

مقاله علمی-پژوهشی

## ارزیابی تأثیر آبیندانها بر دو پارامتر رواناب و رسوب با استفاده از مدل SWAT (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رودخانه تجن، مازندران)

علیرضا زارعی قورخودی<sup>۱</sup>، علی شاهنظری<sup>۲\*</sup> و فاطمه محمدی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۲

### چکیده

تغییر الگوهای بارندگی و افزایش روزافزون جمعیت در استان مازندران، سبب شده که استفاده بهینه از منابع آب سطحی در بخش‌های مختلف به خصوص کشاورزی امری اجتناب‌ناپذیر باشد. با وجود پتانسیل مناسب بارش در استان مازندران، برنامه منظمی برای مدیریت و استفاده از منابع آب‌های سطحی و نامتعارف در نظر گرفته نشده است. درحالی‌که با بهره‌گیری از ظرفیت آبیندانها می‌توان بخشی از مشکلات بخش آب در این منطقه را حل نمود. برای ارزیابی این موضوع در مطالعه حاضر، از مدل SWAT در حوضه آبخیز تجن طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ استفاده شد. در ابتدا کارایی مدل و نتایج آن به‌عنوان وضعیت موجود بررسی، سپس سناریوی بدون در نظر گرفتن آبیندانها اجرا گردید. از الگوریتم SUFI2 در نرم‌افزار SWAT-CUP برای تحلیل عدم قطعیت، واسنجی و صحت‌سنجی دبی رواناب و رسوب ماهانه در شش ایستگاه منتخب در مدل SWAT استفاده شد. ارزیابی کارایی مدل توسط ضریب تعیین ( $R^2$ ) و نش-ساتکلیف (NS) صورت گرفت. ضریب  $R^2$  در شبیه‌سازی رواناب و رسوب به ترتیب در بازه ۰/۸۸ تا ۰/۶۷ و ۰/۷۹ تا ۰/۶۲ به دست آمد. همچنین، ضریب NS برای رواناب در بازه ۰/۷۲ تا ۰/۵۲ و رسوب در بازه ۰/۷۴ تا ۰/۵۸ قرار گرفت. نتایج نشان داد مدل در شبیه‌سازی دبی و رسوب عملکرد رضایت‌بخشی داشته است. یافته‌های حاصل از اجرای سناریو نشان‌دهنده این است که در صورت عدم وجود آبیندانها دبی و رسوب خروجی افزایش ۱۶/۳ و ۱۷/۵ درصدی خواهند داشت که بیانگر مهار دبی و رسوب توسط این سازه‌های می‌باشد. همچنین با بررسی این سناریو در زمان‌های وقوع دبی حداکثر این سازه‌ها با مهار ۱۷ درصدی رواناب و ۲۷ درصدی رسوب نقش مؤثری در مهار دبی حداکثر دارند. با توجه به ظرفیت آبیندانها در مهار دبی و رسوب می‌توان برای مدیریت منابع آب سطحی و کنترل سیلاب، جهت افزایش سطح و حجم این سازه‌ها برنامه‌ریزی کرد.

### واژه‌های کلیدی: آب‌های سطحی، سیلاب، سناریو، شبیه‌سازی

### مقدمه

حاضر و بحران چند وجهی نیم قرن آینده است که می‌تواند سرمنشأ بسیاری از تحولات مثبت و منفی جهان قرار گیرد. اهمیت مباحث مربوط به کمیت و کیفیت آب برای زندگی حیاتی است و تأمین آب کافی یک پیش‌نیاز بنیادی برای توسعه پایدار اقتصادی-اجتماعی جوامع انسانی می‌باشد. با توجه به اینکه منابع آبی موجود نمی‌توانند پاسخگوی نیاز آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک باشند (Vilaysane et al., 2015). لذا کشورهایی مانند ایران که در دهه‌های اخیر با بحران کمبود آب مواجه شده‌اند، نیازمند تغییر تفکر در زمینه برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب می‌باشند. بهره‌برداری از منابع آب سطحی و نامتعارف یکی از راهکارهای مؤثر برای مدیریت کاربردی منابع آب و کاهش پیامدهای منفی کمبود آب در روند توسعه یک کشور محسوب می‌شود. یکی از این راه‌حل‌ها برای جبران کم‌آبی و

آب عنصر اساسی حیات و وجه مشترک اهداف و چالش‌های توسعه پایدار می‌باشد. کمبود آب یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های قرن

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۳- دانش آموخته دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

(Email: aliponh@yahoo.com)

\* نویسنده مسئول:

آب تخصیصی می‌گردد. در خارج از کشور نیز مشتاق و همکاران در مطالعه‌ای به اهمیت آبیندان‌ها در صرفه‌جویی آب، افزایش محصول و حفظ محیط‌زیست در کشور چین پرداختند و به همکاری بیشتر کشاورزان در سیستم‌های مدیریت آب در صورت وجود این آبیندان‌ها اشاره کردند (Mushtaq et al., 2006). فانگ و همکاران در تحقیقی نقش آبیندان‌های اطراف اراضی کشاورزی در استحصال باران‌های محلی در سال‌های خشک بسیار مهم دانستند همچنین دو مدل بهینه‌سازی با تابع هدف کمینه کردن برداشت آب و بیشینه کردن سود اقتصادی ارائه کردند که نتایج به‌دست‌آمده وجود آبیندان‌ها را در بهینه کردن اهداف ذکرشده در دوره‌های خشک‌سالی بسیار پراهمیت نشان داد (Fang et al., 2012).

در دهه‌های اخیر با پیشرفت تکنولوژی مدل‌های مختلفی به‌منظور ارزیابی منابع آبی مختلف گسترش و توسعه یافته‌اند. مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی، برای حل مسائل مربوط به منابع آب، شامل تأثیرات محیطی تغییر کاربری اراضی، اثر تغییر اقلیم، آمایش آب و مدیریت در حوضه آبخیز و ارزیابی کاربرد آب‌های نامتعارف در مصارف مختلف به‌طور رو به رشدی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Pechlivanidis et al., 2011). از مدل‌های مختلفی مانند SWAT<sup>۱</sup>، WEAP<sup>۲</sup>، VENSIM<sup>۳</sup> برای ارزیابی آب‌های سطحی و نامتعارف می‌توان استفاده نمود. شی و سو، مدل SWAT را با لحاظ کردن منابع آبی جدید مثل آبیندان‌ها و حوضچه‌های محلی به‌منظور تأمین آب به‌موقع در اراضی شالیزاری توسعه دادند (Xie and Cui, 2011). هو و هانگ، در مطالعه‌ای تأثیر تأمین نیاز آب آبیاری در مزارع برنج از منابع مختلف از جمله آب کانال، آب سرریز شده از مزارع بالادست و آبیندان بر افزایش محصول در اراضی کشاورزی تایوان را با توسعه یک برنامه آبیاری تلفیقی با استفاده از مدل VENSIM بررسی کردند. نتایج به‌دست‌آمده تأثیر مثبت آبیندان در مزارع برنج روی افزایش محصول به‌خصوص در دوره‌هایی که بارندگی کافی نیست را نشان داد (Wu and Huang., 2011). با توجه به اینکه مدل SWAT می‌تواند تأثیر اطلاعات ورودی (تغییر در روش‌های مدیریتی، آب‌وهوا، پوشش گیاهی و غیره) را بر کیفیت و کمیت آب و همچنین دیگر متغیرهای موردنظر در شبیه‌سازی اعمال کند، همچنین شبیه‌سازی حوضه‌های بزرگ و پیچیده با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف مدیریتی بدون صرف زمان زیادی از نظر محاسباتی بسیار کار آمد و قابل اجرا می‌باشد. لذا در این پژوهش از مدل شبیه‌سازی SWAT استفاده می‌شود. بر همین اساس هدف این مطالعه بررسی تأثیر آبیندان‌ها به‌عنوان مخازن جمع‌آوری آب‌های سطحی و نامتعارف روی میزان رواناب و رسوب معلق در حوضه آبریز

کاهش پیامدهای منفی بهره‌برداری خلاقانه از منابع آب می‌باشد (Mostafazadeh et al., 2015). آب‌های نامتعارف شامل زه‌آب‌ها و پساب‌ها در استان‌های شمالی پس از ورود به رودخانه‌ها بدون داشتن برنامه منظمی برای حفظ این منابع به دریای خزر می‌ریزد. درحالی‌که می‌توان با مهار و ذخیره این منابع بخشی از مشکلات بخش آب را برطرف نمود. با توجه به مطالب ذکرشده ضرورت داشتن برنامه عملی برای این منابع در استان‌های شمالی امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. برای استفاده از آب‌های سطحی و نامتعارف، ارزیابی و مهار این منابع برای مصارف مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. روش‌های مختلفی برای جمع‌آوری منابع آب‌های سطحی و نامتعارف در سطح یک منطقه وجود دارد (Allessa et al., 2008). در استان‌های شمالی مانند استان مازندران و گیلان سازه‌هایی مانند آبیندان‌ها به‌عنوان کاربردی‌ترین سازه‌ها در زمینه جمع‌آوری رواناب‌های سطحی و زه‌آب‌های حاصل از مصارف کشاورزی شناخته شده‌اند. آبیندان‌ها یا مخازن خارج از بستر در مناطق شمال به‌عنوان مخازن کوچک جهت تنظیم و ذخیره‌سازی آب نقش مهمی را در جبران کمبود آب کشاورزی به‌ویژه برای استان‌های گیلان و مازندران دارند (مرادی و شاهنظری، ۱۳۸۹). ضرورت ارزیابی این سازه‌ها به‌عنوان یکی از مخازن مهار آب‌های سطحی و نامتعارف آشکار می‌باشد. در برخی کشورهای جنوب شرقی آسیا که شرایطی مشابه با استان‌های شمالی ایران دارند و برخی سازه‌ها که مشابه با آبیندان‌ها می‌باشند، در زمینه نقش و اهمیت آبیندان‌ها مطالعاتی انجام شده است. عظیمی و طراج (۱۳۸۹) در طرح بهسازی آبیندان‌های روستای قاجارخیل ساری به این نتایج دست یافتند که طرح مرمت و بهسازی آبیندان‌ها از لحاظ اقتصادی کاملاً توجیه‌پذیر بوده و حفظ و بازسازی آن‌ها علاوه بر بهبود اراضی تحت پوشش، موجب کنترل رواناب‌ها و منابع آبی در فصول غیر زراعی، زهکشی اراضی بالادست، تغذیه آبخوان‌ها و هجوم آب شور به سفره‌های آب زیرزمینی، افزایش درآمد روستاییان و کاهش انگیزه مهاجرت به شهرها خواهد بود. دیهول و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از مدل‌سازی، نشان دادند که در شرایط نرمال ۵۳ درصد از نیاز آبیاری اراضی شالیزاری مورد مطالعه از آب ذخیره‌شده باران و رواناب در آبیندان فستام تأمین شده است و نسبت آب سرریز شده از آبیندان به حجم بیشینه آن ۷۴ درصد است. پور محمد و همکاران (۱۳۹۰) نیز به بررسی اثر لایروبی آبیندان‌ها بر تغییرات تخصیص آب در حوضه سد البرز پرداختند. نتایج ایشان نشان داد متوسط سالانه کاهش کمبود ناشی از لایروبی و بهسازی آبیندان‌ها در این نقاط برابر با ۴۲ میلیون مترمکعب است که باعث کاهش کمبود ذخیره آب به میزان ۱۵/۸ میلیون مترمکعب در مخزن سد البرز خواهد شد. همچنین، اجالالی و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی نشان دادند، هر اندازه که حجم آبیندان بیشتر گردد، موجب تغذیه و ذخیره بیشتر آب زیرزمینی و افزایش سطح زیر کشت به‌علاوه افزایش

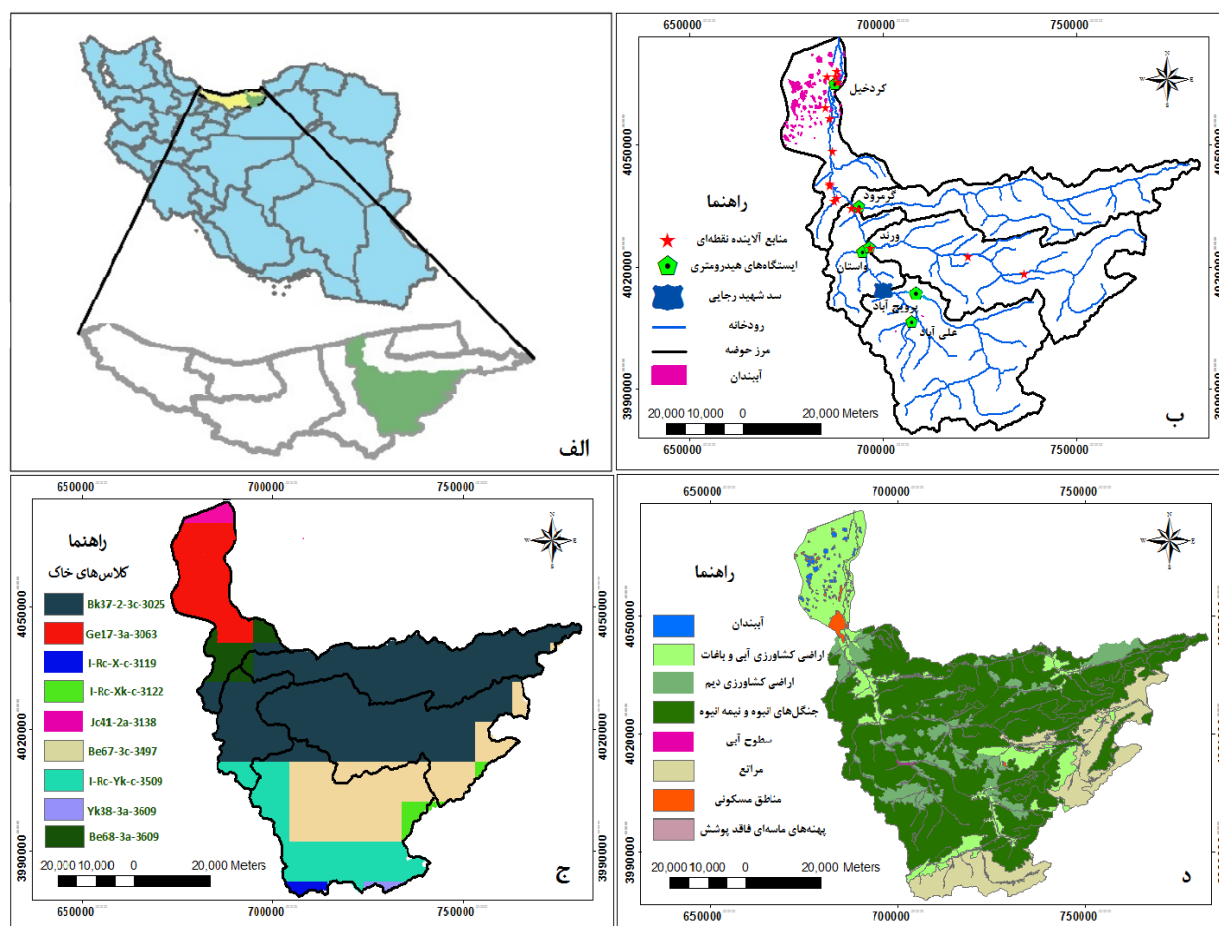
1- The ventana simulation Environment  
2- Water Evaluation And Planning  
3- Soil and water assessment tool

تجن در استان مازندران می‌باشد.

## مواد و روش

پژوهش حاضر در حوضه آبریز تجن واقع در استان مازندران و شمال ایران انجام شده است. طول این حوضه در حدود ۱۷۰ کیلومتر و مساحت آن در حدود ۴۱۴۷ کیلومترمربع می‌باشد. از لحاظ خصوصیات فیزیوگرافی حوضه آبریز تجن دارای پنج زیر حوضه با نام‌های تجن، چهاردانگه، دودانگه سفیدرود، زارم‌رود و لاجیم می‌باشد. این منطقه عمدتاً از آبراهه‌ها و رودخانه‌ها تشکیل شده که رودخانه

تجن از مهم‌ترین آن‌هاست. حداکثر و حداقل ارتفاع محدوده مطالعاتی برابر با ۳۷۲۵ و ۸۰- متر از سطح آب‌های آزاد می‌باشد. محدوده مطالعاتی دارای میانگین دمای ۱۴/۴۲ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه ۶۱۵ میلی‌متر می‌باشد. در شکل (۱) موقعیت مکانی حوضه مطالعاتی، ایستگاه‌های هیدرومتری، جانمایی آبندها، نقشه کاربری اراضی و خاک نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است پراکنش آبندها بیشتر در خروجی حوضه متمرکز است؛ بنابراین نقش مهمی در کنترل رواناب و رسوب خروجی دارا هستند.



شکل ۱- الف: موقعیت محدوده مطالعاتی در کشور و استان مازندران، ب: جانمایی ایستگاه‌های هیدرومتری، آبندها و منابع آلاینده نقطه‌ای در حوضه مطالعاتی، ج: نقشه خاک حوضه آبریز تجن (به‌دست‌آمده از نقشه خاک جهانی فائو، ۱۹۹۸)، د: نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز تجن (سازمان جهاد کشاورزی استان مازندران، ۱۳۹۵)

## مدل SWAT

در این پژوهش برای ارزیابی تأثیر آبندها بر رواناب و رسوب حوضه، از مدل SWAT استفاده شده است. مدل SWAT یک مدل مفهومی و نیمه توزیعی است که برای پیش‌بینی اثر تغییر کاربری،

تغییر اقلیم و مدیریت‌ها در حوضه‌های آبریز بزرگ و پیچیده توسعه داده شده است (Verbeeten and Barendregt, 2007). این مدل از معادلات بیلان برای توصیف رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی استفاده می‌نماید و داده‌هایی مانند اقلیم، خاک، توپوگرافی، پوشش

آبنندان‌ها به مدل این سازه‌ها به‌عنوان مخازن خارج از بستر<sup>۵</sup> به مدل و مشخصات آن‌ها شامل موقعیت مکانی، سطح، حجم و عمق به مدل معرفی شد. مشخصات کلی آبنندان‌ها در جدول (۱) ارائه شده است.

#### آماده‌سازی مدل

در این مطالعه از نسخه SWAT 2009 به‌عنوان یک افزونه در ARC-GIS استفاده شد. پس از معرفی رقوم ارتفاعی مرز حوضه و زیرحوضه‌ها تعیین گردید. سپس محل ایستگاه‌های هیدرومتری به‌عنوان خروجی حوضه تعیین شد. در مرحله بعد به‌منظور تعیین بخش‌های پاسخ هیدرولوژیکی (HRU) نقشه خاک و کاربری اراضی و نقشه شیب با ۵ کلاس به مدل معرفی گردید. پس از تعریف HRU اطلاعات هواشناسی و ایستگاه‌های سینوپتیک به مدل معرفی شدند. اطلاعات مربوط به نقاط آلاینده، آبنندان و سد وارد مدل شد. با توجه به زیاد بودن اطلاعات ورودی برای شناخت مدل و دستیابی به نتایج که به واقعیت نزدیک‌تر باشند مرحله واسنجی، لازم می‌باشد تا برای پارامترهای تأثیرگذار مدل آنالیز حساسیت انجام شود. برای بررسی تأثیر آبنندان‌ها بر رواناب و رسوب سناریو بدون وجود آبنندان، در مدل SWAT فرض شد در حوضه آبخیز تجن هیچ آبنندانی وجود نداشته و مدل با توجه به این فرض اجرا شد. همچنین در اجرای این سناریو ۱۵ درصد از حجم رواناب خروجی از آبنندان‌های حوضه مطالعاتی به‌عنوان جریان برگشتی که توسط آبنندان‌های پایین‌دست ذخیره می‌شود در نظر گرفته شد. لذا با توجه به اینکه در عمل امکان حذف آبنندان‌ها وجود ندارد نتایج این سناریو می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی برای لایروبی و احداث آبنندان در حوضه آبخیز تجن و استان‌های شمالی کشور که دارای این سازه‌ها می‌باشند، مؤثر باشد.

#### آنالیز حساسیت، واسنجی و اعتبار سنجی

به‌منظور آنالیز حساسیت، واسنجی و صحت‌سنجی از نرم‌افزار SWAT CUP و الگوریتم SUFI-2 استفاده شد (Abbaspour, 2015) در این پژوهش، برای انجام تحلیل حساسیت روش OAT<sup>۶</sup> مورد استفاده قرار گرفت که متعارف‌ترین روش برای این کار می‌باشد. در این روش در هر بار اجرای مدل یک عامل تغییر کرده و بقیه ثابت می‌مانند و اثر آن تغییر بر تابع هدف، حساسیت عامل را مشخص می‌کند. سپس با تعیین t-stat و p-value هر پارامتر در این معادله رگرسیونی، درجه تأثیرگذاری پارامتر مشخص می‌گردد.

گیاهی و پوشش اراضی در حوضه آبریز دریافت می‌کند. در این مدل زیر حوضه‌ها به بخش‌های پاسخ هیدرولوژیکی (HRU) تقسیم می‌شوند که این بخش‌ها از نظر مشخصات خاک، توپوگرافی و شیب همگن هستند (بسالت‌پور و حسین‌زاده، ۱۳۹۴). مدل SWAT از روش عدد منحنی اصلاح‌شده (USDA Soil Conservation Service, 2001) یا روش نفوذ گرین - آمپت<sup>۲</sup> برای محاسبه حجم رواناب سطحی برای هر HRU استفاده می‌کند. اساس چرخه هیدرولوژی بر اساس رابطه بیلان آبی می‌باشد که به شکل رابطه (۱) است.

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

در رابطه فوق  $SW_t$ : مقدار فعلی آب در خاک،  $SW_0$ : مقدار اولیه آب در خاک،  $R_{dey}$ : مقدار بارندگی،  $Q_{surf}$ : مقدار رواناب  $E_a$ : مقدار تبخیر و تعرق واقعی،  $W_{seep}$ : مقدار آب وارده شده از پروفیل خاک به ناحیه غیر اشباع،  $Q_{gw}$ : مقدار جریان برگشتی می‌باشند (بسالت‌پور و حسین‌زاده، ۱۳۹۴).

رسوب نیز در مدل SWAT به‌عنوان فرسایشی که به‌وسیله بارش و رواناب ایجاد می‌شود از رابطه اصلاح‌شده معادله جهانی فرسایش (MUSLE) محاسبه می‌شود (رستمیان و همکاران، ۱۳۸۷).

#### اطلاعات ورودی به مدل

در مطالعه حاضر اطلاعات مربوط به نقشه رقوم ارتفاعی (DEM<sup>۳</sup>) با رزولوشن ۵۰ متری، نقشه کاربری اراضی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و نقشه خاک تهیه شدند. همچنین، داده‌های بارش و دما در ایستگاه‌های سینوپتیک (ساری، قراخیل، دشت ناز، کیاسر)، سایر ایستگاه‌های اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی (فریم محمدآباد، پشرت، دانشکده کشاورزی، مهدشت، نکا، ساری) و داده‌های اندازه‌گیری شده رواناب روزانه و رسوب ماهانه در شش ایستگاه علی‌آباد، پرویج‌آباد، ورنده، و استان، گرم‌رود و کردخیل برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ جمع‌آوری و استفاده شد. داده‌های ۱۹ منبع نقطه‌ای آلوده‌کننده که مهم‌ترین آن‌ها شامل صنایع چوب و کاغذ، چسب‌سازی، آنتی‌بیوتیک‌سازی رستوران‌ها، معادن شن و ماسه، کارواش و قالی‌شویی از سازمان محیط‌زیست استان مازندران تهیه و به‌عنوان منابع نقطه‌ای<sup>۴</sup> که شامل موقعیت مکانی، دبی خروجی و داده‌های کیفی بود، وارد مدل شدند. همچنین اطلاعات سد شامل سال بهره‌برداری، مساحت سطح و حجم مخزن در شرایط اضطراری و نرمال، غلظت رسوب، هدایت هیدرولیکی و میزان رهاسازی به مدل معرفی شد. برای معرفی

1- Hydrologic Response Unit

2- Green and Ampt Infiltration

3- Digital Elevation Model

4- Point Source

5- Pond

6- One-At-a-Time

جدول ۱- مشخصات آبنندان های حوضه مورد مطالعه بر اساس منابع تأمین آب

نحوه تأمین آب آبنندان	تعداد قطعه	سطح مفید (هکتار)	حجم مفید (میلیون مترمکعب)
چشمه	۴	۱۱۴	۲/۸۴
رواناب (نهر)	۳۶	۱۸۵۲	۲۷/۶۵
زه آب	۸	۸۲۷	۱۵ /۴۳
مجموع	۴۸	۲۷۹۳	۴۵/۹۲

جدول ۲- محدوده های ضرایب NSE و R<sup>2</sup> (Donigian, 2000; Moriasi et al., 2007)

نتیجه ارزیابی	ضریب ناش-ساتکلیف (NSE)	ضریب تعیین (R <sup>2</sup> )
بسیار خوب	۰/۷۵ < NSE ≤ ۱	۰/۸ ≤ R <sup>2</sup>
خوب	۰/۶۵ < NSE ≤ ۰/۷۵	۰/۷ < R <sup>2</sup> ≤ ۰/۸
رضایت بخش	۰/۵ < NSE ≤ ۰/۶۵	۰/۶ < R <sup>2</sup> ≤ ۰/۷
غیر قابل قبول	NSE ≤ ۰/۵	R <sup>2</sup> ≤ ۰/۶

که در آن  $X_m$ : مقدار اندازه گیری شده،  $X_s$ : مقدار پیش بینی شده و  $\bar{X}_m$ : میانگین ریاضی مقدار اندازه گیری شده می باشند (علیزاده، ۱۳۹۲).

### نتایج و بحث

#### آنالیز حساسیت، واسنجی و اعتبار سنجی

با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی، حوضه مطالعاتی به ۲۵ زیر حوضه تقسیم شد. همچنین، با توجه به لایه های کاربری اراضی، خاک و شیب حوضه مطالعاتی از ۲۳۵ HRU تشکیل شد. بر اساس نتایج حاصل از آنالیز حساسیت در جدول (۳) دامنه اولیه و پارامترهای حساس مدل SWAT ارائه گردیده است. با توجه به نتایج به دست آمده و مطابق جدول (۴) پارامترهای ALPHA\_BF و CN2 به ترتیب بیشترین حساسیت و پارامترهای PLAPS و GWQMN کمترین حساسیت را در شبیه سازی رواناب دارند. پارامترهای HRU\_SLP و C\_FACTOT دارای بالاترین حساسیت و همچنین، EROS\_EPO و SOL\_K کمترین حساسیت را در شبیه سازی رسوب داشتند. محمدی و همکاران (۱۳۹۶) در شبیه سازی حوضه آبریز تالار، رجایی و همکاران (۱۳۹۷) در حوضه آبخیز تجن و وانگ و ملس (Wang and Melesse, 2006) در حوضه شمال غربی مینه سوتا پارامتر CN2 را در رتبه نخست حساسیت در شبیه سازی رواناب گزارش کردند.

#### واسنجی و صحت سنجی

نتایج واسنجی و صحت سنجی ماهانه رواناب و رسوب مدل SWAT در شش ایستگاه کردخیل، گرمورد، ورنه، واستان، پرویج آباد و علی آباد در حوضه آبریز تجن به ترتیب طی دوره آماری ۲۰۰۲ تا

در مطالعه حاضر با توجه به مطالعات صورت گرفته از ۴۳ پارامتر برای ارزیابی دبی رواناب و رسوب استفاده شد که از این بین ۲۴ پارامتر به عنوان پارامترهای حساس شناسایی شدند. برای واسنجی و صحت سنجی مدل به ترتیب طی سال های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۲ میلادی و ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۱ شمسی و ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ میلادی و ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۶ شمسی از داده های دبی رواناب و رسوب استفاده شد. از داده های سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۳ میلادی و ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۱ شمسی به منظور گرم کردن<sup>۱</sup> مدل به کار گرفته شد. همچنین، از r-factor و p-factor برای عدم قطعیت خروجی های مدل استفاده شد.

#### ارزیابی مدل

برای ارزیابی مدل SWAT روش های مختلفی به کار می رود که ضریب تعیین و ضریب نش - ساتکلیف از مهم ترین آن هاست (علیزاده، ۱۳۹۲).

ضریب تعیین بیان کننده بخشی از کل واریانس مقادیر مشاهده ای است که توسط مقادیر شبیه سازی شده توجیه می شود. ضریب تعیین بین ۰ تا ۱ تغییر می کند و مقدار بهینه آن ۱ است که زمانی رخ می دهد که مقدار پیش بینی شده و اندازه گیری شده برابر باشد.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n [(X_{mi} - \bar{X}_m)(X_{si} - \bar{X}_s)]}{\sum_{i=1}^n (X_{mi} - \bar{X}_m) \sum_{i=1}^n (X_{si} - \bar{X}_s)} \quad (2)$$

که در آن،  $X_m$ : مقدار اندازه گیری شده،  $X_s$ : مقدار پیش بینی شده،  $\bar{X}_m$ : میانگین ریاضی مقدار اندازه گیری شده و  $\bar{X}_s$ : میانگین ریاضی مقدار پیش بینی شده می باشند. در جدول (۲) محدوده ضرایب تعیین و نش - ساتکلیف برای ارزیابی مدل ارائه شده است.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_{mi} - X_s)^2}{\sum_{i=1}^n (X_{mi} - \bar{X}_m)^2} \quad (3)$$

1- Warm up

۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ در جدول (۵) ارائه شده است. با توجه به نتایج بیه‌دست‌آمده مقادیر r-factor حاصل از واسنجی و صحت‌سنجی رواناب و رسوب به ترتیب در بازه ۰/۳۹ تا ۱/۲۱ و ۰/۴۴ تا ۱/۳۴ می‌باشد. مقادیر حاصل در بازه قابل‌قبول بوده همچنین، مقادیر پایین r-factor نشانگر واسنجی خوب رواناب و رسوب در محدوده مطالعاتی می‌باشد؛ اما در خصوص مقادیر p-factor که نشان‌دهنده درصد داده‌های مشاهداتی در باند عدم قطعیت ۹۵ درصد می‌باشد.

جدول ۳- دامنه اولیه و بهینه پارامترهای حساس در مدل شبیه‌سازی شده

ردیف	پارامتر	تعریف پارامتر	محدوده اولیه	محدوده بهینه	مقدار بهینه
۱	r_CN2	شماره منحنی در شرایط رطوبتی	-۰/۲ _ ۰/۲	-۰/۲ _ ۰/۴۳	-۰/۱۳۰
۲	v_ALPHA_BF	ضریب جریان پایه	۰ _ ۱	۰/۷۴۵ _ ۰/۸۶۸	۰/۸۳۳
۳	v_GW_DELAY	زمان رسیدن آب از آخرین لایه خاک به سفره آب زیرزمینی	۰ _ ۵۰۰	۴۶۹/۶ _ ۵۰۰	۴۷۶/۲۵۵
۴	v_GWQMN	حد آستانه عمق آب در آکیفر کم‌عمق برای وقوع جریان برگشتی	۰ _ ۵۰۰۰	۱/۷۹۲ _ ۳/۱۶۶	۲/۱۳۶
۵	v_PLAPS	میزان افت بارندگی	۰ _ ۵	۰/۴۶۷ _ ۱	۰/۹۰۲
۶	r_SOL_AWC	ظرفیت آب قابل در دسترس خاک	۰ _ ۱	-۰/۱۵۳ _ ۰/۰۰۳	-۰/۱۰۹
۷	r_SOL_BD	چگالی خاک در حالت مرطوب	-۰/۵ _ ۱	-۰/۵ _ ۰/۲۳۹	-۰/۴۸۶
۸	v_SFTMP	دمای بارش برف	-۲۰ _ ۲۰	-۱/۰۰۶ _ ۵	۰/۶۹۵
۹	v_LAT_TTIME	زمان تأخیر جریان	۰ _ ۲۰۰	۵۲/۲۰ _ ۱۵۹/۶	۱۵۰/۷۱۳
۱۰	r_USLE_P	عامل اقدامات حفاظتی در USLE	۰ _ ۱	-۰/۰۰۱۴ _ ۰/۰۰۱۸	-۰/۰۰۱۶
۱۱	r_USLE_K	فاکتور فرسایش خاک	۰ _ ۰/۶۵	۰/۲۴۵ _ ۰/۲۴۷	۰/۲۴۷
۱۲	v_SOL_K	هدایت هیدرولیکی خاک اشباع	۰ _ ۲۰۰۰	۹۴۸/۵ _ ۹۵۶/۱	۹۵۲/۴۶
۱۳	v_LAT_SED	غلظت رسوب در جریان جانبی و جریان آب زیرزمینی	۰ _ ۵۰۰۰	۳۰۵۲ _ ۳۰۶۱	۳۰۵۸/۷۶
۱۴	v_SPEXP	پارامتر توان برای محاسبه رسوب مجدد در مسیریابی رسوب کانال.	۱ _ ۱/۵	۱/۳۸۶ _ ۱/۳۸۹	۱/۳۸۷
۱۵	v_SURLAG	زمان تأخیر رواناب سطحی	۰/۵ _ ۲۴	۲۰/۷۷ _ ۲۴	۲۱/۶۷۱
۱۶	v_EROS_EXPO	فاکتور معادله فرسایش جریان زمینی	۱/۵ _ ۳	۱/۶ _ ۱/۷۳۸	۱/۶۰۷
۱۷	v_SUBD_CHSED	فاکتور مسیریابی رسوب در جریان	۰ _ ۲	۱/۱۷۱ _ ۱/۲۶۳	۱/۲۰۹
۱۸	r_C_FACTOR	پارامتر مقیاس برای پوشش و ضریب مدیریت در فرسایش	۰/۰۰۱ _ ۰/۴۵	۰/۳۴۱ _ ۰/۳۷۰	۰/۳۴۹
۱۹	v_HRU_SLP	فاکتور شیب متوسط	۰ _ ۱	۰/۰۷۳ _ ۰/۲۱۷	۰/۱۰۹
۲۰	v_CH_BNK_BD	چگالی ظاهری رسوب کناره کانال	۱ _ ۱/۹	۱/۹۰۵ _ ۱/۹۹	۱/۱۰
۲۱	v_CH_BED_BD	چگالی ظاهری رسوب بستر کانال	۱ _ ۱/۹	۱/۱۳۷ _ ۱/۲۱۴	۱/۱۶۶
۲۲	v_CH_BNK_KD	فاکتور فرسایش‌پذیری رسوب کانال با آزمایش جت	۰/۰۰۱ _ ۳/۷۵	۳/۱۳۳ _ ۳/۴۷۹	۳/۱۹۶
۲۳	v_CH_BED_KD	فرسایش‌پذیری رسوب بستر کانال با آزمایش جت	۰/۰۰۱ _ ۳/۷۵	۰/۱۴۰ _ ۰/۲۴۳	۰/۱۷۲
۲۴	v_SED_CON	غلظت رسوب در رواناب، پس از اعمال BMP شهری	۰ _ ۵۰۰۰	۳۹۱/۲ _ ۴۱۷/۰۸	۴۱۲/۶۲۴

تأثیر حساسیت پارامترهای دبی

تأثیر حساسیت پارامترهای رسوب

پیشوند r در پارامترها به معنا تغییر مقدار اولیه پارامتر با اعمال ضریب (+۱ مقدار تغییر) و پیشوند v به معنا جایگزینی پارامتر با مقدار جدید می‌باشد.

جدول ۴- نتایج حاصل از آنالیز و تعیین پارامترهای حساس

رتبه	حساس‌ترین پارامترها به دبی جریان	p-value	t-stat	حساس‌ترین پارامترها به دبی رسوب	p-value	t-stat
۱	r_CN2	۰/۰۰۳۳۴	۳/۹۲۹۱	v_HRU_SLP	۰/۰۲۶	۲/۹۲۷
۲	v_ALPHA_BF	۰/۰۰۶	-۲/۷۳۱	r_C_FACTOR	۰/۱۴۱	-۱/۵۸۹
۳	v_SFTMP	۰/۰۴۹۵	۰/۷۵۰	v_SPEXP	۰/۲۲۵	-۱/۳۸۴
۴	v_LAT_TTIME	۰/۰۸۳	-۱/۲۴۳	v_SURLAG	۰/۲۶۳	-۱/۲۰۵

نتایج واسنجی و صحت‌سنجی رواناب و رسوب به ترتیب در بازه ۰/۲۸ تا ۰/۴۷ و ۰/۳۷ تا ۰/۶۹ می‌باشد. نتایج به‌دست‌آمده p-factor برای رواناب کوچک بوده و نشانگر عدم قطعیت زیاد در پیش‌بینی‌ها می‌باشد. در اکثر ایستگاه‌ها جریان پایه توسط مدل کم‌تر از مقادیر

در شبیه‌سازی رواناب و رسوب ایستگاه‌های مطالعاتی رضایت‌بخش می‌باشد.

واقعی پیش‌بینی شده است که این موضوع می‌تواند یکی از دلایل پایین بودن p-factor باشد. معیارهای ارزیابی برازش و عدم قطعیت

جدول ۵- معیارهای ارزیابی کارایی مدل در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی دبی رواناب و رسوب ماهانه (مقادیر داخل پرانتز نشانگر نتایج حاصل از مرحله صحت‌سنجی می‌باشند)

ایستگاه/معیار	p-factor	r-factor	R <sup>2</sup>	NS	
ایستگاه کردخیل	رواناب	۰/۳۲ (۰/۲۸)	۰/۵۴ (۰/۹۱)	۰/۷۳ (۰/۸۱)	۰/۶۳ (۰/۵۲)
	رسوب	۰/۵۲ (۰/۴۵)	۱/۳۴ (۰/۷۶)	۰/۷۲ (۰/۶۷)	۰/۷۲ (۰/۶۲)
ایستگاه گرم‌رود	رواناب	۰/۳۸ (۰/۳۸)	۰/۵۲ (۱/۲۱)	۰/۷۱ (۰/۶۸)	۰/۶۰ (۰/۵۵)
	رسوب	۰/۵۵ (۰/۳۸)	۰/۹۴ (۰/۶۶)	۰/۷۳ (۰/۶۹)	۰/۷۴ (۰/۷)
ایستگاه ورنه	رواناب	۰/۴۷ (۰/۳۳)	۰/۸۰ (۱/۰۸)	۰/۷۲ (۰/۷۳)	۰/۵۸ (۰/۵۶)
	رسوب	۰/۴۸ (۰/۳۹)	۰/۴۴ (۰/۸۸)	۰/۷۹ (۰/۸۴)	۰/۶۹ (۰/۶۶)
ایستگاه واسان	رواناب	۰/۳۲ (۰/۴۷)	۰/۷۲ (۰/۸۳)	۰/۸۷ (۰/۶۸)	۰/۷۲ (۰/۶۲)
	رسوب	۰/۵۹ (۰/۶۴)	۰/۷۶ (۱/۲۹)	۰/۶۸ (۰/۶۳)	۰/۶۷ (۰/۶۳)
ایستگاه پرویج‌آباد	رواناب	۰/۴۶ (۰/۴)	۰/۸۸ (۱/۱۲)	۰/۸۳ (۱/۰)	۰/۶۶ (۰/۵۴)
	رسوب	۰/۶ (۰/۴۵)	۱/۱۴ (۰/۷۳)	۰/۶۲ (۰/۷۷)	۰/۶۱ (۰/۵۸)
ایستگاه علی‌آباد	رواناب	۰/۴۵ (۰/۳۷)	۰/۳۹ (۰/۷۸)	۰/۸۱ (۰/۷۴)	۰/۶۷ (۰/۵۴)
	رسوب	۰/۶۹ (۰/۶۷)	۰/۸۱ (۰/۸۸)	۰/۶۸ (۰/۷۴)	۰/۵۶ (۰/۵۴)

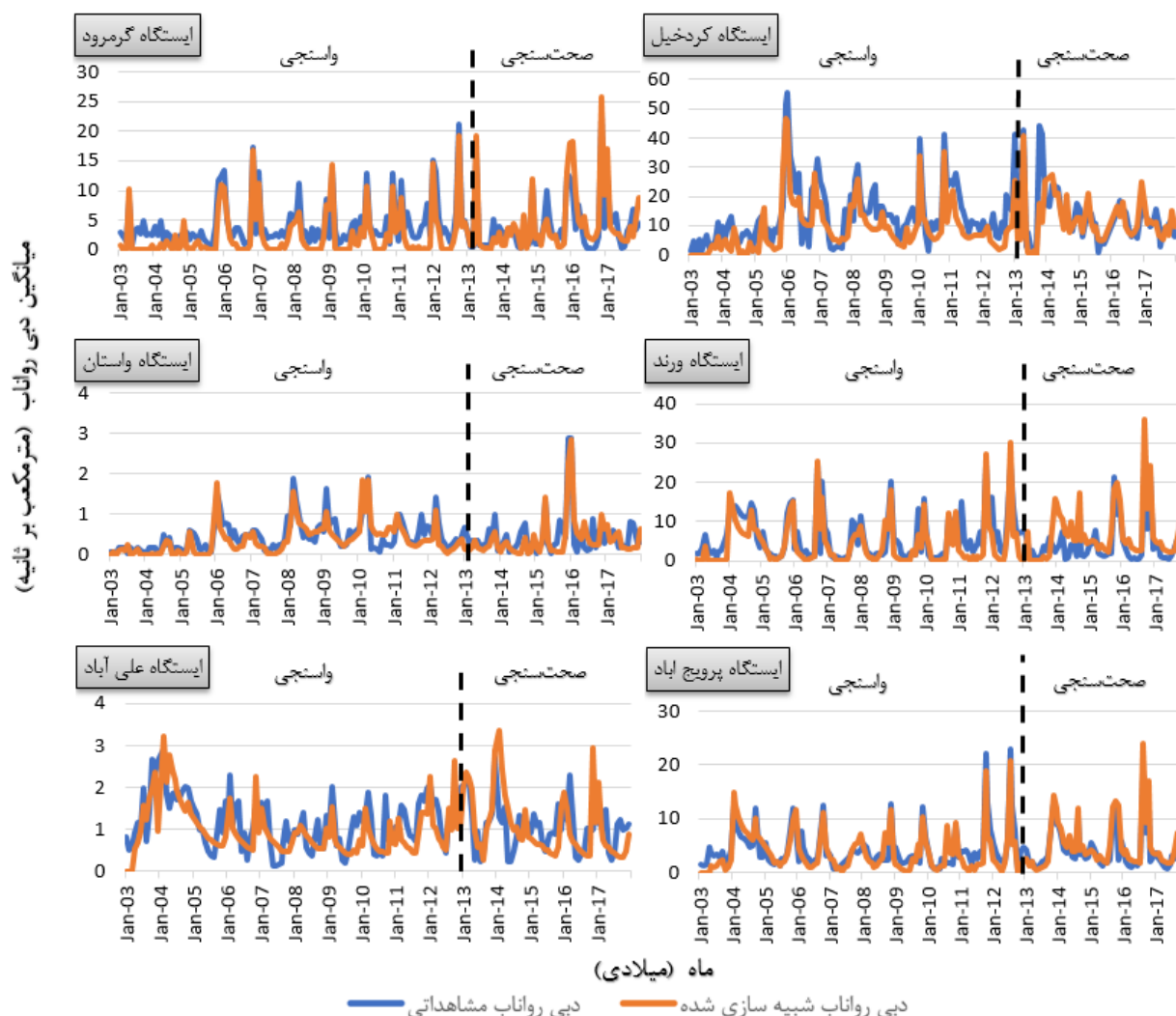
گردیده است. با توجه به نتایج مدل در دوره واسنجی عملکرد بهتری نسبت دوره صحت‌سنجی داشته است.

مطابق شکل (۳) مدل در ایستگاه علی‌آباد و واسان از ابتدای شبیه‌سازی نتوانسته به خوبی عمل کند یکی از دلایل این امر می‌تواند کوهستانی بودن محدوده ایستگاه و فعالیت‌های صورت گرفته باشد. همچنین، مدل در شبیه‌سازی رسوب در نقاط اوج به خوبی عمل کرده است که نشان از عملکرد خوب مدل می‌باشد. لازم به ذکر است در مورد مقادیر رسوب پس از وقایع سیلابی مقادیر حمل شده از بالادست به پایین دست باعث می‌شود تعادل و توازن در دبی رسوب دچار تغییرات ناگهانی شده و سپس در بازه زمانی که جریان سیلابی نیست با جریان منطبق شود. یافته‌های این پژوهش با نتایج بریک و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد. آن‌ها در مطالعه حوضه آبریز کالایا واقع در شمال مراکش ضرایب R<sup>2</sup> و NS را برای رسوب در دوره واسنجی ۰/۷۲ و ۰/۷۶ و برای دوره صحت‌سنجی ۰/۶۷ و ۰/۷۲ به دست آوردند. یوسف و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهش خود توانایی مدل SWAT را در شبیه‌سازی رسوب را رضایت‌بخش گزارش کردند.

یافته‌های پژوهش حاضر بیانگر عملکرد بهتر مدل در مرحله واسنجی نسبت به صحت‌سنجی می‌باشد که با نتایج بریک و همکاران (۲۰۱۶)، جمینو و همکاران (۲۰۱۸) نیکخو امیری و همکاران (۱۳۹۸) و رستمیان و همکاران (۱۳۸۷) مطابقت دارد.

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول (۵)، نتایج ارزیابی ضریب تعیین (R<sup>2</sup>) برای دوره واسنجی و صحت‌سنجی رواناب و رسوب به ترتیب در بازه ۰/۶۸ تا ۰/۸۷ و ۰/۶۲ تا ۰/۷۹ قرار گرفت. ضریب نش - سانتکلیف (NS) یکی دیگر از شاخص‌های مورد ارزیابی در این مطالعه می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده برای این شاخص مقادیر دوره واسنجی و صحت‌سنجی رواناب در بازه ۰/۵۲ تا ۰/۷۲ و رسوب در بازه ۰/۵۸ تا ۰/۷۴ می‌باشد. نتایج مطالعه حاضر با نتایج نیکخو امیری و همکاران (۱۳۹۸)، فریدون و همکاران (۲۰۱۹)، جمینو و همکاران (۲۰۱۸) و مهظری و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد. در شکل (۲) و (۳) نتایج واسنجی و صحت‌سنجی رواناب مدل SWAT در شش ایستگاه مطالعاتی ارائه شده است.

با توجه به شکل (۲) در خصوص دوره واسنجی نتایج در ایستگاه پرویج‌آباد نشان می‌دهد مدل زمان و تخمین مقدار رسیدن به حداکثر دبی رواناب را به خوبی شبیه‌سازی نموده است. از طرفی در ایستگاه ورنه و کردخیل زمان رسیدن به دبی اوج به خوبی پیش‌بینی شده اما مدل در شبیه‌سازی میزان دبی پایه ضعیف عمل کرده که در ایستگاه ورنه یکی از دلایل آن می‌تواند مربوط به ذوب برف باشد چرا که این ایستگاه در مناطق کوهستانی واقع شده و این پارامتر جز پارامترهای حساس مدل در شبیه‌سازی نبوده است. در خصوص ایستگاه کردخیل زمان تأخیر جریان می‌تواند پارامتر تأثیرگذار باشد. به این دلیل که ایستگاه بعد از محدوده شهری و در نزدیکی خروجی به دریا می‌باشد. نتایج صحت‌سنجی برای ایستگاه‌های منتخب نیز در شکل (۲) ارائه



شکل ۲- نتایج واسنجی و صحت‌سنجی دبی رواناب مدل SWAT در ایستگاه‌های مطالعاتی

### ارزیابی سناریو

همان‌طور که اشاره شد هدف این پژوهش بررسی تأثیر آبنندان‌ها به‌عنوان مخازن جمع‌آوری آب‌های سطحی و نامتعارف بر رواناب و رسوب می‌باشد. به‌منظور بررسی و ارزیابی تأثیر این سازه‌ها، مدل SWAT با وجود این سازه‌ها اجرا شد که کارایی مدل و نتایج آن به‌عنوان وضعیت موجود در بخش‌های قبل ارائه گردید. در این بخش سناریوی بدون در نظر گرفتن آبنندان‌ها اجرا گردید. تا مشخص گردد این سازه‌های بومی تا چه حد می‌توانند در کنترل و مهار آب‌های سطحی و رسوب حمل شده در رودخانه نقش داشته باشند.

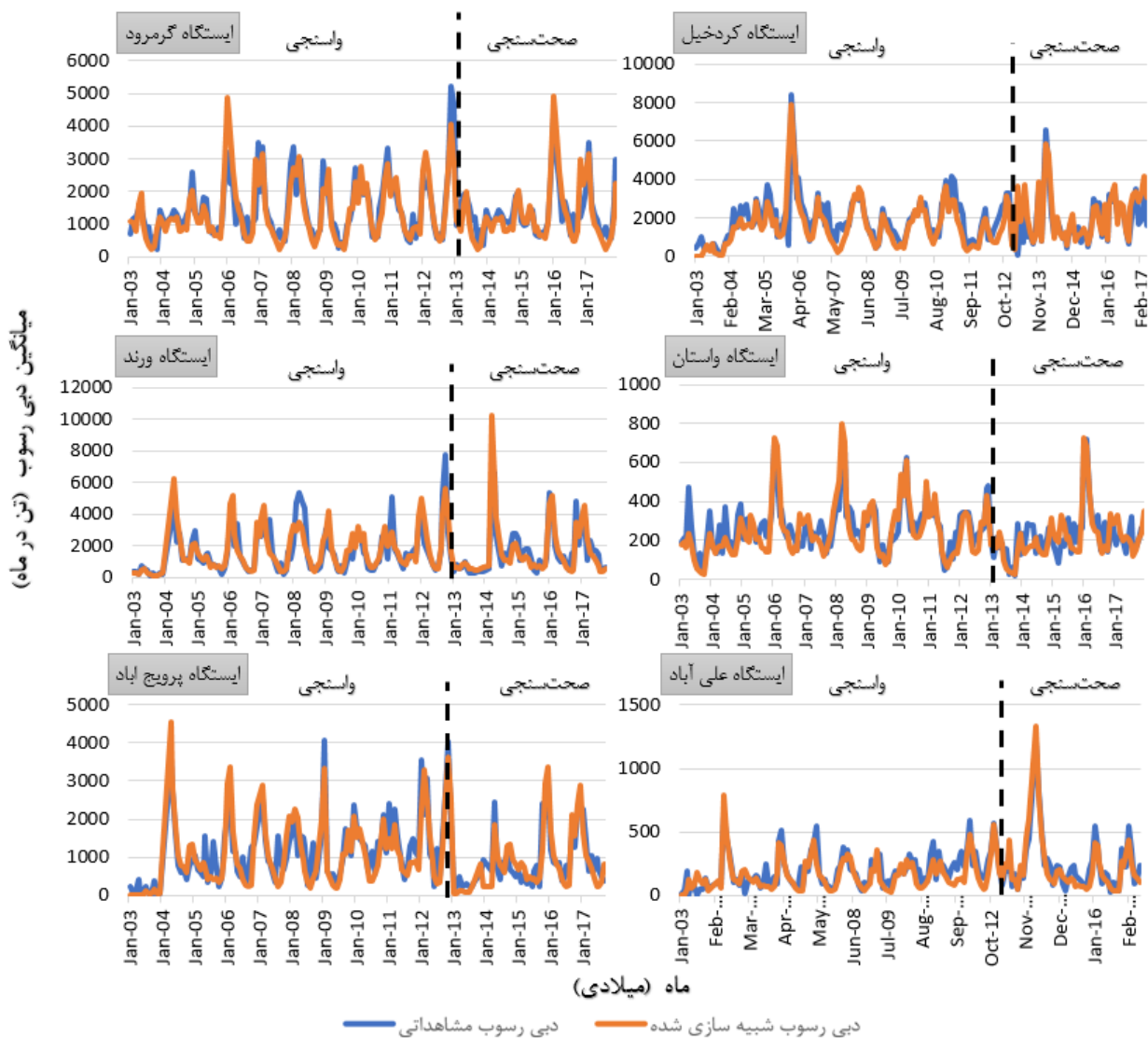
مطابق شکل (۴) نتایج حاصل از اجرای مدل بدون در نظر گرفتن آبنندان‌ها نشان‌دهنده افزایش دبی رواناب در ایستگاه‌های مطالعاتی می‌باشد. میانگین دبی رواناب ماهانه داده‌های مشاهداتی در بازه ۰/۲۳ تا ۱۶/۴۳ مترمکعب بر ثانیه مربوط به ایستگاه‌های واستان و

کردخیل می‌باشد همچنین، میانگین ماهانه دبی رواناب برای مقادیر شبیه‌سازی شده بدون در نظر گرفتن آبنندان‌ها در بازه ۰/۲۸ تا ۱۸/۵۴ مترمکعب بر ثانیه مربوط به ایستگاه‌های واستان و ورنند می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد مقادیر رواناب شبیه‌سازی شده در ایستگاه‌های گرمروود و کردخیل افزایش بیش‌تری نسبت به سایر ایستگاه‌ها در مقایسه با دبی رواناب مشاهداتی داشته که این امر می‌تواند به دو دلیل باشد، اول اینکه پراکنش آبنندان‌ها در محدوده این ایستگاه‌ها بیشتر از سایر ایستگاه‌ها بوده که متعاقباً رواناب بیشتری در این محدوده مهار می‌شود و دوم اینکه این ایستگاه‌ها در خروجی حوضه قرار دارند و میانگین دبی رواناب بالاتری دارند. مطابق شکل (۴) در ایستگاه علی‌آباد مقادیر رواناب مشاهداتی در برخی از ماه بیش‌تر از مقادیر شبیه‌سازی شده می‌باشد ممکن است عدم وجود آبنندان‌ها در این محدوده و تعدد وقوع سیلاب در ماه May (اردیبهشت) در این ایستگاه باشد که میانگین داده‌های مشاهداتی را

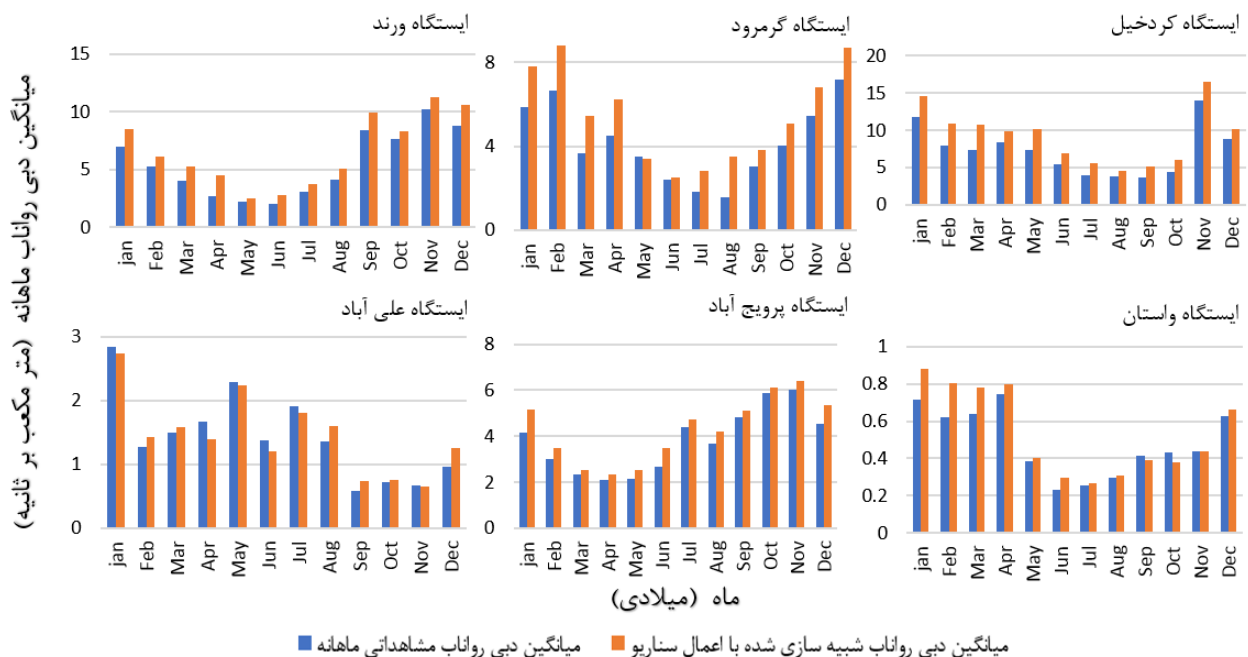


دبی رواناب در ماه‌های Nov (آبان) و Jan (دی) بیشترین مقدار را داشته است. از طرفی میزان افزایش رواناب در صورت نبودن آبنندان‌ها در این ماه نیز بیشتر از سایر ماه‌ها می‌باشد، نشانگر این موضوع است که آبنندان‌ها در این ماه‌ها بیشترین مهار رواناب را دارند در واقع، ماه‌های آبیگری این سازه می‌باشند. همچنین در ماه‌های Jul (تیر) و Aug (مرداد) کمترین مقدار رواناب را دارند که یکی از دلایل آن می‌تواند وقوع بارش‌های کم در این ماه‌ها باشد. علاوه بر این در این ماه‌ها مهار رواناب توسط این سازه‌ها کمترین مقدار را دارد که علت آن می‌تواند استفاده از آب این سازه‌ها برای مصارف کشاورزی باشد.

در این ماه بالا برده است. البته بایستی از عدم اطلاعات کافی در خصوص برداشت‌های در مسیر رودخانه غافل نماند. مطابق نتایج به‌دست‌آمده میانگین دبی رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در فصل‌های بارندگی بالا بوده و در فصل خشک سال (کاهش مقدار بارندگی) که فصل کشت نیز می‌باشد دبی ثبت‌شده در ایستگاه‌های هیدرومتری و شبیه‌سازی شده کم می‌باشد که این امر می‌تواند نشان‌دهنده عملکرد رضایت‌بخش مدل باشد. نتایج نشان می‌دهد با در نظر گرفتن این سناریو و نبود آبنندان‌ها در حوضه آبخیز تجن دبی رواناب در تمامی ایستگاه‌ها بیشتر خواهد شد. میانگین دبی رواناب ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده، با اعمال سناریو نشان می‌دهد



شکل ۳- نتایج واسنجی و صحت‌سنجی دبی رسوب مدل SWAT در ایستگاه‌های مطالعاتی



شکل ۴- میانگین دبی رواناب ماهانه و شبیه‌سازی شده با اعمال سناریو در ایستگاه‌های مطالعاتی

این ایستگاه بیش‌تر می‌باشد و با کم‌تر شدن تراکم این آبنندان در مناطق بالادست تأثیر سناریو کم‌تر می‌شود. همچنین اجرای سناریو در دو ایستگاه پرویج‌آباد و علی‌آباد کم‌ترین تأثیر را داشته است دلیل اصلی این امر وجود سد بعد از این ایستگاه‌ها می‌باشد لازم به ذکر است چند آبنندان کوچک قبل از سد وجود دارد که این تغییرات ناشی از وجود این آبنندان‌ها می‌باشد. در نهایت نتایج نشان داد وجود آبنندان‌ها موجب مهار ۱۶/۳ درصدی رواناب و ۱۷/۵ درصدی رسوب در حوضه آبخیز تجن می‌شود. با توجه به نتایج یکی از راهکارهای مدیریتی برای کاهش رواناب و رسوب استفاده از آبنندان‌ها می‌باشد که لایروبی و احداث آبنندان‌های جدید می‌تواند مؤثر باشد.

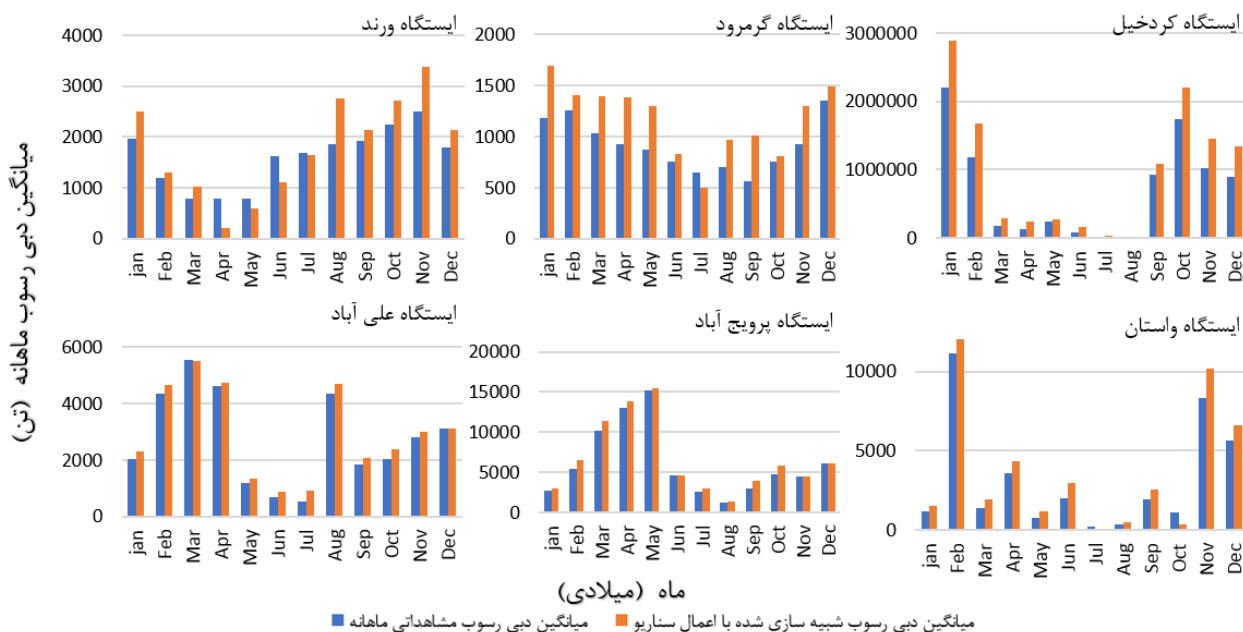
برای بررسی دقیق‌تر تأثیر آبنندان‌ها، با توجه به داده‌ها مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷ روزه‌های وقوع سیل برای هر ایستگاه مشخص گردید. از طرفی چون عملکرد مدل در پیش‌بینی دبی حداکثر رواناب و رسوب قابل قبول بوده است لذا این وقایع در شبیه‌سازی صورت گرفته با اعمال سناریو نیز بررسی شد و نتایج حاصل در جدول (۷) ارائه شده است.

تاریخ وقوع دبی‌های حداکثر بررسی شده و مقادیر رسوب، یکسان در نظر گرفته شد. با توجه به جدول (۷) در صورت اعمال سناریو و نبود آبنندان‌ها در حوضه مطالعاتی دبی سیلاب رواناب و رسوب در تمامی ایستگاه‌های افزایش خواهد یافت. دبی حداکثر رواناب و رسوب بدون حضور آبنندان‌ها بر ایستگاه کردخیل بیشترین تأثیر را گذاشته و باعث افزایش ۳۴ درصدی رواناب و ۴۳ درصدی رسوب در این ایستگاه شده است. از آنجا که در استان مازندران و استان‌های شمالی

نتایج شکل (۵) نیز نشان‌دهنده افزایش دبی رسوب در ایستگاه‌های مطالعاتی بدون در نظر گرفتن آبنندان‌ها می‌باشد. دبی رسوب اندازه‌گیری شده در داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با اعمال سناریو به ترتیب در بازه ۲۱۱ تا ۲۲۰۳۵۴۲ و ۷۶ تا ۲۸۴۰۵۶ تن در ماه در ایستگاه‌های واستان و کردخیل می‌باشد. در نتایج به‌دست‌آمده اختلاف داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ایستگاه‌های کردخیل و گرمرد بیش‌تر از سایر ایستگاه‌ها می‌باشد که این نتایج با یافته‌های به‌دست‌آمده در شبیه‌سازی رواناب مطابقت دارد. میانگین دبی رسوب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با اعمال سناریو در ماه‌های Jan (دی) و Oct (آبان) بیشترین مقدار می‌باشد زیرا در این ماه‌ها میزان دبی حداکثر بوده و میزان سیلاب‌ها در این ماه حداکثر می‌باشد. ماه‌های Jul (تیر) و Aug (مرداد) کمترین مقدار میانگین دبی رسوب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با اعمال سناریو می‌باشد. همچنین در سناریو نبود آبنندان در فصل زمستان دبی رسوب در بیش‌ترین مقدار خود خواهد بود درحالی که در فصل تابستان این مقدار کمترین است که نشان می‌دهد در فصل زمستان مهار رسوب در آبنندان‌ها حداکثر می‌باشد.

با توجه به نتایج حاصل از اجرای سناریو مطابق جدول (۶)، در صورت نبود آبنندان‌ها در ایستگاه هیدرومتری کردخیل شاهد افزایش ۳۲ درصدی رواناب و ۳۵ درصدی رسوب خواهیم بود. همچنین، در ایستگاه علی‌آباد رواناب و رسوب به ترتیب ۲ و ۵ درصد افزایش داشته است. ایستگاه کردخیل بیش‌تر از سایر ایستگاه‌ها تحت تأثیر سناریو قرار گرفته است چرا که مطابق شکل (۱) تراکم آبنندان‌ها در نزدیکی

با مشکل مه‌بار سیلاب‌ها و رسوب حاصله مواجه هستیم، با توجه به کاهش ۱۷ درصدی رواناب و ۲۷ درصدی رسوب توسط آبنندان‌ها در فصول سیل‌خیز می‌توان از آبنندان‌ها به‌عنوان یک سازه موفق در مه‌بار و کاهش رواناب و رسوب در مواقع سیلابی نام برد.



شکل ۵- میانگین دبی رسوب ماهانه و شبیه‌سازی شده با اعمال سناریو در ایستگاه‌های مطالعاتی

جدول ۶- میزان مه‌بار رواناب و رسوب با اعمال سناریو

ردیف	ایستگاه	درصد افزایش رواناب	درصد افزایش رسوب
۱	کردخیل	۳۲	۲۵
۲	گرم‌رود	۳۰	۲۸
۳	ورند	۲۱	۱۴
۴	واستان	۱۰	۱۷
۵	پرویح‌آباد	۳	۶
۶	علی‌آباد	۲	۵
۷	میانگین	۱۶/۳	۱۷/۵

جدول ۷- میانگین دبی رواناب و رسوب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با اعمال سناریو در زمان دبی حداکثر

ایستگاه	تعداد وقوع دبی حداکثر	میانگین دبی حداکثر رواناب مشاهداتی (مترمکعب بر ثانیه)	میانگین دبی حداکثر رواناب شبیه‌سازی شده با اعمال سناریو (مترمکعب بر ثانیه)	میانگین دبی حداکثر رسوب مشاهداتی (تن)	میانگین دبی حداکثر رسوب شبیه‌سازی شده با اعمال سناریو (تن)
کردخیل	۸	۴۸/۵۱	۶۵/۰۴	۷۳۹۸	۱۰۶۰۷
گرم‌رود	۱۶	۱۶/۴۱	۲۱/۱۲	۴۳۲۷	۵۸۹۷
ورند	۹	۱۹/۶۶	۲۴/۴۷	۶۲۴۷	۸۱۷۵
واستان	۱۲	۲/۵۳	۲/۸۱	۶۲۹	۷۶۸
پرویح‌آباد	۱۵	۱۵/۲۶	۱۵/۶۳	۳۱۴۵	۳۲۱۱
علی‌آباد	-	-	-	-	-
میانگین	-	۲۲/۰۷	۲۵/۸۱	۴۳۴۹	۵۵۳۲

## نتیجه‌گیری

اجرای مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب و رسوب ماهانه در شش ایستگاه کردخیل، گرمود، ورنه، واستان، پرویج‌آباد و علی‌آباد واستنجی و صحت‌سنجی شد که نتایج آن با توجه موارد ارائه شده بیانگر عملکرد رضایت‌بخش مدل SWAT بوده است. علیرغم شبیه‌سازی صحیح زمان دبی حداکثر توسط مدل در اکثر ایستگاه‌ها، مقادیر دبی حداکثر در حوضه مطالعاتی به‌خصوص در فصل بهار کم برآورد شده‌اند. علت این امر را می‌توان عملکرد ضعیف روش SCS و در نظر نگرفتن پارامتر ذوب برف دانست. همچنین، نتایج نشان داد مدل در شبیه‌سازی رسوب بهتر از رواناب عمل کرده است که این امر می‌تواند به دلیل استفاده از پارامترهای حساس بیشتر در شبیه‌سازی رسوب نسبت به رواناب باشد. نتایج ارزیابی تأثیر آبنندان‌ها روی مهار آب‌های سطحی نشان داد این سازه‌های بومی با کاهش ۱۶/۳ درصدی رواناب و ۱۷/۵ درصدی رسوب نقش بسزایی در مدیریت منابع آب‌های سطحی و نامتعارف در تغذیه آب‌های سطحی دارند. همچنین، این سازه‌ها در فصول سیلابی نیز با مهار ۱۷ درصدی رواناب و ۲۷ درصدی رسوب توانسته در مهار دبی‌های اوج حوضه مطالعاتی بسیار موفق عمل کند. با توجه به نتایج حاصل می‌توان به این امر اشاره کرد که وجود آبنندان‌ها با مهار رواناب و رسوب باعث بهبود شرایط آبی منطقه شده است. لذا از آنجایی که آب‌های مهارشده توسط این سازه‌ها در مصارف مختلف مانند کشاورزی، تغذیه آب زیرزمینی، آبی‌پروری، تفریحی و گردشگری استفاده می‌شود، نیازمند توجه و برنامه‌ریزی مناسب می‌باشد. افزایش سطح و حجم آبنندان‌ها و تعریف سناریوهای مدیریتی دیگر مانند مدیریت بخش‌های زراعی در مدل SWAT پیشنهاد می‌شود.

## منابع

- اجلالی، ف.، اصغری، ا.، درزی نفت‌چالی، ع. و دهقانی، م. ۱۳۹۴. ارزیابی توسعه آبنندان‌ها بر ذخیره آب زیرزمینی و کاهش هزینه آبیاری برنج در استان مازندران. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. ۶(۲۲): ۹۰-۱۰۱.
- بسالت پور، ع. و حسین زاده، ن. ۱۳۹۴. تئوری و آموزش گام به گام ساخت و اجرای مدل SWAT. دانشگاه ولیعصر رفسنجان.
- پور محمد، ی.، شاهنظری، ع.، عمادی، ع. ر. و احمدی، م. ض. ۱۳۹۰. اثر لایروبی آبنندان‌ها بر تغییرات تخصیص آب در حوضه سد البر با استفاده از مدل WEAP. پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز. ۲(۴): ۴۴-۵۶.
- رجایی، ف.، دهمرده بهروز، ر. و قلی پور، م. ۱۳۹۹. مدل سازی بار
- فسفات ورودی به دریای خزر از حوضه آبخیز تجن با استفاده از مدل ارزیابی آب و خاک. علوم و تکنولوژی محیط زیست. ۲۲(۸): ۱۶۹-۱۸۱.
- رستمیان، ر. ۱۳۸۷. کاربرد مدل SWAT 2000 در تخمین رواناب و رسوب حوضه بهشت‌آباد از زیر حوضه‌های کارون شمالی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۲(۴۶): ۵۱۷-۵۳۱.
- دیهول، م.، نوری، ح.، میرزایی، ف. و یزدانی، م. ۱۳۹۴. بهره برداری بهینه از آبنندان در آبیاری اراضی شالیزار استان گیلان. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. ۵(۲): ۴۷-۶۰.
- مرادی، ر. و شاهنظری، ع. ۱۳۸۹. نقش لایروبی و بهسازی آبنندان در مدیریت منابع آب. اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی. آذر ماه. گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
- علیزاده، ا.، ایزدی، ع.، داوری، ک.، ضیایی، ع.، اخوان، س. و حمیدی، ز. ۱۳۹۲. برآورد تبخیر- تعرق واقعی در مقیاس سال - حوضه با استفاده از SWAT. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۷(۲): ۲۴۳-۲۵۸.
- عظیمی، ج. و طراج، ع. گ. ۱۳۸۹. ارزیابی اقتصادی بهسازی و مرمت آبنندان. اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی. آذر ماه. گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
- محمدی، م.، کاویان، ع. و غلامی، ل. ۱۳۹۶. شبیه‌سازی دبی و نیترات آب در حوضه آبخیز تالار با استفاده از مدل SWAT. پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز. ۸(۱۵): ۴۵-۶۰.
- نیکخو امیری، ص.، خوش‌روش، م. و نوروزولاشدی، ر. ۱۳۹۸. شبیه‌سازی سری زمانی جریان در محل خروجی سد شهید رجایی با استفاده از مدل SWAT. مهندسی آبیاری و آب ایران. ۱۰(۳۷): ۶۷-۸۱.
- Abbaspour, K. C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H. and Klove, B. 2015. A continentalscale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. Journal of Hydrology. 524: 733-752.
- Alessa, L., Kliskey, A., Lammers, R., Arp, C., White, D., Hinzman, L. and Busey, R. 2008. The arctic water resource vulnerability index: an integrated assessment tool for community resilience and vulnerability with respect to freshwater. Environmental management. 42(3): 523-541.

- assessment of the role of ponds in the adoption of water-saving irrigation practices in the Zhanghe Irrigation System. China. *Agricultural Water Management*. 83(1-2): 100-110.
- Pechlivanidis, I. G., Jackson, B. M., McIntyre, N. R. and Wheeler, H. S. 2011. Catchment scale hydrological modelling: a review of model types, calibration approaches and uncertainty analysis methods in the context of recent developments in technology and applications. *Global NEST journal*. 13(3): 193-214.
- Tsun Fang, W., Pin Chien, C. and Chen Chen, S. 2012. Study on agricultural benefits by increasing capacity of water ponds: a case study at Taoyuan paddy fields. *Paddy and Water Environment*. 10(1): 231-250.
- Vilaysane, B., Takara, K., Luo, P., Akkharath, I. and Duan, W. 2015. Hydrological stream flow modelling for calibration and uncertainty analysis using SWAT model in the Xedone river basin. *Lao PDR. Procedia Environmental Sciences*. 28: 380-390.
- Verbeeten, E. and Barendregt, A. 2007. The impacts of climate change on hydrological services provided by dry forest ecosystems in West Africa. In 4th International SWAT Conference.
- Wang, X., Melesse, A. M. and Yang, W. 2006. Influences of potential evapotranspiration estimation methods on SWAT's hydrologic simulation in a northwestern Minnesota watershed. *Transactions of the ASABE*. 49(6): 1755-1771.
- Xie, X. and Cui, Y. 2011. Removal Development and test of SWAT for modeling hydrological processes in irrigation districts with paddy rice, *Journal of Hydrology*. 396 (2): 61-71.
- Yesuf, H. M., Assen, M., Alamirew, T. and Melesse, A. M. 2015. Modeling of sediment yield in Maybar gauged watershed using SWAT, northeast Ethiopia. *Catena*, 127: 191-205.
- Briak, H., Moussadek, R., Aboumaria, K. and Mrabet, R. 2016. Assessing sediment yield in Kalaya gauged watershed (Northern Morocco) using GIS and SWAT model. *International Soil and Water Conservation Research*. 4(3): 177-185.
- Donigian, A. S. 2002. Watershed model calibration and validation: The HSPF experience. *Proceedings of the Water Environment Federation*. 2002(8): 44-73.
- Fereidoon, M., Koch, M. and Brocca, L. 2019. Predicting rainfall and runoff through satellite soil moisture data and SWAT modelling for a poorly gauged basin in Iran. *Water*. 11(3): 594.
- Huang, H.L. and Wu, R.S. 2011. The Estimation of Water Supply of Regional Paddy Irrigation System by VENSIM Model. [Online]. Available at: [https://www.rid.go.th/thaicid/\\_6\\_activity/Technical-Session/SubTheme3/3.17-Hao\\_LH-Ray\\_SW.pdf](https://www.rid.go.th/thaicid/_6_activity/Technical-Session/SubTheme3/3.17-Hao_LH-Ray_SW.pdf).
- Jimeno-Sáez, P., Senent-Aparicio, J., Pérez-Sánchez, J. and Pulido-Velazquez, D. 2018. A comparison of SWAT and ANN models for daily runoff simulation in different climatic zones of peninsular Spain. *Water*. 10(2): 192.
- Mahzari, S., Kiani, F., Azimi, M., and Khormali, F. 2016. Using SWAT model to determine runoff, sediment yield and Nitrate loss in Gorganrood watershed, Iran. *Ecopersia*. 4(2): 1359-1377.
- Moriassi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D. and Veith, T. L. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*. 50(3): 885-900.
- Mostafazadeh, R., Shahabi, M., and Zabihi, M. 2015. Analysis of meteorological drought using Triple Diagram Model in the Kurdistan province. *Iran. Geographical Planning of Space Quarterly Journal*. 17: 129-140.
- Mushtaq, S., Dawe, D., Lin, H. and Moya, P. 2006. An

## Evaluation of the Effect of Dams on Runoff and Sediment Parameters using SWAT Model (Case study: Tajan River watershed, Mazandaran)

Zarei Ghorkhodi<sup>1</sup>, A. Shahnazari<sup>2\*</sup>, F. Mohammadi<sup>3</sup>

Recived: Dec.18, 2021

Accepted: Jan.02, 2021

### Abstract

Changing rainfall patterns and increasing population in Mazandaran province has caused the correct use of surface water resources in various sectors, especially agriculture is inevitable. In spite of appropriate rainfall potential in Mazandaran province, there is no regular plan for the management and use of surface and unconventional water resources. Whiles using the ab-bandan, some of the problems of the water sector in this area can be solved. In order to evaluate this issue in the present study, the SWAT model was used in the Tajan watershed from 2000 to 2017. First, the efficiency of the model and its results were evaluated as the current situation, then the scenario was implemented without considering the ab-bandans. The SUFI2 algorithm in SWAT CUP software was used to analyze the uncertainty, calibration and validation of monthly discharge and sediment at six selected stations in the SWAT model. The performance of the model was evaluated by coefficient of determination ( $R^2$ ) and Nash Sutcliffe (NS).  $R^2$  coefficient in runoff and sediment simulation was obtained in the range of 0.68\_ 0.87 and 0.62 \_ 0.79, respectively. Also, the NS coefficient for runoff was in the range of 0.52 \_ 0.72 and sediment was in the range of 0.58 \_ 0.74. The results showed that the model had desirable performance in the discharge and sediment simulation. The findings of the scenario show that in the absence of ab-bandans, runoff discharge and sediment output will increase by 16.3% and 17.5%, which indicates the inhibition of discharge and sediment by these structures. Also, by examining the scenario, in the flood event, these structures had an effective role in flood control by inhibiting 17% of runoff and 27% of sediment. Due to the capacity of ab-bandans in controlling discharge and sediment, it can be planned to management surface water resources and floods control by increasing the surface and volume of these structures.

**Keywords:** Floodwater, Scenario, Simulation, Surface water

1- M.S.c student of Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

3- Ph. D Graduate in Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

(\*- Corresponding Author Email: aliponh@yahoo.com)