**اکوهیدرولوژی**
**دورهٔ ۹، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۱۰۹-۹۷**

# بررسی اثرات احداث سدهای کوچک و تغییرات کاربری اراضی بر فرایندهای هیدرولوژیکی حوضهٔ کردان با استفاده از مدل SWAT

**مجید الطافی دادگر[1*]، جهانگیر پرهمت[2]**

۱. دکتری هیدروژئولوژی، مرکز تحقیقات آب‌های زیرزمینی و ژئوترمال، پژوهشکدهٔ آب و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲. دکتری منابع آب، استاد پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران

(تاریخ دریافت ۰۶/۱۹/ ۱۴۰۰؛ بازنگری ۱۴۰۰/۰۸/۳۰، تاریخ پذیرش ۱۱/۱۱/ ۱۴۰۰)

## چکیده

هدف از این تحقیق، بررسی اثرات عملیات آبخیزداری شامل بندها و سازه‌های آبخیزداری و احیای پوشش گیاهی بر مقدار رواناب تولیدی و چرخهٔ هیدرولوژیکی حوضه است. به این‌منظور، حوضهٔ کردان در شهرستان ساوجبلاغ استان البرز با مساحت ۳۵۷ کیلومترمربع که در بخش‌هایی از آن عملیات یادشده انجام شد و برای بخشی نیز طراحی و پیش‌بینی شده، انتخاب شد. به علاوه، مدل SWAT برای شبیه‌سازی مؤلفه‌های هیدرولوژیکی ماهانه استفاده شد. مدل برای دورهٔ ۱۴ ساله (۱۹۹۸-۲۰۱۲) واسنجی و برای دورهٔ ۴ ساله از اوایل ۲۰۱۳ تا اواخر ۲۰۱۶ مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. ضرایب آماری دورهٔ واسنجی NS=0.88 و $R^2$=0.91 و دورهٔ صحت‌سنجی NS=80 و $R^2$=0.85 بیانگر واسنجی خوب مدل بود. نتایج شبیه‌سازی مدل برای دورهٔ زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۶ نشان داد مجموع رواناب سطحی و جریان جانبی به‌ترتیب ۲۱ و ۱۸ درصد بارش متوسط سالانه و جریان زیرقشری حدود ۲۰ درصد آن بوده است. نتایج اجرای سناریوهای مختلف نشان داد تلفیق سناریوی اجرای عملیات بیولوژیک (احیای مراتع فقیر) و عملیات مکانیکی (ایجاد سازه و مخزن با حجم ۱۰۰ هزار مترمکعب)، بیشترین تأثیر بر کاهش رواناب دارد، به طوری که تقریباً تمامی مقادیر دبی‌های بالا و نیز رواناب سطحی در حوضه حذف می‌شود و به شکل جریان‌های ملایم درمی‌آید. در این شرایط رواناب مستقیم حوضه از ۳۹ درصد بارش به ۱۶ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین، اجرای سازه‌های آبخیزداری به همراه طرح‌های احیای پوشش گیاهی منطقه تأثیر بسزایی در کاهش رواناب سطحی و افزایش مؤلفه‌های جریان زیرقشری خواهد داشت.

**کلمات کلیدی:** کاربری اراضی، مدل SWAT، حوضهٔ کردان، سد کوچک، بیلان هیدرولوژیکی.

* نویسندهٔ مسئول
Email: Dadgarmajid77@yahoo.com

**مقدمه**

کیفیت و کمیت جریان آب ایجادشده به وسیلهٔ یک حوضهٔ آبخیز، شاخصی از مقدار و شدت بارندگی و همچنین، چگونگی مدیریت آن حوضه است. بارش‌های مناسب و در نتیجه، رواناب‌های با دبی لحظه‌ای بالا همان‌قدر که می‌تواند باعث افزایش ذخایر آبی و تأمین پایداری منابع آب باشد، در صورت نبود کنترل می‌تواند موجب مشکلات و خطرات بسیاری باشد. درک فرایندهای ایجاد رواناب جهت پیش‌بینی کمی و کیفی منابع آب اهمیت زیادی دارد [۱]. فرایندهای هیدرولوژیکی و توزیع مکانی آن‌ها غالباً ارتباط مستقیمی با عواملی همچون اقلیم، توپوگرافی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی و همچنین، تغییرات آن‌ها در حوضهٔ آبخیز دارد که به این عوامل می‌توان فعالیت‌های بشری را نیز اضافه کرد [۲]. رویکردهای مدیریت حوضهٔ آبخیز با دیدگاه استفادهٔ بهینه از منابع طبیعی حوضه به‌خصوص آب، خاک و پوشش گیاهی، هم‌زمان با حفظ تعادل و کیفیت محیط زیست، اهمیت بسیار زیادی دارد. لازمهٔ اجرای برنامه‌های عمرانی، اقدامات سازه‌ای و زیست‌سازه‌ای آبخیزداری، تثبیت اراضی و احیای آن‌ها و یا تعیین پتانسیل خطرات ناشی از وقوع سیل با وجود مسائلی همانند تغییرات اقلیمی و وضعیت کاربری اراضی، همگی مستلزم شناخت فرایندهای هیدرولوژیکی است که پیش‌بینی عملکرد آن‌ها تنها با شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه مقدور است [۳].

یکی از خصوصیات اقلیمی مناطق خشک و نیمه‌خشک باران‌هایی با شدت نسبتاً بالا و تداوم اندک است. چنین شرایطی در بیشتر مناطق ایران به‌خصوص مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند استان البرز (حوضهٔ کردان) متداول است. باران‌هایی با خصوصیات یادشده دارای پتانسیل خطر سیلاب‌های ناگهانی هستند [۴] که در مناطق مسکونی، باعث بروز شدیدترین خطرات طبیعی مانند شکل‌گیری رواناب‌هایی با دبی اوج بالا، زمین‌لغزش، انتقال رسوب و آلاینده‌ها، تخریب اموال، سازه‌ها، صدمه به محصولات و اراضی کشاورزی، مرگ دام و طیور و حتی گرفتن جان انسان‌ها شده است [۵]. کشور ایران نیز از این امر جدا نیست و امروزه شاهد بروز وقایع متعدد سیل است. در پایین‌دست حوضهٔ کردان مناطق مسکونی و تجاری مهم، از جمله منطقهٔ کردان و شهرک صنعتی‌ـ دارویی برکت واقع شده است. بنابراین، حوضهٔ یادشده با توجه به خطرات ناشی از سیل، تخریب و فرسایش خاک اهمیت بسیار زیادی دارد. با توجه به اعتبارات قابل توجهی که در حوضه‌ها صرف عملیات آبخیزداری از جمله ساخت بندهای کوچک در آبراهه‌ها برای کنترل سیل و کاهش خسارت‌های آن می‌شود؛ لازم است تأثیر این اقدامات و دستکاری‌ها مانند تغییرات کاربری اراضی در حوضهٔ آبخیز مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. بنابراین، به‌منظور بررسی فرایندهای هیدرولوژیکی و شناخت بهتر آن‌ها در حوضهٔ مطالعاتی، نیاز به تهیهٔ مدل هیدرولوژیکی منطقه است تا ابتدا بتوان تحلیل دقیق‌تری از این فرایندها در منطقه، برای اخذ تصمیمات مدیریتی داشت. سپس، اثرات طرح مدیریت آبخیز در مناطق بالادست و همچنین، بخش‌های مرکزی حوضهٔ کردان، شامل احداث سدهای کوچک با اهداف ذخیره و تأخیر رواناب و نیز، احیای پوشش گیاهی مناطق بالادست، مطالعه شود.

پژوهش حاضر سه هدف اصلی را در حوضهٔ کردان دنبال می‌کند. این سه هدف به شرح زیر است:

۱. تعیین تأثیر بندهای کوچک ذخیره‌ای در زیرحوضه‌های بالادست بر رواناب تجمعی خروجی حوضه
۲. تعیین تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه مانند دبی خروجی
۳. شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه

**پیشینهٔ تحقیق**

بررسی پدیده‌های هیدرولوژیکی در حوضه‌های آبخیز مرتبط با نوع هدف از مطالعه، می‌تواند متفاوت باشد. گاهی هدف ممکن است مقدار بیشینهٔ آب قابل استحصال در کل سال برای مصارف آبیاری و شرب باشد و یا کاهش مقدار دبی اوج رواناب برای کمینه کردن فرسایش خاک، آورد رسوبات و یا افزایش میزان تغذیهٔ آب زیرزمینی باشد. همچنین، ممکن است هدف بررسی اثرات تغییرات کاربری اراضی، احداث بندهای ذخیره‌ای، رسوبگیر و یا تأخیری بر دبی رواناب حوضه باشد. واضح است که بررسی چنین موضوعاتی تنها با شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه مقدور است [۳]. جهت شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی و بررسی اثرات عوامل مختلف بر آن‌ها،

نرم‌افزار SWAT ابزار مناسبی است که می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد [۶]. مدل SWAT، یک مدل هیدرولوژیکی با قابلیت شبیه‌سازی کمی و کیفی است که در مدیریت حوضهٔ آبخیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. از مدل نامبرده برای مدیریت حوضهٔ آبخیز [۷ و ۸] مدل‌سازی فعالیت‌های کشاورزی [۹ و ۱۰] در حوضه‌های آبخیز کوچک و یا احیا شده با پوشش جنگلی [۲، ۱۱ـ ۱۴] بررسی اثر تغییر اقلیمی و کاربری اراضی روی رواناب [۱۵ـ ۱۷] استفاده شده است. همچنین، بررسی و مرور متون علمی نشان می‌دهد احداث سدهای بزرگ با اهداف مختلف دارای اثرات بسیار بزرگ و محسوسی بر فرایندهای هیدرولوژیکی در مقیاس‌های ناحیه‌ای و جهانی هستند که اثرات این‌گونه سدها بر فرایندهای هیدرولوژیکی توسط محققان مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است [۱۸ـ ۲۰]. مطالعاتی نیز تحت عنوان «بررسی اثر بندهای مسدودکننده (Check dams) و تأخیری صورت گرفته که در این مطالعات حجم آب مسدودشده در پشت بند قابل توجه بوده و اثرات آن به صورت یک مخزن بزرگ در انتهای حوضه مورد بررسی قرار گرفته است [۲۱ـ ۲۳]. به طور کلی، نتایج این مطالعات نشان از کارایی و کاربرد مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب، اثرات تغییرات کاربری اراضی، عملیات آبخیزداری، اقلیم، انتقال رسوب و مواد آلاینده در حوضه‌های مطالعاتی داشته است. نتایج مطالعات صورت‌گرفته در سراسر جهان نشان از کارایی و کاربرد مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب، اثرات تغییرات کاربری اراضی، اقلیم، انتقال رسوب و مواد آلاینده در حوضه‌های مطالعاتی داشته است. مطالعهٔ حاضر دارای جنبه‌های مشابه مطالعات به‌روز انجام‌شده در سراسر نقاط جهان است. از جمله وجوه مشترک این مطالعه با مطالعات قبلی، می‌توان به مشترکات روش انجام کار، استفاده از نرم‌افزار SAWT، بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی و بررسی اثر تغییرات پوشش گیاهی بر رواناب حوضه اشاره کرد. با توجه به عدم انجام مطالعه به منظور بررسی و شبیه‌سازی اثر احداث بندهای کوچک مخزنی در زیرحوضه‌های محدوده بر میزان رواناب زیرحوضه‌ها، وجه تمایز اصلی پژوهش حاضر با پژوهش‌های داخلی و خارجی است که تا کنون با این هدف صورت نپذیرفته است.

## مواد و روش‌ها

### منطقهٔ مطالعه‌شده

حوضهٔ آبخیز کردان با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه، ۵۵ دقیقه و ۴۲ ثانیه تا ۳۶ درجه، ۶ دقیقه و ۳۳ ثانیه عرض شمالی و ۵۰ درجه، ۵۰ دقیقه و ۴۰ ثانیه تا ۵۱ درجه، ۵ دقیقه و ۵۵ ثانیه طول شرقی واقع در استان البرز است، که بخشی از حوضهٔ آبخیز رودخانهٔ کرج و در محدودهٔ شهرستان ساوجبلاغ است (شکل ۱). این حوضه با مجموع مساحت حدود ۳۵۷ کیلومترمربع (۳۵۷۰۰ هکتار) با دامنهٔ ارتفاعی بین ۴۱۰۸ و ۱۴۱۰ متر از سطح دریا بوده و رودخانهٔ اصلی این حوضه رودخانهٔ کردان است که آب دائمی و رژیم برفی- بارانی دارد. میزان بارندگی میانگین حوضه ۳۹۸ میلی‌متر در سال است که بیشترین بارش در زمستان و به صورت برف است و کمترین بارش نیز در تابستان رخ می‌دهد. متوسط دمای سالانهٔ حوضه ۱۳ درجهٔ سانتی‌گراد بوده و متوسط حداکثر و حداقل دمای سالانه نیز به‌ترتیب ۳۸ و ۱۰- درجهٔ سانتی‌گراد است.

### توصیف مدل SWAT و واسنجی آن

مدل SWAT[1] مدلی در مقیاس آبخیز بزرگ و یا زیرحوضه است که توسط جف آرنولد برای سرویس تحقیقات کشاورزی آمریکا تهیه شده و از زمان ایجاد آن در اوایل دههٔ ۱۹۹۰، قابلیت‌های آن مدام در حال توسعه است [۶]. SWAT ابزار مناسبی برای شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی، کیفیت آب، فرسایش خاک، تولیدات زراعی، مدیریت مرتع و اثرات تغییر اقلیم است [۲۴]. در مدل SWAT فرایندهای هیدرولوژیکی بر اساس معادله بیلان (معادلهٔ ۱) شبیه‌سازی می‌شوند:

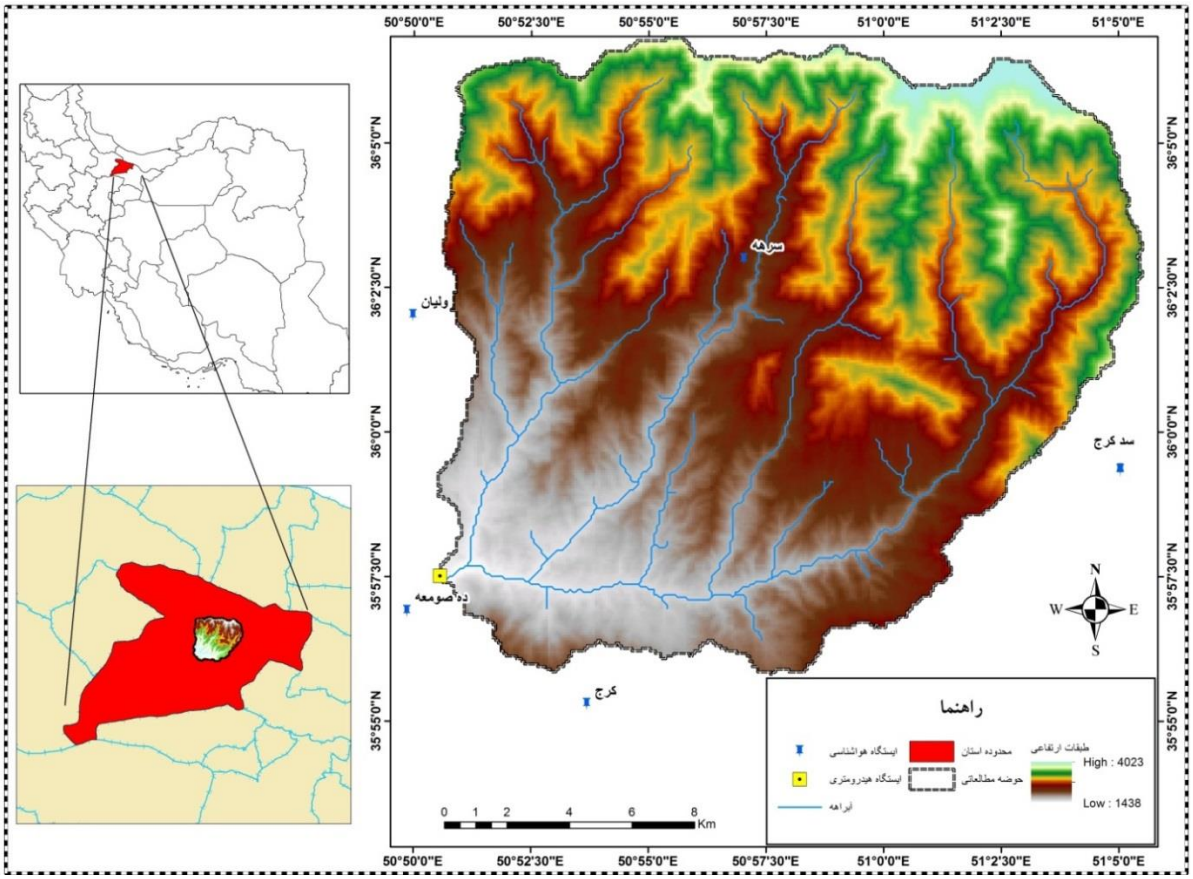
$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^{t}\left(R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}\right) \qquad (۱)$$

که در آن $SW_t$ حجم آب نهایی خاک (میلی‌متر)، $SW_0$ حجم اولیهٔ آب خاک در روز i (میلی‌متر)، t زمان (روز)، $R_{day}$ مقدار بارندگی در روز (میلی‌متر)، $Q_{surf}$ مقدار جریان سطحی در روز (میلی‌متر)، $E_a$ مقدار تبخیر و تعرق در روز (میلی‌متر)، $w_{seep}$ مقدار نفوذ عمقی از محدودهٔ ریشه در روز i (میلی‌متر) و $Q_{gw}$ مقدار جریان زیرزمینی در روز i (میلی‌متر) است.

1. Soil Water Assessment Tools

در مدل SWAT یک حوضهٔ آبخیز ممکن است به دو یا چند زیرحوضه تقسیم شود. تقسیم حوضه به زیرحوضه‌ها به‌خصوص وقتی سودمند است که مناطق مختلفی از حوضه به وسیلهٔ کاربری‌ها و خاک‌های مختلف احاطه شده باشد. به علاوه، زیرحوضه‌بندی این امکان را به کاربر می‌دهد که هر یک از زیرحوضه‌ها را جداگانه تعریف و مشخص کند، طوری که در هر زیرحوضه واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی (HRU)[1] برمبنای ترکیب داده‌های شیب، کاربری اراضی و خاک حاصل می‌شود [۲۵].

از نرم‌افزار SWAT-CUP برای تحلیل حساسیت، واسنجی، عدم قطعیت و صحت‌سنجی مدل SWAT استفاده شد [۲۶]. به این‌منظور، الگوریتم برازش متوالی عدم قطعیت‌ها (SUFI-2)[2] در نرم‌افزار یادشده مورد استفاده قرار گرفت که بر مبنای کارایی مناسب این الگوریتم در مطالعات انجام‌شده است [۲۷].




**شکل ۱. موقعیت حوضهٔ مطالعاتی در تقسیمات استانی، دامنهٔ ارتفاعات و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری حوضهٔ کردان**

معیارهای آماری مانند ضریب نش-ساتکلیف (NSE)[3] و ضریب تعیین ($R^2$) برای بررسی و ارزیابی کیفیت واسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت (معادلات ۲ و ۳).

$$R^2 = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^{n} (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} (O_i - \bar{O})^2} \right] \qquad (۲)$$

$$E_{NS} = 1.0 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^{N} (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{N} \left( O_i - \bar{O} \right)^2} \right] \qquad (۳)$$

که در روابط یادشده $O_i$ مقدار اندازه‌گیری‌شده، $P_i$ مقدار شبیه‌سازی‌شده، $\bar{O}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری‌شده و n تعداد مشاهدات است.

### داده‌های ورودی و ساخت مدل

لایهٔ ورودی اطلاعات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر

1. Hydrological Response Unit
2. Sequential Uncertainty Fitting version 2
3. Nash–Sutcliffe

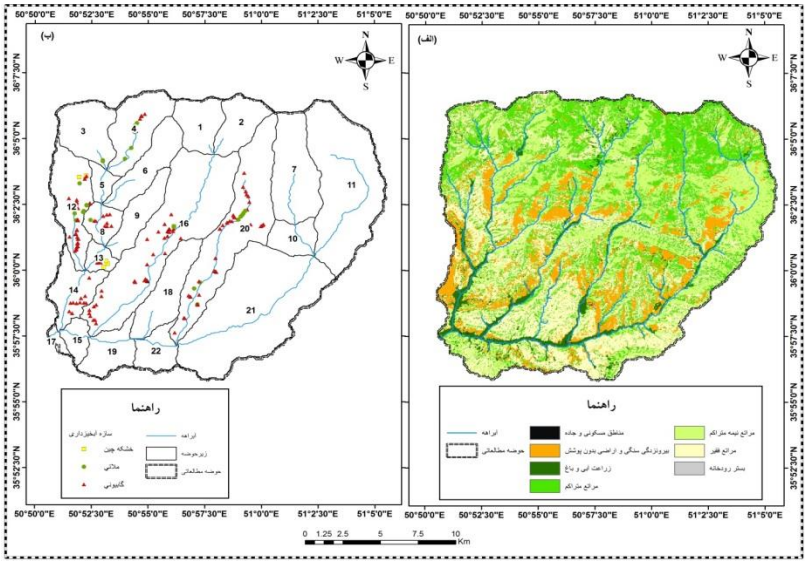
ماهوارهٔ لندست استخراج شد. به این‌منظور، از لایه‌های اطلاعاتی ماهوارهٔ لندست ۸ مربوط به اکتبر ۲۰۱۶ برای تهیهٔ نقشهٔ کاربری اراضی استفاده شد. پس از تهیهٔ نقشهٔ کاربری اراضی، این نقشه مطابق با تقسیمات سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) تقسیم‌بندی و کدگذاری شد تا به عنوان لایهٔ ورودی کاربری اراضی به مدل SWAT وارد شود. برای تهیهٔ نقشهٔ خاک منطقهٔ مطالعاتی ابتدا با استفاده از نقشهٔ حاصل از مطالعات قابلیت اراضی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ که توسط ادارهٔ کل منابع طبیعی استان البرز انجام تهیه شده و همچنین، بر اساس اطلاعات خاک و تشریح پروفیل‌ها از مطالعات خاک آغشت [۲۸]، مطالعات خاک تالیان [۲۹] و مطالعات خاک برغان [۳۰] استخراج شد. برای تهیهٔ اطلاعات لایهٔ هواشناسی شامل بارندگی، دما و تبخیر در منطقهٔ مطالعه‌شده، کلیهٔ ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه انتخاب شد و داده‌های ورودی هواشناسی طی یک دورهٔ آماری ۱۸ سالهٔ میلادی از ژانویه ۱۹۹۸ تا دسامبر ۲۰۱۶ (دی ۱۳۷۶ تا بهمن ۱۳۹۴) استفاده شد. همچنین، از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک منطقه (ایستگاه سینوپتیک کرج) برای بازسازی نواقص داده‌ها استفاده شد. اطلاعات ایستگاه‌های آب‌سنجی ده صومعه کردان در خروجی حوضه با پایه زمانی مشترک با سایر اطلاعات هواشناسی، به عنوان داده‌های مشاهده‌ای مدل‌سازی رواناب مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱).

اطلاعات موقعیت و خصوصیات بندهای تأخیری و مخازن بر اساس گزارش مطالعات آبخیزداری آغشت (بخشی از محدودهٔ غربی منطقهٔ مطالعه‌شده) استخراج شد که تعداد ۱۸۴ سازه شامل سازهٔ سنگ و ملاتی، گابیون، دیوار خشکه‌چین با حجم قابل ذخیره حدود ۴۰ هزار متر مکعب اجرا شده است. در مدل SWAT برای شبیه‌سازی اثر مخازن آب و بندهای تأخیری بر فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه، چند ابزار وجود دارد که می‌توان به چالاب (pothole)، تالاب (wetland)، حوضچه های ذخیره (pond) و مخازن (reservoir) اشاره کرد.

در این مطالعه از گزینهٔ حوضچهٔ ذخیره (pond) به سبب وجود بندهای ذخیره‌ای کوچک و گابیونی برای شبیه‌سازی اثرات ذخیرهٔ آب استفاده شد. با توجه به اینکه مدل SWAT یک مدل نیمه‌توزیعی است، بنابراین امکان تعریف تمامی سازه‌ها به‌صورت مجزا نیست، بنابراین حجم ذخیرهٔ تمامی سازه‌های موجود در هر زیرحوضه با هم جمع شده و به عنوان یک مخزن یکپارچه در انتهای هر زیرحوضه تعریف شده است. برای محاسبهٔ مساحت سطح مخزن یکپارچه‌شده در هر زیرحوضه از رابطهٔ ارائه‌شده در متون علمی استفاده شد [۲۱].

$$V = 39.306 \times A^{0.712} \qquad (۴)$$

در رابطهٔ یادشده V حجم مخزن (۱۰ هزار مترمکعب) و A سطح مخزن (هکتار) است.




**شکل ۲. نقشهٔ کاربری اراضی تهیه‌شده از تصاویر ماهوارهٔ لندست ۸ (الف) و موقعیت سازه‌های آبخیزداری اجراشده در زیرحوضه‌های محدودهٔ مطالعاتی (ب)**

**سناریوهای پیش‌بینی تأثیرپذیری حوضه از تغییرات**

با توجه به رخداد سیل‌های ناگهانی در سال‌های اخیر در حوضهٔ مطالعه‌شده و صدمات مالی سنگین به تأسیسات و اراضی شهرک‌های صنعتی پایین‌دست، سناریوهای تعریف‌شده در این مطالعه به بررسی اثر احداث بندها در مسیر آبراهه‌ها و همچنین، احیای پوشش گیاهی (اثرات کاربری اراضی) منطقه بر دبی خروجی حوضه پرداخته است. به این‌منظور، چهار حالت در نظر گرفته شد. در سناریوی اول نتایج اجرای مدل در حالت بدون در نظر گرفتن عملیات آبخیزداری اجراشده در بخش‌های غربی منطقه با حالت عکس آن، یعنی وارد کردن ذخایر و بندهای کوچک اجراشده بر رواناب تجمعی حوضه طی یک دورهٔ ۱۸ ساله، مقایسه شد. در سناریوی دوم به بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر نرخ دبی خروجی از حوضه پرداخته شد. با توجه به اینکه کاربری اراضی طی زمان در منطقه تغییر کرده و از طرفی، مطالعات اجرایی طرح‌های آبخیزداری در حوضه شامل قرق، کپه‌کاری و میانکاری و غیره برای احیای مراتع حوضه صورت گرفته است، بنابراین در این سناریو با فرض تغییرات و احیای اراضی با مرتع فقیر به اراضی مرتعی متراکم، اثرات تغییر کاربری اراضی بر فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه مورد بررسی قرار گرفت. در سناریوی سوم در مناطق شرقی و جنوبی حوضه تعدادی سازه با احجام مشابه با سازه‌های اجراشده در بخش غربی منطقه (درمجموع ۶۰ هزار مترمکعب)، در نظر گرفته شد تا اثر احداث سازه‌های آبخیزداری در کل حوضه بررسی شود. در نهایت، یک سناریوی تلفیقی برای بررسی اثرات هم‌زمان تغییرات کاربری اراضی با اجرای سازه‌های آبخیزداری تعریف شد.

## یافته‌ها

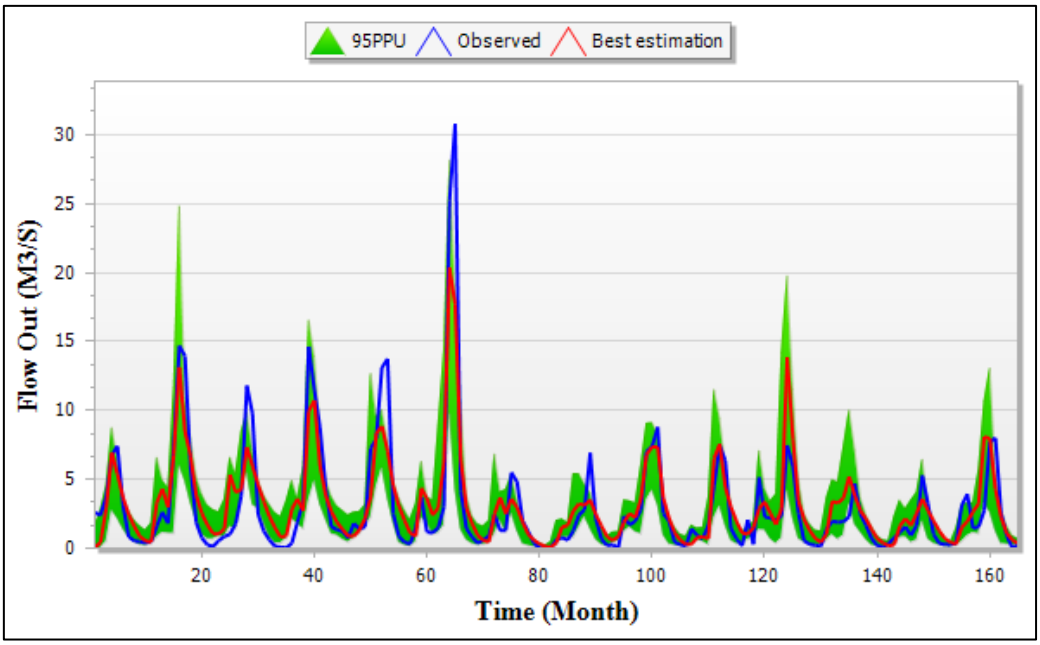
**واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAT**

دورهٔ واسنجی مدل یک دورهٔ ۱۴ ساله از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۲ در نظر گرفته شد. در اجرای اولیه مدل اختلاف زیادی بین متغیرهای متناظر مشاهداتی و محاسباتی (میزان جریان آب در ایستگاه هیدرومتری) وجود داشت. بنابراین، ۱۹ پارامتر در نرم‌افزار SUFI2 مورد واسنجی قرار گرفت و دامنهٔ تغییرات پارامترها در سطح حوضه استخراج شد (جدول ۱).

برای بررسی نتایج واسنجی نمودار تغییرات دبی مشاهداتی در ایستگاه ده صومعه با مقدار واسنجی‌شده مقایسه شد. شکل ۳ نمودار مقایسهٔ متغیرهای یادشده را نشان می‌دهد. با توجه به شکل یادشده، مدل برازش مناسبی با مقادیر مشاهداتی در دورهٔ ۱۴ ساله واسنجی داشته است (۳ سال دورهٔ گرم کردن). به طوری که در سال‌های خشک و ترسالی که مقادیر دبی تغییرات زیادی داشته، مدل توان شبیه‌سازی نوسانات دبی را از خود نشان داده است.

**جدول ۱. مقادیر کمینه و بیشینهٔ پارامترهای ورودی به مدل و مقادیر نهایی آن‌ها**

| فرایند | پارامتر | دامنهٔ اولیهٔ پارامتر | | مقدار برازش‌شده در کل حوضه |
|---|---|---|---|---|
| | | کمینه | بیشینه | |
| | R__CN2.mgt* | -0.7081 | 0.1023 | -0.0314 |
| آب سطحی | V__CH_K2.rte | 2.3351 | 80.2428 | 77.5160 |
| | V__CH_N2.rte | 0.4912 | 0.5085 | 0.4931 |
| | V__ALPHA_BF.gw** | 0.0652 | 0.0664 | 0.0653 |
| | V__GW_DELAY.gw | 0.6300 | 250.7002 | 31.8888 |
| آب زیرزمینی | V__GWQMN.gw | 2.4080 | 2.4103 | 2.4095 |
| | V__GW_REVAP.gw | 0.1358 | 0.1578 | 0.1418 |
| | V__GW_SPYLD.gw | 0.0000 | 0.2000 | 0.1170 |
| | R__SOL_AWC(..).sol | -0.0604 | -0.0601 | -0.0602 |
| خاک | R__SOL_BD(..).sol | -0.2569 | -0.2509 | -0.2538 |
| | R__SOL_K(..).sol | -0.5591 | -0.1362 | -0.2779 |
| | V__ESCO.hru | 1.0221 | 1.0478 | 1.0387 |
| واحد هیدرولوژیک | V__CANMX.hru | -31.3608 | 56.3608 | -15.1323 |
| | R__OV_N.hru | -0.0808 | -0.0296 | -0.0319 |
| | V__SMTMP.bsn | 8.3647 | 15.9751 | 13.7301 |
| | V__SFTMP.bsn | 3.4606 | 9.9858 | 6.2338 |
| حوضهٔ آبخیز | R__TIMP.bsn | 0.2330 | 0.5068 | 0.3877 |
| | V__SMFMX.bsn | 7.2737 | 14.4267 | 13.8187 |
| | V__SMFMN.bsn | 0.9793 | 5.6916 | 5.5738 |




**شکل ۳. نمودار دبی جریان مشاهداتی و محاسباتی خروجی حوضه در دورهٔ واسنجی (۱۹۹۸ـ ۲۰۱۲)**

پس از واسنجی، مدل برای مدت ۴ سال با داده‌های متفاوت از دورهٔ واسنجی یعنی از اول سال ۲۰۱۳ تا اواخر ۲۰۱۶ اجرا و بهینه بودن پارامترها مورد بررسی قرار گرفت. طی این دورهٔ ۴ ساله، عملیات اجرایی بندها و مخازن تأخیری و ذخیره‌ای در بخش غربی حوضهٔ مورد مطالعه اجرا شده‌اند، بنابراین اطلاعات آن‌ها از سال ۲۰۱۴ وارد مدل شده است. سپس طی دورهٔ ۴ ساله، دو سال اول آن دوره شرایط مانند دورهٔ واسنجی بوده و دو سال آخر آن بخشی از حوضه تحت تأثیر عملیات اجرایی جدید آبخیزداری قرار گرفته است. پس از اجرای مدل برای این دوره، دو سال ابتدایی دارای انطباق بسیار مناسبی با مقادیر مشاهده شده بود، اما در دو سال آخر آن منحنی جریان شبیه‌سازی‌شده از مشاهده شده برآورد بیشتری داشت که در نتیجه، اضافه شدن پارامترهای مربوط به تعریف لایهٔ حوضچهٔ ذخیره (pnd.) بود. در این مرحله پارامترهای حاصل از دورهٔ واسنجی ثابت در نظر گرفته شد و تنها پارامترهای لایهٔ حوضچهٔ ذخیره تغییر داده شد. برای بررسی و ارزیابی بیشتر دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی مدل، پارامترهای آماری شامل ضرایب NS، $R^2$ و SSQR استخراج شد، که نتایج در جدول ۲ ارائه شده است. در صورتی که NS بیش از ۰/۷۵ باشد ارزیابی مدل عالی بوده و اگر بین ۰/۷۵ تا ۰/۳۵ باشد، رضایت‌بخش است [۳۱]. با توجه به نتایج این جدول، ارزیابی دورهٔ واسنجی و صحت‌سنجی مدل براساس معیارهای آماری بیانگر واسنجی مناسب مدل است. در نهایت، مقادیر پارامترهای بهینه‌شده از نرم‌افزار SUFI2 استخراج شد تا به مدل SWAT وارد شود.

**جدول ۲. نتایج ارزیابی آماری اجرای مدل در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی**

| مرحله اجرای مدل | P_Factor | R_Factor | $R^2$ | NS | SSQR |
|---|---|---|---|---|---|
| واسنجی | 0.75 | 0.81 | 0.91 | 0.88 | 1.20 |
| صحت‌سنجی | 0.56 | 1.39 | 0.85 | 0.80 | 2.2 |

**سناریوی اول**

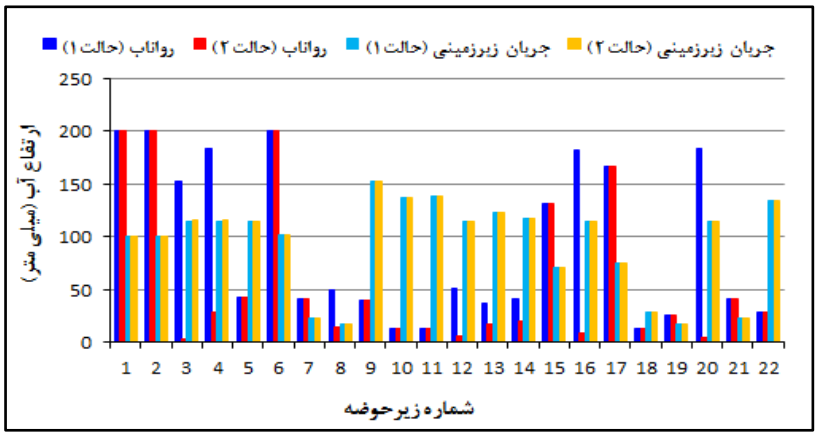
مقایسهٔ جریان خروجی کل از حوضه برای سناریوی اول در دو حالت شامل حالت اول به عنوان شرایط قبل از اجرای طرح و حالت دوم اول به عنوان شرایط بعد از اجرای طرح، بررسی که نتایج در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج بررسی این سناریو نشان داد عملیات اجرایی انجام‌شده در برخی زیرحوضه‌های منطقهٔ مطالعه‌شده با حجم حدود ۴۰ هزار متر مکعب اگر چه تأثیر چندانی روی کل جریان

خروجی حوضه (رواناب سطحی و جریان پایه) در مقیاس زمانی ماهانه و سالانه نداشته، اما بر مؤلفهٔ رواناب سطحی حوضه اثر قابل توجهی داشته است. نتایج مقایسهٔ جریان کل خروجی حوضه در دو حالت یادشده و بررسی میانگین سالانه هر دو حالت نشان داد اثر عملیات اجراشدهٔ کنونی بر جریان خروجی کل حوضه حدود ۰/۰۶ درصد کل جریان است (اثر ناچیز)، در حالی که این اثر بر رواناب سطحی کل حوضه حدود ۳۶ درصد به دست آمده است (جدول ۳).

در مرحلهٔ بعد نتایج مقایسهٔ رواناب سطحی و جریان زیرزمینی در دو حالت سناریوی اول به تفکیک زیرحوضه‌ها، مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به شکل ۴ مشخص است که در زیرحوضه‌هایی که عملیات مکانیکی اجرا شده، مقدار رواناب سطحی کاهش بسیار چشمگیری در خروجی زیرحوضهٔ مربوطه داشته است. همچنین، مقدار جریان زیرقشری یا آب زیرزمینی افزایش اندکی داشته است. درخور یادآوری است که زیرحوضه‌هایی که عملیات مکانیکی در آن‌ها اجرا شده است با اعداد ۳، ۴، ۸، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۶ و ۲۰ روی شکل ۴ مشخص شده‌اند. در نتایج مدل مقدار جریان در هر دو حالت سناریوی اول یکسان بود، اما مقدار رواناب سطحی که به آبراههٔ اصلی در خروجی حوضه می‌پیوندد تفاوت چشمگیری وجود دارد. این موضوع بیانگر آن است که به‌رغم عدم اثر قابل توجه این سازه‌ها بر جریان کل خروجی حوضه، سازه‌های موجود اثر به‌سزایی بر کاهش رواناب سطحی هر زیرحوضه داشته‌اند. در واقع، بخشی از آب انسدادیافته در سازه‌ها بر اثر نفوذ به جریان زیرقشری تبدیل و با تأخیر به خروجی حوضه می‌رسد. بنابراین، جریان کل که آبدهی کل حوضه را نشان می‌دهد، تغییرات زیادی از خود نشان نداده است.

**جدول ۳. مقایسهٔ جریان خروجی کل از حوضه در دو حالت سناریوی اول**

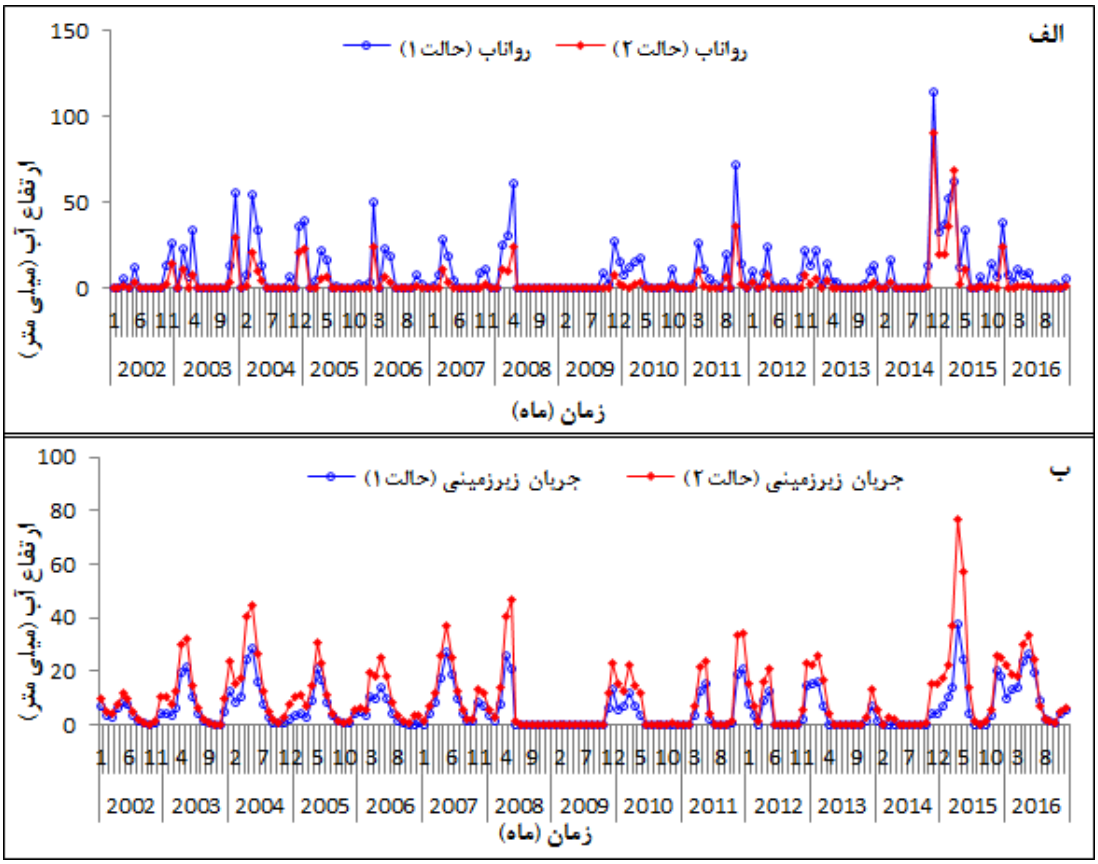
| سال | جریان خروجی کل (مترمکعب در ثانیه) | | تفاوت |
|---|---|---|---|
| | حالت اول (قبل از اجرای طرح) | حالت دوم (بعد از اجرای طرح) | |
| 2002 | 2.889 | 2.886 | 0.003 |
| 2003 | 4.952 | 4.949 | 0.003 |
| 2004 | 3.631 | 3.628 | 0.003 |
| 2005 | 3.439 | 3.436 | 0.003 |
| 2006 | 3.805 | 3.802 | 0.003 |
| 2007 | 4.258 | 4.255 | 0.003 |
| 2008 | 1.768 | 1.768 | 0 |
| 2009 | 2.742 | 2.742 | 0 |
| 2010 | 3.482 | 3.482 | 0 |
| 2011 | 2.686 | 2.684 | 0.002 |
| 2012 | 2.612 | 2.61 | 0.002 |
| 2013 | 3.198 | 3.196 | 0.002 |
| 2014 | 2.024 | 2.022 | 0.002 |
| 2015 | 2.58 | 2.578 | 0.002 |
| 2016 | 3.514 | 3.514 | 0 |
| میانگین | 3.172 | 3.17 | 0.0019 |



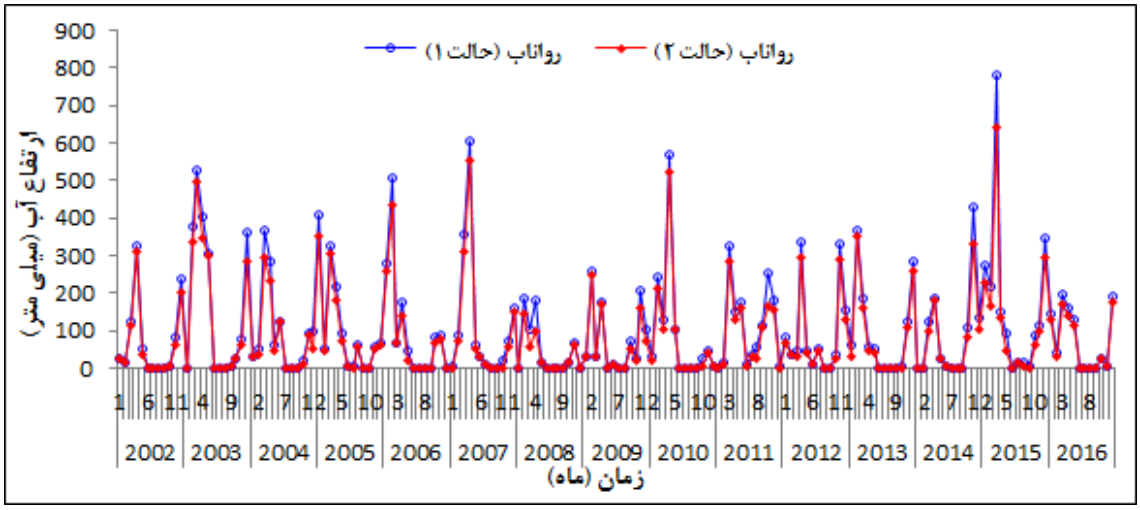

**شکل ۴. مقایسهٔ جریان سطحی و زیرزمینی در دو حالت سناریوی اول**

**سناریوی دوم**

با توجه به اینکه طرح‌های آبخیزداری در حوضه علاوه بر مخازن چندمنظوره شامل قرق، کپه‌کاری و میان‌کاری و سایر عملیات بیولوژیکی و مکانیکی برای احیای حوضه و به‌خصوص مراتع آن صورت گرفته است، بنابراین در این سناریو با فرض تغییرات و احیای اراضی با تبدیل مراتع فقیر به اراضی با مراتع متراکم، اثرات تغییر کاربری اراضی بر فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه مورد بررسی قرار گرفت. در حالت اول فرض شد که اراضی بدون پوشش و برون‌زدها، به اراضی با پوشش نیمه‌متراکم تبدیل شود. نتایج اجرای این سناریو نشان داد با توجه به اینکه غالب مناطق بدون پوشش در زیرحوضهٔ ۱۵ قرار گرفته است، بنابراین تغییرات مؤلفه‌های بیلان در زیرحوضه‌های دیگر تغییراتی نداشت و فقط در زیرحوضهٔ ۱۵ باعث افزایش جریان کل زیرحوضه شد. همچنین، این موضوع باعث افزایش جریان کل خروجی از حوضه نیز شد. دلیل این موضوع تنها می‌تواند ناشی از افزایش نفوذ و بالا رفتن میزان جریان پایه باشد که در نهایت، منجر به افزایش جریان کل در منطقه شده است. بررسی اثر این سناریو بر تولید رواناب آب حوضه نیز نشان داد رواناب تولیدی زیرحوضهٔ ۱۵ به طور قابل توجهی کاهش یافته است (شکل ۵ الف). این موضوع بیانگر آن است که تغییرات پوشش گیاهی باعث افزایش زمان تمرکز حوضه شده است. همچنین، مطابق انتظار مقدار جریان زیرقشری در خروجی حوضه به صورت دبی پایه نیز افزایش داشته است (شکل ۵ ب). در حالت دوم این سناریو، فرض شد که ۵۰ درصد اراضی دارای پوشش نیمه‌متراکم در اثر اجرای عملیات آبخیزداری احیا شود و به پوشش گیاهی متراکم مرتعی تبدیل شود. اثر اجرای این سناریو بر رواناب سطحی خروجی از حوضه در شکل ۶ ارائه شده است. نتایج این سناریو نشان داد رواناب سطحی ماهانه به‌طور متوسط ۲۳ درصد کاهش داشته، به علاوهٔ اینکه درصد کاهش رواناب در دبی‌های زیاد، بیش از دبی‌های کم بوده است.




**شکل ۵. الف) مقایسهٔ رواناب سطحی؛ ب) مقایسهٔ جریان زیرقشری در زیرحوضهٔ ۱۵ در حالت اول و دوم سناریوی دوم (تبدیل اراضی بدون پوشش به پوشش نیمه‌متراکم)**



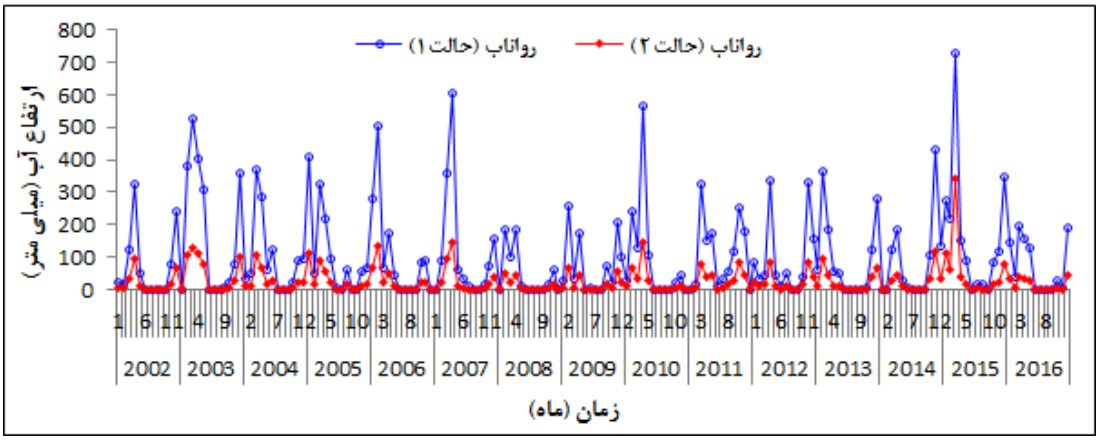

**شکل ۶. مقایسهٔ رواناب خروجی حوضه در حالت دوم سناریوی دوم (تبدیل ۵۰ درصد اراضی با پوشش نیمه‌متراکم به پوشش متراکم)**

**سناریوی سوم**

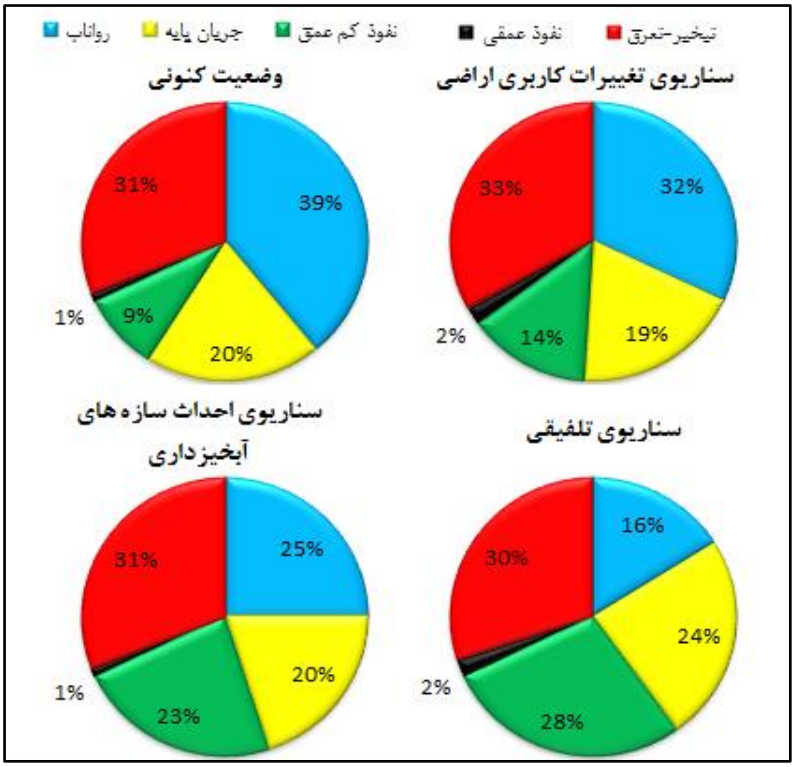
در این سناریو در مناطق شرقی و جنوبی حوضه تعدادی سازه با حجم مخزن ۶۰ هزار مترمکعب در نظر گرفته شد که با حجم مخزن سازه‌های اجرا شده، درمجموع ۱۰۰ هزار متر مکعب برای مدل تعریف شد. نتایج این سناریو روی مقدار رواناب سطحی خروجی از حوضه، قابل ملاحظه بوده و از تمامی سناریوها اثر بیشتری روی رواناب سطحی حوضه داشته است (شکل ۷). در این سناریو نیز همانند نتایج سناریوی اول، اثرات مخازن بر مقدار جریان کل خروجی از حوضه ناچیز بوده است. نتایج حاصل از این سناریو نشان داد مهم‌ترین تأثیر ایجاد سازه‌های آبخیزداری به طور قابل ملاحظه‌ای بر کاهش دبی اوج رواناب سطحی است. با وجود این، از طرف دیگر بر اثر افزایش نفوذ آب به جریان‌های زیرزمینی باعث افزایش تغذیه این مؤلفه بیلان شده و در نتیجه، دبی کل خروجی از حوضه تغییر چندانی نکرده است.

**سناریوی چهارم**

در این سناریو تأثیر ترکیبی سناریوهای دوم و سوم مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن نشان داد تقریباً تمامی مقادیر زیاد دبی‌های اوج رواناب سطحی ماهانه در حالت تلفیق سناریوی تغییرات کاربری اراضی با اجرای سازه‌های آبخیزداری حذف شده است. در شکل ۸ مؤلفه‌های بیلان هیدرولوژیکی حوضه طی دورهٔ شبیه‌سازی برای سناریوهای چهارگانه ارائه شده است. با توجه به شکل ۸ بیشترین مقدار رواناب سطحی و جریان جانبی حوضه در حالت کنونی منطقه است و کمترین مقدار آن در حالت تلفیق سناریوی دوم و سوم یعنی تغییرات پوشش گیاهی نیمه‌متراکم به مرتع متراکم و اجرای سازه‌های آبخیزداری حاصل می‌شود.




**شکل ۷. مقایسهٔ رواناب سطحی خروجی حوضه در سناریوی سوم با حالت معمولی**




**شکل ۸. مقایسهٔ مؤلفه‌های بیلان هیدرولوژیکی حوضه در سناریوهای مختلف شامل: شرایط کنونی، تغییرات پوشش مرتعی نیمه‌متراکم به متراکم، ایجاد سازه‌های آبخیزداری و تلفیق حالت‌های دوم و سوم**

## بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی حوضهٔ کردان به منظور بررسی تأثیر عملیات مختلف آبخیزداری شامل سازه‌های ذخیره‌ای و بندهای تأخیری آبخیزداری و نیز عملیات بیولوژیکی آبخیزداری در حوضه روی رواناب خروجی آن با استفاده از مدل SAWT مورد بررسی قرار گرفت. از مدل واسنجی‌شده به‌منظور شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی حوضهٔ مطالعه‌شده در یک دورهٔ آماری ۱۸ ساله استفاده شد. نتایج نشان داد طی دورهٔ میزان جریان سطحی خروجی از حوضه که از مجموع رواناب سطحی (۲۱ درصد) و جریان جانبی (۱۸ درصد) حاصل می‌شود، رقم قابل توجهی است که در سیلاب‌های با دبی اوج بالا می‌تواند تهدید جدی برای مناطق پایین‌دست حوضه باشد. نتایج حاصل از اجرای سناریوها نشان داد در سناریوی اول با بررسی میانگین سالانهٔ جریان کل خروجی از حوضه، اثر عملیات اجرا شده بر جریان خروجی کل حوضه باعث کاهش ناچیز جریان کل بوده است، اما این اثر بر رواناب سطحی حوضه حدود ۳۶ درصد بوده که این مقدار در حد بالایی دامنهٔ مقادیر (از ۰/۲ درصد تا ۳۶ درصد) مطالعات انجام‌شده مشابه در سراسر جهان است [۳]. بررسی مؤلفه‌های بیلان هیدرولوژیکی در حوضه برای سناریوهای مختلف نشان داد بیشترین مقدار رواناب سطحی و جریان جانبی حوضه در حالت فعلی منطقه (وضع موجود) و کمترین مقدار آن در حالت تلفیق سناریوی دوم و سوم که شامل ایجاد سازه‌های آبخیزداری و عملیات احیای پوشش گیاهی بوده است. همچنین، مقدار نفوذ عمقی در سناریوهای تغییرات کاربری اراضی بیشتر بوده که بیانگر القای نفوذ آب به داخل خاک بر اثر کاهش سرعت آن در سطح توسط گیاه است [۱۵]. بررسی اثر عملیات مکانیکی طرح‌های آبخیزداری بر رواناب خروجی از حوضه، نشان با وجود کاهش رواناب سطحی ولی اجرای این مخازن اثر معناداری بر کاهش جریان کل خروجی (جریان رواناب و پایه) نداشته که این موضوع ناشی از افزایش تغذیه جریان زیرقشری است. بنابراین، با اجرای چنین عملیاتی، آبدهی حوضه از دیدگاه پایداری منابع آبی می‌تواند باعث افزایش جریان‌های زیرقشری و توأم با آن کاهش تلفات آب شود.

نتایج این مطالعه در بخش بررسی اثر احیای مراتع

فقط در جهت تغییرات مدیریت اراضی از مرتع نیمه‌متراکم یا بدون پوشش به مراتع متراکم بوده است و در صورت نیاز به افزایش بهره‌وری بیشتر کاربری اراضی منطقه، مانند تغییر مراتع به پوشش درختان دیم و غیره، نیاز به بررسی گزینهٔ مدیریتی مرتبط با این نوع تغییرات است. همچنین، پیشنهاد می شود در صورت بررسی گزینه‌های مدیریتی دیگر در حوضه، اثر تغییرات اقلیمی و آورد رسوب در حوضه نیز مورد بررسی قرار گیرد.

## منابع


[1]. Uhlenbrook S. Catchment hydrology—a science in which all processes are preferential. Hydrological Processes. 2006;20(16):3581-5.

[2]. Meaurio M, Zabaleta A, Uriarte JA, Srinivasan R, Antigüedad I. Evaluation of SWAT models performance to simulate streamflow spatial origin. The case of a small forested watershed. Journal of Hydrology. 2015;525:326-34.

[3]. Habets F, Molénat J, Carluer N, Douez O, Leenhardt D. The cumulative impacts of small reservoirs on hydrology: A review. Science of The Total Environment. 2018;643:850-67.

[4]. Valdes-Abellan J, Pardo Picazo MÁ, Tenza-Abril AJ. Observed precipitation trend changes in the western Mediterranean region. 2017.

[5]. Boithias L, Sauvage S, Lenica A, Roux H, Abbaspour KC, Larnier K, et al. Simulating Flash Floods at Hourly Time-Step Using the SWAT Model. Water. 2017;9(12):929.

[6]. Arnold JG, Srinivasan R, Muttiah RS, Williams JR. LARGE AREA HYDROLOGIC MODELING AND ASSESSMENT PART I: MODEL DEVELOPMENT1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association. 1998;34(1):73-89.

[7]. Santhi C, Arnold JG, Williams JR, Dugas WA, Srinivasan R, Hauck LM. VALIDATION OF THE SWAT MODEL ON A LARGE RWER BASIN WITH POINT AND NONPOINT SOURCES1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association. 2001;37(5):1169-88.

[8]. Tuppad P, Kannan N, Srinivasan R, Rossi CG, Arnold JG. Simulation of Agricultural Management Alternatives for Watershed Protection. Water Resources Management. 2010;24(12):3115-44.

[9].Van Liew MW, Arnold JG, Garbrecht JD. HYDROLOGIC SIMULATION ON AGRICULTURAL WATERSHEDS: CHOOSING BETWEEN TWO MODELS. Transactions of the ASAE. 2003;46(6):1539-51.

[10]. Srinivasan R, Zhang X, Arnold J. SWAT Ungauged: Hydrological Budget and Crop Yield Predictions in the Upper Mississippi River Basin. Transactions of the ASABE. 2010:Medium: X; Size: p. 1533-46.

[11]. Veith TL, Sharpley AN, Weld JL, Gburek WJ. COMPARISON OF MEASURED AND SIMULATED PHOSPHORUS LOSSES WITH INDEXED SITE VULNERABILITY. Transactions of the ASAE. 2005;48(2):557-65.

[12]. Behera S, Panda RK. Evaluation of management alternatives for an agricultural watershed in a sub-humid subtropical region using a physical process based model. Agriculture, Ecosystems & Environment. 2006;113(1):62-72.

[13]. Parajuli PB. Assessing sensitivity of hydrologic responses to climate change from forested watershed in Mississippi. Hydrological Processes. 2010;24(26):3785-97.

[14]. Zhou G, Wei X, Wu Y, Liu S, Huang Y, Yan J, et al. Quantifying the hydrological responses to climate change in an intact forested small watershed in Southern China. Global Change Biology. 2011;17(12):3736-46.

[15]. Tamm O, Maasikamäe S, Padari A, Tamm T. Modelling the effects of land use and climate change on the water resources in the eastern Baltic Sea region using the SWAT model. CATENA. 2018;167:78-89.

[16]. Shahoei, Porhemmat J, Sedghi, Hosseini M, Saremi M. Daily runoff simulation in Ravansar Sanjabi basin, Kermanshah, Iran, using remote sensing through SRM model and comparison to SWAT model. APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH. 2017;15:1843-62.

[17]. Shafiei Motlagh K, Porhemmat J, Sedghi H, Hosseini M. Application of swat model in assessing the impact of land use change in runoff of Maroon river in Iran. Applied Ecology and Environmental Research. 2018;16:5481-502.

[18]. Biemans H, Haddeland I, Kabat P, Ludwig F, Hutjes RWA, Heinke J, et al. Impact of reservoirs on river discharge and irrigation water supply during the 20th century. Water Resources Research. 2011;47(3.(

[19]. Chao BF, Wu YH, Li YS. Impact of Artificial Reservoir Water Impoundment on Global Sea Level. Science. 2008;320(5873):212-4.

[20]. Zhou T, Nijssen B, Gao H, Lettenmaier DP. The Contribution of Reservoirs to Global Land Surface Water Storage Variations. Journal of Hydrometeorology. 2016;17(1):309-25.

[21]. Li E, Mu X, Zhao G, Gao P, Sun W. Effects of check dams on runoff and sediment load in a semi-arid river basin of the Yellow River. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. 2017;31(7):1791-803.

[22]. Norman LM, Niraula R. Model analysis of check dam impacts on long-term sediment and water budgets in Southeast Arizona, USA. Ecohydrology & Hydrobiology. 2016;16(3):125-37.

[23]. Azarakhshi M, Rostami Khalaj M. Assessment of Land Suitability Impacts on Runoff Values using SWAT Model (Case Study: Karde Watershed). Iranian journal of Ecohydrology. 2019;6(1):65-76.

[24]. Kang MS, Park SW, Lee JJ, Yoo KH. Applying SWAT for TMDL programs to a small watershed containing rice paddy fields. Agricultural Water Management. 2006;79(1):72-92.

[25]. Winchell M, Srinivasan R, Di Luzio M, Arnold J. ArcSWAT Interface for SWAT 2012. User's Guide. Blackland Research and Extension Center; 2013.

[26]. Abbaspour KC. SWAT-CUP 2012: SWAT Calibration and Uncertainty Programs—A User Manual. Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology; 2014.

[27]. Rostamian R, Jaleh A, Afyuni M, Mousavi SF, Heidarpour M, Jalalian A, et al. Application of a SWAT model for estimating runoff and sediment in two mountainous basins in central Iran. Hydrological Sciences Journal. 2008;53(5):977-88.

[28]. Sazeh-Ab-Shafagh Consultancy Engineering Company. Comperehensive - Executive Studies of Aghasht Watershed of Savojbolagh. Alborz Province: 2016[Persian.[

[29]. Soil Conservation and Watershed Management Institute. Comperehensive - Executive Studies of Talian Watershed of Savojbolagh. Alborz Province: 2018[Persian.[

[30]. Sabz-AndishPayesh Consultancy Engineering Company. Comperehensive - Executive Studies of Baraghan Watershed of Savojbolagh. Alborz Province: 2018[Persian.[

[31]. Xu ZX, Pang JP, Liu CM, Li JY. Assessment of runoff and sediment yield in the Miyun Reservoir catchment by using SWAT model. Hydrological Processes. 2009;23(25):3619-30.