

ارزیابی کمی اثرات اقدامات آبخیزداری بر وضعیت هیدرولوژیکی حوضه، مطالعه موردی: حوزه آبخیز آکوجان

جمال مصفايي*^۱ و امین صالح پور جم^۲

^۱ استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۲۶

چکیده

برای برنامه‌ریزی‌های آتی طرح‌های اجرایی آبخیزداری، ارزیابی عملکرد اقدامات گذشته امری ضروری است. در این پژوهش، تاثیر اقدامات مختلف آبخیزداری بر وضعیت هیدرولوژیکی و منابع آب در حوزه آکوجان قزوین مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور، تغییرات آبدی منابع آبی حوضه، افزایش میزان نفوذ و ذخیره آب و نیز میزان سیلاب حوضه، برای بازه زمانی قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد، سالانه حدود ۱۱۴ هزار متر مکعب ذخیره رواناب در اثر عملیات آبخیزداری در حوضه انجام شده است که ۲۰/۱ درصد این حجم مربوط به عملیات سازه‌ای و ۷۹/۹ درصد متعلق به اقدامات بیولوژیکی و بیومکانیکی آبخیزداری است. نتایج مربوط به تحلیل سیلاب نشان داد که نقش اقدامات سازه‌ای در تغییر زمان تمرکز حوضه اندک و حتی منفی بوده، لذا، کاهش دبی اوج و حجم سیلاب خروجی حوضه، حاصل اجرای اقدامات بیولوژیکی و بیومکانیکی است که باعث شده دبی اوج برای دوره بازگشت‌های دو تا ۱۰۰ سال به ترتیب ۴۲/۷، ۲۵/۴، ۲۰/۸، ۱۷/۱، ۱۵/۳ و ۱۳/۸ درصد و حجم سیلاب به ترتیب ۴۱/۸، ۲۴/۸، ۲۰/۲، ۱۶/۵، ۱۴/۸ و ۱۳/۳ درصد کاهش یابد. همچنین، مشخص شد که با افزایش دوره بازگشت سیلاب، درصد کاهش حجم و دبی اوج سیلاب ناشی از عملیات آبخیزداری کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: ذخیره رواناب، کنترل سیلاب، دبی اوج، حجم سیلاب، بیولوژیکی و بیومکانیکی، عملیات سازه‌ای

مقدمه

ایران، برای جلوگیری از تخریب خاک و هدررفت آب، اقدامات حفاظت آب و خاک از سال ۱۳۲۷ آغاز شده و تا کنون ادامه دارد. آبخیزداری به مجموعه اقدامات مکانیکی، بیولوژیکی و مدیریتی که در یک حوزه آبخیز به منظور ارتقای وضعیت اقتصادی و اجتماعی ساکنین حوضه و با توجه به بهره‌برداری پایدار از منابع آن صورت می‌گیرد، اطلاق می‌شود. بدون شک آبخیزداری یکی از فعالیت‌های عمده و زیربنایی است که به مدیریت یکپارچه منابع آب، خاک، پوشش گیاهی و بهره‌برداری بهینه از آن‌ها می‌پردازد (Radwan،

رشد سریع جمعیت طی چند دهه اخیر، به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه نظیر ایران، فشار بر انواع منابع طبیعی تجدیدشونده را آنقدر افزایش داده است که زمینه‌های سیر قهقرايي آن‌ها را به‌وجود آورده است (Mosaffaie، ۲۰۱۸). بیش از ۷۵ درصد از مساحت ایران از جمله استان قزوین در اقلیم خشک و نیمه‌خشک واقع است که با وجود بارش کم سالانه، اغلب فرسایش و سیلاب‌های شدیدی را متحمل می‌شوند (Mosaffaie، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶). در

نشان می‌دهد که عملیات آبخیزداری تا حدودی توانسته به اهداف خود در منطقه دست یابد. هر چند به دلیل عدم اشتغال‌زایی دائم و مناسب نتوانسته از مهاجرت روستائیان جلوگیری کند (Azmodeh و همکاران، ۲۰۱۰). کمالی تاثیر عملیات مکانیکی آبخیزداری را بر سیلاب حوضه باراجین قزوین با مدل Hec-HMS بررسی کرده که نتایج نشان‌دهنده کاهش ۳۰ درصدی دبی اوج سیل و ۲۸ درصدی حجم سیلاب ۲۵ ساله بوده است. ارزیابی اثرات اجرای طرح-های آبخیزداری در استان کرمان، نشان‌دهنده تاثیر مثبت اقدامات آبخیزداری در کنترل سیل و رسوب، تغذیه مصنوعی، افزایش آبدی و تداوم جریان منابع آب و بهبود وضعیت اقتصادی مردم محلی بوده است (Meyjani و همکاران، ۲۰۰۱).

مرور منابع بیانگر این واقعیت است که سابقه اقدامات آبخیزداری در کشور در سطح گسترده دارای سابقه طولانی است. از این‌رو، ارزیابی کمی اقدامات به عمل آمده نیز چندان مورد توجه نبوده، روش‌های مشخصی نیز به این منظور ارائه نشده است (Sadeghi و همکاران، ۲۰۰۴). لذا، کاربرد روش‌های کمی مناسب برای ارزیابی عملکرد اقدامات آبخیزداری امری ضروری است (Rajora، ۱۹۹۸).

طی سال‌های گذشته، حوزه آبخیز آکوجان بنا به دلایل مختلف با مشکلاتی از قبیل تخریب پوشش گیاهی، فرسایش خاک، وقوع سیل و غیره مواجه بوده است. لذا، اقدامات آبخیزداری متعددی از انواع مکانیکی، بیولوژیکی، بیومکانیکی و مدیریتی برای بهبود وضعیت حوضه و ساکنان آن انجام شده است (Forests range and watershed management organization، ۲۰۱۷). هدف از این مطالعه، ارزیابی تاثیر اقدامات مختلف آبخیزداری بر وضعیت هیدرولوژیکی و منابع آب حوضه آکوجان قزوین، با استفاده از روش‌های مناسب با نوع اطلاعات موجود و مورد تایید تحقیقات قبل است.

مواد و روش‌ها

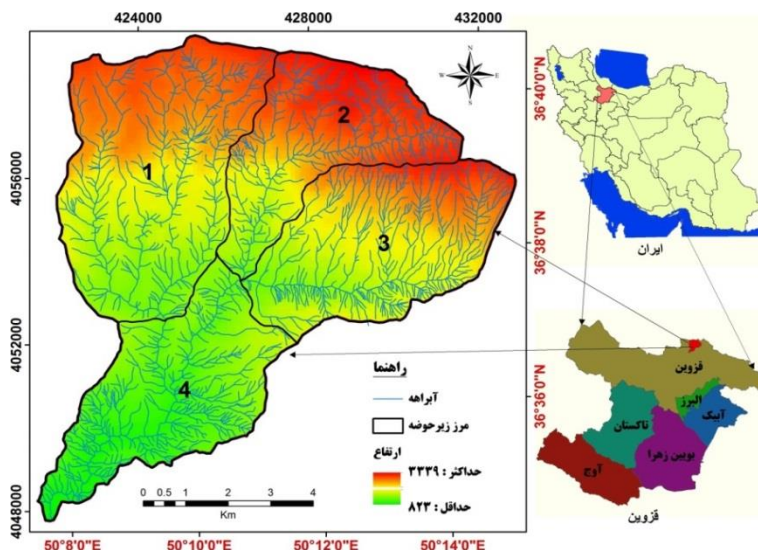
منطقه مورد پژوهش: حوزه آبخیز آکوجان از سرشاخه‌های سفیدرود (شاهرود) است که با مساحت ۷۳۶۴/۳ هکتار در شمال شهر قزوین و دامنه جنوبی

۱۹۹۹). البته، برای مدیریت موثر حوزه آبخیز، باید بین اقدامات مختلف بیولوژیکی، سازه‌ای و مدیریتی هماهنگی وجود داشته باشد (Mosaffaie و همکاران، ۲۰۱۵). اهداف پیش‌بینی شده در طرح‌های آبخیزداری شامل مهار و مبارزه با فرسایش و هدررفت آب، بهینه‌سازی استفاده از منابع آب و خاک، افزایش تولیدات آبخیزها اعم از گیاهی و دامی، افزایش درآمد ساکنین آبخیزها و کاهش خسارات ناشی از فرسایش خاک و سیلاب‌ها و غیره است (Moghaddasi و همکاران، ۲۰۱۵). موفقیت طرح‌های آبخیزداری در گروهی اهداف چند منظوره آن در سطوح مختلف فنی، اجتماعی، سیاسی و غیره است (Ahmadi، ۲۰۰۷).

پایش و مطالعات ارزیابی اثرات پروژه‌های آبخیزداری (Rashvand و همکاران، ۲۰۱۳؛ Nourali و Ghahraman، ۲۰۱۶؛ Mikaeilzade و همکاران، ۲۰۱۴؛ Ildoromi و Dashti، ۲۰۱۴؛ Kabir و همکاران، ۲۰۱۴؛ Saleh pourjam و همکاران، ۲۰۱۹؛ Kerr و Chung، ۲۰۰۲؛ Armin و همکاران، ۲۰۱۹؛ Hayashi و همکاران، ۲۰۰۸) ثابت کرده‌اند که لازمه توسعه پایدار مناطق روستایی، نگرش مدیریت جامع حوزه آبخیز است (Mosaffaie و همکاران، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹). از جمله، Sreedevi و همکاران (۲۰۰۶) اثرات توسعه طرح‌های آبخیزداری را در گوجرات هند مثبت ارزیابی کرده، مواردی چون بهبود کیفیت منابع آب، کاهش فرسایش خاک، افزایش عملکرد و تنوع محصولات کشاورزی، بهبود سطح درآمد افراد، افزایش کیفیت زندگی مردم محلی و افزایش مشارکت مردم در فعالیت‌ها را از جمله این آثار مثبت برشمرده‌اند (Sreedevi و همکاران، ۲۰۰۶). بخش مهندسی حفاظت آب و خاک دانشگاه جی‌پی‌پنت هندوستان، اقدامات آبخیزداری حوضه رامگانا با روش‌های تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی، جرم مضاعف، رژیم هیدرولوژیکی، منحنی‌های تداوم جریان، میانگین متحرک و مدل‌های Sacramento و Tank را بسیار موفق ارزیابی کرده، بر استفاده از روش‌های ارزیابی یاد شده برای سایر تحقیقات تاکید کرده است (SWCE، ۱۹۹۷). بررسی دیدگاه آبخیزنشینان نسبت به طرح‌های آبخیزداری در حوضه سد برنجستانک

بودن چشمه‌های فراوان و با دبی بالا دارای جریان دائمی است. شکل ۱، موقعیت حوضه را در کشور و استان قزوین نشان می‌دهد.

رشته کوه البرز قرار گرفته است. بارش متوسط سالانه حوضه ۵۰۴ میلی‌متر، بیشینه ارتفاع حوضه ۳۳۸۵ متر و کمینه ارتفاع در خروجی حوضه برابر ۸۲۰ متر از سطح دریا می‌باشد. رودخانه اصلی حوضه به‌علت دارا



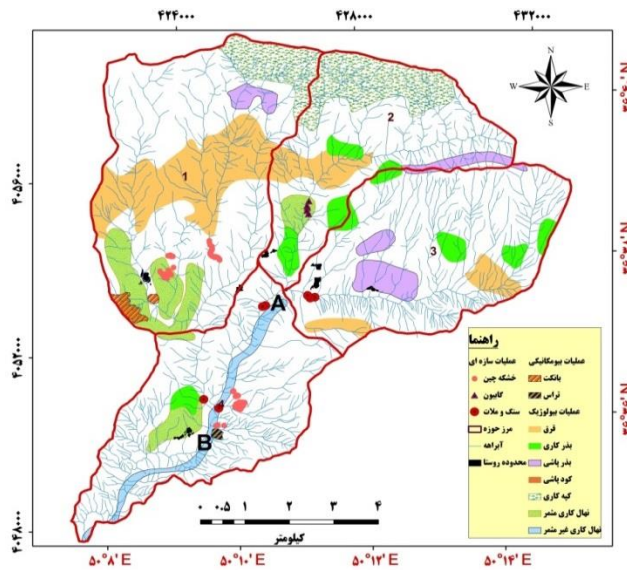
شکل ۱- موقعیت آبخیز آکوجان در قزوین و ایران

and watershed management organization (۲۰۱۷). با احتساب میانگین ارتفاع مفید ۱/۳ متر و طول تاج ۲/۵ متر و عرض بستر ۰/۷ متر و شیب آبراهه ۲۵ درصد برای بندهای خشکه‌چین، مجموع مخزن آن‌ها معادل ۴۲۲۰ مترمکعب می‌باشد. همچنین، بر اساس مساحی حجم مخزن سازه‌های سنگی-ملاتی و گابیونی، مجموع حجم مخازن آن‌ها به‌ترتیب برابر ۳۸۰۰ و ۱۳۲۰ متر مکعب است.

اقدامات اجرایی آبخیزداری در حوضه آکوجان: بر اساس مطالعات تفصیلی-اجرایی حوضه آکوجان که در سال ۱۳۸۰ به‌وسیله مهندسين مشاور آبخیزداران البرز انجام شده است، اقدامات اجرایی آبخیزداری در چهار بخش بیولوژیکی، بیومکانیکی، مکانیکی و مدیریتی پیش‌بینی و طی سال‌های ۱۳۸۲-۱۳۸۷ به مرحله اجرا رسیده که خلاصه آن‌ها در جدول ۱ و نقشه آن‌ها در شکل ۲ ارائه شده است (Forests range)

جدول ۱- عملیات اجرایی آبخیزداری حوزه آبخیز آکوجان

حجم	نام پروژه	نوع عملیات
۵۱۶ هکتار	نهال‌کاری مثمر و غیرمثمر	بیولوژیک
۲۳۲ هکتار	بذرپاشی	
۲۵۲ هکتار	بذرکاری	
۹۳۹ هکتار	کودپاشی	
۴۱ هکتار	کپه‌کاری	بیومکانیکی
۵۱۶ هکتار	تراس‌بندی	
۴۱۲ هکتار	بانکت‌بندی (۲۵۸ کیلومتر)	
۱۴۰۰ متر مکعب	بند خشکه‌چین (۱۱۷ عدد)	مکانیکی
۶۰۰ متر مکعب	بند گابیونی (۵ عدد)	
۱۲۰۰ متر مکعب	بند سنگ و ملاتی (۷ عدد)	مدیریتی
۷۸۲ هکتار	قرق	
۲۰ جلسه	برگزاری کلاس آموزشی	



شکل ۲- نقشه اقدامات اجرایی آبخیزداری حوضه آکوجان

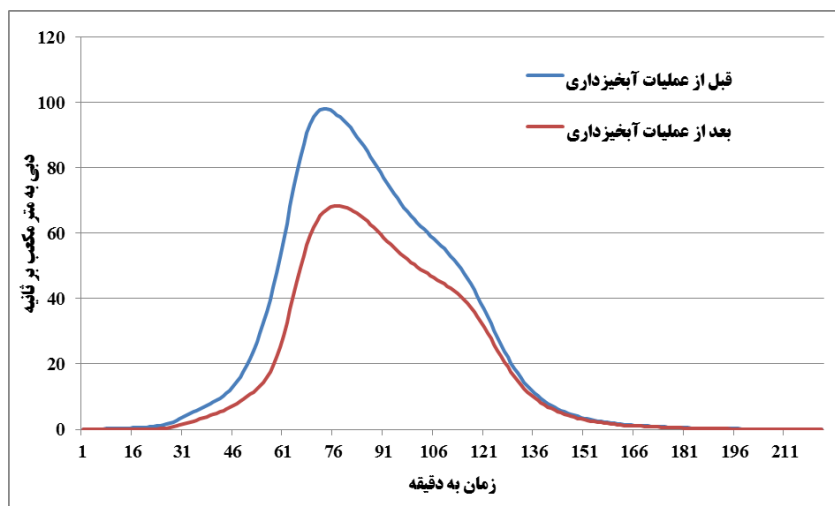
بازدیدهای صحرایی نشان داد که تقریباً تمامی مخازن سازه‌های گابیونی و سنگی-ملاتی و نیز به‌طور میانگین ۵۰ درصد از حجم مخزن سازه‌های خشک‌چین از رسوبات پر شده است که مابقی آن نیز در سال‌های آبی پر خواهد شد. لذا، برای محاسبه حجم رواناب کنترلی و نفوذ ناشی از احداث سازه‌ها، مخازن آن‌ها در حالت پر شده فرض شد که با احتساب ضریب تخلخل موثر ۳۰ درصد برای رسوبات پشت مخازن (Amirani و Roghani, ۲۰۱۴)، میزان نگهداشت رواناب محاسبه شد.

حوضه آکوجان با توجه به شرایط فیزیوگرافی ویژه مخصوصاً شیب زیاد مستعد خطر سیلاب است. برای بررسی میزان تاثیر اقدامات اجرایی آبخیزداری بر سیلاب حوضه، پس از واسنجی مدل SCS بر اساس داغاب و شواهد محلی (عدم وجود ایستگاه هیدرومتری در خروجی حوضه) و بهره‌گیری از نرم‌افزار HEC-HMS، تغییرات حاصل‌شده در ابعاد هیدروگراف سیلاب و میزان وقوع سیلاب تحلیل شد (شکل ۳). بدین منظور، تاثیر اقدامات بیولوژیکی با تغییر مقدار عدد منحنی (CN) در قبل و بعد از اجرای عملیات و تاثیر اقدامات مکانیکی نیز با تغییر طول مسیر آب، شیب طولی آبراهه اصلی و همچنین، تغییرات نفوذ و نگهداشت حجمی از رواناب حوضه در مدل لحاظ شد و مدل متناسب با رگبارهای طرح، برای هیتوگراف بارش‌های با دوره بازگشت دو، پنج، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال اجرا و نتایج مقایسه شد.

به‌منظور ارزیابی تاثیر اقدامات آبخیزداری بر وضعیت هیدرولوژیکی حوضه آکوجان، با بهره‌گیری از مدل‌های هیدرولوژیکی، تغییرات الگوی آبدی منابع آبی حوضه، افزایش میزان نفوذ و ذخیره آب و در نهایت، میزان سیلاب حوضه، برای بازه زمانی قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری مورد مقایسه قرار گرفتند.

برای ارزیابی تغییرات وضعیت منابع آب، از آنجا که میزان آبدی منابع آبی به‌شدت متغیر بوده، تابع عوامل جوی و نوسانات فصلی است، با روش‌های رایج امکان اخذ اطلاعات از نحوه تاثیر اقدامات آبخیزداری بر آن‌ها امکان‌پذیر نیست، لذا، پس از تهیه نقشه منابع آبی حوضه، بر اساس پراکنش آن‌ها و قابل توجه بودن دبی آن‌ها، اقدام به انتخاب و آماربرداری فصلی از منابع آبی برگزیده حوضه شد و امکان تحلیل آمار سایر منابع آبی حوضه به‌علت دبی ناچیز و نیز تداخل جریان‌های بالادست مهیا نبود.

به‌منظور بررسی تغییرات وضعیت نفوذ و میزان ذخیره آب، نقش اقدامات سازه‌ای و بیولوژیکی مورد تحلیل قرار گرفت. برای تحلیل نقش اقدامات بیولوژیکی در نفوذ، نقشه CN حوضه برای شرایط قبل و بعد از اجرای پروژه تهیه شد. سپس، با استفاده از معادله بیلان آبی، میزان حجم رواناب و نفوذ بر اساس آمار بارش روزانه ایستگاه آکوجان به‌عنوان ایستگاه شاخص که در محدوده حوضه واقع شده است، محاسبه شد. همچنین، در بخش اقدامات سازه‌ای،



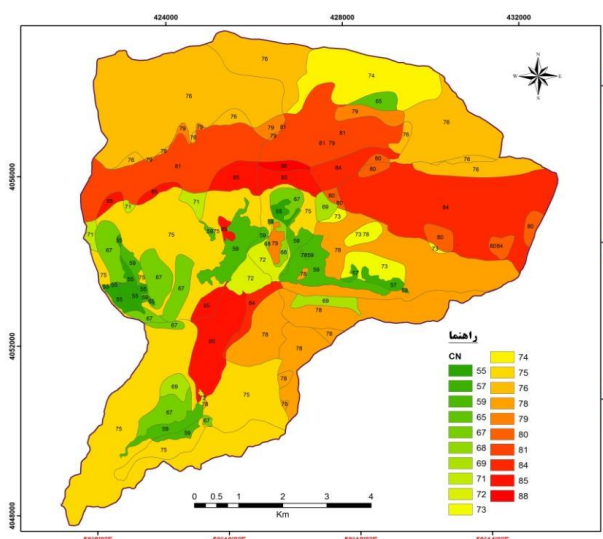
شکل ۳- هیدروگراف سیلاب خروجی از حوضه آکوجان با دوره بازگشت ۲۵ سال قبل و بعد از عملیات آبخیزداری

نتایج و بحث

منابع آب: از ۴۱ دهنه چشمه موجود در حوضه، تعداد ۳۸ چشمه دبی ناچیز در حد یک لیتر بر ثانیه و یا کمتر داشته‌اند و فقط سه دهنه دبی بیش از این مقدار را داشته‌اند. بیشترین مقدار آبدهی حوضه مربوط به مجموعه چشمه‌های خاررود یک، دو و سه است که به ترتیب دبی برابر با ۴۰، ۹۰ و ۷۰ لیتر بر ثانیه داشته‌اند. همچنین، با توجه به این که چشمه‌های منتخب، در تراز ارتفاعی بالاتری نسبت به اقدامات مکانیکی و بیومکانیکی حوضه قرار دارند، تغییرات معنی‌داری در سطوح یک و پنج درصد در دبی آن‌ها در سال‌های قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری حاصل نشده است.

وضعیت نفوذ و میزان ذخیره آب: در شکل ۴،

نقشه CN حوضه و در جدول دو ورودی‌های مدل Hec-HMS، مربوط به قبل و بعد از انجام اقدامات آبخیزداری ارائه شده است (Watershed Management Organization, ۲۰۱۷). نتایج مطالعه نشان می‌دهد که CN متوسط حوضه قبل از اقدامات ۷۹/۱ و بعد از انجام اقدامات بیولوژیکی و مدیریتی به ۷۴/۲ کاهش یافته است که بخشی از آن نتیجه تغییر در شرایط هیدرولوژیک مراتع و بخشی نیز در اثر اجرای اقدامات نهال‌کاری به‌همراه عملیات بیومکانیکی است. همچنین، بیشترین و کمترین میزان کاهش CN به ترتیب مربوط به زیرحوضه‌های شماره ۱ و ۴ است که علت اصلی آن تفاوت حجم عملیات بیولوژیک در زیرحوضه‌های مختلف است.



شکل ۴- نقشه CN حوضه آکوجان پس از انجام اقدامات آبخیزداری

جدول ۲- ورودی‌های مدل HEC-HMS برای حوضه آکوجان

بعد از آبخیزداری		قبل از آبخیزداری		مساحت (km ²)	زیر حوضه
CN	زمان تمرکز (min)	CN	زمان تمرکز (min)		
۷۵/۱	۳۴/۱	۷۹/۱	۳۳/۹	۲۳/۳۸	۱
۷۷/۱	۳۱/۹	۸۰/۱	۲۶/۸	۱۵/۲۴	۲
۷۷/۸	۳۳/۸	۷۸/۹	۳۱/۹	۱۹/۳۱	۳
۷۵/۴	۶۴/۹	۷۵/۹	۵۹/۱	۱۵/۸۵	۴
۷۴/۲	۷۷/۸	۷۹/۱	۷۲/۳	۷۳/۷۸	کل حوضه

بوده که با پر شدن تدریجی این مخازن به وسیله رسوبات، این حجم هر ساله کمتر شده است. ذکر این نکته نیز ضروری است که نسبت ذخیره رواناب حاصل از عملیات مکانیکی و بیولوژیکی بستگی به شرایط مختلف حوضه و نیز حجم عملیات مختلف آبخیزداری اجرا شده دارد.

کنترل سیلاب: در جدول ۳، نتایج مربوط به میزان درصد کاهش دبی اوج و حجم سیلاب برای زیرحوضه‌های مختلف ارائه شده است (Forests, Ranges and Watershed Management Organization, ۲۰۱۷). نتایج نشان می‌دهد که میزان دبی اوج و حجم سیلاب به ترتیب به طور متوسط ۲۲/۵ و ۲۱/۹ درصد برای دوره بازگشت‌های مختلف کاهش یافته است که بیشترین کاهش‌ها برای دوره بازگشت دو سال و کمترین میزان برای دوره بازگشت ۱۰۰ سال است یا به عبارتی با افزایش دوره بازگشت سیلاب، درصد کاهش حجم و دبی اوج سیلاب ناشی از عملیات آبخیزداری کاهش یافته است (شکل ۵). همچنین، مشاهده می‌شود که بیشترین درصد کاهش دبی سیلاب در زیرحوضه شماره ۱ و پس از آن به ترتیب در زیرحوضه‌های ۲، ۳ و ۴ رخ داده است.

در خصوص کنترل سیلاب حوضه باید توجه کرد که در کل حوضه در مجموع ۱۲ سازه از نوع گابیونی و سنگی-ملاتی در مسیرهای اصلی جریان احداث شده است که از این تعداد، پنج سازه گابیونی در زیرحوضه ۲، سه سازه سنگی-ملاتی در زیرحوضه ۳ و چهار سازه سنگی-ملاتی نیز در زیرحوضه ۴ احداث شده‌اند که علاوه بر این که بازه کمی از مسیر جریان را پوشش می‌دهند، با نگاهی به آرایش سازه‌ها در زیرحوضه‌ها در شکل ۲ و نیز زمان‌های تمرکز زیرحوضه‌ها در قبل و

نتایج بررسی نقش اقدامات بیولوژیکی و مدیریتی در شرایط قبل و بعد از اقدامات اجرایی نشان می‌دهد که به طور متوسط میزان نفوذ رواناب برای حوضه مورد مطالعه به میزان ۹۱۹۶۷ متر مکعب در سال افزایش داشته است. همچنین، با در نظر گرفتن میانگین هشت رگبار منجر به رواناب در سال (Mohammadi و همکاران، ۲۰۱۵)، حجم آب ذخیره شده در مخازن سازه‌های احداث شده، معادل ۲۱۹۵۰ متر مکعب در سال محاسبه شد.

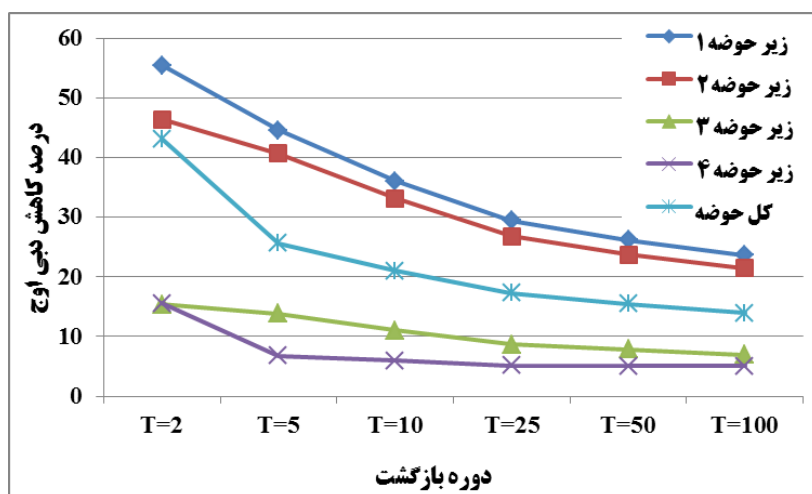
در حوضه آکوجان در مجموع، سالانه حدود ۱۱۴ هزار متر مکعب ذخیره رواناب در اثر عملیات آبخیزداری در حوضه انجام شده است. به دلیل تجمع رواناب در مخازن بندهای اصلاحی ممکن است، این اقدامات نمود بیشتری داشته باشند، ولی نتایج این پژوهش نشان داد که ۲۰/۱ درصد رواناب ذخیره شده مربوط به عملیات سازه‌ای و ۷۹/۹ درصد متعلق به اقدامات بیولوژیکی و بیومکانیکی است. تاثیر کمتر عملیات سازه‌ای نسبت به اقدامات بیولوژیکی و بیومکانیکی در ذخیره رواناب حوضه آکوجان به دلیل اولویت هدف کنترل رسوب و نیز پرشدن مخازن سازه‌ها از رسوبات است که برخی از تحقیقات گذشته نیز به نتایج مشابهی در خصوص تاثیر کم عملیات سازه‌ای بر کاهش دبی و حجم رواناب و سیلاب حوضه دست یافته‌اند (Mostafazadeh و همکاران، ۲۰۱۰؛ Kamali و همکاران، ۲۰۱۵؛ Mikaeilzade و همکاران، ۲۰۱۴) و البته برخی تحقیقات نیز میزان این تاثیر را معنی‌دار و قابل توجه بیان کرده‌اند (Roghani, ۲۰۱۲؛ Roghani و Amini, ۲۰۱۴). البته باید توجه داشت که در صورت خالی بودن مخازن سازه‌ها، میزان ذخیره رواناب عملیات سازه‌ای ۷۰ درصد بیش از این مقدار

اختلاف زمان تمرکز زیرحوضه‌های ۱ و ۲ و همچنین، مجموع این دو زیرحوضه در نقطه B با زیرحوضه ۱، در بعد از عملیات آبخیزداری کاهش یافته است که این موضوع می‌تواند باعث هم‌زمانی دبی‌های اوج این زیرحوضه‌ها در نقاط A و B و نیز خروجی حوضه شده و در نتیجه افزایش دبی اوج سیلاب را در این نقاط سبب شود.

بعد از عملیات آبخیزداری (به‌ویژه در محل تلاقی زیرحوضه‌های ۲ و ۳ و نیز محل تلاقی جریان این دو زیرحوضه با جریان زیرحوضه یک یعنی نقاط A و B در شکل ۲) می‌توان نتیجه گرفت که سازه‌های مکانیکی حوضه آکوجان برای پایین آوردن پیک سیلاب حوضه، دارای آرایش مناسبی نبوده، حتی این سازه‌ها می‌توانند باعث بالا رفتن دبی اوج سیل در محل تلاقی زیرحوضه‌ها و خروجی حوضه شوند، زیرا

جدول ۳- درصد کاهش دبی اوج و حجم سیلاب پس از اجرای اقدامات آبخیزداری (Q: کاهش دبی اوج به درصد و V: کاهش حجم سیلاب به درصد)

زیر حوضه	T=100		T=50		T=25		T=10		T=5		T=2	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
۱	۲۱/۳	۲۳/۶	۲۳/۵	۲۶/۲	۲۶/۳	۲۹/۴	۳۱/۸	۳۶/۱	۳۸/۸	۴۴/۵	۶۴/۲	۵۵/۴
۲	۲۰/۱	۲۱/۴	۲۲/۲	۲۳/۷	۲۴/۶	۲۶/۸	۲۹/۸	۳۳/۱	۳۵/۹	۴۰/۷	۵۶/۸	۴۶/۴
۳	۶/۱	۷/۰	۶/۸	۷/۹	۷/۶	۸/۷	۹/۳	۱۱/۰	۱۱/۴	۱۳/۸	۱۹/۶	۱۵/۴
۴	۲/۵	۵/۱	۲/۸	۵/۱	۳/۱	۵/۲	۳/۹	۶/۰	۴/۹	۶/۸	۱۰/۷	۱۵/۶
کل	۱۳/۴	۱۳/۹	۱۴/۹	۱۵/۵	۱۶/۷	۱۷/۳	۲۰/۴	۲۱/۰	۲۵/۰	۲۵/۷	۴۲/۲	۴۳/۱



شکل ۵- درصد کاهش دبی اوج سیلاب برای زیرحوضه‌های مختلف

شده دبی اوج برای دوره بازگشت‌های دو تا ۱۰۰ سال به ترتیب ۴۲/۷، ۲۵/۴، ۲۰/۸، ۱۷/۱، ۱۵/۳ و ۱۳/۸ درصد و حجم سیلاب به ترتیب ۴۱/۸، ۲۴/۸، ۲۰/۲، ۱۶/۵، ۱۴/۸ و ۱۳/۳ درصد کاهش یابد. همچنین، مشاهده می‌شود که با افزایش دوره بازگشت سیلاب، میزان کاهش حجم و دبی اوج سیلاب ناشی از عملیات آبخیزداری کاهش یافته است که کمالی و همکاران (۲۰۱۵) نیز به نتایج مشابهی در این زمینه دست یافته‌اند. سایر تحقیقات نیز به نتایج مشابهی در خصوص تاثیر بسیار بیشتر عملیات بیولوژیکی نسبت

زیرحوضه ۱، با وجود این‌که هیچ سازه سنگی- ملاتی یا گابیونی ندارد، از بیشترین کاهش دبی اوج و حجم سیلاب برخوردار است که دلیل آن حجم بالای اقدامات بیولوژیکی است که در عرصه‌های این زیرحوضه اجرا شده است. بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که نقش اقدامات سازه‌ای در تغییر زمان تمرکز حوضه اندک و حتی منفی بوده، لذا کاهش دبی اوج و حجم سیلاب خروجی حوضه، حاصل اجرای اقدامات بیولوژیکی و بیومکانیکی از جمله احداث تراس، بانکت و نهال‌کاری است که باعث

کاهش می‌یابد. در نهایت، بر اساس نتایج این پژوهش، با توجه به این که اقدامات بیولوژیکی و بیومکانیکی معمولاً دارای هزینه کمتری نسبت به عملیات سازه‌ای هستند، پیشنهاد می‌شود تا در مواردی که هدف، کنترل رواناب و یا کاهش دبی اوج و حجم سیلاب است، سهم بیشتری را در برنامه‌های اجرایی برای این نوع عملیات در نظر گرفت.

سیاسگزاری

این پژوهش با استفاده از اعتبارات مالی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان قزوین اجرا شده است که از همکاری آن‌ها صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

به عملیات سازه‌ای بر کاهش دبی اوج و حجم سیلاب و نیز کاهش تاثیر اقدامات آبخیزداری بر خصوصیات سیل با افزایش دوره بازگشت دست یافته‌اند (Mikaeilzade و همکاران، ۲۰۱۴؛ Nourali و Ghahraman، ۲۰۱۶).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش، نقش اقدامات بیولوژیکی و بیومکانیکی انجام گرفته در کنترل و ذخیره رواناب بیش از چهار برابر تاثیر عملیات سازه‌ای بوده است. همچنین، این مطالعه نشان داد که کاهش دبی اوج و حجم سیلاب در خروجی حوضه، حاصل اجرای اقدامات بیولوژیکی و بیومکانیکی است که میزان این تاثیر با افزایش دوره بازگشت سیلاب،

منابع مورد استفاده

- Ahmadi, H. 2007. Monitoring and evaluation process is important in the sustainable management of the watershed. Proceedings of the Fourth National Conference on Science and Watershed Engineering, Tehran (in Persian).
- Amini, A. and M. Roghani. 2014. The effects of check dams on runoff storage in Gav-Darreh Watershed, Kurdistan, Iran. *Geographic Space*, 14(47): 145-162 (in Persian).
- Armin, M., J. Mosaffaie, V. Ghorbannia Kheybari and A. Khairi. 2019. Landslide zoning and its risk management plan in Kohgiluyeh and Boyerahmad Province using Haeri-Sami model. *Quantitative Geomorphological Research*, 7(4): 176-196 (in Persian).
- Azmodeh, A., M. Zarei, H. Rahnama and H. Amirnejad. 2010. Stakeholder approach towards watershed management projects carried out in the Brnjstanyk Watershed Dam. Proceedings of the 6th National Conference on Science and Engineering, Tehran (in Persian).
- Department of soil and water conservation engineering (SWCE), G.B.P.U.A and T. 1997. Evaluation of soil and water conservation measure. 250 pages.
- Forests, Ranges and Watershed Management Organization. 2017. Evaluation of the effects of watershed management measures in Parrud Watershed. Office of Engineering and Studies, Volume 2, 53 pages.
- Hayashi, S., S. Murakami, K. Xu and M. Watanabe. 2008. Effect of TGP Dam on flood control in Dongting Lake area. *Research*, 2(3): 148-163.
- Ildoromi, A. and M. Dashti Marvili. 2014. Quantitative evaluation of watershed management measures in Ekbatan Dam Watershed. *Iran Watershed Management Science and Engineering*, 7(23): 63-66 (in Persian).
- Kabir, A., A. Najafi Nejad, Y. Hemmatzadeh and M. Corkinejad. 2007. Time to focus on the establishment of structural reform (Golestan Watershed Roudbar Gheshlagh). *Journal of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 14: 1-7 (in Persian).
- Kamali, M., K. Solaimani, K. Shahedi, A. Noshahri and A. Gomrokchi. 2015. Determining the flooding points and prioritizing sub-catchments of Barajin Catchment of Qazvin using Hec-HMS and GIS. *Iran Watershed Management Science and Engineering*, 9(29): 27-34 (in Persian).
- Kerr, J. and K. Chung. 2002. Evaluating watershed management projects. *Journal of Water Policy*, 3(6): 537-554.
- Meyjani, K., M. Shahsavari and A. Pouraboli. 2001. Evaluation of the results of watershed operations in Kerman Province. Proceedings of the First Conference on Watershed Management and Water Management in the Watershed, Tehran, 95-101 (in Persian).
- Mikaeilzade, H., A. Talebi Karimian and A. Mokhtari. 2014. Evaluation of the effects of watershed management projects (mechanical and biologic) on runoff using HEC-HMS model, case study: Nahand Watershed. MSc Thesis, Yazd University, 145 pages (in Persian).
- Moghaddasi, N., V.B. Sheikh and A. Najafinejad. 2015. Qualitative evaluation of watershed

- management projects using descriptive-correlation method, case study: Boostan Dam Watershed. *Journal of Water and Soil Conservation*, 22(2): 205-218 (in Persian).
12. Mohammadi, M.A., M. Zarea Khormizi and A. Kavian. 2015. Storm-wise analysis of hydro-sedimentary response of Khamsan Watershed. *Journal of Water and Soil Science*, 19(72): 115-125 (in Persian).
 13. Mosaffaie, J. and A. Saleh pourjam. 2018. Economic assessment of the investment in soil and water conservation projects of watershed management. *Arabian Journal of Geosciences*, DOI: 10.1007/s12517-018-3706-0.
 14. Mosaffaie, J., M.R. Ekhtesasi, M.T. Dastorani, H.R. Azimzadeh and M.A. Zare Chahuki. 2015. Temporal and spatial variation of the water erosion rate. *Arabian Journal of Geosciences*, 8: 5971-5979.
 15. Mosaffaie, J. 2015. Comparison of two methods of regional flood frequency analysis by using L-moments. *Water Resources*, 42(3): 313-321.
 16. Mosaffaie, J. 2016. Application of artificial neural network, multiple-regression and index-flood techniques in regional flood frequency estimation. *International Journal of Water*, 10(4): 328-342.
 17. Mostafazadeh, R., A. Sadoddin, A. Bahremand, V. Sheikh and H. Nazarnejad. 2010. Assessing hydrological effects of Jafar-Abad watershed management project in Golestan Province using HEC-HMS model. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 2(2): 83-93 (in Persian).
 18. Mosaffaie, J., A. Salehpourjam and M. Kamali. 2018. Evaluation of the ecological capability of Aqujan watershed for rangeland and agriculture using GIS. *RS and GIS for Natural Resources*, 9(1): 131-144 (in Persian).
 19. Mosaffaie, J., D. Nikkami and A. Salehpourjam. 2019. Watershed management in Iran: history, evolution and future needs. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 11(2): 283-300 (in Persian).
 20. Nourali, M. and B. Ghahraman. 2016. Assessment of watershed management projects on flood hydrograph using HEC-HMS model, case study: Goosh-Bahre Watershed. *Journal of Watershed Management Research*, 7(13): 60-71 (in Persian).
 21. Rashvand, S., J. Mosaffaie, M. Darvish and A. Rafiei Emam. 2013. Investigation on potential of desertification in terms of decay of vegetation, case study: Rude Shoor, Qazvin. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 20(1): 38-49 (in Persian).
 22. Radwan, A. 1999. Flood analysis and mitigation for an area in Jordan. *Journal of Water Resources and Management*, 125(3): 170-177.
 23. Rajora, R. 1998. Integrated watershed management, a field manual for equitable, productive and sustainable development. Rawat Publication, New Delhi, India, 616 pages.
 24. Roghani, M. 2012. Surveying the mechanical implementation roles in runoff controlling on the watershed, case study in Hydarie Catchment. *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*, 2(7): 11-23 (in Persian).
 25. Saleh pourjam, A., M. Tabatabaei, A. Sarreshtehdari and J. Mosaffaie. 2019. Investigation of drought characteristics in north-west of Iran using Deciles Index. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 10(4): 552-563 (in Persian).
 26. Sadeghi, S.H.R., F. Sharifi, A. Foorootan and M. Rezaei. 2004. Quantitative evaluation of watershed management practices, case study: Keshar sub-watersheds. *Journal of Research and Development*, 65: 96-102 (in Persian).
 27. Sreedevi, T., S. Wani, R. Sudi, M. Patel, T. Jayesh, S. Singh and S. Tushar. 2006. On-site and off-site impact of watershed development, a case study of Rajasamadhiyala, Gujarat, India. *Global Theme on Agro Ecosystems Report No. 20, Patancheru 502 324, Andhra*, 52 pages.