Archive of SID

یازدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
توسعه مشارکتی در مدیریت حوزه‌های آبخیز
11th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran
Participatory Development in Watershed Management
۳۱ فروردین لغایت ۲ اردیبهشت ۱۳۹۵
April 19-21, 2016

# شبیه سازی کیفیت آب حوزه آبخیز سد کرج( امیر کبیر) با استفاده از مدل SWAT

**مرضیه بیاره ، علی طالبی، سید زین العابدین حسینی**
گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

**چکیده**

با شناخت ویژگی های کیفی آب می توان برای بهره برداری هر چه بهتر از منابع آب یک منطقه برنامه ریزی کرد. از آنجایی که اندازه گیری شاخص های کیفیت آب دارای هزینه زیادی می باشد می توان از مدل های شبیه سازی کیفیت آب استفاده کرد از جمله این مدل ها، مدل نیمه توزیعی SWAT است. 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 ۰/۴۰ و۰/۴۰ و در دوره اعتبارسنجی ۰/۳۹ و ۰/۵۳ به دست آمد . نتایج نشان دهنده رضایت بخش بودن عملکرد مدل SWAT در شبیه سازی کیفیت آب حوزه آبخیز سد کرج( امیر کبیر) می باشد. به طور کلی نتایج نشان داد که می توان از مدل SWAT برای شبیه سازی کیفیت آب در آینده و برنامه ریزی های مدیریتی حوزه آبخیز استفاده نمود.

**کلمات کلیدی: کیفیت آب، SWAT، SUFI-2**

**مقدمه**

کشور ایران در ناحیه خشک و نیمه خشک قرار گرفته است که میزان بارندگی و حجم آب های شیرین در این ناحیه به اندازه کافی نیست. رشد بی رویه جمعیت، گسترش صنایع و نیاز به آب برای تامین غذا موجب رشد تصاعدی آلودگی آب و محدودتر شدن منابع آبی شده است. پایش تغییرات مکانی و زمانی کیفیت منابع آب از مهترین اولویت‌های حفاظت محیط‌زیست و از عامل‌های مهم در دستیابی به توسعه‌ی پایدار در بیش‌تر جوامع است (آذرمدل، ۱۳۸۹). برای شبیه سازی کیفیت آب می توان از مدل نیمه‌توزیعی SWAT است که برای سرویس تحقیقات کشاورزی ایالات متحده به منظور بررسی اثر اقدامات مدیریتی تهیه شده است (نیچ و همکاران، ۲۰۰۵) استفاده کرد. SWAT مخفف عبارت Soil and Water Assessment Tool و مدلی در مقیاس حوزه آبخیز می‌باشد که توسط دکتر جف آرنولد[۱۷] و همکاران در سال ۱۹۹۵ ارائه شده است. اخوان و همکاران (۲۰۱۰) از مدل SWAT برای بررسی آبشویی نیترات در حوزه آبخیز همدان-بهار استفاده کردند. هدف از این مطالعه بررسی تنوع زمانی و مکانی آبشویی نیترات در حوضه همدان-بهار بود. مدل ارائه شده ونتایج آن پتانسیل ارائه یک پایگاه قوی برای در نظر گرفتن سناریوهای مختلف برای کاهش آبشویی نیترات و پیشنهاد یک BMP (بهترین عمل مدیریت) در حوزه آبخیز همدان-بهار دارد.

جمشیدی و همکاران (۲۰۱۰) آلودگی منابع نیترات نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای در حوضه رودخانه جاجرود را با مدل SWAT مدل‌سازی کردند. مطالعه حاضر به نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی منبع نقطه‌ای مختلف و اثرات منبع غیرنقطه‌ای در سرنوشت و

[1] Jeff Arnold.



www.SID.ir

Archive of SID



انتقال نیترات در حوضه جاجرود با استفاده از مدل SWAT می‌پردازد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که فاضلاب نشتی و سیستم‌های سپتیک معیوب از منابع اصلی آلودگی نیترات در سیستم رودخانه جاجرود می‌باشد.

شفرد[18] و همکاران (۱۹۹۹) از مقایسه مدل SWAT با ۱۴ مدل دیگر در رابطه با شبیه‌سازی تلفات فسفر نتیجه می‌گیرند که این مدل (در حوضه‌های کشور انگلستان) بهترین مدل برای شبیه‌سازی تلفات فسفر می‌باشد. آن‌ها بزرگ مقیاس بودن، گسترده بودن و استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) را از مزایای این مدل می‌دانند.

عباسپور و همکاران (۲۰۰۷) از مدل SWAT برای شبیه‌سازی کیفیت آب، رسوب و چرخه غذایی در حوزه آبخیز آلپ استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل برای شبیه‌سازی چرخه کلی فسفر و نیترات و رسوب واقعا خوب است و در صورت قابلیت دسترسی و کیفیت خوب داده‌ها استفاده از مدل SWAT برای شبیه‌سازی جریان و رسوب عملی و یک پیشرفت برای مطالعه مدیریت حوزه آبخیز است.

پایسیناراس[19] و همکاران (۲۰۱۰) کیفیت آب را در حوضه متوسط با استفاده از مدل ارزیابی خاک و آب (SWAT) مدل‌سازی کردند. مطالعه نشان داد که مدل SWAT اگر به درستی اعتبارسنجی شده باشد می‌تواند به طور موثر در امتحان کردن حالات مختلف مدیریت در حوضه مدیترانه استفاده شود. نرم‌افزار SWAT با پشتیبانی تکنولوژی GIS یک ابزار بسیار انعطاف‌پذیر و قابل اعتماد برای تصمیم‌گیری آب است.

عباسپور و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از مدل SWAT کیفیت آب و هیدرولوژی درمقیاس بزرگ برای اروپا مدل‌سازی کردند. در این تحقیق ابتدا قسمت‌های مختلف منابع آب شبیه‌سازی و عملکرد محصول و کیفیت آب در هر واحد پاسخ هیدرولوژیک (HRU) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که مدل SWAT یک مدل جامع است و می‌تواند در هر منطقه بزرگ مقیاس در سراسر جهان استفاده شود.

با توجه به نتایج مطلوب شبیه‌سازی‌های مطالعات پیشین و توانایی بالای مدل SWAT در شبیه‌سازی کیفیت آب، پژوهش حاضر به دنبال شبیه‌سازی کیفیت آب حوزه آبخیز سدکرج (امیر کبیر) با استفاده از مدل SWAT2009 می‌باشد.

## مواد و روش ها

### منطقه مورد پژوهش

حوزه آبخیز سد کرج (امیر کبیر) با وسعتی حدود۷۲۱۰۰ هکتار در فاصله تقریبی ۲۰-۶۰ کیلومتری شمال و شمال غرب تهران بین طول جغرافیایی ´30 °51 تا ´35 °51 و عرض جغرافیایی ´53 °35 تا ´11 °36 واقع شده است (شکل ۱). مهمترین جریانات سطحی حوضه، رودخانه‌های کرج، شهرستانک، ولایت رود، وارنگ رود، آزادبار، سیرا می‌باشد. حوضه سد کرج (امیر کبیر) تامین کننده قسمت مهمی از احتیاجات آب و برق مصرفی شهر تهران و همچنین منبع آب مصرفی جهت آبیاری ۲۱۰۰۰ هکتار اراضی کشاورزی در دشت کرج می‌باشد از این رو یکی از مهم‌ترین آبخیزهای کشور محسوب می‌شود. میانگین میزان بارندگی در حوزه آبخیز سد کرج از ۵۹۵ میلی‌متر در زیرحوضه شهرستانک تا ۳۷۶ میلی‌متر در محل سد متغیر می‌باشد. درجه حرارت منطقه بر حسب تغییر ارتفاعات متفاوت است. ارقام درجه حرارت در بهمن‌ماه حداکثر ۷+ و حداقل ۱۸ـ درجه و در تیرماه حداکثر ۲۲+ و حداقل ۱۲+ درجه سانتی‌گراد است.

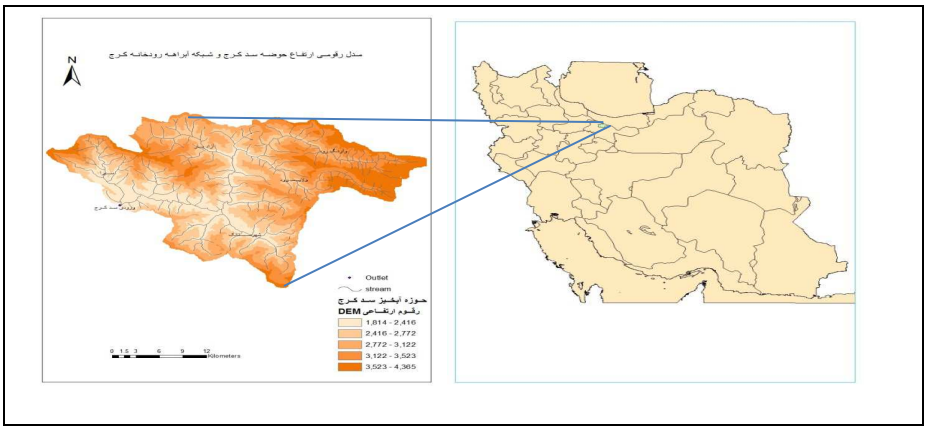
[1] Shepherd .
[2] Pisinaras.



www.SID.ir

Archive of SID






**شکل(۱) موقعیت حوزه آبخیز سد کرج (امیر کبیر) در ایران**

## روش پژوهش

برای شروع کار ابتدا نقشه ها و داده های مورد نیاز تهیه و به فرمت لازم در مدل SWAT تبدیل شدند. محدوده آبخیز و زیرحوزه ها و خصوصیات فیزیکی آبخیز توسط مدل محاسبه شد. در این مرحله، ۲۱ زیرحوضه در محدوده حوزه سد کرج تشکیل شد. بخش هیدرولوژی و بخش فرسایش و رسوب توسط مدل شبیه سازی شد سپس نتایج به دست آمده توسط برنامه SUFI-2 در نرم افزار SWAT-CUP کالیبره شدند. پس از اعتبارسنجی و واسنجی بخش هیدرولوژی و فرسایش و رسوب، به بررسی بخش کیفیت آب پرداخته شد. برای بررسی کیفیت آب اقدام به شبیه سازی و ارزیابی نیترات گردید. نتایج حاصل شده با استفاده از معیار های آماری ضریب ناش-ساتکلیف (NS) و ضریب تبیین ($R^2$) برای هر دو دوره واسنجی و اعتبار سنجی تحلیل آماری شد. معیارهای ارزیابی به صورت روابط(۱) و (۲) محاسبه می شود:

$$NSE = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^{n} (o_i - p_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} (o_i - \overline{o})^2} \right] \quad (۱)$$

$$R^2 = \left[ \frac{\left( \sum_{i=1}^{n} (o_i - \overline{o}) \times (p_i - \overline{p}) \right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (o_i - \overline{o})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (p_i - \overline{p})^2}} \right]^2 \quad (۲)$$

که در این روابط؛ n: تعداد مشاهدات، $o_i$: مقادیر مشاهده شده، $p_i$: مقادیر شبیه‌سازی شده، $\overline{o}$: میانگین مقادیر مشاهده شده، $\overline{p}$: میانگین مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشد.

## نتایج و بحث

در این پژوهش ابتدا بخش هیدرولوژی و فرسایش و رسوب شبیه سازی و با استفاده از الگوریتم SUFI-2 آنالیز حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی شدند. پس از آن نیترات شبیه سازی شد که برای افزایش دقت شبیه‌سازی و بهبود نتایج اقدام به واسنجی، آنالیز حساسیت و اعتبارسنجی مدل گردید. از داده‌های مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶ برای واسنجی و ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ برای

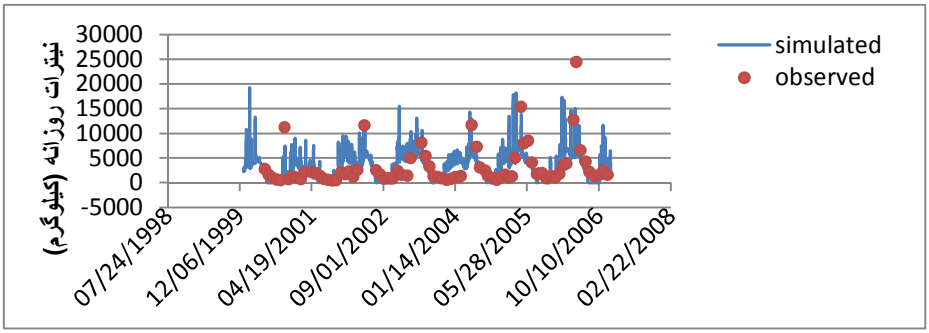


www.SID.ir

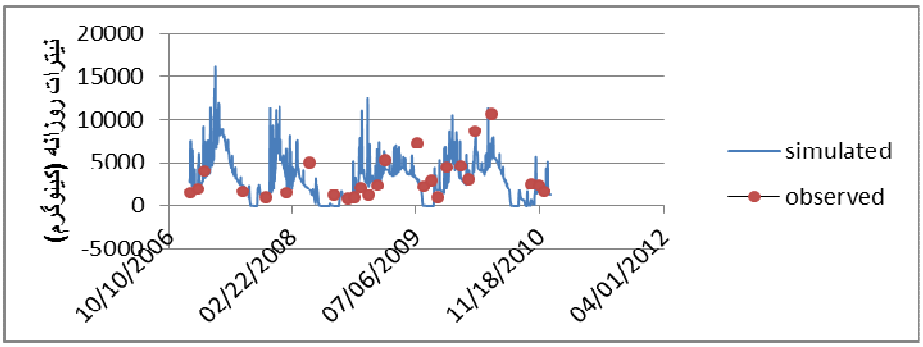
Archive of SID



اعتبارسنجی نیترات استفاده شد. شکل (۲) و (۳) ، مقادیر بار نیترات مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره واسنجی و اعتبارسنجی را نشان می‌دهد. شاخص‌های ارزیابی برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی در جدول (۱) ارائه شده است.




**شکل (۲) بار نیترات شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دوره واسنجی**




**شکل (۳) بار نیترات شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دوره اعتبارسنجی**

**جدول (۱) شاخص‌های ارزیابی کارایی مدل برای شبیه‌سازی نیترات**

| واسنجی | | اعتبارسنجی | |
|---|---|---|---|
| NS | $R^2$ | NS | $R^2$ |
| ۰/۴۰ | ۰/۴۰ | ۰/۳۹ | ۰/۵۳ |



www.SID.ir

Archive of SID



ضریب نش- ساتکلف در دوره واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب برابر با ۰/۴۰ و ۰/۳۹می‌باشد که نشان‌دهنده رضایت‌بخش بودن مدل است. ضریب تبیین ($R^2$) در دوره واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب برابر با ۰/۴۰ و ۰/۵۳ است که بیانگر همبستگی تقریبا خوب بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده می‌باشد.

**نتیجه گیری**

بر اساس نتایج، ضریب نش- ساتکلیف(NS) و ضریب تبیین ($R^2$) بین داده های نیترات مشاهده ای و شبیه سازی شده در دوره واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۴۰ - ۰/۴۰ و ۰/۳۹- ۰/۵۳ بدست آمد که نشان دهنده رضایت بخش بودن مدل SWAT در شبیه سازی کیفیت آب حوزه آبخیز سد کرج می باشد.

به طور کلی با توجه به عملکرد مناسب مدل SWAT در شبیه سازی کیفیت آب حوزه آبخیز سد کرج می توان از این مدل برای شبیه سازی تغییرات کیفیت آب در آینده و برنامه ریزی های مدیریتی حوزه آبخیز استفاده نمود و همچنین می توان با استفاده از نتایج به دست آمده سناریوهای مختلف مدیریتی برای کاهش بار نیترات و انتخاب بهترین سناریو و روش مدیریتی استفاده کرد.

**منابع**

آذرم دل، ح.، مصطفی زاده، ر.، قاسمی، الف.، (۱۳۸۹)، ارزیابی شبکه ی ایستگاه های سنجش کیفیت آب سطحی رودخانه گرگانرود استان گلستان، *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال چهارم، شماره ۱۰، ۵۸-۶۱*

Abbaspour. c, Yang. J, Maximov. I, Siber. R, Bogner. K, Mieleitner. J, Zobrist. J, Srinivasan. R, 2007, Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT, *Journal of Hydrology333, 413-430*

Abbaspour. K.C, Rouholahnejad. E, Vaghefi. S, Srinivasan. R, Yang. H, Klve. B, 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 (2015) 733–752*

Akhavana. S, Abedi-Koupaia. J, Mousavia. S.F, Afyunib. M, Eslamiana. S.S, Abbaspour. K, 2010, Application of SWAT model to investigate nitrate leaching in Hamadan–Bahar Watershed, Iran, *Agriculture, Ecosystems and Environment 139 (2010) 675–688*

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

Jamshidi. M, Tajrishy. M, Maghrebi. M, 2010, Modeling of point and non-point source pollution of nitrate with SWAT in the Jajrood river watershed, Iran, *International Agricultural Engineering Journal, 19, No. 2 23*

Neitsch. S.L, Arnold. J.G, Kiniry. J.R, Williams, J.R. 2005. Soil and water assessment tool documentation, Version 2005, 494p.

Pisinaras.V, Petalas.CH, Gikas.G, Gemitzi.A, Tsihrintzis.V, 2010, Hydrological and water quality modeling in a medium-sized basin using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT), Desalination 250, 274-286

Shepherd. B, Harper. H, Millington. A, 1999. Modelling catchment-scale nutrient transport to watercourses in the U.K, *Hydrobiologia 395/396: 227 237,1999.*



www.SID.ir