Advanced Technologies in Water Efficiency
homepage:https://atwe.razi.ac.ir
Online ISSN:2783-4964

Simulation and determination of hydrodynamic coefficients and aquifer balance with Modflow mathematical model (Case study: Kermanshah Plain)

Kamran Azizi [1], Arash Azari [2]✉, Bahman Farhadi Bansouleh [3]

[1] M. Sc graduated of Water Resources, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: kamran50azizi@gmail.com
[2] Corresponding Author, Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: a.azari@razi.ac.ir
[3] Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: bfarhadi2001@yahoo.com

ABSTRACT

Introduction
In areas with dry and semi-arid climates, groundwater is one of the main sources of water supply for agriculture, industry and drinking. It is very necessary to prepare a simulation model to predict changes in the groundwater level and extract the components of the groundwater balance for better management of the operating of these resources. The aim of this research is to investigate hydrodynamic coefficients, plain balance and aquifer thickness in the study area of Kermanshah through aquifer simulation using MODFLOW model.

Methodology
In this research, based on information and data related to piezometers, operation wells, rivers, well logs, geophysical sections, bedrock map, topography and geology of the area, etc., a conceptual model of the plain was built. The numerical model developed based on the conceptual model of the plain was calibrated and validated in two steady and unsteady states, and the optimal values of hydraulic conductivity and specific yield were extracted. Then, balance components were extracted based on inflows and outflows from the aquifer, withdrawal from wells, recharge rate and seepage from rivers, feeding from the plain surface and boundary conditions and evaporation from the plain, and the most important balance parameters with the largest volume of exchanges were introduced.

Results and discussion
The results show that the thickness of the aquifer in the north and northeast of the plain is about 160.96 meters, and the lowest thickness in the southwest and west of the plain is 118.14 and 120.69 meters, respectively. Also, the coefficient of hydraulic conductivity varies between 0.9 and 40 m/day and the coefficient of specific yield varies between 1 and 35%. Based on the balance of the steady month (October 2016), the input of the aquifer was 2871427.5 cubic meters and the output of the aquifer was 2871472.3 cubic meters. The amount of input to the aquifer through the boundaries (general head cells) is 2500444 cubic meters and the output is 1653545.7 m3/month. The amount of inflow through the river was 7202.1 m3/month and the outflow from the river was 863470.4 m3/month. The amount of extraction from the wells was 261246.1 cubic meters and the amount of recharge was 363781.2 m3/month.

Conclusion
This research showed that the MODFLOW model can simulated the average level and the groundwater level of different areas of aquifer along with the balance of the plain, including the exchange of the aquifer with the river, the inflow and outflow from the boundaries of the aquifer, the parameters of withdrawal and recharge. In this simulation, the value of the root mean square error (RMSE) was calculated as 428 mm in the steady model and 535 mm in the unsteady model. That is, in the whole plain, the difference between the observed and simulated groundwater levels in the piezometers was less than one meter.

Keywords: Aquifer, Balance, Hydrodynamic coefficients, MODFLOW, GMS

Article Type: Research Article
Article history: Received: 07 December 2022 **Revised:** 05 January 2023 **Accepted:** 30 January 2023 **ePublished:** 28 February 2023

Cite this article: 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. DOI: 10.22126/ATWE.2023.8799.1036

Publisher: Razi University
© The Author(s).

فناوری های پیشرفته در بهره وری آب
وبگاه نشریه: https://atwe.razi.ac.ir شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۹۶۴

شبیه‌سازی و تعیین ضرایب هیدرودینامیکی و بیلان آبخوان با مدل ریاضی Modflow (مطالعه موردی: دشت کرمانشاه)

کامران عزیزی [۱]، آرش آذری [۲]✉، بهمن فرهادی بانسوله [۳]

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: kamran50azizi@gmail.com
[۲] نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: a.azari@razi.ac.ir
[۳] استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: bfarhadi2001@yahoo.com

چکیده

در مناطق دارای آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک، آب‌های زیرزمینی یکی از منابع اصلی تأمین آب کشاورزی، صنعت و شرب می‌باشند. هدف این پژوهش بررسی ضرایب هیدرودینامیکی، بیلان دشت و ضخامت آبخوان در محدوده مطالعاتی کرمانشاه از طریق شبیه‌سازی آبخوان با استفاده از مدل MODFLOW است. در این روش ابتدا مدل مفهومی و سپس مدل عددی در دو حالت ماندگار و غیر ماندگار ساخته، سپس واسنجی و صحت سنجی گردید. نتایج نشان‌دهنده بیشترین ضخامت آبخوان در ناحیه شمال و شمال‌شرق دشت به ضخامت حدود ۱۶۰,۹۶ متر و کمترین ضخامت در نواحی جنوب‌غربی و غرب دشت به ترتیب ۱۱۸,۱۴ و ۱۲۰,۶۹ متر است. همچنین ضریب هدایت هیدرولیکی بین ۰/۰۹ تا ۴۰ متر در روز و ضریب آبدهی ویژه بین ۱ تا ۳۵ درصد متغیر است. محاسبات بیلان منفی بودن موازنه آبی در نواحی غربی و جنوب غربی دشت و مثبت بودن بیلان در نواحی شمال و شمال شرقی و جنوب شرقی را نشان می‌دهد

واژگان کلیدی: آبخوان، بیلان، ضرایب هیدرودینامیکی، MODFLOW، GMS

نوع مقاله: مقاله پژوهشی
سابقه مقاله: دریافت: ۱۶ آذر ۱۴۰۱ **اصلاح:** ۱۵ دی ۱۴۰۱ **پذیرش:** ۱۰ بهمن ۱۴۰۱ **چاپ الکترونیکی:** ۰۹ اسفند ۱۴۰۱

استناد: عزیزی، ک.، آذری، آ.، و فرهادی بانسوله، ب. (۱۴۰۱). شبیه‌سازی و تعیین ضرایب هیدرودینامیکی و بیلان آبخوان با مدل ریاضی Modflow (مطالعه موردی: دشت کرمانشاه)، *فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب*، ۲(۴)، ۸۷- ۶۸. شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2023.8799.1036

ناشر: دانشگاه رازی
© نویسندگان.

مقدمه

آب‌های زیرزمینی را می‌توان به‌عنوان منابع استراتژیک قلمداد کرد که در شرایط خشک‌سالی و کمبود آب مورداستفاده قرار می‌گیرند. اما زمان تجدید پذیری آب‌های زیرزمینی نسبت به آب‌های سطحی طولانی‌تر است بنابراین باید رویکرد بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی بسیار مدبرانه، بر اساس نیاز واقعی و آینده‌نگری باشد. آب‌های زیرزمینی مخازن طبیعی می‌باشند که نیازی به سرمایه‌گذاری جهت ایجاد مخزن ندارند، خود پالایش هستند، تبخیر در آن‌ها صورت نمی‌گیرد و یا حداقل ممکن است، آسیب‌پذیری کمی دارند و منابع مطمئن‌تری نسبت به آب‌های سطحی هستند که عموماً باکیفیت بالا و توزیع ذخیره‌سازی گسترده است. در سطح جهان، ۳۶ درصد از مصارف آب شرب و بهداشت، ۴۲ درصد از آب کشاورزی و ۲۱ درصد از مصارف آب صنعتی از آب‌های زیرزمینی تهیه می‌شود (دال و همکاران[1] ۲۰۱۲). ظرفیت بالای ذخیره آب زیرزمینی باعث می‌گردد به‌مانند یک بافر در مقابل تغییرات بزرگ مکانی و زمانی در نوسانات اقلیمی عمل نماید و همین امر باعث گردیده تا آب زیرزمینی محوری برای مدیریت پایدار آب در برابر تغییر اقلیم محسوب شود(گرین و همکاران[2] ۲۰۰۷).

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

پورمحمدی و همکاران (۱۳۹۶) بررسی اثرات خشک‌سالی هواشناسی بر تغییرات بیلان آب زیرزمینی در دشت تویسرکان به کمک مدل‌سازی ریاضی MODFLOW را در نرم‌افزارGMS انجام دادند. بدین منظور سه سال شاخص به‌عنوان سال نرمال، خشک و تر انتخاب شد که سال نرمال به‌عنوان سال واسنجی مدل و سال‌های تر و خشک به‌عنوان صحت‌سنجی مدل استفاده گردیدند نتایج نشان داد که مدل MODFLOW به‌خوبی سطح ایستابی چاه‌های مشاهداتی را در سال نرمال، تر و خشک پیش‌بینی نمود

قبادیان و همکاران (۱۳۹۳) برای بررسی اثر احداث شبکه آبیاری و زهکشی پائین‌دست سد گاوشان بر منابع آب زیرزمینی دشت میان‌دربند کرمانشاه، از بسته نرم‌افزاری GMS6.5 استفاده نمودند. بدین منظور مدل در شرایط ماندگار و غیر ماندگار کالیبره و مورد واسنجی قرار گرفت. در مرحله کالیبراسیون از ۱۲ دوره تنش و داده‌های سطح آب مشاهداتی ۲۴ پیزومتر در منطقه استفاده شد و صحت‌سنجی مدل در یک دوره خارج از بازه زمانی کالیبراسیون و سطح آب ۱۹ پیزومتر منطقه انجام گردید نتایج مدل نشان داد بعد از اجرای شبکه آبیاری و زهکشی سد گاوشان و استفاده از منابع آب سطحی به‌جای منابع آب زیرزمینی، بخش عمده‌ای از اراضی میانی دشت زه‌دار می‌شوند این موضوع لزوم توجه به استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی، بخصوص در نواحی مرکزی دشت را به همراه داشت.

پور حقی و همکاران (۱۳۹۳) به‌منظور مدیریت بهره‌برداری از آبخوان دشت نورآباد در شرایط خشک‌سالی و با روش تفاضل محدود MODFLOW منابع آب زیرزمینی را مدل نمودند. جهت تهیه مدل مفهومی دشت، ازلاگ زمین‌شناسی، چاه‌های‌مشاهده‌ای و اکتشافی، مقاطع زمین‌شناسی و هیدروگراف چاه استفاده شد که نتایج پیش‌بینی افت آب زیرزمینی را نشان داد.

عابدی‌کوپایی وگلابچیان (۱۳۹۴)، منابع آب زیرزمینی زیرحوضه کوهپایه سگزی و به‌طور خاص تخمین ضرایب هیدرودینامیک آبخوان را موردبررسی و مدل‌سازی توسط بسته نرم‌افزاری GMS قراردادند. پس از تهیه لایه‌های ورودی و پارامترهای مؤثر در مدل‌سازی، با استفاده از اطلاعات موجود اقدام به واسنجی مدل در حالت ماندگار (۱۳۸۱) و نا ماندگار (۱۳۸۱-۱۳۸۳) گردید و برای کسب اطمینان از نتایج، آزمون صحت‌سنجی را برای سال۱۳۸۴ انجام گرفت. نتایج شبیه‌سازی و بررسی بیلان آبخوان نشان داد که تغذیه منابع آب زیرزمینی بیشتر از طریق تغذیه سطحی و مرزهای سیستم صورت می‌گیرد و مناطق تحت پوشش کانال‌های آبیاری بیشترین مقدار تغذیه را دارد.

---

[1] Doell et al
[2] Green et al

براتی و همکاران (۱۳۹۷) جهت تعیین ضرایب هیدرودینامیک آبخوان دشت کرمانشاه از نرم‌افزارGMS7.1 استفاده نمودند. نتایج نمایانگر مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی بین ۰,۱ تا ۳۰ متر در روز و مقدار آبدهی ویژه بین مقادیر۰,۰۲ تا ۰,۴ بود. در این تحقیق ریشه میانگین مربعات خطا کمتر از یک متر و همبستگی مقادیر مشاهداتی و محاسباتی بالا بود که دقت قابل‌قبول برای شبیه‌سازی است. در تحقیق براتی و همکاران تمرکز بر روی استخراج ضرایب هیدرودینامیکی و محاسبه متوسط تغییرات تراز، است. اما در این تحقیق علاوه بر استخراج ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان و تهیه نقشه محدوده ضرایب، ضخامت آبخوان در نواحی مختلف به‌صورت سه‌بعدی برای تعیین مناطق دارای کاهش و یا افزایش تراز و همچنین محاسبه مولفه های بیلان آب زیرزمینی در قسمت‌های مختلف دشت به‌منظور مشخص نمودن میزان تبادلات رودخانه با آبخوان، تبادلات مرزی، میزان برداشت از آب زیرزمینی و تغذیه دشت شبیه‌سازی می‌گردد.

نوذر پور و همکاران (۱۳۹۴) بررسی ارتباط هیدرولیکی آبخوان دشت لور اندیمشک و رودخانه دز توسط مدل MODFLOW را مورد ارزیابی قراردادند. ابتدا جریان آب‌های زیرزمینی در حالت ماندگار شبیه‌سازی و سپس با استفاده از داده‌های مربوط به مهر ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۸۹، جریان آبخوان در حالت ناپایدار واسنجی و در دوره شش‌ماهه صحت سنجی شد سپس ارتباط رودخانه دز با آبخوان تحت سه سناریو مختلف مدیریتی شامل کمترین دبی رودخانه، پیش‌بینی تبادلات آبخوان و رودخانه در دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی توسط بیلان بخشی انجام گردید. در سناریو کاهش سطح آب رودخانه حاکی از کاهش میزان ورودی و افزایش خروجی در آبخوان است و در سناریو خشک‌سالی میزان تغذیه سطحی کاهش و در اثر آن افت سطح ایستابی رخ می‌دهد. در اثر افت سطح ایستابی شیب هیدرولیکی به‌طرف آبخوان زیاد و موجب تغذیه بیشتر آبخوان توسط رودخانه می‌گردد. در سناریو ترسالی با افزایش تغذیه سطحی آبخوان و افزایش سطح ایستابی، شیب هیدرولیکی و درنتیجه ورودی از رودخانه به‌طرف آبخوان کاهش می‌یابد

تاد و همکاران[1](۲۰۰۱) به‌منظور تعیین محدوده تغذیه چاه‌های آب شرب شهر استراگون‌بای در ایالت ویسکانسین آمریکا، آب‌های زیرزمینی منطقه را در دو حالت ماندگار و غیر ماندگار توسط MODFLOW را شبیه‌سازی نمودند. نتایج مدل و مقایسه آن با داده‌های مشاهداتی، نشان از رفتار بهتر آبخوان در حالت غیر ماندگار دارد. همچنین مشخص گردید ناحیه تغذیه‌کننده چاه‌ها در فواصل ۱۰ کیلومتر شمال و ۷ کیلومتری جنوب شهر است.

ایروان و همکاران[2](۲۰۰۱) به‌منظور ارزیابی تعامل هیدرودینامیکی آب سطحی و زیرزمینی در اطراف دریاچه سی سوپان[3]از مدل تفاضل محدود MODFLOW استفاده نمودند. نتایج حاصل از مدل شبیه‌سازی آب زیرزمینی نشان داد آب دریاچه با آبخوان در ارتباط است و بهره‌برداری از دریاچه اثرگذار بر تراز آب زیرزمینی خواهد بود.

یانزان و همکاران[4](۲۰۱۱) از مدل MODFLOW VISULAL برای شبیه‌سازی آب زیرزمینی حوضه بل سو استفاده نمودند. واسنجی و صحت سنجی مدل، بیانگر شرایط واقعی آبخوان بود. پس می‌توان از آن در پیش‌بینی آینده رفتار آب زیرزمینی استفاده کرد.

پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی بدون استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی معمولاً به‌صورت یک سری میانگین بوده و نقشه توزیعی برای دشت ارائه نمی‌دهد (نادیری و همکاران[5] ۲۰۱۹.، گازمان و همکاران[6] ۲۰۱۹).

[1] Todd et al
[2] Irawan et al
[3] Ciseupan
[4] Yanxun et al
[5] Nadiri et al
[6] Guzman et al

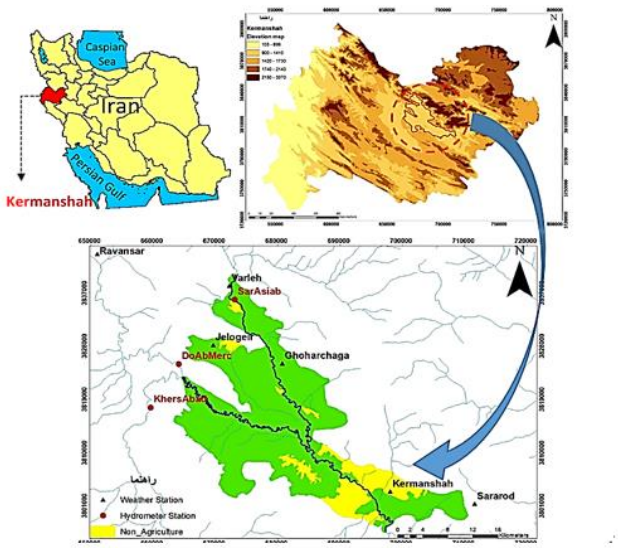
بررسی تحقیقات انجام‌شده حاکی از اثر انکارناپذیر مدیریت برداشت از منابع آب زیرزمینی بر میزان افت آبخوان‌ها دارد. مطالعه روند پیشرفت مدل‌های ریاضی نشان می‌دهد مجموعه‌ای از عوامل مانند شرایط محیطی شامل دما، بارش، شوری آب، عوامل هیدرولیکی مانند مقاطع رودخانه و سطح خیس شده و پارامترهای هیدرولیکی آبخوان، نحوه توزیع و برداشت آب در حوضه و عوامل توپوگرافی و زمین‌شناسی و غیره در میزان تبادل آب سطحی و زیرزمینی و تغییرات ذخیره آب زیرزمینی مؤثر هستند (زینلی و همکاران[1] ۲۰۲۰، سلطانی و آذری[2] ۲۰۲۲، زامپیری و همکاران[3] ۲۰۱۲). هدف از این پژوهش شبیه‌سازی سه‌بعدی تراز آب زیرزمینی در دشت کرمانشاه و استخراج ضرایب هیدرودینامیکی بهینه آبخوان و محاسبه مؤلفه‌های بیلان آب زیرزمینی در قسمت‌های مختلف دشت است.

روش پژوهش

معرفی محدوده مطالعاتی

محدوده مطالعاتی موردتحقیق بین طول جغرافیایی ۴۶,۷۷ تا ۴۷,۲۸ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴,۲۹ تا ۳۴,۶۸ درجه شمالی است. این محدوده واقع در شهرستان کرمانشاه شامل دهستان‌های میان دربند، بالا دربند، قره‌سو و درودفرامان با مساحت ۶۷۲,۶۶ کیلومترمربع یا ۶۷۲۶۶,۱۲ هکتار است. که بخش بزرگی از شهر کرمانشاه به مساحت ۷۷ کیلومترمربع نیز در این محدوده قرار می‌گیرد. در اراضی موردتحقیق دو رودخانه رازآور و قره‌سو جاری می‌باشند رودخانه رازآور از ارتفاعات شهرستان کامیاران واقع در استان کردستان سرچشمه می‌گیرد طول این رودخانه در دشت کرمانشاه ۴۷,۲ کیلومتر است و در جهت شمالی- جنوبی وارد دشت کرمانشاه می‌گردد. رودخانه قره‌سو از سراب روانسر سرمنشأ می‌گیرد طول این رودخانه در دشت کرمانشاه ۹۱,۴۷ کیلومتر است و در جهت شمال‌غربی به جنوب‌شرقی جریان دارد. این رودخانه علاوه بر رودهای مرک و رازآور که در نزدیکی شهر کرمانشاه به هم می‌پیوندد، آب نهرها و سراب‌های متعددی وارد آن شده و پس از عبور از شهر کرمانشاه در شهرستان هرسین به گاماسیاب پیوسته و مشترک رودخانه سیمره یکی از سرشاخه‌های کرخه را به وجود می‌آورند. بنابراین محدوده مطالعاتی در حوضه علیای کرخه که حوضه سیمره نیز نامیده می‌شود واقع گردیده است. میزان متوسط بارندگی محدوده موردپژوهش حدود ۴۵۰ میلی‌متر در سال است و بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن، جزء اقلیم نیمه‌خشک و استپی قرارمی‌گیرد. ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری مورداستفاده از بین ایستگاه‌هایی انتخاب گردیدند که فعال و دارای آمار بلندمدت حداقل ۳۰ ساله بودند. بدین سبب شش ایستگاه هواشناسی شامل دو ایستگاه سینوپتیک (کرمانشاه و روانسر)، یک ایستگاه کشاورزی (سرارود) و سه ایستگاه باران‌سنجی (ورله، گوهرچقا و جلوگیرعلیا) انتخاب شدند. همچنین از بین ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در محدوده مطالعاتی فقط سه ایستگاه سرآسیاب (رودخانه رازآور)، دوآب‌مرک (رودخانه قره‌سو) و خرس‌آباد (رودخانه مرک از سرشاخه‌های قره‌سو) فعال و دارای آمار بلندمدت ۳۰ ساله بودند که مورداستفاده آماری قرار گرفتند. کاربری اراضی در محدوده دشت کرمانشاه شامل اراضی کشاورزی، شهری، مراتع، تالاب و صخره‌ای است که بیشترین کاربری را اراضی کشاورزی با ۸۴,۹ درصد پوشش دارد. در طبقه‌بندی خاک‌ها بر مبنای کاربرد آن‌ها در کشاورزی و قابلیت آبیاری، ۸ کلاس خاک تعریف می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۳) که شش کلاس از کلاس I تا VI در محدوده وجود دارد و بیشتر محدوده در کلاس II و III قرار می‌گیرد که در شکل ۱ نشان داده‌شده است.

[1] Zeinali et al
[2] Soltani & Azari
[3] Zampieri et al



شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعاتی، کاربری اراضی، ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری

ساخت مدل آب زیرزمینی

در این پژوهش از نرم‌افزار GMS که رابط بین GIS و مدل MODFLOW است به‌منظور ساخت مدل مفهومی و تبدیل آن به مدل عددی MODFLOW جهت شبیه‌سازی آبخوان، استفاده گردید. مدل عددی MODFLOW بر پایه حل معادلات حاکم بر جریان آب زیرزمینی است که با توجه به شرایط جریان در دو حالت ماندگار و غیر ماندگار عمل می‌کند. مدلMODFLOW بر اساس معادله پیوستگی، حرکت سه‌بعدی جریان زیرزمینی را به‌وسیله معادله دیفرانسیل جزئی و به روش تفاضل محدود حل می‌کند. فرم کلی معادله در حالت پایدار رابطه ۱ و در حالت غیر پایدار رابطه ۲ است.

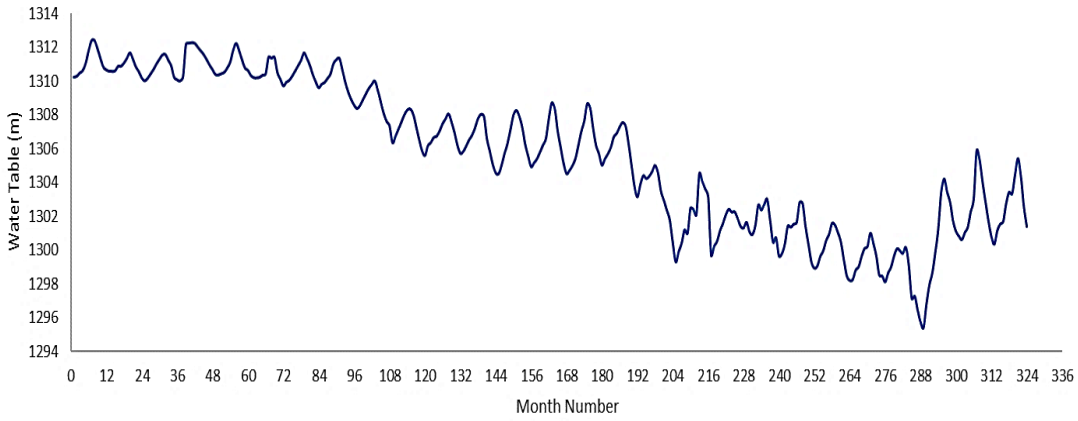
$$\frac{\partial}{\partial x}\left[K_{xx}h\frac{\partial h}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[K_{yy}h\frac{\partial h}{\partial y}\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[K_{zz}h\frac{\partial h}{\partial z}\right]\pm W=0 \qquad (۱)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[K_{xx}h\frac{\partial h}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[K_{yy}h\frac{\partial h}{\partial y}\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[K_{zz}h\frac{\partial h}{\partial z}\right]\pm W=S_y\frac{\partial h}{\partial t} \qquad (۲)$$

در معادلات فوق K_{xx} ، K_{yy} و K_{zz} هدایت هیدرولیکی، W نشان‌دهنده تخلیه یا تغذیه آب زیرزمینی، h هد هیدرولیکی (بار پتانسیل)، t زمان وS_y آبدهی ویژه می باشد.

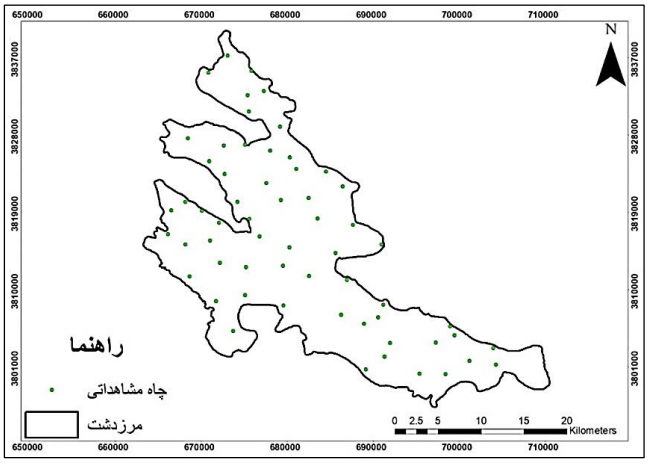
مدل ماندگار

برای ساخت مدل ماندگار ابتدا هیدروگراف دشت کرمانشاه بر اساس داده‌های چاه‌های مشاهداتی از ابتدای مهر سال ۱۳۷۰ تا پایان شهریور ۱۳۹۷ رسم گردید که در شکل ۲ نشان داده‌شده است.

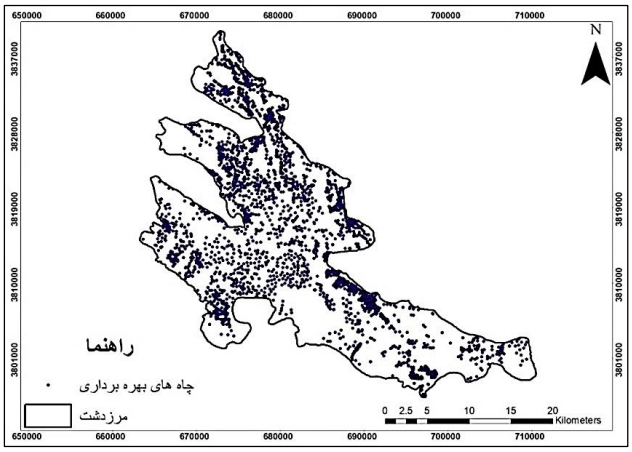


شکل۲. هیدروگراف دشت کرمانشاه

با توجه به هیدروگراف رسم شده، مهر ماه سال ۱۳۹۵ که کمترین شیب تغییرات تراز را داشت به‌عنوان ماه ماندگار انتخاب گردید. بعد از انتخاب ماه ماندگار مدل مفهومی ساخته شد برای ساخت مدل مفهومی پکیچ‌های محدوده یا مرز آبخوان، چاه‌های مشاهداتی، چاه‌های بهره‌برداری (چاه، قنات، چشمه)، ضریب هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه، رودخانه‌ها، سلول‌های بار عام ، تبخیر و تعرق، تغذیه و زون بندی بیلان ساخته شد. تعداد چاه‌های مشاهداتی یا پیزومتری در محدوده موردمطالعه ۶۰ حلقه است که از مهرماه سال ۱۳۷۰ خورشیدی تا پایان شهریور ۱۳۹۷ دارای آماربرداری است که در شکل ۳ نشان داده شده است. تعداد چاه‌های بهره‌برداری اعم از کاربری کشاورزی، صنعت و آشامیدنی در محدوده موردمطالعه ۳۹۲۲ حلقه است که در شکل ۴ نشان داده‌شده است.

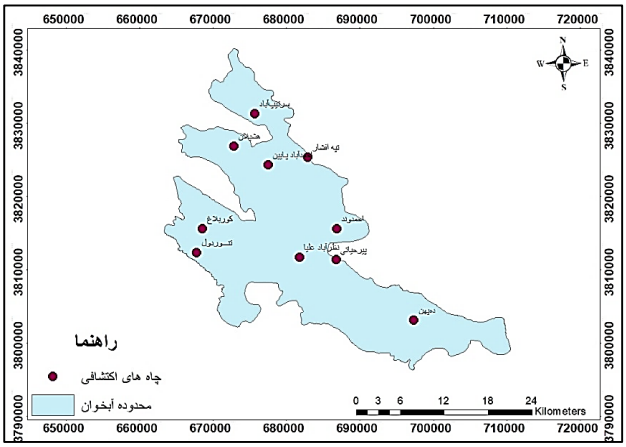


شکل۳. موقعیت محدوده مطالعاتی و پیزومترها



شکل٤. موقعیت و پراکنش چاه‌های بهره‌برداری

در مطالعات منابع آب، بررسی‌های اکتشافی توسط انجام مطالعات ژئوفیزیک سطحی، حفاری‌های اکتشافی، چاه‌نگاری، ردیابی و آزمایش‌های پمپاژ انجام می‌گردد. بررسی‌های انجام‌یافته در محدوده آبخوان دشت کرمانشاه شامل مطالعات ژئوالکتریک، لوگ چاه‌های اکتشافی و آزمایش‌های پمپاژ است. با انجام بررسی‌های اکتشافی، ضخامت و نحوه تغییرات رسوبات آبرفتی، جنس سنگ کف، وضعیت کمی و کیفی لایه‌های آبدار و نیز ضرایب هیدرودینامیک آبخوان مشخص می‌گردد. ازآنجاکه دقت و صحت اطلاعات ثبت‌شده برای چاه‌های اکتشافی و آزمایش‌های پمپاژ بیشتر از مطالعات ژئوالکتریک انجام‌شده در منطقه موردمطالعه است لذا این اطلاعات به‌عنوان مبنا در تعریف مدل مفهومی آبخوان مورداستفاده قرار گرفت. بر اساس اطلاعات دریافتی از شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمانشاه، در محدوده آبخوان تعداد ۱۰ حلقه چاه اکتشافی حفاری‌شده است که در شکل ۵ نشان داده‌شده است.



شکل۵. موقعیت چاه‌های اکتشافی در محدوده آبخوان دشت کرمانشاه

بررسی لوگ چاه‌های اکتشافی محفوره در دشت کرمانشاه نشان داد رسوبات دشت به‌طور عمومی از سطح تا اعماق ۵۰-۶۰ متری از مصالحی با درصد بیشتر رس و از این عمق به بعد حاوی مصالح درشت‌تر در حد گراول و ماسه است. واحدهای ریزدانه در محدوده طرح مقادیری نیز ماسه

دارند که باعث می‌شود قدرت انتقال کمی پیدا کنند و چاه‌های محفوره در این رسوبات نیز دارای آبدهی می‌باشند.عمق برخورد به سنگ کف و جنس سنگ کف بسیار مختلف بوده و ازکنگلومرا، رادیولاریت، مارن، شیل وآهک تشکیل‌شده است. با توجه به اطلاعات موجود، حداکثر ضریب قابلیت انتقال ۱۰۰۰۰ مترمربع در روز در شمال آبخوان (محل لوگ سرتیپ آباد) است که به سمت جنوب آبخوان کاهش‌یافته و در قسمت جنوب غربی آبخوان (محل لوگ تنوردول) به مقدار ۱۵۰مترمربع در روز می‌رسد که در جدول ۱ نشان داده‌شده است.

جدول ۱. اطلاعات و ضرایب هیدرودینامیک محاسبه‌شده در چاه‌های اکتشافی محدوده مطالعاتی

شماره	محل چاه	عمق (متر)	قطر حفاری (اینچ)	تاریخ حفاری	ضرایب سفره	عمق برخورد و جنس سنگ کف (متر)
۱	احمدآباد پایین	۲٤۰,۰	۱۸,۵ و ۸	۱۳۵۳/٤/۱	T=1750 , S=?	۲۳۹ – کنگلومرا و رادیولاریت
۲	تپه افشار	۱۹۸,۰	۱۸,۵ و ۸	۱۳۵۳/۹/۳	T=? , S=?	۱۸۳ – کنگلومرا
۳	هشیلان	۱۵٦,۰	۱۸ و ۱٤	۱۳٦۷/۷/۲۹	T=1200 , S=0.4%	۱٤۸ – مارن
٤	سرتیپ‌آباد	۱۳۲,۰	۱۸ و ۱٤ و ۱۳	۱۳٦۷/۸/۲۱	T=10000 , S=?	؟
۵	احمدوند	۸۲,۰	۱۸,۵ و ۱۸	۱۳۵۳/۷/۱۱	T=607 , S=2.5%	۷۷ – کنگلومرا
٦	پیرحیاتی	۷۱,۰	۱۸	۱۳٦۷/۷/۷	T=1570 , S=?	٦۷,۵ – رادیولاریت
۷	کوربلاغ	۸٦,۰	۱۸	۱۳۵٤/۲/۸	T=? , S=?	۸٦– آهک
۸	تنـــوردول	۱۱۵,۰	۱۸,۵	۱۳۵۳/٦/۹	T=150 , S=?	۹٤ متری – آهک
۹	ده‌پهن	۲۱۵,۰	۱۸,۵	۱۳۵٤/٦/۲۰	T=1000 , S=?	۲۱۵–شیل هوازده و کنگلومرا
۱۰	نظرآباد علیا	۲۰۹,۰	۱۸,۵	۱۳۵۳/۷/٦	T=750 , S=0.03%	۱۹۸ متری– شیل

برای تعیین مقادیر ابتدایی ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان (هدایت هیدرولیکی(K) و آبدهی ویژه (S_y)) و محدوده این ضرایب، محل چاه‌های اکتشافی در محیط GIS مشخص و در محیط GMS به مدل مفهومی اضافه شدند. تغییرات ضرایب هیدرودینامیک آبخوان در نقاط مختلف دشت بیشتر از آن است که بتوان اطلاعات این ۱۰ نقطه از آبخوان را به‌کل آن تعمیم داد. بنابراین به‌منظور تعیین مقادیر و محدوده‌های ضرایب هیدرودینامیک آبخوان یک پوشش مجزا تعریف گردید. برای تعیین محدوده‌های ضریب هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه در محدوده آبخوان از نقشه‌های تراز آب زیرزمینی، کاربری اراضی، و نقشه خاکشناسی منطقه استفاده و از مقادیر ضرایب هیدرودینامیک گزارش‌شده در محل چاه‌های اکتشافی به‌عنوان مقادیر حدس اولیه استفاده شد. جهت استخراج حدود تغییرات ضرایب هیدرولیکی علاوه بر آزمایش پمپاژ با توجه به لوگ حفاری و جنس مصالح در رسوبات و سنگ‌های مختلف، از جداول آبدهی ویژه و هدایت هیدرولیکی منتشرشده توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا (U. S. G. S 2002) استفاده گردید که در جدول ۲ و ۳ ارائه گردیده است.

جدول۲. حدود تغییرات آبدهی ویژه در برخی از رسوبات در سفره‌های آزاد (U. S. G. S 2002)

Material	Maximum	Minimum	Average
Clay	0.05	0.	0.02
Sandy Clay	0.12	0.03	0.07
Silt	0.19	0.03	0.18
Fine Sand	0.28	0.10	0.21
Medium Sand	0.32	0.15	0.26
Coarse Sand	0.35	0.20	0.27
Gravelly Sand	0.35	0.20	0.25
Fine Gravel	0.35	0.21	0.25
Medium Gravel	0.26	0.13	0.23
Coarse Gravel	0.26	0.12	0.22

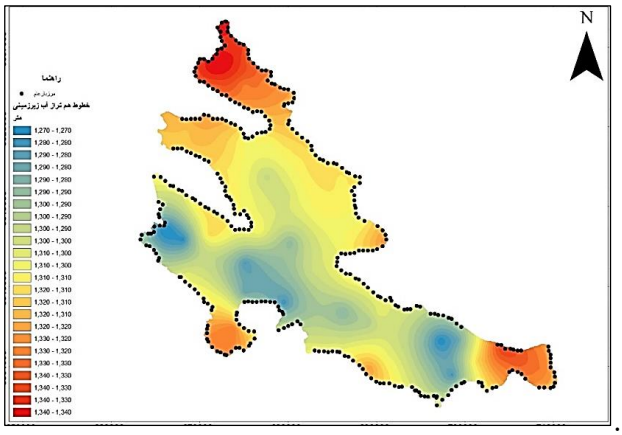
Source: Johnson, 1967

جدول ۳. حدود تغییرات هدایت هیدرولیکی در برخی از رسوبات و سنگ‌ها (U. S. G. S 2002)

Aquifer Material	Extreme	Likely	Likely	Extreme	References
	Kmin, m/d	Kmin, m/d	Kmax,m/d	Kmax, m/d	
Unconsolidated Sedimentary Rock					
Gravel	30	90	900	900	1,5
Sand and Gravel Mixes	0. 3	9	90	90	1
Coarse Sand	15	20	90	90	1
Medium Sand	0. 3	6	20	60	1,5
Fine Sand	0. 015	1	6	6	1,5
Gulf Coast Aquifer Systems (6603 values)	0. 6	10	60	240	2
Stream Terrace Deposit, Fort Worth, Texas (59 values)	0. 003	0. 3	30	90	3
Surficial Aquifer, central Florida (fine sand and silt, 55 values)	0. 003	0. 03	10	15	4
Silt, Loess	0. 00009	0. 0003	0. 03	2	5
Till	0. 00000009	0. 0009	0. 09	0. 2	1,5
Clay soils (surface)	0. 003	0. 003	0. 3	0. 3	1
Clay	0. 0000003	0. 000003	0. 00003	0. 0003	5,7
Carbonate Rocks					
Unweathered Marine Clay	0. 00000006	0. 00000006	0. 0002	0. 0002	5
Karst	0. 1	3	300	3000	4,5,8
Reef Limestone	0. 09	3	300	1800	5
Limestone, Dolomite	0. 00009	0. 001	0. 03	0. 6	5
Indurated Sedimentary Rock					
Fine-Grained Sandstone	0. 00003	0. 0003	0. 3	2	1,6
Medium-Grained Sandstone	0. 0003	0. 3	3	24	6,9
Siltstone	0. 0000003	0. 000003	0. 002	0. 01	6
Claystone	9.00E-10	0. 0000003	0. 000003	0. 00001	6,7,10
Anhydrite	0. 00000003	0. 00000003	0. 002	0. 002	5
Shale	0. 000000003	0. 00000003	0. 00003	0. 3	7
Metamorphic or Volcanic Rock					
Permeable Basalt	0. 03	0. 3	30	1800	5
Fractured Igneous and Metamorphic Rock	0. 0003	0. 02	3	30	1
Weathered Granite	0. 03	0. 3	3	6	6
Weathered Gabbro	0. 03	0. 03	0. 3	0. 3	6
Basalt	0	0. 009	0. 03	0. 03	5
Unfractured Igneous and Metamorphic Rock	0	2. 7E-09	0. 00002	0. 00002	1,5
Unfractured Igneous and Metamorphic Rock	0	2. 7E-09	0. 00002	0. 00002	

برای تهیه پکیج رودخانه‌ها ابتدا دبی رودخانه رازآور از ایستگاه هیدرومتری سرآسیاب و دبی قره‌سو از ایستگاه‌های هیدرومتری دوآب مرک و خرس‌آباد استخراج شدند سپس رودخانه‌ها جهت شبیه‌سازی تبادل رودخانه و آبخوان با مشخصات تراز کف (m)، تراز آب (m) وکاندکتانس (ضریب گذردهی برحسب مترمربع در روز) تعریف و به مدل مفهومی اضافه شدند.

انتخاب شرایط مرزی را می‌توان گام مهمی در تهیه مدل مفهومی دانست. بطوریکه با انتخاب شرایط مرزی نامناسب مدل ساخته‌شده معیوب و پاسخ مدل به استرس‌ها متفاوت از پاسخ واقعی سیستم خواهد بود (فرانکی و همکاران[1] ۱۹۸۷). در این پژوهش برای شبیه‌سازی مرزهای ورودی و خروجی محدوده مطالعاتی دشت کرمانشاه از بسته مرز بار عام (GHB) استفاده شد. در این نوع مرز سطح آب ثابت نیست و دبی ورودی یا خروجی در مرز با توجه به گرادیان هیدرولیکی و ضریب گذردهی کاندکتانس سلول‌های مرزی تغییر می‌کند. از سوی دیگر حساسیت بارهای هیدرولیکی محاسبه‌شده مدل به ضریب گذردهی کاندکتانس در مرزهای GHB از سایر مرزها کمتر است. بنابراین اگر فرض‌های بکار رفته در مرز اشتباه باشد و یا در اثر استرس‌ها، مرزها رفتار غیرواقعی نشان دهند، نتایج و خروجی‌های مدل کمتر تحت تأثیر قرار خواهد گرفت (صدقی و چیت‌سازان، ۱۳۸۳). برای ساخت بسته GHB ابتدا خطوط هم‌تراز آبخوان در ماه ماندگار در محیط GIS رسم شد سپس محل ورودی و خروجی جریان‌های مرزی مشخص و Head Stage یا هد جریان و ضریب گذردهی محاسبه گردید. و در محیط GMS به مدل مفهومی اضافه گردید. در این تحقیق ۳۵۱ سلول مرز بار عام تعریف شد که در شکل ۶ نشان داده‌شده است.



شکل٦. تراز آب زیرزمینی و موقعیت سلول‌های بار عام

تغذیه دشت یکی از پارامترهای مهم در مدل آب زیرزمینی است. معمولاً به دلیل ویژگی‌های مختلف خاک‌شناسی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، شدت بارندگی، شیب زمین و کاربری اراضی در نقاط مختلف میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی متفاوت است. در مدل MODFLOW و در حالت ماندگار برای تغذیه از بسته RCH استفاده می‌گردد که در این پژوهش ۱۴ محدوده تغذیه تهیه گردید. همچنین بسته تبخیر و تعرق و بسته ناحیه بندی بیلان درGIS تهیه و در GMS به مدل مفهومی اضافه گردید.

بعد از ساخت مدل مفهومی، برای ورود به مدل عددی چارچوب مدل تعریف شد. برای این کار در محیط GMS ابتدا قاب و سپس شبکه‌بندی ایجاد گردید. اندازه و جهت شبکه به‌گونه‌ای انتخاب شد که در حالت افقی (دوبعدی) محور X در راستای K_X و محور Yدر راستای K_y قرار گیرد و در حالت سه‌بعدی محور Z هم‌جهت با K_z باشد. شبکه‌بندی در جهت شمال، با سلول‌هایی به ابعاد ۵۰۰×۵۰۰ متر ساخته‌شده برای ساخت مدل

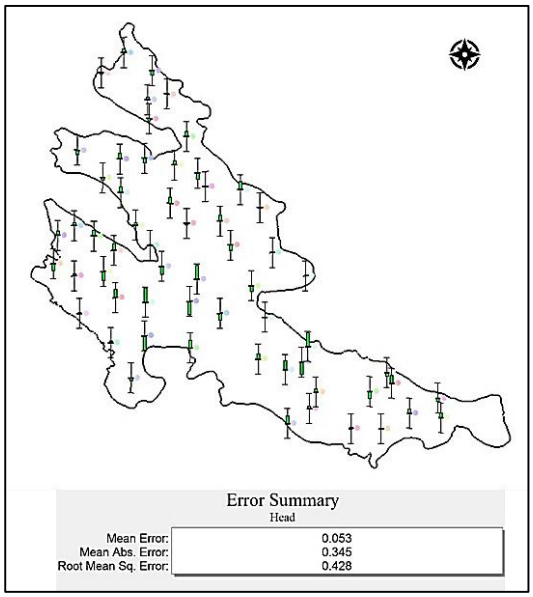
[1] Franke et al

عددی آب زیرزمینی تعداد ۹۸۸۸ سلول به ابعاد ۵۰۰×۵۰۰ متر تعریف (۹۶ ردیف × ۱۰۳ستون) گردید که تعداد ۲۷۰۱ سلول آن فعال و در محدوده مطالعاتی واقع شد (۶۷۵,۲۵ کیلومترمربع)

در مدل ماندگار، ماه پایدار مهر سال ۱۳۹۵ انتخاب گردید. بنابراین تراز یا هد اولیه برای ورود به مدل، شهریور همان سال است. بدین منظور با داده‌های پیزومتری شهریورماه، تراز اولیه در محیط GIS به روش کریجینگ میانیابی و نقشه رستری آن رسم گردید. سپس برای تبدیل نقشه رستری به اعداد قابل ورود به مدل عددی MODFLOW از نرم‌افزار Global Mapper استفاده شد و اعداد خروجی در فرمت XYZ و درنهایت به‌صورت فایل تکست به مدل وارد شد. برای تهیه سقف لایه آبدار از نقشه رقومی محدوده مطالعاتی (DEM) و برای کف لایه آبدار یا سنگ کف از اطلاعات ژئوفیزیک منطقه استفاده گردید. رقوم سنگ‌کف استخراج و در محیط GIS به روش کریجینگ میانیابی و تبدیل به نقشه رستری کف گردید. که همراه با نقشه رقومی سطح زمین در نرم‌افزار Global Mapper (به‌مانند ساخت اعداد تراز اولیه) قابل ورود به مدل عددی MODFLOW گردید.

واسنجی (کالیبره) مدل

برای انجام کالیبره از داده‌های ثبت‌شده ۶۰ حلقه چاه‌های مشاهداتی دشت کرمانشاه در طول دوره شبیه‌سازی مدل ماندگار یعنی مهرماه سال ۱۳۹۵ استفاده شد. واسنجی مدل با روش رگرسیون غیرخطی و استفاده از MODFLOW انجام گرفت. در این روش برآورد پارامترها با تخصیص مقدار اولیه به هر پارامتر شروع می‌شود. در مراحل تکرارهای برآورد پارامتر، و باهدف کاهش اختلاف بین مقادیر محاسباتی و مشاهداتی مقادیر اولیه تغییر می‌نماید. در کالیبراسیون حالت ماندگار، هدایت هیدرولیکی،کاندکتانس رودخانه‌ها و مرزهای بار عام (GHB) بهینه گردید. بعد از کالیبراسیون، مقدار انحراف جذر میانگین مربعات (RMSE) توسط مدل محاسبه و مقدار آن عدد ۰,۴۲۸ متر به دست آمد یعنی در کل دشت اختلاف داده‌های مشاهداتی و محاسباتی در پیزومترها کمتر از یک متر و برابر ۴۲۸ میلی‌متر به دست آمد که در شکل ۷ نشان داده‌شده است.



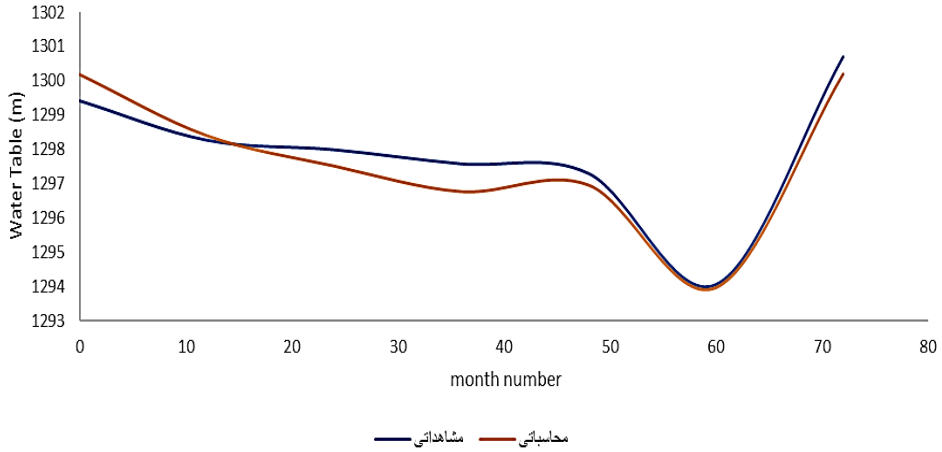
شکل۷. کالیبراسیون مدل ماندگار و میزان RMSE

مدل غیر ماندگار

مدل غیر ماندگار به مدت دو سال از مهر سال ۱۳۹۳ تا شهریور ۱۳۹۵ با ۲۴ استرس پریود ماهانه ساخته و کالیبره گردید در عملیات واسنجی مقادیر و ضرایب هیدرودینامیکی شامل K و Sy بهینه گردید و میزان RMSE محاسبه‌شده برای دشت برابر ۵۳۵ میلی‌متر بدست‌آمد.

صحت سنجی

پس از واسنجی برای تائید عملکرد مدل، صحت سنجی صورت پذیرفت تا از دقت مدل شبیه‌سازی‌شده اطمینان حاصل شود طول مدت صحت سنجی پنج سال از مهر ۱۳۸۸ تا پایان شهریور ۱۳۹۳ انتخاب گردید. شکل ۸ هیدروگراف آبخوان را در طول مدت صحت‌سنجی در دو حالت مشاهداتی و محاسباتی نشان می‌دهد. تفاوت مقادیر تراز محاسباتی با مشاهداتی کمتر از ۱ ± متر است که نشان‌دهنده دقت مدل و عملکرد مناسب آن در شبیه‌سازی آبخوان است.



شکل۸. هیدروگراف آبخوان در دو حالت مشاهداتی و محاسباتی طی ۵ سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۹۳

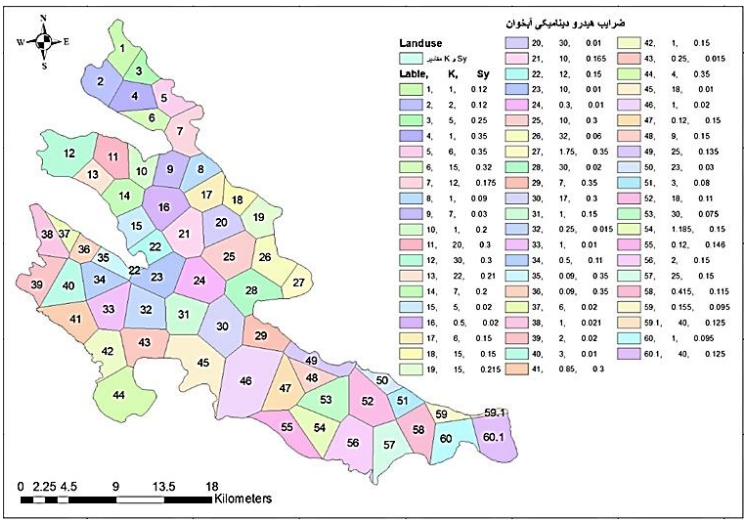
یافته‌ها

ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان

در حین کالیبراسیون مدل، محدوده‌ها و مقادیر ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان شامل ضریب هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه اصلاح شدند. مقدار بهینه ضریب هدایت هیدرولیکی بین ۰/۰۹ تا ۴۰ متر در روز و ضریب آبدهی ویژه بین ۱ تا ۳۵ درصد متغیر است که در جدول ۴ و شکل ۹ نشان داده‌شده است.

جدول ٤. ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان کرمانشاه

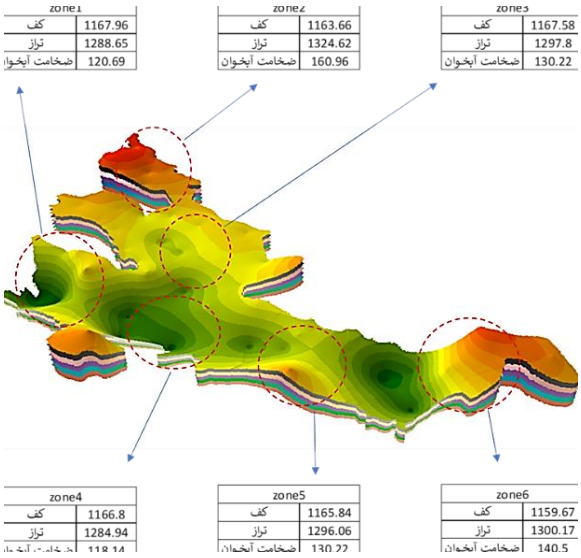
Name	K(m/day)	Sy	Name	K(m/day)	Sy	Name	K(m/day)	Sy
LU1	1	0.12	LU22	12	0.15	LU43	0.25	0.015
LU2	2	0.12	LU23	10	0.01	LU44	4	0.35
LU3	5	0.25	LU24	0.3	0.01	LU45	18	0.01
LU4	1	0.35	LU25	10	0.3	LU46	1	0.02
LU5	6	0.35	LU26	32	0.06	LU47	0.12	0.15
LU6	15	0.32	LU27	1.75	0.35	LU48	9	0.15
LU7	2	0.175	LU28	30	0.02	LU49	25	0.135
LU8	1	0.09	LU29	7	0.35	LU50	23	0.03
LU9	7	0.03	LU30	17	0.3	LU51	3	0.08
LU10	1	0.02	LU31	1	0.15	LU52	18	0.11
LU11	20	0.3	LU32	0.25	0.015	LU53	30	0.075
LU12	30	0.3	LU33	1	0.01	LU54	1.185	0.15
LU13	22	0.21	LU34	0.5	0.11	LU55	0.12	0.146
LU14	7	0.02	LU35	0.09	0.35	LU56	2	0.15
LU15	5	0.02	LU36	0.09	0.35	LU57	25	0.15
LU16	0.5	0.02	LU37	6	0.02	LU58	0.415	0.115
LU17	6	0.15	LU38	1	0.021	LU59	0.155	0.095
LU18	15	0.15	LU39	2	0.02	LU59-1	40	0.125
LU19	15	0.215	LU40	3	0.01	LU60	1	0.095
LU20	30	0.01	LU41	0.85	0.3	LU60-1	40	0.125
LU21	10	0.165	LU42	1	0.15			



شکل ۹. نقشه ضرایب هیدرودینامیکی

ضخامت لایه آبدار

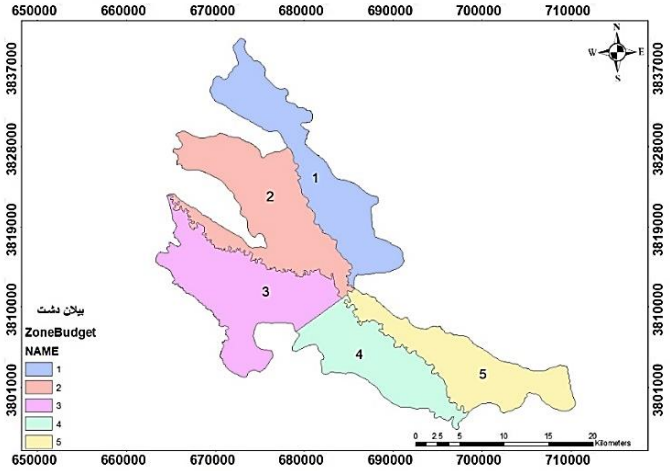
ضخامت لایه آبدار در ماه ماندگار (مهر۱۳۹۵) به‌صورت میانگین در تمام محدوده آبخوان و در شش ناحیه مختلف دشت به مساحت هر ناحیه ۵۰ کیلومترمربع محاسبه گردید. نتایج نشان می‌دهد بر اساس محاسبات میانگین ضخامت لایه آبدار در دشت کرمانشاه ۱۳۳,۹۸ متر بوده که بیشترین ضخامت در ناحیه شمالی دشت به میزان ۱۶۰,۹۶ و کمترین ضخامت مربوط به نواحی جنوب‌غربی و غرب دشت به ترتیب ۱۱۸,۱۴ و ۱۲۰,۶۹ متر است که در شکل ۱۰ نشان داده‌شده است.



شکل ۱۰. ضخامت آبخوان دشت کرمانشاه (برحسب متر) در نواحی مختلف دشت

بیلان دشت

جهت تعیین بیلان دشت از پکیج Zone Budget در محیط نرم‌افزار GMS استفاده گردید. محدوده مطالعاتی مطابق شکل ۱۱ به ۵ ناحیه تقسیم گردید و برای مهرماه ۱۳۹۵ که به‌عنوان ماه ماندگار انتخاب گردیده بود بیلان محاسبه گردید که در جدول ۵ ارائه‌شده است.



شکل۱۱. ناحیه بندی دشت

جدول۵. بیلان دشت در مهرماه سال ۱۳۹۵

		GHB	River	Wells	Recharge	Total	In-Out
Zone_1	In	996743.8	827.2256	0	136193.8	1148506	21.05079
	Out	283414.5	734273.9	50763.05	0	1148485	
Zone_2	In	400797.5	4367.063	0	60930	578802	-14.1929
	Out	175038.3	44060.81	74407.32		578816.2	
Zone_3	In	803190	1291.326	0	12465	1010909	-62.2484
	Out	890847.2	46221.64	41012.72	0	1010971	
Zone_4	In	137338.2	429.7601	0	44050.75	223787.3	-0.57964
	Out	117766.6	11642.66	10258.03	0	223787.9	
Zone_5	In	162374.6	286.7685	0	110141.8	339875.5	11.16792
	Out	186479.1	27271.43	84805.01	0	339864.4	

همان‌گونه که از جدول ۵ پیداست جهت تهیه بیلان آبخوان در ماه ماندگار از مقادیر ورودی و خروجی چهار عامل مؤثر بر بیلان شامل تبادلات مرزی ، تبادلات رودخانه و آبخوان، چاه‌ها و تغذیه استفاده گردید بیشترین مقدار ورودی به آبخوان از طریق سلول‌های مرزی بار عام مربوط به ناحیه ۱ به میزان ۹۹۶۷۴۳,۸ مترمکعب و کمترین مقدار ورودی ۱۳۷۳۳۸,۲مترمکعب در ناحیه ۴ است. اما بیشترین خروجی از طریق سلول‌های GHBدر ناحیه سوم به میزان ۸۹۰۸۴۷,۲ مترمکعب و کمترین خروجی در ناحیه چهارم به مقدار ۱۱۷۷۶۶,۶ مترمکعب محاسبه گردید. در شبیه‌سازی تبادلات رودخانه و آبخوان بیشترین ورودی از رودخانه در ناحیه دوم به مقدار ۴۳۶۷ مترمکعب و کمترین ورودی در ناحیه ۵ به مقدار ۲۸۶,۷ مترمکعب است اما بیشترین خروجی رودخانه در ناحیه ۱ به میزان ۷۳۷۲۷۳,۹ مترمکعب و کمترین خروجی در ناحیه چهارم به مقدار ۱۱۶۴۲,۶۶ مترمکعب محاسبه گردید. بیشترین برداشت از چاه در ناحیه ۵ به مقدار ۸۴۸۰۵ مترمکعب و کمترین برداشت در ناحیه ۴ به میزان ۱۰۲۵۸ مترمکعب است. بیشترین تغذیه مربوط به ناحیه ۱ به میزان ۱۳۶۱۹۳,۸ مترمکعب و کمترین مقدار تغذیه مربوط به ناحیه سوم به مقدار ۱۲۴۶۵ مترمکعب محاسبه گردید.

درنهایت مجموع ورودی و خروجی‌های آبخوان در ناحیه ۱ و ۵ مثبت و در بقیه نواحی منفی است بطوریکه بیلان ناحیه ۱ معادل ۲۱ و بیلان ناحیه ۵ معادل ۱۱ مترمکعب بوده و بیلان نواحی ۲ و ۳ و۴ به ترتیب معادل ۱۴-، ۶۲ - و ۰,۵- مترمکعب است با توجه به اینکه در ماه ماندگار بیلان باید صفر باشد میزان بیلان محاسبه‌شده مقدار ناچیز ۴۴,۸- مترمکعب در ماه محاسبه گردید که این مقدار می‌تواند خطای مدل و قابل صرف‌نظر باشد.

بحث

آب‌های زیرزمینی را می‌توان به‌عنوان منابع استراتژیک قلمداد کرد که در شرایط خشک‌سالی و کمبود آب مورداستفاده قرار می‌گیرند. اما زمان تجدید پذیری آب‌های زیرزمینی نسبت به آب‌های سطحی طولانی‌تر است بنابراین باید رویکرد بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی بسیار مدبرانه، بر اساس نیاز واقعی و آینده‌نگری باشد. آب‌های زیرزمینی مخازن طبیعی می‌باشند که نیازی به سرمایه‌گذاری جهت ایجاد مخزن ندارند، خود پالایش هستند، تبخیر در آن‌ها صورت نمی‌گیرد و یا حداقل ممکن است، آسیب‌پذیری کمی دارند و منابع مطمئن‌تری نسبت به آب‌های سطحی هستند که عموماً باکیفیت بالا و توزیع ذخیره‌سازی گسترده است. هدف این پژوهش بررسی ضرایب هیدرودینامیکی، بیلان دشت و ضخامت آبخوان در محدوده مطالعاتی کرمانشاه از طریق شبیه‌سازی آبخوان با استفاده از مدل MODFLOW است. در این روش ابتدا مدل مفهومی و سپس مدل عددی در دو حالت ماندگار و غیر ماندگار ساخته، سپس واسنجی و صحت سنجی گردید.

نتیجه‌گیری

این تحقیق نشان داد که مدل MODFLOW به‌درستی می‌تواند تراز متوسط و تراز نواحی مختلف آبخوان را به همراه بیلان دشت شامل تبادلات آبخوان با رودخانه، ورودی و خروجی از مرزهای آبخوان، مقادیر برداشت و تغذیه را مدل نموده و ضرایب هیدرودینامیکی را بهینه نماید. در این شبیه‌سازی مقدار انحراف جذر میانگین مربعات (RMSE) در مدل ماندگار ۴۲۸ میلی‌متر و در مدل غیر ماندگار ۵۳۵ میلی‌متر محاسبه گردید. یعنی در کل دشت اختلاف داده‌های مشاهداتی و محاسباتی در پیزومترها کمتر از یک متر به دست آمد. مقادیر بهینه ضریب هدایت هیدرولیکی بین ۰,۰۹ تا ۴۰ متر در روز و ضریب آبدهی ویژه بین ۱ تا ۳۵ درصد متغیر است. همچنین متوسط ضخامت لایه آبدار در دشت کرمانشاه ۱۳۳,۹۸ متر و بیشترین ضخامت در ناحیه شمالی دشت به میزان ۱۶۰,۹۶ متر و کمترین ضخامت مربوط به نواحی جنوب‌غربی و غرب دشت به ترتیب ۱۱۸,۱۴ و ۱۲۰,۶۹ متر است. بر اساس بیلان ماه ماندگار (مهر۱۳۹۵) ورودی آبخوان ۲۸۷۱۴۲۷,۵۴۳ مترمکعب و خروجی آبخوان ۲۸۷۱۴۷۲,۳۴۶ مترمکعب محاسبه گردید. تفاوت ورودی و خروجی (بیلان) آبخوان ۴۴,۸- مترمکعب در ماه به دست آمد. میزان ورودی به آبخوان از طریق مرزها (سلول‌های بار عام) ۲۵۰۰۴۴۴,۱۴ مترمکعب و خروجی ۱۶۵۳۵۴۵,۷۷ مترمکعب در ماه است. میزان ورودی از طریق رودخانه ۷۲۰۲,۱۴ مترمکعب در ماه و خروجی از رودخانه ۸۶۳۴۷۰,۴۵ مترمکعب در ماه محاسبه گردید. میزان برداشت از چاه‌ها ۲۶۱۲۴۶,۱۳ مترمکعب

در ماه و میزان تغذیه ۳۶۳۷۸۱,۲۷ مترمکعب در ماه به دست آمد. بنابراین مدل MODFLOW می‌تواند به‌درستی آبخوان را شبیه‌سازی و از نتایج آن جهت برنامه‌ریزی منابع آبی استفاده نمود

منابع

براتی، خدیجه.، عابدی کوپایی، جهانگیر.، آذری، آرش.، درویشی، االهام.، ویوسفی، علی. (۱۳۹۷). مدل‌سازی آب‌زیرزمینی به منظورتعیین ضرایب هیدرودینامیک درآبخوان آزاد، مطالعه موردی دشت کرمانشاه. تحقیقات آب وخاک ایران، ۵۰(۳)،۷۰۰-۶۸۷ https://doi.org/10.22059/ijswr.2018.258115.667915

پورحقی، امیر.، آخوندعلی، علی محمد.، رادمنش، فریدون.، ومیرزایی، سید یحیی. (۱۳۹۳). مدیریت بهره برداری از منابع آب زیرزمینی در شرایط خشکسالی با مدلMODFLOW ، مطالعه موردی: دشت نورآباد. علوم و مهندسی آبیاری(مجله‌ی علمی کشاورزی)، ۳۷(۲)، ۸۲-۷۱. https://dorl.net/dor/20.1001.1.25885952.1393.37.2.7.7

پورمحمدی، سمانه.، دستورانی، محمدتقی.، جعفری، هـادی.، مساح بوانی، علیرضا.، گودرزی، مسعود.، باقری، فاطمه.، و رحیمیان، محمدحسن. (۱۳۹۶). بررسی اثرات خشک‌سالی هواشناسی و هیدروژئولوژیکی بر بیلان آب زیرزمینی دشت تویسرکان. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۹(۱)، ۵۷-۴۶. https://doi.org/10.22092/ijwmse.2017.108773

صدقی، محمدمهدی.، و چیت سازان، منوچهر. (۱۳۸۳). تعیین شرایط مرزی مناسب برای مدل جریان آب های زیرزمینی دشت ارسنجان. بیست و سومین گردهمایی علوم زمین. https://gsi.ir/fa/articles/1061/

عابدی کوپایی، جهانگیر.، وگلابچیان، مریم. (۱۳۹۴). برآورد ضرایب هیدرودینامیک منابع آب زیرزمینی حوضه آبخیز کوهپایه- سگزی با استفاده از مدل MODFLOW. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۹(۷۲)، ۲۹۲-۲۸۱. http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.19.72.24

نوذرپور، لاله.، چیت سازان، منوچهر.، ندری، آرش.، و فرهادی منش، معصومه. (۱۳۹۴). ارزیابی ارتباط هیدرولیکی آبخوان دشت لور اندیمشک و رودخانه دز با استفاده از مدلMODFLOW. مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، ۱۷، ۳۶-۲۳. https://doi.org/10.22055/aag.2015.11822

قبادیان، رسول.، فتاحی چقابگی، علی.، و زارع، محمد. (۱۳۹۳). تاثیر احداث شبکه آبیاری و زهکشی سد گاوشان بر منابع آب زیرزمینی دشت میان دربند با استفاده از مدلGMS 6.5. نشریه پژوهش آب درکشاورزی، ۲۸(۴)، ۷۷۲-۷۵۹. https://doi.org/10.22092/jwra.2015.100830

References

Abedi Koupai, J., & Golabchian, M. (2015). Estimation of Hydrodynamic Parameters of Groundwater Resources in Kouhpayeh- Segzi Watershed Using MODFLOW. JWSS - Isfahan University of Technology, 19(72), 281-293. http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.19.72.24. [In Persian]

Barati, K., Abedi Koupai, J., Azari, A., Darvishi, E., & ALi, Y. (2019). Ground Water Modeling to Determine Hydrodynamics Coefficients in Unconfined Aquifer (Case Study: Kermanshah Plain). Iranian Journal of Soil and Water Research, 50(3), 687-700. https://doi.org/10.22059/ijswr.2018.258115.667915. [In Persian]

Doell, P., Dobrev, H., Portmann, F., Siebert, S., Eicker, A., Rodell, M., Strassberg, G., & Scanlon. (2012). Impact of water withdrawals from groundwater and surface water on continental water storage variations. J. Geodyn, 59(60), 143–156. http://dx.doi.org/10.1016/j.jog.2011.05.001

Franke, O.L., Reilly, T.E., & Bennett, G.D. (1987). Definition of boundary and initial conditions in the analysis of saturated ground-water flow systems.An introduction: U.S. Geolog-ical Survey Techniques of Water-Resources Investigations, 3-B5, 15. https://doi.org/10.3133/twri03B5

Ghobadian, R., Fatahi Chaghabagi, A., & Zare, M. (2014). Studying the Effects of Gavoshan Dam's Irrigation and Drainage Network on Groundwater of Miandarband Plain Using GMS 6.5 Model. Journal of Water Research in Agriculture, 28(4), 759-772. https://doi.org/10.22092/jwra.2015.100830. [In Persian]

Green, T.R., Taniguchi, M., & Kooi, H. (2007). Potential impacts of climate change and human activity on subsurface water resources. Vadose Zone Journal, 6, 531–532. https://doi.org/10.2136/vzj2007.0098.

Guzman, S. M., Paz, J. O., 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. https://doi.org/10.1007/s10666-018-9639-x.

Irawan, D., Puradimaja, D., & Silaen, H. (2011). Hydrodynamic Relationshipbetween ManMade Lake and Surrounding Aquifer, Cimahi, Banduge,Indonesia. Journal of World Academy of Science, Engineering and Technology,58, 100-103. http://dx.doi.org/10.13140/2.1.1711.3284.

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. http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2018.1554940.

Nozarpour, L., Chitsazan, M., Nadri, A., & Farhadimanesh, M. (2015). Evaluation of the Lour-Andimeshk Aquifer and the Dez-River Interaction: Using Modflow. Advanced Applied Geology, 5(3), 23-36. https://doi.org/10.22055/aag.2015.11822. [In Persian]

Poormohammadi, S., Dastorani, M. T., Jafari, H., Massah Bavani, A., Goodarzi, M., Baqeri, F., & Rahimian, M. H. (2017). Assessing the effects of meteorological and hydrogeological droughts on groundwater balance in Tuyserkan Plain. Watershed Engineering and Management, 9(1), 46-57. https://doi.org/10.22092/ijwmse.2017.108773. [In Persian]

Porhaghi, A., Akhondali, A., Radmanesh, F., & Mirzaee, S. (2014). Manage the Groundwater Sources Exploration of the Nourabad Plain in the Drought Conditions with MODFLOW Modeling. Irrigation Sciences and Engineering, 37(2), 71-82. https://dorl.net/dor/20.1001.1.25885952.1393.37.2.7.7. [In Persian]

Sedghi, M.M., & Chit Sazan, M. (2004). Determining appropriate boundary conditions for Arsanjan Plain groundwater flow model. 23rd Earth Sciences Meeting. https://gsi.ir/fa/articles/1061. [In Persian]

Soltani., K., & Azari, A. (2022). Forecasting groundwater anomaly in the future using satellite information and machine learning. Journal of Hydrology, 612 (2), 128052. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128052.

Todd, W.R., & Kenneth, R.B. (2001). Report: Delineation of capture zones for municipal wells in fractured dolomite. Sturgeon Bay, Wisconsin, USA. Hydrogeology Journal, 9, 432–450. https://doi.org/10.1007/s100400100154.

Yanxun, S., Yuan, F., Hui, Q., & Xuedi, Zh. (2011). Research and Application of Groundwater Numerical Simulation-A Case Study in Balasu Water Source.Procedia Environmental Sciences, 8, 146-152. https://cyberleninka.org/article/n/1231525.

Zampieri, M., Serpetzoglou, E., Anagnostou, E. N., Nikolopoulos. E. I., & Papadopoulos, A. (2012). Improving the representation of river–groundwater interactions in land surface modeling at the regional scale: Observational evidence and parameterization applied in the Community Land Model. Journal of Hydrology, 420(421), 72–86. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.041.

Zeinali, M., Azari, A. & Heidari, M. (2020b). Multiobjective Optimization for Water Resource Management in Low-Flow Areas Based on a Coupled Surface Water–Groundwater Model. Journal of Water Resource Planning and Management (ASCE), 146(5), 04020020. https:// doi.org/10.1061/28(ASCE)9WR.1943-5452.0001189.

Zeinali, M., Azari, A., & Heidari, 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. https://doi.org/10.1007/s11269-019-02458-7.