

ارزیابی تغییرات عملکرد محصولات کشاورزی و ورودی به دریاچه ارومیه در حوضه زرینه رود تحت تاثیر تغییر سیستم‌های آبیاری از سطحی به تحت فشار با استفاده از مدل SWAT

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۶/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۱۶

چکیده

دریاچه ارومیه بزرگترین دریاچه آب شور کشور است. سطح آب این دریاچه بدلیل گسترش سطح زیرکشت آبی اراضی کشاورزی و همچنین خشکسالی‌های اخیر با افت شدید روبرو شده است. نتیجه این وضعیت، مشکلات جدی زیست محیطی برای دریاچه و منطقه اطراف آن بوده است. در این راستا افزایش راندمان آبیاری به عنوان یکی از راهکارهای اساسی در کاهش مصرف آب و افزایش ورودی به دریاچه مطرح می‌باشد. در این مقاله قابلیت این راهکار مورد بررسی قرار گرفته و در آن حوضه زرینه‌رود که بزرگترین زیرحوضه دریاچه می‌باشد، به عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب گردیده است. در ادامه، برای شبیه‌سازی‌های مورد نیاز از مدل SWAT استفاده گردید. بدین منظور ابتدا این مدل با استفاده از ۶ ایستگاه آبنجی در سطح حوضه واسنجی و اعتبارسنجی شد. سپس، میزان تبخیر و تعرق واقعی و عملکرد محصولات کشاورزی عمده حوضه در سال‌های پرباران بر اساس اطلاعات سند ملی آب واسنجی شد، که نتایج R^2 بیش از ۰/۸۰ را نشان داد. مدل واسنجی شده همراه با تمهیداتی که برای تغییر روش آبیاری سطحی (راندمان ۳۸ درصد) به بارانی (راندمان ۶۰ درصد) و قطره‌ای (راندمان ۸۰ درصد) انجام شد نشان داد که مقدار محصول تولیدی بطور متوسط ۲۰ درصد نسبت به شرایط پایه افزایش یافته، سطح آب زیرزمینی با افت شدیدتر روبرو شده و مقدار حجم آب ورودی به دریاچه تغییر معنی‌داری نخواهد داشت. لذا، این روش نمی‌تواند راه حل اساسی در جهت تامین نیاز آبی دریاچه ارومیه تلقی گردد.

واژه‌های کلیدی: دریاچه ارومیه، حوضه زرینه‌رود، راندمان آبیاری، تبخیر و تعرق واقعی، عملکرد محصولات، مدل SWAT

مقدمه

بطور استثنائی تعیین گردید که بواسطه آن کردستان ۹۵۹/۱ و آذربایجان غربی ۱۸۷۰/۵ میلیون مترمکعب آن را عهده‌دار شده‌اند. از این دو مقدار، تمامی سهم کردستان و حدود ۲۸ درصد از سهم آذربایجان غربی از طریق حوضه زرینه‌رود می‌بایست تامین گردد که بر این اساس، کل سهم این حوضه در تامین آب دریاچه حدود ۱۴۶۰ میلیون متر مکعب در سال خواهد شد (مرید و همکاران، ۱۳۹۰). بدیهی است که تامین چنین مقدار آبی برای دریاچه، نیاز به برنامه‌ریزی خاص خود بخصوص در مدیریت تقاضای بخش کشاورزی خواهد داشت.

جهت حصول به مقادیر فوق مطرح‌ترین رویکرد افزایش راندمان‌های آبیاری با توسعه سیستم‌های تحت فشار بوده است. اما اینکه عملیاتی شدن این اقدام تا چه حد بر ورودی‌های دریاچه اثرگذار خواهد بود؟ سوالی می‌باشد که تاکنون پاسخ دقیقی به آن داده نشده است؟ بدین منظور مدلسازی حوضه رویکرد مناسبی است که البته ابزار خاص خود را نیز می‌طلبد. مدل (Soil and Water Assessment Tool) SWAT، یک مدل هیدرولوژیکی، پیوسته زمانی و نیمه

برداشت‌های فزاینده بخش کشاورزی از رودخانه زرینه‌رود به عنوان ورودی اصلی به دریاچه ارومیه و همچنین خشکسالی‌های سال‌های اخیر موجب کاهش چشمگیر آورد آن شده است. متعاقباً این کمبود باعث کم شدن ورودی‌ها به دریاچه و مشکلات عدیده زیست محیطی در منطقه گردیده که تدریجاً بر تبعات منفی آن نیز افزوده خواهد شد.

در راستای حفظ دریاچه برنامه‌ای تحت عنوان "برنامه مدیریت جامع دریاچه ارومیه" در سال ۱۳۸۷ با محوریت سازمان محیط زیست تدوین شد که بر اساس آن حقایق ۳۱۰۰ میلیون مترمکعب در سال برای دریاچه به تصویب رسید. در این برنامه سهم تامین آب دریاچه

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استاد گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس

۳- استادیار گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس

* - نویسنده مسئول: (Email: morid_sa@modares.ac.ir)

توزیعی است که توسط USDA-ARS توسعه یافته و در این زمینه بیشتر مورد توجه است (Arnold et al., 1998). بررسی تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که این مدل به دلایلی مانند قابلیت شبیه‌سازی همزمان اثرات متقابل متغیرهای هیدرولوژیکی (مانند رواناب، تبخیر و تعرق و آب‌های زیرزمینی) و کشاورزی (مانند مدیریت مزرعه و عملکرد گیاهی) در حوضه‌های پیچیده گزینه مناسبی می‌باشد.

در این راستا گوسین و همکاران از SWAT برای شبیه‌سازی رواناب سطحی و آب برگشتی از کانال‌های آبیاری در حوضه Andra Pradesh هند استفاده و نتایج مثبتی را از عملکرد آن گزارش کردند (Gosain et al., 2005). در تحقیق دیگر عباسپور و همکاران از این مدل جهت شبیه‌سازی تمام فرایندهای مؤثر بر کیفیت آب، رسوب و چرخه عناصر غذایی حوضه رودخانه تور، واقع در شمال شرقی سوئیس، با مساحتی حدود ۱۷۰۰ کیلومتر مربع استفاده کردند. این مطالعه نتایج مناسبی را برای شبیه‌سازی رواناب و متغیرهای کیفی به همراه داشت (Abbaspour et al., 2007). با توجه به متن باز بودن این مدل، بعضاً شاخص‌هایی تعریف شده که مستقیماً جزء خروجی‌های مدل نبوده، بلکه با تغییر در کد برنامه امکان محاسبه آن فراهم شده است. مانند تحقیق شول و همکاران که 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 را محاسبه نمودند. همچنین به منظور برآورد توزیع زمانی و مکانی مقدار آب قابل دسترس جهانی، این مدل برای غرب آفریقا در سطح چهار میلیون کیلومتر مربع مورد استفاده قرار گرفت (Schuol et al., 2008). در مدل‌سازی حوضه نقش مدیریت‌های کشاورزی در تغییرات سطح آب زیرزمینی اهمیت زیادی دارد. مدل SWAT از این منظور نیز کارا است هر چند توانایی‌های مدل‌های خاصی مانند Modflow را ندارد. در شبیه‌سازی سطح آب زیرزمینی می‌توان به تحقیقات یانگ و همکاران اشاره کرد. آنها در این مطالعه با استفاده از SWAT، تغییرات این متغیر را در تانزانیا مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که روند تغییرات آن با روند داده‌های مشاهداتی مطابقت خوبی دارد. آنها همچنین تاثیر سناریوهای مختلف تغییر کاربری اراضی و همچنین تغییر الگوی کشت را بر روی سطح آب زیرزمینی مورد ارزیابی قرار دادند (Yang et al., 2009).

در زمینه ارزیابی عملکرد و متغیرهای مرتبط با آن بویژه میزان تبخیر و تعرق واقعی و همچنین تغییرات آن تحت تاثیر مدیریت‌های کشاورزی و منابع آبی تحقیقات معدودی صورت گرفته است. در این خصوص کار ایمیرزیل و همکاران در حوضه رودخانه Upper Bhima قابل ذکر می‌باشد. آنها از SWAT برای شبیه‌سازی عملکرد و تبخیر و تعرق واقعی از محصولات نیشکر، سورگوم و ارزن جهت ارزیابی بهره‌وری آب کشاورزی استفاده کردند (Immerzeel et al.,

2008). فرامرزی و همکاران عملکرد گندم و بهره‌وری آب کشاورزی آن را در ایران با استفاده از این مدل مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق اثرات بعضی از سیاست‌ها از جمله بهبود بخشیدن به عملیات نگهداری رطوبت در خاک و بهینه‌سازی استفاده از کودهای کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت (Faramarzi et al., 2010). کاشل و همکاران نیز مقادیر عملکرد و تبخیر و تعرق واقعی سه گیاه نیشکر، ارزن و سورگوم را برای تولید نقشه‌ی مکانی بهره‌وری آب گیاهی و اقتصادی با استفاده از این مدل برای حوضه‌ی رودخانه Upper Bhima واقع در کشور هند، مورد شبیه‌سازی قرار دادند (Kaushal et al., 2011).

با توجه به مقدمه بالا، تحقیق حاضر تلاش دارد تا به بررسی نقش ارتقاء راندمان آبیاری در حوضه زربینه رود و تاثیر آن بر ورودی به دریاچه ارومیه بپردازد. برای حصول به اهداف و بدلیل تنوع کشت و استفاده توأم از آب سطحی و زیرزمینی در کشاورزی این منطقه لازم بود که این تعاملات مورد توجه قرار گیرد که در نوع خود از اولین کارهای صورت گرفته هم برای منطقه مورد مطالعه و هم در استفاده از مدل SWAT است.

مواد و روش‌ها

تشریح منطقه مطالعاتی و داده‌ها

زیرحوضه آبریز زربینه‌رود، بزرگترین زیرحوضه درجه ۲ از حوضه دریاچه ارومیه است که در موقعیت $35^{\circ}47'$ تا $37^{\circ}20'$ طول جغرافیایی و $35^{\circ}41'$ تا $37^{\circ}27'$ عرض جغرافیایی قرار دارد (شکل ۱). وسعت این حوضه بالغ بر 12025 کیلومتر مربع بوده و رودخانه اصلی آن دارای طول 300 کیلومتر می‌باشد. همچنین شهرهای میاندوآب، صائین‌دژ، تکاب و سقر از کانون‌های مهم شهری این حوضه هستند. سد زربینه-رود، تنها سد اصلی مورد بهره‌برداری در این حوضه بوده و از آن برای مصارف کشاورزی و شرب استفاده می‌گردد. این سد دارای حجم کل 762 میلیون مترمکعب بوده و حجم مفید آن 654 میلیون مترمکعب می‌باشد. همچنین پتانسیل منابع آب این حوضه حدود $2/5$ میلیارد مترمکعب در سال است و همانگونه که اشاره گردید حدود $1/5$ میلیارد مترمکعب آن برای تامین حقابه زیست محیطی دریاچه ارومیه در نظر گرفته شده است. برای شبیه‌سازی‌های مدل SWAT لایه DEM¹ منطقه مطالعاتی مورد نیاز می‌باشد. که در این خصوص اندازه سلولی 30 متری آن تهیه گردید. در ادامه با توجه به موقعیت شبکه ایستگاه‌های هیدرومتری و سد زربینه‌رود، حوضه به 11 زیرحوضه تقسیم گردید که در شکل ۲(ب) نشان داده است. لایه اطلاعاتی مورد نیاز بعدی خاک و کاربری اراضی (شکل ۲ الف)) می‌باشد. ترکیب این

1- Digital Elevation Model

دو نقشه حوضه‌های مجازی تولید می‌کنند که اصطلاحاً به آنها واحدهای همگن هیدرولوژیکی (HRU) اطلاق می‌گردد که در آنها نوع خاک و کاربری اراضی یکسان می‌باشند و مدل فرض می‌کند که رفتار هیدرولوژیکی آنها یکسان خواهد بود. با معرفی نقشه‌های مذکور به مدل حوضه به ۱۱۸ HRU تقسیم شد که این موضوع خود باعث افزایش دقت شبیه‌سازی‌ها گردید. برای این تحقیق داده‌های ۶ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک که نزدیکترین فاصله را با منطقه مورد مطالعه داشتند، جهت شبیه‌سازی‌های مورد نظر طی دوره ۱۹۸۷ لغایت ۲۰۰۸ استفاده گردید. مشخصات این ایستگاه‌ها همراه با طول دوره آماری آنها در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین آمار ماهانه دبی ۶ ایستگاه آبسنجی نیز بکار گرفته شد که موقعیت آنها در شکل ۲ (ب) آمده است. اطلاعات بعدی مربوط به بخش کشاورزی، و محصولات عمده حوضه است که موارد مربوط در مقیاس شهرستانی در جدول ۲ (مرید و همکاران، ۱۳۹۰) ارائه شده است.

معرفی پارامترها به مدل SWAT

بعد از تشکیل HRUها با شرحی که در قبل به آن اشاره شد، پارامترهای مربوط به هر کدام از اجزای اصلی مدل شامل پارامترهای گیاهی (Dat)، خاکشناسی (Sol)، آب زیرزمینی (Gw)، مدیریت (Mgt) و رودخانه (Rte) بر اساس آمار و داده‌های موجود به مدل معرفی می‌شوند (موارد آمده در پراتنز، پسوند فایل‌هایی از SWAT است که برای شبیه‌سازی‌ها مورد توجه بوده‌اند).

شبیه‌سازی فرآیندهای اصلی در SWAT

شبیه‌سازی‌های متنوعی در این مدل به انجام می‌رسد، ولی از آنجا که مواردی مانند بیلان هیدرولوژیکی، عملکرد گیاهی و مقدار تبخیر و تعرق واقعی بیشتر مورد نظر این تحقیق می‌باشند، در ادامه به طور مختصر در مورد مبانی کاری آنها در مدل توضیحاتی ارائه می‌گردد.

اجزای بیلان هیدرولوژیکی حوضه

رابطه بین اجزای بیلان هیدرولوژیکی در یک حوضه در مدل SWAT با استفاده از معادله (۱) مشخص می‌گردد:

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

در این معادله، SW_t مقدار نهایی آب در خاک (mm) در روز t ، SW_0 مقدار اولیه آب در خاک (mm)، t زمان بر حسب روز و R_{day} میزان بارندگی در روز i (mm)، Q_{surf} مقدار رواناب سطحی در روز i

حجم رواناب سطحی ناشی از بارندگی یکی از متغیرهای اصلی جریان رودخانه است که مدل از روش شماره منحنی SCS بر اساس نوع کاربری اراضی، خاک، رطوبت پیشین خاک، وضعیت بارش و توپوگرافی زمین برای برآورد روزانه آن استفاده می‌کند. همچنین مدل از معادله هوخهات (Hooghoudt, 1940) جهت محاسبه مقدار جریان برگشتی از آب زیرزمینی (Q_{gw}) استفاده کرده و در آخر با برآورد ذوب برف با استفاده از معادلات تجربی، مقدار کل رواناب را محاسبه می‌کند.

در مدل SWAT از معادله (۲) برای شبیه‌سازی آب ذخیره شده در آبخوان آزاد استفاده می‌گردد:

$$aq_{sh,i} = aq_{sh,i-1} + w_{rchrg,sh} - Q_{gw} - w_{revap} - w_{pump,sh} \quad (2)$$

در این رابطه $aq_{sh,i}$ ارتفاع آب ذخیره شده در آبخوان در روز i ام (mm)، $aq_{sh,i-1}$ ارتفاع آب ذخیره شده در آبخوان در روز $i-1$ ام (mm)، $w_{rchrg,sh}$ ارتفاع آب تغذیه شده به آبخوان در روز i ام، Q_{gw} ارتفاع جریان پایه ورودی به رودخانه اصلی از آب زیرزمینی (mm)، w_{revap} مقدار آب ورودی به ناحیه غیراشباع خاک از آب زیرزمینی در روز i ام (mm) و $w_{pump,sh}$ میزان آب پمپاژ شده از آبخوان در روز i ام (mm) می‌باشند.

عملکرد گیاهی

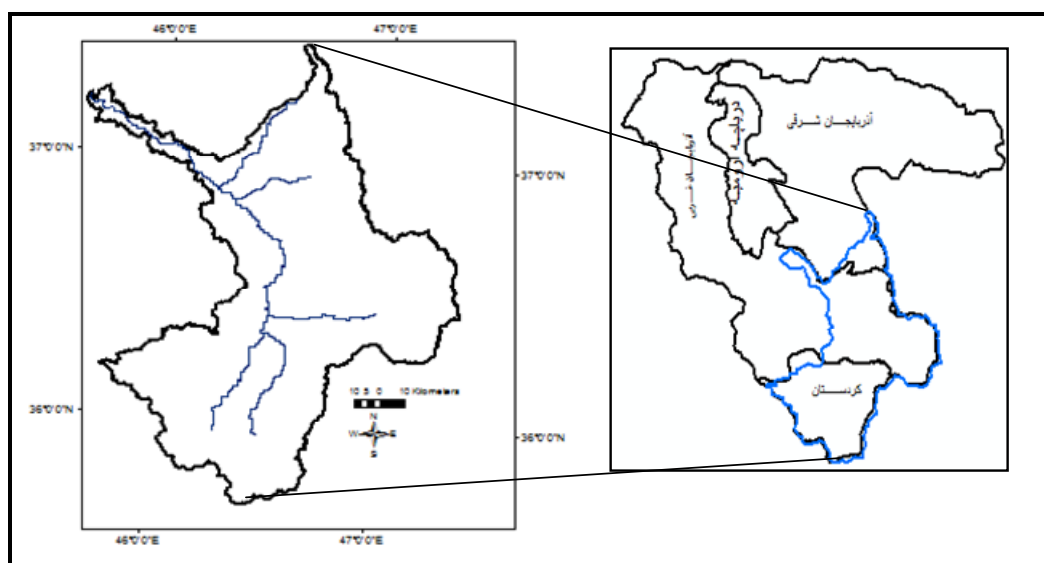
بخش رشد گیاهی در مدل SWAT حالتی ساده شده از مدل رشد گیاهی EPIC^۲ است (Easterling et al., 1992) که در آن رشد گیاهان بر اساس گرمای روزانه تجمعی دریافتی مورد شبیه‌سازی قرار می‌گیرد. در EPIC پتانسیل مقدار ماده تولیدی بر اساس روش Monteith محاسبه گردیده و شاخص برداشت^۳ نیز برای محاسبه محصول استفاده می‌شود. در این مدل رشد گیاهی بر اساس کمبودهای دما، آب، نیتروژن و فسفر محدود می‌گردد. SWAT در شبیه‌سازی عملکرد محصولات تاثیر طیف وسیعی از عوامل مانند متغیرهای هواشناسی (متوسط دمای روزانه، تابش خورشیدی^۴)، گیاهی (شاخص سطح برگ)، مدیریت‌های کشاورزی (میزان کوددهی، تاریخ کشت و برداشت) و مدیریت‌های آبی (میزان عمق آبیاری و دور آن) در نظر می‌گیرد.

2- Erosion Productivity Impact Calculator

3- Harvest Index

4-Solar Radiation

1-Hydrological Response Unit



شکل ۱ - موقعیت حوضه زرينه رود

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده

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	۱۲۹۰	۱۹۹۶-۲۰۰۸
مراغه	۴۶/۲۶	۳۷/۴۰	۱۴۷۷/۷	۱۹۸۲-۲۰۰۹

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

نوع محصول	سطح زیرکشت در شهرستان‌های واقع در محدوده مورد مطالعه (هکتار)			تاریخ کشت	تاریخ برداشت	میزان کود مصرفی سالانه (kg/ha)	
	میاندوآب	صائین دژ	تکاب			سقز	ازته
گندم	۱۶۰۱۷	۷۷۴۳	۳۳۶/۷	۱۵ مهر	۱۰ تیر	۱۲۰	۱۴۰
جو	۴۱۴۰/۸	۲۳۱۰	۲۱۰/۵	۱۵ مهر	۱۰ تیر	۱۲۰	۱۴۰
سیب زمینی	۷۳۹/۵	۳۵۴	۱۰۹	۱۵ اردیبهشت	۱۵ مهر	۲۲۵	۲۶۰
گوجه	۸۲۱	۶۲۳	-	۱۰ خرداد	۱۰ مهر	۳۹۰	۴۵۵
چغندر قند	۱۸۰۷	۳۵۹	-	۱۰ فروردین	۳۰ مهر	۳۰۰	۳۴۰
یونجه	۱۰۳۶۳	۴۷۹۳	۳۳۶۷	۱۰ فروردین	۱۰ مهر	۲۲۰	۲۷۰
سیب	۸۳۲۸	۲۸۵۰	۲۱۰/۵	۱ اردیبهشت	۳۰ مهر	۳۵۰	۳۸۰

تبخیر و تعرق واقعی

برای شبیه‌سازی تبخیر و تعرق واقعی در مدل SWAT لازم است ابتدا مراحل مختلف رشد محصولات مورد کشت بخوبی معرفی

شوند، به طوری که تغییرات زمانی شاخص سطح برگ LAI^1 شبیه‌سازی شده با واقعیت همخوانی کافی داشته باشد. در مدل قبل از برآورد تبخیر از خاک و تعرق از گیاه، میزان تبخیر از آب ذخیره شده

1 - Leaf Area Index

اعمال تلفات و راندمان موجود در مدل SWAT

به طور کلی تلفات آب در نظر گرفته شده برای آبیاری سطحی شامل تبخیر از مخزن سد، تبخیر از کانال‌ها در حین انتقال از سد به اراضی کشاورزی آبی پایین دست، نفوذ عمقی و رواناب می‌باشند. از این میان فقط تلفات رواناب سطحی بطور مستقیم به عنوان ورودی به مدل معرفی می‌شود. لذا، لازم بود سایر تلفات با تمهیداتی شبیه‌سازی گردند، مانند روشی که (Arabi et al., 2007) برای شبیه‌سازی اقدامات مدیریتی برای کنترل رسوب با SWAT به انجام رساندند.

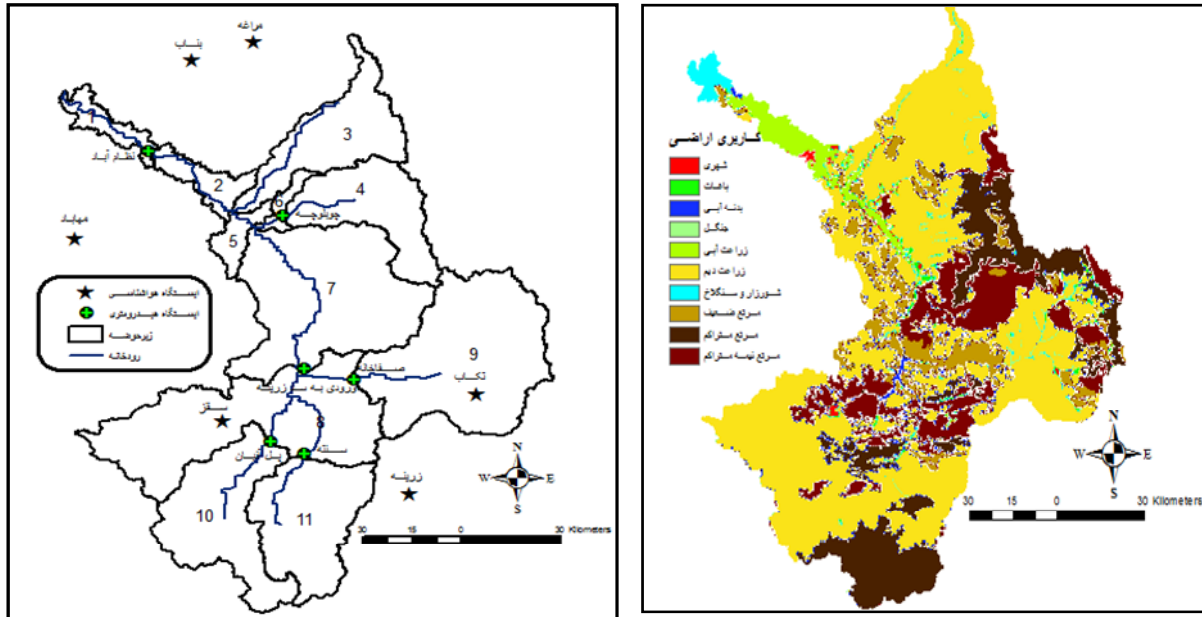
در حالت کلی اعمال برنامه‌ریزی آبیاری و تعریف الگوی کشت و برنامه‌ریزی‌های کشاورزی (مانند شخم، کاشت، کوددهی) در مدل از طریق فایل‌های مدیریتی (.mgt) آن انجام می‌پذیرد. از آنجا که میزان تلفات تابعی از دور و عمق آبیاری، خصوصیات فیزیکی خاک و محصولات کشت شده می‌باشد، بنابراین برای شبیه‌سازی راندمان موجود در حوضه که مقدار آن ۳۸ درصد می‌باشد (مرید و همکاران، ۱۳۹۰) باید پارامترهایی از مدل که با عوامل فوق ارتباط دارند، بطوری تنظیم گردند که راندمان فوق 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 ۶ 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 crop.dat در مدل SWAT قابل تنظیم می‌باشند. برای اعمال تلفات شامل تبخیر از مخزن سد و انتقال از سد به اراضی کشاورزی آبی پایین دست، 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.

در پوشش گیاهی منطقه بر اساس وضعیت شاخص فوق محاسبه می‌گردد. چنانچه مقدار شاخص LAI بیشتر از ۳ باشد، کل میزان تبخیر و تعرق پتانسیل از خاک و گیاهان با مقدار تعرق پتانسیل از گیاهان برابر خواهد شد. در غیر این صورت، این مقدار با مجموع سه جزء تصعید از برف، تبخیر پتانسیل از خاک و تعرق پتانسیل از گیاه برابر خواهد شد (Neitsch et al., 2011). در حالت کلی شاخص LAI پتانسیل تابعی از مقدار گرمای رسیده به محصول طی دوره رشد آن می‌باشد. بنابراین برای شبیه‌سازی این شاخص برای یک محصول، ابتدا براساس تقویم زراعی و دمای پایه (حداقل دمای لازم برای رشد محصول) مقدار گرمای لازم برای رشد محصول (Potential Heat Unit) محاسبه می‌گردد. در ادامه با داشتن دو مقدار معلوم از این دو متغیر (مانند حداکثر شاخص سطح برگ محصول طی دوره رشد و مقدار PHU مربوط و مقدار شاخص LAI مربوط به ۹۵ درصد PHU دریافتی) مقدار آن برای دوره رشد محصول به صورت روزانه شبیه‌سازی می‌گردد. همانند عملکرد، تنش‌های چهارگانه دما، آب، نیتروژن و فسفر باعث کاهش مقدار پتانسیل آن در طول فرایند رشد می‌گردند.

پیاده کردن الگوی کشت و برنامه‌ریزی آبیاری حوضه در مدل SWAT

از نکات اساسی در این مطالعه؛ تعریف الگوی کشت، برنامه‌ریزی و مدیریت‌های مختلف آبیاری در مدل است. بدین منظور و همچنین برای اینکه شرایط شبیه‌سازی متغیرهای هیدرولوژیکی و گیاهی به شرایط واقعی نزدیک باشد، آن قسمت از کاربری اراضی که مربوط به کشاورزی آبی است به باغ و زراعت تفکیک شدند. این کار موجب می‌گردد که اولاً بتوان الگوی کشت موجود در حوضه را برای هر کدام از زیرحوضه‌ها اعمال کرد و ثانياً مدیریت آبیاری حوضه (مقدار آب برداشتی روزانه از رودخانه‌ها، سد و آب زیرزمینی) را بهتر به مدل معرفی نمود. جدول ۳ منبع آب مصرفی کشاورزی در هر یک از زیرحوضه‌ها به تفکیک محصولات را ارائه می‌دهد. به همین ترتیب مقدار عمق و دور آبیاری برای هر کدام از محصولات نیز بر اساس آمار و اطلاعات موجود (مرید و همکاران، ۱۳۹۰) تهیه (جدول ۴) و در فایل‌های ورودی قرار داده شدند. با شکستن کاربری اراضی آبی به قسمت‌های باغی و زراعی، تعداد HRUهای آبی که ۳۰ بودند (از ۱۱۸ HRU) به ۵۱۱ HRU رسید و برنامه‌ریزی آبیاری به تفکیک در آنها اعمال شد. در جدول ۵ تعداد HRUهایی که هر یک از محصولات کشت شده در زیرحوضه‌های مختلف به خود اختصاص داده‌اند، نشان داده شده است.



شکل ۲- الف) نقشه کاربری اراضی حوضه زربنه رود (وزارت جهاد کشاورزی، ۲۰۰۷) ب) موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری مورد استفاده در مدل SWAT

جدول ۳- منبع آب مورد استفاده برای آبیاری محصولات عمده در هر یک از زیرحوضه‌ها 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 زیرزمینی
۴	سد	سد	سد	سد	سد	آب زیرزمینی	آب زیرزمینی
۵	سد	سد	سد	سد	سد	آب زیرزمینی	آب زیرزمینی
۶	سد	سد	سد	سد	سد	آب زیرزمینی	سد
۷	سد	سد	سد	سد	سد	آب زیرزمینی و سد	آب زیرزمینی
۸	رودخانه	رودخانه	آب زیرزمینی	آب زیرزمینی	آب زیرزمینی	آب زیرزمینی	-
۹	رودخانه	رودخانه	آب زیرزمینی	-	-	آب زیرزمینی	آب زیرزمینی
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 زربنه رود (مقادیر آبیاری بر حسب میلی متر می باشد)

محصول	آوریل	می	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	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 زیرحوضه ها

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
سیب زمینی	۲	۳	-	۳	۱	۲	۳	۴	۶	۲	۱	۱۳۵۹
گوجه	۲	۳	۲	۳	۲	۲	۳	۴	-	۴	۲	۱۶۹۲
چغندر قند	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)	۷۴۵۸۰											
زیرکشت آبی HRU کل تعداد	۵۱۱											

نحوه افزایش راندمان آبیاری در مدل SWAT

همانگونه که اشاره شد، تغییر سیستم آبیاری در مدل SWAT مستقیماً قابل انجام نیست^۱، لذا این بخش با تغییر دور و عمق آبیاری انجام شد، بطوریکه تلفات آبیاری بویژه نفوذ عمقی و رواناب سطحی شرایط سیستم جدید آبیاری (قطره‌ای و بارانی) را شبیه‌سازی نماید. بدین منظور، ابتدا مقدار تبخیر و تعرق مرجع (ET_o) ماهانه در زیرحوضه‌ها مشخص گردید و سپس بر اساس تغییرات ماهانه ضریب گیاهی (k_c) برای هر یک از محصولات، مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل گیاهی ماهانه (ET_{ij}) با استفاده از رابطه (۳) برآورد گردید (علیزاده، ۱۳۸۴).

$$ET_{ij} = K_{c(i,j)} \times ET_o(j) \quad (3)$$

در ادامه مقدار آب آبیاری مورد نیاز خالص در هر ماه برای هر گیاه با تفریق این مقدار از بارندگی موثر در همان ماه برآورد شد که قابل تبدیل به مقدار روزانه نیز می‌باشد. همچنین با مشخص کردن دور و برنامه‌ریزی آبیاری برای هر HRU که تنها شامل یک نوع محصول است، مقدار متوسط راندمان آبیاری برآورد می‌گردد. چنانچه این مقدار با مقدار مورد نظر تفاوت زیادی داشته باشد، می‌توان با سعی و خطا و کم و یا زیاد کردن دور آبیاری (پارامترهای گیاهی و خاک که در شرایط پایه واسنجی شدند در این قسمت تغییری نمی‌کنند) راندمان آن را به مقدار مورد نظر رساند. بدیهی است در این شکل آبیاری، همواره آب تحویلی در مزرعه با نیاز کامل تفاوت دارد، ولی با سیاست‌های مربوط به تخصیص آب سازمان‌های مسئول منطقه که کمتر از سند ملی آب تحویل می‌دهند، هماهنگی دارد. لازم به ذکر است که تلفات آبیاری قطره‌ای شامل تبخیر از مخزن سد و مقدار ناچیزی نفوذ عمقی است و برای آبیاری بارانی علاوه بر این دو، تلفات بادبردگی و تبخیر از مزرعه نیز در نظر گرفته شده است (در

بخش wus). در جدول ۷ نوع سیستم‌های آبیاری به کار گرفته شده برای هر کدام از محصولات در هر یک از زیرحوضه‌ها ارائه گردیده است. با اعمال این سیستم‌های آبیاری و همچنین عمق آب آبیاری آورده شده (تحت اعمال سیستم‌های مذکور) در جدول ۸، مقدار راندمان آبیاری در آبیاری بارانی به ۶۰ درصد و در قطره‌ای به ۸۰ درصد رسید.

نحوه واسنجی همزمان متغیرهای گیاهی، عملکرد و تبخیر و تعرق واقعی (ETact)

همانطور که در بخش‌های قبل نیز به آن اشاره شد، شاخص LAI یکی از متغیرهای اصلی کنترل کننده مقدار تبخیر و تعرق واقعی از گیاه و در نتیجه مقدار عملکرد آن می‌باشد. از آنجا که روند تغییرات زمانی این متغیر با روند مقادیر تبخیر و تعرق واقعی باید همخوانی داشته باشد، بنابراین این دو متغیر باید در مدل بطور همزمان شبیه‌سازی گردند. مراحل انجام این بخش برای شبیه‌سازی و واسنجی همزمان عملکرد و تبخیر و تعرق واقعی در شکل ۳ آمده است. به علت عدم وجود داده‌های مشاهداتی برای واسنجی شاخص LAI در منطقه، در این تحقیق شبیه‌سازی و واسنجی این متغیر بر اساس تقویم زراعی اراضی تحت کشت آبی (تاریخ کشت محصولات، وضعیت این متغیر برای محصولات مختلف در طول فصل رشد آنها در منطقه، تاریخ برداشت) و مقادیر ضریب گیاهی (k_c) گزارش شده از سند ملی آب در محدوده مورد مطالعه، برای هر یک از محصولات در سال‌های پرآب (حتی‌الامکان نبود تنش آبی) صورت گرفته است. بطوریکه در وهله اول باید روند تغییرات ماهانه این شاخص برای محصولات عمده حوضه از مشاهدات منطقه‌ای و روند تغییرات ضریب گیاهی آنها تبعیت کند و در مرحله دوم، متوسط مقادیر تبخیر و تعرق شبیه‌سازی شده تحت تاثیر این متغیر توسط SWAT با متوسط مقادیر تبخیر و تعرق حداکثر گزارش شده در سند ملی آب مطابقت داشته باشد.

۱- مدل در بخش مدیریت (mgt) ادعا می‌کند این بخش ظاهراً هنوز فعال نشده و چنین مشکلی توسط دیگر کاربران نیز مورد اشاره قرار گرفته است.

جدول ۶- مقادیر نهایی پارامترهای خاک موثر در نفوذ عمقی

نام پارامتر	توضیحات	واحد	محدوده نهایی پارامترها
SOL-AWC(1)	ظرفیت آب قابل دسترس خاک در لایه سطحی	میلی متر در میلی متر	۰/۱۹-۰/۲۴
SOL-K(1)	هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در لایه سطحی	میلی متر در ساعت	۷/۲۲-۱۵/۶
SOL-BD(1)	چگالی ظاهری خاک در لایه سطحی	گرم در سانتی متر مکعب	۱/۲-۱/۶

جدول ۷- سیستم های آبیاری مورد استفاده برای هر کدام از محصولات در هر یک از زیرحوضه ها تحت سناریو افزایش راندمان آبیاری

محصولات زیرحوضه	گندم	جو	سیب زمینی	گوچه	چغندر قند	یونجه	سیب
۱	بارانی	بارانی	قطره‌ای	قطره‌ای	بارانی	سطحی	قطره‌ای
۲	بارانی	بارانی	قطره‌ای	قطره‌ای	بارانی	سطحی	قطره‌ای
۳	بارانی	بارانی	-	قطره‌ای	بارانی	سطحی	سطحی
۴	بارانی	بارانی	قطره‌ای	قطره‌ای	بارانی	سطحی	سطحی
۵	بارانی	بارانی	قطره‌ای	قطره‌ای	بارانی	سطحی	سطحی
۶	بارانی	بارانی	قطره‌ای	قطره‌ای	بارانی	سطحی	قطره‌ای
۷	بارانی	بارانی	قطره‌ای	قطره‌ای	بارانی	سطحی و بارانی	سطحی
۸	بارانی	بارانی	سطحی	سطحی	سطحی	سطحی	-
۹	بارانی	بارانی	سطحی	سطحی	-	سطحی	سطحی
۱۰	بارانی	-	سطحی	سطحی	-	سطحی	-
۱۱	بارانی	بارانی	سطحی	سطحی	-	سطحی	-

جدول ۸- مقادیر عمق آب آبیاری اعمال شده (میلی متر) به مدل با توجه به تغییر سیستم های آبیاری برای محصولات مختلف

ماه‌های آبیاری محصولات	می	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	دور آبیاری (روز)
گندم	۱۷۰	۲۱۱	-	-	-	۳
جو	۱۷۰	۲۱۱	-	-	-	۳
سیب زمینی	۷۵	۱۲۵	۲۱۰	۱۸۰	۱۳۰	۳
گوچه	-	۱۰۱	۲۰۰	۱۸۰	۱۳۰	۳
چغندر قند	۱۲۲	۲۱۲	۲۳۵	۲۱۱	۱۵۳	۳
یونجه	۱۷۶	۲۲۳	۲۴۷	۲۱۱	۱۵۳	۳
سیب	۱۵۰	۱۹۰	۲۰۹	۱۸۰	۱۳۰	۳

به هنگام شبیه‌سازی همزمان تبخیر و تعرق و عملکرد با مدل، مراحل آمده در شکل ۳ آنقدر تکرار گردید تا مقادیر مطلوب حاصل شود. مشخصات کامل پارامترهای واسنجی شده دخیل در شبیه‌سازی رواناب، عملکرد محصولات و تبخیر و تعرق واقعی منطقه مطالعاتی در مرجع احمدزاده و همکاران (۱۳۹۱) قابل مشاهده هستند.

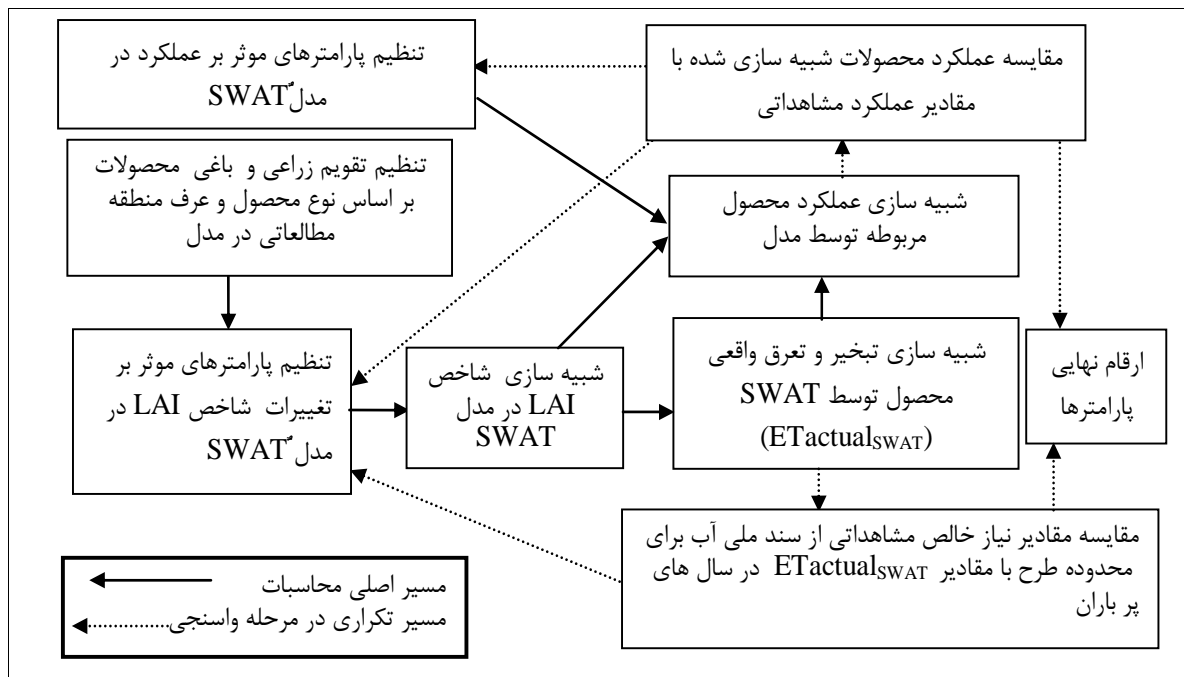
نتایج

شبیه‌سازی رواناب و افت سطح آب زیرزمینی

قبل از اینکه نتایج مربوط به شبیه‌سازی تبخیر و تعرق واقعی ارائه

شود لازم به یادآوری است که شبیه‌سازی رواناب در مدل با استفاده از ۶ ایستگاه آب‌سنجی که موقعیت آنها در شکل ۲ (ب) نشان داده شده است واسنجی و اعتبارسنجی گردید که مقادیر R^2 به ترتیب بین ۰/۴۹ تا ۰/۷۱ و ۰/۵۴ تا ۰/۷۷ قرار گرفت (جدول ۹). از آنجا که مقادیر افت سطح ایستابی مشاهداتی فقط برای دشت میان‌دوآب برای سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۲ موجود بود واسنجی پارامترهای مربوط به آب زیرزمینی در مدل بر اساس داده‌های مشاهداتی این محدوده صورت گرفت.

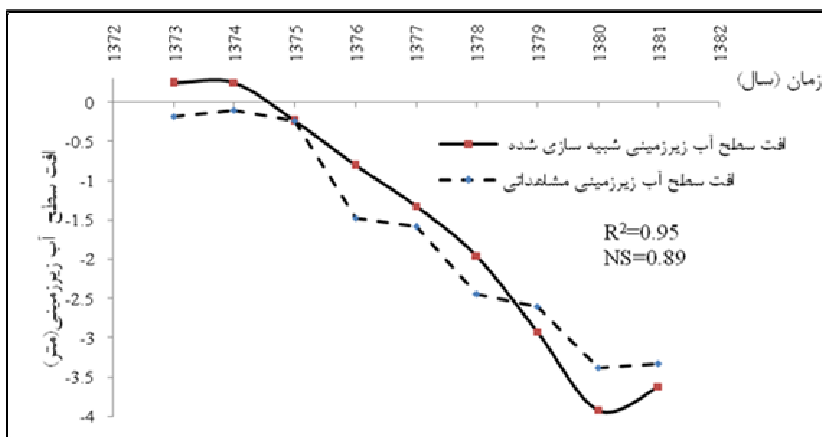
نتایج واسنجی مقادیر R^2 و NS (نش-ساتکلیف) بترتیب برابر با ۰/۹۵ و ۰/۸۹ را نشان داد که تا حدودی رضایت بخش است.



شکل ۳- مراحل شبیه سازی و واسنجی متغیرهای تبخیر و تعرق واقعی و عملکرد محصولات

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

شماره ایستگاه	رودخانه	ایستگاه	واسنجی			اعتبارسنجی		
			دوره آماری	R ²	NS	دوره آماری	R ²	NS
۱	جیغاتوچای	پل انبان	۱۹۸۷-۱۹۹۹	۰/۷	۰/۵	۲۰۰۰-۲۰۰۶	۰/۷۷	۰/۶۹
۲	خرخره چای	سنه	۱۹۸۸-۱۹۹۹	۰/۶۳	۰/۶۱	۲۰۰۰-۲۰۰۶	۰/۷۲	۰/۶۶
۳	ساروق چای	صفاخانه	۱۹۸۷-۱۹۹۹	۰/۶۱	۰/۵۳	۲۰۰۰-۲۰۰۶	۰/۵۴	۰/۵
۴	زرینه رود	ورودی به سد	۱۹۸۷-۱۹۹۹	۰/۷۱	۰/۶۹	۲۰۰۰-۲۰۰۶	۰/۶۶	۰/۶
۵	آجرلو چای	چوبلوچه	۱۹۸۷-۱۹۹۷	۰/۴۹	۰/۱۴	۱۹۹۸-۲۰۰۲	۰/۶۵	۰/۴۷
۶	زرینه رود	نظام آباد	۱۹۹۳-۲۰۰۱	۰/۷۱	۰/۶۹	۲۰۰۱-۲۰۰۶	۰/۵۵	۰/۵۳



شکل ۴- مقایسه افت سطح آب زیر زمینی شبیه سازی شده و مشاهداتی برای دشت میاندوآب طی سالهای ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۲

شکل ۴ روند زمانی افت سالانه سطح آب زیرزمینی شبیه‌سازی شده و مشاهداتی را برای دشت میاندوآب طی دوره مذکور نشان می‌دهد. نتایج مربوط به تحلیل حساسیت مدل، مشخصات و محدوده نهایی مقادیر پارامترهای دخیل در هر کدام از متغیرهای هیدرولوژیکی و کشاورزی مورد مطالعه در این تحقیق (رواناب، تبخیر و تعرق واقعی، آب زیرزمینی و عملکرد محصولات) در مرجع احمدزاده و همکاران (۱۳۹۱) آورده شده است و در این تحقیق از ذکر آنها بعلت حجیم شدن مطالب خودداری شده است.

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

همانطور که قبلاً اشاره شد، در حالت کلی زمانی که مقدار LAI بیشتر از ۳ است (عمدتاً اراضی کشاورزی آبی)، مقدار تبخیر و تعرق واقعی از گیاه وابسته به مقدار این شاخص می‌باشد. در واقع این متغیر به شکلی هم‌عرض ضریب گیاهی (K_c) در محاسبه تبخیر و تعرق عمل می‌کند که در مراجع مختلف به روابط آنها اشاره شده است (Kang et al., 2003; kang et al., 2006; Medeiros et al., 2005; Williams et al., 2001). به علت نبود داده‌های مشاهداتی شاخص LAI در حوضه از داده‌های موجود ضریب گیاهی (K_c) برای محصولات مختلف حوضه جهت کنترل مقادیر شبیه‌سازی شده این شاخص توسط مدل استفاده گردید. لازم به ذکر است که داده‌های ضریب گیاهی (K_c) برای محصولات مختلف با توجه به مقادیر گزارش شده در سند ملی آب (NDW) و FAO 56 بدست آمده‌اند (Allen et al., 1998). در شکل ۵ متوسط مقادیر شبیه‌سازی شده شاخص LAI در طول سال‌های پرباران (مانند ۱۹۹۰، ۱۹۹۲، ۱۹۹۱، ۲۰۰۶ و ...) که گیاه تحت تنش آبی نبوده است، در مقابل مقادیر گزارش شده K_c برای محصولات مختلف در طول فصل رشد آنها نشان داده شده است. با توجه به مقادیر شاخص آماری R^2 در این شکل هماهنگی مناسبی بین این دو متغیر برای اکثر محصولات وجود دارد.

همچنین از آنجا که منطقه مورد مطالعه فاقد لایسیمتر می‌باشد، برای کنترل مقادیر تبخیر و تعرق واقعی شبیه‌سازی شده توسط SWAT، متوسط مقادیر مربوط به سال‌های پرباران که تنش آبی در آنها وجود نداشته با ارقام نیاز آبی گیاهان منطقه مطالعاتی در سند ملی آب مقایسه شدند. در این راستا از شاخص‌های آماری R^2 و میانگین درصد اختلاف مطلق ($MAPD$) برای مقایسه متوسط تبخیر و تعرق واقعی ماهانه شبیه‌سازی شده برای محصولات حوضه در طول فصل رشد آنها در سال‌های پرباران با مقادیر متناظر گزارش شده در سند ملی آب استفاده گردید که نتایج آن در جدول ۱۰ آورده شده است.

همچنین در شکل ۶ متوسط کل تبخیر و تعرق واقعی شبیه‌سازی شده توسط مدل برای محصولات مختلف در طول فصل رشد آنها با مقادیر متناظر گزارش شده در سند ملی آب مقایسه شده است که نتایج حاکی از همخوانی مطلوب آنها ($R^2=0.88$) دارد.

شبیه‌سازی عملکرد محصولات در شرایط پایه و افزایش راندمان آبیاری

نتایج مربوط به شبیه‌سازی این متغیر گیاهی تحت شرایط پایه و همچنین افزایش راندمان آبیاری برای کل حوضه به همراه مقادیر مشاهداتی آن (سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی، ۱۳۹۰) در جدول ۱۱ آورده شده است. مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده عملکرد در شرایط پایه و مشاهداتی حاکی از توانایی مناسب مدل برای شبیه‌سازی این متغیر می‌باشد ($R^2=0.9$). همچنین مطابق با شبیه‌سازی‌های صورت گرفته، با تغییر سیستم‌های آبیاری از سطحی به تحت فشار میزان عملکرد محصولات به طور متوسط ۲۰ درصد افزایش می‌یابد.

قابل ذکر است که پارامترهای نهایی برای شبیه‌سازی عملکرد در مرجع احمدزاده و همکاران (۱۳۹۱) قابل مشاهده است.

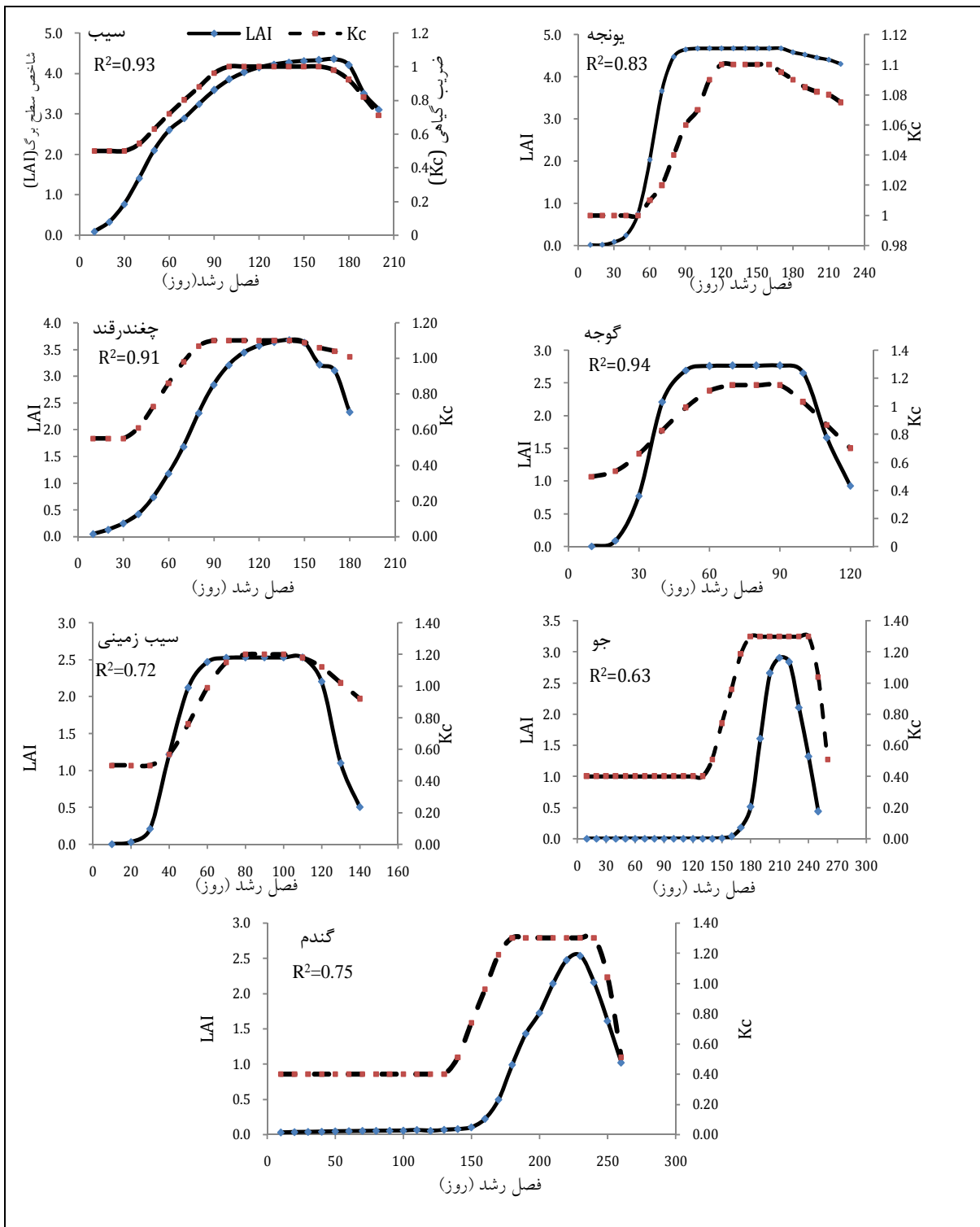
ارزیابی تغییرات مولفه‌های هیدرولوژیکی تحت سناریو افزایش راندمان آبیاری

تغییرات سطح ایستابی و حجم تبخیر و تعرق واقعی

مطابق با شبیه‌سازی‌های صورت گرفته با تغییر سیستم‌های آبیاری از سطحی به تحت فشار، افت سطح آب زیرزمینی در مقایسه با شرایط پایه شدیدتر می‌شود. در شکل ۷ (الف) سری زمانی شبیه‌سازی شده متوسط مقدار ارتفاع آب موجود در کل آبخوان حوضه برای هر دو شرایط آمده است. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش راندمان آبیاری نه تنها مقدار تبخیر و تعرق واقعی سالانه از اراضی تحت کشت آبی (به عنوان مقدار آب خروجی از سیستم حوضه) کاهش نمی‌یابد، بلکه مقدار آن قدری نیز افزایش پیدا می‌کند (شکل ۷ (ب)).

تغییرات حجم آب سالانه ورودی به دریاچه

اصلی‌ترین هدف این تحقیق ارزیابی نقش افزایش راندمان آبیاری در افزایش میزان آب ورودی سالانه به دریاچه است. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که تحت شرایط مدیریت کنونی حوضه متوسط سالانه ورودی به دریاچه طی دوره ۲۰۰۷-۱۹۸۸ برابر با ۱۳۵۷ میلیون مترمکعب است که در این صورت ۹۳ درصد از سهم زیست محیطی تعیین شده برای زرينه‌رود براساس برنامه مدیریت جامع دریاچه ارومیه (۱۴۶۰ میلیون مترمکعب) تامین گردیده است (شکل ۸).



شکل ۵- 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

ولی اگر معیار ارزیابی وضعیت سال‌های خشک اخیر (۲۰۰۷-۱۹۹۹) باشد، در این صورت میزان متوسط سالانه ورودی ۸۶۴ میلیون مترمکعب خواهد بود که تنها ۵۹/۲ درصد از سهم فوق‌تأمین شده است. اما نتایج نشان داد که افزایش راندمان آبیاری نتوانست میزان آب ورودی به دریاچه را تغییر چندانی دهد و حتی ممکن است که از مقدار آن نیز بکاهد. در واقع شکل ۸ نتیجه اجرای مدل برای شرایط هیدرولوژیکی سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۷ و مصارف آب سال مبنای تحقیق (۱۳۸۹) می‌باشد که در آن سری‌های زمانی ورودی به دریاچه تحت سناریوهای وضعیت فعلی مدیریت آبیاری و افزایش راندمان مقایسه شده‌اند. بدین ترتیب نتایج شبیه‌سازی‌ها بر این نکته تأکید دارد که تغییر سیستم‌های آبیاری از سطحی به تحت فشار راهکاری موثر برای حل مشکل دریاچه ارومیه نیست.

بحث و نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر تلاشی بود برای ارزیابی تأثیر توسعه سیستم‌های

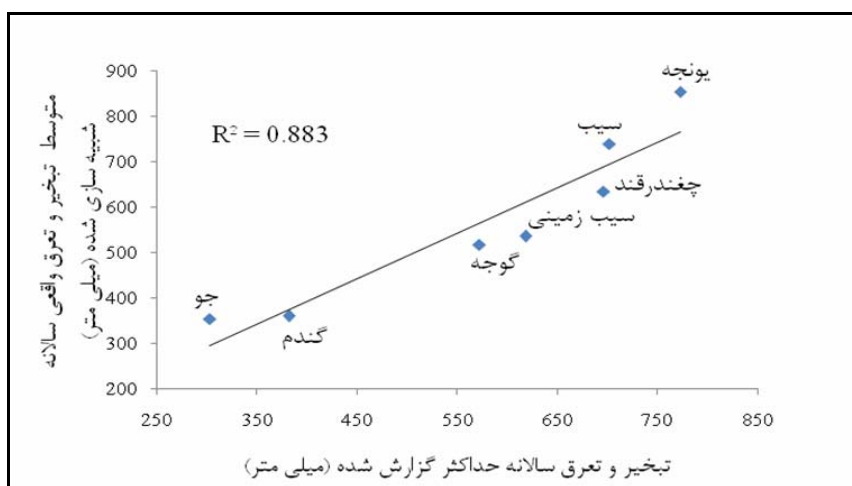
آبیاری تحت فشار بر افزایش حجم آب ورودی از حوضه زرينه‌رود به دریاچه ارومیه که بدین منظور سیستم هیدرولوژیکی و کشاورزی این حوضه با مدل SWAT شبیه‌سازی شدند. نتایج زیر از این مطالعه قابل ارائه است:

- نتایج توانایی مدل SWAT در برآورد تبخیر و تعرق واقعی و عملکرد محصول را متناسب با نیاز این تحقیق نشان داد. در این خصوص، مقایسه مقادیر شبیه‌سازی تبخیر و تعرق واقعی برای محصولات عمده حوضه در سال‌های پرآب با سند ملی آب ضریب همبستگی ۰/۸۸ و همبستگی ارقام شبیه‌سازی برای عملکرد محصولات و مقادیر مشاهداتی آنها مقدار ۰/۹ را نتیجه داد.

- هرچند معرفی مستقیم نوع سیستم آبیاری به SWAT مشکلات خاص خود را دارد، اما تمهیدات لازم در این تحقیق از طریق کنترل نفوذ و رواناب توانست شرایط انواع روش‌های تحت فشار آبیاری را شبیه‌سازی نماید که می‌تواند برای تحقیقات مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۱۰- ارزیابی عملکرد مدل SWAT در شبیه‌سازی متوسط تبخیر و تعرق واقعی ماهانه محصولات در سال‌های پرباران در مقایسه با مقادیر تبخیر و تعرق حداکثر ماهانه گزارش شده از سند ملی آب (میلی‌متر) در حوضه با استفاده از شاخص‌های آماری

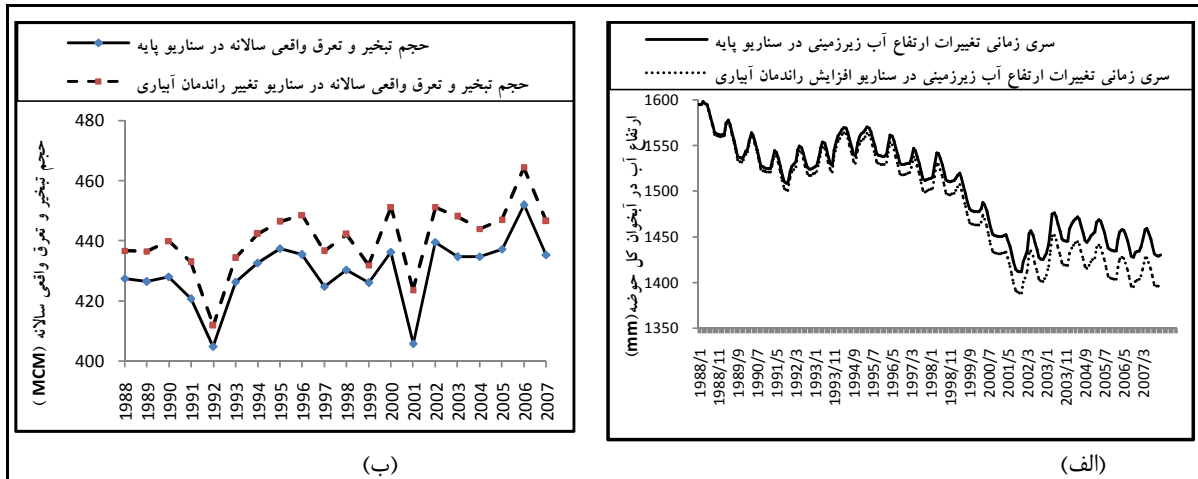
محصولات							شاخص آماری
گندم	جو	سیب زمینی	گوجه	چغندر قند	یونجه	سیب	
۰/۹۵	۰/۷۷	۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۸۲	۰/۹۵	۰/۹۳	R ²
۱۰/۳	۳۰	۱۸	۱۹/۴	۲۲/۸	۲۴	۱۱/۱	MAPD



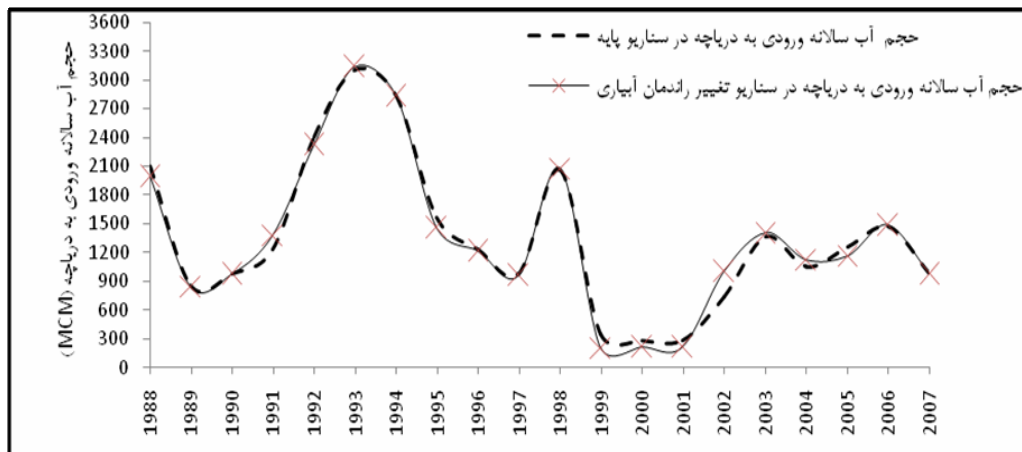
شکل ۶- مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق واقعی شبیه‌سازی شده برای محصولات مختلف در طول فصل رشد آنها توسط مدل SWAT در سال‌های پرباران با مقادیر تبخیر و تعرق حداکثر متناظر گزارش شده در سند ملی آب

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

محصولات	گندم	جو	سیب زمینی	گوجه	چغندر قند	یونجه	سیب
متوسط عملکرد مشاهداتی	۳/۴۶	۲/۶۹	۲۱/۱۷	۳۳/۰۳	۴۴/۶۰	۸/۵۰	۲۲/۱۴
سناریو پایه	۳/۴۹	۲/۴۱	۲۳/۰۰	۳۶/۰۰	۴۳/۸۰	۹/۸۳	۲۴/۲۲
سناریو افزایش راندمان آبیاری	۴/۱۴	۳/۶۷	۲۸/۷۳	۴۳/۸۳	۵۰/۳۲	۹/۶۱	۲۵/۰۸



شکل ۷- سری زمانی شبیه‌سازی شده متوسط ارتفاع آب در کل آبخوان حوضه (الف) و تبخیر و تعرق واقعی سالانه از اراضی آبی (ب) برای دوره مورد مطالعه



شکل ۸- سری زمانی شبیه‌سازی شده حجم آب سالانه ورودی به دریاچه از حوضه زرينه‌رود تحت شرایط موجود و افزایش راندمان آبیاری

منابع

احمدزاده، ح.، مرید، س. و دلاور، م. ۱۳۹۱. ارزیابی بهره‌وری آب کشاورزی با استفاده از مدل SWAT، مطالعه موردی: حوضه زرينه‌رود. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی منابع آب دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی، مرکز آمار و اطلاعات، ایران، آذربایجان غربی، ۱۳۹۰.

ضیایی، ل. ۱۳۹۱. روش محاسبه راندمان آبیاری در مقیاس حوضه‌ای، بیان و کارایی آب در حوضه‌ها با توجه به "افزایش کارایی چرخه آب"، مطالعه موردی زاینده‌رود. نهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، ۱۹ تا ۲۱ اردیبهشت، اصفهان.

- شبیه‌سازی‌های مدل SWAT نشان داد که سناریو افزایش راندمان آبیاری کاهش تغذیه به سفره‌های آب زیرزمینی را به همراه داشته و روند افت سطح آب زیرزمینی در حوضه تحت این سناریو بسیار تشدید می‌گردد. این افت در محدوده دشت میاندوآب که برداشت از آب زیرزمینی بالا می‌باشد، بیشتر و حدود ۱۲ متر نسبت به سناریو پایه افزایش خواهد داشت (نزدیک به دو برابر).

- مهمترین یافته این تحقیق عدم تغییر چندان مقدار آب ورودی به دریاچه در اثر افزایش راندمان آبیاری می‌باشد. نتایج مشابهی نیز در بررسی نقش سیستم‌های تحت فشار برای حوضه زاینده رود توسط ضیایی (۱۳۹۱) ارائه شده است و در آن بر عدم ایجاد آب اضافی در شبکه آبیاری زاینده رود در اثر توسعه این سیستم‌ها تاکید شده است. به طور کلی براساس شرایط موجود و با توجه به افت شدید سطح آب زیرزمینی در این سناریو، انتظار زیادی را از آن برای ایجاد شرایط پایداری زیست محیطی و منابع آب زیرزمینی نمی‌توان داشت.

- command in the Palleru River basin using SWAT model. *Hydrological processes*, 19: 673-682.
- Hooghoudt, S.B. (1940). Bijdrage tot de kennis van enige natuurkundige grootheden van de grond. Versl. Landbouwk. Onderz. 46:515-707 .
- 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.
- Kang, S., Gu, B., Du, T., 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.
- Kang, Y., 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
- 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
- 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.
- 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.
- 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.
- Yang, Y., Wang, G. and Jingshan, Y.U. (2009). Groundwater depth simulation based on Beijing county-level SWAT application tool. College of Water Sciences, Beijing Normal University, Key Laboratory for Water and Sediment Sciences, Ministry of Education, Beijing, P.R.China, 100875.
- علیزاده، ا.، ۱۳۸۴، طراحی سیستم های آبیاری تحت فشار، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۳۳۱-۴۷۳.
- مرید، س. و مقدسی، م. ۱۳۹۰. گزارش مدل تخصیص آب کشاورزی در شرایط خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه، برنامه مدیریت جامع دریاچه ارومیه، طرح حفاظت از تالاب های ایران، سازمان حفاظت محیط زیست کشور.
- وزارت جهاد کشاورزی، مرکز آمار و اطلاعات، ایران، تهران، ۱۳۸۶.
- 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.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, 300 pp.
- Arabi, M., Govindaraju, R.S., Engel, B. J., Frankenberger, and Hantush, M.M. (2007). Sensitivity analysis of sediment processes with SWAT. 4th International SWAT Conference, UNESCO-IHE, Institute for Water Education, Delft, the Netherlands, July 4-6.
- Arnold, J.G., Srinivasan, P., Muttiah, R.S. and Williams J.R. (1998). Large area hydrologic modelling and assessment. Part I. Model development. *Journal of the American Water Resources Association*, 34: 73-89
- Easterling, W.E., Rosenburg, N.J., Mckenney, M.S., Jones, C.A., Dyke, P.T. and Williams, J.R. (1992). Preparing the erosion productivity impact calculator (EPIC) model to simulate crop response to climate change and the direct effects of CO₂. *Agricultural and forest Meteorology*. 59:17-34
- 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.
- Gosain, A., Rao, S., Srinivasan, R. and Reddy, N.G. (2005). Return flow assessment for irrigation

Assessment of Changes in Agricultural Crop Yields and Inflows to Lake Urmia in Zarrinehrud River Basin Due to Changing Irrigation Systems from Surface to Pressurized Using the SWAT Model

H. Ahmadzadeh¹, S. Morid^{2*}, M. Delavar³
Received: Sep.18,2013 Accepted: Feb.5,2014

Abstract

Lake Urmia (LU) is the largest salt lake in the country. The lake's level has extremely declined due to the increase in irrigated agricultural lands and the recent droughts. This condition has caused many environmental problems for the lake and the surrounding area. To resolve this problem, increasing irrigation efficiency is expressed as one the fundamental solutions to reduce water consumption and improve the rate of river inflows to LU. To assess this strategy, Zarrinerud River basin as the largest catchment of the LU basin was chosen as the study area to investigate effectiveness of this strategy. Furthermore, the Soil and Water Assessment Tools (SWAT) model was chosen and applied for the required simulations. For this, in the first step, the model was calibrated and validated using 6 gauging stations. Then, the basin's actual evapotranspiration and crop production were calibrated, which resulted R^2 more than 80%. The calibrated model along with the applied arrangements in the model were used to simulate changes in irrigation methods from surface (efficiency of 38%) to sprinkler (efficiency of 60%) and drip irrigation (efficiency of 80%). The results showed up to 20% increase in crop yields comparing with the current condition. But, the annual volume of water entering the lake didn't significantly change and the decrease of water table was more severe. Therefore, it concluded that the pressurized irrigation cannot be considered as a fundamental measure to save Lake Urmia.

Key words: Urmia Lake, Zarrinehrud River basin, irrigation efficiency, Actual evapotranspiration, SWAT.

1- MSc Graduated of Water Resources Engineering Dept., Tarbiat Modares University

2- Prof. of Water Resources Engineering Dept., Tarbiat Modares University

3- Assistant prof. Dept., Tarbiat Modares University

Address: Water Resources Engineering Dept., College of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

(* - Corresponding Author Email: morid_sa@modares.ac.ir)