University of Tehran Press

Journal of Water and Irrigation Management **Online ISSN: 2382-9931**

Homepage: https://jwim.ut.ac.ir/

Evaluation of the Use of Non-Conventional Waters on the Runoff and Sedimentation of the Tajen Basin Using the SWAT Model

Alireza Zarei Ghorkhodi[1] | Ali Shahnazari[2]✉ | Fatemeh Mohammadi[3]

1. Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: a.zarei@stu.sanru.ac.ir
2. Corresponding Author, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: a.shahnazari@sanru.ac.ir
3. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: 83.mohammadi@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 20 May 2022
Received in revised form:
12 July 2022
Accepted: 04 September 2022
Published online:
25 December 2022

Keywords:
Groundwater,
Return water,
Sewage,
Simulation,
Water crisis.

ABSTRACT

Lack of water resources in Mazandaran province and the volume of effluent produced in different sectors, has caused that in order to reduce the withdrawal of surface and groundwater resources in the province, the use and management of unconventional water resources, much attention is paid. The purpose of the present study is to evaluate the application of unconventional water use scenarios on the amount of runoff and sediment in six stations (including Kordakhil, Garmroud, Varand, Vastan, Parvijabad and Aliabad stations) in the Tejn watershed during the years 2000 to 2017 using the SWAT model. Recalibration and validation of the model using data from 2003 to 2012 and 2013 to 2017 and then to evaluate the scenarios of allocating 30% of the available wastewater for agriculture (scenario one), allocating 30% of unconventional water to feed aquifers in the conditions of applying scenario one (scenario two) and a 20% reduction in the extraction of underground water sources for irrigation and the use of unconventional water sources as alternative sources to meet environmental needs (scenario three). Evaluating the efficiency of the model using R2 and NSE coefficients shows the proper performance of the model in simulating these two parameters. The results indicate that the application of scenario one did not affect the amount of runoff and sediment in the basin, but with the application of scenario two, the amount of runoff and sediment decreased by 13.4% and 9.1%, respectively. Applying Scenario three should be 10 to 20% of the annual discharge for the second six months and 30 to 40% of the average annual discharge for the first six months of the year in order to meet the environmental needs. The results obtained from the present research show that the use of non-conventional water, in addition to solving the water shortage, also reduces the problems caused by the flow of runoff and the settling of sediments.

Cite this article: Zarei Ghorkhodi, A. R., Shahnazari, A., & Mohammadi, F. (2022). Evaluation of the Use of Non-Conventional Waters on the Runoff and Sedimentation of the Tajen Basin Using the SWAT Model. *Journal of Water and Irrigation Management*, 12 (4), 713-728. DOI: http://doi.org/10.22059/jwim.2022.343350.993

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http://doi.org/10.22059/jwim.2022.343350.993

انتشارات دانشگاه تهران

مدیریت آب و آبیاری

شاپا الکترونیکی: ۹۹۳۱-۲۳۸۲

Homepage: https://jwim.ut.ac.ir/

ارزیابی استفاده از آب‌های نامتعارف بر رواناب و رسوب حوضه تجن با استفاده از مدل SWAT

علیرضا زارعی قورخودی[۱] | علی شاهنظری[۲]✉ | فاطمه محمدی[۳]

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: a.zarei@stu.sanru.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: a.shahnazari@sanru.ac.ir

۳. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: 83.mohammadi@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۴/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۰/۰۴

کلیدواژه‌ها:
آب برگشتی،
آب زیرزمینی،
بحران آب،
پساب،
شبیه‌سازی.

چکیده

هدف از مطالعه حاضر ارزیابی اعمال سناریوهای استفاده از آب‌های نامتعارف بر مقدار رواناب و رسوب در شش ایستگاه (شامل ایستگاه‌های کردخیل، گرم‌رود، ورند، واستان، پرویج‌آباد و علی‌آباد) در حوضه آبریز تجن طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ با استفاده از مدل SWAT می‌باشد. واسنجی و صحت‌سنجی مدل با استفاده از داده‌های سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ انجام و سپس به ارزیابی سناریوهای تخصیص ۳۰ درصد از پساب موجود برای کشاورزی (سناریوی یک)، تخصیص ۳۰ درصد از آب‌های نامتعارف برای تغذیه آبخوان‌ها در شرایط اعمال سناریوی یک (سناریوی دو) و کاهش ۲۰ درصد برداشت از منابع آب زیرزمینی برای آبیاری و استفاده از منابع آب نامتعارف به‌عنوان منابع جایگزین برای تأمین نیاز زیست‌محیطی (سناریوی سه) می‌باشد. ارزیابی کارایی مدل با استفاده از ضرایب R2 و NSE نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل در شبیه‌سازی این دو پارامتر می‌باشد. نتایج حاکی از آن است که اعمال سناریوی یک بر میزان رواناب و رسوب حوضه تأثیر نداشته، اما با اعمال سناریوی دو میزان رواناب و رسوب به‌ترتیب ۱۳/۴ و ۹/۱ درصد کاهش یافته است. اعمال سناریوی سه نیز موجب کاهش ۸/۱ درصدی رواناب و ۸/۸ درصدی رسوب حوضه می‌شود. براساس سناریوی سه باید ۱۰ تا ۲۰ درصد دبی سالانه برای شش‌ماهه دوم و ۳۰ تا ۴۰ درصد میانگین دبی سالانه برای شش‌ماهه اول سال به‌منظور تأمین نیاز زیست‌محیطی در نظر گرفته شود. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر نشان می‌دهد که استفاده از آب‌های نامتعارف علاوه بر رفع کمبود آب مشکلات ناشی از جاری‌شدن رواناب و ته‌نشینی رسوبات را نیز کاهش می‌دهد.

استناد: زارعی قورخودی، ع. ر.، شاهنظری، ع. و محمدی، ف (۱۴۰۱). ارزیابی استفاده از آب‌های نامتعارف بر رواناب و رسوب حوضه تجن با استفاده از مدل SWAT. *نشریه مدیریت آب و آبیاری*، ۱۲ (۴)، ۷۱۳-۷۲۸. DOI: http://doi.org/10.22059/jwim.2022.343350.993

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

CC BY NC

۱. مقدمه

در دهه‌های اخیر اهمیت آب در توسعه زندگی بشر به‌ویژه در کشورهای واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با کمبود منابع آب شیرین روبه‌رو هستند بیش از پیس نمایان شده است. اگرچه مهم‌ترین منبع دائمی آب برای مصارف کشاورزی، صنعتی و شهری نزولات جوی است اما به‌دلیل محدودبودن منابع آب در دسترس با کیفیت مطلوب، عدم توزیع یکنواخت این منابع در نقاط مختلف هم‌چنین خشکسالی و گرم‌شدن کره زمین و افزایش تقاضا برای مصرف آب و ثابت‌بودن عرضه باعث افزایش بحران آب در جهان و کشور شده است و مسئله تأمین آب را با مشکلات جدی مواجه ساخته است. استفاده از آب‌های نامتعارف با توجه به محدودیت منابع آبی مطلوب و قابل دسترس در مدیریت بحران آب بسیار مؤثر و کارآمد است (Peña-Guzmán et al., 2019). در بسیاری از مناطق کشور به‌ویژه در استان‌های شمالی مانند استان مازندران منابع آبی نامتعارف فروانی وجود دارد، اما مجاورت اکثر شهرهای این مناطق با دریا سبب شده است که اقدامات مناسبی در زمینه مهار و تصفیه آب‌های نامتعارف صورت نپذیرد. لذا آب‌های نامتعارف بدون اعمال هیچ‌گونه اقدام مدیریتی در دریا و منابع طبیعی تخلیه می‌شوند. با توجه به کمبود منابع آب در استان مازندران به‌دلیل تغییرات اقلیمی و هم‌چنین برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی لزوم استفاده از این منابع را در استان آشکارتر می‌سازد. مطالعات فراوانی در خصوص بهره‌برداری از آب‌های نامتعارف در ایران و سطح دنیا صورت گرفته است. نتایج مطالعه Iftikhar Hussain et al. (2019) نشان داد استفاده از آب‌های نامتعارف شامل استفاده از فاضلاب، آب باران و بارورسازی ابرها به‌عنوان جایگزین برای آب شیرین، یک استراتژی معتبر در حوضه منا (MENA) برای بازیابی اراضی حاشیه‌ای و زمین‌های تخریب‌شده شور است. هم‌چنین Mohammad Mirzaei et al. (2021) در مطالعه‌ای به بررسی اثر استفاده از آب‌های نامتعارف سطحی و زیرزمینی بر منابع آب متعارف در حوضه گرگانرود استان گلستان با استفاده از مدل‌های WEAP و MODFLOW پرداختند. نتایج نشان داد در صورت احداث تصفیه‌خانه به‌عنوان یک منبع آب نامتعارف پایدار، بخشی از نیاز زراعی از طریق این منبع تأمین خواهد شد و وضعیت آبخوان در نتیجه اعمال سناریوهای مدیریتی بهبود خواهد یافت. Moradi et al. (2017)، بیان کردند استفاده از پساب نه‌تنها سبب تغذیه آبخوان‌ها و افزایش سطح ایستابی می‌شود بلکه به‌دلیل دارابودن آب‌های زیرزمینی از مکانیسم‌های خاص طبیعی (عبور پساب از ناحیه اشباع و غیراشباع) فاضلاب احیاشده و رواناب‌های سطحی را در خود ذخیره نموده موجب کاهش سیلاب در فصل زمستان و هم‌چنین تصفیه طبیعی آن‌ها به‌منظور استفاده در بخش‌های کشاورزی و شرب نیز می‌شود.

Taheri Dehkordi (2010)، به بررسی اثرات ناشی از اجرای طرح تغذیه مصنوعی با فاضلاب بر کمیت و کیفیت آبخوان سفیددشت شهرکرد پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که تغذیه با پساب بیش‌ترین تأثیر را بر کمیت آب زیرزمینی، پارامترهای کیفی و هم‌چنین کاهش خشکسالی و کاهش سیل داشته است. به‌گونه‌ای که در بحث کمیت مقدار سطح آب زیرزمینی با استفاده از این منابع افزایش یافته است. نتایج پژوهش Loy et al. (2018) نیز نشان داد که استفاده از پساب تصفیه‌شده شهری و منابع آب زیرزمینی شور در صورت به‌کارگیری سامانه‌های آبیاری پیشرفته می‌تواند جایگزین مناسبی برای استفاده از منابع زیرزمینی و کاهش برداشت از این منابع باشد. اندازه‌گیری کلیه داده‌های مربوط به سامانه‌ها و فرایندهای هیدرولوژیکی به دلایل مختلفی امکان‌پذیر نیست، از جمله این دلایل می‌تواند ناهمگونی مکانی و زمانی باشد. این یک واقعیت است که روش‌های اندازه‌گیری پرزحمت، پرهزینه و زمان‌بر برای اجرا هستند. مدل‌های هیدرولوژیکی این امکان را به ما می‌دهند که با استفاده از ویرایش متغیرها و پارامترهای سیستم، درک بهتری از تعامل بین آن‌ها با سیستم داشته باشیم. استفاده از مدل‌های

هیدرولوژیکی توزیعی، برای حل مسائل مربوط به منابع آب، شامل تأثیرات محیطی تغییر کاربری اراضی، اثر تغییر اقلیم، آمایش آب و مدیریت در حوضه آبریز و ارزیابی کاربرد آب‌های نامتعارف در مصارف مختلف به‌طور رو به رشدی در حال گسترش می‌باشد (Pechlivanidis et al., 2011). مدل‌های مختلفی مانند VENSIM[1]، WEAP[2]، SWAT[3] برای ارزیابی آب‌های سطحی و نامتعارف گسترش توسعه یافته‌اند. مدل SWAT یکی از محبوب‌ترین مدل‌هایی است که به‌طور گسترده‌ای برای شبیه‌سازی پارامترهای هیدرولوژیکی جریان در سری‌های زمانی مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد (Mahzari et al., 2016).

مدل SWAT توانایی شبیه‌سازی تغییرات روش‌های مدیریتی، آب و هوا و پوشش گیاهی بر کمیت و کیفیت منابع آب موجود در یکی حوضه آبریز را دارد. امروزه در سراسر دنیا مطالعات زیادی با استفاده از مدل (SWAT) انجام شده است که در ادامه تعدادی از آن‌ها بیان می‌شود. Rezaei Moghadam et al. (2021) در مطالعه‌ای به واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب و رسوب در حوضه آبریز شهر چای میانه پرداختند. نتایج نشان داد که مدل SWAT توانایی مناسبی در شبیه‌سازی رواناب و رسوب حوضه آبریز شهرچای میانه را دارد. Hosseini and Khaleghi (2020) اقدام به ارزیابی مدل هیدرولوژیکی SWAT در شبیه‌سازی جریان رسوب و هم‌چنین بررسی عدم قطعیت مدل در مناطق حوضه آبریز خشک و نیمه‌خشک (مطالعه موردی: حوضه آبریز زوشک- ابرده) نمودند. نتایج نشان‌دهنده کارایی قابل‌قبول مدل SWAT در شبیه‌سازی بار رسوب منطقه موردمطالعه بود. کمبود منابع آب در استان مازندران و هم‌چنین وجود منابع آب نامتعارف فراوان از قبیل پساب و رواناب تولیدی لزوم استفاده از این منابع را بیش از پیش نمایان می‌سازد. از سوی دیگر تاکنون مطالعه‌ای در زمینه استفاده از مدل SWAT به‌منظور ارزیابی استفاده از آب‌های نامتعارف صورت نگرفته است. همین امر سبب شده که در این پژوهش از مدل SWAT به‌منظور ارزیابی اعمال سناریوهای استفاده از آب‌های نامتعارف بر مقدار رواناب و رسوب حوضه آبریز تجن در استان مازندران استفاده شود.

۲. مواد و روش‌ها

۲. ۱. منطقه موردمطالعه

حوضه آبریز تجن در شمال ایران و استان مازندران واقع می‌باشد. طول این حوضه در حدود ۱۷۰ کیلومتر و مساحت آن در حدود ۴۱۴۷ کیلومترمربع می‌باشد. این منطقه به‌طور عمده از آبراهه‌ها و رودخانه‌ها تشکیل شده، که رودخانه تجن از مهم‌ترین آن‌هاست. محدوده مطالعاتی دارای میانگین دمای ۱۴/۴۲ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه ۶۱۵ میلی‌متر می‌باشد. در شکل (۱) موقعیت مکانی حوضه مطالعاتی، ایستگاه‌های هیدرومتری محدوده موردمطالعه، جانمایی آب‌بندان‌ها، نقشه کاربری اراضی و خاک نشان داده شده است.

۲. ۲. مدل SWAT

در این مطالعه برای ارزیابی تأثیر استفاده از منابع آبی نامتعارف بر رواناب و رسوب حوضه، از مدل SWAT استفاده شده است. 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 فرایندهای مربوط به هیدرولوژی امکان تعریف سناریوهای مدیریتی نیز وجود دارد (Verbeeten & Barendregt, 2007). 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)[۴] تقسیم‌بندی می‌شود. ویژگی‌های فیزیکی مانند شیب و ابعاد آبراهه‌ها برای زیرحوضه‌ها براساس نقشه ارتفاعی توسط مدل شبیه‌سازی می‌شود (Basaltpour and Hosseinzadeh, 2016). مدل SWAT از روش عدد منحنی اصلاح‌شده (USDA Soil Conservation Service, 2001) یا روش نفوذ گرین-آمپت[۵] برای محاسبه حجم رواناب سطحی برای هر HRU استفاده می‌کند. اساس چرخه هیدرولوژی براساس رابطه بیلان آبی می‌باشد که به شکل رابطه (۱) است.

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

در رابطه فوق SW_t: مقدار فعلی آب در خاک، SW_0: مقدار یکیه آب در خاک، R_{dey}: مقدار بارندگی، Q_{surf}: مقدار رواناب E_a: مقدار تبخیر وتعرق واقعی، W_{seep}: مقدار آب واردشده از نیم‌رخ خاک به ناحیه غیراشباع، Q_{gw}: مقدار جریان برگشتی می‌باشند (Basaltpour and Hosseinzadeh, 2016).

رسوب نیز در مدل SWAT به‌عنوان فرسایشی که به‌وسیله بارش و رواناب ایجاد می‌شود از رابطه اصلاح‌شده معادله جهانی فرسایش (MUSLE) محاسبه می‌شود (Rostamian et al., 2009).

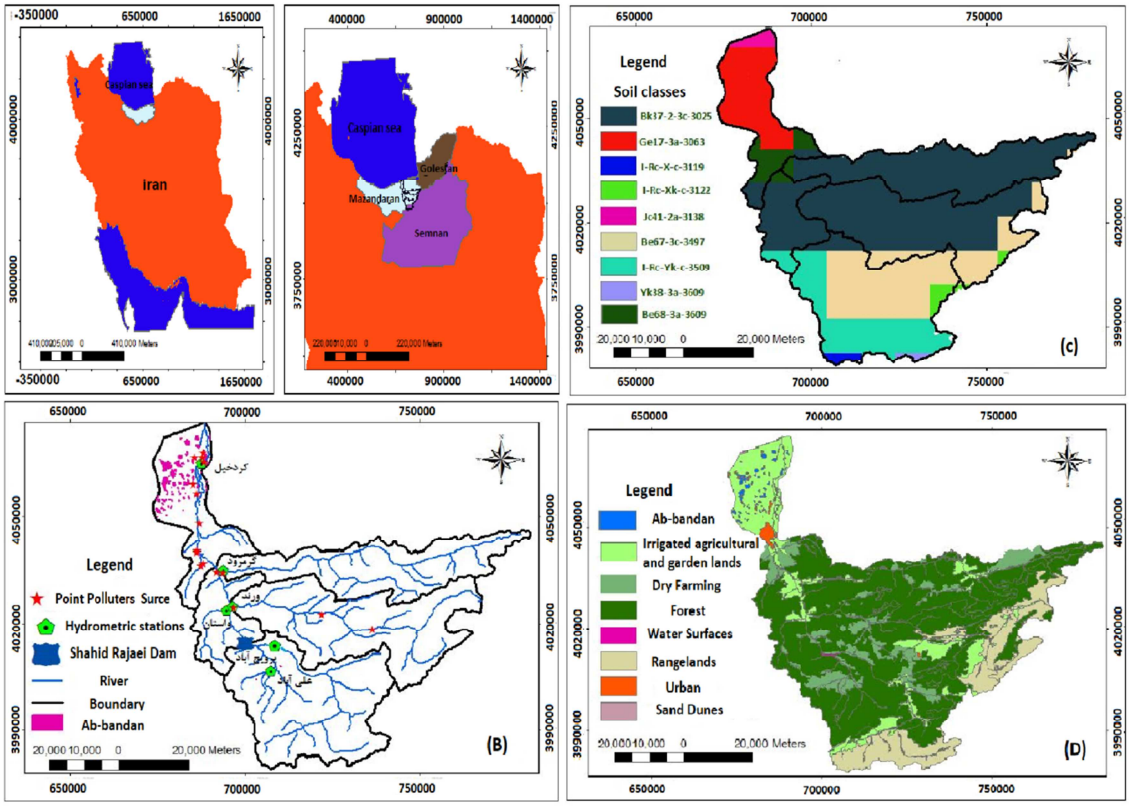

Figure 1. A: Location of the study area in the country and Mazandaran province, B: Location of hydrometric stations, dams and point pollutants in the study basin, C: Soil map of Tajan catchment, D: Land use map of Tajan catchment

۲. ۳. آماده‌سازی مدل

در این مطالعه از نسخه SWAT 2009 به‌عنوان یک افزونه در محیط ArcGIS استفاده شد. پس از معرفی رقوم ارتفاعی مرز حوضه و زیرحوضه‌ها تعیین و سپس محل ایستگاه‌های هیدرومتری به‌عنوان خروجی حوضه تعیین شد. در مرحله بعد به‌منظور تعیین بخش‌های پاسخ هیدرولوژیکی (HRU) معرفی نقشه خاک و کاربری اراضی و نقشه شیب با پنج کلاس به مدل صورت گرفت. پس از تعریف HRU اطلاعات هواشناسی و ایستگاه‌های سینوپتیک و هم‌چنین اطلاعات مربوط به نقاط آلاینده، آب‌بندان و سد به مدل معرفی شدند. با توجه به این‌که تعداد پارامترهای ورودی به مدل زیاد می‌باشد، برای شناسایی پارامترهای مؤثر و هم‌چنین دستیابی به نتایجی که با واقعیت مطابقت بیش‌تری دارند انجام آنالیز حساسیت و واسنجی صورت پذیرفت. پس از این مرحله برای ارزیابی آب‌های نامتعارف در منطقه مطالعاتی سناریوهای مدیریتی به مدل معرفی شدند. در تعریف سناریوهای مدیریتی ۱۵ درصد از منابع ذخیره‌شده در آب‌بندان‌ها در فصول زراعی به‌عنوان زه‌آب ذخیره‌شده در آب‌بندان‌های پایین‌دست در نظر گرفته شد. علاوه بر این ۱۵ درصد از منابع آب‌های سطحی به‌عنوان آب‌های نامتعارف که بدون استفاده وارد حوضه مطالعاتی می‌شوند، برای اجرای سناریوها به مدل معرفی شد.

۲. ۴. آنالیز حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی

به‌منظور آنالیز حساسیت، واسنجی و صحت‌سنجی از نرم‌افزار SWAT-CUP و الگوریتم SUFI-2 استفاده شد (Abbaspour, 2015). در این مطالعه، برای انجام تحلیل حساسیت روش OAT[۷] مورداستفاده قرار گرفت. در این روش در هر بار اجرای مدل یک عامل تغییر کرده و بقیه ثابت می‌مانند و اثر آن تغییر بر تابع هدف، حساسیت عامل را مشخص می‌کند. سپس با تعیین t-stat و p-value هر پارامتر در این معادله رگرسیونی، درجه تأثیرگذاری پارامتر مشخص می‌شود. در مطالعه حاضر با توجه به مطالعات صورت گرفته از ۴۳ پارامتر برای ارزیابی دبی رواناب و رسوب استفاده شد که از این بین ۲۴ پارامتر به‌عنوان پارامترهای حساس شناسایی شدند. واسنجی و صحت‌سنجی مدل نیز با استفاده از داده‌های دبی رواناب و رسوب سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ صورت گرفت. داده‌های آماری سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۳ نیز به‌منظور گرم‌کردن[۸] مدل به‌کار گرفته شدند. از سوی دیگر برای ارزیابی عدم قطعیت خروجی‌های مدل از فاکتورهای p-factor و r-factor استفاده شد.

۲. ۵. ارزیابی مدل

برای ارزیابی مدل SWAT روش‌های مختلفی به‌کار می‌رود که ضریب تعیین و ضریب نش- ساتکلیف از مهم‌ترین آن‌ها می‌باشد (Alizadeh, 2014).

Table 1. NSE and R^2 coefficient ranges (Donigian, 2000; Moriasi et al., 2007)

Assessment's result	Nash-Sutcliffe coefficient (NSE)	The coefficient of determination (R^2)
Very well	$0.75 < NSE \leq 1$	$0.85 \leq R^2$
Well	$0.65 < NSE \leq 0.75$	$0.70 < R^2 \leq 0.80$
Satisfactory	$0.50 < NSE \leq 0.65$	$0.60 < R^2 \leq 0.80$
Unacceptable	$NSE \leq 0.50$	$R^2 \leq 0.60$

۲. ۶. سناریوهای موردبررسی

سناریوی یک: تخصیص ۳۰ درصد از پساب موجود برای استفاده در کشاورزی.

سناریوی دو: تخصیص ۳۰ درصدی آب‌های نامتعارف شامل آب‌های سطحی و پساب تصفیه‌نشده برای تغذیه آبخوان‌ها در شرایط اعمال سناریوی یک.

سناریوی سه: کاهش ۲۰ درصدی برداشت از منابع آب زیرزمینی برای آبیاری و استفاده از منابع آب نامتعارف به‌عنوان منبع جایگزین به‌علاوه تأمین بخشی از نیاز زیست‌محیطی.

سناریوهای موردبررسی در این پژوهش براساس اطلاعات موجود در زمینه حجم پساب تولیدی در بخش‌های مختلف استان مازندران و هم‌چنین میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی به‌منظور تأمین آب موردنیاز در بخش کشاورزی طراحی شدند. از سوی دیگر با توجه به حجم رواناب تولیدی در حوضه با استفاده از سناریوهای مذکور می‌توان علاوه بر مهار رواناب از این منابع به‌منظور تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی استفاده نمود.

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. آنالیز حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی

برای انجام فرایندهای آنالیز حساسیت، واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAT در این مطالعه حوضه تجن به ۲۵ زیرحوضه تقسیم و ۲۳۵ واجد واکنش هیدرولوژیکی (HRU) با استفاده از نقشه‌های خاک، کاربری اراضی و شیب تشکیل شد. نتایج آنالیز حساسیت پارامتر رواناب حاکی از آن است که از بین ۱۰ پارامتر ورودی پارامترهای CN2 و ALPHA_BF به‌ترتیب بیش‌ترین حساسیت و پارامترهای PLAPS و GWQMN کم‌ترین حساسیت را نشان دادند. از سوی دیگر در بین ۱۴ پارامتر ورودی پارامترهای HRU_SLP و C_FACTOT دارای بالاترین حساسیت و هم‌چنین، EROS_EPO و SOL_K کم‌ترین حساسیت را در شبیه‌سازی رسوب به خود اختصاص داده‌اند. نتایج حاصل از آنالیز حساسیت این پارامترها براساس دو فاکتور p-value و t-stat در جدول (۳) ارائه شده است. نتایج این مطالعه با پژوهش‌های صورت‌گرفته در حوضه آبریز تجن توسط Rajaei et al. (2014) و Wang and Melles (2006) در حوضه شمال‌غربی مینه‌سوتا که پارامتر CN2 را به‌عنوان حساس‌ترین پارامتر مدل در شبیه‌سازی رواناب معرفی کرده بودند، مطابقت دارد.

۳. ۲. واسنجی و صحت‌سنجی

مطابق جدول (۴) نتایج حاصل از واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAT در ایستگاه‌های شش‌گانه موردبررسی برای پارامترهای رواناب و رسوب در دوره‌های آماری ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ (واسنجی) و دوره‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ (صحت‌سنجی) را نشان می‌دهد. مقادیر r-factor به‌دست آمده برای دو پارامتر رواناب و رسوب در دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی در بازه‌های ۱/۲۱- ۰/۳۹ و ۱/۳۴- ۰/۴۴ قرار گرفته‌اند، که نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل می‌باشد. از سوی دیگر محدوده مقادیر به‌دست‌آمده برای p-factor در دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی به‌ترتیب ۰/۴۷-۰/۲۸ و ۰/۶۹-۰/۳۷ می‌باشند. شاخص p-factor نشان‌دهنده درصد داده‌های مشاهداتی در باند عدم قطعیت ۹۵ درصد می‌باشد. بنابراین براساس مقادیر به‌دست‌آمده پارامتر رواناب دارای عدم قطعیت زیادی در پیش‌بینی‌های صورت گرفته است.

ارزیابی مدل با استفاده از دو شاخص (R^2) و (NSE) نشان می‌دهد. مقادیر به‌دست‌آمده برای پارامتر رواناب در دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی برای ضریب تعیین (R^2) در بازه ۰/۸۷-۰/۶۸ و برای ضریب نش- ساتکلیف (NSE) در بازه ۰/۷۲- ۰/۵۲ قرار گرفتند، که در هر دو مرحله مدل عملکرد قابل‌قبولی ارائه کرده است. در خصوص پارامتر رسوب در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی مقادیر برای (R^2) در بازه ۰/۷۹-۰/۶۲ و برای (NSE) در بازه ۰/۷۴-۰/۵۸ به دست آمد. پژوهش‌گران دیگر مانند (Nikkho Amiri et al., 2020; Fereidoon et al., 2019; Jimeno-Sáez et al.,

2018; Mahzari et al., 2016) نیز در مطالعات خود مقادیر مشابهی را برای ارزیابی مدل SWAT توسط این دو ضریب به‌دست آوردند. شکل‌های (۲) و (۳) نتایج ارزیابی مدل را در دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی نشان می‌دهند.

Table 2. List of criteria for evaluating the performance of the model in the calibration and validation stage of runoff and monthly sediment flow (values in parentheses indicate the results of the validation stage)

Station / Benchmark		p-factor	r-factor	R^2	NSE
Kordakhil	Runoff	0.32 (0.28)	0.54 (0.91)	0.73 (0.81)	0.63 (0.52)
Station	Sediment	0.52 (0.45)	1.34 (0.76)	0.72 (0.67)	0.72 (0.62)
Garmroud	Runoff	0.38 (0.38)	0.52 (1.21)	0.71 (0.68)	0.60 (0.55)
Station	Sediment	0.55 (0.38)	0.94 (0.66)	0.73 (0.69)	0.74 (0.70)
Varand	Runoff	0.47 (0.33)	0.80 (1.08)	0.77 (0.73)	0.58 (0.56)
station	Sediment	0.48 (0.39)	0.44 (0.88)	0.79 (0.84)	0.69 (0.66)
Vastan	Runoff	0.32 (0.47)	0.72 (0.83)	0.87 (0.68)	0.72 (0.62)
Station	Sediment	0.59 (0.64)	0.76 (1.29)	0.68 (0.63)	0.67 (0.63)
Parvijabad	Runoff	0.46 (0.40)	0.88 (1.12)	0.83 (0.70)	0.66 (0.54)
station	Sediment	0.60 (0.45)	1.14 (0.73)	0.62 (0.77)	0.61 (0.58)
Aliabad	Runoff	0.45 (0.37)	0.39 (0.78)	0.81 (0.74)	0.67 (0.54)
Station	Sediment	0.69 (0.67)	0.81 (0.88)	0.68 (0.74)	0.56 (0.54)

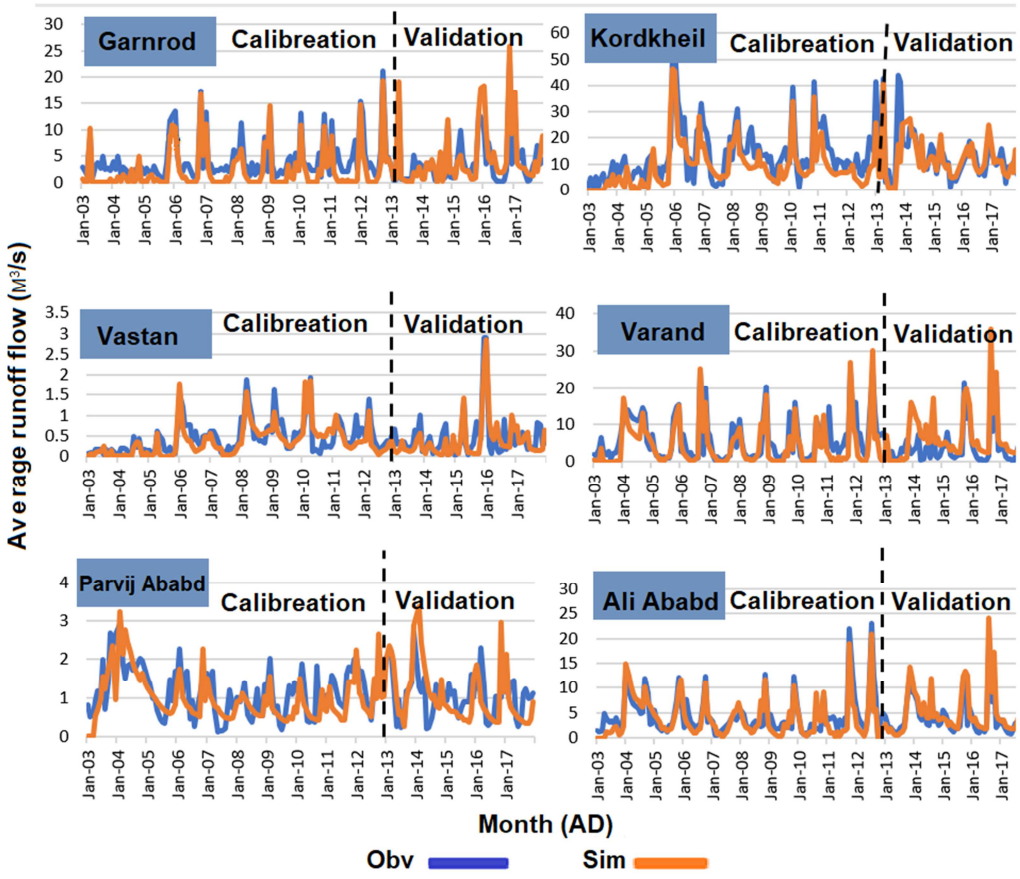

Figure 2. Results of SWAT model runoff calibration and validation in the studied stations

نتایج ارائه‌شده در شکل (۲) نشان می‌دهد که در بین ایستگاه‌های موردمطالعه مدل در ایستگاه پرویج‌آباد عملکرد بهتری در شبیه‌سازی فاکتورهایی مانند تخمین مقدار و زمان و رسیدن به حداکثر دبی رواناب داشته است. در برخی

ایستگاه‌ها مانند ورند و کردخیل مدل زمان رسیدن به دبی را به خوبی پیش‌بینی کرده است، اما در ایستگاه ورند وجود عواملی هم‌چون کوهستانی‌بودن ایستگاه و ذوب برف سبب شده که مدل عملکرد خوبی در شبیه‌سازی این پارامتر نداشته باشد. زمان تأخیر جریان به‌دلیل قرارگیری ایستگاه کردخیل در محدوده شهری و در نزدیکی خروجی دریا می‌تواند به‌عنوان پارامتر مؤثر در شبیه‌سازی‌های انجام‌شده در این ایستگاه بیان شود. براساس نتایج به‌دست‌آمده (نمودارهای شکل ۲) مدل SWAT در مرحله واسنجی عملکرد بهتری نسبت به مرحله صحت‌سنجی داشته است.

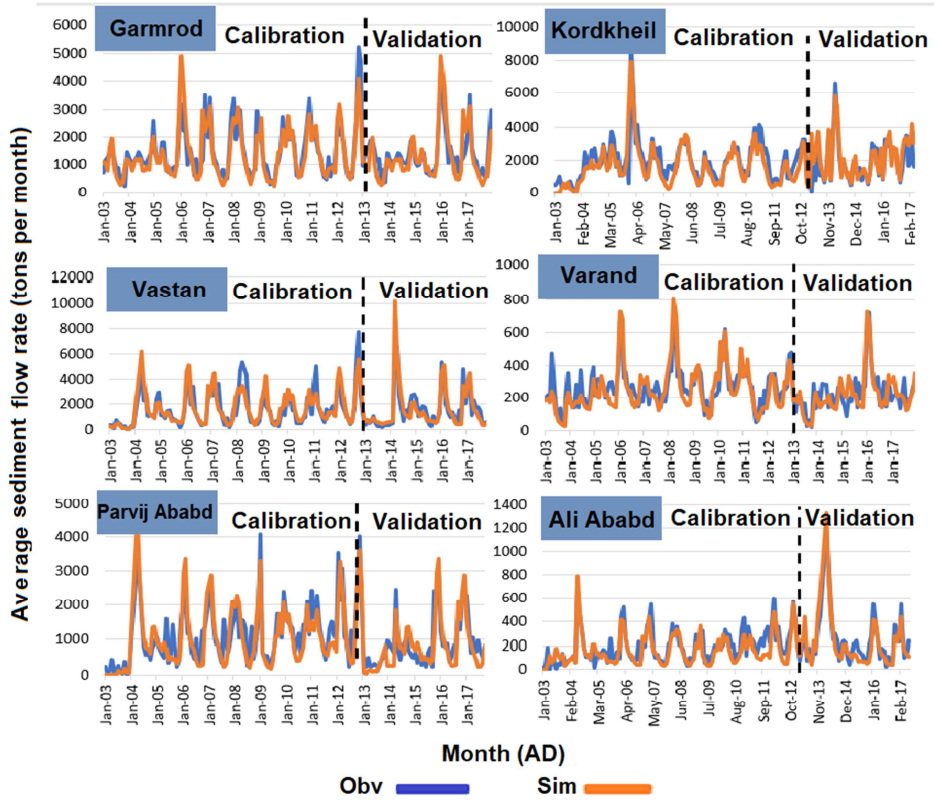

Figure 3. Results of calibration and validation of SWAT model sediment discharge in the studied stations

شکل (۳) نتایج حاصل از شبیه‌سازی دبی رسوب در شش ایستگاه موردمطالعه حوضه تجن را نشان می‌دهد. در خصوص نقطه اوج دبی رسوب مدل عملکرد بهتری داشته است. از سوی دیگر عواملی هم‌چون شرایط سیلابی سبب تغییرات ناگهانی در توازن و تعادل رسوب در زمان حمل رسوبات از بالادست به پایین‌دست حوضه شده است. این تغییرات در شرایط غیرسیلابی کم‌تر بوده به‌گونه‌ای که دبی جریان و دبی رسوب باهم منطبق می‌شوند. نتایج به‌دست‌آمده با یافته‌های پژوهش Briak et al. (2016) که در حوضه آبریز کالایا واقع در شمال مراکش انجام گرفت، مطابقت دارد.

۳. ۳. ارزیابی سناریو

سناریوی یک: تخصیص ۳۰ درصد از پساب موجود برای استفاده در کشاورزی

در این سناریو ابتدا به بررسی تأثیر منابع پساب موجود در حوضه تجن شامل منابع آلاینده نقطه‌ای و زه‌آب‌های خروجی از آب‌بندان‌ها بر میزان دبی رواناب و رسوب پرداخته شد. براساس این سناریو ۳۰ درصد از حجم منابع آلاینده نقطه‌ای که

در شرایط فعلی وارد رودخانه‌ها می‌شوند به مصارف کشاورزی و اراضی تحت کشت شلتوک (برنج) می‌رسند. علاوه بر این رواناب‌ها و زه‌آب‌های جمع‌آوری‌شده توسط آب‌بندان‌ها در زمین‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. میزان ۱۵ درصد از حجم آب‌های جمع‌آوری‌شده در آب‌بندان‌ها تحت جریان برگشتی وارد چرخه رودخانه‌ها و آب‌بندان‌های موجود در پایین‌دست حوضه می‌شوند. در این پژوهش ۳۰ درصد از منابع آب برگشتی آب‌بندان‌ها به مصارف کشاورزی تخصیص یافته است. پس از اعمال سناریو در ایستگاه‌های موردمطالعه میزان رواناب و رسوب آن‌ها تغییر چندانی نداشته است (میزان دبی رواناب و رسوب به‌ترتیب دو و یک درصد کاهش داشتند).

سناریوی دو: تخصیص ۳۰ درصدی آب‌های نامتعارف شامل آب‌های سطحی و پساب تصفیه‌نشده برای تغذیه آبخوان‌ها در شرایط اعمال سناریوی یک

سناریوی دو با درنظرگرفتن سناریوی یک به‌منظور بررسی تأثیر آب‌های نامتعارف بر تغذیه آبخوان‌های محدوده موردمطالعه به مدل معرفی شود. به‌گونه‌ای که پس از تخصیص ۳۰ درصد از پساب جمع‌آوری‌شده به بخش کشاورزی، ۳۰ درصد از منابع آب‌های سطحی که شامل آب‌های نامتعارف نیز می‌شود و همچنین ۳۰ درصد از پساب منابع آلاینده نقطه‌ای برای تغذیه آبخوان‌ها برای ارزیابی به مدل معرفی شد.

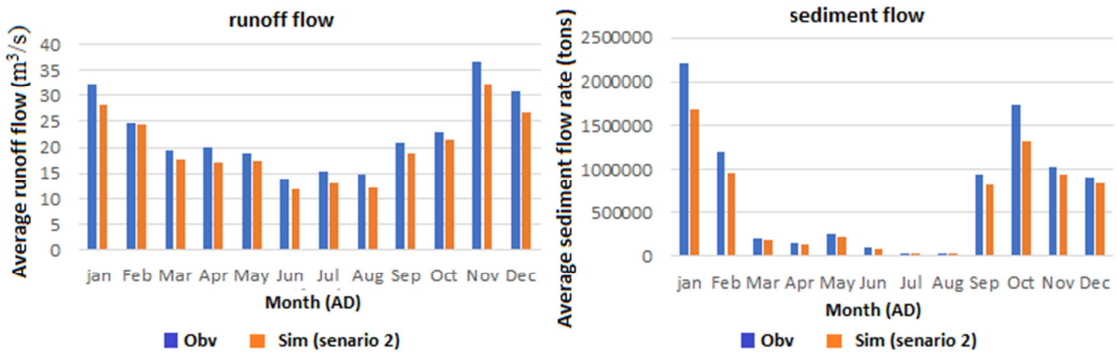

Figure 4. Average monthly runoff and sediment discharge simulated by applying scenario 2 in the studied basin

نمودارهای شکل (۴)، نتایج نشان می‌دهد که اعمال سناریوی دو مؤلفه رواناب، حوضه آبریز تجن را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. در زمان اجرای سناریوی یک رواناب حوضه تغییر چندانی نداشت، اما در شرایط اعمال تخصیص ۳۰ درصد از رواناب حوضه مطالعاتی به تغذیه آبخوان‌های زیرزمینی، میزان رواناب در خروجی زیرحوضه‌ها و ایستگاه‌های مطالعاتی کاهش یافته است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که میانگین ماهانه دبی رواناب مشاهداتی در بازه۱۴/۰۳– ۰/۲۳ مترمکعب بر ثانیه قرار دارد که در شرایط اجرای سناریو این مقادیر در بازه ۱۲/۶۴-۰/۱۸ مترمکعب بر ثانیه قرار گرفت و حاکی از کاهش میزان رواناب در برخی ماه‌ها و ایستگاه‌هاست. در طول دوره آماری موردبررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی سناریوی دو نشان می‌دهد که ماه آوریل (فروردین‌ماه) بیش‌ترین کاهش دبی و ماه نوامبر (آبان‌ماه) بیش‌ترین مقدار دبی را در حوضه مطالعاتی دارند. اجرای سناریوی دو سبب می‌شود که میزان دبی رواناب در فصل بهار کاهش فراوانی داشته باشد که این امر میزان تخصیص برای تأمین نیاز بخش کشاورزی را با مشکل روبه‌رو می‌سازد. اجرای این سناریو بیش‌ترین تأثیر را بر روی میزان دبی رواناب ایستگاه علی‌آباد گذاشته است. این امر به علت پایین‌بودن سطح آب آبخوان‌های موجود در این ایستگاه می‌باشد. هم‌چنین، نتایج حاصل از اعمال سناریوی دو بر مؤلفه رسوب در ایستگاه‌های

شش‌گانه نشان می‌دهد که میانگین مقدار رسوب در کل حوضه کاهش یافته است، اما تغییرات میزان رسوب یکسان نبوده به‌گونه‌ای که در برخی ایستگاه‌ها کاهش و در برخی ایستگاه‌ها افزایش داشته است. با اجرای سناریوی دو در ایستگاه‌های کردخیل، گرمرود، ورند مقدار رسوب افزایش و در ایستگاه‌های واستان، پرویج‌آباد و علی‌آباد کاهش یافته است. کاهش مقدار رواناب در حوضه و در نتیجه آن افزایش غلظت رسوب از عوامل اصلی افزایش رسوب می‌باشد. علاوه بر موارد ذکرشده موقعیت قرارگیری ایستگاه‌ها نیز می‌تواند از عوامل مؤثر بر مقدار رسوب موجود در ایستگاه‌های موردبررسی باشد. بر همین اساس ایستگاه‌های واقع‌شده در مناطق کوهستانی دارای مقدار رسوب بیش‌تری می‌باشند. نتایج نشان می‌دهد که با اعمال سناریوی دو مقدار رسوب مشاهداتی در بازه ۲۱۱–۲۲۰۳۵۴۲ (تن) و مقدار رسوب شبیه‌سازی‌شده در بازه ۳۴۷–۱۶۷۹۲۱۹ (تن) قرار دارد. در طول دوره آماری بیش‌ترین کاهش دبی رسوب در ماه‌های اکتبر (مهرماه) و ژانویه (دی‌ماه) رخ داده است. به‌طوری‌که مقدار رسوب در ماه اکتبر (مهرماه) با کاهش ۱۴ درصدی همراه بوده است.

سناریوی سه: کاهش ۲۰ درصدی برداشت از منابع آب زیرزمینی برای آبیاری و استفاده از منابع آب نامتعارف به‌عنوان منبع جایگزین برای تأمین بخشی از نیاز زیست‌محیطی

اساس سناریوی سه بر کاهش میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی در فصول زراعی به‌منظور کاهش فشار بر منابع آب زیرزمینی و جایگزین‌کردن منابع آبی نامتعارف شامل پساب‌ها، زه‌آب‌های خروجی از آب‌بندان‌ها و رواناب‌های سطحی برای استفاده است. به‌گونه‌ای که با کاهش ۲۰ درصد از حجم برداشت از آبخوان‌ها و چاه‌های کشاورزی برای تأمین نیاز زیست‌محیطی براساس روش مونتانا باید از منابع جایگزین دیگر استفاده شود. بر طبق این روش باید ۱۰ تا ۲۰ درصد دبی سالانه در ماه‌های مهر تا نیمه فروردین و ۳۰ تا ۴۰ درصد میانگین دبی سالانه برای نیمه فروردین‌ماه تا انتهای شهریورماه جهت فراهم‌نمودن کمیت و کیفیت قابل‌قبول برای تأمین نیاز محیطزیست و حیات‌وحش در نظر گرفته شود. نتایج حاصل از اعمال این سناریو بر مؤلفه‌های مختلف حوضه آبریز تجن در شکل (۵) ارائه شده است.

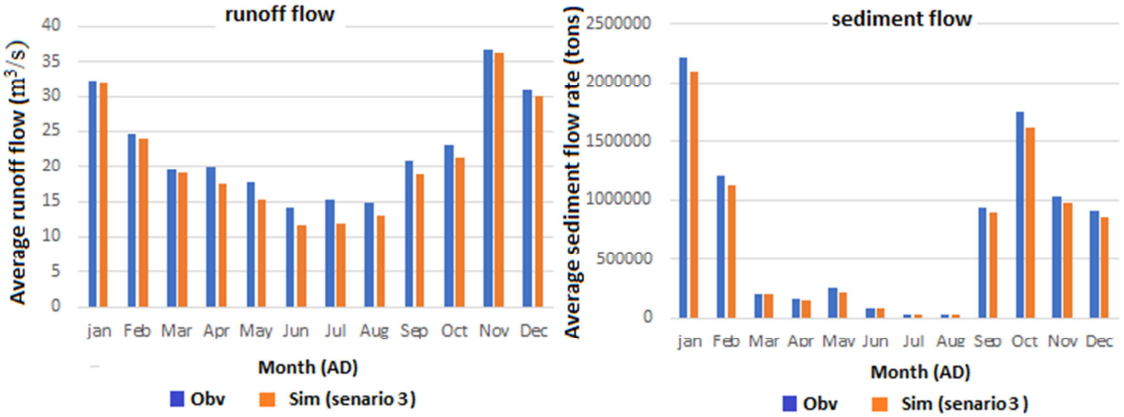

Figure 5. Average monthly runoff and sediment discharge simulated by applying scenario 3 in the studied basin

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که در شرایط اجرای سناریوی سه رواناب موجود در سطح حوضه تجن کاهش می‌یابد. با اعمال این سناریو دبی رواناب در ایستگاه کردخیل نسبت به سایر ایستگاه‌های موردبررسی کاهش کم‌تری داشته است. عواملی مانند وجود آب‌بندان‌ها و منابع آلاینده نقطه‌ای در محدوده این ایستگاه می‌توانند در به‌وجودآمدن این

شرایط مؤثر باشند. از سوی دیگر ایستگاه علی‌آباد دارای بیش‌ترین کاهش دبی رواناب در مقایسه با سایر ایستگاه می‌باشد. از دلایل کاهش بیش‌تر میزان رواناب در این ایستگاه می‌توان کمبود حجم پساب، محدودیت تعداد آب‌بندان و هم‌چنین عدم تناسب بین میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی و دبی رواناب موجود در ایستگاه را ذکر نمود، چراکه میزان برداشت از آبخوان‌ها بیش‌تر از حجم رواناب مهار شده است. با بررسی تغییرات زمانی دبی رواناب در محدوده موردمطالعه در شرایط اعمال سناریو مشخص شد که بیش‌ترین مقدار کاهش در فصل بهار و تابستان که فصول زراعی مربوط به کشت غالب منطقه (اراضی شالیزاری) می‌باشند رخ داده است. ماه جولای (تیرماه) بیش‌ترین مقدار کاهش رواناب را در سطح حوضه مطالعاتی داشته است. هم‌چنین، با توجه به نتایج حاصل از اعمال سناریوی سه مقدار دبی رسوب در ایستگاه‌های مطالعاتی کاهش یافته است. به‌گونه‌ای که مقادیر شبیه‌سازی‌شده رسوب در شرایط اعمال این سناریو در بازه ۹۷۳-۲۰۸۵۹۱۲ تن قرار می‌گیرد. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن است که ماه می (اردیبهشت‌ماه) بیش‌ترین مقدار کاهش رسوب را در طول دوره آماری داشته است. از نظر تغییرات زمانی بیش‌ترین کاهش مقدار رسوب در فصل بهار رخ داده است. از سوی دیگر ایستگاه کردخیل با شش درصد کاهش رسوب نسبت به سایر ایستگاه‌ها دارای کم‌ترین مقدار کاهش رسوب می‌باشد. ایستگاه گرمرود نیز بیش‌تر از سایر ایستگاه‌ها تحت تأثیر قرار گرفته است و بیش‌ترین مقدار کاهش رسوب را نسبت به داده‌های مشاهداتی به خود اختصاص داده است.

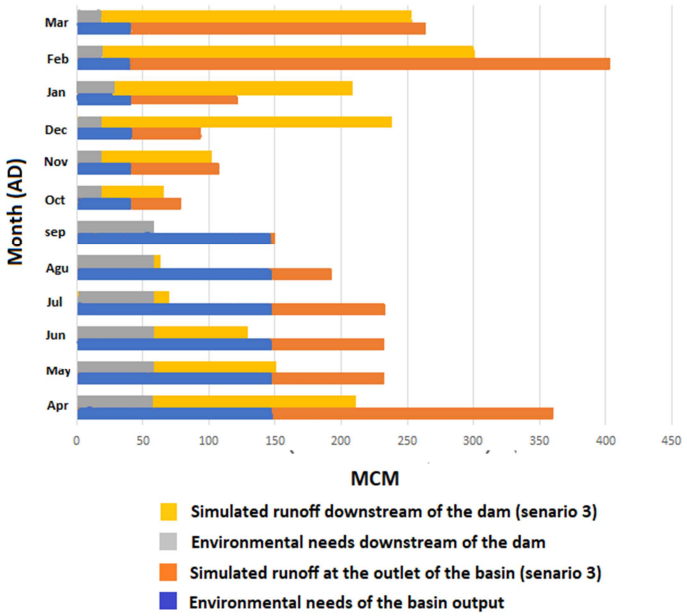

Figure 6. Environmental needs of Tajan River in the months of the year

مطابق شکل (۶) نیاز زیست‌محیطی در پایین‌دست سد در فصل تابستان در صورت اجرای سناریوی سه تأمین نخواهد شد. لذا این فصل برای کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی و تأمین از آب‌های سطحی مناسب نمی‌باشد. از دلیل این امر کاهش بارندگی و برداشت برای مصارف کشاورزی می‌باشد. در فصل پاییز با توجه به افزایش بارش‌ها و کاهش برداشت‌ها این نیاز تأمین خواهد شد، اما در فصل زمستان منابع آب سطحی دارای بیش‌ترین حجم در طول سال می‌باشد. لذا در صورت اجرای سناریوی سه نیاز زیست‌محیطی در این فصل به‌راحتی تأمین خواهد شد. در خروجی حوضه مطالعاتی نیز در فصل تابستان و پاییز نیاز زیست‌محیطی تأمین نخواهد شد. نیاز زیست‌محیطی خروجی حوضه آبریز مطالعاتی در صورت اجرای سناریوی سه

تنها در فصل زمستان و فرودین‌ماه تأمین می‌شود. با توجه به نتایج، فصل زمستان برای اجرای سناریوی سه در حوضه مطالعاتی مناسب می‌باشد، اما اجرای این سناریو در فصل‌های بهار و تابستان توصیه نمی‌شود.

۳. ۴. ارزیابی سناریوهای مدیریتی

نتایج حاصل از اجرای سناریوهای مدیریتی در ایستگاه‌های مطالعاتی در جدول (۵) ارائه شده است. نتایج نشان داد سناریوی یک بر روی دبی رواناب و رسوب تأثیر به‌سزایی نداشت اما با اجرای سناریوی دو دبی رواناب و رسوب به‌ترتیب ۱۳/۴ و ۹/۱ درصد کاهش داشته‌اند. ایستگاه کردخیل با توجه به این‌که در خروجی حوضه می‌باشد، اما کم‌ترین تغییرات را به خود اختصاص داده است. در ایستگاه‌های واستان، پرویج‌آباد و علی‌آباد با اجرای سناریوی دو، کاهش رواناب چشم‌گیری داشته‌اند که نشان‌دهنده کم‌بودن منابع آبی نامتعارف در این ایستگاه‌ها می‌باشد. هم‌چنین تخصیص ۳۰ درصد از منابع آب‌های سطحی و نامتعارف برای تغذیه آب‌های زیرزمینی بیش‌ترین تأثیر را در ایستگاه کردخیل داشته است که نشان می‌دهد منابع تخصیص‌یافته در این ایستگاه دارای رسوب زیادی بوده‌اند. هم‌چنین، نباید از این موضوع غافل ماند که ۳۰ درصد از پساب موجود در حوضه مطالعاتی به‌کاربری‌های کشاورزی اختصاص یافته است و تأثیر آن نیز در این بخش مشهود می‌باشد. نتایج سناریوی دو نشان داد در فصول زراعی مؤلفه‌های کمیت آب بیش‌ترین کاهش را داشته‌اند که نشان می‌دهد فصول زراعی برای اجرای سناریوی سه مناسب نمی‌باشد، لذا برای اجرای این سناریو در فصول غیرزراعی باید مطالعات و بررسی‌های تکمیلی‌تری از لحاظ ابعاد زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی صورت گیرد. نتایج اجرای سناریوی سه نیز نشان‌دهنده کاهش ۸/۱ درصدی رواناب و ۸/۸ درصدی رسوب در ایستگاه‌های مطالعاتی می‌باشد. بیش‌ترین کاهش رواناب در ایستگاه‌های علی‌آباد و پرویج‌آباد مشاهده شد. دلیل این امر می‌تواند استفاده زیاد از منابع آب زیرزمینی در محدوده این ایستگاه‌ها باشد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده بیش‌ترین مقدار کاهش رسوب مربوط به ایستگاه ورند می‌باشد. چراکه در این ایستگاه به‌دلیل برداشت کم‌تر از منابع آب زیرزمینی و بالابودن سطح ایستابی آبخوان مقدار رواناب کم‌تری برای تغذیه آبخوان مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین رواناب موجود در ایستگاه ورند افزایش یافته، که در نتیجه آن مقدار رسوب موجود کاهش می‌یابد.

Table 3. The effect of applying management scenarios on runoff and sediment parameters in the studied stations

Row	Station	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3	
		Runoff	Sediment	Runoff	Sediment	Runoff	Sediment
1	Kordakhil	-4	-2	-7	-6	-7	-6
2	Garmroud	-3	-1	-6	-11	-6	-11
3	Varand	-2	-1	-8	-12	-8	-12
4	Vastan	-2	-1	-7	-8	-7	-8
5	Parvijabad	-2	-0.5	-10	-11	-10	-11
6	Aliabad	-1	-0.5	-12	-7	-12	-7
7	Average	-2.33	-1	-8.1	-8.8	-8.1	-8.8

Positive values indicate the increase in components and negative values indicating the reduction in component in percent.

۴. نتیجه‌گیری

در کشور ما مدت‌هاست به‌دلیل کاهش روزافزون منابع آبی زنگ خطر به صدا در آمده است، به‌طوری‌که به‌تازگی حتی در استان‌های شمالی نیز کشاورزان در برخی مواقع با کم‌آبی مواجه می‌شوند. به همین خاطر استفاده از آب‌های نامتعارف نظیر پساب‌ها، فاضلاب‌ها و زه‌آب‌های کشاورزی گزینه مناسبی در جهت جایگزینی با آب‌های شیرین سطحی و زیرزمینی می‌باشد. در این پژوهش به شبیه‌سازی پارامترهای رواناب و رسوب حوضه تجن و هم‌چنین ارزیابی تأثیر

سناریوهای مدیریتی استفاده از آب‌های نامتعارف بر این دو پارامتر طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ با استفاده از مدل SWAT پرداخته شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی و هم‌چنین مقادیر به‌دست‌آمده برای ضرایب R^2 و NSE در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی که به‌ترتیب برای پارامتر رواناب در بازه‌های (۰/۸۸-۰/۶۷) و (۰/۷۹-۰/۶۲) و برای رسوب در بازه‌های (۰/۷۲-۰/۵۲) و (۰/۷۴- ۰/۵۸) قرار گرفتند، حاکی از عملکرد مناسب مدل در شبیه‌سازی این پارامترها در ایستگاه‌های موردمطالعه حوضه تجن می‌باشد. نتایج حاصل از ارزیابی سناریوها حاکی از آن است که با اعمال سناریوی یک میزان رواناب و رسوب حوضه تجن تغییر چندانی نداشته است. اما با اعمال سناریوی دو میزان رواناب حوضه ۱۳/۴ و میزان رسوب ۹/۱ درصد کاهش یافته، اعمال سناریوی سه نیز موجب کاهش ۸/۱ درصدی رواناب و ۸/۸ درصدی رسوب در سطح حوضه می‌شود. براساس سناریوی سه باید ۱۰ تا ۲۰ درصد دبی سالانه (مهرماه تا نیمه فروردین‌ماه) و ۳۰ تا ۴۰ درصد میانگین دبی سالانه (نیمه فروردین‌ماه تا شهریورماه) برای تأمین نیاز زیست‌محیطی در نظر گرفته شود. توجه به منابع آب نامتعارف و کاربرد آن‌ها به‌ویژه در بخش کشاورزی به‌عنوان بیش‌ترین مصرف‌کننده منابع آب موجود دارای اهمیت فراوانی می‌باشد. بنابراین استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی که علاوه بر مدل‌سازی توانایی ارزیابی سناریوهای مدیریتی و تعیین زمان مناسب اجرای آن‌ها را نیز دارند راه‌کاری مؤثر و کم‌هزینه در این زمینه می‌باشد.

۵. پی نوشت‌ها

1. The ventana simulation Environment
2. Water Evaluation and Planning
3. Soil and water assessment tool
4. Hydrologic Response Unit
5. Green and Ampt Infiltration
6. Digital Elevation Model
7. One-At-a-Time
8. Warm up

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع مورداستفاده

Abbaspour, K. C., Rouholahnejad, E۰ Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H., & Klove, B. (2015). A continentalscale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. Journal of Hydrology, 524, 733-752.

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).

Basaltpour, A., & Hosseinzadeh, N. (2016). Theory & training step by step construction and implementation of SWAT model. Valiasr University of Rafsanja. (In Persian).

Briak, H., Moussadek, R., Aboumaria, K., & Mrabet, R. (2016). Assessing sediment yield in Kalaya gauged watershed (Northern Morocco) using GIS and SWAT model. International Soil and Water Conservation Research, 4(3), 177-185.

Donigian, A., S. (2002). Watershed model calibration and validation: The HSPF experience. Proceedings of the Water Environment Federation, 2002(8), 44-73.

Fereidoon, M., Koch, M., & Brocca, L. (2019). Predicting rainfall and runoff through satellite soil moisture data and SWAT modelling for a poorly gauged basin in Iran. Water, 11(3), 594.

Iftikhar Hussain, M. I., Muscolo, A., Farooq, M., & Ahmad, W. (2019). Sustainable use and management of non-conventional water resources for rehabilitation of marginal lands in arid and semiarid environments. Agricultural water management, 221, 462-476

Jimeno-Sáez, P., Senent-Aparicio, J., Pérez-Sánchez, J., & Pulido-Velazquez, D. (2018). A comparison of SWAT and ANN models for daily runoff simulation in different climatic zones of peninsular Spain. Water, 10(2), 192.

Lee, M., Park, G., Park, M., Park, J., Lee, J., & Kim, S. (2018). Evaluation of non-point source pollution reduction by applying Best Management Practices using a SWAT model and QuickBird high resolution satellite imagery. Journal of Environmental Sciences, 22(6), 826-833.

Loy, S., Assi, A. T., Mohtar, R. H., Morgan, C., & Jantrania, A. (2018). The effect of municipal treated wastewater on the water holding properties of a clayey, calcareous soil. Science of The Total Environment, 643, 807-818.

Mahzari, S., Kiani, F., Azimi, M., & Khormali, F. (2016). Application of SWAT model in runoff, sediment and nitrate simulation of Gorganrood watershed in Iran. Ecopressia, 4 (2), 1359-1377.

Majed, V., & Golzari Ghaleh Jooee, M. (2016). Economic and environmental analysis of wastewater collection and treatment, Journal of Water and Sustainable Development, 3(1), 83-92. (in persian).

Mohammad Mirzaei, F., Zakerinia, M., & Hezar Jaribi, A. (2021). Evaluation of different scenarios of water resources management in Gorgan river basin using WEAP and MODFLOW models. Soil Science (Agricultural Science and Technology and Natural Resources), 24 (2), 137-152. (In Persian).

Moradi, F., Zarei, H., & Akhundali, A. (2017). Necessity of wastewater treatment for use in artificial feeding of underground water. The fourth international conference on environmental planning and management. (In Persian).

Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T., L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the ASABE, 50(3), 885-900.

Nikkho Amiri, P., Khosh Roush, M., & Norozolashdi, r. (2020). Simulation of time series of flow at the exit of Shahid Rajaei Dam using SWAT model. Irrigation and Water Engineering of Iran, 10 (37), 67-81. (In Persian).

Pechlivanidis, I. G., Jackson, B. M., Mcintyre, N. R., & Wheater, H. S. (2011). Catchment scale hydrological modelling: a review of model types, calibration approaches and uncertainty analysis methods in the context of recent developments in technology and applications. Global NEST Journal, 13(3), 193-214.

Peña-Guzmán, C. A., Soto, L., & Diaz, A. (2019). A Proposal for Redesigning the Water Quality Network of the Tunjuelo River in Bogotá, Colombia through a Spatio-Temporal Analysis.

Rajaei, F., Dehmardeh Behrooz, R. & Gholipour, M. (2014). Modeling of phosphate load entering the Caspian Sea from Tajan watershed using soil and water evaluation model. Environmental Science and Technology, 22 (8), 169-181. (In Persian) .

Hosseini, S. H., & Khaleghi, M. R. (2020). Application of SWAT model and SWAT-CUP software in simulation and analysis of sediment uncertainty in arid and semi-arid watersheds (case study: The Zoshk–Abardeh watershed). Modeling Earth Systems and Environment, 6(4), 2003-2013.

Rezaei Moghadam, M., H., Mokhtari, D., & Shafiei Mehr, M. (2021). Calibration and validation of the SWAT model in the simulation of runoff and sediment in the catchment area of Middle Chai city. Scientific Journal of Geography and Planning, 25(76), 129-139.

Rostamian, R. (2009). Application of SWAT 2000 model in estimating runoff and sediment of Beheshtabad basin from North Karun sub-basins. Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources, 12 (46), 517-531 .(In Persian)

Taheri Dehkordi. (2010). Investigating the effects of artificial feeding plan on aquifer quantity and quality (Case study: Sefiddasht, Shahrekord). (In Persian)

Verbeeten, E., & Barendregt, A. (2007). The impacts of climate change on hydrological services provided by dry forest ecosystems in West Africa. In 4th International SWAT Conference.

Wang, X., Melesse, A. M., & Yang, W. (2006). Influences of potential evapotranspiration estimation methods on SWAT's hydrologic simulation in a northwestern Minnesota watershed. Transactions of the ASABE, 49(6), 1755-1771.