مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره هشتم، شماره‌ی بیست و نهم، پاییز ۱۳۹۶

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۱/۰۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۶/۰۷/۱۹

صص ۶۸-۵۲

اثرات تغییرات بارشی و دمایی بر وقوع ناپایداری منابع آب در حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود

عبدالرضا رحمانی فضلی، دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی-دانشگاه شهید بهشتی تهران

سعید صالحیان*، دکترای جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی-دانشگاه شهید بهشتی تهران

چکیده

حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود در منطقه‌ی مرکزی ایران از مناطق دارای مسئله‌ی ناپایداری منابع آب است. در یک دهه‌ی اخیر، منابع آبی حوضه کاهش یافته؛ به‌طوری‌که بخشی از طول رودخانه در قسمت میانی و پایین‌دست جریان آب، خشک شده و یا به‌صورت موقتی درآمده و تخصیص آب کشاورزی به اراضی زراعی این بخش‌ها کاهش شدیدی یافته است. در این پژوهش برای تحلیل میزان تأثیر عوامل طبیعی در بروز ناپایداری منابع آب حوضه، تغییرات شاخص‌های اقلیمی از قبیل میزان بارش، نسبت بارش برف به کل بارندگی و تغییرات دمایی ایستگاه چلگرد در دهه‌های اخیر موردبررسی قرار گرفته است. ایستگاه چلگرد، منبع اصلی تأمین آب طبیعی رودخانه بوده و تغییرات آن به‌طور مستقیم بر حجم آب رودخانه تأثیر می‌گذارد. سپس منابع کلی آب حوضه و تغییرات حجم آب ورودی به سد زاینده‌رود مطالعه گردیده و تغییرات آب‌های زیرزمینی(تعداد چاه و سطح آب زیرزمینی) در دو دوره‌ی آماربرداری سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ مورد مقایسه قرار گرفته است. منبع اخذ داده‌های مقاله، شرکت مدیریت منابع آب وزارت نیرو و سازمان هواشناسی است. نتایج تحلیل آمارها نشان می‌دهد طی دهه‌های اخیر میزان بارش باران روند کاهشی داشته و بر میزان دمای هوا در بلندمدت افزوده شده که نسبت بارش برف به کل بارش‌ها کاهش چشم‌گیری داشته است. همچنین بررسی دمای هوای فصل پاییز، به دلیل تأثیر آن در ذوب برف‌ها نشان از افزایش شدید دمای فصل پاییز در سه سال اخیر نسبت به میزان بلندمدت دارد. به‌طورکلی طبق نتایج پژوهش تغییرات اقلیمی بر بروز ناپایداری منابع آب حوضه مؤثر بوده است. در ادامه، بررسی تغییرات آب‌های زیرزمینی حاکی از حفر چاه‌های کشاورزی برای جبران کاهش آب رودخانه و کاهش سطح آب زیرزمینی حوضه بوده که خود وضعیت خشکی حوضه را تشدید نموده است.

کلید واژگان: تغییرات اقلیمی، بارش، دما، ناپایداری منابع آب، منابع آب زیرزمینی، حوضه‌ی زاینده‌رود.

نویسنده‌ی مسئول: * Email: saeid.salehian@gmail.com

این مقاله بخشی از رساله‌ی دکتری نویسنده‌ی مسئول مقاله بوده که در دانشکده‌ی علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی تهران به انجام رسیده است.

۱- مقدمه

تغییر اقلیم، تأثیر به سزایی بر چرخه‌ی هیدرولوژیکی و درنتیجه بر منابع آب، فراوانی و شدت خشک‌سالی و سیل دارد(ایلدرمی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۱۲). در بین عناصر مختلف اقلیمی، دما و بارش به دلیل تأثیر گسترده بر سایر عوامل و به خصوص تأثیراتی که بر فعالیت‌های انسان‌ها دارند، از اهمیت خاصی برخوردارند؛ به‌طوری‌که تقریباً بیش‌ترین نمود تغییرات اقلیمی در سطح کره‌ی زمین بر روی این دو پارامتر متمرکز شده است(طباطبایی و حسینی، ۱۳۸۲: ۹۱). روند دما و بارش در سراسر جهان یک‌سو نیست؛ تغییرات اقلیم الزاماً به معنی تغییر توأمان بارش و دما نیست(Clarke, 2003: 208). بارش به‌عنوان یکی از عناصر مهم اقلیمی در هر منطقه‌ای است که بر مبنای آن وضعیت منابع آبی منطقه‌ی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. درعین‌حال، نوع بارش نیز به‌عنوان یکی دیگر از مشخصات بارش هر منطقه است. دراین‌بین، بارش برف در ذخیره‌ی آبی منطقه به‌ویژه در مناطق کوهستانی و مناطق بدون بارش در فصل تابستان خیلی مؤثر است؛ به‌نحوی‌که در سال‌هایی که کمیت آن نزول می‌یابد، موجبات ایجاد کم‌آبی و بعضاً خشک‌سالی می‌گردد، هرچند که مقدار کل بارش تغییر نیافته باشد(حیدری، ۱۳۹۵: ۹۲). امروزه بررسی روند بارش و تأثیر آن بر منابع آبی به‌ویژه در مناطق کشاورزی دارای اهمیت فراوانی است. با توجه به وقوع عمده‌ی بارش‌ها در فصول سرد، بررسی هرگونه تغییرات بارش حائز اهمیت فراوانی است. به‌ویژه آنکه کوهستانی بودن بخش اعظم استان سبب جریان یافتن نزولات(به شکل مایع) و خروج آن‌ها از دسترس شده، درصورتی‌که نزولات جامد(به‌ویژه برف) به‌آسانی جریان نیافته و با ذوب تدریجی خود سبب تغذیه‌ی آب‌های زیرزمینی و امکان استفاده از آن‌ها را در فصل کشت در تابستان فراهم می‌آورد(حیدری، ۱۳۹۵: ۱۰۸).

حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود در منطقه‌ی مرکزی ایران از مناطق دارای مسئله‌ی آب است. رودخانه‌ی زاینده‌رود، مهم‌ترین و حیاتی‌ترین رودخانه‌ی منطقه‌ی اصفهان به‌منظور توسعه‌ی کشاورزی، تأمین آب بخش شرب و صنعت و کلیه‌ی فعالیت-های اقتصادی است(سیدقاسمی، ۱۳۸۵: ۳). این رودخانه از کوه‌های زاگرس- زردکوه بختیاری- (با ارتفاع حدود ۴۵۰۰ متر از سطح دریا) در غربی‌ترین مناطق، حوضه‌ی آبخیز زاینده‌رود منشأ گرفته و با جهت غربی- شرقی به‌سوی دشت مرکزی ایران سرازیر می‌شود و سرانجام در انتهایی‌ترین نقطه‌ی حوضه؛ یعنی تالاب گاوخونی فرومی‌نشیند. طول رودخانه برابر ۳۵۰ کیلومتر و مساحت کل حوضه برابر ۴۱۵۰۰ کیلومترمربع است. حوضه صرف‌نظر از بارش‌های زیاد در ارتفاعات کوهرنگ دارای آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک است(سالمی و حیدری، ۱۳۸۵: ۱). به دنبال وقوع ناپایداری اقلیمی در دهه‌ی ۱۳۸۰ و افزایش بارگذاری بر رودخانه به‌مرورزمان، در سال‌های اخیر پدیده‌ی ناپایداری منابع آب کشاورزی و یا عرفاً خشک‌سالی رخ داده است.

در دو دهه‌ی اخیر، حوضه‌ی زاینده‌رود دچار تنش آبی شده، به‌طوری‌که حدود سه‌پنجم طول رودخانه در قسمت‌های میانی و پایین‌دست با ناپایداری منابع آب مواجه شده است؛ به این صورت که تا حدود «سد تنظیمی چم آسمان» در بالادست رودخانه به‌صورت دائمی و در طول سال آب جریان داشته، ولی از این قسمت، رودخانه از حالت دائمی خارج‌شده و به‌صورت موقت جریان دارد. ناپایداری آب رودخانه‌ی زاینده‌رود در دو دوره‌ی زمانی رخ داده است؛ خشک‌سالی اول حوضه در سال ۸۰-۱۳۷۷ رخ داده که جریان دائمی کل رودخانه با مشکل مواجه می‌شود. در سال‌های ۸۶-۱۳۸۰ با وقوع بارش‌های مناسب، رودخانه به وضعیت نسبتاً نرمال بازمی‌گردد. خشک‌سالی دوم حوضه‌ی زاینده‌رود از سال ۱۳۸۶ آغازشده و تاکنون ادامه دارد. در این سال‌ها (۹۶-۱۳۸۶) منابع آبی رودخانه کاهش شدیدی پیدا کرده؛ به‌طوری‌که طی ۱۰ سال اخیر تنها ۵ سال و آن‌هم در برخی ماه‌های سال آب به‌صورت دائمی جریان داشته و به بخش کشاورزی اختصاص یافته است. بیش‌تر اوقات بیش‌تر طول رودخانه خشک بوده و عملاً آبی به بخش کشاورزی اختصاص نمی‌یابد(صالحیان، ۱۳۹۶: ۲۱۱-۲۱۰).

عوامل طبیعی و انسانی در ناپایداری آب حوضه می‌تواند مؤثر باشد. در این پژوهش، نقش عامل طبیعی شامل تغییرات اقلیمی در وقوع ناپایداری منابع آب حوضه‌ی زاینده‌رود موردبررسی قرار می‌گیرد. بر این اساس تغییرات آب‌وهوایی ایستگاه چلگرد(کوهرنگ) به‌عنوان منبع اصلی تأمین‌کننده‌ی آب طبیعی رودخانه در قالب متغیرهای بارش، دما و نسبت

برف به کل بارش مطالعه گردیده، سپس اثرات آن بر منابع آب سطحی و زیرزمینی در دهه‌های اخیر موردبررسی قرار گرفته است.

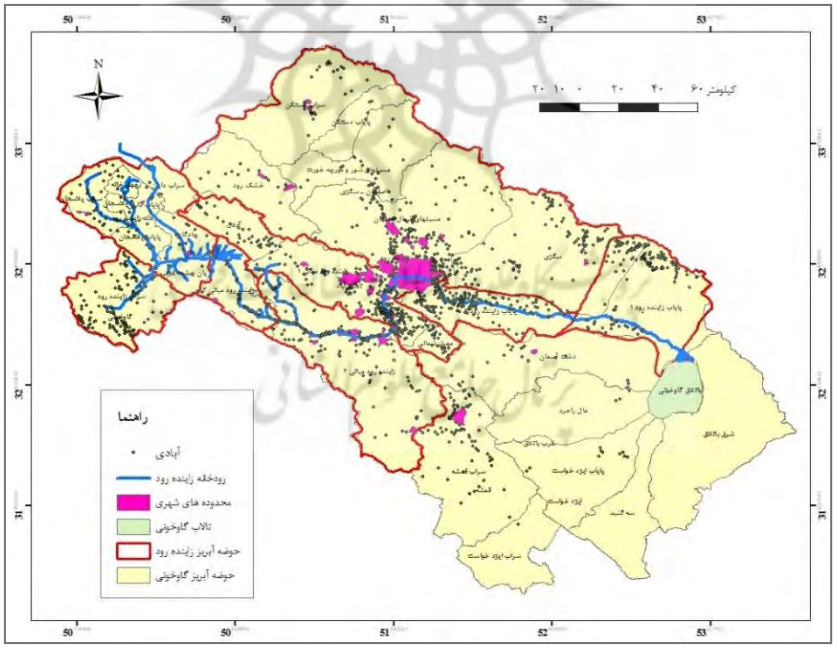
گوهری[1] و همکاران (۲۰۱۳) اثرات تغییرات آب‌وهوا بر تولید چهار محصول عمده در حوضه‌ی رودخانه‌ی زاینده‌رود را موردبررسی قرار داده‌اند. بر این اساس با روند افزایش دما و کاهش بارش در حوضه، تولید محصولات اصلی در حوضه تحت تأثیر مستقیم قرار خواهد گرفت. پژوهش بانی دومی[2] (۲۰۰۶) درباره‌ی تحلیل تغییرات دما و بارش در اردن نشان می‌دهد میانگین دمای اردن طی سال‌های ۱۹۹۹-۱۹۴۶ و عمدتاً در بهار و تابستان به گرم شدن گرایش داشته، گرچه گرایش منفی را درباره‌ی بارش سالیانه نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل از مطالعات تغییر اقلیم در حوضه‌ی دریای مدیترانه توسط مارنگو و کامارگو[3] (۲۰۰۸) وجود رابطه بین کاهش دما و بارش و کمبود آب و افزایش خطر آتش‌سوزی جنگل‌های منطقه به اثبات رسیده است. مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴) با مطالعه‌ی عناصر اقلیمی مختلف تحت سناریوهای مختلف در حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود به این نتیجه رسیده‌اند که دما، افزایش و بارش، کاهش داشته است که کاهش منابع آب کشاورزی و کاهش امنیت غذایی را در پی داشته است. میرموسوی (۱۳۸۷)، نوسانات دما و بارش سالانه در منطقه‌ی شمال غرب ایران را موردبررسی قرار داده است. نتایج آن در زمینه‌ی روند دمای سالانه نشان می‌دهد که سه ایستگاه میانه، تبریز و ماکو دارای روند معنی‌دار بوده و روند بارندگی سالانه نیز نشان می‌دهد طبق نتایج آزمون روند، ایستگاه‌های تبریز، اردبیل، ارومیه و خوی دارای روند معنی‌دار بوده و در همه‌ی آن‌ها بارندگی سالانه دارای روندی نزولی است. حجازی‌زاده و پروین (۱۳۸۸) با بررسی تغییرات دما و بارش تهران طی نیم‌قرن اخیر به این نتیجه رسیده‌اند که تغییراتی در دما و بارش در بلندمدت رخ داده به‌صورتی که تغییرات دما افزایشی و در جهت مثبت بوده و تغییرات بارش نیز نوسانات پی‌درپی داشته که بیش‌ترین تغییرات ناگهانی بارش و دما در اوایل دهه‌ی ۲۰۰۰ مشهود است. فرج‌زاده و فیضی (۱۳۹۱) تغییرات زمانی و مکانی عناصر دما و بارش در نقاط مختلف کشور را موردمطالعه قرار داده‌اند. نتایج پژوهش حاکی از این است که زمان شروع بیش‌تر تغییرها، ناگهانی و از نوع روند و نوسان است. در بیش‌تر ایستگاه‌ها متغیرهای دما روند مثبت و بارش، روند منفی را نشان می‌دهد. فرخ‌نیا و مرید (۱۳۹۳) اثرات تغییرات بارش و دما بر روند جریان رودخانه‌های حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه را بررسی کرده و نتیجه گرفته‌اند که تغییرات دما و بارش تأثیر مستقیمی بر استنباط وجود روندهای معنی‌دار در دبی‌ها دارد. در محدوده‌ی موردمطالعه، دما روند افزایشی و بارش، روند کاهشی داشته است. نوری (۱۳۹۳)، روند بارش و خشکی در سه منطقه‌ی شهرکرد، اصفهان و کوهرنگ را طی سال‌های ۲۰۱۳-۱۹۷۱ موردبررسی قرار داده‌اند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد روند بارش و SPI در منطقه‌ی شهرکرد و کوهرنگ به‌طور غیرمعناداری کاهشی و در اصفهان افزایشی بوده است. سال ۲۰۰۸ خشکی آب‌وهوایی شدیدی در کل حوضه رخ داده، ولی پس‌ازآن علی‌رغم عدم وقوع خشکی شدید اقلیمی، خشکی هیدرولوژیکی و کشاورزی شدیدی در منطقه رخ داده که احتمالاً با برداشت قابل‌توجه آب در بالادست و الگوی مصرف نامناسب در ارتباط است. عطایی و هادیان (۱۳۹۲) با بررسی پایش و پهنه‌بندی خشک‌سالی اقلیمی در حوضه‌ی زاینده‌رود با استفاده از شاخص معیار بارندگی سالانه (SIAP) به این نتیجه رسیده‌اند که شدیدترین خشک‌سالی مربوط به سال ۲۰۰۸ بوده که کل حوضه را با مشکل روبرو کرده است. پورهاشم و همکاران (۱۳۹۰) روند تغییرات بارش و دبی را در زیرحوضه‌ی اسکندری واقع در بالادست زاینده‌رود را موردبررسی قرار داده‌اند و نتایج حاکی است که غیر از فصل بهار، در هیچ‌یک از فصول بارش در مقادیر فصلی روند معناداری مشاهده نشده است. زیرک‌زاده و بذرافشان (۱۳۹۳) تحلیل منطقه‌ای شدت خشک‌سالی تحت تأثیر تغییر اقلیم را در استان اصفهان موردبررسی قرار داده‌اند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد تداوم خشک‌سالی در مقایسه با گذشته به ازای دوره‌ی بازگشت‌های مختلف کاهش می‌یابد. اسکانی کزازی (۱۳۹۵) شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر روی منابع آب حوضه‌ی آبریز کارون بزرگ را مطالعه نموده و در این راستا تغییرات بارش و دما در دوره‌ی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ در ایستگاه

1- Gohari
2- Bani-Domi
3- Marengo & Camargo

اهواز را موردبررسی قرار داده است. نتایج بررسی حاکی از افزایش دمای ۱/۸ و ۲ درجه سانتی‌گرادی در دو مدل موردبررسی و کاهش ۴ درصدی بارش دارد.

۲- منطقه‌ی موردمطالعه

حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود با وسعت ۲۷ هزار کیلومترمربع دربرگیرنده قسمت عمده‌ای از حوضه‌ی آبریز گاوخونی بوده که خود جزئی از حوضه‌ی آبریز کویر مرکزی ایران است. حوضه‌ی زاینده‌رود از شمال به حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی نمک، از غرب و جنوب غرب به حوضه‌ی آبریز کارون و دز، از شرق به حوضه‌ی آبریز دق سرخ و کویر سیاه کوه و از جنوب به حوضه‌ی آبریز شهرضا محدود می‌گردد. مرتفع‌ترین نقطه، حوضه‌ی کوه کربوش با ارتفاع ۳۹۷۴ متر از سطح دریا و کم ارتفاع‌ترین نقطه، حوضه‌ی تالاب گاوخونی با ارتفاع ۱۴۵۰ متر از سطح دریاست (شکل ۱). تغییرات آب‌وهوا در این حوضه بسیار چشم‌گیر است؛ درحالی‌که ناحیه‌ی چلگرد در غرب حوضه دارای بارش بیش از ۱۴۰۰ میلی‌متر و در شرق حوضه در کنار تالاب گاوخونی بارش متوسط حدود ۱۰۰ میلی‌متر است. حدود ۹۳ درصد مساحت حوضه در محدوده‌ی استان اصفهان و ۷ درصد آن نیز در محدوده‌ی چهارمحال و بختیاری قرار دارد(شرکت آب منطقه‌ای اصفهان، ۱۳۸۷: ۳). ازنظر جمعیتی نیز، طبق نتایج سرشماری سال ۱۳۹۵ جمعیت حوضه حدود ۴/۶ میلیون نفر بوده که از این تعداد حدود ۹۸ درصد در محدوده‌ی استان اصفهان و حدود ۲ درصد آن نیز در محدوده استان چهارمحال و بختیاری ساکن هستند. طول رودخانه برابر ۳۵۰ کیلومتر و مساحت کل حوضه برابر ۴۱۵۰۰ کیلومترمربع است. حوضه صرف‌نظر از بارش‌های زیاد در ارتفاعات کوهرنگ دارای آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک است. بارش متوسط در اصفهان فقط ۱۳۰ میلی‌متر بوده که بیش‌تر آن در طی فصل زمستان و اوایل بهار می‌بارد. این در حالی است که تبخیر و تعرق پتانسیل در حوضه ۱۵۰۰ میلی‌متر است و فعالیت کشاورزی و اقتصادی وابسته به آب است(سالمی و حیدری، ۱۳۸۵: ۱).

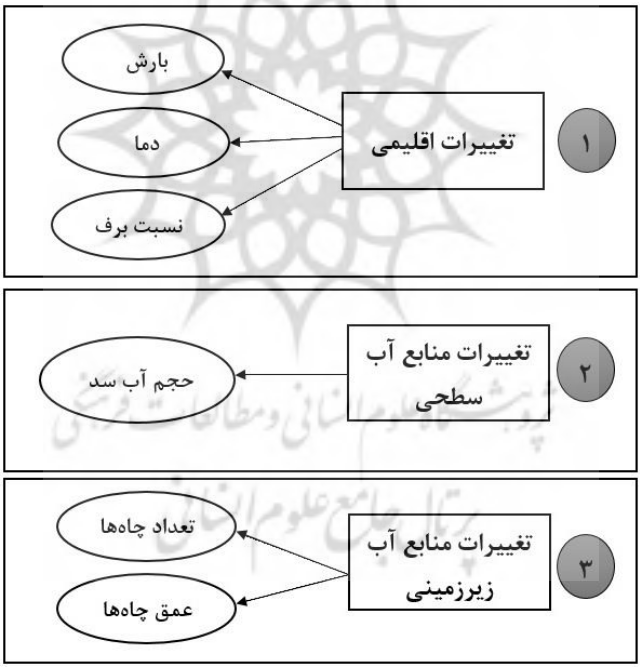


شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی زاینده‌رود

۳- مواد و روش‌ها

این پژوهش از طریق روش توصیفی- تحلیلی انجام شده است. داده‌های خام تحقیق از ادارات مربوطه از قبیل سازمان هواشناسی، سازمان مدیریت منابع آب ایران و آب منطقه‌ای اصفهان اخذ شده و با توجه به اهداف پژوهش مورد تحلیل

قرار گرفته است. در هر مرحله از پژوهش ازنظر متخصصین دانشگاهی و کارشناسان سازمانی استفاده شده است. برای تحلیل میزان تأثیر عوامل طبیعی در بروز ناپایداری منابع آب حوضه بر اساس آمارهای موجود، تغییرات اقلیمی از قبیل روند تغییران میزان بارش در دوره‌ی ۵۰ ساله‌ی (۹۵-۱۳۴۵)، نسبت بارش برف به کل بارندگی در دوره‌ی ۴۵ ساله‌ی (۱۳۵۰-۹۵) و تغییرات درجه‌حرارت در دوره‌ی ۳۰ ساله‌ی (۹۵-۱۳۶۵) در ایستگاه چلگرد موردبررسی قرار گرفته است. ایستگاه چلگرد، منبع اصلی تأمین آب طبیعی رودخانه بوده که بالاترین حجم طبیعی آب حوضه را تأمین کرده و تغییرات آن به‌طور مستقیم بر حجم آب رودخانه تأثیر می‌گذارد. به‌طور تجربی، با افزایش یک سانتی‌متر بارندگی در ایستگاه چلگرد، حدود یک‌میلیون مترمکعب بر حجم آب رودخانه افزایش می‌یابد(یافته‌های میدانی پژوهش، ۱۳۹۵). همچنین به دلیل اهمیت دمای فصل پاییز در ذوب ذخایر برف، تغییرات دمای فصل پاییز نسبت به متوسط بلندمدت در این ایستگاه مطالعه گردیده است. با مطالعه‌ی ویژگی‌های ایستگاه کوهرنگ می‌توان به نقش تغییرات اقلیمی در وقوع ناپایداری منابع آب حوضه پی برد. در بخش منابع آب، ابتدا منابع کلی آب حوضه و سپس تغییرات حجم ذخیره آب سد زاینده‌رود در ۴۵ سال اخیر موردبررسی قرار گرفته است. در ادامه، تغییرات منابع آب زیرزمینی بر اساس دو دوره‌ی آماربرداری سال ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ که توسط آب منطقه‌ای استان‌های بهره‌بردار و با همکاری شرکت مدیریت منابع آب ایران انجام شده، مورد مقایسه قرار گرفته است. بر این اساس معناداری تغییرات حجم سفره‌های زیرزمینی، تعداد چاه‌ها و میزان آبدهی آن در دو دوره‌ی آماری در مقایسه با جریان آب رودخانه‌ی و وقوع ناپایداری منابع آب موردبررسی قرار گرفته است. (شکل ۲)



شکل ۲: مراحل انجام پژوهش

۴- بحث و نتایج

در این قسمت، ابتدا تغییرات عناصر اقلیمی در دهه‌های اخیر موردبررسی قرار گرفته و سپس برای سنجش تأثیر تغییرات اقلیمی بر میزان آب حوضه، منابع کلی آب حوضه و تغییرات حجم آب ورودی سد زاینده‌رود مطالعه گردیده و در پایان تغییرات آب‌های زیرزمینی (تعداد چاه و سطح آب زیرزمینی) در دو سال ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ مورد مقایسه قرار گرفته است.

۵-۱- ویژگی‌های اقلیمی

محدوده‌ی چلگرد (کوهرنگ)، در استان چهارمحال و بختیاری دارای پایین‌ترین دما و بیش‌ترین میزان بارش حوضه‌ی زاینده‌رود بوده و بخش اعظم منابع آبی رودخانه‌ی زاینده‌رود را تأمین می‌کند. با توجه به اهمیت محدوده‌ی چلگرد در تأمین آب رودخانه و ذخیره‌ی سد زاینده‌رود، با سنجش تغییرات میزان و نوع بارش می‌توان به نتایجی در مورد تأثیر میزان کاهش بارش در ایجاد ناپایداری منابع آبی دست یافت. دو نهاد مسئول، وزارت نیرو و سازمان هواشناسی با توجه به اهداف موردنیاز خود اطلاعات اقلیمی خود را از این منطقه برداشت می‌کنند. علی‌رغم اینکه منطقه‌ی موردبررسی یکی است، ایستگاه مطالعاتی سازمان هواشناسی کشور «کوهرنگ» و ایستگاه مربوط به وزارت نیرو که در ارتفاعی بالاتر در همان منطقه واقع شده، ایستگاه «چلگرد» نامیده می‌شود. در این بخش، به بررسی تفصیلی تحولات میزان بارش در ایستگاه چلگرد، درجه‌حرارت نسبت دمای ماه پاییز در مقایسه با سال‌های قبل و نسبت کلی بارش برف به باران پرداخته می‌شود. با تحلیل اقلیمی این منطقه تا حدی می‌توان پی به میزان تأثیر تغییرات اقلیمی منطقه در وقوع ناپایداری منابع آب حوضه پی برد.

۵-۱-۱- بارش سالانه

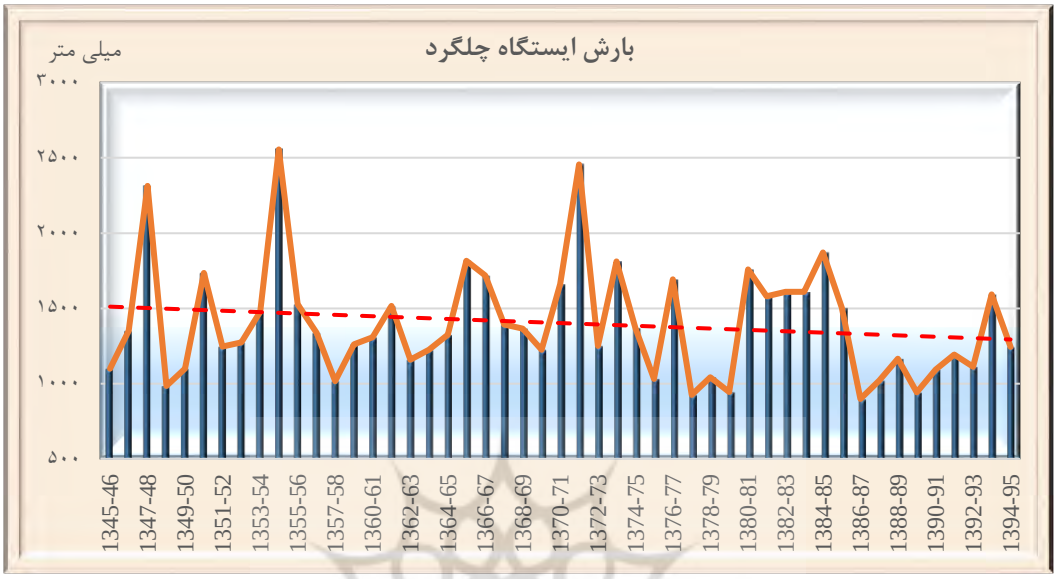
جدول ۱ میزان بارش ۵۰ ساله‌ی ایستگاه چلگرد از سال ۱۳۴۵ تا ۱۳۹۴ به تفکیک ماه به‌طور سالیانه را نمایش می‌دهد. نتایج جدول و میزان تغییرات میانگین بارش سالانه در ایستگاه چلگرد (شکل ۳) نشان می‌دهد که روند بارش در ایستگاه چلگرد از الگوی منظمی برخوردار نبوده و میزان بارش با نوسان زیادی در طول سال‌های مختلف مواجه بوده است. این نوسانات بارش از الگوی خاصی پیروی نکرده، ولی به‌طورکلی روندی کاهشی را نشان می‌دهد. تغییرات ۵۰ ساله‌ی بارش در ایستگاه چلگرد در شکل ۳ نوسانات اقلیمی ایستگاه چلگرد را نمایش می‌دهد. در این دوره، سه سال پر بارش ۴۸-۱۳۴۷، ۵۵-۱۳۵۴ و ۷۲-۱۳۷۱ بارندگی ایستگاه چلگرد بالاتر از ۲۰۰۰ میلی‌متر بارندگی داشته است. در سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۰ بارندگی کوهرنگ به کم‌ترین میزان خود در بلندمدت رسیده است. در این سال‌ها که دوران اول خشک‌سالی زاینده‌رود را رقم می‌زند، کل بارندگی کوهرنگ به ۱۰۰۰-۹۰۰ میلی‌متر در سال می‌رسد. از سال آبی ۸۱-۱۳۸۰ وضعیت بارش نسبتاً بهبود یافته و بارندگی‌ها به بیش از ۱۵۰۰ میلی‌متر در سال می‌رسد و این روند تا ۶ سال بعد (تا سال ۸۶-۱۳۸۵) ادامه داشته است. از سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ بارش محدوده‌ی کوهرنگ کاهش یافته و میزان بارندگی به ۹۰۰ میلی‌متر در سال رسیده است. از این سال که آغاز خشک‌سالی دوم حوضه‌ی زاینده‌رود تلقی می‌شود و تاکنون نیز ادامه دارد، بارش‌ها عمدتاً بین ۱۱۰۰-۹۰۰ میلی‌متر در سال بوده است. در سال آبی ۹۴-۱۳۹۳ بارندگی ایستگاه چلگرد به ۱۵۹۳ میلی‌متر رسیده که نسبتاً سال پرآبی بوده و در سال ۹۵-۱۳۹۴ بارش به ۱۲۴۴ میلی‌متر رسیده است. میانگین بارش در دوره‌ی ۵۰ ساله، ۱۴۰۲ میلی‌متر در سال بوده است. شکل ۳ و ۴ روند تغییرات بارش ۲۵ ساله را به‌صورت خطی نمایش می‌دهد. جریان تغییرات بلندمدت بارش در دوره‌ی ۵۰ و ۲۵ ساله، روند کاهش بارش را نشان می‌دهد.

جدول ۱: مجموع بارش سالانه ایستگاه چلگرد از سال ۱۳۴۵ تا ۱۳۹۵ (میلی‌متر)

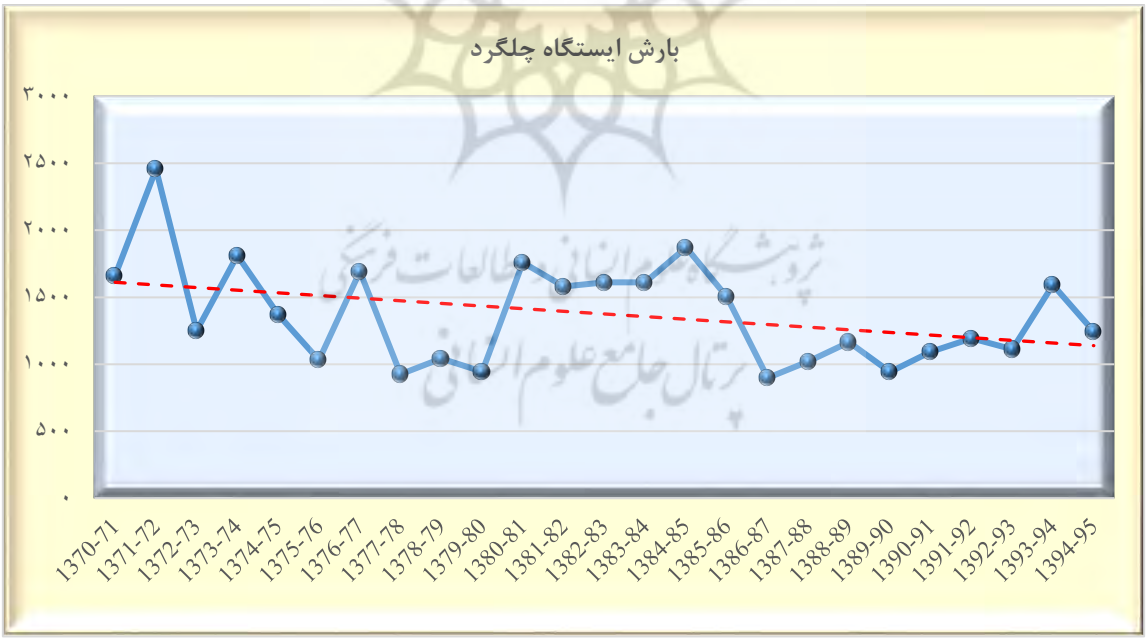
سال آبی	جمع	سال آبی	جمع	سال آبی	جمع	سال آبی	جمع	سال آبی	جمع
۱۳۴۵-۴۶	۱۱۰۰	۱۳۵۵-۵۶	۱۵۲۷	۱۳۶۶-۶۷	۱۷۱۸	۱۳۷۶-۷۷	۱۶۹۳	۱۳۸۶-۸۷	۸۹۸.۵
۱۳۴۶-۴۷	۱۳۵۱	۱۳۵۶-۵۷	۱۳۳۷	۱۳۶۷-۶۸	۱۳۹۳	۱۳۷۷-۷۸	۹۲۵	۱۳۸۷-۸۸	۱۰۲۱
۱۳۴۷-۴۸	۲۳۱۳	۱۳۵۷-۵۸	۱۰۱۷	۱۳۶۸-۶۹	۱۳۶۶	۱۳۷۸-۷۹	۱۰۴۲	۱۳۸۸-۸۹	۱۱۶۵
۱۳۴۸-۴۹	۹۸۴.۵	۱۳۵۸-۵۹	۱۲۶۱	۱۳۶۹-۷۰	۱۲۲۵	۱۳۷۹-۸۰	۹۴۴	۱۳۸۹-۹۰	۹۴۲.۵
۱۳۴۹-۵۰	۱۰۹۹	۱۳۶۰-۶۱	۱۳۰۹	۱۳۷۰-۷۱	۱۶۶۱.۵	۱۳۸۰-۸۱	۱۷۵۸.۵	۱۳۹۰۰۹۱	۱۰۹۳
۱۳۵۰-۵۱	۱۷۳۶.۵	۱۳۶۱-۶۲	۱۵۱۷	۱۳۷۱-۷۲	۲۴۵۶	۱۳۸۱-۸۲	۱۵۸۱	۱۳۹۱-۹۲	۱۱۹۴
۱۳۵۱-۵۲	۱۲۴۵.۳	۱۳۶۲-۶۳	۱۱۵۹	۱۳۷۲-۷۳	۱۲۵۱	۱۳۸۲-۸۳	۱۶۱۰.۵	۱۳۹۲-۹۳	۱۱۱۳

۱۵۹۳	۱۳۹۳-۹۴	۱۶۱۰.۵	۱۳۸۳-۸۴	۱۸۱۲	۱۳۷۳-۷۴	۱۲۲۴.۵	۱۳۶۳-۶۴	۱۲۷۴	۱۳۵۲-۵۳
۱۲۴۴	۱۳۹۴-۹۵	۱۸۷۱.۵	۱۳۸۴-۸۵	۱۳۶۹.۲	۱۳۷۴-۷۵	۱۳۲۵	۱۳۶۴-۶۵	۱۴۷۷.۵	۱۳۵۳-۵۴
۱۴۰۲	میانگین	۱۵۰۴	۱۳۸۵-۸۶	۱۰۳۱	۱۳۷۵-۷۶	۱۸۱۷	۱۳۶۵-۶۶	۲۵۵۶	۱۳۵۴-۵۵

منبع (وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۵)



شکل ۳: تغییرات سالیانه بارش در ایستگاه چلگرد در دوره‌ی ۵۰ ساله‌ی (۱۳۹۵-۱۳۴۵) - میلی‌متر



شکل ۴: تغییرات سالیانه بارش در ایستگاه چلگرد در دوره‌ی ۲۵ ساله‌ی (۱۳۹۵-۱۳۷۰)- میلی‌متر

۵-۱-۲- دمای سالانه

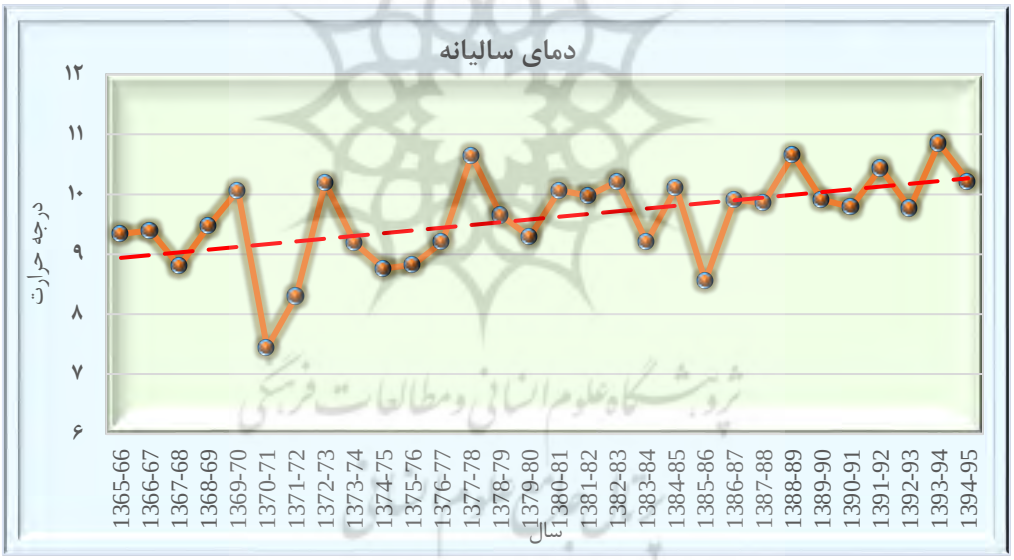
جدول ۲ و شکل ۵ تغییرات دمای سالانه ایستگاه هواشناسی کوهرنگ(چلگرد) را در دوره‌ی ۳۰ ساله‌ی ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ نشان می‌دهد. بر این اساس، درجه‌حرارت در ایستگاه اصلی تأمین آب سد زاینده‌رود، دارای نوسان بوده و روندی

نامنظم داشته است. دمای سالانه دوره‌ی ۳۰ ساله نشان از افزایش درجه‌حرارت به‌مرورزمان داشته است و حدود ۱ درجه بر گرمای هوا در سال‌های اخیر افزوده شده است و روند سالانه تغییر دما نیز جهتی صعودی را نمایش می‌دهد.

جدول ۲: تغییرات دمای سالانه ایستگاه هواشناسی کوهرنگ در دوره‌ی سی‌ساله‌ی ۱۳۹۵-۱۳۶۵(درجه‌ی سانتی‌گراد)

سال آبی	درجه‌حرارت	سال آبی	درجه‌حرارت	سال آبی	درجه‌حرارت
۶۶-۱۳۶۵	۹,۳	۷۶-۱۳۷۵	۸,۸	۸۶-۱۳۸۵	۸,۶
۶۷-۱۳۶۶	۹,۴	۷۷-۱۳۷۶	۹,۲	۸۷-۱۳۸۶	۹,۹
۶۸-۱۳۶۷	۸,۸	۷۸-۱۳۷۷	۱۰,۷	۸۸-۱۳۸۷	۹,۹
۶۹-۱۳۶۸	۹,۵	۷۹-۱۳۷۸	۹,۷	۸۹-۱۳۸۸	۱۰,۷
۷۰-۱۳۶۹	۱۰,۱	۸۰-۱۳۷۹	۹,۳	۹۰-۱۳۸۹	۹,۹
۷۱-۱۳۷۰	۷,۴	۸۱-۱۳۸۰	۱۰,۱	۹۱-۱۳۹۰	۹,۸
۷۲-۱۳۷۱	۸,۳	۸۲-۱۳۸۱	۱۰,۰	۹۲-۱۳۹۱	۱۰,۴
۷۳-۱۳۷۲	۱۰,۲	۸۳-۱۳۸۲	۱۰,۲	۹۳-۱۳۹۲	۹,۸
۷۴-۱۳۷۳	۹,۲	۸۴-۱۳۸۳	۹,۲	۹۴-۱۳۹۳	۱۰,۹
۷۵-۱۳۷۴	۸,۸	۸۵-۱۳۸۴	۱۰,۱	۹۵-۱۳۹۴	۱۰,۲

منبع:(وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۵)



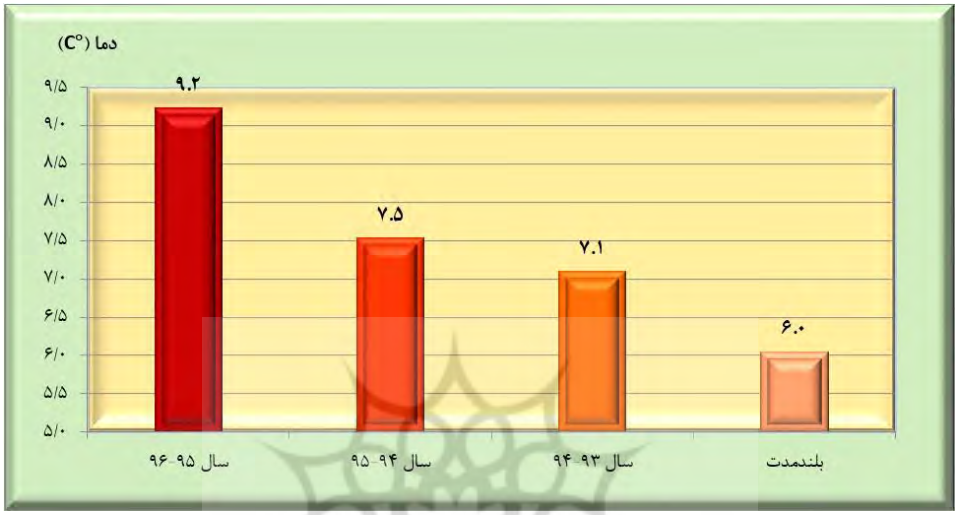
شکل ۵: تغییرات دمای سالانه ایستگاه هواشناسی کوهرنگ در دوره‌ی سی‌ساله‌ی ۱۳۹۵-۱۳۶۵(درجه‌ی سانتی‌گراد)

با توجه به اهمیت دمای ماه پاییز در ذوب برف و ذخایر سال آبی مخزن سد، تغییرات دمای ماه پاییز در سه سال آبی ۹۴-۱۳۹۳ تا ۹۶-۱۳۹۵ و تغییرات آن نسبت به متوسط بلندمدت را مورد مقایسه قرار گرفته است. طبق جدول ۳ متوسط دمای فصل پاییز نسبت به سال گذشته ۱/۷ درجه‌ی سانتی‌گراد و نسبت به بلندمدت ۳/۲ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش داشته است. درواقع دمای هوا ۲۳٪ نسبت به سال پیش و ۵۳٪ نسبت به بلندمدت افزایش داشته است. شکل ۶ روند افزایش درجه حرارت فصل پاییز در سال‌های اخیر را نمایش داده است.

جدول ۳: وضعیت دمای فصل پاییز ایستگاه کوهرنگ و مقایسه آن با متوسط بلندمدت

ایستگاه	دمای متوسط فصل پاییز(سال آبی)				تغییرات دمای امسال نسبت به		درصد تغییرات امسال نسبت به	
	سال ۹۶-۹۵	سال ۹۵-۹۴	سال ۹۴-۹۳	متوسط بلندمدت	سال گذشته	بلندمدت	سال گذشته	بلندمدت
					درجه‌ی سانتی‌گراد		درصد	
کوهرنگ	۹,۲	۷,۵	۷,۱	۶,۰	+۱,۷	+۳,۲	+۲۳	+۵۳

منبع:(شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۵)



شکل ۶: تغییرات میانگین دمای پاییز در ایستگاه کوهرنگ نسبت به بلندمدت(درجه‌ی سانتی‌گراد)

۵-۱-۳- نسبت برف به کل بارش

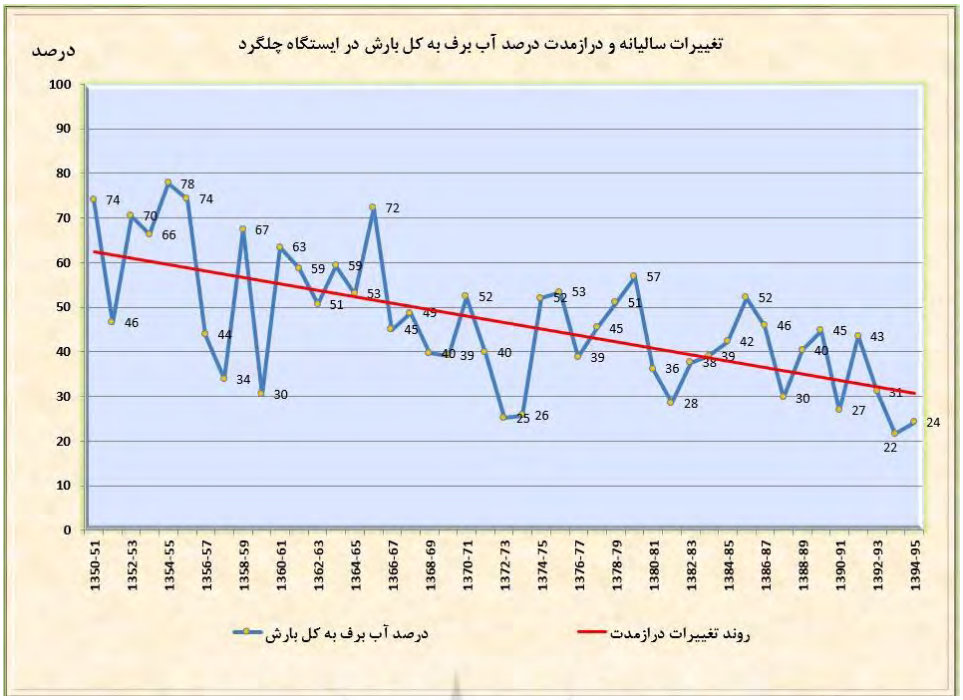
در این قسمت، تغییرات سالیانه و درازمدت درصد آب برف به کل بارش در منطقه‌ی چلگرد موردبررسی قرار گرفته است. میزان بارش برف نسبت به کل بارندگی تأثیر به سزایی بر مقدار جریان آب رودخانه‌ی دارد؛ هر چه میزان بارش برف نسبت به کل بارش بیش‌تر باشد، ذخیره‌ی منابع آبی بیش‌تری در طول سال برای جریان رودخانه فراهم خواهد آورد، برعکس هرچه میزان بارش به‌صورت باران باشد، میزان ذخیره‌ی جریان آب در طول سال کم‌تر خواهد بود.

جدول ۴ نسبت تغییرات میزان بارش برف نسبت به کل بارندگی در منطقه‌ی چلگرد را در سال‌های مختلف، از سال ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۵ موردبررسی قرار داده است. با بررسی میزان بارندگی برف نسبت به کل بارش ایستگاه چلگرد، به این نتیجه می‌رسیم که میزان بارش برف نسبت به کل بارندگی کاهش چشم‌گیری در طول دهه‌های اخیر و به‌مرورزمان داشته است(شکل ۷)؛ درحالی‌که در دهه‌ی ۱۳۵۰ و ۱۳۶۰ تقریباً بیش از نیمی از بارش به‌صورت برف بوده است، به‌مرورزمان میزان بارش برف کاهش یافته و از سال‌های ۱۳۸۰ به بعد، این میزان به‌ندرت به ۵۰٪ رسیده است؛ یعنی کم‌تر از نصف کل بارش منطقه‌ی چلگرد به‌صورت برف بوده است. این آمار نشان می‌دهد میزان بارش برف نسبت به کل بارندگی منطقه کاهش چشم‌گیری یافته است. کاهش میزان برف، اثر مستقیم بر کاهش میزان جریان منابع آب رودخانه در بلندمدت دارد؛ زیرا جریان آب رودخانه‌ی زاینده‌رود تا حد زیادی وابسته به ذوب برف یخچال‌های منطقه‌ی چلگرد، در قسمت سرشاخه‌های رودخانه است.

جدول ۴: تغییرات میزان بارش برف سالانه نسبت به کل بارش در ایستگاه چلگرد(به میلی‌متر)

سال آبی	میزان کل بارش	میزان آب برف	درصد آب برف به کل بارش	سال آبی	میزان کل بارش	میزان آب برف	درصد آب برف به کل بارش
۱۳۵۰-۵۱	۱۷۴۱.۵	۱۲۹۰.۵	۷۴.۱	۱۳۷۳-۷۴	۱۸۱۲	۴۶۶	۲۵.۷
۱۳۵۱-۵۲	۱۳۰۲.۵	۶۰۵.۵	۴۶.۵	۱۳۷۴-۷۵	۱۳۶۹	۷۱۳	۵۲.۱
۱۳۵۲-۵۳	۱۲۰۱.۵	۸۴۷	۷۰.۵	۱۳۷۵-۷۶	۱۰۷۱	۵۷۲	۵۳.۴
۱۳۵۳-۵۴	۱۱۳۸	۷۵۵	۶۶.۳	۱۳۷۶-۷۷	۱۶۹۷	۶۵۸	۳۸.۸
۱۳۵۴-۵۵	۲۰۶۴	۱۶۰۳	۷۷.۷	۱۳۷۷-۷۸	۹۲۰	۴۱۷	۴۵.۳
۱۳۵۵-۵۶	۱۵۳۰	۱۱۳۶	۷۴.۲	۱۳۷۸-۷۹	۱۰۴۱.۵	۵۳۱.۵	۵۱.۰
۱۳۵۶-۵۷	۱۵۵۶	۶۸۲	۴۳.۸	۱۳۷۹-۸۰	۹۳۷	۵۳۲	۵۶.۸
۱۳۵۷-۵۸	۱۰۱۷	۳۴۵	۳۳.۹	۱۳۸۰-۸۱	۱۷۵۸.۵	۶۳۶.۵	۳۶.۲
۱۳۵۸-۵۹	۱۴۹۰	۱۰۰۴	۶۷.۴	۱۳۸۱-۸۲	۱۵۸۱	۴۵۰.۵	۲۸.۵
۱۳۵۹-۶۰	۱۹۰۱	۵۷۹	۳۰.۵	۱۳۸۲-۸۳	۱۶۱۰.۵	۶۰۵	۳۷.۶
۱۳۶۰-۶۱	۱۳۰۹	۸۳۱	۶۳.۵	۱۳۸۳-۸۴	۱۶۱۰	۶۲۹	۳۹.۱
۱۳۶۱-۶۲	۱۵۱۷	۸۹۰	۵۸.۷	۱۳۸۴-۸۵	۱۸۵۷	۷۸۵	۴۲.۳
۱۳۶۲-۶۳	۱۱۶۲	۵۸۸.۵	۵۰.۶	۱۳۸۵-۸۶	۱۴۷۸	۷۷۰.۵	۵۲.۱
۱۳۶۳-۶۴	۱۲۲۵.۵	۷۲۶	۵۹.۲	۱۳۸۶-۸۷	۸۵۵	۳۹۱.۵	۴۵.۸
۱۳۶۴-۶۵	۱۳۲۵	۷۰۳	۵۳.۱	۱۳۸۷-۸۸	۱۰۹۴	۳۲۴.۵	۲۹.۷
۱۳۶۵-۶۶	۱۸۱۶	۱۳۱۱	۷۲.۲	۱۳۸۸-۸۹	۱۲۹۰.۵	۵۲۰.۵	۴۰.۳
۱۳۶۶-۶۷	۱۶۶۶	۷۴۹	۴۵.۰	۱۳۸۹-۹۰	۹۸۱	۴۳۸.۵	۴۴.۷
۱۳۶۷-۶۸	۱۳۰۷	۶۳۷	۴۸.۷	۱۳۹۰-۹۱	۱۰۹۰	۲۹۲.۵	۲۶.۸
۱۳۶۸-۶۹	۱۳۶۶	۵۴۲	۳۹.۷	۱۳۹۱-۹۲	۱۱۸۶.۵	۵۱۶	۴۳.۵
۱۳۶۹-۷۰	۱۲۲۵	۴۷۹	۳۹.۱	۱۳۹۲-۹۳	۱۱۵۴	۳۵۸	۳۱.۰
۱۳۷۰-۷۱	۱۶۶۱.۵	۸۷۰	۵۲.۴	۱۳۹۳-۹۴	۱۵۹۲.۵	۳۴۴.۵	۲۱.۶
۱۳۷۱-۷۲	۲۵۵۵	۱۰۱۶	۳۹.۸	۱۳۹۴-۹۵	۱۲۴۳.۱	۳۰۰.۵	۲۴.۲
۱۳۷۲-۷۳	۱۲۵۲	۳۱۵	۲۵.۲	-	-	-	-

منبع:(شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۵)



شکل ۷: میزان سالانه درصد آب برف به کل بارش در ایستگاه چلگرد(۹۵-۱۳۵۰)

۵-۲- منابع آب حوضه

برای سنجش تغییرات منابع آبی حوضه، تغییرات حجم ورودی آب سد زاینده‌رود، به‌عنوان اصلی‌ترین منبع ذخیره و تأمین آب حوضه موردبررسی قرار گرفته است. سد مخزنی زاینده‌رود به‌عنوان منبع اصلی آب سطحی با حداکثر حجم ذخیره ۱۴۷۰ میلیون مترمکعب به‌منظور کنترل سیلاب‌های مخرب، تولید نیاز بر آبی، توسعه‌ی فعالیت‌های بخش کشاورزی و تأمین نیاز آب بخش‌های شرب و صنعت در سال ۱۳۵۰ مورد بهره‌برداری قرار گرفته است(میزبانی، ۱۳۸۸: !). ذخیره‌ی سد زاینده‌رود در چادگان از به هم پیوستن دو رودخانه‌ی اصلی پلاسجان در استان اصفهان(ارتفاعات گلپایگان) و سرشاخه‌های زاینده‌رود در استان چهارمحال و بختیاری(ارتفاعات زردکوه بختیاری و تونل کوهرنگ) به‌اضافه-ی تعداد زیادی رواناب و شاخه‌های فرعی منتهی به رودخانه‌ی تأمین می‌شود. در شرایط معمولی، ورودی آب رودخانه‌ی زاینده‌رود به سد از آورد طبیعی و انتقال‌های بین حوضه‌ای شکل می‌گیرد. نزدیک به نیمی از آب رودخانه‌ی از طریق انتقال از حوضه‌های مجاور تأمین می‌شود. جدول ۵ میزان حجم طبیعی و انتقال‌ها به حوضه را نشان می‌دهد. همچنین اخیراً حدود ۶۰ میلیون مترمکعب سالانه از طریق پمپاژ از تونل سوم کوهرنگ به حوضه منتقل می‌شود.

جدول ۵: حجم ورودی آب به دریاچه‌ی زاینده‌رود در شرایط معمولی(میلیون مترمکعب)

منبع آبی	حجم آب	مجموع
آورد طبیعی رودخانه	۸۵۰	حجم طبیعی حوضه ۸۵۰
تونل اول کوهرنگ	۳۳۰	
تونل دوم کوهرنگ	۲۷۰	انتقال به حوضه ۷۲۰
چشمه‌ی لنگان	۱۲۰	

منبع(یافته‌های پژوهش، آب منطقه‌ای اصفهان، ۱۳۹۵)

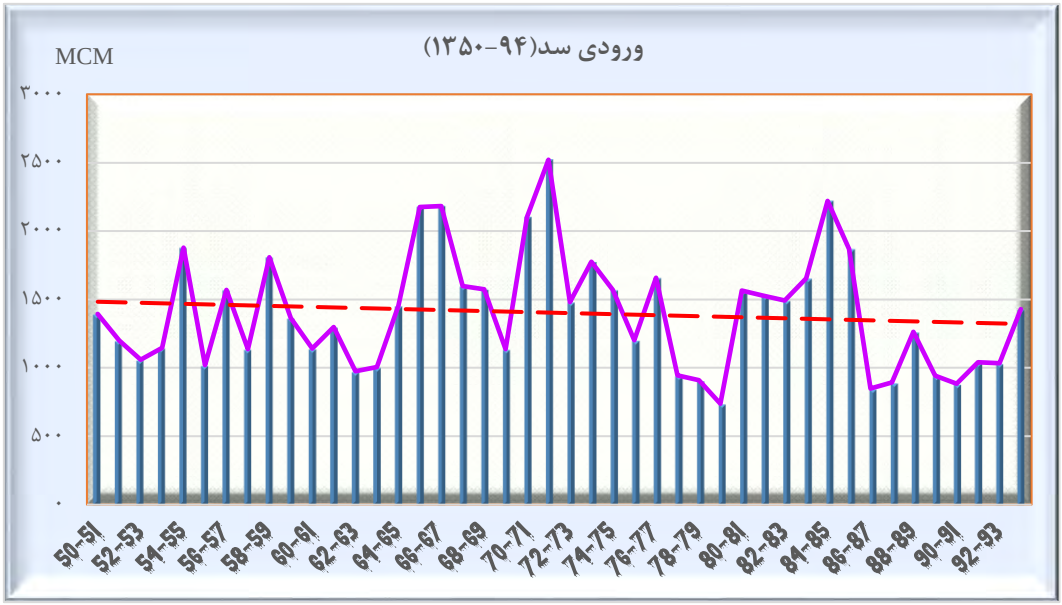
۵-۳- ورودی سد زاینده‌رود

حجم ورودی به سد، رابطه‌ی مستقیم با میزان بارش حوضه دارد؛ به‌طوری‌که هر چه بارندگی در بالادست حوضه بیش‌تر باشد، حجم آب ورودی به سد نیز بیش‌تر است و بالعکس. بررسی کلی میانگین حجم بارش در دوره‌ی ۴۵ ساله‌ی(۹۴-۱۳۵۰) نشان می‌دهد میانگین کلی سالانه حجم آب ورودی به سد ۱۴۰۲ میلیون مترمکعب بوده و میانگین حجم ورودی ماهانه ۱۱۷ میلیون مترمکعب در هر ماه است. حجم ورودی آب به سد زاینده‌رود روند نامنظمی داشته و بسته به میزان بارش، نوسان داشته است. نمودار حجم ورودی به سد، نشان از روند بلندمدت کاهشی میزان آن دارد. در دو دوره‌ی زمانی در دهه‌های اخیر، کاهش ورودی آب به سد رخ داده است؛ یکی در سال‌های ۷۸-۱۳۷۷ تا ۸۰-۱۳۷۹ که ورودی آب سد به پایین‌تر از یک میلیارد مترمکعب رسیده و دیگری از سال ۸۷-۱۳۸۶ آغاز شده و کماکان ادامه داشته است. از این سال که به‌عنوان خشک‌سالی دوم شناخته شده، حجم ورودی آب به‌طور سالانه میانگین حدود یک میلیارد مترمکعب بوده تا سال آبی ۹۴-۱۳۹۳ که به ۱۴۳۰ میلیون مترمکعب رسیده است(جدول ۶ و شکل ۸ و ۹).

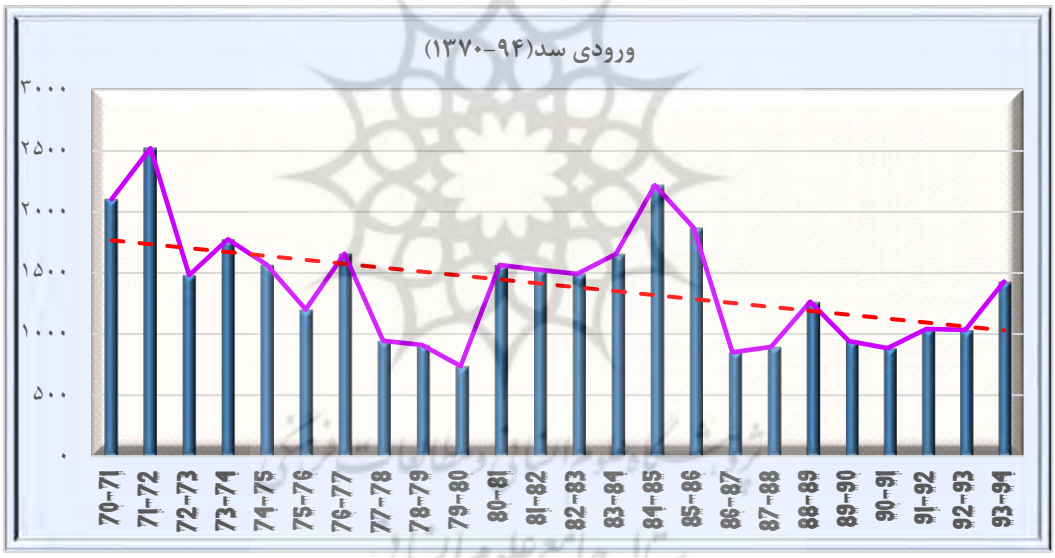
جدول ۶: مجموع و میانگین حجم ورودی آب به سد زاینده‌رود در دوره‌ی ۴۵ ساله‌ی ۹۴-۱۳۵۰(میلیون مترمکعب)

میانگین ماهانه	جمع سالیانه	سال آبی	میانگین ماهانه	جمع سالیانه	سال آبی	میانگین ماهانه	جمع سالیانه	سال آبی
۱۲۴,۴	۱۴۹۳,۲	۸۲-۸۳	۱۸۱,۹	۲۱۸۳,۱	۶۶-۶۷	۱۱۶,۱	۱۳۹۳,۵	۵۰-۵۱
۱۳۷,۸	۱۶۵۳,۹	۸۳-۸۴	۱۳۳,۲	۱۵۹۸,۰	۶۷-۶۸	۱۰۰,۰	۱۱۹۹,۷	۵۱-۵۲
۱۸۵,۰	۲۲۱۹,۶	۸۴-۸۵	۱۳۱,۳	۱۵۷۵,۶	۶۸-۶۹	۸۸,۲	۱۰۵۸,۶	۵۲-۵۳
۱۵۵,۸	۱۸۷۰,۰	۸۵-۸۶	۹۴,۸	۱۱۳۷,۹	۶۹-۷۰	۹۵,۶	۱۱۴۶,۸	۵۳-۵۴
۷۰,۸	۸۴۹,۵	۸۶-۸۷	۱۷۵,۲	۲۱۰۲,۴	۷۰-۷۱	۱۵۶,۷	۱۸۷۹,۹	۵۴-۵۵
۷۴,۵	۸۹۳,۸	۸۷-۸۸	۲۱۰,۱	۲۵۲۱,۶	۷۱-۷۲	۸۵,۰	۱۰۱۹,۶	۵۵-۵۶
۱۰۵,۴	۱۲۶۴,۲	۸۸-۸۹	۱۲۳,۵	۱۴۸۲,۰	۷۲-۷۳	۱۳۰,۸	۱۵۶۹,۶	۵۶-۵۷
۷۸,۶	۹۴۳,۲	۸۹-۹۰	۱۴۷,۹	۱۷۷۴,۹	۷۳-۷۴	۹۴,۸	۱۱۳۷,۸	۵۷-۵۸
۷۳,۷	۸۸۴,۲	۹۰-۹۱	۱۳۰,۸	۱۵۶۹,۷	۷۴-۷۵	۱۵۰,۷	۱۸۰۸,۷	۵۸-۵۹
۸۶,۸	۱۰۴۱,۲	۹۱-۹۲	۱۰۰,۱	۱۲۰۱,۳	۷۵-۷۶	۱۱۳,۶	۱۳۶۳,۷	۵۹-۶۰
۸۶,۱	۱۰۳۳,۰	۹۲-۹۳	۱۳۸,۲	۱۶۵۸,۷	۷۶-۷۷	۹۵,۱	۱۱۴۰,۷	۶۰-۶۱
۱۱۹,۰	۱۴۲۸,۵	۹۳-۹۴	۷۸,۷	۹۴۴,۷	۷۷-۷۸	۱۰۸,۲	۱۲۹۸,۸	۶۱-۶۲
۱۱۶,۸	۱۴۰۲,۱	میانگین	۷۵,۹	۹۱۰,۹	۷۸-۷۹	۸۱,۴	۹۷۶,۴	۶۲-۶۳
۵۰,۷	۷۳۸,۰	کمینه	۶۱,۵	۷۳۸,۰	۷۹-۸۰	۸۳,۸	۱۰۰۶,۱	۶۳-۶۴
۲۹۰,۰	۲۵۲۱,۶	بیشینه	۱۳۰,۴	۱۵۶۵,۲	۸۰-۸۱	۱۲۱,۱	۱۴۵۲,۷	۶۴-۶۵
۴۳,۰	-	میانگین دبی	۱۲۷,۳	۱۵۲۷,۷	۸۱-۸۲	۱۸۱,۳	۲۱۷۵,۸	۶۵-۶۶

منبع(شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۵)



شکل ۸: تغییرات حجم ورودی سالانه آب به سد زاینده‌رود در سال‌های ۹۴-۱۳۵۰

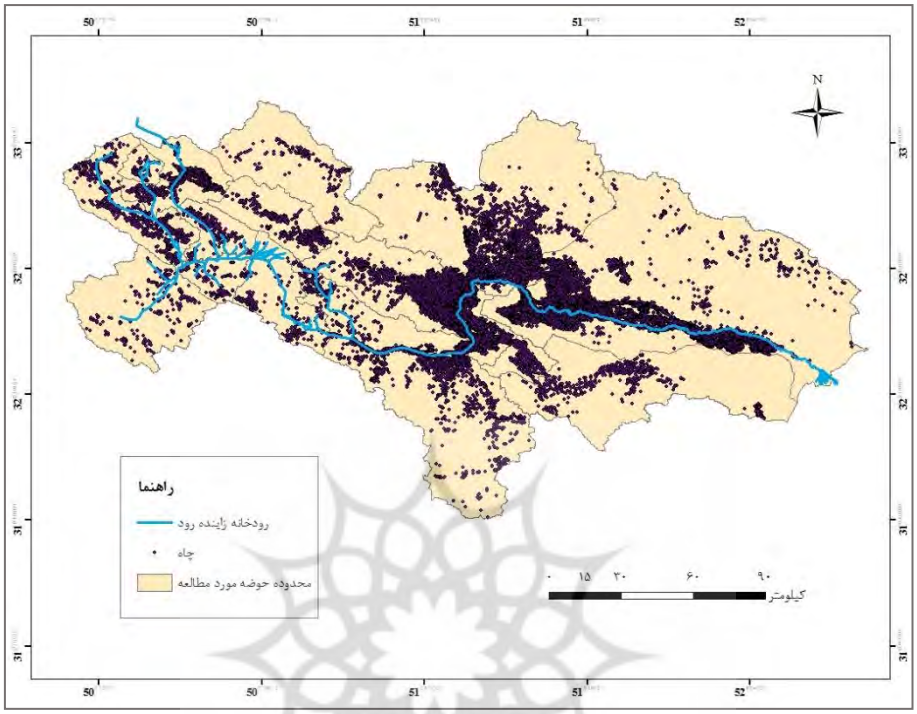


شکل ۹: تغییرات حجم ورودی سالانه آب به سد زاینده‌رود در سال‌های ۹۴-۱۳۷۰

۵-۴- تغییرات آب‌های زیرزمینی

آماربرداری منابع آب زیرزمینی در دو دوره‌ی آماری سال ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ توسط ادارات آب منطقه‌ای در سراسر کشور صورت گرفته است. در این قسمت، نتایج مطالعه چاه‌های محدوده‌ی حوضه، در این دو دوره مورد مقایسه قرار گرفته است(جدول ۷). چاه‌ها در بخش‌های مختلف حوضه پراکنده‌اند، ولی بیش‌ترین تعداد چاه‌ها در حاشیه رودخانه و به‌ویژه در بخش میانی و سپس پایین‌دست حوضه موردمطالعه مستقر هستند(شکل ۱۰). تعداد چاه‌ها در دوره‌ی وقوع ناپایداری منابع آب افزایش شدیدی داشته و تنها در یک دوره‌ی ۱۰-۵ ساله تعداد ۹۲۷۷ حلقه چاه، برای جبران کم‌آبی در حوضه‌ی موردمطالعه حفر شده است. در بررسی سفره آب‌های زیرزمینی، در سال ۱۳۸۵ میانگین سطح آب ۱۹/۹ متر از سطح زمین و عمق چاه‌های بهره‌برداری از آب، ۴۰/۴ متر بوده که در سال ۱۳۹۰ و با افزایش بهره‌برداری از آب به سطح آب ۲۴/۹ متری از سطح زمین و میانگین عمق چاه‌ها به ۴۵/۲ متری رسیده است. میزان تخلیه‌ی آب از چاه‌های محدوده در

آماربرداری سال ۱۳۸۵ میانگین بیش از ۳ میلیارد مترمکعب در سال بوده و در آمار سال ۱۳۹۰ این میزان بیش از ۲ میلیارد مترمکعب در سال رسیده است. این کاهش تخلیه‌ی چاه، علی‌رغم افزایش تعداد چاه‌ها احتمالاً ناشی از کاهش جریان آب رودخانه در این دوره و کاهش ذخایر سفره آب‌های زیرزمینی سطحی و کم‌عمق است که مستقیماً از آب رودخانه تغذیه می‌شوند. میانگین دبی آبدهی چاه‌ها از ۹/۱۶ لیتر در ثانیه به ۸/۵۳ لیتر کاهش یافته است.



شکل ۱۰: پراکندگی چاه‌ها در محدوده موردمطالعه حوضه‌ی زاینده‌رود
منبع:(آمار شرکت مدیریت منابع آب ۱۳۹۰؛ ترسیم نگارنده)

جدول ۷: تحول سالانه منبع آبی چاه در حوضه‌ی زاینده‌رود

منبع آبی	ویژگی	واحد سنجش	۱۳۸۵	۱۳۹۰	اختلاف
چاه	تعداد چاه	تعداد	۴۰۸۰۵	۵۰۰۸۲	۹۲۷۷
	میانگین عمق چاه	متر	۴۰/۴۰	۴۵/۲۰	۴/۸
	میانگین سطح آب	متر	۱۹/۹	۲۴/۹	۵
	تخلیه‌ی چاه	میلیارد مترمکعب	۳/۲۶	۲/۳۳	-۰/۹۳
	میانگین دبی بهره‌برداری از چاه	لیتر در ثانیه	۹/۱۶	۸/۵۳	-۰/۶۳
	میانگین ساعت کارکرد سالانه	ساعت	۴۱۲۵/۰۱۱۳۶	۴۶۵۴/۰۳۴۱۶۵	۵۲۹/۳۳
	کل ساعت کارکرد سالانه چاه‌ها	ساعت	۷۳۰۹۳۱۳۸/۸	۸۹۵۶۶۸۸۷/۵	۱۶۴۷۳۷۴۸/۷

منبع (آمار خام شرکت مدیریت منابع آب ایران و آب منطقه‌ای اصفهان، تحلیل نگارنده، ۱۳۹۵)

۶- نتیجه‌گیری

حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود در سال‌های اخیر درگیر وضعیت ناپایدار منابع آب شده؛ به‌طوری‌که بخشی از طول رودخانه در قسمت میانی و پایین‌دست جریان آب خشک شده و یا به‌صورت موقتی درآمده و تخصیص آب کشاورزی به اراضی زراعی این بخش‌ها کاهش شدیدی یافته است. وقوع ناپایداری منابع آب در حوضه می‌تواند ریشه در علل طبیعی و یا

انسانی داشته باشد. در این پژوهش، علل طبیعی وقوع ناپایداری منابع آب، شامل نقش تغییرات اقلیمی بر کاهش جریان آب رودخانه موردبررسی قرار گرفته است. بر این اساس تغییرات عناصر اقلیمی(میزان بارش، نسبت بارش برف به کل بارندگی و تغییرات دمایی) ایستگاه هواشناسی کوهرنگ در چهارمحال و بختیاری که بارش این منطقه بخش اعظم جریان آبی طبیعی رودخانه را تشکیل داده و تغییرات بارش در این ایستگاه به‌طور مستقیم بر حجم آب رودخانه مؤثر بوده، موردبررسی قرار گرفته است. در این خصوص تغییرات منابع آب ورودی سد زاینده‌رود و دگرگونی منابع آب زیرزمینی نیز موردمطالعه قرار گرفته است.

بررسی میزان بارش ایستگاه چلگرد در دوره‌ی ۵۰ ساله‌ی(۹۵-۱۳۴۵) روند متغیر بارشی و در دو دهه‌ی اخیر کاهش بارش را نشان می‌دهد. در دو دهه‌ی اخیر، دو خشکی اقلیمی رخ داده است؛ خشک‌سالی اول در سال ۸۰-۱۳۷۷ که کل بارندگی کوهرنگ به ۱۰۰۰-۹۰۰ میلی‌متر در سال می‌رسد. در سال‌های ۸۶-۱۳۸۰ وضعیت بارش نسبتاً بهبود یافته و بارندگی‌ها به بیش از ۱۵۰۰ میلی‌متر در سال می‌رسد. از سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ بارش محدوده‌ی کوهرنگ کاهش یافته و میزان بارندگی به ۹۰۰ میلی‌متر در سال رسیده است. از این سال که آغاز خشک‌سالی دوم حوضه‌ی زاینده‌رود تلقی می‌شود و تاکنون نیز ادامه دارد، بارش‌ها عمدتاً بین ۱۱۰۰-۹۰۰ میلی‌متر در سال بوده است. تغییرات میزان بارش برف به کل بارندگی تأثیر بالایی در حجم آب رودخانه دارد. بررسی نسبت بارش در دوره‌ی(۹۵-۱۳۵۰) نشان از کاهش بارش برف به باران به‌مرورزمان دارد؛ درحالی‌که در دهه‌ی ۱۳۵۰ و ۱۳۶۰ تقریباً بیش از نیمی از بارش به‌صورت برف بوده است. به‌مرورزمان، میزان بارش برف کاهش یافته و از سال‌های ۱۳۸۰ به بعد این میزان به‌ندرت به ۵۰٪ رسیده است و کم‌تر از نصف کل بارش منطقه‌ی چلگرد به‌صورت برف بوده است. تغییرات دما در دوره‌ی ۳۰ ساله‌ی(۹۵-۱۳۶۵) نشان از افزایش درجه حرارت به‌مرورزمان داشته است و حدود ۱ درجه بر گرمای هوا در سال‌های اخیر افزوده شده است و روند سالانه تغییر دما نیز جهتی صعودی را نمایش می‌دهد. همچنین مقایسه دمای فصل پاییز در سال ۹۶-۱۳۹۵ نسبت به سال‌های گذشته نشان از افزایش ۲۳ درصدی دما نسبت به سال پیش و افزایش ۵۳ درصدی دما نسبت به بلندمدت دارد.

بررسی تغییرات منابع آب حوضه از طریق بررسی حجم ورودی سد زاینده‌رود که رابطه‌ی مستقیم با حجم بارش حوضه دارد، روند کاهشی را نشان داده و منطبق با دوره‌های اقلیمی خشک، حجم آب ورودی به سد زاینده‌رود نیز کاهش یافته است. بر این اساس در دو دوره‌ی زمانی ۸۰-۱۳۷۷ و سال ۱۳۸۶ تاکنون(به‌استثنای سال آبی ۹۴-۱۳۹۳) حجم آب ورودی سد به پایین‌تر از یک میلیارد مترمکعب رسیده است. همچنین بررسی تغییرات حجم آب‌های زیرزمینی در دو دوره‌ی آماربرداری ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ حاکی از حفر بیش از ۹ هزار حلقه چاه طی این دوره و به‌طور میانگین افزایش حدود ۵ متری عمق چاه‌ها و میانگین سطح آب است.

به‌طورکلی بررسی‌ها نشان می‌دهد تغییرات اقلیمی بر وقوع ناپایداری منابع آب حوضه و کاهش جریان آب رودخانه مؤثر بوده است؛ به‌طوری‌که همگام با کاهش میزان بارش و نسبت بارش برف به باران و نیز افزایش دمای هوا، منابع آب حوضه و حجم ورودی سد زاینده‌رود کاهش یافته است. با کاهش جریان آب رودخانه طی این سال‌ها، کمبود آب عمدتاً کشاورزی با حفر چاه‌ها جبران شده و افزایش بهره‌برداری از چاه‌ها و کاهش جریان آب رودخانه باعث کاهش سطح آب‌های زیرزمینی در حوضه گردیده است. کاهش سطح آب‌های زیرزمینی خود وضعیت ناپایدار آبی حوضه را تشدید می‌کند. البته این پژوهش، صرفاً عامل طبیعی و اقلیمی – و نه انسانی- مؤثر بر وقوع ناپایداری منابع آب را موردبررسی قرار داده است.

۷- قدردانی

بدین‌وسیله از آقای مهندس مهرزاد احسانی، مدیرکل دفتر به‌هم‌پیوسته‌ی منابع آب فلات مرکزی و مهندس جنگی، رئیس اداره نظارت بر حوضه‌های آبریز فلات مرکزی شرکت مدیریت منابع آب ایران(وزارت نیرو)، به دلیل ارائه‌ی داده‌های موردنیاز پژوهش قدردانی به عمل می‌آید.

۸- منابع

۱. اسکانی کزازی، غلامحسین (۱۳۹۵). شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر روی منابع آب حوضه‌ی کارون بزرگ و مدیریت بحران (مورد شهر اهواز)، فصلنامه‌ی جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، سال هفتم، شماره‌ی ۱، صص ۲۴۲-۲۳۵.

۲. ایلدرمی، علیرضا، نوری، حمید، کرمی، مهناز (۱۳۹۵). ارزیابی خشک‌سالی و تغییر اقلیم در دوره‌ی آتی با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز گرگان‌رود- قره‌سو- ایران)، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره‌ی هفتم، شماره‌ی ۲۶، صص ۱۲۴-۱۱۱.

۳. پورهاشم، مهسا، بختیاری، بهرام، قادری، کوروش (۱۳۹۰). بررسی روند تغییرات بارش و دبی (ماهانه، فصلی و سالانه) در حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود، اولین کنفرانس بین‌المللی سد و نیروگاه‌های برقی آبی، تهران.

۴. حجازی‌زاده، زهرا، پروین، نادر (۱۳۸۸)، بررسی تغییرات دما و بارش تهران طی نیم‌قرن اخیر، جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دوره‌ی ۱، پیش‌شماره‌ی پاییز و زمستان، صص ۵۳-۴۳.

۵. حیدری، حسن (۱۳۹۵). تحلیل روند تغییرات بارش برف و باران در ایستگاه‌های منتخب استان آذربایجان غربی، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره‌ی هفتم، شماره‌ی ۲۶، صص ۱۱۰-۹۲.

۶. زیرک‌زاده، سحر، بذرافشان، جواد (۱۳۹۳). تحلیل منطقه‌ای شدت خشک‌سالی در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم (مطالعه‌ی موردی: استان اصفهان)، شانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، ۳۵۶-۳۵۲.

۷. سالمی، حمیدرضا، حیدری، نادر (۱۳۸۵). (گزارش فنی) ارزیابی منابع و مصارف آب در حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود، انجمن علوم و مهندسی منابع آب، سال دوم، شماره‌ی ۱.

۸. سید قاسمی، سمیه (۱۳۸۵). پیش‌بینی تغییرات جریان رودخانه‌ی تحت تأثیر تغییر اقلیم (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی زاینده‌رود، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد. دانشکده‌ی مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف.

۹. شرکت آب منطقه‌ای اصفهان (۱۳۸۷). تعیین منابع و مصارف آب در حوضه‌ی زاینده‌رود (جلد دهم، سنتز مطالعات). وزارت نیرو، تهران.

۱۰. صالحیان، سعید (۱۳۹۶). پیامدهای فضایی گسترش سکونت‌گاه‌های انسانی و ناپایداری منابع آب کشاورزی در حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود، رساله‌ی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، راهنما: عبدالرضا رحمانی فضلی، دانشگاه شهید بهشتی تهران.

۱۱. طباطبایی، حسین، حسینی، مهرداد (۱۳۸۲)، بررسی تغییر اقلیم در شهر سمنان بر اساس پارامترهای بارش متوسط ماهیانه و متوسط دمای ماهیانه، سومین کنفرانس تغییر اقلیم، دانشگاه اصفهان، صص ۹۸-۹۱.

۱۲. عطایی، هوشمند، هادیان قلعه‌میری، علی (۱۳۹۲). پایش و پهنه‌بندی خشک‌سالی اقلیمی در حوضه‌ی زاینده‌رود با استفاده از شاخص معیار بارندگی سالانه (SIAP)، نهمین همایش ملی علوم مهندسی و آبخیزداری ایران، یزد.

۱۳. فرج‌زاده اصل، منوچهر، فیضی، وحید (۱۳۹۱)، آشکارسازی تغییرات زمانی- مکانی عناصر دما و بارش در ایران، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره‌ی شانزدهم، شماره‌ی ۴، صص ۶۷-۵۰.

۱۴. فرخ‌نیا، اشکان، مرید، سعید (۱۳۹۳)، ارزیابی اثر بارش و دما بر روند جریان رودخانه‌های حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه، آب و فاضلاب، شماره‌ی ۳، صص ۹۷-۸۶.

۱۵. مساح بوانی، علیرضا، مرید، سعید (۱۳۸۴). اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه‌ی زاینده‌رود اصفهان، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال نهم، شماره‌ی چهارم.

۱۶. میرموسوی، سیدحسین (۱۳۸۷)، مطالعه نوسانات دما و بارش سالانه در منطقه‌ی شمال غرب ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره‌ی ۶۶، صص ۱۰۰-۸۷.

۱۷. میزبانی، منیره (۱۳۸۸). مدل‌سازی حوضه‌ای با استفاده از روش پویایی سیستم به‌منظور بررسی جنبه‌های کمی و کیفی (شوری) آب بر وضعیت کارایی آب در حوضه، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد مهندسی عمران آب، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.

۱۸. نوری، میلاد (۱۳۹۳)، بررسی روند تغییرات بارش و خشکی آب‌وهوایی در حوضه‌ی زاینده‌رود، نشریه‌ی فنی- تخصصی دانش نما، سازمان نظام‌مهندسی ساختمان استان اصفهان، سال ۲۳، دوره‌ی سوم، شماره‌ی پیاپی ۲۳۲-۲۳۰، صص ۸۳-۷۹.

19. Bani-Domi, M., (2006). Trend Analysis of Temperatures and Precipitation in Jordan, Yarmouk University, Irbid- Jordan.

20. Clarke, T.S., (2003). Regional Climate Change: Trend Analysis of Temperature and Precipitation Series at Canadian Sites, Canadian Journal of Agricultural Economics, 48: pp. 194-210.
21. Gohari, A., Eslamian, S., Abedi-Koupaei, J., Bavani, A. M., Wang, D., & Madani, K. (2013). Climate change impacts on crop production in Iran's Zayandeh-Rud River Basin. Science of the Total Environment, 442, 405-419.
22. Marengo, J.A. & Camargo, C.C., (2008). Surface air Temperature Trends in Southern Brazil for 1960-2002. Int. Journal of Climatol, 28: pp. 893- 904.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی