

واکنش خشکسالی هیدرولوژیک در جریان تنظیمی رودخانه تحت تأثیر احداث سد در استان اردبیل

حامد امینی^۱، اباذر اسمعلی عوری^{۲*}، رئوف مصطفی زاده^۳، معراج شرری^۳ و محسن ذبیحی^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲. دانشیار، گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳. استادیار، گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۴. دانشجوی دکتری، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

(دریافت: ۹۷/۱۰/۱۱، پذیرش نهایی: ۹۸/۲/۲۴)

چکیده

جریان رودخانه‌ای یکی از مهم‌ترین منابع آبی است که برای مصارف مختلف حائز اهمیت بوده و روند تغییرات آن در مدیریت منابع آب ضروری است و از طرفی، جریان رودخانه‌ای توسط سدها، انحرافات، جریان‌های برگشتی و توسعه شهری تحت تأثیر قرار گرفته و منجر به مسائل مختلفی از جمله وقوع خشکسالی، کاهش آبدهی و مسائل زیست‌محیطی می‌شود. هدف تحقیق حاضر، ارزیابی اثر احداث سد یامچی و سد سیلان بر تغییرات رژیم جریان و خشکسالی رودخانه‌های پایین‌دست آنها می‌باشد. در مطالعه حاضر با استفاده از حد آستانه فصلی مشخصات خشکسالی ایستگاه بالادست و پایین‌دست هر یک از سدها ارزیابی و سپس شدت‌های خشکسالی در تداوم‌های مختلف در نرم‌افزار Easy Fit با دوره بازگشت‌های متفاوت محاسبه شد. با استفاده از نمودارهای شدت خشکسالی در دوره بازگشت‌های متفاوت و نمودارهای SDF و نمودار درصد تغییرات دبی جریان در ایستگاه‌های بالادست و پایین‌دست سدهای مذکور، اثر احداث این سدها بررسی شد. با توجه به نتایج تحقیق، می‌توان نتیجه گرفت که احداث سد یامچی باعث کاهش رژیم جریان در پایین‌دست شده و افزایش وقوع رخداد‌های خشکسالی هیدرولوژیک را سبب شده است درحالی‌که سد سیلان باعث تعدیل و تنظیم رژیم جریان در پایین‌دست شده و از شدت خشکسالی‌های هیدرولوژیک، کاسته و نقش بیشتری در تنظیم جریان داشته است.

واژه‌های کلیدی: شدت خشکسالی، نمودارهای SDF، حد آستانه، تنظیم جریان، سد یامچی، سد سیلان.

۱. مقدمه

خشکسالی به سبب تعداد، فراوانی، گستردگی و تبعات کوتاه و بلندمدت اقتصادی-اجتماعی و زیست‌محیطی، از جمله مهم‌ترین حوادث طبیعی به‌شمار می‌رود (باقری و محمدی، ۱۳۹۱) و بر همین اساس نقش مهمی در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های کلان مدیریتی برای رسیدن به اهداف توسعه پایدار دارد. یکی از انواع خشکسالی‌های معمول، خشکسالی هیدرولوژیک است که به دنبال خشکسالی هواشناسی و با تأخیر زمانی به وقوع می‌پیوندد. متداول‌ترین تعریف کمی خشکسالی هیدرولوژیک بر اساس تعیین یک حد آستانه می‌باشد که اگر جریان رودخانه کمتر از آن باشد، به عنوان خشکسالی هیدرولوژیک در نظر گرفته می‌شود (تالاکسن، ۲۰۰۰؛ ون‌لون و لاه، ۲۰۱۵؛ کریمی و همکاران، ۱۳۹۴).

خشکسالی به چهار طبقه عمده خشکسالی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیک و اقتصادی-اجتماعی تقسیم‌بندی می‌شود (دلپا و همکاران، ۲۰۰۹؛ ون‌لون و لاه، ۲۰۱۵). در مطالعات جدید نیز خشکسالی آب‌های زیرزمینی به عنوان نوع جدیدی از خشکسالی متمایز از انواع پیشین پیشنهاد شده است (میشرا و سینگ، ۲۰۱۰). رودخانه یکی از منابع آب مصرفی است که برای مدیریت بهتر این منابع، اطلاع از روند دبی آنها و عوامل ایجادکننده آن ضروری است (بایزیدی و ثقفیان، ۱۳۹۰؛ مهري و همکاران، ۱۳۹۶)، و دارای تغییرپذیری زیادی در مقیاس زمانی و مکانی مختلف هستند. بخش عمده این تغییرات در اثر عوامل جوی است، بنابراین تغییرپذیری، جزء ذاتی جریان رودخانه‌ها است (یوسفی و همکاران،

نیز به همراه داشته که در پاره‌ای از موارد جریان‌ناپذیر هستند (کریمی‌جشنی و چمانچی، ۱۳۸۶). از دلایل توجیهی احداث سد می‌توان به شرایط آب‌وهوایی، فصلی بودن بارش و جریان رودخانه و نیاز به استفاده از آب اشاره کرد. سدها دارای اثرات مثبت و منفی بر روی محیط‌زیست می‌باشند. از جمله مزایای آن را می‌توان کنترل رژیم جریان در نتیجه جلوگیری از وقوع سیلاب، تأمین آب کشاورزی، مصارف شهری از طریق ذخیره آب و تولید انرژی عنوان کرد (پیرستانی و شفقتی، ۱۳۸۸). سدها با تغییر در تراز بستر، عرض کانال، عمق جریان، اندازه مصالح، بر هندسه هیدرولیکی مناطق پایین‌دست تأثیر می‌گذارند (سیفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲). تغییرات هیدرولوژیکی در سدها از طریق تغییر در تنظیم سرعت جریان، حجم و فراوانی جریان‌های حداقل و حداکثر، تأثیر عمده‌ای بر رژیم هیدرولوژیکی جریان‌های آبی دارند و رژیم هیدرولوژیکی جدیدی را تولید می‌کنند که به‌طور عمده با رژیم طبیعی جریان پیش از آب‌گیری سد متفاوت است (قاسم نژاد و همکاران، ۱۳۹۲). از جمله اثرات سدها، می‌توان به اثرات سد بر رسوبات و بستر رودخانه، تأثیر سد بر پوشش گیاهی، اثرات سد بر روی محیط زیست و اثرات فیزیکی و شیمیایی بر جریان رودخانه اشاره کرد (محمدی‌راد، ۱۳۹۷).

در خصوص اثرات سد مطالعات متعددی در سطح محلی و جهانی صورت گرفته است که به مواردی از آنها اشاره می‌شود. سالمی و راست (۱۳۸۳) سیمای کلی هیدرولوژی حوضه آبخیز زاینده رود را مطالعه کردند و نتایج آنها نشان داد جریان‌های ورودی به دریاچه، نیاز آبیاری، شرب و بخش صنعت را در پایین‌دست تأمین کرده و از یک الگوی منظم با تغییرات بسیار کم تبعیت می‌نماید، اما ذخیره سالیانه سد محدود بوده به‌طوری‌که در طول دوره‌های خشکسالی طولانی، حوزه را آسیب‌پذیر کرده است. هم‌چنین روند آب خروجی از سد زاینده‌رود، یک الگوی قابل پیش‌بینی را به‌جز در مواقع سیلابی نشان می‌دهد. بر اساس نتایج ایشان، دبی خروجی در ماه‌های

(۱۳۹۰). رژیم‌های جریان رودخانه به‌عنوان نیروی اصلی پویایی اکوسیستم رودخانه محسوب می‌شوند. رژیم‌های جریان تغییر یافته در سیستم رودخانه، بر کیفیت آب، منابع انرژی، زیستگاه فیزیکی و تعاملات زیست‌محیطی اکوسیستم تأثیر می‌گذارد و موجب آسیب رساندن به یکپارچگی زیست‌محیطی رودخانه‌ها می‌شود (زو و لیانگ، ۲۰۱۵؛ خروشی و همکاران، ۱۳۹۶). از طرفی، جریان رودخانه‌ای توسط سدها، انحرافات، جریان‌های برگشتی و کاهش جریان پایه از طریق استخراج بیش از حد آب‌های زیرزمینی و توسعه شهری تحت تأثیر قرار گرفته و منجر به مسائل مختلفی از جمله وقوع خشکسالی، کاهش آبدهی و مسائل زیست‌محیطی می‌شود (خدون و همکاران، ۲۰۱۱). همانند مفهوم IDF (Intensity Duration Frequency) بارش (با هدف ارزیابی دوره‌ی بازگشت بارش بر پایه شدت و مدت)، مفهوم SDF (Severity Duration Frequency) برای ارزیابی شدت و تغییرات خشکسالی هیدرولوژیکی بر پایه شدت و مدت می‌باشد و تحت عنوان شدت، مدت و فراوانی خشکسالی مطرح می‌شود، در همین راستا منحنی SDF برای متغیر خشکسالی در رژیم‌های آب و هوایی مختلف استفاده شده است (هالواتور و همکاران، ۲۰۱۵). به‌دلیل عدم توازن مکانی و زمانی بین دسترسی به آب و تقاضا برای آن، در اکثر نقاط جهان، نیاز به ذخیره و تنظیم جریان طبیعی با ساخت سازه‌های هیدرولوژیکی مثل سدها انجام می‌شود. ذخیره‌سازی آب به‌وسیله سدها باعث ایجاد تغییرات هیدرولوژیکی بسیار زیادی در محیط و شرایط زمین‌شناسی شده است. (مهتا و همکاران، ۲۰۱۲). سدها یکی از سازه‌های عظیم آبی هستند که به‌منظور ذخیره آب رودخانه‌ها برای تنظیم مصارف شرب، کشاورزی و صنعت احداث می‌شوند. سدهای بزرگ تأمین‌کننده برق، آب، مهارکننده سیلاب‌ها، تولید اراضی کشاورزی و تضمین‌کننده استقلال ملی هر کشور بوده است. هرچند احداث سدهای بزرگ به‌واسطه مزایای اجتماعی و هزینه‌های زیاد آنها و با وجود منافع زیاد آن، مضراتی را

از احداث نشان داد. میکس و همکاران (۲۰۱۶) به تحلیل اثرات احداث چندین سد روی رودخانه کلرادو تگزاس بر رخداد خشکسالی‌های رودخانه‌ای پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با احداث این سدها در بالادست و ذخیره جریان بالادست، جریان رودخانه در پایین دست کاهش یافت و اینکه ساخت سدها در قسمت غربی حوضه بیشترین واکنش را به خشکسالی‌های قبل از احداث نشان داد و با اینکه آب ذخیره شده برای مصارف محلی آن منطقه، مصرف می‌شود ولی در پایین دست سدها افزایش خشکسالی هیدرولوژیک مشاهده شد. دونگان و همکاران (۲۰۱۷) با مشاهده روند تغییرات هیدرولوژیکی جریان، در حوضه رودخانه مکونگ در کشور ویتنام نشان دادند با احداث سد و سرریز شدن در بخش‌های بالادست، ایستگاه‌های پایش، کاهش جریان سالانه را نشان می‌دهد. ارزیابی هیدرولوژیکی جریان پایین دست سد مورد نظر کاهش جریان را در فصول مرطوب سال و افزایش میزان جریان را در فصول خشک سال نشان داد و باعث تغییرات فصلی منحصر به فرد جریان آب در ایستگاه اندازه‌گیری (از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴) شد. با مطالعه افزایش و کاهش جریانات آبی در طول سال می‌توان به جنبه‌های اکولوژیکی و زیستگاهی سد و نیز به جنبه‌های اقتصادی و مقرون به صرفه بودن احداث آنها دست یافت. بنابراین مطالعه روند تغییرات هیدرولوژیکی جریان آب در سدها می‌تواند از جنبه‌های مختلف نظیر احداث سد، حفظ پایداری اکوسیستم مفید باشد، به عبارتی رژیم‌های هیدرولوژیکی نقش مهمی در ساختار تنوع اکوسیستم‌های آبی مرتبط با آن، ایفا می‌کنند. از این رو تغییرات در رژیم‌های جریان می‌تواند بسیاری از این ویژگی‌های زیستگاه را تغییر دهد و به پیوستگی اکوسیستم آسیب رساند (شاعری کریمی و همکاران، ۱۳۹۰). از عوامل مهم تأثیرگذار بر رفتار هیدرولوژیک حوضه‌های آبخیز می‌توان به تغییرپذیری اقلیمی (بارندگی و دما)، بروز خشکسالی هیدرولوژیکی، تغییرات کاربری و تخریب اراضی و فعالیت‌های انسانی از قبیل احداث سد را اشاره

فصل زمستان و در پایان فصل آبیاری، دارای میزان پایین و با تغییرات بالا می‌باشد که در نتیجه دبی رودخانه کم و کیفیت آب به‌ویژه در پایان رودخانه پایین می‌آید. رنجبر و امینی (۱۳۹۳) اثر سد سلماس بر منابع آب زیرزمینی را در استان فارس مورد بررسی قرار دادند نتایج ایشان نشان داد که طی دوره مورد بررسی ۱۰ دوره خشکسالی رخ داده است که بیشترین اثر این خشکسالی مربوط به یک دوره چهار ساله خشک (سالهای ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۱) بوده است به طوری که دبی رودخانه را به صفر رسانده است. بنابراین می‌توان گفت که سد سلماس نتوانسته است میزان اثرات خشکسالی بر آب زیرزمینی را در مناطق پایین دست خود کاهش دهد یا حذف نماید. آذرنگ و همکاران (۱۳۹۶)، به بررسی اثرات احداث سدهای بزرگ بر شرایط جریان و پارامترهای هیدرولوژیکی رودخانه کرخه پایین دست سد مخزنی، با استفاده از آمار دو ایستگاه هیدرومتری پای پل و عبدالخان پرداختند که نتایج ایشان نشان داد که با توجه به کاهش میزان دبی جریان رودخانه کرخه پایین دست سد مخزنی، کلیه پارامترهای هیدرولوژیکی رودخانه نظیر سرعت جریان، مساحت جریان، عرض سطح آب، عمق هیدرولوژیکی، تنش برشی و شعاع هیدرولوژیکی نیز دستخوش تغییراتی شده است همچنین کاهش میزان دبی رودخانه کرخه علاوه بر بهره برداری از سد مخزنی، علل دیگری از جمله تغییرات اقلیمی، کاهش میزان بارندگی و خشکسالی نیز داشته است. لویز مورنو و همکاران (۲۰۰۹)، به بررسی اثر سد بر روی بزرگی و تداوم خشکسالی در رودخانه مرزی تاگوس، بین دو کشور پرتغال و اسپانیا از طریق بررسی و مقایسه مقادیر و تداوم خشکسالی با استفاده از شاخص خشکسالی ماهانه در بالادست و پایین دست سد آلکانتارا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در طول دوره‌های خشکسالی، رهاسازی آب در زمستان و بهار در این سد کمتر شده و در طول تابستان مقادیر جریان‌های حداقل هم کاهش کمی داشته است همچنین ماهیت رخداد خشکسالی در طول رودخانه تاگوس در پایین دست سد تغییرات شدیدی را از زمان بعد

۶۷ متر می‌باشد. این سد در مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. هم‌چنین شواهد و داده‌های مربوط به سد یامچی نشان می‌دهد این سد از لحاظ استراتژیکی در منطقه مورد مطالعه دارای نقش مهم در آبرسانی به اراضی غرب دشت اردبیل (حمل‌آباد، باروق، گرجان و شهرپور) دارد (محمدی راد، ۱۳۹۷).

۲-۱-۲. سد سیلان

دیگر سد مورد مطالعه سد سیلان می‌باشد این سد در اردبیل قرار دارد و به ارتفاع ۷۷ متر از بستر افقی رودخانه قره‌سو در ساختمانی به مختصات ۴۷ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۳۲ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض شمالی و در ۵۵ کیلومتری شمال‌غربی شهرستان اردبیل و در فاصله ۴۰ کیلومتری شمال‌شرقی مشگین‌شهر واقع شده است و در سال ۱۳۸۵ به بهره‌برداری رسیده است. نوعی سد سنگ‌ریزه‌ای با هسته ناتراوای رسی می‌باشد، که با هدف تأمین آب شرب و آبیاری اراضی پایین‌دست احداث شده است. طول تاج این سد ۳۰۴ متر و ارتفاع آن، از پی ۸۹ متر می‌باشد.

در شکل ۱ موقعیت سدها و ایستگاه‌های مورد مطالعه و در جدول ۱ برخی خصوصیات ایستگاه‌های هیدرومتری در بالا و پایین‌دست سدهای مورد مطالعه ارائه شده است.

کرد (محمدی، ۱۳۹۲). با توجه به اثرات ناشی از احداث سدهای یامچی و سیلان و تأثیر آن بر رژیم رودخانه، هدف از مطالعه حاضر بررسی اثر احداث سد یامچی و سد سیلان بر روی رژیم جریان رودخانه‌ای و وقوع خشکسالی‌های هیدرولوژیکی است. در این راستا، خصوصیات دوره‌های خشکسالی با مقایسه منحنی‌های SDF در آمار هیدرومتری ایستگاه‌های بالادست و پایین‌دست در دوره بعد از احداث سدهای مذکور است.

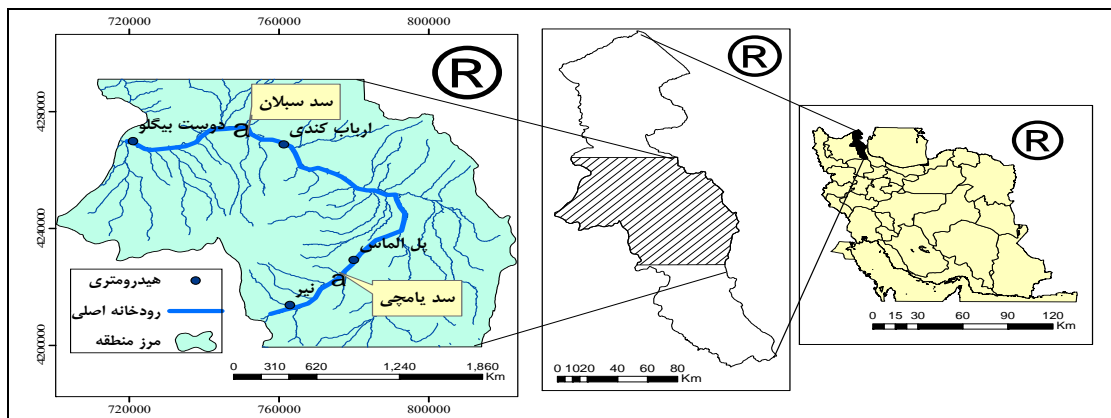
۲. مواد و روش

۲-۱-۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

برای انجام تحقیق حاضر که با هدف تأثیر احداث سد بر خصوصیات خشکسالی هیدرولوژیکی (جریان رودخانه‌ای) در اثر احداث سد یامچی و سد سیلان در استان اردبیل انتخاب شده است که، خصوصیات آنها ارائه شده است.

۲-۱-۱. سد یامچی

سد یامچی در ۵ کیلومتری شهر نیر از توابع استان اردبیل قرار دارد و در سال ۱۳۸۲ به بهره‌برداری رسیده است. نوعی سد خاکی با هسته ناتراوای رسی می‌باشد، که با هدف تأمین آب شرب اردبیل، آبیاری اراضی پایین‌دست و تقویت سفره‌های زیرزمینی احداث شده است. طول تاج این سد ۸۳۰ متر، عرض آن، ۱۲ متر و ارتفاع آن، از پی



شکل ۱. موقعیت کشوری و استانی ایستگاه‌های هیدرومتری و سدهای مورد مطالعه در استان اردبیل.

۲-۳-۲. حد آستانه فصلی

با توجه به اینکه این سطح آستانه هم در هر فصل تغییر می‌کند و لغزان است جزو حدود آستانه‌ای متغیر می‌باشد. در این آستانه مبنای انتخاب، متوسط یا میانگین دبی‌های ماهانه هر فصل در یک سال هیدرولوژیکی بوده است، لذا برای هر سال هیدرولوژیکی ۴ آستانه متفاوت وجود خواهد داشت (سارایلیدیس و همکاران، ۲۰۱۵).

برای مطالعه اثرات سدهای مذکور در وقوع رخداد خشکسالی استفاده شد و لذا برای بررسی درصد تغییرات دبی ایستگاه بالادست و پایین‌دست سدها از رابطه ۱، استفاده شد که بیانگر درصد تغییرات متوسط دبی، در سال‌ها و ماه‌های مورد مطالعه می‌باشد (رانگ کرافت و همکاران، ۲۰۱۶).

$$= \text{درصد تغییرات} \\ = 100 * \left(\frac{\text{متوسط دبی ایستگاه بالادست} - \text{متوسط دبی ایستگاه پایین‌دست}}{\text{متوسط دبی ایستگاه بالادست}} \right) \quad (1)$$

۲-۲-۴. منحنی‌های شدت خشکسالی در دوره

بازگشت‌های مختلف و منحنی‌های SDF

در این مرحله، مشخصات خشکسالی با استفاده از آستانه فصلی محاسبه شد و سپس مجموع کمبودهای دبی یا شدت خشکسالی‌ها (Severity) در تدام‌های مختلف در نرم‌افزار Easy Fit با دوره بازگشت‌های متفاوت از طریق توزیع‌های متناسب با داده‌ها محاسبه شد. EasyFit نرم‌افزاری است که امکان تجزیه و تحلیل‌های قابل اطمینان از داده‌ها و انتخاب بهترین توزیع احتمال متناسب با ماهیت داده‌ها را فراهم می‌نماید. بعد از استخراج مشخصات خشکسالی در تداوم و دوره بازگشت‌های مختلف، نمودارهای شدت‌های خشکسالی در دوره بازگشت‌های مختلف در آستانه فصلی برای ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در بالا و پایین‌دست دو سد مورد مطالعه رسم شد و سپس به بررسی خصوصیات خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از نمودارهای شدت خشکسالی در دوره بازگشت‌های مختلف پرداخته شد و در مرحله بعد، از این نمودارها (نمودارهای شدت خشکسالی در دوره بازگشت‌های مختلف) برای رسم منحنی‌های SDF استفاده شد.

۲-۲-۵. استخراج نمودارهای درصد تغییرات در مناطق

بالادست و پایین‌دست در سدهای سبلان و یامچی

همان‌طور که در بالا ذکر شد از دو ایستگاه هیدرومتری که یکی بالادست و دیگری در پایین‌دست سد قرار دارد،

۲-۲-۶. بررسی روند تغییرات بارش در ایستگاه‌های

باران‌سنجی اطراف دو سد یامچی و سبلان

ممکن است علاوه بر اثر تنظیمی سد، کاهش جریان در پایین‌دست سد ناشی از کاهش بارش در حوزه بالادست سد باشد، لذا روند تغییرات بارش سالانه ایستگاه‌های بالادست سد مورد آزمون قرار گرفت. وجود روند در متغیر اقلیمی بارش در دوره زمانی مطابق با داده‌های دبی با استفاده از نرم‌افزار MAKESENS مورد آزمون قرار گرفت. نرم‌افزار MAKESENS برای برآورد روند در سری زمانی مقادیر سالانه بارش توسعه داده شده است. این روش براساس آزمون غیرپارامتریک Mann-Kendall و روش Sen برای تعیین مقادیر روند استفاده می‌شود (سلمی و همکاران، ۲۰۰۲). این نرم‌افزار یک بسته در نرم‌افزار Excel (آزمون Mann-Kendall برای روند و Sen برای برآورد شیب) است. در MAKESENS دو نوع تجزیه و تحلیل آماری انجام می‌گیرد. ابتدا وجود یک روند افزایش یا کاهش یکنواخت با استفاده از آزمون غیرپارامتری من-کندال و در مرحله دوم شیب یک روند خطی با روش ناپارامتری سن تخمین می‌زند. ابتدا آماره S برای آزمون من-کندال به دست می‌آید و سپس مقدار معنی‌داری تعیین می‌شود (خروشی و همکاران، ۱۳۹۶). بنابراین وجود روند در مقادیر متغیر اقلیمی بارش در ایستگاه‌های بالادست سدهای مورد مطالعه ارزیابی شد و نتایج به صورت جدول ارائه شد.

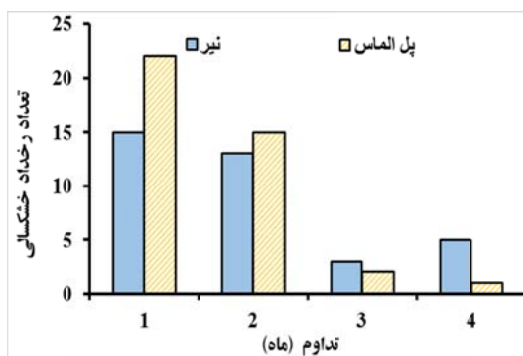
۳. نتایج و بحث

با توجه به این که در مطالعه حاضر، خشکسالی در آستانه فصلی صورت گرفت، لذا تداوم‌های خشکسالی در آستانه فصلی، فقط در تداوم‌های ۱ الی ۴ ماهه مشاهده شد و قابل ذکر است که تداوم‌های خشکسالی با توجه به حد آستانه‌ای مد نظر تعیین شدند. با توجه به تغییرات فصلی رودخانه بالیخلوچای و قره‌سو در استان اردبیل و نیز تأثیر احداث سد بر تنظیم جریان و رهاسازی فصلی جریان در تحقیق حاضر از حد آستانه فصلی استفاده شد. در جدول ۳ و شکل ۲ به تعداد رخداد خشکسالی در تداوم‌های مختلف اشاره شده است.

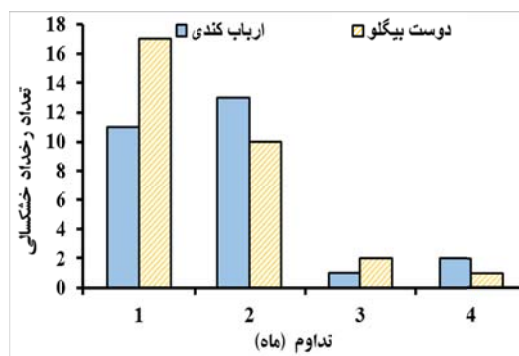
با توجه به جدول ۳ و شکل ۲، بیشترین رخداد خشکسالی در هر دو سد مذکور مربوط به تداوم‌های ۱ ماهه و در ایستگاه پل الماس و دوست‌بیگلو است، به جز ایستگاه ارباب‌کندی که دارای رخداد ۲ ماهه بیشتری نسبت به یک ماهه است. به طور کلی می‌توان گفت که تعداد رخداد خشکسالی در تداوم‌های بالاتر به تدریج کاهش می‌یابد. در تداوم‌های بالا، یعنی تداوم‌های دو و سه ماهه، هر دو سد نسبتاً نقش تنظیمی را در ایستگاه پایین‌دست نسبت به بالادست ایفا می‌کنند و باعث کم‌شدن تعداد رخداد خشکسالی شده‌اند. در شکل ۳ نمودارهای شدت خشکسالی در دوره بازگشت‌های مختلف برای هر سد به صورت جداگانه ارائه شده است.

جدول ۳. تعداد تداوم‌های خشکسالی در سطوح آستانه‌ای فصلی.

سدهای مورد مطالعه	موقعیت ایستگاه‌ها	ایستگاه‌های هیدرومتری	۱ ماهه	۲ ماهه	۳ ماهه	۴ ماهه
سد یامچی	بالادست	نیر چای	۱۵	۱۳	۳	۵
	پایین‌دست	پل الماس	۲۲	۱۵	۲	۱
سد سبلان	بالادست	ارباب‌کندی	۱۱	۱۳	۱	۲
	پایین‌دست	دوست‌بیگلو	۱۷	۱۰	۲	۱

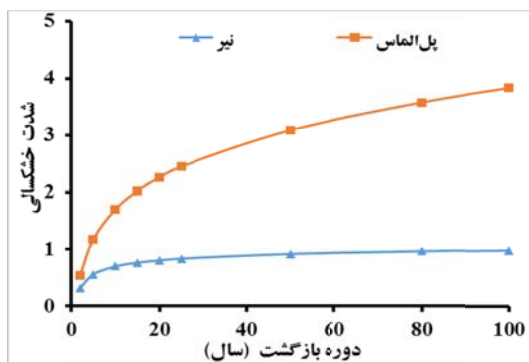


(ب)

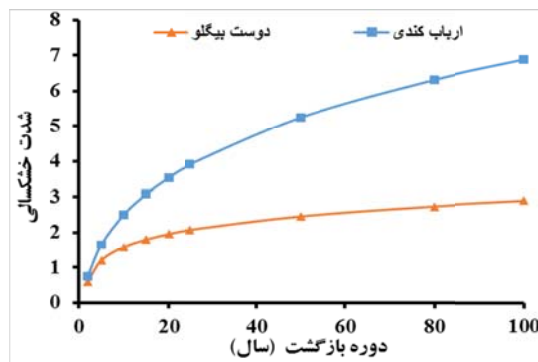


(الف)

شکل ۲. الف) تعداد تداوم‌های خشکسالی در سد سبلان، ب) تعداد تداوم‌های خشکسالی در سد یامچی.



(ب)



(الف)

شکل ۳. الف) مقادیر شدت خشکسالی در دوره بازگشت‌های مختلف در ایستگاه‌های بالا و پایین‌دست سد سبلان، ب) مقادیر شدت خشکسالی در دوره بازگشت‌های مختلف در ایستگاه‌های بالا و پایین‌دست سد یامچی.

هیدرومتری واقع در بالا و پایین‌دست سد یامچی و سد سبلان ارائه شده است.

با توجه به شکل ۴ می‌توان گفت که در نمودارهای SDF، با افزایش تداوم‌های خشکسالی هیدرولوژیک، شدت‌های خشکسالی هم در هر دو ایستگاه افزایش می‌یابد. مقایسه دو نمودار نشان می‌دهد که مقادیر شدت‌های خشکسالی رخ داده در ایستگاه پایین‌دست سد یامچی (پل الماس)، خیلی بیشتر از ایستگاه بالادست (نیر چای) این سد است که بیانگر تشدید وقوع خشکسالی جریان در پایین‌دست، پس از احداث سد یامچی است.

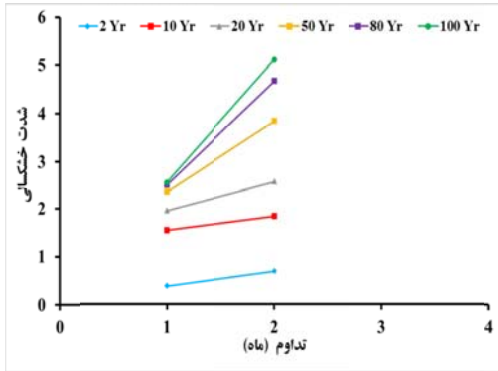
با توجه به نمودارهای شکل ۴ ج و د، می‌توان گفت در ایستگاه بالادست سد سبلان (ارباب‌کندی)، تفاوت میان شدت خشکسالی جریان در دوره‌های یک و دو ماهه در همه دوره بازگشت‌های مورد مطالعه بسیار جزئی است. در ایستگاه پایین‌دست سد سبلان (دوست بیگلو)، در دو دوره بازگشت ۲ و ۱۰ ساله با افزایش تداوم خشکسالی هیدرولوژیک، شدت خشکسالی‌ها هم افزایش می‌یابد ولی در دوره بازگشت‌های بالاتر شدت‌های خشکسالی به میزان بیشتری کاهش می‌یابند و این بدین معنی است که این سد باعث کاهش شدت‌های خشکسالی در دوره بازگشت‌های بالاتر شده و نقش تنظیمی بر روی رژیم جریان رودخانه را ایفا می‌کند. می‌توان گفت که تأثیر سد سبلان، از نظر تأثیر بر

با توجه به شکل ۳ می‌توان گفت که مطابق آنچه انتظار می‌رود، در هر دو سد یامچی و سبلان با افزایش دوره بازگشت خشکسالی هیدرولوژیک، شدت خشکسالی‌های هیدرولوژیک مشاهده شده نیز افزایش می‌یابد، همچنین شدیدترین خشکسالی مشاهده شده در بین دو سد، مربوط به سد سبلان و ایستگاه بالادست آن یعنی ارباب‌کندی است. در سد سبلان شدیدترین خشکسالی رخ داده مربوط به ایستگاه بالادست آن، یعنی ارباب‌کندی است و کمترین آن مربوط به ایستگاه پایین‌دست آن می‌باشد که بیانگر این است که با احداث سد سبلان از شدت خشکسالی‌های هیدرولوژیک رخ داده در دوره بازگشت‌های متفاوت، در پایین‌دست کاسته می‌شود که به نقش تنظیمی و تعدیل‌کننده خشکسالی در سد سبلان مربوط می‌شود، این در حالی است که در سد یامچی خشکسالی‌های هیدرولوژیک مشاهده شده در دوره بازگشت‌های مختلف در پایین‌دست آن، افزایش یافته است. در این خصوص می‌توان به مواردی همچون انحراف جریان رودخانه در پایین‌دست سد یامچی به شبکه آبیاری و زهکشی اشاره کرد. علاوه بر این قسمتی از جریان رودخانه بالیخوچای به تأمین نیاز زیست‌محیطی دریاچه شورابیل و نیز آب شرب شهر اردبیل اختصاص پیدا کرده است.

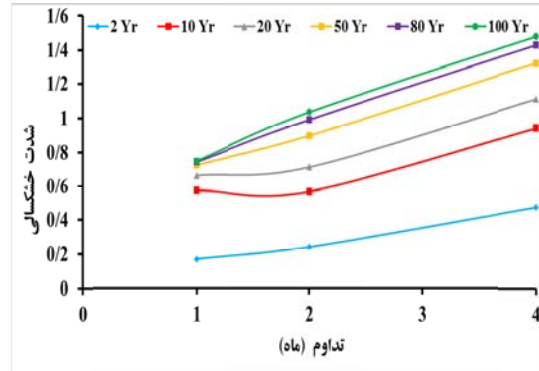
در شکل ۴ نمودارهای SDF مربوط به ایستگاه‌های

خشکسالی هیدرولوژیک در تداوهای مختلف در ایستگاه‌های بالادست و پایین‌دست سدهای مورد مطالعه نشان داده شده است.

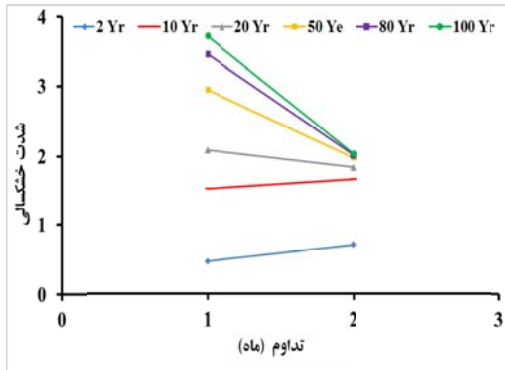
رژیم جریان کاملاً متفاوت با سد یامچی است و باعث کاهش شدت‌های خشکسالی هیدرولوژیک در پایین‌دست شده است. در شکل ۵ متوسط شدت



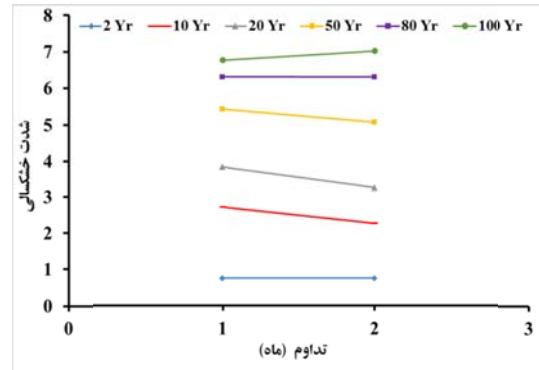
(ب)



(الف)

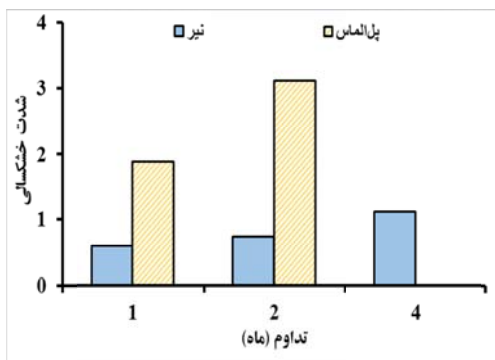


(د)

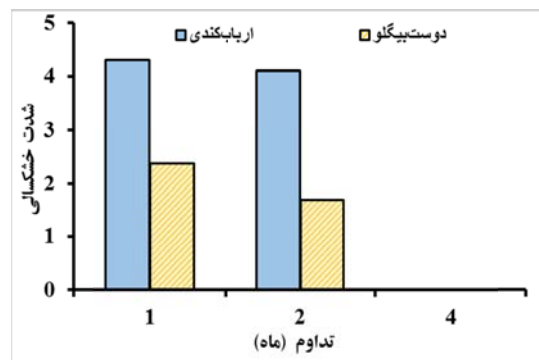


(ج)

شکل ۴. الف) منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی در ایستگاه نیرچای (بالادست سد یامچی)، ب) منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی در ایستگاه پل‌الماس (پایین‌دست سد یامچی)، ج) منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی در ایستگاه ارباب‌کندی (بالادست سد سیلان)، د) منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی در ایستگاه دوست‌بیگلو (پایین‌دست سد سیلان).



(ب)



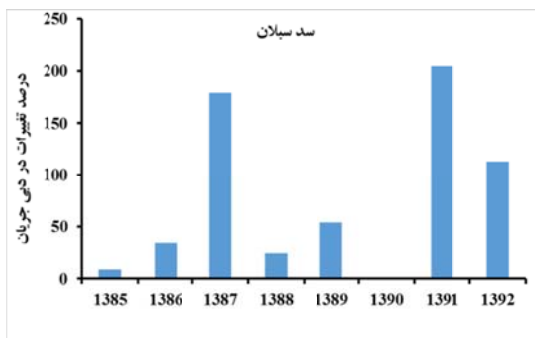
(الف)

شکل ۵. الف) نمودار شدت خشکسالی در سد سیلان، ب) نمودار شدت خشکسالی در سد یامچی.

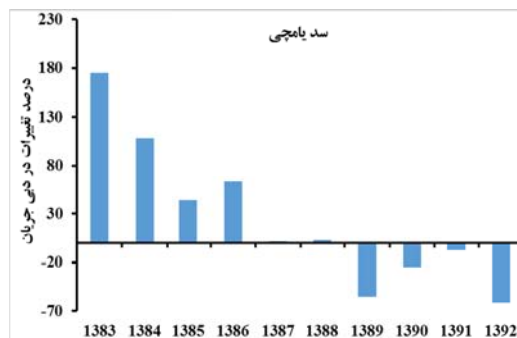
ارائه شده‌اند.

با توجه به شکل ۶ می‌توان گفت که درصد تغییرات در سد سیلان در اکثر سال‌ها مثبت و از نوع افزایشی است، که به نوعی تأثیر مثبت سد سیلان در کاهش خشکسالی هیدرولوژیک را تأیید می‌نماید. در شکل ۷ بیشترین درصد تغییرات در هر دو سد مذکور، مربوط به تیر ماه می‌باشد که نشان از اختلاف مقادیر دبی در بالادست و پایین‌دست سدها است و به عبارتی دیگر این نشان‌دهنده این است که هر دو سد مورد مطالعه به‌خصوص سد سیلان دبی پایه جریان را در ماه مذکور در پایین‌دست افزایش داده است. جدول ۴ نتایج مربوط به آزمون Makesens و بررسی روند متغیر اقلیمی بارش در اطراف سدهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

مطابق اطلاعات شکل ۵، در سد سیلان خشکسالی‌های شدید در هر دو تداوم در ایستگاه بالادست (ارباب‌کندی) رخ داده است و از شدت خشکسالی‌ها در پایین‌دست آن (ایستگاه دوست‌بیگلو) کاسته شده است، پس با توجه به نتایج نمودارهای شکل ۲، ۳ و ۴ و همچنین نمودارهای شکل ۵، می‌توان گفت که سد سیلان از شدت وقوع خشکسالی‌های هیدرولوژیک در ایستگاه پایین‌دست خود کاسته است در حالی که سد یامچی دارای رفتاری متفاوت بوده و شدت خشکسالی‌های هیدرولوژیک در ایستگاه پایین‌دست خود افزایش یافته است. در ادامه درصد تغییرات دبی در سال‌ها و ماه‌های مورد مطالعه، در بالا و پایین‌دست دو سد یامچی و سیلان ارائه شده است، که نتایج آن در شکل‌های ۶ و ۷

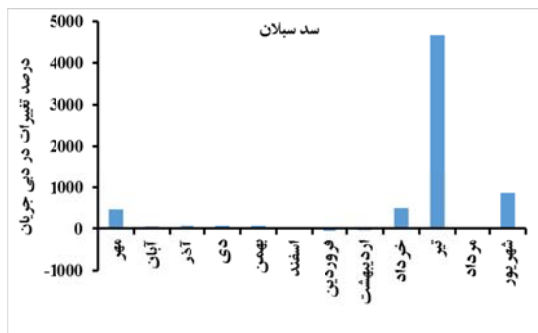


(ب)

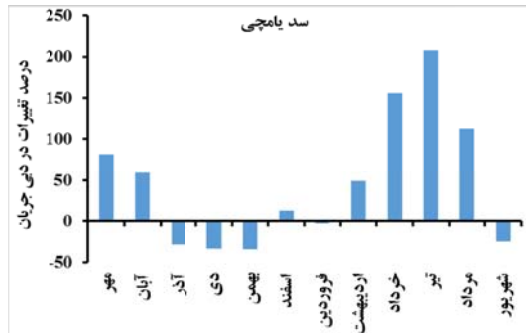


(الف)

شکل ۶. الف) درصد تغییرات متوسط دبی بالادست و پایین‌دست سد یامچی در سال‌های دوره مورد مطالعه، ب) درصد تغییرات متوسط دبی بالادست و پایین‌دست سد سیلان در سال‌های دوره مورد مطالعه.



(ب)



(الف)

شکل ۷. الف) درصد تغییرات متوسط دبی بالادست و پایین‌دست سد یامچی در ماه‌های دوره مورد مطالعه، ب) درصد تغییرات متوسط دبی بالادست و پایین‌دست سد سیلان در ماه‌های دوره مورد مطالعه.

جدول ۴. روند متغیر اقلیمی بارش در ایستگاه‌های باران‌سنجی بالادست سدهای یامچی و سبلان (وجود روند در سطح ۹۵ درصد، * و ** و *** وجود روند در سطح ۹۹ درصد، ns بدون روند معنادار).

سطح معناداری	Z	ایستگاه	
**	۲/۷۶	آبی بیگلو	سد سبلان
*	۲/۵۱	پل الماس	
ns	۰/۳۴	سامیان	
ns	۰/۷۹	سیاه پوش	
*	-۲/۱۴	شمس آباد	
ns	-۰/۱۲	کوزه تپراقی	
ns	۰/۸۵	گیلانده	
ns	-۱/۱۱	احمدکندی	
ns	۰/۸۵	نور	
***	-۳/۶۰	نمین	
ns	۰/۵۱	اردبیل	
ns	-۱/۱۶	یامچی	سد یامچی
*	۲/۲۶	لای	
ns	۱/۸۶	سرعین	
ns	-۳/۶۰	نیر	

یک بار این اثر تعدیل و تنظیمی روی بخشی از جریان رودخانه قره‌سو در سد یامچی اعمال شده است.

۴. نتیجه‌گیری

بارزترین اثر سدها، تغییر رژیم هیدرولوژیکی مناطق مجاور خود است، که از جمله این تغییرات می‌توان به تأمین دبی پایه دائمی و تغییر در سطح اساس آبخوان‌های مجاور اشاره کرد. این تغییرات به نوعی می‌تواند در مقابله با خشکسالی مؤثر واقع شود. در پژوهش حاضر سدهای یامچی و سبلان و تأثیر آنها بر نظام هیدرولوژیکی (خشکسالی هیدرولوژیک) مناطق پایین دست خود با استفاده از نمودارهای شدت خشکسالی در دوره بازگشت‌های مختلف و همچنین نمودارهای شدت-مدت-فراوانی مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به نتایج می‌توان گفت که بیشترین رخداد خشکسالی در هر دو سد مذکور مربوط به تداوم‌های ۱ ماهه و در ایستگاه پل الماس

همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده است، روند افزایشی یا کاهشی غالب در مقادیر متوسط بارش سالانه اکثر ایستگاه‌های بالادست سدهای سبلان و یامچی مشاهده نمی‌شود، اما بر اساس نتایج، در بالا دست سد یامچی دو ایستگاه باران‌سنجی یامچی و نیر روند کاهشی را نشان می‌دهد و ایستگاه لای روند افزایشی را نشان می‌دهد. لذا می‌توان گفت که تأثیر کاهش مقدار بارش و وقوع خشکسالی هواشناسی می‌تواند در سد یامچی قابل انتظار باشد. همچنین در بالادست سد سبلان روند مشخص کاهشی در اکثر ایستگاه‌ها مشاهده نشد، به طوری که در مقادیر بارش سالانه در چهار ایستگاه روند کاهشی و در بقیه روند افزایشی را نشان می‌دهد پس می‌توان گفت که وقوع خشکسالی‌های هیدرولوژیک در اثر بهره‌برداری‌ها و یا مصارف مختلف آب محتمل‌تر است. قابل ذکر است که سد سبلان در پایین دست سد یامچی قرار دارد و این اثر تنظیمی که در سد سبلان مشاهده می‌شود، به نوعی

اشاره شد سد سبلان را که اثر تنظیمی را نشان می‌دهد، در پایین‌دست سد یامچی قرار دارد که این اثر تعدیلی یک بار بر روی دبی رودخانه قره سو توسط سد یامچی اعمال شده است. با توجه به نتایج تحقیق، می‌توان نتیجه گرفت که احداث سد یامچی باعث کاهش رژیم جریان در پایین‌دست شده و افزایش وقوع رخداد‌های خشکسالی هیدرولوژیک را سبب شده است. قابل ذکر است که سد یامچی در بالادست شهر اردبیل، منبع تأمین آب شرب شهر اردبیل، تأمین حقابه دریاچه شورابیل در فصول کم‌آبی و نیز تغذیه کننده شبکه آبیاری و زهکشی اراضی شمال شهر اردبیل می‌باشد. درحالی‌که سد سبلان باعث تعدیل و تنظیم رژیم جریان در پایین‌دست شده و از شدت خشکسالی‌های هیدرولوژیک، کاسته و نقش بیشتری در تنظیم جریان داشته است.

مراجع

آذرنگ، ف.، تلوری، ع.ر.، صدقی، ح. و شفاعی بجزستان، م.، ۱۳۹۶، اثرات احداث سد‌های بزرگ بر شرایط جریان و پارامترهای هیدرولیکی رودخانه (مطالعه موردی: رودخانه کرخه پایین‌دست سد مخزنی)، نشریه آب و خاک، ۳۱، ۱، ۲۷-۱۱.

باقری، ر. و محمدی، ص.، ۱۳۹۱، بررسی تغییرات مکانی خشکسالی با استفاده از زمین آمار در استان کرمان در یک دوره آماری سی ساله (۱۳۷۹-۱۳۴۹)، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۹، ۲، ۲۸۳-۲۹۶.

بایزیدی، م. و ثقفیان، ب.، ۱۳۹۰، تجزیه و تحلیل منطقه‌ای خشکسالی جریان رودخانه‌ای در مناطق جنوب غرب کشور، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۵، ۱۴، ۵۲-۳۷.

پیرستانی، م. و شفقتی، م.، ۱۳۸۸، بررسی اثرات زیست محیطی احداث سد، جغرافیای انسانی، ۱۳، ۱، ۳۹-۵۰.

خروشی، س.، مصطفی‌زاده، ر.، اسمعیلی عوری، ا. و رئوف، م.، ۱۳۹۶، ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی شاخص سلامت هیدرولوژیک رودخانه در

و دوست‌بیگلو است و تعداد رخداد خشکسالی در تداوم‌های بالاتر به تدریج کاهش می‌یابد و در مواردی با افزایش تداوم، تعداد رخداد نیز افزایش یافت، در نتیجه تعداد رخداد‌های خشکسالی با افزایش تداوم‌های خشکسالی کاهش یافته است. در هر دو سد یامچی و سبلان با افزایش دوره بازگشت خشکسالی هیدرولوژیک، شدت خشکسالی‌های هیدرولوژیک رخ داده نیز افزایش یافت، همچنین شدیدترین خشکسالی رخ داده در بین دو سد، مربوط به سد سبلان و ایستگاه بالادست آن یعنی ارباب‌کندی است. با توجه به نمودارهای SDF، دو ایستگاه بالادست و پایین‌دست یامچی سیر صعودی دارند و با افزایش تداوم‌های خشکسالی شدت‌های خشکسالی هم در هر دو ایستگاه افزایش می‌یابد و اینکه در تداوم‌های بالاتر، شدت افزایش هم افزایش یافته و نشان از وقوع خشکسالی هیدرولوژیک شدید می‌باشد. در ایستگاه بالادست سد سبلان (ارباب‌کندی)، در دوره بازگشت ۲ ساله، خشکسالی هیدرولوژیک چندان تغییری مشاهده نشد و نمودارها با افزایش تداوم خشکسالی سیر نزولی داشتند و فقط در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله با افزایش تداوم خشکسالی، شدت خشکسالی هم افزایش می‌یابد. در ایستگاه پایین‌دست سد سبلان (دوست بیگلو)، در دو دوره بازگشت ۲ و ۱۰ ساله با افزایش تداوم خشکسالی هیدرولوژیک، شدت خشکسالی‌ها هم افزایش یافت ولی در دوره بازگشت‌های بالاتر شدت‌های خشکسالی به میزان بیشتری کاهش یافتند و این بدین معنی است که سد سبلان باعث کاهش شدت‌های خشکسالی در دوره بازگشت‌های بالاتر شده و نقش تنظیمی بر رژیم جریان داشته است. به عبارت دیگر با بررسی روند متغیر اقلیمی بارش در بالادست سد یامچی و سبلان می‌توان گفت که ممکن است روند کاهشی در تعدادی از ایستگاه‌ها بر وقوع خشکسالی هواشناسی و در نتیجه تأثیر آن بر خشکسالی هیدرولوژیک پایین‌دست سد یامچی تأثیر گذار بوده است. با توجه به جدول ۴، تعداد دو ایستگاه روند کاهشی و ۲ ایستگاه روند افزایشی را نشان دادند. همان‌طور که

- رود گیلان غرب محدوده بالادست و مخزن سد، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۲، ۱، ۱۳۲-۱۱۳.
- کریمی جشنی، ا. و چمانچی، م.، ۱۳۸۶، مقایسه اثرات مخرب زیست محیطی سدها با کاربرد ماتریس وتن و راتو، اولین کارگاه تخصصی سد و محیط زیست، تهران، مرکز مدیریت بهسازی و بهره‌وری تاسیسات و ابنیه آبی ایران.
- کریمی، م.، شاهدی، ک. و بایزیدی، م.، ۱۳۹۴، تحلیل خشکسالی هیدرولوژیک با روش حد آستانه ثابت (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کرخه)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۶، ۱۱، ۷۲-۵۹.
- محمدی‌راد، ل.، ۱۳۹۷، مقایسه تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیک جریان رودخانه‌ای در اثر احداث سد (مطالعه موردی: سد یامچی و سد سبلان استان اردبیل)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه محقق اردبیلی.
- محمدی، ز.، ۱۳۹۲، بررسی خشکسالی هیدرولوژیک با شاخص SWSI (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد زاینده‌رود)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیا، دانشگاه اصفهان.
- مهری، س.، مصطفی‌زاده، ر.، اسمعیلی عوری، ا. و قربانی، ا.، ۱۳۹۶، تغییرات زمانی و مکانی جریان پایه در رودخانه‌های استان اردبیل، فیزیک زمین و فضا، ۴۳، ۳، ۶۳۴-۶۲۳.
- یوسفی، ی.، رورده، ه. و رضوی، س.م.، ۱۳۹۰، تغییرپذیری زمانی و مکانی جریان رودهای استان مازندران، جغرافیا و آمایش سرزمین، ۱، ۲، ۷۵-۸۸.
- Delpla, I., Jung, A. V., Baures, E., Clement, M. and Thomas, O., 2009, Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production, *Environmental International*, 35 (8), 1225-1233.
- Dongan, Li., Di, L., Jianshi, Zh., Hui, Lu. and Yang, H., 2017, Observed changes in flow regimes in the Mekong River basin, *Journal of Hydrology*, 551, 217-232.
- Halwatura, D., Lechner, A. M. and Arnold, S., 2015, Drought severity-duration-frequency curves: a foundation for risk assessment and planning tool for ecosystem establishment in post-mining landscapes, *Hydrology and Earth system Sciences*, 19, 1069 - 1091
- Khedun, C. P., Chowdhary, H., Giardino, J. R., Mishra. and Singh, V. P., 2011, Analysis of Drought Severity and Duration Based on Runoff Derived from the Noah Land Surface Model, *Symposium on Data- Driven Approaches to Droughts*. 42p.
- Lopez-Moreno, J. I., Vicente-Serrano, S. M., Begueria, S., Garcia-Ruiz, J. M., Portela, M. M. and Almeida, A. B., 2009, Dam effects on
- حوضه‌های آبخیز استان اردبیل، اکوهیدرولوژی، ۴، ۲، ۳۷۹-۳۹۳.
- رنجبر، م. و امینی، ت.، ۱۳۹۳، ارزیابی اثرسدها بر منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی سد سلمان فارسی- استان فارس)، جغرافیا، ۴۰، ۱۲، ۲۰۶-۱۸۷.
- سالمی، ح. و راست، ه.، ۱۳۸۳، سیمای کلی هیدرولوژی حوضه آبخیز زاینده‌رود، آب و فاضلاب، ۱۵، ۲، ۱۳-۲.
- سلاجقه، ع.، مصباح‌زاده، ط.، سلیمانی ساردو، ف. و علیپور، ن.، ۱۳۹۶، ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیک با استفاده از روش حد آستانه (مطالعه موردی حوزه سد کرج)، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۱، ۳۹، ۸۹-۱۰۰.
- سیفی زاده، م.، عمادی، ع. و فضل‌اولی، ر.، ۱۳۹۲، تغییرات مورفولوژی رودخانه پلرود در پایین‌دست سد، قبل و بعد از احداث سد در مقیاس کوتاه مدت، مهندسی آبیاری و آب، ۳، ۱۲، ۷۰-۶۰.
- شاعری کریمی، س.، یاری پیلیمبرایی، ا. و یاسی، م.، ۱۳۹۰، بررسی تأثیر سدها بر تغییر رژیم جریان رودخانه با تمرکز بر جریان زیست‌محیطی، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- عراقی نژاد، ش. و کارآموز، م.، ۱۳۹۳، هیدرولوژی پیشرفته، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ اول، ۴۶۸ ص.
- قاسم نژاد، م.، شایان، س. و یمانی، م.، ۱۳۹۲، اثرات احداث سد مخزنی گیلان غرب بر مورفولوژی بستر

- droughts magnitude and duration in a transboundary basin: The Lower River Tagus, Spain and Portugal, *Water Resources Research*, 45: 1-13.
- Mehta, R., Sharad, K., Jain, R. and Kumar, D. S. G., 2012, Hydrological impacts of Dams: A Review, *National Institute of Hydrology, Roorkee, IJWREM*, 3 (1), 75-97.
- Mishra, A. K. and Singh, V. P., 2010, A review of drought concepts, *Journal of Hydrology*, 391, 202-216.
- Mix, K., W. Groeger, A. and L.Lopes, V., 2016, Impacts of dam construction on streamflows during drought periods in the Upper Colorado River Basin, Texas, Lakes and reservoirs, 21: 329-337.
- Rangecroft, S., Van Loon, A., Maureira, H., Verbist, K. and Hannah D. M., 2016, Multi-method assessment of reservoir effects on hydrological droughts in an arid region, *Earth System Dynamics*, 57:1-32.
- Salmi, T., Maatta, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T. and Amnell, T., 2002. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates the excel template application MAKESENS, *Finnish Meteorological Institute*, 31, 1-35.
- Sarailidis, G., Vasilides, L. and Loukas., 2015, The quantification of threshold level method on lows studies, *Proceedings of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology Rhodes, Greece*, 1-5 p.
- Tallaksen, L. M. 2000, Streamflow drought frequency analysis, In: *Drought and Drought Mitigation in Europe* (Ed. by Vogt, J. V. and F. Somma), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 103-117.
- Van Loon, A. F. and Laaha, G., 2015, Hydrological drought severity explained by climate and Catchment Characteristics, *Journal of Hydrology*, 526: 3-14.
- Zuoi, Q. And Liang., 2015, Shikui Effects of dams on river flow regime based on IHA/RVA, *Remote Sensing and GIS for Hydrology and Water Resources (IAHS Publ. 368)*.

Hydrological drought response of regulated river flow under the influence of dam reservoir in Ardabil Province

Amini, H.¹, Esmali-Ouri, A.^{2*}, Mostafazadeh, R.³, Sharari, M.³ and Zabihi, M.⁴

1. M.Sc. Student, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2. Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
3. Assistant Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
4. Ph.D. Student, Department of Watershed management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran

(Received: 1 Jan 2019, Accepted: 14 May 2019)

Summary

Due to the importance of rivers in water supply, it is crucial to understand the flow condition and river regime. The river flows are affected by dam construction, climate change, flow diversion, backwater and urban development, which cause various problems, such as drought, flow reduction and environmental issues. Hydraulic structures have great impacts on the hydraulic conditions of rivers downstream. The reservoir dams as the most important hydraulic structures constructed on rivers, have considerable changes on flow regime conditions, therefore, drought and river flow drying area are major impacts of dams on downstream rivers. One of the common types of droughts is the hydrological drought, which is followed by meteorological drought with a delayed time. The most commonly definition of hydrological drought is based on a truncation level. The hydrological drought occurs when the river flow falls below a defined threshold level. The Yamchi and Sabalan dams are two main important dams in Ardabil Province due to the water supply for drinking water and irrigated agricultural lands.

Due to the consequences of short and long-term socio-economic and environmental effects of droughts as a natural disaster, it is necessary to study the frequency, severity, and spatial extent of drought spells. Accordingly, the drought characterization plays an important role in macroeconomic planning and decision-making to achieve sustainable development goals. The purpose of this study is to evaluate the effect of the Yamchi and Sabalan dams on the flow regime and hydrological drought occurrence of the downstream rivers, areas.

The used data in this study were the daily discharges, which were obtained from four hydrometric stations located upstream and downstream of the dams under the study. In this study, the seasonal threshold of was chosen and drought characteristics of the upstream and downstream stations of each of the dams were evaluated and then the drought severity at different durations was calculated using the Runs theory. Then, the Easy Fit software was employed to calculate the drought intensity at different return periods. The drought severity amounts were plotted over different return periods and the Severity-Duration-Frequency curves that were drawn for the upland and downstream of the constructed dam reservoirs. The percent change in discharge at the upstream and downstream stations of the studied dams were calculated to quantify the degree of influence.

According to the results, the highest drought occurrence in both studied dams were observed at 1-month duration and at Pole-almas and Dost-beiglou river gauge stations. It can be concluded that the severity of the observed hydrological droughts increases under the influence of both Yamchi and Sabalan dams as the return period increases. Also, the most severe drought spells occurred is related to the Sabalan dam and its upstream station (Arbabkandi). According to SDF curves, the drought severity increases in higher drought durations in the upstream and downstream stations of the Yamchi dam. According to the results, the percentage of changes in the downstream hydrometry station of the Sabalan dam is positive in almost all water years, which confirms the positive effect of Sabalan Dam on hydrological drought reduction and flow regulation. The highest percentage of changes in both of these dams is for to June, which indicates the difference in discharge values in upstream and downstream of the dams. In other words, this indicates that both of the studied dams, especially the Sabalan Dam, have increased the monthly base flow rate over the downstream reaches.

It can be concluded that the construction of the Yamchi Dam caused a decrease in the flow amount in the downstream area and increased the occurrence of hydrological drought events. While, the Sabalan Dam regulated the flow regime of the Garesou river in the dam downstream and reduced the severity of hydrological drought spells and modifies the river flow regime for all months of the year.

Keywords: Drought Severity, SDF curves, Threshold level, Flow Regulate, Yamchi Dam, Sabalan Dam.

*Corresponding author:

abazar.esmali@gmail.com