



توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای و تاثیر آن بر تراز آب زیرزمینی آبخوان‌های حوضه آبریز آجی‌چای با استفاده از مدل SWAT

محمد عیسی‌زاده^۱، احمد فاخری‌فرد^۲، صابره دربندی^{۳*}

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

* نویسنده مسئول: Sdarbandi.tabrizu@yahoo.com

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۹/۰۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۲۷

چکیده

کشت محصولات کشاورزی در محیط گلخانه به علت ایجاد شرایط مناسب رشد گیاه در طول سال، افزایش چند برابری تولید و کاهش آب مصرفی یکی از راه‌کارهای اصلی استفاده بهینه از منابع آب می‌باشد. در این تحقیق دو سناریو با توجه به سیاست‌های فعلی توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای در کشور ایران و یک سناریو ایده‌آل (سناریو سوم) جهت توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای تنظیم گردیده است. جهت ارزیابی اثرات اجرای سناریوهای توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای از مدل ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT) استفاده گردید. شاخص‌های آماری حاکی از دقت بسیار بالای شبیه‌سازی ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد مطالعه می‌باشد، بطوریکه در ایستگاه آب‌سنجی آخولا (خروجی حوضه) آماره‌های همبستگی، نش-ساتکلیف و مجذور میانگین مربعات خطا در دوره واسنجی به ترتیب برابر با ۰/۹۲، ۰/۸۳ و ۶/۴۸ مترمکعب بر ثانیه و در دوره صحت‌سنجی به ترتیب برابر با ۰/۸۶، ۰/۷۳ و ۳/۲۳ مترمکعب بر ثانیه بوده است. توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای با مساحت ۱۸۷۵ هکتار در حوضه آجی‌چای به ازای سناریو اول و دوم به ترتیب موجب افت متوسط ۱۱/۶۸ و ۴/۴۱ متری تراز آب زیرزمینی آبخوان‌های حوضه آجی‌چای نسبت به شرایط اولیه گردیده است. شبیه‌سازی سناریو سوم باعث افزایش تراز آب زیرزمینی آبخوان‌های تبریز، آذرشهر، دامنه شمالی سهند، بستان‌آباد، دوزدوزان، مهربان، بیلوردی، اسب‌فروشان و سراب به ترتیب برابر با ۴/۱۲، ۲/۷۳، ۱/۴۵، ۸/۸۸، ۱۰/۹۳، ۲/۹۰، ۴/۷۹، ۲/۹۹ و ۳/۳۱ متر و جبران حجم زیادی از بیلان منفی آن‌ها شده است. نتایج نشان دادند که توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای با استفاده از منابع آبی جدید می‌تواند باعث افزایش تولید محصولات کشاورزی و همچنین تشدید روند کاهش تراز آب زیرزمینی گردد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، حوضه آبریز آجی‌چای، شهرک گلخانه‌ای، مدل SWAT.

مقدمه

از آب در کشاورزی موجب کاهش میزان نیاز زیست محیطی رودخانه‌ها و دریاچه‌ها شده است (Xue et al., 2017). کشاورزان به علت کسب سود اقتصادی بیشتر همواره تقاضای مصرف آب بیشتری دارند که معمولاً در تضاد با تامین نیازهای زیست محیطی رودخانه‌ها و دریاچه‌های پایین دست حوضه-های آبریز می‌باشد (Xue et al., 2017; Dehghanipour et

درصد بالایی از آب‌های شیرین سطحی و زیرزمینی مورد استفاده بشر در جهان در بخش کشاورزی مصرف می‌گردد (Singh, 2014). تامین نیاز زیست محیطی رودخانه‌ها و دریاچه‌ها سبب پایداری و سلامت اکولوژی آن‌ها می‌شود (Arthington et al., 2018). در بیشتر مناطق جهان استفاده

منابع سطحی و زیرزمینی در خشکسالی‌ها شدت بیشتری پیدا می‌کند (حیدرزاده و سالاری، ۱۴۰۰).

دریاچه ارومیه به عنوان یکی از بزرگترین دریاچه‌های فوق شور دائمی جهان بوده که در شمال غربی کشور ایران واقع است (Zarghami, 2011; Hassanzadeh et al., 2012). دریاچه ارومیه در لیست تالاب‌های بین المللی کنوانسیون رامسر و شبکه جهانی ذخیره گاهای زیستکره یونسکو نیز ثبت گردید (Anonymous, 2014).

کاهش سطح و عمق آب دریاچه ارومیه عموماً ناشی از خشکسالی، افزایش مصرف آب در حوضه‌های آبریز، توسعه کشاورزی و سوء مدیریت در مصرف بهینه از منابع آب این حوضه آبریز می‌باشد (Panahi et al., 2020; Schulz et al., 2020). جهت بهبود وضعیت دریاچه و توسعه پایدار در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، دولت ایران برنامه احیای دریاچه ارومیه را ایجاد کرده است (Shadkam et al., 2016).

ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT^۲) یک مدل هیدرولوژیکی جامع برای ارزیابی تاثیر عواملی همچون تغییرات اقلیمی، تغییرات کاربری اراضی، تغییر روش‌های آبیاری، مدیریت کشاورزی و توسعه گلخانه‌ها بر میزان تغییرات حجم رواناب و تغییرات آب‌های زیرزمینی می‌باشد (Arnold et al., 2012; Raeisi et al., 2019).

بررسی تغییرات کاربری اراضی و تاثیر آن بر متغیرهای هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز در تحقیقات زیادی مورد بررسی قرار گرفته است (Andaryani et al., 2019). بررسی قرار گرفته است (Andaryani et al., 2019). Hari Krishna et al. (2014) سناریوهای مختلف مدیریتی را در حوضه آبریز مانائیر^۱، با استفاده از مدل SWAT ارزیابی کرده‌اند. نتایج این مطالعه نشان داد که توسعه کشت برنج در این حوضه باعث کاهش میزان رواناب خروجی شده است. مطالعه Molina-Navarro et al. (2014) نشان داد که تغییر کاربری اراضی باعث خشک شدن دریاچه‌های پایین دست حوضه‌های آبریز گردیده است.

Fathian et al. (2016) نشان دادند که در سه دهه گذشته سطح زیر کشت زراعت، باغبانی و محصولات دیم در شرق حوضه دریاچه ارومیه به ترتیب ۴۱٪، ۳۳٪ و ۶۷٪ افزایش

(al., 2020). در مناطق خشک و نیمه خشک، کاهش تامین نیاز زیست محیطی رودخانه‌ها و دریاچه‌های طبیعی با وقوع تغییرات اقلیمی، خشکسالی و سوء مدیریت در تامین و توزیع آب مورد استفاده در کشاورزی تشدید گردیده است (Mancosu et al., 2015؛ شمشکی و کرمی، ۱۳۹۸). مطالعه Wang et al. (2018) حاکی از حساسیت بیشتر حوضه‌های بسته نسبت به کاهش نیاز زیست محیطی در خشکسالی و تغییر اقلیم می‌باشد. لذا کاهش تامین نیاز زیست محیطی رودخانه‌ها باعث خشکی موقت و دائم دریاچه‌ها و تالاب‌های طبیعی در حوضه‌های بسته شده است (Farrokhzadeh et al., 2020). بنابراین در حوضه‌های بسته بایستی سیستم پویای مدیریت یکپارچه مصرف آب در کلیه بخش‌های مصرف کننده آب شامل بخش‌های شرب، صنعت و کشاورزی تعبیه گردد. در ۳۰ سال گذشته به علت عدم تامین نیاز زیست محیطی دریاچه‌های آرال، ارومیه و چاد^۱، حجم آب این دریاچه‌ها با کاهش حداقل ۷۰ درصدی روبه‌رو شده‌اند (Pritchard, 2017; Yapiyev et al., 2017).

براساس تحقیقات صورت گرفته، متغیرهای هیدرولوژیکی میانگین بارندگی سالانه، تبخیر و تعرق واقعی، رواناب سطحی و تغذیه آب‌های زیرزمینی به وسیله تغییرات ایجاد شده توسط انسان یا طبیعت مانند تغییر در کاربری اراضی و تغییر اقلیم می‌کنند (Lin et al., 2015). مطالعات (2007) Laurance و Andaryani et al. (2019) تاثیر تغییرات ایجاد شده بوسیله تغییر کاربری اراضی را در حوضه‌های آبریز مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج تحقیقات (Chen et al., 2009) و Gebremicael et al. (2013) نشان دادند که دو پدیده تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی می‌توانند منجر به خشکسالی‌های شدید و سیل شوند.

در مناطق خشک و نیمه خشک به علت تغییرات آب و هوایی و تغییرات شدید کاربری اراضی، مدیریت جامع منابع آب اهمیت بسزایی پیدا کرده است. باتوجه به کمبود آب در این مناطق، دسترسی آزاد به منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌تواند به سرعت منجر به افزایش برداشت از آن برای مصارف گوناگون گردد (Bucak et al., 2017). بعلاوه اینکه برداشت از

^۲ Manair

^۱ Chad

^۲ Soil and water assessment tools

تولید محصولات کشاورزی است. پوشش پلاستیکی و یا شیشه-ای گلخانه‌ها به علت جذب و انعکاس بخشی از تابش ورودی، باعث تغییر در میزان تبخیر و تعرق گیاهان کشت شده می‌گردد (Mpusia, 2006). مطالعه انجام شده توسط (2003) Fernandes et al. نشان داد که میزان تبخیر و تعرق محیط داخل گلخانه بین ۵۵ تا ۸۰ درصد از تبخیر و تعرق محیط خارج از گلخانه می‌باشد. البته با توجه به اینکه دوره کشت محصولات کشاورزی در گلخانه‌ها طولانی‌تر از تولید محصولات در محیط باز است، میزان آب مصرفی گلخانه‌ها در طول سال بیشتر از محیط باز می‌باشد.

این مطالعه میزان بازگشت‌پذیری و جبران افت تراز آب در نه آبخوان واقع در حوضه آبریز آجی‌چای را مورد بررسی قرار داده است. در گام اول مدل‌سازی هیدروژئوفیزیکی در دو بخش واسنجی و صحت‌سنجی با استفاده از اطلاعات اقلیمی، آب-سنجی، پنج کاربری اراضی در دوره شبیه‌سازی، نقشه جامع خاک منطقه، تبخیر و تعرق واقعی، راندمان کشاورزی و نقشه توپوگرافی منطقه صورت پذیرفته است. در گام دوم سناریوهای مختلف توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای با توجه به شرایط موجود توسعه گلخانه‌ها و حالت ایده آل توسعه آن‌ها تهیه و تنظیم گردیده است. گام سوم به ارزیابی و بررسی تاثیرات اجرای هر یک از سه سناریو تنظیم شده بر تغییرات تراز آب‌های زیرزمینی هر یک آبخوان‌های واقع در حوضه آبریز آجی‌چای در مدل SWAT پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز آجی‌چای با مساحت ۱۲۶۰۰ کیلومتر مربع یکی از بزرگترین زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه بشمار می‌آید. این حوضه در شمال‌غرب ایران، بین طول‌های جغرافیایی ۴۶°۴۵' تا ۴۷°۵۰' شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۷°۳۹' تا ۳۸°۲۸' شمالی واقع شده است (شکل ۱). بیشترین، کم‌ترین و متوسط ارتفاع حوضه آجی‌چای به ترتیب برابر با ۳۸۶۳، ۱۲۷۲ و ۲۵۴۵ متر از سطح دریای آزاد می‌باشد. دمای متوسط سالانه این حوضه برابر با ۱۱/۳ درجه سلسیوس و متوسط بارش سالانه برابر با ۳۲۰ میلی‌متر می‌باشد. براساس طبقه‌بندی دومارتن، حوضه آجی‌چای دارای اقلیم نیمه خشک می‌باشد.

داشته‌اند. در این تحقیق نشان داده شد که دمای منطقه دارای روند افزایش معنی‌دار بوده و رواناب خروجی زیرحوضه‌های شرقی دریاچه ارومیه دارای روند کاهشی معنی‌دار می‌باشند. همچنین نتایج حاکی از حساسیت زیاد کاهش رواناب خروجی به تغییرات کاربری اراضی می‌باشد. (Raiesi et al., 2019). تغییرات ذخیره آب در حوضه آبریز تشک-بختگان را با استفاده از مدل SWAT به ازای سه سناریوی کم آبیاری، آبیاری قطره-ای و توسعه گلخانه مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج نشان داد که در تولید گوجه‌فرنگی در گلخانه باعث افزایش چهار برابری بهره‌وری فیزیکی آب شده است. (Mahmudi et al., 2021) با استفاده از مدل SWAT و مدل‌های تغییر اقلیمی نشان دادند که در ۳۰ سال آینده حوضه سیمینه‌رود و زرینه‌رود، دما، تبخیر و تعرق روند افزایشی داشته، ولی مقدار بارش، رواناب و تغذیه آب‌های زیرزمینی روند کاهشی خواهند داشت.

یکی از روش‌های پرکاربرد برای کاهش برداشت آب از منابع آب سطحی و زیرزمینی، افزایش راندمان آبیاری با استفاده از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی می‌باشد (Kulkarni, 2011). تحقیقات (Seckler (1999)، Ahmadzadeh et al. (2016)، Perry et al. (2017) و محمدپور و همکاران (۱۳۹۹) نشان داد که افزایش راندمان آبیاری در مقیاس مزرعه باعث کاهش برداشت از منابع آب می‌شود، ولی در مقیاس حوضه‌های آبریز (به علت کاهش شدید مقدار آب برگشتی) باعث افزایش مصرف منابع آب می‌گردد. آب برگشتی باعث افزایش میزان جریان در رودخانه‌ها (Scott et al., 2014)، تغذیه آب‌های زیرزمینی (Ahmadzadeh et al., 2016) و تامین بخشی از نیاز آب‌شویی مزارع و باغات (Jägermeyr et al., 2015) می‌شود.

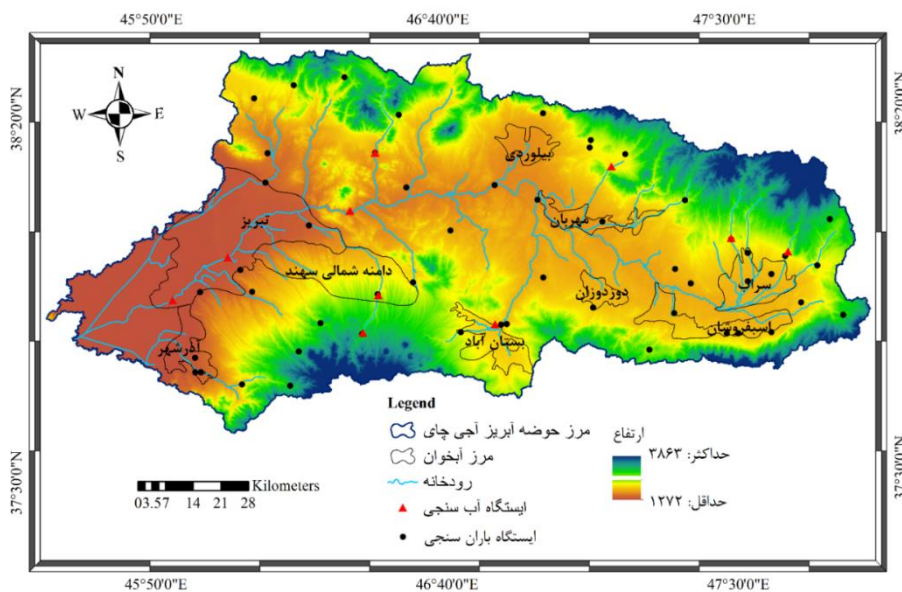
با توجه به رشد جمعیت و نیاز به محصولات کشاورزی، کمبود آب یک تهدید مهم برای تولید محصولات کشاورزی و امنیت غذایی در کشورهای درحال توسعه محسوب می‌گردد. لذا استفاده بهینه از منابع آب جهت افزایش تولید به ازای هر واحد مصرف آب، یک راهکار اساسی برای تامین نیاز غذایی انسان‌ها می‌باشد (Ruisen et al., 2009). توسعه گلخانه‌ها به علت نیاز به تولید بیشتر محصولات کشاورزی با کیفیت و تازه و همچنین تولید در همه ماه‌های سال بوده است (Andriolo, 1999). یکی از ویژگی‌های مهم گلخانه‌ها کاهش میزان مصرف آب برای

می‌یابد. محصولات کشاورزی اصلی این حوضه شامل گندم، جو، یونجه، اسپرس، ذرت، لوبیا، چغندر قند، سیب‌زمینی، پیاز، گوجه فرنگی، خیار، هویج، سیب، گلابی، گردو، انگور، زردآلو، بادام و گل محمدی می‌باشند. اطلاعات مربوط به الگوی کشت، زمان کاشت و برداشت، زمان، میزان کوددهی، عملکرد محصولات (تن بر هکتار)، تعداد، حجم و دور آبیاری هر یک از محصولات کشاورزی از وزارت جهاد کشاورزی ایران اخذ گردیده است.

داده‌های هواشناسی این مطالعه از سازمان آب و هواشناسی ایران و داده‌های مربوط به جریان رودخانه‌ها، مرز و خصوصیات آبخوان‌ها، تغییرات تراز آب در پیزومترها و مقادیر ورودی و خروجی سدها نیز از وزارت نیرو ایران دریافت شده است. در شکل ۱ موقعیت مکانی ایستگاه‌های آب‌سنجی و باران‌سنجی مورد استفاده در این مطالعه نشان داده شده است.

داده‌های مورد استفاده

دوره رشد اصلی محصولات کشاورزی در حوضه آبی‌چای غالباً از اول ماه اردیبهشت شروع و تا بیستم ماه مهر ادامه



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی، آب‌سنجی، آبخوان‌ها و رقوم ارتفاعی حوضه آبریز آبی‌چای.

در مطالعه حاضر جهت دستیابی به روند تغییرات کاربری اراضی، از ۱۰۲ تصویر از ماهواره‌های لندست ۵ و ۸ در سال-های ۱۹۸۷، ۱۹۹۲، ۱۹۹۹، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۵ استفاده گردید. با توجه به بررسی میدانی صورت گرفته از منطقه مورد مطالعه و نظام بهره‌برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی، کاربری اراضی محصولات زراعی و باغی آبی حوضه آبی‌چای به ازای چهار کلاس همگن (از لحاظ تشابه در دوره رشد و میزان مصرف آب در هکتار) و براساس نوع و میزان تغییرات شاخص NDVI^۵ در طول فصل رشد تعیین شده است. چهار کلاس کاربری اراضی کشاورزی آبی شامل گیاهان یک ساله‌ای که در پاییز و بهار کشت می‌شوند و در اوایل تابستان برداشت می-

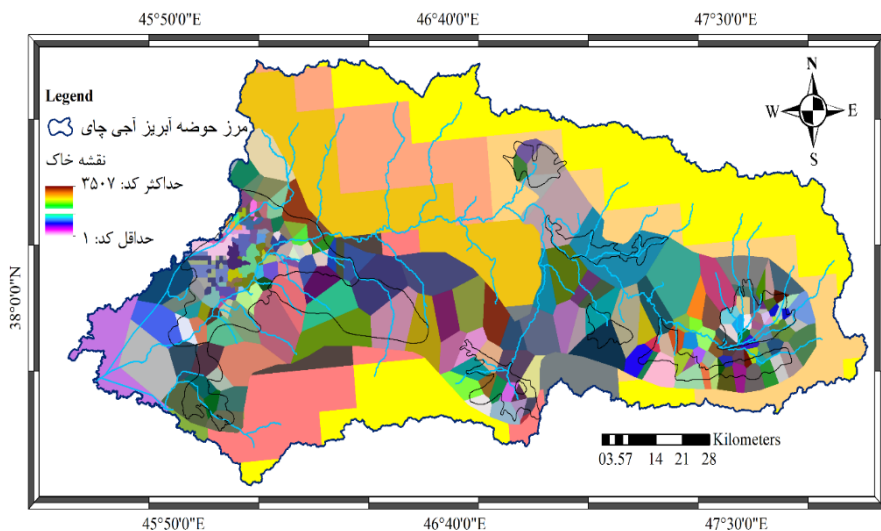
در مدل SWAT برای تعیین کلاس‌های شیب زمین مورد نیاز از لایه مدل رقوم ارتفاعی (DEM^۴) با دقت ۳۰ متری استفاده شده است. مشخصات فیزیکی و شیمیایی لایه‌های مختلف خاک در تعیین میزان رواناب، نفوذ آب به زمین، حجم سیلاب، ذخیره آبخوان‌ها، تغذیه رودخانه‌ها و رشد گیاهان بسیار موثر می‌باشد (Andaryani et al., 2019). لذا در این مطالعه با استفاده از کلیه مطالعات خاک‌شناسی صورت گرفته در حوضه آبریز آبی‌چای، لایه خاک با ۲۱۷ پهنه خاک‌شناسی بدست آمده است (شکل ۲). لازم به ذکر است که از در محدوده‌های فاقد اطلاعات خاک‌شناسی محلی از نقشه جهانی خاک سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل متحد (Anonymous, 1995) استفاده شده است.

⁵ Normalized difference vegetation index

⁴ Digital elevation model

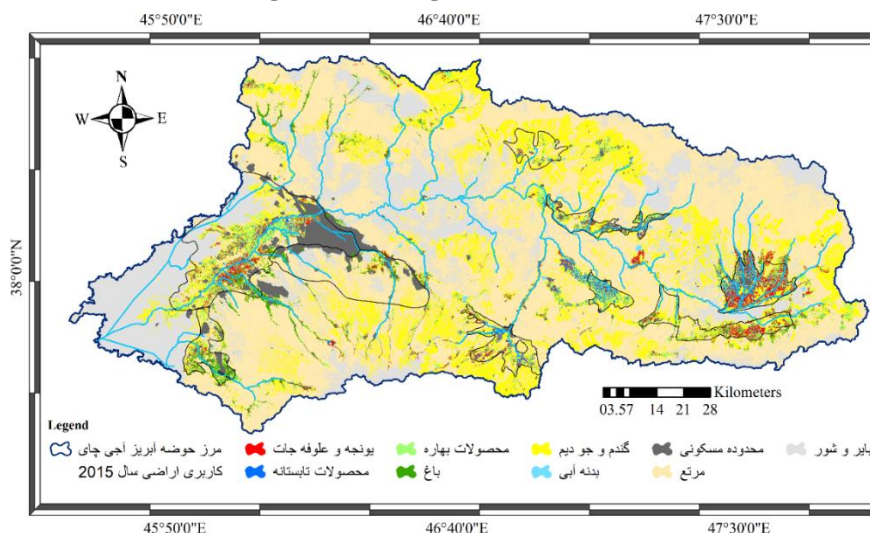
شوند (کلاس ۱)، گیاهان یکساله‌ای که در اواسط بهار کشت شده و در اواخر تابستان برداشت می‌شوند (کلاس ۲)، گیاهان چندساله علوفه‌ای که در تابستان و پاییز کشت می‌شوند (کلاس ۳) و باغ (کلاس ۴) می‌باشند. سایر کلاس‌های کاربری اراضی شامل محصولات دیم (کلاس ۵)، بدنه آبی (کلاس ۶)، محدوده مسکونی (کلاس ۷)، مرتع (کلاس ۸) و محدوده بایر و شور (کلاس ۹) می‌باشند. در شکل ۳ نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۵ نشان داده شده است. نقشه‌های کاربری اراضی نشان

دادند که بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۵ هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی کشاورزی شامل کلاس‌های ۱، ۲، ۴ و ۵ به ترتیب ۱۷۲۶۴ (۵۹ درصد)، ۳۰۷۰ (۳۳ درصد)، ۱۱۳۴۶ (۱/۶۸ درصد) و ۷۴۰۹۲ (۶۲ درصد) هکتار افزایش داشته‌اند و تنها کلاس ۳ به میزان ۳۶۵۵ (۱۴ درصد) هکتار کاهش داشته است. مطالعه Fathian et al. (2016) نیز توسعه اراضی آبی در شرق دریاچه ارومیه را نشان داده‌اند.



شکل ۲- پهنه‌های خاکشناسی حوضه آبریز آبی چای.

12



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۵ حوضه آبریز آبی چای.

گیاهان در داخل گلخانه می‌باشد. در حالت عادی دمای داخل گلخانه‌ای که سیستم گرمایشی ندارد، بیشتر از دمای محیط خارج گلخانه است و تابش کل ورودی گلخانه نسبت به محیط بیرون کمتر است (Rath, 1994).

گلخانه

ایجاد شرایط مناسب رشد گیاه، تعیین میزان آب مورد نیاز هر دوره از کشت و تعیین حجم مخزن ذخیره آب باران مستلزم دانش و اطلاعات کافی از میزان تبخیر و تعرق واقعی

می‌کند (Williams, 1995). شبیه‌سازی میزان تولید هر محصول متأثر از میزان تبخیر و تعرق واقعی روزانه (ETa^h) می‌باشد. همچنین مقادیر متغیرهای گیاهی (مانند شاخص پوشش گیاهی) که تأثیر مستقیم بر تبخیر و تعرق روزانه و تولید محصول دارند نیز با سعی و خطا بدست می‌آیند (Ahmadzadeh et al., 2016).

مقدار رواناب ابتدا برای هر HRU بدست می‌آید و سپس با استفاده از روندیابی بین زیر حوضه‌ها میزان رواناب در کل حوضه بدست می‌آید. رواناب سطحی در کلیه زیر حوضه‌ها با استفاده از روش شماره منحنی (CN^h) و شرایط رطوبتی مختلف بدست می‌آید. شرایط رطوبتی خاک تابعی از قابلیت نگهداری آب در خاک، نفوذپذیری خاک، رطوبت اولیه خاک، روش تعیین تبخیر و تعرق و کاربری اراضی می‌باشد (Neitsch et al., 2011). بیلان آب در هر بخش از زیر حوضه‌ها با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید (Arnold et Neitsch et al., 2011; al., 1998).

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

در این رابطه مقدار آب خاک در زمان t (mm) است، SW₀ مقدار آب اولیه موجود در خاک (mm) است، R_{day} میزان بارش روزانه در روز i است (mm)، Q_{surf} مقدار رواناب سطحی در روز i است (mm)، E_a میزان تبخیر و تعرق واقعی از خاک و گیاه در روز i است (mm)، W_{seep} میزان نفوذ آب به داخل خاک در روز i است (mm) و Q_{gw} میزان آب رسیده به آب زیرزمینی در روز i است (mm).

سناریوها

طی پنج دهه گذشته به علت رواج استفاده از ابزارهای برداشت از آب‌های سطحی و زیرزمینی، سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در حوضه آبریز آجی‌چای دارای افزایش تقریباً ۳۰ درصدی بوده است. با توجه به شرایط کشت در محیط بسته، در گلخانه‌ها می‌توان به ازای مصرف آب کمتر میزان تولید بیشتری را بدست آورد. لذا برنامه توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای می‌تواند براساس سه سناریو اصلی انجام شود که در این مطالعه به بررسی جوانب هیدروژئولوژیکی آن پرداخته

گلخانه‌های حوضه آبریز آجی‌چای از سیستم هیدروپونیک و آبیاری قطره‌ای در کشت روی خاک گوجه‌فرنگی و خیار استفاده می‌کنند. با توجه به نوسانات دمایی حوضه آبریز آجی-چای، در گلخانه‌های این منطقه از سیستم پد و فن برای سرمایش و از سیستم گرمایشی هیتر با سیستم توزیع لوله‌های پلاستیکی استفاده شده است.

یکی از عوامل مؤثر بر میزان آب مصرفی و تولید محصولات کشاورزی، مدیریت عوامل مختلفی همچون سیستم گرمایش، سیستم سرمایش، تهویه، آبیاری، تراکم کشت، پوشش‌های کاهش دهنده تابش ورودی، تنظیم رطوبت و میزان CO₂ در داخل گلخانه‌ها می‌باشد. بنابر بررسی‌های انجام شده در گلخانه‌های محدوده مورد مطالعه میزان آب مصرفی گوجه-فرنگی و خیار در منطقه مورد مطالعه به ترتیب برابر با ۱۵۰۰۰ و ۱۷۰۰۰ مترمکعب در سال و میزان متوسط تولید آن‌ها نیز به ترتیب برابر با ۳۰۰ و ۲۶۰ تن در هکتار می‌باشند.

مدل SWAT

مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT) یک مدل هیدرولوژیکی نیمه توزیعی و فیزیکی است که بوسیله Arnold et al. (1998) ایجاد شده است. این مدل برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، مدیریت کشاورزی، سازه‌های آبی، تغییر کاربری اراضی و انتقال بین حوضه‌ای بر تغییرات منابع آب سطحی و زیرزمینی، تولیدات کشاورزی و رسوب مورد استفاده قرار گرفته است (Bucak et al., Ahmadzadeh et al., 2016; Andaryani et al., 2019; 2017). در این مطالعه حوضه آجی‌چای به ۱۴۰ زیرحوضه تقسیم شده است. سپس در هر زیر حوضه، HRUs^۶ براساس نقشه کاربری اراضی، نقشه خاک و نقشه شیب تعیین شده‌اند. بنابراین در کل حوضه تعداد ۷۱۰۳ HRU شناخته شد که در بین آن‌ها تعداد ۴۳۳۸ HRU مربوط به کشاورزی آبی می‌باشند. در مدل SWAT برای تعیین میانگین بارش و دما در هر زیر حوضه، ده باند ارتفاعی تعریف گردید. مدل SWAT برای شبیه‌سازی فرآیند رشد گیاهان و میزان تولید هر محصول به‌ازای شرایط محیطی و تغذیه‌ای مختلف، از نسخه ساده شده مدل EPIC^۷ استفاده

^۹ Curve number

^۶ Hydrologic response units

^۷ Erosion productivity impact calculator

^۸ Actual evapotranspiration

آب در ایستگاه‌های آب‌سنجی با استفاده از ضریب همبستگی (CC)، ضریب نش-ساتکلیف (NSE) و ضریب مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) ارزیابی شده است (Moriasi et al., 2007).

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2} \quad (4)$$

نتایج و بحث

مدل هیدروژئولوژیکی SWAT

با توجه به تغییرات مکانی بافت خاک، کاربری اراضی و تقسیم‌بندی توپوگرافی منطقه، حوضه آبریز آبی چای به ۱۴۰ زیر حوضه و ۷۱۰۳ واحد پاسخ هیدروژئولوژیکی تقسیم گردید. با توجه به تنظیمات صورت گرفته در مدل، شبیه‌سازی رواناب حوضه در مقیاس ماهانه انجام شد. مدل اولیه توانست الگوی تغییرات ماهانه رواناب در طول دوره آماری مشاهداتی در ایستگاه‌های آب‌سنجی و تراز آب زیرزمینی آبخوان‌ها را با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی کند.

شبیه‌سازی جریان سطحی

در این مدل جهت واسنجی و صحت‌سنجی جریان سطحی به ازای ده ایستگاه آب‌سنجی صورت پذیرفته است. شاخص‌های آماری به‌ازای دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی برای کلیه ایستگاه‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

شده است. سناریو اول توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای با استفاده منابع آب جدید به دلیل افزایش میزان تولید محصولات کشاورزی منطقه می‌باشد. در این سناریو سطح زیر کشت و برداشت آب از آبخوان‌ها افزایش می‌یابد. سناریو دوم حذف بخشی از کشت در محیط باز و توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای با استفاده از آب برداشتی در کشت محیط باز حذف شده می‌باشد. در این سناریو برداشت آب از آبخوان ثابت مانده و سطح زیر کشت منطقه کاهش می‌یابد. سناریو سوم حذف بخشی از کشت در محیط باز و توسعه گلخانه‌ها به منظور عدم تغییر در میزان تولید محصولات کشاورزی مورد نظر به ازای هر هکتار می‌باشد. در این سناریو با توجه به بالا بودن مقدار بهره‌وری فیزیکی آب در تولیدات گلخانه‌ای نسبت به تولید در محیط باز، سطح زیر کشت منطقه و برداشت آب از آبخوان‌ها کاهش می‌یابد.

واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAT

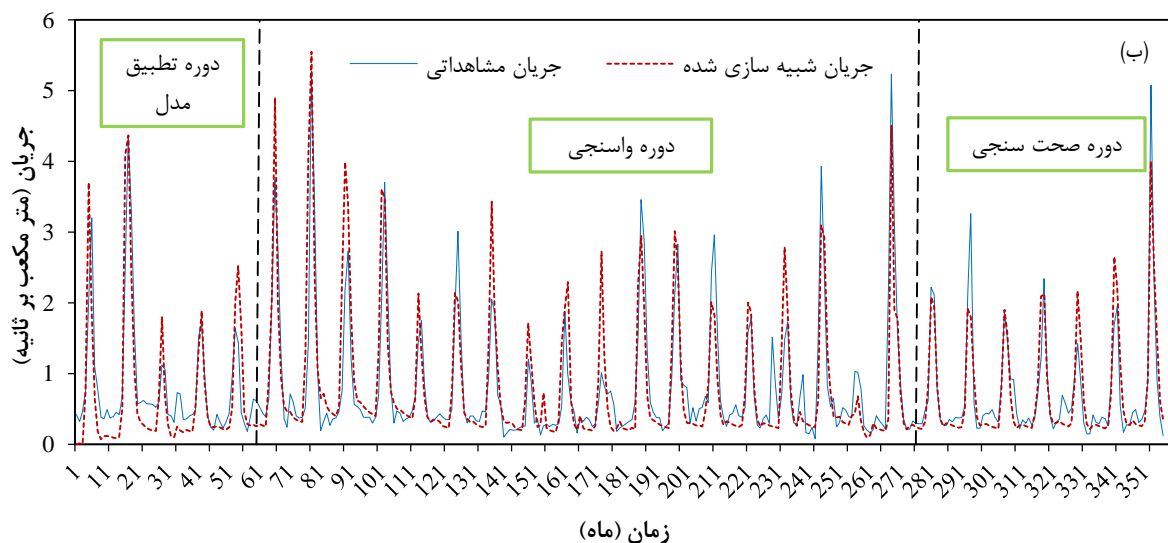
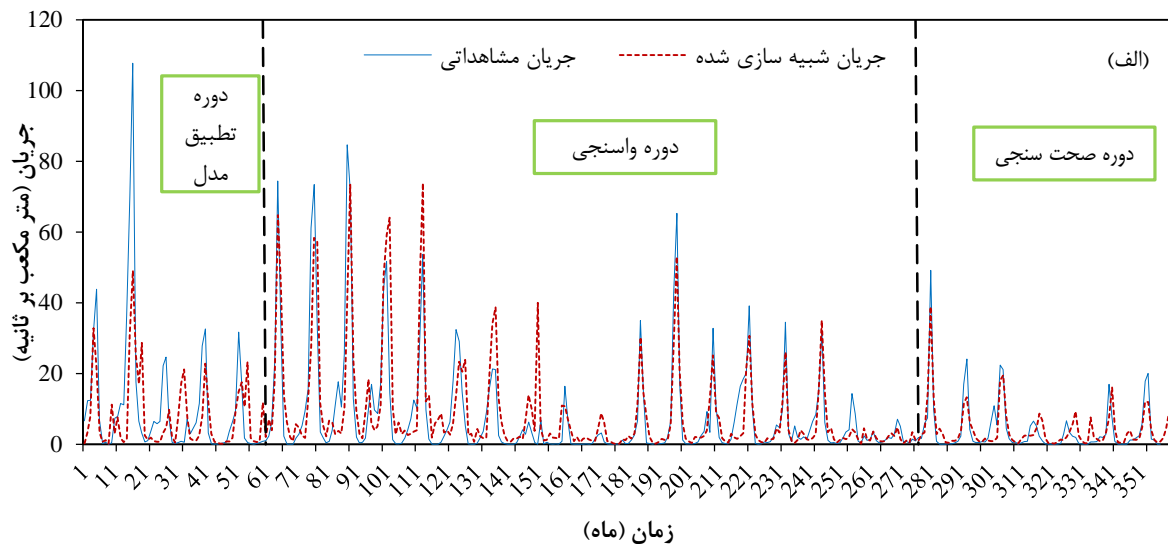
پارامترهای موثر در شبیه‌سازی با استفاده از آنالیز حساسیت بدست آمده است (Ahmadzadeh et al., 2016). در این مطالعه آنالیز حساسیت و واسنجی پارامترهای موثر در فرآیند بخش‌های مختلف شبیه‌سازی با استفاده از روش SUFI-2 و پکیج نرم افزار SWAT-CUP انجام شده است- (Abbaspour, 2008). با توجه به اطلاعات بدست آمده، مدل SWAT حوضه آبریز آبی چای برای بازه زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۶ تنظیم گردید. بنابراین، بازه زمانی ۱۹۸۷-۱۹۹۱ به عنوان تطبیق مدل با شرایط حوضه، دوره زمانی ۲۰۰۹-۱۹۹۲ جهت واسنجی و دوره زمانی ۲۰۱۰-۲۰۱۶ به عنوان صحت‌سنجی در نظر گرفته شده است. عملکرد مدل در شبیه‌سازی جریان

جدول ۱- شاخص‌های آماری شبیه‌سازی جریان ایستگاه‌های آب‌سنجی حوضه آبریز آبی چای.

دوره صحت‌سنجی			دوره واسنجی			ایستگاه آب‌سنجی
RMSE (m ³ s ⁻¹)	NS	R	RMSE (m ³ s ⁻¹)	NS	R	
۰/۸۴	۰/۶۵	۰/۸۵	۱/۱۶	۰/۵۷	۰/۸۲	سد نهند
۰/۴۳	۰/۵۰	۰/۸۵	۰/۸۱	۰/۴۱	۰/۷۵	هرزه ورز
۱/۲۷	۰/۲۲	۰/۷۲	۱/۵۶	۰/۵۷	۰/۷۷	میرکوه حاجی
۰/۳۶	۰/۳۲	۰/۶۰	۰/۷۶	۰/۲۶	۰/۵۷	سهبزاب
۰/۳۸	۰/۷۶	۰/۸۸	۰/۴۸	۰/۷۱	۰/۸۶	لیقوان
۰/۳۰	۰/۶۵	۰/۸۹	۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۸۷	هروی
۰/۴۲	۰/۵۴	۰/۸۴	۱/۲۵	۰/۵۹	۰/۸۰	بستان‌آباد
۳/۵۸	۰/۷۸	۰/۸۹	۵/۶۵	۰/۸۵	۰/۹۳	ونیار
۳/۲۳	۰/۷۳	۰/۸۶	۶/۴۸	۰/۸۳	۰/۹۲	آخولا

ترتیب بیشتر از ۰/۸۶ و ۰/۵۵ می‌باشد. همچنین مقدار میانگین مربعات خطا نیز دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی در این سه ایستگاه آب‌سنجی به ترتیب کمتر از ۸/۷۷ و ۳/۸۳ می‌باشد که حاکی از دقت بالای شبیه‌سازی جریانات سطحی می‌باشد. جریان شبیه‌سازی شده و جریان مشاهداتی در ایستگاه‌های آب‌سنجی لیقوان و ونیار به‌زای دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی در شکل ۴ نشان داده شده است. مقایسه مقادیر جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دو ایستگاه لیقوان و ونیار در زمان‌های حداکثر جریان و جریان پایه حاکی از دقت بالای مدل‌سازی در تعیین میزان آب سطحی می‌باشد.

شاخص‌های آماری حاکی از دقت بسیار بالای شبیه‌سازی در ایستگاه آب‌سنجی لیقوان می‌باشد، بطوریکه آماره‌های همبستگی، نش-ساتکلیف و میانگین مربعات خطا در دوره واسنجی به ترتیب با ۰/۸۶، ۰/۷۱ و ۰/۴۸ مترمکعب بر ثانیه و در دوره صحت‌سنجی به ترتیب برابر با ۰/۸۸، ۰/۷۶ و ۰/۳۸ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. نتایج نشان داد که شبیه‌سازی جریان در ایستگاه‌های آخولا، سرین دیزج و ونیار که جریان متوسط ماهانه آن‌ها تقریباً بیشتر از هفت متر مکعب بر ثانیه است، آماره‌های همبستگی و نش-ساتکلیف در دوره واسنجی به ترتیب بیشتر از ۰/۸۳، ۰/۶۴ و در دوره صحت‌سنجی نیز به



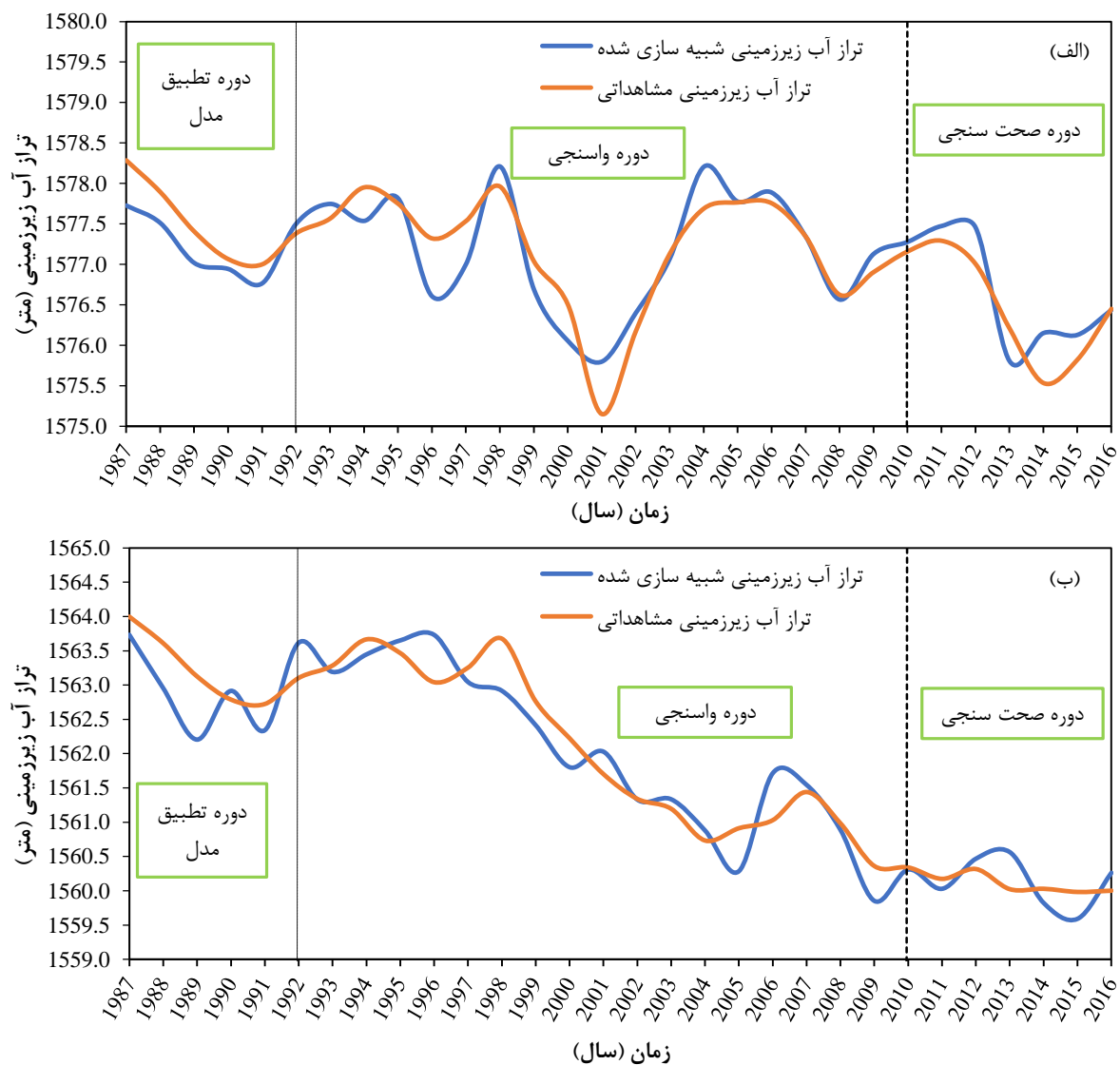
شکل ۴- جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه‌های آب‌سنجی (الف) ونیار و (ب) لیقوان در دوره‌های تطبیق مدل با شرایط حوضه، واسنجی و صحت‌سنجی.

بدست آمده است. بنابراین ابتدا تطویل و ترمیم آمار پیزومترها صورت گرفته و سپس تراز سالانه مشاهداتی آبخوانها براساس مساحت موثر پیزومترهای موجود بدست آمده و تغییرات آن با تغییرات بیلان آب زیرزمینی زیرحوضه‌های منطبق با مرز آبخوانها در مدل SWAT مقایسه گردید. در شکل ۵ تغییرات سالانه تراز آب زیرزمینی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده آبخوان-های مهربان و بیلوردی به ازای سه دوره تطبیق مدل با شرایط حوضه، واسنجی و صحت‌سنجی نشان داده شده است. همانطور که در شکل نشان داده شده است، مدل در شبیه‌سازی بیلان آب زیرزمینی عملکرد خوبی داشته است. لذا می‌توان با اطمینان زیادی سناریوهای توسعه گلخانه‌ای را در این مدل ارزیابی کرد.

نتایج جدول ۱ و شکل ۴ نشان می‌دهند که مدل‌سازی صورت گرفته از دقت بالایی در شبیه‌سازی جریان سطحی در محل ایستگاه‌های آب‌سنجی برخوردار می‌باشد. البته دقت در ایستگاه‌هایی همچون میرکوه حاجی، هرزه‌ورز، سهزاب و بستان‌آباد از سایر ایستگاه‌ها کمتر می‌باشد که علت آن بیشتر مربوط به کمبود اطلاعات پایه همچون بارش و دما و همچنین پروژه‌های انتقال آب در بالادست آن‌ها، بدون اندازه‌گیری دقیق مقدار جریان انتقال یافته، می‌باشد.

شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی

در این تحقیق بیلان آب زیرزمینی براساس تغییرات سالانه تراز آب زیرزمینی در هر یک نه آبخوان حوضه آبریز آجی‌چای



شکل ۵- تراز آب زیرزمینی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در آبخوان‌های (الف) مهربان و (ب) بیلوردی.

ارزیابی سناریوهای سه‌گانه توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای

در بخش معرفی سناریوها، سه سناریو برای ارزیابی واکنش آبخوان‌های حوضه آبریز آجی‌چای به سیاست‌های تئوری و میدانی توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای لحاظ گردید. با توجه ارزیابی‌های صورت گرفته توسط وزارت جهاد کشاورزی، برنامه ششم توسعه و بررسی‌های میدانی صورت گرفته، حداکثر میزان توسعه گلخانه‌ها در حوضه آبریز آجی‌چای در حدود ۱۸۷۵ هکتار در کلیه سناریوها در نظر گرفته شده است. در سناریو اول (شرایط توسعه کنونی) که غالباً شهرک‌های گلخانه‌ای ایجاد شده توسط وزارت جهاد کشاورزی بر این اساس است، توسعه گلخانه‌ها به منظور افزایش تولید استان و همچنین افزایش بهره‌وری از آب مدنظر می‌باشد. در این سناریو توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای با استفاده از منابع آب زیرزمینی جدید انجام پذیرفته است. در شکل ۶ تغییرات تراز آب زیرزمینی آبخوان‌های تبریز، آذرشهر، دامنه شمالی سهند، بستان آباد، دوزدوزان، مهربان، بیلوردی، اسب فروشان و سراب به‌ازای اجرای سناریوی اول نشان داده شده است. همانطور که در شکل نشان داده شده است، در صورت ادامه دادن توسعه گلخانه‌ها با منابع آب جدید، شرایط آبخوان‌ها بحرانی‌تر شده و ذخایر آن‌ها کاهش می‌یابد. این شرایط می‌تواند کاهش جریانات سطحی، افزایش فرورنشست، افزایش کف شکنی چاه‌های مجاز، بحران‌های اجتماعی ناشی از کمبود آب را به‌همراه داشته باشد. با توجه به شکل ۶، تراز آب زیرزمینی آبخوان‌های تبریز، آذرشهر، دامنه شمالی سهند، بستان آباد، دوزدوزان، مهربان، بیلوردی، اسب فروشان و سراب طی ۳۰ سال اجرای سناریوی اول، به ترتیب با افت تراز ۹/۱۱، ۸/۸۱، ۸/۷۸، ۳۳/۳۴، ۱۷/۲۹، ۵/۹۳، ۲۵/۶۷ و ۲۹/۰۱ متری مواجه شده است. نتایج شبیه‌سازی سناریوی اول در انتهای دوره، حاکی از افت متوسط ۱۱/۶۸ متری تراز آب زیرزمینی آبخوان‌های حوضه آجی‌چای نسبت به شرایط فعلی می‌باشد.

سناریو دوم براساس حذف بخشی از زمین‌های زراعی هر آبخوان و استفاده از آب برداشتی زمین‌های حذف شده در توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای می‌باشد. در این سناریو توسعه گلخانه‌ها با آب ۳۹۸۳ هکتار زراعت مرسوم هر محدوده، که

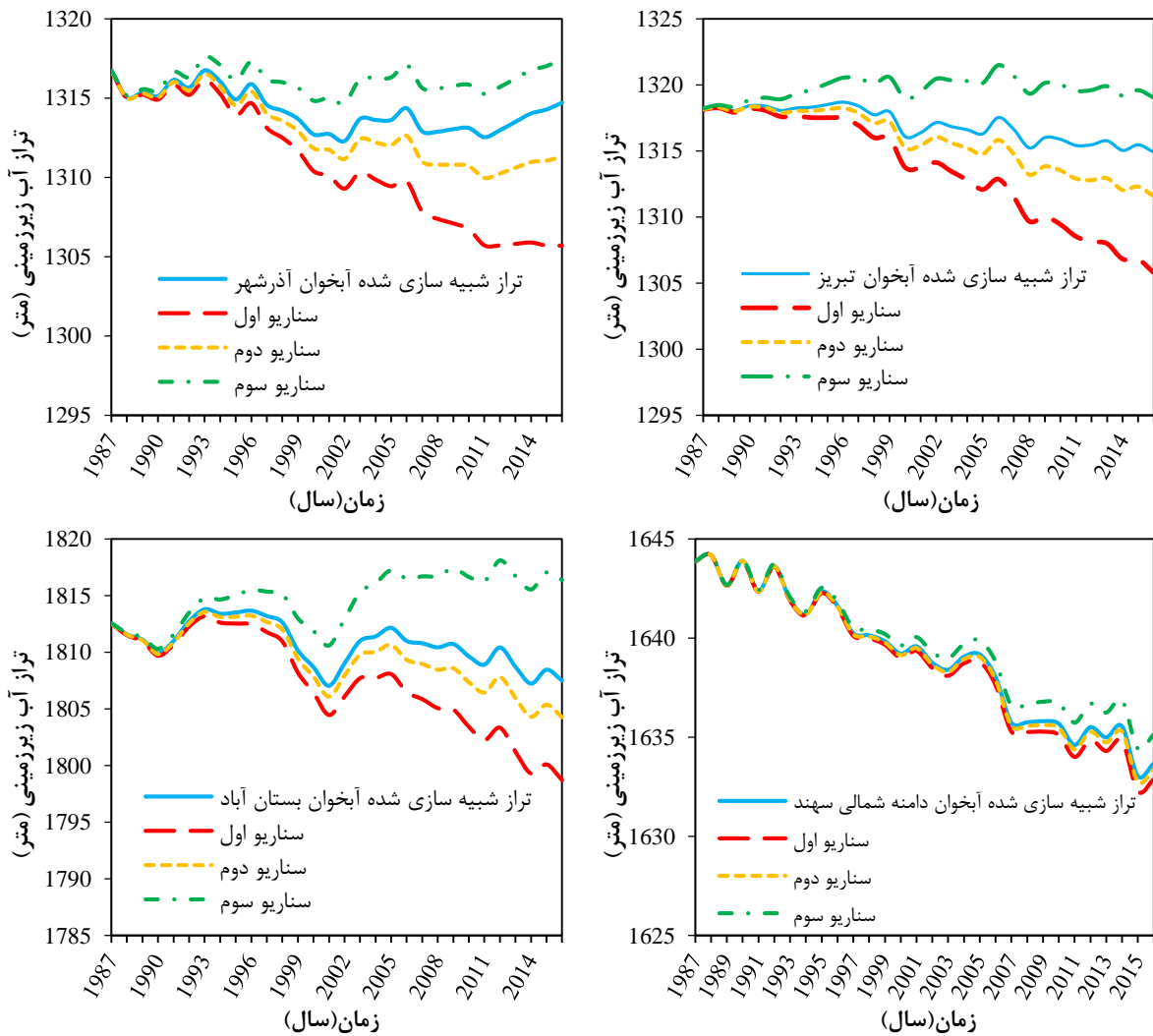
در این سناریو کنار گذاشته شده‌اند، صورت پذیرفته است. این سناریو نیز معمولاً توسط افرادی که دارای زمین و حق آبه قانونی از چاه‌ها هستند، صورت می‌پذیرد. تاثیر اجرای این سناریو بر منابع آب زیرزمینی آبخوان‌های حوضه آبریز آجی-چای در شکل ۶ نشان داده شده است. همانطور که در شکل نشان داده شده است، اجرای این سناریو باعث کاهش تراز آب زیرزمینی در کلیه آبخوان‌ها شده است. با توجه به شکل ۶، تراز آب زیرزمینی آبخوان‌های تبریز، آذرشهر، دامنه شمالی سهند، بستان آباد، دوزدوزان، مهربان، بیلوردی، اسب فروشان و سراب طی ۳۰ سال اجرای سناریوی دوم، به ترتیب با افت تراز ۳/۳۴، ۳/۳۹، ۰/۲۹، ۳/۲۴، ۱۲/۶۱، ۶/۵۸، ۲/۲۷، ۹/۹۴ و ۱۱/۲۶ متری مواجه شده است. نتایج شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی به‌ازای سناریوهای یک و دو نشان داد که با اجرای سناریو دو، کاهش تراز آب‌های زیرزمینی با شدت کمتری صورت می‌پذیرد. نتایج شبیه‌سازی سناریوی دوم در انتهای دوره، حاکی از افت متوسط ۴/۴۱ متری تراز آب زیرزمینی آبخوان‌های حوضه آجی‌چای نسبت به شرایط فعلی می‌باشد. مشکلاتی که این سناریو برای منابع آب زیرزمینی ایجاد می‌کند، بیشتر به علت کاهش آب برگشتی آبیاری است. بیش از ۸۰ درصد زمین‌های کشاورزی در حوضه آجی‌چای با روش‌های آبیاری سنتی و راندمان کمتر از ۶۵ درصد اداره می‌شوند. لذا با ثابت نگه داشتن برداشت از آب زیرزمینی برای کشت به روش آبیاری سنتی و مدرن (در گلخانه‌ها)، به علت افزایش راندمان آبیاری در گلخانه‌ها، میزان آب برگشتی به آبخوان‌ها کاهش می‌یابد که خود باعث کاهش تراز آب زیرزمینی آبخوان‌ها می‌گردد. لذا بایستی سیاست‌هایی جهت حفظ ثبات بیلان آب زیرزمینی فعلی به‌ازای توسعه گلخانه‌ها با این روش تدوین و اجرا گردند.

سناریو سوم براساس آمار متوسط تولید در محیط باز و بسته در حوضه آبریز آجی‌چای و در جهت حفظ میزان تولید کنونی به‌ازای هر هکتار صورت پذیرفته است. لذا در این سناریو با توجه به عملکرد ده برابری گلخانه‌ها نسبت به فضای باز، مساحتی در حدود ۱۹۲۱۸ هکتار از زراعت مرسوم منطقه حذف گردیده است. تغییرات تراز آب زیرزمینی آبخوان‌های

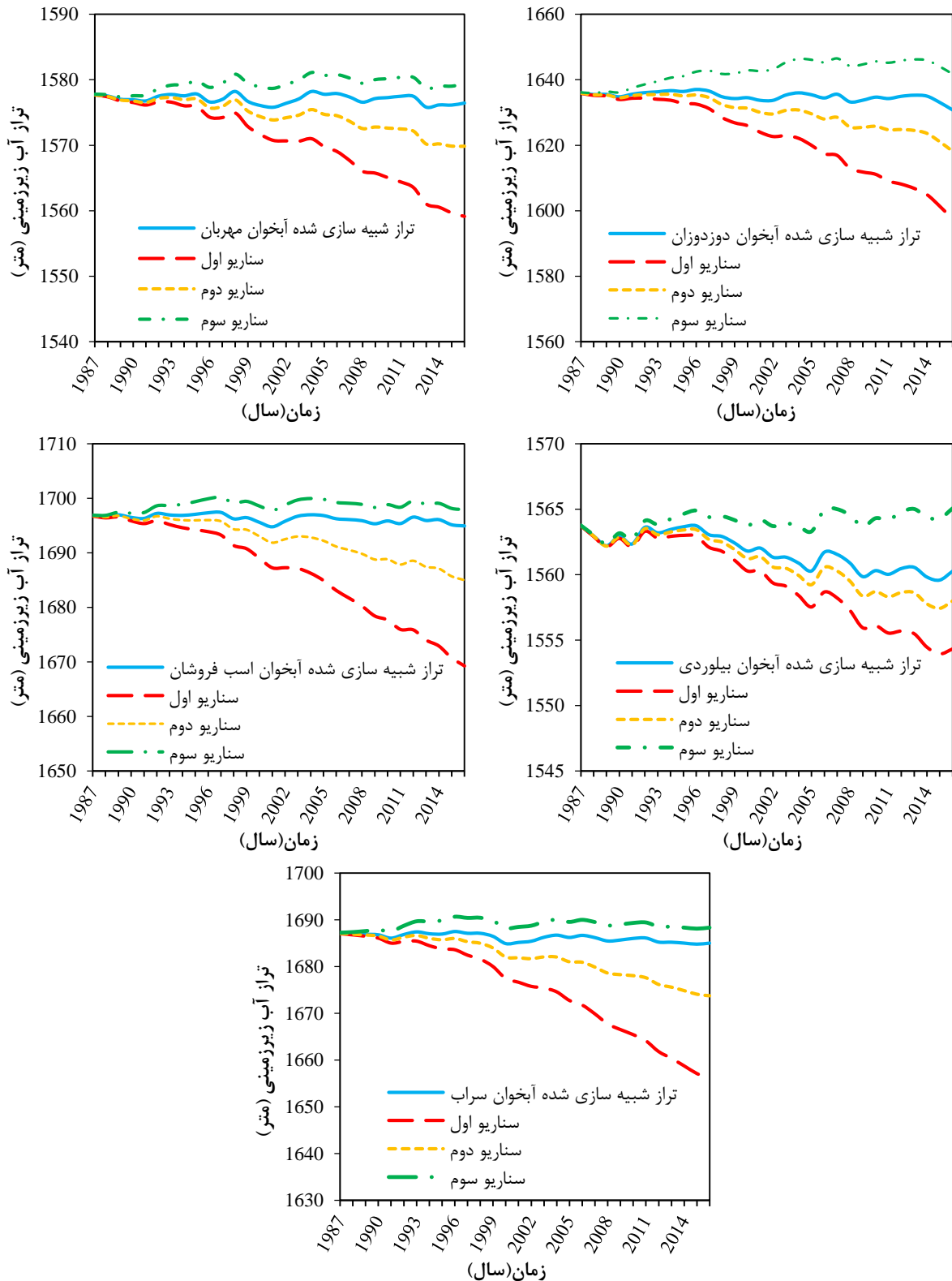
افزایش متوسط ۳/۸۶ متری تراز آب زیرزمینی آبخوان‌های حوضه آجی‌چای نسبت به شرایط فعلی می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی به‌ازای سناریوهای اول، دوم و سوم نشان داد که سیاست‌های کلی و روند اجرای توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای می‌تواند منابع آب زیرزمینی را تحت تاثیرات مثبت و منفی شدیدی قرار دهد. لذا درصورتیکه توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای با استفاده از منابع آبی جدید (سناریو یک) و یا منابع آبی فعلی (بدون لحاظ کردن تفاوت راندمان آبیاری در گلخانه‌ها و روش‌های سنتی) صورت پذیرد (سناریو دوم) می‌تواند باعث افزایش تولید محصولات کشاورزی و همچنین افزایش روند کاهش حجم منابع آب زیرزمینی گردد.

حوضه آبریز آجی‌چای به‌ازای اجرای سناریو سوم در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۶، نتایج اجرای سناریو سوم منجر به افزایش تراز آب زیرزمینی در آبخوان‌های حوضه آجی‌چای گردیده است. البته مصرف آب بیش‌تر در هر هکتار برای شهرک‌های گلخانه‌ای، باعث تعدیل روند افزایشی تراز آب زیرزمینی شده است.

با توجه به شکل ۶ تراز آب زیرزمینی آبخوان‌های تبریز، آذرشهر، دامنه شمالی سهند، بستان آباد، دوزدوزان، مهربان، بیلوردی، اسب فروشان و سراب طی ۳۰ سال اجرای سناریوی سوم، به‌ترتیب با افزایش تراز ۴/۱۲، ۲/۷۳، ۱/۴۵، ۸/۸۸، ۱۰/۹۳، ۲/۹۰، ۴/۷۹ و ۲/۹۹ متری مواجه شده است. نتایج شبیه‌سازی سناریوی سوم در انتهای دوره، حاکی از



شکل ۶- تراز شبیه‌سازی شده آبخوان‌های حوضه آبریز آجی‌چای با استفاده از مدل SWAT و تغییرات تراز آب به‌ازای سه سناریو توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای.



ادامه شکل ۶- تراز شبیه سازی شده آبخوان های حوضه آبریز آجی چای با استفاده از مدل SWAT و تغییرات تراز آب به ازای سه سناریو توسعه شهرک های گلخانه ای.

مدل ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT) استفاده گردیده است. این مدل با استفاده از داده‌های اقلیمی، آب‌سنجی، خاک-شناسی، توپوگرافی، پنج کاربری اراضی در دوره شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌های میدانی، واسنجی و صحت‌سنجی شده است. نتایج اجرای سناریوهای توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای نشان دادند که نوع سیاست‌ها و نحوه‌ی اجرای توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای می‌تواند باعث افزایش تولید محصولات کشاورزی و همچنین کاهش و یا افزایش تراز آب زیرزمینی در آبخوان‌های حوضه آبریز آجی‌چای گردد. تاثیر منفی بر منابع آب زیرزمینی زمانی ایجاد می‌گردد که رویکرد دستگاه‌های اجرایی تنها بر افزایش تولید متمرکز گردد. همچنین زمانیکه نسبت جایگزینی اراضی کشاورزی سنتی با شهرک‌های گلخانه‌ای، متناسب با راندمان آبیاری هر یک از آن‌ها نباشد، باعث فشار بیشتر بر منابع آب زیرزمینی جهت تامین نیاز تبخیر و تعرق گیاهان کشت شده در محیط گلخانه‌ها می‌گردد. تاثیر مثبت بر آبخوان‌ها و افزایش تراز آب زیرزمینی زمانی ایجاد می‌گردد که تبخیر و تعرق واقعی گیاهان کشت شده در شهرک‌های گلخانه‌ای نسبت اراضی سنتی حذف شده کمتر باشد. نتایج مدل به ازای اجرای سناریو سوم نشان داد که حالت‌های زیادی برای افزایش همزمان تولید محصولات کشاورزی و افزایش تراز آب زیرزمینی وجود دارد که رسیدن به این نتایج مستلزم تدوین و اجرای صحیح سیاست‌های توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای می‌باشد.

سپاسگزاری

با توجه به پیچیده بودن فرآیند مدل‌سازی و تدوین و اجرای سناریوهای توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای، از دکتر ابوالفضل مجنونی هریس، دکتر اصغر اصغری مقدم، مهندس حجت احمدزاده و مهندس میرمحسن موسوی که بنده را در انجام این تحقیق یاری کردند، کمال قدردانی و تشکر را دارم.

منابع

حیدرزاده، م.، سالاری، ا.، ۱۴۰۰. ارزیابی تأثیر خشکسالی‌های اخیر بر تغییرات سطح منابع آبهای زیرزمینی (مطالعه موردی: دشتهای شهرستان بندرعباس). هیدروژئولوژی، ۱۴۰۶(۱): ۱۵۲-۱۴۰.

تنها راهکار حفظ و بهبود منابع آب زیرزمینی و حفظ و افزایش تولید محصولات کشاورزی، متناسب سازی حذف کشت در محیط باز و جایگزینی آن‌ها با گلخانه‌ها می‌باشد. لازم به ذکر است تنظیم نسبت توسعه گلخانه‌ها با حذف کشت در محیط باز در هر منطقه متفاوت بوده و متاثر از عواملی همچون راندمان متوسط آبیاری منطقه، تکنولوژی تولید و مصرف آب بکار رفته در گلخانه‌ها و متوسط آب برداشتی برای هر هکتار کشت در محیط باز می‌باشد. افزایش راندمان آبیاری در مطالعات (Rezaei Zaman et al., Ahmadzadeh et al. 2016) تحت سناریوهای مختلف مدیریت آبیاری در دو زیر حوضه اصلی دریاچه ارومیه مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج این تحقیقات همچون نتایج تحقیق حاضر نشان دادند کاهش برداشت از منابع آب با استفاده از روش‌های افزایش بهره‌وری آبیاری (سیستم‌های آبیاری تحت فشار)، باعث رسیدن کامل آب صرفه‌جویی شده به آبخوان و رودخانه‌های دریاچه ارومیه نمی‌گردد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که جهت حفظ روند کنونی تراز آب زیرزمینی بایستی نسبت توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای به حذف اراضی کشاورزی (با نسبت کشت کنونی منطقه) را یک به سه و نیم در نظر گرفت. درحالت کلی می‌توان سیاست توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای را به نفع منافع ملی در مباحث افزایش امنیت غذایی و آبی دانست. البته توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای در صورت عدم اجرای صحیح و علمی می‌تواند منابع آبی را با چالشی جدی و غیرقابل جبران مواجه کند.

نتیجه‌گیری

کشت در محیط‌های بسته به علت کاهش میزان تبخیر و تعرق گیاه، عدم تاثیر از شرایط اقلیمی منطقه، قابلیت کشت در کل سال، کاهش مصرف آب، تغذیه مناسب، قابل کنترل و منظم و تولید چندین برابری نسبت به کشت در محیط‌های باز می‌تواند منجر به تحویلی جدی در تولید محصولات کشاورزی و بهبود وضعیت منابع آب زیرزمینی گردد. لذا در این تحقیق دو سناریو با توجه به شرایط فعلی توسعه گلخانه‌ها در کشور ایران و یک سناریو ایده آل (سناریو سوم) جهت توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای تنظیم گردیده است. جهت ارزیابی اثرات اجرای سناریوهای توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای،

- Beklioglu, M., 2017. Future water availability in the largest freshwater Mediterranean lake is at great risk as evidenced from simulations with the SWAT model. *Science of the Total Environment*, 581: 413-425.
- Chen, Y., Xu, Y., Yin, Y., 2009. Impacts of land use change scenarios on storm-runoff generation in Xitiaoqi basin, China. *Quaternary International*, 208(1-2): 121-128.
- Dehghanipour, A.H., Schoups, G., Zahabiyoun, B., Babazadeh, H., 2020. Meeting agricultural and environmental water demand in endorheic irrigated river basins: A simulation-optimization approach applied to the Urmia Lake basin in Iran. *Agricultural Water Management*, 241: 106353.
- Farrokhzadeh, S., Hashemi Monfared, S.A., Azizyan, G., Sardar Shahraki, A., Ertsen, M.W., Abraham, E., 2020. Sustainable water resources management in an arid area using a coupled optimization-simulation modeling, *Water*, 12(3): 885.
- Fathian, F., Dehghan, Z., Eslamian, S., 2016. Evaluating the impact of changes in land cover and climate variability on streamflow trends (case study: eastern subbasins of Lake Urmia, Iran). *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 6(1): 1-26.
- Fernandes, C., Corá, J.E., Araújo, J.A., 2003. Reference evapotranspiration estimation inside greenhouses. *Scientia Agricola*, 60: 591-594.
- Gebremicael, T.G., Mohamed, Y.A., Betrie, G.D., Van Der Zaag, P., Teferi, E., 2013. Trend analysis of runoff and sediment fluxes in the Upper Blue Nile basin: A combined analysis of statistical tests, physically-based models and landuse maps. *Journal of Hydrology*, 482: 57-68.
- Hari Krishna, B., Mani, A., Uma Devi, M., Ramulu, V., 2014. Simulation of impact of change in landuse on water yield of upper Manair catchment. *International Journal of Innovative Research and Development*, 3(1): 592-600.
- Hassanzadeh, E., Zarghami, M., Hassanzadeh, Y., 2012. Determining the main factors in declining the Urmia Lake level by using system dynamics modeling. *Water Resources Management*, 26(1): 129-145.
- Jägermeyr, J., Gerten, D., Heinke, J., Schaphoff, S., Kummu, M., Lucht, W., 2015. Water savings potentials of irrigation systems: global simulation of processes and linkages. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(7): 3073-3091.
- Kulkarni, S., 2011. Innovative technologies for water saving in irrigated agriculture. *International Journal of Water Resources and Arid Environments*, 1(3): 226-231.
- شمشکی، ا.، کرمی، غ.ج.، ۱۳۹۸. تغییرات زمانی و مکانی جریان آب زیرزمینی در ساحل جنوب شرقی دریاچه ارومیه. *هیدروژئولوژی*، ۴(۱): ۲۶-۴۱.
- محمدپور، م.، زینالزاده، ک.، رضوردی نژاد، و.، حصاری، ب.، ۱۳۹۹. بررسی نوسانات آب زیرزمینی تحت تاثیر تغییر اقلیم و بهبود روش آبیاری (مطالعه موردی: دشت اهر). *هیدروژئولوژی*، ۵(۲): ۹۹-۱۱۲.
- Abbaspour, K.C., 2008. SWAT Calibration and Uncertainty Programs. Department of Systems Analysis, Integrated Assessment and Modeling (SIAM). Eawag, SwissFederal Institute of Aquatic Science and Technology, Duebendorf, Switzerland.
- Ahmadzadeh, H., Morid, S., Delavar, M., Srinivasan, R., 2016. Using the SWAT model to assess the impacts of changing irrigation from surface to pressurized systems on water productivity and water saving in the Zarrineh Rud catchment. *Agricultural Water Management*, 175: 15-28.
- Andaryani, S., Trolle, D., Nikjoo, M.R., Moghadam, M.R., Mokhtari, D., 2019. Forecasting near-future impacts of land use and climate change on the Zilbier river hydrological regime, northwestern Iran. *Environmental Earth Sciences*, 78(6): 1-4.
- Andriolo, J.L., 1999. *Fisiologia das culturas protegidas*. Editora UFSM.
- Anonymous., 1995. The digital soil map of the world and derived soil properties. CD-ROM, Version 3.5, FAO, Rome.
- Anonymous., 2014. Lake Urmia and its Basin: Characteristics, Current Situation, Drivers of Change, Management/Institutional Actions Undertaken and Planned, International Technical Round Table toward a Solution for Iran's Drying Wetlands, 16-18, CIWP, Tehran, Iran.
- Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Srinivasan, R., Williams, J.R., Haney, E.B., Neitsch, S.L., 2012. Input/Output Documentation Version 2012. Soil and Water Assessment Tool.
- Arnold, J.G., Srinivasan, R., Mutiah, R.S., Williams, J.R., 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 34(1): 73-89.
- Arthington, A.H., Bhaduri, A., Bunn, S.E., Jackson, S.E., Tharme, R.E., Tickner, D., Young, B., Acreman, M., Baker, N., Capon, S., Horne, A.C., 2018. The Brisbane declaration and global action agenda on environmental flows. *Frontiers in Environmental Science*, 6: 45.
- Bucak, T., Trolle, D., Andersen, H.E., Thodsen, H., Erdoğan, Ş., Levi, E.E., Filiz, N., Jeppesen, E.,

- Rezaei Zaman, M.R., Morid, S., Delavar, M., 2016. Evaluating climate adaptation strategies on agricultural production in the Siminehrud catchment and inflow into Lake Urmia, Iran using SWAT within an OECD framework. *Agricultural Systems*, 147: 98-110.
- Ruisen, Z., Xinguang, D., Yingjie, M., 2009. Sustainable water saving: new concept of modern agricultural water saving, starting from development of Xinjiang's agricultural irrigation over the last 50 years. *Irrigation and Drainage: The journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*, 58(4): 383-392.
- Schulz, S., Darehshouri, S., Hassanzadeh, E., Tajrishy, M., Schüth, C., 2020. Climate change or irrigated agriculture—what drives the water level decline of Lake Urmia. *Scientific Reports*, 10(1): 1-10.
- Scott, C.A., Vicuña, S., Blanco-Gutiérrez, I., Meza, F., Varela-Ortega, C., 2014. Irrigation efficiency and water-policy implications for river basin resilience. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(4): 1339-1348.
- Seckler, D., 1999. Revisiting the IWMI paradigm: Increasing the efficiency and productivity of water use (No. H024042). International Water Management Institute.
- Shadkam, S., Ludwig, F., van Vliet, M.T., Pastor, A., Kabat, P., 2016. Preserving the world second largest hypersaline lake under future irrigation and climate change. *Science of the Total Environment*, 559: 317-325.
- Singh, A., 2014. Simulation–optimization modeling for conjunctive water use management. *Agricultural Water Management*, 141: 23-29.
- Wang, J., Song, C., Reager, J.T., Yao, F., Famiglietti, J.S., Sheng, Y., MacDonald, G.M., Brun, F., Schmied, H.M., Marston, R.A., Wada, Y., 2018. Recent global decline in endorheic basin water storages. *Nature Geoscience*, 11(12): 926-932.
- Williams, J.R., 1995. The EPIC model. *Computer Models of Watershed Hydrology*: 909-1000.
- Xue, J., Gui, D., Lei, J., Sun, H., Zeng, F., Feng, X., 2017. A hybrid Bayesian network approach for trade-offs between environmental flows and agricultural water using dynamic discretization. *Advances in Water Resources*, 110: 445-458.
- Yapiyev, V., Sagintayev, Z., Inglezakis, V.J., Samarkhanov, K., Verhoef, A., 2017. Essentials of endorheic basins and lakes: A review in the context of current and future water resource management and mitigation activities in Central Asia. *Water*, 9(10): 798.
- Zarghami, M., 2011. Effective watershed management; case study of Urmia Lake, Iran. *Lake and Reservoir Management*, 27(1): 87-94.
- Laurance, W.F., 2007. Forests and floods. *Nature*, 449: 409-410.
- Lin, B., Chen, X., Yao, H., Chen, Y., Liu, M., Gao, L., James, A., 2015. Analyses of landuse change impacts on catchment runoff using different time indicators based on SWAT model. *Ecological Indicators*, 58: 55-63.
- Mahmudi, P., Motamedvaziri, B., Hosseini, M., Ahmadi, H., Amini, A., 2021. Hydrological modeling of climate change impacts on discharge fluctuations in the Siminehrud and Zarrinehrud Watersheds. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 13(1): 138-149.
- Mancosu, N., Snyder, R.L., Kyriakakis, G., Spano, D., 2015. Water scarcity and future challenges for food production. *Water*, 7(3): 975-992.
- Molina-Navarro, E., Trolle, D., Martínez-Pérez, S., Sastre-Merlín, A., Jeppesen, E., 2014. Hydrological and water quality impact assessment of a Mediterranean limno-reservoir under climate change and land use management scenarios. *Journal of Hydrology*, 509: 354-366.
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., Veith, T.L., 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3): 885-900.
- Mpusia, P.T., 2006. Comparison of water consumption between greenhouse and outdoor cultivation. Enschede: ITC.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R., 2011. *Soil and Water Assessment Tool—Version 2009-User's Manual*. Springer, Temple.
- Panahi, D.M., Kalantari, Z., Ghajarnia, N., Seifollahi-Aghmiuni, S., Destouni, G., 2020. Variability and change in the hydro-climate and water resources of Iran over a recent 30-year period. *Scientific Reports*, 10(1): 1-9.
- Perry, C., Steduto, P., Karajeh, F., 2017. Does improved irrigation technology save water? A review of the evidence. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Cairo 42.
- Pritchard, H.D., 2017. Asia's glaciers are a regionally important buffer against drought. *Nature*, 545: 169-174.
- Raeisi, L.G., Morid, S., Delavar, M., Srinivasan, R., 2019. Effect and side-effect assessment of different agricultural water saving measures in an integrated framework. *Agricultural Water Management*, 223: 105685.
- Rath, T.H., 1994. Einfluss der Wärmespeicherung auf die Berechnung des Heizenergiebedarfes von Gewächshäusern mit Hilfe des k0-Modelles. *Gartenbauwissenschaft*, 59: 39-44.