

## "Research Paper"

# Evaluation of Runoff and Sediment Changes under the Influence of Irrigation Water Reduction using SWAT Model (Study area: Dez River Irrigation and Drainage Network)

Abbas Bakhtiarifar<sup>1</sup>, Mohammad Albaji<sup>2</sup>, Mona Golabi<sup>3</sup>, Saeed Broumandnash<sup>4</sup> and Ali Shahnazari<sup>5</sup>

- 1- Ph.D. Student of irrigation and drainage, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
- 2- Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, (Corresponding author: m.albaji@scu.ac.ir)
- 3- Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
- 4- Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
- 5- Professor of Water Engineering Department, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

Received: 1 September, 2022 Accepted: 20 December, 2022

### Extended Abstract

**Introduction and Objective:** In recent years, the use of SWAT model has been used as a common tool for simulating flow rate, sediment production and evaluating different scenarios to reduce sediment production and runoff. The current research also aims to evaluate the changes in runoff and sediment under the influence of irrigation water reduction, using the SWAT model in the irrigation and drainage network of Dez River.

**Material and Methods:** Recalibration and validation of the model for simulating runoff (Shoshtar, Arab Asad, Shavor Bridge, Harmeleh and Bamdej stations) and sedimentation (Shoshtar, Shavor Bridge, Harmaleh and Bamdezh stations) using statistical data from 1995 to 2012 and 2013 It was done until 2017. The simulation results were also evaluated using R2 and NSE coefficients. Then the scenarios of 10, 20 and 30% reduction of irrigation water were introduced to the model to evaluate their effect on runoff and sedimentation of the study area.

**Results:** The results of model evaluation using R2 and NSE coefficients indicate the appropriate performance of the model in simulating the mentioned parameters. The results of the evaluation of scenarios of 10, 20 and 30 percent reduction of irrigation water show that applying the 10 percent scenario had the least impact on the amount of sedimentation. On the other hand, applying the scenario of 30% reduction of irrigation water will increase the runoff (30-60%) due to the reduction of the collection of runoffs for irrigation purposes and consequently the increase of the amount of sediment (20-50%) in the irrigation and drainage network of Dez River. The obtained results indicate that the increase in the amount of runoff in the basin, especially in the rainy season, has caused an increase in erosion and consequently an increase in sediment in the basin. Therefore, it can be stated that the time of applying the scenario and the characteristics of the soil in the area are the most effective components on the amount of runoff and sediment in the basin.

**Conclusion:** According to the results obtained, according to the effect of runoff on erosion and the amount of sediment in a watershed, it is necessary to use methods to control and reduce runoff, such as watershed operations, structures to contain and store runoff, and use modern irrigation methods to prevent soil erosion. Because traditional irrigation methods, in addition to water losses, cause a decrease in soil fertility and an increase in sediment in the drains of agricultural lands. In lands that are irrigated by traditional methods, sometimes the amount of water used is more than the infiltration capacity of the soil. This causes erosion of the surface layer of the soil by the runoff from water accumulation. Therefore, agricultural management approaches in basins prone to soil erosion should be focused on modern irrigation methods with minimum runoff and drainage output.

**Keywords:** Erosion, Hydrological Process, Management Scenario, Simulation, Water Resources



از پساب برای مصارف کشاورزی ارائه نموده است. علاوه بر بارندگی که عامل اصلی وقوع رواناب و بالتبع آن فرسایش و تولید رسوب می‌باشد، در حال حاضر بخش کشاورزی حدود ۷۰ درصد از منابع آب شیرین را مصرف می‌کند (Zarei, Gorkhodi et al., 2022). یکی از دلایل بروز این امر استفاده از روش‌های سنتی آبیاری می‌باشد. این روش‌ها علاوه بر کاهش میزان بهره‌وری آب، به علت حجم بالای تلفات آب موجب بروز رواناب و به تبع آن فرسایش خاک در اراضی کشاورزی می‌شوند. از این رو استفاده از شیوه‌های جدید مدیریت آبیاری نظیر کاهش آب آبیاری با استفاده روش‌های مختلف، علاوه بر کاهش مصرف آب و افزایش راندمان می‌تواند منجر به کاهش وقوع رواناب و فرسایش خاک نیز شود (Morgan et al., 2011). در زمینه برآورد رواناب و رسوب موجود در یک حوضه مطالعات گسترده‌ای صورت گرفته است در اکثر این پژوهش‌ها تأثیر پارامترهای مختلفی نظیر جریان ورودی، کاربری اراضی، تغییر اقلیم و غیره مورد بررسی قرار گرفته است. اما تاکنون به صورت بسیار محدود تأثیر تغییر میزان آب آبیاری بر روی این پارامترها مورد ارزیابی قرار گرفته است.

لذا در این مطالعه جنبه نوآوری پژوهش به صورت هدف این پژوهش یعنی ارزیابی تغییرات رواناب و رسوب تحت تأثیر کاهش آب آبیاری با استفاده از مدل SWAT معرفی شده است. پژوهش‌های بسیاری با استفاده از مدل SWAT صورت گرفته است که کارایی این مدل را در برآورد پاسخ هیدرولوژیک حوضه نشان می‌دهد. بنابراین در این پژوهش نیز برای دستیابی به اهداف پژوهش از این مدل استفاده شده است.

## مواد و روش

### منطقه مورد مطالعه

شبهه آبیاری و زهکشی رودخانه دز واقع در شمال استان خوزستان، با وسعت ۱۲۵۰۰۰ هکتار و سطح خالص ۹۳۷۵۰ هکتار از بزرگ‌ترین شبکه‌های ایران است؛ که در آن از تکنیک‌ها و روش‌های پیشرفته برای آبیاری و زهکشی اراضی استفاده می‌شود. آب مورد نیاز این طرح از رودخانه دز تأمین شده و برای کنترل، مهار و تنظیم جریان آب آن اقدام به ساخت سدهای مخزنی، تنظیمی و انحرافی بر روی این رودخانه شده است.

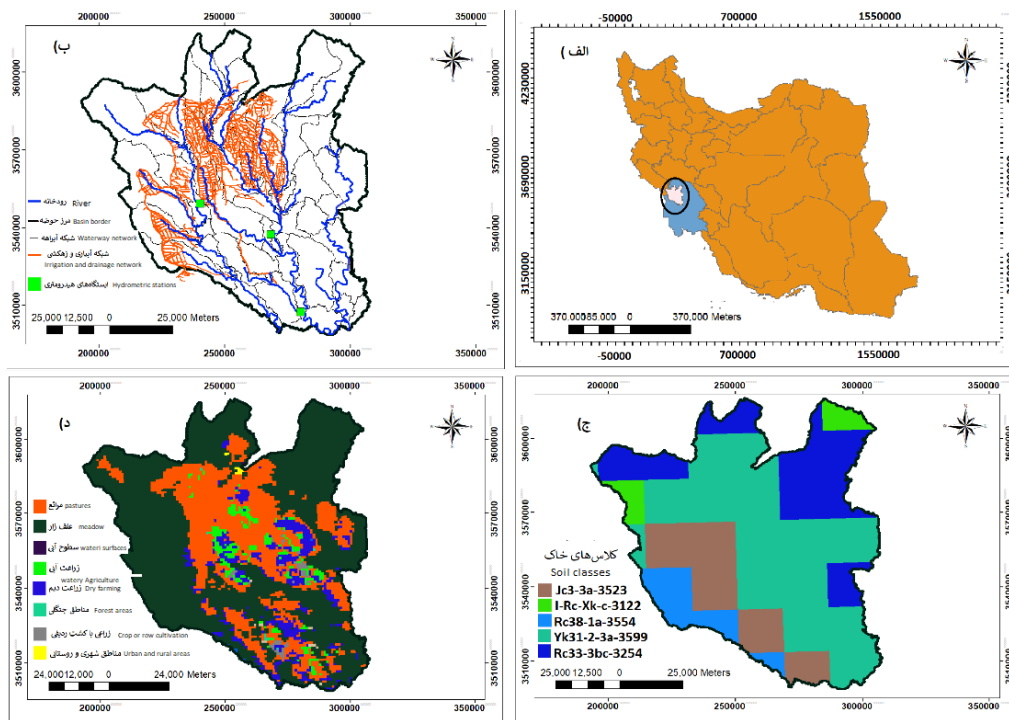
در شکل (۱) موقعیت محدوده مطالعاتی نشان داده شده است. وجود سه رودخانه دز، کرخه و شاور باعث گردید این منطقه یکی از پرآب‌ترین مناطق ایران محسوب می‌شود، متوسط میزان بارندگی ۳۵۰ میلی‌متر می‌باشد. کیفیت اراضی از نظر کشاورزی در حد مطلوب می‌باشد، غالب خاک منطقه از نوع رسی و در کلاس ۱ و ۲ و ۳ طبقه‌بندی می‌شود اراضی منطقه نسبتاً هموار و متوسط شیب طبیعی آن‌ها حدود یک متر برای هر کیلومتر در جهت شمالی جنوبی می‌باشد.

مدل‌های زیادی برای شرح و پیش‌بینی فرایندهای هیدرولوژیک حوضه آبخیز پیشنهاد شده که از نظر اهداف و مقیاس زمانی و مکانی، بسیار متفاوت‌اند. مدل SWAT یک مدل جامع در زمینه مطالعات آب‌و‌خاک است که می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های کلان برای اراضی وسیعی مورد استفاده قرار گیرد. توانایی این مدل در شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی پیچیده حوضه‌های آبخیز در محیط GIS این مدل را نسبت به مدل‌های یکپارچه که در آن‌ها واحدهای مکانی بزرگ‌تر مبنای عمل هستند، متمایز ساخته است. این مدل در مقیاس‌های زمانی روزانه و ساعتی قابل اجرا بوده و از قابلیت شبیه‌سازی تمام مؤلفه‌های بیلان آب برخوردار می‌باشد (Zare Garizi et al., 2016). تحقیقات بسیار زیادی در استفاده از این مدل در نقاط مختلف دنیا با اهداف متنوع انجام شده است که در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود

عباس‌پور و همکاران از مدل برای شبیه‌سازی فرایندهای مؤثر بر کیفیت آب، رسوب و چرخه غذایی در کشور سوئیس استفاده کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که استفاده از این مدل برای مدیریت حوضه آبخیز مؤثر بوده و برای تحلیل سناریوهای مختلف می‌توان از این مدل استفاده کرد (Abbaspour et al., 2011). زو و همکاران تأثیرات تغییرات اقلیم و کاربری اراضی را بر روی رواناب و رسوب حوضه آبخیز رودخانه ونگف‌چوان در کشور چین را با استفاده از مدل SWAT مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها حاکی از کاهش رواناب و رسوب سالانه در این حوضه در نتیجه تغییرات بارندگی و درجه حرارت و تغییرات کاربری اراضی می‌باشد و این کاهش رواناب و رسوب در منطقه بالادست رودخانه به مراتب بیش‌تر از پایین‌دست می‌باشد (Zuo et al., 2011).

کومار و همکاران بیلان آب در حوضه آبریز رودخانه هند را با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی کردند که نتایج بیلان برآورد شده ۴۴/۶ درصد از بارش سالانه را به تبخیر- ترقق اختصاص داده است و سهم رواناب و نفوذ به آبخوان عمیق به ترتیب ۳۴/۷ درصد و ۱۹/۵ درصد بود (Kumar et al., 2017). ابراهیمی و همکاران با توجه به آمار رواناب چهار ایستگاه آبسنجی موجود در حوضه آبریز نکا و با استفاده از مدل SWAT و الگوریتم SUFI2، رواناب این محدوده را واسنجی و اعتبارسنجی کردند و نتایج واسنجی حاکی از مقادیر ۰/۶۲ تا ۰/۷۶ برای ضریب NSE است که نشان‌دهنده مناسب بودن این مدل در شبیه‌سازی رواناب محدوده مورد مطالعه می‌باشد (Ebrahimi et al., 2017).

زارعی قورخودی و همکاران به شبیه‌سازی پارامترهای رواناب، رسوب در حوضه آبریز رودخانه تجن با استفاده از مدل SWAT پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که مدل توانایی مناسبی در ارزیابی پارامترهای کمی و کیفی، فرایندهای هیدرودینامیکی و سناریوهای مدیریتی به‌منظور استفاده مجدد



شکل ۱- الف: موقعیت محدوده مطالعاتی در کشور و استان خوزستان، ب: جانیایی، ایستگاه‌های هیدرومتری و شبکه آبیاری و زهکشی در حوضه مطالعاتی، ج: نقشه خاک حوضه مطالعاتی، د: نقشه کاربری اراضی حوضه مطالعاتی

Figure 1. A: Location of the study area in the country and Khuzestan province, B: Location, hydrometric stations and irrigation and drainage ditches in the study basin, C: Soil map of the study basin, D: Land use map of the study basin

### مدل SWAT

مدلی است که به‌طور هم‌زمان قادر به شبیه‌سازی کمیت و کیفیت آب و رشد محصول است. از عوامل مؤثر بر انتخاب مدل SWAT این است که این مدل، یک مدل پیوسته زمانی و قابلیت اجرا در گام‌های زمانی روزانه در سطح حوضه آبریز را دارا می‌باشد. در این مدل علاوه بر شبیه‌سازی فرآیندهای مربوط به هیدرولوژی امکان تعریف سناریوهای مدیریتی نیز وجود دارد (Nouri et al., 2016). این مدل از معادلات بیلان برای توصیف رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی استفاده می‌نماید و داده‌هایی مانند اقلیم، خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و پوشش اراضی در حوضه آبریز دریافت می‌کند. در این مدل، غیرهمگنی مکانی در دو سطح محاسبه می‌شود؛ ابتدا حوضه آبریز به زیرحوضه‌هایی براساس نقشه‌های رقوم ارتفاعی تقسیم و سپس با توجه به نقشه‌های خاک و کاربری اراضی، به واحدهای واکنش هیدرولوژیک (HRU) تقسیم‌بندی می‌شود (Basaltpour et al., 2016). مدل SWAT از روش عدد منحنی اصلاح شده<sup>۲</sup> یا روش نفوذ گرین - آمپت<sup>۳</sup> برای محاسبه حجم رواناب سطحی برای هر HRU و برای محاسبه رسوب (به‌عنوان فرسایش حاصل از رواناب) از رابطه اصلاح‌شده معادله جهانی فرسایش (MUSLE) استفاده می‌کند. چرخه هیدرولوژی بر پایه معادله بیلان آب استوار است که از معادله زیر به‌دست می‌آید.

$$SW_t = SW_0 + \sum_{t=1}^T (R_{dey} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

که در آن  $SW_t$ : مقدار فعلی آب در خاک،  $SW_0$ : مقدار اولیه آب در خاک،  $R_{dey}$ : مقدار بارندگی در روز  $t$ ام،  $Q_{surf}$ : مقدار رواناب در روز  $t$ ام،  $E_a$ : مقدار تبخیر و تعرق در روز  $t$ ام،  $W_{seep}$ : مقدار آب وارده شده از پروفیل خاک به ناحیه غیراشباع در روز  $t$ ام،  $Q_{gw}$ : مقدار جریان برگشتی در روز  $t$ ام.

### آماده‌سازی مدل

در ابتدای کار به‌منظور معرفی حوضه مورد مطالعه نقشه رقوم ارتفاعی و نقشه شبکه آبراهه به مدل معرفی شد. پس از آن به‌منظور تشکیل زیرحوضه‌ها حداقل مساحت ممکن تعیین گردید. برای تشکیل محدوده حوضه آبریز مکان ایستگاه‌های هیدرومتری به‌عنوان خروجی مدل در نظر گرفته می‌شود. در مرحله بعدی نقشه کاربری اراضی و خاک به مدل معرفی شدند. نقشه واحدهای پاسخ هیدرولوژیک از تلفیق این سه نقشه (نقشه خاک، رقوم ارتفاعی و نقشه کاربری اراضی) حاصل می‌شود. داده‌های مذکور به‌صورت فایل‌هایی با فرمت dbf تهیه و برای شبیه‌سازی به مدل معرفی شد. در مرحله بعد مختصات و ارتفاع مکان قرارگیری ایستگاه‌های دما و بارش و همچنین ایستگاه‌های اقلیمی با فرمت مذکور تهیه و به مدل معرفی شد.

در مرحله آخر بعد از واردکردن پارامترها تعداد سال‌های مدنظر برای شبیه‌سازی انتخاب و مدل اجرا می‌شود. در نهایت نیز برای دستیابی به اهداف مطالعه سناریوهای کاهش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد کاهش آب آبیاری اجرا شد. داده‌های ورودی مورد استفاده برای انجام واسنجی و صحت‌سنجی مربوط به دبی‌های

این مطالعه، برای انجام تحلیل حساسیت از روش OAT<sup>۱</sup> استفاده شد. سپس با تعیین t-stat و p-value هر پارامتر در این معادله رگرسیونی، درجه تأثیرگذاری پارامتر مشخص می‌شود. به‌منظور برازش صحیح میان مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی از دو فاکتور P-factor و R-factor استفاده می‌شود. معیار P-factor بیانگر درصدی از داده‌های اندازه‌گیری شده است که درون باند عدم قطعیت ۹۵ درصد (95ppu) قرار می‌گیرند. معیار R-factor بیانگر ضخامت باند است. R-factor هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده شبیه‌سازی بهتری است (Abbaspour et al., 2011). در مطالعه حاضر برای انجام فرایند آنالیز حساسیت از ۳۳ پارامتر مربوط به دبی جریان (۱۸ پارامتر) و دبی رسوب (۱۵ پارامتر) استفاده شد.

ماهانه جریان در پنج ایستگاه (شوشتر، عرب اسد، پل شاورور، حرمله و بامدژ) و داده‌های ورودی برای دبی رسوب در چهار ایستگاه (شوشتر، پل شاورور، حرمله و بامدژ) می‌باشد. اطلاعات ورودی به مدل برای انجام فرایند شبیه‌سازی در جدول (۱) ارائه شده است. از طرفی با توجه به اینکه در شبکه‌های آبیاری و زهکشی میزان رواناب سطحی حاصل از زه‌آب خروجی از اراضی کشاورزی بین ۱۰-۲۰ درصد می‌باشد. بنابراین در مطالعه حاضر نیز مقدار حداقل (۱۰ درصد) از رواناب سطحی به‌عنوان زه‌آب حاصل از زمین‌های کشاورزی برای انجام شبیه‌سازی به مدل معرفی شد.

### آنالیز حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی

به‌منظور آنالیز حساسیت، واسنجی و صحت‌سنجی از نرم‌افزار SWAT-CUP و الگوریتم SUFI-2 استفاده شد. در

جدول ۱- اطلاعات ورودی به مدل برای شبیه‌سازی شبکه آبیاری زهکشی رودخانه دز با استفاده از مدل SWAT

Table 1. Input information to the model for simulating the East Dez drainage irrigation network using the SWAT model

Data source	منبع داده
Digital Elevation Model	نقشه رقمی ارتفاعی
Soil map	نقشه خاک
Land use map	نقشه کاربری اراضی
Meteorology data	داده‌های هواشناسی
Hydrometric data	داده‌های هیدرومتری
Sediment data	داده‌های رسوب
Management and agricultural data	داده‌های مدیریتی و کشاورزی

آن‌ها می‌باشد (Alizadeh et al., 2014). هرکدام از این شاخص‌ها در محدوده‌های مشخصی قرار می‌گیرند. در جدول (۲) محدوده ضرایب NSE و R<sup>2</sup> ارائه شده است.

ارزیابی مدل  
برای ارزیابی مدل SWAT روش‌های مختلفی به‌کار می‌رود که ضریب تعیین و ضریب نش - ساتکلیف از مهم‌ترین

جدول ۲- محدوده‌های ضرایب NSE و R<sup>2</sup> (Kaushal et al., 2011)

ضریب تعیین (R <sup>2</sup> )	ضریب نش ساتکلیف	نتیجه ارزیابی
The coefficient of determination (R <sup>2</sup> )	Nash-Sutcliffe coefficient (NSE)	assessment's result
0.85 ≤ R <sup>2</sup>	0.75 < NSE ≤ 1	very well خیلی خوب
0.70 < R <sup>2</sup> ≤ 0.80	0.65 < NSE ≤ 0.75	Well خوب
0.60 < R <sup>2</sup> ≤ 0.80	0.50 < NSE ≤ 0.65	Satisfactory قابل قبول
R <sup>2</sup> ≤ 0.60	NSE ≤ 0.50	Unacceptable غیرقابل قبول

زارعی قورخودی و همکاران؛ شیخ زین‌الدین و همکاران؛ نصیری و همکاران و فایریزن و همکاران نیز در پژوهش‌های خود پارامترهای (GW\_DELAY)، (ALPHA\_BF) و (CH\_K2) را به‌عنوان حساس‌ترین پارامترها در شبیه‌سازی دبی معرفی نمودند. از طرفی به‌منظور شبیه‌سازی دبی رسوب تعداد ۱۵ پارامتر به مدل معرفی شد. در بین پارامترهای ورودی فاکتور فرسایش خاک (USLE\_K) و فاکتور فرسایش‌پذیری کانال (CH\_ERODMO) بیش‌ترین و ضریب جریان پایه (ALPHA\_BF) و شماره منحنی در شرایط رطوبتی (CN2) کم‌ترین حساسیت را در شبیه‌سازی رسوب به خود اختصاص داده‌اند (Feyereisen et al., 2007؛ Zarei Gorkhodi et al., 2022؛ Nasiri et al., 2019؛ Sheikh Zainuddin et al., 2015؛ Nasiri et al., 2019). عرفانی و همکاران و عارفی و همکاران در

نتایج و بحث  
آنالیز حساسیت  
پس از مدل‌سازی، منطقه مورد مطالعه به ۵۶ زیر حوضه تقسیم شد که با توجه به نقشه‌های خاک، کاربری اراضی و شیب ۹۲۵ واحد واکنش هیدرولوژیکی (HRU) تشکیل شد. تحلیل حساسیت پارامترها برای مؤلفه دبی جریان انجام شد که برای این منظور ۱۸ پارامتر مورد بررسی قرار گرفتند. پارامترهای زمان رسیدن آب از آخرین لایه خاک به سفره آب زیرزمینی (GW\_DELAY)، ضریب جریان پایه (ALPHA\_BF) و ضریب هیدرولوژیکی مؤثر (CH\_K2) حساس‌ترین و پارامترهای طول کانال (CH\_L2) و میزان افت دما (TLAPS) دارای کم‌ترین حساسیت در منطقه مورد مطالعه بودند.

هیدرولوژیکی منطقه مورد مطالعه در جدول (۳) ارائه شده است (Arefi et al., 2012; Erfanian et al., 2014).

تحقیقات خود فاکتور (USLE\_K) را یکی از پارامترهای حساس در شبیه‌سازی معرفی نمودند. مقادیر نهایی حاصل از آنالیز حساسیت پارامترهای استفاده شده در شبیه‌سازی

جدول ۳- نتایج حاصل از آنالیز حساسیت پارامترهای مؤثر بر مؤلفه‌های رواناب و رسوب

Table 3. the results of the analysis of the sensitivity of the parameters affecting the runoff components and Sediment

t-stat	p-value	مقدار بهینه optimal value	پارامتر parameter	ردیف Row	t-stat	p-value	مقدار بهینه optimal value	پارامتر parameter	ردیف Row	مؤلفه Component
-0.52	0.62	0.021	r_SOL_AWC	10	-0.46	0.95	481.2	v_GW_DELAY	1	رواناب Runoff
0.69	0.65	0.21	v_GWHT	11	0.39	0.92	1.05	v_ALPHA_BF	2	
0.11	0.62	1.41	v_SFTMP	12	0.23	0.81	174.2	v_CH_K2	3	
0.71	0.54	0.46	v_TIMP	13	0.51	0.75	0.076	r_CN2	4	
0.61	0.45	0.045	r_SOL_K	14	0.61	0.69	0.085	v_CH_N2	5	
0.81	0.42	2.88	v_PLAPS	15	0.74	0.66	2.44	v_SMTMP	6	
0.94	0.49	175.5	v_LAT_TTIME	16	0.50	0.78	-0.17	r_SOL_BD	7	
1.10	0.32	-0.72	v_TLAPS	17	0.51	0.75	0.27	v_GW_REVAP	8	
0.95	0.12	45.4	v_CH_L2	18	0.52	0.68	0.87	r_ESCO	9	
0.61	-0.58	368	v_GW_DELAY	9	0.96	0.12	0.41	r_USLE_K	1	رسوب Sediment
0.55	-0.74	0.34	r_USLE_P	10	0.91	0.25	0.63	v_CH_ERODMO	2	
0.41	0.87	36.56	v_SED_CON	11	0.82	0.29	1.86	v_CH_BED_BD	3	
0.38	1.12	0.00	v_CH_EQN	12	0.80	0.33	0.08	v_CH_BED_KD	4	
0.35	1.87	36.07	v_LAT_SED	13	0.80	0.34	3.18	v_CH_BNK_KD	5	
0.18	-2.08	1.23	v_ALPHA_BF	14	0.78	0.33	1.87	v_CH_BNK_BD	6	
0.12	-3.44	-0.21	r_CN2	15	0.73	0.44	237.7	v_CH_BNK_50	7	
					0.68	0.50	878.6	v_CH_BND_50	8	

به ترتیب در محدوده‌های (۰/۷۷-۰/۵۲) و (۰/۵۸-۰/۳۶) قرار گرفتند. براساس مقادیر به‌دست آمده مدل در مرحله واسنجی عملکرد بهتری داشته است. آب‌بایی و همکاران؛ گودرزی و همکاران و ناصرآبادی و همکاران نیز در تحقیقات خود مقادیر شاخص‌های  $R^2$  و NSE را به ترتیب در محدوده‌های (۰/۹۲-۰/۴۰) و (۰/۸۷-۰/۵۱) گزارش نمودند (Ababei et al., 2009; Goodarzi et al., 2016).

در شکل (۲) نتایج حاصل از شبیه‌سازی پارامتر رواناب در پنج ایستگاه شوشتر، عرب اسد، پل شاورور، حرمه و بامدژ ارائه شده است. باتوجه به نتایج به‌دست آمده برای ایستگاه شوشتر در مرحله واسنجی مقدار دبی اوج شبیه‌سازی شده بیش‌تر از دبی مشاهده‌ای و مقدار دبی پایه شبیه‌سازی شده کم‌تر از دبی پایه مشاهده‌ای است. در مرحله صحت‌سنجی در ابتدای دوره دبی اوج شبیه‌سازی شده بیش‌تر از مقدار مشاهده‌ای می‌باشد، اما در میانه دوره دبی‌های اوج مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده باهم برابر می‌باشند. برای ایستگاه عرب اسد در دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی مقادیر دبی اوج شبیه‌سازی شده بیش‌تر از مقدار دبی مشاهده‌ای به‌دست آمده است. از طرف دیگر دبی پایه مشاهده‌ای در مرحله واسنجی به‌طور نسبی با مقادیر شبیه‌سازی شده در این ایستگاه برابر می‌باشد؛ اما در مرحله صحت‌سنجی دبی پایه مشاهده‌ای بیش‌تر از مقادیر شبیه‌سازی شده است. همچنین نتایج ارائه شده برای ایستگاه پل شاورور نشان می‌دهد که در مرحله واسنجی مقادیر دبی اوج و پایه بیش‌تر از مقادیر شبیه‌سازی شده می‌باشد و در مرحله صحت‌سنجی دبی اوج و پایه شبیه‌سازی شده به ترتیب بیش‌تر و کم‌تر از مقادیر مشاهده‌ای شده است. در خصوص ایستگاه حرمه دبی‌های اوج در هر دو مرحله تقریباً یکسان برآورد شده است؛ اما دبی‌های پایه شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی بیش‌تر و در مرحله صحت‌سنجی کمتر از مقادیر مشاهده‌ای

### واسنجی و اعتبارسنجی

واسنجی و صحت‌سنجی مدل برای مؤلفه‌های رواناب و رسوب انجام شد. از داده‌های سال‌های ۱۹۹۳-۱۹۹۵ برای گرم کردن مدل استفاده شد. برای انجام واسنجی و صحت‌سنجی پارامترهای رواناب و رسوب به ترتیب از دوره‌های آماری ۲۰۱۲-۱۹۹۵ و ۲۰۱۷-۲۰۱۳ استفاده شد. نتایج حاصل واسنجی و صحت‌سنجی پارامترهای رواناب و رسوب در جدول (۴) و شکل‌های (۲ و ۳) ارائه شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده برای شبیه‌سازی پارامتر رواناب، مقادیر P-factor در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب در محدوده‌های (۰/۲۳-۰/۰۵) و (۰/۳۱-۰/۰۸) و مقادیر R-factor به ترتیب در محدوده‌های (۰/۴۵-۰/۰۳) و (۰/۱۸-۰) قرار گرفتند؛ که با توجه به استانداردهای موجود (هرچه مقدار P-factor به ۱ نزدیک و R-factor به صفر نزدیک‌تر باشد، نتایج شبیه‌سازی مطلوب‌تر خواهد بود) مدل در مرحله صحت‌سنجی عملکرد قابل قبول‌تری ارائه کرده است. از طرفی مقادیر شاخص‌های  $R^2$  و NSE در مرحله واسنجی به ترتیب در محدوده‌های (۰/۹۲-۰/۵۹) و (۰/۷۷-۰/۵۲) و در مرحله صحت‌سنجی (۰/۹۲-۰/۵۸) و (۰/۵۴-۰/۴۵) گرفتند؛ که نشان‌دهنده عملکرد مناسب‌تر مدل در مرحله واسنجی می‌باشد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی پارامتر رسوب نشان می‌دهد که مقادیر P-factor و R-factor در مرحله واسنجی به ترتیب در محدوده‌های (۰/۶۸-۰/۰۹) و (۰/۴۵-۰/۴۲) و در مرحله صحت‌سنجی در محدوده‌های (۰/۱۷-۰/۰۵) و (۰/۰۵-۰) قرار گرفتند. باتوجه به مقادیر به‌دست آمده مدل در مرحله واسنجی عملکرد بهتری داشته است. مقادیر شاخص  $R^2$  در دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب در محدوده‌های (۰/۸۱-۰/۵۷) و (۰/۸۹-۰/۴۴) قرار گرفته است؛ که نشان‌دهنده همبستگی خوب داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده می‌باشد. همچنین مقادیر شاخص NSE برای دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی

شبهه‌سازی شده است. میزان دقت در شبهه‌سازی رواناب به‌دقت داده‌های اندازه‌گیری شده و موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری بستگی دارد. در ایستگاه‌های کوهستانی مقادیر دبی اوج بیش‌تر از سایر ایستگاه‌ها می‌باشد. به‌طور کلی با توجه به نتایج ارائه شده مدل در مرحله واسنجی عملکرد مناسب‌تری برای شبهه‌سازی رواناب ایستگاه‌های مورد مطالعه داشته است.

می‌باشد. نتایج به‌دست آمده برای ایستگاه بامدژ حاکی از آن است که در مرحله واسنجی در ابتدای دوره (۲۰۰۲-۱۹۹۵) دبی‌های اوج و پایه شبهه‌سازی شده بیش‌تر از مقادیر مشاهده‌ای و در انتهای دوره (۲۰۱۲-۲۰۰۴) مقادیر هردو دبی (اوج و پایه) مشاهده‌ای و شبهه‌سازی شده باهم برابر می‌باشند و در مرحله صحت‌سنجی دبی‌های اوج و پایه مشاهده‌ای بیش‌تر از مقادیر

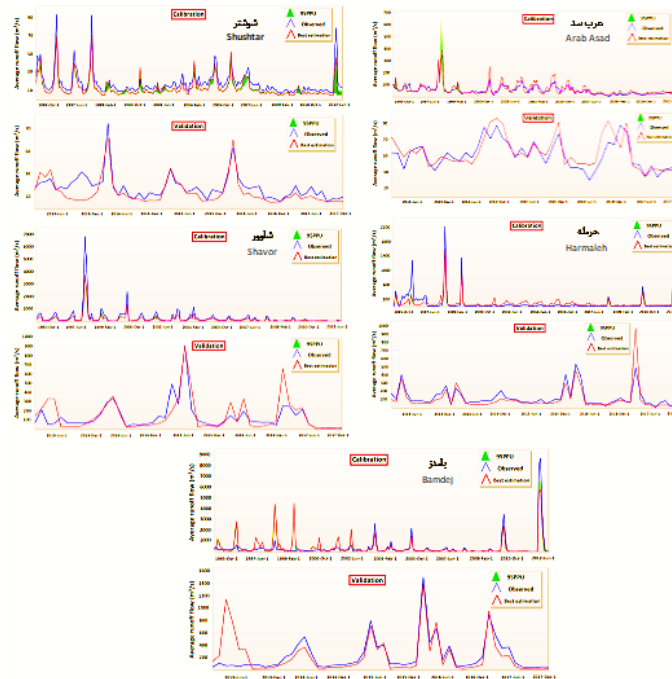
جدول ۴- نتایج حاصل از کارایی مدل SWAT در شبهه‌سازی مؤلفه‌های رواناب و رسوب

Table 4. Results of SWAT model efficiency in simulating runoff components and Sediment

StdDev_sim (StdDev_obs)	Mean_sim (Mean_obs)	NSE	R <sup>2</sup>	R-factor	P-factor	ایستگاه/معیار Criterion/Station	مؤلفه Component
10.27(12.74)	12.98(17.78)	0.73	0.91	0.18	0.18	ایستگاه شوشتر Shushtar station	رواناب (J)
11.81(11.07)	17.77(18/64)	0.54	0.72	0.08	0.23	و اسنجی verification صحت‌سنجی Validation	
52.47(43.78)	62.08(55.53)	0.72	0.83	0.11	0.23	ایستگاه عرب اسد Arab Asad station	رواناب (J)
19.02(16.91)	54.43(51.23)	0.54	0.62	0.06	0.30	و اسنجی verification صحت‌سنجی Validation	
350.53(640.26)	149.33(266.56)	0.76	0.92	0.03	0.06	ایستگاه پل شاورور Shavor bridge station	رواناب (J)
147.77(149.1)	148.55(132.22)	0.49	0.65	0.00	0.31	و اسنجی verification صحت‌سنجی Validation	
148.69(237.12)	91.01(87.51)	0.74	0.81	0.05	0.05	ایستگاه حرمله Harmaleh station	رواناب (J)
143.29(112.52)	106.78(125.47)	0.54	0.74	0.01	0.07	و اسنجی verification صحت‌سنجی Validation	
888.45(910.94)	343.02(302.47)	0.57	0.59	0.06	0.08	ایستگاه بامدژ Bamdej station	رواناب (J)
300.73(268.77)	221.56(224.14)	0.45	0.58	0.02	0.08	و اسنجی verification صحت‌سنجی Validation	
10.27(12.74)	120.84(133.59)	0.61	0.66	6.45	0.68	ایستگاه شوشتر Shavor bridge station	رسوب (S)
1958(1377)	1613(1576)	0.58	0.84	0.05	0.12	و اسنجی verification صحت‌سنجی Validation	
23243(40579)	3308(8555)	0.52	0.57	0.87	0.6	ایستگاه پل شاورور Shavor bridge station	رسوب (S)
285470(415653)	155112(187388)	0.57	0.58	0.002	0.17	و اسنجی verification صحت‌سنجی Validation	
14873(14341)	3004(2419)	0.77	0.79	0.7	0.09	ایستگاه حرمله Harmaleh station	رسوب (S)
40116(130493)	7673(20952)	0.50	0.89	0.00	0.05	و اسنجی verification صحت‌سنجی Validation	
72643(175404)	16619(29020)	0.61	0.81	0.42	0.57	ایستگاه بامدژ Bamdej station	رسوب (S)
87551(195011)	44972(785111)	0.36	0.44	0.02	0.17	و اسنجی verification صحت‌سنجی Validation	

رواناب  
(J)

رسوب  
(S)

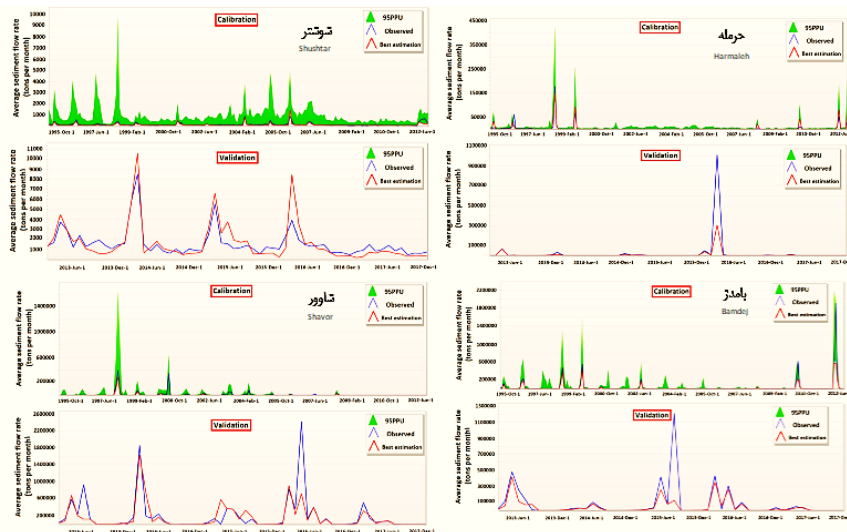


شکل ۲- نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مؤلفه‌ی رواناب مدل SWAT در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Figure 2. Results of calibration and validation of the runoff component of the SWAT model in the studied stations

یکسان می‌باشند. نتایج حاصل برای ایستگاه حرمله نیز حاکی از آن است که در مرحله واسنجی دبی‌های اوج و پایه رسوب شبیه‌سازی شده بیش‌تر از مقادیر واقعی می‌باشد؛ اما در مرحله صحت‌سنجی مقادیر واقعی هر دو دبی (اوج و پایه) بیش‌تر از مقادیر شبیه‌سازی شده رسوب می‌باشند. با توجه به نتایج ارائه شده در ایستگاه بامدژ مقادیر دبی اوج رسوب واقعی در مرحله واسنجی بیش‌تر از مقادیر شبیه‌سازی شده است، اما دبی پایه رسوب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده باهم برابر می‌باشند. از طرفی در مرحله صحت‌سنجی دبی اوج و پایه شبیه‌سازی شده کم‌تر از مقادیر مشاهده‌ای شده‌اند.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی رسوب (شکل ۳) در چهار ایستگاه شوشتر، پل شاور، حرمله و بامدژ نشان می‌دهد که در ایستگاه شوشتر دبی‌های اوج و پایه (زمان یکسان) رسوب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی یکسان هستند. در مرحله صحت‌سنجی زمان‌های رسیدن به دبی اوج مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده یکسان می‌باشند؛ اما مقادیر دبی‌های اوج و پایه رسوب شبیه‌سازی شده بیش‌تر از مقادیر مشاهده‌ای به‌دست آمده است. از سوی دیگر در ایستگاه پل شاور دبی‌های اوج رسوب مشاهده‌ای در هر دو مرحله بیش‌تر از مقادیر شبیه‌سازی شده است، و دبی‌های پایه رسوب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در هر دو مرحله به‌طور تقریبی



شکل ۳- نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مؤلفه‌ی رسوب مدل SWAT در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Figure 3. Results of calibration and validation of the Sediment of the SWAT model in the studied stations

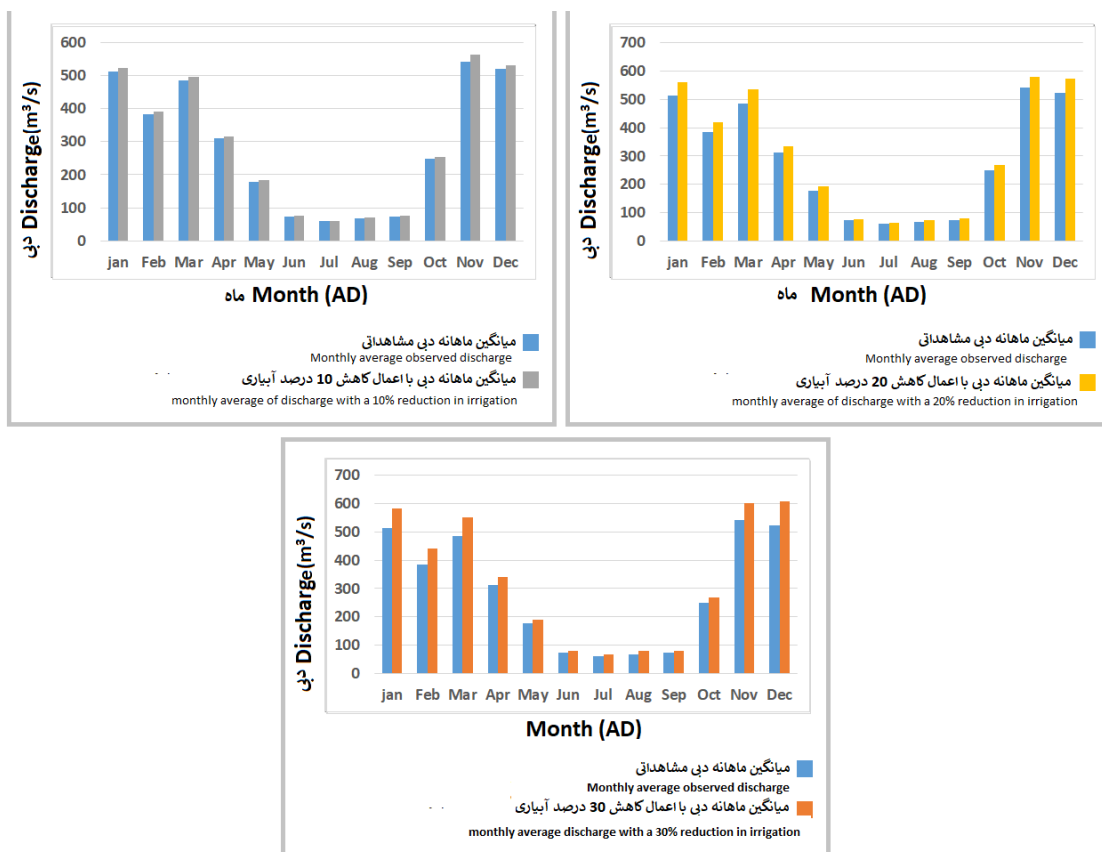
### ارزیابی سناریوهای مدیریتی

در دهه‌های اخیر کاهش مصرف آب مورد نیاز برای آبیاری یکی از ارکان اصلی برنامه‌های مدیریتی در زمینه افزایش راندمان و بهره‌وری آب می‌باشد. کاهش میزان آب آبیاری علاوه بر موارد مذکور مولفه‌های کمی و کیفی منابع آب از جمله رواناب و رسوب موجود در یک حوضه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در همین راستا در پژوهش حاضر نیز تأثیر سناریوهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد کاهش آب آبیاری بر روی رواناب و رسوب موجود در شبکه آبیاری و زهکشی رودخانه در صورت گرفته است.

نتایج حاصل از اعمال این سناریو بر پارامتر رواناب در شکل (۴) ارائه شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در زمان اعمال سناریو ۱۰ درصد کاهش آب آبیاری مقدار رواناب موجود در حوضه در طی دوره آماری با افزایش چشمگیری مواجه نشده است. به طوری که در ماه جولای (تیر- مرداد) مقادیر رواناب حوضه در شرایط قبل و بعد از اعمال سناریو یکسان بوده است. همسو شدن شرایط اعمال سناریو در این ماه با مراحل انتهایی رشد گیاه که میزان نیاز آبی و بالتبع میزان آبیاری کاهش می‌یابد. یکی از دلایل عدم تغییرات میزان رواناب می‌باشد. از طرف دیگر براساس نتایج ارائه شده با اعمال سناریوهای ۲۰ و

۳۰ درصد کاهش آب آبیاری بیش‌ترین افزایش میزان رواناب حوضه مربوط به ماه‌های نوامبر (آبان- آذر) و دسامبر (آذر- دی) و کم‌ترین مقدار مربوط به ماه جولای می‌باشد. در ماه‌های دسامبر و نوامبر از یک‌سو کاهش میزان آب آبیاری و بالتبع کاهش برداشت از رواناب سطحی برای مصارف کشاورزی و از سوی دیگر وقوع بارندگی منجر می‌شود که علاوه بر رواناب حاصل از بارندگی حدود ۳۰ تا ۶۰ درصد از آب تخصیص یافته به آبیاری نیز به‌صورت رواناب در سطح شبکه جاری شود.

بنابراین می‌توان بیان نمود اعمال سناریوهای کاهش آبیاری با درصدهای بالای ۱۰ درصد می‌تواند منجر به افزایش رواناب در سطح شبکه شود. البته میزان افزایش رواناب تا حدودی به خصوصیات خاک اراضی تحت پوشش شبکه نیز بستگی دارد. چراکه در شرایط نفوذپذیری بالای خاک مقداری از رواناب موجود به داخل خاک نفوذ می‌یابد. همچنین در شرایطی که بافت خاک نامناسب باشد، رواناب ایجاد شده منجر به فرسایش خاک و در نتیجه افزایش غلظت رسوبات به‌خصوص در خروجی حوضه می‌شود؛ بنابراین زمان اعمال سناریو و خصوصیات خاک مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر میزان رواناب می‌باشند.



شکل ۴- میانگین دبی رواناب ماهانه و شبیه‌سازی شده با اعمال سناریوهای کاهش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد آب آبیاری  
Figure 4. Average monthly runoff flow and simulated by applying 10, 20 and 30% irrigation water reduction scenarios

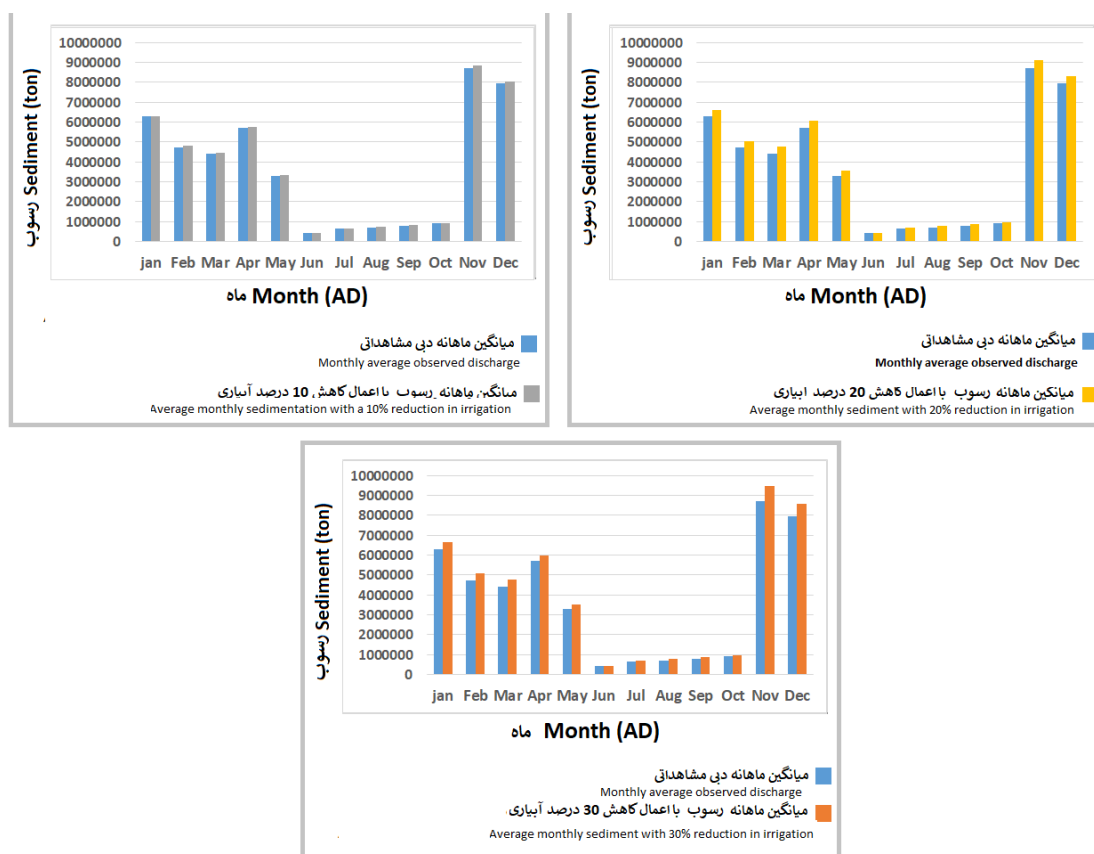
سطحی خاک فرسایش یافته و مواد حاصل از آن به‌صورت رسوب در سطح حوضه ته‌نشین می‌شوند و مقادیر رسوب موجود

فرایند فرسایش خاک در یک حوضه رابطه مستقیمی با میزان رواناب موجود در حوضه دارد. چراکه با وقوع رواناب لایه

رسوب و ماه جولای کمترین مقدار رسوب را در شرایط اعمال سناریو به خود اختصاص داده‌اند. در ماه جولای مقادیر کم بارندگی و همچنین کاهش آب آبیاری و بالتبع کاهش برداشت از رواناب برای مصارف کشاورزی موجب کاهش رواناب خروجی از اراضی می‌شود، بنابراین غلظت رسوبات حمل شده توسط رواناب نیز کاهش می‌یابد. در صورتی که در ماه‌های نوامبر و دسامبر افزایش بارندگی و افزایش رواناب حاصل از کاهش آب آبیاری تخصیص یافته به آبیاری منجر به افزایش رواناب و حمل حجم بیش‌تر رسوبات و در نتیجه افزایش رسوب موجود در حوضه می‌شود. به‌طور کلی افزایش میزان درصد کاهش آب آبیاری موجب افزایش رسوب می‌شود؛ بنابراین در بین سناریوهای مذکور سناریو ۳۰ درصد کاهش آب آبیاری به‌دلیل افزایش رسوب حوضه به میزان ۵۰-۲۰ درصد بیش‌ترین تأثیر را بر میزان رسوب شبکه آبیاری و زهکشی رودخانه دز داشته است.

در یک حوضه را افزایش می‌دهند. بنابراین می‌توان بیان نمود مقادیر رسوب موجود در یک حوضه نیز رابطه مستقیمی با رواناب دارد.

در شکل (۵) نتایج حاصل از اعمال سناریو ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد کاهش آب آبیاری بر مقدار رسوب موجود در شبکه آبیاری و زهکشی رودخانه دز ارائه شده است. نتایج حاکی از آن است که کمترین مقادیر رسوب در شرایط اعمال سناریو ۱۰ درصد می‌باشد. به‌طوری که مقدار رسوب موجود در حوضه در اکثر ماه‌های دوره آماری (ژانویه، می، ژوئن، جولای و اکتبر) با مقدار رسوب در شرایط قبل از اعمال سناری برابر شده است؛ و تنها در ماه نوامبر به‌علت افزایش رواناب در شرایط وقوع بارندگی، کاهش میزان آب آبیاری و بالتبع افزایش فرسایش و بالا رفتن غلظت رسوب میزان رسوب در زمان اعمال سناریو افزایش یافته است. از طرفی در شرایط اعمال سناریوهای ۲۰ و ۳۰ درصد کاهش آب آبیاری ماه‌های نوامبر و دسامبر بیش‌ترین مقدار



شکل ۵- میانگین دبی رسوب ماهانه و شبیه‌سازی شده با اعمال سناریوهای کاهش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد آب آبیاری

Figure 5. Average monthly sediment discharge and simulated by applying 10, 20 and 30 percent irrigation water reduction scenarios

برای دوره‌های زمانی طولانی ارائه شده است. در این پژوهش نیز به‌منظور ارزیابی تغییرات رواناب و رسوب تحت تأثیر کاهش آب آبیاری از این مدل استفاده شد. پس از انجام واسنجی و اعتبار سنجی با استفاده از الگوریتم SUFI2 در نرم‌افزار SWATCUP نتایج مدل SWAT برای شبیه‌سازی دبی

### نتیجه‌گیری کلی

مدل SWAT یک مدل جامع و کامل در مقیاس حوضه‌ای می‌باشد که برای پیش‌بینی تأثیر روش‌های مدیریتی متفاوت بر جریان، رسوب، عناصر غذایی و بیلان مواد شیمیایی در حوضه‌هایی با خاک، کاربری اراضی و شرایط مدیریتی متفاوت

کاهش رواناب از فرسایش خاک و تولید رسوب نیز جلوگیری کرد. از طرفی میزان درصد کاهش آب آبیاری و همچنین خصوصیات خاک از نظر نفوذپذیری و فرسایش پذیری عوامل مؤثر بر میزان رسوب و همچنین میزان تلفات رواناب می‌باشند؛ بنابراین در یک حوضه اقدامات آبخیزداری نظیر خاک‌ورزی حفاظتی می‌تواند منجر به کاهش فرسایش خاک و بالتبع آن کاهش رسوب و پیامدهای منفی رسوب‌گذاری در تأسیسات آبیاری موجود در شبکه‌های آبیاری و زهکشی شود.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله مراتب تشکر صمیمانه خود را از همکاری سازمان آب و برق خوزستان در ارائه آمار و اطلاعات ادواری مربوط به شبکه آبیاری و زهکشی دز اعلام می‌نمایند.

جریان و رسوب در ایستگاه‌های مورد مطالعه با معیارهای  $R^2$  و NSE مورد ارزیابی قرار گرفتند. مقادیر به‌دست آمده معیارهای مذکور در دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی برای رواناب به‌ترتیب در محدوده‌های (۰/۵۸-۰/۹۲) و (۰/۴۵-۰/۷۶) و برای رسوب در محدوده‌های (۰/۴۴-۰/۸۹) و (۰/۳۶-۰/۷۷) قرار گرفتند که نشان‌دهنده عملکرد خوب مدل در شبیه‌سازی این دو پارامتر می‌باشد. پس از ارزیابی مدل سناریوهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد کاهش آب آبیاری به مدل معرفی شدند. نتایج حاصل از اعمال سناریوها نشان می‌دهد که سناریوهای کاهش ۱۰ و ۳۰ درصدی به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین تأثیر را بر میزان رواناب و رسوب حوضه داشته‌اند. به‌طور کلی اعمال سناریو کاهش آب آبیاری در فصول پرباران موجب افزایش رواناب و بالتبع آن افزایش رسوب حمل‌شده توسط آن می‌شود؛ بنابراین با اعمال این سناریو در زمان صحیح می‌توان علاوه بر

### منابع

- Ababei, B., & Sohrabi, T. (2009). Assessing the performance of SWAT model in Zayandeh Rud Watershed. *Journal of Water and Soil Conservation*, 16(3), 41-58 (In Persian).
- Abbaspour, K.C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J., & Srinivasan, R. (2011). Modelling hydrology and water quality in the pre alpine. Alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of Hydrology*, (333), 413-430.
- Abbaspour, K.C. (2007). User Manual for SWAT-CUP SWAT calibration and uncertainty analysis programs. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. *Eawag, Dübendorf, Switzerland*, 95 pp.
- Akbari, H. (2011). Daily Runoff Simulation in Chehel Chai River in Golestan Province using SWAT Model. MSc Thesis. *Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 120 pp (In Persian).
- Akhavan, S., & Jodi Hameze Abad, A. (2015). Simulation of Inflow to Urmia Lake Using SWAT Model. *Journal of Water and Soil Science*, (19), 23-34 (In Persian).
- Alizadeh, A., Izadi, A., Davari, K., Ziaei, A., Akhavan, S., & Hamidi, Z. (2014). Estimation of evapotranspiration - actual transpiration on a year-basin scale using SWAT. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 7(2), 243-258 (In Persian).
- Arefi Asl, A., Najafinejad, A., Kayani, F., & Mahini, A.R.S. (2012). Simulation of runoff and sediment using SWAT model in Chelchai watershed of Golestan province. *Pasture and Watershed Scientific-Research Journal*, 66(3), 433-446 (In Persian).
- Basaltpour, A., & Hosseinzadeh, N. (2016). Theory & training step by step construction and implementation of SWAT model. Valiasr University of Rafsanjan. Calibration and input parameter sensitivity in the little river watershed. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, (50), 843-855.
- Donigian, A. S. (2002). Watershed model calibration and validation: The HSPF experience. *Proceedings of the Water Environment Federation*, (8), 44-73.
- Ebrahimi, P., Salimi, J., & Mohseni, M. (2017) Vasanji and validation of SWAT model in runoff simulation. Study a case of Neka watershed. *Watershed Engineering and Management Journal*. (10), 266-279 (In Persian).
- Erfanian, M., Bayazi, M., Abakhari, H., & Ismaili Auri, A. (2014). Monthly simulation of flow discharge and sedimentation of Nazlochai watershed with SWAT model and prioritization of sediment production areas. *Watershed Engineering and Management*, 7(4), 552-562 (In Persian).
- Feyereisen, G.W., Strickland, T.C., Bosch, D.D., & Sullivan, D.G. (2007). E valuation of SWAT Manual Calibration and Input Parameter Sensitivity in the Little River Watershed. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, (50), 843-855.
- Goodarzi, M.R., Zahabiyoun, B., & Massah Bavani, A. (2016). Simulation of Rainfall-Runoff for Gharehou Watershed Using SWAT Model. *Journal of Environmental Science and Technology*, 18(2), 11-20 (In Persian).
- Hosseini, M. (2014). Water balance simulation of Garahsou basin of Kermanshah province by using SWAT model. *Journal of Watershed Engineering and Management*, (6), 63-73 (In Persian).
- Kaushal, K., Luna, B., Anju, G., Biju, G., Sreedhar, A., Kiran, J., & Narasimhan, B. (2011). Spatial mapping of agricultural water productivity using SWAT model in Upper Bhima Catchment. *India. Irrigation and Drainage*, 61(1), 60-79.
- Kumar Himanshu, S., Pandey, A., & Shrestha, P. (2017). Application of SWAT in an Indian river basin for modeling runoff, sediment and water balance. *Environ Earth Sei*, 76(1), 3.
- Miryaghoubzadeh, M.H. (2014). Investigation of SWAT Semi Distributed Model Development in Evapotranspiration Parameter Using Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL). Ph.D. Thesis. *Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran*, 172 pp (In Persian).
- Morgan, R.P.C., & Nearing, M.A. (2011). Handbook of erosion modeling. John Wiley and Sons, Ltd, 413 pp.
- Naserabadi, F., Esmali Ouri, A., Akbari, H., & Rostamian, R. (2016). River flow Simulation using SWAT Model (Case study: Ghareh Su River in Ardabil Province-Iran). *Journal of Watershed Management Research*, 13(7), 50-59 (In Persian).
- Nasiri, Sh., Ansari, H., & Ziaei, A. N. (2019). Simulating the river flow of Samalghan watershed using SWAT hydrological model. *Scientific-Research Quarterly of Water Resources Engineering*, 13(45), 39-56 (In Persian).

- Nouri, Z., Selajqa, A., Malekian, A., & Moghadamnia, A. (2016). Investigating the effect of the best management measures in reducing point and non-point sources of water pollution using the SWAT model (case study: Simre watershed, Simre river). *Iran Water and Soil Research*, 48(5), 99-106 (In Persian).
- Sheikh Zainuddin, A., Esmaili, A. K., & Sebet, M. (2015). Policy incentives to reduce nitrate leaching in agricultural fields: the study area of Drudzen irrigation and drainage network. *Agricultural Economics and Development*, 30(2), 127-135 (In Persian).
- Zahedi, E., Talebi, A., Tabatabaei, S.A., Raeisi, A., & Asiayi, M. (2016). Subsurface flow simulations to determine potential areas of groundwater dam using SWAT model (Case Study: Doroongar Watershed, Dargaz). *Journal of Watershed Management Research*, 7, 206-215 (In Persian).
- Zare Garizi, A., & Talebi, A. (2016). Water balance simulation for the Ghare-Sou Watershed, Golestan, using the SWAT model. *Journal of Water Resources Engineering*, 30(9), 37-50 (In Persian).
- Zarei Gorkhodi, A., Shahnazari, A., & Mohammadi, F. (2022). Evaluating the effect of dams on two parameters of runoff and sediment using SWAT model (case study: Tejn River watershed, Mazandaran). *Iran Irrigation and Drainage Journal*, 16(2), 294-307 (In Persian).
- Zuo, D., Xu, Z., Yao, W., Jin, S., Xiao, P., & Ran, D. (2016). Assessing the effects of changes in land use and climate on runoff and sediment yields from a watershed in the Loess Plateau of China. *Science of the Total Environment*, 544, 238-25.