مدیریت آب و آبیاری
دوره ۱۱ ■ شماره ٤ ■ زمستان ۱٤۰۰
صفحه‌های ۹۳۵-۹۲۳
DOI: 10.22059/jwim.2022.332010.929

مقاله پژوهشی:

تأثیر سناریوهای مختلف مدیریتی بر تغییرات کمی منابع آب حوزه بالخلی‌چای و آبخوان دشت اردبیل با استفاده از مدل MODSIM

فرشته آرامی شام‌اسبی[۱]، امین کانونی[۲*]، سعید رائی‌نظامی[۳]
۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۲. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۳. استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۱۶

چکیده
استفاده از ابزارهای بهینه‌سازی- شبیه‌سازی از جمله رویکردهای مؤثری است که می‌تواند نقش قابل‌ملاحظه‌ای در تحلیل سناریوهای مدیریت منابع آب داشته باشد. در این پژوهش با استفاده از مدل برنامه‌ریزی منابع آب MODSIM، تأثیر سناریوهای مختلف مدیریتی در شرایط کمبود آب بر برنامه‌ریزی تخصیص آب حوزه رودخانه بالخلی‌چای و هم‌چنین سطح ایستابی آبخوان دشت اردبیل، مورد بررسی قرار گرفت. واسنجی و صحت‌سنجی مدل با درنظرگرفتن هیدروگراف جریان سطحی خروجی از حوضه و هیدروگراف آبخوان و با استفاده از داده‌های دوره آماری ۲۰۱٤-۲۰۰۰ انجام و ضرایب جریان برگشتی با سعی و خطا تخمین زده شد. مقادیر شاخص‌های آماری جذر میانگین مربعات خطا و ضریب کارایی نش-ساتکلیف در دوره واسنجی و صحت‌سنجی نشان‌دهنده عملکرد خوب مدل در شبیه‌سازی جریان سطحی و آب زیرزمینی و اجزای بیلان آب حوزه بالخلی‌چای بوده است. پس از اطمینان از دقت شبیه‌سازی مدل، سناریوهای مختلف مدیریتی از جمله سناریو رشد جمعیت (S)، تغییر راندمان آبیاری (S1) و تغییر الگوی کشت و راندمان آبیاری (S2) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی نشان داد تحت سناریوهای S، S1 و S2 میزان افت سطح آب زیرزمینی به‌ترتیب برابر ۸/٤۱، ۳/۳٦ و ۲/۳۱ متر و درصد تأمین تقاضای کشاورزی در شبکه آبیاری از سد مخزنی یامچی به‌ترتیب برابر ۳۸، ٤۳ و ٤۸ درصد خواهد بود. بنابراین با اعمال سناریوهای مدیریت منابع آب، ضمن تأمین نیازهای مختلف می‌توان از افت شدید سطح ایستابی آبخوان دشت اردبیل در سال‌های آتی جلوگیری کرده و گام مؤثری در تعادل‌بخشی آب زیرزمینی برداشت.

کلیدواژه‌ها: آب سطحی و زیرزمینی، تخصیص، شبکه آبیاری یامچی، شبیه‌سازی.

The effect of different management scenarios on quantitative changes in water resources of Balekhlichai river watershed and Ardabil plain aquifer using MODSIM model

Fereshteh Arami Shamasbi[1], Amin Kanooni[2*], Saeed Rasi Nezami[3]
1. Former graduate student, Department of water engineering, Faculty of agriculture and natural resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2. Associated Professor, Department of water engineering, Faculty of agriculture and natural resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
3. Assistant Professor, Department of civil engineering, Faculty of engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
Received: October, 08, 2021 Accepted: January, 16, 2022

Abstract
The use of optimization-simulation tools is one of the effective approaches that can play a significant role in analyzing water resources management scenarios. In this study, using MODSIM water resources planning model, the effect of different management scenarios in water scarcity conditions on water allocation planning in Balekhlichai river catchment and also the water level of Ardabil plain aquifer was investigated. Calibration and validation of the model were performed by considering the surface flow hydrograph of the basin outlet and the aquifer hydrograph using the data of the statistical period 2000-2014. Then the return flow coefficients were estimated by trial and error. The values of root mean square error and Nash-Sutcliffe efficiency coefficient in the calibration and validation period indicate the good performance of the model in simulating surface and groundwater flow and water balance components of catchment. After ensuring the accuracy of the model simulation, various management scenarios including population growth scenario (S), irrigation efficiency change (S_1) and cultivation pattern and irrigation efficiency changes (S_2) were examined. The results showed that under scenarios S, S_1 and S_2, the groundwater level drop will be equal to 8.41, 3.36 and 2.31 meters, respectively. Also, under scenarios S, S_1 and S_2, the percentage of agricultural demand supply in the Yamchi irrigation network from the reservoir will be equal to 38, 43 and 48 percent, respectively. Therefore, by applying water resources management scenarios, it is possible to prevent a sharp drop in the water level of the Ardabil plain aquifer in the future years and take an effective step in balancing groundwater.

Keywords: Allocation, Simulation, Surface and groundwater, Yamchi irrigation network.

* نویسنده مسئول Email: amin.kanooni@uma.ac.ir

مقدمه

تخصیص بهینه آب بین مصارف مختلف در شرایط کمبود منابع و بررسی آثار آن بر مؤلفه‌های سامانه‌های منابع آب، راه‌کاری مؤثر در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب است. مدل‌سازی روشی برای پیش‌بینی رفتار یا عملکرد سیستم و هم‌چنین اعمال سیاست‌های مدیریتی می‌باشد (Loucks & Van Beek, 2017) که به‌عنوان ابزاری مهم در تحلیل سامانه‌های منابع آب مورداستفاده قرار می‌گیرد. در این راستا و با پیشرفت گسترده تکنولوژی‌های رایانه‌ای در سال‌های اخیر، استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی (مانند مدل‌های RIBASIM، MIKEBASIN، WBALMO، MODSIM و WEAP) در مطالعه مسائل مرتبط با مدیریت جامع منابع آب، که قادرند تمام ذی‌نفعان را در فرایند برنامه‌ریزی در نظر بگیرند مورد توجه پژوهش‌گران متعددی قرار گرفته است که سهم استفاده از مدل‌های WEAP و MODSIM در شبیه‌سازی یکپارچه سامانه‌های منابع آب بیش از بقیه بوده است. مطالعات Sanchez-Roman *et al.* (2009)، Comair *et al.* (2012)، Vonk *et al.* (2014)، Fowe *et al.* (2015) و Schneider *et al.* (2019) در سطح بین‌المللی و هم‌چنین پژوهش‌های Shafaeianfard *et al.* (2014)، Khoshravesh & Nikzad tehrani (2018)، Salimi masteali *et al.* (2020) و Mardanian *et al.* (2020) در سطح داخلی، نمونه‌ای از پژوهش‌های انجام‌یافته در زمینه تخصیص منابع آب و شبیه‌سازی بهره‌برداری از سدهای مخزنی با استفاده از مدل WEAP است. شبیه‌سازی سیستم‌های منابع آب با مدل MODSIM به‌دلیل توسعه آن در محیط NET.، قابلیت ویژه‌سازی (Customization) آن در ورود پارامترهای مدل با کدنویسی به زبان C.NET و VB.NET و هم‌چنین قابلیت اتصال آن با مدل‌های دیگر شبیه‌سازی هم‌چون مدل‌های بارش-رواناب و مدل‌های شبیه‌سازی آب زیرزمینی (Sharifnasab & Shourian, 2016) باعث شده است که پژوهش‌های مختلفی نیز در داخل و خارج کشور در زمینه شبیه‌سازی منابع آب با استفاده از آن انجام شود. بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد در سطح بین‌المللی از مدل MODSIM برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی طرح‌های منابع آب (Paul *et al.*, 1997; Rasi nezami *et al.*, 2013)، مدل‌سازی کمّی و کیفی منابع آب (Campbell *et al.*, 2001) و مسائل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی در تخصیص بهینه منابع آب (Shourian *et al.*, 2008) استفاده شده و هم‌چنین مطالعات داخلی مختلفی در شبیه‌سازی منابع آب در سطح حوزه‌های آبریز با استفاده از آن به‌عمل آمده است که می‌توان به پژوهش‌های Nikghalb *et al.* (2012) و Sabzzadeh & Alimohammadi (2012) اشاره نمود.

در سال‌های اخیر اکثر مطالعات بر جنبه‌های مختلف شبیه‌سازی سیستم منابع آب استوار بوده است. در پاره‌ای از مطالعات از مدل‌های شبیه‌سازی به‌همراه الگوریتم‌های بهینه‌سازی استفاده شده تا ضمن شبیه‌سازی سیستم منابع آب و مقایسه گزینه‌های مختلف مدیریتی، بتوان با بهره‌گیری از مدل‌های بهینه‌سازی، بهترین گزینه مدیریتی را انتخاب نمود. هم‌چنین استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در شبیه‌سازی سیستم منابع آب، از قابلیت‌های خوب مدل MODSIM به‌شمار می‌رود که مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته است. در ادامه، نتایج مطالعات انجام‌یافته در سال‌های اخیر که جنبه‌های مختلف شبیه‌سازی منابع آب را با بهره‌گیری از مدل MODSIM مد نظر قرار داده است، ارائه می‌شوند. Berhe *et al.* (2013) طی مطالعه‌ای که برای آنالیز بیلان آب حوضه آواش[1] در اتیوپی تحت سطوح مختلف توسعه آبیاری و تخصیص آب در حوضه موردنظر انجام دادند اثرات سناریوهای مختلف مدیریت منابع آب در حوضه را بررسی کردند. نتایج شبیه‌سازی با مدل MODSIM نشان داد به‌دلیل کاهش ظرفیت مخازن بالادست حوضه در سال افق طرح (سال ۲۰۳۸)، که ناشی از رسوب‌گذاری

مخازن ذخیره است، تلفات آب افزایش یافته و آب ورودی به مخازن پایین‌دست کاهش خواهد یافت. ذخیره اضافی آب در مخزن بالادست و برنامه‌ریزی برای مدیریت تالاب موجود در حوضه به‌عنوان راه‌کار پیشنهادی برای مدیریت منابع آب در سال‌های آتی مورد تأکید قرار گرفت. Razaghi *et al.* (2014) بهره‌برداری از سد مخزنی نمرود در استان تهران در شرایط محدودیت منابع آب را با استفاده از مدل MODSIM با اعمال سیاست‌های جیره‌بندی برای کاهش اثرات تنش آبی شبیه‌سازی کردند. نتایج حاکی از تعدیل تنش‌های شدید و توزیع یکنواخت کمبودها در دوره‌های بهره‌برداری با اعمال سیاست جیره‌بندی بوده است، به‌طوری‌که اعمال سیاست جیره‌بندی باعث افزایش ۱۰ و ۷ درصدی شاخص‌های اعتمادپذیری و پایداری سیستم و کاهش ۱۸ و ۹ درصدی شاخص‌های آسیب‌پذیری و سرعت برگشت‌پذیری شد. استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در شبیه‌سازی سیستم منابع آب، از قابلیت‌های خوب مدل MODSIM به‌شمار می‌رود که مطالعات Atashi *et al.* (2015) نمونه‌ای از آن است. نتایج شبیه‌سازی کمّی و کیفی منابع آب سطحی و زیرزمینی در تخصیص آب شرب شهر مشهد نشان داد که در سال ۱٤۲۰ (سال افق شبیه‌سازی) میزان کمبود روزانه آب در ساعات اوج مصرف بدون لحاظ محدودیت کیفی، ۲۸ درصد و با لحاظ محدودیت کیفی، ۳۸ درصد خواهد بود. تلفیق منابع آب سطحی و زیرزمینی برای رقیق‌سازی آب شرب به‌عنوان راه‌کار پیشنهادی مطرح بوده است و شبیه‌سازی منابع آب با این راه‌کار کسری روزانه را به ۳۰ درصد می‌رساند (Atashi *et al.*, 2015). پژوهشی توسط Mohsenizade & Shourian (2017) در برنامه‌ریزی تخصیص بهینه منابع آب در سطح حوزه قره‌سو در گرگانرود با استفاده از تلفیق مدل شبیه‌سازی MODSIM و الگوریتم بهینه‌سازی فاخته[۲] (COA) انجام گرفت. پس از واسنجی مدل و به‌منظور بررسی تغییرات میزان تخصیص منابع آب در شرایط استفاده از رویکرد شبیه‌سازی- بهینه‌سازی، ابتدا مدل در شرایط موجود اجرا شد، سپس با تلفیق الگوریتم COA در مدل MODSIM، سیاست‌های بهره‌برداری از مخازن به‌عنوان متغیرهای تصمیم مسأله، بهینه‌یابی شده و وضعیت تأمین نیازها با شرایط موجود مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج رویکرد شبیه‌سازی–بهینه‌سازی نسبت به شبیه‌سازی وضع موجود، نشان داد که میزان تأمین نیازهای آب کشاورزی و پرورش ماهی به میزان ۳۷ و ۳۵ درصد افزایش یافته است. هم‌چنین جریان خروجی از حوضه نیز در شرایط بهینه ۲٤ درصد کاهش یافته است. این نتایج بیانگر اهمیت اتخاذ سیاست‌های بهره‌برداری بهینه از مخازن سیستم به‌منظور افزایش میزان تأمین نیازهای آبی و کاهش اتلاف منابع آبی در سطح حوزه می‌باشد. Fazlali & Shourian (2018) از یک مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی برای تخصیص بهینه آب و سطح زیر کشت بهینه محصولات کشاورزی در دشت آرایز از حوزه کرخه استفاده کردند. از مدل شبیه‌سازی MODSIM به‌عنوان مدل تخصیص و از الگوریتم جهش قورباغه[۳] (SFLA) برای بهینه‌سازی استفاده کردند. نتایج اجرای مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی نشان داد که سود خالص به اندازه ۱۲ درصد بیش‌تر از شرایط موجود بوده و هم‌چنین تحلیل حساسیت پارامترهای مؤثر نشان داد که عملکرد پتانسیل و قیمت فروش محصولات اثر مستقیمی بر سطح زیر کشت بهینه محصولات دارد. Misaghi & Sadeghiha (2018) طی مطالعه‌ای به بررسی نحوه تخصیص آب از سد نهب واقع بر رودخانه خررود در استان قزوین به مصارف کشاورزی، زیست‌محیطی و تغذیه مصنوعی آبخوان دشت قزوین در شرایط خشکسالی با استفاده از مدل MODSIM پرداختند و از شاخص‌های درصد تأمین حجمی، اعتمادپذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری برای بررسی نتایج شبیه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد استفاده کردند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که در شرایط خشکسالی، احداث سد تأثیر ناچیزی

در تأمین نیاز آبی منطقه خواهد داشت. بهره‌برداری پایدار از منابع آب زیرزمینی در حوزه مهارلو-بختگان، طی مطالعه‌ای توسط Rasi nezami & Feizi (2018) با استفاده تلفیقی از آب سطحی و زیرزمینی در محیط MODSIM انجام شد. با درنظرگرفتن تغییر اقلیم و تعریف سناریوهای مختلف مدیریت منابع آب، سطوح برداشت از آب زیرزمینی و راندمان آبیاری زمین‌های کشاورزی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که همه اهداف مدیریتی در استفاده پایدار از منابع آب زیرزمینی در سناریوی پنجم (SC5)، تحقق‌یافته و راه‌حل بهینه‌ای در بهره‌برداری از منابع آب قابل ارائه است. Jamshidpey & Shourian (2020) از مدل MODSIM به‌عنوان یک مدل شبیه‌ساز تخصیص منابع آب و از الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری[٤] (GWO) برای تعیین الگوی کشت بهینه و تخصیص بهینه آب آبیاری در دشت برخوار استان اصفهان تحت شرایط تغییر اقلیم استفاده کردند. نتایج حاکی از کاهش سود کشاورزی و سطوح کشت محصولات کشاورزی در شرایط تغییر اقلیم بوده است.

برنامه‌ریزی منابع آب دشت اردبیل به‌عنوان بخشی از طرح دره‌رود با هدف تأمین آب شرب شهر اردبیل و سرعین و تأمین آب قسمتی از اراضی کشاورزی دشت، با احداث سد و شبکه آبیاری یامچی شروع و در سال ١٣٨٤ مورد بهره‌برداری قرار گرفت. با گذشت زمان و به‌دلیل کاهش منابع آب ورودی به سد و گستره آبی حوزه آبریز مربوطه (به‌دلیل خشکسالی و تغییر اقلیم)، توسعه شهرنشینی و به تبع آن کاهش اراضی قابل کشت و رشد جمعیت و افزایش نیاز شرب مناطق مسکونی واقع در محدوده طرح، عدم تطابق برنامه‌ریزی تخصیص آب در طرح اولیه با شرایط موجود نمایان شده است. از طرف دیگر برداشت بیش از حد آب از منابع زیرزمینی برای جبران کمبود منابع آب به‌وجودآمده، افت سطح آب در آبخوان دشت اردبیل را تشدید نموده به‌طوری‌که دشت اردبیل به یکی از دشت‌های بحرانی کشور تبدیل شده است که در مطالعات متعددی از جمله پژوهش انجام یافته توسط Rostamzadeh *et al.* (2015) تأکید شده است. پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی راه‌کارهای مناسب مدیریت منابع آب برای مقابله با مشکلات ناشی از کم‌آبی در دشت اردبیل طرح‌ریزی و با بهره‌گیری از مدل شبیه‌ساز مناسب به بررسی تأثیر سناریوهای مختلف مدیریتی بر اجزاء سیستم منابع آب و آبخوان دشت اردبیل در شرایط کمبود آب پرداخته است.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

حوزه رودخانه بالخلی‌چای با مساحت ٧١٩ کیلومتر مربع در یک منطقه کوهستانی در شمال‌غرب ایران بین مدارهای "٣٨ ٥١ ٣٧° تا "٢٤ ١٥ ٣٨° شمالی و "٣٥ ٦٤ ٤٧° تا "١٥ ٠٦ ٤٨° شرقی در محدوده دشت اردبیل واقع شده است. این رودخانه از دامنه‌های سبلان و حوضه‌های مجاور سرچشمه گرفته و با پیوستن سرشاخه‌های مختلف به آن، وارد سد مخزنی یامچی می‌شود. این سد بخشی از آب شرب شهر اردبیل و سرعین و هم‌چنین نیاز کشاورزی شبکه آبیاری مربوطه را تأمین می‌کند. آبخوان دشت اردبیل نیز با مساحت حدود ١٢١٧ کیلومترمربع در محدوده "٤٥ ٠٨ ٤٨° تا "٣٠ ٣٧ ٤٨° طول شرقی و "١٥ ٠٢ ٣٨° تا "٠٠ ٣١ ٣٨° عرض شمالی واقع شده که از طریق جبهه‌های ورودی آب زیرزمینی و رواناب زیرحوضه‌های مشرف به دشت تغذیه می‌شود. مساحت اراضی کشاورزی دشت اردبیل در محدوده حوزه بالخلی‌چای حدود ٧٢ هزار هکتار است که از این مقدار ٢٣ هزار هکتار تحت پوشش چاه‌های بهره‌برداری قرار دارند. هم‌چنین ٥ هزار هکتار از این اراضی به‌روش نوین (تحت فشار) و ١٨ هزار هکتار نیز به‌روش سطحی، آبیاری می‌شوند. در شبکه آبیاری یامچی نیز دو هزار

هکتار به‌روش نوین و پنج هزار هکتار به‌روش کم فشار آبیاری می‌شوند (بر گرفته از آرشیو شرکت آب منطقه‌ای اردبیل). شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه و سیستم آبراه‌های حوزه آبریز را نشان می‌دهد.

دشت اردبیل از لحاظ موقعیت جغرافیایی از ویژگی‌های خاص آب‌وهوایی برخوردار بوده و دارای زمستان سرد و طولانی و تابستان نسبتاً معتدلی است. براساس آمار بلندمدت ایستگاه سینوپتیک اردبیل (آمار ۳۹ ساله)، حداقل و حداکثر دمای ثبت شده در آن به‌ترتیب برابر ۳۳/۸- و ۳۹/۸ درجه، متوسط حداقل و حداکثر دما به‌ترتیب برابر ۳ و ۱۵/۵ درجه و میانگین کلی دما برابر ۹/۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. هم‌چنین متوسط رطوبت نسبی برابر ۷۱ درصد و متوسط بارندگی سالانه منطقه نیز برابر ۲۹۳/۳ میلی‌متر است که حدود ۷ درصد آن در فصل تابستان اتفاق می‌افتد و به همین دلیل جزو مناطق سرد و نیمه‌خشک کشور محسوب می‌شود (Jafarpour, 2017).

روش انجام پژوهش

در این پژوهش از مدل MODSIM برای شبیه‌سازی سیستم منابع آب حوزه بالخلی‌چای و بررسی اثرات سناریوهای مختلف مدیریتی بر منابع آب و آبخوان دشت اردبیل استفاده شد. مدل MODSIM به‌عنوان یک سیستم تصمیم‌یار مدیریت حوزه آبریز، در دانشگاه ایالتی کلرادو (Shafer & Labadie, 1978) ارائه شد و به‌عنوان یک ابزار رایانه‌ای جهت توسعه و بهبود مواردی چون استراتژی‌های کوتاه‌مدت مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی بلندمدت بهره‌برداری، برنامه‌ریزی احتمالی خشکسالی و تحلیل‌های مربوط به حقابه‌ها و حل و فصل منازعات میان‌بخشی (شرب، صنعت، کشاورزی، محیط‌زیستی) در سطح حوزه آبریز به‌کار گرفته شد. به‌منظور مدل‌سازی سیستم منابع آب منطقه موردمطالعه و بررسی سناریوهای مختلف مدیریتی، ابتدا شکل شماتیک سیستم منابع آب حوزه آبریز در محیط MODSIM ترسیم (شکل ۲)، و بعد از انتخاب سال پایه (۲۰۱٤-۲۰۰۰)، داده‌های ورودی مدل تهیه شد. داده‌های ورودی مربوط به بخش آب‌های سطحی، پارامترهای مربوط به میزان برداشت از سد یامچی برای مصارف شرب، کشاورزی و زیست‌محیطی و هم‌چنین اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری ورودی به حوضه موردمطالعه، از شرکت آب منطقه‌ای و شرکت آب و فاضلاب اردبیل تهیه شد.

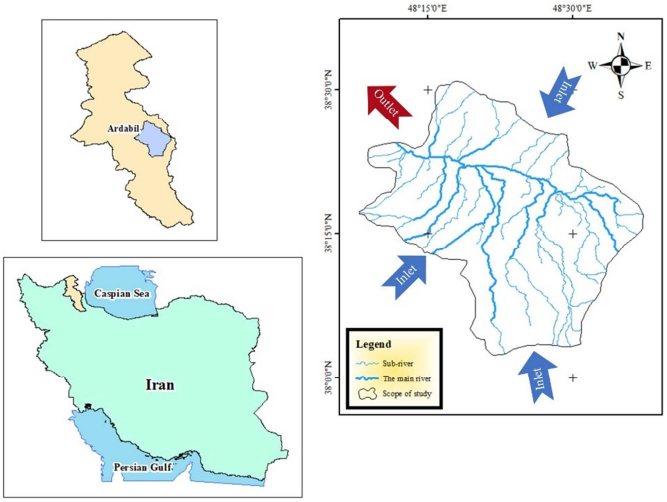

Figure 1. Geographical location of the study area

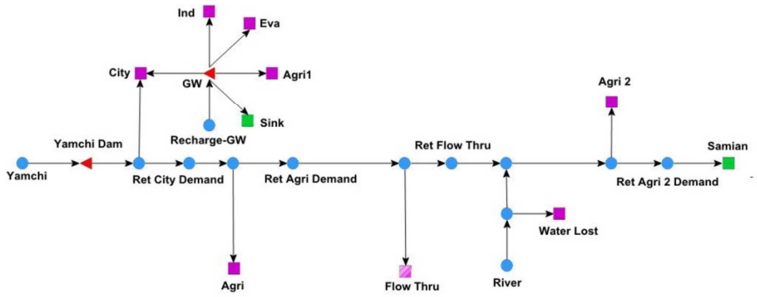

Figure 2. Schematic of water consumption and resources in Yamchi basin in MODSIM

هم‌چنین داده‌های ورودی لازم در بخش آب‌های زیرزمینی نیز پس از محاسبه حجم آبخوان با استفاده از نقشه هم‌ضخامت آبرفت دشت اردبیل (Asghari moghaddam & Kord, 2014) و شناسایی عوامل تغذیه و تخلیه آبخوان، وارد فرایند مدل‌سازی شدند.

تعیین عوامل تغذیه آبخوان آب زیرزمینی

عوامل تغذیه آبخوان شامل تغذیه مستقیم از بارش، آب برگشتی از مصارف مختلف (شرب، صنعت و کشاورزی) و جریان‌های سطحی ورودی از حوضه‌های مجاور می‌باشد. برای تعیین مقدار تغذیه آبخوان از بارش، ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود در داخل مرز آبخوان، انتخاب و وارد نرم‌افزار ArcGIS شد و سپس متوسط بارش در سطح آبخوان برآورد شد (جدول ۱). در ادامه برای برآورد درصد تغذیه آبخوان از بارش، از نتایج پژوهش Ghaffari *et al.* (2018) استفاده شد. ایشان با تجزیه و تحلیل نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از روش نوسانات سطح آب[۵] (WTF)، برآوردی از تغذیه آب زیرزمینی آبخوان دشت اردبیل را ارائه دادند. این‌کار با درنظرگرفتن روش WTF به‌عنوان مدل پیشرو و با کمک الگوریتم بهینه‌سازی مناسب، انجام و پارامترهای تغذیه آبخوان از جمله کسر بارش برآورد شد.

میزان تغذیه از آب برگشتی کشاورزی، شرب و صنعت نیز تابعی از میزان آب تخصیص داده شده به آن‌ها و میزان نفوذ می‌باشد که با روش سعی و خطا در مرحله واسنجی مدل به‌دست آمد. هم‌چنین به‌منظور تعیین مقدار تغذیه از جریان‌های سطحی حوضه‌های مجاور، از آمار ایستگاه‌های هیدرومتری واقع بر مسیل‌های ورودی و خروجی دشت استفاده شد. برای محاسبه میزان تغذیه آبخوان از جریان‌های سطحی، اختلاف مجموع مقادیر ورودی به دشت (ثبت‌شده در ایستگاه‌های هیدرومتری) از حجم جریان‌های خروجی محاسبه و نتیجه آن وارد مدل شد. ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در محدوده موردمطالعه و میانگین دبی سالانه مربوط به هر ایستگاه در جدول (۲) ارائه شده است.

تعیین عوامل تخلیه آبخوان آب زیرزمینی

مهم‌ترین منبع بهره‌برداری از آب‌زیرزمینی دشت، چاه‌ها، چشمه‌ها و قنوات می‌باشند که مقادیر برداشت آب از طریق آن‌ها از گزارش‌های طرح آماربرداری شرکت آب منطقه‌ای اردبیل دریافت شد. این مقادیر در محدوده موردمطالعه در جدول (۳) ارائه شده است.

برای محاسبه مقدار تخلیه آبخوان از طریق تبخیر که سهم اندکی از کل حجم آب خروجی از آبخوان را دارد از نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی استفاده شد. به‌منظور محاسبه میزان تبخیر از آب‌زیرزمینی، پهنه تبخیری با عمق کم‌تر از ۵ متر و ۲/۵ متر برای ماه‌های مختلف تعیین و پس از تعیین مساحت آن‌ها، با استفاده از روش تورنت‌وایت مقدار تبخیر اتفاق افتاده برای ماه‌های مختلف، محاسبه شد.

Table 1. Average rainfall on the Ardabil aquifer during 2000-2014

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Rainfall (mm)	18.5	20.9	35.3	29.8	51.2	28.6	10.5	6	22.5	35.4	37.7	24.3

Table 2. Mean annual flow of hydrometric stations in the study area during 2000-2014

Hydrometric stations	Elevation (m)	Geographical location		Mean annual flow (1000 m^3)
		X	Y	
Yamchi	1584	239870	4213646	65265
Pole-almas	1440	253668	4226572	27447
Samian	1290	259495	4251608	59332
Gilandeh	1332	269237	4243334	24531
Anbaran	1550	276429	4263707	1968
Namin	1459	280441	4256377	2490.8
Soula	1352	280300	4251763	3484
Nanakaran	1350	284049	4250056	2438
Aladizgeh	1347	289176	4239989	5855
Eril	1375	287731	4233329	6613
Kouzetopraghi	1394	269078	4222326	4713
Noran	1423	254360	4235418	9242
Amoghein	1385	253094	4237446	5840
Barogh	1410	252378	4243283	4865

Table 3. Groundwater withdrawal through Wells, Springs and Qantas (1000m3)

Resource type	Month											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Well	2686	2751	2593	4630	26116	51033	48840	12668	2738	2508	2765	2420
Spring	80	88	90	72	59	48	51	39	29	80	67	88
Qanat	623	623	604	644	643	643	643	643	643	623	623	624

لازم به ذکر است ضریب تبخیر نسبت به افزایش عمق، براساس منحنی وایت، برای عمق بین ۲/۵ تا ۵ متر برابر ۱/۵ درصد و برای عمق کم‌تر از ۲/۵ متر، برابر ۲/۵ درصد در نظر گرفته شد (Asghari moghaddam & Kord, 2014).

واسنجی و صحت‌سنجی مدل

به‌منظور تخمین پارامترهای مدل و هم‌چنین برای بررسی کارایی آن در مرحله شبیه‌سازی، لازم است ابتدا مدل تهیه شده، واسنجی و سپس صحت‌سنجی شود. برای این منظور از داده‌های سال‌های آماری ۲۰۱٤-۲۰۰۰ (به‌دلیل تکمیل بودن آمار در این بازه زمانی) استفاده شد. اطلاعات سال‌های آماری ۲۰۱۰-۲۰۰۰ جهت واسنجی در مدل وارد شد. ضرایب جریان برگشتی شرب، کشاورزی و صنعت به صورت سعی وخطا وارد مدل شد و سپس جریان مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده در خروجی حوضه (ایستگاه هیدرومتری سامیان) و هم‌چنین در بخش آب زیرزمینی، هیدروگراف مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده آبخوان، مورد مقایسه قرار گرفت. در نهایت دقت شبیه‌سازی مدل با شاخص‌های آماری جذر میانگین مربعات خطا[٦] (RMSE) و ضریب کارایی نش-ساتکلیف[٧] (NSE) ارزیابی شد. به‌منظور صحت‌سنجی مدل، ضرایب جریان برگشتی به‌دست‌آمده در مرحله واسنجی، در مدل وارد و جریان خروجی حوضه و تراز آب زیرزمینی طی سال‌های ۲۰۱٤-۲۰۱۱ شبیه‌سازی و با مقادیر مشاهده‌شده آن‌ها مقایسه شدند.

سناریوهای تخصیص آب

ازآنجاکه پیش‌بینی دقیق عوامل مؤثر بر یک سامانه منابع آب در آینده میسر نیست، لذا به‌منظور بررسی اثرات تغییر در شرایط موجود در افق طولانی‌مدت بر یک سیستم منابع آب، از سناریوسازی استفاده می‌شود (Stewart *et al*., 2007). در این پژوهش برای بررسی اثر سناریوهای مدیریت منابع آب

در منطقه موردمطالعه، اقدام به تعریف سناریوهای مدیریتی شد که عبارتند از ۱- سناریو مرجع (S) که در آن، شرایط موجود منابع و تخصیص آب، با درنظرگرفتن افزایش جمعیت در آینده در نظر گرفته شد، ۲- سناریو تغییر شیوه آبیاری (S_1) که تغییر شیوه آبیاری اراضی کشاورزی به آبیاری تحت‌فشار را مد نظر قرار می‌دهد و بدین ترتیب راندمان آبیاری زمین‌های کشاورزی که به صورت سطحی آبیاری می‌شوند براساس راندمان سیستم تحت فشار (٦٥ درصد) در مدل وارد شد و ۳- سناریو تغییر شیوه آبیاری و الگوی کشت (S_2) که در این سناریو علاوه بر شرایط سناریو S_1، تأثیر تغییر درصد الگوی کشت منطقه بر منابع آب موردبررسی قرار گرفت. برای این منظور سیاست کاهش کشت محصولات پرمصرف و جایگزینی آن‌ها با محصولات کم‌مصرف، مد نظر قرار گرفت. لازم به ذکر است که مبنای سناریوهای دوم و سوم براساس برنامه تغییر شیوه آبیاری و الگوی کشت بوده است که توسط سازمان جهاد کشاورزی استان اردبیل طی نشریه با عنوان "برنامه الگوی کشت محصولات زراعی و باغی استان اردبیل (١٣٩٤)" منتشر شده است.

نتایج و بحث

پس از تهیه اطلاعات ورودی مدل و ساخت مدل شبیه‌سازی در محیط MODSIM، پارامترهای واسنجی با استفاده از آزمون و خطا تعیین و سپس دقت مقادیر تخمین زده شده پارامترها با اجرای مدل و ترسیم مقادیر شبیه‌سازی‌شده در مقابل مقادیر مشاهده‌شده، مشخص شد. مقادیر پارامترهای واسنجی مدل در جدول (٤) ارائه شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود بیش‌ترین ضریب جریان برگشتی مربوط به بخش شرب و کم‌ترین مقدار آن هم مربوط به بخش کشاورزی بوده است.

شکل (۳) مقایسه جریان سطحی مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده در خروجی حوضه را براساس مقادیر پارامترهای مدل در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی نشان می‌دهد. انطباق مناسب مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای در خروجی حوضه، بیانگر دقت بالای پارامترهای برآورد شده می‌باشد. هم‌چنین به‌منظور بررسی معنی‌داری آماری مقادیر شبیه‌سازی مدل، از شاخص‌های RMSE و NSE استفاده شد. نتایج شاخص‌های ارزیابی در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی نیز در جدول (۵) ارائه شده است. مقادیر RMSE محاسبه‌شده، کم‌ترین مقدار به‌دست‌آمده به ازای ضرایب مختلف جریان برگشتی می‌باشد. هم‌چنین با توجه به این‌که مقدار ضریب نش-ساتکلیف از منفی بی‌نهایت تا یک متغیر می‌باشد و مقادیر بزرگ‌تر نشان‌دهنده شبیه‌سازی بهتر مدل است، لذا مقادیر آن نشان‌دهنده واسنجی مناسب مدل به‌ویژه در بخش آب‌های زیرزمینی می‌باشد.

Table 4. Calibrated parameters of the MODSIM model

Parameter	Percentage of return flow from the drinking section	Percentage of return flow from the agricultural section	Percentage of return flow from the industry section
Value	0.75	0.25	0.7

Table 5. Statistical evaluation indicators of model simulation

Resource Type	Calibration		Validation	
	RMSE	NSE	RMSE	NSE
Surface water	1.37 m^3/s	0.87	1.06 m^3/s	0.61
Groundwater	0.35 m	0.93	0.44m	0.9

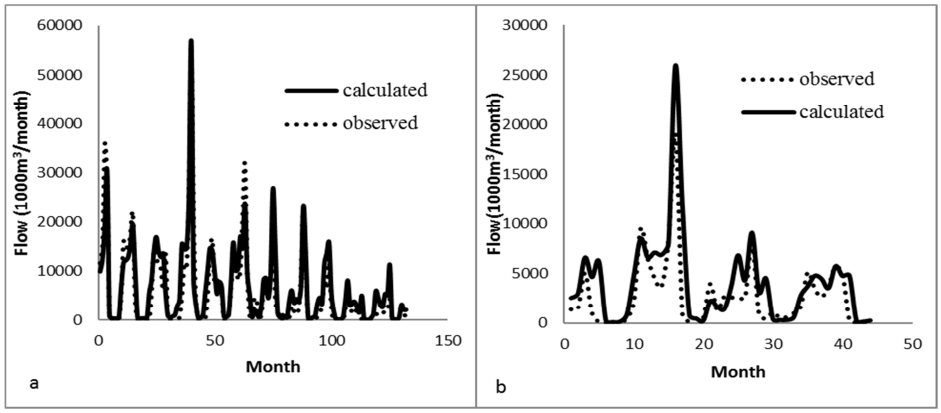

Figure 3. Comparison of observed and simulated surface flows at the basin outlet (a: calibration and b: validation)

نتایج شبیه‌سازی مدل تخصیص منابع آب تحت سناریوهای مختلف

برای دستیابی به نتایج اعمال سناریوهای مختلف مدیریتی در سال افق طرح (سال ۲۰٤٦ میلادی)، ابتدا حجم آب مورد تقاضای بخش‌های مختلف مصرف برآورد شود. در سناریو S شرایط موجود با درنظرگرفتن افزایش جمعیت در آینده مدنظر قرار گرفت. تأثیر تغییر شیوه آبیاری اراضی کشاورزی از روش سطحی به‌روش تحت فشار، طبق سناریو S_1 بررسی شد. مساحت ۲۳ هزار هکتار از اراضی دشت اردبیل تحت پوشش چاه‌های کشاورزی هستند که ۵ هزار هکتار به‌روش نوین و ۱۸ هزار هکتار به‌روش سطحی، آبیاری می‌شوند. هم‌چنین در شبکه آبیاری یامچی، ۲ هزار هکتار به‌روش نوین و ۵ هزار هکتار به‌روش کم‌فشار آبیاری می‌شوند. در این سناریو فرض بر این است که کل اراضی به‌روش نوین آبیاری خواهند شد. در جدول (٦) حجم آب مورد تقاضای بخش‌های مختلف مصرف مشخص است. در سناریو S_2 علاوه بر حفظ شرایط سناریو S_1، تأثیر تغییر درصد الگوی کشت منطقه بر منابع آب موردبررسی قرار گرفت. برای این منظور سیاست کاهش کشت محصولات پرمصرف و جایگزینی آن‌ها با محصولات کم‌مصرف، در نظر گرفته شد. جدول (۷) سطح زیر کشت محصولات مختلف در شرایط حاضر و شرایط مدیریتی آتی را ارائه می‌کند. جریان زیست‌محیطی رودخانه بالخلی‌چای، به‌روش‌های مختلف (مونتانا، تسمن و منحنی تداوم جریان) برآورد و با دبی جریان عبوری از ایستگاه هیدرومتری پل‌الماس (معرف جریان زیست‌محیطی رودخانه) مقایسه شد. ایستگاه هیدرومتری پل‌الماس در پایین‌دست سد مخزنی یامچی واقع شده که پس از بهره‌برداری سد، آمار دبی‌سنجی آن تحت تأثیر ذخیره سد قرار گرفته و از روند گذشته خود تغییر یافته است، به‌طوری‌که تنها آب‌های میان‌حوضه‌ای از آن عبور می‌کند. در جریان مطالعات سد یامچی، دبی عبوری از ایستگاه پل‌الماس به‌عنوان حقابه زیست‌محیطی رودخانه بالخلی‌چای مد نظر بوده است. با توجه به این‌که دبی عبوری از ایستگاه هیدرومتری پل‌الماس در اکثر ماه‌های سال بیش‌تر از میانگین حداقل دبی برآورد شده با روش‌های مختلف تعیین جریان زیست‌محیطی می‌باشد، بنابراین در بررسی سناریوهای مدیریتی نیز دبی ایستگاه هیدرومتری پل‌الماس به‌عنوان معرف جریان زیست‌محیطی در نظر گرفته شد.

بررسی درصد تأمین تقاضا در سناریوهای مختلف

تقاضاهای شرب و کشاورزی دشت اردبیل بخشی از نیاز آبی خود را از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌کنند. این تقاضاها در مدل تهیه‌شده نیز به آبخوان دشت اردبیل مرتبط شده‌اند. نتایج شبیه‌سازی مدل نشان داد که به‌دلیل حجم بالای

آبخوان، در تأمین تقاضا کمبودی رخ نمی‌دهد و آثار سناریوهای مدیریتی فقط بر نوسانات آب زیرزمینی اعمال می‌شود. اما با توجه به این‌که تقاضای شبکه آبیاری یامچی از سد مخزنی تأمین می‌شود، لذا اثرات سناریوهای مدیریتی بر درصد تأمین تقاضا از سد منعکس می‌شود که در شکل (٤) نشان داده شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود درصد تأمین تقاضای کشاورزی در شبکه آبیاری یامچی تحت سناریو S، ۳۸ درصد می‌باشد. در صورت استفاده از آبیاری نوین در کل اراضی (سناریو S_1)، به‌دلیل افزایش راندمان آبیاری، درصد تأمین تقاضا به ٤۳ درصد افزایش پیدا می‌کند. با درنظرگرفتن تغییر الگوی کشت و استفاده از گیاهان کم مصرف و هم‌چنین استفاده از آبیاری نوین در کل اراضی شبکه، درصد تأمین تقاضا به ٤۸ درصد خواهد رسید که روند افزایشی تأمین تقاضا دیده می‌شود.

بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی تحت سناریوهای مختلف

اثر سناریوهای مختلف مدیریت منابع آب بر نوسانات سطح آب زیرزمینی با اجرای مدل بررسی شد، که نتایج آن در شکل (۵) ارائه شده است.

Table 6. Water demand of different consumption sectors (1000 m^3/month)

Month	City demand	Environmental demand	Agricultural demand			
			Ardabil plain		Yamci irrigation network	
			Current situation	Scenario S_1	Current situation	Scenario S_1
Jan	5500	2672	0	0	0	0
Feb	5898	2242	0	0	0	0
Mar	5500	3241	0	0	0	0
Apr	5785	1514	0	0	0	0
May	6458	2077	40901	30346	11729	8150
Jun	6525	5060	42030	31184	17131	12153
Jul	5919	3496	29984	22246	17218	12470
Aug	5583	1379	23546	17470	12126	8830
Sep	5449	1037	2620	1944	1207	888
Oct	4978	2016	105	78	47	36
Nov	4440	1859	0	0	0	0
Dec	4910	856	0	0	0	0
Sum	66943	27449	139186	103268	59458	42527

Table 7. Percentage of area under cultivation of major crops in the study area

Study region	Situations	Crops					
		Potato	Wheat	Barley	Forage	Beans	Canola
Ardabil plain	Current situation	27	46	18	7	2	0
	Change the percentage under cultivation	20	40	18	7	2	13
Yamchi irrigation network	Current situation	40	30	5	10	15	0
	Change the percentage under cultivation	30	25	5	10	15	15

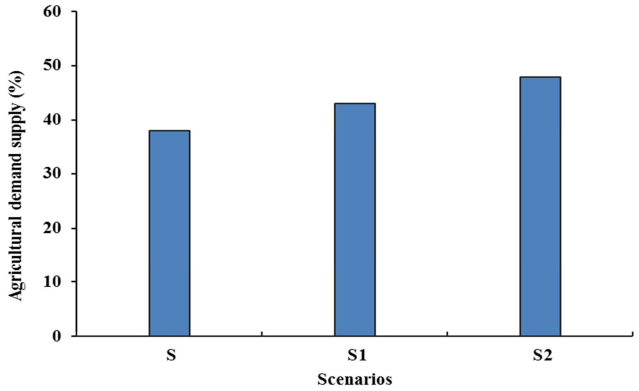

Figure 4. Agricultural demand supplies for Yamchi irrigation network under different scenarios

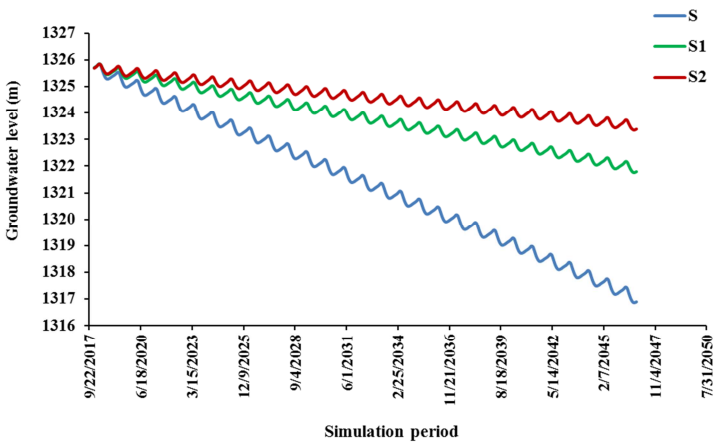

Figure 5. Groundwater level fluctuations under different scenarios

نوسان تراز سطح آب‌زیرزمینی در ماه‌های مختلف بیانگر تغذیه و تخلیه آبخوان در طول یک سال آبی است. همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود تراز آب زیرزمینی در سناریو S طی سال‌های آتی، به‌دلیل افزایش جمعیت و به‌دنبال آن افزایش میزان برداشت آب‌زیرزمینی، سیر نزولی خواهد داشت، به‌طوری‌که از تراز ۱۳۲۵/۶۹ در ابتدای دوره (سال ۲۰۱۸) به تراز ۱۳۱۷/۲۸ در سال ۲۰۴۶ خواهد رسید. در واقع تحت این سناریو در افق طرح، تراز آب‌زیرزمینی ۸/۴۱ متر افت خواهد نمود. در سناریو S_1 به‌دلیل استفاده از آبیاری نوین در بخش کشاورزی و افزایش راندمان آبیاری، کاهش برداشت از آب زیرزمینی اتفاق افتاده و لذا اثرات آن در سطح آب زیرزمینی منعکس می‌شود. در این سناریو، سطح ایستابی از ۱۳۲۵/۶۹ متر در سال ۲۰۱۸، به ۱۳۲۲/۳۳ متر در سال ۲۰۴۶ خواهد رسید که افت تراز آب زیرزمینی برابر ۳/۳۶ متر را در پی خواهد داشت. هم‌چنین در صورت استفاده از آبیاری نوین و تغییر الگوی کشت در سال‌های آتی (سناریو S_2)، مقدار افت سطح آب زیرزمینی برابر ۲/۳۱ متر خواهد بود. این مقدار کم‌ترین میزان افت تراز آب زیرزمینی در بین سناریوهای مختلف مدیریتی می‌باشد که در جهت حفظ تعادل آب زیرزمینی دشت موردنظر می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش از مدل MODSIM جهت ارزیابی کمی سناریوهای تخصیص آب در حوزه رودخانه بالخلی‌چای و آبخوان دشت اردبیل استفاده شد. پس از واسنجی و صحت-سنجی مدل و بررسی دقت آن با استفاده از شاخص‌های آماری، مدل تهیه شده برای سناریوهای مختلف مدیریت منابع آب، اجرا شد. نتایج نشان داد میزان تأمین تقاضای کشاورزی شبکه آبیاری یامچی از سد مخزنی در سناریوهای S، S_1 و S_2 به‌ترتیب برابر ۳۸، ۴۳ و ۴۸ درصد و هم‌چنین مقدار افت آب زیرزمینی در آبخوان دشت اردبیل به‌ترتیب برابر ۸/۴۱، ۳/۳۶ و ۲/۳۱ متر خواهد بود. می‌توان اذعان نمود توسعه شیوه آبیاری نوین و تغییر الگوی کشت، موجب افزایش درصد تأمین تقاضای کشاورزی از سد مخزنی شده و این امر از اعمال فشار بیش‌تر بر منابع آب زیرزمینی منطقه و تخلیه آبخوان جلوگیری خواهد کرد. لذا با استفاده از شیوه‌های نوین در آبیاری اراضی کشاورزی و کاهش سطح زیر کشت گیاهان پرمصرف و جایگزینی آن‌ها با گیاهان کم مصرف در منطقه، می‌توان گام مؤثری در حفظ تعادل آب زیرزمینی دشت موردمطالعه برداشت و از اثرات سوء افت سطح آب‌زیرزمینی (هم‌چون فرونشست زمین) کاست. قابل ذکر است که تغییر شیوه آبیاری اراضی کشاورزی در سال-

های اخیر جزو اولویت‌های سازمان‌های ذی‌ربط قرار گرفته و سالانه سطح وسیعی از دشت، زیر پوشش سیستم‌های تحت فشار قرار می‌گیرد. البته اصلاح الگوی کشت محصولات کشاورزی مستلزم پذیرش و همکاری کشاورزان منطقه می‌باشد که با حمایت‌های تشویقی می‌توان روند توسعه آن را سرعت بخشید.

پی‌نوشت‌ها

1. Awash
2. Cuckoo Optimization Algorithm
3. Shuffle Frog Leaping Optimization Algorithm
4. Grey Wolf Optimization
5. Water Table Fluctuation
6. Root Mean Square Error
7. Nash-Sutcliffe Efficiency

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

1. Asghari moghaddam, A., & Kord, M. (2014). Numerical modeling of the Ardabil plain aquifer and its management using optimization of Groundwater extraction. Final report of the completed research project, *Ardabil Regional Water Company (IWRMC), Deputy of Research and Technical Affairs.*
2. Atashi, M., Davary, K., & Sharifi, M. (2015). Simulation of integrated qualitative and quantitative allocation of surface and underground water resources to drinking water demand in Mashhad. *Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab,* 26(5), 23-34. (in Persian).
3. Berhe, F.T., Melesse, A.M., Hailu, D., & Sileshi, Y. (2013). MODSIM-based water allocation modeling of Awash River Basin, Ethiopia. *Catena, (109), 118-128.*
4. Campbell, S.G., Hanna, R.B., Flug, M., & Scott, J.F. (2001). Modeling KLAMATH River system operations for quantity and quality. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 127(5), 284-294.
5. Comair, G. F., Gupta, P., Ingenloff, C., Shin, G., & McKinney D.C. (2012). Water resources management in the Jordan River Basin. *Water and Environment Journal, 27(4), 495-504.*
6. Fazlali, A., & Shourian, M. 2018. A demand management-based crop and irrigation planning using the simulation-optimization approach. *Water Resources Management, 32(1), 67-81.*
7. Fowe, T., Nouiri, I., Ibrahim, B., Karambiri, H., & Paturel, J.E. (2015). OPTIWAM: an intelligent tool for optimizing irrigation water management in coupled reservoir–groundwater systems, *Water Resources Management, 29(10): 3841-3861.*
8. Ghaffari, H., Rasoulzadeh, A., Raoof, M., & Esmaili. A. (2018). Estimation of natural groundwater recharge using WTF method (Case study: Ardabil plain aquifer). *Journal of Civil and Environmental Engineering, 48.1(90), 43-52.* (In Persian)
9. Jafarpour, Sh. (2017). *Investigation of the effects of climate change on water requirement of major crops in the Ardabil plain*. Master thesis, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.
10. Jamshidpey, A., & Shourian, M. (2020). Crop pattern planning and irrigation water allocation compatible with climate change using a coupled network flow programming-heuristic optimization model. *Hydrological Sciences Journal, 66(1), 90-103.*
11. Khoshravesh, M., & Nikzad tehrani, A. (2018). Evaluation of different scenarios of water resources management in Talar plain using groundwater modeling and integrated water resources systems. *Iranian of Irrigation and Water Engineering, 9(33), 89-101.* (In Persian)
12. Loucks, D.P., & van Beek, E. (2017). Water resource systems planning and management. doi:10.1007/978-3-319-44234-1.
13. Misaghi, F., & Sadeghiha, J. (2018). Performance assessment of Nohob dam reservoir under drought conditions using MODSIM model. *Journal of Water and Soil Conservation*, *25(3), 25-42*. (In Persian).
14. Mardanian, S., Zare bidaki, R., & Abdollahi, K. (2020). Optimal allocation of water resources in Khanmirza watershed using WEAP. *Iranian Journal of Watershed Management Science*, 14(49), 11-19. (In Persian).
15. Mohsenizadeh, A., & Shourian, M. (2017). Optimum water resources allocation planning at basin scale by integrating MODSIM and Cuckoo optimization algorithm. *Iran-Water Resources Research*, 13(4), 1-16. (In Persian).

16. Nikghalb, H., Mosahebi, H., & Alimohammadi, S. (2012). Application of MODSIM model in evaluating catchment water development plans. 9th International Congress of Civil Engineering, Isfahan, Isfahan University of Technology. (in Persian).
17. Paul, W., Labadie, J.W., & Baldo, M.L. (1997). Environmental impact evaluation using a river basin network flow model. Proceedings of the 24th Annual Water Resources Planning and Management Conference. American Society of Civil Engineers, Houston, Texas.
18. Rasi nezami, S., Nazariha, M., Moridi, A., & Baghvand, A. (2013). Environmentally sound water resources management in catchment level using DPSIR model and scenario analysis. *International Journal of Environment Research*, 7(3), 569-580.
19. Rasi nezami, S., & Feizi, A. (2018). Achieving Groundwater Resource Sustainability at Watershed Scale by Conjunctive Use of Groundwater and surface Resources. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 22(8), 1263-1268.
20. Razaghi, P., Babazadeh, H., & Shourian, M. (2014). Development of multi-purpose reservoir operation hedging rule in water resources shortage conditions using MODSIM8.1. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 3(2), 11-23. (In Persian).
21. Rostamzadeh, H., Asadi, A., & Jafarzadeh, J. (2015). Investigation of groundwater level of Ardabil plain. *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 2(1), 31-42. (In Persian).
22. Sabzzadeh, E., & Alimohammadi, S. (2012). Estimation of return flow coefficient from agriculture using particle cluster optimization algorithm. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage,* 6(4), 297-305. (In Persian).
23. Salimi masteali, F., Hafezparast, M., & Sargordi, F. (2020). Simulation and optimization of dam operation under changing cultivation pattern scenario (Case Study: Harsin dam). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(1), 1-12. (In Persian).
24. Sánchez-Roman, R. M., Folegatti, M.V., Orellana, Gonzalez., A.M.G., & da Silva, R.T. (2009). Dynamic systems approach assess and manage water resources in river basins. *Science Agriculture*, 66(4), 427-435.
25. Schneider, P., Ole sander, B., Wassmann, R., & Asch, F. (2019). Potential and versatility of WEAP software (Water Evaluation and Planning System) for impact assessments of Alternate Wetting and Drying in irrigated rice. *Agricultural Water Management*, 224, 105559.
26. Shafaeianfard, D., Koohiyan afzal, F., & Yakhleshi, M. (2014). Determination of top option in utilization of water resources using Weap model and multi attribute decision-making analysis (Case study: Zaryngol basin). *Journal of Watershed Management*, 5(9), 29-45. (In Persian).
27. Shafer, J., & Labadie, J. (1978). Synthesis and Calibration of a River Basin Water Management Model. Completion Report No. 89, Colorado Water Resources Research Institute, Colorado State University, Ft. Collins, CO.
28. Sharifnasab, A., & Shourian, M. (2016). Estimation of the inflow to the Urmia lake by integrating the time series modeling and the basin's future simulation in two long and short-term conditions. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 5(4), 1-17. (In Persian).
29. Shourian, M., Mousavi, S.J., & Tahershamsi, A. (2008). Basin-wide water resources planning by integrating PSO algorithm and MODSIM. *Water Resources Management*, 22(10), 1347–1366.
30. Stewart, S., Mahmoud, M., Liu, Y., Hartmann, H., Wagener, T., & Gupta, H. (2007). Scenario development for water resources planning and management. Changes in Water Resources Systems: Methodologies to Maintain Water Security and Ensure Integrated Management: Proceedings of Symposium HS3006, Perugia.
31. Vonk, E., Xu, y., P., Booij, M.J., Zhang, X., & Augustijn, D.C. (2014). Adapting multi reservoir operation to shifting patterns of water supply and demand. *Water Resources Management*, 28(3), 625-643.