

ارزیابی مدل SWAT در شبیه‌سازی همزمان رواناب رودخانه، تبخیر و تعرق واقعی و عملکرد محصولات کشاورزی: مطالعه موردی، حوضه زرينه‌رود

حجت احمدزاده^۱ - سعید مرید^{۲*} - مجید دلاور^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۷/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۶/۲۵

چکیده

در مطالعات بهره‌وری آب در بخش کشاورزی، مقادیر رواناب، تبخیر و تعرق واقعی و عملکرد محصولات زراعی و باغی اصلی‌ترین متغیرها هستند. برای ارزیابی راه‌کارهای ارتقاء بهره‌وری این بخش، شبیه‌سازی این متغیرها لازم خواهد بود. در این خصوص استفاده از مدل‌های مفهومی گزینه مناسبی هستند که مدل SWAT از جمله شناخته‌ترین آنها می‌باشد. مقاله حاضر به ارزیابی این مدل در شبیه‌سازی همزمان رواناب، تبخیر و تعرق واقعی و عملکرد تعدادی از محصولات کشاورزی غالب در حوضه زرينه‌رود می‌پردازد. علت انتخاب این حوضه نقش آن در تأمین نیاز آبی دریاچه ارومیه است که در سال‌های اخیر با مشکلات جدی مواجه شده است. افزایش ورودی آب این حوضه به دریاچه تنها با ارتقاء بهره‌وری آب میسر خواهد بود. بدین منظور حوضه ابتدا به ۱۱ زیرحوضه و ۹۰۸ واحد هیدرولوژیکی تقسیم شد تا بتوان الگوی کشت منطقه و نحوه تأمین آب آن در نزدیک‌ترین شکل به حالت واقعی به مدل معرفی گردد. در ادامه شبیه‌سازی رواناب با استفاده از ۶ ایستگاه آبنسجی در سطح حوضه برای دوره‌های ۱۹۹۹-۱۹۸۷ و ۲۰۰۶-۲۰۰۰ بترتیب واسنجی و اعتبارسنجی شد که برای دوره واسنجی مقادیر R^2 بین ۰/۴۹ تا ۰/۷۱ و RMSE بین ۳/۹ تا ۴۴/۹ (مترمکعب در ثانیه) و برای اعتبارسنجی مقادیر ۰/۵۴ تا ۰/۷۷ برای R^2 و ۲/۰۷ تا ۵۵/۷ برای RMSE را به همراه داشت. همچنین، میزان تبخیر و تعرق واقعی از محصولات براساس سال‌های پرباران که تنش آبی در حوضه نبوده، با اطلاعات سند ملی آب واسنجی شد که مقادیر R^2 و RMSE بترتیب برابر با ۰/۹۷ و ۵۲/۵ میلی‌متر در سال را نتیجه داد. نهایتاً عملکرد ۷ محصول عمده حوضه شبیه‌سازی و با آمار موجود مقایسه شد که مقادیر R^2 و RMSE بترتیب برابر با ۰/۹ و ۱/۶۵ تن در هکتار را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: دریاچه ارومیه، حوضه زرينه‌رود، رواناب، تبخیر و تعرق واقعی، عملکرد محصولات، SWAT

مقدمه

دخیل در آن شامل منابع آبی، تبخیر و تعرق واقعی و عملکرد محصولات را طی سناریوهای مدیریتی شبیه‌سازی نمود که استفاده از مدل‌های مفهومی می‌تواند در این زمینه راه‌گشا باشد. بررسی تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که مدل (Soil and Water Assessment Tool) SWAT (۷) به دلایلی مانند بدون هزینه بودن (دریافت رایگان مدل از سایت SWAT) و قابلیت شبیه‌سازی مدیریت آب و خاک و متغیرهای گیاهی در حوضه‌های پیچیده گزینه مناسب در این زمینه می‌باشد (۷). سوابق نسبتاً زیادی از کاربرد این مدل در سیستم‌های بزرگ کشاورزی موجود است. به عنوان نمونه گوسین و همکاران (۱۲) از SWAT برای شبیه‌سازی رواناب سطحی و آب برگشتی از کانال‌های آبیاری در حوضه آندرا پرادش هند استفاده و نتایج مثبتی را از عملکرد آن گزارش کردند. در تحقیق دیگر عباسپور و همکاران (۵) از این مدل جهت شبیه‌سازی تمام فرایندهای مؤثر بر کیفیت آب، رسوب و چرخه عناصر غذایی حوضه رودخانه تور،

حوضه زرينه‌رود یکی از قطب‌های کشاورزی کشور و اصلی‌ترین رودخانه در تأمین آب دریاچه ارومیه است که طی سال‌های اخیر شدت روند کاهش تراز سطح آب را تجربه می‌کند. با توجه به توسعه قابل توجه بخش کشاورزی (به عنوان اصلی‌ترین بخش مصرف‌کننده منابع آب در این حوضه) بدیهی است که تأمین تقاضای زیست-محیطی دریاچه، نیاز به برنامه‌ریزی خاص خود را دارد که سرآمد آنها ارتقاء بهره‌وری آب در بخش کشاورزی می‌باشد. جهت ارزیابی راه‌کارهای ارتقاء بهره‌وری آب لازم است متغیرهای

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۲ و ۳- استاد و دانشیار گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
* - نویسنده مسئول: (Email: morid_sa@modares.ac.ir)

متوعی از محصولات زراعی و باغی در حوضه آبریز دریاچه هدف این تحقیق را رقم می‌زنند. این کار بخشی از طرحی است که در آن امکان ارتقاء بهره‌وری آب به منظور افزایش ورودی‌های آب به دریاچه ارومیه با مدیریت آب بخش کشاورزی را دنبال می‌کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی و داده‌ها

زیرحوضه زرینه‌رود، بزرگترین زیرحوضه درجه ۲ از حوضه دریاچه ارومیه است که در موقعیت ۴۵°۴۷' تا ۴۷°۲۰' طول جغرافیایی و ۳۵°۴۱' تا ۳۷°۲۷' عرض جغرافیایی قرار دارد. وسعت این حوضه بالغ بر ۱۲۰۲۵ کیلومتر مربع می‌باشد. همچنین شهرهای میاندوآب، شاهین‌دژ، تکاب و سقز از کانون‌های مهم شهری این حوضه هستند. سد زرینه‌رود تنها سد اصلی مورد بهره‌برداری در این حوضه بوده و از آن برای مصارف کشاورزی و شرب استفاده می‌گردد. در شکل ۱ موقعیت حوضه، زیرحوضه‌ها، سد زرینه‌رود و شبکه رودخانه‌های جاری در آن نشان داده شده است. در این تحقیق جهت تولید شبکه آبراهه‌ها و زیرحوضه‌ها از لایه رقومی ارتفاع (DEM) با اندازه سلولی ۳۰ متری استفاده گردید. همچنین از نقشه‌های کاربری اراضی (شکل ۲) (۳) و خاک FAO برای تعیین واحدهای هیدرولوژیکی یکسان حوضه (HRU) استفاده گردید. داده‌های مورد نیاز اقلیمی از ۶ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در محدوده مورد مطالعه استفاده گردید که مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. به همین ترتیب آمار ماهانه دبی ۶ ایستگاه آب‌سنجی تهیه و جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل به کار گرفته شد (شکل ۳). همچنین اطلاعات مربوط به سد زرینه‌رود از قبیل حجم کل و مفید مخزن، حجم مرده و غیره از سایت شرکت مدیریت منابع آب ایران تهیه و به مدل معرفی گردید.

از آنجا که شبیه‌سازی عملکرد محصولات کشاورزی بخشی از این تحقیق را رقم می‌زند، اطلاعات مربوط به عملیات کشاورزی، زراعی و سطح زیرکشت محصولات حوضه در شهرستان‌های واقع در محدوده جمع‌آوری گردید که در جدول ۲ ارائه شده‌اند (۴).

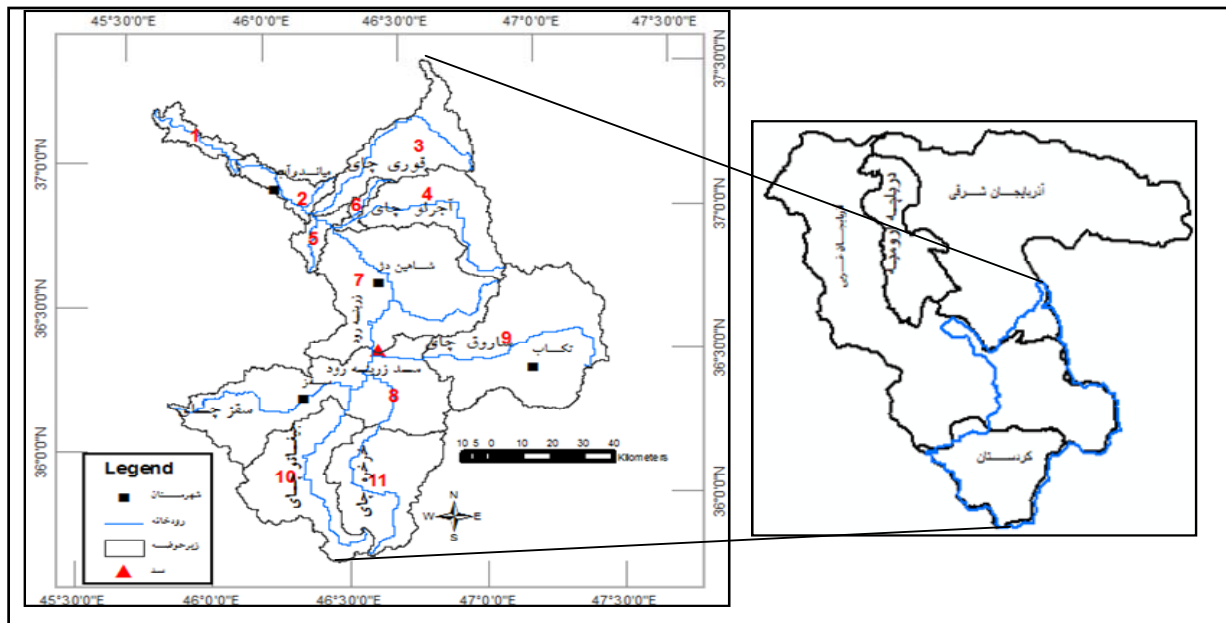
ساختار مدل SWAT

SWAT یک مدل نیمه‌توزیعی است که در آن تعریف واحدهای همگن هیدرولوژیکی (HRU) جهت اجرای مدل و شبیه‌سازی متغیرهای مورد نظر (متغیرهای هیدرولوژیکی، عملکرد، بهره‌وری و غیره) بسیار اهمیت دارد و این کار با تعریف توپوگرافی حوضه (با استفاده از نقشه DEM) و معرفی نقشه‌های کاربری اراضی و خاک به مدل صورت می‌گیرد.

واقع در شمال شرقی کشور سوئیس، با مساحتی حدود ۱۷۰۰ کیلومتر مربع، استفاده کردند. این مطالعه نتایج مناسبی را برای شبیه‌سازی رواناب و متغیرهای کیفی به همراه داشت. شول و همکاران (۲۴) نیز با استفاده از SWAT مقادیر مولفه‌های بیلان هیدرولوژیکی را در سطح زیرحوضه‌ای در آفریقا با دقت زمانی ماهانه برآورد و با استفاده از آنها شاخصی بنام کمبود آب^۱ را تعریف و محاسبه نمودند. همچنین در راستای طرح محاسبه توزیع زمانی و مکانی مقدار آب قابل دسترس جهانی، مدل SWAT برای تخمین کل آب قابل استفاده غرب آفریقا در سطح چهار میلیون کیلومتر مربع مورد استفاده قرار گرفت. علت استفاده از این مدل، توانایی آن در شبیه‌سازی بیلان هیدرولوژی به صورت واقع‌بینانه بیان شد (۲۳).

اما برعکس کاربرد مدل در شبیه‌سازی متغیرهای هیدرولوژیکی، تاکنون تحقیقات معدودی برای شبیه‌سازی عملکرد و تبخیر و تفرق واقعی و دیگر مؤلفه‌ها توسط آن صورت گرفته است. از محدود مطالعات در این خصوص تحقیقات بیان و همکاران (۲۷) است که تأثیر سناریوهای مختلف تغییر کاربری اراضی و تغییر الگوی کشت را بر روی سطح آب زیرزمینی مورد ارزیابی قرار دادند. ایمرزیل و همکاران (۱۹) در حوضه رودخانه آپریمما از این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد و تبخیر و تفرق واقعی از محصولات نیشکر، سورگوم و ارزن جهت ارزیابی بهره‌وری آب کشاورزی و همچنین برای مشخص کردن اجزای معادله بیلان آب استفاده کردند. در تحقیقی دیگر فرامرزی و همکاران (۱۰) عملکرد زراعی گندم و بهره‌وری آب کشاورزی آن را در ایران با استفاده از این مدل مورد بررسی قرار دادند. گیسالاکشمی و همکاران (۱۱) نیز با استفاده از SWAT تأثیر تغییرات الگوهای آب و هوایی را بر روی عملکرد گیاهان مختلف در حوضه رودخانه کاروری در کشور هند ارزیابی نمودند. در تحقیق دیگری نیز مقادیر عملکرد و تبخیر و تفرق واقعی سه گیاه نیشکر، ارزن و سورگوم جهت تولید نقشه‌ی مکانی بهره‌وری آب با استفاده از این مدل برای حوضه رودخانه آپریمما واقع در کشور هند، مورد شبیه‌سازی قرار گرفت (۱۷). به همین ترتیب جیمر و همکاران (۱۴) تغییرات تبخیر و تفرق پتانسیل و همچنین بهره‌وری آب گیاهی برای گیاه ذرت بر اساس سناریوهای مختلف مدیریتی را شبیه‌سازی کردند. با توجه به آنچه آمد، سوابقی از ارزیابی این مدل در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و عملکرد گیاهی ارائه گردید.

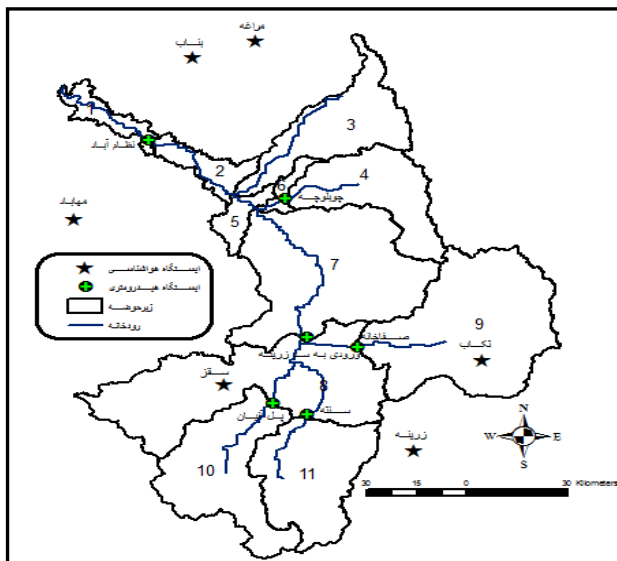
لازم به ذکر است که بیشتر تحقیقات فوق عملکرد مناسب SWAT را در مطالعات خود تأیید کرده‌اند. ولی تحقیقات محدود شدن به تعداد کم گیاه و عدم بررسی توأم عملکرد و متغیرهای هیدرولوژیکی بوده است. با توجه به آنچه آمد، ارزیابی مدل SWAT برای شبیه‌سازی توأم متغیرهای هیدرولوژیکی و گیاهی برای طیف



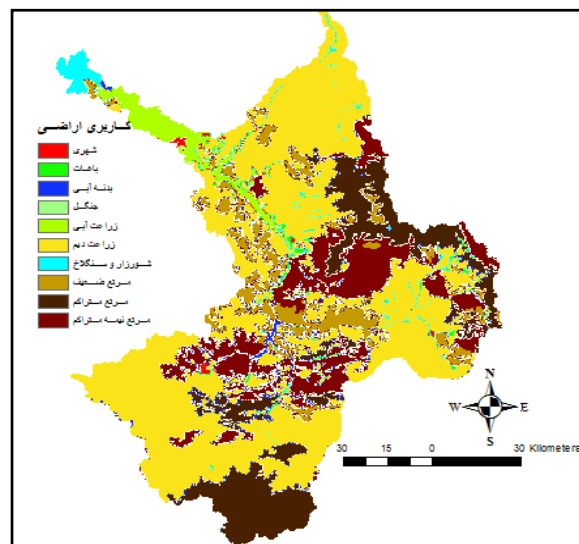
شکل ۱- موقعیت حوضه زرينه رود و زيرحوضه های آن

جدول ۱- مشخصات ایستگاه های هواشناسی مورد استفاده در تحقیق

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	طول دوره آماری
سقز	۴۶/۲۶	۳۶/۲۵	۱۵۲۲/۸	۱۹۶۱-۲۰۰۸
تکاب	۴۷/۱۱	۳۶/۳۸	۱۷۶۵	۱۹۸۲-۲۰۰۸
مهاباد	۴۵/۷۱	۳۶/۷۶	۱۳۸۵	۱۹۸۲-۲۰۰۸
زرینه	۴۶/۹۱	۳۶/۰۶	۲۱۴۲/۶	۱۹۸۷-۲۰۰۸
بناب	۴۶/۰۶	۳۷/۳۳	۱۳۹۰	۱۹۹۶-۲۰۰۸
مراغه	۴۶/۲۶	۳۷/۴۰	۱۴۷/۷	۱۹۸۲-۲۰۰۹



شکل ۳- موقعیت ایستگاه های هواشناسی و هیدرومتری مورد استفاده در مدل SWAT



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی حوضه زرينه رود (۳)

جدول ۲ - اطلاعات زراعی محصولات عمده شهرستان‌های واقع در محدوده مورد مطالعه

نوع محصول	سطح زیرکشت در استان‌های واقع در محدوده مورد مطالعه (هکتار)						میان‌دو آب	شاهین دژ	تکاب	سقز	تاریخ کشت	تاریخ برداشت	میزان کود مصرفی سالانه (kg/ha)	
	از ته	فسفاته												
گندم	۱۶۰۱۷	۷۷۴۳	۳۳۶/۷	۵۰۴۲/۷	۱۵ مهر	۱۰ تیر	۱۲۰	۱۴۰						
جو	۴۱۴۰/۸	۲۳۱۰	۲۱۰/۵	۳۴۹/۵	۱۵ مهر	۱۰ تیر	۱۲۰	۱۴۰						
سیب‌زمینی	۷۳۹/۵	۳۵۴	۱۰۹	۱۵۶	۱۵ اردیبهشت	۱۵ مهر	۲۲۵	۲۶۰						
گوچه	۸۲۱	۶۲۳	-	۲۴۸	۱۰ خرداد	۱۰ مهر	۳۹۰	۴۵۵						
چغندر قند	۱۸۰۷	۳۵۹	-	۸۸/۵	۱۰ فروردین	۳۰ مهر	۳۰۰	۳۴۰						
یونجه	۱۰۳۶۳	۴۷۹۳	۳۳۶۷	۳۲۱۱/۷	۱۰ فروردین	۱۰ مهر	۲۲۰	۲۷۰						
سیب	۸۳۲۸	۲۸۵۰	۲۱۰/۵	-	۱ اردیبهشت	۳۰ مهر	۳۵۰	۳۸۰						

می‌گردد (۲۱).

شبیه‌سازی تبخیر و تعرق واقعی در مدل

در مدل فرایند کاملی جهت محاسبه متغیرهای هیدرولوژیکی و گیاهی قرار داده شده است که شرح جزئیات مراحل در این مقاله امکان‌پذیر نیست. بنابراین سعی گردیده است تا ساختار و ترتیب مراحل محاسباتی آن به طور خلاصه در شکل ۴ نشان داده شود.

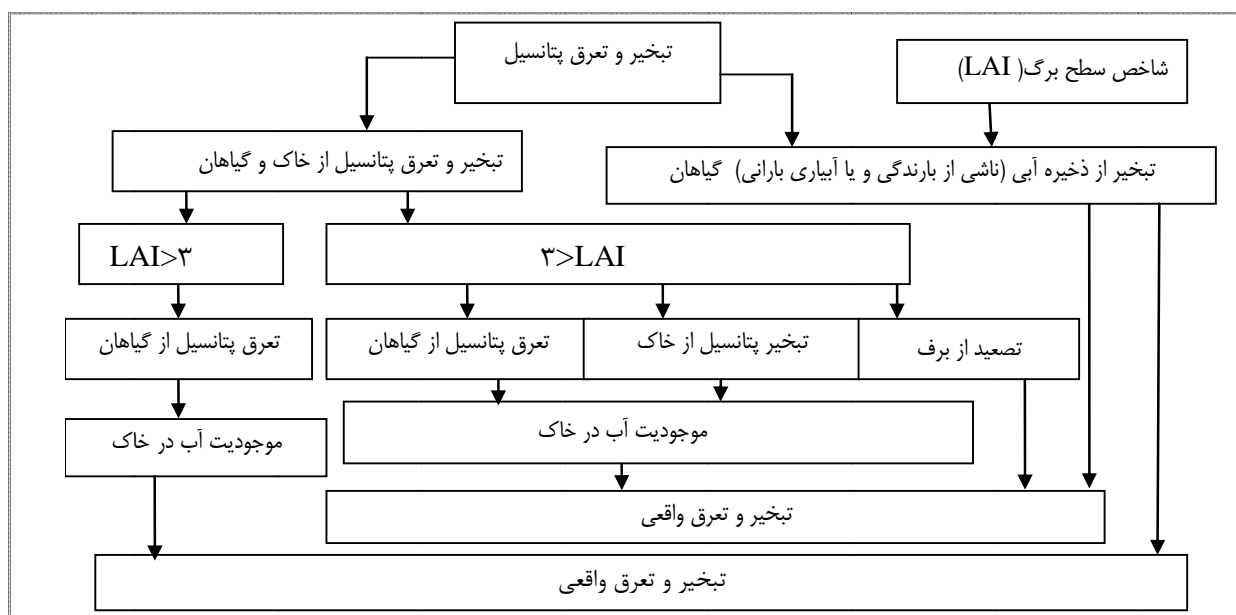
شبیه‌سازی عملکرد گیاهی

اساس شبیه‌سازی عملکرد محصولات باغی و زراعی در SWAT، مدل EPIC است (۲۱). در شکل ۵ به طور خلاصه مراحل به کار گرفته شده جهت شبیه‌سازی این متغیر ارائه گردیده است.

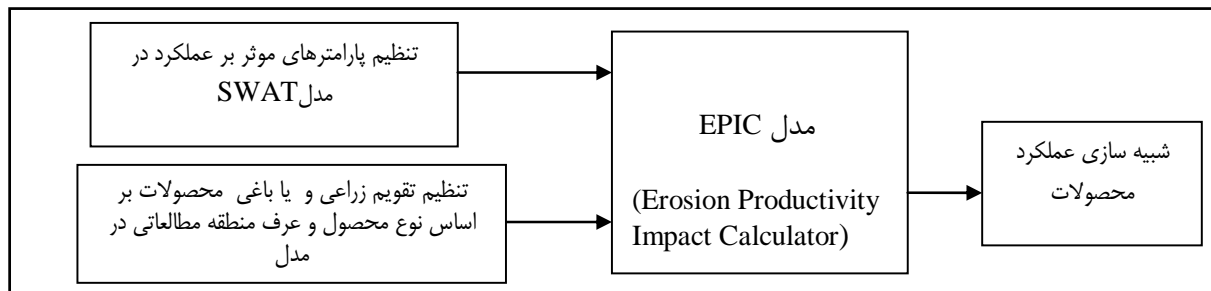
بعد از تشکیل HRUها در ادامه پارامترهای مربوط به هر کدام از اجزای اصلی مدل شامل پارامترهای گیاهی (Dat)، خاکشناسی (Sol)، آب زیرزمینی (Gw)، مدیریتی (Mgt)، رودخانه (Rte)، بر اساس آمار و داده‌های موجود به مدل معرفی می‌شوند. در ادامه بطور بسیار مختصر به نحوه شبیه‌سازی رواناب، تبخیر و تعرق واقعی و عملکرد محصول در مدل اشاره می‌گردد.

شبیه‌سازی جریان رودخانه

حجم رواناب سطحی ناشی از بارندگی یکی از متغیرهای اصلی جریان رودخانه است که مدل SWAT از روش شماره منحنی SCS برای شبیه‌سازی آن استفاده می‌کند. همچنین از معادلات بیلان برای تعیین میزان مشارکت آب زیرزمینی و روابط تجربی برای برآورد ذوب برف استفاده شده و مقدار کل رواناب خروجی از حوضه محاسبه



شکل ۴- ساختار و ترتیب مراحل محاسبه تبخیر و تعرق واقعی در مدل SWAT



شکل ۵- مراحل شبیه سازی عملکرد گیاهی در مدل SWAT

(مقدار آب برداشتی روزانه از رودخانه ها، سد و آب زیرزمینی) نزدیکتر نمود. در ادامه منبع آب مصرفی کشاورزی در هر یک از زیرحوضه ها به تفکیک محصولات به مدل معرفی گردید که در جدول ۳ آمده اند. در جدول ۴ برنامه ریزی آبیاری برای حوضه نشان داده شده است. این جدول شامل دو بخش الگوی کشت و برنامه ریزی آبیاری می باشد. الگوی کشت آمده در واقع معرف محصولات عمده حوضه است که از نتایج گزارش کشاورزی طرح "مدیریت خشکسالی دریاچه ارومیه" (۴) استخراج شده است. مقادیر آب آبیاری نیز از سند ملی آب کشور (NDW) (۱) و نرم افزار مربوط (AgWat) می باشد.

پیاده کردن الگوی کشت و برنامه ریزی آبیاری حوضه در مدل SWAT

نکته ای که متناسب با اهداف تحقیق اهمیت زیادی دارد، تعریف الگوی کشت، برنامه ریزی و مدیریت های مختلف آبیاری به مدل است. برای این منظور و همچنین برای اینکه شرایط شبیه سازی متغیرهای هیدرولوژیکی و گیاهی به شرایط واقعی نزدیک باشد، آن قسمت از کاربری اراضی که مربوط به کشاورزی آبی است، به اراضی کوچکتر شکسته شدند. این کار موجب گردید که اولاً بتوان الگوی کشت موجود در حوضه را برای هر کدام از زیرحوضه ها اعمال کرد و ثانیاً شرایط شبیه سازی را به شرایط طبیعی هیدرولوژیکی حوضه

جدول ۳- منبع آب مورد استفاده جهت آبیاری محصولات عمده در هر یک از زیرحوضه ها در شرایط موجود

زیرحوضه	گندم	جو	سیب زمینی	گوجه	چغندر قند	یونجه	سیب
۱	سد	سد	سد	سد	سد	آب زیرزمینی	سد
۲	سد	سد	سد	سد	سد	آب زیرزمینی و سد	سد
۳	سد	سد	-	سد	سد	آب زیرزمینی	آب
۴	سد	سد	سد	سد	سد	آب زیرزمینی	آب
۵	سد	سد	سد	سد	سد	آب زیرزمینی	آب
۶	سد	سد	سد	سد	سد	آب زیرزمینی	سد
۷	سد	سد	سد	سد	سد	آب زیرزمینی و سد	آب
۸	رودخانه	رودخانه	آب زیرزمینی	آب زیرزمینی	آب زیرزمینی	آب زیرزمینی	-
۹	رودخانه	رودخانه	آب زیرزمینی	-	-	آب زیرزمینی	آب
۱۰	رودخانه	-	آب زیرزمینی	آب زیرزمینی	-	آب زیرزمینی	-
۱۱	رودخانه	رودخانه	آب زیرزمینی	آب زیرزمینی	-	آب زیرزمینی	-

جدول ۴- برنامه ریزی آبیاری برای محصولات مختلف در حوضه زربینه رود (مقادیر آبیاری بر حسب میلی متر می باشد)

محصول	April	May	June	July	August	September	دور آبیاری (روز)
گندم	-	۳۶۰	۳۶۰	-	-	-	۱۵
جو	-	۲۶۰	۲۶۰	-	-	-	۱۵
سیب زمینی	-	۱۱۵	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۱۰
گوجه	-	-	۲۳۰	۲۳۰	۲۳۰	۲۳۰	۱۰
چغندر قند	۲۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۰
یونجه	-	۲۷۰	۲۷۰	۲۷۰	۲۷۰	۲۷۰	۱۰
سیب	-	۳۱۰	۳۱۰	۳۱۰	۳۱۰	۳۱۰	۱۰

جدول ۵- تعداد HRU اختصاص یافته به هر یک از محصولات در هر یک از زیرحوضه‌ها

زیرحوضه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	مساحت کل (هکتار)
گندم	۱۲	۱۵	۱۰	۳	۶	۳۴	۳۴	۱۸	۳	۴	۱۳	۲۹۱۳۹
جو	۲	۹	۴	۱۲	۲	۲	۳	۲	۳	-	۱	۷۰۱۱
سیب‌زمینی	۲	۳	-	۳	۱	۲	۳	۴	۶	۲	۱	۱۳۵۹
گوجه	۲	۳	۲	۳	۲	۲	۳	۴	-	۴	۲	۱۶۹۲
چغندرقد	۲	۳	۳	۲۲	۱	۲	۳	۴	-	-	-	۲۲۵۵
یونجه	۴	۹	۱۸	۳	۵	۲	۱۸	۴	۱۸	۱۰	۲	۲۱۷۳۵
سیب	۸	۹	۴۸	۳۵	۳	۲	۲۴	-	۳	-	-	۱۱۳۸۹
کل سطح زیرکشت آبی حوضه (هکتار)	۷۴۵۷۸											

۵۱۱

تعداد کل HRU زیرکشت آبی

۴)، بنابراین برای رسیدن به راندمان مورد نظر در شرایط کنونی (یعنی ۳۸ درصد (۴)) باید کلیه راندمان‌های فوق تلفیق شده و مقدار مذکور را نتیجه دهند. قابل ذکر است که در حالت کلی اعمال برنامه‌ریزی آبیاری و تعریف الگوی کشت و برنامه‌ریزی‌های کشاورزی (مانند شخم، کاشت، کوددهی) در مدل SWAT از طریق فایل‌های مدیریتی (mgt.) آن انجام می‌پذیرد. از آنجا که میزان تلفات نفوذ عمقی تابعی از دور و عمق آبیاری، خصوصیات فیزیکی خاک و محصولات کشت شده می‌باشد، بنابراین برای شبیه‌سازی این متغیر باید پارامترهایی از مدل که با عوامل فوق ارتباط دارند، بطوری تنظیم گردند که تلفات موجود در این بخش (۴۰ الی ۵۰ درصد) را نتیجه دهند. دور و عمق آبیاری برای محصولات مختلف از طریق فایل‌های mgt. پس از تعیین منبع آبیاری (رودخانه، سد، آبخوان و یا منبعی خارج از حوضه) برای محصولات مورد کشت به مدل معرفی می‌گردند.

همچنین پارامترهایی از خاک مانند هدایت هیدرولیکی خاک (Sol_k)، ظرفیت آب قابل دسترس (Sol_Awc)، دانسیته ظاهری خاک (Sol_BD) که تاثیر بیشتری بر نفوذ عمقی دارند، از طریق فایل مربوط به خاک (sol.) طوری تنظیم شدند که مقدار نفوذ عمقی متناسب با راندمان موجود حوضه بدست آید. بدیهی است که این تغییرات در حد قابل قبول و با توجه به نوع خاک حوضه صورت می‌پذیرد. مقادیر نهایی پارامترهای خاک مورد اشاره در این بخش در جدول ۸ آورده شده‌اند.

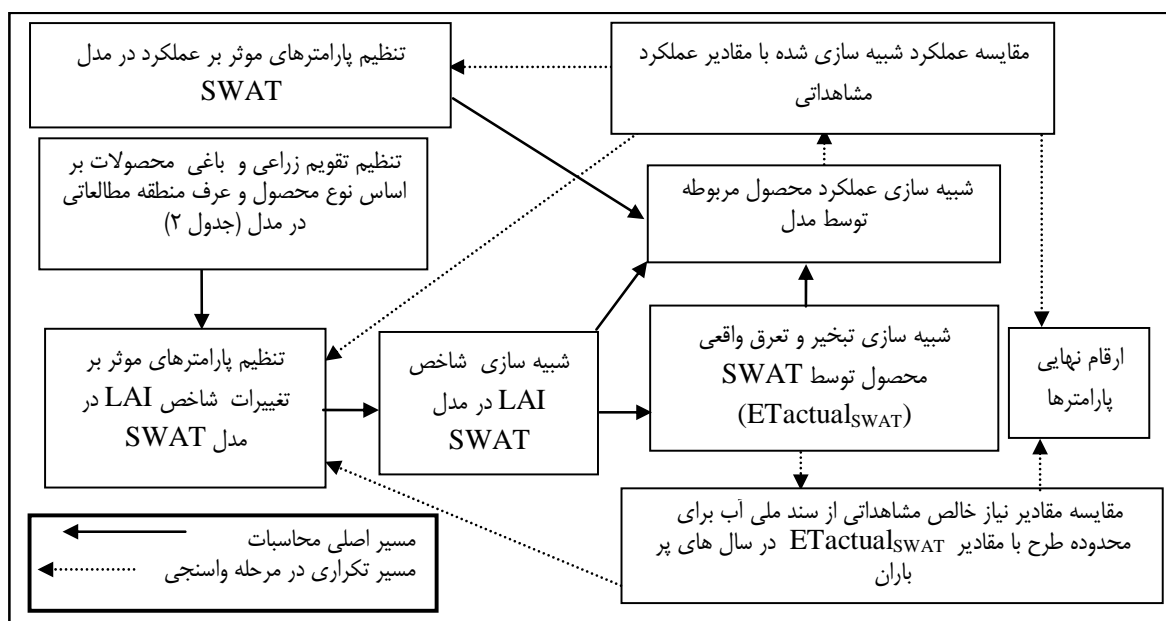
تنظیم کشت محصولات موجود در الگوی کشت حوضه خود از عوامل تاثیرگذار بر میزان تبخیر و تعرق و در نتیجه میزان نفوذ عمقی آب و رواناب می‌باشد. در این خصوص شاخص LAI و عمق ریشه از مهمترین متغیرهای گیاهی موثر بر نفوذ عمقی هستند که از طریق فایل cropdat در مدل SWAT قابل تنظیم می‌باشند. مقادیر نهایی این پارامترها در جدول ۱۲ آورده شده است.

همانگونه که قبلاً تشریح شد، اصولاً HRU در مدل SWAT (جدول ۵) از تلفیق لایه‌های کاربری اراضی و خاک بدست می‌آید. البته در این فرآیند می‌توان هزینه‌های محاسباتی و اهداف تحقیق را مد نظر قرار داد و نسبت به تعیین تعداد HRUها تصمیم گرفت. با توجه به نیاز این تحقیق تلاش شد برای تعریف بهتر الگوی کشت در حوضه و اعمال مدیریت‌های مختلف، از تعداد نسبتاً بالایی استفاده شود که نهایتاً به ۹۰۸ ختم شد. از این تعداد، ۵۱۱ مورد مربوط به کشت آبی است که برنامه‌ریزی آبیاری در آنها اعمال گردید.

اعمال راندمان مورد نظر آبیاری در مدل SWAT

به طور کلی تلفات آب در نظر گرفته شده برای آبیاری سطحی شامل تبخیر از آب پشت مخزن سد، تبخیر از کانال‌ها در حین انتقال آب از سد به اراضی کشاورزی آبی پایین دست، نفوذ عمقی و رواناب سطحی می‌باشند. از این میان فقط تلفات رواناب سطحی بطور مستقیم به عنوان ورودی به مدل معرفی می‌شود، و لذا لازم است سایر آنها با تمهیداتی شبیه‌سازی گردند که مراحل زیر برای آنها به انجام رسیده است.

برای اعمال تلفات تبخیر بعد از تفکیک منبع آب آبیاری برای هر کدام از محصولات و مشخص کردن دوره کشت مربوط، مقدار تلفات تبخیر ماهانه، به عنوان مقدار آبی که از سیستم هیدرولوژیکی حوضه خارج می‌شود (Water Use (Wus.) در بخش Subbasins Data)، به مدل وارد شد. تلفات مربوط به نفوذ عمقی از جمله متغیرهایی است که توسط مدل شبیه‌سازی گردید. مقدار این بخش از تلفات، به مواردی مانند: ۱) نحوه مدیریت آبیاری در منطقه (نوع سیستم آبیاری، مقدار عمق آب داده شده در هر بار آبیاری و دور آن)، ۲) خصوصیات خاک (هدایت هیدرولیکی خاک، ظرفیت نگهداری آب در خاک) و ۳) نوع گیاه (شاخص سطح برگ، عمق توسعه ریشه)؛ بستگی دارد. با توجه به اینکه برای شرایط کنونی حوضه الگوی کشت و مقدار عمق و دور آبیاری برای هر کدام از محصولات مشخص می‌باشد (جدول



شکل ۶- مراحل شبیه سازی و واسنجی متغیرهای تبخیر و تعرق واقعی و عملکرد محصولات

گیاهان مؤثر است، بنابراین سعی گردید که شبیه سازی و واسنجی این سه متغیر به طور همزمان و مطابق با آنچه در شکل ۶ نشان داده شده است، صورت پذیرد. در این شکل خطوط پررنگ نشان دهنده مسیر اصلی شبیه سازی عملکرد و تبخیر و تعرق واقعی بوده و خطوط نطقه-چین مراحل تکرار شده جهت واسنجی این دو متغیر را نشان می دهند. بنابراین جهت شبیه سازی عملکرد محصولات ترتیب مراحل به صورت زیر خواهد شد: ۱) تنظیم تقویم زراعی محصولات باغی و زراعی در مدل، ۲) تنظیم پارامترهای مؤثر بر شاخص LAI و عملکرد گیاهی، ۳) شبیه سازی شاخص LAI و تبخیر و تعرق واقعی و ۴) شبیه سازی عملکرد محصولات.

نتایج

با توجه به آنچه در بخش مواد و روش ها آمد، در این قسمت به ارائه نتایج پرداخته می گردد.

شبیه سازی هیدرولوژیکی حوضه

برای شبیه سازی رواناب در سطح حوضه، قبل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل، ابتدا با انجام تحلیل حساسیت (با استفاده از نرم افزار SWAT CUP) پارامترهایی که تأثیر بیشتری روی دبی خروجی از حوضه داشتند، مشخص شدند. نتایج این تحلیل در جدول ۸ نشان داده شده است. در این جدول درجه تأثیر بعضی از پارامترهای مهم دخیل در شبیه سازی دبی خروجی از زیرحوضه ها با مقدار p-value و t-stat آنها مشخص شده است. هر پارامتری که مقدار قدرمطلق

لازم به ذکر است که مقدار نفوذ عمقی در بخش آب خاک مدل (SW) شبیه سازی گردیده و مقدار راندمان نفوذ عمقی در این بخش از کم کردن حاصل تقسیم میزان نفوذ عمقی به مقدار عمق آب داده شده به خاک توسط آبیاری (این میزان با مقدار آب آبیاری رسیده به مزرعه متفاوت می باشد و از آن کمتر است چون شامل تلفات سطحی آب آبیاری نمی باشد) از مقدار واحد بدست می آید.

نحوه واسنجی همزمان متغیرهای گیاهی، عملکرد و تبخیر و تعرق واقعی

از آنجا که این متغیرها به هم وابسته بوده لذا جهت شبیه سازی و واسنجی آنها باید به طور همزمان تغییرات آنها مورد بررسی قرار گیرد. برای این کار در این تحقیق از ساختار ارائه شده در شکل ۶ استفاده گردید. مراحل موجود در این حلقه آنقدر تکرار گردیدند که مقادیر شبیه سازی شده تبخیر و تعرق واقعی در سال های پرباران و عملکرد محصولات با مقادیر مشاهداتی آنها همخوانی مطلوبی داشته باشد. برای شبیه سازی عملکرد محصولات و تبخیر و تعرق واقعی در SWAT پارامترهای مختلفی مؤثر می باشند که در جدول ۶ مهمترین آنها معرفی شده است. محدوده این ارقام از مراجع معتبر تهیه شده که در جدول ۷ آورده شده اند. از آنجا که متغیرهای گیاهی (بویژه شاخص سطح برگ LAI) به طور مستقیم بر میزان تبخیر و تعرق واقعی از محصولات تأثیر گذاشته و این متغیر خود نیز بر روی مقدار عملکرد

t-stat بیشتری داشته و همچنین مقدار p-value آن نزدیک به صفر باشد، تأثیر بیشتری بر روی دبی داشته است.

جدول ۶- معرفی برخی پارامترهای موثر بر عملکرد و تبخیر و تعرق واقعی در مدل SWAT

پارامتر	توضیحات	واحد
BLAI	حداکثر شاخص سطح برگ پتانسیل در طول دوره رشد گیاه	مترمربع بر مترمربع (m ² /m ²)
HVSTI	شاخص برداشت	بدون بعد
DLAI	کسری از دوره رشد که در آن روند رو به کاهش شاخص سطح برگ شروع می‌شود	بدون بعد
FRGRW1	نسبتی از طول دوره رشد گیاه که مربوط به نقطه اول در منحنی رشد شاخص سطح برگ است.	بدون بعد
LAIMX1	در منحنی رشد شاخص سطح برگ FRGRW1 شاخص سطح برگ متناظر با	مترمربع بر مترمربع (m ² /m ²)
FRGRW2	نسبتی از طول دوره رشد گیاه که مربوط به نقطه دوم در منحنی رشد شاخص سطح برگ است.	بدون بعد
LAIMX2	در منحنی رشد شاخص سطح برگ FRGRW2 شاخص سطح برگ متناظر با	مترمربع بر مترمربع (m ² /m ²)
T _{base}	حداقل دمای لازم برای رشد گیاهان مختلف	درجه سانتی‌گراد (°C)
T _{opt}	دمای بهینه برای رشد گیاهان مختلف	درجه سانتی‌گراد (°C)
EXT_COEF	ضریب جذب نور برای گیاهان مختلف	بدون بعد
BIO_E	راندمان استفاده گیاه از تابش خورشیدی	(kg.m ²)/(ha.MJ)

جدول ۷- نحوه تعیین برخی پارامترهای گیاهی مهم در شبیه‌سازی عملکرد گیاهی و تبخیر و تعرق واقعی

پارامتر	گندم	جو	سیب‌زمینی	گوجه	چغندر قند	یونجه	سیب
مشخصات	محدوده مرجع پارامتر	محدوده مرجع پارامتر	محدوده مرجع پارامتر	محدوده مرجع پارامتر	محدوده مرجع پارامتر	محدوده مرجع پارامتر	محدوده مرجع پارامتر
BLAI	۳/۴-۵/۵ (۲۹ و ۱۳)	۲/۶-۴/۷ (۲۰)	۳/۵-۶ (۱۸)	۲/۵-۳/۹ (۲۵)	۴/۲-۶ (۹)	۳-۵ (۲۲)	۳/۵-۵/۹ (۲۸)
HVSTI							
DLAI							
FRGRW1							
LAIMX1							
FRGRW2							
LAIMX2							
T _{base}							
T _{opt}							
EXT_COEF							
BIO_E							

ارقام پیش فرض مدل SWAT مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۸- نتایج تحلیل حساسیت مدل و مقادیر t-stat و p-value مربوط به هر کدام از پارامترها

نام پارامتر	توضیحات	واحد	t-stat	p-value	محدوده نهایی پارامترها
CN2	شماره منحنی نفوذ در شرایط متوسط رطوبتی	بدون بعد	۵/۰۴	۰/۰۰۴	۶۰-۷۲
GW-DELAY	زمان تأخیر نفوذ آب به سطح ایستایی	روز	۲/۹۳	۰/۰۳	۲۰-۳۵
GWQMN	حداقل ارتفاع سطح ایستایی لازم برای خروج آب زیرزمینی	میلی‌متر	۲/۴	۰/۰۶	۱۰۰۰-۲۴۰۰
SOL-AWC(1)	ظرفیت آب قابل دسترس خاک در لایه سطحی	میلی‌متر در متر	۲/۳۴	۰/۰۶۶	۰/۱۹-۰/۲۴
SMFMN	فاکتور ذوب برف برای روز ۲۱ ماه سپتامبر	میلی‌متر بر درجه در روز	۲/۰۸۳	۰/۰۹۱۶	۴/۵
SOL-K(1)	هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در لایه سطحی	میلی‌متر در ساعت	۲/۰۸۱	۰/۰۹۱۸	۷/۲۲-۱۵/۶
SOL-BD(1)	چگالی ظاهری خاک در لایه سطحی	گرم در سانتی‌متر مکعب	۱/۹۵	۰/۱۰۸	۱/۲-۱/۶
ESCO	ضریب جبران تبخیر خاک	بدون بعد	۱/۳۷	۰/۲۵۷	۰/۹۵
CH-N2	ضریب مانینگ رودخانه اصلی	بدون بعد	۱/۲۵۹	۰/۲۶۳	۰/۰۱۳-۰/۰۱۶
GW-REVAP	ضریب تبخیر از لایه بالایی سطح ایستایی	بدون بعد	۱/۱۸۷	۰/۲۸۸	۰/۰۲

جدول ۹- نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای هر یک از ایستگاه‌ها در دوره آماری مربوط

اعتبارسنجی				واسنجی				دوره آماری	ایستگاه	رودخانه	شماره ایستگاه
RMSE	NS	R ²	دوره آماری	RMSE	NS	R ²					
۱۱/۱	۰/۶۹	۰/۷۷	۲۰۰۰-۲۰۰۶	۸/۹۳	۰/۵	۰/۷	۱۹۸۷-۱۹۹۹	پل آنبان	جیغاتوچای	۱	
۱۰/۵۶	۰/۶۶	۰/۷۲	۲۰۰۰-۲۰۰۶	۸/۶۹	۰/۶۱	۰/۶۳	۱۹۸۸-۱۹۹۹	سنته	خرخره چای	۲	
۱۰/۰۲	۰/۵	۰/۵۴	۲۰۰۰-۲۰۰۶	۱۱/۹۶	۰/۵۳	۰/۶۱	۱۹۸۷-۱۹۹۹	صفاخانه	ساروق چای	۳	
۲۷/۵	۰/۶	۰/۶۶	۲۰۰۰-۲۰۰۶	۴۷	۰/۶۹	۰/۷۱	۱۹۸۷-۱۹۹۹	ورودی به سد زرینه زرینه	زرینه رود	۴	
۲/۰۷	۰/۴۷	۰/۶۵	۱۹۹۸-۲۰۰۲	۳/۹۱	۰/۱۴	۰/۴۹	۱۹۸۷-۱۹۹۷	چوبلوچه	آجرو چای	۵	
۵۵/۷	۰/۵۳	۰/۵۵	۲۰۰۱-۲۰۰۶	۴۴/۹۴	۰/۶۹	۰/۷۱	۱۹۹۳-۲۰۰۱	نظام آباد	زرینه رود	۶	

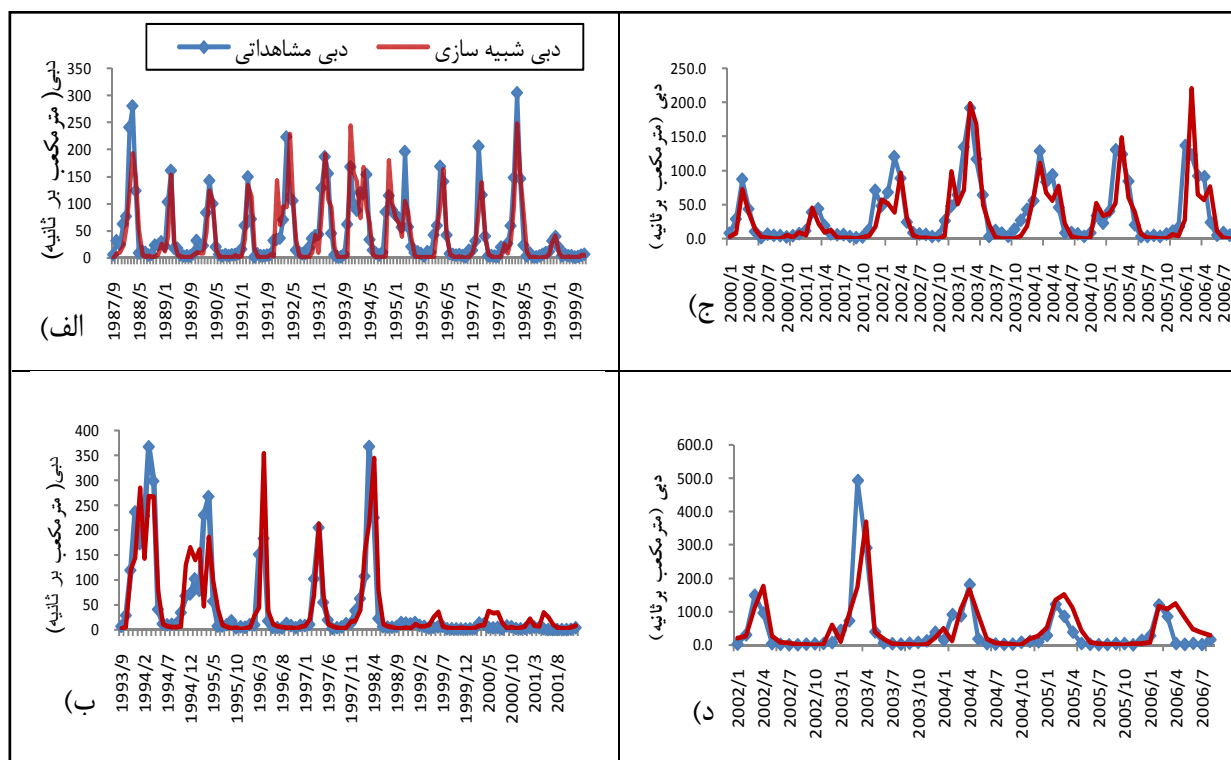
عنوان منبع آبی برای بخشی از HRUها نیز معرفی شده است.

شبیه‌سازی شاخص سطح برگ (LAI) و تبخیر و تعرق واقعی (ETA)

همانطور که در بخش‌های قبل نیز به آن اشاره شد، شاخص LAI یکی از متغیرهای کنترل‌کننده مقدار تبخیر و تعرق واقعی از گیاه بویژه در اراضی کشاورزی آبی بوده و در واقع به شکلی هم‌عرض ضریب گیاهی (K_c) در محاسبه تبخیر و تعرق عمل می‌کند. کانک و لیو (۱۶) نشان دادند که تا مرحله به بلوغ رسیدن گیاه LAI و K_c به صورت خطی نسبت به هم افزایش یافته و در مرحله بلوغ و بعد از آن مقدار K_c به همراه LAI کاهش می‌یابد.

پس از انجام مرحله تحلیل حساسیت، مدل با استفاده آمار ماهانه ۶ ایستگاه هیدرومتری مورد اشاره در شکل ۳ واسنجی و اعتبارسنجی گردید. در این تحقیق جهت ارزیابی مدل از سه شاخص ضریب تبیین R²، ضریب نش-سانکلیف (NS) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده گردید. نتایج این بخش در جدول ۹ ارائه شده است.

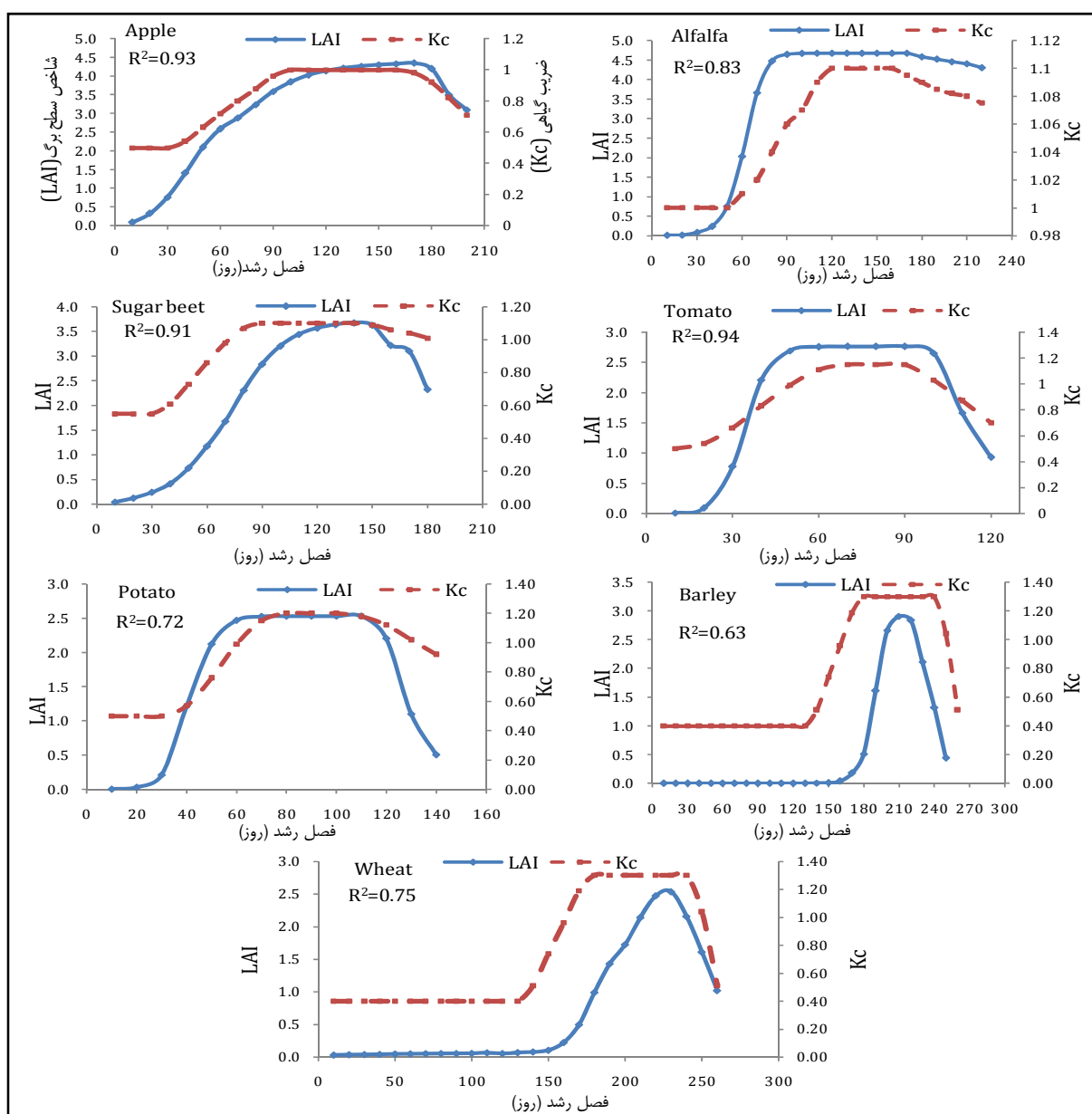
همچنین در شکل ۷ تغییرات سری زمانی دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAT برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی ایستگاه‌های ورودی به سد زرینه‌رود و نظام آباد نشان داده شده است. اشاره شد که سد تنها در بالادست ایستگاه نظام‌آباد وجود دارد (شکل ۱) و در شبیه‌سازی‌ها نیز مد نظر قرار گرفته و به



شکل ۷- مقایسه سری زمانی دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دو ایستگاه هیدرومتری ورودی به سد و نظام آباد برای دوره واسنجی (به ترتیب شکل‌های الف و ب) و اعتبارسنجی (به ترتیب شکل‌های ج و د)

شاخص در طول سال‌های پرباران (سال‌هایی که شاخص درصد نرمال بارندگی در آنها بیشتر از ۱۰۰ درصد می‌باشد و یا به عبارت دیگر میزان بارندگی از متوسط بارندگی کل دوره بیشتر است که در این مطالعه مهمترین آنها عبارتند از: ۱۹۸۸، ۱۹۹۱، ۱۹۹۲، ۱۹۹۳، ۱۹۹۴، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۶) که گیاه تحت تنش آبی نبوده است، در مقابل مقادیر گزارش شده Kc برای محصولات مختلف در طول فصل رشد آنها نشان داده شده است. با توجه به مقادیر شاخص آماری R^2 در شکل ۸ هماهنگی مناسبی بین این دو متغیر برای اکثر محصولات وجود دارد.

همچنین در مراجع مختلف (۸، ۱۵ و ۲۶) به روابط بالای بین این دو متغیر اشاره شده است. به علت نبود داده‌های مشاهداتی شاخص LAI در حوضه از داده‌های موجود ضریب گیاهی (Kc) برای محصولات مختلف حوضه جهت کنترل مقادیر شبیه‌سازی شده این شاخص توسط مدل استفاده گردید. لازم به ذکر است که در این تحقیق داده‌های ضریب گیاهی (Kc) برای محصولات مختلف حوضه با توجه به مقادیر گزارش شده در سند ملی آب (NDW) (۱) و FAO (۶) 56 بدست آمدند. در شکل ۸ متوسط مقادیر شبیه‌سازی شده این



شکل ۸- مقایسه متوسط شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده (LAI) در سال‌های پرباران با ضریب گیاهی (Kc) گزارش شده برای محصولات مختلف حوضه در طول فصل رشد آنها

مانند هر گونه شبیه‌سازی، برخی از نتایج بیشتر و برخی کمتر از مشاهدات هستند. مهم است که انحراف به سمت خاصی نداشته باشد (unbiased) و در مجموع معیارهای آماری مؤید نتایج باشند.

شبیه‌سازی عملکرد محصولات

نتایج مربوط به شبیه‌سازی این متغیر گیاهی برای محصولات عمده حوضه در هر کدام از زیرحوضه‌ها به همراه مقادیر مشاهداتی آن (۲) در جدول ۱۱ آورده شده است. مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی حاکی از نتایج بهتر مدل در شبیه‌سازی این متغیر می‌باشد (RMSE=۱/۶۵ و $R^2=0/۹$) (تن در هکتار).

از جمله متغیرهای هیدرولوژیکی که بطور همزمان با شاخص سطح برگ (LAI) در مدل مورد شبیه‌سازی قرار می‌گیرد و به آن وابسته می‌باشد تبخیر و تعرق واقعی است که به نوبه خود تأثیر بسزایی در مقدار عملکرد محصولات و اجزای بیلان هیدرولوژیکی حوضه دارد. از آنجا که منطقه مورد مطالعه فاقد لایسیمتر می‌باشد، برای کنترل نتایج تبخیر و تعرق واقعی شبیه‌سازی شده توسط SWAT، مقادیر مربوط به سال‌های پرباران که فرض شده تنش آبی در آنها وجود نداشته با ارقام گزارش شده در سند ملی آب (۱) به عنوان نیاز آبی گیاهان منطقه مطالعاتی مقایسه شده‌اند. این مقایسه در جدول ۱۰ قابل مشاهده است، که همخوانی مطلوب آنها را نشان می‌دهد (RMSE=۵۲/۵ و $R^2=0/۹۷$) (میلی‌متر در سال).

جدول ۱۰- مقایسه متوسط مقادیر تبخیر و تعرق واقعی سالانه شبیه‌سازی شده با مدل SWAT در سال‌های پرباران و متوسط مقادیر تبخیر و تعرق حداکثر گزارش شده از سند ملی آب (میلی‌متر) در حوضه

محصول	متوسط مقادیر تبخیر و تعرق واقعی شبیه‌سازی شده در سال‌های پرباران (میلی‌متر)	متوسط حداکثر تبخیر و تعرق گزارش شده از سند ملی آب (میلی‌متر)
گندم	۳۳۰	۳۸۲
جو	۳۱۵	۳۰۳
سیب زمینی	۵۳۶	۶۲۸
گوجه	۵۱۷	۵۷۲
چغندر قند	۶۹۲	۶۹۶
یونجه	۸۵۴	۹۱۹
سیب	۸۲۰	۸۵۱

جدول ۱۱- مقادیر عملکرد شبیه‌سازی شده محصولات مختلف در هر یک از زیرحوضه‌ها (تن در هکتار)

زیرحوضه	گندم	جو	سیب زمینی	گوجه	چغندر قند	یونجه	سیب
۱	۳/۷۸	۲/۶۰	۲۳/۰۷	۳۵/۰۵	۴۱/۶۳	۸/۸۰	۲۲/۳۸
۲	۳/۸۰	۲/۵۷	۲۳/۷۴	۳۵/۰۲	۴۱/۵۷	۹/۵۰	۲۲/۴۰
۳	۴/۰۳	۲/۷۴	-	۳۵/۴۵	۴۵/۳۷	۱۰/۳۰	۲۵/۷۶
۴	۳/۱۱	۲/۴۷	۲۳/۰۳	۳۴/۳۲	۴۳/۹۵	۱۱/۷۶	۲۵/۱۷
۵	۳/۵۵	۲/۳۴	۲۴/۳۰	۳۵/۳۵	۴۲/۱۲	۹/۲۰	۲۳/۵۸
۶	۳/۹۴	۲/۷۷	۲۳/۳۸	۳۴/۳۲	۴۵/۴۴	۱۰/۳۰	۲۵/۱۴
۷	۳/۳۹	۲/۲۸	۲۲/۲۶	۴۰/۹۰	۴۵/۸۹	۱۰/۳۱	۲۵/۱۵
۸	۳/۳۳	۲/۲۱	۲۲/۷	۳۸/۶۵	۴۴/۵۲	۹/۱۰	-
۹	۳/۱۸	۱/۹۶	۲۲/۱۲	-	-	۸/۵۰	۲۴/۱۸
۱۰	۳/۱۵	-	۲۳/۲۷	۳۸/۲۵	-	۹/۸۰	-
۱۱	۳/۲	۲/۱۵	۲۲/۱۹	۳۲/۶۵	-	۱۰/۶۱	-
متوسط عملکرد شبیه‌سازی شده	۳/۴۹	۲/۴۱	۲۳/۰۰	۳۶/۰۰	۴۳/۸۰	۹/۸۳	۲۴/۲۲
متوسط عملکرد مشاهداتی	۳/۴۶	۲/۶۹	۲۱/۱۷	۳۳/۰۳	۴۴/۶۰	۸/۵۰	۲۲/۱۴

جدول ۱۲- مقادیر نهایی برخی از پارامترهای گیاهی موثر بر عملکرد و تبخیر و تعرق واقعی

پارامتر	گندم	جو	سیب زمینی	گوجه	چغندر قند	یونجه	سیب
BLAI	۴	۳/۴	۳/۵	۳/۵	۵/۰	۵/۰	۵/۵
HVSTI	۰/۴	۰/۳	۱/۱۵	۱/۴	۲	۰/۸	۰/۶
DLAI	۰/۵	۰/۶	۰/۹	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۹۹	۰/۹۵
FRGRW1	۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۱
LAIMX1	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۴
FRGRW2	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۳	۰/۳۵	۰/۵	۰/۱۵	۰/۵
LAIMX2	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۵
T _{base}	۰/۰	۰/۰	۷	۱۰	۴	۴	۷
T _{opt}	۲۰	۲۵	۲۲	۲۲	۱۸	۲۰	۲۰
EXT_COEF	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵
BIO_E	۳۰	۳۵	۴۵	۳۰	۳۰	۲۰	۵۰

مدل SWAT تمامی تلفات و راندمان‌ها را در نظر نمی‌گیرد. از این‌رو با تمهیداتی و بخصوص کار روی پارامترهای خاک، راندمان حدود ۳۸ درصدی حوضه شبیه‌سازی گردید که نقش اساسی در تعیین صحیح تبخیر و تعرق واقعی دارد.

مقایسه عملکرد شبیه‌سازی شده محصولات که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت، با مقادیر مشاهداتی آن در منطقه نشان داد که مدل SWAT از قابلیت بالا جهت شبیه‌سازی عملکرد گیاهی با توجه به شرایط مختلف مدیریت کشاورزی و منابع آبی برخوردار می‌باشد. برای این شبیه‌سازی پارامترهای مختلفی درگیر هستند که تحقیق حاضر مقادیر اولیه آنها را از طیف متنوعی از تحقیقات گذشته بدست آورد و در ادامه روی مقادیر مناسب آنها برای منطقه مطالعاتی کار کرد.

با توجه به قابلیت‌های که از مدل SWAT در این تحقیق نشان داده شد، می‌توان از آن برای شبیه‌سازی تغییر الگوی کشت و دیگر اقدامات مدیریتی در سطح حوضه استفاده نمود و اثرات آن را بر ارتقاء بهره‌وری آب کشاورزی مورد ارزیابی قرار داد.

پارامترهای نهایی برای شبیه‌سازی عملکرد در جدول ۱۲ قابل مشاهده هستند که برای شبیه‌سازی‌های بعدی نیز می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

بحث و نتیجه‌گیری

این تحقیق تلاشی بود برای ارزیابی مدل SWAT در شبیه‌سازی توأم رواناب رودخانه، تبخیر و تعرق واقعی و عملکرد محصولات کشاورزی در حوضه زربینه‌رود که نتایج زیر از آن قابل ارائه است:

نتایج شبیه‌سازی روزانه رواناب در ۶ ایستگاه آبسنجی واقع در حوضه، مقدار ضریب همبستگی را بین ۰/۵۴ تا ۰/۷۷ در دوره اعتبار سنجی نشان داد که حکایت از عملکرد خوب این مدل در شبیه‌سازی رواناب خروجی از حوضه دارد.

مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق واقعی در سال‌های پرآب با ارقام سند ملی آب ضریب همبستگی ۰/۹۷ را نشان داد. در این قسمت، کار گسترده‌ای که روی LAI و روند آن شد، نقش مؤثری در حصول نتایج مثبت مورد اشاره داشت.

منابع

- علیزاده ا. و کمالی ق. ۱۳۸۶. نیاز آبی گیاهان در ایران، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).
- مرکز آمار سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی. ۱۳۹۰.
- مرکز آمار و اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی ایران. ۱۳۹۰.
- مرید س. و مقدسی م. ۱۳۹۰. گزارش مدل تخصیص آب کشاورزی در شرایط خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه، طرح حفاظت از تالاب‌های ایران.
- 5-Abbaspour K.C., Yang J., Maximov I., Siber R., Bogner K., Mieleitner J., Zobrist J. and Srinivasan R. 2007. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. Journal of Hydrology, 333: 413-430.
- 6-Allen R.G., Pereira L.S., Raes D. and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, 300 pp.
- 7-Arnold J.G., Srinivasan R., Mutiah R.S. and Williams J.R. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment. Part I. Model development. Journal of the American Water Resources Association, 34: 73-89

- 8-De Medeiros G.A., Arruda F.B., Sakai E., and Fujiwara M. 2001. The influence of crop canopy on evapotranspiration and crop coefficient of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Agric. Water Manage. 49, 211–224.
- 9-Dragovic S. and Dj.Karagic L.M. 1996. Effect of stand density on formation of leaves and leaf area of sugar beet under irrigation. Journal of sugar beet research, 33.
- 10-Faramarzi M., Yang H., Schulin R. and Abbaspour K.C. 2010. Modeling wheat yield and crop water productivity in Iran: Implications of agricultural water management for wheat production. Agricultural Water Management, 97: 1861-1875.
- 11-Geethalakshmi V. and Srinivasan R. 2011. Study of ENSO effect on hydrology and rice productivity in Cauvery basin using SWAT.
- 12-Gosain A., Rao S., Srinivasan R. and Reddy N.G. 2005. Return flow assessment for irrigation command in the Palleru River basin using SWAT model. Hydrological processes, 19: 673-682.
- 13-Hadria R., Duchemin B., Lahrouni A., Khabba S., Er-Raki S., Dedieu G., Chehbouni A. and Olioso A. 2006. Monitoring of irrigated wheat in a semi-arid climate using crop modelling and remote sensing data: Impact of satellite revisit time frequency. International Journal of Remote Sensing, 27: 1093-1117.
- 14-Jeimar P.P., Marcela Q. and Natalia E. 2011. application of crop growth modeling for the economic valuation of water in agriculture. The 3rd international forum on water and food Tshwane, South Africa.
- 15-Kang S., Gu B., Du T., and Zhang J. 2003. Crop coefficient and ratio of transpiration to evapotranspiration of winter wheat and maize in a semi-humid region. Agric. For. Meteorol. 59, 239–254.
- 16-Kang Y. and Liu H.J. 2006. Sprinkler irrigation scheduling of winter wheat in the North China Plain using a 20 cm standard pan. Springer- Verlag, DOI 10.1007/s00271-006-0042-z
- 17-Kaushal K., Luna B., Anju G., Biju G., Sreedhar A., Kiran J. and Narasimhan B. 2011. Spatial mapping of agricultural water productivity using SWAT model in Upper Bhima Catchment, India. Irrigation and Drainage. DOI: 10.1002/ird.618
- 18-King B.A. and Stark J.C. 1997. Potato irrigation management, University of Idaho, Cooperative Extension System, College of Agriculture.
- 19-Immerzeel W., Gaur A. and Zwart S. 2008. Integrating remote sensing and a process-based hydrological model to evaluate water use and productivity in a south Indian catchment. Agricultural water management, 95: 11-24.
- 20-Mollah M. and Paul N. 2009. Growth Attributes of Barley (*Hordeum vulgare* L.) in Relation to Soil Moisture Regimes and NPK Fertilizers. Journal of Bio-Science, 16: 19-24.
- 21-Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R. and Williams J.R. 2011. Soil and water assessment tool theoretical document (version 2009), Texas water resource institute technical report.
- 22-Saeed I. and El-Nadi A. 1997. Irrigation effects on the growth, yield, and water use efficiency of alfalfa. Irrigation Science, 17: 63-68.
- 23-Schuol J., Abbaspour K.C., Yang H., Reichert P., Srinivasan R., Schar Ch. and Zehnder A.J.B. 2006. Estimation of freshwater availability in the West African Sub-continent using the SWAT hydrologic model. J. Hydro. 352: 30-49.
- 24-Schuol J., Abbaspour K.C., Srinivasan R., and Yang H. 2008. Estimation of freshwater availability in the West African sub-continent using the SWAT hydrologic model. Journal of Hydrology, 352: 30–49.
- 25-Singh R., Kumar S., Nangare D. and Meena M. 2009. Drip irrigation and black polyethylene mulch influence on growth, yield and water-use efficiency of tomato. African Journal of Agricultural Research, 4: 1427-1430.
- 26-Williams L. and Ayars J. 2005. Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. Agricultural and forest meteorology, 132: 201-211.
- 27-Yan Y., Guoqiang W., and Jingsha Y. 2006. Groundwater depth simulation based on beijing county-level swat application tool. Unpublished manuscript, College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing, China.
- 28-Zhang J., Wei Q., Wang L., Sun X., Wang C. and Song K. 2010. Leaf Area Index Estimated with Plant Canopy Analyzer in Apple Orchards and Analysis of Its Reliability. Acta Horticulturae Sinica, 37: 185-192.
- 29-Ziaei A.N. and Sepaskhah A. 2003. Model for simulation of winter wheat yield under dryland and irrigated conditions. Agricultural water management, 58: 1-17.



Assessment of SWAT Model For Simultaneous Simulation of Streamflow, Actual Evapotranspiration and Crops' Yield: A Case Study In Zarinneh Rud Basin

H. Ahmadzadeh¹- S. Morid^{2*}- M. Delavar³

Received:14-10-2013

Accepted:16-09-2014

Abstract

Streamflows, actual evapotranspiration and crops' yield are the main variables to estimate agricultural water productivity. Thus, simulation of these variables is of great importance in evaluation of different measures to increase water productivity. For this, application of conceptual models is a relevant approach and SWAT (soil and water assessment tool) is one of the well known models in this regard. The present paper aims to assess SWAT in simultaneous simulation of streamflows, actual evapotranspiration and the main crops' yield of the Zarinneh Rud basin. The reason for selection of this basin as the study area relates to its role to meet the Urmia Lake's water requirement. The lake faces with serious water shortage in recent years and escalating water inflow depend to increase water productivity in the upper catchments. To setup SWAT, the basin was divided to 11 subbasins and 908 hydrological response units, which enables us to introduce more accurately the basin's cropping pattern and water resources, which meet the requirements of the agricultural area. For simulation of the river flows, data from 6 gauging stations were used for calibration and validation of the model for periods of 1987 to 1999 and 2000 to 2006 respectively that resulted R^2 and RMSE between 0.49 to 0.71 and 3.9 to 44.9 (m^3/sec) for calibration period, and values of 0.54 to 0.77 and 2.07 to 55.7(m^3/sec) for validation period respectively. There is no observed data for actual evapotranspiration in the basin. So, it was verified in the wet years by maximum evapotranspiration reported in National Water Document that results presented the values of 0.97 and 52.5($mm/year$) for R^2 and RMSE respectively. Finally, the estimated yields of the 7 staple crops by the model were compared with the recorded data that showed very close values($R^2=0.9$ and $RMSE=1.65(ton/ha)$).

Keywords: Urmia Lake Basin, Zarinnehrud Basin, Streamflow, Actual Evapotranspiration, Crop Yield, SWAT

1- PhD Student, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University
2,3-Professor and Associate Professor, Department of Water Resources, Faculty of Agriculture, Engineering of Tarbiat Modares University, Tehran
(*- Corresponding Author Email: morid_sa@modares.ac.ir)