Archive of SID

تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال شانزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹
Volume 16, No. 2, Summer 2020 (IR-WRR)
۳۴۶-۳۶۲

پیاده‌سازی سیستم حسابداری آب +WA در سطح حوضه آبریز و چالش‌های پیش روی آن (درس آموخته‌ها از مطالعه موردی حوضه آبریز طشک-بختگان)

مجید دلاور[۱*]، سعید مرید[۲] و لیلا گلی رئیسی[۳]

چکیده

تحلیل سیستم‌های منابع آب به منظور تدوین راهبردهای مدیریتی مناسب و حل مسائل و موضوعات آبی مستلزم وجود اطلاعات مختلف به منظور ایجاد درکی مناسب و عمیق از فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه، جریان‌های آب قابل مدیریت و غیرقابل مدیریت، ارتباط با کاربری اراضی و ارائه تصویری جامع در این خصوص است. در این راستا، چارچوب حسابداری آب به عنوان ابزاری مفید با یکپارچه‌سازی اطلاعات مختلف، بنایی برای مدیریتی جامع و یکپارچه برای منابع آب و به‌کارگیری سیاست‌هایی هدفمند را با شیوه‌ای آگاهانه فراهم می‌نماید. هدف این مقاله ارائه روش‌شناسی استقرار حسابداری آب حوضه آبریز کشور بر اساس نتایج مدل مفهومی ویژه‌سازی شده SWAT-FARS و چارچوب حسابداری آب +WA می‌باشد. در این مطالعه حوضه آبریز طشک بختگان در استان فارس به عنوان منطقه پایلوت مطالعاتی در نظر گرفته شد و تحلیلی از شرایط حوضه آبریز در دو دوره زمانی بر مبنای نتایج حسابداری آب آن ارائه گردید. تحلیل نتایج حاکی از راندمان حوضه‌ای حدود ۸۰ درصدی حوضه آبریز طشک بختگان و بسته بودن حوضه به واسطه مصرف قابل توجه آب قابل مدیریت حوضه می‌باشد. در این حوضه به واسطه تغییر شرایط اقلیمی، منابع آب قابل مدیریت حوضه کاهش یافته است و در این شرایط نه تنها مصارف مدیریت شده آب در حوضه (تبخیر-تعرق تکمیلی) کاهش نداشته، بلکه به میزان قابل توجهی (۵۳ درصد) نیز بر آن افزوده شده است. این مسأله منجر به کاهش جریانات خروجی به عنوان تأمین‌کننده حقابه دریاچه شده است. علاوه بر این، نتایج نشان‌دهنده افزایش کسری مخزن آب زیرزمینی و وضعیت ناپایدار بهره‌برداری از آن‌ها است. افزایش تعرق گیاهان در سطح اراضی کشاورزی به واسطه گسترش سطح اراضی و افزایش گیاهان پرمصرف‌تر و سهم قابل توجه تبخیر از خاک از کل مصارف غیر سودمند حوضه از دیگر عوامل تأثیرگذار بر شرایط کنونی حوضه آبریز طشک بختگان است. از طرفی مقدار قابل توجهی از آب برداشتی برای کشاورزی مجدداً به چرخه منابع آب حوضه برمی‌گردد که بر لزوم برنامه‌ریزی براساس "مصرف" تا "برداشت" تأکید دارد.

کلمات کلیدی: حسابداری آب، مدل SWAT، مصرف واقعی، آب قابل مدیریت.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۹/۱۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۶/۳۰

۱- استادیار، گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۲- استاد، گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۳۹۹ امکانپذیر است.

Implementation of the WA+ Water Accounting System at the Basin Level and the Challenges (Lessons Learned From the Case Study of Tashk - Bakhtegan Basin)

M. Delavar[1] , S. Morid[2], and L. Goli Raeisi[3]*

Abstract

To develop appropriate management strategies and solve water issues, the analysis of water resources systems requires different information to provide a deep and proper understanding of the hydrological processes of the basin, manageable and unmanageable water flows, and interactions with land use and provide a comprehensive picture on this issue. In this regard, by integrating various structural information for a comprehensive integrated management of water resources and applying targeted policies, water accounting framework is consciously provided as a useful tool. The aim of this paper is to provide an application of Water Accounting Plus (WA^+) Framework in the Tashk-Bakhtegan basin based on modification of the Soil Water Assessment Tool (SWAT) model. In this study, it has been provided an analysis of basin conditions in three time periods based on Water Accounting Plus (WA^+). The analysis of the results indicates that the Tashk-Bakhtegan basin is a closed basin. In this basin, due to climate change, the manageable water resources have been remarkably declined and unfortunately, not only water managed consumption in the basin (Supplementary Evapotranspiration) have not been reduced but also it has been considerably increased (53%). This has led to a decrease in outflows as the water right supplier of the lake. Moreover, the results indicate an increase in groundwater resources deficiencies and their unsustainable exploitation. Increasing transpiration of plants in agricultural land is another factor influencing the current situation of the Tashk-Bakhtegan basin, due to the expansion of the land area and the increase of high water consuming plants as well as significant contribution of the soil evaporation of the total nonbeneficial consumption of the basin. At the other hand, a significant amount of agriculture water withdrawal is returned to the water basin cycle which emphasizes on "depletion "to "withdrawal" planning.

Keywords: Water Accounting, SWAT Model, Real Water Consumption, Manageble Water.

Received: December 9, 2019
Accepted: September 20, 2020

1- Assisstant Professor, Water Resources Engineering Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: m.delavar@modares.ac.ir
2- Professor, Water Resources Engineering Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
3- M.Sc. Graduated Student, Water Resources Engineering Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
*- Corresponding Author

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

افزایش جمعیت، رشد اقتصادی و حرکت به سمت توسعه‌ی بیشتر و هم‌چنین تغییر اقلیم منجر به کمبود فزاینده آب در دنیای امروز به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک شده است. مقابله با کمبود آب و افزایش رقابت بخش‌های مختلف بر سر آب مستلزم تصمیمات و راهبردهای مدیریتی مناسب است. تحلیل سیستم‌های منابع آب به منظور تدوین این راهبردها و حل مسائل و موضوعات آبی به درکی مناسب و عمیق از فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه، جریان‌های آب قابل مدیریت و غیرقابل مدیریت، ارتباط با کاربری اراضی و فرصت‌هایی برای کاهش اثرات منفی و افزایش منافع مصرف آب نیاز دارد. با این نگاه، می‌توان به‌طور واقعی راهبردهای مدیریتی را در جهت کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری ارائه نمود. مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب[1] (IWMI) (Seckler, 1999) با دیدگاه افزایش بهره‌وری آب مفهومی به نام "ذخیره‌سازی واقعی آب" را پیشنهاد کردند که مبتنی بر پارادایم نئوکلاسیک می‌باشد. این پارادایم بر این باور است که هر اقدامی در یک جزء می‌تواند تبعاتی برای سایر اجزاء داشته باشد. بر این اساس دست‌یابی به راهبردهایی با تمرکز بر مفهوم ذخیره‌سازی واقعی آب مستلزم استفاده از چارچوبی برای تحلیل مصارف در چارچوب بیلان آب حوضه و تفسیر یکپارچه نتایج است. در این خصوص استفاده از چارچوب‌های حسابداری آب به منظور تحلیل نتایج و تفسیر یکپارچه تغییرات سیستم‌های منابع آب و کشاورزی می‌تواند بسیار کارآمد باشد. حسابداری آب فرایند ایجاد ارتباط بین اطلاعات منابع آبی و خدمات حاصل از استفاده مصرف‌کننده در یک محدوده جغرافیایی همچون یک حوضه آبریز، یک کشور یا یک کلاس کاربری اراضی با کاربرانی همچون سیاست‌گذاران، صاحب‌اختیاران آب، مدیران و غیره است. در طی دهه‌های اخیر، رویکردهای بسیاری همچون حسابداری اقتصادی زیست‌محیطی برای آب (SEEAW[2])، رویکرد حسابداری آب مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب (IWMI)، حسابداری آب WA+[3] با هدف استانداردسازی روش گزارش‌دهی اطلاعات مرتبط با آب ارائه شده‌اند. از بین این چارچوب‌ها چارچوب حسابداری اقتصادی زیست‌محیطی برای آب مبتنی بر برداشت آب است در حالی‌که چارچوب حسابداری آب مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب (IWMI) مبتنی بر مصرف آب است. چارچوب حسابداری آب WA+ نیز از اصول چارچوب حسابداری آب IWMI یعنی مصرف آب به جای برداشت آب استفاده می‌کند اما جزییات بیشتری را در فرایندها و مکانیزم‌های اصلی آن در نظر می‌گیرد و در واقع ارتقا یافته چارچوب حسابداری آب ارائه شده توسط مؤسسه IWMI می‌باشد. چارچوب حسابداری آب WA+ یک چارچوب جدید برای حسابداری آب است که توسط مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب (IWMI) در همکاری با سازمان یونیسف توسعه یافته است. چارچوب WA+ یک سیستم استاندارد جمع‌آوری اطلاعات را با استانداردهای کیفی شناخته شده از طریق مجموعه‌ای از نشانگرها نشان می‌دهد و اطلاعاتی را از طریق تعدادی گزارش استاندارد ارائه می‌دهد (Karimi et al., 2012, 2013b). برای محاسبه این چارچوب امکان استفاده از روش‌شناسی‌های مختلفی وجود دارد. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای رویکردی بوده که Karimi et al. (2013) برای محاسبه حسابداری آب حوضه‌های نیل و هندوس به‌کار بردند. فائو نیز همین رویکرد را برای حوضه هیرمند[4] و هم اکنون برای حوضه آبریز دریاچه ارومیه در دستور کار دارد[5]. در مطالعه Dembele et al. (2017) سناریوهای تغییراقلیم در چارچوب WA+، برای پیش بینی وضعیت منابع آب به کار گرفته شد. در دانشگاه تربیت مدرس برای اولین بار این چارچوب به مدل‌های مفهومی (مدل SWAT[6]) وصل شد. ویژگی این رویکرد آن است که امکان حسابداری آب حوضه‌های آبریز را تحت سناریوهای مختلف اقلیمی و مدیریتی نیز فراهم می‌آورد. بر این اساس، Farokhnia et al. (2015) مدل SWAT-LU را برای مدل‌سازی جامع حوضه دریاچه ارومیه و ارزیابی راهکارهای مد نظر ستاد احیاء؛ و Delavar et al. (2016) مدل SWAT-FARS را برای طرح ملی "تدوین راهبردها و برنامه ملی سازگاری با تغییر اقلیم در بخش آب"[7] توسعه دادند. هم‌اکنون نیز مدل SWAT-KARKHEH (Delavar et al., 2017) برای طرح "تهیه مدل جامع شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه کرخه جهت ارزیابی اثرات تغییرات محیطی بر آبدهی در بالادست سد کرخه و توسعه سامانه پیش‌بینی بلندمدت جریان"[8] در حال توسعه است. ملاحظه می‌گردد که این روش‌شناسی از بستر تحقیقاتی خارج شده و در حوزه‌های مطالعاتی و فنی در حال رشد می‌باشد. مجموعه تجربیات بالا و دانش مربوط، این ظرفیت را فراهم نموده است تا رویکرد مطرح شده با توسعه مدل ملی SWAT-PARS در خدمت مدیریت آب کشور به‌خصوص در شرایط خاص حاضر که منابع آب با محدودیت‌های شدیدی روبرو می‌باشد؛ قرار گیرد. در مطالعاتی که تاکنون انجام شده در چارچوب‌های حسابداری آب نتایج قابل تعمیم به اقدامات مختلف و دوره‌های مختلفی نبوده است. با توجه به موارد فوق، هدف این مقاله ارائه روش‌شناسی استقرار حسابداری آب حوضه آبریز کشور بر اساس نتایج مدل مفهومی ویژه‌سازی شده SWAT-FARS و چارچوب حسابداری آب WA+ می‌باشد. در این مطالعه حوضه آبریز طشک بختگان در استان فارس به عنوان یکی از مناطق پایلوت مطالعاتی انجام شده در سطح کشور در نظر گرفته شد و ظرفیت‌ها و امکاناتی که رویکرد پیشنهادی در این مطالعه در بررسی وضعیت حوضه و همچنین کمک به بهبود تصمیمات راهبردی در مدیریت منابع آب و کشاورزی آن ایجاد می‌کند مورد تحلیل قرار گرفته است.

www.SID.ir

Archive of SID

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه طشک- بختگان به عنوان یکی از مناطق پایلوت مطالعاتی در سطح کشور با وسعت ۲۷۵۲۳ کیلومتر مربع در محدوده جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۲ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی گسترش یافته است که بلندترین نقطه آن در غرب حوضه به ارتفاع حدود ۳۹۰۰ متر از سطح دریای آزاد و کمترین ارتفاع در حاشیه دریاچه طشک- بختگان به ارتفاع حدود ۱۶۲۰ متر می‌باشد. این حوضه یکی از حوضه‌های درجه ۲ آبریز فلات مرکزی ایران بوده و بخش‌هایی از مناطق شمال، مرکز و جنوب شرقی استان فارس به همراه مناطق جزیی از استان کهگیلویه و بویراحمد را شامل می‌شود (شکل ۱). ارتفاع بارش در این محدوده از حدود ۱۵۰ میلی‌متر در دشت‌های مرکزی الی ۶۵۰ میلی‌متر در ارتفاعات تغییر می‌کند و متوسط بارش حدود ۳۲۰ میلی‌متر می‌باشد. سد درودزن به‌عنوان یکی از قدیمی‌ترین سدهای کشور و سدهای ملاصدرا و سیوند از جمله سدهایی هستند که در دهه‌های اخیر به منظور کنترل سیلاب‌ها، تأمین آب برای نیازهای شرب، کشاورزی، صنعت و تولید برق در این حوضه به بهره‌برداری رسیده‌اند. بروز خشکسالی‌های چند سال اخیر، عدم رعایت حقابه‌های رودخانه‌ها، تالاب‌ها و دریاچه‌ها و برداشت بی‌رویه از منابع آب سطحی مشکلات جدی را در این حوضه ایجاد نموده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل بیابان‌زایی حوضه آبریز طشک- بختگان در دو مقطع زمانی سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۹۲ که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شده است، حدود ۱۱۷ هزار هکتار از پهنه‌های آبی این حوضه (شامل دریاچه‌های طشک، بختگان و دریاچه کافتر) در طول ۲۶ سال گذشته از بین رفته و تبدیل به نمک‌زارهای مستعد تولید گرد و غبار شده است (Iran Ministry of Energy, 2013).

۲-۲- چارچوب حسابداری آب WA+

در این مطالعه چارچوب آب WA+ به عنوان چارچوب منتخب حسابداری آب مد نظر قرار گرفت. سیستم حسابداری آب WA+، نسخه ارتقاء یافته حسابداری آب ارائه شده توسط مؤسسه IWMI و به عنوان یکی از متداول‌ترین رویکردهای حسابداری آب بر پایه مصرف می‌باشد. این رویکرد حسابداری بر پایه برآورد مصرف واقعی آب به جای برداشت از منابع آب توسعه داده شده است. مصرف واقعی آب در سیستم حسابداری WA+ به عنوان حجم آبی که توسط مصرف‌کنندگان از کل موجودی آب کسر می‌گردد و در پایین‌دست قابل استحصال و استفاده نیست، تعریف می‌گردد. مصرف واقعی آب به واسطه تبخیر- تعرق، انتقال به منبع غیرقابل استفاده، وجود فیزیکی آب در محصولات و یا افت شدید کیفیت آب صورت می‌گیرد. این سیستم برای توصیف وضعیت یک محدوده جغرافیایی (حوضه، محدوده مطالعاتی و غیره) در ۸ گزارش مجزا تعریف گردیده که مشخصات کلی ۴ گزارش کلیدی آن در خصوص توصیف وضعیت هیدرولوژیکی و بهره‌وری آب در جدول ۱ آمده است.

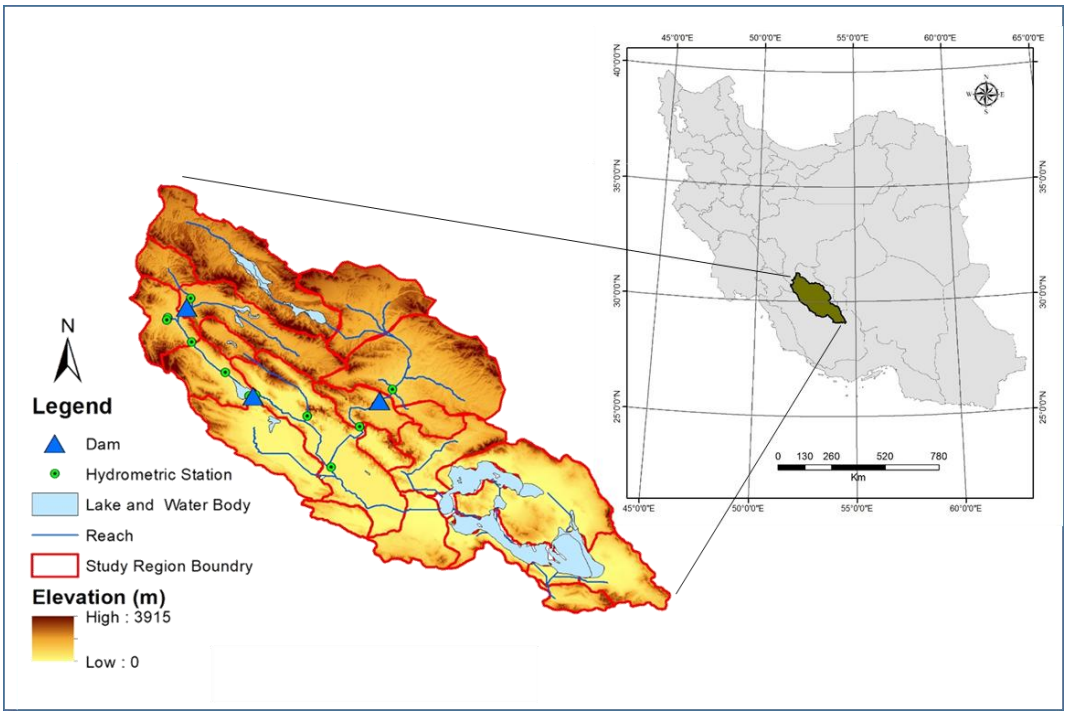

Fig. 1- The geographical location of the case study

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

Table 1- The purpose of WA+ Sheets
جدول ۱- گزارش‌های قابل ارائه در چارچوب حسابداری آب IWMI (Karimi et al., 2012)

Water sheets	Purpose
Resource Base	Hydrological, manageable, utilizable flows, water security, sustainability
Evapotranspiration	Beneficial & non-beneficial flows
Withdrawal	Management, regulations, allocations
Productivity	Biomass returns, food security and water productivity

گزارش منابع و مصارف حاوی اطلاعاتی در خصوص جریان احجام آب در سطح حوضه آبریز از جمله ورودی‌های آب حوضه، چگونگی مصرف آب و فرآیندهای مربوط به آن و جریانات خروجی از حوضه می‌باشد. گزارش تبخیر تعرق بیانگر اطلاعاتی در خصوص شرایط تبخیر- تعرق در حوضه بوده و نشان می‌دهد که چه میزان از آن در شرایط مدیریت شده، قابل مدیریت و یا غیر قابل مدیریت می‌باشد. همچنین در این گزارش مقدار تبخیر و تعرق سودمند و غیر سودمند حوضه نیز ارائه می‌شود. گزارش تخلیه نیز اطلاعاتی در خصوص نحوه جریان آب در اراضی مدیریت شده آبی ارائه می‌دهد. مصرف‌کنندگان آب در این دسته شامل مخازن و اراضی کشاورزی، شهری و صنعتی می‌باشند. آب از منابع سطحی و زیرزمینی در اختیار بخش‌های مختلف برداشت کننده قرار می‌گیرد که بخشی از آن به عنوان تبخیر- تعرق تکمیلی مصرف شده و بخش دیگر مجدداً به منابع سطحی و زیرزمینی برمی‌گردد (Karimi et al., 2012b). از ویژگی‌های حسابداری آب +WA امکان تلخیص نتایج آن بر اساس نشانگرها و شاخص‌های متنوع می‌باشد که به منظور برنامه‌ریزی و یا ارزیابی سیستم تحت اقدامات مختلف مدیریتی کارآمد هستند. بر این اساس هر گزارش مجموعه‌ای از نشانگرها را ارائه می‌دهند که وضعیت منابع آب را نشان می‌دهند. بر این اساس مهم‌ترین ویژگی‌هایی این سیستم که در شرایط فعلی کشور می‌تواند مورد توجه قرار گیرد عبارتند از:

- وجود و لحاظ بسیاری از مولفه‌های مورد استفاده در بیلان جاری آب کشور در +WA؛
- امکان ایجاد زبان مشترک بین بخش‌های مختلف و ذی‌نفعان در جهت تسهیل ارتباطات بین سازمانی؛
- رویکردی مبتنی بر مصارف (Depletion) به جای برداشت‌های آبی (Withdrawal) با تفکیک مصارف به مؤلفه‌های مختلفی مانند: مصرفی، غیر مصرفی، سودمند و غیر سودمند که بستر لازم را در پشتیبانی از رویکرد «مدیریت تقاضا» فراهم می‌آورد؛
- ارائه شاخص‌های مدیریتی و کاربردی در مدیریت منابع، مصارف، برداشت‌ها، بهره‌وری و آلودگی آب؛
- ارزیابی اقدامات مختلف در صرفه‌جویی[۹] و افزایش بهره‌وری آب و تحلیل اثرات جانبی اقدامات بردیگر مؤلفه‌های بیلان؛
- امکان اتصال آن به دیگر روش‌های حسابداری آب مانند SEEA که مؤلفه‌های اقتصادی آنها قوی‌تر از +WA می‌باشند.

۲-۳- مدل SWAT و ویژگی‌های آن در تأمین اطلاعات مورد نیاز سیستم‌های حسابداری آب

در این مطالعه به منظور تأمین نیاز اطلاعات سیستم حسابداری آب +WA از رویکرد مدل‌سازی جامع حوضه در تلفیق با داده‌های مشاهداتی و ماهواره‌ای استفاده گردید. استفاده از این رویکرد، امکان سناریوسازی تحت شرایط مختلف اقلیمی و مدیریتی و همچنین قابلیت به‌روزرسانی سریع می‌باشد. استفاده از این رویکرد ضمن تامین نیازهای اطلاعاتی سیستم حسابداری آب، با تلفیق منابع مختلف اطلاعاتی، قابلیت تحلیل طیف متنوعی از سیاست‌های مدیریتی را فراهم می‌آورد. تاکنون مدل‌های شبیه‌سازی جامع مختلفی همچون HSPF، VIC، Mike Basin، WEAP و SWAT به منظور تحلیل شرایط حوضه‌های آبریز به‌کار برده شده است که از بین این مدل‌ها مدل SWAT به عنوان یکی از پرکاربردترین آنها در بیشتر مطالعات مد نظر بوده است. قابلیت شبیه‌سازی جامع و توأم مزرعه و حوضه آبریز، دسترسی رایگان، متن‌باز بودن، امکان استفاده در مقیاس‌های مختلف مکانی و همچنین اعمال طیف متنوعی از راهکارهای مدیریتی به خصوص در بخش کشاورزی از ویژگی‌های آن می‌باشد. به عنوان نمونه‌هایی از کاربرد مدل SWAT می‌توان به کاربرد آن برای برآورد رواناب و فرسایش خاک (Ramos and Casasnovas, 2015; Degefie and Bewket, 2011)، مدلسازی کیفیت آب (Pisinaras et al., 2010)، ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی و تغییر اقلیم (Krysanova and Srinivasan, 2015; Jha et al., 2015) و اثرات اقدامات مدیریتی بر کمیت و کیفیت آب (Ullrich and Volk, 2009) اشاره کرد. از کاربردهای دیگر این مدل می‌توان به پروژه سازگاری با تغییر اقلیم اتحادیه اروپا (CCTAME) در سال ۲۰۱۲ اشاره کرد که از مدل SWAT به عنوان یک مدل شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر بخش‌های کشاورزی، انرژی و جنگل‌ها و بررسی اقدامات سازگاری استفاده کرد. همچنین مدل SWAT توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا در تعدادی از حوضه‌های بزرگ آمریکا به همراه مدل HSPF برای شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر کمیت و کیفیت آب و

www.SID.ir

Archive of SID

تحلیل راهکارهـــای سازگاری مـــورد استفاده قـــرار گـــرفت (Butcher et al., 2010).

در پروژه MICCI در کشور هند نیز که با حمایت انجمن تحقیقات محیط زیست طبیعی انگلستان (NERC) و وزارت علوم زمین هند نیز در سال ۲۰۱۲ انجام شد به منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی و ارزیابی راهکارهای مدیریت آبیاری از SWAT استفاده گردید. این پروژه در کشورهای مختلفی از جمله هند و برزیل (Sanghi and Mendelsohn, 2008)، چین (Wang et al., 2007)، کامرون (Molua and Lambi, 2007)، مصر (Eid, 2007)، سریلانکا (Kurukulasuirya and Ajwad, 2006) و همچنین در سطح قاره آفریقا (Kurukulasuriya et al., 2006) و آمریکای لاتین (Seo and Mendelsohn, 2008) انجام شد و نتایج مطالعات حاکی از قابلیت و انعطاف‌پذیری مناسب مدل SWAT در شبیه‌سازی متغیرهای مورد نیاز در سیستم‌های حسابداری آب است.

SWAT مدلی مفهومی و نیمه توزیعی بوده که توانایی پیش‌بینی اثر اقدامات مدیریتی متنوع (مدیریت کاشت و برداشت، مدیریت آبیاری، مدیریت کوددهی، مدیریت آبخیزداری، مدیریت آلاینده‌های غیرنقطه‌ای و نقطه‌ای، مدیریت سموم و آفت‌کش‌ها، مدیریت الگوی زراعی، مدیریت چرای دام و غیره) بر کمیت و کیفیت آب در حوضه‌های مختلف، با شرایط متنوع خاک و پوشش گیاهی را دارا می‌باشد. این مدل در دپارتمان کشاورزی آمریکا توسعه داده شده و با توجه به باز بودن کد برنامه و قابلیت اصلاح فرآیندها و روابط مورد استفاده در آن، نسخه‌های متعددی از آن منتشر شده است. مدل SWAT برای شبیه‌سازی حوضه، ابتدا آن را به چند زیرحوضه تقسیم می‌کند. هر زیرحوضه نیز بسته به میزان تنوع به چند قسمت دیگر به نام واحد پاسخ هیدرولوژیکی[۱۰] (HRU) تقسیم می‌شود. این واحدها قسمت‌های درون هر زیرحوضه هستند که دارای نوع خاک، کاربری اراضی و شیب یکسانی هستند (Arnold et al., 1998). در مدل نیز چرخه هیدرولوژیکی بر اساس معادله بیلان آب برای هر HRU طبق رابطه (۱) شبیه‌سازی می‌گردد:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^{t} (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (۱)$$

که در آن SW_t مقدار آب در خاک در زمان t، SW_0 مقدار اولیه آب در خاک و R_{day}، Q_{surf}، E_a، W_{seep} و Q_{gw} نیز به ترتیب عبارت‌اند از مقدار بارندگی، رواناب سطحی، تبخیر- تعرق، آب نفوذ یافته از خاک به لایه آب غیر اشباع و آب برگشتی از آب‌های زیرزمینی در زمان i.

یکی از مهم‌ترین و در عین حال پیچیده‌ترین مؤلفه‌های بیلان برآورد تبخیر تعرق واقعی می‌باشد. میزان تبخیر از سطح خاک و تعرق گیاهان در مدل به صورت جداگانه محاسبه می‌شود. پتانسیل تبخیر از خاک به عنوان تابعی از تبخیر تعرق پتانسیل و شاخص سطح برگ برآورد می‌گردد، سپس محاسبه مقدار واقعی تبخیر از خاک براساس مقدار پتانسیل آن و تابع نمایی عمق و مقدار آب موجود در خاک به انجام می‌رسد. تعرق گیاهان نیز توسط یک تابع خطی از تبخیر تعرق پتانسیل و شاخص سطح برگ محاسبه می‌شود.

شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز در SWAT در دو مرحله به انجام می‌رسد. مرحله اول یا فاز زمین[۱۱]، شبیه‌سازی مقادیر ورودی‌های اصلی مانند آب و رسوب از هر زیر حوضه به داخل مجاری زهکش و سپس مرحله روندیابی[۱۲] حرکت آن‌ها در شبکه‌های زهکش تا خروجی حوضه را شامل می‌گردد.

۲-۴- توسعه بسته نرم‌افزاری SWAT-FARS

علی‌رغم ویژگی‌های مناسب مدل SWAT برای شبیه‌سازی در مقیاس حوضه‌های آبریز، با توجه به شرایط خاص منطقه مطالعاتی و همچنین اهداف مطالعه، تغییراتی در کد برنامه به منظور تدقیق و تطبیق مدل با شرایط منطقه صورت گرفت. بر این اساس اصلاحاتی در مدل به منظور شبیه‌سازی شرایط هیدرولوژیکی در سطح حوضه، تنظیم مدل با توجه به روند تغییرات نقشه‌های کاربری اراضی و همچنین استخراج خروجی‌های مورد انتظار سیستم حسابداری آب +WA صورت گرفت و بسته نرم‌افزاری SWAT-FARS توسعه داده شد. این اصلاحات شامل انجام تغییراتی در ماژول آب زیرزمینی SWAT به منظور شبیه‌سازی روزانه تراز آب زیرزمینی، ایجاد امکان شبیه‌سازی اندرکنش‌ها و تبادلات حجم آب زیرزمینی بین زیرحوضه‌های مختلف و همچنین اصلاح ماژول آبیاری مدل به منظور تأثیرگذاری و همچنین محاسبه تلفات آبی می‌باشند. شرح کامل این اصلاحات در مرجع Delavar et al. (2016) در دسترس می‌باشد.

۲-۵- پیکره‌بندی و آماده‌سازی مدل SWAT-FARS

آماده‌سازی مدل SWAT-FARS به منظور به‌کارگیری آن در استقرار سیستم حسابداری آب +WA با استفاده از طیف گسترده‌ای از داده‌ها و اطلاعات حوضه از جمله: نقشه تراز ارتفاعی، خاک و تغییرات کاربر اراضی حوضه، سری زمانی دما و بارش روزانه، مدیریت کشاورزی و آبیاری مناطق مختلف حوضه، مشخصات فیزیکی و بهره‌برداری از آبخوان‌ها، مصارف شرب و صنعت، مشخصات سدها و دریاچه‌های حوضه و نحوه بهره‌برداری از آن‌ها انجام گرفت. به منظور اطمینان از

www.SID.ir

Archive of SID

عملکرد مدل نیز واسنجی‌های جامع و چندوجهی با استفاده از پتانسیل اطلاعات مشاهداتی موجود در کشور شامل: دبی رودخانه‌ها، جریانات پایه، عملکرد و تبخیر و تعرق محصولات، تغییرات تراز و برداشت از آبخوان‌ها و به تفکیک محدوده‌های مطالعاتی انجام گرفت.

در مطالعه حاضر پیکره‌بندی حوضه با استفاده از نقشه DEM حوضه با اندازه سلولی ۳۰ متری ASTER و همچنین با توجه به موقعیت رودخانه‌ها، ایستگاه‌های هیدرومتری، سدها و محدوده‌های مطالعاتی به منظور تطابق بیشتر با شرایط واقعی و مدیریت فعلی حوضه صورت گرفت. پس از تهیه پیکره‌بندی حوضه، واحدهای همگن هیدرولوژیکی با استفاده از برهم‌نهی[۱۳] نقشه‌های DEM، خاک و کاربری اراضی استخراج و با توجه به آن‌ها داده‌های هواشناسی، مصارف، بهره‌برداری از سدها، نحوه مدیریت زراعی و همچنین پارامترهای مورد نیاز در بخش‌های مختلف اعم از آب زیرزمینی، مخزن، برف و غیره در مدل اعمال گردید. بر این اساس کل حوضه آبریز طشک- بختگان به ۵۶ زیرحوضه تقسیم شد (شکل ۲). برای تقسیم زیرحوضه‌ها به HRUها نیز از نقشه‌های کاربری اراضی حوضه مربوط به سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۷ و ۲۰۱۵ به همراه نقشه خاک FAO استفاده گردید. بعد از تشکیل HRUها در ادامه پارامترهای مربوط به هر کدام از اجزای اصلی مدل شامل پارامترهای گیاهی، خاکشناسی، آب زیرزمینی، مدیریتی و رودخانه بر اساس آمار و داده‌های موجود به مدل معرفی گردید. در جدول ۲ به اختصار داده‌ها و منابع دریافت آن‌ها ذکر شده است.

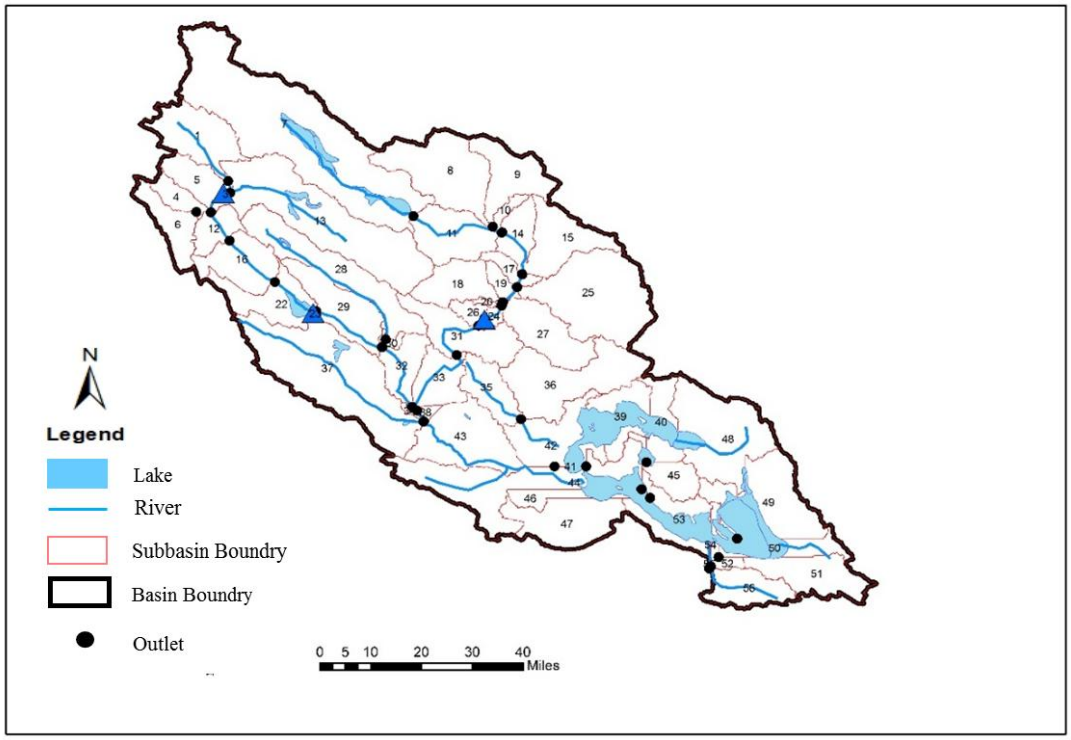

Fig. 2- SWAT-FARS model configuration of Tashk-Bakhtegan

شکل ۲- پیکربندی مدل SWAT-FARS برای حوضه آبریز طشک- بختگان

Table 2- Data used in prepration of Model

جدول ۲- داده‌های مورد استفاده در تهیه مدل SWAT-FARS

Data used	Source
DEM	Aster GDEM2, Resolution 30 m
LandUse	Iran Water Research Institute (for 1987, 2000 and 2015)
Soil	FAO-UNESCO
Climate	Iranian Meteorological Organization, Ministry of energy
River discharge	Iran Water Manaement Company
Agricultural Management (planting, harvesting, fertilization, Crop yield)	Iranian Ministry of Jahade-Agriculture (MOJA)
Dam characteristic and operation	Iran Water Manaement Company
Industry and water use rate	Iran Comprehensive Water Manaement Plan
Potential Evapotranspiration	Iran National Water Document (INWD)

www.SID.ir

Archive of SID

۳- نتایج و بحث

۳-۱- واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT-FARS

تحلیل حساسیت و واسنجی مدل با استفاده از نرم‌افزار SWAT-CUP (Abbaspour et al., 2007) و با استفاده از الگوریتم SUFI-II انجام گرفت. واسنجی و اعتبارسنجی مدل به صورت جامع و حتی‌الامکان با توجه به پتانسیل داده‌های مشاهداتی موجود شامل دبی ایستگاه‌های هیدرومتری، تراز آب زیرزمینی، دبی پایه، تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی و عملکرد محصولات در منطقه مطالعاتی انجام گرفت. بدین منظور پس از تنظیم اولیه مدل، واسنجی و اعتبارسنجی آن طی یک فرایند چند مرحله انجام می‌گیرد. در گام اول به منظور اطمینان از عملکرد مدل در شبیه‌سازی جریانات سطحی و آب زیرزمینی و اندرکنش آن‌ها، واسنجی مدل صرفاً با استفاده از داده‌های دبی، دبی پایه و تراز آب زیرزمینی انجام می‌گیرد. پس از اطمینان از عملکرد مدل در بخش اول در گام دوم، واسنجی مدل در برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی و عملکرد محصولات با استفاده از پارامترهای مؤثر انجام می‌پذیرد. با توجه به نحوه تنظیم مدل براساس نقشه‌های کاربری در دسترس و دوره دسترسی داده‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی، دوره شبیه‌سازی مدل بین سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۴ در نظر گرفته شد. از این دوره، دو سال اول به عنوان گرم کردن مدل[۱۴] در نظر گرفته شد. واسنجی مدل در این مطالعه برای دوره ۲۲ ساله اول (۱۹۸۳ الی ۲۰۰۵) صورت گرفت و ۹ سال انتهای دوره (۲۰۰۶ تا ۲۰۱۴) نیز برای اعتبارسنجی عملکرد مدل انجام گرفت. ارزیابی میزان تطابق نتایج در هر مرحله از واسنجی نیز با استفاده از شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2)، نش ساتکلیف (NS) و ریشه میانگین مجذور خطاها (RMSE) انجام گرفت. مراحل واسنجی مدل در شکل ۳ و نمونه نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل در شکلهای ۴ تا ۶ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد نتایج واسنجی مدل حاکی از مطلوبیت نتایج مدل در شبیه‌سازی مولفه‌های کلیدی بیلان آبی و همچنین عملکرد محصولات حوضه می‌باشد.

۳-۲- حسابداری آب حوضه در شرایط تاریخی بر مبنای نتایج مدل SWAT-FARS

۳-۲-۱- گزارش پایه منابع و مصارف

گزارش پایه منابع و مصارف برای سه دوره زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴، ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۴ در شکل ۷ نشان داده می‌شود. از مهم‌ترین تفاوت‌ها، کاهش حدود ۵ درصدی بارش ورودی به حوضه می‌باشد که حجم ۱۰/۶۲ میلیارد مترمکعب در دوره اول (شکل ۷ ب) را به ۱۰/۱۹ میلیارد مترمکعب (شکل ۷ ج) در دوره دوم رسانده است. در ادامه و با در نظر گرفتن تغییرات در مؤلفه‌های ذخیره حوضه، شامل تغییرات حجم ذخایر سطحی، زیرزمینی، برفی و رطوبت خاک، کاهش حدود ۹۵۰ میلیون متر مکعبی (۹ درصدی) در ورودی خالص آب حوضه مشاهده می‌شود (شکل ۷ ب و ج) که به دلیل تفاوت آن با ورودی بارش، عمدتاً به بیلان منفی ذخایر آب زیرزمینی و سطحی حوضه (سدها و دریاچه کافتر) در دوره دوم مرتبط بوده است. در مقابل ورودی‌ها، حوضه با دو خروجی عمده مواجه است که اولین و در عین حال موثرترین آن به تبخیر و تعرق طبیعی اراضی مربوط می‌باشد. طی دو دوره زمانی مورد بررسی، این مولفه حدود ۴/۳ درصد کاهش یافته است. البته بعضاً در اجزاء آن افزایش هم دیده می‌شود که ناشی از تغییرات سطح برخی کاربری‌ها نظیر اراضی کشاورزی دیم و آبی بوده است. اما اثر تغییر در شرایط اقلیمی حوضه (کاهش ۵ درصدی بارش ورودی در دوره دوم)، در تغییر مؤلفه آب قابل مدیریت خودنمایی می‌کند. مشاهده می‌گردد که این مؤلفه کاهش ۲۳ درصدی را تجربه نموده و در عین حال انتظار است تا در این شرایط، مصارف مدیریت شده آب کشاورزی در سطح حوضه (در قالب تبخیر- تعرق تکمیلی) و حقابه دریاچه را تأمین نماید. در همین راستا، نکته قابل توجه این است که علی‌رغم کاهش قابل توجه آن، مؤلفه تبخیر- تعرق تکمیلی افزایش ۵۳ درصدی را نشان می‌دهد و در مقابل جریان خروجی حوضه تا ۹۹ درصد کاهش یافته است. بدین ترتیب می‌توان گفت، در شرایطی که به واسطه تغییر شرایط اقلیمی، منابع آب قابل مدیریت حوضه کاهش یافته، نه تنها مصارف مدیریت شده آب در حوضه کاهش نداشته، بلکه به میزان قابل توجهی نیز به آن افزوده شده و در این بین، جریان خروجی به عنوان تأمین‌کننده حقابه دریاچه، مؤلفه‌ای بوده که تحت فشار هر دو عامل قرار گرفته است. به عبارت دیگر، ورودی سیستم منابع آب حوضه کاهش یافته و مصارف مدیریت شده آن افزایش یافته و بار فشار هر دو را ورودی‌های دریاچه متحمل شده است.

۳-۲-۲- گزارش تبخیر- تعرق

گزارش تبخیر تعرق شامل تفکیک مصارف آب در سطح حوضه و در دو بخش مختلف قابل مدیریت و غیر قابل مدیریت آن می‌باشد. شکل ۸ وضعیت حوضه را از منظر این گزارش برای دو دوره مورد بررسی و تغییرات آن‌ها را نشان می‌دهد. مؤلفه‌های سمت چپ شکل نشان می‌دهد که کمیت مصارف آب حوضه به تفکیک کاربری‌های مختلف اراضی به چه صورت بوده است. ملاحظه می‌گردد که تغییرات عمده این بخش در مصارف بخش اراضی مدیریت شده آبی بوده که ۳۸ درصد افزایش نشان می‌دهد که عمدتاً حاصل افزایش سطح زیرکشت آبی حوضه و آب مصرف شده ناشی از آبیاری بیشتر می‌باشد. سمت راست گزارش نیز به تفکیک، بخش‌های سودمند و غیرسودمند مصارف آب در سطح حوضه را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

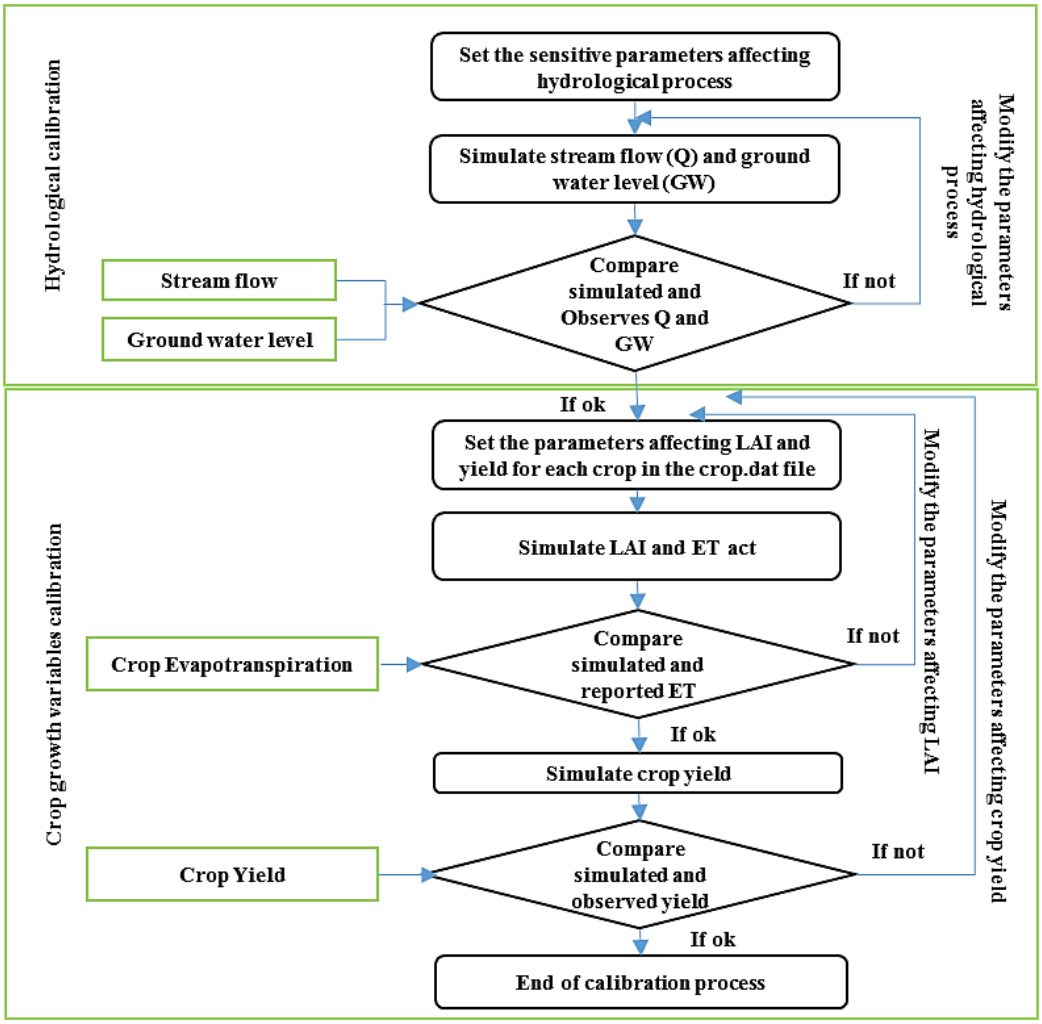

Fig. 3- Framework for the model calibration and validation process

شکل ۳- چارچوب کلی فرایند آماده‌سازی و واسنجی مدل

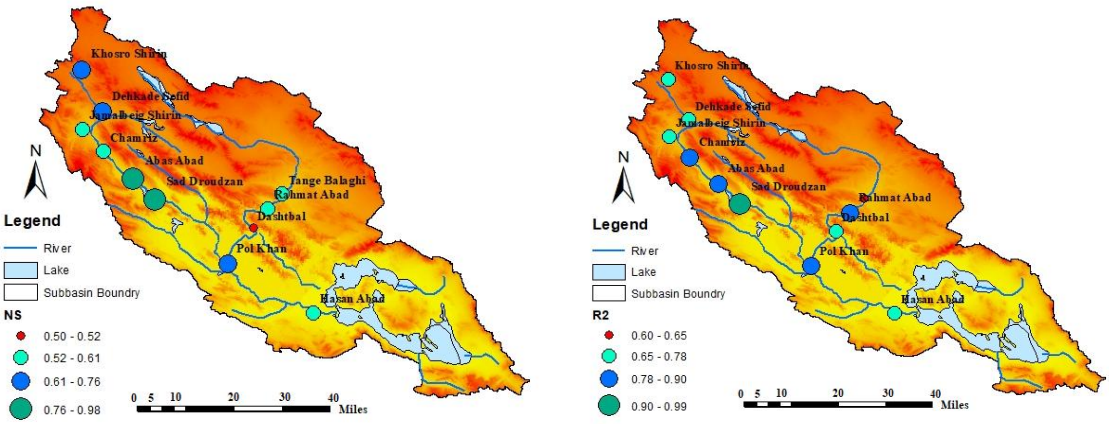

Fig. 4- Model validation result for simulating of stream flows

شکل ۴- نتایج اعتبارسنجی مدل برای شبیه‌سازی دبی

www.SID.ir

Archive of SID

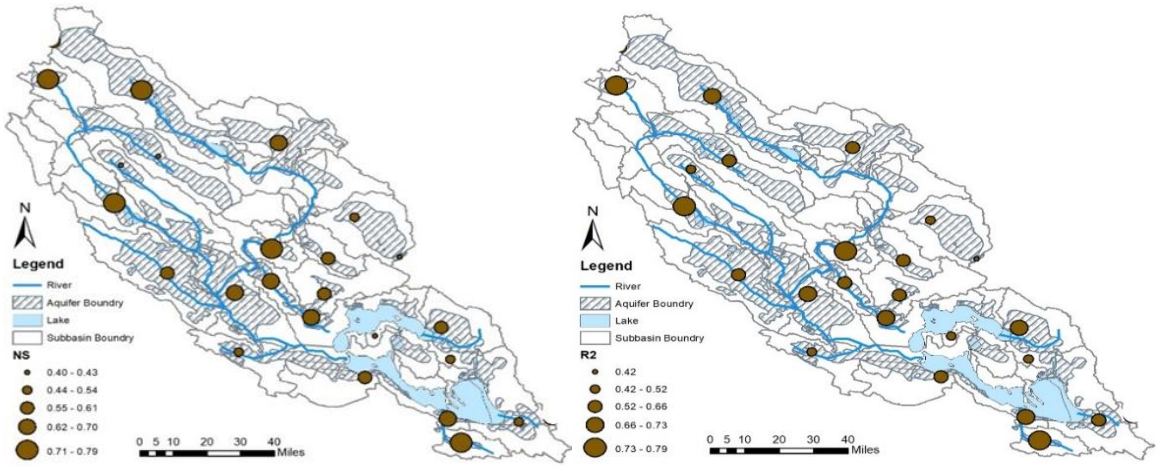

Fig. 5- Model validation results for simulating of groundwater level changes

شکل ۵- نتایج اعتبار سنجی مدل برای شبیه‌سازی تغییرات تراز آب زیرزمینی

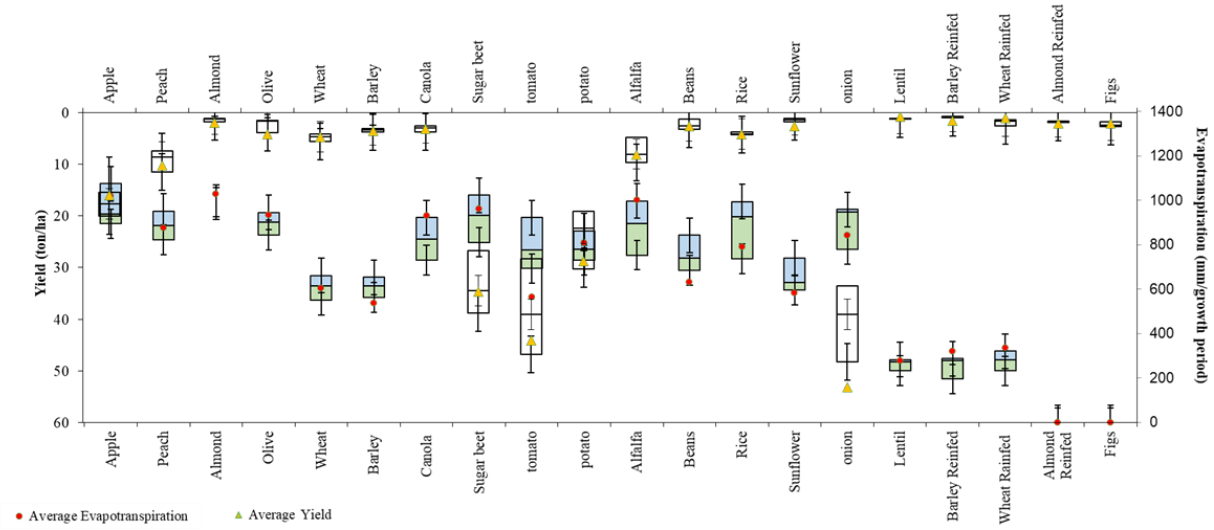

Fig. 6- Comparison of the observed values of evapotranspiration (colored box plot) and crop yield (white box plot) with the simulated values of average Evapotranspiration (red points) and yield (yellow points)

شکل ۶- مقایسه مقادیر مشاهداتی تبخیر و تعرق گزارش شده در سند ملی آب (نمودار جعبه‌ای رنگی) و میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAT-FARS (نقاط قرمز رنگ) و مقایسه مقادیر مشاهداتی عملکرد محصولات (نمودار جعبه‌ای سفید) و میانگین عملکرد شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAT-FARS (نقاط زرد رنگ)

برای این تحلیل‌ها، تعرق به عنوان بخش مؤثر در تولید گیاهی در قالب مصارف سودمند و تبخیر از سطوح مختلف (خاک، مخازن و غیره) به عنوان مصارف غیر سودمندی که منجر به تولید نمی‌گردد، در نظر گرفته شده است. علی‌رغم کاهش آب قابل مدیریت حوضه که در گزارش قبلی مورد اشاره قرار گرفت، مصارف سودمند حوضه در دوره دوم افزایش ۱۲ درصدی را تجربه نموده که دلیل آن، به طور عمده متوجه افزایش ۳۰ درصدی تعرق گیاهان در سطح اراضی کشاورزی به واسطه گسترش سطح اراضی، افزایش گیاهان پرمصرف‌تر بوده است. در مقابل، تعرق گیاهان در اراضی طبیعی (مراتع) به واسطه کاهش سطح (جزیی) و تأمین کمتر منابع رطوبتی مورد نیاز (ناشی از کاهش بارش‌ها)، ۱۳ درصد افت را نشان می‌دهد. در بخش مصارف غیرسودمند حوضه، مهم‌ترین مؤلفه با حجم حدود ۴/۵ میلیارد مترمکعب مربوط به تبخیر از خاک بوده که ۸۴ درصد از کل سهم این مصارف را شامل می‌شود. مقدار این مؤلفه نیز عمدتاً تحت تأثیر کاهش بارش، حدود ۶/۵ درصد افت داشته است. البته بالا رفتن سطح زیرکشت و حجم آبیاری اثرات افزایشی بر آن داشته، اما در حد تبعات منفی ناشی از کاهش بارش‌ها نبوده است.

www.SID.ir

Archive of SID

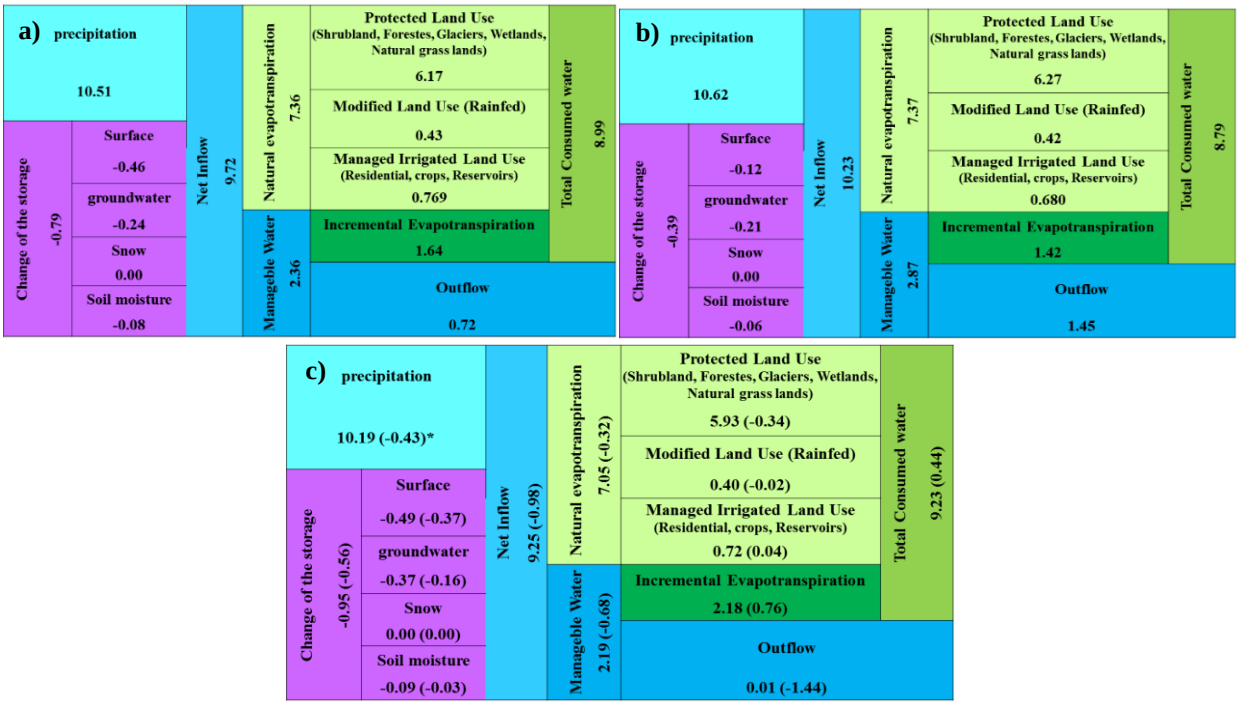

Fig. 7- The resource base sheet for a) 1985-2014, b) 1985-2006, c) 2007-2014 (BCM)

شکل ۷- گزارش پایه منابع و مصارف سیستم حسابداری آب برای شرایط متوسط دوره زمانی a) ۲۰۱۴-۱۹۸۵، b) ۲۰۰۶-۱۹۸۵ و c) ۲۰۱۴-۲۰۰۷ (میلیارد مترمکعب) * مقادیر داخل پرانتز اختلاف مؤلفه‌ها با دوره ۲۰۰۶-۱۹۸۵ را نشان می‌دهد.

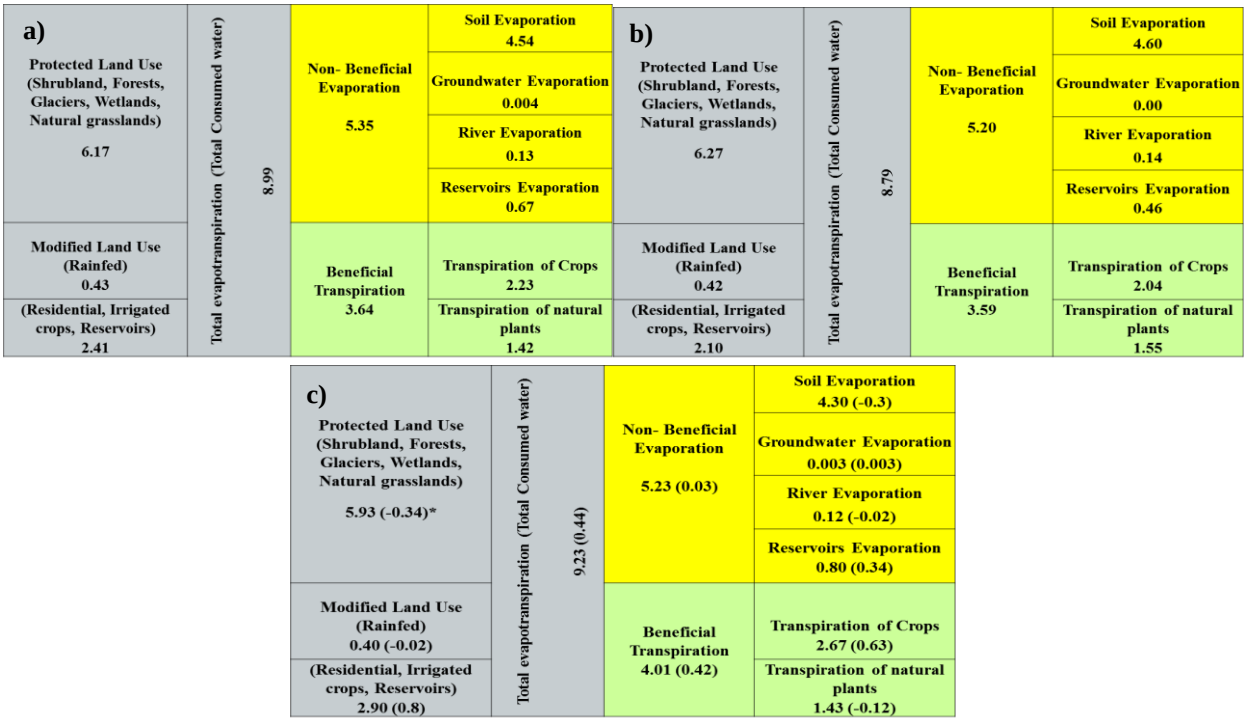

Fig. 8- The evapotranspiration base sheet for a) 1985-2014, b) 1985-2006, c) 2007-2014 (BCM)

شکل ۸- گزارش تبخیر- تعرق سیستم حسابداری آب برای شرایط متوسط دوره زمانی a) ۲۰۱۴-۱۹۸۵، b) ۲۰۰۶-۱۹۸۵ و c) ۲۰۱۴-۲۰۰۷ (میلیارد مترمکعب)

www.SID.ir

Archive of SID

بخش قابل ملاحظه دیگر از مصارف غیرسودمند حوضه، مربوط به تلفات از پیکره‌های آبی حوضه می‌باشد که تقریباً ۵۰ درصد افزایش را بین دو دوره زمانی نشان می‌دهد. این تغییر نیز بر اثر کاهش حجم محسوس آب دریاچه کافتر و افزایش توان تبخیری آن و همچنین آبگیری سد ملاصدرا در دوره دوم بوده است. تبخیر از منابع آب زیرزمینی حوضه نیز در دوره دوم اندکی افزایش را نشان می‌دهد.

۳-۲-۳- گزارش برداشت

گزارش برداشت اطلاعاتی در خصوص مقدار برداشت از منابع مختلف، چرخه مصرف بخشی از آن و برگشت مابقی را در قالبی استاندارد ارائه می‌دهد. شکل ۹ گزارش برداشت دو دوره زمانی مورد بررسی را برای حوضه آبریز طشک- بختگان نشان می‌دهد. مقدار برداشت از منابع زیرزمینی و کل برداشت برای آبیاری اراضی کشاورزی در دوره دوم به ترتیب ۲۴/۶ و ۱۷/۵ درصد افزایش یافته است. این افزایش برداشت به منظور تأمین آب مورد نیاز برای اراضی زیر کشت آبی که در طول زمان توسعه یافته، صورت گرفته است. این در حالی است که با توجه به کمبود منابع آب سطحی در دوره دوم به ویژه در مناطق پایین‌دست حوضه میزان برداشت از آب سطحی به میزان ۱۷ درصد کاهش یافته است. بر این اساس، مقدار مصارف آب (تبخیر- تعرق تکمیلی) و تلفات حدوداً در دوره دوم ۳۴ درصد افزایش یافته است. تلفات انتقال و کاربرد آب آبیاری (شامل تبخیر مستقیم و نشت منتهی به تبخیر و یا مصرف توسط علف‌های هرز در داخل کانال‌های انتقال، تبخیر آب پیش از نفوذ در خاک مزرعه و سایر موارد) به دلیل بالا رفتن حجم برداشت آب (خصوصا افزایش سهم آب سطحی که توأم با تلفات بیشتری به دلیل نیاز به انتقال و مسائل مربوط به شبکه‌های آبیاری سطحی می‌باشد)، در حدود ۱۱ درصد افزایش داشته و از ۴۵۰ به ۵۵۶ میلیون مترمکعب رسیده است.

آخرین بخش این گزارش، به میزان برگشت بخشی از آب برداشت شده به منابع آب قابل استحصال حوضه می‌پردازد که در بسیاری موارد به اندازه کافی مورد توجه قرار نمی‌گیرد. این بخش عمدتاً در تحلیل راندمان کلاسیک آبیاری به عنوان تلفات در نظر گرفته می‌شود (Lankford, 2012)، اما در عمل جزو تلفات واقعی آب محسوب نمی‌شود؛ چرا که از چرخه آبی حوضه خارج نشده و قابلیت بازیابی و استفاده مجدد آن وجود دارد (Keller and Keller, 1995). تحلیل انجام شده نشان می‌دهد، در حدود ۳۸ درصد آب برداشتی برای آبیاری در حوضه آبریز دریاچه طشک- بختگان در این قالب قرار می‌گیرد که با توجه به افزایش مقدار آب برداشتی در طول زمان، مقدار آن در دوره دوم نسبت به دوره اول حدود ۳۶ درصد افزایش یافته است. بخش عمده آب برگشتی (بالغ به ۹۸ درصد) به منابع زیرزمینی برمی‌گردد.

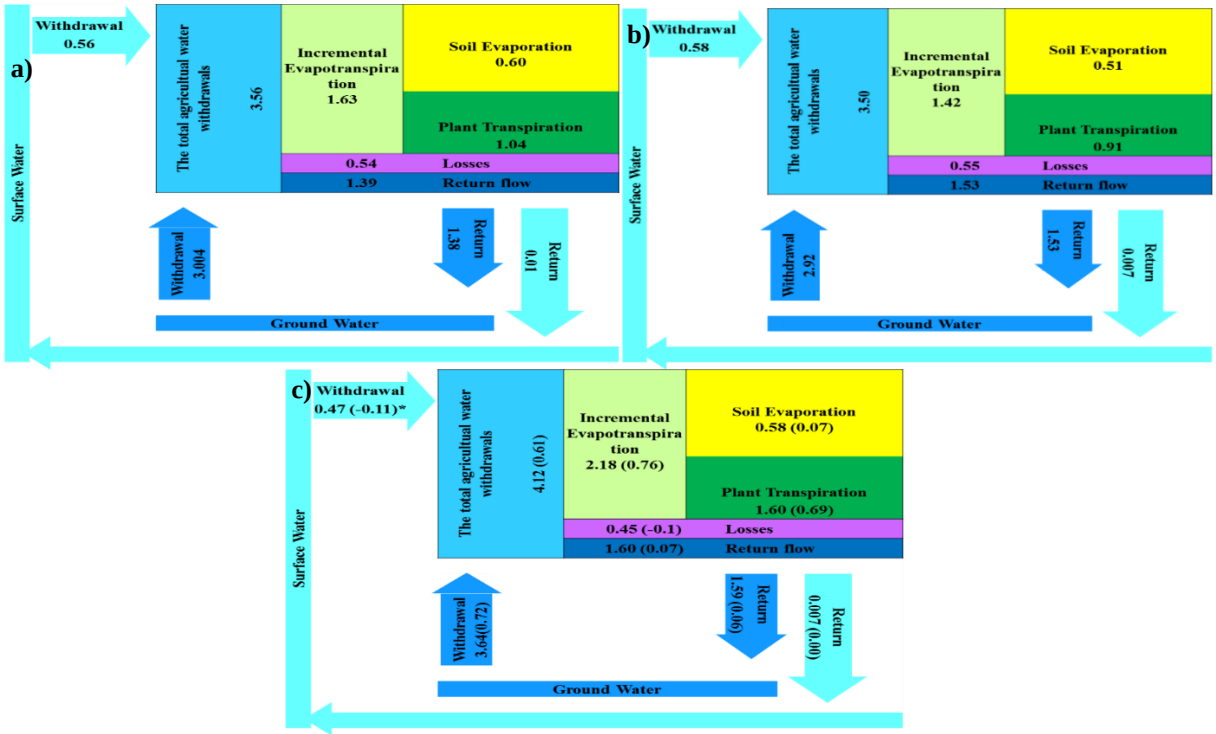

Fig. 9- The withdrawal sheet for a) 1985-2014, b) 1985-2006, c) 2007-2014 (BCM)

شکل ۹- گزارش برداشت سیستم حسابداری آب برای شرایط متوسط دوره زمانی a) ۲۰۱۴-۱۹۸۵، b) ۲۰۰۶-۱۹۸۵ و c) ۲۰۱۴-۲۰۰۷ (میلیارد مترمکعب)

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۲-۴- نشانگرهای عملکردی سیستم حسابداری +WA

در جدول ۳ نشانگرهای هر گزارش همراه با شرح و نحوه محاسبه آن‌ها در دو دوره زمانی مختلف ارائه شده‌اند. لازم به ذکر است که برای برخی نشانگرهای گزارش منابع و مصارف در نظر گرفتن مقدار تعهدات آبی پایین‌دست نیز لازم بود. این مورد در خصوص حوضه مورد مطالعه، حقابه زیست محیطی دریاچه طشک بختگان در شرایط نرمال، برابر ۳۴۲ میلیون مترمکعب به‌طور سالیانه در نظر گرفته شده است (Iran Ministry of Energy, 2013).

Table 3- Extracted indicators from the reports of the WA+ framework for different time periods

جدول ۳- نشانگرهای مستخرج از گزارش‌های سیستم حسابداری آب برای دوره‌های زمانی مختلف

Index	Description	Calculation method	Period	Amount
Water sources and consumptions				
The ratio of manageable Water	What proportion of net input basin is programmable for consumption and downstream commitments?	$\frac{\text{Manageable Water}}{\text{Net input Water}}$	1985-2006	0.28
			2007-2014	0.23
The ratio of ground water resources change	What proportion of basin manageable water is originated the change volume of groundwater?	$\frac{\text{Change the groundwater volume}}{\text{Manageable Water}}$	1985-2006	-0.073
			2007-2014	-0.16
The ratio of utilizable water	What proportion of basin available water is used for consumptions within basin?	$\frac{\text{Manageable Water} - \text{The downstream commitments}}{\text{Manageable Water}}$	1985-2006	0.88
			2007-2014	0.85
Consumption ratio	What proportion of basin available water is consumed on it?	$\frac{\text{Supplementary Evapotranspiration}}{\text{Manageable Water} - \text{The downstream commitments}}$	1985-2006	0.49
			2007-2014	0.99
The ratio of commitments downstream Supply	What proportion of water commitments the downstream basin is supplied?	$\frac{\text{Outflow}}{\text{The downstream commitments}}$	1985-2006	4.47
			2007-2014	0.03
Evapotranspiration				
Transpiration ratio (beneficial consumption of basin)	What part of the basin evapotranspiration has been spent for the plants Transpiration? (How much the water consumptions of basin has been beneficial?)	$\frac{\text{The Total Transpiration}}{\text{The Total Evapotranspiration}}$	1985-2006	0.41
			2006-2014	0.43
Agriculture Transpiration ratio (beneficial consumption of agriculture sector)	What part of agricultural evapotranspiration has been spent for the plants Transpiration? (How much of agricultural water use has been beneficial?)	$\frac{\text{Agriculture Transpiration}}{\text{Total agricultural evapotranspiration}}$	1985-2006	0.81
			2006-2014	0.81
Manageable area consumption ratio	What part of basin water consumption have happened in the lands under management?	$\frac{\text{Evapotranspiration of managed lands}}{\text{The Total Evapotranspiration}}$	1985-2006	0.23
			2006-2014	0.31
Agricultural Evapotranspiration ratio	What part of basin water consumption has been spent agricultural production?	$\frac{\text{Agricultural Evapotranspiration}}{\text{The Total Evapotranspiration}}$	1985-2006	0.23
			2006-2014	0.28
Irrigated Agricultural Evapotranspiration ratio	What part of the agricultural water use of basin has been supplied Through irrigation?	$\frac{\text{Irrigated agricultural evapotranspiration}}{\text{Agricultural Evapotranspiration}}$	1985-2006	0.83
			2006-2014	0.87
Withdrawal				
Groundwater Withdrawal ratio	What part of the total water withdrawal for irrigation have been from basin groundwater?	$\frac{\text{groundwater Withdrawal}}{\text{The total agricultural water withdrawals}}$	1985-2006	0.56
			2006-2014	0.88
Farm Efficiency	What part of the water withdrawal for irrigation has been spent crop evapotranspiration?	$\frac{\text{Incremantal Evapotranspiration of irrigated lands}}{\text{The total agricultural water withdrawals}}$	1985-2006	0.40
			2006-2014	0.45
Basin Efficiency	What part of the water used to irrigate has been spent the crop evapotranspiration?	$\frac{\text{Incremantal Evapotranspiration of irrigated lands}}{\text{The total agricultural water withdrawals-Return Water}}$	1985-2006	0.73
			2006-2014	0.85
The Return Water ratio	What part of the water withdrawal for irrigation is back again to the water resources of basin?	$\frac{\text{Return Water}}{\text{The total agriculturalwater withdrawals}}$	1985-2006	0.43
			2006-2014	0.40

www.SID.ir

Archive of SID

گزارش منابع و مصارف شامل ۵ نشانگر نسبت آب قابل مدیریت، نسبت تغییر ذخایر زیرزمینی، نسبت آب قابل مصرف، نسبت مصرف و نسبت تأمین تعهدات پایین‌دست می‌باشد. با توجه به جدول ۳، تحلیل نشانگرهای مربوط به این گزارش نشان می‌دهد که مقدار نشانگر نسبت آب قابل مدیریت برای دوره زمانی ۲۲ ساله اول برابر با ۲۸ درصد بوده که در دوره دوم به ۲۳ درصد کاهش پیدا کرده است. این تغییر عمدتاً متأثر از کاهش نسبی بارندگی‌ها می‌باشد، هر چند تغییرات کاربری اراضی نیز تا حدی بر آن تأثیرگذار بوده است. با مقایسه مقدار این نشانگر بین دو دوره زمانی می‌توان نتیجه گرفت حوضه طشک بختگان ۵ درصد از ظرفیت تولید منابع قابل مدیریت خود را از دست داده است. البته بایستی به این نکته نیز توجه نمود که نشانگر مذکور بر اساس سنجش مقدار آب قابل مدیریت به کل ورودی خالص آب حوضه تعریف گردیده و کاهش ۵ درصدی آن به معنی کاهش مقدار مشابه در مقدار آب قابل مدیریت حوضه بین دو دوره زمانی مورد بحث نیست. مقدار نشانگر نسبت تغییر ذخائر زیرزمینی که میزان پایداری منابع آب زیرزمینی حوضه را نشان می‌دهد، در دوره زمانی اول ۰/۰۷۳ بوده که بیانگر بیش برداشت نسبی این ذخائر می‌باشد. اما در دوره دوم مقدار این نشانگر نشان می‌دهد که حدود ۱۶ درصد از کل آب قابل مدیریت حوضه از محل افت ذخیره این منابع (اضافه برداشت) تأمین شده است. کاهش حجم منابع آب زیرزمینی به میزان ۳۷۰ میلیون مترمکعب از شواهد شرایط ناپایدار در حوضه طی این دوره می‌باشد. نشانگر نسبت آب قابل مصرف گویای نسبتی از آب قابل مدیریت حوضه است که با رعایت حقابه‌های پایین‌دست، در داخل آن قابل مصرف می‌باشد. به عبارت دیگر، بخشی از آب قابل مدیریت حوضه است که تعهدی در پائین دست به تأمین آن وجود ندارد. مقدار این نشانگر برای دوره اول نشان می‌دهد که امکان مصرف ۰/۸۸ درصد منابع قابل بهره‌برداری حوضه در داخل آن، در حالت تأمین کامل تعهدات پایین‌دست (۳۴۲ میلیون متر مکعب در سال حقابه دریاچه) وجود داشته است. اما در دوره دوم، با فرض قبول مقدار قبلی به عنوان حقابه دریاچه، این میزان به ۸۵ درصد منابع قابل بهره‌برداری حوضه در داخل آن وجود داشته و مابقی جزو حقابه تعهدی پایین‌دست بوده است. لازم به ذکر است مقادیر نسبت آب قابل مصرف با در نظر گرفتن حقابه دریاچه در شرایط نرمال محاسبه شده است و در صورت مد نظر قراردادن حقابه دریاچه در شرایط ترسالی (۷۰۰ میلیون متر مکعب) نسبت آب قابل مصرف حوضه کاهش خواهد یافت. مقدار نشانگر نسبت مصرف حوضه برای دوره اول برابر با ۴۹ درصد بوده و به عبارت دیگر، حدود نیمی از آب قابل تخصیص در آن مصرف شده و لذا امکان توسعه مصارف آب در سطح حوضه در این دوره وجود داشته است. اما در دوره دوم، مقدار شاخص برابر با ۹۹ درصد می‌باشد که نشان می‌دهد، در این دوره بیش از حد مجاز از منابع آب حوضه استفاده شده و در واقع، تمامی تعهدات آبی حوضه به پایین‌دست (۳۴۲ میلیون مترمکعب حقابه دریاچه طشک- بختگان) در داخل آن به مصرف رسیده است. نشانگر نسبت تأمین تعهدات پایین‌دست که مبین آن است که چه سهمی از تعهدات آبی پایین‌دست حوضه تأمین شده برای دوره اول برابر با ۴۴۵ درصد بوده است. بدین ترتیب حوضه حدود ۴/۵ برابر تعهد موجود به پایین‌دست را (در شرایط در نظر گرفتن حقابه نرمال دریاچه) تأمین کرده است. اما در دوره دوم، این میزان به ۳ درصد کاهش یافته که نشان می‌دهد، حوضه در این دوره ۹۸ درصد از حقابه دریاچه طشک- بختگان را نتوانسته تأمین نماید.

گزارش تبخیر تعرق شامل نشانگرهای نسبت تعرق، نسبت تعرق کشاورزی، نسبت مصارف قابل مدیریت، نسبت تبخیر- تعرق کشاورزی و نسبت تبخیر- تعرق کشاورزی آبی می‌باشد. تحلیل نشانگرهای این گزارش نشان می‌دهد که نشانگر نسبت تعرق که مبین سهم مصارف سودمند آب برای تولیدات گیاهی (اعم از زراعی و طبیعی)، از کل مصارف آب حوضه می‌باشد برای دوره‌های زمانی اول و دوم به ترتیب برابر با ۴۱ و ۴۳ درصد می‌باشد و گویای سهم حدود ۴۰ درصدی مصارف سودمند آب از کل مصارف آب حوضه بوده و در طول زمان تغییر چندانی نداشته است. مقدار نشانگر نسبت تعرق کشاورزی (سودمندی مصرف بخش کشاورزی) نیز برای دوره‌های زمانی اول و دوم حدود ۸۱ درصد می‌باشد که حاکی از پتانسیل حدود ۱۹ درصدی برای کاهش مصارف غیر سودمند جهت افزایش بهره‌وری در این بخش می‌باشد. مقدار نشانگر نسبت مصارف قابل مدیریت که نشان می‌دهد چه نسبتی از مصارف آب حوضه در اراضی تحت مدیریت انسانی (شامل اراضی دیم و آبی) مصرف شده است در دوره اول برابر با ۲۳ درصد بوده و بدین معنی است که کمتر از یک چهارم از مصرف آب حوضه در اراضی تحت مدیریت صورت گرفته است. با توسعه اراضی کشاورزی آبی و دیم در دوره دوم، مقدار این نشانگر به ۳۱ درصد افزایش می‌یابد که حاکی از افزایش امکان مدیریت مصارف آب حوضه می‌باشد. مقدار نشانگر نسبت تبخیر- تعرق کشاورزی برای دوره‌های اول و دوم به ترتیب برابر با ۲۳ و ۲۸ درصد به‌دست آمده که نشان از سهمی معادل یک چهارم کل مصارف حوضه است. همچنین، به دلیل افزایش سطح زیر کشت آبی و دیم در دوره دوم، مقدار شاخص اندکی افزایش یافته است. نشانگر نسبت تبخیر- تعرق اراضی آبی نشان می‌دهد چه نسبتی از مصارف آب بخش کشاورزی از آبیاری تأمین شده است. مقدار این نشانگر برای دوره‌های اول و دوم به ترتیب برابر با ۸۳ و ۸۷ درصد بدست آمده که حاکی از وابستگی شدید تولید کشاورزی به آبیاری در منطقه می‌باشد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت اتکای تولید محصولات کشاورزی به آبیاری در دوره دوم افزایش یافته است.

www.SID.ir

Archive of SID

تحلیل نشانگرهای نسبت برداشت آب زیرزمینی، راندمان مزرعه، راندمان حوضه‌ای و نسبت آب برگشتی در گزارش برداشت نشان می‌دهد که مقدار نشانگر نسبت برداشت از آب زیرزمینی که مبین میزان اتکای آب برداشتی برای آبیاری در سطح حوضه به منابع آب زیرزمینی حوضه است برای دوره اول که حدود ۵۶ درصد از برداشت آب کشاورزی از منابع زیرزمینی بوده است، در دوره دوم به ۸۸ درصد افزایش پیدا کرده و اتکای برداشت آب کشاورزی به منابع زیرزمینی بیشتر شده است. از طرفی مقدار نشانگر راندمان مزرعه برای هر دو دوره در حدود ۴۰ تا ۴۵ درصد به‌دست آمده است که ارتقاء آن در دوره دوم می‌تواند به‌دلیل اتکاء بیشتر به منابع آب زیرزمینی باشد. نشانگر راندمان حوضه‌ای نیز نشان می‌دهد که چه میزان از آبی که در اراضی کشاورزی آبی برداشت گردیده، صرف تبخیر- تعرق گیاهان کشاورزی شده است. مزیت این نشانگر، در نظر گرفتن سهم آب برگشتی و عدم لحاظ نمودن آن به عنوان تلفات واقعی آب برداشت شده برای آبیاری می‌باشد. مقدار این نشانگر در دوره زمانی اول در حدود ۷۳ درصد بوده اما با افزایش مصارف آبی و در نظر گرفتن نقش بازچرخانی آب در شرایط کمبود منابع آبی در دوره دوم به ۸۵ درصد رسیده است. مقدار نشانگر نسبت بازیابی نیز برای دو دوره زمانی تقریبا مشابه بوده و در حدود ۴۰ درصد برآورد گردیده است. این امر نشان می‌دهد مقدار قابل توجهی از آب برداشتی برای کشاورزی به منابع آب سطحی و زیرزمینی حوضه برمی‌گردد.

۴- نتیجه‌گیری

بحران‌های آبی فعلی و پیش رو در کشور و از طرفی ضعف‌های اطلاعاتی و مسائل موجود در زمینه یکپارچه‌سازی و سازماندهی اطلاعات مدیریتی بین‌بخشی، تخمین صحیح منابع و مصارف منابع آب و همچنین ارزیابی جامع گزینه‌های مدیریتی، لزوم وجود ابزارها و زیر ساخت‌هایی که امکان بهبود تصمیم‌گیری‌ها و جهت‌گیری‌های مدیریتی را فراهم آورد را آشکار می‌سازد. در این زمینه مدیریت منابع آبی بر مبنای اطلاعات مستخرج از شیوه‌های معمول و سنتی بیلان آبی به صورت محدود صرفاً بعد هیدرولوژیکی سیستم‌های آبی را از منظر عرضه و برداشت آب مورد توجه قرار داده‌اند، عموماً تأثیر جنبه‌های مختلف بهره‌برداری از منابع آب از منظر بهره‌وری و مسائل مرتبط به آن را مورد توجه قرار نمی‌دهند. این در حالی است که رویکردهای حسابداری آب علاوه بر تمرکز بر جنبه‌های هیدرولوژیکی چارچوبی مفهومی را برای سازماندهی اطلاعات آب و برای مطالعه چند وجهی سیستم‌های آبی و بخش‌های مختلف مصرف‌کننده آب ایجاد می‌نمایند. سیستم حسابداری آب +WA از جمله روش‌های مطرح در زمینه حسابداری آب و به عنوان نسخه اصلاح شده سیستم حسابداری آب مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب شناخته می‌شود که به دلیل قابلیت‌های ویژه و کاربردی آن به ویژه در خصوص صرفه‌جویی واقعی آب[۱۵] مورد توجه قرار گرفته است؛ به‌طوریکه سازمان جهانی خواربار و کشاورزی برای طرح‌های جاری خود آن را مورد استفاده قرار داده است. مطالعه حاضر تلاشی در جهت استقرار این سیستم حسابداری در سطح یک حوضه آبریز در کشور (حوضه آبریز طشک بختگان) با استفاده از یک رویکرد مدل‌سازی مفهومی با به‌کارگیری مدل ویژه‌سازی شده SWAT-FARS می‌باشد. این رویکرد امکان مناسبی را برای تحلیل توأم شرایط آبی حوضه و سیستم‌های کشاورزی و بررسی راهبردهای مختلف مدیریتی را در سطح حوضه فراهم می‌آورد. مدل SWAT-FARS برای شبیه‌سازی جامع مؤلفه‌های بیلان آبی و شرایط خاص حوضه طشک- بختگان، همچون گستردگی و تنوع کاربری اراضی، بسته بودن حوضه، نقش پر رنگ آب‌های زیرزمینی در منطقه و تغییرات قابل توجه در آن، وجود مناطق کارستی و دینامیک کاربری اراضی در حوضه توسعه یافته است و امکان ارائه و تحلیل نتایج حاصل را در چارچوب سیستم حسابداری آب WA^{+} فراهم می‌کند.

تحلیل نتایج حسابداری آب در حوضه پایلوت در دوره‌های زمانی مورد بررسی نشان می‌دهد که حوضه آبریز طشک -بختگان مشابه بسیاری از حوضه‌های آبریز در کشور یک حوضه بسته است؛ یعنی تقریباً تمام آب قابل مدیریت حوضه به مصرف می‌رسد. منابع آب قابل مدیریت حوضه در نیمه دوم دوره بررسی نسبت به نیمه اول حدود ۲۳ درصد کاهش یافته است، اما علی‌رغم کاهش قابل توجه آب قابل مدیریت، مصارف آب کشاورزی (تبخیر-تعرق تکمیلی) ۵۳ درصد افزایش داشته است و در مقابل جریان خروجی حوضه و تغییرات حجم آب زیرزمینی به ترتیب تا ۹۹ کاهش و ۷۷ درصد افزایش یافته است. بدین ترتیب می‌توان گفت، در شرایطی که به واسطه تغییر شرایط اقلیمی، منابع آب قابل مدیریت حوضه کاهش یافته، نه تنها مصارف مدیریت شده آب در حوضه کاهش نداشته، بلکه به میزان قابل توجهی نیز بر آن افزوده شده و در این بین، جریانات خروجی به عنوان تأمین‌کننده حقابه دریاچه، مؤلفه‌ای بوده که تحت فشار هر دو عامل قرار گرفته است. به عبارت دیگر، ورودی سیستم منابع آب حوضه کاهش یافته و مصارف مدیریت شده آن افزایش یافته و بار فشار هر دو را ورودی‌های دریاچه متحمل شده است. علاوه بر این، افزایش کسری مخزن آب زیرزمینی در دوره دوم نشان از وضعیت ناپایدار بهره‌برداری از آن‌ها دارد. از طرفی مصارف سودمند حوضه در دوره دوم نیز افزایش ۱۲ درصدی را تجربه نموده که دلیل آن به طور عمده متوجه افزایش ۳۰ درصدی تعرق گیاهان در سطح اراضی کشاورزی به واسطه گسترش سطح اراضی، افزایش گیاهان پرمصرف‌تر بوده است. در مقابل، تعرق گیاهان در اراضی طبیعی (مراتع) به واسطه کاهش سطح (جزیی) و تأمین کمتر

www.SID.ir

Archive of SID

منابع رطوبتی مورد نیاز (ناشی از کاهش بارش‌ها) ۱۳ درصد افت را نشان می‌دهد. در بخش مصارف غیرسودمند حوضه، مهم‌ترین مؤلفه مربوط به تبخیر از خاک بوده که ۸۴ درصد از کل سهم این مصارف را شامل می‌شود. نکته مهم دیگر این است که مقدار قابل توجهی از آب برداشتی برای کشاورزی مجدداً به چرخه منابع آب حوضه برمی‌گردد و تأکیدی بر لزوم برنامه‌ریزی براساس "مصرف" تا "برداشت" به منظور دست‌یابی به اهداف مدنظر است. متوسط راندمان مزرعه اراضی فاریاب حوضه برای دو دوره حدود ۴۲ درصد بوده است. اما نکته مهم راندمان حوضه‌ای آبیاری در این منطقه می‌باشد که به‌دلیل نقش بازچرخانی قابل توجه آب در آن، رقمی حدود ۸۰ درصد می‌باشد. ارقامی مشابه با آنچه برای بسیاری از حوضه‌ها مانند نیل در خارج از کشور و زاینده‌رود و زرینه‌رود در داخل کشور گزارش شده است. علاوه براین، نتایج نشان می‌دهد که حوضه آبریز طشک بختگان یک حوضه بسته است یعنی تقریباً تمام آب قابل مدیریت حوضه به مصرف می‌رسد. به عبارت دیگر، با سطح و الگوی کشت فعلی بخش کشاورزی، امکانی برای "ذخیره واقعی آب" وجود نخواهد داشت و بعضی طرح‌های جاری مانند توسعه سیستم‌های تحت فشار در منطقه نه تنها نمی‌توانند پایداری منابع آب را سبب شوند، بلکه می‌توانند حتی اثرات عکس هم داشته باشند.

مجموعه تجربیات و دانش بومی مربوط به پیاده‌سازی سیستم حسابداری آب در حوضه‌های آبریز پایلوت در کشور، این ظرفیت را فراهم نموده است تا رویکرد مطرح شده با توسعه مدل ملی SWAT-PARS در خدمت مدیریت آب کشور بخصوص در شرایط خاص حاضر که منابع آب با محدودیت‌های شدیدی روبرو می‌باشد؛ قرار گیرد. در این راستا ویژگی مهم مدل SWAT-PARS، اتصال آن به سیستم حسابداری آب (WA+) می‌باشد که ظرفیت‌هایی را مانند زیر در پشتیبانی از تصمیمات کلان کشور در مدیریت منابع آب بوجود می‌آورد:

– برآورد منابع آب تجدیدپذیر در شرایط تاریخی، جاری و سناریوهای مختلف اقلیمی،

– برآورد برداشت‌ها و مصارف مفید و غیر مفید بخش کشاورزی در شرایط تاریخی، جاری و سناریوهای مختلف مدیریت بخش کشاورزی،

– شبیه‌سازی و ارزیابی راه‌کارهای مختلف در ایجاد پایداری منابع آب (مانند طرح ملی احیاء و تعادل بخشی سفره‌های آب زیرزمینی)،

– شبیه‌سازی و ارزیابی راه‌کارهای مختلف در ایجاد پایداری محیط زیست (مانند طرح احیاء دریاچه ارومیه)،

– ایجاد ادبیات جدیدی در بیلان منابع و مصارف،

– کاهش هزینه‌هایی که هر از چند سال یک‌بار برای آماربرداری صورت می‌گیرد،

– شبیه‌سازی و ارزیابی برنامه‌های بالادستی که بر بخش آب مؤثر هستند (مانند برنامه‌های توسعه ۵ ساله)،

– شبیه‌سازی و ارزیابی تبعات جانبی برنامه‌ها و طرح‌های توسعه برهم (مانند اثرات جانبی توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار بر تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و حقابه‌های محیط زیستی)،

– امکان دریافت اطلاعات و گزارش‌گیری در مرزهای مختلف (مرز حوضه آبریز، استان‌ها و مناطق مطالعاتی)

۵- تقدیر و تشکر

مقاله حاضر بخشی از نتایج طرح پژوهشی "تدوین راهبردها و برنامه ملی سازگاری با تغییر اقلیم در بخش آب" به شماره قرارداد ۹۴/۱۰۹۳۷/۷۰۰ با مؤسسه تحقیقات آب وزارت نیرو بوده است و نویسندگان مقاله بدین وسیله مراتب تشکر و قدرانی خود را از مؤسسه تحقیقات آب وزارت نیرو و دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا وزارت نیرو اعلام می‌دارد.

این مقاله از مقالات منتخب دومین کنفرانس ملی دوسالانه اقتصاد آب (۱۳۹۷) است که پس از تکمیل، ویرایش و داوری مجدد با حمایت مالی دبیرخانه دائمی کنفرانس، مستقر در مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب اتاق ایران، منتشر شده است.

پی‌نوشت‌ها

1- International Water Management Insitue
2- System of Environmental-Economic Accounting for Water
3- Water Accounting
4- http://ref.data.fao.org/map?entryId=b4b8772d-6c3a-4c8c-a86f-595a85c71bd2&tab=about
5- http://ulrp.sharif.ir/fa/news/news-3904
6- Soil and Water Assessment Tool (https://swat.tamu.edu/)
۷- معاونت آب و آبفا، دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا
۸- شرکت سهامی سازمان آب و برق خوزستان
9- Real Water Saving طبق پارادیم
10- Hydrological Response Unit
11- Land Phase
12- Water Routing Phase
13- Overlay
14- Warm-up Period
15- Real Water Saving

۶- مراجع

Abbaspour KC, Yang J, Maximov I, Siber R, Bogner K, Mieleitner J, Srinivasan R (2007) Modelling

www.SID.ir

Archive of SID

Jha MK, Gassman PW, Panagopoulos Y (2015) Regional changes in nitrate loadings in the Upper Mississippi River basin under predicted mid-century climate. Regional Environmental Change 15:449-460

Karimi P, Bastiaanssen WGM, Molden D (2013a) Water accounting plus (WA+) – a water accounting procedure for complex river basins based on satellite measurements. Hydrology and Earth System Sciences 17:2459-2472

Karimi P, Molden D, Bastiaanssen W, Cai X (2012b) Water accounting to assess use and productivity of water: evolution of a concept and new frontiers. Water Accounting: International Approaches to Policy and Decision-Making, edited by: Godfrey, J. M. and Chalmers, K, 76-88

Karimi P, Molden D, Notenbaert A, Peden D (2012) Nile basin farming systems and productivity. In The Nile river basin; water, agriculture, governance and livelihoods. Edited by Awulachew, et al. Routledge, U.K., 133-153

Karimi P, Bastiaanssen W, Molden D, Cheema M (2013b) Basin-wide water accounting based on remote sensing data: an application for the Indus Basin. Hydrology and Earth System Sciences 17(7)

Keller AA and Keller J (1995) Effective efficiency: A water use efficiency concept for allocating freshwater resources. IWMI Working Papers from International Water Management Institute, Later published in USCID Newsletter 71:4-10

Kim NW, Chung M, Won YS, Arnold JG (2008) Development and application of the integrated SWAT–MODFLOW model. Journal of Hydrology 365(1-2):1-16

Krysanova V, Srinivasan R (2015) Assessment of climate and land use change impacts with SWAT. Regional Environtal Change 15:431-434

Kurukulasuirya P and Ajwad MI (2006) Application of the ricardian technique to estimate the impact of climate change on smallholder farming in Sri Lanka. Climate Change 81(1)

Lankford B, (2012) Fictions, fractions, factorials and fractures; on the framing of irrigation efficiency. Agricultural Water Management 108:27-38

Ministry of Energy (2013) Updating the comprehensive water plan of Maharloo-Bakhtegan. Jamab, (In Persian)

Ramos MC and Martinez-casasnovas JA (2015) Soil water content, runoff and soil loss prediction in a small ungauged agricultural basin in the Mediterranean region using the Soil and Water hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. Journal of Hydrology 333(2-4):413-430

Arnold JG, Srinivasan R, Muttiah RS, Williams JR (1998) Large area hydrologic modeling and assessment; part I: model development. Journal of American Water Resources Association 34(1):73-89

Arnold J, Kiniry J, Srinivasan R, Williams J, Haney E, Neitsch S (2011) Soil and water assessment tool input/output file documentation: Version 2009. US Department of Agriculture–Agricultural Research Service, Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Temple, TX and Blackland Research and Extension Center, Texas AgriLife Research, Temple, TX. Texas Water Resources Institute Technical Report

Butcher JB, Parker A, Johnson T, Weaver CP (2010) Nationwide watershed modeling to evaluate potential impacts of climate and land use change on hydrology and water quality. In Watershed Modeling, Proceedings of the 2010 Watershed Management Conference (pp. 1078-1089). Madison, WI: ASCE

Degefie T and Bewket W (2011) Surface runoff and soil erosion estimation using the SWAT model in the Keleta Watershed, Ethiopia. Land Degradation and Development 22(6):551-564

Delavar M, Morid R, Morid, S (2016) Modeling of water resources and agriculture systems in Tashk Bakhtegan catchment. Ministry of Energy (In Persian)

Delavar M, Hajihosseini H, Morid S (2017) Modeling of water resources and agriculture systems in Karkheh catchment. Preparation of a comprehensive model of hydrological simulation of Karkheh Basin to evaluate the effects of environmental changes on discharge upstream of Karkheh Dam and development of long-term flow forecasting system. Khuzestan Water and Power Organization, Ahvaz

Dembélé M, Schaefli B, Mariéthoz G, Ceperley N, Zwart SJ (2017) Water accounting plus for sustainable water management in the Volta river basin, West Africa. EGUGA, 10220

Eid HM, El-Marsafawy SM, Ouda SA (2007) Assessing the economic impacts of climate change on agriculture in Egypt: a Ricardian approach. World Bank Policy Research Working Paper (4293)

Farokhnia A (2015) The role of land use change and trends in climate variables on the hydrology of the Urmia Lake Basin. PhD Thesis, Tarbiat Modares University (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

Ricardian model of African livestock management1. Agricultural Economics 38(2):151-165

Ullrich A and Volk M (2009) Application of the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to predict the impact of alternative management practices on water quality and quantity. Agricultural Water Management 96:1207-1217

Vazquez-Amábile GG and Engel BA (2005) Use of SWAT to compute groundwater table depth and streamflow in the muscatatuck river watershed. Transactions of the ASAE, American Society of Agricultural Engineers 48(3):991-1003

Wang G, Yang H, Wang L, Xu Z, Xue B (2012) Using the SWAT model to assess impacts of land use changes on runoff generation in headwaters. Hydrological Processes 28(3):1032-1042

Wang L, Zhang M, Chen X (2007) Runoff simulation in Xixi Watershed of the Jinjiang basin based on SWAT model. Journal of Subtropical Resources and Environment 2(1):28-33

Assessment Tool. The Journal of Agricultural Science 153(3):481-496

Molua E and Lambi CM (2007) The economic impact of climate change on agriculture in Cameroon. World Bank Development Research Group, Sustainable Rural and Urban Development Team. Policy Res. Work, p.4364

Pisinaras V, Petalas Ch, Gikas GD, Gemitzi A, Tsihrintzis VA (2010) Hydrological and water quality modeling in a medium-sized basin using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT). Desalination 250:274-286

Sanghi A and Mendelsohn R (2008) The impacts of global warming on farmers in Brazil and India. Global Environmental Change 18(4):655-665

Seckler D (1999) Revisiting the IWMI paradigm: Increasing the efficiency and productivity of water use. International Water Management Institute

Seo SN and Mendelsohn R (2008) Measuring impacts and adaptations to climate change: A structural

www.SID.ir