دبی کشکان روند نزولی را طی کرده است و با کاهش گرمایش جهانی، دبی حوضه مورد مطالعه، روندی صعودی را سپری کرده است. این فرایند را به ویژه از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۰ میلادی به‌وضوح می‌توان دید. از سال ۱۹۹۵ به بعد، روند صعودی دمای کره زمین با شدت بیشتری نسبت به سال‌های قبل از آن ادامه داشته و هم‌زمان با این رخداد، سیر نزولی آبدهی کشکان نیز تشدید شده و به سمت کم آب شدن پیش رفته است (شکل ۶).



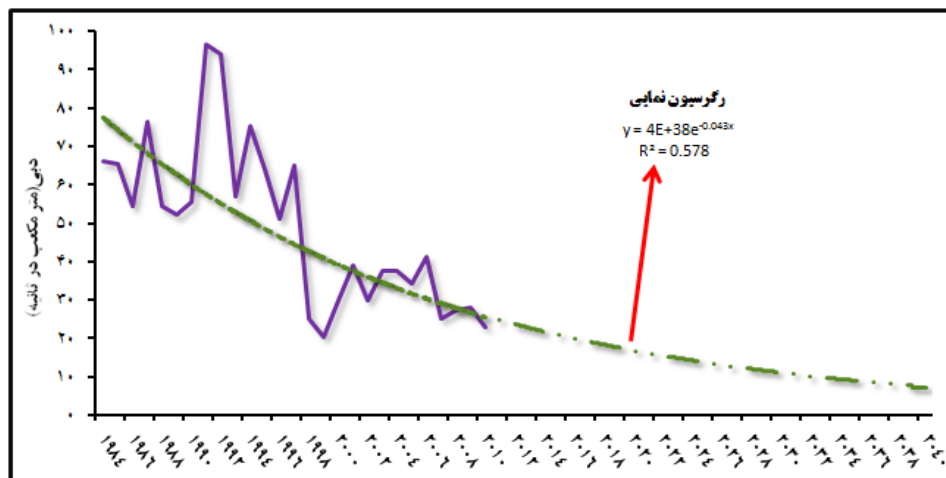
شکل (۶) نوسانات بلندمدت سالانه دبی حوضه کشکان رود

جهت تشخیص این که آیا نوسانات و روند منفی دبی کشکانرود دوره‌ای است و یا احتمال بازگشت دوباره دبی به حالت نرمال خود وجود دارد یا خیر، از آزمون من کندال استفاده گردید و مشخص شد که روند منفی دبی کشکانرود به صورت معنادار منفی است و در نتیجه فرض احتمال بازگشت دبی کشکانرود به حالت نرمال و ترسالی مردود است. بر اساس این آزمون، روند کاهش دبی همچنان ادامه خواهد داشت و برگشتن آن به حالت نرمال خود در آینده بعید به نظر می‌رسد. همان‌طور که از شکل (۷) پیداست از سال ۱۹۹۰ یک تغییر با حاکمیت روند منفی در دبی کشکانرود اتفاق افتاده است و طی سال‌های بعد این روند از سال ۱۹۹۵ با شدت بیشتری ادامه یافته است.



شکل (۷) نمودار تشخیص معنی‌داری گرافیکی روند من- کندال

با توجه به آزمون کندال و آمار و مقادیر اندازه‌گیری شده بلندمدت در ایستگاه هیدرومتری کشکان پل دختر، روند نزولی آبدهی سالانه این حوضه از سال ۱۹۹۵ شتاب بیشتری گرفته است. با توجه به این روند، تغییرات سالانه آبدهی حوضه کشکانرود به وسیله مدل رگرسیون نمایی برای ۳۰ سال آینده مورد پیش‌بینی قرار گرفت که نتیجه آن افت شدید آبدهی این حوضه و رسیدن آن به زیر ۱۰ مترمکعب در ثانیه تا سال ۲۰۴۰ میلادی را نشان می‌دهد (شکل ۸). همان‌گونه که ذکر شد، کشکانرود و سرشاخه‌های آن در تأمین آب کشاورزی شهرستان‌های زاغه، الشتر، خرم‌آباد و پل دختر نقش بسیار مهمی دارد به طوری که حدود ۸۲ درصد از اراضی کشاورزی شهرستان پل دختر، از آب این رودخانه تأمین می‌شود و این رودخانه در واقع شاه‌رگ حیاتی این شهرها محسوب می‌شود. با توجه به سناریوی پیش‌بینی شده، اگر روند کاهشی کشکانرود به همین میزان ادامه یابد، استان لرستان بالأخص شهرستان پل دختر و شمال خوزستان با مشکلات اقتصادی- اجتماعی و زیست محیطی بسیار مخربی مواجه خواهند شد.



شکل (۸) پیش‌بینی روند تغییرات آبدهی کشکان‌رود به‌صورت نمایی تا سال ۲۰۴۰

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج مربوط به ارتباط آثار گازهای گلخانه‌ای و گرمایش جهانی در نوسانات دبی رودخانه‌ها و حوضه‌های آبخیز در سایر نقاط جهان، جملگی از ارتباط معکوس بین این داده‌ها و وجود روند منفی در مقادیر مربوط به دبی رودخانه‌ها حکایت می‌کند. پژوهش حاضر نیز با استفاده از روش‌های آماری برای آشکارسازی اثر گرمایش جهانی ناشی از گازهای گلخانه‌ای دی اکسیدکربن و متان بر میزان آبدهی حوضه کشکان‌رود در ایستگاه هیدرومتری کشکان‌رود پل‌دختر انجام گرفته است. نتایج این پژوهش نیز، همانند تحقیقات دیگر حکایت از ارتباط قوی و معکوس آبدهی کشکان‌رود با افزایش گرمایش جهانی دارد که نتایج مطالعات قبل را نیز تأیید می‌نماید. این فرایند به‌ویژه با افزایش مقادیر داده‌های گرمایش جهانی که به‌طور فزاینده‌ای از سال ۱۹۹۵ به بعد با سیر صعودی مواجه بوده، کاملاً نمایان است. همچنین در این مطالعه مشخص شده است که در مقیاس‌های زمانی سالانه و فصلی، دما و مقدار گازهای گلخانه‌ای با یکدیگر ارتباط مستقیم دارند و میزان اثرگذاری گاز دی اکسیدکربن (به‌میزان ۹۶ درصد) در کاهش مقدار دبی کشکان‌رود بیش از گاز متان (به‌میزان ۴ درصد) بوده است. در ادامه، مطالعات در مقیاس سالانه نشان می‌دهند که دبی کشکان‌رود با گرمایش جهانی دارای ارتباط معکوس قوی با ضریب -0.73 با گاز دی اکسیدکربن و -0.62 با گاز متان بوده است؛ نتایج محاسبات نشان می‌دهند که $55/2$ درصد از کاهش آبدهی سالانه حوضه کشکان‌رود در پی گرمایش ناشی از این دو گاز است. همچنین در مقیاس فصلی، بیشترین تأثیرپذیری دبی کشکان‌رود به فصل تابستان با $47/7$ درصد اختصاص داشته و فصل پاییز با $45/6$ و بهار با 38 درصد در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. فصل زمستان نیز با ضریب تعیین $33/1$ درصد کمترین اثرپذیری را از گرمایش جهانی داشته است. همچنین مطالعه تغییرات سری‌های زمانی آبدهی حوضه کشکان‌رود از روند نزولی آبدهی حکایت دارد. اگرچه در کوتاه

مدت این نوسانات، تشنجی و به‌صورت افزایشی-کاهشی بوده در بلندمدت همواره در جهت کاهش مستمر دبی عمل کرده است. این عملکرد به‌خوبی نشان می‌دهد که طی ۱۵ سال اخیر، به‌خصوص از سال ۱۹۹۵ به بعد با بیشتر شدن سیر صعودی گرمایش جهانی، میزان آبدهی کشکانرود نیز در بازه زمانی سالانه و فصلی، همواره زیر میانگین بلندمدت خود قرار داشته است. بر اساس آزمون گرافیکی من-کندال این روند منفی هم‌چنان ادامه خواهد داشت و برگشتن مقدار دبی کشکانرود به روال نرمال خود در آینده بعید به‌نظر می‌رسد. هم‌چنین بر اساس سناریوی پیش‌بینی شده با استفاده از مدل رگرسیون نمایی مشخص شد که اگر روند گرمایش جهانی به همین روال ادامه یابد، میانگین دبی سالانه این رودخانه تا ۳۰ سال آینده یعنی تا سال ۲۰۴۰ میلادی به زیر ۱۰ مترمکعب در ثانیه خواهد رسید. این رخداد می‌تواند در آینده مشکلات فاجعه‌باری برای مناطق اطراف کشکانرود و مناطق پایاب کرخه در خوزستان به‌بار آورده و به کشاورزی این مناطق خسارات جبران‌ناپذیری وارد آورد.

تقدیر و تشکر

از جناب آقای مهندس اکبر مهری، ریاست محترم امور آب و فاضلاب شهرستان پلدختر و جناب آقای مهندس صمد طولابی‌نسب، که در تهیه آمار و ارقام این پژوهش از هیچ کمکی دریغ نوزیدند، کمال تقدیر و تشکر خود را ابراز می‌کنم.

منابع

- آبایی، بهروز و همکاران (۱۳۹۰)، مروری بر مطالعات تغییر اقلیم در ایران: منابع آب و نیاز آبی محصولات کشاورزی، یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، بهمن ۱۳۹۰، صص ۱-۱۴.
- اسفندیاری درآباد، فریبا و همکاران (۱۳۹۲)، آشکارسازی آماری تأثیر پدیده گرمایش جهانی بر ناهنجاری‌های دبی رودخانه ارس، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۴، بهار ۱۳۹۲، صص ۴۳-۶۰.
- تقدیسیان، حسین؛ میناپور، سعید (۱۳۸۲)، تغییر آب و هوا (آنچه باید بدانیم)، سازمان حفاظت محیط زیست، دفتر طرح ملی تغییر اقلیم، تهران، چاپ اول، ۱۳۸۲.
- حبیبی نوخندان، مجید؛ غلامی بیرقدار، محمد؛ شائمی برزکی، اکبر (۱۳۸۹)، تغییر اقلیم و گرم شدن کره زمین، انتشارات محقق دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ اول.
- خسروی، محمود، اسمعیل‌نژاد، مرتضی، نظری‌پور، حمید (۱۳۸۹)، تغییر اقلیم و تأثیر آن بر منابع آب خاورمیانه، مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، فروردین ۱۳۸۹، صص ۱-۸.
- خورشیددوست، محمدعلی، قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۴)، شبیه‌سازی آثار دو برابر شدن دی‌اکسیدکربن جو بر تغییر اقلیم تبریز با استفاده از مدل آزمایشگاه پویایی سیالات ژئوفیزیکی (GFDL)، مجله محیط‌شناسی، شماره ۳۹، صص ۱-۱۰.
- شائمی برزکی، اکبر؛ حبیبی نوخندان، مجید (۱۳۸۸)، گرمایش جهانی پیامدهای زیستی-اکولوژیکی، مشهد، انتشارات ترجمان خورد، چاپ اول، ۱۳۸۸.
- شریفیان، حسین؛ حبیبی، علی (۱۳۹۲)، بررسی اثر تغییر اقلیم بر روند تغییرات منابع آب سطحی در بخشی از حوضه استان گلستان، اولین همایش ملی چالش‌های منابع آب و کشاورزی، انجمن آبیاری و زهکشی ایران، اصفهان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، صص ۱-۱۰.
- طولایی‌نژاد، میثم (۱۳۹۲)، آشکارسازی نقش گازهای گلخانه‌ای در نوسانات بارش ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.
- کرمی، فریبا؛ شیرواند، هنگامه؛ فاطمه درگاهیان (۱۳۸۹)، بررسی الگوی سینوپتیک سیل بهمن ۱۳۸۴ شهرستان پلدختر، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی - سال دوم - شماره چهار، صص ۹۹-۱۰۶.

- مساح بوانی، علیرضا؛ مرید، سعید (۱۳۸۴)، آثار تغییر اقلیم بر منابع آب و تولید محصولات کشاورزی مطالعه موردی: حوضه زاینده‌رود اصفهان، تحقیقات منابع آب ایران، ۱، شماره ۱، صفحه ۴۷-۴۰.
- منتظری، مریم؛ فهمی، هدایت (۱۳۸۲)، آثار تغییر اقلیم بر منابع آب کشور، مجموعه مقالات سومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم. صص ۱-۱۶.
- وفاخواه، مهدی؛ بخشی تیرگانی، محمد؛ خزائی، مجید (۱۳۹۱)، تحلیل روند بارندگی و دبی حوضه آبخیز کشف رود، فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۲۹، سال دهم، صص ۷۷-۹۰.
- 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.
- Burn, D.H., Hag Elnur, M.A. (2004), **Detection of hydrologic trends and variability**, Journal of Hydrology, Vol. 26, No. 12, pp. 107-122.
- Frei C, Schiir C, Liithi D, Huw CD. (1998), **Heavy Rainfall Processes in a Warmer Climate**, Geographical Research Letters, Vol. 25, No. 9, pp. 1431-1434.
- 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. 35, No. 1/2, PP. 33- 48.
- Keily, G. (1999), **Climate Change in Ireland from Precipitation and Stream Flow Observations**, Advances in Water Resources, Vol. 23, pp. 141-151.
- Raupach, M; Fraser, P. (2011), **Climate and greenhouse gases**, Science and Solutions for Australia, pp. 1-33.
- 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.
- Mitchell J.B. (1989), **The "Greenhouse" Effect and Climate change**, Reviews of Geophysics, Meteorologica Office, Brackne, England, pp. 115-139.
- Mohr, N. (2005), **A New Global Warming Strategy: How Environmentalists are Overlooking Vegetarianism as the Most Effective Tool against Climate Change in Our Lifetimes**, An Earth Save International Report, pp. 2-9.

-
-
- 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.
 - Park, C.,(2001), **The Environment**, Rout ledge, USA, seconded.
 - Tshimanga, R.M., Hughes, D.A.(2012), **Climate Change and Impacts on the Hydrology of the Congo Basin: The Case of the NorthernSub-basins of the Oubangui and Sangha Rivers**, Physics and Chemistry of the Earth, Vol. 50–52, PP. 72-83.
 - Xu, Z., Liu, Z., Fu, G., Yaning, C. (2010), **Trends of major hydroclimatetic variables in the Traim River basin during the past 50 years**, Journal of Arid Environments, Vol. 74. PP. 256-267.