



## Combined operation of surface and groundwater resources in the conditions of climate change

Ali Torabi<sup>1</sup> | Fariborz Yosefvand<sup>2</sup> | Saeid Shabanlou<sup>3</sup> | Ahmad Rajabi<sup>4</sup> | Behrouz Yaghoubi<sup>5</sup>

1. Department of Water Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran. E-mail: [e1a1toraby@yahoo.com](mailto:e1a1toraby@yahoo.com)
2. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran. E-mail: [fariborzosefvand@gmail.com](mailto:fariborzosefvand@gmail.com)
3. Department of Water Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran. E-mail: [saeid.shabanlou@gmail.com](mailto:saeid.shabanlou@gmail.com)
4. Department of Water Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran. E-mail: [ahmad.rajabi1974@gmail.com](mailto:ahmad.rajabi1974@gmail.com)
5. Department of Water Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran. E-mail: [byaghoubi@gmail.com](mailto:byaghoubi@gmail.com)

### Article Info

**Article type:** Research Article

**Article history:**

**Received:** Dec. 27, 2023

**Revised:** Feb. 1, 2024

**Accepted:** Feb. 19, 2024

**Published online:** Sep. 2024

**Keywords:**

Climate Change,  
Integrated Operation,  
Surface and Underground Water  
Interaction,  
MODFLOW,  
WEAP.

### ABSTRACT

The main goal of this research is to simulate the interaction of surface water and groundwater by creating a connection between surface water and groundwater models in the Lor plain under climate change conditions. In this regard, the effects of climate change on surface water and groundwater sources were investigated based on the sixth report of the inter-state commission using a WEAP-MODFLOW coupled integrated model. The changes in the water level of the aquifer and the amount of the dropdown in the groundwater level were evaluated under the reference scenario assuming the continuation of the current situation and climate change scenarios, and the number of fluctuations in the entire plain for the 27-year period of 2050-2023 (September 2050) in all climate change scenarios based on a model. A hybrid model, composed of different models, was predicted. The results showed that the average dropdown in the groundwater level at the end of 27-year period of 2023-2050 will be about 11 meters if the current situation (observational scenario) continues. In this scenario, the maximum dropdown in the groundwater level will be 38.7 meters in a part of the central and southwestern areas of the plain. If the climatic parameters predicted by the hybrid model are used in the coupled model of surface water and groundwater, the average dropdown in the groundwater level in the scenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 and SSP4-8.5 will be 9.8, 10, 10.18 and 10.83 meters, respectively. The maximum dropdown in these scenarios will be 34.5, 35.2, 35.5 and 38.2 meters, respectively.

Cite this article: Torabi, A., Yosefvand, F., Shabanlou, S., Rajabi, A., & Yaghoubi, B. (2024) Combined operation of surface and groundwater resources in the conditions of climate change, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55 (7), 1129-1149.

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.370273.669630>



## بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در شرایط تغییر اقلیم

علی ترابی<sup>۱</sup> | فریبرز یوسفوند<sup>۲</sup> | سعید شعبانلو<sup>۳</sup> | احمد رجبی<sup>۴</sup> | بهروز یعقوبی<sup>۵</sup>۱. گروه مهندسی آب، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: [elatoraby@yahoo.com](mailto:elatoraby@yahoo.com)۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: [fariborzosefvand@gmail.com](mailto:fariborzosefvand@gmail.com)۳. گروه مهندسی آب، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: [saeid.shabanlou@gmail.com](mailto:saeid.shabanlou@gmail.com)۴. گروه مهندسی آب، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: [ahmad.rajabi1974@gmail.com](mailto:ahmad.rajabi1974@gmail.com)۵. گروه مهندسی آب، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: [byaghubi@gmail.com](mailto:byaghubi@gmail.com)

## چکیده

## اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

هدف اصلی این پژوهش، شبیه‌سازی برهم‌کنش آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از ایجاد اتصال بین مدل‌های آب سطحی و زیرزمینی در دشت لور در شرایط تغییر اقلیم است. در این راستا اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب سطحی و زیرزمینی بر اساس گزارش ششم هیات بین‌الدول با استفاده از یک مدل تلفیقی متصل شده WEAP-MODFLOW مورد بررسی قرار گرفت. تغییرات تراز آبخوان و مقدار افت سطح آب زیرزمینی تحت سناریوی مرجع با فرض ادامه وضع موجود و سناریوهای تغییر اقلیم مورد ارزیابی قرار گرفت و میزان نوسانات آن در کل دشت برای دوره ۲۷ ساله ۲۰۲۳-۲۰۵۰ (سپتامبر ۲۰۵۰) در تمامی سناریوهای تغییر اقلیم بر اساس یک مدل ترکیبی متشکل از مدل‌های مختلف پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد میانگین افت تراز آب زیرزمینی در پایان دوره ۲۷ ساله ۲۰۲۳-۲۰۵۰ در صورت ادامه وضع موجود (سناریوی مشاهداتی) حدود ۱۱ متر خواهد بود. بیشترین میزان افت سطح آب زیرزمینی در این سناریو ۳۸/۷ متر در بخشی از نواحی مرکزی و جنوب غرب دشت خواهد بود. در صورت استفاده از پارامترهای اقلیمی پیش‌بینی شده توسط مدل ترکیبی در مدل متصل شده آب سطحی و زیرزمینی، میانگین افت تراز آب زیرزمینی در سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP3-7.0 و SSP4-8.5 به ترتیب برابر با ۹/۸، ۱۰، ۱۰/۱۸ و ۱۰/۸۳ متر خواهد بود. بیشترین مقدار افت در این سناریوها به ترتیب برابر با ۳۴/۵، ۳۵/۲، ۳۵/۵ و ۳۸/۲ متر خواهد بود.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۳۰

تاریخ انتشار: مهر ۱۴۰۳

## واژه‌های کلیدی:

تغییر اقلیم،

بهره‌برداری تلفیقی،

برهم‌کنش آب‌های سطحی و زیرزمینی،

MODFLOW

WEAP

استناد: ترابی؛ علی، یوسفوند؛ فریبرز، شعبانلو؛ سعید، رجبی؛ احمد، یعقوبی؛ بهروز. (۱۴۰۳). بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در شرایط تغییر اقلیم، مجله

تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۵ (۷)، ۱۱۴۹-۱۱۲۹.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.370273.669630>

## مقدمه

استفاده از مدل‌های مبتنی بر بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی یکی از راهکارهای پرکاربرد برای بررسی اثر اجرای سناریوهای مدیریتی و تغییرات اقلیمی بر سامانه‌های منابع آب است. مدل‌های شبیه‌سازی در دو بخش آب سطحی و زیرزمینی توانایی شبیه‌سازی پاسخ‌های سامانه به راهبردهای مدیریتی مشخص را دارند و قادر هستند نتایج اجرای سیاست‌های خاص را بر کل سامانه به صورت یکپارچه نمایش دهند. برای اطمینان از اینکه پاسخ‌های مدیریتی از لحاظ فیزیکی هم قابل قبول هستند، می‌بایست رفتار سامانه را با در نظر گرفتن پارامترهای تأثیرگذار در دو بخش آب سطحی و زیرزمینی ارزیابی نمود (Singh 2014; Soltani and Azari 2022). توسعه و طراحی مدل‌های بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب اولین قدم برای دستیابی به یک مدل جامع برای شبیه‌سازی یکپارچه در مقیاس حوضه آبریز بود.

Sarwar and Eggers (2006) یک مدل بهره‌برداری تلفیقی ایجاد کردند و از یک رویکرد تعادل آب ساده برای تخمین تغذیه خالص به آبخوان استفاده کردند. در این سامانه، مدل آب زیرزمینی FEFLOW، تغذیه خالص را به عنوان ورودی برای محاسبه بیلان آب دریافت می‌کند و جریان را در آب زیرزمینی تحت تمام تنش‌های مرزی شبیه‌سازی می‌کند. برای مطالعه اثرات مداخلات بالادست و محلی، یک مدل تلفیقی آب سطحی و آب زیرزمینی در مقیاس بزرگ (شبکه ۱ کیلومترمربع)، در سامانه رودخانه Okavango در جنوب آفریقا توسعه داده شد (Bauer et al. (2006). Rheinheimer et al. (2014) برهم‌کنش آب سطحی و زیرزمینی و آنالیز عدم قطعیت در مدل‌سازی تلفیقی این منابع در بازه‌هایی از سامانه رودخانه در حوضه نامو در استرالیا بررسی نمودند.

مدل‌سازی یکپارچه منابع آب سطحی و زیرزمینی برای مدیریت بهره‌برداری تلفیقی بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد توجه محققان زیادی بوده که منجر به توسعه ساختارهای به هم پیوسته منابع آب شده است (Hu et al. (2016; Morway et al. (2016; Gilbert and Maxwell (2017). استفاده مجزا از منابع آب می‌تواند منجر به بروز مشکلاتی همچون کمبود آب در مواقع خشک‌سالی به دلیل نبود منابع آب سطحی، ناپایداری در محیط‌زیست و تولید محصول، افت تراز سطح ایستایی و مشکلات زیست‌محیطی در نقاط بحرانی رودخانه و افزایش هزینه پمپاژ در نتیجه برداشت بی‌رویه شود (Mazandarani Zadeh and Hoseini, 2023). در مقابل مدیریت و بهره‌برداری همزمان از این منابع با در نظر گرفتن برهم‌کنش رودخانه و آبخوان باعث می‌شود مدیران درک بهتری از اثرات متقابل اجرای طرح‌ها و پروژه‌های بزرگ بر سامانه‌های آب سطحی و زیرزمینی داشته باشند (Kamkar et al., 2021; Azizi et al., 2023; Zibaei et al. 2013).

در این راستا توسعه سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری<sup>۱</sup> با استفاده از اتصال مدل‌های WEAP و MODFLOW برای مدیریت برداشت از آب‌های سطحی و زیرزمینی بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک با در نظر گرفتن ارتباط هیدرولیکی و اندرکنش بین آبخوان و رودخانه باعث می‌شود بررسی همزمان اثر اجرای سیاست‌های بهره‌برداری از منابع آب در دو بخش آب سطحی و زیرزمینی امکان‌پذیر باشد (Hadded et al. 2013; Zeinali et al. 2021a; Zeinali et al. 2021b).

یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو که همواره موردتوجه محققان بخش آب بوده است اثر تغییرات اقلیمی بر منابع آب سطحی و زیرزمینی در سال‌های آتی است. این اثرات در قالب تحقیقات گسترده‌ای در دو بخش آب سطحی و زیرزمینی ارائه شده که منجر به ارائه راهکارهایی برای سازگاری منابع آب با تغییرات اقلیمی گشته است. Erturk et al., (۲۰۱۴) تأثیر تغییرات اقلیمی را بر منابع آب زیرزمینی در حوضه Koycegiz-Dalyan مدیترانه غربی ترکیه مورد بررسی قرار دادند. مدل‌سازی هیدرولوژیکی با مدل SWAT انجام گردید نتایج این تحقیق کاهش قابل توجه در تغذیه آب‌های زیرزمینی و کاهش شدید منابع آب را پیش‌بینی نمود. Yan et al., (۲۰۱۵) در تحقیقی اثرات پدیده تغییر اقلیم تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 از گزارش پنجم را بر روی پارامترهای هیدرولوژیکی و بارش‌های فصلی رودخانه پیرل چین مورد بررسی قرار دادند با توجه به نتایج، تغییر اقلیم سبب تغییر جریان متوسط رودخانه در سراسر حوضه می‌گردد. به طوری که در پایین‌دست رودخانه، فصول خشک، خشک‌تر و فصول معتدل نیز در حال تبدیل شدن به فصول خشک می‌باشند. Shrestha et al., (۲۰۱۶) اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی در دلتای مکونگ را مورد مطالعه قرار دادند. بدین منظور خروجی سری مدل‌های CMIP5 تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 استخراج نمودند. نتایج نشان داد که میزان بارندگی در فصل‌های تر سال افزایش و در فصل‌های خشک سال روند نزولی خواهد داشت که منجر به کاهش تراز آب زیرزمینی می‌شود.

et al., Gulacha (۲۰۱۷) از مدل SDSM برای ریزمقیاس سازی آماری و تبدیل مدل های گردش عمومی جو (GCM) به مقیاس محلی، در حوضه رودخانه Wami-Ruvu کشور تانزانیا استفاده نمودند. نتایج نشان از پائین بودن ضریب همبستگی (بین ۳ تا ۵ درصد) برای شبیه سازی پارامتر بارش و همچنین روند افزایش دما بین سال های ۲۰۲۰-۲۰۸۰ از ۰٫۲ تا ۷٫۲ درجه سانتی گراد است در نهایت تحقیقات آنها نشان داد که در حوضه رودخانه Wami-Ruvu پتانسیل وقوع سیل و خشک سالی، بسیار بالاست.

بررسی منابع نشان داد در بسیاری از تحقیقات تنها یکی از بخش های آب سطحی یا آب زیرزمینی مدل سازی شده و بخش دیگر بر اساس روش های ساده تری مانند هوش مصنوعی محاسبه شده اند (Triana et al., 2010; Guzman et al., 2019; Nadiri et al., 2019; Soltani and Azari, 2023; Moradi et al., 2023). در برخی تحقیقات لایه های تأثیرگذار بر آب زیرزمینی مانند رواناب یا تغذیه و نفوذ به صورت یک بسته آماده به عنوان ورودی مدل آب زیرزمینی تعریف شده و از مدل شبیه ساز آب سطحی استفاده نشده است (Chang et al., 2010). اما مدل توسعه داده شده در تحقیق حاضر یک مدل متصل شده آب سطحی و زیرزمینی است که شبیه سازی را در دو بخش آب سطحی و زیرزمینی انجام می دهد. طوری که در هر یک از دوره های زمانی ماهیانه داده ها و نتایج بین این دو مدل در گردش هستند. همچنین بررسی ها نشان داد در سال های اخیر تحقیقات زیادی به بررسی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب پرداخته است که نتایج این تحقیقات حاکی از اثر انکارناپذیر تغییر اقلیم بر منابع آب و تأثیر انتخاب مدل اقلیمی و سناریوی انتشار پیشنهادی بر نتایج کار دارد (Epting et al., 2021; Costa et al., 2021; Nyembo et al., 2022; Yosefvand and shabanlou, 2020; Poursaeid et al., 2020, 2021; Azizpour et al., 2021, 2022; Malekzadeh et al., 2019a, b; Mohammad et al., 2023; Amiri et al., 2023; Fallahi et al., 2023; Mazraeh et al., 2023, 2024; Rajabi and Shabanlou, 2012, 2013). در همه این تحقیقات اثر تغییر اقلیم تنها بر یکی از منابع آب سطحی و زیرزمینی شبیه سازی شده است. در تحقیق حاضر برخلاف تحقیقات گذشته، سناریوهای انتشار حاصل از مدل های اقلیمی به صورت خودکار توسط مدل متصل شده WEAP-MODFLOW که شامل مدل رطوبت خاک است فراخوانی شده و پس از شبیه سازی اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی، اثرات اجرای این سناریوها را نمایش می دهد.

در تحقیق حاضر برای بررسی اثر تغییر اقلیم در حالت بهره برداری همزمان از سد و آبخوان، دشت لور واقع در غرب ایران انتخاب شد. تامین آب اراضی این دشت توسط چاه های بهره برداری و سد بالا رود صورت می گیرد. به دلیل عدم مدیریت درست بهره برداری از منابع آب، سطح آب زیرزمینی در منطقه دچار افت زیادی شده است. میزان افت بخصوص در سال های خشک به دلیل عدم تغذیه کافی آبخوان شدت یافته است و بررسی اثر بهره برداری همزمان سد و آبخوان در شرایط تغییر اقلیم ضروری است. با توجه به برنامه ریزی تلفیقی، در دوره های ترسالی که در آن نزولات جوی زیاد است، از منابع سطحی برای تأمین نیازهای منطقه و ایجاد تعادل در منابع موجود استفاده می شود و بخش مازاد آن برای تغذیه آبخوان و افزایش ذخیره منابع زیرزمینی استفاده می شود.

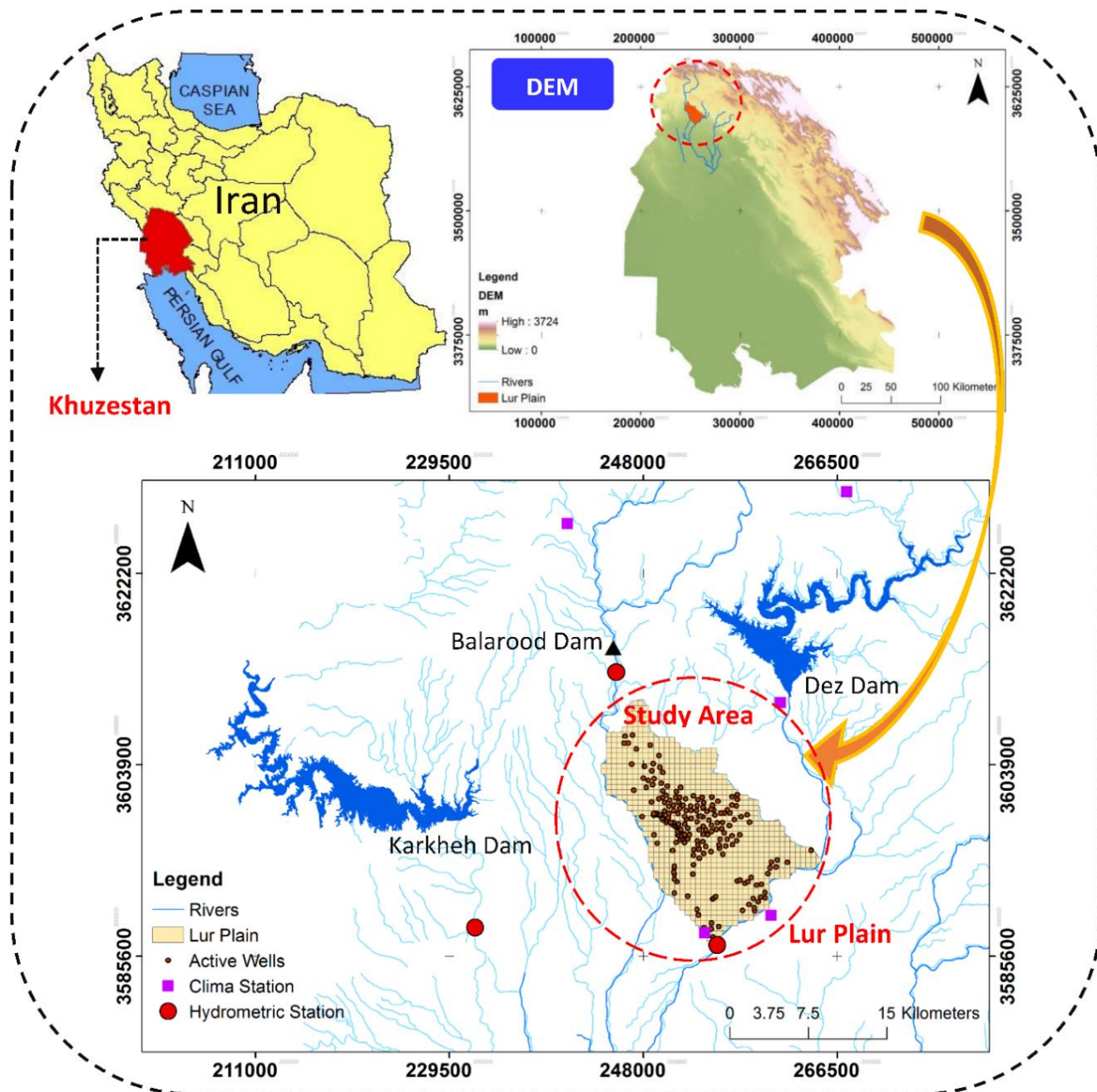
برنامه ریزی صحیح در این زمینه مستلزم آگاهی از نحوه برهم کنش آب سطحی و زیرزمینی در منطقه و تخمین و محاسبه پارامترها و عوامل سطحی و زیرزمینی مؤثر بر آن است. بنابراین از اهداف اساسی دیگر این مطالعه، بررسی اثر برهم کنش آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از شبیه سازی سامانه ی آنها و ایجاد اتصال دینامیکی بین منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه توسط مدل های ریاضی WEAP و MODFLOW می باشد. در مدل متصل شده برخلاف مدل های پیشنهادی که تاکنون ارائه شده، تمامی اجزاء دخیل در سامانه آب سطحی و زیرزمینی در منطقه مطالعاتی شبیه سازی شده و با هم در ارتباط هستند. طوری که داده ها و اطلاعات بین این دو سامانه در گردش بوده و این گردش در هر یک از گام های زمانی اتفاق می افتد. هدف دیگر بررسی تغییر اقلیم بر منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه تحت سناریوهای اقلیمی با در نظر گرفتن عدم قطعیت مختلف است. در مدل متصل شده ارائه شده در این تحقیق علاوه بر شبیه سازی منطقه اشباع توسط مدل MODFLOW، منطقه غیراشباع خاک نیز توسط مدل رطوبت خاک شبیه سازی شده و میزان رواناب، تبخیر و تعرق، جریان زیرسطحی، تغییرات ذخیره رطوبت خاک و مقدار تغذیه آب زیرزمینی توسط این ناحیه محاسبه می گردد. لذا بجای تعریف یکجای تغذیه در بدنه مدل MODFLOW، مقدار تغذیه در هر گام زمانی توسط مدل رطوبت خاک در WEAP محاسبه شده و به مدل MODFLOW وارد می شود.

## موارد و روش ها

### منطقه مورد مطالعه

رودخانه بالا رود یکی از رودخانه های فصلی منطقه اندیمشک است. این رودخانه پس از طی مسافتی حدود ۱۰۰ کیلومتر با عبور از مجاورت

شهرستان اندیمشک، به رودخانه دز می‌پیوندد. سد بالارود با هدف کنترل سیلاب‌های منطقه و تأمین نیاز کشاورزی بخشی از اراضی دشت‌های پشیمینه زار و لور در پایین‌دست آن احداث شده است. علاوه بر آب سطحی، منبع دیگر تأمین آب منطقه، چاه‌های عمیق و نیمه عمیق در سطح این دشت‌ها است. تعداد چاه‌های بهره‌برداری در منطقه مطالعاتی ۳۰۶ حلقه می‌باشد که از این تعداد ۲۰۴ حلقه در دشت لور و ۱۰۲ حلقه در پشیمینه‌زار وجود دارد. از هر دو منبع آب سطحی و زیرزمینی برای تأمین نیاز مصارف گوناگون کشاورزی، شرب و صنعت در منطقه موردنظر استفاده می‌شود. موقعیت منطقه مطالعاتی در شکل (۱) نشان داده شده است. در این تحقیق محدوده دشت لور به دلیل وجود اطلاعات کافی برای بررسی اثر بهره‌برداری تلفیقی از سد و آبخوان در حالت اتصال دینامیکی در نظر گرفته شد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران

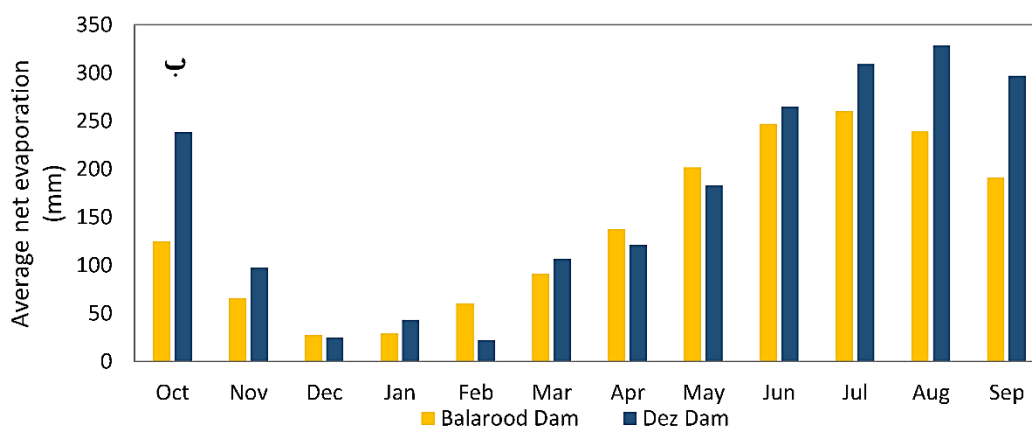
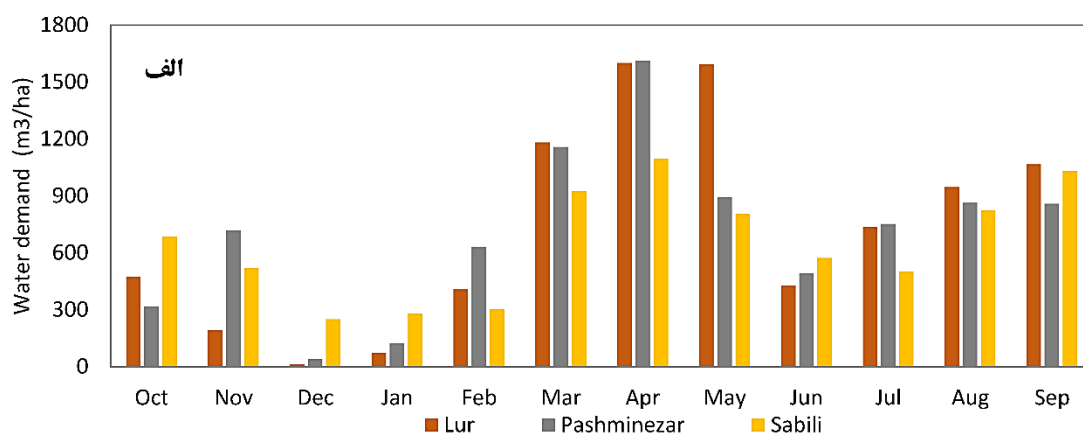
اطلاعات بهره‌برداری سد‌های بالارود و دز در جدول (۱) نشان داده شده است. سد دز در حال بهره‌برداری بوده و سد بالارود به تازگی در سال ۲۰۲۱ مورد بهره‌برداری قرار گرفته است.



جدول ۱- مشخصات عملیاتی سد بالارود و دز در دوره شبیه‌سازی

سد	سد بالارود	پارامتر
۳۵۲ (متر)	۳۲۹/۳ (متر)	تراز حداکثر
۲۸۵۷ (میلیون مترمکعب)	۱۳۱ (میلیون مترمکعب)	حجم مخزن در تراز حداکثر
۲۵۷ (میلیون مترمکعب)	۳۹/۵ (میلیون مترمکعب)	حجم غیرفعال
۲۶۰۰ (میلیون مترمکعب)	۹۱/۵ (میلیون مترمکعب)	حجم فعال

نیاز آبی اراضی دشت‌های لور و پشمینه زار از طریق آب تنظیمی سد بالارود تامین می‌گردد. همچنین بخشی از آب موردنیاز این دشت‌ها از طریق چاه‌های بهره‌برداری واقع در این دشت‌ها تامین می‌گردد. اما نیاز آبی اراضی دشت سبیلی از طریق رودخانه دز تامین می‌گردد. در دشت‌های لور، پشمینه زار و سبیلی نیاز آبی اراضی بر اساس الگوی کشت این دشت‌ها و عوامل اقلیمی محاسبه شد. بر این اساس متوسط آب موردنیاز این دشت‌ها در کل دوره در شکل ۲. الف نشان داده شده است. تبخیر خالص از سطح آزاد مخازن دز و بالارود که یکی از پارامترهای مهم بیلان آب در مخازن است در شکل ۲. ب) نشان داده شده است.


 شکل ۲- الف. نیاز آب دشت‌های مختلف مطالعاتی در ماه‌های مختلف (m<sup>3</sup>/ha) ب. میانگین تبخیر خالص از مخازن سدهای بالارود و دز (میلی‌متر)

### مدل MODFLOW

در مدل آب زیرزمینی مربوط به دشت لور ابتدا آمار و اطلاعات چاه‌های بهره‌برداری و معرف منطقه، آزمایش‌های پمپاژ صورت گرفته، شبکه پیژومتری، آمار هواشناسی و پارامترهای مرتبط با آن، وضعیت توپوگرافی و زمین‌شناسی منطقه، وضعیت آب‌های سطحی مانند رودخانه‌ها و غیره تحلیل شد. سپس مدل مفهومی بر اساس شرایط مرزی و اولیه تهیه شد. شبکه‌بندی مدل با تعداد ۲۳۴۰ سلول (۵۲ ردیف و ۴۵ ستون) با فواصل ۵۰۰ متر انجام شد که شامل ۸۵۶ سلول فعال بود. با استفاده از داده‌های پیژومتری ثبت شده عملیات واسنجی و صحت‌سنجی در دو حالت ماندگار و غیرماندگار انجام گرفت و ضرایب هیدرودینامیک آبخوان برآورد گردید. سپس بسته‌های مدل آب

زیرزمینی (DIS, LPF, BA6, GHB, OC, PCG, MFN, RIV و غیره) با استفاده از مدل ریاضی MODFLOW2005 برای اتصال به مدل آب سطحی کدنویسی شد. مدل ریاضی MODFLOW2005 یک مدل منبع باز<sup>۱</sup> است که همه بسته‌های ورودی و بخش‌های مختلف آن در همین محیط MODFLOW2005 مطابق با راهنمای ارائه‌شده توسط USGS کدنویسی می‌شود. این بسته‌ها تمامی اطلاعات تحلیلی موردنیاز مدل آب زیرزمینی را در بر دارد. با بررسی هیدروگراف واحد دشت لور مشخص شد که نوسان سطح آب در مهر ماه سال آبی ۹۱-۱۳۹۰ حالت ماندگارتری نسبت به سایر ماه‌ها دارد، بنابراین در مدل آب زیرزمینی آذرماه سال ۱۳۹۰، به عنوان ماه ماندگار در نظر گرفته شد و واسنجی حالت ماندگار برای این ماه انجام شد. برای حالت غیرماندگار بدلیل اینکه بعد از اتصال دو مدل WEAP و MODFLOW کلاً بسته تغذیه توسط مدل رطوبت خاک در WEAP شبیه‌سازی شده و به خورد مدل MODFLOW داده می‌شود بنابراین واسنجی و صحت‌سنجی مدل متصل شده بعد از اتصال صورت گرفت که نتایج آن در قسمت نتایج و بحث با نمودار جعبه‌ای<sup>۲</sup> ارائه شده است.

### بیکربندی و شبیه‌سازی مدل

#### مدل WEAP

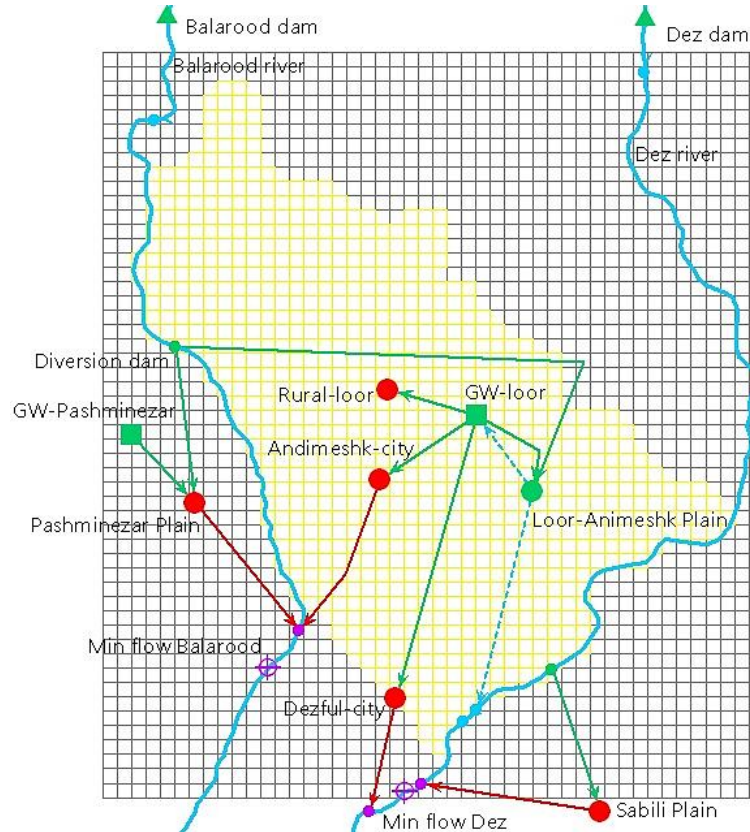
در مدل WEAP با استفاده از ابزارهای موجود و با توجه به نقشه‌های پایه GIS، مسیر رودخانه‌ها، محل ایستگاه‌های هیدرومتری، محل سدها (سد مخزنی بالارود و دز)، کانال‌های برداشت آب، گره مربوط به مصارف (کشاورزی و شرب) و غیره رقومی شدند. پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل تلفیقی آب سطحی و زیرزمینی برای دوره ۶ ساله (اکتبر ۲۰۱۰ تا سپتامبر ۲۰۱۶)، شبیه‌سازی سامانه برای دوره ۳۰ ساله آتی (اکتبر ۲۰۲۱ تا سپتامبر ۲۰۵۰) انجام شد. گام‌های زمانی شبیه‌سازی، ماهیانه و واحد محاسباتی، متریک در نظر گرفته شد. سری‌های زمانی داده‌های ثبت‌شده هیدرولوژیکی و هواشناسی و اطلاعات مربوط به نیاز ماهیانه مصارف (کشاورزی و شرب)، اطلاعات مخازن و محل‌های برداشت، ضرایب و پارامترهای موردنیاز به صورت فایل‌های متنی با پسوند CSV به مدل معرفی شدند. به دلیل بررسی اثر بهره‌برداری سد بالارود بر وضعیت سامانه، منطقه اصلی مورد مطالعه برای بهره‌برداری همزمان آب سطحی و زیرزمینی در شرایط اتصال دینامیکی آب سطحی و زیرزمینی محدوده آبخوان لور در نظر گرفته شد. اما به دلیل اثر مصارف دیگر مانند اراضی کشاورزی پشیمینه زار و سیبلی و همچنین میزان رهاسازی جریان از سد دز بر سامانه، این موارد نیز در شبیه‌سازی کل سامانه مد نظر قرار گرفت. سد و رودخانه دز و میزان برداشت آب توسط دشت سیبلی مستقیماً بر میزان رهاسازی جریان در رودخانه دز تأثیرگذار بوده و میزان تبادل این رودخانه با آبخوان لور نیز وابسته به این جریان است. از طرفی میزان برداشت آب توسط دشت پشیمینه زار نیز بر میزان رهاسازی جریان از سد بالارود و همچنین مقدار تبادل رودخانه بالارود با آبخوان لور مؤثر است.

مقادیر آبدهی ورودی به مخازن سدها در طول دوره شبیه‌سازی در مدل تعریف شد. آب شرب اندیمشک، نیازهای روستایی و بخشی از نیاز آب شرب دزفول از طریق چاه‌های شرب دشت لور تأمین می‌شود. به منظور محاسبه نیاز آب شرب اندیمشک، دزفول و نیاز روستایی در دوره شبیه‌سازی، از اطلاعات سرشماری جمعیتی سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۶ و ۱۴۰۰ و همچنین داده‌های سرانه مصرف آب این مناطق استفاده شد. داده‌های مصرف سرانه آب این نیازها به ترتیب ۲۱۳، ۲۲۳ و ۱۰۰ (لیتر نفر در روز) است. در نهایت با در نظر گرفتن جمعیت هر منطقه در هر دوره و داده‌های سرانه مصرف آب، تقاضای شرب ماهانه در دوره‌های آتی بر اساس روش هندسی محاسبه شد. دبی زیست‌محیطی با روش تنانت (Tennant، ۱۹۷۶) بر اساس جریان طبیعی در پایین‌دست رودخانه‌ها برآورد شد. حداقل دبی زیست‌محیطی رودخانه که با استفاده از روش فوق در گره‌های موردنظر به دست آمد، به ترتیب ۱۰ و ۳۰ درصد دبی سالانه در نیمه اول و دوم سال (مهر تا شهریور) بود. در بدنه مدل آب سطحی، گره‌های آب زیرزمینی و مصارف مربوط به آن نیز جهت اتصال به مدل آب زیرزمینی در نظر گرفته شد.

### تهیه مدل متصل شده آب سطحی و زیرزمینی

در مرحله آخر از فرآیند شبیه‌سازی آب سطحی و زیرزمینی، مطابق با شکل (۳) دو مدل آب سطحی و زیرزمینی به هم متصل شدند. برای این کار اقدام به تهیه و نوشتن یک برنامه رابط در محیط GIS شد. مطابق با شکل (۳)، توسط این برنامه، هر سلول فعال از شبکه سلول‌های آب زیرزمینی به لایه یا سطح متناظر با آن در WEAP متصل شد. لذا سلول‌های متناظر با زیرحوضه‌ها و کاربری هر یک از آن‌ها،

سلول‌های چاه‌ها، سلول‌های مصارف موجود (کشاورزی، شرب، روستایی و ...)، سلول‌های متناظر با محدوده آبخوان‌ها، سلول‌های رودخانه‌ای و بسته‌های تهیه‌شده MODFLOW و غیره همگی در برنامه رابط تعریف شدند. به طوری که همه اجزای متناظر این برنامه هم در مدل آب سطحی و هم در مدل آب زیرزمینی موجود بود.



شکل ۳- شماتیک مدل تلفیقی آب سطحی و زیرزمینی در محدوده مطالعاتی در حالت اتصال دینامیک

### سناریوهای اقلیمی

در این تحقیق سناریوهای اقلیمی SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP3-7.0 و SSP4-8.5 مربوط به گزارش ششم هیات بین‌الدول مورد استفاده قرار گرفت که مشخصات آن‌ها به قرار زیر است.

۱- سناریو SSP1-2.6: خوشبینانه‌ترین سناریو است و در این سناریو، انتشار جهانی CO<sub>2</sub> به شدت کاهش می‌یابد، پس از سال ۲۰۵۰ به صفر خالص می‌رسد و دمای هوا تا پایان قرن حدود ۱٫۸ درجه سانتی‌گراد بالاتر می‌رود.

۲- سناریو SSP2-4.5: این سناریو میانه است که در آن قبل از شروع کاهش انتشار CO<sub>2</sub> در اواسط قرن، حول سطوح فعلی معلق است، اما تا سال ۲۱۰۰ به صفر خالص نمی‌رسد. عوامل اجتماعی و اقتصادی از روند تاریخی خود پیروی می‌کنند، بدون تغییر قابل توجه. پیشرفت به سمت پایداری کند است و توسعه و درآمد به طور نابرابر رشد می‌کند. در این سناریو، دما تا پایان قرن ۲٫۷ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد.

۳- سناریو SSP3-7.0: در این مسیر، انتشار و دما به طور پیوسته افزایش می‌یابد و انتشار CO<sub>2</sub> تقریباً تا سال ۲۱۰۰ نسبت به سطح فعلی دو برابر می‌شود. تا پایان قرن، میانگین دما ۳٫۶ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است.

سناریو SSP5-8.5: سطح انتشار CO<sub>2</sub> تقریباً تا سال ۲۰۵۰ دو برابر می‌شود. اقتصاد جهانی به سرعت رشد می‌کند تا سال ۲۱۰۰، میانگین دمای کره زمین ۴٫۴ درجه سانتی‌گراد بالاتر است.

در این تحقیق از سه مدل ACCESS-ESM1، IPSL-CM6A-LR و MIROC استفاده شد. پس از دانلود مدل‌ها و استخراج داده‌های سلول مربوط به منطقه‌ی مورد مطالعه باید داده‌های استخراج‌شده که به صورت بزرگ‌مقیاس هستند ریزمقیاس‌نمایی شوند که در این تحقیق از ریزمقیاس‌نمایی به روش دل‌تا استفاده شده است.



### ریز مقیاس نمایی به روش دلتا (Delta) یا عامل تغییر (Change Factor)

برای محاسبه مقدار عامل تغییر یا دلتای مربوط به بارش هر یک از ۱۲ ماه سال، میانگین بارش هر یک از ماه‌های اقلیم آینده به میانگین بارش ماه مشابه در اقلیم حاضر (تاریخی) تقسیم شد. لذا برای ماه‌های مختلف ۱۲ تا عامل تغییر یا دلتا برای پیکسلی که ایستگاه در آن واقع است بدست آمد. سپس بارش ماهیانه بر اساس مقادیر عامل دلتا ریزمقیاس شد. به‌طور مثال برای ریزمقیاس‌سازی بارش ماه ژانویه دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱، عامل تغییر محاسبه‌شده برای ماه ژانویه در تمامی مقادیر بارش ماه ژانویه در دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۱ ضرب شد تا بارش ماه ژانویه در دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ بدست آید. برای برآورد بارش در دوره‌های آتی مطابق با توضیحات ارائه‌شده، از رابطه ۱ استفاده شد. در این رابطه  $Prpcp_{fut}$  بارش در دوره آتی،  $cf$  عامل تغییر و  $Prpcp_{obs}$  بارش مشاهداتی در دوره پایه است.

$$Prpcp_{fut} = cf \times Prpcp_{obs} \quad \text{رابطه ۱}$$

در پیش‌بینی دما، روش ریزمقیاس نمایی به روش عامل تغییر یا دلتا کم‌وبیش مشابه با بارش است. با این تفاوت که دما به صورت جمعی است. برای محاسبه مقدار عامل تغییر یا دلتای مربوط به دمای هر یک از ۱۲ ماه سال، میانگین دمای هر یک از ماه‌های اقلیم آینده منهای میانگین دمای ماه مشابه در اقلیم حاضر گردید. سپس مطابق با رابطه ۲، عامل تغییر محاسبه‌شده برای هر ماه به مقادیر دمای ماه موردنظر در دوره مشاهداتی پایه جمع شد تا دمای آن ماه در دوره آتی محاسبه شود. در این رابطه  $Tem_{fut}$  دما در دوره آتی،  $cf$  عامل تغییر و  $Tem_{obs}$  دمای مشاهداتی در دوره پایه است.

$$Tem_{fut} = cf + Tem_{obs} \quad \text{رابطه ۲}$$

برونداد مدل‌های گردش عمومی جو قابلیت تولید مقادیر بارش، دمای میانگین، دمای حداقل و حداکثر را به‌صورت داده‌های تاریخی<sup>۱</sup> (پایه) و داده‌های پیش‌بینی آینده را در قالب سناریوهای انتشار دارند. در این تحقیق برای محاسبه عامل تغییر یا دلتا از دوره پایه استفاده گردید و داده‌های آینده بارش، دمای میانگین، ماکزیمم و مینیمم جهت پیش‌بینی و تحلیل وضعیت آینده محدوده مطالعاتی در دو بازه ۲۷ ساله آینده تولید شد. سپس با توجه به هدف اصلی این تحقیق، داده‌های بارش و دمای میانگین برای فراخوانی خودکار در مدل متصل شده WEAP-MODFLOW در ۲ دوره ۲۷ ساله و تحت هر یک از سناریوهای انتشار تولید و شبیه‌سازی گردیدند.

### اعتبارسنجی

داده‌های مشاهداتی از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸ میلادی تهیه و به روش تیسن به منطقه مورد مطالعه تعمیم داده شد. سپس به روش ریزمقیاس نمایی دلتا داده‌های آینده از سال ۲۰۰۶ تا ۲۱۰۰ میلادی شبیه‌سازی گردید. حفاصل زمانی ۱۳ ساله داده‌های مشاهداتی از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ که با داده‌های شبیه‌سازی شده پنج مدل گردش عمومی جو مطابقت زمانی دارد برای اعتبارسنجی مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. برای اعتبارسنجی از سه روش همبستگی (R)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE<sup>۲</sup>) و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE<sup>۳</sup>) مورد استفاده قرار گرفت.

### ضریب همبستگی (R)

ضریب همبستگی ابزاری برای تعیین نوع و درجه رابطه یک متغیر کمی با متغیر کمی دیگر است. ضریب همبستگی شدت رابطه و همچنین نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) را نشان می‌دهد. این ضریب بین ۱ تا -۱ است و در صورت عدم وجود رابطه بین دو متغیر، برابر صفر خواهد بود (رابطه ۳).

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2][n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}} \quad \text{رابطه ۳}$$

در صورتی که ضریب همبستگی (R) بین ۰ تا ۰/۲۹ باشد نشان‌دهنده همبستگی ضعیف، و در صورتی که این ضریب بین ۰/۳۰ تا ۰/۶۹ باشد نشان‌دهنده همبستگی متوسط، و اگر (R) بین ۰/۷۰ تا ۱ باشد نشان‌دهنده همبستگی قوی بین دو متغیر خواهد بود.

### ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)

ریشه میانگین مربعات خطا یا انحراف جذر میانگین مربعات، تفاوت میان مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل و مقدار واقعی است. عدد RMSE

1 Historical

2 Root-Mean-Square Deviation (RMSD) or Root-Mean-Square Error (RMSE)

3 Normalized Root-Mean-Square Error or Normalized Root-Mean-Square Deviation



بیانگر میانگینی از خطاهای موجود است و هنگامی که هدف ما ارزیابی دقت کل داده‌ها باشد، می‌توان از این عدد به‌عنوان یک شاخص مهم استفاده نمود (رابطه ۴).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2} \quad \text{رابطه ۴}$$

#### ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)

مقدار RMSE را به دامنه داده‌های متغیر وابسته تقسیم کرده و آن را RMSE نرمال شده (NRMSE) می‌نامند. این معیار برای مقایسه مدل‌های مختلف مناسب خواهد بود. لازم به ذکر است که NRMSE زیر ۱۰ درصد نشان‌دهنده دقیق بودن مدل، ۲۰-۱۰ درصد مناسب بودن مدل، ۳۰-۲۰ درصد دقت متوسط و بیش از ۳۰ درصد نشانه ضعیف بودن مدل است.

#### عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو

عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو در واقع اختلاف بین نتایج مدل و داده‌های مشاهداتی است که ناشی از پیچیدگی، محدودیت آماری و عوامل انسانی است. در پژوهش‌های تغییر اقلیم، عدم قطعیت مدل‌ها تأثیرگذار بر نتایج نهایی خواهد بود (IPCC, 2010). بنابراین جهت کاهش عدم قطعیت مدل‌ها به‌تراست بیش از یک مدل استفاده شود و سعی نمود که از نتایج چند مدل بهره برد تا گستره وسیعی برای تحلیل نتایج ایجاد گردد و عدم قطعیت را در ایجاد داده‌های اقلیمی آینده به حداقل رسانده شود. به منظور بررسی عدم قطعیت مدل‌های سری CMIP6 و سناریوهای انتشار SSP از روش وزن دهی به پارامترهای مدل شده استفاده می‌گردد. در واقع انحراف پارامترهای هواشناسی شبیه‌سازی شده از داده‌های مشاهداتی هم‌دوره، میزان عدم قطعیت را معلوم می‌کند بر اساس این روش، هر مدل که وزن بیشتری در مدل‌سازی گذشته منطقه داشته باشد، انتظار می‌رود در مدل‌سازی آینده هم کم و بیش همان وزن را داشته باشد. به عبارتی هر مدلی که بیشترین انحراف را در تولید داده داشته باشد باید کمترین سهم را در پیش‌بینی داشته باشد. برای وزن دهی به مدل‌های گردش عمومی جو از رابطه (۵) استفاده گردید.

$$W_i = \frac{1/\Delta T_i}{\sum_{i=1}^N 1/\Delta T_i} \quad \text{رابطه ۵}$$

$\Delta T_i$  انحراف میانگین طولانی‌مدت پارامتر اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط هر یک از مدل‌ها از میانگین داده‌های مشاهداتی

N تعداد مدل‌های گردش عمومی جو

$W_i$  وزن داده‌شده به هر یک از این مدل‌ها است

#### مدل ترکیبی

از خروجی سه مدل گردش عمومی جو مورد استفاده در این پژوهش، با روش وزن دهی مدل ترکیبی ایجاد شد که در این مدل ضمن حفظ خصوصیات همه مدل‌ها، میزان تأثیرگذاری هر مدل در تولید پارامترهای اقلیمی بر اساس وزن داده‌شده به آن مدل خواهد بود. سپس با مدل ترکیبی داده‌های بارش، دمای میانگین، دمای ماکزیمم و دمای مینیمم از سال ۲۰۲۳ تا ۲۱۰۰ میلادی در محدوده مطالعاتی شبیه سازی گردید.

## نتایج و بحث

### صحت‌سنجی و راستی‌آزمایی مدل‌های تغییر اقلیم

در جدول ۲ مقادیر RMSE و NRMSE و R برای مقایسه هر یک از مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق برای پیش‌بینی مقادیر بارش، دمای میانگین، دمای ماکزیمم و دمای مینیمم ارائه شده است. برای شاخص‌های RMSE و NRMSE هرچه میزان شاخص کم‌تر باشد نشان‌دهنده دقت بیشتر و هرچه مقدار شاخص R بیشتر باشد، نشان‌دهنده دقت بیشتر است. با توجه به نکات مذکور و جدول فوق مشاهده می‌شود که بهترین مدل MIROC است. با توجه به این که هر مدل که بیشترین انحراف را در تولید داده دارد باید کمترین سهم را در پیش‌بینی داشته باشد. مدل‌ها بر اساس میزان RMSE وزن دهی گردیدند و از خروجی سه مدل مورد استفاده با روش وزن دهی مدل ترکیبی ایجاد شد.

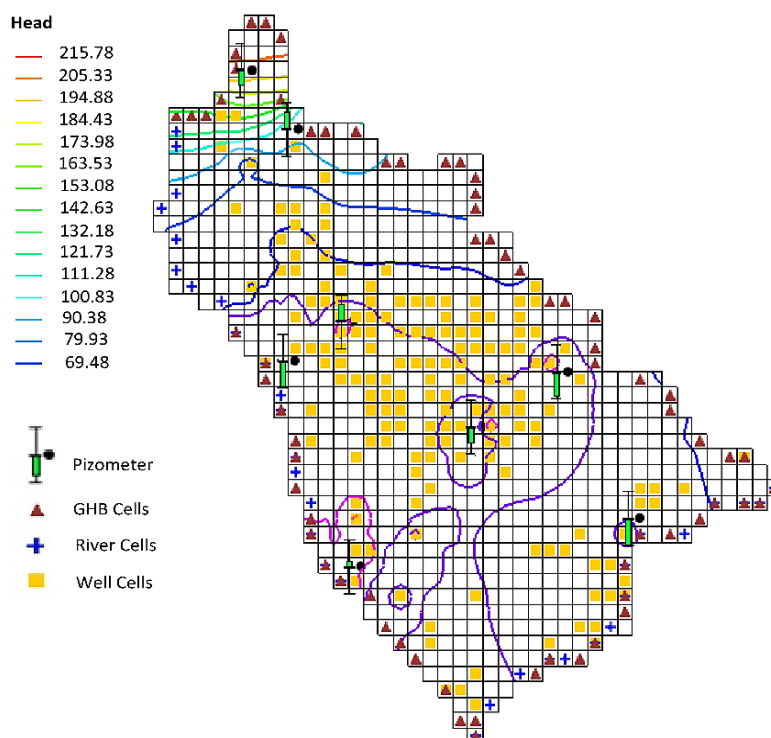
جدول ۲- مقادیر آماره‌های آزمون برای مقایسه دقت مدل‌های اقلیمی مختلف در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی

R	NRMSE	RMSE	Parameter	model
۰/۹۸۱	۰/۰۴۹	۱/۵۳۲	T max	ACCESS-ESM1
۰/۹۷۲	۰/۰۵۹	۱/۴۰۵	T min	
۰/۹۸۵	۰/۰۴۵	۱/۲۲۶	T	
۰/۲۱۶	۰/۱۹۳	۳۴/۱۷	Pr	
۰/۹۸۲	۰/۰۵	۱/۵۶۷	T max	IPSL-CM6A-LR
۰/۹۷۳	۰/۰۶	۱/۴۳۸	T min	
۰/۹۸۶	۰/۰۴۷	۱/۲۷۹	T	
۰/۱۶	۰/۲۲۷	۴۰/۲۹	Pr	
۰/۹۸۱	۰/۰۴۸	۱/۵۰۹	T max	MIROC
۰/۹۷۳	۰/۰۵۶	۱/۳۴۵	T min	
۰/۹۸۶	۰/۰۴۳	۱/۱۷۱	T	
۰/۲۸۴	۰/۲	۳۵/۳۸	Pr	

سپس برای مقایسه سناریوهای انتشار و تعیین میزان تغییرات پارامترهای اقلیمی نسبت به دوره مشاهداتی در بهترین مدل و مدل ترکیبی اقدام گردید.

#### واسنجی و صحت‌سنجی مدل شبیه‌سازی

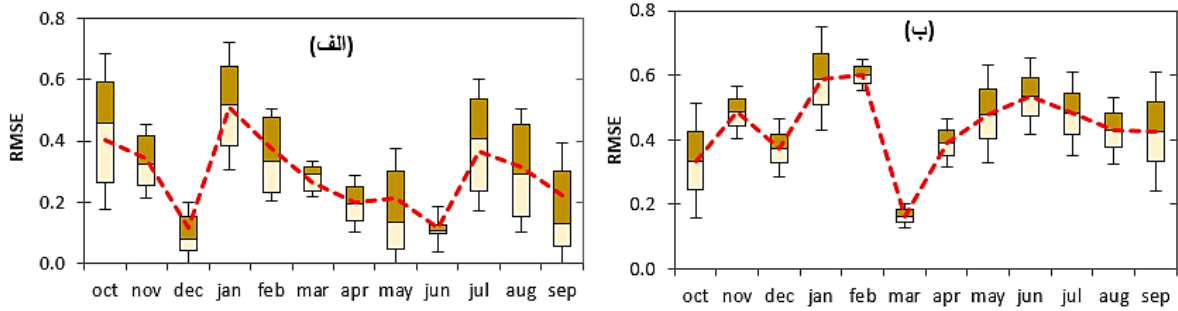
نتایج حاصل از واسنجی مدل MODFLOW در حالت ماندگار در شکل ۴ نشان داده شده است. بر اساس این شکل با مقایسه تراز شبیه‌سازی شده در مدل با تراز ثبت‌شده در محل چاه‌های مشاهده‌ای، مقدار RMSE در مدل ماندگار کمتر از ۱ متر و در حدود ۰/۷ است که حاکی از دقت مناسب مدل دارد.



شکل ۴- واسنجی مدل آب زیرزمینی در حالت ماندگار

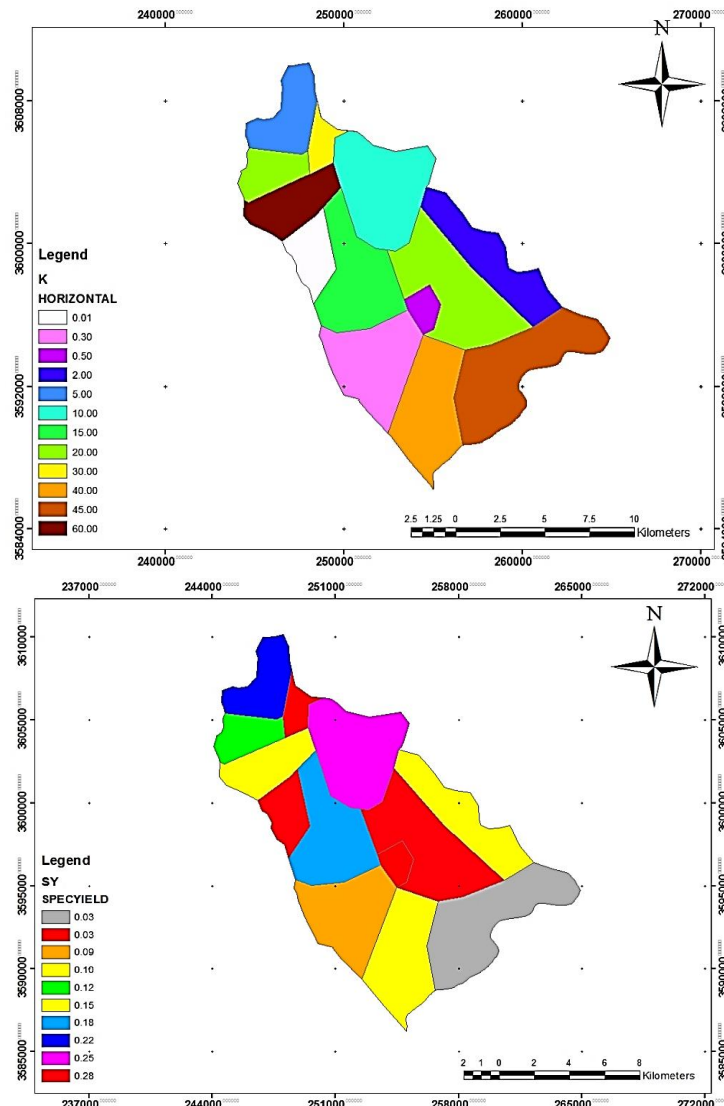
نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل آب زیرزمینی در حالت غیرماندگار در طول دوره ۶ ساله از اکتبر ۲۰۱۰ تا سپتامبر ۲۰۱۶ (۴ سال اول برای واسنجی و ۲ سال بعد برای صحت‌سنجی) در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان داد مدل با دقت خوبی قادر به پیش‌بینی تغییرات تراز آب زیرزمینی در اثر تنش‌های واردشده به آن است طوری که مقادیر RMSE در تمامی ماه‌ها در دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی کمتر از ۰/۸ متر بود. مقدار میانگین RMSE دوره غیرماندگار با در نظر گرفتن تمامی ماه‌های شبیه‌سازی کمتر از ۰/۵ متر

می باشد.



شکل ۵- مقادیر آماره میانگین قدر مطلق خطای تراز آب در مدل مادفلو در حالت غیرماندگار در طول دوره الف- واسنجی ب- صحت سنجی

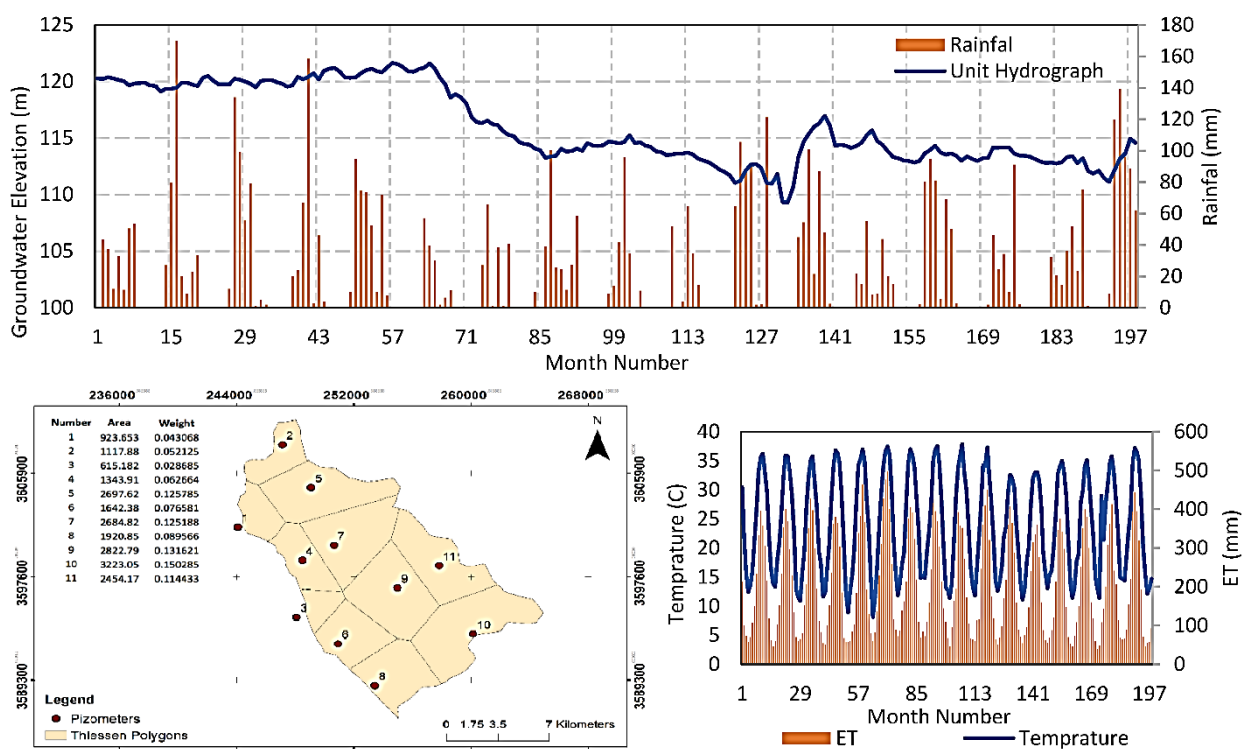
تغییرات مکانی پارامترهای هیدرودینامیک آبخوان پس از انجام فرآیند واسنجی و صحت سنجی در حالت غیرماندگار در شکل ۶ نشان داده شده است. بر این اساس کمترین و بیشترین مقدار هدایت هیدرولیکی در منطقه مطالعاتی به ترتیب ۰/۰۱ و ۶۰ متر در روز به دست آمد. مقدار آبدهی ویژه نیز از ۰/۰۲۵ تا ۰/۲۸ به ترتیب معادل ۲/۵ تا ۲۸ درصد ارزیابی شد.



شکل ۶- پهنه بندی مقادیر هدایت هیدرولیکی (متر در روز) و آبدهی ویژه واسنجی شده (اعشاری) در محدوده مطالعاتی

### روند تغییرات آب زیرزمینی

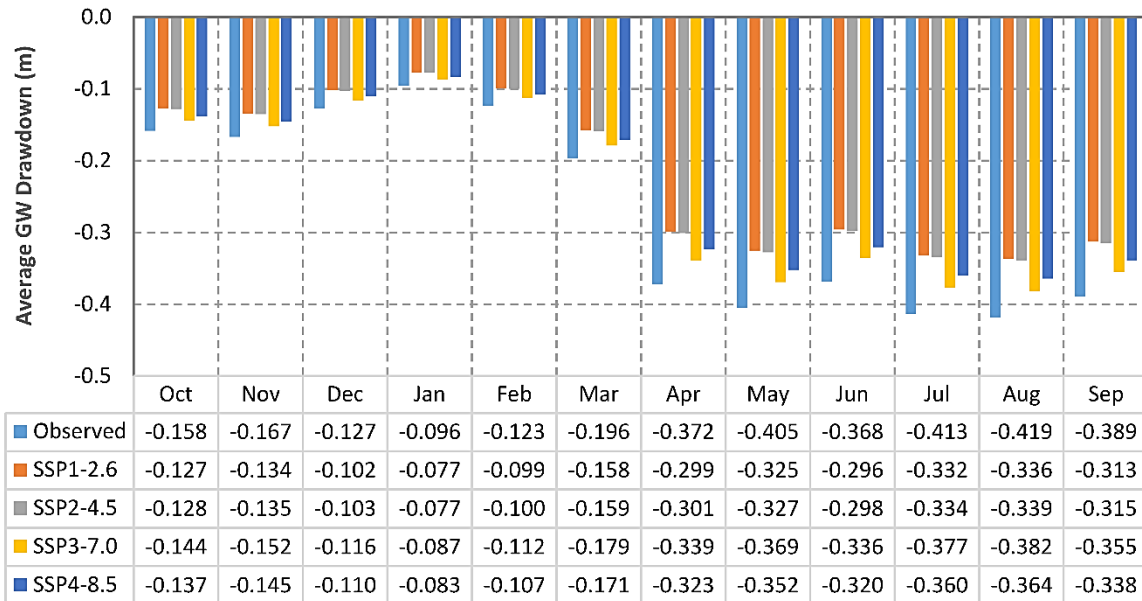
عوامل انسانی کاهش تراز آب زیرزمینی را می‌توان به دو بخش تقسیم نمود. بخش اول شامل تولید و افزایش گازهای گلخانه‌ای و پیامدهای تغییر اقلیم ناشی از آن مانند تغییر در دما و بارش و بخش دوم شامل افزایش برداشت آب زیرزمینی مانند افزایش سطح زیر کشت (افزایش نیاز آبی)، افزایش برداشت از چاه‌های بهره‌برداری و غیره می‌باشد. اثرات این تغییرات را نیز می‌توان به آب زیرزمینی دشت لور بسط داد، که در این تحقیق به بررسی اثر تغییر اقلیم بر نوسانات منابع آب زیرزمینی دشت لور پرداخته شد. برای ترسیم نوسانات تراز آب زیرزمینی در کل دشت از مجموعه داده‌های تراز آب ۱۲ پیزومتر واقع در دشت لور برای بدست آوردن هیدروگراف واحد آب زیرزمینی دشت در یک دوره آماری ۱۹۸ ماهه (اکتبر ۲۰۰۲ تا مارس ۲۰۱۹) استفاده شد. هیدروگراف واحد آب زیرزمینی و تغییرات بارندگی، دما و تبخیر در محدوده دشت لور در طول دوره مطالعاتی در شکل (۷) نشان داده شده است.



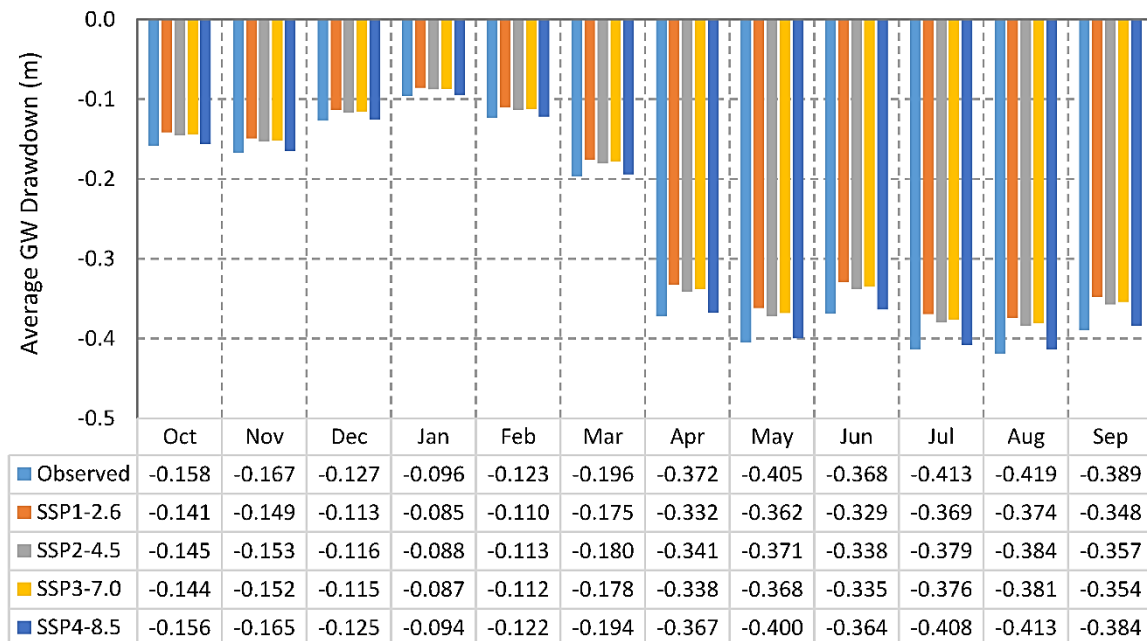
شکل ۷- هیدروگراف واحد آب زیرزمینی (m) و بارندگی (mm) در کل دوره مطالعاتی در دشت ب- پلیگون‌های تیسسن و وزن هر پیزومتر ج- مقادیر دما (C) و تبخیر (mm) در کل دوره مطالعاتی در دشت

در گام بعد از صحت‌سنجی مدل به پیش‌بینی وضعیت آبی آبخوان در دو دوره ۲۷ ساله آبی (۲۰۵۰-۲۰۲۳) با استفاده از مدل MODFLOW انجام گرفت. به دلیل تغییر وضعیت فیزیکی آبخوان و تغییر متغیرهای هیدرودینامیکی آبخوان در دوره ۲۷ ساله دوم (۲۰۵۱-۲۰۷۸) تغییرات تراز در این دوره شبیه‌سازی نشد. لذا تغییرات تراز آبخوان و مقدار افت سطح آب زیرزمینی تحت سناریوی مرجع با فرض ادامه وضع موجود و سناریوهای تغییر اقلیم SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP3-7.0، و SSP4-8.5 برای بهترین مدل تغییر اقلیم (MIROC) و مدل ترکیبی تغییر اقلیم مورد ارزیابی قرار گرفت و میزان نوسانات آن محاسبه شد (شکل‌های ۸ و ۹). برای این کار پس از تغییرات ایجاد شده در پارامترهای مختلفی که بارش و دما بر آن تأثیر گذاشته‌اند از جمله تغذیه آبخوان، دبی رودخانه‌ها، تبخیر آب زیرزمینی و برداشت از چاه‌های آب زیرزمینی آبخوان، مدل مفهومی مجدداً اجرا و شبیه‌سازی برای دوره‌های آبی انجام گرفت. نوسانات ناشی از تغییر اقلیم بر تراز آبخوان تحت سناریوها مشخص گردید و بر اساس نتایج بدست آمده، سطح آب زیرزمینی تحت این سناریوها برای دوره ۲۰۲۳-۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه مقایسه شد.



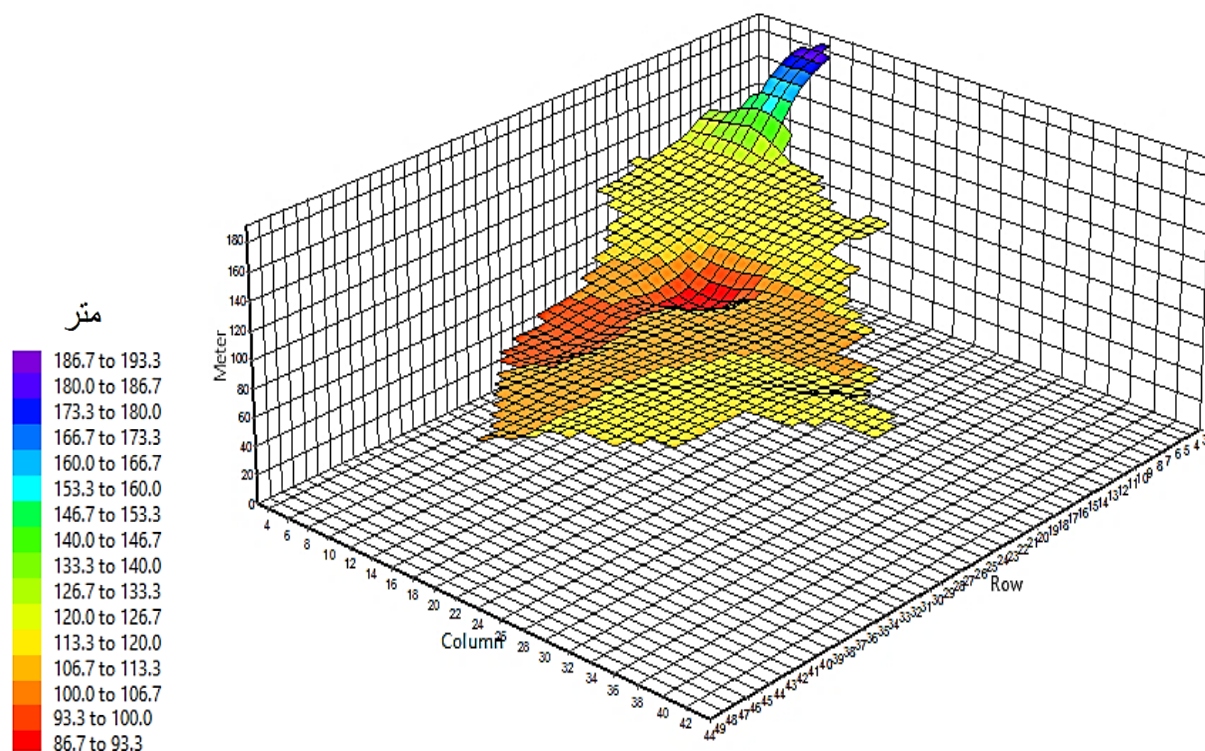


شکل ۸- میانگین بلند مدت تغییرات تراز آبخوان در ماه‌های مختلف در دوره‌ی ۲۰۵۰-۲۰۲۳ و دوره پایه - بهترین مدل (MIROC)



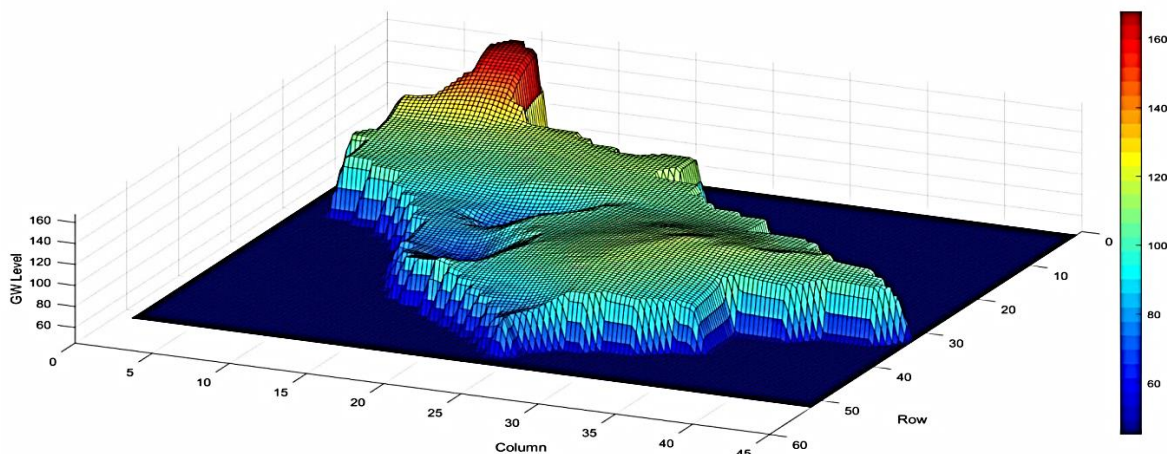
شکل ۹- میانگین بلند مدت تغییرات تراز آبخوان در ماه‌های مختلف در دوره‌ی ۲۰۵۰-۲۰۲۳ و دوره پایه - مدل Hybrid

همان‌گونه که در شکل‌های (۸) و (۹) مشاهده شد، بر اساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته توسط بهترین مدل (MIROC) و مدل ترکیبی در تمامی سناریوهای انتشار و هم‌چنین سناریوی پایه (مشاهداتی)، در شش ماه اول (اکتبر تا مارس) مقدار افت تراز آب زیرزمینی نسبت به شش ماه دوم کم‌تر است. علت آن، برداشت کم‌تر از منابع آب زیرزمینی و جبران بخشی از کسری ذخیره آبخوان توسط بارندگی است. شش ماه دوم (آوریل تا سپتامبر) روند افت تراز آب زیرزمینی شدت بیشتری دارد که به علت افزایش دما، کاهش بارش بخصوص در سه ماه آخر و برداشت بیش‌تر از منابع آب زیرزمینی برای تأمین نیاز محصولات کشاورزی است. این شکل‌ها نشان می‌دهد در تمامی سناریوها بیش‌ترین افت آب زیرزمینی در ماه آگوست و کم‌ترین افت آب زیرزمینی در ماه ژانویه صورت گرفته است. نتایج شبیه‌سازی نشان داد، در سناریوی مرجع بیش‌ترین میزان افت تراز آب زیرزمینی در منطقه مربوط به ناحیه مرکزی دشت لور می‌باشد که به دلیل تراکم چاه‌های بهره‌برداری و شرب در این ناحیه، میزان برداشت از آب زیرزمینی زیاد است (شکل ۱۰).

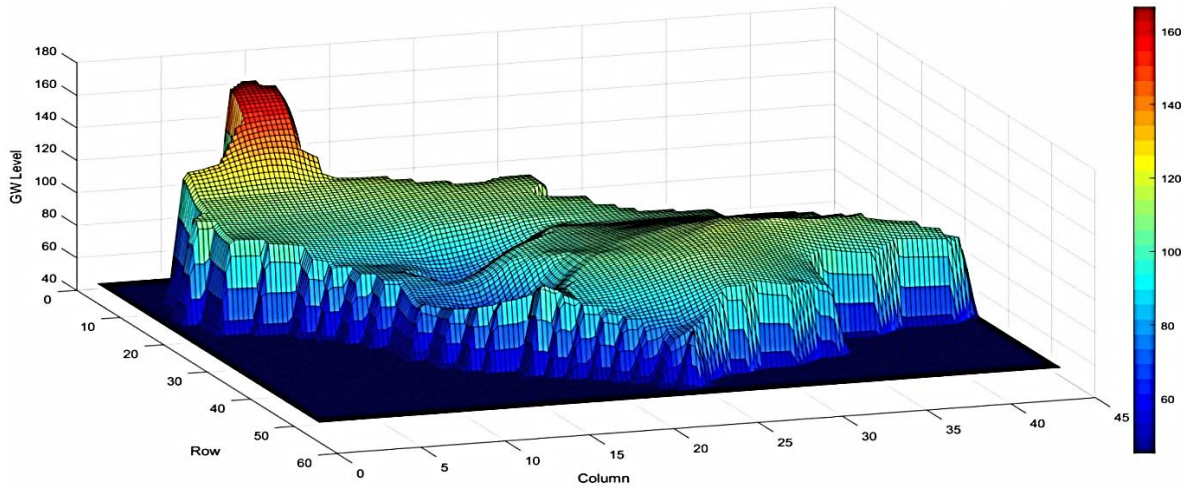


شکل ۱۰- تراز آب زیرزمینی در پایان دوره شبیه‌سازی در مدل متصل شده در سناریوی مرجع- سپتامبر ۲۰۵۰

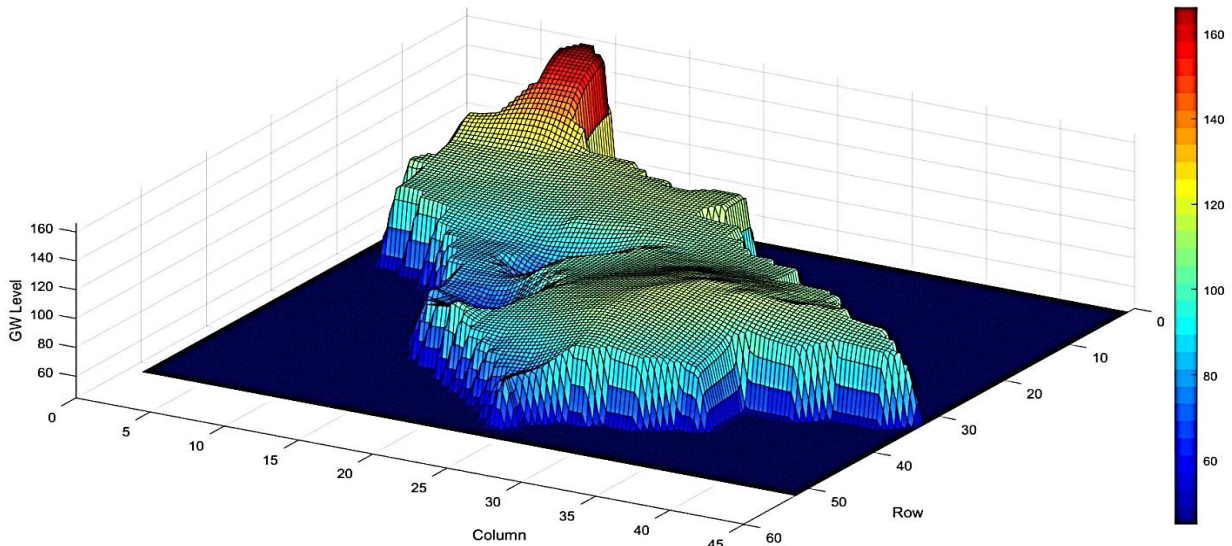
این نکته قابل توجه است که آبخوان پشمینه‌زار در ماه‌های خشک که آب مورد نیاز خود را از منابع آب سطحی نمی‌تواند تأمین کند مابقی آب مورد نیاز را از طریق آبخوان لور تأمین می‌کند. بنابراین با توجه به محدودیت ظرفیت پمپاژ تعریف شده در مدل بر اساس اطلاعات چاه‌های بهره‌برداری در این ماه‌ها نمی‌تواند تمامی آب مورد نیاز باقیمانده را از طریق چاه‌ها برداشت نماید. بنابراین در این ماه‌ها سامانه دچار کمبودی شده که عامل آن محدودیت‌های برداشت از آبخوان است. در آبخوان لور به دلیل این که قبلاً تمام اراضی با آب زیرزمینی آبیاری می‌شده، این محدودیت‌ها مشکل‌ساز نخواهد بود. چرا که در مدل بهره‌برداری تلفیقی قسمتی از اراضی توسط آب سطحی آبیاری شده و میزان برداشت از آبخوان لور در این سناریوها همیشه کمتر از ظرفیت پمپاژ چاه‌هاست. نقشه سه‌بعدی تراز آب زیرزمینی برای کل دشت در پایان دوره ۲۷ ساله ۲۰۲۳-۲۰۵۰ (سپتامبر ۲۰۵۰) در تمامی سناریوهای تغییر اقلیم پیش‌بینی شد که برای نمونه برای دو سناریوی خوش‌بینانه (SSP1-2.6) و بدبینانه (SSP4-8.5) برای بهترین مدل و مدل ترکیبی در شکل‌های (۱۱) تا (۱۴) ارائه شده است.



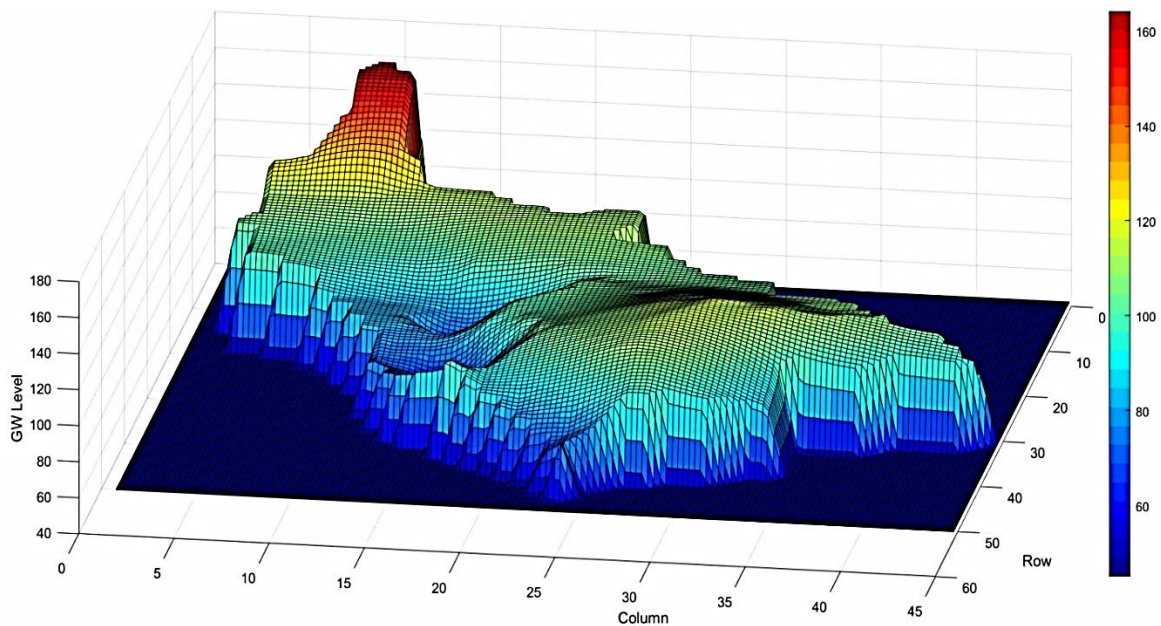
شکل ۱۱- نقشه سه‌بعدی تراز آب زیرزمینی دشت لور در پایان دوره شبیه‌سازی (سپتامبر ۲۰۵۰) در سناریوی SSP1-2.6 - بهترین مدل (MIROC)



شکل ۱۲- نقشه سه بعدی تراز آب زیرزمینی دشت لور در پایان دوره شبیه سازی (سپتامبر ۲۰۵۰) در سناریوی SSP4-8.5 - بهترین مدل (MIROC)



شکل ۱۳- نقشه سه بعدی تراز آب زیرزمینی دشت لور در پایان دوره شبیه سازی (سپتامبر ۲۰۵۰) در سناریوی SSP1-2.6 - مدل ترکیبی



شکل ۱۴- نقشه سه بعدی تراز آب زیرزمینی دشت لور در پایان دوره شبیه سازی (سپتامبر ۲۰۵۰) در سناریوی SSP4-8.5 - مدل ترکیبی



بر اساس شکل‌های ۱۱ تا ۱۴ میانگین افت تراز سطح آب زیرزمینی دشت لور در سناریوهای مختلف تغییر اقلیم نسبت به دوره‌ی پایه محاسبه شد که در جدول ۳ آمده است. این جدول نشان می‌دهد میانگین افت تراز آب زیرزمینی در پایان دوره ۲۷ ساله ۲۰۲۳-۲۰۵۰ در صورت ادامه وضع موجود (سناریوی مشاهداتی) حدود ۱۱ متر خواهد بود. بیش‌ترین میزان افت سطح آب زیرزمینی در این سناریو ۳۸/۷ متر در بخشی از نواحی مرکزی و جنوب غرب دشت خواهد بود. در صورت استفاده از پارامترهای اقلیمی پیش‌بینی شده توسط بهترین مدل (MIROC) در مدل متصل شده آب سطحی و زیرزمینی، میانگین افت تراز آب زیرزمینی در سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP3-7.0 و SSP4-8.5 به ترتیب برابر با ۸/۸۲، ۸/۹۳، ۱۰ و ۹/۵۵ متر خواهد بود. بیش‌ترین مقدار افت در این سناریوها به ترتیب برابر با ۳۱، ۳۱/۳، ۳۵/۳ و ۳۳/۷ متر خواهد بود.

مطابق با جدول ۳ در صورت استفاده از پارامترهای اقلیمی پیش‌بینی شده توسط مدل ترکیبی در مدل متصل شده آب سطحی و زیرزمینی، میانگین افت تراز آب زیرزمینی در سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP3-7.0، SSP4-8.5 و به ترتیب برابر با ۹/۸، ۱۰، ۱۰/۱۸ و ۱۰/۸۳ متر خواهد بود. بیش‌ترین مقدار افت در این سناریوها به ترتیب برابر با ۳۴/۵، ۳۵/۲، ۳۵/۵ و ۳۸/۲ متر خواهد بود.

جدول ۳- میانگین افت تراز آب زیرزمینی دشت لور در سناریوهای مختلف تغییر اقلیم برحسب متر در بهترین مدل (MIROC) و مدل ترکیبی - دوره ۲۰۲۳-۲۰۵۰

میانگین افت تراز آب زیرزمینی برحسب متر - دوره ۲۰۲۳-۲۰۵۰		
سناریو	بهترین مدل (MIROC)	مدل Hybrid
Observed	-۱۰/۹۸	-۱۰/۹۸
SSP1-2.6	-۸/۸۲	-۹/۸
SSP2-4.5	-۸/۹۳	-۱۰/۰۷
SSP3-7.0	-۱۰	-۱۰/۱۸
SSP4-8.5	-۹/۵۵	-۱۰/۸۳

## نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج نشان داد اتصال دینامیک منابع آب سطحی و زیرزمینی ابزاری کاربردی است که منجر به بهره‌برداری بهتر سد و آبخوان در شرایط تغییر اقلیم خواهد شد. در این صورت اثر تغییرات تراز آب زیرزمینی بر میزان منابع آب سطحی تخصیص داده شده و یا برعکس در سال‌های خشک و تر قابل‌رؤیت خواهد بود. عوامل انسانی کاهش تراز آب زیرزمینی را می‌توان به دو بخش تقسیم نمود. بخش اول شامل تولید و افزایش گازهای گلخانه‌ای و پیامدهای تغییر اقلیم ناشی از آن مانند تغییر در دما و بارش و بخش دوم شامل افزایش برداشت آب زیرزمینی مانند افزایش سطح زیر کشت (افزایش نیاز آبی)، افزایش برداشت از چاه‌های بهره‌برداری و غیره است. اثرات این تغییرات را نیز می‌توان به آب زیرزمینی دشت لور بسط داد، که در این تحقیق به بررسی اثر تغییر اقلیم بر نوسانات منابع آب زیرزمینی دشت لور بر اساس یک مدل متصل شده آب سطحی - آب زیرزمینی پرداخته شد. بعد از واسنجی و صحت‌سنجی این مدل به پیش‌بینی وضعیت آبی آبخوان در دوره‌ی ۲۷ ساله آتی (۲۰۲۳-۲۰۵۰) با استفاده از مدل MODFLOW انجام گرفت. لذا تغییرات تراز آبخوان و مقدار افت سطح آب زیرزمینی تحت سناریوی مرجع با فرض ادامه وضع موجود و سناریوهای تغییر اقلیم SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP3-7.0 و SSP4-8.5 مورد ارزیابی قرار گرفت و میزان نوسانات آن محاسبه شد. برای این کار پس از تغییرات ایجاد شده در پارامترهای مختلفی که بارش و دما بر آن تأثیر گذاشته‌اند از جمله تغذیه آبخوان، دبی رودخانه‌ها، تبخیر آب زیرزمینی و برداشت از چاه‌های آب زیرزمینی آبخوان، مدل مفهومی مجدداً اجرا و شبیه‌سازی برای دوره‌های آتی انجام گرفت. نقشه سه‌بعدی تراز آب زیرزمینی برای کل دشت در پایان دوره ۲۷ ساله ۲۰۲۳-۲۰۵۰ (سپتامبر ۲۰۵۰) در تمامی سناریوهای تغییر اقلیم پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد که میانگین افت تراز آب زیرزمینی در پایان دوره ۲۷ ساله ۲۰۲۳-۲۰۵۰ در صورت ادامه وضع موجود (سناریوی مشاهداتی) حدود ۱۱ متر خواهد بود. بیش‌ترین میزان افت سطح آب زیرزمینی در این سناریو ۳۸/۷ متر در بخشی از نواحی مرکزی و جنوب غرب دشت خواهد بود. در صورت استفاده از پارامترهای اقلیمی پیش‌بینی شده توسط بهترین مدل (MIROC) در مدل متصل شده آب سطحی و زیرزمینی، میانگین افت تراز آب زیرزمینی در سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP3-7.0 و SSP4-8.5 به ترتیب برابر با ۸/۸۲، ۸/۹۳، ۱۰ و ۹/۵۵ متر خواهد بود. بیش‌ترین مقدار افت در این سناریوها به ترتیب برابر با ۳۱، ۳۱/۳، ۳۵/۳ و ۳۳/۷ متر خواهد بود. در صورت استفاده از پارامترهای اقلیمی پیش‌بینی شده توسط مدل ترکیبی در مدل متصل شده آب سطحی و زیرزمینی، میانگین افت تراز آب زیرزمینی در سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP3-7.0 و SSP4-8.5 به ترتیب برابر با ۹/۸، ۱۰، ۱۰/۱۸ و ۱۰/۸۳ متر خواهد بود. بیش‌ترین مقدار افت در این سناریوها به ترتیب برابر با ۳۴/۵، ۳۵/۲، ۳۵/۵ و ۳۸/۲ متر خواهد بود.



7.0 و SSP4-8.5 به ترتیب برابر با ۹/۸، ۱۰، ۱۰/۱۸ و ۱۰/۸۳ متر خواهد بود. بیشترین مقدار افت در این سناریوها به ترتیب برابر با ۳۴/۵، ۳۵/۲، ۳۵/۵ و ۳۸/۲ متر خواهد بود. با توجه به این که سد بالا رود به تازگی آبرگیری شده است، پیشنهاد می شود از مدل تهیه شده در این تحقیق جهت برنامه ریزی فصلی برای مدیریت و برنامه ریزی منابع آب منطقه، در شرایط تغییر اقلیم استفاده شود. در این صورت می توان با استفاده از ترکیب نتایج این تحقیق با مدل های هوشمند مانند ماشین های بردار پشتیبان بهره برداری در زمان واقعی را مدل سازی نمود. همچنین امکان شبیه سازی ناحیه اشباع و غیر اشباع خاک با استفاده از مؤلفه های بیلان کامل هیدروکلیماتولوژی در قالب یک مدل متصل شده آب سطحی و زیرزمینی یکی از مهم ترین دستاوردهای این تحقیق است. در این حالت اثر تغییرات هر یک از پارامترهای هواشناسی، خاک، بهره برداری از منابع آب و اقدامات مدیریتی سریعاً به کل سامانه منتقل شده و نتایج آن قابل مشاهده است.

"هیچ گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

## REFERENCES

- Amiri, S., Rajabi, A., Shabanlou, S., Yosefvand, F. & izadbakhsh, MA. (2023). Prediction of groundwater level variations using deep learning methods and GMS numerical model. *Earth Science Informatic*. <https://doi.org/10.1007/s12145-023-01052-1>
- Azizi, E., Yosefvand, F., Yaghoubi, B., Izadbakhsh, M.A. & Shabanlou, S. (2023). Modelling and prediction of groundwater level using wavelet transform and machine learning methods: A case study for the Sahneh Plain, Iran. *Irrigation and Drainage*. 72(3), 747–762.
- Azizi, K., Azari, A. & Farhadi Bansouleh, B. (2023). Simulation and determination of hydrodynamic coefficients and aquifer balance with Modflow mathematical model (Case study: Kermanshah Plain). *Advanced Technologies in Water Efficiency*. 2(4), 68-87.
- Azizpour, A., Izadbakhsh, M.A., Shabanlou, S., Yosefvand, F. & Rajabi, A. (2021). Estimation of water level fluctuations in groundwater through a hybrid learning machine, *Groundwater for Sustainable Development*, 15, 100687.
- Azizpour, A., Izadbakhsh, MA., Shabanlou, S., Yosefvand, F. & Rajabi, A. (2022). Simulation of time-series groundwater parameters using a hybrid metaheuristic neuro-fuzzy model. *Environment Science Pollution Research*, 29, 28414–28430.
- Bauer, P., Gumbricht, Th. & Kinzelbach, W. (2006). A regional coupled surface water/ groundwater model of the Okavango Delta, Botswana. *Water Resources Research*, 42, 1-15.
- Chang, L.C., Ho, C.C., Yeh, M.S. & Yang, C.C. (2010). An Integrating approach for conjunctive-use planning of surface and subsurface water system. *Water Resource Management*, 25, 59–78.
- Costa, D., Zhang, H. & Levison, J. (2021). Impacts of climate change on groundwater in the Great Lakes Basin: A review. *Great Lakes Research*, 47(6), 1613-1625.
- Enayatifar, R., Yousefi, M., Abdullah, A.H. & Darus, A.N. (2013). MOICA: A novel multi-objective approach based on imperialist competitive algorithm. *Applied Mathematics and Computation*. 219(17), 8829–8841.
- Epting, J., Michel, A., Affolter, A. & Huggenberger, P. (2021). Climate change effects on groundwater recharge and temperatures in Swiss alluvial aquifers. *Hydrology X*, 11(3), 100071.
- Erturk, A., Ekdal, A., Gurel, M., Karakaya, N., Guzel, C. & Gonenc, E. (2014). Evaluating the impact of climate change on groundwater resources in a small Mediterranean watershed. *Science of the total environment*, 499, 437-447.
- Fallahi, MM., Shabanlou, S., Rajabi, A., Yosefvand, F. & izadbakhsh, MA. (2023). Effects of climate change on groundwater level variations affected by uncertainty (case study: Razan aquifer). *Applied Water Science*. 13, 143.
- Gilbert, J.M. & Maxwel, R.M. (2017). Examining regional groundwater–surface water dynamics using an integrated hydrologic model of the San Joaquin River basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21, 923–947.
- Gulacha, M.M. & Mulungu, D.M.M. (2017). Generation of climate change scenarios for precipitation and temperature at local scales using SDSM in Wami-Ruvu River Basin Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth*, 100, 62-72.
- Guzman, S.M., Paz, JO., Tagert, M.L.M. & Mercer, A.E. (2019). Evaluation of Seasonally Classified Inputs for the Prediction of Daily Groundwater Levels: NARX Networks Vs Support Vector Machines. *Environmental Modeling & Assessment*, 24(2), 223-234.
- Hadded, R., Nouiri, I., Alshihabi, Q., Mabmann, J., Huber, M., Laghouane, A., Yahiaoui, H. & Tarhouni, J.



- (2013). A Decision Support System to Manage the Groundwater of the Zeuss Koutine Aquifer Using the WEAP-MODFLOW Framework. *Water Resource Management*, Springer Science. 20 P.
- Hu, L., Xu, Z. & Huang, W. (2016). Development of a river-groundwater interaction model and its application to a catchment in Northwestern China. *Hydrology*. 543, 483-500.
- Kamkar, V., Azari, A. & Fatemi, S.E. (2021). Estimation of Recharge and Flow Exchange between River and Aquifer Based on Coupled Surface Water-Groundwater Model. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 52(7), 1779-1793.
- Karamouz, M., Kerachian, R. & Zahraie, B. (2004). Monthly water resources and irrigation planning: case study of conjunctive use of surface and groundwater resources. *Irrigation and Drainage Engineering*, 130, 391-402.
- Li, Z., Quan, J., Li, X-Y., Wu, X-C., Wu, H-W., Li, Y-T & Li, G-Y. (2016). Establishing a model of conjunctive regulation of surface water and groundwater in the arid regions. *Agricultural Water Management*. 174, 30- 38.
- Malekzadeh, M., Kardar, S., Saeb, K., Shabanlou, S. & Taghavi, L. (2019a). A novel approach for prediction of monthly ground water level using a hybrid wavelet and non-tuned self-adaptive machine learning model. *Water resources management*. 33, 1609-1628.
- Malekzadeh, M., Kardar, S. & Shabanlou, S. (2019b). Simulation of groundwater level using MODFLOW, extreme learning machine and Wavelet-Extreme Learning Machine models. *Groundwater for Sustainable Development*. 9, 100279.
- Mazandarani Zadeh, H. & Hoseini, M. (2023). Investigating the effect of agricultural product price forecasting on groundwater level using systems dynamics, in order to simultaneously maintain the welfare of farmers and groundwater resources. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53(11), 2565-2582.
- Mazraeh, A., Bagherifar, M., Shabanlou, S. & Ekhlasmad, R. (2023). A Hybrid Machine Learning Model for Modeling Nitrate Concentration in Water Sources. *Water, Air, & Soil Pollution*. 234(11), 1-22.
- Mazraeh, A., Bagherifar, M., Shabanlou, S. & Ekhlasmad, R. (2024). A novel committee-based framework for modeling groundwater level fluctuations: A combination of mathematical and machine learning models using the weighted multi-model ensemble mean algorithm, *Groundwater for Sustainable Development*, 24, 101062.
- Mohammed, K.S., Shabanlou, S., Rajabi, A., Yosefvand, F. & izadbakhsh, MA. (2023). Prediction of groundwater level fluctuations using artificial intelligence-based models and GMS. *Applied Water Science*. 13, 54.
- Moradi, A., Akhtari, A. & Azari, A. (2023). Prediction of groundwater level fluctuation using methods based on machine learning and numerical model. *Applied Research in Water and Wastewater*, 10(1), 20-28.
- Morway, E. D., Niswonger, R. G. & Triana, E. (2016). Toward improved simulation of river operations through integration with a hydrologic model. *Environmental Modelling & Software*, 82, 255-274.
- Nadiri, A. A., Naderi, K., Khatibi, R., & Gharekhani, M. (2019). Modelling groundwater level variations by learning from multiple models using fuzzy logic. *Hydrological sciences journal*, 64(2), 210-226.
- Nyembo, L. O., Larbi, I., Mwabumba, M., Selemani, J. R., Dotse, S. Q., Limantol, A. M. & Bessah, E. (2022). Impact of climate change on groundwater recharge in the lake Manyara catchment, Tanzania. *Scientific African*, 15(10), e01072.
- Poursaeid, M., Mastouri, R., Shabanlou, S. & Najarchi, M. (2020). Estimation of total dissolved solids, electrical conductivity, Salinity and groundwater levels using novel learning machines. *Environment Earth Science*. 79, 1-25.
- Poursaeid, M., Mastouri, R., Shabanlou, S. & Najarchi, M. (2021). Modelling qualitative and quantitative parameters of groundwater using a new wavelet conjunction heuristic method: wavelet extreme learning machine versus wavelet neural networks. *Water and Environment Journal*. 35, 67-83.
- Rajabi, A. & Shabanlou, S. (2012). Climate index changes in future by using SDSM in Kermanshah, Iran. *Environmental Research and Development*, 7(1), 37-44.
- Rajabi, A. & Shabanlou, S. (2013). The Analysis of Uncertainty of Climate Change by Means of SDSM Model Case Study: Kermanshah. *World Applied Sciences Journal*, 23(10), 1392-1398.
- Rheinheimer, D. E., Null, S. E. & Lund, J. R. (2014). Optimizing Selective Withdrawal from Reservoirs to Manage Downstream Temperatures with Climate Warming. *Water Resources Planning and Management*, 141(4), 04014063.
- Sarwar, A. & Eggers, H. (2006). Development of a conjunctive use model to evaluate alternative management options for surface and groundwater resources. *Hydrogeology Journal*. 14, 1676-1687.
- Shrestha, S., Bach, T. V., & Pandey, V. P. (2016). Climate change impacts on groundwater resources in



- Mekong Delta under representative concentration pathways (RCPs) scenarios. *Environmental Science and Policy*, 61, 1–13.
- Singh, A. (2014). Simulation–optimization modeling for conjunctive water use management. *Agricultural Water Management*, 141, 23–29.
- Soltani, K. & Azari, A. (2022). Forecasting groundwater anomaly in the future using satellite information and machine learning. *Hydrology*, 612(2), 128052.
- Soltani, K. & Azari, A. (2023). Terrestrial water storage anomaly estimating using machine learning techniques and satellite-based data (a case study of Lake Urmia Basin). *Irrigation and Drainage*, 72 (4).
- Tennant, D.L. (1976). Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries*, 1(4), 6-10.
- Triana, E., Labadie, J. W., Gates, T. K. & Anderson, C. W. (2010). Neural network approach to stream-aquifer modeling for improved river basin management. *Hydrology*. 391, 235-247.
- Yan, D., Werners, S., Ludwig, F. & Qing Huang, H. (2015). Hydrological response to climate change: The Pearl River, China under different RCP scenarios. *Hydrology* 4, 228-245.
- Yosefvand, F. & Shabanlou, S. (2020). Forecasting of Groundwater Level Using Ensemble Hybrid Wavelet–Self-adaptive Extreme Learning Machine-Based Models. *Natural Resource Research*. 29, 3215–3232.
- Zibaei, M. H., Zibaei, M. & Ardokhani, K. (2013). Evaluation of scenarios of integrated use of surface and groundwater resources in Firoozabad plain of Fars. *Agricultural Economics Research*, 5(1), 157-181.
- Zeinali, M., Azari, A. & Heidari, M. M. (2020a). Simulating Unsaturated Zone of Soil for Estimating the Recharge Rate and Flow Exchange Between a River and an Aquifer. *Water Resources Management*, 34, 425–443.
- Zeinali, M., Azari, A. & Heidari, M. M. (2020b). Multiobjective Optimization for Water Resource Management in Low-Flow Areas Based on a Coupled Surface Water–Groundwater Model. *Water Resource Planning and Management (ASCE)*, 146(5), 04020020.

## Combined Operation of Surface and Groundwater Resources in the Conditions of Climate Change

### EXTENDED ABSTRACT

#### Introduction

One of the solutions that has been considered in the discussion of water resources management in recent decades is the combined operation of surface and groundwater resources. The main goal of this research is to simulate the interaction of surface water and groundwater by creating a connection between surface water and groundwater models in the Lor plain under climate change conditions.

#### Methods and Materials

In this regard, the effects of climate change on surface water and groundwater sources were investigated based on the sixth report of the inter-state commission using a WEAP-MODFLOW coupled integrated model. In this model, all components involved in surface water and groundwater systems in the study area were connected. so that data and information circulate between these two systems in each of the time steps. Therefore, in each monthly time step, the values of discharge, infiltration, river level, runoff, etc. are entered from the WEAP model into the MODFLOW model until the values of the groundwater level, flow between aquifers, etc. are calculated and returned to the WEAP model. The changes in the water level of the aquifer and the amount of the dropdown in the groundwater level were evaluated under the reference scenario assuming the continuation of the current situation and climate change scenarios, and the amount of fluctuations in the entire plain for the 27-year period of 2050-2023 (September 2050) in all climate change scenarios based on a model. A hybrid composed of different models was predicted.

#### Results and Discussion

The results showed that the average dropdown in the groundwater level at the end of the 27-year period of 2023-2050 will be about 11 meters if the current situation (observational scenario) continues. In this scenario, the maximum dropdown in the groundwater level will be 38.7 meters in a part of the central and southwestern areas of the plain. If the climatic parameters predicted by the hybrid model are used in the coupled model of surface water and groundwater, the average dropdown in the groundwater level in the scenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 and SSP4-8.5 is 9.8 respectively. , 10, 10.18 and 10.83 meters. The maximum dropdown in these scenarios will be 34.5, 35.2, 35.5 and 38.2 meters, respectively.

#### Conclusion

In general, the results showed that the dynamic connection of surface water and groundwater sources is a powerful tool that will lead to better operation of dams and aquifers in climate change conditions. In this case, the effect of groundwater level changes on the amount of surface water resources allocated or vice versa will be visible in dry and wet years. Due to the fact that the Balaroud Dam has been drained recently, it is suggested to use the model prepared in this research for seasonal planning for the management and planning of water resources in the region, in the conditions of climate change. In this case, it is possible to model the operation in real time by combining the results of this research with intelligent models such as the support vector machine system. Also, the possibility of simulating the saturated and unsaturated zone of the soil using the complete balance components of hydroclimatology in the form of a connected model of surface water and groundwater is one of the most important achievements of this research. In this case, the effects of changes in each of the meteorological parameters, soil, water resources operation and management measures are quickly transferred to the entire system and its results can be seen.

**Keywords:** Climate Change, Integrated Operation, Surface and Underground Water Interaction, MODFLOW, WEAP.