Sari Agriculture Sceinces and Natural Resources University

Journal of Watershed Management Research, Vol. 14, No.28, Winter 2023 p: 89-100

"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[1], Mohammad Albaji[2], Mona Golabi[3], Saeed Broumandnasb[4] and Ali Shahnazari[5]

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

[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.7.6]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.89]

"مقاله پژوهشی"

ارزیابی تغییرات رواناب و رسوب تحت تأثیر کاهش آب آبیاری با استفاده از مدل SWAT (منطقه مورد مطالعه: شبکه آبیاری و زهکشی رودخانه دز)

عباس بختیاری‌فر[۱]، محمد الباجی[۲]، منا گلابی[۳]، سعید برومندنسب[۴] و علی شاهنظری[۵]

۱- دانشجوی دکتری رشته آبیاری و زهکشی، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۲- دانشیار، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، (نویسنده مسوول: m.albaji@scu.ac.ir)
۳- دانشیار، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۴- استاد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۵- استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۶/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۲۹
صفحه ۸۹ تا ۱۰۰

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: در سال‌های اخیر، استفاده از مدل SWAT به‌عنوان ابزاری متداول برای شبیه‌سازی دبی جریان، تولید رسوب و ارزیابی سناریوهای مختلف برای کاهش تولید رسوب و رواناب مورداستفاده قرار گرفته است. پژوهش حاضر نیز با هدف ارزیابی تغییرات رواناب و رسوب تحت تأثیر کاهش آب آبیاری استفاده از مدل SWAT در شبکه آبیاری و زهکشی رودخانه دز صورت گرفته است.

مواد و روش: واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای شبیه‌سازی رواناب (ایستگاه‌های شوشتر، عرب اسد، پل شاوور، حرمله و بامدژ) و رسوب (ایستگاه‌های شوشتر، پل شاوور، حرمله و بامدژ) با استفاده از داده‌های آماری سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۲ میلادی و ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ میلادی انجام شد. نتایج شبیه‌سازی نیز با استفاده از ضرایب R^2 و NSE مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس سناریوهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد کاهش آب آبیاری برای ارزیابی تأثیر آن‌ها بر رواناب و رسوب منطقه مورد مطالعه به مدل معرفی شد.

یافته‌ها: نتایج حاصل از ارزیابی مدل با استفاده از ضرایب R^2 و NSE نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل در شبیه‌سازی پارامترهای مذکور می‌باشد. نتایج حاصل از ارزیابی سناریوهای کاهش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی آب آبیاری نشان می‌دهد، که اعمال سناریو ۱۰ درصد کم‌ترین تأثیر را بر میزان رسوب داشته است. از طرفی اعمال سناریو ۳۰ درصد کاهش آب آبیاری موجب افزایش رواناب (۶۰-۳۰ درصد) به‌دلیل کاهش برداشت از رواناب برای مصارف آبیاری و به تبع آن افزایش میزان رسوب (۵۰-۲۰ درصد) شبکه آبیاری و زهکشی رودخانه دز می‌شود. نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که افزایش میزان رواناب حوضه به‌خصوص در فصول پرآب موجب افزایش فرسایش و بالتبع آن افزایش رسوب در حوضه شده است. بنابراین می‌توان بیان نمود که زمان اعمال سناریو و ویژگی‌های خاک منطقه مؤثرترین مولفه بر میزان رواناب و رسوب حوضه می‌باشند.

نتیجه‌گیری: مطابق نتایج به‌دست‌آمده با توجه به تأثیر رواناب بر فرسایش و میزان رسوب موجود در یک حوضه استفاده از روش‌های کنترل و کاهش رواناب نظیر عملیات آبخیزداری، سازه‌های مهار و ذخیره رواناب و استفاده از روش‌های نوین آبیاری برای جلوگیری از کاهش فرسایش خاک امری ضروری می‌باشد. چرا که روش‌های سنتی آبیاری علاوه‌بر تلفات آب، موجب کاهش حاصل‌خیزی خاک و افزایش رسوب در زه‌آب خروجی اراضی کشاورزی می‌شوند. در اراضی که به‌روش‌های سنتی آبیاری می‌شوند، در بعضی مواقع مقدار آب مصرفی بیش‌تر از ظرفیت نفوذ خاک می‌باشد. که این امر موجب فرسایش لایه سطحی خاک توسط رواناب تاشی از تجمع آب می‌شود. بنابراین رویکردهای مدیریت زراعی در حوضه‌های مستعد فرسایش خاک بایستی برروی روش‌های نوین آبیاری با حداقل خروجی رواناب و زه‌آب متمرکز گردد.

واژگان کلیدی: سناریو مدیریتی، شبیه‌سازی، فرآیند هیدرولوژیکی، فرسایش، منابع آب

مقدمه

فرآیندهای مرتبط با چرخه آب در طبیعت دارای ارتباطات نسبتاً پیچیده و همچنین تغییرات زمانی و مکانی بسیار گسترده و متفاوتی هستند. به‌طوری که همواره چگونگی ارتباط بین آن‌ها و شناخت تغییرات زمانی- مکانی آن‌ها در مقیاس‌های مختلف به‌خصوص حوضه آبریز مورد توجه مدیران حوضه‌ها و محققین بوده است. یکی از مهم‌ترین و در عین حال پیچیده‌ترین فرآیندها در حوضه‌های آبریز شناخت و پیش‌بینی تغییرات آب سطحی می‌باشد (Miryaghoubzadeh, 2014). اصلی‌ترین فرآیندهای مرتبط با آب سطحی شامل بارندگی، نفوذ، تبخیر از سطح آب، برگاب، تبخیر- تعرق و رواناب می‌باشند. رواناب و رسوب تولیدی ناشی از فرسایش خاک در حوضه‌های آبخیز یک فرآیند غیرقابل اجتناب می‌باشد، که با مطالعه و شناخت عوامل تأثیرگذار در این فرآیند می‌توان مدیریت بهتری در حوضه‌های آبخیز ارائه نمود. فرسایش خاک به‌عنوان خطری جدی برای سلامت انسان و سایر موجودات زنده محسوب می‌شود (Akbari, 2011). پدیده فرسایش و انتقال رسوبات به‌وسیله جریان آب در مناطقی از دنیا که میزان فرسایش و تولید رسوب به‌صورت بار معلق در آن‌ها بالا است، به‌عنوان یک معضل بزرگ شناخته می‌شود. رسوب‌گذاری در آبراهه‌ها، کانال‌ها و شبکه‌های آبیاری و زهکشی می‌تواند مشکلات جدی در توسعه پایدار منابع آب، سیستم‌های آبیاری و تولید برق‌آبی ایجاد کند. مدیریت صحیح حوضه‌های آبخیز یکی از مهم‌ترین روش‌های استفاده بهینه از منابع آب‌وخاک می‌باشد. برای این کار، نیاز به اطلاعات جامع و کاملی از روش‌های مدیریتی و اجرایی متفاوت است (Hosseini, 2014). ازآنجاکه تولید رواناب و پدیده فرسایش خاک حوضه در ارتباط مستقیم باهم هستند، بایستی بتوان با اندازه‌گیری این دو پارامتر شرایط مدیریت حوضه را فراهم نمود. در این زمینه مدل‌ها از مهم‌ترین ابزارهایی هستند که امکان شبیه‌سازی و پیش‌بینی چگونگی تغییرات چرخه آب در طبیعت و برآورد مؤلفه‌های بیلان آب را مهیا می‌سازند (Zahedi et al.,2016).

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 سویس 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 ونگفوچوان 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 به‌مراتب بیش‌تر از پایین‌دست می‌باشد (Zuo et al., 2011).

کومار و همکاران بیلان آب در حوضه آبریز رودخانه هند را با استفاده از مدلSWAT شبیه‌سازی کردند که نتایج بیلان برآورد شده ۴۴/۶ درصد از بارش سالانه را به تبخیر- تعرق 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 مدلSWAT 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 از پساب برای مصارف کشاورزی ارائه نموده است. علاوه‌بر 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 علاوه‌بر کاهش میزان بهره‌وری آب، به‌علت حجم بالای تلفات آب موجب بروز رواناب و به تبع آن فرسایش خاک در اراضی کشاورزی می‌شوند. از این‌رو استفاده از شیوه‌های جدید مدیریت آبیاری نظیر کاهش آب آبیاری با استفاده روش‌های مختلف، علاوه‌بر 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 به‌صورت بسیار محدود تأثیر تغییر میزان آب آبیاری بر روی این پارامترها مورد ارزیابی قرار گرفته است.

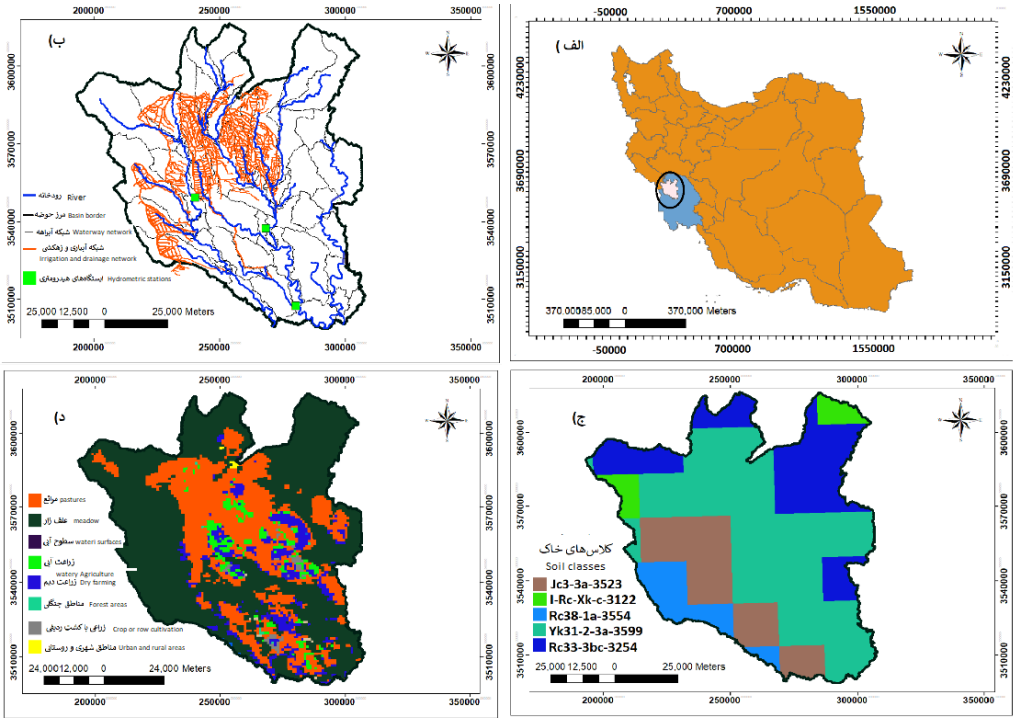
لذا در این مطالعه جنبه نوآوری پژوهش به‌صورت هدف این پژوهش یعنی ارزیابی تغییرات رواناب و رسوب تحت تأثیر کاهش آب آبیاری با استفاده از مدل SWAT معرفی شده است. پژوهش‌های بسیاری با استفاده از مدل SWAT صورت گرفته است که کارایی این مدل را در برآورد پاسخ هیدرولوژیک حوضه نشان می‌دهد. بنابراین در این پژوهش نیز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

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

شبکه 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 شاوور 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.



شکل ۱- الف: موقعیت محدوده مطالعاتی در کشور و استان خوزستان، ب: جانمایی، 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 Khozestan 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

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 علاوه‌بر 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)[1] تقسیم‌بندی می‌شود (Basaltpour et al.,2016). مدل SWAT از روش عدد منحنی اصلاح شده[2] یا روش نفوذ گرین – آمپت[3] 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.

$$SW_t = SW_0 + \sum_{I=1}^{T}\left(R_{dey} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}\right) \quad (۱)$$

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

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 آبخیز 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. درنهایت 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

1- Hydrologic Response Unit 2- USDA Soil Conservation Service 3- Green and Ampt

ماهانه جریان در پنج ایستگاه (شوشتر، عرب اسد، پل شاوور، حرمله و بامدژ) و داده‌های ورودی برای دبی رسوب در چهار ایستگاه (شوشتر، پل شاوور، 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 این مطالعه، برای انجام تحلیل حساسیت از روش OAT[1] 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. معیارR-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.

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

داده Data	منبع داده Data source
نقشه رقومی ارتفاعی Digital Elevation Model	سازمان خواربار و کشاورزی ایالات متحده United States Food and Agriculture Organization
نقشه خاک Soil map	سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان Khuzestan Province Agricultural Jahad Organization
نقشه کاربری اراضی Land use map	سازمان هواشناسی کشور Iran Meteorological Organization
داده‌های هواشناسی Meteorology data	سازمان آب و برق خوزستان Khuzestan Water and Power Organization
داده‌های هیدرومتری Hydrometric data	سازمان آب و برق خوزستان Khuzestan Water and Power Organization
داده‌های رسوب Sediment data	سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان Khuzestan Province Agricultural Jahad Organization
داده‌های مدیریتی و کشاورزی Management and agricultural data	

ارزیابی مدل

برای ارزیابی مدل SWAT روش‌های مختلفی به‌کار می‌رود که ضریب تعیین و ضریب نش – ساتکلیف از مهم‌ترین آن‌ها می‌باشد (Alizadeh et al., 2014). هرکدام از این شاخص‌ها در محدوده‌های مشخصی قرار می‌گیرند. در جدول (۲) محدوده ضرایب NSE و R^2 ارائه شده است.

جدول ۲- محدوده‌های ضرایب NSE و R^2 (Kaushal et al., 2011)

Table 2. NSE and R^2 coefficient ranges, (Kaushal et al., 2011)

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

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 هیدرولیکی مؤثر (CH_K2) حساس‌ترین و پارامترهای طول کانال (CH_L2) و میزان افت دما (TLAPS) دارای کم‌ترین حساسیت در منطقه مورد مطالعه بودند.

زارعی قورخودی و همکاران؛ شیخ زین‌الدین و همکاران؛ نصیری و همکاران و فایرایزن 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 (Zarei Gorkhodi et al., 2022؛ Feyereisen et al.,2007؛ Sheikh Zainuddin et al., 2015؛ Nasiri et al., 2019). عرفانی و همکاران و عارفی و همکاران در

1- One AT a Time

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

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

مؤلفه Component	ردیف Row	پارامتر parameter	مقدار بهینه optimal value	p-value	t-stat	ردیف Row	پارامتر parameter	مقدار بهینه optimal value	p-value	t-stat
رواناب Runoff	1	v__GW_DELAY	481.2	0.95	-0.46	10	r__SOL_AWC	0.021	0.62	-0.52
	2	v__ALPHA_BF	1.05	0.92	0.39	11	v__GWHT	0.21	0.65	0.69
	3	v_ CH_K2	174.2	0.81	0.23	12	v__SFTMP	1.41	0.62	0.11
	4	r__CN2	0.076	0.75	0.51	13	v__TIMP	0.46	0.54	0.71
	5	v_ CH_N2	0.085	0.69	0.61	14	r__SOL_K	0.045	0.45	0.61
	6	v__SMTMP	2.44	0.66	0.74	15	v__PLAPS	2.88	0.42	0.81
	7	r__SOL_BD	-0.17	0.78	0.50	16	v__LAT_TTIME	175.5	0.49	0.94
	8	v_GW_REVAP	0.27	0.75	0.51	17	v__TLAPS	-0.72	0.32	1.10
	9	r__ESCO	0.87	0.68	0.52	18	v_ CH_L2	45.4	0.12	0.95
رسوب Sediment	1	r__USLE_K	0.41	0.12	0.96	9	v__GW_DELAY	368	-0.58	0.61
	2	v__CH_ERODMO	0.63	0.25	0.91	10	r__USLE_P	0.34	-0.74	0.55
	3	v__CH_BED_BD	1.86	0.29	0.82	11	v__SED_CON	36.56	0.87	0.41
	4	v__CH_BED_KD	0.08	0.33	0.80	12	v__CH_EQN	0.00	1.12	0.38
	5	v__CH_BNK_KD	3.18	0.34	0.80	13	v__LAT_SED	36.07	1.87	0.35
	6	v__CH_BNK_BD	1.87	0.33	0.78	14	v__ALPHA_BF	1.23	-2.08	0.18
	7	v__CH_BNK_50	237.7	0.44	0.73	15	r__CN2	-0.21	-3.44	0.12
	8	v__CH_BND_50	878.6	0.50	0.68					

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 (۰/۲۳-۰۵/۰) و (۰/۳۱-۰/۰۸) و مقادیر R-factor به ترتیب در محدوده‌های (۶/۴۵-۰/۰۳) 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 به‌ترتیب در محدوده‌های (۵۹/۹۲-۰/۰) و (۰/۷۷-۰/۵۲) و در مرحله صحت‌سنجی (۵۸/۹۲-۰/۰) 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 به‌ترتیب در محدوده‌های (۰۹/۶۸-۰/۰) و (۶/۴۵-۰/۴۲) 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 (۴۴/۸۹-۰/۰) قرار گرفته است؛ که نشان‌دهنده همبستگی خوب داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده می‌باشد. همچنین مقادیر شاخص NSE برای دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی 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. آبابایی و همکاران؛ گودرزی و همکاران و ناصرآبادی و همکاران نیز در تحقیقات خود مقادیر شاخص‌های R^2 و NSE را به‌ترتیب در محدوده‌های (۴۰/۹۲-۰/۰) و (۰/۸۷-۰/۵۱) گزارش نمودند (Ababei et al., 2009؛ Goodarzi te al 2016؛ Naserabadi et al., 2016).

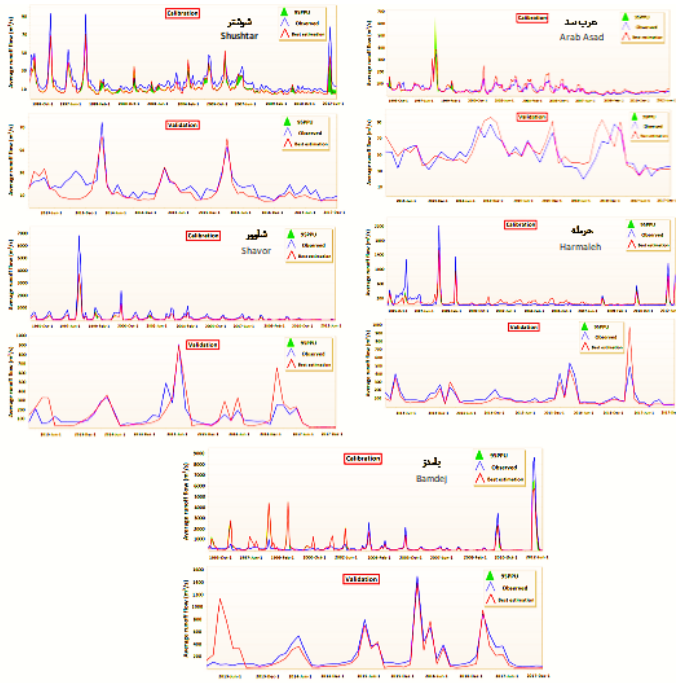
در شکل (۲) نتایج حاصل از شبیه‌سازی پارامتر رواناب در پنج ایستگاه شوشتر، عرب اسد، پل شاوور، حرمله و بامدژ ارائه شده است. باتوجه به نتایج به‌دست آمده برای ایستگاه شوشتر در مرحله واسنجی مقدار دبی اوج شبیه‌سازی شده بیش‌تر از دبی مشاهده‌ای و مقدار دبی پایه شبیه‌سازی شده کم‌تر از دبی پایه مشاهده‌ای است. در 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 پل‌شاوور 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 حرمله 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

می‌باشد. نتایج به‌دست آمده برای ایستگاه بامدژ حاکی از آن است که در مرحله واسنجی در ابتدای دوره (۲۰۰۲-۱۹۹۵) دبی‌های اوج و پایه شبیه‌سازی شده بیش‌تر از مقادیر مشاهده‌ای و در انتهای دوره (۲۰۱۲-۲۰۰۴) مقادیر هردو دبی (اوج و پایه) مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده باهم برابر می‌باشند و در مرحله صحت‌سنجی دبی‌های اوج و پایه مشاهده‌ای بیش‌تر از مقادیر شبیه‌سازی شده است. میزان دقت در شبیه‌سازی رواناب به‌دقت داده‌های اندازه‌گیری شده و موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری بستگی دارد. در ایستگاه‌های کوهستانی مقادیر دبی اوج بیش‌تر از سایر ایستگاه‌ها می‌باشد. به‌طورکلی با توجه به نتایج ارائه شده مدل در مرحله واسنجی عملکرد مناسب‌تری برای شبیه‌سازی رواناب ایستگاه‌های مورد مطالعه داشته است.

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

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

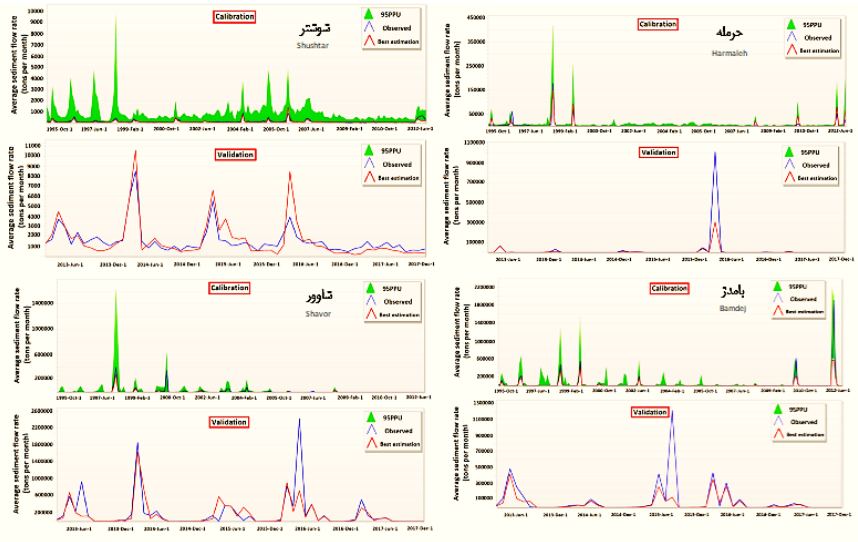
StdDev_sim (StdDev_obs)	Mean_sim (Mean_obs)	NSE	R^2	R-factor	P-factor	ایستگاه/معیار Criterion/Station		مؤلفه Component
10.27(12.74)	12.98(17.78)	0.73	0.91	0.18	0.18	واسنجی verification	ایستگاه شوشتر Shushtar station	رواناب
11.81(11.07)	17/7(18/64)	0.54	0.72	0.08	0.23	صحت‌سنجی Validation		
52.47(43.78)	62.08(55.53)	0.72	0.83	0.11	0.23	واسنجی verification	ایستگاه عرب اسد Arab Asad station	
19.02(16.91)	54.43(51.23)	0.54	0.62	0.06	0.30	صحت‌سنجی Validation		
350.53(640.26)	149.33(266.56)	0.76	0.92	0.03	0.06	واسنجی verification	ایستگاه پل شاوور Shavor bridge station	
147.77(149.1)	148.55(132.22)	0.49	0.65	0.00	0.31	صحت‌سنجی Validation		
148.69(237.12/)	91.01(87.51)	0.74	0.81	0.05	0.05	واسنجی verification	ایستگاه حرمله Harmaleh station	
143.29(112.52)	106.78(125.47)	0.54	0.74	0.01	0.07	صحت‌سنجی Validation		
888.45(910.94)	343.02(302.47)	0.57	0.59	0.06	0.08	واسنجی verification	ایستگاه بامدژ Bamdej station	
300.73(268.77)	221.56(224.14)	0.45	0.58	0.02	0.08	صحت‌سنجی Validation		
10.27(12.74)	120.84(133.59)	0.61	0.66	6.45	0.68	واسنجی verification	ایستگاه شوشتر Shavor bridge station	رسوب
1958(1377)	1613(1576)	0.58	0.84	0.05	0.12	صحت‌سنجی Validation		
23243(40579)	3308(8555)	0.52	0.57	0.87	0.6	واسنجی verification	ایستگاه پل شاوور Shavor bridge station	
285470(415653)	155112(187388)	0.57	0.58	0.002	0.17	صحت‌سنجی Validation		
14873(14341)	3004(2419)	0.77	0.79	0.7	0.09	واسنجی verification	ایستگاه حرمله Harmaleh statio	
40116(130493)	7673(20952)	0.50	0.89	0.00	0.05	صحت‌سنجی Validation		
72643(175404)	16619(29020)	0.61	0.81	0.42	0.57	واسنجی verification	ایستگاه بامدژ Bamdej station	
87551(195011)	44972(785111)	0.36	0.44	0.02	0.17	صحت‌سنجی Validation		



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

نتایج حاصل از شبیه‌سازی رسوب (شکل ۳) در چهار ایستگاه شوشتر، پل شاوور، 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 پل‌شاوور 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 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.



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

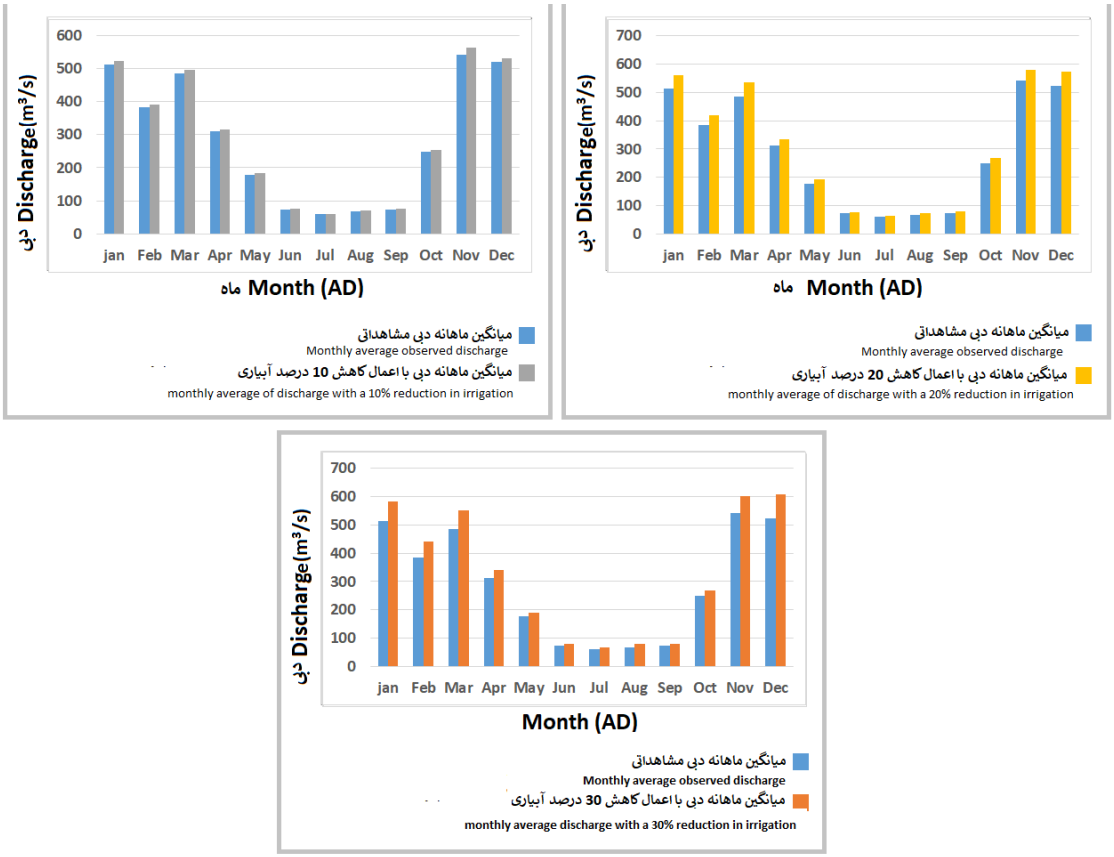
Figure 3. Results of calibration and validation of the Sediment of the SWAT model in the studied stations

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 علاوه‌بر 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 شبکه‌آبیاری و زهکشی رودخانه دز 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. به‌طوری 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.



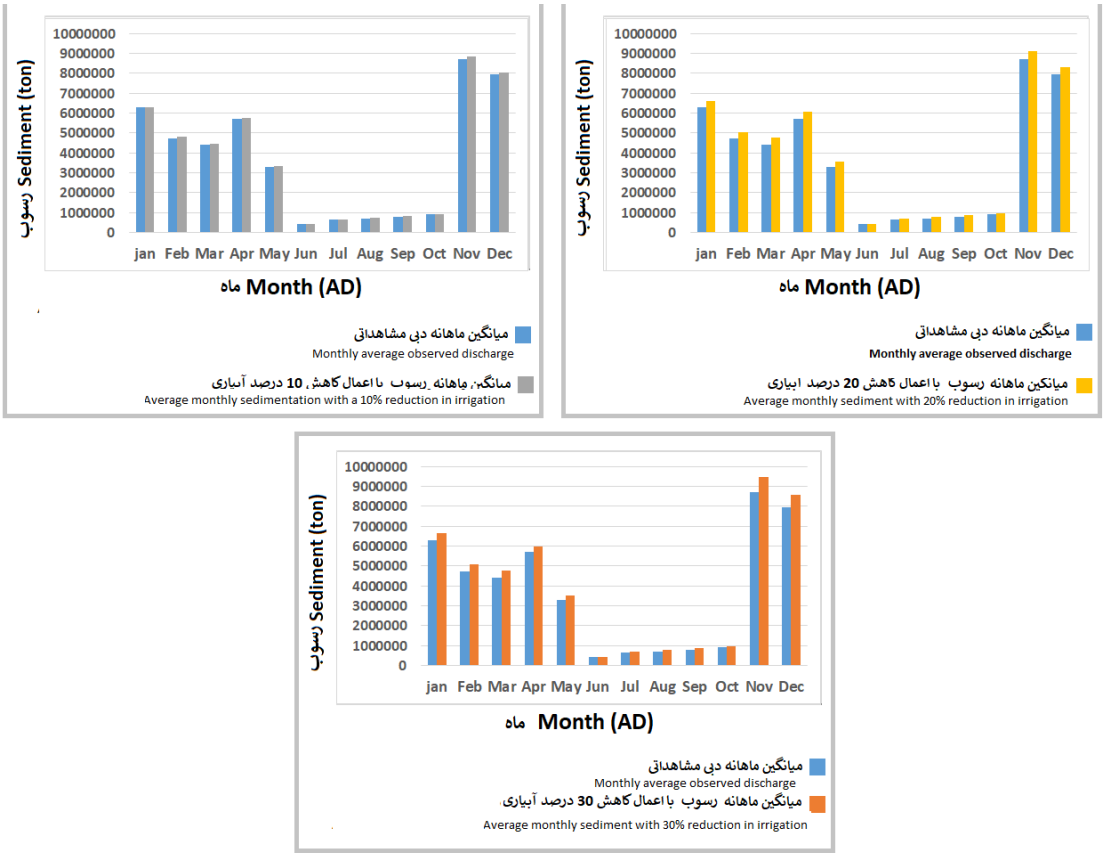
شکل ۴– میانگین دبی رواناب ماهانه و شبیه‌سازی شده با اعمال سناریوهای کاهش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد آب آبیاری

Figure 4. Average monthly runoff flow and simulated by applying 10, 20 and 30% irrigation water reduction scenarios

فرایند فرسایش خاک در یک حوضه رابطه مستقیمی با میزان رواناب موجود در حوضه دارد. چراکه با وقوع رواناب لایه سطحی خاک فرسایش یافته و مواد حاصل از آن به‌صورت رسوب در سطح حوضه ته‌نشین می‌شوند و مقادیر رسوب موجود

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 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.



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

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 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

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 (۰/۹۲-۰/۵۸) و (۰/۷۶-۰/۴۵) و برای رسوب در محدوده‌های (۰/۸۹-۰/۴۴) و (۰/۷۷-۰/۳۶) 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 علاوه‌بر 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 فرسایش‌پذیری 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.

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., & Ismali 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 Gharesou 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.