Water and Soil Science, Vol.33, NO.3, Autumn 2023, pp. 89-108.

DOI:10.22034/ws.2021.48404.2444 ISSN:2717-3755 https://water-soil.tabrizu.ac.ir/

Research Article

Effect of Greenhouse Towns Developing on Meeting the Environmental Need of Lake Urmia Using the SWAT Model (Case Study: Ajichay Watershed)

M Isazadeh[1], A Fakheri Fard[2], S Darbandi[*3]

Received: October 18, 2021 Accepted: June 11, 2022
Received in Revised: May 29, 2022 Published online: September 23, 2023

1- Ph.D. Candidate, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

2- Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

3- Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

*Corresponding author, Email: Sdarbandi.tabrizu@yahoo.com

Abstract

Background and Objectives

In arid and semi-arid regions, meeting the environmental need of rivers and natural lakes is drastically diminished due to the climate changes, drought, and mismanagement of the water supply and distribution in agricultural activities. The closed basins, like Lake Urmia, are more sensitive to reducing the environmental need, climate change and drought. In Lake Urmia basin with arid and semi-arid climate, water shortage and high demand for water consumption in agricultural activities have caused to increase the free accessibility of the extraction of the surface water and groundwater resources. Therefore, in arid and semi-arid regions, it is necessary to implement an integrated dynamic system (IDS) for water consumption management in all sectors of water consumption, including drinking, industrial, and agriculture needs to stabilize the groundwater resources; hence, the optimal use of water resources to increase production capacity per unit of water consumption is a fundamental solution to meet the nutritional needs of humans and improve the economic conditions of operators. The multiplication of greenhouse agricultural products compared to the open-field cultivation for the same water consumption is one of the crucial solutions in the optimal use of water resources.

Methodology

The Ajichay basin with an area of 12600 km^2 is one of the greatest sub-basins of Lake Urmia. The average annual temperature of this basin is 11.3^{oC} and the average annual precipitation is 320 mm. The soil and water assessment tool (SWAT) model was used to evaluate the impacts of the implementation of development scenarios of greenhouse towns. The Soil and Water Assessment Tool (SWAT) is considered as a comprehensive hydrological model to evaluate the impacts of different factors such as climate changes, land use variations, changes in irrigation methods, agricultural management, and greenhouse development on runoff volume and groundwater level fluctuations. In this study, the SWAT model has been calibrated and verified using a 30 m digital elevation model (DEM), a soil map with 217 homogeneous zones, 5 land use maps from 1987 to 2016, data gathered from 10 hydrometric stations and more than 50 meteorological stations, hydrological studies and field measurements. In the present study, two scenarios were adopted

©: The Author(S)
Publisher: University of Tabriz

according to the current policies of greenhouse towns development in Iran and an ideal scenario (third scenario) was also considered for the development of greenhouse towns. The first scenario for the development of greenhouse settlements was adjusted using new water resources with the aim of

increasing the production of agricultural products in the region. The second scenario is based on the removal of part of the arable lands of each aquifer and the use of harvested water from the removed lands in the development of greenhouse settlements. The third scenario was based on the average production statistics in open and closed environment in Ajichay catchment, in order to maintain the current production per hectare. In modelling the Ajichay basin, the time periods of 1987-1991, 1992-2009, and 2010-2016 have been assigned to the model adaptation to the basin conditions, calibration, and verification, respectively. The statistical criteria comprising correlation coefficient (CC), Nash-Sutcliffe efficiency (NSE), and root mean square error (RMSE) have been utilized to evaluate model performance for stream flow simulation in hydrometric stations.

Findings

Statistical criteria indicated the high accuracy of simulation for all ten hydrometric stations. At Akhula station (watershed outlet), the statistics including correlation coefficient (R), Nash-Sutcliffe efficiency (NSE), and root mean square error (RMSE) were 0.92, 0.83 and 6.48 $m^3 s^{-1}$, respectively, during calibration, and 0.86, 0.73 and 3.23 $m^3 s^{-1}$, respectively, during verification periods. Development of 1875 hectares of greenhouse towns in the Ajichay watershed caused an average depletion of 11.68 m and 4.41 m within the first and second scenarios, respectively; in contrast, for the third scenario, an increase of 3.86 m for the average groundwater level of the aquifers of the Ajichay watershed was acquired rather than the initial condition. At the end of the simulation period of the third scenario, the flow volume increase of 28.5 MCM y^{-1} was observed at the Akhula hydrometric station. The results revealed that the development of greenhouse towns using new water resources can increase agricultural crop production and also intensify the downward trend in groundwater levels. The second scenario has caused a negative balance in the aquifers due to the eliminating the water withdrawal under the traditional irrigation system from the hydrological cycle. Only in the third scenario, the removal of nearly ten hectares of farmlands for the development of one hectare of greenhouse has caused the aquifers of Ajichay basin to have an increasing trend of groundwater level. The results of the third scenario revealed that 24% of the total reduced volume of groundwater abstraction, was discharged into Lake Urmia through rivers, and 38% was related to the water withdrawal of the traditional irrigation, and the other part was spent on increasing the water abstraction from groundwater and rivers for the agricultural purposes.

Conclusion

The results of the implementation of the scenarios to develop greenhouse towns revealed that the type of policies and how to implement the development of greenhouse towns can enhance agricultural production capacity as well as decrease/increase the flow of rivers in the Ajichay basin. The adverse effect on the groundwater resources occurs when the administrative institutions' approach is focused only on the increasing production capacity. Furthermore, when the ratio of replacing traditional farmlands with greenhouse towns is not commensurate with the corresponding irrigation efficiencies, it applies more stress to the groundwater resources to meet the evapotranspiration need of the greenhouse plants. The positive effect on aquifers and increased river flow occurs when the actual evapotranspiration of the plants cultivated in greenhouse towns is less than the eliminated traditional farmland.

Keywords: Ajichay watershed, Greenhouse town, Groundwater, River discharged, SWAT Model

نشریه دانش آب و خاک / جلد ۳۳ شماره ۳ صفحه‌های ۸۹ تا ۱۰۸/ سال ۱۴۰۲

مقاله پژوهشی

تأثیر توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای بر تأمین نیاز زیست محیطی دریاچه ارومیه با استفاده از مدل SWAT (مطالعه موردی: حوضه آبریز آجی‌چای)

محمد عیسی‌زاده[۱]، احمد فاخری‌فرد[۲]، صابره دربندی[۳]*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۱

تاریخ دریافت ویرایش:۱۴۰۱/۰۳/۰۸ تاریخ انتشار انلاین :۱۴۰۲/۷/۱

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

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیک: Sdarbandi.tabrizu@yahoo.com

چکیده

تولید چند برابری محصولات کشاورزی در محیط گلخانه نسبت به محیط باز به ازای مصرف آب برابر یکی از راه‌کارهای مهم در استفاده بهینه از منابع آب می‌باشد. در این تحقیق سه سناریو بدبینانه، عادی و ایده‌آل جهت توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای در حوضه آبریز آجی‌چای تنظیم گردید. جهت ارزیابی اثرات اجرای سناریوهای توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای از مدل ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT) در بازه زمانی ۲۰۱۶- ۱۹۸۷استفاده گردید. شاخص‌های آماری حاکی از دقت بالای شبیه‌سازی در کلیه ده ایستگاه آب‌سنجی می‌باشد، به طوری‌که در ایستگاه آخولا (خروجی حوضه) آماره‌های همبستگی، نش-ساتکلیف و جذر 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 و به ازای سناریو سوم موجب افزایش ۳/۸۶ متری متوسط تراز آب زیرزمینی آبخوان‌های حوضه آجی‌چای نسبت به شرایط اولیه گردیده است. در انتهای دوره شبیه‌سازی سناریو سوم، افزایش حجم جریان در ایستگاه آب‌سنجی آخولا به میزان ۲۸/۵ میلیون مترمکعب در سال بوده است. نتایج سناریو سوم نشان داد که از کل حجم کاهش یافته از برداشت آب‌های زیرزمینی، ۲۴ درصد آن از طریق رودخانه‌ها به دریاچه ارومیه تخلیه گردیده، ۳۸ درصد آن مربوط به آب برگشتی آبیاری سنتی بوده و بخش دیگر آن صرف افزایش برداشت بخش کشاورزی از آب-های زیرزمینی و رودخانه‌ها گردیده است.

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

مقدمه

درصد بالایی از آب‌های شیرین سطحی و زیرزمینی مورد استفاده بشر در جهان در بخش کشاورزی مصرف می‌گردد (سینک ۲۰۱٤). تأمین نیاز زیست محیطی رودخانه‌ها و دریاچه‌ها سبب پایداری و سلامت اکولوژی آن‌ها می‌شود (یاسی و آشوری ۲۰۱۷، آرتینگتون و همکاران ۲۰۱۸). در بیشتر مناطق جهان استفاده از آب در کشاورزی موجب کاهش میزان نیاز زیست محیطی رودخانه‌ها و دریاچه‌ها شده است (ژو و همکاران ۲۰۱۷). کشاورزان به علت کسب سود اقتصادی بیشتر همواره تقاضای مصرف آب بیشتری دارند که معمولا در تضاد با تأمین نیازهای زیست محیطی رودخانه‌ها و دریاچه‌های پایین‌دست حوضه‌های آبریز می‌باشد (مالانو و داویدسون ۲۰۰۹، ژو و همکاران ۲۰۱۷، دهقان‌پور و همکاران ۲۰۲۰). در مناطق خشک و نیمه خشک، کاهش تأمین نیاز زیست محیطی رودخانه‌ها و دریاچه‌های طبیعی با وقوع تغییرات اقلیمی، خشکسالی و سوء مدیریت در تأمین و توزیع آب مورد استفاده در کشاورزی تشدید گردیده است (ولی‌پور و همکاران ۲۰۱۵، مانکوسو و همکاران ۲۰۱۵). مطالعات وانگ و همکاران (۲۰۱۸) و چونیو و همکاران (۲۰۱۹) حاکی از حساسیت بیش‌تر حوضه‌های بسته نسبت به کاهش نیاز زیست محیطی در خشکسالی و تغییر اقلیم می‌باشد. لذا کاهش تأمین نیاز زیست محیطی رودخانه‌ها باعث خشکی موقت و دائم دریاچه‌ها و تالاب‌های طبیعی در حوضه‌های بسته شده است (چونیو و همکاران ۲۰۱۹، فرخ‌زاده و همکاران ۲۰۲۰). 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 تأمین نیاز زیست محیطی دریاچه‌های آرال، ارومیه و چاد[1]، حجم آب این دریاچه‌ها با کاهش حداقل ۷۰ درصدی روبه‌رو شده‌اند (پریتچارد ۲۰۱۷، یاپی‌یو و همکاران ۲۰۱۷).

بر اساس تحقیقات صورت گرفته، متغیرهای هیدرولوژیکی میانگین بارندگی سالانه، تبخیر-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 تغییر می‌کنند (لین و همکاران ۲۰۱۵). مطالعات لائورانس (۲۰۰۷) و اندریانی و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر تغییرات ایجاد شده بوسیله تغییر کاربری اراضی را در حوضه‌های آبریز مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیقات چن و همکاران (۲۰۰۹) و گبرمیکائیل و همکاران (۲۰۱۳) 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. با توجه 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 (ساها و همکاران ۲۰۱۳، بوکاک و همکاران ۲۰۱۷). دریاچه ارومیه به عنوان یکی از بزرگترین دریاچه‌های فوق شور دائمی جهان بوده که در شمال غربی کشور ایران واقع است (ضرغامی ۲۰۱۱، حسن‌زاده و همکاران ۲۰۱۲). دریاچه ارومیه در لیست تالاب‌های بین‌المللی کنوانسیون رامسر و شبکه جهانی ذخیره گاه‌های زیست‌کره یونسکو نیز ثبت گردید (بی‌نام ۲۰۱٤). کاهش سطح و عمق آب دریاچه ارومیه عموما ناشی از خشکسالی، افزایش مصرف آب در حوضه‌های آبریز، توسعه کشاورزی و سوء مدیریت در مصرف بهینه از منابع آب این حوضه آبریز می‌باشد (ضرغامی ۲۰۱۱، حسن‌زاده و همکاران ۲۰۱۲، پناهی و همکاران ۲۰۲۰، شولتز و همکاران ۲۰۲۰). جهت بهبود وضعیت دریاچه و توسعه پایدار در

[1] Chad

حوضه آبریز دریاچه ارومیه، دولت ایران برنامه احیای دریاچه ارومیه را ایجاد کرده است (شادکام و همکاران ۲۰۱٦).

ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT[1]) یک مدل هیدرولوژیکی جامع برای ارزیابی تأثیر 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 (آرنولد و همکاران ۲۰۱۲، رئیسی و همکاران ۲۰۱۹).

بررسی تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن بر متغییرهای هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز در تحقیقات زیادی مورد بررسی قرار گرفته است (اندریانی و همکاران ۲۰۱۹). هاری‌کریشنا و همکاران (۲۰۱٤) سناریوهای مختلف مدیریتی را در حوضه آبریز مانائیر[2]، 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 مولینا و همکاران (۲۰۱٤) در حوضه رودخانه اومپولودا واقع در کشور اسپانیا نشان داد که تغییر

کاربری اراضی باعث خشک شدن دریاچه‌های پایین دست حوضه‌های آبریز گردیده است.

رئیسی و همکاران (۲۰۱۹) تغییرات ذخیره آب در حوضه آبریز تشک-بختگان را با استفاده از مدل SWAT به ازای سه سناریوی کم آبیاری، آبیاری قطره‌ای و توسعه گلخانه مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که تولید گوجه‌فرنگی در گلخانه باعث افزایش چهار برابری بهره‌وری فیزیکی آب شده است.

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 (کولکارنی ۲۰۱۱). تحقیقات سکلر (۱۹۹۹)، احمدزاده و همکاران (۲۰۱٦) و پری و همکاران (۲۰۱۷) 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 (اسکوت و همکاران ۲۰۱٤)، تغذیه آب‌های زیرزمینی (وارد و همکاران ۲۰۰۸، احمدزاده و همکاران ۲۰۱٦) و تأمین بخشی از نیاز آب‌شویی مزارع و باغات (یوگرمایر و همکاران ۲۰۱۵) 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 تأمین نیاز غذایی انسان‌ها می‌باشد (رویسن و همکاران ۲۰۰۹). توسعه گلخانه‌ها به علت نیاز به تولید بیشتر محصولات کشاورزی با کیفیت و تازه و همچنین تولید در همه ماه‌های سال بوده است (فرناندس و همکاران ۲۰۰۳). یکی از ویژگی‌های مهم گلخانه‌ها، کاهش میزان مصرف آب برای تولید محصولات کشاورزی است. پوشش پلاستیکی و یا شیشه‌ای گلخانه‌ها به علت جذب و انعکاس بخشی از تابش ورودی، باعث تغییر در میزان تبخیر-تعرق گیاهان کشت شده می‌گردد (امپوسیا ۲۰۰٦). مطالعه انجام شده توسط فرناندس و همکاران (۲۰۰۳) نشان داد که میزان تبخیر-تعرق محیط داخل گلخانه بین ۵۵ تا ۸۰ درصد از تبخیر-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 درطول سال بیشتر از محیط باز می‌باشد.

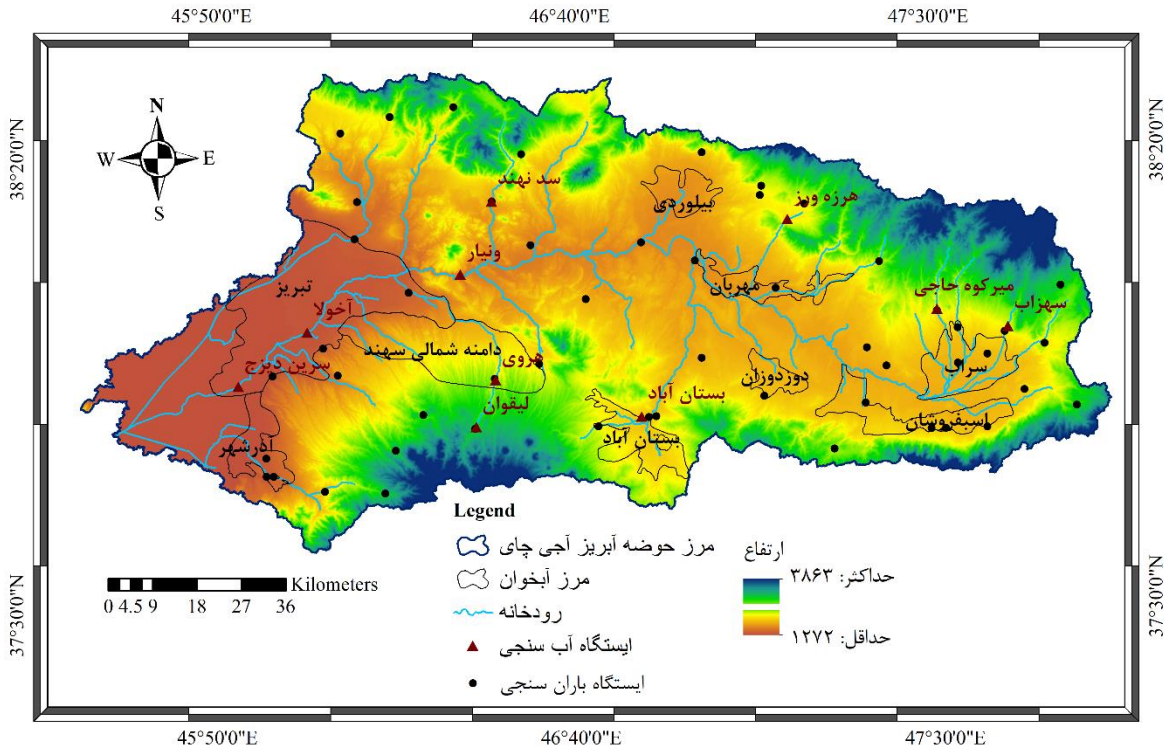
[1] Soil and water assessment tools
[2] Manair

در این مطالعه میزان برگشت‌پذیری و جبران افت جریان رودخانه‌ها و تراز آب آبخوان‌های واقع در حوضه آبریز آجی‌چای به ازای توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. در گام اول مدل‌سازی هیدرولوژیکی در دو بخش واسنجی و صحت‌سنجی با استفاده از اطلاعات اقلیمی، آب‌سنجی، پنج کاربری اراضی در دوره شبیه‌سازی، نقشه جامع خاک منطقه، تبخیر-تعرق واقعی، راندمان کشاورزی و نقشه توپوگرافی منطقه صورت پذیرفت. در گام دوم سناریوهای مختلف توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای با توجه به شرایط موجود توسعه گلخانه‌ها و حالت ایده آل توسعه آن‌ها تهیه و تنظیم گردید. گام سوم به ارزیابی و بررسی تأثیرات اجرای هر یک از سه سناریو تنظیم شده بر تغییرات تراز آب‌های زیرزمینی و جریان‌های سطحی در ایستگاه‌های منتخب حوضه آبریز آجی‌چای در مدل SWAT پرداخت شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

حوضه آبریز آجی‌چای با مساحت ۱۲۶۰۰ کیلومتر مربع یکی از بزرگترین زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه بشمار می‌آید. این حوضه در شمال‌غرب ایران، بین طول‌های جغرافیایی '۴۵°۴۶ 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 است. براساس اطلاعات ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه، دمای متوسط سالانه این حوضه برابر با ۱۱/۳ درجه سلسیوس و متوسط بارش سالانه برابر با ۳۲۰ میلی‌متر می‌باشد. از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۶ میلادی داده‌های روزانه هواشناسی این مطالعه از سازمان هواشناسی کشور و داده‌های روزانه مربوط به جریان رودخانه‌ها، مرز و خصوصیات آبخوان‌ها، تغییرات تراز آب در چاهک‌های مشاهداتی و مقادیر ورودی و خروجی سدها نیز از وزارت نیرو ایران دریافت شد. در شکل ۱ موقعیت مکانی ایستگاه‌های مورد استفاده در این مطالعه نشان داده شده است.



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

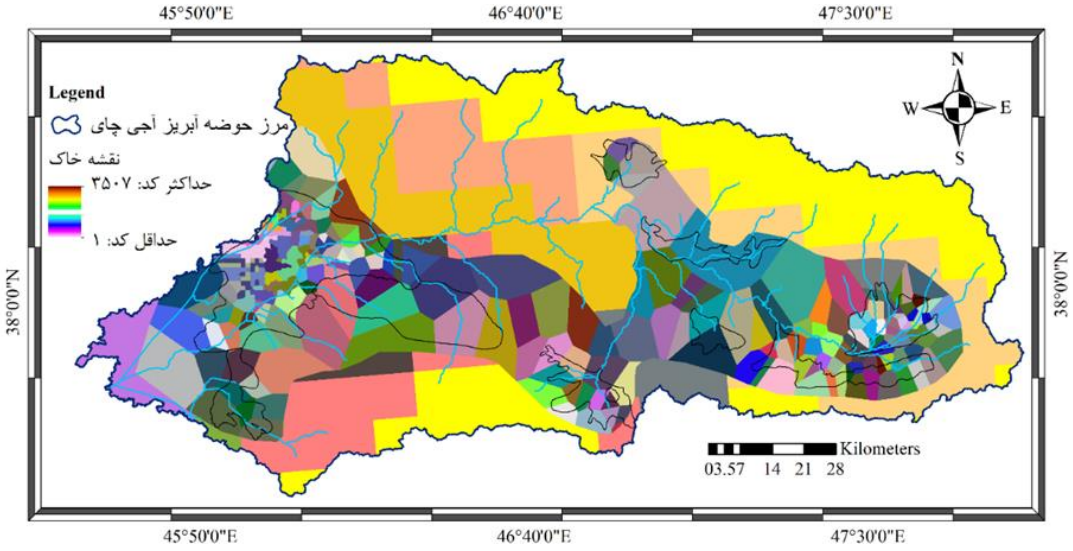
دوره رشد اصلی محصولات کشاورزی در حوضه آجی‌چای غالبا از اول ماه اردیبهشت شروع و تا بیستم ماه مهر ادامه می‌یابد. محصولات کشاورزی اصلی این حوضه شامل گندم، جو، یونجه، اسپرس، ذرت، لوبیا، چغندرقند، سیب‌زمینی، پیاز، گوجه‌فرنگی، خیار، هویج، سیب، گلابی، گردو، انگور، زردآلو، بادام و گل محمدی می‌باشند. اطلاعات مربوط به الگوی کشت، زمان کاشت و برداشت، زمان و میزان کوددهی، عملکرد محصولات (تن بر هکتار)، تعداد، حجم و دور آبیاری هر یک از محصولات کشاورزی از وزارت جهاد کشاورزی ایران اخذ گردید.

در مدل SWAT برای تعیین کلاس‌های شیب اراضی از لایه مدل رقوم ارتفاعی (DEM[1]) با تفکیک‌پذیری 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 مؤثر می‌باشد (اندریانی و همکاران ۲۰۱۹). لذا در این مطالعه با استفاده از کلیه مطالعات خاک‌شناسی صوررت گرفته در حوضه آبریز آجی‌چای، لایه خاک با ۲۱۷ پهنه خاک‌شناسی بدست آمد (شکل ۲). لازم به ذکر است که در محدوده‌های فاقد اطلاعات خاک‌شناسی محلی، از نقشه خاک سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل متحد (بی‌نام ۱۹۹۵) استفاده شد. در این مطالعه جهت بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی هر آبخوان از اطلاعات ۳۲۷ چاهک مشاهداتی موجود در منطقه استفاده شده است. تطویل و بازسازی اطلاعات چاهک‌های مشاهداتی با استفاده از روش هوش مصنوعی انجام شده است. بنابراین ابتدا تطویل و ترمیم آمار چاهک‌های مشاهداتی صورت گرفته و سپس تراز سالانه مشاهداتی آبخوان‌ها براساس مساحت مؤثر چاهک‌های مشاهداتی موجود بدست آمده و تغییرات آن با تغییرات بیلان آب زیرزمینی زیرحوضه‌های منطبق با مرز آبخوان‌ها در مدل SWAT مقایسه گردیده است.

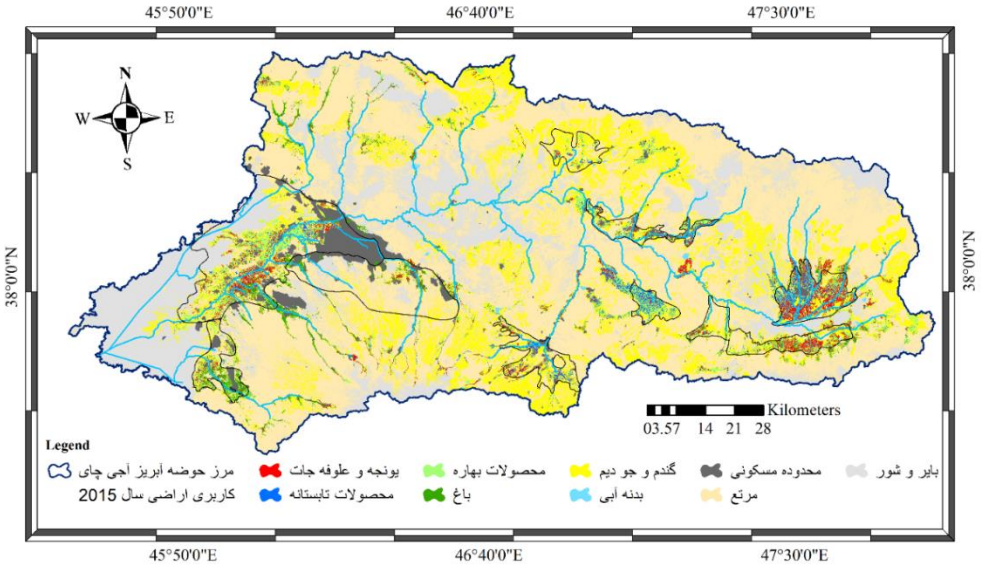
در مطالعه حاضر جهت دستیابی به روند تغییرات کاربری اراضی، از ۱۰۲ تصویر از ماهواره‌های لندست ۵ و ۸ در سال‌های ۱۹۸۷، ۱۹۹۲، ۱۹۹۹، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۵ استفاده شد. با توجه به بررسی میدانی صورت گرفته و نظام بهره‌برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی، کاربری اراضی محصولات زراعی و باغی آبی حوضه آجی‌چای به ازای چهار کلاس همگن (از لحاظ تشابه در دوره رشد و میزان مصرف آب در هکتار) و براساس نوع و میزان تغییرات شاخص NDVI در طول دوره رشد محصولات تعیین شد (شکل ۳). چهار کلاس کاربری

اراضی کشاورزی آبی شامل گیاهان یکساله‌ای که در پاییز و بهار کشت می‌شوند و در اوایل تابستان برداشت می‌شوند (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 ٤) می‌باشند. سایر کلاس‌های کاربری اراضی شامل محصولات دیم (کلاس ٥)، بدنه آبی (کلاس ٦)، محدوده مسکونی (کلاس ۷)، مرتع (کلاس ۸) و محدوده بایر و شور (کلاس ۹) می‌باشند.

[1] Digital elevation model



شکل ۲- پهنه‌های خاکشناسی حوضه آبریز آجی‌چای.



شکل ۳- کاربری اراضی سال ۲۰۱۵ حوضه آبریز آجی‌چای.

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-تعرق واقعی 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 (زابلتیتز ۲۰۱۰). 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 آجی‌چای، در گلخانه‌های این منطقه از سیستم فن و پد 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 CO_2 در داخل گلخانه‌ها می‌باشد. با توجه بررسی‌ها و اندازه-گیری‌های میدانی انجام شده در گلخانه‌های محدوده

مورد مطالعه، میزان آب مصرفی گوجه‌فرنگی و خیار در منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب 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 آرنولد و همکاران (۱۹۹۸) 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 (احمدزاده و همکاران ۲۰۱۶، بوکاک و همکاران ۲۰۱۷، اندریانی و همکاران ۲۰۱۹). در این مطالعه حوضه آجی‌چای به ۱۴۰ زیرحوضه تقسیم شد. سپس در هر زیر حوضه، HRUs[1] براساس نقشه کاربری اراضی، نقشه خاک و نقشه شیب تعیین شدند. 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 به ازای شرایط محیطی و تغذیه‌ای مختلف، از نسخه ساده شده مدل EPIC[2] استفاده می‌کند (ویلیامز ۱۹۹۵). شبیه‌سازی میزان تولید هر محصول متاثر از میزان تبخیر-تعرق واقعی روزانه (ETa[3]) می‌باشد. همچنین مقادیر متغیرهای گیاهی (مانند شاخص پوشش گیاهی) که تأثیر مستقیم بر تبخیر-تعرق روزانه و تولید محصول دارند نیز با سعی و خطا بدست می‌آیند (احمدزاده و همکاران ۲۰۱۶).

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[4]) و شرایط رطوبتی مختلف بدست می‌آید. شرایط رطوبتی خاک تابعی از قابلیت نگه‌داری آب در خاک، نفوذپذیری خاک، رطوبت اولیه خاک، روش تعیین تبخیر-تعرق و کاربری اراضی می‌باشد (نیتسچ و همکاران ۲۰۱۱). بیلان آب در هر بخش از زیر حوضه‌ها با استفاده از رابطه ۱ بدست می‌آید (نیتسچ و همکاران ۲۰۱۱، آرنولد و همکاران ۱۹۹۸).

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

در این رابطه SW_t مقدار آب خاک در زمان t (mm)، SW_0 مقدار آب اولیه موجود در خاک (mm)، R_{day} میزان بارش روزانه در روز i (mm)، Q_{surf} مقدار رواناب سطحی در روز i (mm)، Ea میزان تبخیر و تعرق واقعی از خاک و گیاه در روز i (mm)، W_{seep} میزان نفوذ آب به داخل خاک در روز i (mm) و Q_{gw} میزان آب رسیده به آب زیرزمینی در روز i (mm) می‌باشند.

سناریوها

در دهه اخیر، کشت گلخانه‌ای در ایران رواج پیدا کرده است، در واقع می‌توان با استفاده از گلخانه‌ها به ازای مصرف آب کمتر، میزان تولید بیشتری را بدست آورد (رئیسی و همکاران ۲۰۱۹). لذا برنامه توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای می‌تواند براساس سه سناریو اصلی انجام شود که در این مطالعه به بررسی جوانب هیدرولوژیکی آن پرداخته شد. در بخش معرفی سناریوها، با توجه به ارزیابی‌های صورت گرفته توسط وزارت جهاد کشاورزی، برنامه ششم توسعه و بررسی‌های میدانی صورت گرفته، حداکثر میزان توسعه گلخانه‌ها در حوضه آبریز آجی‌چای، حدود ۱۸۷۵ هکتار در کلیه سناریوها در

[1] Hydrologic response units
[2] Erosion productivity impact calculator
[3] Actual evapotranspiration
[4] Curve number

نظر گرفته شد. سناریو اول توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای با استفاده از منابع آب جدید و با هدف افزایش میزان تولید محصولات کشاورزی منطقه تنظیم شد. در این سناریو سطح زیر کشت و برداشت آب از آبخوان‌ها افزایش یافت. این سناریو عموما توسط وزارت جهاد کشاورزی اجرا می‌گردد که هدف اصلی آن افزایش بهره‌وری آب می‌باشد. سناریو دوم بر اساس حذف بخشی از زمین‌های زراعی هر آبخوان و استفاده از آب برداشتی زمین‌های حذف شده در توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای می‌باشد. در این سناریو برداشت آب از آبخوان ثابت مانده و سطح زیر کشت منطقه کاهش یافت. این سناریو نیز معمولا توسط افرادی که دارای زمین و حق آبه قانونی از چاه‌ها هستند، صورت می‌پذیرد. سناریو سوم براساس آمار متوسط تولید در محیط باز و بسته در حوضه آبریز آجی‌چای و در جهت حفظ میزان تولید کنونی به ازای هر هکتار صورت پذیرفت. 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 یافت. 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 گردید.

واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAT

پارامترهای مؤثر در شبیه‌سازی با استفاده از آنالیز حساسیت بدست آمد (احمدزاده و همکاران ۲۰۱۶). در این مطالعه آنالیز حساسیت و کالیبراسیون پارامترهای مؤثر در فرآیند بخش‌های مختلف شبیه‌سازی با استفاده از روش SUFI-2 و پکیج نرم‌افزار SWAT-CUP انجام شد (عباسپور ۲۰۰۸). با توجه به اطلاعات بدست آمده، مدل SWAT حوضه آبریز آجی‌چای برای بازه زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۶ تنظیم گردید. بنابراین، بازه زمانی ۱۹۹۱-۱۹۸۷ به عنوان تطبیق مدل با شرایط حوضه، دوره زمانی ۲۰۰۹-۱۹۹۲ جهت واسنجی و دوره زمانی ۲۰۱۶-۲۰۱۰ به عنوان صحت‌سنجی در نظر گرفته شده است. عملکرد مدل در شبیه‌سازی جریان آب در ایستگاه‌های آب‌سنجی با استفاده از ضریب همبستگی (R)، ضریب نش-ساتکلیف (NSE) و ضریب جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) ارزیابی شد (موریاسی و همکاران ۲۰۰۷).

$$R = \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^{N}(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y}))^2}{\sum_{i=1}^{N}(x_i-\bar{x})^2\sum_{i=1}^{N}(y_i-\bar{y})^2}} \quad [۲]$$

$$NS = 1-\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i-y_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(x_i-\bar{x})^2} \quad [۳]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i-y_i)^2} \quad [۴]$$

در روابط ۲ تا ٤، y_i مقدار داده مشاهداتی، x_i مقدار داده محاسباتی، $\bar{y}$ متوسط مقدار داده‌های مشاهدات، $\bar{x}$ متوسط مقدار داده‌های محاسباتی و N تعداد کل داده‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

تهیه نقشه‌های پایه توسعه کشاورزی نقش به سزایی در دقت شبیه‌سازی آب‌های سطحی و زیرزمینی در مدل SWAT دارد. لذا میزان تغییر مساحت هر یک از کاربری-های محصولات کشاورزی آبی با استفاده از نقشه‌های کاربری‌های اراضی بدست آمده، تعیین گردید. نقشه‌های کاربری اراضی نشان دادند که بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۵ هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی کشاورزی شامل کلاس‌های ۱، ۲، ٤ و ٥ به ترتیب ۱۷۲٦٤ (٥۹ درصد)، ۳۰۷۰ (۳۳ درصد)، ۱۱۳٤٦ (۱/٦۸ درصد) و ۷٤۰۹۲ (٦۲ درصد) هکتار افزایش داشته‌اند و تنها کلاس ۳ به میزان ۳٦٥٥ (۱٤ درصد) هکتار کاهش داشته است. بر اساس نتایج این مطالعه سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در حوضه آبریز آجی‌چای، طی پنج دهه گذشته به علت رواج استفاده از ابزارهای برداشت از آب‌های سطحی و زیرزمینی، دارای افزایش تقریبا ۳۰ درصدی بوده است. مطالعه فتحیان و همکاران (۲۰۱٦) نیز توسعه اراضی آبی در شرق دریاچه ارومیه را نشان داده‌اند. در ادامه نتایج مربوط به مدل‌سازی مدل SWAT

به ازای نقشه‌های کاربری اراضی استخراج شده در دوره‌های تطبیق، واسنجی و صحت‌سنجی تشریح شده است.

مدل هیدرولوژیکی SWAT

با توجه به تنظیمات صورت گرفته در مدل، شبیه‌سازی رواناب و تراز آب زیرزمینی حوضه در مقیاس ماهانه انجام شد. در ادامه تغییرات تراز آب زیرزمینی و جریان رودخانه‌ها در دوره‌های تطبیق مدل، واسنجی وصحت‌سنی تشریح شده است.

شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی

در این تحقیق بیلان آب زیرزمینی براساس تغییرات سالانه تراز آب زیرزمینی در هر یک از نه آبخوان حوضه آبریز آجی‌چای بدست آمده است. در جدول ۱ مقادیر آماره‌های ارزیابی دقت شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی نشان داده شده است. با توجه به این جدول، مقدار ضریب همبستگی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی تراز آبخوان‌های حوضه آبریز آجی‌چای در دوره واسنجی بین ۰/۸۷ تا ۰/۹۷ و در دوره صحت‌سنجی بین ۰/٤٥ تا ۰/۹۷ است. مقدار شاخص نش-ساتکلیف نیز در دوره واسنجی بین ۰/۷۱ تا ۰/۸۸ و در دوره صحت‌سنجی بین ۰/٦٤ تا ۰/۹۷ است.

جدول ۱- شاخص‌های آماری شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی آبخوان‌های حوضه آبریز آجی‌چای.

نام آبخوان	دوره واسنجی			دوره صحت‌سنجی			میانگین تراز مشاهداتی (m)	میانگین تراز محاسباتی (m)
	R	NS	RMSE (m)	R	NS	RMSE (m)		
مهربان	۰/۸۷	۰/۷۵	۰/۳۵	۰/۸۹	۰/۸۳	۰/۲۲	۱۵۷۷/۰٤۷	۱۵۷۷/۰٤٤
سراب	۰/۹٤	۰/۸٦	۰/۲۷	۰/۸۷	۰/۹۲	۰/۱۷	۱٦۸٦/۱۹٦	۱٦۸٦/۱۸۹
اسب فروشان	۰/۹٤	۰/۸۸	۰/۲۵	۰/۷۲	۰/٦۷	۰/۲٤	۱٦۹٦/۲۹۷	۱٦۹٦/۲۷۱
دوزدوزان	۰/۹۳	۰/۸۱	۰/٤٤	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۲٦	۱٦۳٤/۹۱۹	۱٦۳٤/۹۷۷
بیلوردی	۰/۹٤	۰/۸۷	۰/٤۱	۰/٤۵	۰/۹۷	۰/۱۸	۱۵٦۱/۷۷۰	۱۵٦۱/٦۹٤
بستان آباد	۰/۹۷	۰/۸٤	۰/٦٤	۰/۷۷	۰/۹۱	۰/٤۸	۱۸۱۱/۰۹۹	۱۸۱۰/٦۷۷
دانه شمالی سهند	۰/۹٦	۰/۸٤	۰/۸٦	۰/۵۷	۰/۹۵	۰/٦۱	۱٦۳۹/٤۹۰	۱٦۳۸/۸۵۰
تبریز	۰/۸۸	۰/۷۱	۰/٤۸	۰/۷۲	۰/۹۳	۰/۲۵	۱۳۱۷/۰۸۹	۱۳۱٦/۹۵۸
آذرشهر	۰/۹٤	۰/۸٦	۰/٤٦	۰/۹۱	۰/٦٤	۰/۳۱	۱۳۱٤/۱٦٦	۱۳۱٤/۱٤۳

همچنین شبیه‌سازی‌ها نشان داد که مقدار جذر میانگین مربعات خطا در دوره واسنجی بین ۰/۲۵ تا ۰/۸٦ متر و در دوره صحت‌سنجی بین ۰/۱۷ تا ۰/٦۱ متر است. مقایسه میانگین تراز مشاهداتی و میانگین تراز محاسباتی حاکی از عدم بیش برازش و کم براشی در تراز شبیه‌سازی شده در کلیه آبخوان‌ها بغیر از آبخوان دامنه شمالی سهند می‌باشد. علت اصلی عدم دقت کافی در شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی آبخوان دامنه شمالی سهند، برداشت بیش از ۵۰ میلیون متر مکعبی آب در سال برای شرب شهر تبریز از این آبخوان می‌باشد که اطلاعات دقیقی از تغییرات سالانه آن وجود ندارد. نتایج این جدول نشان می‌دهد که دقت شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی در دوره مورد بررسی قابل قبول است و می‌توان سناریوهای مدیریتی مختلف را با استفاده از این مدل ارزیابی کرد.

شبیه‌سازی جریان سطحی

در این مدل جهت واسنجی و صحت‌سنجی جریان سطحی به ازای ده ایستگاه آب‌سنجی صورت پذیرفت. ایستگاه‌های آب‌سنجی در مناطق کوهستانی، انتهای آبخوان‌ها و خروجی حوضه آجی‌چای قرار گرفته‌اند.

شاخص‌های آماری R، NSE و RMSE به ازای دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی برای کلیه ایستگاه‌های آب‌سنجی در جدول ۲ نشان داده شده است.

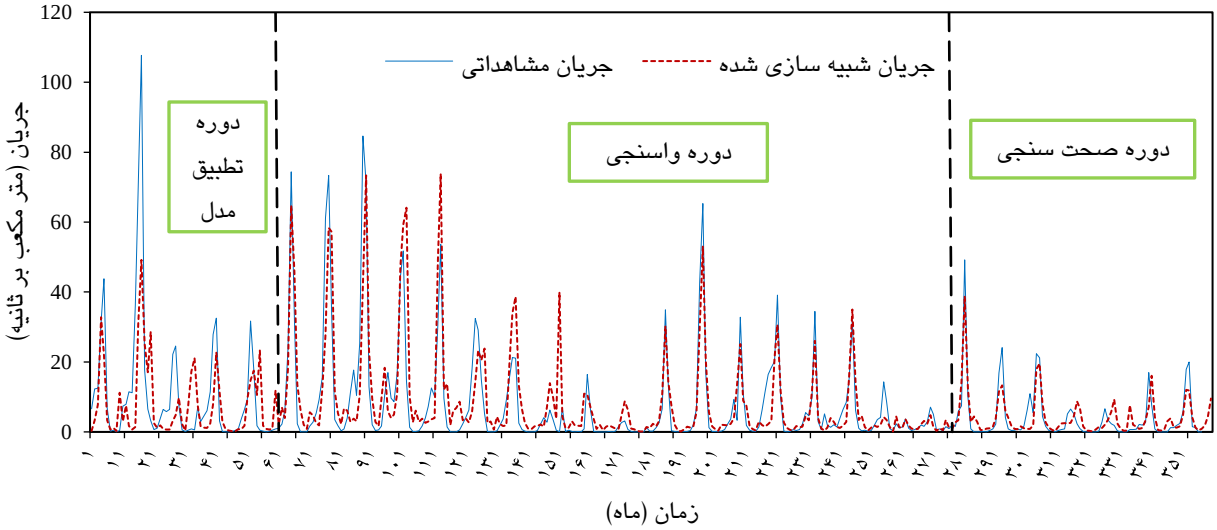
جدول ۲- شاخص‌های آماری شبیه‌سازی جریان ایستگاه‌های آب‌سنجی حوضه آبریز آجی‌چای.

ایستگاه آب‌سنجی	دوره واسنجی			دوره صحت‌سنجی		
	R	NS	RMSE (m^3s^{-1})	R	NS	RMSE(m^3s^{-1})
سد نهند	۰/۸۲	۰/۵۷	۱/۱۶	۰/۸۵	۰/۶۵	۰/۸٤
هرزه ورز	۰/۷۵	۰/٤۱	۰/۸۱	۰/۸۵	۰/۵۰	۰/٤۳
میرکوه حاجی	۰/۷۷	۰/۵۷	۱/۵٦	۰/۷۲	۰/۲۲	۱/۲۷
سهزاب	۰/۵۷	۰/۲٦	۰/۷٦	۰/٦۰	۰/۳۲	۰/۳٦
لیقوان	۰/۸٦	۰/۷۱	۰/٤۸	۰/۸۸	۰/۷٦	۰/۳۸
هروی	۰/۸۷	۰/۵۲	۰/۵۳	۰/۸۹	۰/٦۵	۰/۳۰
بستان آباد	۰/۸۰	۰/۵۹	۱/۲۵	۰/۸٤	۰/۵٤	۰/٤۲
ونیار	۰/۹۳	۰/۸۵	۵/٦۵	۰/۸۹	۰/۷۸	۳/۵۸
آخولا	۰/۹۲	۰/۸۳	٦/٤۸	۰/۸٦	۰/۷۳	۳/۲۳
سرین دیزج	۰/۸۳	۰/٦٤	۸/۷۷	۰/۸۷	۰/۵۵	۳/۸۳

شاخص‌های آماری حاکی از دقت بالای شبیه‌سازی در ایستگاه لیقوان می‌باشد، بطورریکه آماره‌های همبستگی، نش-ساتکلیف و جذر میانگین مربعات خطا در دوره واسنجی به ترتیب با ۰/۸٦، ۰/۷۱ و ۰/٤۸ مترمکعب بر ثانیه و در دوره صحت‌سنجی به ترتیب برابر با ۰/۸۸، ۰/۷٦ 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 تقریبا بیشتر از هفت متر مکعب بر ثانیه است، آماره‌های همبستگی و نش-ساتکلیف در دوره واسنجی به ترتیب بیشتر از ۰/۸۳، ۰/٦٤ و در دوره صحت‌سنجی نیز به ترتیب بیشتر از ۰/۸٦ و ۰/۵۵ می‌باشد.

همچنین مقدار جذر میانگین مربعات خطا نیز در 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 ایستگاه آب‌سنجی ونیار به ازای دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی در شکل ٤ نشان داده شده است. مقایسه مقادیر جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ایستگاه ونیار در زمان‌های حداکثر جریان و جریان پایه حاکی از دقت بالای مدل‌سازی در تعیین میزان آب سطحی می‌باشد. نتایج جدول ۲ و شکل ٤ نشان دادند که مدل‌سازی صورت گرفته از دقت بالایی در شبیه‌سازی جریان سطحی در محل ایستگاه‌های آب‌سنجی برخوردار می‌باشد. البته دقت در ایستگاه‌هایی همچون هرزه‌ورز، سهزاب و بستان‌آباد از سایر ایستگاه‌ها کمتر بود 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.



شکل ۴- جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه آب‌سنجی در دوره‌های تطبیق مدل با شرایط حوضه، واسنجی و صحت‌سنجی.

ارزیابی سناریوهای سه گانه توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای

در این بخش تأثیر اجرای هر یک از سناریوهای تدوین شده بر تغییرات تراز آب زیرزمینی و جریان آب-های سطحی بررسی گردید.

تغییرات تراز آب زیرزمینی به ازای سناریوهای توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای

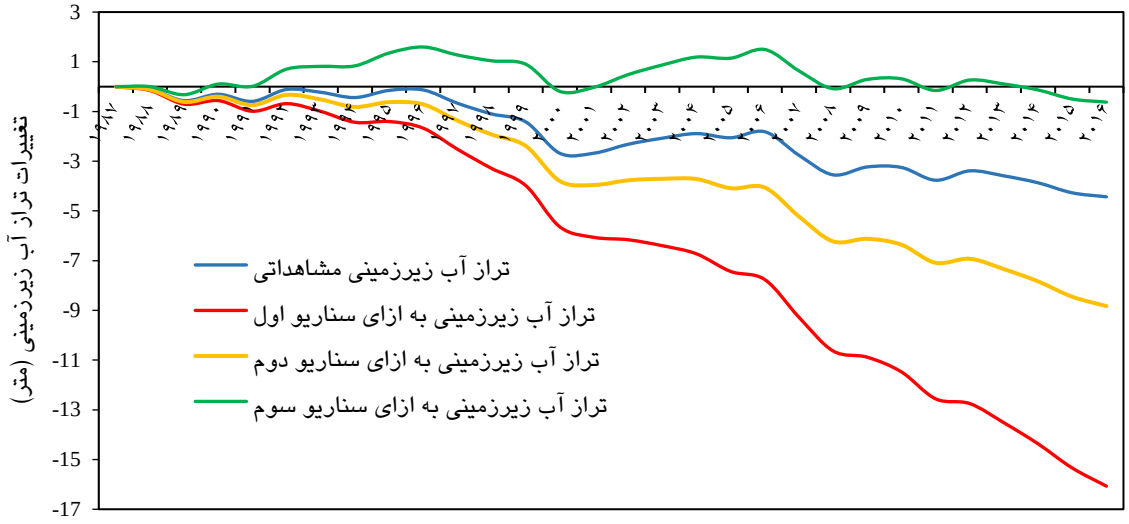
در شکل ۵ متوسط تراز آب زیرزمینی مشاهداتی آبخوان‌های حوضه آبریز آجی‌چای به ازای سناریوهای مختلف توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای نشان داده شده است. با توجه به شکل ۵، بطور متوسط تراز آب زیرزمینی در حوضه آبریز آجی‌چای در طول دوره مورد مطالعه به میزان ٤/٤٣ متر کاهش یافته است. همچنین روند تغییرات نشان می‌دهد که این حوضه در دوره‌های خشکسالی بدست آمده با استفاده از شاخص خشکسالی هربست (عیسی‌زاده و همکاران ۲۰۱٦) توانایی برگشت‌پذیری کمی دارد. در واقع تراز آب زیرزمینی حوضه در خشکسالی‌های سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰ و ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ افت شدیدی داشته است که در سال-های بعد، کمبود به وجود آمده جبران نگردیده است. به طوری که در دوره مورد بررسی سه افت حداکثر سالانه تراز آب زیرزمینی در سال ۲۰۰۰ به میزان ۱/۲٦ متر، در سال ۲۰۰۷ به میزان ۰/۹۵ متر و در سال ۲۰۰۸ به میزان ۰/۷۹ متر بوده است.

اجرای سناریو اول نشان داد که استفاده از منابع آب جدید در توسعه گلخانه‌ها باعث افت شدید منابع آب زیرزمینی گردیده است. همچنین شدت افت تراز آب زیرزمینی در دوره‌های خشکسالی ذکر شده با شدت بیشتری اتفاق می‌افتد. در ازای اجرای سناریو اول تراز متوسط آبخوان‌های حوضه آبریز آجی‌چای نسبت به تراز ابتدای دوره شبیه‌سازی ۱٦/۰۷ متر کاهش داشته و نسبت به تراز مشاهداتی انتهای دوره به میزان ۱۱/٦۷ متر کاهش را نشان داد. همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است، این سناریو به دلیل استفاده از منابع آب جدید در شهرک‌های گلخانه‌ای، بیشترین تأثیر منفی را بر منابع آب زیرزمینی داشت. در واقع به ازای این سناریو پس از رسیدن به مساحت هدف توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای، سالانه در حدود ۳۰ میلیون مترمکعب بیلان منفی برای حوضه آجی‌چای ایجاد کرد.

اجرای سناریو دوم با حذف بخشی از سطح زیر کشت مرسوم منطقه همراه بود، لذا کاهش تراز آب زیرزمینی نسبت به سناریو اول با شدت کمتری اتفاق

افتاد. در این سناریو تراز متوسط آبخوان‌ها نسبت به تراز ابتدای دوره شبیه‌سازی ۸/۸۳ متر کاهش داشته و نسبت به تراز مشاهداتی انتهای دوره به میزان ٤/٤١ متر کاهش را نشان داد. این سناریو بیشتر توسط کشاورزانی که حق آبه قانونی داشته و تمایل به توسعه گلخانه با منابع آب شخصی دارند، صورت می‌پذیرد که به نوبه خود بیلان منفی را برای آبخوان‌ها بهمراه دارد.

حالت ایده آل توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای در سناریو سوم براساس توازن نسبی در تولید محصولات درنظر گرفته شد. اجرای این سناریو موجب افزایش تراز آب زیرزمینی کلیه آبخوان‌ها، جبران بیلان منفی ۳۰ ساله در بیشتر آبخوان‌ها وتغذیه رودخانه‌های حوضه آبریز آجی‌چای گردید. بنابراین در ازای اجرای این سناریو تراز متوسط آبخوان‌ها نسبت به تراز ابتدای دوره شبیه‌سازی ۰/٦٢ متر کاهش داشته و نسبت به تراز مشاهداتی انتهای دوره به میزان ۳/۸٦ متر افزایش را نشان داد. علت اصلی کاهش تراز در انتهای دوره شبیه‌سازی مربوط به دو دوره خشکسالی شدید در منطقه و برداشت بسیار زیاد از آبخوان دامنه شمالی سهند برای مصارف شرب می‌باشد.



شکل ۵ – تراز متوسط مشاهداتی و شبیه‌سازی شده آبخوان‌های حوضه آبریز آجی‌چای به ازای سناریوهای مختلف توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای.

تغییرات جریان سطحی به ازای سناریوهای توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای

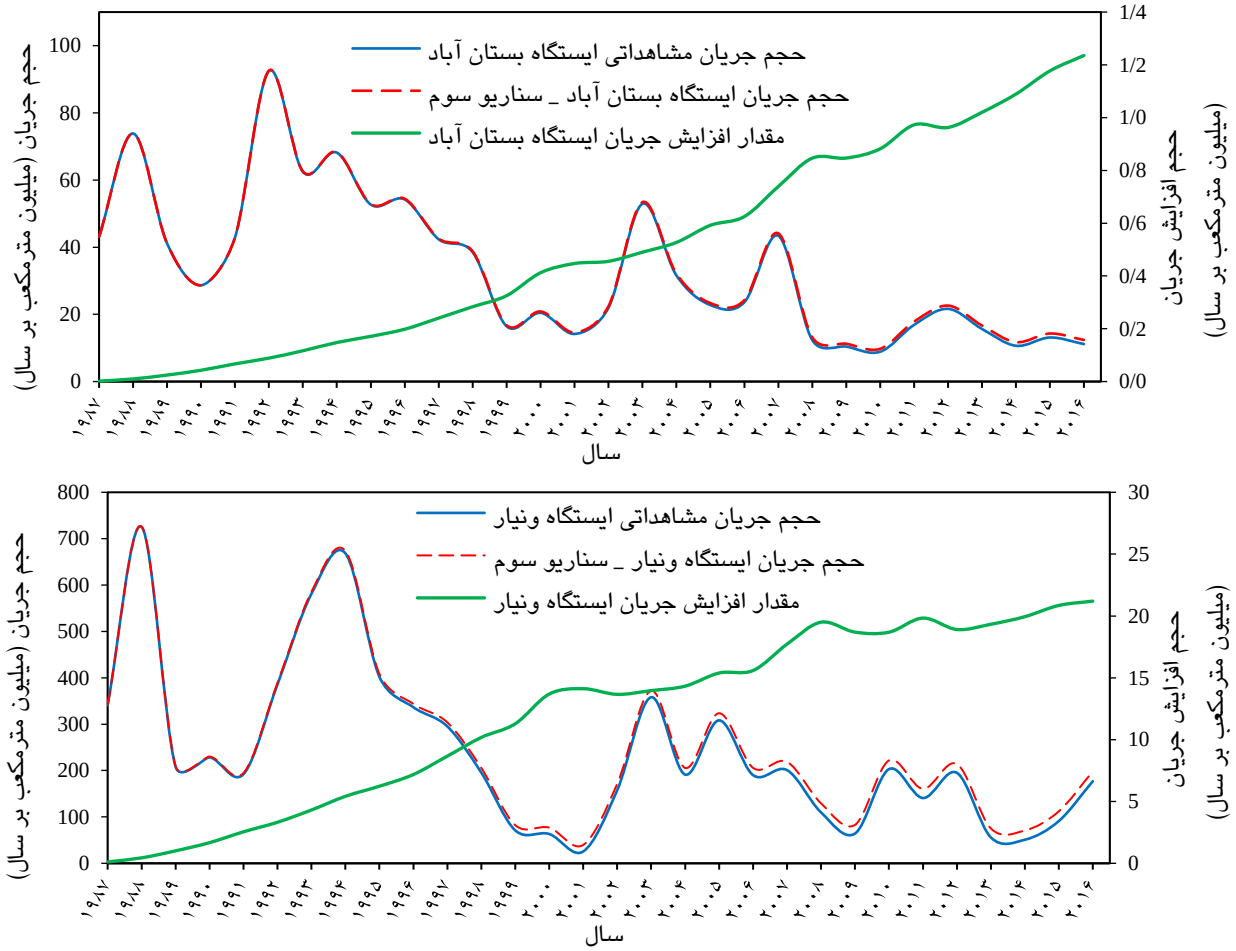
احیای آب‌های زیرزمینی به عنوان عامل اصلی تغذیه کننده رودخانه‌ها می‌تواند نقش اساسی در تأمین نیاز زیست محیطی دریاچه ارومیه داشته باشد. در این تحقیق، سناریو اول و دوم موجب ایجاد روند نزولی آب‌های زیرزمینی در آبخوان‌ها گردیدند که این عامل باعث گردید تغییر خاصی در جریان‌های سطحی حوضه آبریز آجی‌چای صورت نپذیرد. ولی سناریو سوم با افزایش تراز آب در کلیه آبخوان‌ها و برگشت تراز بیشتر آبخوان‌ها به تراز سال ۱۳۷۱، زمینه تغذیه بیشتر رودخانه‌ها را فراهم کرد. در شکل ٦ تأثیر احیای آبخوان‌ها و تغذیه رودخانه‌ها در سه ایستگاه آب‌سنجی بستان‌آباد، ونیار و آخولا نشان داده شده است.

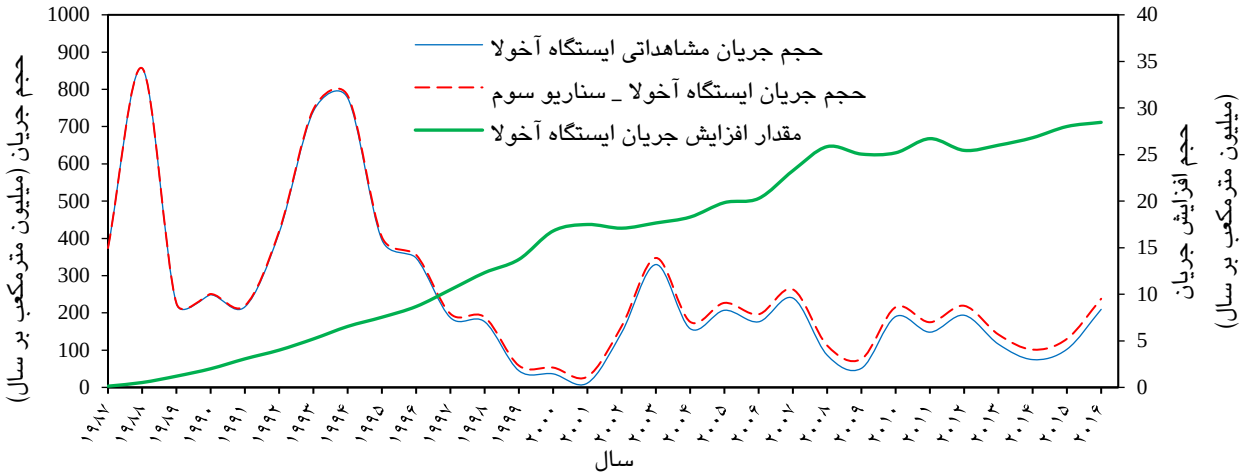
ایستگاه آب‌سنجی بستان‌آباد به عنوان یکی از ایستگاه‌های واقع در سرشاخه‌های رودخانه آجی‌چای در دوره مورد بررسی دارای متوسط آورد سالیانه ۳۳/٦ میلیون مترمکعب می‌باشد که در آخرین ده سال دوره مورد بررسی به ١٦/٤ میلیون مترمکعب کاهش یافته است. اجرای سناریو سوم در حوضه بالادست این ایستگاه موجب افزایش تدریجی جریان سطحی گردیده است که در انتهای دوره شبیه‌سازی افزایش جریان به

میزان ۱/۲٤ میلیون مترمکعب جریان پایه در سال بود. افزایشی بودن روند حجم جریان رودخانه در این ایستگاه، به علت عدم احیای کامل این آبخوان در دوره شبیه‌سازی (جبران ۹ متر افت تراز متوسط آبخوان) می‌باشد.

ایستگاه آب‌سنجی ونیار به عنوان ایستگاه میانی حوضه آبریز آجی‌چای دارای متوسط آورد سالیانه ۲٤۰/٥ میلیون مترمکعب می‌باشد که در آخرین ده سال دوره مورد بررسی به ۱۲۸/۹ میلیون مترمکعب کاهش یافت. حوضه بالادست این ایستگاه شامل آبخوان‌های بستان‌آباد، اسب فروشان، سراب، مهربان، دوزدوزان و هریس می‌باشد که اجرای سناریو سوم در این آبخوان‌ها موجب افزایش تدریجی جریان سطحی در این ایستگاه گردید. در انتهای دوره شبیه‌سازی افزایش حجم جریان در این ایستگاه به میزان ۲۱/۲ میلیون مترمکعب جریان پایه در سال بود. روند افزایشی حجم جریان رودخانه در این ایستگاه، به علت عدم احیای کامل بیشتر آبخوان‌های بالادست آن به حالت پایدار رسیده است که در آخر دوره بیشتر متاثر از متغیرهای اقلیمی می‌باشد.

ایستگاه آب‌سنجی آخولا به عنوان یکی از ایستگاه‌های آب‌سنجی انتهای حوضه آبریز آجی‌چای دارای متوسط آورد سالیانه ۲٤۹/٤ میلیون مترمکعب می‌باشد که در آخرین ده سال دوره مورد بررسی به ۱٤۱/۱ میلیون مترمکعب کاهش یافته است. حوضه بالادست این ایستگاه شامل آبخوان‌های بستان‌آباد، اسب فروشان، سراب، مهربان، دوزدوزان، هریس، دامنه شمالی سهند و بخشی از آبخوان تبریز می‌باشد. در انتهای دوره شبیه‌سازی افزایش حجم جریان در این ایستگاه به میزان ۲۸/٥ میلیون مترمکعب جریان پایه در سال بوده است. روند افزایشی حجم جریان رودخانه در این ایستگاه، به علت عدم احیای کامل بیشتر آبخوان‌های بالادست آن به حالت پایدار رسیده است.





شکل ۶- حجم جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه‌های آب‌سنجی بستان‌آباد، ونیار و آخولا بهمراه میزان افزایش حجم جریان ایستگاه‌ها به ازای سناریو سوم توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای.

با توجه به نتایج بدست آمده، حذف تقریبا ۱۹ درصد از سطح زیر کشت رایج منطقه در سناریو سوم و جایگزینی آن با ۱۸۷۵ هکتار گلخانه نمی‌تواند حجم بسیار زیادی آب به سمت دریاچه ارومیه جاری کند. با توجه به مدل‌سازی صورت گرفته عدم افزایش جریان بالای ۱۰۰ میلیون مترمکعب در سال را می‌توان به علت موارد زیر دانست. اول اینکه حجم تبخیر-تعرق واقعی در هر هکتار گلخانه تقریبا برابر با سه و نیم هکتار از اراضی مرسوم منطقه می‌باشد. دومین دلیل افزایش آبدهی چاه‌های واقع در آبخوان‌های حوضه آبریز آجی-چای و برداشت بیشتر از شرایط کنونی آن‌ها از آب‌های زیرزمینی می‌باشد. زیرا بسیاری از چاه‌ها به علت افت تراز آب زیرزمینی، آبدهی آن‌ها از آبدهی مجاز پروانه بهره‌برداری کمتر بوده و با افزایش تراز آب زیرزمینی به ازای سناریو سوم، آبدهی چاه‌های کشاورزی بیشتر می‌گردد. دلیل سوم برداشت مجاز و غیر مجاز از آب-های سطحی در طول مسیر رودخانه آجی‌چای (از سرشاخه‌ها تا خروجی حوضه) می‌باشد. در واقع عوامل فوق موجب گردیده‌اند تا کلیه کاهش برداشت صورت گرفته از سناریو سوم به پیکره دریاچه ارومیه وارد نگردد.

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 احمدزاده و همکاران (۲۰۱۶) و رضایی زمان و همکاران (۲۰۱۶) 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. این مطالعه نیز نشان داد که افزایش بهره‌وری فیزیکی آب، در حالت توسعه کنونی شهرک‌های گلخانه‌ای نمی‌تواند موجب احیای آبخوان‌ها و در نتیجه افزایش جریان‌های سطحی گردد.

لازم به ذکر است که حالت‌های دیگری برای توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای (بین سناریو دوم و سوم) می‌توان درنظر گرفت، که تأثیرات مثبت و منفی آن‌ها بر منابع آب سطحی و زیرزمینی حالت‌هایی بین نتایج دو سناریو ذکر شده می‌باشد. 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 کلی

کشت در محیط‌های بسته به علت کاهش میزان تبخیر و تعرق گیاه، عدم تأثیر 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 تحولی 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 شهرک-های گلخانه‌ای تنظیم گردید. جهت ارزیابی اثرات اجرای سناریوهای توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای، مدل ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT) استفاده گردیده است.

اجرای سناریوهای اول، دوم و سوم نشان دادند که تراز متوسط آبخوان‌های حوضه آبریز آجی‌چای نسبت به تراز ابتدای دوره شبیه‌سازی به ازای هر یک از سناریوها نسبت به تراز مشاهداتی انتهای دوره به ترتیب به میزان ۱۱/٦۷ متر کاهش، ٤/٤۱ متر کاهش و ۳/۸٦ متر افزایش داشته است. همچنین ایستگاه آب‌سنجی آخولا به عنوان یکی از ایستگاه‌های آب‌سنجی انتهای حوضه آبریز آجی‌چای در انتهای دوره شبیه‌سازی سناریو سوم، دارای افزایش حجم جریان به میزان ۲۸/۵ میلیون مترمکعب در سال بوده است.

نتایج اجرای سناریوهای توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای نشان دادند که نوع سیاست‌ها و نحوه‌ی اجرای توسعه شهرک‌های گلخانه‌ای می‌توانند باعث افزایش تولید محصولات کشاورزی و همچنین کاهش و یا افزایش تراز آب زیرزمینی در آبخوان‌های حوضه آبریز آجی‌چای گردد. تأثیر منفی بر منابع آب زیرزمینی و سطحی 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 و سطحی جهت تأمین نیاز تبخیر و تعرق گیاهان کشت شده در محیط گلخانه‌ها می‌گردد.

با توجه نتایج در این حوضه آبریز نمی‌توان با کاهش بخشی از برداشت از آب‌های سطحی و زیرزمینی، دقیقا همان مقدار از کاهش برداشت را در خروجی حوضه یا آبخوان‌ها مشاهده کرد. علت این امر نیز افزایش آبدهی چاه‌ها و همچنین افزایش برداشت مجاز و غیر مجاز از منابع آب سطحی می‌باشد. نتایج مدل به ازای اجرای سناریو سوم نشان داد که حالت‌های زیادی برای افزایش همزمان تولید محصولات کشاورزی و افزایش تراز آب زیرزمینی و جریان سطحی 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 گلخانه-ای، 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 مورد استفاده

Abbaspour KC, 2008. SWAT Calibration and Uncertainty Programs. Department of Systems Analysis, Integrated Assessment and Modelling (SIAM). Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Duebendorf, Switzerland.

Ahmadzadeh H, Morid S, Delavar M and 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 MR, Moghadam MR and 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.

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 March 2014, CIWP, Tehran, Iran.

Arnold JG, Kiniry JR, Srinivasan R, Williams JR, Haney EB and Neitsch SL, 2012. Input/Output Documentation Version 2012. Soil and Water Assessment Tool.

Arnold JG, Srinivasan R, Muttiah RS and Williams JR, 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 AH, Bhaduri A, Bunn SE, Jackson SE, Tharme RE, Tickner D, Young B, Acreman M, Baker N, Capon S and Horne AC, 2018. The Brisbane Declaration and global action agenda on environmental flows. Frontiers in Environmental Science 6: 45.

Bucak T, Trolle D, Andersen HE, Thodsen H, Erdoğan Ş, Levi EE, Filiz N, Jeppesen E and Beklioğlu 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 and Yin Y, 2009. Impacts of land use change scenarios on storm-runoff generation in Xitiaoxi basin, China. Quaternary International 208(1-2):121-128.

Chunyu X, Huang F, Xia Z, Zhang D, Chen X and Xie Y, 2019. Assessing the ecological effects of water transport to a lake in arid regions: A case study of Qingtu Lake in Shiyang River basin, Northwest China. International Journal of Environmental Research and Public Health 16(1):145.

Dehghanipour AH, Schoups G, Zahabiyoun B and 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 SA, Azizyan G, Sardar Shahraki A, Ertsen MW and 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 and 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 JE and Araújo JA, 2003. Reference evapotranspiration estimation inside greenhouses. Scientia Agricola 60:591-594.

Gebremicael TG, Mohamed YA, Betrie GD, Van Der Zaag P and 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 and 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 and 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.

Isazadeh M, Kaki M and Fakheri Fard A, 2016. Analysis of rainfall trend and evaluation of weather droughts of Iran using the Herbst method. Water and Soil Science 26(3):127-143. (In Persian with English abstract)

Jägermeyr J, Gerten D, Heinke J, Schaphoff S, Kummu M and 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.

Laurance WF, 2007. Forests and floods. Nature 449:409-410.

Lin B, Chen X, Yao H, Chen Y, Liu M, Gao L and James A, 2015. Analyses of landuse change impacts on catchment runoff using different time indicators based on SWAT model. Ecological Indicators 58:55-63.

Malano HM and Davidson B, 2009. A framework for assessing the trade-offs between economic and environmental uses of water in a river basin. Irrigation and Drainage 58(S1):S133-147.

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

Mpusia PT, 2006. Comparison of water consumption between greenhouse and outdoor cultivation. Enschede: ITC.

Neitsch SL, Arnold JG, Kiniry JR and Williams JR, 2011. Soil and Water Assessment Tool—version 2009-User's Manual. Springer, Temple.

Panahi DM, Kalantari Z, Ghajarnia N, Seifollahi-Aghmiuni S and 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 and 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 HD, 2017. Asia's glaciers are a regionally important buffer against drought. Nature 545:169-174.

Raeisi LG, Morid S, Delavar M and Srinivasan R, 2019. Effect and side-effect assessment of different agricultural water saving measures in an integrated framework. Agricultural Water Management 223:105685.

Rezaei Zaman MR, Morid S and 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 and 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 58(4):383-392.

Saha PP, Zeleke K and Hafeez M, 2013. Streamflow modeling in a fluctuant climate using SWAT: Yass River catchment in south eastern Australia. Environmental Earth Sciences 71(12):5241-5254.

Schulz S, Darehshouri S, Hassanzadeh E, Tajrishy M and Schüth C, 2020. Climate change or irrigated agriculture–what drives the water level decline of Lake Urmia. Scientific Reports 10(1):1-10.

Scott CA, Vicuña S, Blanco-Gutiérrez I, Meza F and 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. IWMI Water Brief.

Shadkam S, Ludwig F, van Vliet MT, Pastor A and 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.

Valipour M, Ziatabar Ahmadi M, Raeini-Sarjaz M, Gholami Sefidkouhi MA, Shahnazari A, Fazlola R and Darzi-Naftchali A, 2015. Agricultural water management in the world during past half century. Archives of Agronomy and Soil Science 61(5):657-678.

Von Zabeltitz C, 2010. Integrated greenhouse systems for mild climates: climate conditions, design, construction, maintenance, climate control. Springer Science & Business Media.

Wang J, Song C, Reager JT, Yao F, Famiglietti JS, Sheng Y, MacDonald GM, Brun F, Schmied HM, Marston RA and Wada Y, 2018. Recent global decline in endorheic basin water storages. Nature Geoscience 11(12):926-932.

Ward FA and Pulido-Velazquez M, 2008. Water conservation in irrigation can increase water use. Proceedings of the National Academy of Sciences 105(47):18215-18220.

Williams JR, 1995. The EPIC model. Computer models of watershed hydrology: 909-1000.

Xue J, Gui D, Lei J, Sun H, Zeng F and 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 VJ, Samarkhanov K and 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.

Yasi M and Ashori M, 2017. Environmental flow contributions from in-basin rivers and dams for saving Urmia Lake. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering 41(1):55-64.

Zarghami M, 2011. Effective watershed management; case study of Urmia Lake, Iran. Lake and Reservoir Management 27(1):87-94.