

## برآورد میزان رواناب حوضه آبریز لنبران چای در استان آذربایجان شرقی: کاربرد مقایسه‌ای روش‌های واسنجی و تحلیل عدم قطعیت مدل SWAT

محمدحسین رضائی مقدم<sup>۱</sup> - استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران  
میراسدالله حجازی - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران  
عبدالله بهبودی - دانشجوی ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۹/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۴/۲۵

### چکیده

شبیه‌سازی جریان رودخانه‌ها، پیش‌بینی رفتار هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز و درک درست از مؤلفه‌های مختلف چرخه هیدرولوژیکی برای برنامه‌ریزی و حفاظت از منابع آبی ضرورت دارد. از طرف دیگر، نبود برآورد مناسب رواناب حاصل از بارش در حوضه‌های آبریز، مدیریت بهینه منابع آب به‌ویژه مدیریت بهره‌برداری از سدها و شبکه آبرسانی را دچار مشکل می‌نماید. در این پژوهش، بیلان آبی حوضه آبریز لنبران با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی شد. برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT از دو روش GLUE و SUFI-2 استفاده شد. نتایج حاصل با استفاده از چهار معیار ارزیابی مدل‌ها شامل معیار نش ساتکلیف، ضریب تبیین، نسبت باقیمانده میانگین مربعات خطا به انحراف از معیار داده‌های مشاهداتی و دو فاکتور p-factor و r-factor مقایسه شدند. نتایج حاصل از کاربرد این دو روش نشان داد که روش SUFI-2 دارای الگوریتم موثرتری برای واسنجی و تعیین عدم قطعیت مدل در این حوضه است. بر این اساس با اطمینان بیشتری می‌توان از مدل SWAT واسنجی شده با الگوریتم SUFI-2 در مدیریت منابع آب، کمی‌سازی سناریوهای تغییر اقلیم و تغییر کاربری در داخل حوضه استفاده کرد.

**کلیدواژه‌ها:** لنبران چای، روش SUFI-2، واسنجی، مدل SWAT.

## ۱- مقدمه

حفاظت از منابع آب و خاک از جمله راهکارهای مهم مدیریت اصولی و صحیح حوضه‌های آبریز است؛ بنابراین فرسایش و نگرانی‌های مربوط به تغییر کاربری، اهمیت پیش‌بینی اثرات این اقدامات را بر منابع آب خاک بیشتر نمایان می‌کند. از این جهت ضرورت مدل‌سازی و ارزیابی نتایج آن‌ها ضروری می‌باشد. اغلب سازندهای تشکیل دهنده حوضه آبریز لبران چای به علت ویژگی‌های خاص لیتولوژی دارای حساسیت بالایی نسبت به فرسایش بوده و عمدتاً از نفوذپذیری کمتری برخوردارند و باعث ایجاد رواناب سطحی می‌گردد. همچنین اختلاف ارتفاع زیاد حوضه، کمبود یا فقدان پوشش گیاهی، غیر اصولی بودن عملیات کشت، تغییر مداوم کاربری اراضی، آتش زدن پوشش گیاهی، چرای بیش از حد و لگدکوب شدن خاک توسط احشام این امر را تشدید می‌کند؛ بنابراین برای مدیریت بهتر اطلاع از بیلان آبی حوضه‌های آبریز ضروری می‌باشد و به دلیل وقت‌گیر و پرهزینه بودن اندازه‌گیری اجزای بیلان آب، مدل‌سازی پدیده‌های هیدرولوژی در حوضه آبریز می‌تواند راه‌حل بهینه‌ای برای آن‌ها باشد (زارع کاریزی و طالبی، ۱۳۹۵)؛ بنابراین آگاهی دقیق از رفتار هیدرولوژیک حوضه‌های آبریز می‌تواند به شبیه‌سازی بهتر این محیط به منظور کنترل مؤلفه‌های اصلی بیلان آب کمک شایانی نماید (مؤذن‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). از طرفی شبیه‌سازی فرآیندهای آب‌شناختی به دلیل هزینه‌های زیاد برای اندازه‌گیری و محدود بودن داده‌های در دسترس از اهمیت خاص و ویژه‌ای برخوردار است (Silva et al., 2007, Ndomba et al., 2008, Shimelis et al., 2010)؛ اما کمبود آمار، اطلاعات و منابع از موانع اصلی مسیر هر پژوهش می‌باشد بنابراین به روشی احتیاج است تا به وسیله آن آمار موجود را برای حوضه‌های آبریز بدون آمار یا مکان‌های تعمیم داد که اندازه‌گیری در آن‌ها امکان‌پذیر نیست (Pisinaras et al., 2010)) مدل‌های زیادی برای شرح و پیش‌بینی هیدرولوژی آبریز پیشنهاد شده است که از نظر اهداف و مقیاس زمانی و مکانی بسیار متفاوت هستند (Setegn et al., 2010)) مدل‌های نیمه توزیعی هیدرولوژیکی مانند مدل SWAT اخیراً به‌طور گسترده‌ای برای مدیریت حوضه آبریز به کار گرفته می‌شوند (عینی و همکاران، ۱۳۹۷). توانایی مدل SWAT در شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی پیچیده حوضه‌های آبریز در محیط GIS این مدل را نسبت به مدل‌های یکپارچه که در آن‌ها واحدهای کاربری بزرگ‌تر، مبنای عمل هستند، متمایز ساخته است (اکبری، ۱۳۹۲). از میان داده‌های ورودی مدل SWAT، نقشه‌های توزیعی خاک و کاربری اراضی به دلیل در دسترس بودن، حساسیت کمتر مدل به تغییرات این نقشه‌ها و همچنین تغییرات نسبتاً کم آن در طول زمان و اساساً به دلیل پیشرفت‌های صورت گرفته در سنجش‌ازدور با اطمینان بالایی در کارهای مدل‌سازی به کار گرفته می‌شوند (Grusson et al., 2017). مدل SWAT یکی از مدل‌های است که تحقیقات گسترده‌ای در سطح جهان و ایران در زمینه‌های مختلف هیدرولوژی و مدیریت حوضه‌های آبریز صورت گرفته است که به برخی از کارهای انجام شده در ایران و جهان اشاره می‌شود.

(Sun & Seidou, 2015) در پژوهشی با استفاده از مدل SWAT نشان دادند که واسنجی یک مدل هیدرولوژیکی با استفاده از الگوریتم‌های متداول واسنجی خودکار لزوماً دقت مناسبی در پیش‌بینی متغیرهای هیدرولوژیکی در دوره اعتبارسنجی به وجود نخواهد آورد. (فرامرزی و همکاران، ۲۰۰۹) با استفاده از مدل SWAT اجزای بیلان آب را در کل ایران شبیه‌سازی کردند. سپس ارتباط آن‌ها را با تولید گندم با در نظر گرفتن عملکرد سدها و اقدامات آبیاری اراضی کشاورزی بررسی و مطالعه نمودند. (عباسپور و همکاران، ۲۰۰۷) برای شبیه‌سازی فرآیندهای مؤثر بر بیلان آب، رسوب و عناصر غذایی در حوضه آبریز رودخانه تور کشور سوئیس از مدل SWAT استفاده کردند. نتایج نشان داد که شبیه‌سازی رواناب و نترات بسیار خوب و شبیه‌سازی رسوب و فسفر نسبتاً خوب صورت گرفته است. (Li et al., 2007) در تحقیق خود در حوضه‌ای در غرب آفریقا با استفاده از مدل SWAT نشان دادند که تغییر کاربری حوضه‌ها از جنگل، مرتع و بوته زار به اراضی کشاورزی و یا مناطق شهری سبب تغییر واکنش هیدرولوژی حوضه می‌گردد. بیات و همکاران (۱۳۹۷) از مدل SWAT برای جذب داده - پیش‌بینی استفاده نمودند نتایج نشان می‌دهد که روند همزمان واسنجی - پیش‌بینی با استفاده از الگوریتم EnKF برای این مدل باعث دقت پیش‌بینی می‌شود. گودرزی و فاتحی فر (۱۳۹۸) با استفاده از مدل SWAT در اثر تغییرات اقلیمی تحت سناریو RCP 8.5 به پهنه‌بندی سیلاب در حوضه آذرشهرچای پرداختند. شفیع مطلق و همکاران (۱۳۹۷) تأثیر کاربری اراضی را بر رواناب رودخانه مارون با استفاده از مدل SWAT بررسی نمودند نتایج نشان داد که در منطقه سناریوی بدبینانه اتفاق است و با ادامه روند تخریبی مقادیر مختلف رواناب افزایش و نفوذپذیری و آب‌گذری به آبخوان‌های سطحی و عمیق کاهش می‌یابد. بصیری و همکاران (۱۳۹۳) پژوهشی با عنوان تأثیر مقیاس نقشه خاک بر مدل SWAT در شبیه‌سازی روند جریان رواناب ماهانه در حوضه آبریز تویسرکان انجام دادند. نتایج نشان داد که تنوع خاک‌های منطقه مطالعاتی نقش مهمی در نتایج مدل ایفا می‌کند.

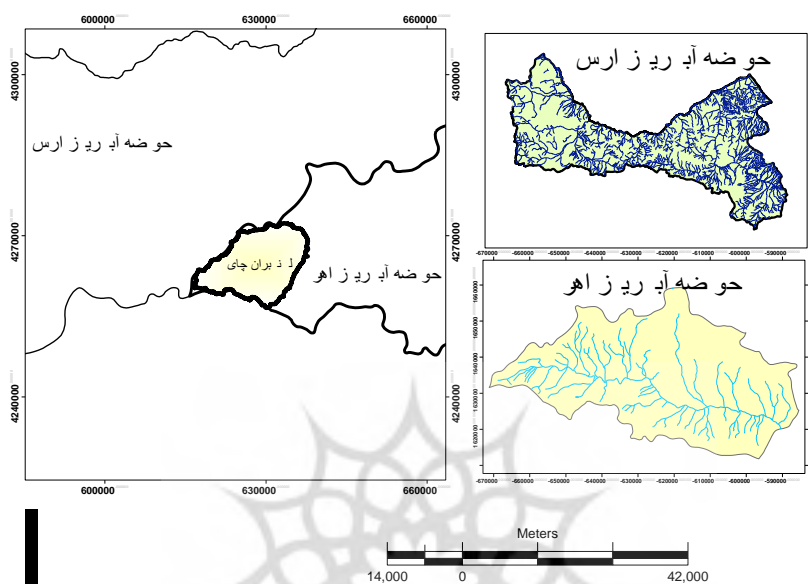
(عارفی اصل و همکاران، ۱۳۹۲؛ بسالت پور و همکاران، ۱۳۹۳؛ نظری پویا و همکاران، ۱۳۹۴؛ ناصرآبادی و همکاران، ۱۳۹۵؛ غلامی و همکاران، ۱۳۹۶؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۶؛ اعلمی و همکاران، ۱۳۹۷؛ حبیبی و همکاران، ۱۳۹۷) در حوضه‌های متفاوت در نقاط مختلف ایران با مدل SWAT به شبیه‌سازی رواناب پرداختند. به‌طور کلی هدف از انجام این پژوهش‌ها عمدتاً برای برآورد میزان رواناب و رسوب جهت بررسی تغییرات کاربری و مدیریت بهینه منابع آبی در حوضه آبریز بوده است.

## ۲- مواد و روش

### ۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

زیر حوضه لنبران در سمت ضلع شرقی رودخانه اهرچای واقع شده است. مساحت این زیر حوضه ۲۰۱۱۸ هکتار می‌باشد و سرشاخه اصلی رودخانه اهرچای محسوب می‌شود. محدوده مورد مطالعه در بین مختصات

جغرافیایی ۱۷° ۲۰' تا ۴۶° ۴۵' طول‌های شرقی و ۲۶° ۲۶' تا ۳۸° ۲۳' عرض‌های شمالی قرار گرفته است. این حوضه از نظر تقسیمات کشوری در دهستان سینا از بخش مرکزی شهرستان ورزقان از توابع استان آذربایجان شرقی واقع شده است (شکل ۱).



شکل شماره ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه.

## ۲-۲- مدل SWAT

SWAT نمونه‌ای از مدل‌های فیزیک پایه است که با حل معادلات اساسی فیزیک به شبیه‌سازی فرآیندهای سیستم آبریز می‌پردازد. این مدل به لحاظ مقیاس فضایی نیمه توزیعی و از نظر زمانی مدلی پیوسته است. کوچک‌ترین واحد کاری در این مدل واحد واکنش هیدرولوژیک HRU است که از ترکیب نقشه‌های طبقات شیب، خاک و کاربری اراضی حاصل می‌شود. آب موجود در خاک، رواناب سطحی، رسوب و عناصر شیمیایی ابتدا برای هر HRU و سپس هر زیر حوضه و در آخر کل حوضه آبریز محاسبه می‌شود. شبیه‌سازی سیستم آبریز در مدل SWAT را می‌توان به دو بخش کلی تقسیم نمود: فاز زمینی و فاز آبی، فاز زمینی مربوط به فرآیندهای سطح زمین و ورود آب، رسوب و عناصر شیمیایی به آبراهه اصلی هر زیر حوضه است. فاز آبی فرآیندهای آبراهه‌ها و کانال‌های جریان شامل حرکت آب، رسوب و مواد شیمیایی را شبیه‌سازی می‌کند (Neitch et al., 2005). شبیه‌سازی بخش زمینی چرخه هیدرولوژیک در مدل SWAT بر پایه رابطه بیلان آبی رابطه (۱) صورت می‌گیرد.

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در این معادله  $SW_t$  مقدار نهایی رطوبت خاک (میلی متر)،  $SW_0$  مقدار اولیه رطوبت خاک (میلی متر)،  $t$  زمان (روز)،  $R_{day}$  مقدار بارش در روز  $i$  ام (میلی متر)،  $Q_{surf}$  مقدار رواناب در روز  $i$  ام (میلی متر)،  $E_a$  مقدار تبخیر و تعرق در روز  $i$  ام (میلی متر)،  $W_{seep}$  مقدار نشست که در روز  $i$  ام از نیمرخ خاک وارد منطقه غیر اشباع می شود (میلی متر)،  $Q_{gw}$  مقدار آب بازگشتی در روز  $i$  ام (میلی متر) می باشد. در مدل SWAT پروفیل خاک به چندین لایه تقسیم می شود و فرآیندهای حرکت آب در خاک شامل رواناب سطحی، نفوذ، تبخیر، جذب توسط گیاهان، جریان جانبی و نفوذ عمقی به سفره های آبی کم عمق و عمیق می باشد. شبیه سازی رواناب سطحی با روش اصلاح شده SCS<sup>۱</sup> (در صورت وجود بارش روزانه) یا روش گرین - آمپت<sup>۲</sup> (در صورت وجود داده های بارش ساعتی) انجام می شود. برای شبیه سازی حرکت آب در داخل لایه های خاک از روش روندیابی مخزن استفاده می شود. جریان اشباع به صورت مستقیم و جریان غیر اشباع بین لایه های خاک به طور غیرمستقیم با محاسبه جذب گیاهی و تبخیر از سطح خاک شبیه سازی می شود. جریان آب به سمت لایه های پایین زمانی اتفاق می افتد که میزان آب در یک لایه از خاک از ظرفیت مزرعه تجاوز کند و لایه زیرین نیز غیر اشباع باشد. جریان جانبی با استفاده از روش روندیابی مخزن جنبشی (Solan et al., 1983). بر مبنای درجه شیب، طول شیب و هدایت هیدرولیکی اشباع، مدل سازی می شود. ما بقی آب نفوذ یافته، به سفره های کم عمق زیر زمینی وارد می شود. برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل، روش های هارگریوز - سامانی<sup>۳</sup>، پریستلی - تیلور<sup>۴</sup> و پنمن - مانتیت<sup>۵</sup> موجود می باشد. مدل SWAT تبخیر از سطح خاک و تبخیر از گیاه را به صورت مجزا مطابق روش ریچی (Ritchie, 1972) محاسبه می کند. تبخیر از سطح خاک با یک تابع نمایی از عمق خاک و میزان آب خاک برآورد می شود. تبخیر از گیاهان نیز با یک تابع خطی از تبخیر و تعرق پتانسیل، شاخص سطح برگ، عمق ریشه و میزان آب خاک مدل سازی می شود. میزان رطوبت لایه های مختلف خاک در هر زمان و مکان با در نظر گرفتن مجموع عوامل فوق برآورد می شود. پس از تعیین رواناب سطحی با روش شماره منحنی یا گرین - آمپت، مقدار رواناب وارد شده به کانال آبراهه محاسبه می شود. معادله مانینگ<sup>۶</sup> برای تعیین سرعت جریان و روش ذخیره متغیر یا ماسکینگام<sup>۷</sup> برای روندیابی جریان آب در کانال استفاده می شود. در ضمن، تلفات انتقال آب در مسیر کانال و تأخیر زمانی رواناب سطحی برای حوضه های آبریز بزرگ که زمان تمرکز آن ها بیش از یک روز است نیز در نظر گرفته می شود.

1 Soil conservation service

2 Green-Ampt

3 Hargreaves-Sammani

4 Priestly- Tailor

5 Penman-Mantit

6 Manning formula

7 Muskingum Model

## ۲-۲-۱- روش تعیین عدم قطعیت GLUE

این روش اولین بار توسط (Beven & Binley, 1992) به عنوان روشی جدید که معمولاً با مدل‌های شبیه‌سازی زیست‌محیطی به کار می‌رود، معرفی گردید. در این روش عدم قطعیت شامل سه نوع عدم قطعیت داده‌های ورودی، ساختار مدل و عوامل خواهد بود زیرا مقدار تابع درست‌نمایی با مجموعه عوامل در ارتباط بوده و به‌طور ضمنی منشأ همه خطاها و تأثیر کواریانس مقادیر عوامل بر عملکرد مدل را منعکس می‌کند. روش GLUE شامل سه مرحله زیر می‌باشد:

۱- بعد از تعریف تابع درست‌نمای تعمیم یافته  $L(\Theta)$  تعداد زیادی مجموعه عوامل به صورت تصادفی از توزیع احتمال پیشین انتخاب می‌شود و بر اساس مقدار تابع درست‌نمایی و معیار حدی تعریف شده، هر مجموعه از عوامل به صورت هم رفتار یا غیر هم رفتار طبقه‌بندی می‌شود.

۲- هر مجموعه از عوامل هم رفتار بر اساس رابطه زیر وزن دهی می‌شود.

$$w_i = \frac{L(\theta_i)}{\sum_{k=1}^N L(\theta_k)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

۳- در نهایت عدم قطعیت پیش‌گویی بر اساس توزیع تجمعی تابع درست‌نمایی مربوط به عوامل هم رفتار توضیح داده می‌شود.

## ۲-۲-۲- روش تعیین عدم قطعیت SUFI-2

در روش SUFI-2 همانند GLUE سنجش میزان عدم قطعیت در مدل‌سازی شامل عدم قطعیت در ورودی‌ها، مدل مفهومی، عوامل می‌باشد و توسط معیار p-factor ارزیابی می‌گردد که بیانگر درصد داده‌های اندازه‌گیری شده که درون باند عدم قطعیت ۹۵ درصد قرار گرفته‌اند می‌باشد. مراحل انجام کار به صورت زیر می‌باشد:

۱- در مرحله اول تابع هدف  $g(\Theta)$  و بازه عوامل  $\{\Theta_{\text{abs min}}, \Theta_{\text{abs max}}\}$  تعریف می‌شوند.

۲- از روش نمونه برداری لاتین مکعبی در بازه تعریف شده در مرحله قبل، جهت تولید مجموعه عوامل و مقدار تابع هدف به ازای هر مجموعه از عوامل استفاده می‌شود. مقادیر تابع هدف با استفاده از ماتریس ژاکوبین  $J$  و ماتریس و کواریانس عوامل  $C$  مطابق رابطه زیر ارزیابی می‌گردد ( $S_g^2$  واریانس مقادیر تابع هدف از  $m$  بار اجرای مدل و  $n$  تعداد عوامل).

$$J_{ij} = \frac{\Delta g_i}{\Delta \theta_j} \cdot i = 1 \dots c_2^m \cdot j = 1 \dots n \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$C = S_g^2 (J^T J)^{-1}$$

۳- ۹۵ درصد از بازه پیش‌گویی شده هر کدام از عوامل از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\theta_{j.lower} = \theta_j^* - t_v \cdot 0.025 \sqrt{c_{ij}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\theta_{j.upper} = \theta_j^* + t_v \cdot 0.025 \sqrt{c_{ij}}$$

که در آن  $\theta_j^*$  مقدار پارامتر  $\theta_j$  در تابع هدف بهینه می باشد  $v$  درجه آزادی یا  $m-n$  می باشد.

۳- بازه 95ppu محاسبه شده سپس دو شاخص p-factor درصد داده های مشاهداتی که در بازه 95ppu قرار

می گیرند و شاخص r-factor از رابطه زیر محاسبه می شوند:

$$r\text{-factor} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{ij=1}^n (Y_{ij.97.5\%}^M - Y_{ij.2.5\%}^M)}{Q_{obs}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن  $y_{ij.97.5\%}^M$  و  $y_{ij.2.5\%}^M$  معرف مرز بالا و پایین عدم قطعیت 95ppu و  $Q_{obs}$  انحراف از معیار داده های

مشاهداتی می باشد. بهترین نتیجه زمانی خواهد بود که ۱۰۰ درصد داده های اندازه گیری با 95ppu پوشانده شود یا

بعبارت دیگر میزان p-factor برابر ۱ شود و r-factor کمتر و به صفر نزدیک باشد. در صورتی که مقادیر دو شاخص

مذکور رضایت بخش باشد، بازه تعریف شده عوامل به عنوان توزیع احتمال پسین خواهد بود در غیر این صورت بازه

جدید عوامل بر اساس رابطه زیر محاسبه شده و تمام مراحل ۱ تا ۴ تکرار خواهد شد.

رابطه (۶)

$$\theta_{j.min.new} = \theta_{j.lower} - \max\left(\frac{\theta_{j.lower} - \theta_{j.min}}{2}, \frac{\theta_{j.max} - \theta_{j.upper}}{2}\right)$$

$$\theta_{j.max.new} = \theta_{j.upper} + \max\left(\frac{\theta_{j.lower} - \theta_{j.min}}{2}, \frac{\theta_{j.max} - \theta_{j.upper}}{2}\right)$$

در روش SUFI-2 فرض می شود که هر پارامتر ناشناخته به طور یکنواخت در یک دامنه با عدم قطعیت معین

توزیع شده است لازم به ذکر است در هر دو روش، درجه عدم قطعیت از دو فاکتور p-factor و r-factor محاسبه

می گردد.

## ۲-۳- معیارهای عملکرد

جهت تعیین میزان کارایی دو روش از ۴ معیار عملکرد مدل ها استفاده شده است. مقدار  $R^2$  بیانگر ارتباط خطی

بین داده های شبیه سازی شده و واقعی بوده که مقدار آن بین صفر تا یک متغیر است. ضریب NS بزرگی نسبی

واریانس باقیمانده را در مقایسه با واریانس داده های مشاهداتی تعیین می کند. (Motovilov et al., 1999) در بررسی

تعیین عملکرد مدل ها به این نتیجه رسیدند که اگر مقدار ضریب NS بیش از ۰/۷۵ باشد شبیه سازی خوب و مقادیر

بین ۰/۳۶ و ۰/۷۵ شبیه سازی قابل قبول و کمتر از ۰/۳۶ غیر قابل قبول خواهد بود. پارامتر RSR با استاندارد نمودن

مقادیر باقیمانده میانگین مربعات خطا RMSE با استفاده از انحراف معیار مقادیر مشاهداتی به دست می آید. برای این

معیار مقادیر بالای ۰/۷ قابل قبول می‌باشد. معیار  $BR^2$  که در آن ضریب تعیین  $R^2$  در ضریب خط رگرسیون بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ضرب شده است. مقدار بهینه آن یک می‌باشد با افزایش گام زمانی معیارهای ارزیابی سخت‌تر خواهد شد و بالعکس (Moriasi et al, 2007) بر این اساس با توجه به اینکه مدل در گام زمانی روزانه اجرا شده است معیارهای مذکور می‌تواند با سخت‌گیری کمتری نسبت به گام زمانی ماهانه بررسی شود.

#### ۲-۴- داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری، کاربری اراضی، خاک، بارش، دمای حداقل و حداکثر، سرعت باد، تشعشع خورشیدی و رطوبت نسبی روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک اهر، تبخیر سنجی ورزقان و باران سنجی اویلق و دبی ایستگاه کاسین می‌باشد که (جدول ۱).

جدول ۱- داده‌های مورد استفاده در مدل SWAT و واسنجی مدل.

ردیف	داده	منابع	بازه اطلاعاتی	توضیحات	کاربرد
۱	مدل رقمی ارتفاعی	نقشه برداری	****	۱:۲۵۰۰۰	ورودی SWAT
۲	نقشه کاربری اراضی	منابع طبیعی	****	تصاویر لندست	ورودی SWAT
۳	نقشه خاک	منابع طبیعی	****	۱:۲۰۰۰۰	ورودی SWAT
۴	داده‌های هواشناسی	هواشناسی	۲۰۰۰-۲۰۱۶	ایستگاه اهر و ورزقان	ورودی SWAT
۵	داده‌های بارندگی	سازمان آب و هواشناسی	۲۰۰۰-۲۰۱۶	اویلق	ورودی SWAT
۶	دبی ماهانه	سازمان آب	۲۰۰۰-۲۰۱۶	ایستگاه کاسین	واسنجی SWAT

در حوضه آبریز لنبران چای از نقشه خاک و نقشه کاربری اراضی تفصیلی تهیه شده توسط منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی استفاده شده است براساس این نقشه‌ها در کل حوضه هفت کلاس بافت خاک قابل تفکیک می‌باشد. همچنین براساس نقشه کاربری اراضی، شش طبقه کاربری اراضی در منطقه شناسایی گردید. حوضه مورد مطالعه به ۱۷ زیر حوضه و ۴۶۹ واحد هیدرولوژیکی تقسیم گردید. از سال آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۳ برای گرم کردن مدل از ۱۰ سال برای واسنجی و ۴ سال برای اعتبار سنجی استفاده شده است.

#### ۵- نتایج و بحث

پس از پارامتر سازی و ورود داده‌ها، شبیه‌سازی برای یک دوره ۱۷ ساله از ۱ ژانویه ۲۰۰۰ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۱۶ بر اساس گام زمانی ماهانه صورت گرفت. به منظور تعیین درجه حساسیت پارامترهای جریان در مدل SWAT با استفاده از دو روش SUFI-2 و GLUE حساسیت سنجی برای ۲۲ پارامتر انتخابی، انجام گردید. با استفاده از نتایج صحت



سنجی در مورد حذف پارامترهایی که دارای درجه حساسیت کمتر می‌باشند از فرآیند واسنجی تصمیم‌گیری می‌شود که در نهایت پارامترهای با درجه حساسیت کمتر حذف گردید و ۱۵ پارامتر که حساسیت بیشتری داشتند انتخاب گردید. بین ۱۵ پارامتر حساس مدل SWAT به عوامل چگالی توده خاک، هدایت هیدرولیکی خاک در حالت اشباع، ضریب تبخیر آب زیر زمینی، ثابت تخلیه جریان از کانال، درجه حرارت ریزش برف، درجه حرارت ذوب برف حساسیت بیشتری دارد. مهم‌ترین عواملی که برای واسنجی و تعیین عدم قطعیت مدل استفاده شده است به همراه مقادیر اولیه و مقدار واسنجی شده در (جدول ۲) آورده شده است. نتایج نهایی معیارهای ارزیابی مدل در دوره واسنجی و اعتبار سنجی رواناب در (جدول ۳) ارائه شده است. طبق نظر (Moriasi et al, 2007)، (Ayele et al., 2017)، کرمی و خطیبی (۱۳۹۸) اگر ضریب کارایی مدل نش - ساتکلیف در ارزیابی مدل بین ۰/۷۵ - ۰/۶۵ باشد نتیجه شبیه‌سازی خوب است (جدول ۴). همچنین با مقایسه ضریب تبیین بین رواناب واقعی و شبیه‌سازی شده در دوره واسنجی و اعتبار سنجی می‌توان گفت رابطه معنی دار و خوبی بین آن‌ها وجود دارد که این موضوع با نتایج رضا زاده و همکاران (۱۳۹۷)، عینی و همکاران (۱۳۹۷) و محمدی و همکاران (۱۳۹۶) مطابقت دارد. هر چند کاربرد روش SUFI-2 آسان می‌باشد ولی کاملاً خود کار نیست در استفاده از این روش لازم است توزیع پسین عوامل در هر تکرار جهت اصلاح بازه پیشنهادی جدید (توزیع پیشین) تکرار بعدی بررسی گردد. واسنجی مدل برای رواناب در یک مرحله با تعداد ۹۰۰ شبیه‌سازی در سه تکرار انجام گردید فرآیند واسنجی زمانی به پایان می‌رسد که براساس تابع هدف ضرایب مورد نیاز جهت ارزیابی در حد قابل قبول باشند (جدول ۳). اشکال ۲ و ۳ دبی شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای را به ترتیب در واسنجی و اعتبارسنجی نشان می‌دهد. تمام معیارهای ارزیابی مدل در شبیه‌سازی رواناب در حد مجاز می‌باشد.

جدول ۲- پارامترهای حساس به همراه توزیع پیشین و پسین و مقدار بهینه آن‌ها جهت استفاده در واسنجی رواناب در دو روش SFI-2 و GLUE در حوضه آبریز لنبران.

GLUE			SUFI-2			علامت اختصاری	پارامتر
بهینه	حداکثر	حداقل	بهینه	حداکثر	حداقل		
-۰/۲۶	۲۵	-۲۵	۰/۰۸۶	-۰/۲	۰/۲	r_CN2	شماره منحنی SCS
۱۰۸۰	۲۵۰۰	۴۵۰	۱/۴	۰	۲	V_GWQMN	عمق آستانه شروع جریان زیر زمینی
۰/۹	۱	۰/۲	۰/۲۲	۰	۱	V_RCHRG	ضریب انتقال از سفره کم عمق به عمیق
۰/۱۱	۰/۵	۰	۰/۲۵	۰	۱	V_ALPHA	ثابت تخلیه جریان از کانال
۰/۳۳	۱	۰/۲	۰/۸۲	۰/۰۱	۱	V_ESCO	فاکتور جبران تبخیر از خاک
۰/۰۳	۲۵	-۲۵	-۰/۵۵	-۰/۸	۰/۰۸	r_SOL_K(1)	هدایت هیدرولیکی خاک در حالت اشباع mm/h
۹/۲	۲۵	-۲۵	۰/۰۱	۰	۰/۲	r_SLSUBBSN	متوسط شیب واحدهای هیدرولوژیک

## ادامه جدول ۲

GLUE			SUFI-2			علامت اختصاری	پارامتر
بهینه	حداکثر	حداقل	بهینه	حداکثر	حداقل		
۰/۱	۲۵	-۲۵	-۰/۰۳	-۰/۲	۰/۴	r_SOL_AWC	ظرفیت آب قابل دسترس در لایه خاک / mm
۰/۰۳	۲۵	-۲۵	۰/۵	-۰/۵	۰/۶	r_SOL_BD	چگالی توده خاک
۰/۶	۲	-۱	۴/۸	-۵	۵	V_SFTMP	درجه حرارت ریزش برف / سانتی گراد
۵/۳	۱۰	۰	۲/۸	۰	۱۰	V_SMFMX	ضریب ذوب برف / سانتی گراد
۰/۳۱	۱	۰/۱	۰/۶	۰/۰۱	۱	V_EPCO	فاکتور جریان برداشت آب گیاه
۰/۷	۱/۵	۰	۰/۱	۰	۰/۲	V_GW_REVAP	ضریب تبخیر آب زیر زمینی
۰/۵۵	۱	۰/۲	۰/۹۸	۰	۱	V_OV_N	ضریب زبری دامنه
۲/۱	۳	۰	۴/۱	-۵	۵	V_SMTMP	درجه حرارت ذوب برف / سانتی گراد

جدول ۳- نتایج نهایی معیارهای ارزیابی مدل در دوره واسنجی و اعتبار سنجی رواناب در حوضه آبریز لنبران.

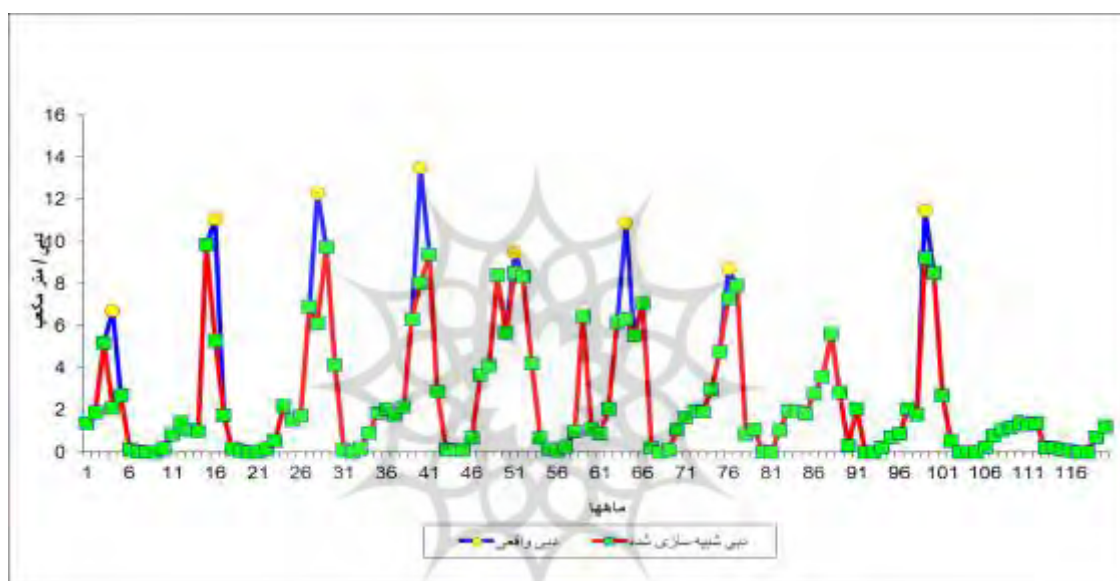
الگوریتم		دوره آماری	p-factor	r-factor	R <sup>2</sup>	NS
SUFI-2	واسنجی	۱۰ سال	۰/۸۱	۰/۸۳	۰/۸۹	۰/۷۶
	اعتبار سنجی	۴ سال	۰/۷۶	۰/۹۱	۰/۷۷	۰/۶۸
GLUE	واسنجی	۱۰ سال	۰/۹۲	۰/۸	۰/۸۲	۰/۷
	اعتبار سنجی	۴ سال	۱/۱۵	۰/۹۱	۰/۶۹	۰/۶۲

جدول ۴- مقادیر و طبقات شاخص های R<sup>2</sup> و NS.

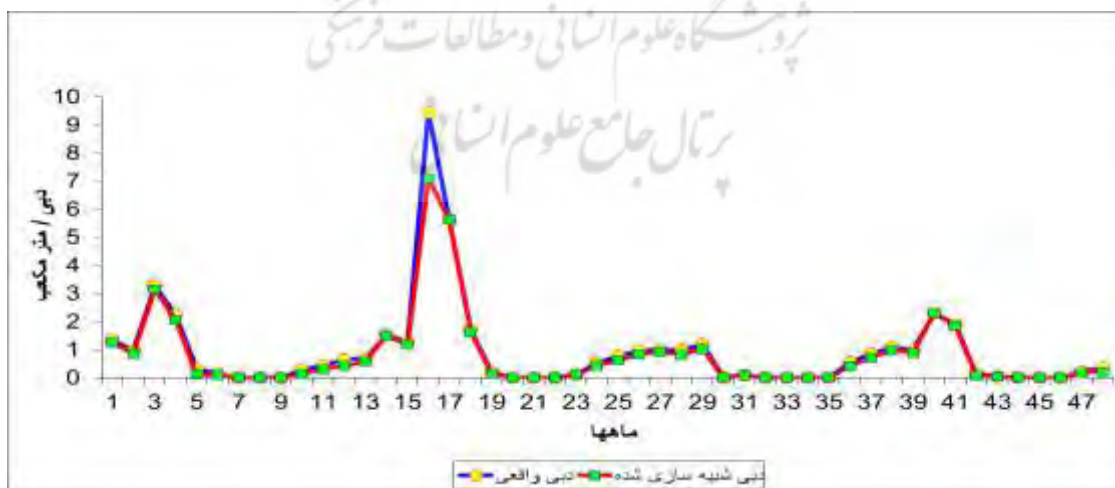
شاخص	مقادیر	طبقات
R <sup>2</sup>	۰/۵	ناکار آمد
	۰/۵ - ۰/۶	رضایتبخش
	۰/۶ - ۰/۷	خوب
	۰/۷ - ۱	خیلی
NS	< ۰/۴	ناکار آمد
	۰/۴ - ۰/۵	قابل قبول
	۰/۵ - ۰/۶۵	رضایت
	۰/۶۵ - ۰/۷۵	خوب
	۰/۷۵ - ۱	خیلی

منبع: موریسی و همکاران (۲۰۰۷)، آی آل (۲۰۱۷) و کرمی و بیاتی خطیبی (۱۳۹۸).

هر چند کاربرد روش SUFI-2 آسان می‌باشد ولی کاملاً خود کار نیست در استفاده از این روش لازم است توزیع پسین عوامل در هر تکرار جهت اصلاح بازه پیشنهادی جدید (توزیع پیشین) تکرار بعدی بررسی گردد. واسنجی مدل برای رواناب در یک مرحله با تعداد ۹۰۰ شبیه‌سازی در سه تکرار انجام گردید فرآیند واسنجی زمانی به پایان می‌رسد که براساس تابع هدف ضرایب مورد نیاز جهت ارزیابی در حد قابل قبول باشند (جدول ۳). اشکال ۲ و ۳ دبی شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای را به ترتیب در واسنجی و اعتبارسنجی نشان می‌دهد. تمام معیارهای ارزیابی مدل در شبیه‌سازی رواناب در حد مجاز می‌باشد.

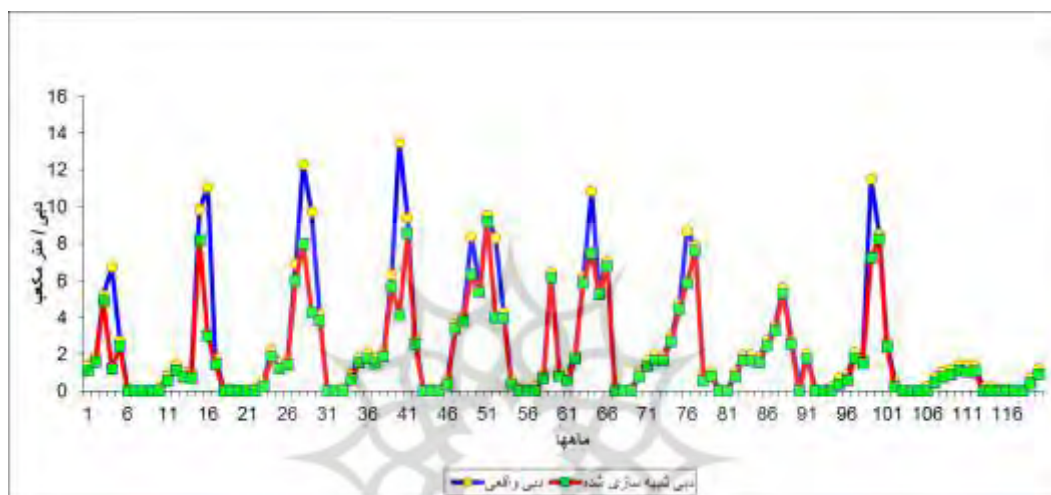


شکل ۳- نمودار دبی واقعی و شبیه‌سازی شده به روش SUFI-2 در مرحله واسنجی.

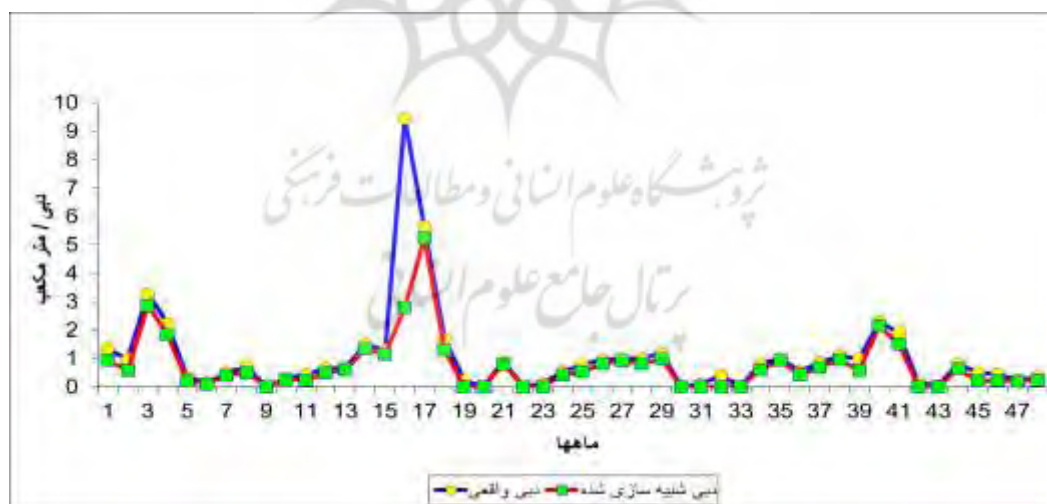


شکل ۴- نمودار دبی واقعی و شبیه‌سازی شده به روش SUFI-2 در مرحله اعتبارسنجی.

روش GLUE نسبت به روش SUFI-2 آسان تر است و کاربرد آن راحت تر می باشد. در این پژوهش مقدار آستانه تابع هدف NS برابر ۰/۴ انتخاب گردید. این روش با تعداد نمونه گیری ۴۰۰۰، ۸۰۰۰ و ۱۶۰۰۰ انجام گردید نتایج نشان داد با تعداد نمونه گیری ۸۰۰۰ عملکرد بهتری نشان می دهد. اشکال ۴ و ۵ دبی شبیه سازی شده و مشاهده ای را به ترتیب در واسنجی و اعتبارسنجی نشان می دهد. تمام معیارهای ارزیابی مدل در شبیه سازی رواناب در حد مجاز می باشد ولی مقایسه دو روش نشان می دهد روش SUFI-2 نسبت روش GLUE در این حوضه عملکرد بهتری دارد.



شکل ۵- نمودار دبی واقعی و شبیه سازی شده به روش GLUE در مرحله واسنجی.



شکل ۶- نمودار دبی واقعی و شبیه سازی شده به روش GLUE در مرحله اعتبارسنجی.

مقایسه گرافیکی، مقادیر دبی واقعی و شبیه سازی شده در مقیاس ماهانه نشان می دهد که مدل SWAT در شبیه سازی رواناب، جریان های حداکثر را کمتر از حد واقعی برآورد می کند. اکثر جریان های که مدل قادر به

شبیه‌سازی آن‌ها نبوده در اواخر زمستان و فصل بهار بوده‌اند یکی از دلایل ضعف مدل در برآورد حداکثر جریان رواناب استفاده از مدل سازمان حفاظت خاک<sup>۱</sup> در محاسبه رواناب است که این مدل بخوبی رواناب حاصل از ذوب برف را شبیه‌سازی نمی‌کند اخوان و همکاران (۱۳۹۴) و انصاری و همکاران (۱۳۹۲) گزارش کرده‌اند که اکثر جریان‌هایی که مدل قادر به شبیه‌سازی آن‌ها نبوده در فصل بهار اتفاق می‌افتد. مدل SWAT بارش را با استفاده از متوسط دمای روزانه به صورت باران یا برف تقسیم بندی می‌کند. با توجه به ضعف مدل در شبیه‌سازی رواناب ماهانه اسفند، فروردین و اردیبهشت و تقدم جریان شبیه‌سازی شده فروردین در بعضی از سال‌ها می‌توان نتیجه گرفت که مدل قادر به شبیه‌سازی کامل ذوب برف نبوده و مقادیر حداکثر رواناب را برای این حوضه کوهستانی در ماه‌های مذکور شبیه‌سازی نکرده است. در این مدل هنگامی که رطوبت موجود در هر لایه خاک از گنجایش زراعی بیشتر باشد مقداری از این آب اضافی باعث ایجاد جریان جانبی می‌شود و قسمتی هم به لایه بعدی نفوذ می‌کند؛ اما هنگامی که لایه‌ای از خاک یخ زده باشد مدل فرض می‌کند که هیچ جریان جانبی اتفاق نمی‌افتد و لایه خاک می‌تواند آب اضافه بر گنجایش زراعی را تا زمانی که اشباع شود در خود نگه دارد. سپس فرض می‌کند که رطوبت مازاد بر گنجایش زراعی می‌تواند از لایه اشباع یخ زده به لایه بعدی نفوذ کند. (Tolson and Shoemaker, 2004) بیان نمودند که مدل SWAT برای شبیه‌سازی وقایع شدید طراحی نشده و معمولاً حداکثر جریان را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند (Chu & Shirmohammadi, 2004) در پژوهشی در مریند نشان دادند که مدل SWAT قادر نیست شرایط هیدرولوژیک را در دوره‌های تر سالی شبیه‌سازی کند. از جمله علل دیگر ضعف مدل در نظر نگرفتن درصد تراکم پوشش گیاهی است که در این مدل صرفاً به نوع پوشش گیاهی اشاره شده است. از دلایل دیگر ضعف مدل در شبیه‌سازی جریان در بعضی از ماه‌های سال می‌توان به تعداد داده‌های کم جریان، و فقدان داده‌های ورودی لازم برای شبیه‌سازی آب زیر زمینی اشاره کرد.

## ۶- جمع بندی

با توجه به نتایج حاصل از حساسیت سنجی، چگالی توده خاک، هدایت هیدرولیکی خاک در حالت اشباع، ضریب تبخیر آب زیر زمینی، ثابت تخلیه جریان از کانال، درجه حرارت ریزش برف، درجه حرارت ذوب برف حساسیت بیشتری دارد. هم چنین بررسی نتایج حاصل از کاربرد دو روش SUFI-2 و GLUE در حوضه آبریز لنبران نشان داد، که بر اساس معیارهای ارزیابی ضریب تبیین و نش-ساتکلیف، روش SUFI-2 هم در مرحله واسنجی و هم در مرحله اعتبار سنجی نتایج خوبی نسبت به روش GLUE در این حوضه دارد. هم چنین هر دو روش نمی‌توانند دبی‌های اوج را بخوبی پیش‌بینی کنند زیرا هر دو روش در دبی‌های اوج دبی، را نسبت به دبی واقعی کمتر پیش‌بینی کرده‌اند. از دلایل ضعف مدل در شبیه‌سازی جریان در بعضی از ماه‌های سال می‌توان به شبیه‌سازی ضعیف ذوب برف، ناسازگاری

فرضیات مدل در انتقال جریان در لایه‌های یخ زده و اشباع، تعداد کم داده‌های جریان و فقدان داده‌های ورودی لازم برای شبیه‌سازی آب زیر زمینی اشاره نمود. هر چند کاربرد روش GLUE در مقایسه با روش SUFI-2 آسان‌تر می‌باشد ولی در روش GLUE تعداد شبیه‌سازی جهت رسیدن به جواب بیشتر است؛ بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده در نهایت می‌توان گفت که روش SUFI-2 با تعداد شبیه‌سازی کم در مقایسه با روش GLUE در این حوضه نتایج بهتری نشان می‌دهد. برای مشخص شدن کارایی بهتر مدل، پیشنهاد می‌شود اولاً از آمار ایستگاه‌های دبی سنجی متعدد و دبی روزانه به جای دبی ماهانه، در صورت وجود در یک حوضه استفاده شود تا نتایج آن‌ها با هم مقایسه شوند. ثانیاً برای رسیدن به نتایج مطلوب این مدل بصورت مقایسه‌ای با سایر مدل‌های شبیه‌سازی در این حوضه و حوضه‌های همجوار استفاده گردد.

#### کتابنامه

- اخوان، سمیرا، عابدی کویابی، جهانگیر، موسوی، سید فرهاد، عباس پور، کریم، افیونی، مجید و اسلامیان، سید سعید؛ ۱۳۹۰. تخمین «آب آبی» و «آب سبز» با استفاده از مدل SWAT در حوضه آبریز همدان- بهار. نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. علوم آب و خاک. سال چهاردهم. شماره ۵۳. صص ۲۳-۹.
- اعلمی، محمد تقی؛ عباسی، حبیبه و نیک سخن، محمد حسین؛ ۱۳۹۷. مقایسه دو روش متفاوت واسنجی و تحلیل عدم قطعیت مدل SWAT در برآورد میزان رواناب و بار مواد معلق حوضه صوفی چای. نشریه دانش آب و خاک. جلد ۲۸. شماره ۳. صص ۶۴-۵۳.
- اکبری مجدر، حسین؛ بهره مند، عبدالرضا؛ نجفی نژاد، علی و واحد بردی، شیخ؛ ۱۳۹۲. شبیه‌سازی جریان روزانه رودخانه چهل چای استان گلستان با مدل SWAT؛ نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. شماره ۳. صص ۲۵۹-۲۵۳.
- انصاری، محمدرضا، گرجی، منوچهر، صیاد، غلام عباس، شرفا، مهدی و حمادی کاظم؛ ۱۳۹۳. شبیه‌سازی رواناب حوضه آبخیز رود زرد با استفاده از مدل SWAT. نشریه علوم و مهندسی آبیاری. جلد ۳۸. شماره ۴. زمستان ۹۷، ۱۳۹۴-۱۰۷. صص ۹۷، ۱۳۹۴-۱۰۷.
- بسالت پور، علی اصغر؛ ایوبی، شمس...؛ حاج عباسی، محمدعلی و جلالیان، احمد؛ ۱۳۹۳. واسنجی و اعتبار سنجی مدل SWAT با استفاده از الگوریتم پرندگان برای شبیه‌سازی رواناب و رسوب در یک حوضه آبخیز کوهستانی؛ نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار. جلد چهارم. شماره چهارم. ۱۳۹۳. صص ۳۱۲-۲۹۵.
- بصیری، مرضیه؛ اسفندیار پور بروجنی، عبیسی؛ اخوان، سمیرا؛ حمیدپور، محسن و کمالی، اردوان؛ ۱۳۹۳. تأثیر مقیاس نقشه خاک بر مدل SWAT در شبیه‌سازی روند جریان رواناب ماهانه در حوضه آبخیز تویسرکان؛ نشریه مدیریت خاک. تولید پایدار. جلد چهارم. شماره سوم. ۱۳۹۳. صص ۱۵۳-۱۳۵.

- بیات، مهرداد؛ علیزاده، حسین و مجردی، برات؛ ۱۳۹۷. جذب داده برای واسنجی - پیش‌بینی با استفاده از مدل SWAT؛ *نشریه تحقیقات منابع آب ایران*. سال چهاردهم. شماره ۱. بهار ۱۳۹۷. صص ۱۲-۱.
- حیبی، علیرضا و گودرزی، مسعود؛ ۱۳۹۷. کاربرد مدل نیمه توزیعی SWAT در شبیه‌سازی رواناب حوضه حبله رود. *نشریه علوم مهندسی و آبخیزداری*. سال دوازدهم. شماره ۴۳. زمستان ۱۳۹۷. صص ۴۹-۴۰.
- رضازاده، محمد سهیل، بختیاری، بهرام، عباسپور، کریم، احمدی، مهدی و احمدی، محمد؛ ۱۳۹۶. شبیه‌سازی رواناب، رسوب و تبخیر- تعرق با استفاده از سناریوهای مدیریتی برای کاهش بار رسوب با استفاده از مدل SWAT. *نشریه علوم مهندسی آبخیزداری ایران*. سال دوازدهم. شماره ۴۰. بهار ۱۳۹۷. صص ۵۰-۴۱.
- زارع گاریزی، آرش و طالبی، علی؛ ۱۳۹۵. شبیه‌سازی بیلان آب حوضه آبریز با استفاده از مدل SWAT مطالعه موردی: حوضه قره سو استان گلستان. *نشریه علوم مهندسی منابع آب*. سال نهم. ۵۰ پاییز ۱۳۹۵. صص ۵۰-۳۷.
- شفیعی مطلق، خسرو؛ پر همت، جهانگیر؛ صدقی، حسین و حسینی، مجید؛ ۱۳۹۷. بررسی تغییر کاربری بر رواناب رودخانه مارون در ایستگاه ایدنک با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور و مدل SWAT؛ *نشریه حفاظت منابع آب‌وخاک*. سال هفتم. شماره سوم. بهار ۱۳۹۷. صص ۸۷-۷۱.
- عارفی اصل، اکرم؛ نجفی نژاد، علی و سلمان ماهینی، عبدالرسول؛ ۱۳۹۲. شبیه‌سازی رواناب و رسوب با استفاده از مدل SWAT در حوضه آبخیز چهل چای استان گلستان. *نشریه مرتع و آبخیزداری*. دوره ۶۶. شماره ۳. پاییز ۱۳۹۲. صص ۴۴۶-۴۳۳.
- عینی، محمدرضا، جوادی، سامان و دلاور مجید؛ ۱۳۹۷. ارزیابی عملکرد داده‌های باز تحلیل شده پایگاه‌های اقلیمی جهانی CRU و NCEP CFSR در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی مدل SWAT مطالعه موردی: حوضه آبریز مهارلو. *نشریه تحقیقات منابع آب ایران*. سال چهاردهم. شماره ۱. بهار ۱۳۹۷. صص ۴۴-۳۲.
- غلامی، عباس؛ شاهدی، کاکا؛ حبیب نژاد روشن، محمود؛ وفاخواه، مهدی و سلیمانی، کریم؛ ۱۳۹۶. ارزیابی کارایی مدل نیمه توزیعی SWAT در شبیه‌سازی جریان رودخانه‌ای (مطالعه موردی: حوضه آبخیز تالار استان مازندران)؛ *نشریه تحقیقات آب‌وخاک ایران*. دوره ۴۸. شماره ۳. مهر و آبان ۱۳۹۶. صص ۴۷۶-۴۶۳.
- کاویان، عطا الله، گلشن، محمد، روحانی، حامد و اسمعیلی عوری، ابازر؛ ۱۳۹۲. شبیه‌سازی رواناب و بار رسوب حوضه آبخیز رودخانه هراز مازندران با بهره‌گیری از الگوی SWAT. *نشریه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. دوره ۴۷. شماره ۲. تابستان ۱۳۹۴. صص ۲۱۱-۱۹۷.
- کریمی، فریبا و بیاتی خطیبی مریم؛ ۱۳۹۸. مدل‌سازی فرسایش خاک و اولویت بندی تولید رسوب در حوضه سد ستارخان اهر با استفاده از مدل‌های MUSLE و SWAT. *نشریه هیدروژئومورفولوژی*. شماره ۱۸. سال ۵. بهار ۱۳۹۸. صص ۱۳۷-۱۱۵.
- گودرزی، محمدرضا و فاتحی فر، آتیه؛ ۱۳۹۸. پهنه‌بندی خطر سیلاب در اثر تغییرات اقلیمی تحت سناریو RCP 8.5 با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT در محیط GIS (حوضه آذرشهرچای). *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. سال نوزدهم. شماره ۵۳. تابستان ۹۸. صص ۱۱۷-۹۹.

محمدی، مازیار؛ کاویان، عطا... و غلامی، لیلا؛ ۱۳۹۶. شبیه‌سازی دبی و نترات در حوزه آبخیز تالار با استفاده از مدل SWAT. نشریه پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز. سال هشتم. شماره ۱۵. بهار و تابستان ۱۳۹۶. صص ۶۰-۴۵.  
 مؤذن زاده، روزبه؛ قهرمان، بیژن؛ ارشد، صالح و داوری، قهرمان؛ ۱۳۹۵. بهبود مدل‌سازی حوضه آبریز از طریق تجمیع مؤلفه‌های اصلی هیدرولوژیک در مدل SWAT. نشریه تحقیقات منابع آب ایران. سال دوازدهم. شماره ۳. پاییز ۱۳۹۵. صص ۷۹-۶۵.

ناصرآبادی، فؤاد؛ اسمعیلی عوری، اباذر؛ اکبری، حسین و رستمیان، رخساره؛ ۱۳۹۶. شبیه‌سازی جریان رودخانه با استفاده از مدل SWAT (مطالعه موردی: رودخانه قره سو اردبیل). نشریه پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز. سال هفتم. شماره ۱۳. بهار و تابستان ۱۳۹۵. صص ۵۹-۵۰.

نظری پویا، هادی؛ کردوانی، پرویز و فرجی راد، عبدالرضا؛ ۱۳۹۴. واسنجی و ارزیابی عملکرد مدل‌های هیدرولوژی IHACRES و SWAT در شبیه‌سازی رواناب. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. سال دوم. شماره ۲. تابستان ۱۳۹۴. صص ۱۱۲-۹۹.

Abbaspour K.C, Yang J, Maximov I, Siber R, Bogner K, Mieleitner J, Zobrist J, Srinivasan R. 2007.

Ayele, G.T., Teshale, E.Z., Yu, B., Rutherford, I.D., Jeong, J., 2017. Streamflow and Sediment Yield

Beven, K., and A. Binley., 1992. The future of distributed models: Model calibration and uncertainty prediction. *Hydrol Proc.* 6: 279-298.

Chu, T. W. and A. Shirmohammadi., 2004. Evaluation of the SWAT model's hydrology component in the piedmont physiographic region of Maryland. *Transactions of the ASAE*, 47(4): 1057-1073.

Faramarzi M, Abbaspour K.C, Schulin R, Yang H., 2009. Modelling blue and green water resources availability in Iran. *Hydrological Processes* 23: 486-501.

Grusson Y, Anctil F, Sauvage S, Sánchez Pérez J., 2017. Testing the swat model with gridded weather data of different spatial resolutions. *Water*, 9(1):54

Li, K.Y., Coe, M.T., Ramankutty, N., and De Jong, R., 2007. Modeling the hydrological impact of landchange in West Africa, *J. of Hydro.*, 337: 258-268.

Modelling hydrology and watershed using SWAT. *Journal of Hydrology* 333 (2-4), 413-430.

Moriasi DN, Arnold JG, Van Liew MW, Bingner RL, Harmel RD, Veith TL., 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3): 885-900.

Motovilov Y.G., Gottschalk, L., England, K., and Rodhe, A., 1999. "Validation of a distributed Hydrological Model against Spatial Observations" *Agricultural and Forest Meteorology*, 98-99, 257-277.

Ndomba, P.M., Mtalo, F.W. and Killingtveit, A., 2008. "A Guided SWAT Model Application on Sediment Yield Modeling in Pangani River Basin: Lessons Learnt". *Urban Environmental Engineering*. Vol. 2. No. 2. pp. 53-62

Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R. and King, K.W., 2004. *Soil and Water Assessment Tool- Theoretical Documentation- version 2005*. Texas. Agricultural Research Service. P. 494



- Pisinaras, V., Petalas, C., Gikas, G. D., Gemitzi, A. and Tsihrintzis, V.A., 2010. "Hydrological and water quality modeling in a medium-sized basin using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT)". *Desalination*. Vol. 250. No. 1. pp. 274–286.
- Prediction for Watershed Prioritization in the Upper Blue Nile River Basin, Ethiopia, *Water*, Vol.9, No,782, PP. 1-29.
- Ritchie J.T. 1972. A model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resources Research* 8: 1204-1213.
- Setegn, S. G., Dargahi, B., Srinivasan, R. and Melesse, A. M., 2010. Modeling of Sediment Yield from Anjeni-Gauged Watershed, Ethiopia Using SWAT Model, *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 46(3), 514–526.
- Shimelis, G.S., Dargahi, B., Srinivasan, R. and Melesse, A., 2010. "Modeling of Sediment Yield from Anjeni-Gauged Watershed, ETHIOPIA Using SWAT Model". *The American Water Resources Association*. Vol. 46. No. 3. pp. 514-526.
- Silva, R.M., Santos, C.A.G. and Silva, L.P., 2007. "Evaluation of soil loss in Guaraira basin by GIS and remote sensing based model". *Urban Environmental Engineering*. Vol. 1. No. 2. pp. 44-52.
- Sloan P.G, Morre I.D, Coltharp G.B, Eigel J.D., 1983. Modeling surface and subsurface stormflow on steeply-sloping forested watersheds. *Water Resources Research Institute, Report 142*. University of Kentucky, Lexington.
- Sun L, Nistor I, and Seidou O., 2015. Streamflow data assimilation in SWAT model using Extended Kalman Filter. *Journal of Hydrology* 531:671-684
- Tolson, B. A. and C. A. Shoemaker., 2004. Watershed modeling of the cannonsville basin using SWAT2000: Model development, calibration and validation for the prediction of flow, sediment and phosphorus transport to the Cannonsville reservoir. Technical Report, School of Civil and Environmental Engineering, Cornell Univ., Ithaca, N. Y.