

## بررسی عملکرد اقدامات آبخیزداری در حوزه آبخیز کن - سولقان

- ❖ **گلاله غفاری\***؛ دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- ❖ **حسن احمدی**؛ استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- ❖ **امید بهمنی**؛ استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرمسار.
- ❖ **علی اکبر نظری سامانی**؛ استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

### چکیده

با وجود اینکه بیشتر از ۴۵ سال از عمر اجرای پروژه‌های آبخیزداری در کشور می‌گذرد و روز به روز بودجه‌های اختصاص یافته به این طرح‌ها افزایش می‌یابد، همچنان روند فزاینده فرسایش خاک، نابودی منابع طبیعی و خسارات سرسام‌آور و بسیار دردناک ناشی از آن ادامه دارد که نشان‌دهنده ضعف در عملکرد و شکست طرح‌های حفاظت از منابع طبیعی است. بنابراین در طرح‌های آبخیزداری که عموماً با عوامل بسیار مختلفی سر و کار داشته و بیشتر جنبه مدیریتی طرح‌ها باید قوی دیده شود، ارزیابی می‌تواند جایگاه مناسبی داشته باشد و میزان کارایی و دستیابی به هدف این طرح‌ها را مشخص نماید. حوزه آبخیز کن به مساحت ۲۰۵۷۱ هکتار یکی از حوضه‌هایی است که عملیات آبخیزداری در آن در سال ۱۳۷۹ به اجرا درآمد. در این تحقیق جهت ارزیابی اثرات این عملیات، پس از جمع‌آوری آمار و اطلاعات لازم و بررسی صحت و دقت داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری حوضه از روش‌های منحنی جرم مضاعف، مقایسه هیدروگراف سالانه و آنالیز هیدرولوژیکی، بررسی میزان رسوب در دوره‌های خشک و مرطوب، رسم منحنی سنج رسوب، بررسی میزان رسوب در بارش‌های مشابه قبل و بعد از اجرای طرح و ... استفاده شد. منحنی جرم مضاعف نشان‌دهنده اثر مثبت این عملیات بر میزان رواناب و رسوب بوده است. نتایج حاصل از رسم منحنی رژیم هیدرولوژیک نیز نشان می‌دهد که اثر عملیات آبخیزداری بر واکنش هیدرولوژیک حوضه نسبت به بارندگی مثبت بوده و توانسته است آن را آرام‌تر نماید. یعنی به ازاء بارندگی مشابه در پیش و پس از عملیات آبخیزداری، میزان رواناب تولید شده کاهش یافته است. همچنین میزان بار معلق در اثر اجرای طرح از ۴۷۸۹۲/۵۶ تن در سال به ۲۲۳۶۵ تن در سال رسیده و در بارش‌های مشابه میزان دبی حاصله بعد از اجرای طرح و متعاقب آن رسوب حاصل از آن کاهش داشته است که نشان‌دهنده اثر مثبت این عملیات است.

**واژگان کلیدی:** ارزیابی، حوضه کن، پروژه‌های آبخیزداری، بار رسوب، واکنش هیدرولوژیک.

## ۱. مقدمه

با وجود اینکه بیشتر از ۴۵ سال از عمر اجرای پروژه‌های آبخیزداری در کشور می‌گذرد و روز به روز بودجه‌های اختصاص یافته به این طرح‌ها افزایش می‌یابد، همچنان روند فزاینده فرسایش خاک، نابودی منابع طبیعی و خسارات سرسام‌آور و بسیار دردناک ناشی از آن ادامه دارد که نشان‌دهنده ضعف در عملکرد و شکست طرح‌های حفاظت از منابع طبیعی است. متأسفانه در ایران به دلیل عدم وجود سابقه طولانی در اجرای طرح‌ها، این اقدامات به صورت کمی مورد ارزیابی قرار نگرفته‌اند و روش‌های مشخصی برای این منظور ارائه نشده است [۱]. بنابراین در طرح‌های آبخیزداری که عموماً با عوامل بسیار مختلفی سر و کار داشته و بیشتر جنبه مدیریتی طرح‌ها باید قوی دیده شود، ارزیابی می‌تواند جایگاه مناسبی داشته باشد و میزان کارایی و دستیابی به هدف این طرح‌ها را مشخص نماید [۱۰]. مطالعات چندی در ایران و سایر کشورها در این زمینه انجام شده است که خلاصه‌ای از نتایج آن‌ها در زیر آورده شده است.

در مطالعه‌ای اقدام به بررسی اثر اقدامات آبخیزداری در حوزه آبخیز کشار در تهران شد و از ۴ روش منحنی جرم مضاعف، میانگین متحرک، منحنی تداوم جریان و رژیم هیدرولیکی استفاده و ارزیابی کیفی از طریق پرسشنامه و آزمون کای اسکور انجام شد. نتایج تحقیق کاربرد روش‌های ارزیابی کمی و کیفی را تأیید و بیانگر عملکرد مثبت اقدامات آبخیزداری در کنترل رواناب و رسوب در حوزه آبخیز دارند [۷]. در تحقیقی که یکی از محققین انجام داد دریافت که عملیات آبخیزداری بر مهار آب‌های سطحی تأثیر گذار است [۱۷]. همچنین در مطالعه‌ای دیگر اقدام به ارزیابی و بررسی میزان موفقیت یا شکست عملیات آبخیزداری در حوزه آبخیز کن در استان تهران از طریق بررسی منحنی‌های جرم مضاعف، تداوم جریان، مقایسه هیدروگراف سالانه و آنالیز

هیدرولوژیکی و ... شد. نتایج نشان داد که عملیات آبخیزداری در حوضه عملکرد ضعیفی داشته و نتوانسته تولید رواناب و رسوب را متعادل تر نماید [۱۰]. طی تحقیقی که به ارزیابی اثر عملیات آبخیزداری انجام شده بر روی میزان دبی اوج و حجم سیلاب در حوزه آبخیز سیرا-کلوان در تهران با استفاده از شبیه‌سازی سیلاب از طریق مدل HEC-HMS شد، نتایج حاصل نشان داد که اقدامات بیولوژیک اجرا شده در حوضه، منجر به کاهش متوسط درصد دبی اوج و حجم سیلاب به ترتیب به میزان ۲۹/۹۸ و ۳۰/۲۵ شده است. همچنین اقدامات مکانیکی، متوسط درصد دبی اوج و حجم سیلاب را به ترتیب به میزان ۴۸/۴۲ و ۶۵/۸۶ کاهش داده است [۱۱].

بخش مهندسی حفاظت آب و خاک (SWCE) دانشگاه Pant هندوستان ارزیابی کمی اقدامات آبخیزداری را در حوزه آبخیز Rāmgangā از طریق روش‌های تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی، جرم مضاعف، رژیم هیدرولوژیکی، منحنی‌های تداوم جریان و میانگین متحرک انجام داد و ضمن ارزیابی بسیار موفق انجام این گونه اقدامات در دستیابی به اهداف پیش‌بینی شده، استفاده از روش‌های یاد شده در ارزیابی کمی اقدامات را مؤثر دانستند [۶]. پژوهشگران در تحقیقی مبتنی بر ارزیابی اثر عملیات آبخیزداری اجرایی در هندوستان به این نتیجه دست یافتند که این طرح‌ها باعث تغییر در سطح دسترسی به آب مصرفی جهت آبیاری و آب شرب، افزایش فرصت‌های شغلی، کاهش فرسایش و حفظ آبراهه‌ها و تغییر در میزان تولید محصولات کشاورزی شد [۱۲]. عده‌ای از محققین به بررسی تأثیر عملیات حفاظتی بر رژیم جریان رودخانه‌ها در حوضه‌های فلات لسی چین پرداختند. آنان داده‌های رواناب چهار حوضه در پیش و پس از پروژه را بررسی نمودند. آزمون Mann-Kendall روند کاهشی معنی‌داری را در رواناب سه حوضه پس از اجرای پروژه نشان داد [۱۹]. پژوهشگران ارزیابی عملکرد سیستم‌های منابع طبیعی را ارایه کردند و بیان کردند که چنین سیستم‌هایی بسیار پیچیده بوده و

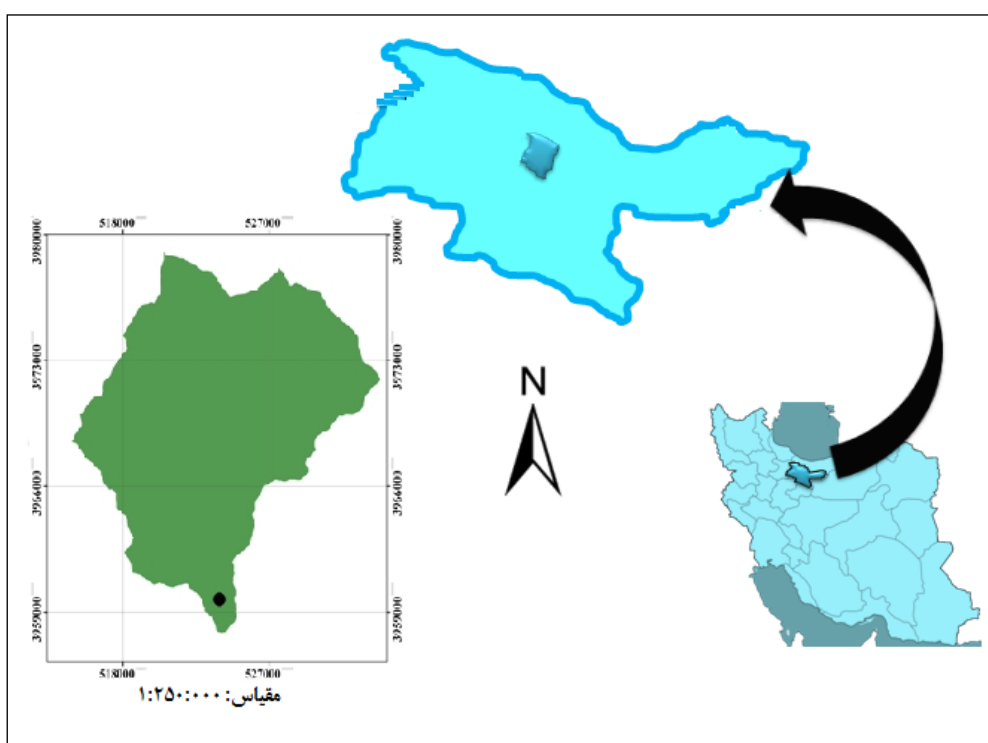
و ۱۰ دقیقه) و (۵۱ درجه و ۲۳ دقیقه) شرقی و عرض‌های جغرافیایی (۳۵ درجه و ۴۶ دقیقه) و (۳۵ درجه و ۵۸ دقیقه) شمالی واقع گردیده است (شکل شماره ۱). ارتفاع متوسط حوضه ۲۴۲۸ متر از سطح دریا، شیب متوسط کل حوضه ۴۳/۴ درصد و مهم‌ترین رودخانه این منطقه کوهستانی رود کن می‌باشد. گستره مورد مطالعه به لحاظ وضعیت زمین‌شناسی در حاشیه جنوبی البرز مرکزی واقع شده است. این منطقه دارای آب و هوای مناطق کوهستانی و مرتفع سرد تا معتدل و متوسط بارندگی سالانه حوضه ۴۱۴/۱۳ میلی‌متر می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه، خاک‌ها عمدتاً بدون تحول پروفیلی و اغلب آنها دارای مواد مادری رسوبی و آذرین هستند. دبی متوسط رودخانه کن بالغ بر ۲/۲ متر مکعب در ثانیه و حجم آب سالانه آن نیز حدود ۷۰ میلیون متر مکعب است.

دارای ابعاد مختلف می‌باشند [۴]. با توجه به مباحث فوق هدف تحقیق مذکور عبارتست از بررسی میزان اثر عملیات آبخیزداری اجرا شده در حوضه آبخیز کن بر میزان رواناب، رسوب، واکنش‌های هیدرولوژیکی حوضه در زمان وقوع بارندگی و ... است و آیا اجرای عملیات آبخیزداری در حوضه کن توانسته اثرات مثبتی داشته باشد یا خیر؟

## ۲. روش شناسی

### ۱.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز کن به مساحت ۲۰۵۷۱ هکتار از جنوب به شهر تهران، از شرق به حوضه درکه، از شمال به حوضه جاجرود و از غرب به حوضه رودخانه کرج ارتباط دارد. این حوضه در حد فاصل طول‌های جغرافیایی (۵۱ درجه



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز کن

## ۲.۲. روش تحقیق

مراحل انجام این تحقیق جهت ارزیابی کمی عملکرد اقدامات آبخیزداری اجرا شده در حوزه آبخیز کن شامل مراحل زیر است که در ادامه هر کدام از مراحل ذیل به-طور مفصل شرح داده خواهد شد.

۱. جمع‌آوری گزارشات پایه، عکس و نقشه‌های مورد نیاز و تهیه آمار ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری کن در دو دوره قبل (۱۳۷۹-۱۳۴۸) و بعد (۱۳۸۶-۱۳۸۰) از اجرای طرح آبخیزداری.

۲. جمع‌آوری اطلاعات پایه و بررسی‌های میدانی: در مرحله جمع‌آوری آمار و اطلاعات پایه و بررسی میزان عملیات پیشنهادی و اجرایی حوضه اقدام به بررسی نوع و حجم عملیات پیشنهاد شده در حوضه مورد مطالعه از طریق بررسی گزارش‌های موجود شد.

۳. تحلیل آمار ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی حوضه: جهت این امر ابتدا آمار ایستگاه هیدرومتری سولقان در خروجی حوضه با ۳۸ سال آمار و ایستگاه‌های هواشناسی مجاور حوضه از سازمان آب منطقه‌ای، مرکز تحقیقات منابع آب (تماب) و سازمان هواشناسی استان تهران جمع‌آوری شد و از نظر همگنی، صحت، دقت و کیفیت مورد بررسی قرار گرفت و جهت رفع نواقص، تکمیل و بازسازی آمار از روش همبستگی، نسبت نرمال و منحنی جرم مضاعف استفاده و پس از اطمینان از صحت و همگنی داده‌ها اقدام به رسم یک سری منحنی و تجزیه و تحلیل شد [۱۴]، که شامل موارد ذیل است:

### ۱.۲.۲. منحنی جرم مضاعف بارش - رواناب و

#### رواناب - رسوب

از آنجایی که از روش جرم مضاعف برای بررسی همگنی داده‌ها استفاده گردیده و در واقع تعیین کننده زمان و میزان تغییرات می‌باشد [۱۶]، از این رو امکان استفاده از آن در تشخیص کمی و زمان اثر تغییرات بوجود آمده در حوزه آبخیز در اثر انجام اقدامات آبخیزداری در صورت ثبات نسبی

سایر عوامل ورودی به سامانه آبخیز ممکن می‌باشد [۵]. خطوط برازش یافته بر نقاط منحنی در قبل و بعد از نقطه شکستگی بیانگر تأثیر مثبت یا منفی اقدامات آبخیزداری می‌باشد. برای استفاده از این روش، آمار روزانه بارندگی و رواناب ایستگاه سولقان در قبل و بعد از اقدامات جمع‌آوری و سپس مقادیر تجمعی بارندگی حوضه در مقابل مقادیر تجمعی رواناب آن در روی محور مختصات منتقل گردید و خط بهینه بر هر یک از قسمت‌های قبل و بعد از اجرای عملیات برازش داده شد. خطوط برازش یافته بر نقاط منحنی در قبل و بعد از نقطه شکستگی بیانگر تأثیر مثبت یا منفی اقدامات آبخیزداری می‌باشد [۷].

### ۲.۲.۲. مقایسه هیدروگراف سالانه و آنالیز هیدرولوژیکی

پس از جداسازی داده‌های میانگین ماهانه رواناب سال‌های پیش و پس از عملیات آبخیزداری، برای هر دو دوره قبل و بعد از عملیات، میانگین رواناب ماه‌های سال محاسبه و هیدروگراف آنها رسم شد. البته این روش تنها یک دید کلی ارائه می‌دهد و برای قضاوت دقیق‌تر، باید بررسی‌های بیشتری صورت گیرد [۱۴]. همچنین داده‌های متغیرهای مورد نظر به میانگین آن‌ها در دوره مورد نظر تقسیم و مقادیر حاصل روی یک نمودار ترسیم شد [۱۰]. این روش در واقع وضعیت خروجی حوزه آبخیز در مقایسه با مقادیر متوسط آن در دراز مدت را ارزیابی می‌کند [۷].

### ۳.۲.۲. تعیین دوره‌های خشک و مرطوب در منطقه

#### و بررسی میزان رسوب در این دوره‌ها

جهت بررسی میزان کاهش یا افزایش رسوب در دوره‌های خشکسالی و ترسالی و تفکیک اثر این دوره‌ها و اثر عملیات اجرایی بر میزان رسوب و اینکه آیا کاهش یا افزایش میزان رسوب بر اثر عملیات آبخیزداری بوده است یا تحت اثر دوره‌های خشکسالی و ترسالی، اقدام به تعیین دوره‌های خشک و مرطوب در منطقه از سه روش میانگین متحرک بارندگی‌های سالانه، درصد از بارش میانگین شاخص بارش استاندارد (SPI) استفاده شد [۲].

۷.۲.۲. برآورد تخریب مخصوص حوضه و

### گل آلودگی رودخانه کن

به منظور برآورد تخریب مخصوص، مقدار رسوب معلق بدست آمده به مساحت حوضه بالا دست ایستگاه تقسیم گردید، همچنین برای محاسبه گل آلودگی رودخانه، کل رسوب معلق سالانه به حجم جریان تقسیم گردید.

### ۳. نتایج

تلفیق نتایج حاصل از بررسی مطالعات پایه، تلفیق و سنتز و مطالعه گزارشات موجود و همچنین گرفتن خلاصه عملکرد پروژه‌های مدیریت آبخیزداری از سازمان جهاد کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران و حضور در حوضه و بررسی نوع و حجم عملیات اجرایی در جدول ۱ آمده است [۹]. بررسی درصد اجرای عملیات نشان می‌دهد که هر کدام از پروژه‌های مکانیکی و بیولوژیکی نسبت به میزان عملیات پیشنهاد شده برای اجرا، مقدار کمی از حجم عملیات پیش‌بینی شده اجرا شده است. به گونه‌ای که بیشتر تمرکز عملیات بر روی عملیات مکانیکی در حوضه بوده است و در اکثر آن‌ها بیشتر از ۷۰ درصد عملیات اجرا شده است. در صورتی که در عملیات بیولوژیکی کمتر از ۲۰ درصد از حجم عملیات پیشنهاد شده در حوضه اجرا شده است و در این زمینه کم‌کاری شده است.

۴.۲.۲. رسم منحنی رواناب - رسوب (سنجه رسوب)

در این مرحله میزان رسوب در دو دوره قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری، با استفاده از منحنی‌های سنجه رسوب به روش‌های یک خطی، دو خطی، حد وسط دسته‌ها و ضریب اصلاحی فائو با بکارگیری آمار دبی روزانه محاسبه شد و از دو پارامتر ضریب کارایی و ضریب تعیین برای بررسی و انتخاب بهترین روش رسم منحنی سنجه رسوب استفاده شد [۳، ۱۳، ۱۹].

۵.۲.۲. بررسی میزان رسوب در بارش‌های مشابه قبل و بعد از اجرای طرح

با استفاده از آمار بارش ایستگاه‌های ثبات بارش‌های مشابه دوره قبل و بعد از اجرای طرح را که باعث ایجاد سیل شده‌اند را در نظر گرفته و با مشخص نمودن دبی آب در آن روز و جایگزینی آن در معادله منحنی سنجه رسوب میزان رسوب را برای دو بارش مشابه بدست آورده و با مقایسه میزان رسوب در دو دوره قبل و بعد از طرح در رابطه با کارایی طرح اظهار نظر شد.

۶.۲.۲. بررسی معنی‌داری تأثیر سازه‌ها بر کاهش رسوب

برای بررسی نقش سازه‌ها در کاهش یا افزایش رسوب قبل و بعد از اجرای پروژه از آزمون t استفاده نمودیم. برای این منظور رسوب سالانه دو دوره ترسالی قبل و بعد از اجرای طرح را، در نظر گرفته و آزمون t را برای این دو دوره با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام دادیم.

جدول ۱. تلفیق نتایج حاصل از بررسی عملیات مکانیکی و بیولوژی و مقایسه نتایج در حوزه آبخیز کن

مقایسه حجم و یا وسعت عملیات مکانیکی پیش‌بینی شده در طرح پیشنهادی و اجرایی						
نوع عملیات	سیل بند (متر مکعب)	خشکه‌چین (متر مکعب)	سنگی گابیونی (متر مکعب)	سنگی ملاتی (متر مکعب)	خاکریزی (متر مکعب)	خاکبرداری (متر مکعب)
درصد اجرا	۱۰۰	۷۳	۷۳	۲۱	۱۰۰	۸۱
مقایسه حجم و یا وسعت عملیات بیولوژی پیش‌بینی شده در طرح پیشنهادی و اجرایی						
نوع عملیات	کپه‌کاری (هکتار)	بذر پاشی (هکتار)	نهاد کاری (هکتار)	کودپاشی (هکتار)	قرق (هکتار)	بذرکاری (هکتار)
درصد اجرا	۱۵	۲۵	۱۵	۱۸	۰	۰

اجرای عملیات آبخیزداری در جدول ۲ ارائه شده است.

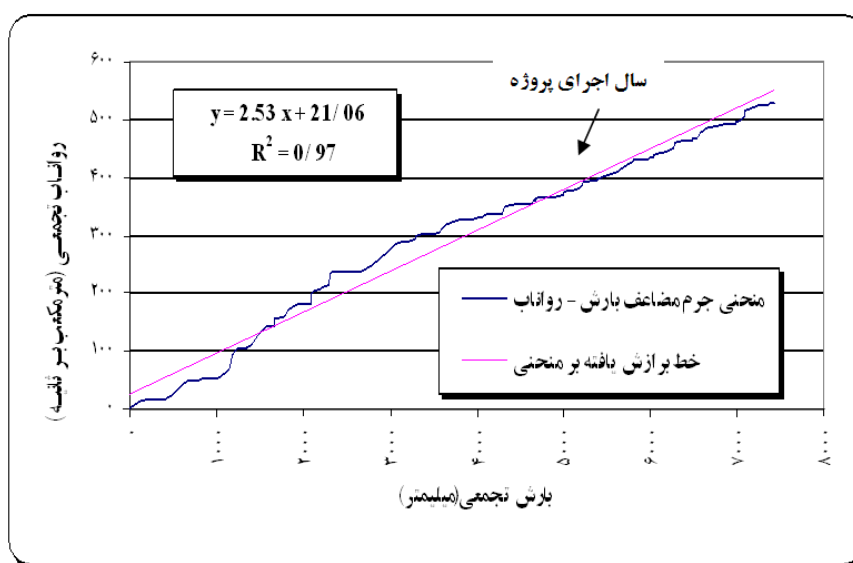
نتایج حاصل از بررسی داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی سولقان در دو دوره قبل و بعد از

جدول ۲. مشخصات آماری ایستگاه سولقان قبل و بعد از اجرای طرح آبخیزداری

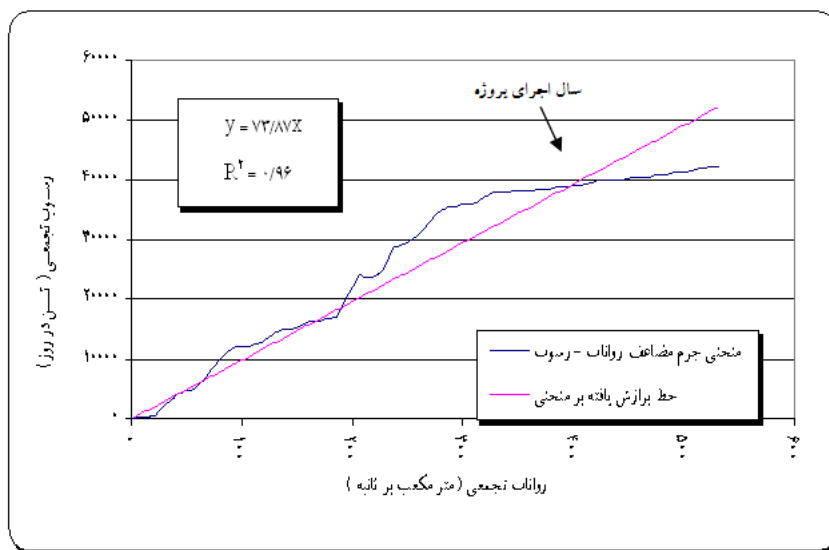
دبی ویژه اوج (متر مکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع)	میزان آبدهی (میلیون متر مکعب)	رواناب سالانه (متر مکعب بر ثانیه)	بارش سالانه (میلی‌متر)	رسوب روزانه (تن در روز)	رواناب روزانه (مترمکعب بر ثانیه)	داده‌ها	زمان
۰/۴۵	۷۹	۲/۴۶	۴۲۹/۶۵	۴۰۰/۴۸	۴/۷۷	میانگین	قبل از
		۱/۰۱	۱۲۳/۴۴	۲۴۴۷/۹	۶/۷	واریانس	اجرای طرح
۰/۳۸	۷۱/۵۳	۲/۴۴	۴۴۷	۱۴۹/۲۲	۴/۰۹	میانگین	بعد از اجرای
		۰/۶۶	۹۸/۱۳	۶۱۳/۸۱	۵/۴۴	واریانس	طرح

رسیده است و متوسط رواناب در ماه‌های اسفند، فروردین، اردیبهشت و بهمن کاهش یافته است. نتایج حاصل از رسم منحنی‌های جرم مضاعف بارش-رواناب، جرم مضاعف رواناب-رسوب و مقایسه هیدروگراف سالانه و آنالیز هیدرولوژیک در شکل‌های ۲ تا ۵ آورده شده است. همچنین نتایج حاصل از بررسی داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی نشان داد که در سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۳ ترسالی، ۱۳۷۴ تا ۱۳۷۹ خشکسالی و سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۵ ترسالی داشته‌ایم که در جدول ۳ آورده شده است.

نتایج حاصل از جدول فوق نشان می‌دهد که بعد از اجرای عملیات آبخیزداری، میانگین رواناب روزانه از ۴/۷۷ به ۴/۰۹ متر مکعب بر ثانیه و واریانس آن از ۶/۷ به ۵/۴۴، میزان رسوب از ۴۰۰/۴۸ به ۱۴۹/۲۲ تن در روز، واریانس آن از ۱۲۳/۴۴ به ۶۱۳/۸۱، متوسط دبی سالانه از ۲/۴۶ به ۲/۴۴ متر مکعب بر ثانیه، دبی ویژه اوج از ۰/۴۵ به ۰/۳۸ متر مکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع، آبدهی سالانه از ۷۹ به ۷۱/۵۳ میلیون متر مکعب در سال و انحراف معیار داده‌های دبی سالانه از ۱/۰۱ به ۰/۶۶



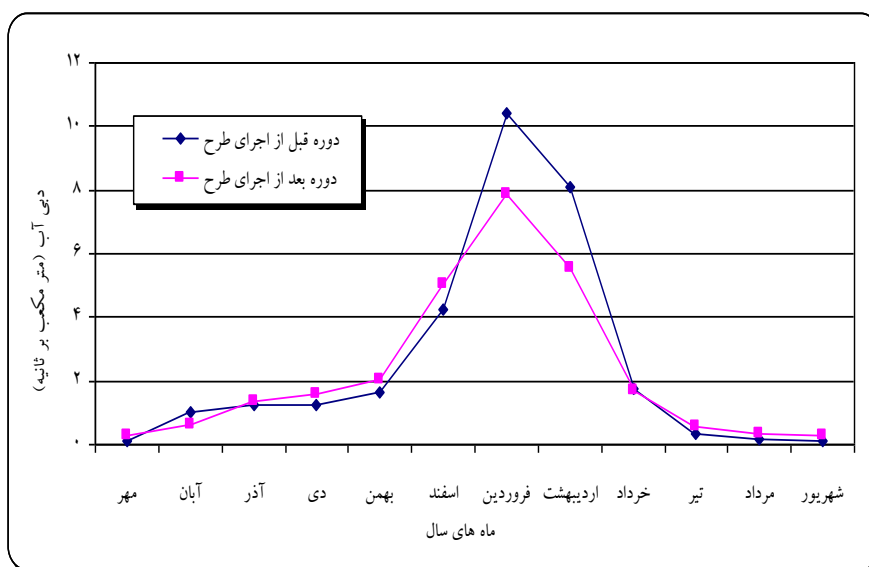
شکل ۲. منحنی جرم مضاعف بارش و رواناب



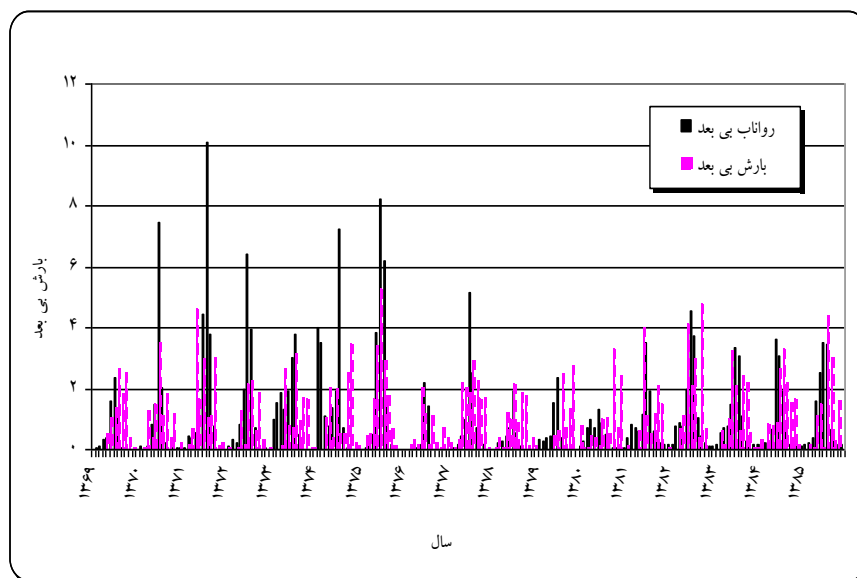
شکل ۳. منحنی جرم مضاعف رواناب - رسوب

همچنین زمان تغییرات نیز با زمان اتمام آن‌ها (سال ۱۳۸۰) تطابق داشته و از طرفی شرایط حاکم بر حوزه آبخیز نیز از ثبات نسبی برخوردار می‌باشد، می‌توان گفت که کاهش شیب پس از اجرای پروژه نشان‌دهنده کاهش رواناب، سیل و رسوب بوده که می‌تواند نشان‌دهنده اثر مثبت عملیات آبخیزداری باشد.

همان‌طور که در شکل‌های ۲ و ۳ مشخص است، در یک نقطه شکستگی واضحی در این نمودارها مشاهده می‌گردد و از آنجایی که شیب خط برازش یافته بر نقاط منحنی در بعد از نقطه شکستگی کمتر از شیب خط برازش یافته بر نقاط منحنی در قبل از این نقطه می‌باشد و با توجه به اینکه مهم‌ترین تغییر بوجود آمده در حوضه طی دوره مورد مطالعه ناشی از اقدامات آبخیزداری بوده و



شکل ۴. مقایسه هیدروگراف سالانه قبل و بعد از پروژه



شکل ۵. مقایسه رژیم هیدرولوژیک قبل و بعد از پروژه

هیدرولوژیک حوضه نسبت به بارندگی مثبت بوده و توانسته است آن را آرام‌تر نماید یعنی به ازاء بارندگی مشابه در پیش و پس از عملیات آبخیزداری، میزان رواناب تولید شده کاهش یافته است.

هیدروگراف سالانه در دوره بعد از اجرای عملیات، پخ‌تر از دوره قبل از اجرای عملیات است که این تا حدودی در اثر کاهش دبی اوج و افزایش دبی پایه بوده است. نتایج حاصل از رسم منحنی رژیم هیدرولوژیک نیز نشان می‌دهد که اثر عملیات آبخیزداری بر واکنش

جدول ۳. نتایج بررسی خشکسالی و ترسالی به روش میانگین متحرک ۵ ساله، درصد از بارش میانگین و شاخص بارندگی استاندارد

شاخص بارندگی استاندارد	درصد از بارش میانگین	میانگین متحرک	سال	شاخص بارندگی استاندارد	درصد از بارش میانگین	میانگین متحرک	سال
خشکسالی	ترسالی	خشکسالی	۱۳۷۸	خشکسالی	ترسالی	ترسالی	۱۳۷۰
خشکسالی	خشکسالی متوسط	خشکسالی	۱۳۷۹	ترسالی	ترسالی	ترسالی	۱۳۷۱
خشکسالی	ترسالی	ترسالی	۱۳۸۰	ترسالی	خشکسالی ضعیف	ترسالی	۱۳۷۲
ترسالی	ترسالی	ترسالی	۱۳۸۱	خشکسالی	ترسالی	ترسالی	۱۳۷۳
ترسالی	ترسالی	ترسالی	۳۸۲	ترسالی	ترسالی	خشکسالی	۱۳۷۴
ترسالی	ترسالی	ترسالی	۱۳۸۳	خشکسالی	ترسالی	خشکسالی	۱۳۷۵
ترسالی	ترسالی	ترسالی	۱۳۸۴	خشکسالی	خشکسالی شدید	خشکسالی	۱۳۷۶
ترسالی	ترسالی	ترسالی	۱۳۸۵	ترسالی	ترسالی	خشکسالی	۱۳۷۷

منطقی انتظار بر این است که میزان رسوب افزایش یابد ولی نتایج حاصل از مطالعات حاکی از کاهش میزان

همچنین با توجه به زمان اجرای طرح در دوره خشکسالی، در دوره ترسالی بعد از اجرای طرح به‌طور



همچنین برای بررسی و انتخاب بهترین روش رسم منحنی سنج رسوب از دو پارامتر ضریب کارایی و ضریب تعیین استفاده شد که روش حد وسط دسته‌ها به عنوان بهترین روش رسم منحنی سنج رسوب انتخاب شد (جدول ۵).

رسوب بعد از دوره اجرای طرح برخلاف انتظار بوده است که دلیل این امر اثر مثبت عملیات آبخیزداری است. نتایج حاصل از رسم منحنی سنج رسوب با روش‌های مختلف با استفاده از آمار دبی روزانه ایستگاه سولقان قبل و بعد از اجرای طرح در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴. نتایج حاصل از رسم منحنی‌های سنج رسوب به روش‌های مختلف با استفاده از آمار دبی روزانه

روش رسم منحنی سنج	قبل از اجرای طرح			بعد از اجرای طرح		
	میزان رسوب (تن در سال)	معادله منحنی سنج رسوب	R	میزان رسوب (تن در سال)	معادله منحنی سنج رسوب	R
حد وسط دسته‌ها	۴۷۸۹۲/۵۶	$Q_S = 5/36 Q_w^{1/92}$	۰/۹۱	۲۲۳۶۵/۰۴	$Q_S = 3/48 Q_w^{1/78}$	۰/۹۲
یک خطی	۱۰۸۶۴/۲۲	$Q_S = 7/18 Q_w^{1/22}$	۰/۸۹	۶۲۳۱/۷۵	$Q_S = 3/08 Q_w^{1/51}$	۰/۸۸
دو خطی	۳۰۲۲۸/۴۹	$Q_S = 5/44 Q_w^{1/03}$	۰/۸۵	۲۵۸۱/۰۸	$Q_S = 2/69 Q_w^{1/16}$	۰/۷۸
		$Q_S = 0/75 Q_w^{2/35}$	۰/۷۲		$Q_S = 0/32 Q_w^{2/67}$	۰/۸۲
فائو	۳۹۶۸۵۴/۳۵	$Q_S = 7/18 Q_w^{1/22}$	۰/۸۹	۹۹۱۷۴/۸۸	$Q_S = 3/08 Q_w^{1/51}$	۰/۸۸

جدول ۵. نتایج حاصل از مقایسه نتایج منحنی‌های سنج رسوب با داده‌های مشاهداتی به روش‌های فوق‌الذکر

روش مورد استفاده	ضریب تعیین ( $R^2$ )	ضریب کارایی (ME)
یک خطی	۰/۸۰	۰/۰۴
دو خطی	۰/۷۲	۰/۴۴
فائو	۰/۸۰	۰/۰۲
حد وسط دسته‌ها	۰/۸۵	۰/۵۵

SPSS انجام شد و این نتیجه حاصل شد که بین رسوب قبل و بعد از اجرای طرح آبخیزداری در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار است. نتایج بررسی میزان رسوب در دوره‌های تر و خشک نشان داد که میزان رسوب در دوره‌های تر افزایش و در دوره‌های خشک کاهش یافته است که نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است.

میزان بار معلق در اثر اجرای طرح از ۴۷۸۹۲/۵۶ تن در سال به ۲۲۳۶۵/۰۴ تن در سال رسیده و در بارش‌های مشابه میزان دبی حاصله بعد از اجرای طرح و متعاقب آن رسوب حاصل از آن کاهش داشته است که نشان‌دهنده اثر مثبت این عملیات است. جهت بررسی معنی‌داری تأثیر سازه‌ها بر کاهش رسوب آزمون t را برای دو دوره ترسالی قبل و بعد از اجرای طرح با استفاده از نرم‌افزار

جدول ۶. مقایسه میزان رسوب در دوره‌های تر قبل و بعد از اجرای طرح ایستگاه سولقان

تفکیک دوره تر در قبل و بعد از اجرا	میزان رسوب (تن در سال)	معادله	R
دوره ترسالی قبل از اجرای طرح	۳۸۶۴۳	$Q_S = 3/93 Q_w^{97/1}$	۰/۸۴
دوره ترسالی بعد از اجرای طرح	۱۳۲۲۸	$Q_S = 3/51 Q_w^{77/1}$	۰/۸۵

نتایج حاصل از بررسی میزان رسوب در بارش‌های مشابه قبل و بعد از اجرای طرح در جدول ۷ ارائه شده است.

نتایج حاصل از برآورد تخریب مخصوص حوضه و گل‌آلودگی رودخانه کن در جدول ۸ ملاحظه می‌شود.

جدول ۷. مقایسه میزان رسوب در بارش‌های مشابه قبل و بعد از اجرای طرح آبخیزداری

میزان بارش (میلی‌متر)	تاریخ وقوع	دبی همزمان قبل طرح (متر مکعب بر ثانیه)	دبی همزمان بعد طرح (متر مکعب بر ثانیه)	رسوب همزمان قبل طرح (تن)	رسوب همزمان بعد طرح (تن)
۸	۱۳۷۴/۱۲/۱۰	۱۴/۸	۱۱	۱۲۶۸	۴۸۲
۱۲	۱۳۷۴/۱۲/۲۴	۱۲/۳۲	۸/۶	۸۶۴	۲۴۱
۱۵	۱۳۷۴/۲/۱۹	۱۹/۶۴	۱۸/۵	۲۲۹۰	۱۲۱۲
۲۲/۵	۱۳۸۰/۱/۱۴	۱۱/۹	۱۰/۵	۸۰۴	۴۵۰
۱۱	۱۳۸۰/۱/۳۱	۱۹/۱۶	۱۵/۴	۱۱۷۵	۷۱۸
۱۴	۱۳۸۰/۱/۸	۸/۴۳	۱۰/۷	۳۹۱	۲۶۳

جدول ۸. نتایج حاصل از برآورد تخریب مخصوص حوضه و گل‌آلودگی رودخانه کن قبل و بعد از اجرای طرح

فاکتور مورد نظر	دوره قبل از اجرای طرح	دوره بعد از اجرای طرح
تخریب مخصوص (تن بر هکتار)	۲/۵۳	۰/۶
گل‌آلودگی (میلی‌گرم بر لیتر)	۶۵۸/۰۴	۱۷۲/۸۶

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

بررسی میزان عملیات اجرا شده در سطح حوضه نشان داد که بیشتر از ۷۰ درصد عملیات مکانیکی پیشنهاد شده در حوضه اجرا شده است در صورتی که کمتر از ۲۰ درصد عملیات بیولوژیکی پیشنهاد شده به اجرا درآمده است که نشان‌دهنده تمرکز عملیات بر روی عملیات مکانیکی در حوضه است. در صورتی که می‌بایست هر دو نوع عملیات پیشنهاد شده در حوضه به صورت یکسان در حوضه به اجرا در می‌آمد که این نشان از ضعف نظارت پروژه در هنگام اجرای پروژه و تا حدودی نقص و کاستی در مطالعات پایه قبل از اجرای طرح آبخیزداری بوده است که این نتایج با نتایج تحقیقات محققان مشابه است [۴].

بررسی نتایج حاصله نشان می‌دهد که بعد از اجرای عملیات آبخیزداری، میانگین رواناب روزانه از ۴/۷۷ به ۴/۰۹ متر مکعب بر ثانیه و واریانس آن از ۶/۷ به ۵/۴۴

رسیده است. همچنین میزان رسوب از ۴۰۰/۴۸ به ۶۱۳/۸۱ تن در روز و واریانس آن از ۱۲۳/۴۴ به ۱۳۳/۸۱ رسیده است که حاکی از اثر مثبت عملیات بر روی پارامتر رواناب و رسوب بوده است. همچنین واریانس این دو عامل بعد از اجرای عملیات کاهش یافته است که نشان‌دهنده یکنواختی بیشتر این پدیده‌ها و نزدیک شدن هر کدام از وقایع به میانگین خود است. متوسط دبی سالانه از ۲/۴۶ به ۲/۴۴ متر مکعب بر ثانیه، دبی ویژه اوج از ۰/۴۵ به ۰/۳۸ متر مکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع، آبدهی سالانه از ۷۹ به ۷۱/۵۳ میلیون متر مکعب در سال و انحراف معیار داده‌های دبی سالانه از ۱/۰۱ به ۰/۶۶ رسیده است و متوسط رواناب در ماه‌های اسفند، فروردین، اردیبهشت و بهمن کاهش یافته است.

همچنین با افزایش میزان بارش در دوره بعد از اجرای عملیات و انتظار افزایش در میزان رواناب سالانه، با کاهش

همچنین زمان تغییرات نیز با زمان اتمام آنها (سال ۱۳۸۰) تطابق داشته و از طرفی شرایط حاکم بر حوزه آبخیز نیز از ثبات نسبی برخوردار می‌باشد، می‌توان گفت که کاهش شیب پس از اجرای پروژه نشان‌دهنده کاهش رواناب، سیل و رسوب بوده که می‌تواند نشان‌دهنده اثر مثبت عملیات آبخیزداری باشد. همچنین هیدروگراف سالانه در دوره بعد از اجرای عملیات، پخ‌تر از دوره قبل از اجرای عملیات است که این تا حدودی در اثر کاهش دبی اوج و افزایش دبی پایه بوده است. نتایج حاصل از رسم منحنی رژیم هیدرولوژیک نیز نشان داد که اثر عملیات آبخیزداری بر واکنش هیدرولوژیک حوضه نسبت به بارندگی مثبت بوده و توانسته است آن را آرام‌تر نماید یعنی به ازاء بارندگی مشابه در پیش و پس از عملیات آبخیزداری، میزان رواناب تولید شده کاهش یافته است که این نتایج مشابه نتایج تحقیقات پژوهشگران [۱۹] می‌باشد. همچنین میزان بار معلق در اثر اجرای طرح از ۴۷۸۹۲/۵۶ تن در سال به ۲۲۳۶۵/۰۴ تن در سال رسیده و در بارش‌های مشابه میزان دبی حاصله بعد از اجرای طرح و متعاقب آن رسوب حاصل از آن کاهش داشته است که نشان‌دهنده اثر مثبت این عملیات است و این نتایج با نتایج تحقیق محققان [۷ و ۱۲] مشابه است.

میزان رواناب در بعد از اجرای عملیات روبه‌رو بوده‌ایم. اختلاف بین مقادیر بارندگی در دو دوره قبل و بعد از اقدامات بر اساس آزمون t انجام شده معنی‌دار نمی‌باشد که این خود دلیل بر ثبات نسبی ورودی به سامانه آبخیز مورد مطالعه است و نشان می‌دهد دامنه تغییرات دبی رواناب در قبل از اقدامات آبخیزداری زیادتر بوده و با انجام اقدامات به تدریج دامنه تغییرات کمتر گردیده است. این موضوع نشان‌دهنده آن است که دبی رواناب تدریجاً به یک حالت پایدار سوق یافته است. مضافاً آنکه تأثیر پذیری دبی از بارندگی در قبل از اقدامات بیشتر بوده ولی بعد از اقدامات این تأثیر پذیری به دلیل شرایط یکنواخت‌تر کمتر شده است. همچنین این اقدامات تداوم وقوع سیل‌های کوچک و نزدیک به مقادیر میانگین را افزایش داده و باعث شده است که داده‌های رواناب توزیع مناسب‌تری پیدا کنند که با نتایج تحقیقات پژوهشگران مشابه می‌باشد [۶، ۷ و ۱۷].

از آنجایی که شیب خط برازش یافته بر منحنی‌های جرم مضاعف بارش - رواناب و جرم مضاعف رواناب - رسوب در بعد از نقطه شکستگی کمتر از شیب خط برازش یافته بر نقاط منحنی در قبل از این نقطه می‌باشد و با توجه به اینکه مهم‌ترین تغییر بوجود آمده در حوضه طی دوره مورد مطالعه ناشی از اقدامات آبخیزداری بوده و

## References

- [1]. Ahmadi, H., Nazari Samani, A., ghoddousi, J., Ekhtesasi, M., (2003). Model for evaluation of watershed management project. *Journal of Natural Resources* 56, 337-349.
- [2]. Azarakhshi, M., (1999). Determine the most appropriate drought index in the arid and semi-arid areas of pasture plants see production case study: the provinces of Qom, Markazi and Ilam, MSc thesis, Tehran University.
- [3]. Bray, D., Xie, H., (1993). A regression method for estimating Suspended sediment yield for untagged watersheds in Atlantic Canada, *Canadian Journal of Engineering*, 20. 82-87.
- [4]. Campbell, B., Sayer, J., Frost, P., Vermeulen, S., Ruiz Pérez, M., Cunningham, A., Prabhu, R., (2001). Assessing the performance of natural resource systems, *conservation Ecology*, 5.22.
- [5]. Das, G., (2000). *Hydrology and Water conservation engineering*, Prentice- Hall of in India Limited Pub, 489pp.

- [6]. Department of soil and Water conservation Engineering, SWCE, G.B.P.U.A and T., (1997). Evaluation of soil and Water conservation measures, 250pp.
- [7]. Forotan, E., (2003). Evaluation of watershed management projects implemented in the part of Kan watershed in Tehran province, MSc thesis, Tarbiat Modarres University, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, 110 pp.
- [8]. Honxiong, Z., (1998). The use of silt traps dams in Zingzi river basin. Trans. ASAE 1064-1069.
- [9]. Jihad Engineering services company, (1999). Studies basis by Kan watershed. 7 vols.
- [10]. Kalhor, M., (2007). Technical and economic evaluation of watershed management projects (case study: Jajrud basin). MSc thesis, Department of Natural Resources, Tehran University, 125 pp.
- [11]. Karimi Zadeh, K., (2009). Technical evaluation of the effects of watershed management projects on the river discharge (Case Study: Sira- Kalvan), MSc thesis, Department of Natural Resources, Tehran University, 98 pp.
- [12]. Kerr, J., Pangare, G., Lokur Pangare, V., George, P.J., (2000). An evaluation of dry land watershed development projects in India. Eptd discussion paper, 68 pp.
- [13]. Krause, P., Boyle, D.P., Base, F., (2005). Comparison of different efficiency criteria for hydrological model Assessment, Advances in Geosciences, 5, 89-97.
- [14]. Mahdavi, M., (1998). Applied Hydrology, Volume I, Tehran University, pp.
- [15]. Mahdavi, M., (2002). Applied Hydrology, Volume II, Tehran University, pp.
- [16]. Mutreja, K. N., (1990). Applied hydrology, TATA Mc Graw-Hill publishing company limited, and 959 pp.
- [17]. Raiisian, R., (2004). Effectiveness of watershed management operations in the inhibition of runoff, the first National Conference on Watershed management and soil and water resources, Kerman University.
- [18]. Water and energy company JTS, (2000). Studies Kan watershed basis, 15 vols.
- [19]. Xingmin, M., and et all, (2007). Analysis of the impact of conservation measures on stream flow regime in catchments of the Loess Plateau, China. Hydrological Processes. 21(16), pp. 2124 – 2134.