



Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
Water and Soil
Resources Conservation
(WSRCJ)

Web site:

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

Email:

iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 13
No. 3 (51)

Received:
2023-02-20

Accepted:
2023-11-01

Pages:17 -28

Study the Long-Term Effects of Industrial and Agricultural Uses on the Fluctuations of the Groundwater Level of Shazand Plain

Siamak Amiri¹, Ahmad Rajabi^{2*}, Saeid Shabanlou², Fariborz Yosefvand²
and Mohammad Ali Izadbakhsh²

1) Ph.D. Candidate, Department of Water Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran.

2) Department of Water Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran.

*Corresponding author email: ahmad.rajabi1974@gmail.com

Abstract:

Background and Aim: Nowadays, by increasing the water demand in different sectors, the withdrawal amount from groundwater resources is increasing leading to more drawdown of Markazi province aquifers. One of the most suitable methods for the optimal management of groundwater resources is the analysis of the behavior of aquifers in various conditions using mathematical models. The objective of this paper is to investigate the effects of withdrawal for agricultural and industrial consumptions on the groundwater level of the Shazand plain located in Markazi Province and the impact of a 20% increase in irrigation efficiency of farms in the case of the development of under pressure and low-consumption systems using the GMS numerical model.

Method: First, the conceptual and numerical model of the Shazand aquifer was executed in the GMS software and calibrated in the steady state. Then, the model was recalibrated in a transient state for the statistical period from October 2015 to September 2019. To examine the reactions of the model to the changes of important and effective parameters, the sensitivity analysis of the model was performed and the model was verified for the statistical period of October 2019 to September 2021. Then, the changes in the groundwater level in the aquifer under two reference management scenarios and increasing irrigation efficiency were investigated and compared. In the reference scenario assuming the continuation of the current conditions and in the efficiency increase scenario assuming a 20% increase in irrigation efficiency, the simulation of changes in the groundwater level in the entire Shazand plain for the upcoming 20 years from October 2021 to September 2041 was carried out.

Results: Based on the obtained results, the RMSE error value related to the steady state recalibration is about 0.7 meters and the average RMSE error value in the transient state in all months of simulation in two recalibration and validation periods is less than 0.6 meters, which shows the high accuracy of the model in simulating the groundwater level in the whole plain. The sensitivity analysis showed that the changes in specific yield and hydraulic conductivity parameters have the greatest effect on the fluctuations of groundwater in the whole plain. The results showed that in the reference scenario, the drop in the groundwater level at the end of the 20-year operation period is 3.95 meters. In the scenario of a 20% increase in efficiency, with the reduction of extraction from wells due to the increase in irrigation efficiency, the amount of drop will reach 2.76 meters, in which case the amount of drop will be mitigated by 1.2 meters.

Conclusion: According to the results, the highest drop in the groundwater level in both reference and increase in efficiency scenarios in the central areas of the plain is 9.2 and 6.9 meters, respectively, and the lowest drop in the western areas of the plain is 1 and 0.5 meters, respectively. Considering that the agricultural sector has the greatest impact on the level drop in the aquifer in the central areas of the plain, it is better to focus management plans to control withdrawal from the aquifer, such as increasing efficiency or modifying the cultivation pattern, on this sector. In case of the implementation of systems under pressure and increasing efficiency in the plain, the amount of drawdown in the region will be mitigated to some extent, but the problem will not be solved and it is necessary to implement supplementary programs to cultivate high consumption plants instead of high consumption crops and in the industry sector instead of extracting groundwater, treated municipal wastewater should be used.

Keywords: Groundwater level, Irrigation Efficiency, GMS Numerical model, Hydraulic Conductivity





بررسی اثرات بلندمدت مصارف آب بخش صنعت و کشاورزی بر نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت شازند

سیامک امیری^۱، احمد رجبی^{۲*}، سعید شعبانلو^۳، فریبرز یوسفوند^۴، محمد علی ایزدبخش^۲

(۱) دانشجوی دکتری منابع آب، گروه مهندسی آب، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران.

(۲) گروه مهندسی آب، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران.

* ایمیل نویسنده مسئول: ahmad.rajabi1974@gmail.com

چکیده:

زمینه و هدف: امروزه با افزایش نیاز آبی در بخش‌های مختلف میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی در حال افزایش است و این امر منجر به افت بیشتر تراز آب، در آبخوان‌های استان مرکزی شده است. یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی، تجزیه و تحلیل رفتار آبخوان‌ها در شرایط مختلف با استفاده از مدل‌های ریاضی است. هدف از این تحقیق بررسی اثرات برداشت مصارف کشاورزی و صنعتی بر تراز آب زیرزمینی دشت شازند در استان مرکزی و تاثیر افزایش ۲۰ درصدی راندمان آبیاری در اراضی کشاورزی در صورت توسعه سیستم‌های تحت فشار و کم مصرف با استفاده از مدل عددی GMS می‌باشد.

روش پژوهش: ابتدا مدل مفهومی و عددی آبخوان شازند در نرم افزار GMS اجرا شده و در حالت ماندگار واسنجی شد. سپس مدل در حالت غیرماندگار برای دوره آماری مهر ۱۳۹۴ تا شهریور ۱۳۹۸ واسنجی شد. برای بررسی واکنش‌های مدل به ازای تغییرات پارامترهای مهم و موثر، آنالیز حساسیت مدل انجام شد و مدل برای دوره آماری مهر ۱۳۹۸ تا شهریور ۱۴۰۰ صحت‌سنجی شد. سپس تغییرات تراز آب زیرزمینی در آبخوان تحت دو سناریوی مدیریتی مرجع و افزایش راندمان آبیاری مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. در سناریوی مرجع با فرض ادامه وضع موجود و در سناریوی افزایش راندمان با فرض افزایش ۲۰ درصدی راندمان آبیاری، شبیه‌سازی تغییرات تراز آب زیرزمینی در کل دشت شازند برای ۲۰ سال آتی از مهر ۱۴۰۰ تا شهریور ۱۴۲۰ انجام شد.

یافته‌ها: براساس نتایج بدست آمده مقدار خطای RMSE مربوط به واسنجی حالت ماندگار در حدود ۰/۷ متر و مقدار متوسط خطای RMSE در حالت غیرماندگار در تمام ماه‌های شبیه‌سازی در دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی کمتر از ۰/۶ متر است که نشان دهنده دقت بالای مدل در شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی در کل دشت است. آنالیز حساسیت نشان داد، تغییرات پارامترهای آبدی و ویژه و هدایت هیدرولیکی بیشترین تاثیر را بر نوسانات آب زیرزمینی در کل دشت دارد. نتایج نشان داد در سناریوی مرجع افت تراز آب زیرزمینی در انتهای دوره ۲۰ ساله بهره‌برداری، ۳/۹۵ متر می‌باشد. در سناریوی افزایش ۲۰ درصدی راندمان، با کاهش برداشت از چاه‌های بهره‌برداری در اثر افزایش راندمان آبیاری، مقدار افت به ۲/۷۶ متر خواهد رسید که در این صورت میزان افت حدود ۱/۲ متر تعدیل خواهد یافت.

نتایج: بر اساس نتایج، بیشترین افت تراز آب زیرزمینی در دو سناریوی مرجع و افزایش راندمان در مناطق مرکزی دشت به ترتیب ۹/۲ و ۶/۹ متر است و کمترین میزان افت در مناطق غربی دشت به ترتیب ۱ و ۰/۵ متر است. با توجه به اینکه بخش کشاورزی بیشترین تاثیر را بر افت تراز در آبخوان در نواحی مرکزی دشت دارد، بهتر است برنامه‌های مدیریتی برای کنترل برداشت از آبخوان مانند افزایش راندمان یا اصلاح الگوی کشت بر روی این بخش متمرکز شود. در صورت اجرای سیستم‌های تحت فشار و افزایش راندمان در دشت تا حدودی میزان افت تراز در منطقه تعدیل می‌شود اما مشکل حل نخواهد شد و لازم است با اجرای برنامه‌های تکمیلی، بجای محصولات آب بر، گیاهان با نیاز آبی کم کشت شود و در بخش صنعت نیز بجای برداشت از آب زیرزمینی از پساب تصفیه شده شهری استفاده گردد.

کلیدواژه‌ها: تراز آب زیرزمینی، راندمان آبیاری، مدل عددی GMS، هدایت هیدرولیکی



مقدمه

کشور ایران به علت قرار گرفتن در اقلیم خشک و نیمه خشک، دارای سهم کمی از نزولات جوی نسبت به میانگین جهانی است که برای تغذیه آبخوان‌ها و جبران حجم برداشت از منابع آب زیرزمینی کافی نیست. خشکسالی‌های متعدد در سال‌های اخیر باعث تشدید کمبود آب و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی شده است. لذا بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی، مستلزم اجرای برنامه‌های مدیریتی موثر برای کاهش برداشت از آبخوان و تعدیل افت تراز آب زیرزمینی است. در جنوب ایران به دلیل محدودیت‌های منابع آبی و وقوع خشکسالی در سال‌های اخیر و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی مشکل بحران آب تشدید شده است. بنابراین بررسی خصوصیات رفتار آبخوان‌ها امری ضروری بوده و برای این منظور بهترین روش شبیه‌سازی 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 بهره‌برداری بهینه از آبخوان مورد نظر استفاده نمود. بدین جهت شبیه‌سازی رفتار آبخوان‌ها و اعمال تنش‌های مختلف با سناریوهای متفاوت در مدیریت منابع آب زیرزمینی نقش بسزایی دارد.

ناقلی و همکاران (۱۳۹۰) برای تهیه بیلان هیدرولوژیکی دشت نجف آباد از مدل MODFLOW استفاده نمودند. با اجرا و واسنجی مدل در دو حالت ماندگار و غیرماندگار مشخص شد که بیشترین سهم تغذیه‌ی آبخوان از آبخوان‌های مجاور است. محتشم و همکاران (۱۳۹۰) نیز به پیش‌بینی سطح ایستابی در آبخوان بیرجند با بکارگیری نرم افزار GMS پرداخته و سطح ایستابی را در سه حالت ترسالی، نرمال و خشکسالی پیش‌بینی نمودند. نتایج نشان داد که سطح آب به دلیل برداشت بی‌رویه از آبخوان در سال‌های ترسالی و خشکسالی همواره با افت مواجه می‌باشد. فقط پیرومترهای خروجی دشت به دلیل بالا بودن همیشگی سطح آب روند یکنواختی را نشان می‌دهد. مهدوی و همکاران (۱۳۹۲) کارایی مدل MODFLOW در پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی در دشت بهار-همدان را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق مقدار جذر میانگین مربعات خطای مدل (RMSE) در دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب ۱/۲ و ۱/۵ متر بدست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد 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. قبادیان و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی بهره‌برداری از سد گاوشان برای تامین بخش از نیاز کشاورزی دشت میاندربند و اثرات آن بر تراز آب زیرزمینی دشت میاندربند با استفاده از مدل GMS

پرداختند. نتایج نشان داد در اثر تامین بخشی از آب مورد نیاز دشت توسط سد گاوشان، تراز آب زیرزمینی در نواحی مرکزی دشت برای ۵ سال و ۱۰ سال به ترتیب به میزان ۳/۲ و ۵/۲ متر بالا خواهد آمد. پورحقی و همکاران (۱۳۹۳) به منظور مدیریت بهره‌برداری از آبخوان دشت نورآباد در شرایط خشکسالی از مدل MODFLOW استفاده کردند. نتایج نشان داد در شرایط عادی افت تراز آب زیرزمینی برای دو سال آبی ۱/۵ متر خواهد بود. اجرای مدل در شرایط خشکسالی، نشان داد تراز آب زیرزمینی به طور متوسط ۲/۵ متر افت می‌کند که با کاهش ۲۵ درصدی آبدهی چاه‌های بهره‌برداری این مقدار افت به ۱/۳ متر کاهش می‌یابد و حجم ذخیره آبخوان به‌طور متوسط ۳/۵ میلیون مترمکعب بهبود پیدا می‌کند. لوی و همکاران^۱ (۲۰۱۳) برای بررسی تأثیر لایه‌بندی آبخوان بر ضخامت ناحیه‌ی تداخل آب شور و شیرین در آبخوان ساحلی در حالت ماندگار، علاوه بر شبیه‌سازی عددی با مدلی ترکیبی از MODFLOW و SEAWAT2000، یک سری آزمایش در یک تانک مملو از سه لایه ماسه‌ی ساحلی با متغیر در نظر گرفتن شکل لایه‌ها انجام دادند. نتایج نشان داد، زمانی که در آبخوان‌های ساحلی یک لایه با نفوذپذیری زیاد روی یک لایه با نفوذپذیری کم قرار می‌گیرد، ضخامت ناحیه‌ی تداخل آب شور و شیرین کمتر است. علت این امر، پراکنش و شکست خطوط جریان آب در فصل مشترک دو لایه است.

نارولله و گوسیان^۲ (۲۰۱۳) توزیع مکانی و زمانی موجودیت آب، تغذیه آب زیرزمینی و تغییرات غیرنقطه‌ای نیترات را در حوضه هیمالایان^۳ در کشور هندوستان ارزیابی نمودند. آنها در این تحقیق از مدل SWAT در ترکیب با مدل‌های MODFLOW و MT3DMS برای شبیه‌سازی جریان سطحی، جریان آب زیرزمینی و توزیع بار نیترات در کل حوضه استفاده کردند. نتایج نشان داد جریان آب سطحی و زیرزمینی شبیه‌سازی شده همبستگی در حدود ۰/۷ با مقادیر مشاهداتی طبق شاخص نش-سانکلیف^۴ دارد. همچنین غلظت نیترات در مناطق با تغذیه کم آب زیرزمینی بیشتر از سایر مناطق است.

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 می‌تواند 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 (زینعلی و همکاران (۲۰۲۰a,b)). اما در تحقیق حاضر به دلیل نبود آمار و اطلاعات کافی در خصوص منابع آب سطحی و مقاطع رودخانه ای امکان محاسبه اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی وجود نداشت. مزیت روش‌های شبیه‌سازی در

راندمان آبیاری، میزان تغذیه از سطح زمین به عنوان یک لایه تاثیرگذار در بیلان منابع آب زیرزمینی با توجه به کاهش تلفات نفوذ در اثر کاربرد سامانه‌های تحت فشار اصلاح شد.

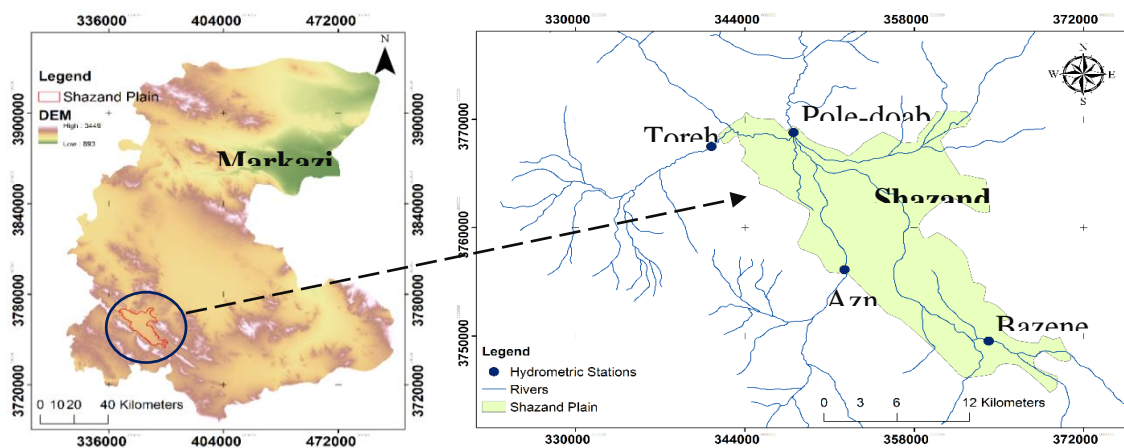
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی دشت شازند واقع در استان مرکزی با وسعت ۲۷۳/۱۹ کیلومتر مربع در حوضه آبریز رودخانه قره‌چای قرار گرفته است. براساس مطالعات آزمایشگاهی پمپاژ انجام شده در دشت شازند حداکثر ضریب قابلیت انتقال ۲۵۰۰ متر مربع در روز در مناطق مرکزی دشت محاسبه شده است که به سمت شرق و شمال شرق دشت مقدار آن به کمتر از ۵۰۰ متر مربع در روز می‌رسد. آبدهی ویژه متوسط دشت شازند حدود ۵ تا ۶ درصد برآورد می‌گردد. براساس آخرین آماربرداری انجام شده در سال ۱۳۸۸ منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی شامل ۷۵۷ چاه کشاورزی، ۱۹ چاه صنعتی (پالایشگاه و نیروگاه شازند) و ۳۶ چشمه و قنات می‌باشد. میزان تخلیه سالیانه توسط چاه‌های کشاورزی و صنعتی ۱۲۶/۸۷ میلیون متر مکعب، قنات‌ها ۴/۳۷ میلیون متر مکعب و چشمه‌ها تخلیه ۱۳/۵۶ میلیون متر مکعب می‌باشد که با توجه به آمار فوق چاه‌های بهره‌برداری ۸۷/۶۱ درصد، قنات ۳/۰۲ درصد و چشمه‌ها ۹/۳۶ درصد از کل تخلیه منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی شازند را شامل شده‌اند. رودخانه اصلی عبوری از دشت زیرشاخه رودخانه شراه است که از سرشاخه‌های عمده قره‌چای به شمار می‌رود این رودخانه سرتاسر طول محدوده را از جنوب تا شمال طی نموده و از شمال محدوده در ناحیه خنداب وارد دشت کمیجان می‌شود. شکل (۱) موقعیت محدوده مطالعاتی و رودخانه‌ها و ایستگاه‌های هیدرومتری را نشان می‌دهد.

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 سیستم‌های 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 (بایسته و همکاران^۵ (۲۰۲۱)؛ هو و همکاران^۶ (۲۰۱۶)؛ ایوکوویچ^۷ (۲۰۰۹)؛ پهار و دهار^۸ (۲۰۱۴). پیش بینی تراز آب زیرزمینی بدون استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی معمولاً بصورت یک سری میانگین بوده و نقشه توزیعی برای دشت ارایه نمی‌دهد (گوزمن و همکاران^۹ (۲۰۱۹)؛ ندیری و همکاران^{۱۰} (۲۰۱۹). 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 (شمسایی و فرقانی (۱۳۹۰)؛ زیبایی و همکاران^{۱۱} (۲۰۱۳). اسماعیلی و همکاران (۲۰۲۱)؛ یوسفوند و شعبانلو (۲۰۲۰)؛ پورسعید و همکاران (۲۰۲۰، ۲۰۲۱)؛ عزیزپور و همکاران (۲۰۱۹ الف و ب)؛ ملکزاده و همکاران (۲۰۱۹ الف و ب)؛ محمد و همکاران (۲۰۲۳)؛ امیری و همکاران (۲۰۲۳)؛ فلاحی و همکاران (۲۰۲۳)؛ مزرعه و همکاران (۲۰۲۳). بررسی تحقیقات انجام شده حاکی از اثر انکار ناپذیر مدیریت برداشت از منابع آب زیرزمینی بر میزان افت آبخوان‌ها دارد.

هدف از این تحقیق بررسی اثر برداشت مصارف کشاورزی و صنعتی بر تراز آب زیرزمینی دشت شازند در استان مرکزی و تاثیر افزایش ۲۰ درصدی راندمان آبیاری در اراضی کشاورزی در صورت توسعه سیستم‌های تحت فشار و کم مصرف با استفاده از مدل عددی GMS می‌باشد. لذا در تحقیق حاضر اثر افزایش راندمان آبیاری با توسعه سامانه‌های تحت فشار بر کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی و میزان افت تراز آبخوان شازند مورد بررسی قرار گرفت. تفاوت تحقیق حاضر با سایر تحقیقات این است که علاوه بر اصلاح میزان نیازآبی دشت بر اساس افزایش



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه

تهیه مدل مفهومی و عددی

برای تهیه مدل مفهومی دشت، نقشه‌ها و اطلاعات مربوط به محدوده دشت، موقعیت چاههای بهره‌برداری، پیزومترها و رودخانه‌ها که در محیط GIS تهیه شده بود در نرم‌افزار GMS فراخوانی شده و اطلاعات مربوط به مقدار برداشت از چاهها، تراز آب پیزومترها، تراز کف و سطح آب رودخانه‌ها و سایر اطلاعات مربوط به زون‌بندی اولیه هدایت هیدرولیکی و تغذیه تعریف شد. در بخش مدل مفهومی برای شبیه‌سازی مرزهای ورودی و خروجی دشت شازند از مرز با بار هیدرولیکی عمومی^{۱۲} (GHB) استفاده شد. بر خلاف مرز با بار هیدرولیکی مشخص، سطح آب در این نوع مرز ثابت نمی‌باشد و ممکن است با رسیدن اثر استرس‌های داخلی به مرز سطح آب آن تغییر کند. توزیع بار هیدرولیکی دشت در آغاز شبیه‌سازی در شهریور ۱۳۹۴، به عنوان شرایط اولیه مدل تعریف شد که نوعی مرز زمانی برای سیستم مورد مطالعه است. برای مشخص شدن حد آستانه بالای مدل (TOP) از خطوط توپوگرافی و نقاط ارتفاعی دشت استفاده شده و نقشه رقمی ارتفاعی دشت ترسیم شد. با استفاده از مقاطع ژئوفیزیکی تهیه شده دشت و اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای که به سنگ کف برخورد کرده‌اند نقشه ارتفاع سنگ کف دشت شازند (BOTTOM) تهیه شد. پس از تکمیل اطلاعات فوق، برای تبدیل مدل مفهومی به مدل عددی، شبکه‌بندی مدل انجام شد. ابعاد سلول‌های شبکه ۲۵۰×۲۵۰ متر در نظر گرفته شد. لذا شبکه‌بندی مدل با تعداد ۱۳۱۸۹ سلول (۱۲۱ سطر و ۱۰۹ ستون) با فواصل ۲۵۰ متر ساخته شد که شامل ۴۳۸۲ سلول فعال بود. برای بررسی تاریخی نوسانات آب زیرزمینی و انتخاب ماه ماندگار، هیدروگراف واحد دشت شازند در یک دوره ۱۸/۵ ساله (فروردین ۱۳۸۲ تا شهریور ۱۴۰۰) که اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای کامل بود ترسیم شد. بررسی این هیدروگراف نشان داد نوسان سطح آب در مهرماه سال ۱۳۹۷ حالت ماندگارتری نسبت به سایر ماه‌ها دارد.

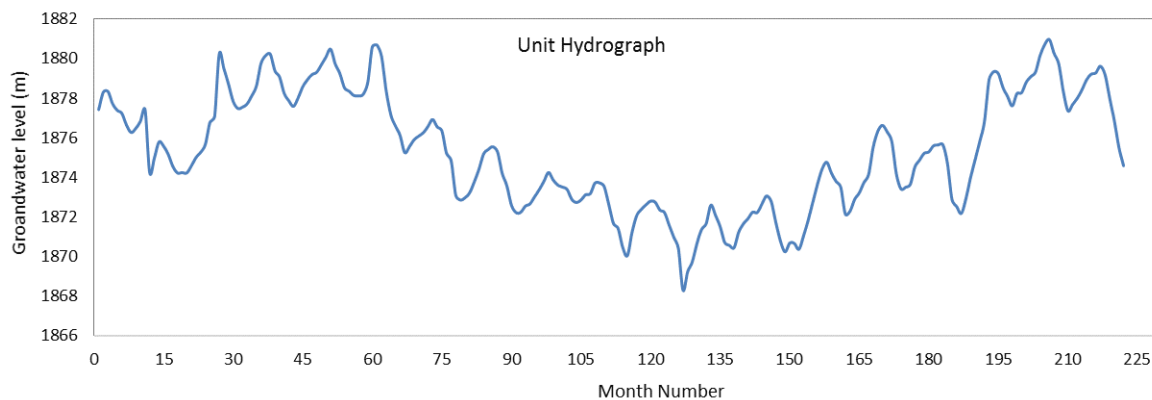
بنابراین در مدل آب زیرزمینی این ماه به عنوان ماه ماندگار در نظر گرفته شد (شکل ۲). لذا مدل حالت ماندگار برای دوره ماندگار مهر ۱۳۹۷ واسنجی شد.

برآورد بهره‌برداری از چاه‌ها و تغذیه دشت

در محدوده مطالعاتی برای تأمین نیاز مصارف صنعتی (پالایشگاه و پتروشیمی و نیروگاه شازند) و کشاورزی از چاههای عمیق و نیمه‌عمیق و قنات‌ها استفاده می‌شود. تراکم چاهها در قسمت مرکزی و شرق دشت بیشتر است. تغذیه دشت یکی از پارامترهای مهم در مدل آب زیرزمینی می‌باشد. برای در نظر گرفتن تغذیه در منطقه مطالعاتی از بسته RCH استفاده شد. معمولاً به دلیل ویژگی‌های مختلف خاک‌شناسی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، شدت بارندگی و شیب زمین، در نقاط مختلف میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی متفاوت می‌باشد. بر اساس اطلاعات فوق زون‌بندی اولیه تغذیه آب زیرزمینی انجام شد و در طول فرآیند واسنجی و صحت‌سنجی پهنه‌های مختلف تغذیه آبخوان در لایه تغذیه اصلاح و تدقیق گردید.

برآورد پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان

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



شکل ۲. هیدروگراف واحد دشت شازند از فروردین ۱۳۸۲ تا شهریور ۱۴۰۰

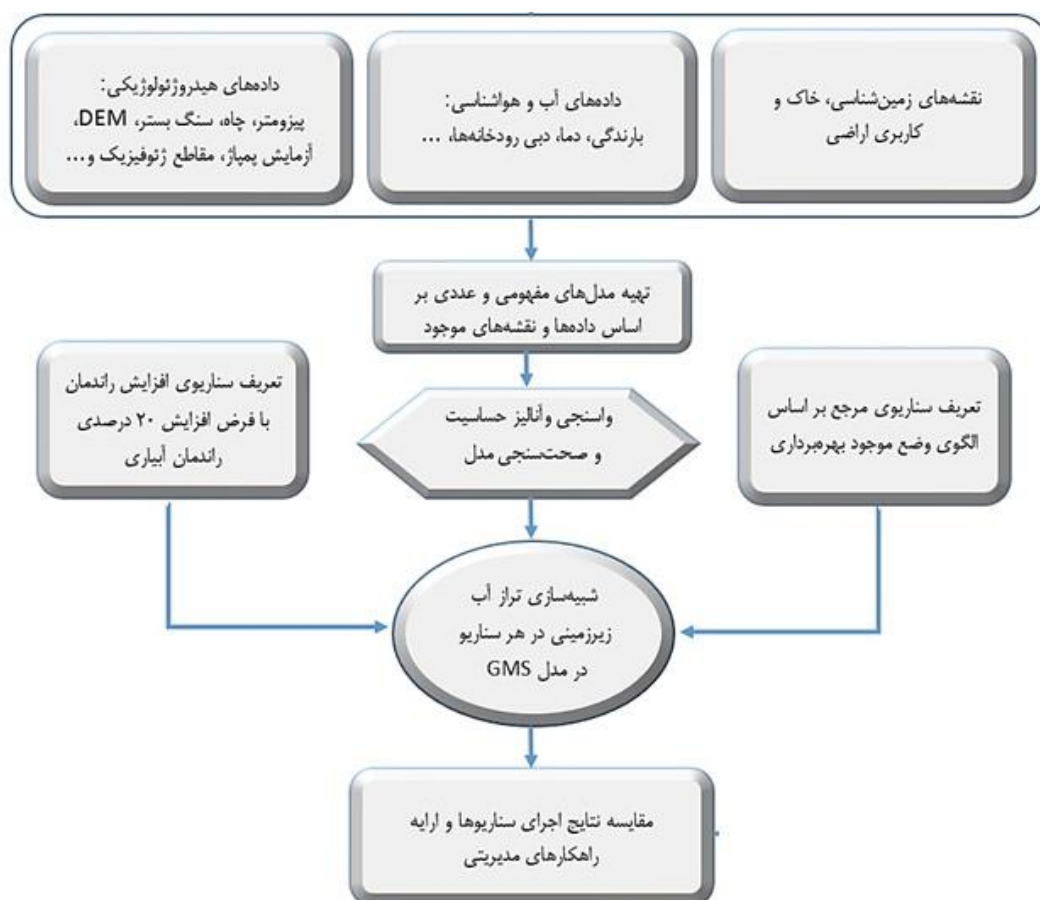
واسنجی مدل در حالت ماندگار و غیرماندگار

بعد از اینکه تمام بسته‌ها 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 شازند در دو حالت ماندگار و غیرماندگار واسنجی و صحت‌سنجی گردید با این هدف که اختلاف مقادیر محاسباتی و مشاهداتی کمتر از یک متر باشد. در طول فرآیند واسنجی در حالت ماندگار پارامترهای هدایت هیدرولیکی، قابلیت انتقال سلول‌های مرزی و قابلیت انتقال بستر رودخانه و زون‌بندی تغذیه تا زمان کاهش اختلاف تراز آب شبیه‌سازی شده با تراز آب زیرزمینی مشاهداتی به کمتر از ۱ متر در تمامی پیژومترها برای مهر ماه ۱۳۹۷ تغییر داده شده و مدل اجرا گردید. سپس واسنجی مدل در حالت غیرماندگار با استفاده از داده‌های ثبت شده پیژومتری مربوط به ۲۸ چاه مشاهده‌ای در کل دشت انجام شد. در حالت غیرماندگار علاوه بر تغییر مجدد مقادیر پارامترهای فوق، مقادیر مختلف ضریب آبدهی ویژه آبخوان در مناطق مختلف دشت برای تدقیق نتایج مدل و افزایش دقت شبیه‌سازی مدل برای یک دوره آماری ۴ ساله (مهر ۱۳۹۴ تا شهریور ۱۳۹۸) مورد آزمون قرار گرفت. واسنجی مدل با اصلاح پارامترهای فوق به

روش آزمون و خطا (دستی) برای هر دو حالت ماندگار و غیرماندگار انجام شد.

آنالیز حساسیت و صحت‌سنجی

آنالیز حساسیت شامل ارزیابی کمی تغییرات خروجی‌های مدل نسبت به تغییرات ورودی‌های مدل است. آنالیز حساسیت جهت مشخص کردن متغیرهایی است که با تغییر آن‌ها بیشترین تغییر در تراز آب زیرزمینی ایجاد می‌شود. برای آنالیز حساسیت با تغییر پارامترهای تاثیرگذار در شبیه‌سازی مانند هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه در یک آستانه مشخص، مدل بارها اجرا شد. در هر بار اجرای مدل تنها یک پارامتر با درصد معینی تغییر داده شده و نوسانات تراز آب زیرزمینی مورد ارزیابی قرار گرفت. برای تصدیق عملکرد مدل و ارزیابی مرحله واسنجی، صحت‌سنجی مدل بدون تغییر در پارامترهای بهینه استخراج شده در مرحله واسنجی، برای دوره آماری ۲ ساله از مهر ۱۳۹۸ تا شهریور ۱۴۰۰ انجام شد. شاخص RMSE برای بررسی میزان دقت مدل در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۳. فلوچارت مراحل انجام تحقیق

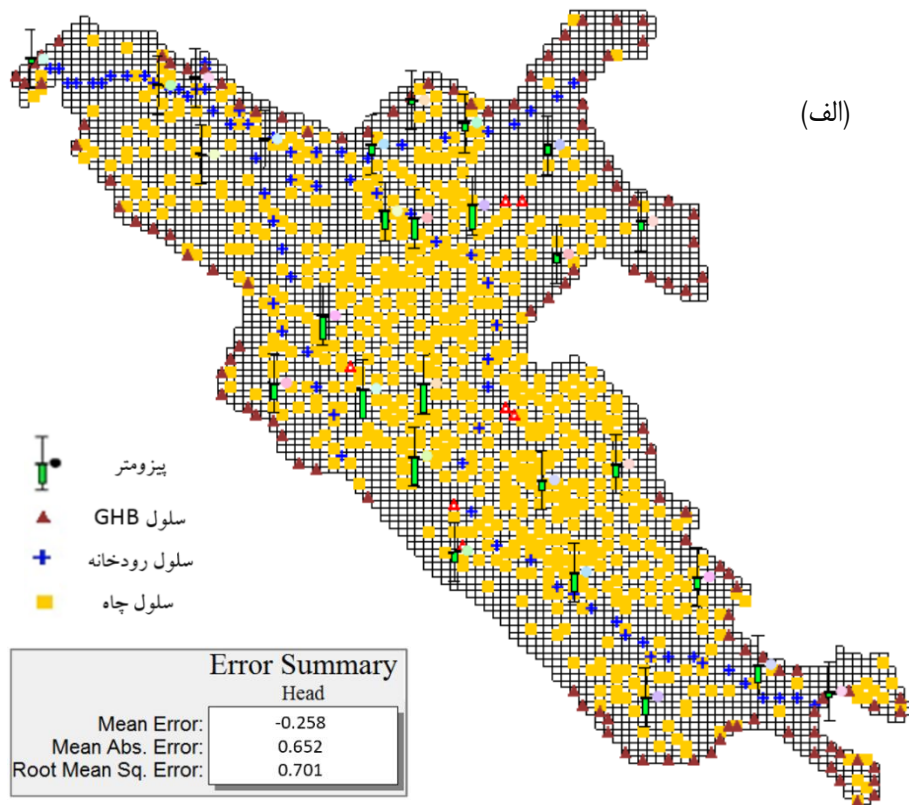
پیش‌بینی تغییرات تراز آب زیرزمینی

پس از اطمینان از درستی عملکرد مدل، شبیه‌سازی تغییرات تراز آب زیرزمینی در اثر برداشت مصارف صنعتی و کشاورزی برای یک دوره آماری ۲۰ ساله (مهر ۱۴۰۰ تا شهریور ۱۴۲۰) در قالب دو سناریوی مدیریتی انجام شد. سناریوی اول تحت عنوان سناریوی مرجع با فرض ادامه وضع موجود و بدون تغییر در میزان بهره‌برداری آب توسعه داده شد. سناریوی دوم با فرض افزایش ۲۰ درصدی راندمان آبیاری در بخش کشاورزی و کاهش برداشت از چاه‌های بهره‌برداری توسعه داده شد و در نهایت نتایج سناریوهای مورد نظر با یکدیگر مقایسه شدند. در سناریوی مرجع که به عنوان سناریوی پایه در نظر گرفته شده است فرض شده که در ۲۰ سال آینده شرایط بهره‌برداری از آبخوان مطابق با ۲۰ سال گذشته باشد و تغییری در میزان

برداشت از چاه‌ها صورت نگیرد. در سناریوی افزایش راندمان فرض شده مقدار راندمان آبیاری در ۲۰ سال آتی حدود ۲۰ درصد افزایش یابد و بر اساس آن میزان مصرف آب کشاورزی حدود ۲۰ درصد کاهش پیدا کرده. لذا میزان برداشت از چاه‌ها بر اساس مقدار نیازآبی جدید، کاهش داده شد. برای روش شدن مراحل تحقیق، فلوجارت مراحل انجام کار در شکل (۳) نشان داده شده است.

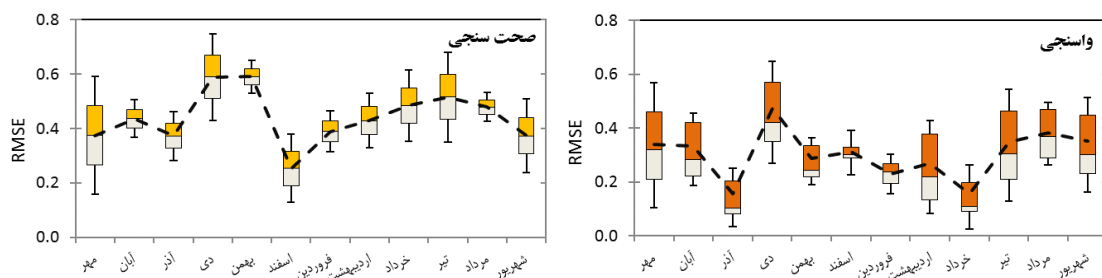
نتایج و بحث

نتایج حاصل از مراحل واسنجی و صحت‌سنجی مدل در دو حالت ماندگار و غیرماندگار در شکل (۴) نشان داده شده است.



(الف)

(ب)

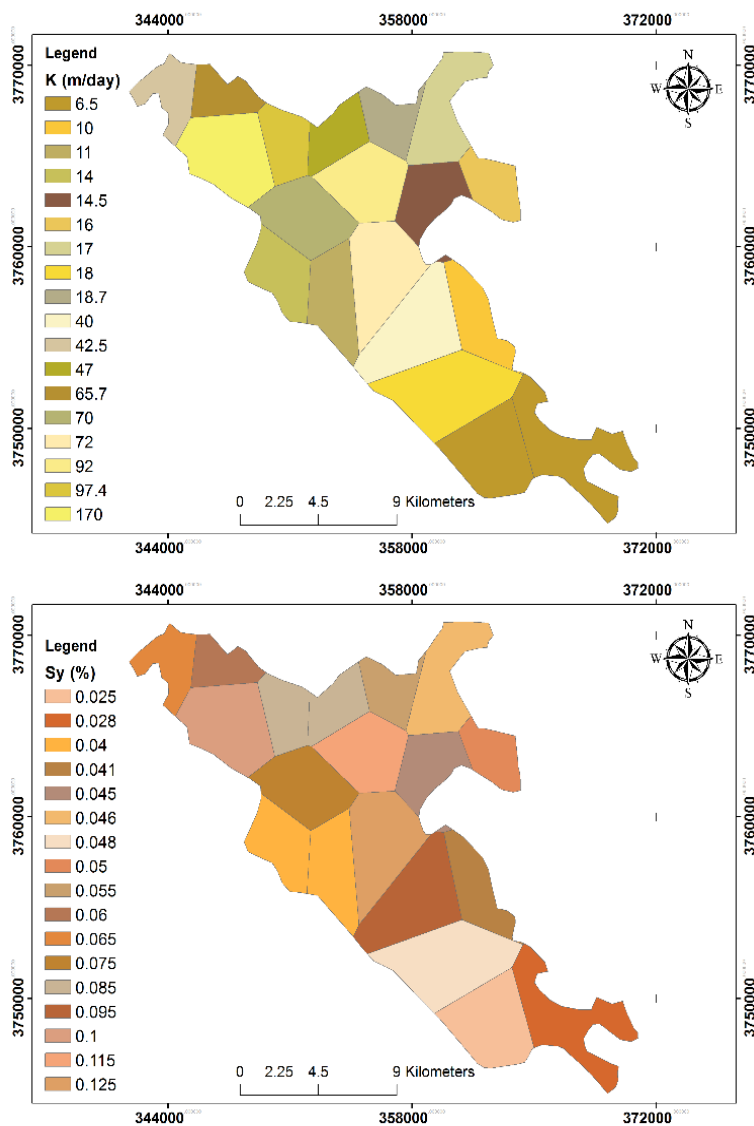


شکل ۴. الف- اجزای مدل عددی تهیه شده دشت شازند و واسنجی آن در حالت ماندگار ب- مقادیر RMSE برآورد تراز آب در مدل GMS در حالت غیرماندگار در طول دوره واسنجی و صحت‌سنجی

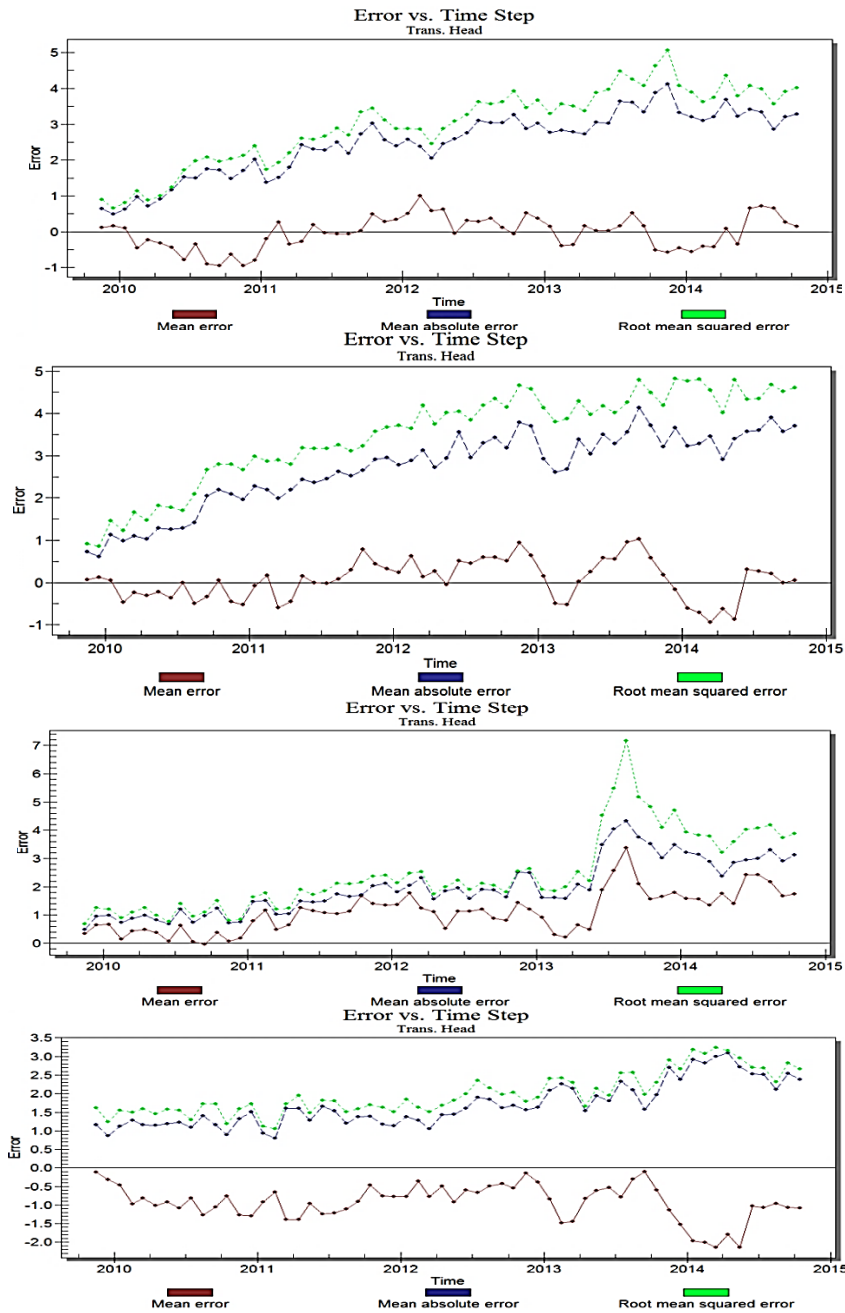
هیدرولیکی در کل دشت به ترتیب $6/5$ و 170 متر بر روز بوده و مقادیر حداقل و حداکثر آبدهی ویژه در کل دشت به ترتیب $0/025$ و $0/125$ (۲/۵ و ۱۲/۵ درصد) می‌باشد.

تحلیل حساسیت یکی از مراحل مهم در مدل‌سازی به شمار می‌آید که به منظور بررسی واکنش‌های مدل به ازای تغییرات پارامترهای مهم و موثر انجام می‌شود. تحلیل حساسیت مدل بعد از مرحله‌ی واسنجی انجام شد و تاثیر تغییر متغیرهای مهم و تاثیرگذار در مدل مانند هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه با اعمال ضریب تغییر $0/75$ و $1/5$ در مقادیر آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی تحلیل حساسیت مدل آب زیرزمینی آبخوان شازند نشان داد که این مدل ابتدا به مقادیر آبدهی ویژه و سپس به مقادیر هدایت هیدرولیکی حساس می‌باشد. در شکل (۶) نتایج اعمال حساسیت نشان داده شده است.

بر اساس نتایج حاصل شده، مقدار خطای RMSE مربوط به واسنجی حالت ماندگار در حدود $0/7$ متر بوده و همچنین مقدار متوسط خطای RMSE در تمام ماههای شبیه‌سازی در دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی حالت غیرماندگار کمتر از $0/6$ متر می‌باشد که نشان دهنده دقت بالای مدل در شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی در کل دشت است. محققان دیگری نیز از مدل‌های GMS و MODFLOW برای شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی در دشت‌های مختلف استفاده کرده‌اند و بر دقت بالای شبیه‌سازی این مدل تاکید داشته‌اند (پورحقی و همکاران (۱۳۹۳)؛ قبادیان و همکاران (۱۳۹۳)؛ زینعلی و همکاران (۲۰۲۰a). شکل (۵) مقادیر بهینه هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه را پس از واسنجی و صحت‌سنجی نشان می‌دهد. همانطور که در راهنمای نقشه نیز مشخص است حداقل و حداکثر هدایت



شکل ۵. مقادیر نهایی ضریب هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه در کل دشت بعد از واسنجی و صحت‌سنجی مدل غیرماندگار



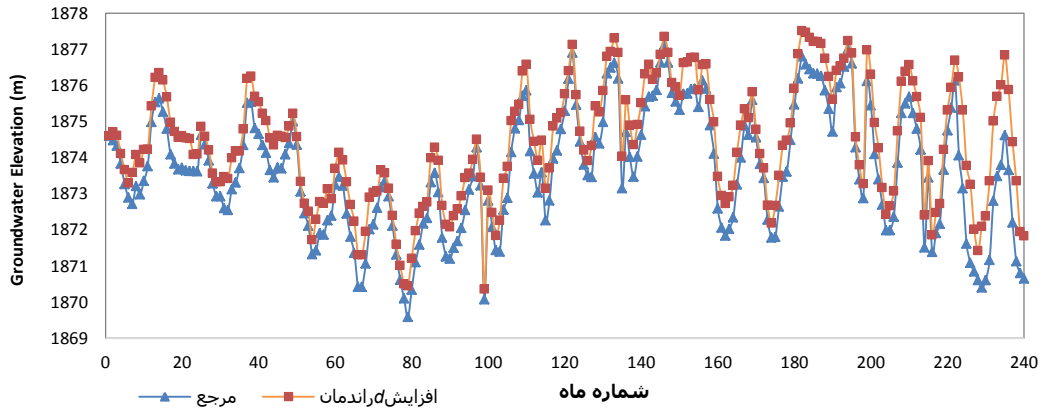
شکل ۶. نتایج تحلیل حساسیت مدل با اعمال ضریب تغییر ۰/۷۵ و ۱/۵ به ترتیب در مقادیر هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه

فشار و کم مصرف تعریف شد. بنابراین با توجه به این موضوع، ۲۰ درصد از مقدار برداشت چاه‌های بهره‌برداری دشت شازند کم کرده و بعد از آن مدل مجدداً اجرا شده و پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی در این شرایط برای مدت ۲۰ سال آینده صورت گرفت. نتایج سناریوی افزایش راندمان نشان داد میزان متوسط افت سطح آب زیرزمینی در کل آبخوان در انتهای دوره به میزان ۲/۷۶ متر خواهد بود. از این رو این سناریو نسبت به سناریوی مرجع حاکی از تعدیل افت آب زیرزمینی به میزان ۱/۲ متر دارد. تغییرات تراز در طول دوره شبیه‌سازی در دو سناریوی ذکر شده در شکل (۷) نشان داده شده است.

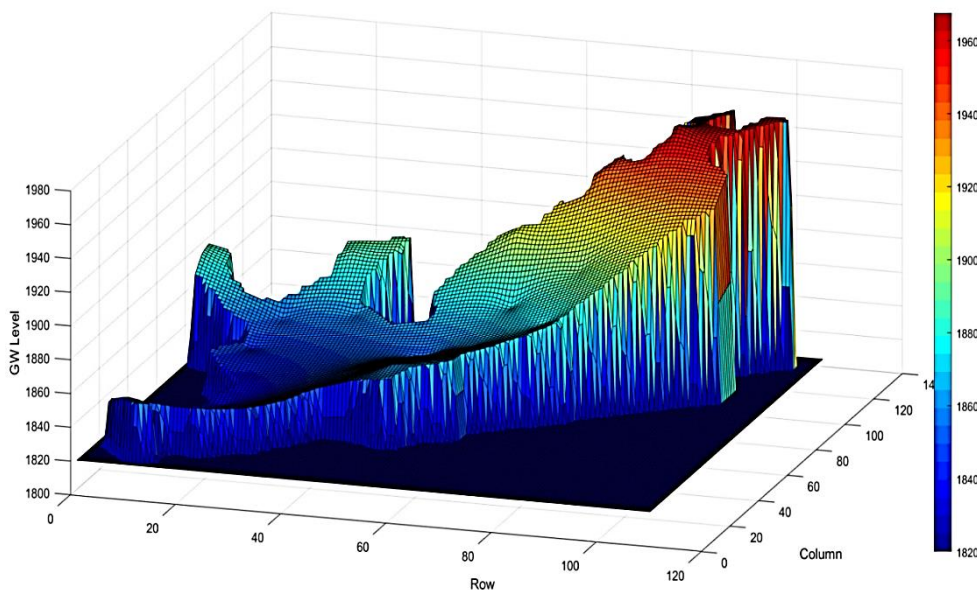
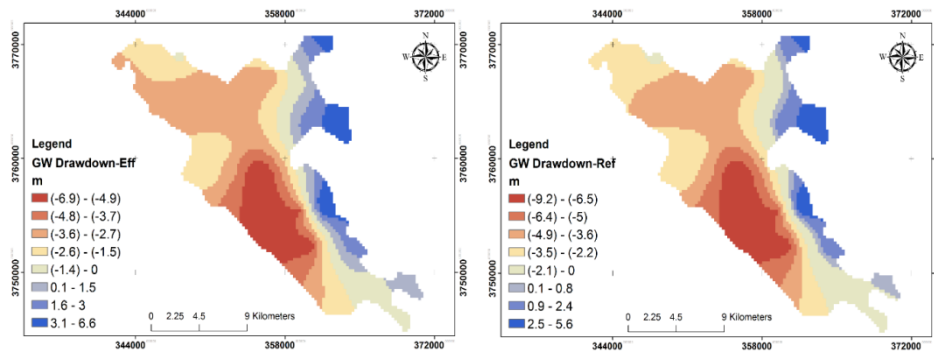
در مرحله‌ی بعد پیش‌بینی مدل با اعمال سناریوهای مختلف صورت گرفت. مهم‌ترین کاربرد مدل پیش‌بینی بدست آوردن دید کلی برای وضعیت آبخوان در آینده با توجه به سناریوهای مورد نظر می‌باشد. در این پژوهش پیش‌بینی تغییرات تراز آب زیرزمینی برای مدت ۲۰ سال آینده با فرض ادامه وضع موجود تحت عنوان سناریوی مرجع صورت گرفت. نتایج نشان داد در صورت بهره‌برداری از آبخوان مطابق با الگوی موجود متوسط تراز آب در انتهای دوره ۲۰ ساله حدود ۳/۹۵ متر افت خواهد داشت. همچنین سناریوی دیگر تحت عنوان سناریوی افزایش راندمان در قالب افزایش ۲۰ درصد به راندمان آبیاری در اراضی کشاورزی در صورت توسعه سیستم‌های تحت

خواهد بود. همچنین کمترین میزان افت در دشت در هر دو سناریو مربوط به نواحی شرقی و شمال شرقی است. همچنین در قسمتی از این مناطق در سناریوهای وضع موجود و افزایش راندمان بیشترین میزان بالآمدگی تراز آب زیرزمینی به ترتیب ۵/۶ و ۶/۶ متر می‌باشد.

تغییرات افت تراز آب زیرزمینی در کل دشت در انتهای دوره ۲۰ ساله بهره‌برداری از آبخوان (شهریور ۱۴۲۰) در سناریوهای مرجع و افزایش راندمان در شکل (۸) نشان داده شده است. شکل (۸) نشان می‌دهد در سناریوی وضع موجود بیشترین میزان افت در نواحی مرکزی دشت در انتهای دوره ۲۰ ساله حدود ۹/۲ متر و در سناریوی افزایش راندمان در حدود ۶/۹ متر



شکل ۷. میانگین تراز آب زیرزمینی مدل‌سازی شده در کل دشت برای ۲۰ سال آینده در سناریوهای مرجع و افزایش راندمان



شکل ۸. الف. تغییرات مکانی افت تراز آب زیرزمینی مدل‌سازی شده در دشت سازند برای ۲۰ سال آینده در سناریوهای مرجع و افزایش راندمان ب. تراز آب زیرزمینی شبیه‌سازی شده در نقاط مختلف دشت بصورت سه بعدی در انتهای دوره ۲۰ ساله در سناریوی افزایش راندمان

نتایج نشان داد در صورت بهره‌برداری بر اساس الگوی وضع موجود مقدار متوسط افت تراز آب زیرزمینی آبخوان دشت شازند در انتهای مدت ۲۰ سال آبی ۳/۹۵ متر می‌باشد. در صورت افزایش ۲۰ درصدی راندمان سیستم آبیاری در جهت افزایش بهره‌وری منابع آب منطقه که منجر به کاهش ۲۰ درصد برداشت از چاه‌های بهره‌برداری خواهد شد این مقدار به ۲/۷۶ متر می‌رسد. در واقع افت تراز آب زیر زمینی با اعمال سناریوی افزایش راندمان در انتهای دوره ۲۰ سال آینده حدود ۱/۲ متر بهبود خواهد یافت. البته بیشترین میزان افت در هر دو سناریوی مرجع و افزایش راندمان مربوط به مناطق مرکزی دشت به ترتیب ۹/۲ و ۶/۹ متر و کمترین میزان افت در مناطق شرقی دشت بین ۱/۵ تا ۲ متر است. همچنین در قسمت‌هایی از شرق و شمال شرق دشت در هر دو سناریو سطح آب به اندازه ۵ تا ۶/۵ متر صعود خواهد کرد. در نهایت می‌توان چنین استنتاج کرد با توجه به وضعیت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی آبخوان شازند بیشترین علت افت تراز در این دشت برداشت چاه‌های کشاورزی به دلیل تجمع بیشتر آن‌ها در مرکز دشت است. بررسی اثرات افزایش راندمان آبیاری بر تغییرات مکانی و زمانی تراز آب زیرزمینی دشت شازند با در نظر گرفتن کاهش تغذیه از دشت در اثر کاهش تلفات نفوذ آب آبیاری با توسعه سامانه‌های تحت فشار از دستاوردهای این تحقیق است. بر اساس نتایج در صورت اجرای سیستم‌های تحت فشار و افزایش راندمان در دشت تا حدودی میزان افت تراز در منطقه تعدیل می‌شود 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 افزایش راندمان به دنبال اصلاح الگوی کشت منطقه و جایگزینی کشت‌های کم مصرف بجای کشت‌های پرمصرف بود. در بخش صنعت نیز بجای برداشت از آب زیرزمینی از پساب تصفیه شده شهری استفاده گردد.

پیش‌بینی وضعیت آبخوان تحت شرایط بهره‌برداری و سناریوهای مختلف بر اساس مدل عددی GMS باعث می‌شود محققان و تصمیم‌گیران بخش آب سیاست‌های مناسبی بر اساس نتایج بدست آمده اخذ نمایند و در راستای بهینه‌سازی سیستم گام بردارند. در تحقیقات بسیاری از پژوهشگران نیز استفاده از این قابلیت مدل، باعث شده تا راهکارهای عملی و اجرایی مختلف و تاثیرگذاری آرایه گردد (محتشم و همکاران (۱۳۹۰)؛ نقلی و همکاران (۱۳۹۰)؛ گوزمن و همکاران (۲۰۱۹)؛ ندیری و همکاران (۲۰۱۹)؛ زینعلی و همکاران (۲۰۲۰b).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد بر اساس تعداد چاه‌ها و پراکنش آنها در کل دشت، بخش کشاورزی بیشترین تاثیر را بر افت تراز در آبخوان داشته است و جهت مدیریت بهینه آبخوان نیاز است که روی این بخش تمرکز بیشتری انجام شود. از جمله راهکارهای قابل اجرا در دشت مورد مطالعه می‌توان به اصلاح الگوی کشت و افزایش راندمان مصرف اشاره کرد که در این تحقیق نیز نتایج قابل قبولی بر اساس این روش حاصل شد. نتایج تحلیل حساسیت مدل نشان داد آبخوان شازند از بین پارامترهای هیدرودینامیکی، بیشتر به تغییرات آبدی ویژه و سپس به پارامتر هدایت هیدرولیکی حساسیت دارد. مقدار متوسط RMSE مربوط به واسنجی مدل در حالت ماندگار با در نظر گرفتن کل محدوده دشت شازند کمتر از ۱ متر و برابر با ۰/۷ متر بدست آمد که کاملاً رضایت بخش است. همچنین بر اساس نتایج بدست آمده، مقدار RMSE در کل دوره ۴ ساله واسنجی و دوره ۲ ساله صحت سنجی بطور متوسط کمتر از ۰/۶ متر محاسبه شد که حاکی از دقت بالای مدل GMS در شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی است.

Reference:

- 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., Yaghoobi, 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.
- 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.SA
- Bayesteh, M., Azari, A. (2021). Stochastic Optimization of Reservoir Operation by Applying Hedging Rules. *Journal of Water Resources Planning Management*, 147(2), 04020099.
- Esmaili, 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, 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. [in Persian]

- 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.
- Hu, L., Xu, Z., Huang, W. (2016). Development of a river-groundwater interaction model and its application to a catchment in Northwestern China. *Journal of Hydrology*, 543, 483–500.
- Ivkovic, K.M. (2009). A top-down approach to characterize aquifer-river interaction processes. *Journal of Hydrology*, 365, 145–155.
- Lu, C., Chen, Y., Zhang, C., Luo, J (2013). Steady-state freshwater-seawater mixing zone in stratified coastal aquifers. *Journal of Hydrology*, 505, 24-34.
- Mahdavi, M., Farokhzadeh. B., Salajegheh, A., Malakian, A., Souri, M. (2013). Simulation of Hamadan-Bahar Aquifer and Investigation of Management Scenarios by using PMWIN. *Watershed Management Researches (Pajouhesh-va-Sazandegi)*, 26(1 (98)), 108-116. [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., Ekhlasmad, 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.
- 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]
- 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.
- 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]
- 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*, 468, S102-S116.
- Pahar, G., Dhar, A. (2014). A Dry Zone-Wet Zone Based Modeling of Surface Water and Groundwater Interaction for Generalized Ground Profile. *Journal of Hydrology*, 519(27), 2215-2223.
- 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. [in Persian]
- 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.
- 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]
- Yosefvand, F., Shabanlou, S. (2020). Forecasting of Groundwater Level Using Ensemble Hybrid Wavelet-Self-adaptive Extreme Learning Machine-Based Models. *Natural Resource Research*, (2020); 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). Multi-objective 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.
- Zibaei, M.H., Zibaei, M., Ardokhani, K. (2013). Evaluation of scenarios of integrated use of surface and groundwater resources in Firoozabad plain of Fars. *Journal of Agricultural Economics Research*, 5(1), 157-181.

یادداشت‌ها

¹ Lu et al

² Narula and Gosian

³ Himalayan

⁴ Nash-Sutcliffe

⁵ Bayestehand Azari

⁶ Hu et al

⁷ Ivkovic

⁸ Pahar and Dhar

⁹ Guzman et al

¹⁰ Nadiri et al

¹¹ Zibaei et al

¹² - General Head Boundary