تحقیقات آب و خاک ایران | دوره ۵۲ | شماره ۱۱ | بهمن ۱۴۰۰ (ص ۲۷۲۱-۲۷۰۹)

https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2021.327339.669027

(مقاله علمی - پژوهشی)

Assessing Variation of Runoff and Nitrate Concentration in Management Scenarios Using SWAT Model, (Case Study: Hashtgerd Plain)

MAHMOODREZA NOORALINEJAD ISLAMLOO[1], MOJTABA SHOURIAN[2*], SEYED SADJAD MEHDIZADEH[3]

1. Department of Civil-Water Engineering, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Art, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Department of Water Resources Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, College of Technical and Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
3. Department of Civil-Water Engineering, Faculty of Civil Engineering and Land Resources, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

(Received: July. 17, 2021- Revised: Oct. 24, 2021- Accepted: Nov. 6, 2021)

ABSTRACT

Watershed management strategies can be considered in mitigating water pollution issues. In this study, using SWAT as a semi-distributive hydrological model, runoff and nitrate amounts have been investigated according to management scenarios in Hashtgerd plain, Iran. After runoff simulation, three hydrometric stations were used for calibration in the period (1990-2013) and validation in the period (2014-2018). The results of R^2 and NS statistical indices (greater than 0.6) show that the simulation results in this catchment have been done with good accuracy. The results also indicate that applying the first scenario (changing the crop pattern) and the second scenario (increasing irrigation efficiency) reduced the water usage in the agricultural sector from 85.3 MCM to 59.8 MCM in the present condition, which also will improve the fertilizing efficiency. It was demonstrated that changing the crop pattern can help reduce the deep percolation. On the other hand, using drip irrigation, the leaching requirement, and irrigation water loss will be reduced. Comparing the amounts of observed nitrate in the hydrometric station in the base period with the simulation results in the first scenario revealed that, by applying the first scenario, the amount of nitrate simulated has relatively a decreasing trend except in winter and early spring. The results of the second scenario show that by changing the irrigation method, the amount of nitrate leaching has decreased significantly compared to the base period. In general, the second scenario is more effective in reducing nitrate leaching and is recommended.

Keywords: Watershed Management, Modeling, Nitrate, SWAT.

* Corresponding Author's Email: m_shourian@sbu.ac.ir

ارزیابی تغییرات جریان و غلظت نیترات رواناب خروجی از حوضه آبریز تحت سناریوهای مدیریتی با استفاده از مدل SWAT (مطالعه موردی: دشت هشتگرد)

محمودرضا نورعلی‌نژاد اسلاملو[۱]، مجتبی شوریان[۲*]، سید سجاد مهدی‌زاده[۳]

۱. گروه مهندسی عمران-آب، دانشکده عمران، معماری و هنر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲. گروه مهندسی منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، پردیس فنی و مهندسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۳. گروه مهندسی عمران-آب، دانشکده مهندسی عمران و منابع زمین، واحد تهران مرکز، دانشگاه آزاد اسلامی، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۲۶- تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۸/۲- تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۸/۱۵)

چکیده

استراتژی‌های مدیریت حوضه آبریز می‌تواند در تعدیل مشکلات ناشی از آلودگی منابع آب، مورد توجه قرار گیرد. در این پژوهش جهت ارزیابی رواناب و نیترات با توجه به سناریوهای مدیریتی برای محدوده مطالعاتی هشتگرد، از مدل هیدرولوژیکی نیمه‌توزیعی SWAT استفاده شده است. پس از شبیه‌سازی رواناب، از سه ایستگاه هیدرومتری برای واسنجی در دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳ و اعتبارسنجی در دوره ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۸ استفاده شد. نتایج شاخص‌های آماری R^2 و NS نشان می دهد شبیه‌سازی در این حوضه با دقت خوبی انجام پذیرفته است، همچنین نتایج حاکی از آن است با اعمال سناریو اول (تغییر الگوی کشت) و سناریو دوم (افزایش راندمان آبیاری) مقدار مصرف آب در بخش کشاورزی از ۸۵/۳ میلیون متر مکعب در وضع موجود به ۵۹/۸ میلیون متر مکعب کاهش خواهد یافت که این امر باعث ارتقای راندمان کوددهی نیز خواهد شد و به‌عبارتی با تغییر الگو می‌توان به کاهش نفوذ عمقی کمک کرد، از طرفی با آبیاری قطره‌ای نیاز به شستشو خاک و هدر رفت آب کم می‌شود. با مقایسه مقادیر نیترات ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری ده صومعه کردان در دوره پایه با مقادیر شبیه‌سازی شده نیترات در سناریوی اول نیز نتایج به خوبی نشان می‌دهد که با اعمال سناریو اول میزان نیترات شبیه‌سازی شده در این ایستگاه هیدرومتری به نسبت دوره پایه به جز در فصل زمستان و اوایل فصل بهار روندی کاهشی داشته است. در سناریو دوم نیز نتایج نشان داد که با تغییر روش آبیاری، میزان آبشویی نیترات در تمامی طول سال نسبت به دوره پایه کاهش چشم‌گیری داشته است. به‌طور کلی سناریوی دوم در کاهش آبشویی نیترات اثرگذاری بیشتری داشته و توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مدیریت حوضه آبریز، مدل‌سازی، نیترات، SWAT.

مقدمه

در سال‌های اخیر نگرانی‌های مربوط به کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی در سراسر جهان افزایش یافته است. شاخص‌های مختلف کیفیت آب در صورتی که از میزان استاندارد تجاوز کند، به‌صورت آلاینده در آب مطرح می‌شوند (Shultz et al., 2018). جهت تعدیل مشکلات ناشی از آلودگی منابع آب، راهکارها و استراتژی‌های متنوعی در زمینه مدیریت یک حوضه آبریز در ابعاد مختلف باید مورد توجه قرار بگیرد (Bailey et al., 2016). ابزارهای مختلفی جهت کنترل و ردیابی این مؤلفه‌ها توسعه داده شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به مدل SWAT اشاره کرد. این نرم افزار یک مدل نیمه‌توزیعی پیوسته است که قادر به شبیه‌سازی تاثیر شیوه‌های مختلف مدیریتی روی آب، رسوب و آلاینده‌های کشاورزی در حوضه آبریز با انواع خاک و کاربری اراضی تحت شرایط مدیریتی متفاوت است (Abbaspour et al., 2007). ارزیابی سناریوهای مدیریتی می‌تواند کمک بسیار موثری جهت انتخاب بهینه سیستم مدیریت مصرف آب و همچنین افزایش راندمان کاربری آب جهت مصارف مختلف از جمله کشاورزی داشته باشد.

Ficklin et al. (2013) با به‌کارگیری مدل SWAT به مدل‌سازی هیدرولوژی و کیفیت آب در حوزه رودخانه ساکرامنتو کالیفرنیا پرداختند. آن‌ها به کمک داده‌های اندازه‌گیری شده جریان، رسوب معلق، نیترات و آلاینده‌های کشاورزی (سموم) در نقاط مختلف حوزه آبخیز در فاصله سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۸ مدل را واسنجی نمودند. ارزیابی مدل کالیبره شده با استفاده از ضرایب نش-ساتکلیف ماهانه نشان داد که مدل قابلیت خوبی در شبیه‌سازی هیدرولوژی و کیفیت آب دارد. Qiu & Wang (2014)

* نویسنده مسئول: m_shourian@sbu.ac.ir

از مدل SWAT برای مدل‌سازی جریان رودخانه، رسوب معلق، نیتروژن کل و فسفر کل برای یک آبخیز نیمه‌شهری واقع در ایالت نیوجرسی آمریکا استفاده کردند. کاربری اراضی شهری در این حوزه به‌صورت مناطق مسکونی کم تراکم بود. نتایج حاکی از عملکرد خوب مدل SWAT جهت شبیه‌سازی جریان رودخانه می باشد. همچنین بیشترین دقت مربوط به نیتروژن کل سپس فسفر و بعد از آن رسوب معلق بود. به‌طور کلی نتایج نشان داد که فسفر کل و رسوب معلق رودخانه بیش از استاندارد مجاز است و پیشنهاد شده که با اجرای اقدامات حفاظتی مناسب، مقادیر این دو متغیر کاهش یابد. Engebretsen et al. (2019) طی تحقیقی به بررسی عدم قطعیت و کاهش بار تجمعی فسفر با استفاده از بهترین شیوه‌های مدیریتی (BMP) کشاورزی پرداختند. پژوهشگران در این بررسی به ارزیابی اثرات راهکارهای بهینه مدیریتی در حوضه کشاورزی با استفاده از برنامه SWAT دست زده و در این مدل تحلیل عدم قطعیت در داده‌های ورودی به برنامه SWAT و پیش‌بینی داده‌ها با استفاده از روش SUFI-2 را مد نظر قرار داده‌اند. مطابق نتایج آن پژوهش اگر هیچگونه اقدامی در راستای تغییرات و اصلاح کشاورزی صورت نگیرد به صورت میانگین کل بار فسفر سالانه ۲۶ درصد افزایش می‌یابد در حالی که استفاده از BMP می‌تواند اثر چشم‌گیری بر کاهش بار آلودگی فسفر داشته باشد. Bagheri et al. (2018) در پژوهشی کاربرد مدل SWAT در تعیین سهم بار نیتروژن و فسفر زیرحوضه‌های مخزن سدسیمره را مورد مطالعه قرار دادند. مدل SWAT حوضه سد سیمره بر اساس داده‌های آبدهی ایستگاه‌های هیدرومتری و نتایج نمونه‌برداری یک ساله کیفیت منابع آب (آبان ۹۱ الی مهر ۹۲) کالیبره و صحت‌سنجی شد. مطابق نتایج به‌دست آمده در خصوص راهکارهای مدیریت منابع آلاینده بالادست مخزن سد، کنترل منابع آلاینده نقطه‌ای در دوره خشک و کنترل منابع آلاینده غیرمتمرکز در دوره نرمال و درازمدت، بیشترین تأثیر را در کاهش بار نیتروژن و فسفر ورودی مخزن سد سیمره داشته‌اند.

Wei and Bailey (2021) طی پژوهشی ۲۸ سناریو مدیریتی را جهت ارزیابی نیترات و فسفر در سیستم‌های آبخوان آبیاری شده در محدوده رودخانه سفلی آرکانزاس کلرادو با استفاده از مدل SWAT-MODFLOW مورد بررسی قرار دادند. نتایج مدل نشان داد با اعمال مؤثرترین سناریو، در بیشتر مناطق کاهش ۳۰ درصدی کود را به همراه دارد که منجر به کاهش نیترات و فسفر محلول به میزان ۲۰ درصد و ۲ درصد برای غلظت آب زیرزمینی، ۲۵ درصد و ۱۰ درصد برای غلظت رودخانه می شود. در مجموع مطالعه نشان می‌دهد که کد-SWAT MODFLOWیک ابزار مفید برای بررسی No_3 و P در حوضه‌های آب زیرزمینی است.

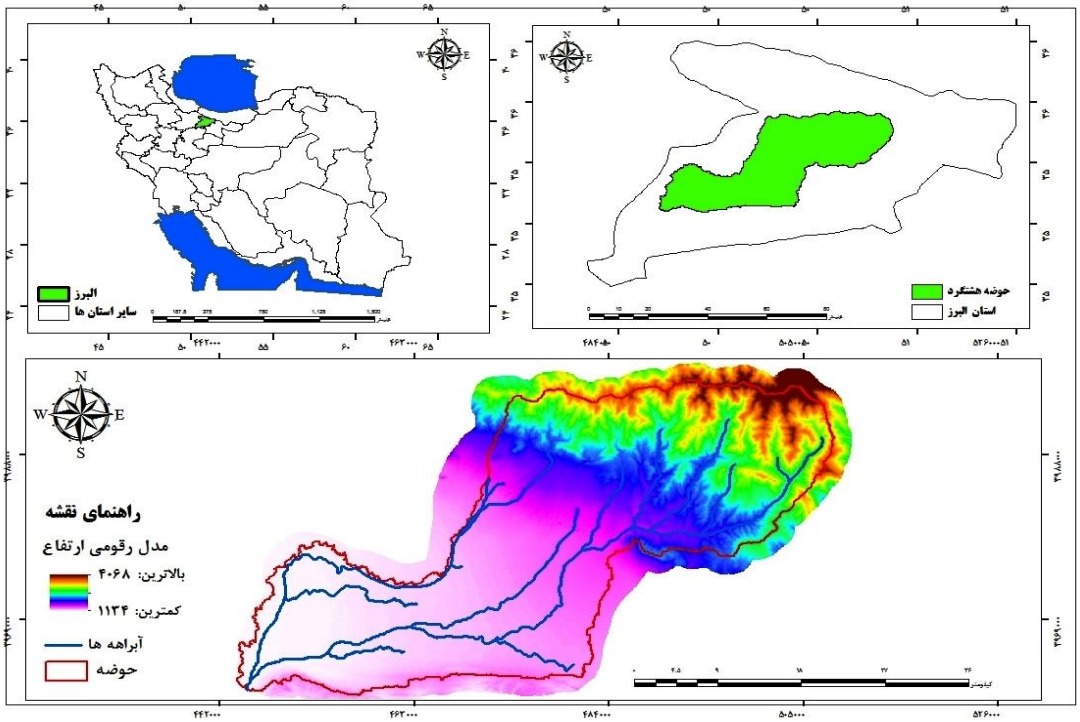
Meshesha et al. (2020) طی تحقیقی کارایی مدل SWAT را برای پیش‌بینی کیفیت آب‌های زیرزمینی در منطقه سرد حوضه رودخانه آتاباسکا مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که رابطه خطی بین کیفیت آب زیرزمینی مشاهداتی و شبیه سازی با در نظر گرفتن غلظت نیترات با مقادیر شاخص‌های آماری R^2، NSE و PBIAS در محدوده‌های رضایت‌بخش وجود دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی ممکن است به‌عنوان ابزاری در کیفیت آب‌های سطحی مورد استفاده قرار گیرد که باید برای طراحی سناریوهای مدیریتی تطبیقی فرض شود. از این رو، مدل SWAT گسترده می‌تواند یک ابزار قدرتمند برای مدل‌سازی منطقه‌ای و جهانی بارهای مواد مغذی در حمایت از مدیریت موثر آب‌های زیرزمینی و سطحی باشد. Shafiei et al. (2018) جهت بررسی تغییرات کاربری اراضی بر رواناب رودخانه مارون با مدل SWAT و از برنامه SUFI2 و در قالب بسته نرم‌افزاری SWAT-CUP برای تحلیل حساسیت، واسنجی،صحت‌سنجی و آنالیز عدم قطعیت بهره گرفته اند. با توجه به ضریب نش و همبستگی نتایج، نشان از این دارد که مدل دقت مطلوبی در برآورد رواناب دارد. مقایسه اثر گزینه‌های مدیریتی بر مقادیر رواناب حاکی از افزایش این مؤلفه و کاهش نفوذپذیری به آبخوان‌های سطحی و عمیق دارد. Abbasi et al. (2017) در پژوهشی اقدام به تعیین الگوی بهینه راهکارهای مدیریت آبیاری در بخش کشاورزی با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی- شبیه‌سازی مبتنی بر مدل SWAT نمودند. بدین منظور راهکار مدیریتی از میان طیف گسترده‌ای از ترکیب راهکارهای کم‌آبیاری و افزایش راندمان در سطوح مختلف در حوضه‌ی آبریز طشک‌بختگان در دوره‌ی ۱۰ ساله (۲۰۱۴-۲۰۰۵) برای محصولات و مناطق مختلف تعیین گردید. نتایج حاکی از کاهش مقدار آب آبیاری و آب برداشت شده به میزان ۴۲ و ۲۴/۶۹ درصد و همچنین افزایش بهره‌وری به میزان ۷۵ درصد در کل حوضه‌ی آبریز در دوره‌ی مورد مطالعه است. Imani et al. (2017) طی تحقیقی جهت دستیابی به راهکار مدیریتی مناسب برای ارتقای سطح کیفی دریاچه زریوار با در نظر گرفتن یک رویکرد شبیه‌سازی جامع از مدل SWAT به‌عنوان مدل شبیه‌ساز سیستم منابع آبی و کشاورزی حوضه آبریز دریاچه و همچنین اندرکنش آن با تغییرات کمی و کیفی آب دریاچه استفاده کردند. نتایج حاکی از عملکرد مطلوب مدل جهت شبیه‌سازی می‌باشد. همچنین از بین انواع راهکارهای مدیریت مزرعه و اجرایی اعمال شده، فیلتراسیون گیاهی، کنترل انتشار بار آلودگی در بالادست و کاهش مصرف کود حداکثر تا ٪۲۱ به ترتیب به‌عنوان بهترین گزینه‌های مدیریتی در

سطح حوضه شناخته شدند. Batoukhteh et al. (2017) جهت ارزیابی تاثیر افزایش راندمان و افزایش سطح زیرکشت بر میزان آب برگشتی و ذخایر آب زیرزمینی از مدل SWAT استفاده کردند. پس از انجام شبیه سازی حوضه مورد مطالعه طی دوره ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ در شرایط موجود و انجام واسنجی و صحت سنجی، دو سناریوی افزایش راندمان آبیاری بدون افزایش سطح زیر کشت و افزایش راندمان آبیاری همراه با افزایش سطح زیر کشت به مدل معرفی شد. نتایج نشان داد با افزایش راندمان آبیاری، میزان آب مصرفی در تولید محصولات کشاورزی از ۳۳۰ میلیون مترمکعب در سال درسناریوی پایه به ۱۸۶ میلیون متر مکعب در سال کاهش خواهد یافت. Biareh and Hoseini (2016) در مطالعه‌ای شبیه‌سازی کیفیت آب حوزه آبخیز سد کرج (امیرکبیر) از مدل SWAT استفاده نمودند. در این مطالعه کیفیت آب حوزه آبخیز سد کرج (امیرکبیر) با استفاده از مدل SWAT مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای مدل با استفاده از الگوریتم SUFI-2 در برنامه SWAT-CUP حساسیت‌سنجی، واسنجی و اعتبارسنجی شدند. معیارهای ارزیابی، ضریب نش- ساتکلیف و ضریب تبیین در دوره واسنجی به ترتیب ۰/۴ و ۰/۴ و در دوره اعتبارسنجی ۰/۳۹ و ۰/۵۳ به‌دست آمد. نتایج نشان‌دهنده رضایت‌بخش بودن عملکرد مدل SWAT جهت شبیه‌سازی کیفیت آب در آینده و برنامه‌ریزی‌های مدیریتی حوزه آبخیز استفاده نمود. تغییرات کمی و کیفی منابع آب ناشی از فعالیتهای انسانی در حوضه آبریز هشتگرد باعث شده تا در این تحقیق با استفاده از قابلیت مدل SWAT، میزان تغییرات آبدهی و همچنین تغییرات نیترات موجود تحت تاثیر سناریوهای مختلف مدیریت کشاورزی مورد بررسی قرار گیرد و در نهایت بتوان سناریوهای مدیریتی مناسبی برای کاهش میزان آلایندگی منابع آب در این منطقه اشاره نمود.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی

دشت هشتگرد با مساحت ۴۱۰ کیلومترمربع در قسمت مرکزی استان البرز و در نیمهٔ شمالی حوضه آبخیز دریاچه نمک بین طول‌های ۰۰ و ۲۹ و ۵۰ تا ۰۰ و ۰۶ و ۵۱ شرقی و عرض‌های ۰۰ و ۴۷ و ۳۵ تا ۰۰ و ۰۷ و ۳۶ واقع شده است (شکل ۱). سه ایستگاه فشند، ده صومعه و نجم آباد تنها ایستگاه‌های هیدرمتری دایر در بالادست و خروجی آبخوان هشتگرد هستند که برای مطالعات هیدرولوژی از آن‌ها استفاده شده است. برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل نیز از همین سه ایستگاه هیدرومتری اشاره شده در فوق استفاده شده است. از چهار ایستگاه هواشناسی کرج، کردان، نظرآباد و نجم آباد که دارای اطلاعات کامل بودند نیز استفاده گردید.

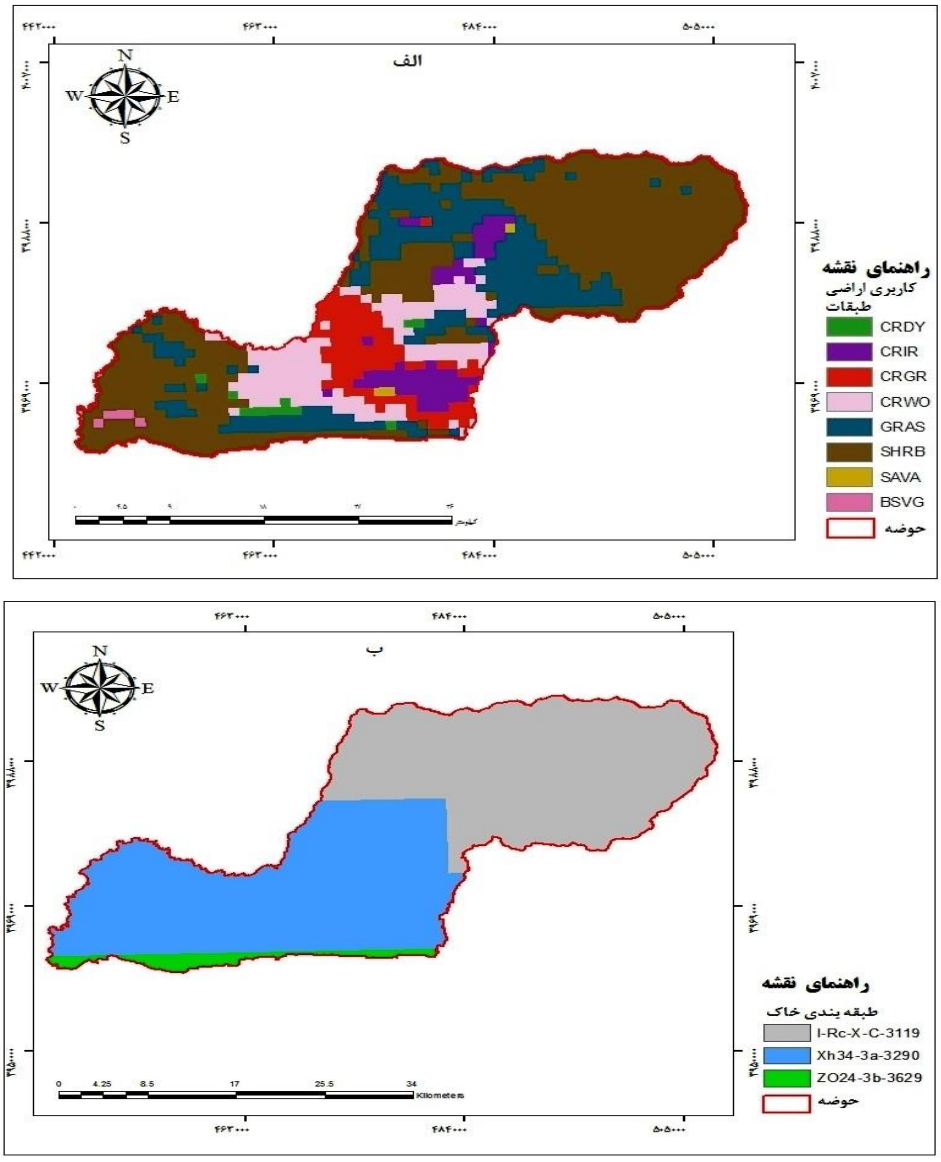


شکل ۱- محدوده مطالعاتی همراه با شبکه آبراهه

شبیه سازی حوضه با استفاده از مدل SWAT

مدل SWAT توسط سرویس تحقیقات کشاورزی آمریکا تهیه‌شده که یک مدل مقیاس حوضه‌ای مبتنی بر محاسبات تجربی و نیمه توزیعی می‌باشد که این مدل می‌تواند شبیه‌سازی فرایند حوضه و فعالیت‌های مدیریت بر کیفیت آب و خاک را انجام دهد (Arnold et al., 1998). پارامترهای ورودی این مدل شامل توپوگرافی، کلاس‌های خاک، کاربری اراضی و اطلاعات آب و هوایی است. در مدل SWAT هر حوضه را می‌توان به زیر حوضه‌ها تقسیم کرد و سپس هر زیرحوضه با توجه به خاک و پوشش زمین با در نظر گرفتن حد آستانه مشخص به واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی یا HRU تقسیم می‌شود. همچنین از آنجایی که عمل واسنجی احتیاج به تغییر مکرر مقدار پارامترها و اجرای برنامه دارد از الگوریتم SUFI-2 در بسته نرم افزاری SWAT-CUP جهت اعتبارسنجی و واسنجی مدل استفاده شده است (Abbaspour, 2013). مدل SWAT با استفاده از نقشه‌های رقومی DEM، کاربری اراضی، خاک و شیب به همراه اطلاعات اقلیمی دمای بیشینه و کمینه و بارش روزانه ساخته می‌شود. اطلاعات مدیریتی حوضه آبریز نظیر الگوی کشت، بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی توسط کشاورزی، اطلاعات سدهای موجود در منطقه نیز به‌صورت اختیاری قابل‌ارائه به مدل هستند. در این پژوهش با استفاده از لایه DEM ۳۰ متری، لایه کاربری اراضی ۲۰۱۴ (سایت GLCC) و همچنین لایه خاک FAO با ابعاد ۲۰ متری اقدام به ساخت مدل هیدرولوژیکی SWAT شده است (شکل ۲).

شرح جزئیات مربوط به هر کلاس کاربری برای سهولت درک چگونگی توزیع پوشش گیاهی و کشت در منطقه در ادامه در جدول (۱ و ۲) ارائه شده است.



شکل ۲- الف) نقشه کاربری اراضی محدوده مطالعاتی، ب) نقشه خاک محدوده مطالعاتی

جدول ۱- تشریح کاربری‌های اراضی منطقه مورد مطالعه در تصویر شماره ۲ (الف)

نماد کلاس	شرح لاتین	کاربری زمین
CRDY	DRYLAND CROPLAND AND PASTURE	زمین‌های زراعی و مرتعی کاشت دیم
CRIR	IRRIGATED CROPLAND AND PASTURE	زمین‌های زراعی و مرتعی کاشت آبیاری شده
CRGR	CROPLAND/GRASSLAND MOSAIC	زمین‌های زراعی و مرتعی مختلط
CRWO	CROPLAND/WOODLAND MOSAIC	باغات و جنگل‌های مختلط
GRAS	GRASSLAND	چمن‌زار
SHRB	SHRUBLAND	بوته‌زار
SAVA	SAVANNA	دشت
BSVG	BAREN OR SPARSLY VEGETATED	کویر

جدول ۲- تشریح خاک‌های منطقه مورد مطالعه در تصویر شماره ۲ (ب)

نماد کلاس	فاکتور فرسایش پذیری خاک	کاربری خاک
I-Rc-X-C-3119	۰/۳۰	لومی
Xh34-3a-3290	۰/۳۲	رسی-لومی
Zo24-3b-3629	۰/۳۲	رسی

در بخش سناریوها با توجه به اینکه هدف اصلی این پژوهش بررسی میزان تغییرات آلاینده‌های غیرنقطه‌ای بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های ریاضی است، لذا ابتدا رابطه میزان نیترات موجود در منابع آب با کودهای مصرفی سالانه با استفاده از مدل SWAT استخراج گردید، سپس اثر سناریو اول (الگوی کشت) در کاهش میزان این آلاینده‌ها بررسی گردید، برای سناریو دوم (راندمان) نیز مطالعات انجام شده در منطقه نشان می‌دهد راندمان انتقال وضع موجود حدود ۹۰ درصد، راندمان توزیع ۷۵ درصد و راندمان کاربرد آب در مزرعه به توجه به روش آبیاری معادل ۶۰ درصد برای گیاهان زراعی و ۶۵ درصد برای گیاهان باغی می‌باشد. بر این اساس راندمان کل آبیاری شبکه‌های آبیاری در محدوده دشت هشتگرد در وضع موجود ۴۰ درصد برای گیاهان زراعی و ۴۵ درصد برای گیاهان باغی منظور گردید.

نتایج و بحث

آنالیز حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی مدل و شبیه سازی رواناب

در شبیه‌سازی مدل‌های پیچیده پارامترهای ورودی فراوانی در نتایج نهایی مدل دخیل هستند و لذا لازم است تا پارامترهایی را که خروجی مدل به دقت آن‌ها حساسیت بیشتری دارند، مشخص شوند و در واسنجی مدل، تنها از این پارامترها بهره گرفته شود. به این ترتیب در زمان لازم برای انجام عملیات واسنجی صرفه‌جویی حاصل می‌گردد. از همین رو با توجه به اینکه پارامترهای مختلفی در نتایج مدل دخالت دارند و لازم است آنهایی که خروجی مدل به تغییرات آنها حساسیت بیش‌تری دارد، مشخص و در واسنجی‌ها مورد توجه بیش‌تری قرار گیرند. نتایج این مرحله از محاسبات که توسط نرم افزار SWAT-CUP انجام شده در جدول (۳) قابل مشاهده هستند. دراین جدول، ترتیب میزان تاثیرگذاری پارامترها از بالا به پایین به صورت نزولی می‌باشد که رتبه‌بندی آن‌ها توسط دو مقدار p-value و t-state مشخص می‌شود، به این صورت که هر مقدار قدر مطلق t-state بیش‌تری و p-value آن نزدیک به صفر باشد، آن پارامتر تاثیر بیش‌تری دارد. در ستون چهارم (Rank) رتبه حساسیت پارامترها آمده است.

پارامترهای ارائه شده در جدول (۳) با یکی از پسوندهای bsn، sub، hru و gw همراه است که به‌ترتیب مربوط به پارامتر های مرتبط باخصوصیات فیزیکی حوضه آبریز، زیرحوضه‌ها، واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی و آب زیرزمینی است. لازم به ذکر است که فرآیند انتخاب این پارامترها در مرحله اول با توجه به پژوهش‌های متمرکز بر فرآیند واسنجی که شباهت کافی با مورد مطالعاتی این مقاله را داشته انتخاب شده است. در مرحله بعد پس از اجرای یک فرآیند واسنجی اولیه حساس‌ترین پارامترها برای واسنجی انتخاب شده است.

بعد از تحلیل حساسیت مدل، واسنجی آن توسط نرم افزار SWAT-CUP با الگوریتم SUFI2 با تعداد تکرارهای ۵۰۰ تایی انجام گرفت و در نهایت مقدار پارامتر های مؤثر در رواناب به‌صورت جدول (۴) به‌دست آمد. این تکرارها در بازه‌های ماکزیمم و مینیمم پارامترها از اعداد تصادفی تولید شده توسط روش SUFI2 استفاده می‌کنند و در هر بار اجرا شدن مدل مقایسه بین سری زمانی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده انجام می پذیرد و در نهایت پس از اجرای کامل تمامی تکرارهای انتخابی

بهترین سری پارامترهای تصادفی انتخاب می شود. در ادامه بازه پارامترهای انتخابی (Max value, Min value) و بهترین مقدار پارامترهای انتخابی (Fitted Value) آمده است.

جدول ۳- محدوده نهایی مقادیر پارامترهای هیدرولوژیکی مؤثر در رواناب

رتبه	P-Value	t-Stat	پارامتر	Rank	P-Value	t-Stat	Parameter
1	۰/۰۰	-۵/۹۶	2:V__SMTMP.bsn	۱۱	۰/۰۸	-۱/۸۲	44:V[1]__TLAPS.sub
2	۰/۰۰	-۲/۹۸	48:V__TLAPS.sub	۱۲	۰/۰۹	-۱/۷۲	24:R[2]__SOL_BD(..).sol
3	۰/۰۲	۲/۵۰	47:V__PLAPS.sub	۱۳	۰/۱۰	۱/۷۰	3:R__TIMP.bsn
4	۰/۰۲	۲/۳۷	5:V__SMFMX.bsn	۱۴	۰/۱۱	-۱/۶۳	34:V__ALPHA_BF.gw
5	۰/۰۲	-۲/۳۶	26:V__SLSOIL.hru	۱۵	۰/۱۳	-۱/۵۴	39:R__CN2.mgt
6	۰/۰۴	۲/۰۹	46:V__TLAPS.sub	۱۶	۰/۱۴	-۱/۵۲	56:V__ESCO.hru
7	۰/۰۵	-۲/۰۵	27:V__GW_DELAY.gw	۱۷	۰/۱۴	-۱/۵۰	4:V__SMFMN.bsn
8	۰/۰۵	-۲/۰۳	50:R__SOL_AWC(..).sol	۱۸	۰/۱۶	۱/۴۲	13:R__SOL_K(..).sol
9	۰/۰۶	۱/۹۳	1:V__SFTMP.bsn	۱۹	۰/۱۷	۱/۳۸	49:R__CN2.mgt
10	۰/۰۷	-۱/۸۶	32:V__RCHRG_DP.gw	۲۰	۰/۲۰	۱/۳۱	52:V__ESCO.hru

جدول ۴- مقادیر نهایی پارامترهای مؤثر بر رواناب

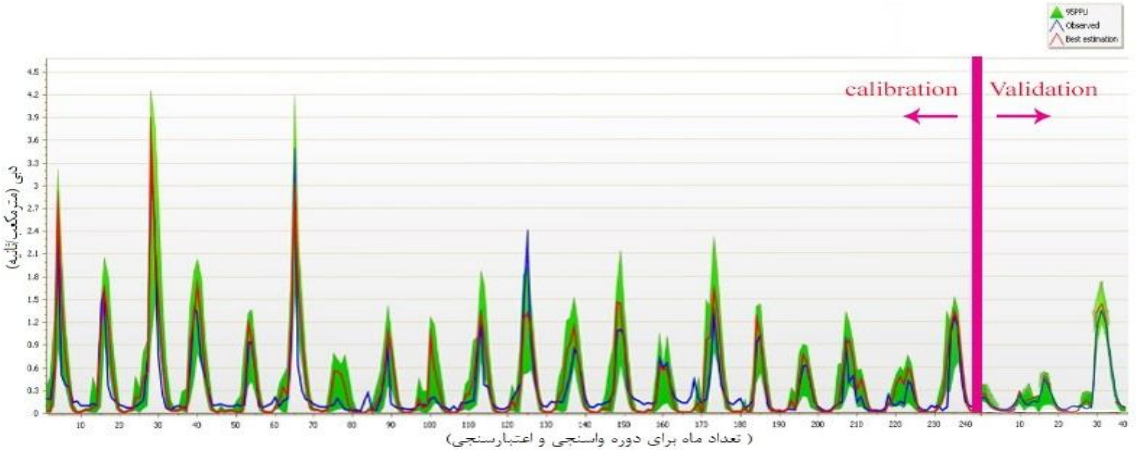
پارامتر	باند پایین	باند بالا	بهترین مقدار	پارامتر	باند پایین	باند بالا	بهترین مقدار
v__SFTMP.bsn	-۶	-۳/۸	-۴/۲۰	v__EPCO.hru	۰/۳	۰/۸	۰/۴۷
v__SMTMP.bsn	۴	۹	۵/۸۷	r__SOL_BD(1).sol	-۰/۸	-۰/۱	-۰/۵۲
r__TIMP.bsn	-۰/۳۵	۰	-۰/۱۶	r__SOL_K(1).sol	-۰/۱	۰/۳	۰/۱۷
v__SMFMN.bsn	۰	۴	۲/۹۴	r__SOL_BD(2).sol	-۰/۱	۰/۱	-۰/۰۹۳
v__SMFMX.bsn	۱۰	۲۰	۱۷/۷۵	r__SOL_K(2).sol	-۰/۳	۰	-۰/۱۶
v__SURLAG.bsn	۲	۶	۲/۸۶	v__SLSOIL.hru	۲۰	۴۰	۳۳/۷۰
v__SLSUBBSN.hru	۱۰	۳۰	۱۷/۷۰	v__SLSUBBSN.hru	۲۵	۵۵	۵۰/۰۴
v__HRU_SLP.hru	۰/۵	۱	۰/۷۸	v__HRU_SLP.hru	۰/۶	۱	۰/۸۷
v__OV_N.hru	۰/۵	۱	۰/۷۷	v__OV_N.hru	۰/۱	۰/۴	۰/۳۲
v__LAT_TTIME.hru	۱۰	۲۵	۱۳/۵۲	v__LAT_TTIME.hru	۱/۵	۱۰	۹/۷۰

در شکل‌های (۳) تا (۵) سری زمانی شبیه‌سازی شده در کنار داده‌های مشاهداتی برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی آمده است. نتایج شبیه‌سازی رواناب در مقیاس ماهانه توسط شاخص‌های آماری نش-ساتکلیف و ضریب تبیین سنجیده می شوند. مقادیر بالاتر از ۰/۵ برای این دو شاخص بیان‌گر عملکرد مطلوب مدل و بالاتر از ۰/۶ بیان‌گر عملکرد خوب مدل می‌باشد (Abbaspour, 2013). در جدول (۵) نیز نتایج واسنجی و اعتبارسنجی سری‌های زمانی رواناب آمده است. این نتایج نشان می‌دهد که شبیه‌سازی با دقت خوبی انجام پذیرفته است. نتایج حاکی از آنست مدل توانسته برای سه ایستگاه مقادیر ضریب تبیین بالای ۰/۷ برای دوره واسنجی و بالای ۰/۶۵ برای دوره اعتبارسنجی را نشان دهد، با توجه به اینکه بهترین حالت زمانی رخ می دهد که ضریب تبین (R^2) برابر یک و ضریب نش‌ساتکلیف (NS) نزدیک به یک باشد، از همین رو بهترین نتیجه مربوط به ایستگاه صومعه با ضریب تبین بالای ۰/۸۳ در واسنجی و ۰/۷۸ برای دوره اعتبارسنجی بوده است، که نتایج شبیه سازی و مشاهداتی تطابق بیشتری دارند. قابل ذکرست از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳ برای واسنجی و از ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۸ جهت اعتبارسنجی استفاده شده است. در شکل‌های زیر محور افقی تعداد ماه‌های شبیه‌سازی شده و محور قائم مقدار دبی شبیه‌سازی شده می باشند. خطوط آبی رنگ بیان‌گر مقدار دبی مشاهداتی و خطوط قرمز رنگ بیان‌گر بهترین تخمین با استفاده از پارامترهای موثر و رنگ سبز باند عدم قطعیت ppu ۹۵ می‌باشد. مقایسه عملکرد مدل در دو حالت پیش از واسنجی و پس از آن نشان از کاهش واریانس تخمین مقادیر دبی سیلابی تا حدود ۵۰٪ مقدار اولیه داشته است. با در نظر گرفتن اینکه شبیه‌سازی‌ها همیشه درصدی

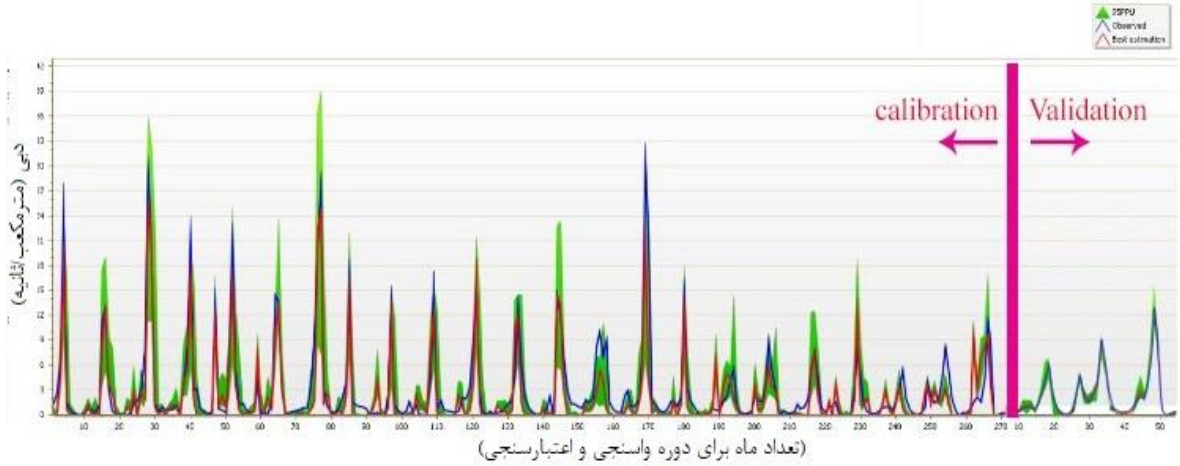
[1] V=Mean the existing parameter value is to be replaced by a given value.

[2] R=Mean the existing parameter value is multiplied by (۱+ a given value).

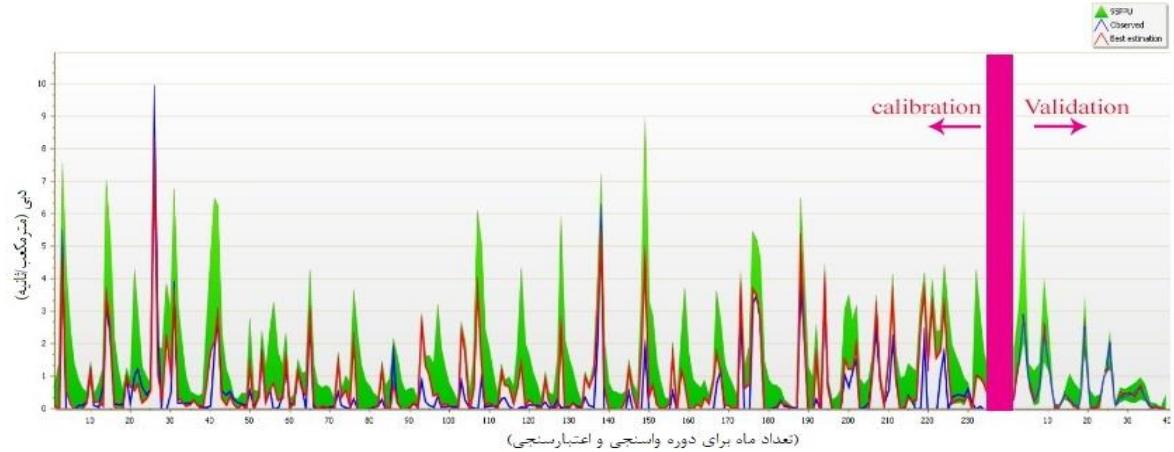
از عدم‌قطعیت ناشی از عدم انطباق کامل مقادیر برآوردی و مقادیر مشاهداتی را دارند می‌توان گفت شبیه‌سازی در این حوضه آبریز با دقتی خوبی انجام پذیرفته است. ولیکن با توجه به اینکه مدل SWAT یک مدل بزرگ مقیاس با ورودی‌های نسبتا کم است که دقت در ورودی‌های مدل را می‌طلبد کمبود ایستگاه بارش در این حوضه شاید دلیلی بر عالی نشدن نتایج و تفاوت میزان عدم قطعیت جریان پایه و پیک باشد.



شکل ۳- سری زمانی شبیه‌سازی شده و مشاهداتی ایستگاه فشند طی دوره واسنجی و اعتبارسنجی



شکل ۴- سری زمانی شبیه‌سازی شده و مشاهداتی ایستگاه ده صومعه طی دوره واسنجی و اعتبارسنجی



شکل ۵- سری زمانی شبیه‌سازی شده و مشاهداتی ایستگاه نجم آباد طی دوره واسنجی و اعتبارسنجی

جدول ۵- نتایج شبیه‌سازی رواناب در دوره واسنجی

واسنجی	۲۰۱۳-۱۹۹۰					اعتبارسنجی	۲۰۱۸-۲۰۱۴				
ایستگاه	R^2	NS	P-Factor	R-Factor	MSE	ایستگاه	R^2	NS	P-Factor	R-Factor	MSE
فشند	۰/۸۱	۰/۷۵	۰/۶۱	۰/۹۳	۶/۴	فشند	۰/۶۹	۰/۶۷	۰/۷۸	۰/۸۴	۸/۸
صومعه	۰/۸۳	۰/۸۱	۰/۵۵	۰/۶۵	۵/۹	صومعه	۰/۷۸	۰/۷۱	۰/۷۵	۰/۷۱	۵/۹
نجم آباد	۰/۷۱	۰/۵۸	۰/۴	۰/۸۸	۵/۶	نجم آباد	۰/۷۱	۰/۷۷	۰/۷۴	۰/۷۷	۴/۶

سناریوهای مدیریتی

پیش بینی رواناب تحت تاثیر سناریوهای مدیریتی

محدودیت منابع آبی و خشکسالی‌های متعدد به‌همراه توسعه مناطق شهری باعث شده است که کشاورزی پایاب رودخانه کردان و دشت هشتگرد با محدودیت شدید منابع آبی مواجه شده و ضمن افت شدید سطح ایستابی و بیلان منفی آبخوان، بخش قابل‌توجهی از اراضی را نیز به آیش اختصاص یابد. همچنین با توجه به اینکه تراکم چاه‌های بهره‌برداری برای مصارف شرب، صنعت و کشاورزی در مرکز دشت هشتگرد بیشتر می‌باشد، از این رو لازم است اقدامات مدیریتی همچون اصلاح الگوی کشت و اصلاح روش آبیاری برای افزایش راندمان کشاورزی در جهت بهبود وضعیت کشاورزی و کاهش میزان آلودگی مورد توجه قرار گیرد. اراضی زراعی موجود در محدوده طرح غالباً به روش کرتی، نواری و فارو و باغات محدوده عمدتاً به‌صورت جوی و پشته‌ای و بعضاً به روش کرتی آبیاری می‌شوند. الگوی کشت موجود امکان انعطاف و تغییر قابل توجهی را با توجه به سطح باغات و همچنین غلات ایجاد نمی‌کند، با این وجود با حذف کشت گیاهان پر مصرف و گیاهانی که قابلیت انتقال به گلخانه دارند مانند گوجه فرنگی در الگوی کشت پیشنهادی دشت هشتگرد که بر اساس مطالعات شرکت مهندسی خدمات آب و خاک کشور انجام شده، میزان مصرف آب در بخش کشاورزی کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش راندمان آبیاری برای اراضی زراعی با روش آبیاری بارانی و اصلاح خطوط شبکه توزیع و انتقال از ۴۰٪ وضع موجود به ۵۸٪ ارتقاء یافته و این شاخص برای باغات با روش آبیاری قطره ای از ۴۵٪ وضع موجود به ۷۰٪ قابلیت افزایش دارد. با اعمال سناریوهای تغییر الگوی کشت و افزایش راندمان آبیاری مقدار مصرف آب در بخش کشاورزی از ۸۵/۳ میلیون متر مکعب در وضع موجود به ۵۹/۸ میلیون متر مکعب کاهش خواهد یافت که این امر باعث ارتقای راندمان کوددهی نیز خواهد شد. مقایسه مقادیر رواناب ثبت شده در ایستگاه فشند در دوره پایه با مقادیر شبیه‌سازی شده رواناب در سناریوی اصلاح الگوی کشت (شکل ۶- الف) به‌خوبی نشان می‌دهد که با اعمال این سناریو میزان رواناب ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری به نسبت دوره پایه به خصوص در اواخر فصل زمستان و اوایل فصل بهار افزایش قابل توجه‌ای داشته است. به این دلیل که الگوی کشت منطقه در وضع موجود و همچنین در الگوی کشت پیشنهادی حدود ۳۵ درصد اراضی به کشت غلات اختصاص دارد که عموماً کشت‌های زمستانه گندم و جو می باشند. با اجرای این سناریوی در محدوده دشت هشتگرد و کاهش میزان برداشت از منابع آب سطحی، مقدار رواناب ثبت شده در ایستگاه فشند به طور میانگین ۲۹ درصد در سال افزایش یافته است. همچنین با اجرای سناریو اصلاح روش آبیاری میزان برداشت از منابع آب سطحی به نسبت دوره پایه در محدوده طرح کاهش یافته و رواناب بیشتری (افزایش ۲۷ درصدی به نسبت دوره پایه) در ایستگاه هیدرومتری فشند به ویژه در فصل بهار ثبت شده است. بررسی و ارزیابی نتایج اجرای سناریوهای اصلاح الگوی کشت و اصلاح راندمان آبیاری و تاثیر آن‌ها بر رواناب ثبت شده در ده صومعه و نجم آباد نشان داد (شکل ۶- ب و ج) همانند ایستگاه فشند میزان برداشت از منابع آب سطحی در بالادست محدوده کاهش یافته و نتیجتا رواناب ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری به خصوص در اواخر فصل زمستان و اوایل فصل بهار افزایش قابل توجه‌ای را به همراه داشته است. به طور کلی مدل نشان می‌دهد با تغییر الگو می توان به کاهش نفوذ عمقی کمک کرد، از طرفی با آبیاری قطره ای نیاز به شستشو خاک و هدر رفت آب کم می‌شود.

بررسی تغییرات نیترات تحت سناریوهای مدیریتی

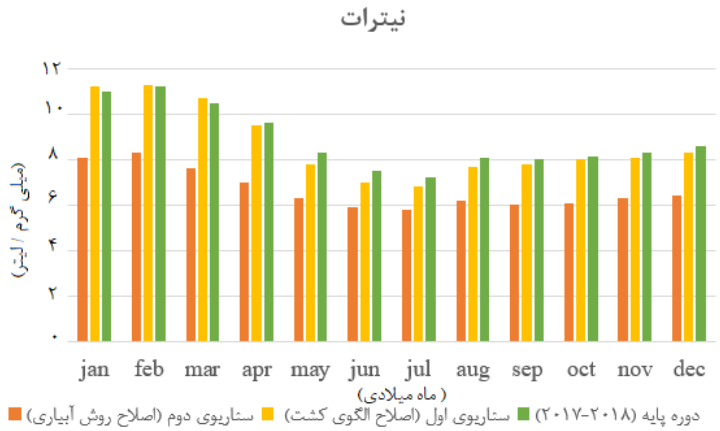
بهترین زمان مصرف کود شیمیایی تأثیر زیادی بر عملکرد محصول دارد. به‌گونه‌ای که زمان مناسب استفاده از کود باعث افزایش بازده، کاهش تلفات مواد مغذی، افزایش راندمان مصرف مواد مغذی و جلوگیری از آسیب رسیدن به محیط زیست می‌شود. (Russo,1991) استفاده از کودهای شیمیایی در زمان نادرست ممکن است باعث از بین رفتن یا به‌طور کلی هدر رفت کود و حتی آسیب رساندن به محصول شود. گیاهان در مراحل مختلف رشد به نسبت و میزان مواد مغذی مختلف نیاز دارند. برای اینکه مواد غذایی مورد نیاز گیاه در زمانی که به آن نیاز است، در دسترس باشد، باید کوددهی را در زمان مناسب انجام داد. بنابراین بهینه‌سازی زمان برای استفاده از کود توسط الگوی جذب مواد مغذی گیاه تعیین می‌شود. برای هر محصول، هر ماده مغذی الگوی جذب متفاوتی دارد. به‌طور کلی در مرحله اولیه رشد نیاز گیاهان به فسفر نسبت به نیتروژن و پتاسیم بیشتر می‌باشد در صورتی‌که این نیاز در انتهای مرحله رشد پایین ترین میزان را دارد.

شکل ۶- الف)مقایسه مقادیر رواناب ایستگاه فشند در دوره پایه و سناریوهای اصلاح الگوی کشت (سناریو اول) و اصلاح روش آبیاری (سناریو دوم)، ب) مقایسه مقادیر رواناب ایستگاه ده صومعه کردان در دوره پایه و سناریوهای اصلاح الگوی کشت (سناریو اول) و اصلاح روش آبیاری (سناریو دوم)، ج) مقایسه مقادیر رواناب ایستگاه نجم آباد در دوره پایه و سناریوهای اصلاح الگوی کشت (سناریو اول) و اصلاح روش آبیاری (سناریو دوم)

میزان آبشویی نیترات کاملاً تحت تاثیر میزان آب آبیاری، روش آبیاری و میزان کود داده شده به زمین می‌باشد که برای گیاهان مختلف با توجه به عمق توسعه ریشه و نیاز کودی آنها متفاوت است. مطالعاتی مختلفی در خصوص میزان آبشویی

نیترات در روش‌های مختلف آبیاری انجام شده است که Abbasi et al., (2017) در تحقیقی که به بررسی آبشوئی عمقی نیترات تحت شرایط کود-آبیاری جویچه ای ذرت انجام دادند بیان کردند که میزان آبشویی عمقی در ۱۰۰ درصد نیاز کودی در عمق ۶۰ سانتی متری حدود ۲۰ درصد می باشد. Gheisari et al., (2007) تحقیقی در خصوص میزان آبشویی نیترات در آبیاری بارانی گیاه ذرت انجام دادند. نتایج تحقیق آنها نشان داد با ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار در شرایط آبیاری کامل با آبیاری بارانی، میزان نیترات آبشویی شده در عمق ۶۰ سانتی متر حدود ۳ درصد برآورد شده است. در روش آبیاری قطره‌ای با توجه به نوع روش آبیاری و همچنین تزریق کود به همراه سیستم قطره‌ای میزان آبشویی نیترات به صفر خواهد رسید. لذا این مقادیر برای بررسی اثر میزان ورود نیترات به منابع آب از طریق فعالیت‌های کشاورزی در شرایط قبل و بعد از اعمال مدیریت‌های زراعی در نظر گرفته شد.

مقایسه مقادیر نیترات ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری ده صومعه کردان در دوره پایه (۲۰۱۸-۲۰۱۷) با مقادیر شبیه‌سازی شده نیترات در سناریوی اصلاح الگوی کشت (شکل ۷) به خوبی نشان می‌دهد که با اعمال این سناریو میزان نیترات شبیه‌سازی شده در این ایستگاه هیدرومتری به نسبت دوره پایه به جز در فصل زمستان و اوایل فصل بهار روندی کاهشی داشته است. به این دلیل که در الگوی کشت موجود ۳۵ درصد و همچنین در الگوی کشت پیشنهادی (اصلاح شده) حدود ۳۹ درصد اراضی به کشت غلات (گندم و جو) که عموما کشت‌های زمستانه می باشند اختصاص داده شده، پس به همین میزان مصرف کود ازت نیز افزایش یافته و در مدل شبیه‌سازی، مقادیر نیترات در فصل زمستان تا حدودی بالاتر از دوره پایه نشان داده می‌شود. همچنین در الگوی کشت اصلاح شده با حذف کشت گیاهان پر مصرف و گیاهانی که قابلیت انتقال به گلخانه دارند مانند گوجه فرنگی در فصل بهار، استفاده از کود ازت نیز کاهش پیدا کرده و نتایج این تغییر به خوبی در شکل (۷) در ماه‌های (May-July) نشان داده شده است. از آنجا که مقدار آبشویی نیترات تحت تاثیر روش آبیاری می‌باشد. در سناریو اصلاح روش آبیاری نتایج نشان داد که با تغییر روش آبیاری از کرتی، نواری، فارو و جوی و پشته‌ای به آبیاری بارانی و قطره میزان آبشویی نیترات در تمامی طول سال نسبت به دوره پایه (۲۰۱۸-۲۰۱۷) کاهش چشم‌گیری داشته است که این مطلب خود موید این است که سناریوی اصلاح روش آبیاری به نسبت سناریوی اصلاح الگوی کشت در کاهش آبشویی نیترات اثرگذاری بیشتر داشته و سناریوی منتخب می‌باشد.



شکل ۷- مقایسه مقادیر نیترات در ایستگاه هیدرومتری ده صومعه کردان در دوره پایه (۲۰۱۸-۲۰۱۷) و سناریوهای اصلاح الگوی کشت (سناریو اول) و اصلاح روش آبیاری (سناریو دوم)

نتیجه‌گیری

محدودیت منابع آبی و خشکسالی‌های متعدد به‌همراه توسعه مناطق شهری باعث شده است که کشاورزی پایاب رودخانه کردان و دشت هشتگرد با محدودیت شدید منابع آبی مواجه شده و ضمن افت شدید سطح ایستابی و بیلان منفی آبخوان، بخش قابل‌توجهی از اراضی را نیز به آیش اختصاص یابد. از این رو لازم است اقدامات مدیریتی همچون اصلاح الگوی کشت و اصلاح روش آبیاری برای افزایش راندمان کشاورزی در جهت بهبود وضعیت کشاورزی و کاهش میزان آلودگی مورد توجه قرار گیرد. در این پژوهش، ارزیابی کارایی مدل SWAT در برآورد رواناب و نیترات تحت سناریوهای مختلف مدیریتی انجام پذیرفت. پس از آنالیز حساسیت، واسنجی مدل نیز توسط نرم افزار SWAT-CUP با الگوریتم SUFI2 با تعداد تکرارهای ۵۰۰ تایی انجام گرفت و در نهایت بهترین مقدار پارامترهای انتخابی به‌دست آمد. نتایج نشان داد با اعمال سناریوهای تغییر الگوی کشت و افزایش راندمان آبیاری مقدار مصرف آب در بخش کشاورزی از ۸۵/۳ میلیون متر

مکعب در وضع موجود به ۵۹/۸ میلیون متر مکعب کاهش خواهد یافت که این امر باعث ارتقای راندمان کودهی نیز خواهد شد. مقایسه مقادیر رواناب ثبت شده درایستگاه فشند در دوره پایه با مقادیر شبیه‌سازی شده رواناب در سناریوی اصلاح الگوی کشت به‌خوبی نشان می‌دهد که با اعمال این سناریو میزان رواناب ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری به نسبت دوره پایه به خصوص در اواخر فصل زمستان و اوایل فصل بهار افزایش قابل توجه‌ای داشته است. با اجرای این سناریوی در محدوده دشت هشتگرد و کاهش میزان برداشت از منابع آب سطحی، مقدار رواناب ثبت شده در ایستگاه فشند به‌طور میانگین ۲۹ درصد در سال افزایش یافته است. همچنین با اجرای سناریو اصلاح روش آبیاری میزان برداشت از منابع آب سطحی به نسبت دوره پایه در محدوده طرح کاهش یافته و رواناب بیشتری در ایستگاه هیدرومتری فشند به ویژه در فصل بهار ثبت شده است. به‌طور کلی مدل نشان می‌دهد با تغییر الگو می‌توان به کاهش نفوذ عمقی کمک کرد، از طرفی با آبیاری قطره ای نیاز به شستشوی خاک و هدر رفت آب کم می شود. مقایسه مقادیر نیترات ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری ده صومعه کردان در دوره پایه با مقادیر شبیه‌سازی شده نیترات در سناریوی اصلاح الگوی کشت به خوبی نشان می‌دهد که با اعمال این سناریو میزان نیترات شبیه‌سازی شده در این ایستگاه هیدرومتری به نسبت دوره پایه به جز در فصل زمستان و اوایل فصل بهار روندی کاهشی داشته است. از آنجا که مقدار آبشویی نیترات تحت تاثیر روش آبیاری می‌باشد. در سناریو اصلاح روش آبیاری نتایج نشان داد که با تغییر روش آبیاری از کرتی، نواری، فارو و جوی و پشته‌ای به آبیاری بارانی و قطره میزان آبشویی نیترات در تمامی طول سال نسبت به دوره پایه کاهش چشم‌گیری داشته است که این مطلب خود موید این است که سناریوی اصلاح روش آبیاری به نسبت سناریوی اصلاح الگوی کشت در کاهش آبشویی نیترات اثرگذاری بیشتر داشته و سناریوی منتخب می‌باشد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Abbasi, H., Delavar, M., Bigdeli, R., (2017) Defining optimum pattern for irrigation manegemnt in agricaultural section using optimization-simulation approach by SWAT model, *16th Iranian Hydraulic Conference*, Ardabil, University of Mohaghegh Ardabili. (In Farsi)

Abbaspour, K.C. (2013) SWAT-CUP 2012: SWAT Calibration and Uncertainty Programs - A User Manual, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Switzerland.

Gheysari, M., Mirlatifi S.M., Homaee M., Asadi M.A., (2006), Nitrate leaching in sprinkler irrigation system under the management of corn fertigation, *Agricultural Engineering Research journal*, 29(7):101-118

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*. 3332-4:413-430.

Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S. and Williams, J.R., (1998) Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development 1. JAWRA *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), pp.73-89.

Bagheri, R.M., Ghaemi, Z., Khajehzadeh, A., (2018) SWAT application in defining Nitrogen and Phosphor load in Seymareh Dam reservoir subbasin, *1st Conference on SWAT application in Water Resources Management*, Esfahan, Esfahan Technical University. (In Farsi)

Bailey, R.T., Wible, T.C., Arabi, M., Records, R.M. and Ditty, J., (2016) Assessing regional scale spatio-temporal patterns of groundwater–surface water interactions using a coupled SWAT-MODFLOW model. *Hydrological processes*, 30(23), pp.4420-4433.

Biareh, M., Hoseini, A., (2016) Simulation of water quality for Karaj dam basin using SWAT model, *11st National Seminar on Watershed Management Science and Engineering*, Yasooj University. (In Farsi)

Batoukhteh, F., Misaghi, F. and Dehghanisanji, H., (2017) The evaluation of effect of increase irrigation efficiency along with increased acreage on the return water and underground water storage using SWAT model, *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 6(2), 1-13 (In Farsi)

Engebretsen, A., Vogt, R.D. and Bechmann, M., (2019) SWAT model uncertainties and cumulative probability for decreased phosphorus loading by agricultural Best Management Practices. *Catena*, 175, pp.154-166.

Ficklin, D.L., Luo, Y. and Zhang, M., (2013) Watershed modelling of hydrology and water quality in the Sacramento River watershed, California. *Hydrological processes*, 27(2), pp.236-250.

Imani, S., Delavar, M. and Niksokhan, M.H., (2017) Simulation and assessment of management practices for reduction of nutrients discharge to the Zrebar Lake using SWAT model. *Iran-Water Resources Research*, 13(1), 69-87. (In Farsi)

Meshesha, W., Wang , J., Demelash, N. and Mclain, C., (2020), Groundwater Modelling Quality in the Cold Region of the Athabasca River BasinTesfa, journal of atmospheric science, doi: 10.20944/preprints202011.0299.v1.

Qiu, Z. and 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), pp.816-827.

Russo, M., (1991) Effects of fertilizer rate, application timing and plant spacing on yield and nutrient content of bell pepper, *Journal of Plant Nutrition*, https://doi.org/10,1016/j.jhydrol.201.126304

Shafiei, K., Porhemmat, J., Sedghi, H. and Hosseni, M., (2018) Investigation the effect of land use changes on the quantity of water resources using remote sensing data and SWAT model (Case study: Maroon basin-southwest of Iran). *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 7(3), 71-87. (In Farsi)

Shultz, C.D., Gates, T.K. and Bailey, R.T., (2018) Evaluating best management practices to lower selenium and nitrate in groundwater and streams in an irrigated river valley using a calibrated fate and reactive transport model. *Journal of hydrology*, 566, pp.299-312.

Wei, X. and Bailey, R., (2021) Evaluating nitrate and phosphorus remediation in intensively irrigated stream-aquifer systems using a coupled flow and reactive transport model. *Journal of Hydrology*, 598, 126-*304*.