

Simulation of Nitrate Input from Agricultural Land to the River Using the SWAT Model (Case Study: Zanjanrood)

F. Misaghi^{1*} and M. Nouri²

Abstract

Rivers have an important role to play in providing most of the water needed for agriculture, industry and domestic consumptions. They also are amongst the important economic and social arteries of various human societies rooted in the lives of people in every land. Most of surface water contaminations are non-point source pollutants which generally contain various forms of nitrogen and phosphorus. In this study, the amount of nitrate input from agricultural lands to Zanjanrood River has been simulated using the SWAT model. In order to calibrate and validate the results, SWAT-CUP software and measured mean monthly average flow rate at Sarcham hydrometric station (1996-2013) were used and 26 sensitive parameters were selected for sensitivity analysis. Three scenarios for irrigation practices, three scenarios for fertilizer rates and two integrated scenarios were defined. The p-factor and r-factor indices were used for uncertainty analysis and two statistical indices, i.e. determination coefficient (R^2) and Nash-Sutcliffe (NS) coefficient, were used for quality analysis of the results. In the monthly runoff calibration, at the basin outlet, the coefficients r-factor, p-factor, R^2 , and NS were 0.27, 0.11, 0.83, and 0.53, respectively. At the validation stage, they were respectively estimated as 0.6, 0.18, 0.73 and 0.53. The results showed that by increasing the pressurized irrigation, the nitrate pollution in the basin was not significantly affected. With regard to fertilizer levels, by reducing consumption of urea fertilizers up to 50%, the amount of nitrate input into the Zanjanrood River reduced by up to about 16.7%. On the other hand, an increase of 50% in fertilizer use has increased nitrate input into the river by 17.2%. The study suggests that changing the surface irrigation method does not lead to a significant change in the average nitrate output from the basin. Also, reducing the amount of fertilization and preventing unnecessary fertilizations by farmers, can greatly prevent the pollution of water resources.

Keywords: Nitrate, Fertilizer, Irrigation System, SWAT Model.

Received: August 17, 2017

Accepted: November 22, 2017

شبیه‌سازی میزان نیترات ورودی از زمین‌های کشاورزی به رودخانه با استفاده از مدل SWAT (مطالعه موردی: زنجان رود)

فرهاد میناچی^{۱*} و مریم نوری^۲

چکیده

رودخانه‌ها نقش مهمی از نظر تأمین بخش عمده آب موردنیاز کشاورزی، صنایع و مصارف شرب بر عهده دارند و از شریان‌های مهم اقتصادی و اجتماعی جوامع مختلف بشری به شمار آمده و ریشه در حیات مردم هر سرزمین دارد. بیشترین آلودگی آب‌های سطحی را آلودگی‌های غیرنقطه‌ای تشکیل می‌دهند که عموماً شامل اشکال مختلف نیتروژن و فسفر هستند. در این مطالعه میزان نیترات ورودی از زمین‌های کشاورزی به رودخانه زنجان رود با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی شده است. برای واسنجی و اعتبارسنجی از نرم‌افزار SWAT-CUP و مقادیر اندازه‌گیری شده شدت جریان متوسط ماهانه در ایستگاه آب‌سنجی سرچم بین سال‌های (۲۰۱۳-۱۹۹۶)، استفاده شده و برای تحلیل حساسیت ۲۶ پارامتر حساس انتخاب شده است. سه گزینه برای شیوه آبیاری، سه گزینه برای میزان کود مصرفی و دو گزینه تلفیقی تعریف شده است. به منظور تحلیل عدم قطعیت از شاخص‌های p-factor و r-factor و تحلیل کیفیت نتایج مدل از دو شاخص ضریب تعیین (R^2) و ضریب نش-ساتکلیف (NS) استفاده شده است. در مرحله واسنجی رواناب ماهانه، در خروجی حوضه ضرایب r-factor، p-factor، R^2 و NS به ترتیب ۰/۲۷، ۰/۱۱، ۰/۸۳ و ۰/۵۳ و در مرحله اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۶۰، ۰/۱۸، ۰/۷۳ و ۰/۵۳ بدست آمده است. نتایج نشان داد که با افزایش سطح آبیاری تحت فشار میزان نیترات ورودی به زنجان رود تغییر چشم‌گیری ندارد. در رابطه با میزان کود، کاهش ۵۰ درصدی مصرف کودهای اوره، مقدار نیترات ورودی به رودخانه زنجان رود را به میزان ۱۶/۷ درصد کاهش داده است. از طرفی افزایش ۵۰ درصدی مصرف کودها، نیترات ورودی را به میزان ۱۷/۲ درصد افزایش داده است. با تغییر شیوه آبیاری سطحی به تحت فشار و افزایش راندمان آبیاری، تغییر چشمگیری در میانگین میزان نیترات ورودی به منابع آب سطحی ایجاد نمی‌شود. همچنین با کاهش مقادیر کوددهی و جلوگیری از کوددهی بی‌رویه به وسیله کشاورزان، به میزان زیادی می‌توان مانع آلودگی منابع آب‌های سطحی گردید.

کلمات کلیدی: نیترات، کود، سیستم آبیاری، مدل SWAT.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۵/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۹/۱

1- Assistant Professor, University of Zanjan, Zanjan, Iran. Email: Farhad_Misaghi@znu.ac.ir

2- Master of Science in Irrigation and Drainage, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

*- Corresponding Author

۱- استادیار و عضو هیات علمی دانشگاه زنجان.

۲- کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه زنجان.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

مغذی، نوارهای بافر، سازه‌های پیشگیری از سیل، آبراه‌های پوشش‌دار و ترانسپارانت می‌باشد (Gassman et al., 2007). مدل SWAT^۵ ابزاری است برای ارزیابی کیفیت و کمیت آب و خاک حوضه رودخانه یا آبخیز می‌باشد، که توسط آرنولد در دهه ۹۰ برای سرویس تحقیقات کشاورزی آمریکا USDA-ARS توسعه یافته است (Arnold et al., 1998). SWAT مدلی جامع و کامل است که شامل چهار بخش اصلی شبیه‌سازی رسوب و رواناب، پیش‌بینی بار آلودگی NPS، اصلاح اجزای مدل برای شرایط طبیعی منطقه و بررسی عدم قطعیت پارامترها و داده‌های ورودی می‌باشد و برای ارزیابی دبی جریان، اثرات بلندمدت عملیات مدیریتی بر آب، رسوب و مواد شیمیایی حاصل از فعالیت‌های کشاورزی در حوضه‌های بزرگ توسعه یافته است. در ایالات متحده آمریکا استفاده از مدل SWAT به عنوان ابزاری برای ارزیابی بسیاری از برنامه‌های حفاظتی مرحله ای و فشرده در سطوح حوضه‌های آبخیز بزرگ ارائه شده است (Arnold et al., 1998). (Abbaspour et al., 2007) شبیه‌سازی فرآیندهایی که روی کیفیت آب، رسوب و چرخه عناصر غذایی در حوضه رودخانه تور مؤثرند از مدل SWAT استفاده نمودند. نتایج نشان داد که شبیه‌سازی رواناب و نترات بسیار خوب و شبیه‌سازی رسوب و فسفر نسبتاً خوب بود. در مطالعه دیگری پیش‌بینی اثر تناوب شیوه‌های مدیریت روی کیفیت و کمیت آب با استفاده از مدل SWAT نشان دادند که این مدل به کاربرد تناوب محصولات و در برخی موارد به تغییرات کوچک در شیوه‌های مدیریتی بسیار حساس است (Antje and Martin, 2009). از دیگر مطالعات انجام شده، ارزیابی اثر احداث ترانس‌های انحرافی روی میزان رواناب و بار رسوبی در سطح حوضه آبخیز با استفاده از مدل SWAT می‌باشد که نتایج نشان داد، مدل SWAT تغییرات فصلی بار آبی و بار رسوب سالانه و روند تغییرات غلظت فسفر محلول را بخوبی پیش‌بینی نمود (Yang et al., 2009). همچنین در مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۴ آلودگی غیرنقطه‌ای را با استفاده از مدل SWAT برای حوضه رودخانه Liuxi شبیه‌سازی شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تغییر شیوه‌های خاک‌ورزی مرسوم و میزان کوددهی تجربی نسبت به خاک‌ورزی حفاظتی و کوددهی بهینه در کاهش آلودگی‌های NPS مؤثر بوده است (Jiang et al., 2014). (Gebremariam et al., 2014) در مطالعه‌ای توانایی‌های مدل‌های مختلف حوضه را برای شبیه‌سازی رژیم جریان بحرانی برای خدمات اکوسیستمی پایین‌دست ارزیابی نمودند. این مدل‌ها عبارت بودند از SWAT، HSPF و DLBRM که عملکرد آن‌ها در حوضه Maumee اوهایو آمریکا بررسی شد. با توجه به معیارهای ارزیابی و همین‌طور توانایی شبیه‌سازی رویدادهای شدید و سیلاب مدل HSPF بهتر از دو

رودخانه‌ها نقش مهمی از نظر تأمین بخش عمده آب موردنیاز کشاورزی، صنایع و مصارف شرب بر عهده دارند و از شریان‌های مهم اقتصادی و اجتماعی جوامع مختلف بشری به شمار آمده و ریشه در حیات مردم هر سرزمین دارد (Ranjbar et al., 2010). کشورهای توسعه یافته از مدتها قبل به فکر حفظ منابع آبی بوده‌اند و اکنون زمان آن رسیده که به طور جدی به این مسأله توجه شود. منابع آب شامل آب‌های سطحی و آبهای زیرزمینی می‌شود که از نظر کیفی آب‌های سطحی در معرض خطر بیشتری می‌باشند، بنابراین برای حفظ این آبها باید منابع آلودگی را شناخته و راهکارهای مناسب برای پیشگیری یا رفع این آلودگی‌ها ارائه گردد. از نظر اقتصادی جلوگیری از آلودگی آب‌ها به صرفه‌تر از تصفیه آب است، بنابراین باید راه‌های پیشگیری از آلودگی را بررسی کرده و آنها را اجرایی نمود. آلودگی آب‌های سطحی را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود. اول آلودگی‌های ناشی از منابع نقطه‌ای^۱ (PS)، که به دسته‌ای از آلودگی‌ها اطلاق می‌شود که نقطه تولید و ورود آنها به آبهای سطحی است و مقدار آنها را می‌توان به راحتی با اندازه‌گیری در نقاط ورودی به دست آورد که شامل آلودگی‌های صنعتی، فاضلاب شهری و غیره می‌باشد. این آلودگی‌ها اغلب به صورت فلزات سنگین و آلودگی‌های شیمیایی می‌باشد. دوم آلودگی‌های ناشی از منابع غیر نقطه‌ای^۲ (NPS)، که منبع تولید این آلودگی‌ها به صورت نقطه‌ای و مشخص نبوده و به صورت متوالی در مسیر رودخانه وارد آب می‌شود. مانند آلودگی‌های ناشی از کودهای شیمیایی مورد استفاده در زمین‌های کشاورزی و پرورش دام و مراتع، این آلودگی را نمی‌توان به صورت مستقیم اندازه‌گیری نمود (Asadi, 2005; Bagherzadeh et al., 2009). (Farahmand et al., 2006). بیشترین آلودگی آب‌های سطحی را آلودگی‌های غیرنقطه‌ای تشکیل می‌دهند که عموماً شامل اشکال مختلف نیتروژن و فسفر هستند. با اعمال بهترین شیوه‌های مدیریت^۳ در حوضه می‌توان این آلودگی‌ها را به حداقل رساند. تغییر کاربری اراضی، ایجاد نوار حاشیه رودخانه^۴، شیوه‌های آبیاری، محدودیت اعمال کود، محدودیت نوع کود، تعیین الگوی کشت مناسب و شیوه‌های حفاظت خاک از جمله این مدیریت‌ها می‌باشند. برای شبیه‌سازی آلودگی‌های غیرنقطه‌ای مدل‌های بسیاری مانند AGNPS، ANSWERS، HSPS و SWAT وجود دارند. مطالعات نشان داده است مدل SWAT از انعطاف‌پذیری بالایی در شبیه‌سازی راهکارهای مدیریتی برخوردار است بطوریکه این مدل قادر به شبیه‌سازی طیف گسترده‌ای از راهکارهای سازه‌ای و غیر سازه‌ای، مانند شخم‌زنی حفاظتی، پوشش‌های حفاظتی، میزان و زمان مصرف کود، مدیریت مواد

مدل دیگر ارزیابی شد. Lai et al. (2014) منابع آلودگی غیرنقطه‌ای و کیفیت آب رودخانه Kaoping در کشور تایوان را بررسی نمودند؛ به این صورت که نقشه کاربری اراضی را با استفاده از تصاویر ماهواره SPAT و نقشه رقمی ارتفاع را با استفاده از نرم‌افزارهای Erdas Imagine و ArcView آماده نمودند و از چند ایستگاه نمونه‌های آب جمع‌آوری و مقادیر pH، NH₃⁻، N و BOD را اندازه‌گیری نمودند. در نهایت نتایج تحقیقات به این صورت بود که یک رابطه مستقیم بین تغییرات کاربری اراضی و کیفیت آب پایین دست وجود دارد و الگوی کاربری اراضی مثل باغ‌ها و زمین‌های زراعی از علل عمده آلودگی غیرنقطه‌ای هستند و باید به‌طور مؤثر کنترل شوند (Lai et al., 2014). در این مطالعه میزان نترات ورودی از زمین‌های کشاورزی به رودخانه زنجان‌رود با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی شده است. برای تحلیل حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی از الگوریتم SUFI2⁶ در نرم‌افزار SWAT-CUP و مقادیر اندازه‌گیری شده شدت جریان متوسط ماهانه در ایستگاه آب‌سنجی سرچم، بین سال‌های (۲۰۱۳-۱۹۹۶) استفاده شده است. همچنین سه گزینه برای شیوه آبیاری و سه گزینه برای میزان کود مصرفی تعریف شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

زنجان‌رود یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های مهم در استان زنجان می‌باشد که در محدوده ۳۶°۱۳' تا ۳۷°۰۲' عرض شمالی ۴۷°۵۰' تا ۴۹°۰۰' عرض شرقی واقع شده است. این رودخانه دائمی که ۱۴۲ کیلومتر طول داشته و ارتفاع سرچشمه آن ۱۷۸۰ متر و ارتفاع ریزشگاه آن ۱۱۰۰ متر است، شیب متوسط آن ۰/۵ درصد و بخشی از حوضه رودخانه سفیدرود و دریای خزر می‌باشد. بر اساس اطلاعات ایستگاه‌های همدید و تبخیرسنجی در سطح حوضه، متوسط بارش سالانه ۳۱۲/۱ میلی‌متر و متوسط تبخیر سالانه ۱۶۸۳ میلی‌متر می‌باشد، که نشان دهنده تفاوت بسیار بالای میزان تبخیر نسبت به نزولات جوی است. همچنین متوسط دمای روزانه، حداقل و حداکثر مطلق ثبت شده در منطقه به ترتیب ۱۰/۹، ۲۸/۶- و ۴۲ درجه سانتیگراد با متوسط رطوبت نسبی ۵۴ درصد است که با اقلیم نمای دومارتن، اقلیم حوضه نیمه خشک و با اقلیم نمای آمبرژه خشک سرد می‌باشد.

۲-۲- مدل SWAT

مدل SWAT یک شبیه‌ساز هیدرولوژیکی، یک مدل زمان پیوسته و

نیمه توزیعی مکانی با پایه فیزیکی است که توسط جف آرنولد در دهه ۹۰ میلادی برای تحقیقات کشاورزی آمریکا تهیه و از آن زمان به‌طور پیوسته در حال توسعه بوده است (Akbari et al., 2012). هدف اصلی مدل SWAT شبیه‌سازی اثر شیوه‌های مختلف مدیریتی زمین (مکانی- زمانی) بر کمیت، کیفیت آب و رسوب در حوضه‌های پیچیده با توجه به شرایط مختلف اقلیمی، کاربری اراضی و نوع خاک در درازمدت است (Ghodousi et al., 2014). در این مدل هر حوضه به چند زیرحوضه و هر یک از زیرحوضه‌ها به چند واحد واکنش هیدرولوژیک (HRU)^۷ که از نظر کاربر اراضی و خصوصیات خاک همگن هستند، تقسیم می‌گردد. در ابتدا آب موجود در خاک، رواناب سطحی، چرخه عناصر غذایی، رسوب، رشد گیاهان و روش‌های مدیریتی برای هر واحد واکنش هیدرولوژیک و سپس برای هر زیرحوضه به صورت متوسط وزنی محاسبه می‌شود. چرخه هیدرولوژی که به وسیله SWAT شبیه‌سازی می‌شود بر پایه معادله بیلان آبی به شرح زیر است:

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

که در آن SW_t مقدار نهایی آب در خاک (میلی متر)؛ SW_0 مقدار اولیه آب در خاک (میلی متر)؛ R_{day} مقدار بارندگی در روز Δt (میلی متر)؛ Q_{surf} مقدار رواناب سطحی در روز Δt (میلی متر)؛ E_a مقدار تبخیر و تعرق در روز Δt (میلی متر)؛ W_{seep} مقدار آبی که از پروفیل خاک به ناحیه غیر اشباع در روز Δt وارد می‌شود (میلی متر)؛ و Q_{gw} مقدار جریان برگشتی در Δt (میلی متر) می‌باشد.

در این مدل برآورد رواناب سطحی با استفاده از یکی از روش‌های CN و یا گرین-آمپت، پیش‌بینی حداکثر نرخ رواناب با روش استدلالی اصلاح‌شده، محاسبه تبخیر و تعرق به یکی از سه روش پنمن-مونتیث، پرستلی-تیلور و یا هارگریوز و روندیابی جریان در کانال به روش ماسکینگهام و یا روش ذخیره متغیر انجام می‌شود (Neitsch et al., 2009; Lei et al., 2012; Akbari et al., 2012; Zahabion et al., 2010). رواناب، رسوب و بارگذاری مواد مغذی از هر HRU با استفاده از داده‌های ورودی در مورد آب و هوا، ویژگی‌های خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و شیوه‌های مدیریت زمین به‌طور جداگانه محاسبه و سپس کل بارگذاری از زیر حوضه از طریق جمع واحدها محاسبه می‌شود (Pasandiadeh Fard, 2012; Wu and Chen, 2013).

۲-۳- مدل‌سازی هیدرولوژیکی در SWAT

به طور کلی براساس فرمت داده‌ها، اطلاعات مورد نیاز برای شبیه‌سازی به سه دسته تقسیم می‌گردند، اولین لایه شامل اطلاعات رقومی ارتفاعی، شبکه آبراهه‌ها، نقشه کاربری اراضی و نقشه خاکشناسی؛ دومین لایه شامل اطلاعات مشخصات رودخانه‌ها، پارامترهای مؤثر در تعیین رواناب سطحی و پارامترهای مؤثر در شبیه‌سازی فرسایش می‌باشد. سومین لایه شامل داده‌های هواشناسی روزانه، بارش، درجه حرارت حداقل، حداکثر روزانه، متوسط، انحراف معیار و ضریب چولگی مقدار بارش، احتمال یک روز تر به دنبال یک روز خشک، متوسط درجه شبنم و متوسط سرعت باد برای هر ماه می‌باشد (Neitsch et al., 2005). در شکل ۱ دیاگرام مدل‌سازی هیدرولوژیکی در SWAT ارائه شده است. در این پژوهش از اطلاعات سه ایستگاه همدید و یک ایستگاه آب سنجی در خروجی حوضه زنجان رود استفاده شده است که مشخصات آنها در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس اطلاعات ورودی، حوضه آبریز زنجان رود به ۱۹ زیرحوضه و ۲۳۸ واحد پاسخ هیدرولوژیکی تقسیم گردید و خروجی حوضه در محل ایستگاه آب‌سنجی سرچم و زیرحوضه شماره ۱ قرار دارد، که در شکل ۲ ارائه شده است.

۲-۴- گزینه‌های شبیه‌سازی

برای تعیین اثر افزایش سطح آبیاری تحت فشار در میزان نیتراژ ورودی از زمین‌های کشاورزی به رودخانه زنجان رود، تنها راه اعمال تغییرات در راندمان آبیاری است. در این مطالعه راندمان آبیاری برای آبیاری سطحی ۳۷٪ و برای آبیاری تحت فشار ۶۲٪ در نظر گرفته شده است (Agriculture Organization of Zanjan Province, 2013). طبق آمارهای دریافتی از سازمان جهاد کشاورزی استان زنجان، مساحت زمین‌های کشاورزی زراعی تحت آبیاری در حوضه زنجان رود ۴۷۷۶۳ هکتار می‌باشد که از این مقدار ۶۳۸۴ هکتار معادل ۱۳/۳٪، تحت آبیاری تحت فشار قرار دارد و مابقی ۸۶/۷٪ اراضی بصورت ثقلی

آبیاری می‌شوند، و به‌عنوان گزینه اصلی که نشان دهنده وضع موجود می‌باشد، شبیه‌سازی شده است. همچنین سه گزینه برای بررسی اثرات روش آبیاری و بالطبع آن راندمان آبیاری در نظر گرفته شده است:

۱- در گزینه ۱ فرض گردید که کل زمین‌های کشاورزی آبی به‌صورت ثقلی آبیاری می‌شوند. بنابراین، راندمان آبیاری حوضه برابر ۳۷٪ در نظر گرفته شده است.

۲- در گزینه ۲ فرض شده که ۵۰ درصد مساحت زمین‌های زراعی آبی به‌صورت ثقلی و ۵۰ درصد آن به‌صورت تحت فشار آبیاری گردد. در این صورت راندمان آبیاری حوضه ۴۹/۵٪ در نظر گرفته شده است.

۳- در گزینه ۳ با فرض این‌که کل زمین‌های زراعی به‌صورت تحت فشار آبیاری شود، راندمان ۶۲٪ به‌کل مدیریت‌های آبیاری اعمال شده است.

مقادیر کود اوره مصرفی در زمین‌های زراعی آبی در جدول ۲ برای الگوی کشت غالب حوضه زنجان رود ارائه شده است، که در آن کود اوره در دو مرحله ابتدا و اواسط فصل کشت در بخش مدیریت‌های زراعی اعمال شده است. برای تعیین اثرات کوددهی نیز مانند آبیاری سه گزینه تعریف شده است.

۴- در گزینه ۴، مقادیر کوددهی برابر با صفر در نظر گرفته شده است.

۵- در گزینه ۵ تمامی مقادیر کوددهی در وضع موجود به ۵۰٪ کاهش یافته است.

۶- در گزینه ۶ تمامی مقادیر کوددهی در وضع موجود ۵۰٪ افزایش یافته است.

۷- این گزینه که به‌عنوان بهترین شرایط در نظر گرفته شده است و شامل ترکیب دو گزینه ۱۰۰ درصد آبیاری تحت فشار و میزان کوددهی صفر است.

۸- در این گزینه با افزایش ۵۰ درصدی میزان کود و آبیاری کل اراضی زراعی آبی به‌صورت سطحی شبیه‌سازی شده است.

Table 1- Specifications and locations of synoptic and hydrometric stations used for the study

جدول ۱- مشخصات و مختصات ایستگاه‌های همدید و آب سنجی مورد استفاده				
Station Name	Station Type	Station Height	Latitude	Longitude
Khoram Dareh	synoptic	1575	36 11 N	49 11 E
Khodabandeh	synoptic	1887	36 07 N	48 35 E
Zanjan	synoptic	1663	36 41 N	48 29 E
Sarcham	hydrometric	1150	37 07 N	47 53 E

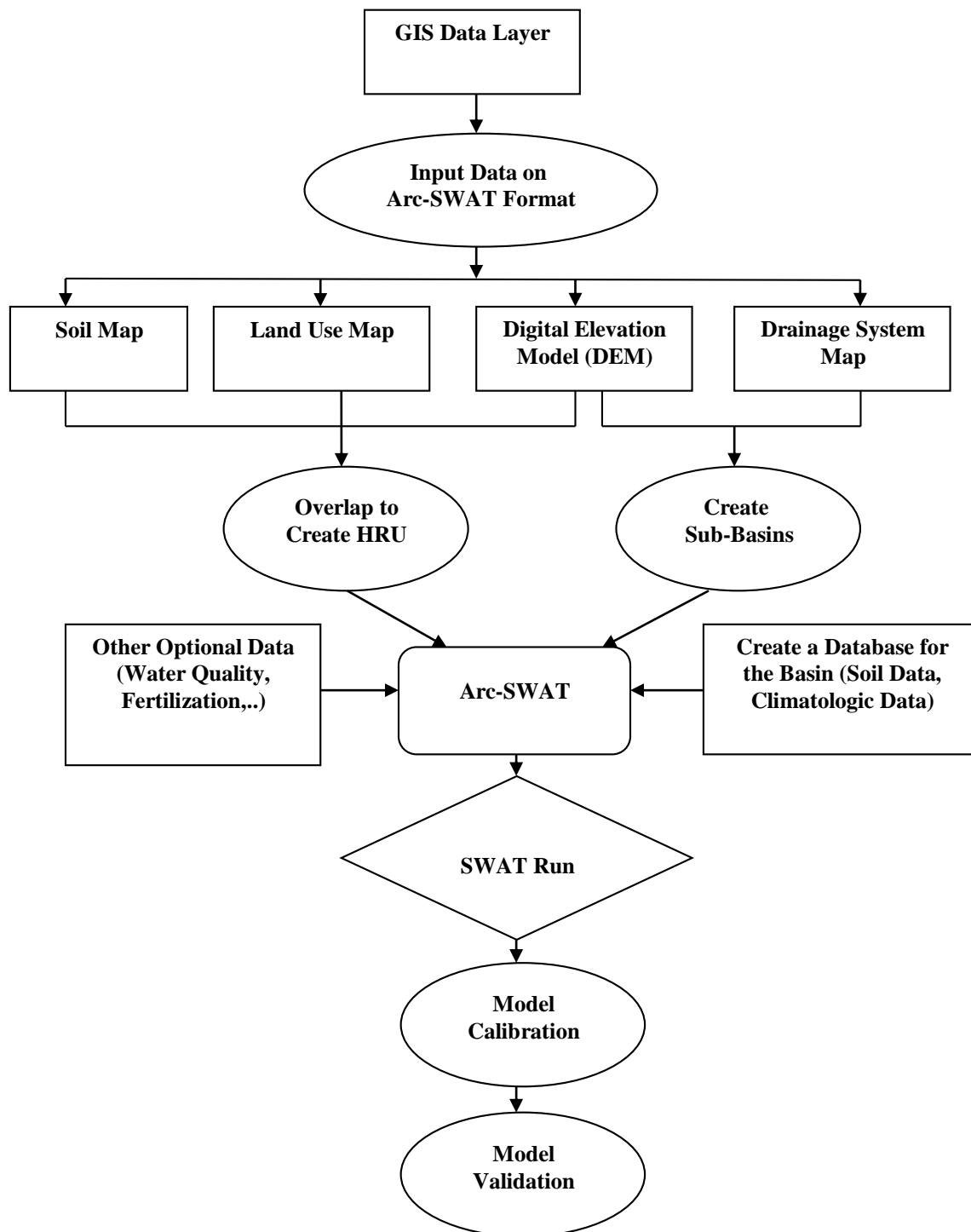


Fig. 1- Hydrological modeling diagram in SWAT
 شکل ۱- دیاگرام مدل سازی هیدرولوژیکی در SWAT

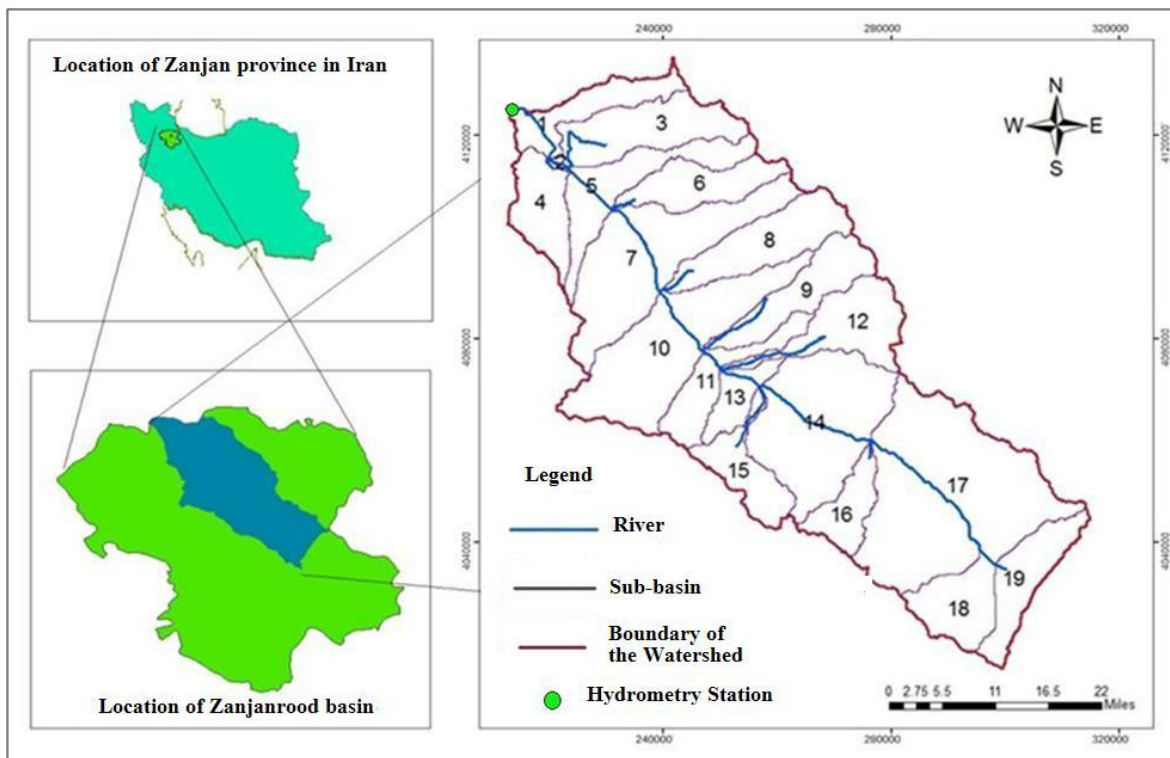


Fig. 2- Zanzanrood watershed and its sub-basins in the SWAT model

شکل ۲- موقعیت حوضه آبریز زنجانرود و زیرحوضه‌های آن در مدل SWAT

حل پارامتری (PararSol)^۱، زنجیره مارکف-مونت کارلو (MCMC)^{۱۰} و الگوریتم (SUFI2) می‌باشد (Beven and Binley, 1992; Van Griensven and Meixner, 2006; Vrugt et al., 2003; Abbaspour, 2007). الگوریتم SUFI2 در میان روش‌های موجود در نرم‌افزار SWAT-CUP دارای سرعت بیشتری در محاسبات بوده و علاوه بر این عملکرد بهتری در تعیین عدم قطعیت دارد که در بسیاری از مطالعات گذشته به آن اشاره شده است (Faramarzi et al., 2009; Schuol et al., 2008a,b; Yang et al., 2008; Rostamian et al., 2008).

از اطلاعات میزان نیترات اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری سرچم بین سال‌های آماری ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳ که شامل ۱۵۵ نمونه بود در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی مدل استفاده شده است.

۳- نتایج

۳-۱- واسنجی و تحلیل عدم قطعیت

واسنجی مدل SWAT با استفاده از نرم‌افزار SWAT-CUP که توسط Abbaspour (2011) توسعه یافته، انجام شده است. این بسته نرم‌افزاری شامل الگوریتم تخمین عدم قطعیت احتمالاتی (GLUE)^{۱۱}،

Table 2- Amount of urea fertilizer application in irrigated lands for the prevailing crop pattern of Zanzanrood basin

جدول ۲- مقادیر کود اوره مصرفی در زمین‌های زراعی آبی برای الگوی کشت غالب حوضه زنجانرود

Crop Type	Cropping Percentage	Planting Date	Harvest Date	Urea Fertilizer Application (kg)	Annual Irrigation Depth (mm)	Irrigation Interval (day)
Alfalfa	47	April 4	September 21	200	1790	10
Wheat	28	October 7	July 22	150	890	10
Onion	13	March 25	August 6	150	910	6
Barley	12	September 23	June 20	150	570	14

چه به صفر نزدیک تر باشد نشان دهنده شبیه‌سازی مناسب‌تر است (Abbaspour, 2011). نتایج تحلیل حساسیت و واسنجی پارامترهای مدل SWAT برای حوضه آبریز زنجان رود در جدول ۳ نشان داده شده است (Abbaspour, 2007; Faramarzi et al., 2009; Schuol et al., 2008b). شماره منحنی SCS^{۱۱} و چگالی توده خاک مرطوب در هر لایه^{۱۲} حساس‌ترین پارامتر برای دوره واسنجی می‌باشد که مشابه با نتایج تحقیقات گذشته در این خصوص است (Faramarzi et al., 2009, 2010).

۳-۲- واسنجی و اعتبارسنجی مدل

ارزیابی نتایج واسنجی توسط ۹ تابع هدف با نام‌های SUM، R²، NS، Chi²، SSQR، Br² و PBIAS صورت می‌گیرد. در این مطالعه برای تحلیل کیفیت نتایج مدل از شاخص‌های p-factor و r-factor و دو شاخص ضریب تعیین (R²) و ضریب نش-ساتکلیف (NS) استفاده و نتایج در جدول ۴ و شکل ۴ ارائه شده است. ضریب NS، ضریبی است که اختلاف نسبی بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. مقدار این ضریب بین یک تا منفی بینهایت متغیر می‌باشد. بهترین مقدار آن یک است و در صورتی که میزان آن بیشتر از ۰/۵ باشد نشان دهنده این است که شبیه‌سازی توسط مدل خوب است. ضریب تعیین R² نسبت پراکندگی بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد و مقدار آن بین صفر تا یک متغیر است، چنانچه مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده با هم برابر باشند مقدار R² برابر یک می‌باشد.

$$NS = 1 - \frac{\sum_i (Q_m - Q_s)_i^2}{\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)^2} \quad (2)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m) \cdot (Q_{s,i} - \bar{Q}_s)]^2}{\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)^2 \cdot \sum_i (Q_{s,i} - \bar{Q}_s)^2} \quad (3)$$

که در این روابط Q_m دبی مشاهده‌ای بر حسب متر مکعب بر ثانیه و Q_s نشان دهنده دبی محاسباتی بر حسب متر مکعب بر ثانیه در طول دوره شبیه‌سازی می‌باشد. با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده شدت جریان متوسط ماهانه بین سال‌های (۲۰۱۳-۱۹۹۶)، در ایستگاه آب‌سنجی سرچم و انتخاب ۲۶ پارامتر حساس اقدام به واسنجی مدل شده است.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی میزان نیترات ورودی از زمین‌های کشاورزی به رودخانه زنجان رود در گزینه‌های شیوه آبیاری نشان داد که میزان نیترات نسبت به گزینه اصلی که مربوط به شرایط موجود است، در گزینه ۱ به میزان ۰/۵۴ درصد افزایش، گزینه ۲ به میزان ۱/۹۵ درصد

الگوریتم SUFI2 در واقع معکوس مدل SWAT عمل می‌نماید، به این معنی که با گرفتن داده‌های مشاهده‌ای و همچنین محدوده مجاز پارامترهای مدل SWAT که در واسنجی نمودن مدل نسبت به حوضه مطالعاتی نقش دارند، میزان بهینه پارامترهای مذکور را برآورد می‌نماید. در شکل ۳ مفهوم عدم قطعیت الگوریتم SUFI2 آورده شده است، که نشان می‌دهد پارامتر با مقدار واحد باعث ایجاد یک نتیجه واحد برای مدل می‌شود (شکل ۳a) در صورتی که انتشار عدم قطعیت در پارامتر باعث ایجاد ناحیه‌ای از جواب می‌شود (شکل ۳b) هنگامی که عدم قطعیت پارامترهای ورودی افزایش می‌یابد، عدم قطعیت خروجی نیز افزایش می‌یابد (شکل ۳c).

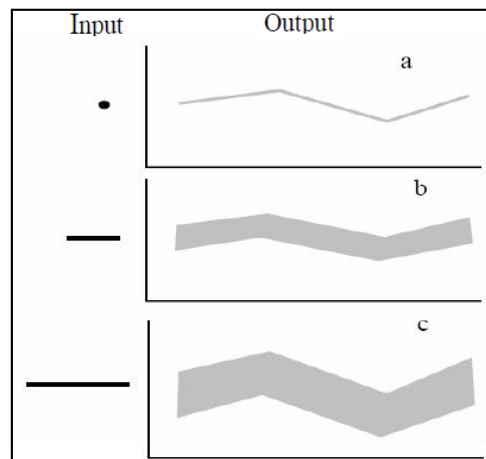


Fig. 3- The concept of uncertainty in the SUFI2 algorithm

شکل ۳- مفهوم عدم قطعیت در الگوریتم SUFI2

بر اساس مطالعات مختلف صورت گرفته در این زمینه ۲۶ پارامتری که بر رواناب مؤثر می‌باشند، که در این تحقیق نیز برای شبیه‌سازی اولیه انتخاب شده‌اند و با استفاده از برنامه SUFI2 و انتخاب تعداد ۲۰۰ شبیه‌سازی تحلیل حساسیت و عدم قطعیت بر روی آنها انجام گرفته است (Akbari et al., 2012; Antje and Martin, 2009; Zahabion et al., 2010) به منظور تحلیل عدم قطعیت از شاخص‌های p-factor و r-factor استفاده شده است. P-factor بیانگر درصد داده‌های اندازه‌گیری شده است که درون باند عدم قطعیت ۹۵ درصد (95ppu) قرار می‌گیرد. معیار (95ppu) با محاسبه مقادیر متناظر احتمال ۲/۵ درصد به عنوان حد پایین و ۹۷/۵ درصد به عنوان حد بالا، با استفاده از نمونه‌برداری به روش لاتین هاپیرکیوپ و حذف ۵ درصدی شبیه‌سازی‌های بسیار بد، بدست می‌آید و نزدیک بودن این عدد به یک نشان دهنده نتیجه بهتر می‌باشد. r-factor برابر با ضخامت باند (95ppu) تقسیم بر انحراف معیار داده‌های اندازه‌گیری شده که هر

کاهش و در گزینه ۳ به میزان ۱/۱۱ درصد کاهش مشاهده می‌شود. وضعیت موجود ارائه شده است. لذا با تغییر شیوه آبیاری سطحی به در شکل ۵ مقایسه تغییرات نیترات ورودی به رودخانه با تغییر شیوه تحت فشار تغییر چشمگیری در میزان نیترات ورودی از زمین‌های آبیاری در طی دوره شبیه‌سازی از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳ در مقایسه با کشاورزی به زنجان رود ایجاد نمی‌شود.

Table 3- Sensitivity analysis and calibrated parameters of SWAT model in Zanjanrood basin
جدول ۳- نتایج تحلیل حساسیت و واسنجی پارامترهای مدل SWAT در حوضه زنجان رود

Rank	Parameter	Definition	Initial range	Final value	Optimum value	p-factor	r-factor
1	R_CN2.mgt	SCS curve number	-0.3-0.3	0.04-0.12	0.05	0	-13.38
2	R_SOL_BD(..).sol	Density of soil moisture in each layer	-0.25-0.5	-0.25_-0.15	-0.23	0	-3
3	V_ESCO.hru	Correction Factor of Soil Evaporation	0.0-1.1	0.11-0.38	0.37	0.05	-1.98
4	V_USLE_P.mgt	Coefficient factor of Land use equation	0.0-1.0	0.51-0.62	0.55	0.06	-1.88
5	V_RCHRG_DP.gw	Lower layer penetration coefficient	0.0-1.0	0.0-0.06	0.02	0.07	1.85
6	R_SOL_AWC(..).sol	Water in any soil layer	-0.3-0.3	-0.4_-0.3	-0.4	0.07	-1.81
7	V_ALPHA_BNK.rte	Alpha coefficient Stream Base to Save	0.0-1.0	0.41-0.57	0.54	0.11	-1.63
8	R_SOL_ALB(..).sol	Soil albedo coefficient	-0.3-0.4	0.30-0.43	0.38	0.14	1.5
9	V_REVAPMN.gw	Depth of water threshold in groundwater table	0-500	158-200	171.83	0.18	1.35
10	V_CH_N2.rte	Manning coefficient for the main channel	-0.01-0.3	0.16-0.23	0.18	0.2	1.28
11	R_SOL_K(..).sol	Hydraulic conductivity of saturated soil	-0.3-0.3	0.11-0.38	0.3	0.26	-1.13
12	V_OV_N.hru	Manning coefficient for flood plains	0.01-30	26-30	27.59	0.33	-0.98
13	R_USLE_K(..).sol	Soil erosion coefficient	0.0-0.7	0.16-0.27	0.18	0.4	0.84
14	V_SMFMN.bsn	Minimum melting factor during the year	0-20	14-18	16.03	0.4	-0.84
15	V_SFTMP.bsn	Snow threshold temperature	-20-20	-1.8-6.8	4.41	0.47	0.73
16	V_GW_REVAP.gw	Groundwater coefficient	0.02-0.2	0.10-0.13	0.12	0.48	-0.7
17	V_ALPHA_BF.gw	Alpha factor in returning the mainstream flow to the main stream	0.0-1.0	0.51-0.64	0.54	0.49	0.7
18	V_SHALLST.gw	Primary water depth in the groundwater table	0-5000	1190-1800	1737.69	0.5	-0.68
19	V_TIMP.bsn	Late Snow Temperature	0.0-1.0	0.85-0.99	0.87	0.52	0.64
20	V_SMFMX.bsn	Maximum snow melt factor during the year	0-20	0.15-2.4	1.59	0.65	0.46
21	V_CANMX.hru	Maximum Surface Retention	0-100	40.5-57.1	45.42	0.85	0.19
22	V_CH_K2.rte	Hydraulic conductivity in the main channel	-0.01-500	159-220	219.26	0.86	-0.18
23	V_LAT_TTIME.hru	Flow Time on sub-flow channel	0-180	135-176	136.73	0.89	0.14
24	V_SLSUBBSN.hru	The average length of slope	10-150	93-112	103.68	0.94	-0.08
25	V_SPCON.bsn	Maximum Linear Parameter of Returned Sediment to the Channel	0.0-0.0	0.01-0.01	0.01	0.96	-0.05
26	V_SPEXP.bsn	Maximum Exponential Parameter of Returned Sediment to the Channel	1.0-1.5	0.28-0.79	0.76	0.97	0.04

Table 4- Calibration and validation valuation indicators

جدول ۴- شاخص‌های ارزیابی واسنجی و اعتبارسنجی

Parameter	R ²	NS	factor-r	P-factor
Calibration	0.83	0.53	0.27	0.11
Validation	0.73	0.53	0.60	0.18

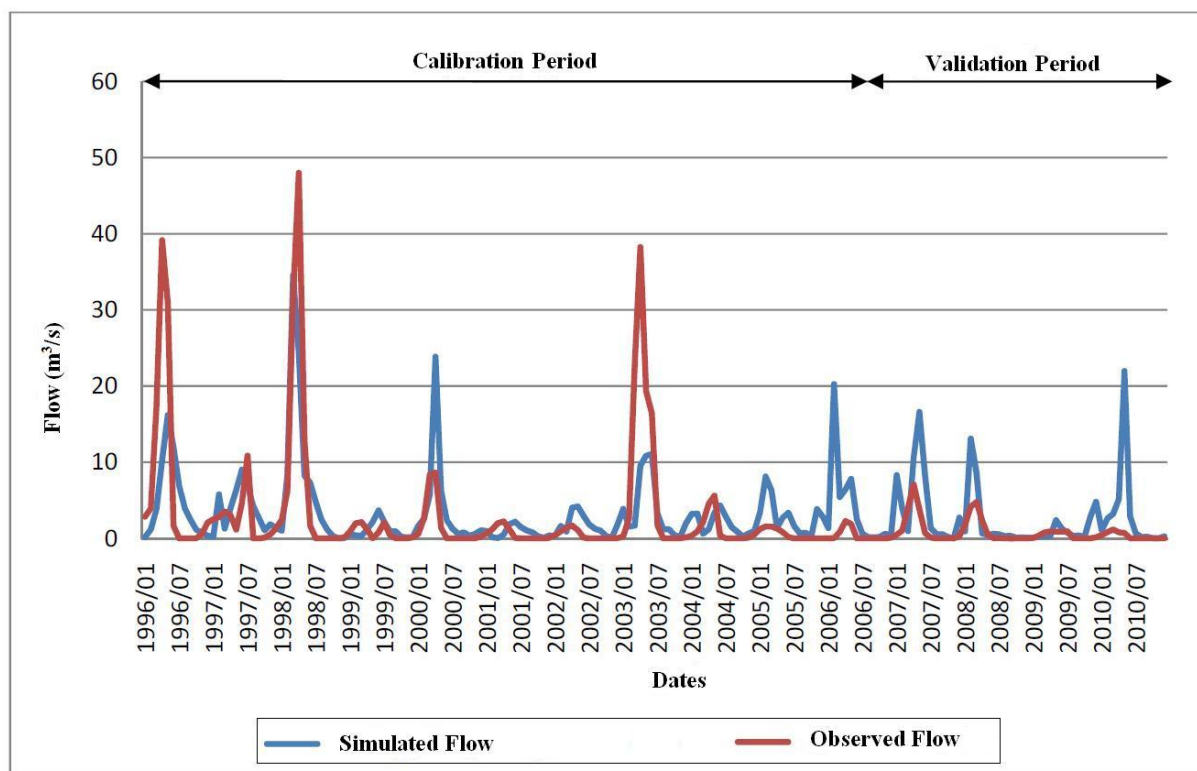


Fig. 4- Comparative diagram of the observed and simulated flow rate at the Sarcham station

شکل ۴- نمودار مقایسه‌ای دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در ایستگاه سرچم

شبیه‌سازی از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳ در مقایسه با وضعیت موجود ارائه شده است. بر همین مبنا می‌توان نتیجه‌گیری نمود که با کاهش مقادیر کوددهی و جلوگیری از کوددهی بی‌رویه به‌وسیله کشاورزان به میزان زیادی می‌توان مانع آلودگی منابع آب‌های سطحی در حوضه زنجان‌رود گردید، که با نتایج تحقیقات Jiang و همکاران در سال ۲۰۱۴، مطالعات Lai و همکاران در همین سال و نتایج پژوهش Akhavan و همکاران در حوضه بهار همدان تطابق دارد (Jiang et al., 2014; Lai et al., 2014; Akhavan et al., 2010).

در گزینه‌های تلفیقی در گزینه ۷ شامل ۱۰۰ درصد آبیاری تحت فشار و میزان کوددهی صفر میزان نیترات وارد شده به منابع آب سطحی ۳۷/۶ درصد کاهش و در گزینه ۸ شامل افزایش ۵۰ درصدی میزان

تغییرات میزان نیترات خروجی از حوضه در طی سالهای مختلف در گزینه اصلی که نشان دهنده شرایط موجود می‌باشد، با استفاده از اطلاعات کود مصرف شده در زمین‌های کشاورزی تحت کشت در هر سال زراعی، که اطلاعات آنها توسط سازمان جهاد کشاورزی استان زنجان اعلام گردیده، مدل‌سازی شده است.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی نیترات ورودی به منابع آب سطحی در گزینه‌های میزان کوددهی نشان داد که میزان نیترات نسبت به گزینه اصلی که مربوط به شرایط موجود است، در گزینه ۴، ۵ و ۶ به ترتیب ۳۳/۶ درصد کاهش، ۱۶/۷ درصد کاهش و ۱۷/۲ درصد افزایش مشاهده می‌شود. در شکل ۶ مقایسه تغییرات میزان نیترات ورودی از زمین‌های کشاورزی به زنجان‌رود با تغییر میزان کوددهی در طی دوره

نتایج این گزینه‌ها با گزینه‌های آبیاری و کوددهی می‌توان نتیجه گرفت که تنها تغییر مقادیر کود بر میزان مواد مغذی خروجی اثرگذار است و حتی در شرایط تلفیقی نیز اثر آبیاری ناچیز خواهد بود.

کود و آبیاری کل اراضی زراعی آبی به صورت سطحی، میزان نیترات وارد شده به رودخانه زنجانرود ۱۷/۸ درصد افزایش داشته است. در شکل ۷ مقایسه تغییرات نیترات خروجی از حوضه زنجانرود با تغییر دادن هم‌زمان شیوه آبیاری و میزان کود ارائه شده است. با مقایسه

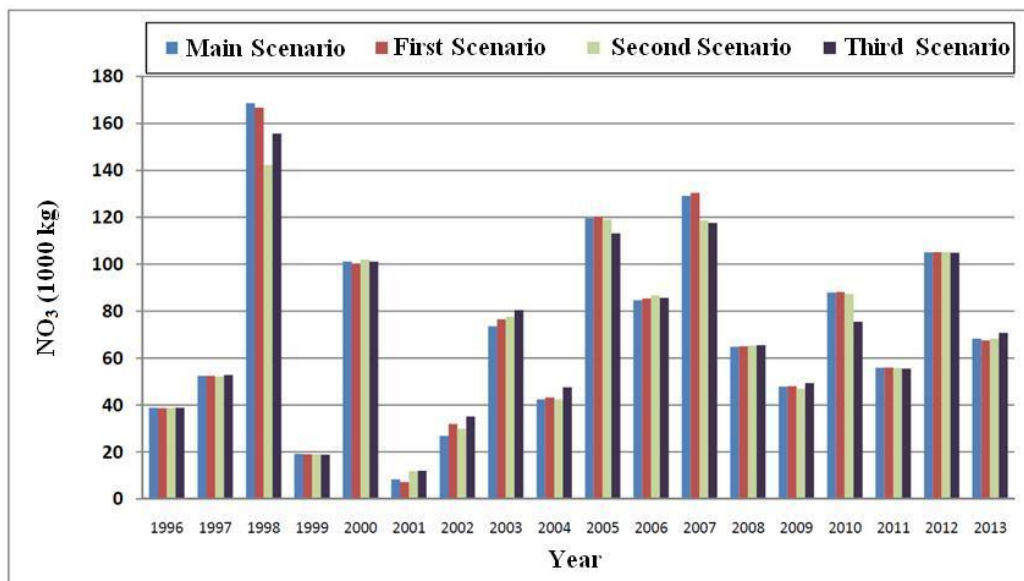


Fig. 5- Comparison of Nitrate changes from Zanjnrood basin in irrigation scenarios during the simulation period from 1996 to 2013

شکل ۵- مقایسه تغییرات نیترات خروجی از حوضه زنجانرود در گزینه‌های شیوه آبیاری در طی دوره شبیه‌سازی از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳

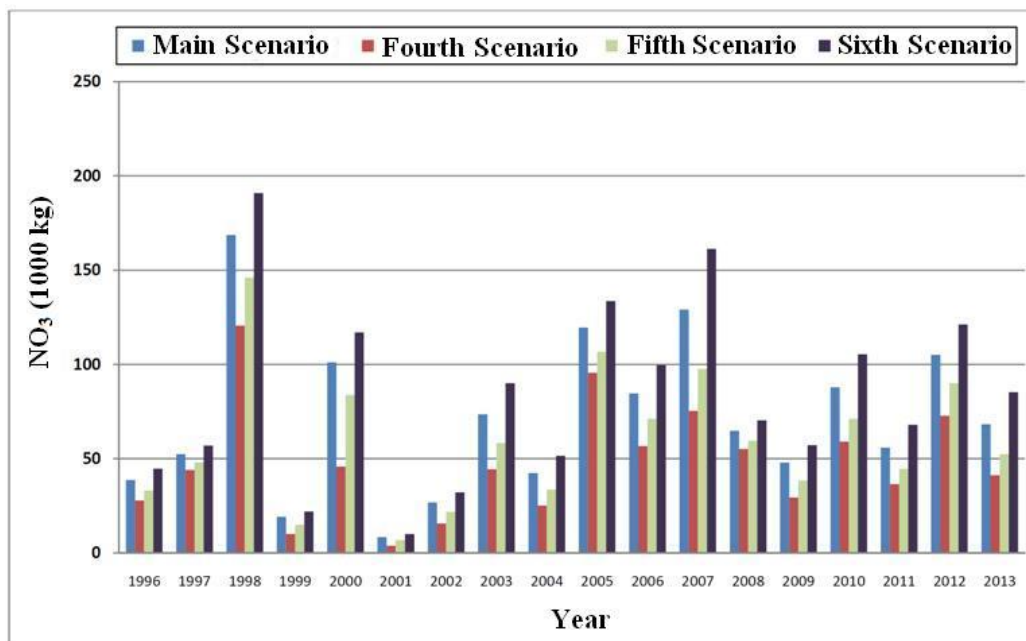


Fig. 6- Comparison of Nitrate changes from Zanjnrood basin in fertilizer rate scenarios during the simulation period from 1996 to 2013

شکل ۶- مقایسه تغییرات نیترات خروجی از حوضه زنجانرود در گزینه‌های کوددهی در طی دوره شبیه‌سازی از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳

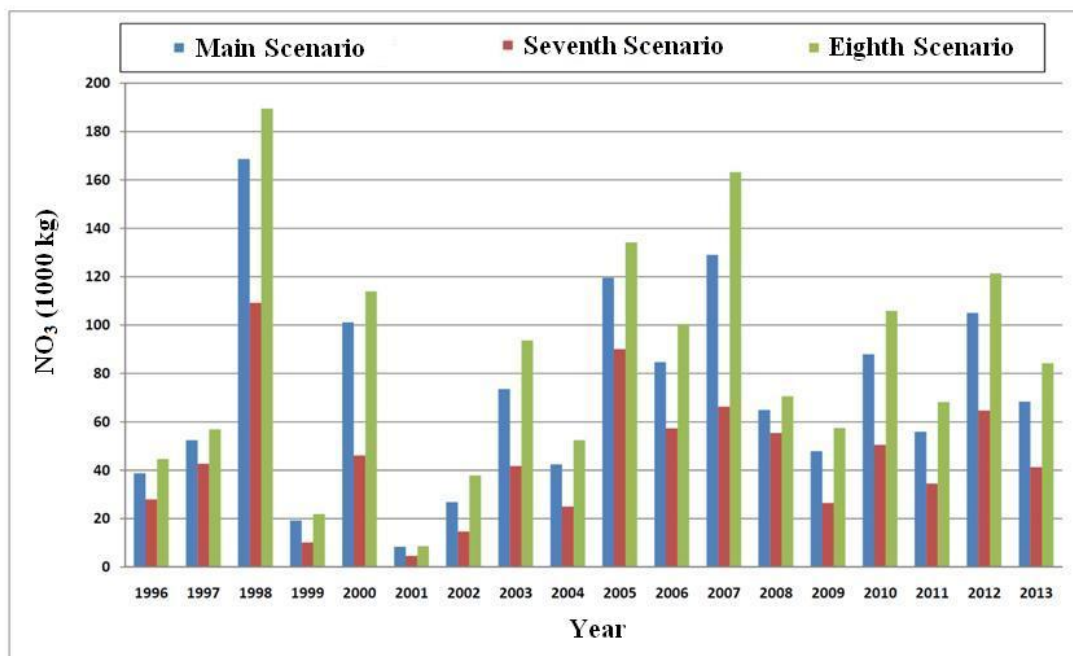


Fig. 7- Comparison of nitrate changes from Zanjanrood basin by simultaneously changing the method of irrigation and fertilizer rate

شکل ۷- مقایسه تغییرات نیترات خروجی از حوضه زنجان رود با تغییر دادن هم‌زمان شیوه آبیاری و میزان کود

۴- نتیجه‌گیری

نیترات خروجی از سطح حوضه ایجاد نمی‌شود. همچنین با کاهش مقادیر کوددهی و جلوگیری از کوددهی بی‌رویه به‌وسیله کشاورزان، به میزان زیادی می‌توان مانع آلودگی منابع آب‌های سطحی گردید.

نتایج پژوهش نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل SWAT و توانایی آن در شبیه‌سازی رواناب، حرکت نیترات از زمین‌های کشاورزی به سمت رودخانه به همراه عدم قطعیت تحلیل‌ها و پارامترهای مؤثر در شبیه‌سازی بود. یکی از مشکلات و محدودیتها در این پژوهش، کمبود اطلاعات میدانی و دقیق در خصوص میزان مصرف کود اوره توسط کشاورزان در سطح حوضه آبریز رودخانه زنجان رود بود. به هر حال پیچیدگی‌های خاص حوضه‌های آبریز با زمین‌های کشاورزی وسیع و الگوهای مختلف کشت در سطح آن، و تنوع بسیار زیاد متغیرهای تأثیرگذار در حرکت آلودگی‌های غیرنقطه‌ای به سوی منابع آب سطحی، موجب شد که رضایتمندی از نتایج مدل SWAT در مرحله واسنجی در خروجی حوضه آبریز زنجان رود با مقادیر $(R^2=0.83, NS=0.53)$ حاصل گردد. همچنین اعتبارسنجی مدل SWAT نیز نتایج مشابهی به همراه داشت. پس از اعتبارسنجی هیدرولوژیکی، مدل SWAT برای شبیه‌سازی میزان نیترات ورودی از زمین‌های کشاورزی به رودخانه زنجان رود در گزینه‌های مختلف سیستم‌های آبیاری تحت فشار و ثقلی و افزایش و کاهش میزان کود اوره مصرفی توسط کشاورزان، مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که با تغییر شیوه آبیاری سطحی به تحت‌فشار تغییر چشمگیری در میانگین میزان

پی‌نوشت‌ها

- 1- Point Source Pollution (PS)
- 2- Non-Point Source Pollution (NPS)
- 3- Best Management Practices (BMP)
- 4- Buffer
- 5- Soil and Water Assessment Tool
- 6- Sequential Uncertainty Fitting, version 2
- 7- Hydrologic Response Unit
- 8- Generalized Likelihood Uncertainty Estimation
- 9- Parameter Solution
- 10- Monte Carlo Markov Chain
- 11- CN2
- 12- SOL_BD

۵- مراجع

Abbaspour, K C, Yang J, Maximov I, Siber R, Bogner K, Mieleitner J, Zobrist J, Srinivasan R (2007) Modeling of hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. Journal of Hydrology 333:413-430

- Iran: implications of agricultural water management for wheat production. *Agriculture Water Manage* 97:1861-1875
- Gassman PW, Reyes MR, Green CH, Arnold JG (2007) The soil and water assessment tool. Historical development, applications, and future research directions, *Transactions of the ASABE*, 50(4):1211-1250
- Gebremariam S Y, Martin J F, DeMarchi C, Bosch N S, Confesor R, Ludsins S A (2014) A comprehensive approach to evaluating watershed models for predicting river flow regimes critical to downstream ecosystem services. *Environmental Modeling & Software* 61:121-134
- Ghodousi M, Delavar M, Morid S (2014) The effect of land use on the hydrology of Aji Chai Basin in the Urumieh Lake. *Iranian Journal of Water and Wine Research* 45(2):123-133 (In Persian)
- Godwin D C, Jones J T, Ritchie P L G, Youngdahl L G (1984) The water and nitrogen components of the CERES models. In *Proc, Intl, Symp, On Minimum Data Sets Agrotechnology Transfer*, Patancheru, India, Intl, Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, P, 95-100
- Jiang J, Li Sh, Hu J, Huang J (2014) A modeling approach to evaluating the impacts of policy-induced land management practices on non-point source pollution, A casestudy of the Liuxi River watershed, China. *Agricultural Water Management* 131:1-16
- Lai Y C, Yang C P, Hsieh C Y, Wu C Y, Kao C M (2011) Evaluation of non-point source pollution and river water quality using a multimedia two-model system. *Journal of Hydrology* 409:583-595
- McElroy M B, Elkins J W, Wofsy S C, Kolb C E, Duran A P, Kaplan W A (1987) Production and release of N₂O from the Potomac Estuary. *Limnology and Oceanography* 23(7):1168-1182
- Neitsch S L, Arnold J G, Kiniry J R, Williams J R (2005) Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2005. Soil and Water Research Laboratory-Agricultural Research Service, Blackland Research Center-Texas Water Resources Institute Technical Report No.406
- Neitsch S L, Arnold J G, Kiniry J R, Williams J R (2009) Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2005. Soil and Water Research Laboratory-Agricultural Research Service, Blackland Research Center-Texas Water Resources Institute Technical Report No.406
- Abbaspour K C (2011) User manual for SWAT-CUP4. SWAT calibration and uncertainty analysis programs, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag, Duebendorf, Switzerland, from <http://www.eawag.ch>
- Akbari M, Bahremand A, Najafi Nejad A (2012) Sensitivity analysis of parameters of SWAT model in Chehelchay watershed in Guilan province. *Journal of Agricultural Science and Technology, Water and Soil Science* 67(18):279-287 (In Persian)
- Akhavan S, Abedi-Koupai J, Mousavi S F, Afyuni M, Eslamian S S, and Abbaspour K (2010) Application of SWAT model to investigate nitrate leaching in Hamadan-Bahar Watershed, Iran. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 139:675-688
- Agriculture Organization of Zanjan Province (2013) Report on the efficiency of irrigation systems in Zanjan province. Agriculture Organization of Zanjan Province (In Persian)
- Antje U, Martin V (2009) Application of the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to predict the impact of alternative management practices on water quality and quantity. *Agricultural Water Management* 96:1207-1217
- Arnold J G, Srinivasan R, Muttiah S, Williams J R (1998) Large area hydrologic modeling and assessment. Part I Model development, *Journal American Water Resource* 34(1):73-89
- Asadi M (2005) Non-point water pollution, problems and perspectives. Second National Conference on Watershed Management and Water and Soil Management March 3-4 Kerman (In Persian)
- Bagherzadeh A, Pirouz B, Sabeti Raftar A (2009) Effects of urban, industrial and agricultural pollutants on water quality in Goharood river in Rasht County, Guilan Province. 8th International River Engineering Seminar, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran (In Persian)
- Beven K, Binley A (1992) The future of distributed models-model calibration and uncertainty prediction. *Hydrology Process* 6:279-298
- Farahmand A R, Fardad H, Liaghat A, Khashi A (2006) The effect of water and nitrogen amounts on quantity and quality of tomato under deficit irrigation. *Iranian Journal Agriculture Science*, 37:273-279
- Faramarzi M, Abbaspour K C, Schulin R, Yang H (2009) Modelling blue and green water resources availability in Iran. *Hydrology Process* 23:486-501
- Faramarzi M, Yang H, Schulin R, Abbaspour K C (2010) Modeling wheat yield and crop water productivity in

- of soil-plant systems, Proc Workshop, Wageningen PUDOC, 192-221
- Van Griensven A, Meixner T (2006) Methods to quantify and identify the sources of uncertainty for river basin water quality models. *Water Science Technology* 53:51-59
- Vrugt J A, Gupta H V, Bouten W, Sorooshian S (2003) A shuffled complex evolution metropolis algorithm for optimization and uncertainty assessment of hydrologic model parameters. *Water Resources Research* 39(1201):1-18
- Williams J R (1980) SPNM, a model for predicting sediment, phosphorus, and nitrogen yield from agricultural basins. *Water Resources Bulletin* 16(5):833-848
- Wu Y, Chen J (2013) Investigating the effects of point source and nonpoint source pollution on the water quality of the East River (Dongjiang) in South China. *Ecological Indicators* 32:294-304
- Yang Q, Meng F R, Zhao Z, Chow T L, Benoy G, Rees H W, Bourque C P A (2009) Assessing the impact of flow diversion terraces on stream water and sediment yields at a watershed level using SWAT model. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 132:23-31
- Yang J, Reichert P, Abbaspour K C, Xia J, Yang H (2008) Comparing uncertainty analysis techniques for a SWAT application to Chaohe Basin in China. *Journal of Hydrology* 358:1-23
- Zahabion B, Goodarzi M, Massah Bouwani A (2010) Application of SWAT model in basin runoff estimation in future periods affected by climate change. *Journal of Climate Research* 1:45-60 (In Persian)
- Pasandideh Fard Z, Salman Mahini A, Mirkarimi H (2012) Assessing river water quality improvement by Best Management Practices (BMP) and modeling techniques. Second Conference on Environmental Planning and Management, 26th and 27th of May, Tehran University, Tehran (In Persian)
- Ranjbar Jafar Abadi A, Amoshahi S (2010) Water Pollution and Maroon river water quality estimation using the NSFQI index (Case Study). First National Conference on Health, Environment and Sustainable Development, 11th and 12th March, Islamic Azad University of Bandar Abbas, Bandar Abbas (In Persian)
- Reddy K R, Khaleel M R, Overcash, Westerman P W (1979) A nonpoint source model for land areas receiving animal wastes. II Amonia volatilization, *Trans, ASAE*, 22:1398-1404
- Rostamian R, Jaleh A, Afyuni M, Mousavi S F, Heidarpour M, Jalalian A, Abbaspour K C (2008) Application of a SWAT model for estimating runoff and sediment in two mountainous basins in central Iran. *Hydrological Sciences Journal* 53(5):977-988
- Schuol J, Abbaspour K C, Sarinivasan R, Yang H (2008a) Estimation of freshwater availability in the West African sub-continent using the SWAT hydrologic model. *Journal of Hydrology* 352:30-42
- Schuol J, Abbaspour K C, Yang H, Srinivasan R, Zehnder A J B (2008b) Modelling blue and green water availability in Africa. *Water Resources Research* 44:8-26
- Seligmand N G, Van Keulen H (1981) PARPAN: A simulation model of annual pasture production limited by rainfall and nitrogen. In: M J Frissel and J A van Veeds (eds) *Simulation of nitrogen behavior*