



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۱۲ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۱

صفحه‌های ۱۷۰-۱۵۷

DOI: 10.22059/jwim.2022.336001.953

مقاله پژوهشی:

مدل‌سازی کیفیت آب سطحی در حوضه آبریز سد جیرفت

الهه احمدی‌راد^۱، محمد صادق غزنفری مقدم^{۲*}، صدیقه انوری^۳

۱. کارشناسی ارشد مهندسی عمران، مدیریت منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران و نقشه برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.

۲. استادیار، پژوهشکده انرژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.

۳. استادیار، پژوهشکده علوم محیطی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۱۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۹/۳۰

چکیده

یکی از منابع آلودگی آب سطحی، مدیریت ضعیف پسماندهای کشاورزی است. در این پژوهش کیفیت آب سطحی حوضه آبریز سد جیرفت با استفاده از مدل QSWAT مدل‌سازی شد. منطقه مورد مطالعه با وسعت ۷۸۳۴۶/۸۱ هکتار در بالادست سد جیرفت در استان کرمان واقع شده است. مدل بارش-رواناب حوضه آبریز منطقه مطالعاتی برای یک دوره ۲۱ ساله با گام زمانی ماهانه از سال ۲۰۰۰ لغایت ۲۰۲۰ شبیه‌سازی شد. به‌عنوان داده‌های مشاهده‌ای دبی جریان از ایستگاه هیدرومتری کناروئیه و برای داده‌های هواشناسی ورودی مدل از اطلاعات ایستگاه سینوپتیک بافت استفاده شد. واسنجی و اعتبارسنجی نتایج دبی شبیه‌سازی شده، با استفاده از الگوریتم خودکار SUFI-2 در نرم‌افزار SWAT-CUP به ترتیب برای سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۱۹ و ۲۰۰۸-۲۰۱۰ انجام گرفت. نتایج الگوریتم SUFI-2 برای دوره واسنجی با ضرایب تعیین و نش-ساتکلیف به ترتیب ۰/۷۹ و ۰/۷۷ و برای دوره اعتبارسنجی ۰/۸۱ و ۰/۸۲ به دست آمد. آنالیز حساسیت برای ۱۲ پارامتر واسنجی انجام شد، ضریب آلفا جریان پایه به‌عنوان حساس‌ترین پارامتر به دست آمد. بعد از مدل‌سازی جریان، کیفیت آب سطحی حوضه آبریز سد جیرفت با در نظر گرفتن اوره به‌عنوان کود شیمیایی که بیش‌ترین مصرف در سطح زیرکشت این منطقه را دارد، شبیه‌سازی شد. نتایج کیفیت آب سطحی از نظر مقدار بار نترات شبیه‌سازی شده در مدل QSWAT با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شد. نتایج مدل کیفیت آب سطحی نسبت به نتایج آزمایشگاهی از تطابق خوبی برخوردار بود. نتایج نشان دادند که استفاده از QSWAT در مدل‌سازی حوضه آبریز به‌منظور پیش‌بینی و مدیریت منابع آبی می‌تواند روشی مؤثر و کارآمد باشد.

کلیدواژه‌ها: بار نترات، جریان، حوضه آبریز سد جیرفت، مدل QSWAT.

Surface Water Quality Modeling in Jiroft Dam Watershed

Elahe Ahmadi Rad¹, Mohammad Sadegh Ghazanfari Moghadam^{2*}, Sedighe Anvari²

1. Master of Civil Engineering, Water Resources Management, Department of Water Engineering, Faculty of Civil and Surveying Engineering, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Energy, Institute of Science and High Technology and Environmental Science, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran.

3. Assistant Professor, Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Science, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran.

Received: December 21, 2021

Accepted: February 06, 2022

Abstract

Poor management of agricultural waste is one of the sources of water pollution. In this study, the surface water quality of Jiroft Dam watershed was modeled using the QSWAT model. The study area is located at the upstream of Jiroft Dam watershed with the total area of 783446.81 hectares in Kerman province. The rainfall-runoff model was simulated over the 21 years from 2000 to 2020 for a monthly time step. Data from Konaroye hydrometric station was used as observed flow data. The meteorological data was collected from Baft synoptic station. The model was calibrated and validated using the SUFI-2 automated algorithm in SWAT-CUP software for periods (2011-2019) and (2008-2010), respectively. The final results of determination and Nash-Sutcliffe coefficients from calibration and validation processes obtained 0.79, 0.77, 0.81 and 0.82, respectively. Sensitivity analysis was performed for 12 calibration parameters. The results show that base-flow alpha factor is the most sensitive parameter. After modeling of the flow rates in watershed, in next step surface water quality was modeled in QSWAT by considering Urea as fertilizer which is mostly used on the area under cultivation of Jiroft Dam watershed. The results for Nitrate load show that model prediction is in good agreement with the experimental data. The results of this study show that QSWAT model can be used as an effective and efficient method in order to predict surface water quality and managing of water resources.

Keywords: Flow, Jiroft Dam watershed, nitrate load, QSWAT model.

مقدمه

افزایش تقاضا برای غذا، مسکن و انرژی ناشی از افزایش جمعیت، تأثیر زیادی بر ویژگی‌های منابع آب به‌ویژه کیفیت آن دارد. در سراسر جهان به‌دلیل افزایش فعالیت‌های کشاورزی مرتبط با رشد شهرنشینی کیفیت آب در حال کاهش است. حفظ کیفیت مناسب آب به‌دلیل وجود منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای آلودگی کاری چالش‌برانگیز است. آلودگی با منابع نقطه‌ای ناشی از یک منبع منفرد و قابل شناسایی مانند لوله فاضلاب کارخانجات و آلودگی با منبع غیرنقطه‌ای در اثر بارش و ذوب برف بر روی زمین حرکت می‌کنند. مدل‌های آلودگی با منبع غیرنقطه‌ای^۱ در مقیاس حوضه آبریز (NPS) به ابزارهای مهمی برای درک، ارزیابی و پیش‌بینی اثرات منفی آلودگی بر کیفیت آب تبدیل شده‌اند. انتخاب مدل به عوامل مختلفی مانند ماهیت حوضه، فرایندهایی موردنیاز شبیه‌سازی، مقیاس مکانی و زمانی مطلوب، داده‌های موردنیاز، هزینه پروژه و غیره محدود می‌شود. مدل‌های حوضه آبریز مانند SWAT^۲ قابلیت مدل‌سازی آلودگی با منبع غیرنقطه‌ای را دارند. پژوهش‌های مختلفی در زمینه مدل‌سازی کیفیت آب سطحی با استفاده از نرم‌افزار SWAT انجام شده است (Giri & Qiu, 2016).

Qiu & Wang (2014) از مدل SWAT برای ارزیابی هیدرولوژیکی و کیفیت آب حومه حوضه آبریز رودخانه نشانیک^۳ استفاده کرد. پارامترهای کیفیت آب شامل غلظت مواد معلق جامد^۴ (TSS)، غلظت کلی فسفر^۵ (TP) و غلظت کلی نیتروژن^۶ (TN) با مقادیر پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده در حوضه آبریز مقایسه شده‌اند. نتایج حاصل از مدل‌سازی نشان می‌دهد مقدار TSS و TP موجود در حوضه آبریز با توجه به شرایط فعلی کاربری اراضی و مدیریت منابع آبی، استانداردهای لازم کیفیت آب را برآورده نمی‌کنند. Liu et al. (2020) به بررسی توزیع کیفیت آب و شبیه‌سازی بار آلودگی با منبع غیرنقطه‌ای در حوضه رودخانه

هولان^۷ با استفاده از ابزار ارزیابی آب و خاک پرداختند. تغییرات توپوگرافی و کاربری اراضی، کاربرد آفت‌کش‌ها و کودها و گسترش توریسم به‌عنوان مهم‌ترین نیروهای محرک تأثیرگذار بر کیفیت آب حوضه آبریز می‌باشند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که بار آلودگی با منبع غیرنقطه‌ای در بالادست کم و پایین‌دست افزایش پیدا می‌کند. Rajai et al. (2016) از ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT) برای شبیه‌سازی نترات در حوضه آبخیز تجن طی سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۰۱ استفاده نمودند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد بار سالانه نترات طی سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۰۱ از ۳۱۰۷۰ کیلوگرم تا ۸۹۳۵۰ کیلوگرم در خروجی حوضه متغیر است. توسعه مدل‌ها و ابزارها به نظارت و مدیریت منابع آلودگی با منبع غیرنقطه‌ای در یک حوضه آبریز و همچنین درک مکانیسم‌ها و فرایندهای پیچیده تولید و انتقال آلودگی در مقیاس‌های مختلف حوضه آبریز کمک می‌کنند. این مدل‌ها دارای قابلیت‌های ۱- شناسایی مناطق بحرانی آلاینده‌ها، ۲- ارزیابی اثرات آلودگی‌ها بر محیط آبی، ۳- ارزیابی سناریوهای هیدرولوژی و کیفیت آب، ۴- پشتیبانی از توسعه معیارها و استانداردهای کیفیت آب و ۵- برنامه‌ریزی و اجرای بهترین روش‌های مدیریت منابع آبی هستند. رواناب یکی از فرایندهای مهم حمل‌کننده آلودگی با منابع غیرنقطه‌ای است. رواناب در کاربری‌های اراضی مختلف ممکن است از انواع مختلف آلاینده‌ها غنی شده باشد. برای نمونه رواناب حاصل از زمین‌های کشاورزی به‌طورکلی از رسوبات، مواد مغذی و آفت‌کش‌ها غنی شده هستند، درحالی‌که رواناب حاصل از مناطق شهری توسعه‌یافته حاوی فلزات سنگین، هیدروکربن‌ها، کلرید و سایر آلاینده‌ها است (Abbaspour, 2019).

بیش‌تر پژوهش‌های صورت‌گرفته در حوضه آبریز سد جیرفت بر روی مدل‌سازی نحوه توزیع رسوب در مخزن سد جیرفت و پیش‌بینی احتمالاتی جریان ورودی به مخزن

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه

شهرستان جیرفت در ۲۳۰ کیلومتری شهر کرمان واقع شده است. این منطقه به دلیل قرارگرفتن در نزدیکی رودخانه هلیل رود از تنوع آب‌وهوایی زیادی برخوردار است. جیرفت با دارا بودن حدود ۲۳۰ هکتار زمین زراعی زیر کشت، از مناطق مستعد کشور برای کشاورزی است. از طرفی مهم‌ترین منبع تأمین آب کشاورزی در منطقه، سد جیرفت است. این سد با مختصات جغرافیایی $28^{\circ}16'38.24''$ شمالی و $57^{\circ}39'41.90''$ شرقی در ۴۰ کیلومتری شمال‌غربی شهر جیرفت، در محلی به نام تنگ‌نراب بر روی رودخانه هلیل رود در سال ۱۳۷۰ احداث شده است. سد جیرفت با حجم مخزن در تراز نرمال در حدود ۴۱۰ میلیون مترمکعب جهت تأمین نیازهای بخش کشاورزی، شرب، انرژی برق‌آبی، کنترل سیل، گردشگری و تأمین نیاز زیست‌محیطی دشت جیرفت و تالاب جازموریان بهره‌برداری می‌شود. حوضه آبریز سد جیرفت با مساحتی حدود $7834467/81$ هکتار شامل هفت زیرحوضه سراب هلیل، رابر، بزنجان، بافت، سلطانی، اسفندقه، دشتاب و پایاب دهوج است. شکل (۱) زیرحوضه‌های بالادست سد جیرفت را نشان می‌دهد.

سد جیرفت تمرکز داشته است (Anvari, 2018; Mohsen, 2017). مروری بر این پژوهش‌ها نشان می‌دهد تاکنون مدلسازی بار نیترات با استفاده از مدل QSWAT^۸ در حوضه آبریز سد جیرفت انجام نشده است. با توجه به این‌که احداث سد جیرفت منجر به افزایش فعالیت‌های کشاورزی و هم‌چنین بالا رفتن تقاضای مصرف کود شیمیایی در این منطقه مطالعاتی شده است، مدلسازی کیفیت آب سطحی در این حوضه آبریز امری ضروری و مؤثر تلقی می‌شود. توانایی این مدل در شبیه‌سازی بارهای مواد مغذی روشی نوین و کارآمد در مدیریت منابع آب می‌باشد. اهداف این پروژه مدلسازی بارش-رواناب و کیفیت آب سطحی در حوضه آبریز سد جیرفت است. از مدل QSWAT برای مدلسازی دبی جریان و آلودگی با منابع غیرنقطه‌ای استفاده شده است. نقاط قوت این مدل شامل ۱- امکان مدلسازی حوضه‌های آبریز در مقیاس مختلف زمانی و مکانی، ۲- امکان استفاده از مدل در حوضه‌های آبریز با داده‌های نظارتی کم یا بدون داده، ۳- دارا بودن یک جامعه کاربران آنلاین و مؤثر و ۴- توسعه روش‌های واسنجی^۹ و اعتبارسنجی^{۱۰} جایگزین مانند SWAT-CUP^{۱۱} به منظور ساده‌کردن فرایند وقت‌گیر و دشوار واسنجی است.

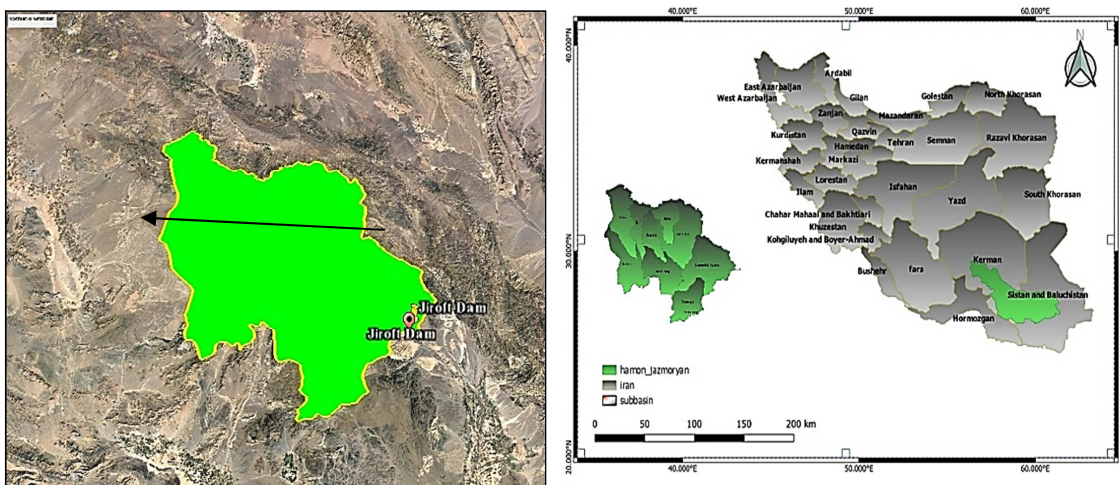


Figure 1. Upstream of Jiroft dam subbasins.

مدل QSWAT

ابزار ارزیابی آب و خاک یک مدل فیزیکی نیمه‌توزیعی شبیه‌سازی در مقیاس حوضه و رودخانه‌ای است، که توسط جف آرنولد^{۱۲} برای دپارتمان کشاورزی ایالات متحده^{۱۳} (USDA) بخش سرویس تحقیقات کشاورزی^{۱۴} (ARS) توسعه یافته است. هدف این مدل پیش‌بینی تأثیر مدیریت زمین بر روی آب، رسوبات و عملکرد شیمیایی کشاورزی در حوضه آبریز پیچیده بزرگ با خاک و کاربری اراضی متنوع و شرایط مدیریتی در بازه‌های زمانی طولانی مختلف است (NEITSH, 2009).

اجزای مدل QSWAT شامل ترسیم حوضه آبریز و آنالیز واحدهای پاسخ هیدرولیکی^{۱۵} (HRU) است. برای ترسیم حوضه آبریز ابتدا حوضه آبریز به چندین زیرحوضه تقسیم و سپس براساس نقشه‌های مدل رقومی ارتفاعی، خاک و کاربری اراضی این زیرحوضه‌ها به واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی HRU طبقه‌بندی می‌شوند. چرخه هیدرولوژی در مدل QSWAT براساس معادله

عمومی توازن آب طبق رابطه (۱) شبیه‌سازی می‌شود (Goodarzi, 2012).

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seed} - Q_{qW}) \quad (1)$$

در رابطه (۱) SW_t ظرفیت نهایی آب برحسب میلی‌متر، SW_0 ظرفیت ابتدایی آب برحسب میلی‌متر، t تعداد روز، R_{day} مقدار بارش برحسب میلی‌متر، Q_{surf} مقدار رواناب سطحی برحسب میلی‌متر، E_a میزان تبخیر-تعرق در روز برحسب میلی‌متر، W_{seed} مقدار آب انباشته شده در ناحیه اشباع‌نشده برحسب میلی‌متر و Q_{qW} مقدار جریان برگشتی برحسب میلی‌متر است. در شکل (۲) نمای شماتیک چرخه هیدرولوژیکی نشان داده می‌شود (NEITSH, 2009).

رواناب سطحی جریانی بر روی زمین است که در امتداد سطح شیبدار رخ می‌دهد. QSWAT حجم رواناب و حداکثر نرخ رواناب برای هر HRU را مدل‌سازی می‌کند.

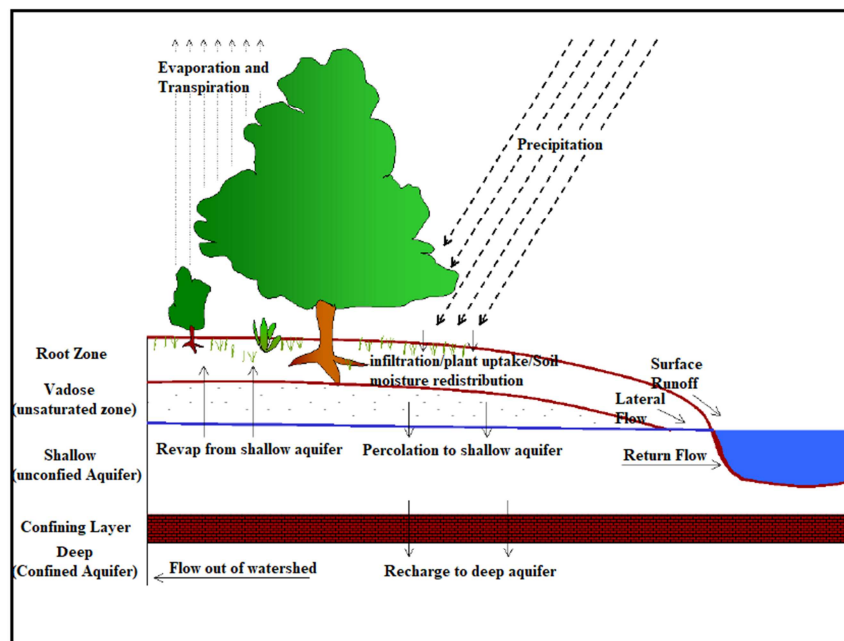


Figure 2. Schematic representation of the hydrologic cycle.

در رابطه (۵) مقدار آب جاری در لایه، Q_{surf} مقدار رواناب تولیدشده در یک روز معین، $Q_{lat,ly}$ مقدار تخلیه آب از لایه توسط جریان جانبی و $Q_{perc,ly}$ مقدار آب نفوذ شده به لایه‌های زیری خاک در یک روز معین برحسب میلی‌متر هستند. همچنین مقدار آب جاری در لایه‌های پایینی خاک از رابطه (۶) به دست می‌آید:

$$W_{mobile} = Q_{lat,ly} + Q_{perc,ly} \quad (6)$$

برنامه واسنجی و عدم قطعیت SWAT

SWAT_CUP مخفف برنامه واسنجی و عدم قطعیت SWAT و یک ابزار واسنجی خودکار است. این ابزار توسط مؤسسه تحقیقات آبی ایواگ^{۱۸} واقع در سوئیس توسعه یافته است. از نکات مثبت این برنامه قابل دسترس بودن این برنامه برای عموم است. SWAT-CUP قابلیت انجام آنالیز حساسیت، واسنجی، اعتبارسنجی و تحلیل عدم قطعیت را دارد. این برنامه پنج الگوریتم بهینه‌سازی SUFI-2^{۱۹}، PSO^{۲۰}، GLUE^{۲۱}، Parasol^{۲۲} و MCMC^{۲۳} را به مدل SWAT ارتباط می‌دهد (Abbaspour et al., 2019; Abbaspour et al., 2007; Abbaspour et al., 2007). الگوریتم SUFI2 به منظور واسنجی و بررسی عدم قطعیت مدل SWAT توسعه پیدا کرده است. انتشار عدم قطعیت در پارامترها، منتهی به عدم قطعیت در متغیرهای خروجی مدل می‌شود که به عنوان توزیع احتمال ۹۵ درصد بیان می‌شود. به منظور تعیین سازگاری بین نتایج شبیه‌سازی که به عنوان ۹۵ ppv^{۲۴} بیان می‌شود و داده‌های مشاهده‌ای که به عنوان سیگنال واحد بیان شده‌اند، دو شاخص آماری P-factor و R-factor مورد استفاده قرار می‌گیرد. فاکتور P شامل درصد داده‌های مشاهده‌ای که توسط نتایج مدل و عدم قطعیت پیش‌بینی ۹۵ درصد احاطه شده می‌باشد. فاکتور R ضخامت محدوده 95PPU احاطه شده است. محدوده مقداری برای فاکتور P بین صفر و ۱۰۰ درصد است، درحالی‌که محدوده

روش شماره منحنی^{۱۶} SCS برای محاسبه حجم رواناب سطحی استفاده می‌شود. در سال ۱۹۵۰ معادله رواناب SCS طبق رابطه (۲) به عنوان یک مدل تجربی به منظور تخمین مقدار رواناب در کاربری‌ها و انواع مختلف خاک مورداستفاده قرار گرفت (Salvador, 2019).

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.2S)^2}{(R_{day} - 0.8S)} \quad (2)$$

در رابطه (۲) Q_{surf} ارتفاع رواناب برحسب میلی‌متر، R_{day} ارتفاع بارندگی در روز برحسب میلی‌متر و S نگهداشت آب برحسب میلی‌متر طبق رابطه (۳) است.

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (3)$$

در رابطه (۳) CN یا شماره منحنی^{۱۷} براساس مشخصات خاک و وضعیت بهره‌برداری زمین تعیین می‌شود.

نیترات ممکن است از طریق رواناب سطحی، جریان جانبی یا نفوذ انتقال پیدا کند. مقدار بار نیترات انتقالی به همراه آب از حاصل ضرب مقدار غلظت نیترات موجود در جریان در حجم جریان طبق رابطه (۴) قابل محاسبه است.

$$conc_{NO_3, mobile} = \frac{NO3_{ly} \cdot (1 - \exp \left[\frac{-W_{mobile}}{(1 - \theta_e) \cdot SAT_{ly}} \right])}{W_{mobile}} \quad (4)$$

در رابطه (۴)، $conc_{NO_3, mobile}$ غلظت نیترات در آب جاری برای لایه موردنظر برحسب کیلوگرم نیتروژن بر هکتار، $NO3_{ly}$ مقدار نیترات در لایه برحسب کیلوگرم نیتروژن بر هکتار، W_{mobile} مقدار آب جاری در لایه برحسب میلی‌متر، θ_e درصدی از تخلخل که در آن آنیون‌ها پراکنده می‌شوند و SAT_{ly} میزان آب اشباع لایه خاک برحسب میلی‌لیتر است (S.L.NEITSH, 2009).

مقدار آب جاری در لایه در رابطه (۴)، مقدار آبی است که به وسیله رواناب سطحی، جریان جانبی و نفوذ عمقی از دست می‌رود. مقدار آب جاری در ۱۰ میلی‌متری بالای خاک طبق رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$W_{mobile} = Q_{surf} + Q_{lat,ly} + Q_{perc,ly} \quad (5)$$

(Vilaysanea & Duana, 2015). از ایستگاه سینوپتیک بافت به عنوان داده های هواشناسی ورودی مدل QSWAT استفاده شده است. اطلاعات ایستگاه سینوپتیک بافت در جدول (۱) نشان داده شده است.

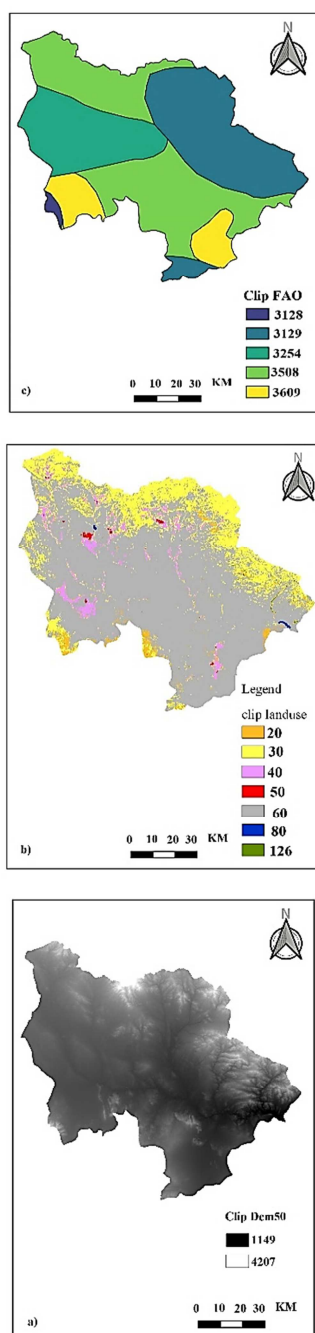


Figure 3. Input data of QSWAT model, a) Digital Elevation Model, b) land use, c) FAO soil

فاکتور R بین صفر و بی نهایت می باشد (NEITSH, 2009). یک شبیه سازی دقیق منطق بر داده های اندازه گیری زمانی اتفاق می افتد که مقادیر فاکتورهای P و R به ترتیب ۱ و صفر باشند. برای دبی جریان $R\text{-factor} < 1/5$ و $P\text{-factor} > 0.7$ پیشنهاد شده است که براساس مساحت حوضه و دقت داده های ورودی متغیر است (Abbaspour *et al.*, 2015).

داده های ورودی مدل

مدل QSWAT برای شبیه سازی نیازمند داده های ورودی شامل نقشه مدل رقمی ارتفاعی، نقشه کاربری اراضی، نقشه خاک، داده های اقلیمی است. در شکل (۳) نقشه های ورودی مورد نیاز مدل QSWAT برای حوضه آبریز سد جیرفت نشان داده شده است. نقشه مدل رقمی ارتفاعی^{۲۵} حوضه آبریز با رزولوشن ۵۰m از شرکت آب منطقه ای استان کرمان دریافت شد. نقشه کاربری اراضی این حوضه آبریز از سایت Copernicus^{۲۶} دانلود شده است (Abbaspour, 2019). برای نقشه خاک منطقه مطالعاتی از نقشه خاک فائو/یونسکو^{۲۷} نقشه خاک جهانی استفاده شد. به طور کلی فقدان اطلاعات معتبر خاک، به صورت قابل ملاحظه ای ارزیابی فرسایش خاک، تخریب زمین، مطالعات تأثیرات زیست محیطی و برنامه های مدیریت پایدار زمین^{۲۸} را با مشکل مواجه کرده است. نقشه های دو خاک جهانی بسیار مورد استفاده عبارتند از نقشه خاک فائو و پایگاه داده خاک یکپارچه جهانی^{۲۸} (Freddy Nachtergaele, 2009) (HWSD).

مدل QSWAT به داده های اقلیمی شامل داده های روزانه بارش، حداکثر/حداقل دما، تابش خورشید، سرعت باد و رطوبت نسبی نیاز دارد. مقادیر همه این پارامترها یا از داده های مشاهده ای ثبت شده و یا در صورت ناقص بودن از طریق مولد داده های هواشناسی که حاوی داده های آماری مورد نیاز برای تولید داده های آب و هوای روزانه برای زیرحوضه ها می باشد قابل استخراج است (Bounhieng)

Table 1. Baft Synoptic station specification

Station type	Station location	Station code	Longitude	Latitude	Elevation	Stablished year
Synoptic	Baft	40853	56/35	29/14	2280	1365

اجرای مدل

تأثیرگذار اشاره دارد. دو نوع کلی تحلیل حساسیت در نرم‌افزار SWAT-CUP انجام می‌شود. روش یک فاکتور در زمان^{۳۳} (OAT) که همه پارامترها ثابت نگه داشته می‌شود، درحالی‌که یکی را تغییر می‌دهد تا تأثیر آن بر خروجی مدل یا تابع هدف مشخص شود. روش تجزیه و تحلیل همه فاکتورها در زمان^{۳۴} (AAT) همه پارامترها در حال تغییر هستند (Khairi Khalida & Siti Humaira Harone, 2016). واسنجی خودکار با استفاده از الگوریتم SUFI-2 برای خروجی واقع در زیرحوضه شماره ۱۰ انجام شده است. به‌منظور واسنجی متوالی ۵۰۰ شبیه‌سازی در هر تکرار اجرا شده و پس از آن محدوده پارامترها تنظیم شده است. تعداد ۱۲ پارامتر برای واسنجی هیدرولوژیکی ماهانه استفاده شده است. جدول (۳) فهرست پارامترهای واسنجی و محدوده‌های واسنجی نهایی مربوط به هرکدام را نشان می‌دهد.

در جدول (۴) نتایج تحلیل حساسیت جامع نشان داده شده است. پارامترهایی با مقدار مطلق t-state بالاتر و p-value کوچک‌تر، پارامترهای حساس‌تر هستند (Khairi Khalida & Siti Humaira Harone, 2016). طبق جدول (۴) ضریب آلفا جریان پایه حساس‌ترین پارامتر در شبیه‌سازی دبی خروجی است.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل

به‌منظور انجام پروسه واسنجی و اعتبارسنجی نتایج به‌دست‌آمده از مدلسازی حوضه آبریز توسط نرم‌افزار QSWAT، به داده‌های مشاهده‌ای دبی آب در مسیر خروجی سد جیرفت نیاز است. دبی و سطح آب سدها در یک شبکه نظارت گسترده توسط شرکت آب منطقه‌ای

ترسیم زیرحوضه‌ها با استفاده از داده‌های مدل رقومی ارتفاعی (DEM) و نقشه شیپ-فایل شبکه جریان انجام می‌شود. نقشه کاربری اراضی، نقشه خاک منطقه مطالعاتی و نقشه مدل رقومی ارتفاعی برای ایجاد واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی در حوضه آبریز سد جیرفت استفاده شده است. هنگام ترسیم حوضه آبریز در نرم‌افزار QSWAT، برای جلوگیری از مشکلات احتمالی در فرایند مسیریابی ورودی‌ها و خروجی‌های زیرحوضه‌ها، اندازه حوضه‌ها به‌گونه‌ای تنظیم می‌شود تا توزیع یکنواختی در محدوده مدل به‌دست آید. در این پژوهش برای شبیه‌سازی فرایندهای تبخیر و تعرق بالقوه^{۲۹} (PET) در مدل QSWAT، معادله پنمن-مانتیت^{۳۰} به‌عنوان روش محاسبه PET به‌دلیل در اختیار داشتن داده‌های ورودی دمای میانگین روزانه، سرعت باد، رطوبت نسبی و تابش خورشیدی ایستگاه سینوپتیک بافت به‌کار گرفته شده است. از روش شماره منحنی برای تخمین رواناب سطحی و روندیابی کانال در QSWAT با استفاده از روش روندیابی ذخیره‌سازی متغیر^{۳۱} مدلسازی می‌شود. نرم‌افزار هم‌چنین قابلیت روندیابی جریان با استفاده از روش ماسکینگام^{۳۲} را دارد. این روش به‌دلیل تخمین بیش از حد میزان تبخیر در کانال، خطای مدلسازی را افزایش می‌دهد. بر این اساس در این پژوهش از این روش استفاده نشده است (Van Tam Nguyen, 2018). خلاصه اطلاعات حوضه آبریز سد جیرفت در جدول (۲) مشاهده می‌شود.

نتایج و بحث

آنالیز حساسیت

تجزیه و تحلیل حساسیت به شناسایی بیش‌ترین عامل

در این پژوهش شبیه‌سازی جریان حوضه آبریز سد جیرفت توسط QSWAT یک دوره ۲۱ ساله را پوشش می‌دهد که از سال ۲۰۰۰ با دوره Warm up سه‌ساله شروع می‌شود و در سال ۲۰۲۰ به پایان می‌رسد. بنابراین دبی جریان در یک دوره ۱۸ ساله بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰ مدل می‌شود. دوره واسنجی یک دوره ۱۲ ساله بین سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۹ در نظر گرفته می‌شود.

استان کرمان مشاهده و اداره می‌شود. اطلاعات دبی آب مربوط به بازه زمانی شامل دو دهه از شرکت آب منطقه‌ای استان کرمان دریافت شده است. اطلاعات ایستگاه کنارویی به دلیل نزدیکی به خروجی حوضه آبریز سد جیرفت به عنوان داده‌های مشاهده‌ای انتخاب شده است. جدول (۵) مشخصات ایستگاه هیدرومتری کنارویی مشاهده می‌شود.

Table 2. Jiroft dam watershed summary of information

Jiroft dam outlet	Subbasins	Number of subbasins	Number of HRU	Jiroft dam watershed area (ha)	Land use percentage (%)		
					RNGE	AGRL	BSVG
Jiroft dam	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	10	77	783446/81	18/98	3/18	77/84

Table 3. List of calibration parameters and final calibration SUFI-2 ranges

Parameter Names	Description	Min Value	Max Value	Unit
*r_CN2.mgt	initial SCS runoff curve number to moisture condition II	0.10	0.29	-
**v_ALPHA_BF.gw	base flow alpha factor	-0.17	0.06	1/days
v_GW_DELAY.gw	groundwater delay time	248	296	day
v_GWQMN.gw	threshold depth of water in the shallow aquifer for return flow to occur	0.73	0.96	mm
v_GW_REVAP.gw	Groundwater "revap" coefficient	0.09	0.14	-
v_ESCO.hru	soil evaporation compensation factor	0.49	0.56	-
r_CH_N2.rte	Manning's "n" value for the main channel	0.10	0.11	-
r_CH_K2.rte	effective hydraulic conductivity in main channel alluvium	103.2	138.3	mm/h
v_ALPHA_BNK.rte	base-flow alpha factor for bank storage	-0.16	0.02	day
r_SOL_AWC.sol	available water capacity of the soil layer	0.105	0.107	mm/mm
r_SOL_K.sol	saturated hydraulic conductivity	33.75	40.39	mm/h
r_SOL_BD.sol	moist bulk density	1.80	2.20	gr/cm ³

* r refers to a relative change in the parameter were the current value is multiplied by 1 plus a factor.

** v refers to the substitution of a parameter by a value from a given range.

Table 4. t-sate and p-value Sensitive Parameters in flow calibration

Parameter Names	t-sate	p-value
V_ALPHA_BNK.rte	-6.64	0
R_SOL_BD.sol	0.84	0.39
R_SOL_AWC.sol	-2.67	0.007
R_CH_N2.rte	-0.36	0.71
V_GW_DELAY.gw	0.56	0.57
V_ALPHA_BF.gw	-19.83	0
V_GWQMN.gw	-0.61	0.53
V_GW_REVAP.gw	-0.42	0.67
R_CN2.mgt	-6.62	0
R_CH_K2.rte	-0.50	0.61
V_ESCO.hru	0.93	0.35
R_SOL_K.sol	-1.46	0.14

Table 5. Konaroye hydrometry station specification

Station Name	Station code	Stablshed Year	River	District	Longitude	Latitude	Elevation(m)
Konaroye	4504	1371	Halil River	Ramon-Bahr Aseman	57°-14'-42"	28°-52'-44"	1410

ناشی از غیرانحصاری بودن پارامترها در مدل معکوس^{۳۵} است (Mojtaba Shafiei, 2013). پیک‌های جریان در این مدل به‌خوبی شبیه‌سازی شده است، درحالی‌که در مدل‌سازی جریان‌های کم مدل عملکرد خیلی خوبی نشان نداده است. در بازدیدی که از ایستگاه هیدرومتری کناروئیه انجام شد، روش اندازه‌گیری دبی در جریان کم از دقت کافی برخوردار نبود که همین امر باعث عملکرد ضعیف مدل در شبیه‌سازی جریان‌های کم شده است. از دلایل دیگر عملکرد ضعیف مدل در شبیه‌سازی جریان‌های کم می‌تواند ناشی از کم‌بودن تعداد ایستگاه‌های سینوپتیک در این حوضه آبریز و افزایش عدم قطعیت در ورودی داده‌های مدل مانند بارندگی و دما بیان شود. از آنجایی‌که ایستگاه‌های باران‌سنجی زیادی در این حوضه آبریز واقع شده بود، به دلیل عدم صحت داده‌ها بارندگی در این ایستگاه‌ها، برای مدل‌سازی بارش-رواناب از آن‌ها استفاده نشده است.

در شکل‌های (۵-الف) و (۵-ب) نمودارهای پراکندگی داده‌های دبی جریان براساس نتایج شبیه‌سازی نسبت به داده‌های دبی براساس داده‌های مشاهده‌ای به‌ترتیب برای دوره زمانی واسنجی (از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹) و دوره زمانی اعتبارسنجی (از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰) نشان داده می‌شود.

یک دوره سه‌ساله بین سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۱ به‌عنوان دوره Warm up برای واسنجی در نظر گرفته شده است. دوره اعتبارسنجی یک دوره شش‌ساله بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ در نظر گرفته می‌شود. یک دوره سه‌ساله بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۸ به‌عنوان دوره Warm up در نظر گرفته شده است.

در شکل (۴) نتایج واسنجی و اعتبارسنجی نتایج خروجی شبیه‌سازی نسبت به داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه کناروئیه در گام زمانی ماهانه نشان داده می‌شود. نتایج اعتبارسنجی و واسنجی دبی جریان شامل مقادیر مشاهده‌ای، مقادیر بهترین شبیه‌سازی و مقادیر در محدوده عدم قطعیت احتمال ۹۵ درصد با استفاده از روش واسنجی خودکار با الگوریتم SUFI-2 نشان داده می‌شود. دوره واسنجی بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹ و دوره اعتبارسنجی بین سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ در نظر گرفته شده است.

عدم قطعیت‌ها در مدل‌سازی حوضه آبریز به سه نوع اصلی عدم قطعیت مفهومی (ساختاری)، عدم قطعیت در ورودی و عدم قطعیت در پارامترهای مدل تقسیم می‌شود. یک سری از عدم قطعیت‌های مفهومی مدل به ساده‌سازی‌های مدل برمی‌گردد. عدم قطعیت در ورودی داده‌ها تحت تأثیر خطاهای موجود در متغیرهای ورودی مانند میزان بارش و دما و عدم قطعیت در پارامترهای مدل

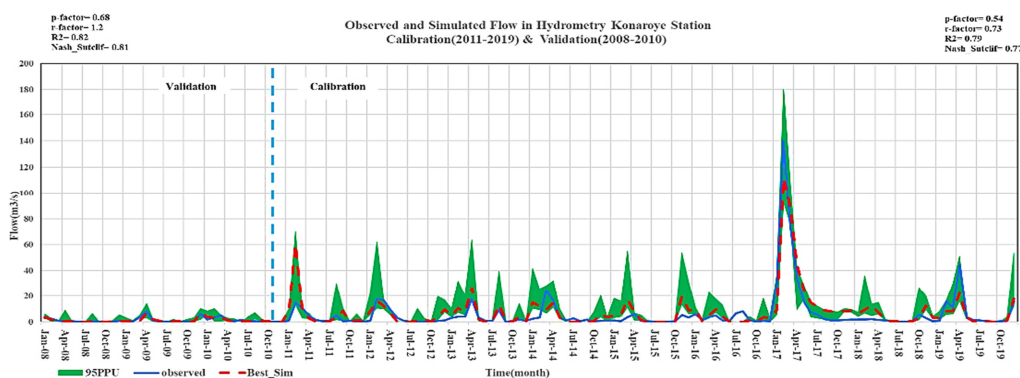


Figure 4. The results of Calibration and validation flow at Konaroye hydrometric station for monthly time step.

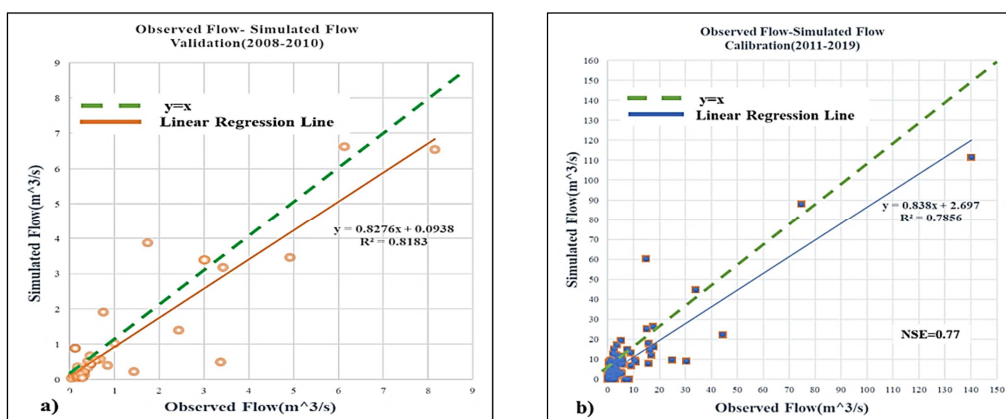


Figure 5. Scatter plots of Observed flow against Simulated flow, a) Validation (2008-2010), b) Calibration (2011-2019)

وارد کردن مقدار کود شیمیایی استفاده‌شده در محدوده مطالعاتی است. اطلاعات مربوط به مقدار کود مصرفی از سالنامه آماری استان کرمان-سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمان- جمع‌آوری شد (Province, 1395). طبق سالنامه آماری استان کرمان میانگین مصرف کود اوره توزیع‌شده با هدف کشاورزی در طی ۱۴ سال آماری از سال ۱۳۸۳-۱۳۹۶ در محدوده شهر بافت، رابر، دشتاب و اسفندقه ۹/۸۸۰ تن می‌باشد. جدول (۶) مشخصات کود شیمیایی مصرف‌شده اوره در این سال آماری را نشان می‌دهد.

مقایسه نتایج آزمایشگاهی با مدل QSWAT

میانگین نتایج آزمایش غلظت نیترات موجود در چهار نقطه منجمه ایستگاه هیدرومتری کناروئیه با نتایج شبیه‌سازی‌شده بار نیترات آب سطحی با مدل QSWAT مقایسه شد. میزان غلظت نیترات آزمایشگاهی برحسب میلی‌گرم بر لیتر است. مقدار این غلظت برای مقایسه با نتایج مدل، به کیلوگرم نیترات بر هکتار تبدیل شده است. برای این تبدیل واحد از حجم ماهانه آب حاصل از دبی داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه هیدرومتری کناروئیه در سه ماه مهر، آبان و آذر سال ۱۳۹۸ معادل سال ۲۰۱۹ میلادی و مساحت حوضه آبریز مورد استفاده قرار گرفته است.

در شکل (۵) مشاهده می‌شود هر دو نمودار پراکنندگی تناسب نزدیکی با خط ۱:۱ ($y=x$) دارند. با این حال، نتایج همبستگی در دوره اعتبارسنجی نسبت به دوره واسنجی به خط ۱:۱ نزدیک‌تر هستند این موضوع را می‌توان از مقدار بزرگ‌تر ضریب R^2 در دوره اعتبارسنجی (۰/۸۲) نسبت به مقدار آن در دوره واسنجی (۰/۷۸) نتیجه گرفت.

مدیریت کشاورزی

با توجه به این‌که تغییرات بار نیترات به شدت به دبی بستگی دارد، ابتدا مدل هیدرولوژیکی واسنجی و اعتبارسنجی شد و پس از دستیابی به نتایج رضایت‌بخش دبی، بارهای نیترات مدل‌سازی می‌شود (Marcinkowski, 2013). در این پژوهش به دلیل عدم وجود داده‌های مشاهده‌ای ماهانه بار نیترات در حوضه آبریز سد جیرفت چهار نقطه برای نمونه‌برداری در سطح حوضه انتخاب شد. انجام نمونه‌برداری در زمان مناسب بعد از آبیاری و نتایج آزمایشگاهی با نتایج خروجی مدل مقایسه شد. آزمایش غلظت نیترات از نمونه‌ها صورت گرفت و غلظت نیترات برحسب میلی‌گرم بر لیتر به دست آمده است.

مدل‌سازی بار نیترات در نرم‌افزار QSWAT

برای مدل‌سازی بار نیترات در نرم‌افزار QSWAT نیاز به

Table 6. Specification of Urea fertilizer consumption

Statistical year	Fertilizer type	Value (ton)	Area under cultivation (ha)	Number of HRU located in agricultural land	Amount of fertilizer applied to HRU (Ton/ha)
1383-1396	Urea	9880	1092/28	21	0.475

اراضی بیش‌تر تمرکز این محدوده‌ها به فعالیت‌های کشاورزی است که منجر به افزایش مصرف کودهای شیمیایی و افزایش بار نیترات در این سه زیرحوضه شده است.

یکی از نقاط ضعف مدل QSWAT نداشتن قابلیت مدل‌سازی رویدادهای تکرخداد مانند سیل و تأثیر تغییرات فصل بر روی رشد گیاهان است. بنابراین ممکن است بسیاری از بارندگی‌ها که شدت آن‌ها تغییر می‌کند به دلیل مدل‌سازی ماهانه نادیده گرفته شوند.

در بازدیدی که از ایستگاه هیدرومتری کناروئیه انجام شد، طبق بررسی انجام‌شده مشخص شد روش اندازه‌گیری دبی جریان در مورد جریان‌های با دبی کم از دقت کافی برخوردار نمی‌باشد.

در این پژوهش به دلیل کمبود اطلاعات ماهانه کیفیت آب سطحی، اعتبارسنجی کیفیت آب سطحی مدل QSWAT قابل انجام نبود. بنابراین نتایج حاصل از مدل‌سازی نسبت به نتایج مشاهده‌ای ارزیابی شده است.

برای بهبود نتایج مدل‌سازی دبی جریان استفاده از مدل‌هایی دیگر با قابلیت مدل‌سازی تکرخداد با هدف بهبود نتایج مدل پیشنهاد می‌شود. هم‌چنین نصب باران‌سنج‌های ثابت و استفاده از دستگاه دبی‌سنج با دقت بالاتر در ایستگاه‌های هواشناسی کمک زیادی به بالارفتن دقت ورودی داده‌ها و در نتیجه مدل‌سازی بهتر می‌شود. اندازه‌گیری ماهانه کیفیت آب سطحی در ایستگاه‌های هیدرومتری راه‌کار مناسبی در کنترل کیفیت آب و مدیریت منابع آبی در جهت حفظ محیط زیست می‌باشد.

میانگین بار نیترات در این سه ماه با بار نیترات شبیه‌سازی شده مقایسه شد. نتایج آزمایشگاهی و مدل QSWAT در جدول (۷) مشاهده می‌شود. طبق جدول (۷) نتایج شبیه‌سازی شده بار نیترات آب سطحی در مدل QSWAT در زیرحوضه شماره ۱۰ حوضه آبریز سد جیرفت در محدوده (۰/۰۰۰۰۰۴۷-۰/۰۰۱۷۰۰۷) کیلوگرم بر هکتار است. میانگین نتایج آزمایش غلظت نیترات در چهار نقطه از جمله ایستگاه هیدرومتری کناروئیه واقع در محدوده زرد رنگ شکل (۶) پس از تبدیل واحد ۰/۰۰۱۴ کیلوگرم بر هکتار است. نتایج نشان می‌دهد بار نیترات مدل‌سازی شده توسط مدل QSWAT با نتایج آزمایشگاهی هم‌خوانی قابل‌قبولی دارد.

Table 7. Comparison of laboratory and QSWAT model results

Sample water result/QSWAT model	Nitrate concentration (mg/lit)	Average nitrate load (kg/ha)
Sample water results	1.05	0.0014
QSWAT model	-	0.0017007-0.0000047

نتایج بار نیترات شبیه‌سازی شده توسط مدل QSWAT در شکل (۶) نشان داده شده است. در زیرحوضه‌های شماره سه، چهار و شش مقدار بار نیترات با رنگ قرمز که نشان‌دهنده غلظت بیش‌تر نیترات در این زیرحوضه‌ها است. زمانی که کود اوره با فرمول شیمیایی $(NH_2)_2CO$ به سطح خاک اضافه شود به دلیل پدیده نیتریفیکاسیون به نیترات تبدیل می‌شود (Akhavana & Afyuni, 2010). طبق نقشه کاربری

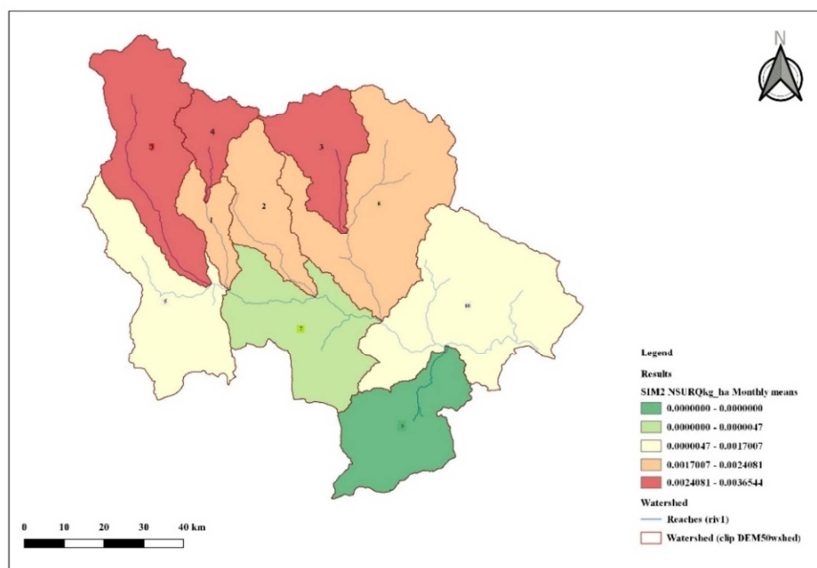


Figure 6. The results of Simulated nitrate load by QSWAT model.

با ضرایب تعیین و نش-ساتکلیف به ترتیب ۰/۷۷ و ۰/۷۹ و برای دوره اعتبارسنجی ۰/۸۱ و ۰/۸۲ می‌باشد. پس از این مرحله بار نیترات موجود در آب سطحی حوضه آبریز سد جیرفت برای سطح زیر کشت این منطقه با اضافه کردن کود شیمیایی اوره شبیه‌سازی شد. نتایج کیفیت آب سطحی از نظر مقدار بار نیترات شبیه‌سازی شده در مدل QSWAT با نتایج آزمایشگاهی نمونه آب برداشت شده از چهار نقطه منجمله ایستگاه هیدرومتری کناروئیه مقایسه شد. در این بخش نیز نتایج شبیه‌سازی کیفیت آب سطحی نسبت به نتایج آزمایشگاهی از تطابق خوبی برخوردار است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد شبیه‌سازی کمی و کیفی حوضه آبریز سد جیرفت با استفاده از مدل QSWAT نتایجی نزدیک به داده‌های مشاهده‌ای را ارائه می‌دهد. بر این اساس استفاده از روش شبیه‌سازی حوضه‌های آبریز به منظور ارزیابی اثرات آلودگی بر محیط آبی، شناسایی مناطق بحرانی آلاینده‌ها و مدیریت منابع آبی می‌تواند روشی مفید و کارآمد باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش از مدل فیزیکی و نیمه‌توزیعی QSWAT برای مدل‌سازی بارش-رواناب و کیفیت آب سطحی حوضه آبریز سد جیرفت در استان کرمان تحت تأثیر مصرف کود شیمیایی اوره به منظور فعالیت‌های کشاورزی استفاده شده است. واسنجی مدل هیدرولوژیکی و شبیه‌سازی بار نیترات در یک روش متوالی انجام شد. مساحت حوضه آبریز سد جیرفت ۷۸۳۴۶۷/۸۱ هکتار است که به ۱۰ زیرحوضه و ۷۷ HRU تقسیم شده است. داده‌های ورودی مدل شامل نقشه مدل رقومی ارتفاعی، نقشه خاک و کاربری اراضی از طریق منابع آنلاین دانلود شده، درحالی‌که داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه هیدرومتری کناروئیه و داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک از شرکت آب منطقه‌ای استان کرمان دریافت شده است. واسنجی و اعتبارسنجی نتایج دبی شبیه‌سازی شده، با استفاده از الگوریتم خودکار SUFI-2 در نرم‌افزار SWAT-CUP به ترتیب برای سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۱۹ و ۲۰۱۰-۲۰۰۸ انجام گرفته است. نتایج الگوریتم SUFI-2 برای دوره واسنجی

پی‌نوشت‌ها

- (2015). A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *Journal of Hydrology*, 524, 733-752. doi:10.1016/j.jhydrol.2015.03.027.
3. Abbaspour, K. C., Vaghefi, S. A., Yang, H., & Srinivasan, R. (2019). Global soil, landuse, evapotranspiration, historical and future weather databases for SWAT Applications. *Sci Data*, 6(1), 263. doi:10.1038/s41597-019-0282-4.
 4. Abbaspour, K. C., Vaghefi, S. A., Yang, H., & Srinivasan, R. (2019). Global soil, landuse, evapotranspiration, historical and future weather databases for SWAT Applications. *Scientific data*, 6(1), 1-11. doi:10.1038/s41597-019-0282-4.
 5. Abbaspour, K. C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., & Srinivasan, R. (2007). Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of Hydrology*, 333(2-4), 413-430. doi:10.1016/j.jhydrol.2006.09.014.
 6. Abbaspour, K. C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., ... & Srinivasan, R. (2007). Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of hydrology*, 333(2-4), 413-430. doi:10.1016/j.jhydrol.2006.09.014.
 7. Akhavan, S., Abedi-Koupai, J., Mousavi, S. F., Afyuni, M., Eslamian, S. S., & Abbaspour, K. C. (2010). Application of SWAT model to investigate nitrate leaching in Hamadan-Bahar Watershed, Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 139(4), 675-688. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.10.015>
 8. Anonymous. (2016). Statistical Yearbook of Kemran Province 1395.
 9. Anvari, S. (2018). Probabilistic Forecasts of Streamflow Scenarios Using ESP Approach (Case study: Halil River). *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 41(3), 75-87. (In Persian).
 10. Ebrahimi, M., Barani, Gh. A., & Ghaeini Hesarovieh, M. (2017). Evaluation of Area-Increment and Area-Reduction Methods to Predict Sediment Distribution of reservoir. *Paper presented at the 16th Iranian Hydraulic Conference*, Ardebil, Iran, <https://civilica.com/doc/727634>. (In Persian).
 11. Giri, S., & Qiu, Z. (2016). Understanding the relationship of land uses and water quality in Twenty First Century: A review. *J Environ Manage*, 173, 41-48, doi:10.1016/j.jenvman.2016.02.029.
 1. Non-point source pollution
 2. Soil And Water Assessment Tool
 3. Neshanic
 4. Total Suspend Solid
 5. Total Phosphorus
 6. Total Nitrogen
 7. Hulan river
 8. QGIS SWAT
 9. Calibration
 10. Validation
 11. SWAT Calibration Uncertainty Procedures
 12. Jeff Arnold
 13. United States Department of Agriculture
 14. Agricultural Research Service
 15. Hydrological Response Unit
 16. Soil Conservation Service
 17. Curve Number
 18. Eawag
 19. Uncertainty in Sequential Uncertainty Fitting
 20. Particle Swarm Optimization
 21. General Language Understanding Evaluation
 22. Polarimetry Potential for Aerosol
 23. Markov chain Monte Carlo
 24. 95 Percent Prediction Uncertainty
 25. Digital Elevation Model
 26. Food and Agriculture Organization/ The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
 27. Sustainable Land Management Programs
 28. Harmonized World Soil Database
 29. Potential Evapotranspiration
 30. Penman-Monteith equation
 31. Variable Storage Method
 32. Muskingum Method
 33. One-at-a-time
 34. All-at-a-time
 35. Inverse Model

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

1. A.Salvador, C. G. (2019). Suitability of the SWAT Model for Simulating Water Discharge and Sediment Load in a Karst Watershed of the Semiarid Mediterranean Basin. *Water Resources Management*, doi:10.1007/s11269-019-02477-4.
2. Abbaspour, K. C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H., & Kløve, B.

12. Goodarzi, M. R., Zahabiyoun, B., Massah Bavani, A. R., & Kamal, A. R. (2012). Performance comparison of three hydrological models SWAT, IHACRES and SIMHYD for the runoff simulation of Gharesou basin. *Water and Irrigation Management*, 2(1), 25-40.
13. Khalid, K., Ali, M. F., Abd Rahman, N. F., Mispan, M. R., Haron, S. H., Othman, Z., & Bachok, M. F. (2016). Sensitivity analysis in watershed model using SUFI-2 algorithm. *Procedia engineering*, 162, 441-447. doi:10.1016/j.proeng.2016.11.086.
14. Liu, Y., Li, H., Cui, G., & Cao, Y. (2020). Water quality attribution and simulation of non-point source pollution load flux in the Hulan River basin. *Sci Rep*, 10(1), 3012. doi:10.1038/s41598-020-59980-7.
15. Marcinkowski, P. A. W. E. L., Piniewski, M. I. K.O.L.A.J., Kardel, I.G.N.A.C.Y., Gielczewski, M., & Okruszko, T.O.M.A.S.Z. (2013). Modelling of discharge, nitrate and phosphate loads from the Reda catchment to the Puck Lagoon using SWAT. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Land Reclamation*, 45(2).
16. Nachtergaele, F., van Velthuisen, H., Verelst, L., Batjes, N. H., Dijkshoorn, K., van Engelen, V. W. P., ... & Montanarella, L. (2010). The harmonized world soil database. In *Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, Brisbane, Australia, 1-6 August 2010* (pp. 34-37).
17. Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. (2011). *Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009*. Texas Water Resources Institute.
18. Nguyen, V. T., Dietrich, J., Uniyal, B., & Tran, D. A. (2018). Verification and correction of the hydrologic routing in the soil and water assessment tool. *Water*, 10(10), 1419.
19. Qiu, Z., & Wang, L. (2014). Hydrological and Water Quality Assessment in a Suburban Watershed with Mixed Land Uses Using the SWAT Model. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(4), 816-827. doi:10.1061/(asce)he.1943-5584.0000858
20. Rajai, F., Slamanmahini, A., Delavar, M., & Mesahbouvani, A. (2016). Modelling of nitrate contamination caused from non-point sources and prioritization of critical sub-basins for environmental management of TAJAN watershed, *Eco Hydrology*. (In persian).
21. Shafiei, M., Kamran Davari, H. A., & Ghahraman, B. (2013). Calibration and uncertainty analysis of a semi-distributed model in a semi-arid region(Case study of Neishabour watershed). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 17(64). (In Persian).
22. Vilaysane, B., Takara, K., Luo, P., Akkharath, I., & Duan, W. (2015). Hydrological stream flow modelling for calibration and uncertainty analysis using SWAT model in the Xedone river basin, Lao PDR. *Procedia Environmental Sciences*, 28, 380-390. doi:10.1016/j.proenv.2015.07.047.