دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

بررسی کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی کمی و کیفی رواناب و اقدامات آبخیزداری در حوزه زرینه‌رود

ساحره گلزاری[۱]، حمید زارع ابیانه[۲]، مجید دلاور[۳] و نغمه مبرقعی دینان[۴]

۱- دانشجو دکتری، دانشگاه بوعلی سینا همدان
۲- استاد، دانشگاه بوعلی سینا همدان، (نویسنده مسوول: zare@basu.ac.ir)
۳- استادیار، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس
۴- دانشیار، پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی
تاریخ دریافت: ۹۸/۲/۴ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۳
صفحه: ۱۱۱ تا ۱۲۰

چکیده

هدف این پژوهش شبیه‌سازی هم‌زمان کمیت و کیفیت رواناب در حوضه زرینه‌رود با مدل SWAT بود. واسنجی و صحت‌سنجی مدل به‌روش SUFI2 در برنامه SWAT CUP با رواناب ماهانه سال‌های ۲۰۱۳-۱۹۹۲، برای ۱۲ زیر حوزه و ۲۲۶ واحد هیدرولوژیکی و نیترات ماهانه سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۶ صورت گرفت. نتایج بیان‌گر بیشترین حساسیت میزان رواناب به شماره منحنی خاک و کیفیت رواناب به هیدرولیز نیتروژن با کمینه P_{value} و بیشینه قدرمطلق T_{test} بود. بیشترین مقادیر آماره‌های خطاسنجی برای واسنجی و صحت‌سنجی رواناب در ایستگاه سد زرینه‌رود $NS=R^2=۰/۸۱$، کمترین آن با $NS=R^2=۰/۴۷$ در ایستگاه جان‌آقا و برای نیترات کل حوزه در واسنجی $R2=۰/۵۸$، $NS=۰/۵۱$ و صحت‌سنجی $R2=۰/۵۱$، $NS=۰/۴۸$ به‌دست آمد. نتایج آماری نشان داد که مدل SWAT کارایی مناسبی در شبیه‌سازی جریان ماهانه و بار نیترات در حوزه زرینه‌رود دارد. سپس شبیه‌سازی بهترین اقدامات مدیریتی توسط مدل انجام شد. شبیه‌سازی اجرای سه اقدام حفاظتی بندهای سنگی، خطوط کنتور و مالچ‌پاشی در کل حوزه، بیان‌گر کاهش ۶/۰۳ درصدی رواناب و ۱۷/۸۹ درصدی نیتروژن ورودی به دریاچه و افزایش ۱۱/۱۷ درصدی تغذیه آب زیرزمینی در اقدام خطوط کنتور به‌عنوان بهترین راه‌کار بود.

واژه‌های کلیدی: اقدامات حفاظتی، رواناب، نیترات، SWAT CUP، SUFI2

مقدمه

حوزه آبریز دریاچه ارومیه در سال‌های اخیر با کاهش شدید آب ورودی و خشکی گسترده مواجه شده و نگرانی‌های زیست‌محیطی را در سطح ملی و بین‌المللی به‌همراه داشته است (۱۸). حوزه زرینه‌رود یکی از زیر حوزه‌های دریاچه ارومیه و از قطب‌های کشاورزی کشور است که تولیدات بالایی در بخش کشاورزی دارد. وسعت این حوزه بالغ بر ۱۲۰۲۵ کیلومتر مربع است که در حدود ۴۷ درصد آورده آبی حوزه دریاچه ارومیه را تامین می‌نماید (۲۰). توسعه کشاورزی به‌عنوان اصلی‌ترین بخش مصرف کننده آب طی سال‌های اخیر مشکلات زیادی را به‌واسطه تغییرات کمی و کیفی آب ایجاد نموده که برای حیات زیست‌محیطی دریاچه اهمیت فراوانی دارد (۱۸). رابطه بین زیر حوزه‌ها و نقش پیچیده آن‌ها در کمیت و کیفیت آب تولیدی در حوزه‌ها مستلزم به‌کارگیری مدل‌های ریاضی است (۴). یکی از راه‌های مدیریت بهتر منابع آب، شبیه‌سازی کمی و کیفی رواناب به‌کمک مدل‌های مفهومی است. ابزارهای مدل‌سازی عددی رایانه‌ای می‌توانند تحت گستره‌ی وسیع و متفاوتی از شرایط ورودی، رفتار سیستم حوزه و رودخانه را توصیف و پیش‌بینی کنند. مدل‌های رایانه‌ای درک درستی از عملکرد مدیریت منابع آب تحت شرایط موجود و پیش‌بینی اثرات سناریوهای مختلف توسعه یافته در آینده را تسهیل می‌کنند. استفاده از مدل‌های تخصصی برای بررسی تاثیر کمیت و کیفیت آب، یکی از راه‌کارهای کم هزینه و سریع است (۴). مدل مفهومی ارزیابی آب و خاک (SWAT)[۱] یک مدل هیدرولوژیکی نیمه توزیعی برای شبیه‌سازی پیوسته فرآیندهای مختلف هیدرولوژیکی، مدیریت آب و خاک و متغیرهای گیاهی است. این مدل با قابلیت تلفیق در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)[۲]، فاقد محدودیت ورود حجم وسیعی از اطلاعات در مقیاس‌های مختلف است (۴). گزارشاتی از کاربرد این مدل در سیستم‌های بزرگ کشاورزی و حوزه‌های بزرگ آبخیز وجود دارد. نتایج Bekiaris و همکاران (۷) با شبیه‌سازی رواناب در هفت زیرحوزه آبخیز از کشور سوئد نشان دادند دقت نتایج مدل SWAT براساس تحلیل حساسیت پارامترهای مهم در گام زمانی ماهانه و سالانه بیش از دقت نتایج در گام زمانی روزانه است. Wang و همکاران (۲۹) اثر تغییر کاربری اراضی بر میزان آب زیرزمینی و آب سطحی شمال غربی ایالات متحده را در محیط SWAT مدل‌سازی نمودند. نتایج آنان نشان داد اثر کاربری اراضی بر مقدار رواناب و تغذیه آب زیرزمینی متفاوت است. به‌طوری‌که تبدیل اراضی جنگلی به مراتع موجب افزایش رواناب سالانه و کاهش تغذیه آب زیرزمینی گردید. Abbas pour و همکاران (۱) نتایج مطلوبی از شبیه‌سازی فرآیندهای موثر بر رسوب، چرخه عناصر غذایی و کیفیت آب در حوزه‌ی آبریز شمال شرق کشور سوئیس با مدل SWAT گزارش نمودند. نتایج آنان بیان‌گر مناسب بودن این مدل در مدیریت حوزه آبخیز و تحلیل سناریوهای مدیریتی است. Lirong و همکاران (۱۴) با شبیه‌سازی پارامترهای هیدرولوژیکی در حوزه بیانگ با مدل SWAT و قرار دادن ۱۵ سناریو در مدل واسنجی شده، تغییرات میزان رواناب و تبخیر و تعرق را بدست آوردند. دولت‌آبادی و همکاران (۱۰) از مدل

1- Soil and Water Assessment Tools
2- Geographic information system

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.18.4]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.111]

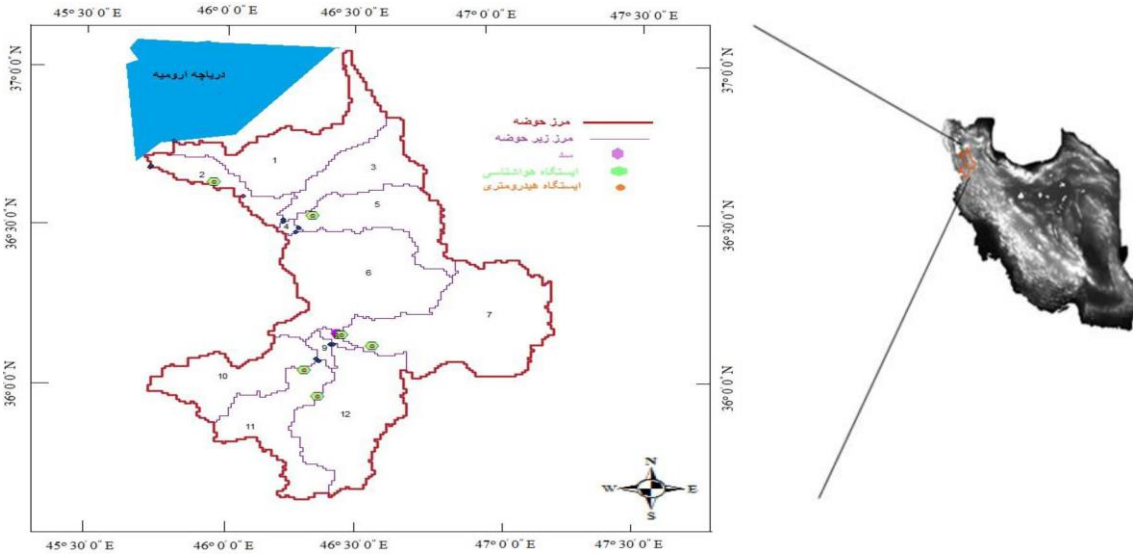
SWAT برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوزه فیروزآباد واقع در استان فارس استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد SWAT ابزار مناسبی برای با شبیه‌سازی شدت جریان رودخانه می‌باشد. طلوعی و همکاران (۲۷) نشان دادند اثرگذاری سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار اجرا شده در حوزه زرینه‌رود با مدل SWAT بر کاهش میزان دبی خروجی از حوزه ناچیز است. Lu و همکاران (۱۵) با استفاده از مدل SWAT، بیلان آبی را در یک حوضهٔ آبریز کوهستانی در شمال غرب چین شبیه‌سازی کردند .نتایج تحقیق نشان داد خروجی‌های مدل برای مدیریت منابع آب در چنین حوزه‌هایی یک مرجع مناسب و قابل اطمینان است. نوری و همکاران (۲۳) جریان ماهانه و بار مواد مغذی در حوزه سیمره را با مدل SWAT شبیه‌سازی کردند و برای تعیین بهترین اقدام مدیریتی، سناریوی ایجاد نوار فیلتر گیاهی در طول رودخانه پیشنهاد شد. نتایج نشان داد این سناریو منجر به کاهش انتشار آلاینده‌ها در مقایسه با شرایط پایه می‌گردد. احمدآبادی و همکاران (۲) از مدل SWAT برای

شبیه‌سازی اثر عملیات آبخیزداری بر خصوصیات هیدروژئومورفولوژی بخشی از حوزه ارس (عنبران‌چای) استفاده کردند. آن‌ها با شبیه‌سازی تغییرات چرخه هیدرولوژی حوزه و تأثیرات آن در بخش رسوبی دشت، اطلاعات ارزشمندی برای مطالعات ژئومورفولوژی ارائه نمودند.

بررسی منابع نشان داد مدل SWAT برای شبیه‌سازی مسایل کمی جریان در حوزه‌های آبخیز کوچک و بزرگ و در گام‌های زمانی مختلف مناسب است. لذا هدف این پژوهش الف) بررسی توانمندی شبیه‌سازی هم‌زمان مسایل کمی و کیفی جریان در حوزه زرینه‌رود با مدل SWAT، ب) تخمین برخی از پارامترهای مهم هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی حوزه زرینه‌رود شامل شماره منحنی متوسط، زمان تأخیر در تغذیه آبخوان، متوسط هدایت هیدرولیکی اشباع حوزه و پارامترهای مهم کیفی مانند نرخ هیدرولیز نیتروژن و نرخ معدنی شدن هوموس و ارزیابی دقت و صحت آن‌ها و ج) شبیه‌سازی اثر عملیات آبخیزداری به‌عنوان یکی از راه‌کارهای مدیریتی پیشنهادی در سند ششم توسعه کشور برای بهبود وضعیت کمیت و کیفیت جریان به دریاچه ارومیه، سفره آب زیرزمینی و استفاده صحیح و پایدار از منابع طبیعی آب و خاک است.

مواد و روش‌ها

حوزه رودخانه زرینه‌رود با مساحت ۱۲۰۲۵ کیلومتر مربع از مهم‌ترین حوزه‌های ورودی به دریاچه ارومیه می‌باشد که مطابق برنامه جامع مدیریت پایدار دریاچه می‌بایست بیش از ۴۰ درصد حقابه ۳/۱ میلیاردی دریاچه را تأمین کند. حوزه زرینه‌رود با در برگرفتن بیش از ۷۰ هزار هکتار اراضی کشاورزی و وجود سد مخزنی زرینه‌رود (شهید کاظمی) در زیرحوزه شماره ۸ از کانون‌های مهم کشاورزی منطقه است (۲۰). موقعیت کلی حوزه، زیر حوزه‌ها و ایستگاه‌های هیدرومتری در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه
Figure 1. Location of the studied area

در این تحقیق، از مدل SWAT برای شبیه‌سازی فیزیکی و واقعی فرآیندهای هیدرولوژیک حوزه زرینه‌رود استفاده شد. در این حوزه با ترکیب نقشه‌های خاک فائو، کاربری اراضی و طبقات شیب، تعداد ۱۲ زیرحوزه و با توجه به توپوگرافی، کاربری اراضی و بافت خاک، تعداد ۲۲۶ واحد هیدرولوژیکی (HRU)[1] در مدل ایجاد شد. زیرحوزه‌ها شامل زیر حوزه‌های ۱، ۲، ۳ در ایستگاه نظام‌آباد، ۴، ۵، ۶ در ایستگاه جان‌آقا، زیر حوزه ۷ از ایستگاه صفاخانه، زیر حوزه‌های ۸، ۹، ۱۰ در ایستگاه سد زرینه‌رود، زیر حوزه ۱۱ از ایستگاه سنته و زیر حوزه ۱۲ از ایستگاه آنیان می‌باشند (شکل ۱). رواناب

1- Hydrologic response unit

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.18.4]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.111]

زیرحوزه‌ها براساس نقشه ارتفاعی با شبیه‌سازی خصوصیات فیزیکی مانند شیب و ابعاد آبراهه‌ها محاسبه و از طریق شبکه جریان، به‌روش ذخیره متغیر، در امتداد خروجی اصلی حوزه روندیابی شد (۷). مقادیر رطوبت خاک، رواناب سطحی، چرخه عناصر غذایی، رشد گیاهان و روش‌های مدیریتی برای هر HRU شبیه‌سازی و برای هر زیرحوزه به‌صورت متوسط وزنی محاسبه گردید. رواناب سطحی براساس بارش روزانه به‌روش شماره منحنی SCS برای HRUها محاسبه و برای کل حوزه برآورد و روندیابی شد. این روش، سبب افزایش دقت محاسبات و توصیف فیزیکی بهتر از بیلان آبی حوزه می‌گردد (۲۲). اطلاعات مربوط به کیفیت آب، عوامل موثر بر جریانات سطحی و زیرزمینی، برداشت آب، مدیریت اراضی و دیگر اطلاعات با توجه به هدف پژوهش در مدل وارد شد. اجرای مدل در محیط ArcGIS براساس اطلاعات رستری نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM)[۲] با اندازه ۳۰ متری بود (۲۱). از اطلاعات هواشناسی روزانه بارش، حداکثر دمای هوا و حداقل دمای هوای ۶ ایستگاه‌های هواشناسی سقز، بوکان، زرینه، شاهین‌دژ، تکاب و میاندوآب طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۵ برای داده‌های مورد نیاز اقلیمی و از اطلاعات ماهانه دبی سال‌های ۲۰۱۳-۱۹۹۲ شش ایستگاه هیدرومتری داخل حوزه برای واسنجی و اعتبارسنجی استفاده شد (شکل ۱). برخی از کمبودهای محدود اطلاعات داده‌های اقلیمی مثل میزان بارش و رواناب به‌صورت ردیف‌های خالی از داده به مدل اعمال و مدل SWAT براساس اطلاعات موجود آن‌ها را شبیه‌سازی نمود. هم‌چنین اطلاعات حجم کل، حجم مفید و حجم مرده مخزن سد زرینه‌رود نیز به مدل وارد شد. از آنجایی‌که شبیه‌سازی کمی آب کشاورزی یکی از اهداف مدل است، لذا اطلاعات آب مورد نیاز گیاهان از سند ملی آب به‌روش پنمن مانتیث برداشت شد. سطح زیرکشت، تاریخ کشت، تاریخ برداشت و کود مصرفی برای مدل از طرح مدیریت خشکسالی دریاچه ارومیه (۲۰) جمع‌آوری و در جدول ۱ آورده شد. این اطلاعات براساس تحقیقات میدانی، پرس و جوی محلی، شرایط جوی حاکم در منطقه، گستردگی حوزه و تفاوت در زیرحوزه‌ها است.

جدول ۱- اطلاعات محصولات کشاورزی عمده شهرستان‌های محدوده مورد مطالعه

Table 1. Information on agricultural products in major cities in the study area

نوع محصول	سطح زیر کشت محصولات (هکتار)				تاریخ		کود مصرفی (کیلوگرم در هکتار)		نیاز آبیاری	دور آبیاری
	میاندوآب	شاهین دژ	تکاب	سقز	کشت	برداشت	فسفات	ازت	مترمکعب	روز
					روز - ماه					
گندم	۱۶۰۱۷	۷۷۴۳	۳۳۶/۷	۵۰۴۲/۷	۱۵ مهر	۱۰ تیر	۱۲۰	۱۴۰	۳۶۰	۱۵
یونجه	۱۰۳۶۳	۴۷۹۳	۳۳۶۷	۳۲۱۱/۷	۱ فروردین	۱۰ مهر	۲۷۰	۲۲۰	۲۷۰	۱۰
سیب درختی	۸۳۲۸	۲۸۵۰	۲۱۰/۵	–	۱ اردیبهشت	۳۰ مهر	۳۸۰	۳۵۰	۳۱۰	۱۰
جو	۴۱۴۰/۸	۲۳۱۰	۲۱۰/۵	۳۴۹/۵	۱۵ مهر	۱۰ تیر	۱۴۰	۱۲۰	۲۶۰	۱۵
چغندرقند	۱۸۰۷	۳۵۹	–	۸۸/۵	۱۰ فروردین	۳۰ مهر	۳۴۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۰
سیب‌زمینی	۳۷۹/۵	۳۵۴	۱۰۹	۱۵۶	۱۵ اردیبهشت	۱۵ مهر	۲۶۰	۲۲۵	۳۵۰	۱۰
گوجه‌فرنگی	۸۲۱	۶۲۳	–	۲۴۸	۱۰ خرداد	۱۰ مهر	۴۵۰	۳۹۰	۲۳۰	۱۰

پیش‌بینی‌های مدل SWAT در شبیه‌سازی‌ها برقراری معادله بیلان ۱، در سطح حوزه است.

$$SW_t = SW_o + \Sigma_{i=1}^{t}(R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (۱)$$

که در آن SW_t: مقدار نهایی رطوبت خاک (میلی‌متر)، SW_o: مقدار اولیه رطوبت خاک تا عمق ۳۰ سانتی‌متر (میلی‌متر)، t: زمان (روز)، R_{day}: مقدار بارش در روز iام (میلی‌متر)، Q_{surf}: میزان رواناب در روز iام (میلی‌متر)، E_a: مقدار تبخیر در روز iام (میلی‌متر)، W_{seep}: مقدار نشت از نیم‌رخ خاک به محیط غیراشباع در روز iام (میلی‌متر)، Q_{gw}: مقدار آب بازگشتی در روز iام (میلی‌متر) است (۴).

برای محاسبه میان غلظت نیترات در مدل SWAT از رابطه ۲ در سطح حوزه استفاده شده است.

$$L = \sum_{t=1}^{t=T}(86.4\ \overline{Q_t}\ C_t^l)$$

که در آن L: غلظت یا بار NO_3-N (Kg)، C_t^l: میانگین غلظت روزانه یا ماهانه NO_3-N (mg·dm-3)، $\overline{Q_t}$: میانگین دبی روزانه یا ماهانه (m^3/s)، t: زمان بر حسب روز یا ماه می‌باشد (۴). جهت واسنجی نتایج مدل SWAT، از برنامه سوفی (SUFI2)[۱] در محیط SWAT-CUP به‌روش اتوکالیبراسیون با توجه به آمار موجود و در اختیار برای سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۹۲ استفاده شد. اجرای برنامه SUFI2 شامل تعیین تابع هدف، تعیین مقادیر کمینه و بیشینه مطلق پارامترها، تحلیل حساسیت پارامترها، تعیین دامنه عدم قطعیت هر پارامتر و تعیین تعداد تکرار شبیه‌سازی می‌باشد. برنامه SUFI2 با مقادیر اولیه‌ای از پارامترهای موثر در کمیت و کیفیت جریان اجرا و مقادیر بهینه پارامترها برای هر زیرحوزه محاسبه شد. جهت تحلیل حساسیت پارامترهای مدل از دو آماره P_{value} و قدر مطلق T_{test} استفاده گردید. آماره T_{test} بیان‌گر حساسیت و آماره P_{value} اهمیت حساسیت T_{test} مربوط به پارامترها را نشان می‌دهد. بزرگی قدر مطلق T_{test} و کوچکی مقدار P_{value} نشانه حساسیت بیشتر و اطمینان بیشتر به سطح حساسیت پارامتر مورد شبیه‌سازی است (۱). در مجموع نتایج دامنه اولیه پارامترهای موثر بر کمیت و کیفیت رواناب، دامنه بهینه آن‌ها و آماره‌های P_{value} و T_{test} در قالب جدول کلی تنظیم شد. در جدول تنظیمی دامنه اولیه و دامنه بهینه پارامترهای شبیه‌سازی آمده است. اعتبارسنجی مدل با داده‌های رواناب ماهانه سال‌های آماری ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۳ بررسی گردید. واسنجی و صحت‌سنجی کیفی جریان نیز با داده‌های ماهانه نیترات سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۶ انجام شد. برای دست‌یابی به بهترین واسنجی و محدود شدن بازه جواب‌های انتخابی براساس دستورالعمل مدل به جواب یگانه

1- Sequential uncertainly fitting version2

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.18.4]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.111]

از دو ضریب تبیین (R^2) و کارایی نش – ساتکلیف (NS) مطابق روابط ۳ و ۴ استفاده شد (۱۶).

$$R^2 = \frac{\left[\sum_1^n (Q_{m,i}-Q_{mean,m})\times(Q_{s,i}-Q_{mean,s})\right]}{\sum_1^n\left[(Q_{m,i}-Q_{mean,m})^2-(Q_{s,i}-Q_{mean,s})^2\right]} \quad (۳)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_1^n (Q_{m,i}-Q_{s,i})^2}{\sum_1^n (Q_{m,i}-Q_{mean,s})^2} \quad (۴)$$

در معادلات بالا R^2: ضریب تبیین، NS: ضریب کارایی نش - ساتکلیف، $Q_{m,i}$: دبی مشاهداتی، $Q_{s,i}$: دبی شبیه‌سازی، $Q_{mean,m}$ و $Q_{mean,s}$: به‌ترتیب متوسط مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی می‌باشند. ضریب تبیین میزان هماهنگی خط رگرسیون برازش یافته بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری در بازه صفر تا ۱ است که نزدیکی آن به یک، نشانه شبیه‌سازی مناسب‌تر مدل است. ضریب کارایی NS در دامنه منفی بی‌نهایت تا ۱ است و نشان‌دهنده نزدیکی خط رگرسیون برازشی به خط اریب با شیب ۱:۱ است.

شبیه‌سازی اثر عملیات آبخیزداری بر بهبود وضعیت کمی و کیفی آب بخش کشاورزی، نیز بخشی از هدف این تحقیق می‌باشد. لذا اثر سه راه‌کار مالچ، بندهای سنگی و خطوط کنتور در قالب عملیات آبخیزداری در مدل بررسی شد. اثرگذاری راه‌کارهای فوق از طریق تغییر در شماره منحنی خاک (CN2)[1]، ضریب جبران تبخیر خاک (ESCO)[2] و پهنای تغییرات عرض نوار فیلترها (Filterw)[3] و اثر بخشی آن‌ها بر مقادیر مولفه‌های نیترات، جریان آب و تغذیه آب زیرزمینی ارزیابی گردید. تغییر در شماره منحنی خاک و ضریب جبران تبخیر نشانه تغییر در رفتار هیدرولوژیکی و توان تولید رواناب در حوزه است (۶ و ۸ و۲۰). ضمن آن‌که نوار فیلتر پوشش گیاهی با کاهش سرعت رواناب موجب کاهش غلظت آلاینده‌هایی مثل نیترات در رواناب سطحی می‌شود. اثربخشی نوار فیلتر در کاهش آلاینده‌ها بستگی به‌عرض نوار فیلتر دارد. لذا با تمرکز بر اقدامات مدیریتی و حفاظتی و اجرای هر کدام از راه‌کارها از طریق تغییر در میزان پارامترهای مذکور در جعبه ابزار مدل SWAT CUP می‌بایست از رواناب و جابجایی نیترات جلوگیری شود.

نتایج و بحث

برای شبیه‌سازی رواناب و کیفیت آب در سطح حوضه، قبل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل، ابتدا با انجام تحلیل حساسیت پارامترهایی که بیشترین تاثیر را روی رواناب و کیفیت رواناب دارند براساس دو پارامتر P_{value} و T_{test} مشخص شدند. هر پارامتری که قدرمطلق T_{test} آن بیشتر و P_{value} آن نزدیک به صفر باشد، تاثیر بیشتری بر دبی و نیترات حوزه دارد. نتایج این تحلیل در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- نتایج تحلیل حساسیت مدل و مقادیر Pvalue و Ttest مربوط به هر پارامتر

Table 2. Results of the sensitivity analysis of the model and the values of Pvalue and Ttest for each parameter

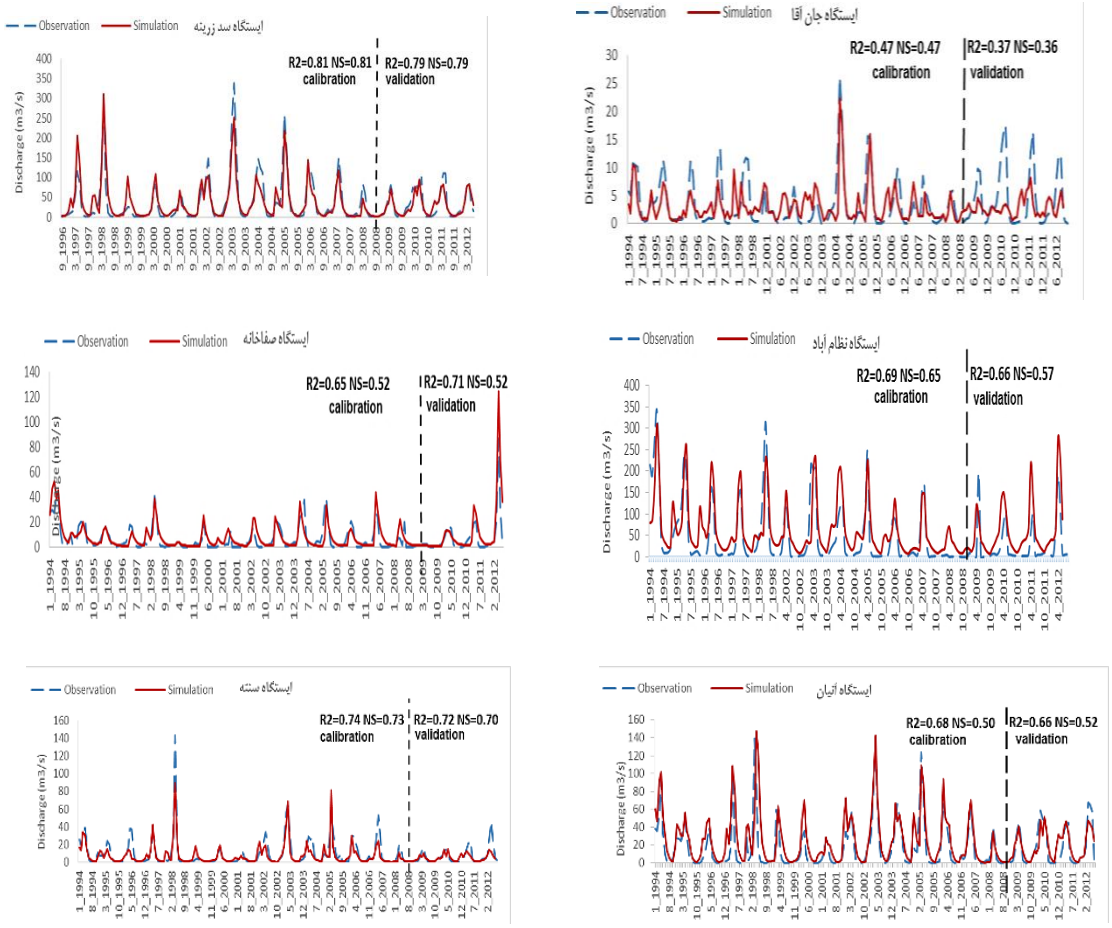
ردیف		پارامتر	توضیحات	T_{test}	P_{value}	دامنه اولیه	دامنه بهینه
۱		CN2	شماره منحنی نفوذ (–)	۴/۷۴	۰/۰۰۱۴	۵۵–۹۰	۶۰–۸۹
۲		GW-DELAY	زمان تأخیر نفوذ آب به سطح ایستابی (day)	۳/۴۹	۰/۰۰۸	۰/۱–۱۰۰	۱–۶۵
۳		GWQMN	حداقل ارتفاع سطح ایستابی برای خروج آب (mm)	۲/۳۵	۰/۰۴۱	۰/۰۰۱–۱۰۰۰	۱–۵۰۰
۴		SOL-AWC(1)	ظرفیت آب قابل دسترس خاک (mmm^{-1})	۲,۱۴	۰/۰۶۶	۰–۱	۰/۲۷–۰/۶۷
۵		SMFMN	کمینه نرخ ذوب برف ($mm^{o}c\text{-}day^{-1}$)	۲/۱	۰/۰۶۸۱	۱/۷–۵	۱/۸۳
۶		SOL-K(1)	هدایت هیدرولیکی خاک اشباع ($mmhr^{-1}$)	۲/۰۲	۰/۱۱۳	۰/۰۰۱–۱۰۰	۰,۰۳–۶۵
۷		SOL-BD(1)	چگالی ظاهری خاک لایه سطحی (gcm^{-3})	۱/۶۴	۰/۱۱۸	۱–۲	۰/۵–۱/۹
۸		ESCO	ضریب جبران تبخیر خاک (–)	۱/۴۷	۰/۲۵۷	۰/۰۰۱–۳	۰/۰۲–۱
۹	کمیت جریان (دبی)	CH-N2	ضریب مانینگ آبراهه اصلی (–)	۱/۳۱۲	۰/۲۸۷	۰/۰۰۵–۰/۱۵	۰/۰۰۵–۰/۱۹
۱۰		GW-REVAP	ضریب تبخیر از لایه بالای سطح ایستابی (–)	۱/۱۷۳	۰/۳۰۸	۰/۰۰۱–۲	۰/۰۰۵–۰/۲
۱۱		CH_K2	هدایت هیدرولیکی آبراهه اصلی ($mmhr^{-1}$)	۱/۱۲۲	۰/۳۲۵	۰/۰۲۵–۷۳	۰/۵–۴۰
۱۲		PLAPS	میزان تاخیر در بارش ($mmkm^{-1}$)	۰/۹۶۱	۰/۴۶۷	۰–۱۰۰۰	۰/۱–۱۲۰
۱۳		ALPHA_BF	ثابت تخلیه آب زیرزمینی (day)	۰/۸۹۶	۰/۴۷۳	۰/۱–۰/۳	۰/۱
۱۴		Filterw	پهنای نوار فیلتر گیاهی (m)	۰/۸۴۹	۰/۵۱۵	۰,۰۰۱–۳	۰/۰۰۲
۱۵		ALPHA_BNK	ضریب آلفا آب پایه برای ذخیره ساحلی کانال (day)	۰/۷۵۳	۰/۵۸۴	۰–۱	۰/۰۱–۱
۱۶		TIMP	فاکتور تاخیر دمای فشرده‌سازی برف (–)	۰/۴۴۱	۰/۶۹۴	۰–۱	۰/۸۹
۲		REVAPMN	عمق آستانه نفوذ آب از سطح به عمق (mm)	۰/۳۲۰	۰/۸۰۷	۰/۰۰۱–۲۰	
۱۸		SURLAG	ضریب تاخیر روان آب سطحی (–)	۰/۰۸۴	۰/۹۴۸	۰–۴	۰/۵
۱۹		SMFMX	بیشینه نرخ ذوب برف ($mm^{o}c^{-1}$)	۰/۰۷۲	۰/۹۶۷	۱/۷–۴	۱/۸۸–۱/۸۹
۲۰		SLSUBBSN	متوسط طول شیب زمین (m)	۰/۰۵۶	۰/۸۷۹	۰/۰۰۱–۱۰۰	۴۰–۹۰
۲۱		BC3	نرخ هیدرولیز N به NH4 در ۲۰°c (day^{-1})	–۱/۵۱	۰/۱۰	۰/۰۰۱–۲۱	۰/۱–۰/۲
۲۲		CMN	نرخ معدنی شدن هوموس از نیتروژن آلی فعال	–۰/۹۳	۰/۱۷	۰/۰۰۰۳–۱	۰/۰۰۰۳
۲۳	کیفیت جریان (غلظت نیترات)	BC2	اکسیداسیون هوازی NO_2 به NO_3 در ۲۰°c (day^{-1})	–۱/۳۸	۰/۲۱	۰–۱/۱	۰/۹–۱/۱
۲۴		BIOMIX	ضریب اختلال بیولوژیکی (–)	–۱/۳۲	۰/۲۷	۰/۰۰۱–۰/۲	۰/۰۰۳
۲۵		NPERCO	ضریب نفوذ نیتروژن (–)	–۰/۷۶	۰/۵۳	۰–۰/۲	۰/۱۸
۲۶		N_UPDIS	پارامتر توزیع جذب نیتروژن (–)	۰/۲۳	۰/۶۶	۲–۲۰۰	۱۰۰–۱۱۰
۲۷		RCN	غلظت نیتروژن در باران (mgl^{-1})	۰/۱۰۴	۰/۷۸	۰/۰۰۱–۰/۵	۰/۱۸
۲۸		SOL_NO3	تمرکز اولیه نیترات در لایه خاک (ppm)	۰/۰۸۴	۰/۷۹	۰–۱۰۰	۶۸–۷۰
۲۹		FIXCO	ضریب تثبیت نیتروژن (-)	۰/۰۳۸	۰/۸۸	۰–۱	۰–۰/۹
۳۰		SOL_ORGN	تمرکز اولیه نیترات آلی در لایه خاک (ppm)	۰/۰۲۲	۰/۹۳	۰–۷۰	۴۰–۴۲

1- Curve number 2- Evaporation soil coefficient 3- Width of edge of field filter strip

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.18.4]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.111]

همان‌گونه‌که از جدول ۲ مشخص است درجه تأثیر پارامترهـای دخیل در شبیه‌سازی رواناب از ردیف ۱ تا ۲۰ و پارامترهای دخیل در شبیه‌سازی کیفیت آب براساس غلظت نیترات از ردیف ۲۱ تا ۳۰ به‌ترتیب نزولی آماره T_{test} و صعودی آماره P_{value} می‌باشند. مدل SWAT برای هر زیر حوزه به‌صورت مجزا اجرا گردید لیکن برای جلوگیری از حجیم شدن مقاله، دامنه اولیه و بهینه هر یک از پارامترهای موثر در شبیه‌سازی کمیت و کیفیت رواناب برای ۱۲ زیر حوزه در جدول ۲ ارائه شده است.

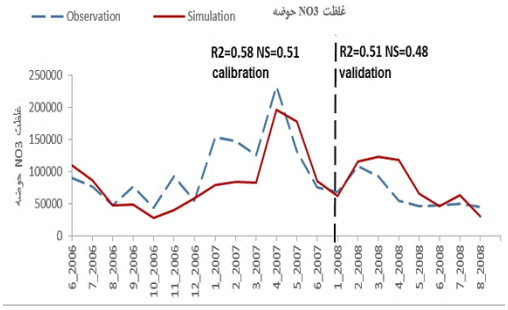
مطابق نتایج جدول ۲، رواناب بیشترین حساسیت را در مرحله واسنجی به پارامتر شماره منحنی (CN) با حداکثر T_{test}=۴/۷۴ و حداقل P_{value}=۰/۰۰۱۴ و کمترین حساسیت را به پارامتر میانگین طول شیب زمین با حداقل T_{test}=۰/۰۵۶ و حداکثر P_{value}=۰/۸۷۹ نشان داد. محمدی و همکاران (۱۷)، اهمیت شماره منحنی خاک را در قالب نقشه کاربری اراضی و نقشه خاک برای مدل‌سازی کمی آب گزارش کردند. برای کیفیت جریان نیز مطابق نتایج جدول ۲ مدل به پارامتر هیدرولیز شدن نیتروژن با بیشترین مقدار T_{test} و کمترین مقدار P_{value} حساسیت بیشتری نشان داد. در حالی‌که پارامتر تمرکز اولیه نیترات آلی در لایه خاک در مقایسه با دیگر پارامترها از اهمیت کمتری برای شبیه‌سازی نیترات توسط مدل SWAT برخوردار بود. محمدی و همکاران (۱۷) نیز رتبه حساسیت تمرکز اولیه نیترات آلی در لایه خاک را رتبه چهارم بعد از پارامترهای ضریب تراوش نیتروژن (NPERCO)، آستانه دنیتریفیکاسیون آب (SDNCO)، نرخ غنی‌سازی نیتروژن (ERORGN) گزارش نمودند. نتایج واسنجی و صحت‌سنجی رواناب ماهانه به‌ترتیب برای سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۸ و سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ با برنامه SUFI-2 در ۶ ایستگاه هیدرومتری محاسبه و نتایج شبیه‌سازی آن در شکل ۲، ترسیم شد. نتایج واسنجی نیترات ماهانه برای کل حوزه نیز در بازه سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۷ و صحت‌سنجی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۰۹ در شکل ۲ آمده است. در شکل ۲ علاوه بر ترسیم روند تغییرات رواناب و نیترات ماهانه، مقادیر ضریب تبیین (R^2) و ضریب راندمان نش- ساتکلیف (NS) هر دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی هم ارائه شده است.



شکل ۲- نتایج واسنجی و صحت‌سنجی دبی ایستگاه‌های مختلف و نیترات کل حوزه زرینه‌رود در ماه‌های مختلف سال

Figure 2. Calibration and Validation Results of Different Stations and Total Nitrate of Zarinehrood Basin

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.18.4]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.111]



شکل ۲- نتایج واسنجی و صحت‌سنجی دبی ایستگاه‌های مختلف و نیترات کل حوزه زرینه‌رود در ماه‌های مختلف سال
Figure 2. Calibration and Validation Results of Different Stations and Total Nitrate of Zarinehrood Basin

مطابق نتایج شکل ۲ بیشترین مقدار ضریب R^2 و NS برای شبیه‌سازی رواناب در ایستگاه سد زرینه‌رود مشاهده شد. مقدار این‌دو ضریب در هر دو مرحله صحت‌سنجی و واسنجی به‌ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۷۹ به‌دست آمد که نشان‌دهنده شبیه‌سازی خوب مدل برای ایستگاه فوق است. به‌طوری‌که در اکثر موارد اختلاف کم بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری جریان به‌ویژه در مقادیر کم و حداقل جریان است و بیشتر تفاوت‌ها مربوط به مقادیر حداکثری (پیک) جریان است. ضعیف‌ترین عملکرد مدل با عنایت به مقادیر $NS=R^2=$۰/۴۷ برای مرحله واسنجی و $R^2=$۰/۳۷ و $NS=$۰/۳۶ برای مرحله صحت‌سنجی در ایستگاه جان‌آقا در زیر حوزه ۱۱ مشاهده شد. عملکرد ضعیف مدل SWAT در ایستگاه جان‌آقا بیشتر ناشی از عدم هم‌خوانی مقادیر رواناب شبیه‌سازی و اندازه‌گیری در زمان‌های رخداد حداکثر و حداقل‌های جریان است. به‌نظر یکی از دلایل عملکرد نامناسب مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب مربوط به ماه‌های سرد سال است که اکثر جریان‌ها در کوهستان‌های اطراف ایستگاه جان‌آقا با توجه به برودت هوا در اواخر زمستان و فصل بهار به‌صورت برف بوده و مدل سازمان حفاظت خاک (SCS) نمی‌تواند به‌خوبی رواناب حاصل از ذوب برف را شبیه‌سازی نماید (۳). عرفانیان (۱۱) ضعف مدل SWAT برای جریان ماه‌های سرد سال و برآورد کمتر آن در حوزه آبخیز نازلوچای را به‌واسطه رژیم برفی بارانی گزارش نموده‌اند. به‌عبارت دیگر مدل SWAT قادر به شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در محدوده زمانی ماه‌های سرد و تخمین دبی‌های حداکثر و وقایع شدید نمی‌باشد (۲۸). دلیل آن فرضیاتی هست که مدل SWAT در انتقال جریان در لایه‌های یخ زده و اشباع در نظر می‌گیرد (۴).

هم‌چنین کم بودن ایستگاه‌های هواشناسی نسبت به وسعت حوزه زرینه‌رود و ناقص بودن اطلاعات آماری در برخی ایستگاه‌های آب‌سنجی به‌علت عدم دسترسی در فصول سرد سال نیز در پایین بودن ضریب تبیین و ضریب نش -ساتکلیف بی‌تاثیر نمی‌باشد.

آماره‌های خطاسنجی R^2 و NS برای دوره واسنجی نیترات به‌ترتیب ۰/۵۸ و ۰/۵۱ و برای دوره صحت‌سنجی نیترات ۰/۵۱ و ۰/۴۸ به‌دست آمد. مقایسه آماره‌های خطاسنجی شبیه‌سازی‌ها در شکل ۲ نشان می‌دهد دقت شبیه‌سازی نیترات کمتر از شبیه‌سازی رواناب است. در خصوص آلاینده نیترات نیز مشکل کوتاه بودن طول دوره آماری، نواقص احتمالی در ثبت آمار، کم بودن ایستگاه‌های اندازه‌گیری نیترات، تاثیرپذیری نیترات از دیگر عوامل آلاینده و خطای مدل در شبیه‌سازی رواناب، باعث ناهمگونی بیشتر در شبیه‌سازی مقادیر نیترات شده است. در مجموع نتایج مدل SWAT برای رواناب در تمامی ایستگاه‌ها و برای نیترات در کل حوزه در محدوده رضایت‌بخش و قابل اعتماد ارزیابی می‌شود. Moraiasi و همکاران (۱۹) اظهار داشتند اگر ضریب NS و ضریب R^2 بیشتر از ۰/۵ باشند و همین‌طور مطابق نظر Geza و McCray (۱۱) اگر ضریب NS در دامنه ۰/۳۶ تا ۰/۷۵ باشد نتایج صحت‌سنجی مدل خوب بوده و می‌توان از آن برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و سناریوهای مختلف مدیریتی استفاده کرد.

نتایج اثربخشی عملیات آبخیزداری بر مقدار نیترات ورودی به سد، دبی ورودی به دریاچه سد و مقدار تغذیه آب زیرزمینی آمده است. تغییر پارامترها بر حسب هرکدام از اقدامات حفاظتی که بر گرفته از مطالعات (۲۰،۸،۶) بوده در جدول ۳ ارائه شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.18.4]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.111]

جدول ۳- مقادیر پارامترهای تغییر یافته در اقدامات حفاظتی زیر حوزه ۱۲

Table 3. Modified Parameters Value in Protective Measures for subbasin 12

راه‌کار	کاربری	بافت خاک	مقادیر بهینه نهایی پارامترها			تغییرات نیترات حوزه		تغییرات دبی ورودی به سد		تغییرات تغذیه آب زیرزمینی	
			شماره منحنی (CN2)	ضریب جبران تبخیر خاک (ESCO)	پهنای نوار فیلتر گیاهی (Filterw)	kg-N Year^{-1}	%	m^3s^{-1}	%	mm Year^{-1}	%
شرایط موجود	مرتع (Rangeland)	Clay-loam Loam	۸۹	۰/۵۵	۰/۰۰۲	۸۲۵۲۵/۷۱	--	۶۲/۸۴	--	۱۷۰/۱۳۱	--
خطوط سنگی		Clay-loam Loam	۸۶/۳۳	۰/۶۲	۰/۵۰۲	۶۹۰۰۴/۲۹	-۱۶/۴	۶۱/۹۲	-۱/۵	۱۸۴/۷۵	۸/۵۹
کنتور		Clay-loam Loam	۸۰/۹۹	۰/۵۵	۰/۰۰۲	۶۷۷۶۱/۴۳	-۱۸	۵۹/۰۵	-۶/۰۳	۱۸۹/۱۴	۱۱/۱۷
مالچ‌پاشی		Clay-loam Loam	۸۶/۳۳	۰/۶۰۵	۰/۰۰۲	۷۰۱۷۲/۸۶	-۱۵	۶۲/۸۳	-۰/۰۲	۱۸۲/۴۳	۷/۲۳

نتایج جدول ۳ براساس شبیه‌سازی اقدامات حفاظتی اجرای بندهای سنگی، اجرای خطوط کنتور، اجرای مالچ در مدل SWAT CUP و درصد تغییرات مقادیر نیترات، دبی و تغذیه آب زیرزمینی هر سه راه‌کار نسبت به شرایط موجود تنظیم شده است. لیکن نتایج شبیه‌سازی اثربخشی عملیات آبخیزداری بر وضعیت کمی و کیفی آب کشاورزی حوزه زرینه‌رود تنها برای آخرین ایستگاه آب‌سنجی نظام‌آباد در زیر حوزه ۱۲، گزارش گردید. قرار گرفتن ایستگاه نظام‌آباد در انتهای مسیر رودخانه در حوزه آبخیز نشان‌دهنده تصویری از اثربخشی عملیات آبخیزداری در کل حوزه زرینه‌رود در قالب درصد تغییرات کمی و کیفی ورودی به دریاچه ارومیه است.

کاربری زیر حوزه ۱۲ مرتع است و بخش اعظم زیر حوزه شماره ۱۲ دارای بافت Clay- loam و بخش کوچکی از آن Loam است. لیکن فعالیت‌های کشاورزی، استفاده غیراصولی از مراتع و پتانسیل مناطق بالادست در تولید سیل باعث ایجاد رواناب و انتقال نیترات شده است. در جدول ۳ مقادیر شبیه‌سازی شده نیترات، دبی ورودی به سد و مقدار تغذیه آب زیرزمینی در هر راه‌کار براساس مقادیر بهبود یافته سه پارامتر شماره منحنی خاک، ضریب جبران تبخیر خاک و نوار فیلتر پوشش گیاهی. مطابق نتایج جدول ۳ شبیه‌سازی اقدامات آبخیزداری در کاهش دبی و نیترات ورودی به دریاچه و افزایش تغذیه سفره آب زیرزمینی، تاثیر مثبت داشته است. به‌گونه‌ای که در جدول ۳ آمده، بیشترین درصد تغییرات نیترات حوزه، دبی ورودی به سد و تغذیه آب زیرزمینی، در اعمال راه‌کار اقدامات حفاظتی خطوط کنتوراست. در راه‌کار اقدام حفاظتی خطوط کنتور مقدار دبی و نیترات ورودی به دریاچه سد به‌میزان ۶/۰۳ و ۱۸ درصد نسبت به راه‌کار اولیه کاهش و مقدار تغذیه سفره آب زیرزمینی ۱۱/۱۷ درصد افزایش یافت. این نتیجه علاوه بر بهبود وضعیت زیست‌محیطی سد و تغذیه آبخوان، از لحاظ بهبود شرایط زیست‌محیطی خود حوزه نیز حائز اهمیت است. به‌عبارتی راه‌کار خطوط کنتور ضمن بهبود نفوذپذیری قشرهای زیرین خاک به‌واسطه افزایش میزان تغذیه آب زیرزمینی سبب بهبود کیفیت آب سطحی به‌واسطه کاهش آورد نیترات ورودی به سد نیز می‌گردد.

از طرفی مقادیر نهایی CN2، ESCO و Filterw در راه‌کار اولیه به‌ترتیب ۸۹، ۰/۵۵ و ۰/۰۰۲ و به‌طور متناظر در راه‌کار خطوط کنتور ۸۰/۹۹، ۰/۵۵ و ۰/۰۰۲ است. مقایسه زوج اعداد فوق نشان می‌دهد در راه‌کار خطوط کنتور مقدار عددی شماره منحنی خاک از ۸۹ به ۸۰/۹۹ تغییر یافته که در دامنه بهینه این پارامتر در جدول ۲ به‌عنوان پارامتری با درجه حساسیت بالا قرار دارد. لیکن عدم تغییر دو پارامتر دیگر بیان‌گر عدم حساسیت مدل به آن‌ها است که در جدول ۲ نیز در مجموعه پارامترهای حساس مدل SWAT نمی‌باشند ولی بایستی برای اجرای اقدامات حفاظتی در نظر گرفته شوند. صالح و همکاران (۲۵) نشان دادن که انجام اقدامات آبخیزداری می‌تواند در کاهش رواناب و کاهش غلظت آلاینده‌ها موثر واقع شود. صادقی و همکاران (۲۶) در ارزیابی عملکرد اقدامات آبخیزداری، در مجموع عملکرد اقدامات آبخیزداری در کاهش رواناب و افزایش تغذیه آب‌زیرزمینی مثبت ارزیابی کردند. استفاده از اقدامات آبخیزداری برای حصول اهدافی همچون تعادل بخشی سفره‌های آب زیرزمینی و احیای مراتع میتواند موثر واقع شود ، ولی اقدام موثری‌در جهت افزایش جریان رودخانه نبود.

بطورکلی هدف این تحقیق بررسی کاربرد و کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی مقادیر کمی و کیفی آب در حوزه زرینه‌رود بود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که

- میانگین ضریب همبستگی نتایج شبیه‌سازی ماهانه رواناب در ۶ ایستگاه آب‌سنجی در دوره واسنجی ۰/۶۵ بود که حاصل مقادیر حداقل ۰/۴۷ برای ایستگاه جان‌آقا و ۰/۶۹، ۰/۸۱، ۰/۵۲، ۰/۶۸، ۰/۷۳ برای دیگر ایستگاه‌ها بود. به‌همین ترتیب میانگین ضریب همبستگی برای شبیه‌سازی ماهانه رواناب در مرحله صحت‌سنجی نیز ۰/۶۵ بود که حاصل مقادیر ۰/۳۷ در ایستگاه جان‌آقا و مقادیر ۰/۶۶ تا ۰/۷۲ بود. ضریب همبستگی شبیه‌سازی نیترات در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی نیز به‌ترتیب ۰/۵۸ و ۰/۵۱ شد. با توجه به عدم قطعیت داده‌های بارندگی، وجود داده‌های حدی، اثرپذیری مقادیر کمی و کیفی رواناب از عوامل انسانی و خطاهای محاسباتی، می‌توان عملکرد مدل SWAT را در شبیه‌سازی رواناب خروجی از حوزه مناسب ارزیابی نمود. لذا مدل فوق می‌تواند ابزار مناسبی در شبیه‌سازی کمیت و کیفیت آب در این حوزه باشد.
- مقایسه نتایج عملکرد مدل SWAT با داده‌های مشاهداتی کمیت و کیفیت آب حوزه نشان‌دهنده قابلیت بالای مدل در شبیه‌سازی شرایط مختلف مدیریت کشاورزی و منابع آبی است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.18.4]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.111]

- نتایج بخش سناریوهای آبخیزداری حاکی از بهبود شرایط زیست‌محیطی منطقه با کاهش غلظت نیترات محلول در آب و افزایش ذخیره آب زیرزمینی در لایه‌های زیرین است.
- گذشت زمان بعد از اجرای راه‌کار آبخیزداری، سبب افزایش رطوبت خاک لایه‌های زیرین، افزایش آب در لایه‌های زیرزمینی، تقویت سفره آب زیرزمینی و افزایش روان‌آب وروری به دریاچه می‌شود.
- با توجه به قابلیت مدل SWAT امکان بررسی اثر تغییر اقلیم، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، تاثیر نیروی انسانی بر حوزه و سناریوهای مدیریتی بر سیستم هیدرولوژیکی حوزه زرینه‌رود و اثرات آن بر حوزه قابل پیشنهاد است. هم‌چنین امکان کمی‌سازی و کیفی‌سازی زمانی- مکانی اثرات مختلف فعالیت‌ها و پروژه‌های مدیریتی منابع آب در مدل SWAT توسط ذی‌نفعان، مدیران و سازمان‌های اجرایی، وجود دارد.

منابع

1. Abbaspour, K., C.J. Yang, I. Maximov, R. Siber, K. Bogner, J. Mieleitner, J. Zobrist and R. Srinivasan. 2007. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. Journal of Hydrology, 333: 413-430.
2. Ahmadabadi, E. and P. Ghafarpour. 2017. Evaluation of the effects of watershed management on the hydrogeomorphological characteristics of the Anbar basin by using the semi-distributed SWAT. Space planning and design, 21(2): 35-55.
3. Ansari, M., M. Ghorji, Gh. Sayad, M. SHarfa and K. Hamadi. 2016. Simulation of Dezwatershed research by Arc swat model. Sience and engineering of irrigation, 38(4): 9-107 (In Persian).
4. Arnold, J.G., R. Srinivasan, R.S. Muttiah and J.R. Williams. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment, part I: model development. J. Amer. Water Resour Assoc, 34(1): 73-89.
5. Arnold, J.G., R. Srinivasan, T.S. Ramanarayanan and M. Diluzio. 1999. Water resources of the Texas Gulf Basin. Water science and technology, 39(3): 121-133.
6. Arabi, M., J.R. Frankenberger, B.A. Engel, J.G. Arnold. 2008. Representation of agricultural conservation practices with SWAT. Hydrol. Process., 22: 3042-3055
7. Bekiaris, I.G., I.N. Panagopoulos and N.A. Mimikou. 2005. Application of the SWAT model in the Ronnea catchment of Sweden. Global Journal, 3: 252-257.
8. Brandsma, J., G. van den Eertwegh and P. Droogers. 2013. Green and blue water resources and management scenarios using the SWAT model for the upper Duhe basin, China feasibility study.
9. Cibin, R., K.P. Sudheer and I. Chaubey. 2010. Sensitivity and identifiability of stream flow generation parameters of the SWAT model, Hydrological Processes, 24: 1133-1148.
10. Dolatabadi, S. and M.E. Mohamadian. 2013. Hydrological simulation of Firoozabad basin using SWOT model. Journal of Irrigation and Water Engineering, 14(29): 48-38.
11. Erfanian, M., M. Bayazi, H. Abgari and A. Esmaili. 2016. Simulation of discharge and sediment in Nazlu watershed and prioritize simident regions by SWAT, Management of aquiferous, 4(2). (In Persian).
12. Geza, M. and J.E. McCray. 2008 Effects of soil data resolution on SWAT model stream flow and water quality predictions. Journal of Environmental Management, 88: 393-406.
13. Kamali, E., E. Bovani, E. Masah, B. Zabiyoun and M. Godarzi. 2012. Comparison ofthree model SIMHYD, IHACRES and SWAT in simulation of Gharesu discharge. Management of water and irrigation, 2(1) (In Persian).
14. Lirong, S. and Z. Jianyun. 2012. Hydrological Response to Climate Change in Beijiang River Basin Based on the SWAT Model. Procedia Engineering, 28: 241-245.
15. Lu, Z., S. Zou, H. Xiao, C. Zheng, Z. Yin and W. Wang. 2015. Comprehensive hydrologic calibration of SWAT and water balance analysis in mountainous watersheds in northwest China. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C 79: 76-85.
16. Maidment, D.R. 1992. Handbook of Hydrology. McGraw-Hill Co., USA.
17. Mohamadi, M., E. Kavian and L. Gholami. 2017. Simulation of Discharge and Nitrate in Tallar Basin using SWAT Model. Journal of Watershed Management Research, 8(15): 45-60 (In Persian).
18. Moghadasi, M., S. Morid, M. Delavar and F. Arabpour. 2015. Agricultural Water Consumption Management Approach in Urmia Lake Restoration. Iran-Water Resources Research, 11(2): 1-12 (In Persian).
19. Moraiasi, D.N., J.G. Arnold, M.W. Vanliew, R.L. Binger, R.D. Harmel and T. Veith. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the American society of Agricultural Engineers, 50(3): 885-900.
20. Morid, S. and M. Moghadasi. 2011. Report of allocated to agriculture water in drought for Urmia Lake. Study for protected Iran's ponds (In Persian).
21. Neitsch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry and J.R. Williams. 2011. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009, Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service and Blackland Research Center. Texas Agricultural Experiment Station, College Station, Texas.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.18.4]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.111]

22. Neitsch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry, J.R. Williams and K.W. King. 2005. Soil and water assessment tool: Theoretical documentation. Blackland Research Center. Texas Agricultural Experiment Station, 494.
23. Nouri, Z., E. Selajegeh, A. Melkian and E. Moghadamnia. 2017. Investigating the Effect of Best Management Measures on Reduction of Pointwise and Non-Spaced Pollutants of Water Using the SWAT Model Case Study: Seymareh Seymareh Watershed, Seymour River, Iran Water and Soil Research 5:1006-99.
24. Palamuleni, L.G., P.M. Ndomba and H.J. Annegarn. 2011. Evaluating land cover Change and its impact on hydrological regime in Upper Shire river catchment, Malawi. Journal of Regional Environmental Change, 11(4): 845-855.
25. Saleh, E., A. Kaviani, M. Habibnejad Rushan and Z. Jafarian. 2019. Laboratory experiment Vegetable retaining walls in qualitative and quantitative protection of soil and water. Journal of Watershed Engineering and Management, 11(2): 344-358 (In Persian).
26. Sadeghi, S.H.R., F. Sharifi, E. Forootan and M. Rezae. 2005. Quantitative performance evaluation watershed management measures (Case Study: Keshar Sub-Watershed), Journalof Pajouhesh and Sazandegi, 65: 96-102 (In Persian).
27. Toloee, Z., M. Delavar, S. Morid and H. Ahmadzade. 2013. Assessment of irrigation returned water and Effect of pressure irrigation in Zarineh watershed by SWAT model. The fifth conference of Water management in Iran. 11(2): 135-145 (In Persian).
28. Tolson, B.A. and C.A. Shoemaker. 2004. Watershed modeling of the cannonsville basin using SWAT2000: Model development, calibration and validation for the prediction of flow,sediment and phosphorus transport to the Cannonsville reservoir. Technical Report, School of Civil and Environmental Engineering, Cornell University, Ithaca, N. Y, 128.
29. Wang, X. and A.M. Melesse. 2005. Evaluation of the SWAT model's snowmelt hydrology in a northwestern Minnesota watershed. Transactions of the ASAE, 48(4): 1-18.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.18.4]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.111]

Performance of SWAT Model in Quantitative and Qualitative Simulation of Runoff and Watershed Protective Measures in Zarrinehrood Basin

Sahere Golzar[1], Hamid Zareabyaneh[2], Majid Delavar[3] and Naghmeh Mobargaei Dinan[4]

1- Ph.D. Student University of Bualisina, Hamadan University of Bualisina
2- Professor University of Bualisina, Hamadan University of Bualisina, (Corresponding author: zare@basu.ac.ir)
3- Assistant Professor, University of Tarbiat
4- Associate Professor Environmental Sciences of Shahid Beheshti University
Received: April 24, 2019 Accepted: December 24, 2019

Abstract

This study aims to simulate runoff and runoff quality of Zarrineh river basin by SWAT model. Calibration and verification were done respectively with monthly runoff statistics in SWAT CUP by SUFI2 method for 1992-2013, for 12 sub basin, 226 HRU and monthly nitrate data for 2006-2009. The highest runoff sensitivity and runoff quality with minimum P_{value} and maximum absolute value T_{test} belong to soil cure number and nitrogen hydrolysis. The maximum number in calibration and verification belonged to Zarrineh dam station by R^2=NS=0.81 and minimum number belonged to Janagha station by R^2=NS=0.47. The value of these two coefficients in calibration of nitrate in all basin were 0.58 and 0.44 and their coefficient in verification were 0.51 and 0.42 respectively. Statistical results showed that a good performance in the SWAT model simulation of monthly flow and nitrate in the basin of Zarrineh river. Then the simulation was conducted by best management practices model. In this study protective measures watershed simulated stone lines, contour lines and mulching considered as a management solution. The best solution was contour lines by 17.89% reduced nitrate amount input to Urmia Lake see also 11.17% discharge the ground water.

Keywords: Discharge, Nitrate, Protective Measures Watershed, SUFI2, SWAT CUP

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.18.4]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.111]