Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Impacts of the implementation of structural measures and artificial intelligence on groundwater level fluctuations of Famenin Plain

Babak Sanahmadi[1] | Majeid Heydari[2]✉ | Arash Azari[3] | Saeid Shabanlou[4]

1. Department of Water Science and Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran. E-mail: sanahmadi.babak@gmail.com
2. Department of Water Science and Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran. E-mail: mheydari@basu.ac.ir
3. Department of Water Engineering, College of Agriculture, Razi university, Kermanshah, Iran. E-mail: a.azari@razi.ac.ir
4. Department of Water Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran. E-mail: saeid.shabanlou@gmail.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Apr. 19, 2023

Revised: Sep. 11, 2023

Accepted: Sep. 18, 2023

Published online: Nov. 22, 2023

Keywords:
Availability Of Essential Elements,
Release,
Infrared Spectroscopy.

ABSTRACT

The excessive increase in extraction from the groundwater resources of Famenin-Plain has caused a sharp drop in the water level and created sinkholes in this plain. One of the methods of managing groundwater water resources is to analyze the behavior of aquifers under the implementation of different exploitation scenarios using mathematical models. The purpose of this research is to investigate the effects of implementing structural measures such as levees and artificial recharge ponds on restoring the groundwater level of Famenin-Plain in hamedan province and providing management strategies for better exploitation using GMS-numerical model that was done in 2022.First, the model was calibrated and validated in transient mode. Also, the sensitivity analysis of influential parameters in the model was done. Assuming the continuation of the current situation, the simulation of system performance was carried out from October-2023 to September-2038 for 15-years. After that, in the second scenario (implementation of structural measures),the groundwater level in the plain was predicted for the next 15-years, assuming the use of storage structures or artificial recharge ponds. The results showed that if the aquifer is operated according to the existing pattern, the water level in the aquifer will drop by an average of 11.6-meters at the end of the 15-year period. The results of the exploitation scenario of the structures showed that the average drop of the groundwater level in the entire aquifer at the end of the period will be 11.2-meters. Therefore, compared to the reference scenario, this scenario indicates an adjustment of the groundwater drop by-0.4-meters.

Cite this article: Sanahmadi, B., Heidari, M., Azari, A., & Shabanlou, S. (2023) Impacts of the implementation of structural measures and artificial intelligence on groundwater level fluctuations of Famenin Plain, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (9), 1269-1282. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.358028.669485

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.358028.669485

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۴، شماره ۹ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

اثرات اجرای اقدامات سازه ای و تغذیه مصنوعی بر نوسانات تراز آب زیرزمینی دشت فامنین

بابک سان احمدی[۱] | مجید حیدری[۲]✉ | آرش آذری[۳] | سعید شعبانلو[۴]

۱. گروه علوم آب و مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان ، ایران. رایانامه: sanahmadi.babak@gmail.com

۲. گروه علوم آب و مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: mheydari@basu.ac.ir

۳. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: a.azari.ir@razi.ac.ir

۴. گروه مهندسی آب، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: saeid.shabanlou@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۶/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۲۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۹/۱

واژه‌های کلیدی:
رهاسازی،
طیف مادون قرمز،
قابلیت دسترسی عناصر ضروری.

چکیده

افزایش بیش از حد برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی دشت فامنین باعث افت شدید تراز آب و ایجاد فروچاله هایی در این دشت شده است. یکی از روشهای مدیریت منابع آب زیرزمینی، تجزیه و تحلیل رفتار آبخوان ها تحت اجرای سناریوهای مختلف بهره برداری با استفاده از مدلهای ریاضی است. هدف از این تحقیق بررسی اثرات اجرای اقدامات سازه ای مانند بندهای خاکی و حوضچه های تغذیه مصنوعی بر ترمیم تراز آب زیرزمینی دشت فامنین در استان همدان و ارایه راهکارهای مدیریتی برای بهره برداری بهتر با استفاده از مدل عددی GMS می باشد که در سال ۱۴۰۱ به انجام رسیده است. ابتدا مدل در حالت غیرماندگار واسنجی و صحت سنجی شد. همچنین آنالیز حساسیت پارامترهایی تاثیرگذار در مدل انجام شد. با فرض ادامه وضع موجود، شبیه سازی عملکرد سیستم از مهر ۱۴۰۲ تا شهریور ۱۴۱۷ به مدت ۱۵ سال انجام شد. پس از آن در سناریوی دوم (اجرای اقدامات سازه ای) برای ۱۵ سال آینده تراز آب زیرزمینی در دشت با فرض بهره برداری از سازه های ذخیره و یا حوضچه های تغذیه مصنوعیپیش بینی شد. نتایج نشان داد افت تراز آب زیرزمینی در شرایط ادامه وضع موجود ۱۱/۶ متر می‌باشد. با انجام اقدامات سازه ای و بهره برداری از آن در طول ۱۵ سال مقدار افت به ۱۱/۲ متر خواهد رسید. لذا میزان افت حدود ۰/۴ متر تعدیل خواهد یافت.

استناد: سان احمدی؛ بابک، حیدری؛ مجید، آذری؛ آرش، شعبانلو؛ سعید، (۱۴۰۲) اثرات اجرای اقدامات سازه‌ای و تغذیه مصنوعی بر نوسانات تراز آب زیرزمینی دشت فامنین، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۴ (۹)، ۱۲۶۹-۱۲۸۲. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.358028.669485

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.358028.669485

مقدمه

از مهمترین دغدغه‌ها و وظایف مسئولین منابع آب هر کشور تأمین آب شرب مورد نیاز جوامع انسانی می‌باشد. کشور ایران به علت قرار گرفتن در اقلیم خشک و نیمه خشک، از نظر منابع آب ، وضعیت مناسبی نسبت به متوسط سطح دنیا ندارد. خشکسالی های متعدد در سال‌های اخیر، کمبود آب ، به ویژه منابع آب سطحی را تشدید می کند. به همین دلیل آبهای زیرزمینی، منبع مهم تأمین آب مصرفی مردم در این مواقع بشمار می‌آید. لذا استفادهٔ بهینه از منابع آبهای زیرزمینی ، مستلزم مدیریت صحیح در بهره برداری، نیازمند سواد علمی و فنی بر سیستم منابع آبی هر منطقه است.در جنوب ایران بدلیل محدودیت‌های منابع آبی و وقوع خشکسالی در ساهای اخیر و بهره برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی مشکل بحران آب تشدید شده است.به همین دلیل بررسی خصوصیات رفتار آبخوان‌ها امری ضروری بوده و برای این منظور بهترین روش شبیه سازی آبخوان‌ها می‌باشد. مدیریت آبخوان در واقع عبارت است از مجموعه عملیات و تدابیری که طی آن می‌توان به نحوی مطلوب از امکانات و ظرفیت‌های موجود در جهت بهره برداری بهینه از آبخوان مورد نظر استفاده کرد (Sgarifi & ghafouri, 1997). بدین جهت شبیه سازی رفتار آبخوان‌ها و اعمال تنش‌های مختلف با سناریوهای متفاوت در مدیریت منابع آب زیرزمینی نقش بسزایی دارد. ناقلی و همکاران (۱۳۹۰) برای تهیه‌ی بیلان هیدرولوژیکی دشت نجف آباد از مدل MODFLOW استفاده کردند. با اجرا و کالیبراسیون مدل در دو حالت پایدار و ناپایدار مشخص شد که بیشترین سهم تغذیه‌ی آبخوان از آبخوان‌های مجاور است. محتشم و همکاران (۱۳۹۰) نیز به پیش بینی سطح ایستابی در آبخوان بیرجند با بکارگیری نرم افزار GMS پرداختند که با توجه به آن سطح ایستابی در سه گزینه ترسالی، نرمال و خشکسالی پیش‌بینی شد. براساس آن سطح آب به دلیل برداشت بی‌رویه از آبخوان چه در سال‌های ترسالی و چه در سال‌های خشکسالی همواره با افت مواجه می‌باشد. فقط پیزومترهای خروجی دشت به دلیل بالا بودن همیشگی سطح آب روند یکنواختی را نشان می‌دهد. Mahdavi *et al.* (2012) جریان آب زیرزمینی دشت بهار– همدان را در دو حالت ماندگار و غیرماندگار (از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۶) با MODFLOW شبیه سازی و با ضریب جذر میانگین مربعات ۱/۲ و ۱/۵ واسنجی و صحت سنجی کردند. نتایج بیانگر این است که در صورت ادامه روند فعلی برداشت از آبخوان حتی در صورت افزایش بارش، سطح ایستابی همچنان افت خواهد داشت. بررسی سه گزینه حذف چاه‌های غیرمجاز، تغییر الگوی کشت، و تغییر شیوه آبیاری، حاکی از تاثیر مثبت این عملیات بر وضعیت آینده آبخوان می‌باشد. Ghobadian *et al.* (2015) به بررسی اثرات احداث شبکه آبیاری و زهکشی سد گاوشان بر روی منابع آب زیرزمینی دشت میاندربند با استفاده از بسته نرم افزاری پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که بعد از اعمال این طرح سطح آب زیرزمینی در نواحی مرکزی دشت تا ۱/۸ متر بالا می آید این مقدار برای ۵ سال و ۱۰ سال به ترتیب برابر با ۳/۲ و۵/۲ متر می باشد. Pourhaghi *et al.* (2015) به منظور مدیریت بهره برداری از آبخوان دشت نورآباد در شرایط خشکسالی و با روش تفاضل محدودآب زیرزمینی آبخوان را مدل سازی کردند هیدروگراف پیش بینی دشت، افت سطح آب زیرزمینی را به میزان (۱,۵–)متر برای دو سال آینده نشان می دهد .اجرای مدل در شرایط خشکسالی، نشان داد سطح آب زیرزمینی به طور متوسط(۲,۵–) متر افت می کند که باکاهش ۲۵ درصدی آبدهی چاه های بهره برداری این مقدار افت به(۱,۳–) متر کاهش می یابد و بیلان آبخوان به طور متوسط ۳,۵ میلیون متر مکعب بهبود پیدا می کند. Lu *et al.* (2013) به جهت بررسی تأثیر لایه‌بندی آبخوان بر ضخامت ناحیه‌ی تداخل آب شور و شیرین در آبخوان ساحلی (حالت ماندگار) علاوه بر شبیه سازی عددی با مدلی ترکیبی از MODFLOW و SEAWAT2000 و MT3DMS یک سری آزمایش در یک تانک مملوء از سه لایه ماسه‌ی ساحلی با متغیر در نظر گرفتن شکل لایه‌ها انجام دادند. مقایسات نشان داد، ضخامت ناحیه‌ی تداخل در یک لایه با نفوذپذیری زیاد، زمانی که این لایه روی یک لایه با نفوذپذیری نسبتاً کم قرار دارد، به علت اینکه تجزیه‌ی خطوط جریان در فصل مشترک دو لایه، ناحیه‌ی تداخل را تحت فشار قرار می‌دهد، کمی محدود می‌شود. Narula & Gosian, (2013)، توزیع مکانی و زمانی موجودیت آب، تغذیه آب زیرزمینی و بارگیری غیرنقطه ای نیترات را در حوضه هیمالایا در بالادست حوضه یامونا ۲ ارزیابی کردند. آنها دراین تحقیق از مدل SWAT برای شبیه سازی فاز زمینی چرخه هیدرولوژیکی برای به دست آوردن جریان سطحی، تغذیه آب زیرزمینی و توزیع بار نیترات در اجزای مختلف رواناب استفاده کردند و سپس مدل SWAT با مدل جریان MODFLOW و مدل انتقال MT3DMS برای به دست آوردن جریان آب زیرزمینی و انتقال نیترات ادغام شدند.

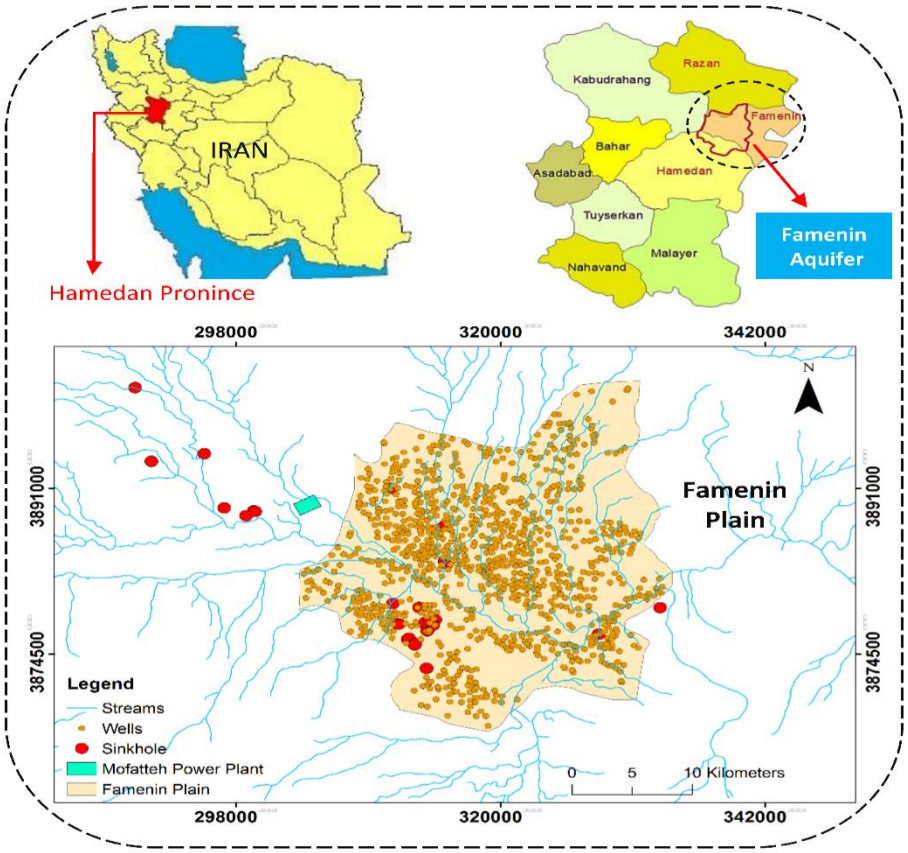
در برخی تحقیقات، مدلسازی تراز آب زیرزمینی بر اساس شبیه‌سازی ناحیه اشباع و غیر اشباع صورت گرفته است. شبیه‌سازی همزمان منطقه اشباع و غیر اشباع خاک می تواند تبادل بین آب‌های سطحی و زیرزمینی را در فواصل زمانی و مکانی مختلف با شبیه‌سازی بیلان کامل هیدروکلیماتولوژی در هر منطقه از طریق یک مدل لینک شده آب سطحی و زیرزمینی محاسبه نماید (Zeinali *et al.*, 2020a; Zeinali *et al.*, 2020b). اما در تحقیق حاضر بدلیل نبود آمار و اطلاعات کافی در خصوص منابع آب سطحی و مقاطع رودخانه ای امکان محاسبه اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی وجود نداشت. مزیت روش های شبیه‌سازی در توانایی آنها برای حل مسائل مربوط به سیستم‌های پیچیده آب زیرزمینی است که دارای روابط و معادلات پیچیده هستند. در هر حال نیاز به یک ابزار شبیه‌سازی که بتواند سیستم های پیچیده

را بر اساس واقعیت موجود شرح داده و به کاربر اجازه شرکت در توسعه مدل را به منظور افزایش اعتماد در فرآیند مدل‌سازی بدهد، وجود دارد (Hu & Huang, 2016; Ivkovic, 2009; Pahar & Dhar, 2014; Bayesteh & Azari, 2021). پیش بینی تراز آب زیرزمینی بدون استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی معمولا بصورت یک سری میانگین بوده و نقشه توزیعی برای دشت ارایه نمی دهد (Guzman *et al.*, 2019; Nadiri *et al.* 2019; Soltani and Azari, 2022; Moradi et al., 2023). در بسیاری از تحقیقات استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از یک مدل ریاضی در دشت با اعمال محدودیت‌های مدیریتی و هیدرولوژیکی منجر به افزایش بهره‌وری آب شده است (Zibaei *et al.* 2013). شمسایی و فرقان (۱۳۹۰) با بهینه سازی سیستم و اعمال محدودیت برداشت از منابع آب زیرزمینی آبخوان یزد- اردکان به این نتیجه رسیدند که در طول ۵ سال بهره برداری از سیستم، میزان افت تراز آب زیرزمینی به میزان ۲ متر خواهد بود. بررسی تحقیقات انجام شده حاکی از اثر انکار ناپذیر مدیریت برداشت از منابع آب زیرزمینی بر میزان افت آبخوان ها دارد (مازندرانی زاده وحسینی، ۱۴۰۱: کامکار و همکاران، ۱۴۰۰: عزیزی و همکاران، ۱۴۰۱). هدف از این تحقیق بررسی اثرات اجرای اقدامات سازه ای مانند احداث و بهره برداری از بندهای خاکی و حوضچه های تغذیه مصنوعی بر ترمیم تراز آب زیرزمینی دشت فامنین و ارایه راهکارهای مدیریتی برای بهره برداری بهتر با استفاده از مدل عددی GMS می باشد.

مواد و رو شها

موقعیت جغرافیایی منطقه

منطقه مورد مطالعه دشت فامنین با وسعت ۶۹۲۰۰ هکتار واقع دراستان همدان می باشد. این دشت در محدوده ی بین شهرهای فامنین، رزن و همدان قرار گرفته است. تعداد چاههای بهره برداری در این دشت حدود ۱۰۲۳ عدد است. رودخانه ها و آبراهه های منطقه در جهت شمال به جنوب در این دشت جریان دارند. دشت فامنین بدلیل برداشت بی رویه منابع آب در سالهای اخیر با افت شدید تراز آب زیرزمینی مواجه شده است و کاهش بارندگی باعث تشدید بحران در منطقه شده است. به دلیل فرونشست هایی که در این دشت و اطراف آن رخ داده است، انجام مطالعات در این زمینه از اهمیت ویژه ای برخوردار است. موقعیت این دشت، رودخانه ها، چاههای بهره برداری و فروچاله های ایجاد شده در محدوده دشت در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه، رودخانه ها، چاههای بهره برداری و فروچاله های ایجاد شده در محدوده مورد مطالعه

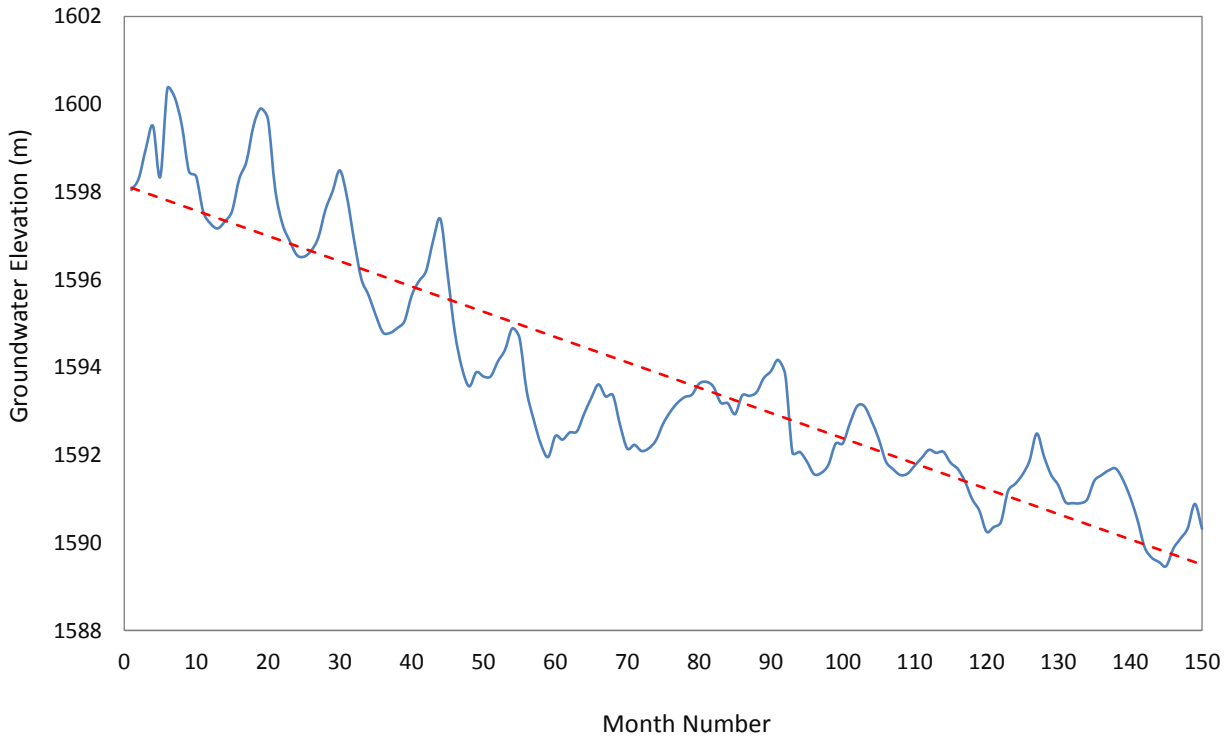
ساخت مدل آب زیرزمینی

انتخاب جهت و اندازه شبکه مدل

جهت و اندازه شبکه را باید به گونه‌ای انتخاب کرد که در حالت افقی محور X و Y آن در راستای Kx و Ky قرار گیرد و در حالت سه بعدی محور Z هم راستا با Kz باشد. در مدل های تفاضل محدود باید توجه داشت که تعداد گره‌هایی که در خارج از مرزهای محدوده مدل‌سازی قرار می¬گیرند، حداقل باشد. اگرچه بارهای هیدرولیکی در این گره‌ها که گره‌های غیر فعال نامیده می شوند، محاسبه نمی‌گردد، اما در آرایه‌ای که مدل از آن استفاده می‌کند فضایی را اشغال می‌کنند. بر این اساس ابعاد سلول های شبکه ۵۰۰×۵۰۰ متر در نظر گرفته شد. لذا شبکه‌بندی مدل با تعداد ۵۰۳۲ سلول (۷۴ ردیف و ۶۸ ستون) با فواصل ۵۰۰ متر ساخته شد که شامل ۲۷۶۵ سلول فعال بود.

شرایط مرزی و اولیه

انتخاب سطح و شرایط مرزی را شاید بتوان مهم‌ترین گام در تهیه مدل مفهومی دانست. انتخاب سطح و شرایط مرزی نامناسب ممکن است منجر به ایجاد نقص در مدل گردد و پاسخ مدل به استرس‌های وارده را متفاوت از پاسخ سیستم واقعی به استرس‌ها نماید. در حالت ماندگار مرزها تأثیر زیادی روی الگوی جریان آب‌های زیرزمینی دارند ولی در حالت غیرماندگار مرزها در صورتی بر روی جواب‌های مدل تاثیر خواهند گذاشت که اثر استرس‌های وارده به سیستم جریان، به مرزها برسد. در این مطالعه برای شبیه‌سازی مرزهای ورودی و خروجی دشت فامنین از بسته مرز بار عام[1] (GHB) استفاده شده است. بر خلاف مرز با بار مشخص، سطح آب در این نوع مرز ثابت نمی باشد و ممکن است با رسیدن اثر استرس های داخلی به مرز سطح آب آن تغییر کند. توزیع بار هیدرولیـکی دشت در آغاز شبیه‌سازی شرایط اولیه می‌باشد. بنابـــراین شرایط اولیه را نوعی مرز زمانی برای سیستم مورد مطالعه است. هیدروگراف واحد دشت فامنین در یک دوره ۱۲/۵ ساله (مهر ۱۳۸۲ تا اسفند ۱۳۹۴) که اطلاعات چاههای مشاهده ای کامل بود ترسیم شد. بررسی این هیدروگراف نشان داد نوسان سطح آب در مهرماه سال ۱۳۹۳ حالت ماندگارتری نسبت به سایر ماهها دارد، بنابراین در مدل آب زیرزمینی این ماه به عنوان ماه ماندگار در نظر گرفته شد (شکل۲). مدل GMS برای دوره ماندگار (مهر ۱۳۹۳) واسنجی شد.

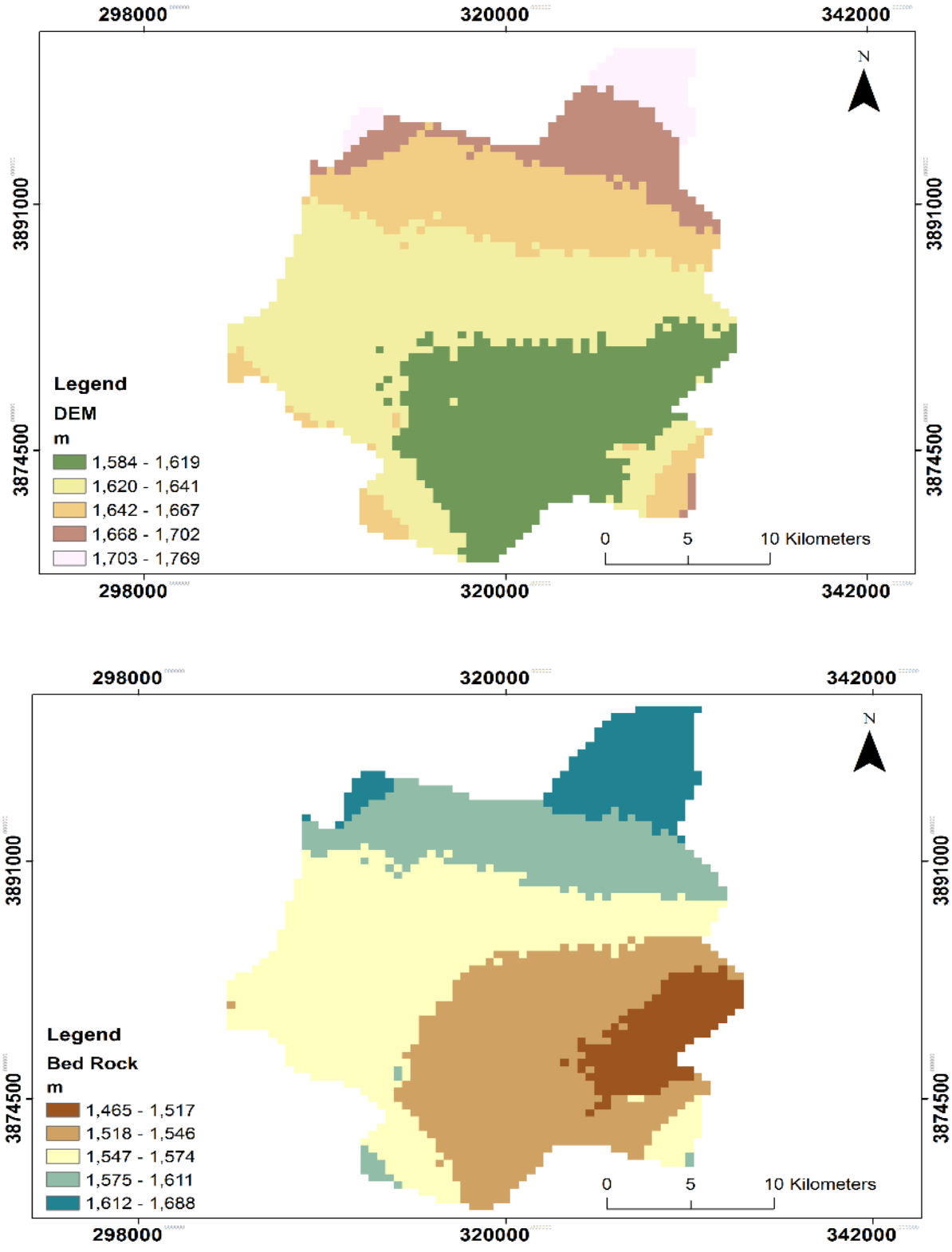


شکل ۲. هیدروگرف واحد دشت فامنین از فروردین مهر ۱۳۸۲ تا اسفند ۱۳۹۴

1- General Head Boundary

تعیین سقف و کف لایه آبدار

برای ترسیم نقشه سقف لایه آبدار از خطوط توپوگرافی و نقاط ارتفاعی دشت استفاده شده و نقشه رقومی ارتفاعی دشت ترسیم شد. با استفاده از مقاطع ژئوفیزیکی تهیه شده دشت و اطلاعات چاههای مشاهده ای که به سنگ کف برخورد کرده اند که از شرکت آب منطقه ای همدان اخذ شد، نقشه ارتفاع سنگ کف دشت فامنین تهیه گردید (شکل (۳)).



شکل ۳. نقشه سقف لایه آبدار (DEM) و ارتفاع سنگ کف دشت فامنین

برداشت از چاه‌های بهره‌برداری و تغذیه دشت

در منطقه مطالعاتی برای تامین بخشی از نیاز صنعتی (نیروگاه مفتح) و نیاز کشاورزی از چاههای عمیق و نیمه عمیق استفاده می شود. تراکم چاهها بخصوص در قسمت مرکزی و شمال دشت بیشتـــر است. براساس آخرین آماربرداری انجام شده در سال ۸۸ منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی در مجموع دارای ۱۰۲۳ حلقه چاه می باشد که در مدل مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین تغذیه دشت یکی از پارامترهای مهم در مدل آب زیرزمینی می‌باشد. برای در نظر گرفتن تغذیه در منطقه مطالعاتی از بسته RCH استفاده شد. معمولا به دلیل ویژگی‌های مختلف خاک‌شناسی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، شدت بارندگی و شیب زمین، در نقاط مختلف میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی متفاوت می‌باشد. در مدل آب زیرزمینی از آنجا که معمولا اطلاعات کمی از میزان تغذیه در مناطق مختلف در دسترس است، پارامتر تغذیه برای محدوده های وسیعی در نظر گرفته شده و در طول واسنجی بهینه شد

پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان

در این مرحله برای تخمین پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان از روش زون‌بندی استفاده گردید. زون بندی منطقه برای هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه بر اساس لوگ حفاری چاه‌های مشاهداتی، اکتشافی و پیزومتری و همچنین مقاطع ژئوفیزیکی تهیه شده از منطقه انجام گرفت. با توجه به جنس خاک و رسوبات هر زون مقادیر اولیه هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه تخمین زده شد. در نهایت در مرحله ی کالیبراسیون برای هر زون مقدار بهینه شده هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه لحاظ شد.

واسنجی مدل در حالت ماندگار و غیر ماندگار

بعد از اینکه تمام بسته ها ساخته شد و اطلاعات مورد نیاز مدل تکمیل شد، مدل اجرا شد. اما مقادیر محاسبه شده و مشاهداتی اختلاف چشمگیری داشتند بنابراین در این مرحله از کار واسنجی مدل انجام شد. مدل جریان دشت فامنین در دو حالت ماندگار و غیرماندگار واسنجی و صحت‌سنجی گردید با این هدف که اختلاف مقادیر محاسباتی و مشاهداتی کمتر از یک متر باشد. برای انجام واسنجی و صحت سنجی از داده‌های ثبت شده پیزومتری مربوط به ۳۴ چاه مشاهده ای در کل دشت در طول دوره شبیه‌سازی (مهر ۱۳۹۰ تا شهریور ۱۳۹۴) استفاده شد که ۳ سال اول برای واسنجی و سال آخر برای صحت سنجی در نظر گرفته شد. پارامترهای مهم در واسنجی و صحت سنجی ضرایب هیدرودینامیک آبخوان (هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه) و ضریب کاندکتانس سلولهای مرزی و کاندکتانس بستر رودخانه بودند.

پیش بینی تغییرات تراز آب زیرزمینی در سالهای آتی

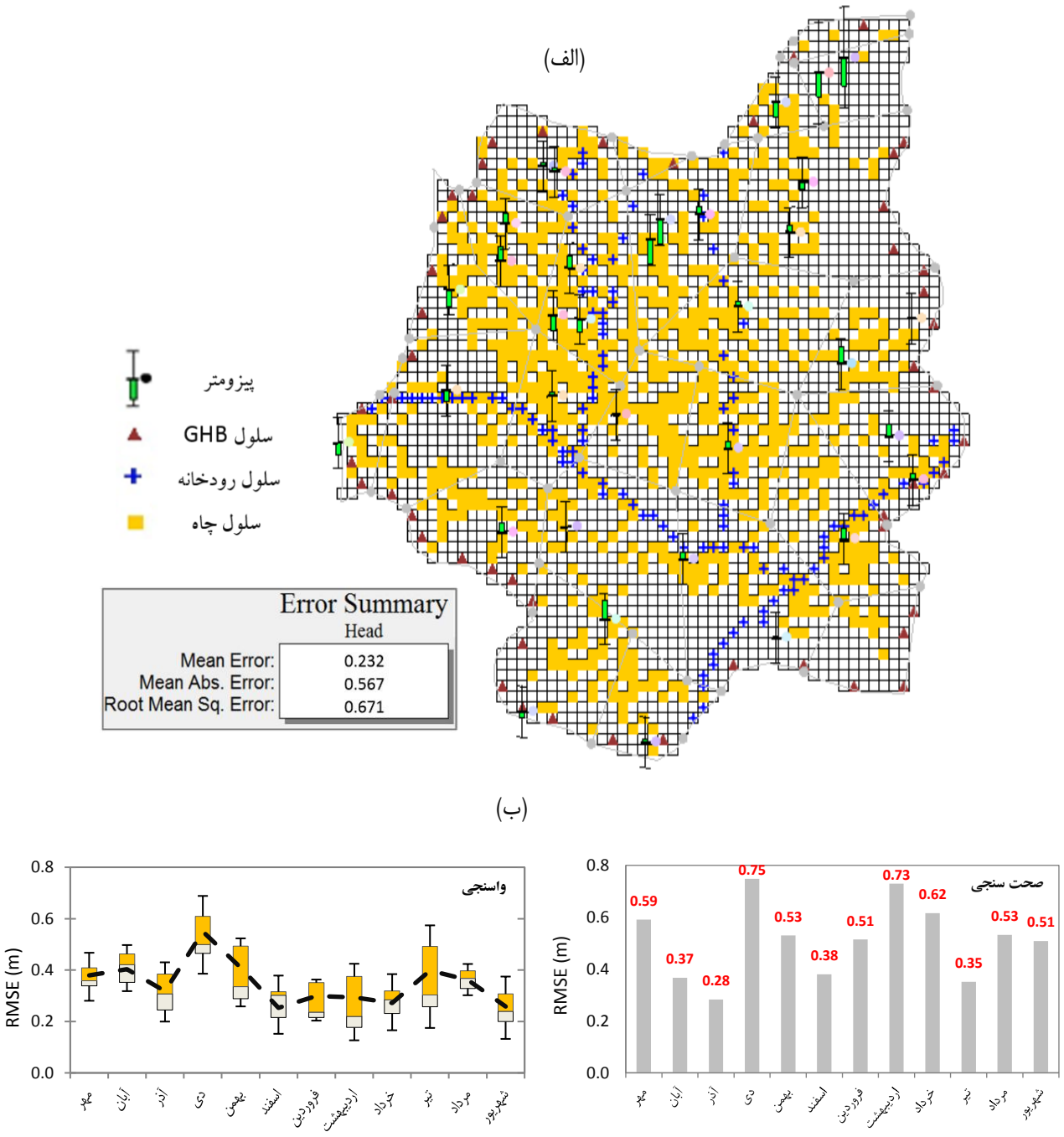
پس از اطمینان از درستی عملکرد مدل، شبیه سازی تغییرات تراز آب زیرزمینی در اثر برداشت مصارف صنعتی و کشاورزی برای یک دوره آماره ۱۵ ساله (مهر ۱۴۰۲ تا شهریور ۱۴۱۷) در قالب دو سناریوی مدیریتی انجام شد. سناریوی اول تحت عنوان سناریوی مرجع با فرض ادامه وضع موجود و بدون تغییر در میزان بهره برداری آب توسعه داده شد. سناریوی دوم با فرض اجرا و بهره برداری از سازه های کنترل و ذخیر جریان با هدف تغذیه مصنوعی دشت توسعه داده شد و نتایج باهم هم مقایسه شد.

بحث و نتایج

نتایج واسنجی و صحت سنجی مدل

نتایج حاصل از واسنجی و صحت سنجی مدل در دو حالت ماندگار و غیر ماندگار در شکل (۴) نشان داده شده است. نتایج حاکی از دقت بسیار خوب مدل در شبیه سازی تراز آب زیرزمینی در دشت فامنین دارد.

پس از واسنجی مدل در حالت ماندگار، واسنجی مدل در حالت غیرماندگار برای یک دوره ۳ ساله (مهر ۱۳۹۰ تا شهریور ۱۳۹۳) انجام شد. سپس مدل برای یک دوره یک ساله (مهر ۱۳۹۳ تا شهریور ۱۳۹۴) صحت سنجی گردید. همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده است مقدار RMSE مربوط به واسنجی حالت ماندگار در حدود ۰/۶۷ متر است. همچنین بر اساس نمودارهای ارایه شده در شکل (۴) مقدار متوسط RMSE در تمام ماههای شبیه سازی در دو دوره واسنجی و صحت سنجی حالت غیرماندگار کمتر از ۰/۷۵ متر است که نشان دهنده دقت بالای مدل در شبیه سازی تراز آب زیرزمینی در کل دشت است. محققان دیگری نیز از مدل های GMS و MODFLOW برای شبیه سازی تراز آب زیرزمینی در دشت های مختلف استفاده کرده اند و بر دقت بالای شبیه سازی این مدل تاکید داشته اند (Ghobadian *et al*. 2015; Pourhaghi et al. 2015; Zeinali et al., 2020a).



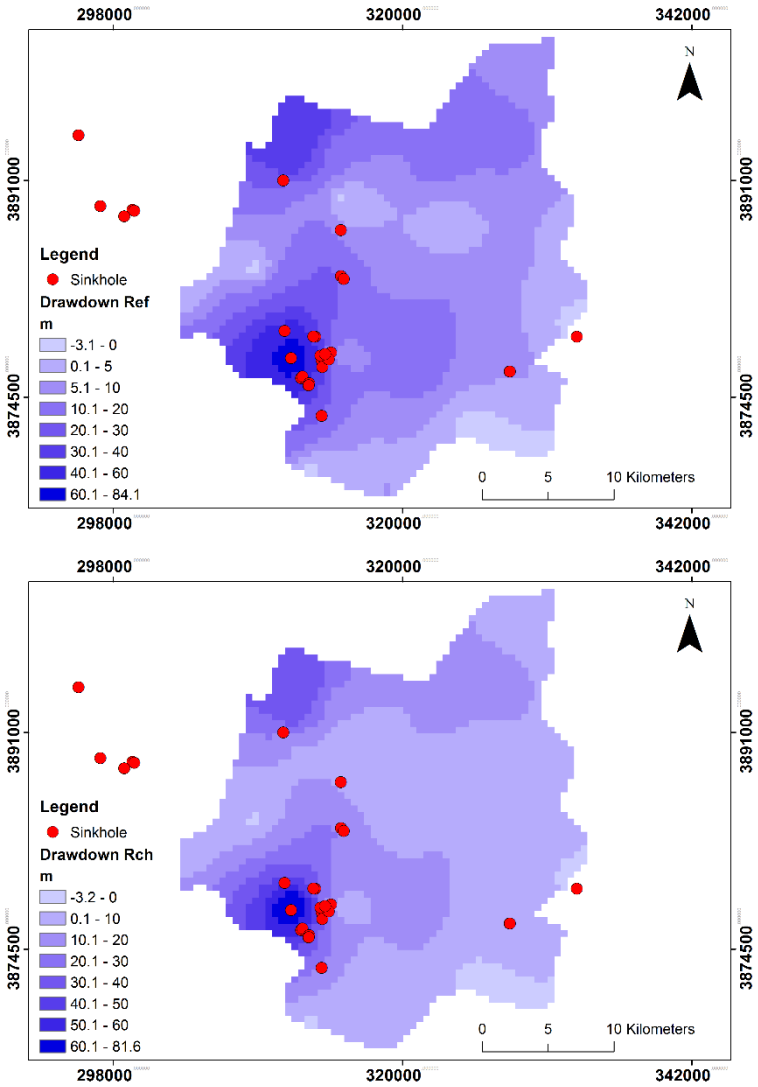
شکل ۴. الف- اجزای مدل عددی تهیه شده دشت فامنین و واسنجی آن در حالت ماندگار ب- مقادیر RMSE برآورد تراز آب در مدل GMS در حالت غیرماندگار در طول دوره واسنجی و صحت سنجی

پیش بینی مدل

در مرحله‌ی بعد پیش بینی مدل با اعمال سناریوهای مختلف صورت گرفت. مهم ترین کاربرد مدل پیش بینی بدست آوردن دید کلی برای وضعیت آبخوان در آینده با توجه به سناریو های مختلف می باشد. در این پژوهش پیش بینی تغیرات تراز آب زیرزمینی برای مدت ۱۵ سال آینده با فرض ادامه وضع موجود تحت عنوان سناریوی مرجع صورت گرفت. نتایج نشان داد در صورت بهره برداری از آبخوان مطابق با الگوی موجود تراز آب در آبخوان در انتهای دوره ۱۵ ساله بطور متوسط حدود ۱۱/۶ متر افت خواهد داشت. لازم به ذکر است حداکثر افت در آبخوان فامنین در این سناریو در مناطقی از جنوب غربی آبخوان در حدود ۸۴ متر بود. لازم به ذکر است که بیشترین تجمع فروچاله ها در این بخش است. همچنین سناریویی دیگر تحت عنوان سناریوی بهره برداری از اقدامات سازه ای تعریف شد. بر این اساس با توجه به اینکه اکثر این سازه ها در منطقه سراوک در نزدیکی فامنین اجرا شده یا در دست اجرا است با در نظر گرفتن چاههای تغذیه ناشی از طرح

های تغذیه مصنوعی در این منطقه و با فرض اینکه سالانه حداقل یک بار مخازن بند خاکی موجود در منطقه و حوضچه های تغذیه مصنوعی در اثر جریانات سطحی ناشی از بارش های فصلی پر می شود، دبی چاههای تغذیه تعریف شد. مطابق با اطلاعات اخذ شده از شرکت مهندسین مشاور آب و خاک ظرفیت تغذیه مجموع حوضچه های تغذیه مصنوعی طراحی و اجرا شده در دشت فامنین در حدود ۴ میلیون مترمکعب در سال است. این در حالی است که مجموع تخلیه سالیانه از این دشت بر اساس آمار و اطلاعات چاههای بهره برداری در حدود ۲۰۰ میلیون متر مکعب است که رقمی قابل توجه است. لذا مقدار تغذیه صورت گرفته توسط بهره برداری از سازه های کنترل و زخیره جریان با اهداف تغذیه مصنوعی نسبت بر برداشت سالیانه ناچیز است. با این حال مدل برای شرایط بهره برداری از این سازه ها مجددا اجرا شده و پیش بینی تراز آب زیرزمینی در این شرایط برای مدت ۱۵ سال آینده صورت گرفت. نتایج سناریوی بهره برداری از اقدامات سازه های نشان داد میزان متوسط افت سطح آب زیرزمینی در کل آبخوان در انتهای دوره به میزان ۱۱/۲ متر خواهد بود. از این رو این سناریو نسبت به سناریوی مرجع حاکی از تعدیل افت آب زیرزمینی به میزان ۰/۴ متر دارد. اما بیشترین مقدار افت در این سناریو در مناطق جنوب غربی دشت ۸۱/۶ متر خواهد بود که حاکی از تعدیل افت حداکثر به مقدار ۲/۴ دارد.

تغییرات افت تراز آب زیرزمینی در کل دشت در انتهای دوره ۱۵ ساله بهره برداری از آبخوان (شهریور ۱۴۱۷) در سناریوهای مرجع و بهره برداری از اقدامات سازه های در شکل (۵) نشان داده شده است. همچنین تراز آب زیرزمینی شبیه سازی شده در نقاط مختلف دشت بصورت سه بعدی در انتهای دوره ۱۵ ساله بهره برداری از آبخوان (شهریور ۱۴۱۷) در سناریوی افزایش راندمان در شکل (۶) نشان داده شده است.

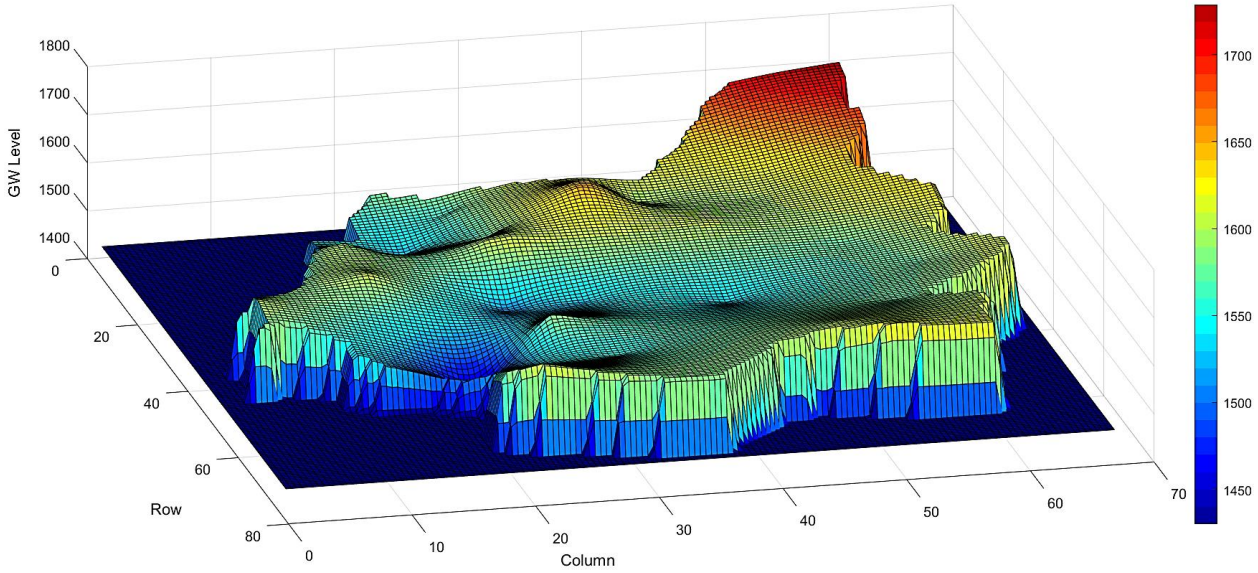


شکل ۵. تغییرات مکانی افت تراز آب زیرزمینی مدل سازی شده در دشت فامنین برای ۱۵ سال آینده در سناریوهای مرجع و بهره برداری از اقدامات سازه ای

شکل های (۵) و (۶) نشان می دهد بر اساس سناریوی رفرنس بیشترین میزان افت در نواحی جنوب غربی دشت در انتهای دوره ۱۵ ساله حدود ۱۱/۶ متر و در سناریوی بهره برداری از اقدامات سازه های در حدود ۱۱/۲ متر خواهد بود. همچنین کمترین میزان افت در دشت در هر دو سناریو مربوط به نواحی شرقی و جنوب شرقی است. طوری که در قسمتی از این مناطق در سناریوهای رفرنس و بهره برداری از اقدامات سازه های بیشترین میزان بالاآمدگی تراز آب به ترتیب ۳/۱ و ۳/۲ متر خواهد بود.

نتایج این تحقیق نشان می دهد بر اساس تعداد چاهها و پراکنش آنها در کل دشت، بخش کشاورزی بیشترین تاثیر را بر افت تراز در آبخوان داشته و بهتر است برنامه های مدیریتی برای کنترل برداشت از آبخوان بیشتر بر روی این بخش متمرکز شود.

از جمله راهکارهای دیگر قابل اجرا در دشت مورد مطالعه می توان به اصلاح الگوی کشت و افزایش راندمان مصرف اشاره کرد تا در کنار بهره برداری از سازه های ذخیره و تغذیه مصنوعی باعث بهبود بیشتر تراز آب زیرزمینی گردد.



شکل ۶. تراز آب زیرزمینی شبیه سازی شده در نقاط مختلف دشت بصورت سه بعدی در انتهای دوره ۱۵ ساله در سناریوی افزایش بهره برداری از اقدامات سازه ای

محققان دیگری نیز با استفاده از مدلسازی آبخوان و بر اساس سناریوهای مدیریتی مختلف پس از ارزیابی کارایی مدل هایی مانند GMS، اقدام به پیش بینی وضعیت آبخوان نموده و تصمیم های مناسبی بر اساس نتایج بدست آمده اخذ نمودند ((محتشم و همکاران (۱۳۹۰)؛ ناقلی و همکاران (۱۳۹۰)، کامکار و همکاران (۱۴۰۰) ؛ عزیزی و همکاران (۱۴۰۱))، در تحقیقات بسیاری از پژوهشگران علاوه بر استفاده از این قابلیت مدلسازی، با بهینه سازی سیستم راهکارهای عملی و اجرایی مختلف و تاثیرگذاری ارایه شده است که حاکی از کارایی این روش در برنامه ریزی و مدیریت آبخوان دارد (Mohtasham et al. 2012; Mahdavi et al. 2012; Zeinali et al., 2020b; Guzman et al., 2019; Nadiri et al. 2019). با توجه به آماده سازی و صحت سنجی این مدل در دشت فامنین، در کنار روش های فوق می توان در صورت امکان اثر بهره برداری از طرح های انتقال آب بین حوضه ای و تامین بخش از آب منطقه توسط این طرح ها را بر کل دشت مورد آزمون قرار داد.

نتیجه گیری

نتایج حاصل از واسنجی مدل نشان داد آبخوان فامنین از بین پارامترهای هیدرودینامیکی، بیشتر به تغییرات آبدهی ویژه و سپس به پارامتر هدایت هیدرولیکی حساسیت دارد. همچنین بر اساس نتایج در صورت بهره برداری بر اساس الگوی وضع موجود مقدار متوسط افت تراز آب زیرزمینی آبخوان دشت فامنین در انتهای مدت ۱۵ سال آتی ۱۱/۶ متر می‌باشد. در صورت اجرای سناریوی بهره برداری از اقدامات سازه ای برای کنترل و ذخیره جریانات سطحی و بهره برداری از حوضچه ها و چاههای تغذیه مصنوعی این مقدار به ۱۱/۲ متر می‌رسد. یعنی افت تراز آب زیر زمینی با بهره برداری از اقدامات سازه ای در انتهای دوره ۱۵ سال آینده حدود ۰/۴ متر بهبود خواهد یافت. البته

بیشترین میزان افت در هر دو سناریوی مرجع و بهره برداری از اقدامات سازه ای مربوط به مناطق مرکزی دشت به ترتیب ۸۴ و ۸۱/۶ متر و کمترین میزان افت در مناطق شرقی دشت است. همچنین در قسمت هایی از شرق و شمال شرق دشت در هر دو سناریو سطح آب حداکثر به اندازه ۳ تا ۳/۲ متر صعود خواهد کرد. در نهایت می‌توان چنین استنتاج کرد با توجه به وضعیت بهره برداری از منابع آب زیرزمینی آبخوان فامنین بیشترین علت افت تراز در این دشت برداشت چاههای کشاورزی به دلیل تجمع بیشتر آن ها در مرکز دشت است. در صورت اجرا و بهره برداری از اقدامات سازه ای در دشت تا حدودی میزان افت تراز در منطقه تعدیل می شود اما مشکل حل نخواهد شد. لذا پیشنهاد می‌شود با توجه به روند افزایشی جمعیت و امکان افزایش برداشت از این منابع در سالهای آینده باید علاوه بر بهره برداری از حوضچه ها و چاههای تغذیه و تکمیل اقدامات سازه ای با احداث بندهای خاکی جدید و افزایش تعداد حوضچه های تغذیه به دنبال اصلاح الگوی کشت منطقه و جایگزینی کشتهای کم مصرف بجای کشت های پرمصرف بود. با این حال بهتر است با توجه وضعیت کنونی آبخوان و ایجاد فروچاله های متعدد که حاکی از برداشت بیش از حد از آبخوان است باید علاوه بر اقدامات فوق باید با همکاری دولت و کشاورزان و با صرف بودجه کلان برنامه جامعی برای احیای آبخوان و کنترل فرونشست اجرا شود و در قدم اول با ترغیب کشاورزان اقدام به پر کردن چاههای غیر مجاز یا اجاره بخشی از زمین های آسیب رسان به محیط زیست توسط دولت و خارج کردن آنها از چرخه برداشت آب زیرزمینی نمود.

منابع

شمسایی، ابوالفضل و فرقانی، علی (۱۳۹۰). بهره برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در مناطق خشک. *تحقیقات منابع آب ایران*، ۷ (۲)، ۳۶-۲۶.

عزیزی، کامران؛ آذری، آرش و فرهادی، بهمن (۱۴۰۱). شبیه‌سازی و تعیین ضرایب هیدرودینامیکی و بیلان آبخوان با مدل ریاضی Modflow (مطالعه موردی: دشت کرمانشاه). *فناوری های پیشرفته در بهره وری آب*، ۲ (۴)، ۸۷-۶۸.

کامکار، ویدا؛ آذری، آرش و فاطمی، سید احسان (۱۴۰۰). برآورد تغذیه و تبادل جریان بین رودخانه و آبخوان بر اساس مدل متصل شده آب سطحی-آب زیرزمینی. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۲ (۷)، ۱۷۹۳-۱۷۷۹.

مازندرانی زاده، حامد و حسینی، سیده مرضیه (۱۴۰۱). ارزیابی اثر پیش‌بینی قیمت محصولات کشاورزی بر کاهش افت تراز آب زیرزمینی با روش پویایی سیستم‌ها. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳ (۱۱)، ۲۵۸۲-۲۵۶۲.

محتشم، محسن؛ دهقانی، امیراحمد؛ اکبرپور، ابوالفضل و مفتاح هلقی، مهدی (۱۳۹۰). پیش بینی سطح ایستابی در ابخوان با بکارگیری نرم افزار GMS مطالعه موردی: آبخوان بیرجند، *چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران*، تهران، ایران.

ناقلی، ستاره؛ سامانی، نوذر و پسندی، مهرداد (۱۳۹۰). بررسی تعادل و توسعه پایدار آبخوان نجف آباد، *سی امین گردهمایی علوم زمین*، تهران، ایران.

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, MA. & 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. [in Persian]

Azizpour, A., Izadbakhsh, MA., 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.

Bayesteh, M. & Azari, A. (2021). Stochastic Optimization of Reservoir Operation by Applying Hedging Rules. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 147(2), 04020099.

Esmaeili, F., Shabanlou, S. & Saadat, MA. (2021). Wavelet-outlier robust extreme learning machine for rainfall forecasting in Ardabil City. Iran. *Earth Sci Inform*. 14, 2087–2100.

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.

Ghobadian, R., Fatahi Ghaghabagi, A. & Zare, M. (2015). The effect of construction of irrigation and drainage network of Gavshan dam on underground water resources of Miandarband plain using GMS 6.5 model. *Water research in agriculture (soil and water sciences)*, 28 (4), 759-772.

Guzman, SM., 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.

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.

Ivkovic, K. M. (2009). A top–down approach to characterise aquifer–river interaction processes. *Hydrology*, 365, 145–155.

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. [in Persian]

Lu, C., Chen, Y., Zhang, C., & Luo, J. (2013). Steady-state freshwater–seawater mixing zone in stratified coastal aquifers. *Hydrology*, 505, 24-34.

Mahdavi, M., Farokhzadeh, B., Salajegheh. A., Malakian, A & Soori, M. (2012). Simulation of Hamadan-Bahar plain aquifer and management scenarios analysis using PMWIN model. *Watershed research* (research and construction), 26 (1), 108-116.

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. [in Persian]

Mohtsham, M., Dehghani, A.A., Akbarpour, A., & Miftah Halaghi, M. (2011). Prediction of water level in aquifer using GMS software, case study: Birjand aquifer, *4th Iran Water Resources Management Conference*, Tehran, Iran. [in Persian]

Nagheli, S., Samani, N., & Pasandi, M. (2011). Investigation of balance and sustainable development of Najaf Abad aquifer, *30th Earth Sciences Meeting*, Tehran, Iran. [in Persian]

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.

Mazraeh, A., Bagherifar, M., Shabanlou, S. & Ekhlasmand, R. (2023). A Hybrid Machine Learning Model for Modeling Nitrate Concentration in Water Sources. *Water, Air, & Soil Pollution*. 234(11), 1-22.

Mohammed, KS., 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.

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.

Narula, K.K. & Gosian, A.K. (2013). Modeling hydrology, groundwater recharge and non-point nitrate loadings in the Himalayan Upper Yamuna basin. *Science of the Total Environment*. S102-S116.

Pahar, G. & Dhar, A. (2014). A Dry Zone-Wet Zone Based Modeling of Surface Water and Groundwater Interaction for Generalized Ground Profile. *Hydrology*, 519(27), 2215-2223.

Pourhaghi, A., Akhondali. A. A., Radmanesh, F. & Mirzaee, S. Y. (2015). Manage the Groundwater Sources Exploration of the Nourabad Plain in the Drought Conditions with MODFLOW Modeling. *Irrigation science and engineering*, 37 (92), 71-82.

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.

Sgarifi, F. & ghafouri, A.R. (1997). Flood water spreading in Iran and Integrated Aproach. *rain drope*, series 2, vol 7: i-iii-1997

Shamsai, A., & Forghani, A. (2011). Conjunctive use of Surface and Ground Water Resources in Arid Regions. *Iran-Water Resources Research*, 7(2), 26-36. [in Persian]

Soltani, K., & Azari, A. (2022). Forecasting groundwater anomaly in the future using satellite information and machine learning. *Hydrology*, 612 (2), 128052.

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.

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.

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. *Water Resource Planning and Management* (ASCE), 146(5), 04020020.

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.

Impacts of the implementation of structural measures and artificial intelligence on groundwater level fluctuations of Famenin Plain

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The excessive increase in extraction from the groundwater resources of Famenin Plain has caused a sharp drop in the water level and created sinkholes in this plain. One of the methods of managing groundwater water resources is to analyze the behavior of aquifers under the implementation of different exploitation scenarios using mathematical models. The purpose of this research is to investigate the effects of implementing structural measures such as levees and artificial recharge ponds on restoring the groundwater level of Famenin Plain in hamedan province and providing management strategies for better exploitation using GMS numerical model.

Materials and Methods

Due to the subsidences that has occurred in this plain and its surroundings, in this research, the simulation of the groundwater level of this plain was done using the GMS model under different management scenarios. This research was done in 2022. The conceptual and numerical model of Famenin Plain was prepared based on information about wells and piezometers, geological map and bedrock, information on hydraulic conductivity and specific yield, rivers and recharge of the plain. First, the model was calibrated and validated in transient mode. Also, the sensitivity analysis of influential parameters in the model was done. Assuming the continuation of the current situation, the simulation of system performance was carried out from October 2023 to September 2038 for 15 years. After that, in the second scenario (implementation of structural measures), the groundwater level in the plain was predicted for the next 15 years, assuming the use of storage structures or artificial recharge ponds.

Results and discussion

The results showed that if the aquifer is operated according to the existing pattern, the water level in the aquifer will drop by an average of 11.6 meters at the end of the 15-year period. It should be noted that the maximum drop in the Famenin aquifer in this scenario was around 84 meters in the areas of the southwest of the aquifer. It should be noted that the largest concentration of sinkholes is in this section. The model was re-implemented for the operation conditions of the water storage structures and artificial recharge of the plain and the prediction of the groundwater level was made in these conditions for the next 15 years. The results of the exploitation scenario of the structures showed that the average drop of the groundwater level in the entire aquifer at the end of the period will be 11.2 meters. Therefore, compared to the reference scenario, this scenario indicates an adjustment of the groundwater drop by 0.4 meters. However, the largest amount of drop in this scenario will be 81.6 meters in the southwestern areas of the plain, which indicates a maximum drop adjustment of 2.4 meters. Also, the lowest amount of drop in the plain in both scenarios is related to the eastern and southeastern regions. So that in some of these areas, in the reference scenarios and exploitation of structures, the maximum amount of water level rise will be 3.1 and 3.2 meters, respectively.

Conclusion

It can be concluded that according to the state of exploitation of the groundwater resources of the Famenin aquifer, the biggest reason for the level drop in this plain is the withdrawal of agricultural wells due to their accumulation in the center of the plain. In case of implementation and exploitation of structural measures in the plain, the amount of level drop in the region will be adjusted to some extent, but the problem will not be solved. Therefore, it is suggested that considering the increasing trend of the population and the possibility of increasing the withdrawal from these resources in the coming years, in addition to exploiting the ponds and recharge wells and completing the structural measures by building new levees and increasing the number of recharge ponds, following the modification of the cultivation pattern of the area and replacement of low consumption crops instead of high consumption crops. However, it is better to take into account the current situation of the aquifer and the creation of numerous sinkholes that indicate excessive withdrawal from the aquifer, in addition to the above measures, a comprehensive plan should be implemented with the cooperation of the government and farmers and by spending a large budget to restore the aquifer and control settlement and in the first step, by persuading the farmers to fill the unauthorized wells or rent a part of the land that is harmful to the environment by the government and remove them from the groundwater withdrawal cycle.