Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Effect of cropping pattern on changes in groundwater level in a part of Mashhad-Chenaran plain aquifer

Mohammad Rostami Khalaj[1], Hamzeh Noor[1], Hoseyn Rajayi[2], Ali Bagherian Kalat[2]

[1] Assistant Professor, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran

[2] Researcher, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Mashhad, Iran

Extended Abstract

Introduction

Management of groundwater resources in arid and semi-arid regions is particularly importantbecause the drinking water of a large part of the countries that are in arid and semi-arid areas relies on groundwater sources. The ever-increasing need for water due to severe socio-economic changes in the country and successive droughts in recent years has led to the expansion of deep and semi-deep wells and dams. Excessive extraction of groundwater by digging deep wells has caused a drop in the groundwater level. The groundwater level is one of the most important parameters affecting qanat discharge, preventing land subsidence, and ensuring permanent river recharge. Using new methods to know the changes in the groundwater level and simulating the effects of different management methods can be of great help in managing aquifer water resources. Recently, the use of different models and simulations of aquifers has helped researchers achieve better management goals, and groundwater modeling has become an important tool for managing aquifer water resources. Since Khorasan Razavi Province is located in the arid and semi-arid climatic zone, the exploitation of groundwater plays a significant role in providing part of the water needed for agriculture, drinking, and livestock farming. Thus, management of this valuable resource is essential. However, for effective management, a series of tools are required to predict and simulate the effects of various factors. One of these tools is modeling, which can yield acceptable results using some measurable parameters.

Materials and Methods

Mashhad-Chenaran plain falls under the main basin of the Kashfroud River, which has an area of 990,914 ha and is located in northern Khorasan Razavi Province within the Qaraqom watershed. Mashhad-Chenaran plain includes a part of Mashhad City, Targaba-Shandiz, Chenaran, and a section of southern Quchan. The GMS model was used to investigate the effect of implementing the cultivation pattern and its effect on groundwater level changes in the northern part of the Mashhad-Chennaran aquifer. The required layers of the GMS model are: (a) observation well layer, (b) harvesting values layer, (c) aquifer recharge layer, (d) aquifer boundary layer, and (e) bottom rock layer of aquifer. In the simulation of the studied area, the cell size throughout the studied area was set at 300 × 300 m. According to the available data and information for running the model in a steady state, the initial hydraulic load was set to September 2006. Then, the LPF package was used in the MODFLOW model to solve the groundwater flow and level, and the groundwater flow of the studied area was simulated in both stable and unstable states.

Results and Discussion

After preparing the coverage needed for the model, the model was calibrated in a steady-state. After calibrating the model in the steady state by introducing stress periods, the GMS model was calibrated in the unsteady-state. The results showed that the GMS model accurately simulated the water level after calibration. A review of the observed and simulated values chart shows that in some of the piezometers studied, the simulated groundwater level was higher than the observed one, and the model tended to overestimate the levels. To implement the management scenario, water used in all all agricultural wells was reduced by six percent, and the model was re-run. The results showed that the 6% reduction in water consumption in the agricultural sector led to an increase

Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

in the piezometers levels by approximately 5 to 15 cm on average, resulting in a groundwater level rise in the studied areas.

Conclusion

One of the primary sources of water supply for agriculture, animal husbandry, and drinking in the Mashhad-Chenaran Plain region is groundwater. However, in recent years, due to excessive exploitation of groundwater resources and climate changes, t groundwater levels has declined, causing significant socio-economic impacts. Therefore, for better management and sustainable utilization of this groundwater source, it is necessary to monitor groundwater level fluctuations and predict the effects of various factors on these changes. One of the best tools for determining groundwater level fluctuations and assessing the impact of different factors is computer modeling. Groundwater models play crucial roles in managing these resources, and the MODFLOW model used in this research proved effective in simulating groundwater levels in both steady and unsteady conditions. Analysis of the observed and simulated balance using the GMS model demonstrated that a six percent reduction in agricultural water withdrawal could raise groundwater levels. However, this increase does not fully compensate for the damage caused by excessive withdrawal and only mitigates its effects.

Keywords: GMS model, Groundwater level, Mashhad-Chenaran aquifer, Piezometer.

Article Type: Research Article

Acknowledgement

We would like to express our sincere gratitude to the Khorasan Regional Water Company for the financial and logistical support that significantly contributed to this research project.

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data availability statement:

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Authors' contribution

Mohammad Rostami Khalaj: Modeling, performing software analysis, writing the initial version of the article; **Hamze Noor:** Performing software analysis, controlling the results; **Hoseyn Rajayi:** Cooperation in the preparation and preparation of data and information and field visits; **Ali Bagherian Kalat:** Cooperation in the preparation of aquifer feeding and discharge information and related information analysis.

*Corresponding Author, E-mail: m.rostamikhalaj@areeo.ac.ir

Citation: Rostami Khalaj, M., Noor, H., Rajayi, H., & Bagherian Kalat, A. (2025). Effect of cropping pattern on changes in groundwater level in a part of Mashhad-Chenaran plain aquifer. *Water and Soil Management and Modelling*, *4*(4), 45-56. DOI: 10.22098/mmws.2024.14408.1406

Received: 08 January 2024, Received in revised form: 03 February 2024, Accepted: 21 February 2024, Published online: 21 March 2025
Water and Soil Management and Modeling, Year 2025, Vol. 5, No. 1, pp. 45-56

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili © Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۵۴۶-۲۷۸۳

تأثیر الگوی کشت بر تغییرات تراز آب زیرزمینی در بخشی از آبخوان دشت مشهد-چناران

محمد رستمی خلج[۱]، حمزه نور[۱]، حسین رجایی[۲]، علی باقریان کلات[۲]

[۱] استادیار، گروه تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

[۲] محقق، گروه تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

چکیده

بخش اعظم منابع آب زیرزمینی برای تولیدات کشاورزی استفاده می‌شود. یکی از برنامه‌هایی که می‌تواند در کاهش برداشت آب زیرزمینی برای کشاورزی کمک کند برنامهٔ الگوی کشت ابلاغی است. در این برنامه علاوه بر تامین امنیت غذایی به بهره‌وری آب و کاهش مصرف آن توجه شده است. همچنین، تراز آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر آب‌دهی قنوات، جلوگیری از فرونشست زمین و تغذیهٔ رودخانه‌های دائمی است. لذا هدف از این پژوهش بررسی تأثیر اجرای الگوی کشت روی تغییرات تراز آب زیرزمینی با استفاده از مدل GMS در بخشی از آبخوان دشت مشهد-چناران است. برای این منظور از مدل MODFLOW در بستهٔ نرم‌افزاری GMS استفاده شد و لایهٔ چاه‌های مشاهده‌ای، لایهٔ مقادیر برداشت، لایهٔ تغذیهٔ آبخوان، لایه مرز آبخوان، لایهٔ سنگ کف آبخوان برای مدل تهیه و به‌عنوان پوشش به مدل معرفی شد. سپس مدل واسنجی و ارزیابی شد و مقادیر تراز آب زیرزمینی شبیه‌سازی شد. پس از شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی سناریوی مدیریتی کاهش شش درصد آب مصرفی که در برنامهٔ الگوی کشت به آن اشاره شده است به مدل GMS وارد شد و میزان تأثیر آن روی تراز آب زیرزمینی برآورد شد. نتایج نشان داد مدل GMS توانایی خوبی برای شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی در محدوده‌های مورد مطالعه دارد و مقدار MAE و RMSE به‌ترتیب ۰/۷۵ و ۰/۸۸ برای حالت پایدار و در حالت ناپایدار به‌ترتیب ۱/۴۰ و ۲/۲۰ به‌دست آمد. همچنین، نتایج نشان داد کاهش شش درصدی آب مصرفی در بخش کشاورزی روی تراز پیزومترها به‌طور متوسط حدود پنج تا ۱۵ سانتی‌متر بوده است و باعث بالا آمدن تراز آب زیرزمینی در محدوده‌های مورد مطالعه شده است. نتایج حاصل از مدل‌سازی اعمال سناریوهای مدیریتی روی منابع آب زیرزمینی می‌تواند ابزاری مناسب برای مدیران در برنامه‌ریزی دقیق و بهره‌برداری بهینه و منطبق بر پایداری آبخوان باشد.

واژه‌های کلیدی: آبخوان مشهد-چناران، پیزومتر، مدل MODFLOW، مدل GMS

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.rostamikhalaj@areeo.ac.ir

استناد: رستمی خلج، محمد، نور، حمزه، رجایی، حسین، و باقریان کلات، علی (۱۴۰۴). تأثیر الگوی کشت بر تغییرات تراز آب زیرزمینی در بخشی از آبخوان دشت مشهد-چناران. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۵(۱)، ۴۵-۵۶.
doi: 10.22098/mmws.2024.14408.1406

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۸، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۱۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۲، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۱/۰۱

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۴، دوره ۵، شماره ۱، صفحه ۴۵ تا ۵۶

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

۱- مقدمه

مدیریت منابع آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک از اهمیت خاصی برخوردار است. آب شرب بخش عظیمی از کشورهایی که در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارند متکی به منابع آب زیرزمینی است. بروز خشک‌سالی و بهره‌برداری بی‌رویه از آب زیرزمینی در هر منطقه می‌تواند بر منابع آب و کشاورزی آن منطقه اثرگذار باشد. به‌دلیل وابستگی شدید انسان به منابع آب زیرزمینی، شناسایی، مدیریت و مطالعهٔ آن اهمیت زیادی دارد (Wang et al., 2023؛ Mahdavi and Hoseyni, 2019; Moslemi, 2019). مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی به‌طور فزاینده‌ای به‌عنوان ابزار کمی قدرتمند برای ارزیابی سامانه‌های آب زیرزمینی در دسترس هیدروژئولوژیست‌ها قرار گرفته است (Condon et al., 2021؛ Pathak et al., 2018). مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی برای دست‌یابی به اهداف زیر انجام می‌شود: (۱) وسیله‌ای برای تفسیر و بررسی پویایی سامانه‌های آب زیرزمینی و آگاهی از الگوهای جریان آب زیرزمینی، (۲) بررسی سامانه‌های آب زیرزمینی در شرایطی که آبخوان در تنش‌های مختلف قرار دارد، (۳) به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی تغذیه، تخلیه و وضعیت مخزن آبخوان و بهره‌برداری پایدار از آبخوان، (۴) پیش‌بینی شرایط آینده و یا تأثیر فعالیت‌های انسانی روی آبخوان، (۵) ابزار پشتیبانی برای برنامه‌ریزی، جمع‌آوری داده‌ها و طراحی راه‌حل‌های عملی، (۶) ابزاری برای ارزیابی سناریوهای توسعه آب‌های زیرزمینی، (۷) ابزار مدیریتی برای ارزیابی سیاست‌های جایگزین، (۸) یک ابزار مصور برای انتقال پیام‌های کلیدی آبخوان برای عموم مردم و تصمیم‌گیران (Pathak et al., 2018).

برداشت‌های غیرمجاز و غیراصولی و خشک‌سالی‌های ممتد در کوتاه‌مدت باعث کاهش رطوبت خاک و در درازمدت باعث اُفت سطح آب زیرزمینی در آبخوان رزن همدان شده است (Fallahi et al., 2022). یکی از عوامل مؤثر در تغییرات آب‌دهی قنات (Velayati et al., 2009)، جریان رودخانه‌ها (Saeedpanah and Mohammadzade Roofchaee, 2019)، پوشش‌گیاهی (Song et al., 2021) و فرونشست زمین (Edalat et al., 2021; Khanlari et al., 2012) تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان است. برای مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی نیاز به بررسی روند و تغییرات تراز آب زیرزمینی است (Sheikha BagemGhaleh et al. 2023). البته باید توجه داشت تغییرات تراز آب زیرزمینی نیز تحت تأثیر عوامل مختلفی است که می‌تواند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم روی پدیده‌های ذکر شده تأثیرگذار باشد. لذا، با شبیه‌سازی و مدل‌سازی تغییرات تراز آب زیرزمینی می‌توان به نتایج قابل‌قبولی دست یافت که این نتایج در مدیریت و بهره‌برداری بهینه از منابع آبی استفاده‌های فراوانی خواهد داشت (Singh, 2014). یکی از پرکاربردترین مدل‌ها در شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی مدل MODFLOW است (Bayat et al., 2020; Bohidar and Ahmad, 2021). در این راستا، Karimi et al. (2019) برای بررسی تغییرات سطح آبخوان دشت تهران از مدل MODFLOW در GMS[1] استفاده کردند. سپس برای ارزیابی کارایی مدل داده‌های مشاهده‌ای پیزومترها را از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ با داده‌های شبیه‌سازی‌شده مقایسه کردند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد انطباق خوبی بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده وجود دارد. هم‌چنین هدایت هیدرولیکی در قسمت‌های شمالی و مرکزی دشت تهران که از رسوبات رودخانه‌ای تشکیل شده‌اند بالا است. در ادامه، Bayat et al. (2020) آبخوان کاروان (بخشی از حوضهٔ گاوخونی اصفهان) را با استفاده از مدل GMS در شرایط پایدار و ناپایدار به مدت ۸۶ ماه واسنجی و اعتبارسنجی کردند. در این مطالعه، سناریوهای افزایش و کاهش ۳۰ درصدی بارندگی، افزایش و کاهش ۳۰ درصدی در تغذیهٔ سطحی، افزایش ۱۰ درصدی در برداشت آب چاه و کاهش ۳۰ درصدی در تعداد چاه‌های برداشت را بررسی کردند. نتایج نشان داد سطح آبخوان در آبخوان کاروان به‌شدت کاهش پیدا کرده است و اگر برداشت آب از چاه‌ها ۳۰ درصد کاهش یابد سطح آبخوان حدود ۳۷ سانتی‌متر بالاتر می‌آید ولی اگر برداشت آب در شرایط کنونی ۱۰ درصد اضافه شود سطح آبخوان حدود ۱۲ سانتی‌متر کاهش پیدا می‌کند. هم‌چنین، Bohidar & Ahmad (2021) از مدل MODFLOW برای شبیه‌سازی سطح آب زیرزمینی در دهارسیوای هند استفاده کردند. برای ورودی مدل از مقادیر هدایت هیدرولیکی، مقادیر تغذیه، تخلخل و ارتفاع نقاط مربوط به موقعیت چاه‌ها استفاده کردند. نتایج نشان داد میزان خطای بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده کم‌تر از پنج درصد است. علاوه‌براین اگر این مدل مفهومی با داده‌های جدید به‌روز شود، می‌تواند نتایج دقیق‌تری را نشان دهد و مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی به تعیین رفتار و واکنش جریان آب زیرزمینی در صورت اختلاط آلودگی کمک می‌کند.

به‌عبارت بهتر مدل مفهومی زیربنا و طرح اولیهٔ مدل با استفاده از داده‌های موجود است. هدف نهایی از تهیهٔ مدل مفهومی ساده کردن شرایط موجود در منطقه و سازمان‌دهی داده‌های صحرایی برای راحت‌تر کردن تحلیل سامانه است (Ghobadian et al. 2014). در پژوهشی، Zhao et al. (2021) برای بررسی شرایط موجود آب‌های زیرزمینی در منطقه نیروگاه کانگ پینگ، از مدل GMS برای ساختن مدل سه‌بعدی ساختار آبخوان و مدل شبیه‌سازی عددی سامانهٔ جریان آب زیرزمینی استفاده کردند. نتایج

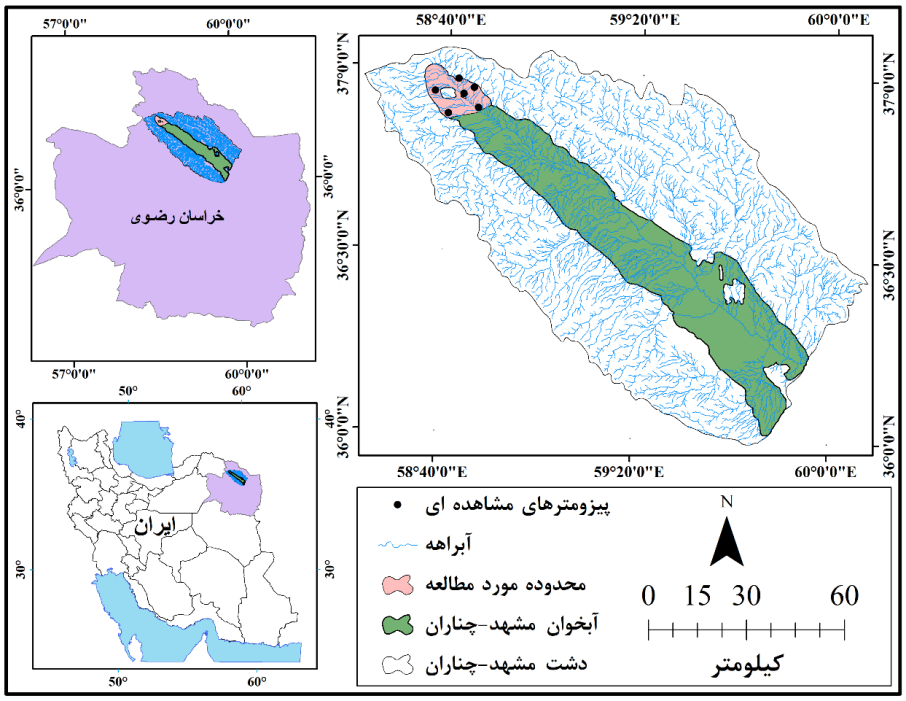
[1] Groundwater Modeling System

نشان داد که سطح کلی آب‌های زیرزمینی در منطقهٔ مورد مطالعه زمانی شرایط پایداری دارد که میزان برداشت ۹۶۰۰ مترمکعب در روز باشد و پیشنهاد می‌کند میزان برداشت نباید از ۱۲۰۰۰ مترمکعب در روز تجاوز کند. در پژوهش دیگری، Dastvareh et al. (2020) برای شبیه‌سازی و تخمین نوسانات سطح آب زیرزمینی از مدل GMS در دشت میناب استفاده کرد. پس از تهیهٔ مدل مفهومی و تعیین شرایط مرزی و اولیه، شبیه‌سازی را در حالت پایدار انجام دادند. نتایج نشان داد بر اساس بیلان محاسبه شدهٔ آبخوان، مجموع تغذیهٔ آبخوان ۱۴۰۹/۴۳ میلیون مترمکعب، و مجموع تخلیه از آبخوان ۱۶۴۰/۱۰ میلیون مترمکعب است که به‌دلیل بیش‌تر بودن میزان خروجی از آبخوان نسبت به ورودی، بیلان دشت منفی است و موجب اُفت شدید تراز آب زیرزمینی در سال‌های آینده خواهد شد. از آن‌جایی‌که استان خراسان رضوی در منطقهٔ آب و هوای خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی تأثیر زیادی در تأمین بخشی از آب مورد نیاز جهت کشاورزی و شرب را دارد مدیریت این منبع با ارزش از ضروریات است اما برای مدیریت یکسری ابزار نیاز است تا با استفاده از آن بتوان اثرات ناشی از عوامل مختلف را پیش‌بینی و شبیه‌سازی کرد. یکی از این ابزارها مدل و مدل‌سازی است که با استفاده از برخی پارامترهای قابل‌اندازه‌گیری می‌توان به نتایج قابل‌قبولی دست یافت. پژوهش‌های بررسی شده نشان می‌دهد نرم‌افزار MODFLOW توانایی بالایی برای شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی دارد. علاوه‌براین تلفیق این نرم‌افزار باقابلیت‌های GIS موجب ارائهٔ بستهٔ نرم‌افزاری GMS شده که در مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی و آبخوان به‌کار گرفته می‌شود (Ghobadian et al., 2014). الگوی کشت از سناریوهای مدیریتی است که بررسی تأثیر پیامدهای آن روی منابع آب زیرزمینی از ضروریات است (Khazaei et al. 2023). برای تدوین الگوی کشت بهینه از مدل GMS در آبخوان دشت شهریار توسط Salehi Shafa et al. (2022) استفاده شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین پارامتر نسبت درآمد به هزینه حاصل شده، مربوط به ناحیه شهریار سپس ناحیه رباط کریم و در آخر ناحیه اسلامشهر بوده و الگوی کشت و حجم نیاز آبی بهینهٔ کل محدوده مطالعاتی نسبت به شرایط فعلی به میزان ۳۶ درصد و حجم مصرف آب کشاورزی ۴۴ درصد کاهش یافته است. تغییرات تراز و بیلان بهینهٔ آب زیرزمینی همزمان با کاهش مصارف آب زیرزمینی در بخش کشاورزی افزایش قابل ملاحظه‌ای به اندازهٔ ۱۷ متر و ۳۹۴ میلیون مترمکعب داشته‌اند. لذا هدف این پژوهش بررسی تأثیر اجرای الگوی کشت و تأثیر آن روی تغییرات تراز آب زیرزمینی در بخش شمالی آبخوان دشت مشهد–چناران با استفاده از مدل GMS است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

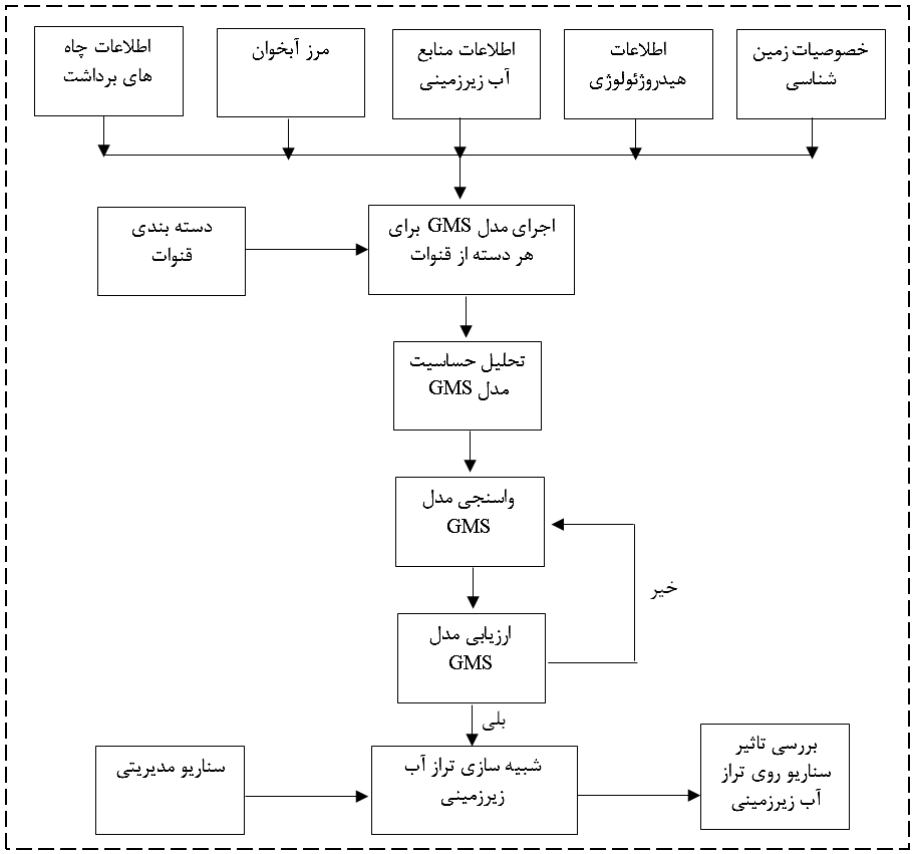
دشت مشهد–چناران در شمال استان خراسان رضوی قرار دارد و از زیرحوضهٔ اصلی رودخانهٔ کشف‌رود و بخشی از حوضهٔ آبخیز قره‌قوم است که دارای وسعت ۹۹۰۹۱۴ هکتار است. این دشت، بخشی از شهرستان مشهد، طرقبه–شاندیز، چناران و بخشی از جنوب قوچان را شامل می‌شود. دشت مشهد از نظر مختصات جغرافیایی در محدودهٔ طول‌های "۲۳ ′۲۲ °۵۸ الی "۵۸ ′۶ °۶۰ شرقی و عرض‌های "۰ ′۵۸ °۳۵ الی "۲۷ ′۳ °۳۷ شمالی واقع شده است. حدود ۶۵ درصد از دشت مشهد چناران را مناطق کوهستانی و ۳۵ درصد آن در مناطق دشتی قرار گرفته است. طول کشیدگی این محدوده حدود ۱۵ کیلومتر است و کم‌ترین ارتفاع ۸۹۰ متر و بیش‌ترین ارتفاع دشت مشهد ۱۸۰۰ متر از سطح دریا است. رودخانهٔ اصلی این دشت، کشف‌رود است که از شمال شهر مشهد عبور می‌کند (شکل ۱). محدودهٔ مورد مطالعه با مساحت ۱۸۴ کیلومترمربع در قسمت شمالی آبخوان دشت مشهد قرار دارد. شش پیزومتر در محدودهٔ مورد مطالعه قرار دارد که برای انجام مدل‌سازی از آن‌ها استفاده شد.



شکل ۱- موقعیت آبخوان مشهد چناران و محدوده مورد مطالعه در استان و ایران

Figure 1- Location of Mashhad–Chenaran plain and the study area in Khorasan Razavi Province, Iran

لایه‌های مورد نیاز مدل MODFLOW عبارت‌اند از: لایهٔ چاه‌های مشاهده‌ای که این لایه شامل تعداد چاه‌های آماربرداری شده است (برای مهر ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۱). لایهٔ مقادیر برداشت که این لایه نشان‌دهندهٔ مقادیر برداشت از آبخوان است که شامل برداشت از چاه‌ها، قنوات و چشمه‌ها برای مهر ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۱ است. لایهٔ تغذیهٔ آبخوان که این لایه مناطقی که آبخوان را تغذیه می‌کنند را نشان می‌دهند. این لایه با استفاده از نقشهٔ کاربری اراضی محدودهٔ آبخوان و اطلاعات بارندگی منطقه تهیه شد. لایهٔ مرز آبخوان که از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی تهیه و به مدل معرفی شد. لایهٔ سنگ کف آبخوان که نشان‌دهندهٔ تراز کف آبخوان است. این لایه از سه نقشه تهیه شد. نقشهٔ اول مربوط به اطلاعات ژئوالکتریک مربوط به سال ۱۳۴۹ شرکت ست کوپ است، نقشهٔ دوم مربوط به منحنی‌های هم ضخامت آبرفت دشت مشهد چناران مربوط به سال ۱۳۶۶ است و نقشهٔ سوم نقشهٔ ضخامت آبرفت شمال آبخوان تهیه شده در سال ۱۳۸۷ است. لایهٔ تراز سنگ کف به‌دست آمده با استفاده از اطلاعات عمق چاه‌ها اصلاح شد و لایهٔ آن تهیه شد. به‌طورکلی مراحل انجام مدل‌سازی در بستهٔ نرم‌افزاری GMS به‌صورت شکل ۲ است.



شکل ۲- روندنمای اجرای مدل GMS برای شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی در آبخوان مشهد – چناران

Figure 2- Flowchart of GMS model implementation for simulating the groundwater level in Mashhad-Chenaran aquifer

۲-۲- اجرای مدل GMS در حالت پایدار

شبکه‌بندی منطقهٔ مدل، اولین گام در طراحی واقعی مدل کامپیوتری است. در شبیه‌سازی محدودهٔ مورد مطالعه اندازهٔ سلول‌ها در کل محدودهٔ مورد مطالعه با توجه به مقیاس و دقت لایه‌های استفاده شده به‌عنوان ورودی به مدل ۳۰۰ ×۳۰۰ متر در نظر گرفته شد. برای حل روابط دیفرانسیل جزئی در آب زیرزمینی، ایجاد شرایط اولیه لازم است تا مدل بتواند به‌وسیلهٔ اعداد و ارقام آن از یک نقطه محاسبات را شروع کرده و ادامه دهد. شرایط مرزی نشان‌دهندهٔ خصوصیات هیدرولوژیکی مجاور و درون محدودهٔ مدل است. تراز اولیهٔ آب‌های زیرزمینی برای تعیین شرایط مرزی استفاده شد. از آن‌جایی‌که محدودهٔ مورد مطالعه بخشی از آبخوان مشهد–چناران است در قسمت جنوبی منطقه مرز تراوا در نظر گرفته شد. با توجه به داده‌ها و اطلاعات موجود برای اجرای مدل در حالت پایدار مهر ۱۳۸۵ به‌عنوان بار هیدرولیکی اولیه به مدل وارد شد. سپس از بستهٔ LPF[1] در مدل MODFLOW برای حل جریان و تراز آب زیرزمینی استفاده شد و جریان آب‌های زیرزمینی محدودهٔ مورد مطالعه در دو حالت پایدار و ناپایدار شبیه‌سازی شد.

۲-۳- سناریو مدیریتی

یکی از دلایل مدل‌سازی در زمینه‌های مختلف بررسی و اعمال سناریوهای مدیریتی است که با استفاده از مدل‌سازی تأثیر اعمال سناریوهای اجرایی روی خروجی‌های سامانه ارزیابی می‌شود. یکی از سناریوهایی که اخیراً در استان خراسان رضوی در مراحل اولیهٔ اجرا است بحث الگوی کشت است. الگوی کشت به‌معنای تعیین یک نظام کشاورزی با مزیت اقتصادی پایدار مبتنی بر سیاست‌های کلان کشور، دانش بومی کشاورزان، بهره‌گیری بهینه از ظرفیت‌های منطقه‌ای و حفظ محیط زیست تعریف شده و یکی از موارد مورد توجه برای حفظ محیط زیست در این خصوص استفادهٔ درست از منابع آبی است به‌طوری‌که با استفاده از ابزار و روش‌های نوین بتوان، آب کم‌تری مصرف کرد و بازدهی بیش‌تری از زمین داشت. بنا بر هدف وزارت جهاد کشاورزی در سند الگوی کشت کاهش شش درصدی مصرف آب معادل سه میلیارد مترمکعب، افزایش ۱۸ درصدی بهره‌وری آب، افزایش ۱۱ درصدی تولید، صرفه‌جویی ۲/۲ میلیارد دلاری ارزی، افزایش ۴/۵ میلیون تنی تولیدات دیم‌زارها و افزایش ۱۵۸ درصدی تولید دانه‌های روغنی هدف‌گذاری شده است. همان‌طور که ذکر شد یکی از مقاصد و نتایج مورد انتظار بر اساس الگوی کشت پیشنهادی کاهش شش درصدی مصرف آب در بخش کشاورزی

[1] Layer Property Flow Package

استان است. بررسی این‌که آیا کاهش شش درصدی مصرف آب در بخش کشاورزی می‌تواند روی تراز آب زیرزمینی تأثیرگذار باشد و مدیران بتوانند در این زمینه برنامه‌ریزی کنند از ضروریات است. تراز آب زیرزمینی یکی از عوامل مؤثر در آب‌دهی قنوات، فرونشست زمین، پوشش‌گیاهی و آب‌دهی رودخانه‌ها است. لذا این سناریو در نظر گرفته شد تا مشخص شود کاهش شش درصدی آب در بخش کشاورزی چه تأثیری روی تراز آب زیرزمینی دارد. از آن‌جایی‌که بیش‌تر آب کشاورزی در محدوده‌های مورد مطالعه از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود برای اجرای این سناریو پس از واسنجی و ارزیابی مدل تراز آب زیرزمینی شبیه‌سازی شد و سپس برای اعمال سناریوی مدیریتی، مقدار برداشت از چاه‌های کشاورزی در لایه (پوشش) تخلیه از آبخوان برای سال ۱۳۹۰ شش درصد کاهش یافت و مجدداً تراز آب زیرزمینی شبیه‌سازی شد. اختلاف بین تراز شبیه‌سازی شدهٔ بدون اعمال سناریو و تراز شبیه‌سازی شده با اعمال سناریوی تغییرات تراز آب زیرزمینی و تأثیر کاهش شش درصدی را نشان می‌دهد.

۳- نتایج و بحث

مدل GMS یکی از مدل‌های مناسب برای شبیه‌سازی آب زیرزمینی است که در این مطالعه برای شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی از آن استفاده شد. بعد از تهیهٔ لایه‌ها و اطلاعات مورد نیاز مدل و ارزیابی و تدقیق آن‌ها مدل مفهومی محدودهٔ مورد مطالعه تهیه شد. برای استفاده از این مدل در این مطالعه ابتدا مدل در حالت پایدار برای مهرماه سال ۱۳۸۵ شبیه‌سازی و واسنجی شد. پس از تهیهٔ پوشش‌های مورد نیاز به مدل اقدام به واسنجی مدل در حالت پایدار شد. در این مطالعه از روش سعی و خطا برای واسنجی مدل استفاده شد. نتایج ارزیابی صحت واسنجی مدل در حالت ناپایدار در محدوده‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- نتایج واسنجی مدل در حالت پایدار و ناپایدار در محدوده‌های مورد مطالعه

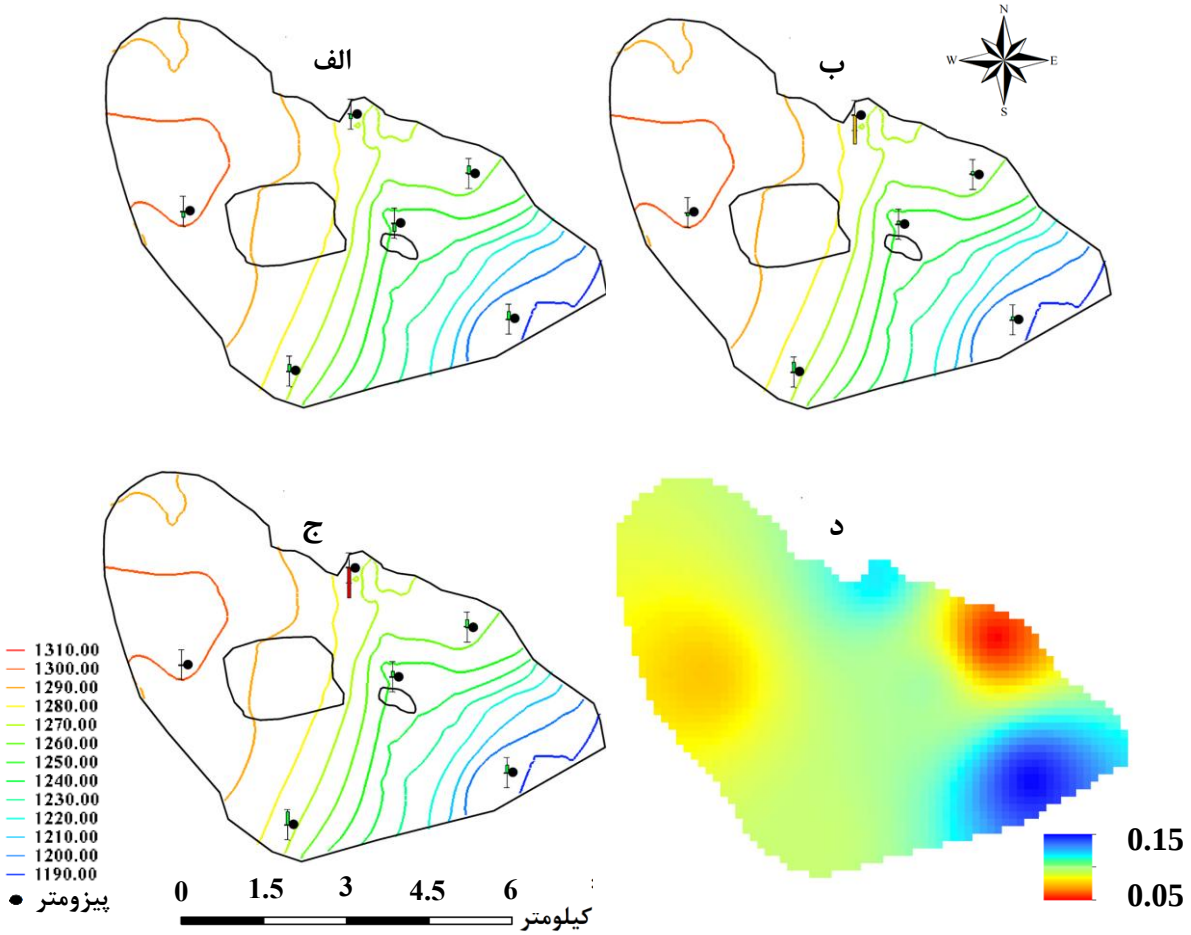
Table 1- Model calibration results in steady and unsteady states in the study area

ردیف	معیار ارزیابی	در حالت پایدار	در حالت ناپایدار
1	ME	-0.21	0.81
2	MAE	0.74	1.40
3	RMSE	0.88	2.20

همان‌طور که از نتایج جدول زیر مشخص است واسنجی به‌خوبی انجام شده است و آماره‌های واسنجی مدل این موضوع را تأیید می‌کند. پس از واسنجی مدل در حالت پایدار با واردکردن دوره‌های تنش، مدل GMS در حالت ناپایدار اجرا و واسنجی شد. نتایج واسنجی مدل در حالت ناپایدار در اوایل، اواسط و انتهای دورهٔ تنش برای محدوده‌های مورد مطالعه در شکل ۳ ارائه شده است. این نقشه‌ها نشان می‌دهند مدل GMS پس از واسنجی با صحت مناسبی سطح آب را شبیه‌سازی کرده است.

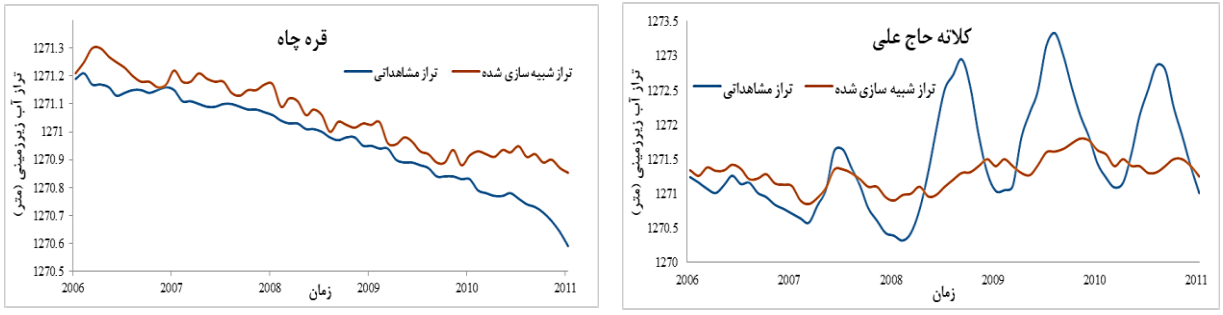
مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی تراز آب زیرزمینی در پیزومترهای استفاده شده در مدل‌سازی در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴ مدل توانسته است روند تغییرات تراز آب زیرزمینی را به خوبی شبیه‌سازی کند که با نتایج Dousti Rezaie et al. (2022) مطابقت دارد. بررسی نمودارها نشان می‌دهد در برخی از پیزومترهای مورد بررسی سطح آب زیرزمینی شبیه‌سازی‌شده نسبت به مشاهداتی بیش‌تر است و مدل تمایل به بیش برآوردی دارد که این نتایج با نتایج مطالعات Banejad et al. (2013) و Bayatvarkeshi and Fasihi (2018) مطابقت دارد. هدف از صحت‌سنجی مدل حصول اطمینان بیش‌تر از مدل، توسط نشان دادن صحت و قابلیت پیش‌بینی مدل با استفاده از داده‌هایی غیر از داده‌های دورهٔ واسنجی مدل است. مدل GMS در محدوده‌های مورد مطالعه در یک دورهٔ تنش ۱۲ ماهه از مهرماه ۱۳۹۰ تا مهرماه ۱۳۹۱ ارزیابی شد. نتایج نشان داد مقادیر شبیه‌سازی شده در محدوده قابل‌قبول است.

برای اجرای سناریو مدیریتی، مقدار شش درصد از آب مصرفی در تمامی چاه‌های استفاده شده در بخش کشاورزی کاهش یافت و مدل مجدداً اجرا شد. نتایج نشان داد کاهش شش‌درصدی آب مصرفی در بخش کشاورزی روی تراز پیزومترها به‌طور متوسط حدود پنج تا ۱۵ سانتی‌متر بوده است و باعث بالا آمدن تراز آب زیرزمینی در محدوده‌های مورد مطالعه شده است. در شکل ۳ مقادیر تغییرات تراز آب زیرزمینی در محدوده‌های مورد مطالعه برای سال ۱۳۹۰ ارائه شده است.



شکل ۳- نتایج واسنجی مدل در محدودهٔ مورد مطالعه در حالت ناپایدار A= در اوایل دورهٔ تنش، B= در اواسط دورهٔ تنش، C= در اواخر دوره تنش، D= تغییرات تراز آب زیرزمینی (متر در سال) در سال ۱۳۹۰

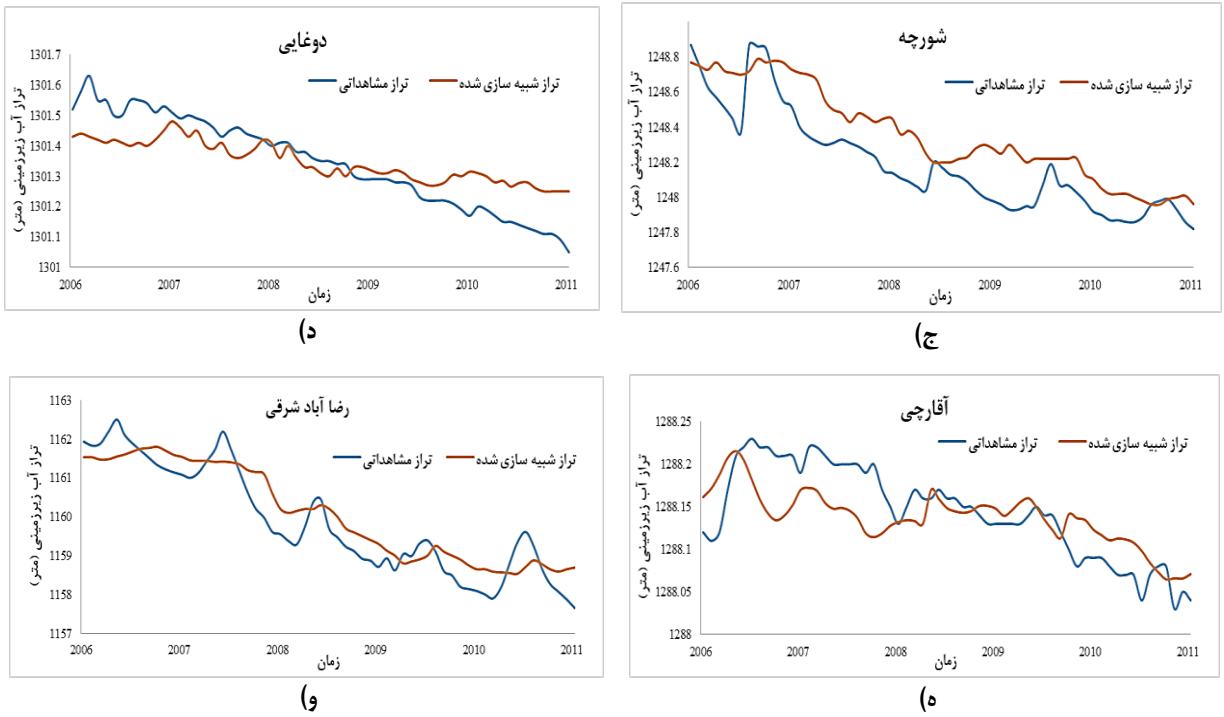
Figure 3- Model calibration results in the study area in an unsteady state: A= at the beginning of the stress period, B= at the middle of the stress period, C= at the end of the stress period, and D= Groundwater level changes (m y^{-1}) in 2011



ب) الف)

شکل ٤- مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در پیزومترهای محدودهٔ مورد مطالعه کلاته حاج علی (الف ، قره چاه (ب)، شورچه (ج) و دوغایی (د)

Figure 4- Observed and simulated values in piezometers of the study area: Kalateh Haj Ali (a), Ghareh Chah (b), Shorcheh (c), and Doghayi (d)



ادامهٔ شکل ٤- مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در پیزومترهای محدودهٔ مورد مطالعه آقارچی (ه) و رضا آباد شرقی (و)

Continued Figure 4- Observed and simulated values in piezometers of the study area: Agharchi (e), and Reza Abad Sharghi (f)

٤- نتیجه‌گیری

یکی از اصلی‌ترین منابع تأمین آب کشاورزی، پرورش دام و شرب در منطقه دشت مشهد–چناران منابع آب زیرزمینی بوده است. اما در سال‌های اخیر به‌دلیل بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و تغییرات آب و هوایی، سطح آب زیرزمینی کاهش یافته و تبعات اقتصادی–اجتماعی فراوانی داشته است. ازاین‌رو، برای مدیریت و بهره‌برداری بهینه از این منبع آب زیرزمینی آگاهی از تغییرات سطح آب زیرزمینی و پیش‌بینی اثرات عوامل مختلف روی آن ضروری است. از ابزارهایی که با استفاده از آن می‌توان تغییرات تراز آب زیرزمینی و تأثیر عوامل مختلف روی آن را مشخص نمود مدل‌های رایانه‌ای می‌باشند. ازاین‌رو، این پژوهش با هدف تعیین تأثیر اجرای الگوی کشت روی تراز آب زیرزمینی بخش شمالی آبخوان مشهد-چناران انجام شد. لذا، از مدل MODFLOW در بستهٔ نرم‌افزاری GMS برای شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی استفاده شد. سپس سناریوی کاهش شش درصد مصرف آب در بخش کشاورزی که در برنامهٔ الگوی کشت به آن توجه شده است وارد مدل MODFLOW شد و تراز آب زیرزمینی شبیه‌سازی شد. یکی از ابزارهای مهم مدیریت منابع آب زیرزمینی مدل‌هایی هستند که برای این موضوع طراحی شده‌اند. لذا مدل MODFLOW که در این پژوهش استفاده شده است توانایی خوبی برای شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی در محدوده‌های مورد مطالعه در شرایط پایدار و ناپایدار را دارد. بررسی نمودارهای تراز مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توسط مدل MODFLOW نشان داد انطباق خوبی بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌ای وجود دارد و می‌توان از مدل برای بررسی تأثیر اقدامات مدیریتی در محدودهٔ مورد مطالعه استفاده کرد. بررسی‌های انجام شده در زمینهٔ اعمال سناریوی مدیریتی نشان داد کاهش شش درصد برداشت آب در بخش کشاورزی باعث افزایش تراز آب زیرزمینی می‌شود، ولی باید توجه داشت میزان خسارت وارد شده به آبخوان در اثر برداشت بی‌رویه را جبران نمی‌کند و فقط روند تأثیر آن را کاهش می‌دهد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی است که با حمایت مالی شرکت محترم آب منطقه‌ای خراسان رضوی انجام شده است. لذا نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از همکاری‌های این شرکت در تأمین اطلاعات و حمایت مالی تشکر کنند.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش وجود ندارند.

دسترسی به داده‌ها

همهٔ اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

محمد رستمی خلج: مدل‌سازی، تحلیل‌های نرم‌افزاری، نگارش نسخهٔ اولیهٔ مقاله؛ **حمزه نور:** انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری، کنترل نتایج؛ **حسین رجایی:** همکاری در تهیه و آماده‌سازی داده‌ها و اطلاعات و بازدیدهای صحرایی؛ **علی باقریان کلات:** همکاری در تهیهٔ اطلاعات تغذیه و تخلیهٔ آبخوان و تحلیل اطلاعات.

منابع

بانژاد، حسین، محب‌زاده، حمید، قبادی، محمدحسین، و حیدری، مجید (۱۳۹۲). شبیه‌سازی عددی جریان و انتقال آلودگی در آب‌های زیرزمینی مطالعه موردی: آبخوان دشت نهاوند. *دانش آب و خاک*، ۲۳(۲)، ۴۳-۵۷.

بیات ورکشی، مریم، و فصیحی، روژین (۱۳۹۷). مقایسه مدل عددی، روش‌های هوشمند عصبی و زمین آمار در تخمین سطح آب زیرزمینی. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. ۱۸ (۴۸)، ۱۶۵-۱۸۲ doi:10.29252/jgs.18.48.165

خزایی، مجید، صالح، ایمان، چاکرالحسینی، محمدرضا، فرزین، محسن (۱۴۰۲). تأثیر قیمت آب تحت سناریوهای مختلف تخصیص بر بهره‌وری اقتصادی الگوی کشت. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۳)، ۱۹۶-۲۱۱. doi:10.22098/mmws.2022.11764.1166

دستواره، جلیل، ناصریان اصل، زهرا، حسنوند، هانیه، و امیری دوماری، سحر (۱۳۹۹). مدل‌سازی تراز آب زیرزمینی و بررسی وضعیت آبخوان دشت میناب. *جغرافیا و روابط انسانی*، ۳(۲)، ۵۹-۵۰. doi:10.22034/gahr.2020.247817.1442

دوستی رضایی، مهرنگ، زینال‌زاده، کامران، بشارت، سینا، و امیرعطایی، بابک (۱۴۰۱). تأثیر سناریوهای مدیریتی و اقلیمی در تغییرات سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی مدل‌سازی عددی در آبخوان دشت سلماس). *آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۶(۲)، ۲۸۰-۲۹۳. dor: 20.1001.1.20087942.1401.16.2.2.1

سعیدپناه، ایرج، و محمدزاده روفچایی، سمیه (۱۳۹۸). حل دقیق پاسخ جریان آب زیرزمینی در آبخوان بسته به تغییرات سطح آب رودخانه. *اکوهیدرولوژی*، ۶(۴)، ۹۵۷-۹۶۸. doi: 10.22059/ije.2019.282765.1132

شیخابگم قلعه، سیمین، بابازاده، حسین، رضایی، حسین، سرایی تبریزی، مهدی (۱۴۰۲). مدل‌سازی عددی و تحلیل روند وضعیت کمی آبخوان مهاباد. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۲)، ۱-۱۷. doi:10.22098/mmws.2022.11275.1113

صالحی شفا، نیما، بابازاده، حسین، آقایاری، فیاض، صارمی، علی، غفوری، محمدرضا، صفوی، مسعود و پناهدار، علی (۱۴۰۱). تدوین الگوی کشت بهینه به‌منظور مدیریت تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت شهریار. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۲)، ۲۳۵-۲۱۷، doi:10.22098/mmws.2022.11792.1169

عدالت، علی، خداپرست، مهدی، و رجبی، علی محمد (۱۴۰۰). بررسی اثرات تغییر تراز آب زیرزمینی آبخوان بر پدیده فرونشست و راهکارهای تعادل بخشی آبخوان (مطالعه موردی؛ دشت علی‌آباد قم). *مهندسی عمران امیرکبیر*، ۵۳(۵)، ۲۰۲۳-۲۰۴۲. doi: 10.22060/ceej.2020.17275.6511.

فلاحی، محمد معین، شعبانلو، سعید، رجبی، احمد، یوسفوند، فریبرز، و ایزدبخش، محمد علی (۱۴۰۱). اثر تغییر اقلیم بر تغییرات تراز آب زیرزمینی براساس گزارش پنجم کمیته بین‌الدول تغییر اقلیم در آبخوان رزن. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳(۵)، ۹۹۳-۱۰۰۸. doi:10.22059/ijswr.2022.337121.669179

قبادیان، رسول، فتاحی چقابگی، علی، و زارع، محمد (۱۳۹۳). تأثیر احداث شبکه آبیاری و زهکشی سد گاوشان بر منابع آب زیرزمینی دشت میان دربند با استفاده از مدل GMS 6.5. *پژوهش آب در کشاورزی*، ۲۸(۴)، ۷۵۹-۷۷۲. doi: 10.22092/jwra.2015.100830

مسلمی، حمید (۱۳۹۸). ارزیابی بحران آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشک (مطالعه موردی: دشت جغین و توکهور). *علوم مهندسی و آبیاری*، ۴۲(۳)، ۳۱-۴۶. doi: 10.22055/JISE.2017.19218.1384

مهدوی، تقی، و حسینی، سید عباس (۱۳۹۷). سیاست‌ها و حکمرانی آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، (با مرور بر سیاست‌های رایج در کشورهای توسعه یافته). *آب و توسعهٔ پایدار*، ۵(۲)، ۱۲۹-۱۴۰. doi:10.22067/jwsd.v5i2.67197

ولایتی، سعداله، طالشی، مصطفی، و شریفی‌مقدم ریابی، مرضیه (۱۳۸۸). علل کاهش آبدهی قنوات دشت گناباد و پیامدهای اجتماعی اقتصادی آن. *جغرافیا*، (۲۰-۲۱)، ۴۷-۶۶.

References

Banejad, H., Mohebzadeh, H., Ghobadi, A.G., & Heydari, M. (2013). Numerical simulation of the flow and contaminant transport in groundwater, Case study: Nahavand Plain Aquifer. *Water and Soil*, *23*(2), 43-57. [In Persian]

Bayat, M., Eslamian, S., Shams, G., & Hajiannia, A. (2020). Groundwater level prediction through GMS Software–Case study of Karvan area, Iran. *Quaestiones Geographicae*, *39*(3), 139-145. doi: https://doi.org/10.2478/quageo-2020-0028

Bayatvarkeshi M., & Fasihi R. (2018). Comparison of numerical model, neural intelligent and GeoStatistical in estimating groundwater table. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, *18*(48), 165-182. doi:10.29252/jgs.18.48.165 [In Persian]

Bohidar, A.K., & Ahmad, I. (2021). Development of conceptual model and groundwater flow modeling using GMS software: A case study for Dharsiwa Block, Chhattisgarh, India. In Groundwater Resources Development and Planning in the Semi-Arid Region, 151-164. Springer, Cham. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-68124-1_8

Condon, L. E., Kollet, S., Bierkens, M. F., Fogg, G. E., Maxwell, R. M., Hill, M. C., Fransen, H. H., Verhoef, A., Loon, A. V., Sulis, M., & Abesser, C. (2021). Global groundwater modeling and monitoring: Opportunities and challenges. *Water Resources Research*, *57*(12), e2020WR029500. doi: https://doi.org/10.1029/2020WR029500

Dastvareh, J., Naserianasl, Z., hasanvand, H., & Amiri Domari, S. (2020). Modeling groundwater level and investigating the aquifer status of Minab plain. *Geography and Human Relationships*, *3*(2), 50-59. doi:10.22034/gahr.2020.247817.1442.[In Persian]

Dousti Rezaie, M., Zeinalzadeh, K., Besharat, S., & Amirataee, B. (2022). Effects of management and climate scenarios on groundwater level changes: Case numerical modeling study in Salmas Plain Aquifer. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, *16*(2), 280-293. dor: 20.1001.1.20087942.1401.16.2.2.1 [In Persian]

Edalat, A., khodaparast, M., & Rajabi, A.M. (2021). Investigating the effect of aquifer water table variation on the subsidence phenomenon and balancing strategies of the aquifer (Case study: Ali-Abad Plain, Qom). *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, *53*(5), 2023-2042. doi:10.22060/ceej.2020.17275.6511. [In Persian]

Fallahi, M.M., Shabanlou, S., Rajabi, A., Yosefvand, F., & Izadbakhsh, M.A. (2022). The impact of climate change on groundwater level changes in future periods based on fifth report of ICCP (Case study: Razan Aquifer). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *53*(5), 993-1008. doi:10.22059/ijswr.2022.337121.669179. [In Persian]

Ghobadian, R., Fatahi, 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. doi:10.22092/jwra.2015.100830. [In Persian]

Karimi, L., Motagh, M., & Entezam, I. (2019). Modeling groundwater level fluctuations in Tehran aquifer: results from a 3D unconfined aquifer model. *Groundwater for Sustainable Development*, *8*, 439-449 .doi:https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.01.003

Khanlari, G., Heidari, M., Momeni, A.A., Ahmadi, M., & Taleb Beydokhti, A. (2012). The effect of groundwater overexploitation on land subsidence and sinkhole occurrences, western Iran. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, *45*(4), 447-456. doi: https://doi.org/10.1144/qjegh2010-069

Khazaei, M., Saleh, I., Chakeralhoseini, M., & Farzin, M. (2023). Effect of water price under different allocation scenarios on crop pattern economic productivity. *Water and Soil Management and Modelling*, *3*(3), 196-211. doi: 10.22098/mmws.2022.11764.1166. [In Persian]

Mahdavi, T., & Hoseyni, S.A. (2019). Groundwater policies and governance in arid and semi-arid regions, (reviewing current policies in developed countries). *Journal of Water and Sustainable Development*, *5*(2), 129-140. doi: 10.22067/jwsd.v5i2.67197. [In Persian]

Moslemi, H. (2019). Assessment of groundwater crisis in arid and semiarid areas (Case study: Jaghin and Tokahor Plain). *Journal of Irrigation Sciences and Engineering (Scientific Journal Of Agriculture)*, *42*(3), 31-46. doi: 10.22055/JISE.2017.19218.1384. [In Persian]

Pathak, R., Awasthi, M.K., Sharma, S.K., Hardaha, M.K., & Nema, R.K. (2018). Ground water flow modelling using MODFLOW-A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *7*(2), 83-8. doi: https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.702.011

Saeedpanah, I., & Mohammadzade Roofchaee, S. (2019). Exact solution of groundwater flow response in a confined aquifer to variation in river level. *Iranian Journal of Ecohydrology*, *6*(4), 957-968. doi:10.22059/ije.2019.282765.1132. [In Persian]

Salehi Shafa, N., Babazadeh, H., Aghayari, F., Saremi, A., Ghafouri, M. R., Safavi, M., & Panahdar, A. (2022). Formulation of an optimized cropping pattern in order to manage groundwater level changes in Shahriar Plain. *Water and Soil Management and Modelling*, *3*(2), 217-235. doi:10.22098/mmws.2022.11792.1169 [In Persian]

Sheikha BagemGhaleh, S., Babazadeh, H., Rezaei, H., & Sarai Tabrizi, M. (2023). Numerical modeling and trend analysis of Mahabad Aquifer Quantitative Status. *Water and Soil Management and Modelling*, *3*(2), 1-17. doi:10.22098/mmws.2022.11275.1113. [In Persian]

Singh, A. (2014). Groundwater resources management through the applications of simulation modeling: A review. *Science of the Total Environment*, *499*, 414-423. doi: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.048

Song, G., Huang, J.T., Ning, B.H., Wang, J.W., & Zeng, L. (2021). Effects of groundwater level on vegetation in the arid area of western China. *China Geology*, *4*(3), 527-535. doi: https://doi.org/10.31035/cg2021062

Velayati, S., Talesh, M., & Sharifi Moghadam, M.. (2009). The analysis of decreasing water in Gonabad plain subterranean canals. *Geography*, 7(20-21), 47-66. [In Persian]

Wang, X., Xiao, C., Yang, W., Liang, X., Zhang, L., & Zhang, J. (2023). Analysis of the quality, source identification and apportionment of the groundwater in a typical arid and semi-arid region. *Journal of Hydrology*, *625*, 130169. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130169

Zhao, X., Ding, F., Xu, J., & Zhang, J. (2021). Evaluation of groundwater exploitation scheme in water source area of kang ping power plant based on GMS. *In Journal of Physics: Conference Series*, 1838(1), 012049 IOP Publishing. doi: 10.1088/1742-6596/1838/1/012049