

Research Paper

Quantitative and Qualitative Simulation of the Samalqan Plain Aquifer

Masoud sajadi¹, Hossein Hassanpour Darvishi^{2*}, Hossein Ebrahimi³

1. Ph.D. Student of Department of Engineering and Management of Water Resources, Ki. C., Islamic Azad University, Kish, Iran

2. Assoc. Prof, Department of Engineering and Management of Water Resources, ShQ. C., Islamic Azad University, Shahr-e Qods, Iran

3. Professor, Department of Engineering and Management of Water Resources, ShQ. C., Islamic Azad University, Shahr-e Qods, Iran

Received: 2025/03/18

Revised: 2025/05/04

Accepted: 2025/10/29

Use your device to scan and read
the article online



Keywords:

Semelqan Plain, MODFLOW model, GMS software

Abstract

Introduction: In countries with arid and semi-arid climates, such as Iran, studies of groundwater resources, the identification and management of aquifer systems, and the efficient and sustainable utilization of groundwater reserves_ recognized as one of the primary sources for meeting water demands—are of critical importance. In the other hand, the decline in groundwater resources caused by pollution and climate change has underscored the essential role of groundwater as a vital water supply across diverse climatic regions. Furthermore, the identification and quantification of groundwater, as well as its comparison with surface water resources, remain challenging due to the limited availability of reliable data and measurements.

Methods: In this study, the quantitative and qualitative simulation and modeling of the SEMELQAN Plain aquifer, located in North Khorasan Province, were executed using the GMS 10 software and the MODFLOW model. Groundwater modeling can be applied in various forms; in the present research, groundwater flow was simulated using the MODFLOW software, which is based on the Taylor series expansion. The model was executed under steady-state conditions and in forward mode using the MODFLOW-2005 engine and due to uncertainties in some input parameters, relatively high errors were initially observed in the modeling results.

Findings: In the final year, the inflow volume was approximately 6100 m³/day, while the outflow volume was about 5600 m³/day. These values show a decreasing trend over time, indicating a continuous reduction in the groundwater volume of the Semelqan aquifer. The relative RMS/RMSE error was 24.1, demonstrating the high accuracy of the simulation. Its normalized value was 6%, which is below the acceptable threshold of 30% for long-term simulation periods.

Citation: sajadi M, Hassanpour Darvishi H, Ebrahimi H. Quantitative and Qualitative Simulation of the Samalqan Plain Aquifer. Water Resources Engineering Journal. 2025; 18 (67): 91- 110.

***Corresponding author:** Hossein Hassanpour Darvishi

Address: Associate Prof, Department of Engineering and Management of Water Resources, ShQ. C., Islamic Azad University, Shahr-e Qods, Iran

Tell: +98 912 516 7860

Email: hhasanpour@iau.ac.ir

DOI: <https://doi.org/10.71632/wej.2026.1167447>

Extended Abstract

Introduction

In countries with arid and semi-arid climates, such as Iran, studies of groundwater resources, the identification and management of aquifer systems, and the efficient and sustainable utilization of groundwater reserves_ recognized as one of the primary sources for meeting water demands—are of critical importance. Consequently, groundwater resource management requires comprehensive knowledge of aquifer locations, mapping, modeling, volumetric estimation, annual water balance assessments, and evaluation of groundwater quality.

Materials and Methods

In this study, the quantitative and qualitative simulation and modeling of the SEMELQAN Plain aquifer, located in North Khorasan Province, were executed using the GMS 10 software and the MODFLOW model. The modeling process began with grid discretization, followed by the assignment of required parameters, including hydraulic head, hydraulic conductivity, storage coefficient, specific yield, and soil porosity of the study area. The model was executed under steady-state conditions and in forward mode using the MODFLOW-2005 engine and due to uncertainties in some input parameters, relatively high errors were initially observed in the modeling results.

It should be noted that after testing all three methods under both steady-state and unstable conditions, the PCGN solver was ultimately selected with 100 outer and inner iterations, a critical convergence change threshold of 1 meter, and a convergence error criterion of 1 m^3 in a day. Subsequently, calibration was performed under both steady-state and unstable conditions, and the values

of hydraulic conductivity, horizontal anisotropy of hydraulic conductivity, and aquifer recharge were estimated

Findings

The values extracted from the Flow Budget in the MODFLOW model perform that over a 126-month period, a significant portion of the aquifer's constant storage has been depleted. In the final year, the inflow volume was approximately $6100 \text{ m}^3/\text{day}$, while the outflow volume was about $5600 \text{ m}^3/\text{day}$. These values show a decreasing trend over time, indicating a continuous reduction in the groundwater volume of the SEMELQAN aquifer. The relative RMS/RMSE error was 24.1, demonstrating the high accuracy of the simulation.

Discussion

The results of this research are the decrease in the aquifer input and the increase in the output of the Samalghan Plain. In recent years, these rates have been almost equal. Considering the continuation of the current trend, after ten years, the quality and quantity of groundwater in the Samalghan Plain will decrease sharply.

Conclusion

The reduction in aquifer input and the increase in discharge from the SEMELQAN Plain are the main findings of this study. In recent years, these two components have become nearly equal, and if the current trend continues, both the quality and quantity of groundwater in the SEMELQAN Plain will decline significantly over the next decade.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

No funding.

Authors' contributions

Design and idea: Masoud Sajjadi, Hossein Hassanpour Darvishi;
Methodology and data analysis: Masoud Sajjadi, Hossein Hassanpour Darvishi, Hossein Ebrahimi;
Supervision and final writing: Masoud Sajjadi.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

شبیه سازی کمی و کیفی آبخوان دشت سملقان

مسعود سجادی^۱، حسین حسن پور درویشی^{۲*}، حسین ابراهیمی^۳

۱. دانشجوی دکتری رشته مدیریت منابع آب، دانشکده فنی و مهندسی، واحد کیش، دانشگاه آزاد اسلامی، کیش، ایران

۲. دانشیار گروه مدیریت منابع آب، دانشکده فنی و مهندسی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، شهر قدس، ایران

۳. استاد گروه مدیریت منابع آب، دانشکده فنی و مهندسی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، شهر قدس، ایران

چکیده

مقدمه: در کشوری با آب و هوای خشک و نیمه خشک چون ایران، مطالعه منابع آب زیرزمینی، شناسایی و مدیریت لایه های آبدار و استفاده بهینه و مفید از ذخایر آب زیرزمینی به عنوان یکی از مهمترین منبع تأمین نیازهای آبی از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. از سوی دیگر به دلیل کاهش منابع آبهای زیرزمینی ناشی از آلودگیها و تغییرات آب و هوایی، اهمیت و ارزش منابع آب زیرزمینی جزء منابع حیاتی آب در مناطق مختلف آب و هوایی قابل درک است. شناخت و اندازه گیری آب های زیرزمینی و نیز مقایسه آنها با آبهای سطحی به دلیل کمبود اطلاعات و داده های اندازه گیری بسیار مشکل میباشد، بنابراین مدیریت منابع آب زیرزمینی، نیازمند شناخت موقعیت منابع، نقشه، مدل، حجم و بیلان سالیانه و بررسی کیفیت آبهای زیرزمینی است.

روش: در این تحقیق برای شبیه سازی و مدل سازی کمی و کیفی آبخوان دشت سملقان واقع در استان خراسان شمالی از نرم افزار GMS10 و مدل MODFLOW استفاده شده است. برای مدل سازی ابتدا شبکه بندی مدل و سپس پارامترهای مورد نیاز از جمله هد و ضریب هیدرولیکی، ضریب ذخیره، آبدی و ویژه و تخلخل خاک منطقه مورد مطالعه، اعمال گردید. مدل به شکل پایدار و به شکل پیشرو یا موتور MODFLOW 2005 اجرا شده و نتایج مدلسازی به دلیل عدم قطعیت در برخی از پارامترهای ورودی، خطای بالا مشاهده گردید. لازم به ذکر است در این پژوهش پس از آزمون هر سه روش در دو حالت پایدار و ناپایدار، نهایتاً موتور محاسباتی PCGN با ۱۰۰ تکرار Outer و Inner و با حد بحرانی تغییرات همگرایی ۱ متر و همچنین حد بحرانی خطای همگرایی ۱ متر مکعب در روز انتخاب گردید. مقدار هدایت هیدرولیکی، مقدار ناهمسانی افقی هدایت هیدرولیکی و مقدار تغذیه آبخوان محاسبه گردید. همچنین تحلیل حساسیت و محاسبه خطاها، صحت سنجی و محاسبه بیلان خروجی مدل در یک دوره ۱۰ ساله انجام گرفت که با ارائه دو سناریو به بررسی وضعیت فعلی و آینده آبخوان دشت سملقان منجر شد.

یافته ها: اعداد استخراجی از FlowBudget در مدل MODFLOW نشان می دهد که در دوره ۱۲۶ ماهه، سهم مشخصی از ذخیره ثابت آبخوان کاسته شده است. در آخرین سال، حجم ورودی جریان، حدود ۶۱۰۰ متر مکعب در روز و حجم جریان خروجی ۵۶۰۰ مترمکعب در روز می باشد، این اعداد هر ساله رو به کاهش می باشد که نشان از کاسته شدن حجم آب آبخوان سملقان می باشد. لازم به ذکر است خطای نسبی RMS/ RMSE معادل با ۱/۲۴ می باشد که دقت بالای شبیه سازی را نشان می دهد. عدد نرمال شده آن ۶٪ می باشد، که کمتر بودن این عدد از حد ۳۰٪ برای دوره طولانی مدت شبیه سازی، مناسب می باشد.

نتیجه گیری: کاسته شدن میزان ورودی آبخوان و افزایش خروجی دشت سملقان از نتایج این تحقیق می باشد که در سالهای اخیر این میزان تقریباً با یکدیگر برابر بوده است و با در نظر گرفتن ادامه روند فعلی پس از ده سال کیفیت و کمیت آبهای زیرزمینی دشت سملقان به شدت کاهش خواهد یافت.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۸

تاریخ داوری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۸

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



واژه های کلیدی:

دشت سملقان، مدل MODFLOW، نرم افزار GMS

* نویسنده مسئول: حسین حسن پور درویشی

نشانی: دانشیار گروه مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، شهر قدس، ایران

تلفن: +98 912 516 7860

پست الکترونیکی: hhassanpour@iau.ac.irDOI: <https://doi.org/10.71632/wej.2026.1167447>

مقدمه

در بیشتر امروزه عواملی همچون افزایش چشمگیر جمعیت کره زمین و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع محیط‌زیست برای تأمین نیازهای اقتصادی، تأثیر خود را بر منابع آب گذاشته است. به‌طوری‌که مسائل مربوط به بحران و مدیریت آب از دیدگاه سازمان ملل متحد پس از مشکل جمعیت، به‌عنوان دومین مسئله اصلی جهان شناخته شده است. باید توجه داشت که امکان افزایش منابع آب شیرین جهان و حل این بحران وجود ندارد و تنها باید روش‌های استفاده از آن بهبود یابد (1).

با توجه به افزایش بی‌رویه استفاده از آب‌های زیرزمینی، راهکارهای مقابله با کم‌آبی در دو استراتژی مدیریت صحیح منابع آب و استحصال از منابع جدید آب ارائه شده است. در کشور ما به دلایل شرایط جغرافیایی و اقلیمی، مدیریت بر منابع آبی موجود، بهبود پیدا کرده است. در بعضی از نقاط کشورمان، به علت بارندگی کم و توزیع زمانی و مکانی نامناسب، منابع آبخوان و چاه‌ها نقش قابل توجهی را ایفا نموده است (2).

دشت سملقان واقع در استان خراسان شمالی یکی از آبخوان‌های مهم در تأمین آب موردنیاز شرب صنعت و کشاورزی شهر آشنخانه است. برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی منجر به افت سطح آب، کاهش حجم مخزن آبخوان‌ها و بیابان منفی آب زیرزمینی شده است. این امر به معنای استخراج از آبی می‌باشد که در طول هزاران سال در لایه‌های آبدار زمین ذخیره شده است. با این کار سطح آبهای زیرزمینی در منطقه به مرور افت کرده و سرانجام به جایی خواهد رسید که آبی برای استخراج وجود نخواهد داشت. پیامد اولیه این پدیده خزننده خشکیدن قنات و چشمه‌ها و کاهش آبدهی چاه‌ها و سپس فرونشست زمین و توسعه بیابان و آنگاه از دست رفتن سرمایه‌گذاری‌های انجام‌شده در بخش کشاورزی و صنعت و جمعیت منطقه و در نهایت فقر و مهاجرت است چنانچه به مسائل فوق پدیده‌هایی نظیر خشک‌سالی‌های اخیر، روشهای غلط آبیاری سنتی، الگوهای نامناسب کشت، روشهای نامناسب دفع پسابها و فاضلابهای آلوده کننده و استفاده بی‌رویه از کودها و آفت‌کش‌ها را بیفزاییم وضعیت حادثتر و نگران‌کننده‌تر خواهد شد. توسعه روزافزون تقاضای مصرف آب و غذا از یک طرف و بهره‌برداری غیراصولی از طرفی دیگر، باعث آسیب‌های جبران‌ناپذیری به آبخوان شده است که در نتیجه آن تحلیل کمی و کیفی آب زیرزمینی در آبخوان مشهود است. متداول‌ترین راهکار جهت برون‌رفت از وضعیت نگران‌کننده موجود که بر چنین دشت‌هایی حاکم است ممنوعه کردن دشت از نظر توسعه بهره‌برداری جدید منابع آب آن است. اعمال ممنوعیت یا تمدید ممنوعیت توسعه بهره‌برداری در دشت‌ها برپایه گزارش‌ها و پیشنهادهایی صورت می‌گیرد که توسط واحدهای

مطالعات پایه منابع آب شرکت‌های آب منطقه‌ای تهیه و به دفتر حفاظت و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی ارسال می‌گردند. کشور ما بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک همواره با کمبود آب مواجه بوده و برای کاهش محدودیت‌های منابع آب‌دست به ابداعات و ابتکارات متعددی در جهت رفع مشکل برآمده‌اند. ولی امروزه با توجه به روند توسعه اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و سیاسی این کمبود بیشتر احساس می‌شود. توسعه فعالیت‌های اقتصادی و روند رو به افزایش جمعیت کشور، منابع آب در دسترس و قابل استحصال را با محدودیت‌های جدی از نظر کمی و کیفی مواجه کرده است. یکی از منابع آبخوان استفاده از چاه است. (3)

امروزه تحقیقات زیادی در ارتباط با آبهای زیرزمینی در داخل و خارج از کشور شده است. رضانی و همکاران در سال ۲۰۱۷ با مدل سازی MODFLOW و MT3DMS نشان دادند که می‌توان مدل GMS را با الگوریتم GAPSو ترکیب کرد. آنها به این نتیجه دست یافتند که مدل نهایی هر منطقه با توجه به اطلاعات زمین شناسی و هواشناسی متفاوت است و می‌توان مدل را برای آنالیز داده‌های واقعی به کار برد و نتایج خوبی دریافت نمود (44). مایرلس (۲۰۱۲) به بررسی مشکلات ناشی از شوری خاک و سطوح ایستابی بالا در مناطق تحت آبیاری دره ی جزریل واقع در سرزمینهای اشغالی پرداخت. در این مطالعه از مدل جریان آب زیرزمینی MODFLOW برای شبیه سازی سطوح آب زیرزمینی و از روشهای GIS برای تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از مدل جریان آب زیرزمینی و ارزیابی نواحی تحت خطر شوری تحت دو شرط آب زمین شناسی و در طول فصل خشک، بهره گرفته شد. نتایج نشان دادند که ۳۲۵ha از منطقه دارای شوری خاک بالاست و ۶۲۷۵ha از منطقه دارای شوری است. شیش و همکاران (۲۰۱۱) مدل عددی MODFLOW را به همراه GIS در زیرحوضه ی رود بانگانگا در هند توسعه دادند. پس از واسنجی و اعتبار سنجی، مدل نمایشنامه های مختلف با تغییر بده چاه‌ها ارائه شد تا محل سازه‌هایی به منظور استحصال آب باران مشخص گردد. نتایج نشان دادند که افزایش بده چاه‌ها در نواحی مستعد تنش کمتری را به آبخوان وارد می‌کند. محل‌های پیشنهادی برای سازه‌های استحصال آب باران، سبب کاهش افت غالب در آب زیرزمینی می‌گردد. (4) قریا و همکاران در سال ۲۰۱۳ به منظور بررسی آلودگی آب زیرزمینی در نواحی مرکزی دلتای رود نیل (الغریبای مصر)، جریان در حالت ماندگار و غیرماندگار را (در یک دوره ۲۰ ساله) با مدل MODFLOW شبیه سازی نمودند و کیفیت آب زیرزمینی منطقه با مدل MT3DMS ارزیابی نمودند. در این تحقیق برای صحت سنجی از داده‌های اندازه‌گیری شده سطح آب در جنوبی‌ترین قسمت مرکزی

منطقه با هدایت هیدرولیکی کمتر در غرب و مخروط افت ناشی از تمرکز بالای چاه ها در جنوب منطقه شهری، مانع از گسترش آلودگی نیترات در این جهات می شود. غلظت نیترات در فاضلاب ورودی به آبخوان در مناطق مختلف شهر از ۷۰ تا ۴۵۰ میلی گرم بر لیتر متغیر است و در آب برگشتی زمینهای کشاورزی در حدود ۲۰۰ میلیگرم بر لیتر محاسبه شده است. با توجه به حجم آب برگشتی کشاورزی، هر ساله حدود ۱۵۲ کیلوگرم نیترات در هر هکتار از زمین های کشاورزی دشت شاهرود فروشویی می شود. براساس نتایج مدلسازی، فاضلاب ورودی از منطقه شهری شاهرود بیشترین تاثیر را در افزایش میزان غلظت نیترات در منابع آب زیرزمینی دارد(7).

رضایی و همکاران در سال ۲۰۱۴ تاثیر افزایش راندمان آبیاری بر روی منابع آب زیرزمینی دشت ارومیه با مدل MODFLOW بررسی نمودند. مدل آب زیرزمینی دشت ارومیه برای سالهای ۷۲-۱۳۷۱ و ۸۰-۱۳۷۹ مورد واسنجی و ارزیابی قرار دادند. تاثیر افزایش راندمان آبیاری با کاهش نرخ تغذیه به میزان ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد در مدل دشت ارومیه مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می دهد که سطح آب با کاهش نرخ تغذیه به میزان ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد به ترتیب ۲۵، ۵۰ و ۷۵ سانتیمتر پایین می آید. همچنین مناطقی از شرق و قسمتهایی از مناطق میانی دشت با مشکل زهکشی مواجه می باشد و بسیاری از مشکلات ناخواسته می تواند با اعمال روش های نوین آبیاری به جای روش های سنتی راندمان آبیاری را افزایش دهد(8).

غلامی و نوری در سال ۲۰۱۴ به منظور تاثیر سرپوش بر انتقال شیرابه های زباله از مدل آزمایشگاهی و مدل ریاضی استفاده کردند. در نمونه آزمایشگاهی یک مخزن پلاستیکی حاوی مجموعه ای از ماسه درشت تا ریز در کف مخزن، ۶ چاهک مشاهده ای و تعدادی آبیاز استفاده گردید. از کلرید سدیم به عنوان ماده ردیاب و گودال دفن ردیاب در وسط مخزن استفاده شد. در مرحله اول بدون سرپوش بر روی مدفن ردیاب(انتقال و انتشار) و مرحله دوم از سرپوش شیشه نشکن(فقط مکانیزم انتشار و پخشیدگی) استفاده شد. در طول آزمایش تغییرات غلظت نسبت به زمان در آب اطراف چاهک ها اندازه گیری شد و با استفاده از کد نرم افزاری MODFLOW و MT3DMS اقدام به شبیه سازی حرکت کلرید سدیم شد. با مقایسه از نتایج به دست آمده، وجود سرپوش(لايه غيرقابل نفوذ) بر روی مدفن زباله باعث کاهش قابل توجه انتقال آلودگی از مدفن به آبخوان فرضی می شود(9).

امروزه با پیشرفت تکنولوژی ها و توسعه روزافزون تقاضا و بهره برداری غیراصولی باعث شده است که آسیب های جبرانناپذیری به آبخوان ها مهم کشور از جمله دشت سملقان زده شود که نتیجه آن، تقلیل کمی و کیفی آب زیرزمینی می

آبخوان دلتای رود نیل و از نتایج آنالیز هیدروشیمیایی نمونه آب کانال زهکشی و آب زیرزمینی استفاده شد. نتایج شبیه سازی غلظت آلودگی حاصل از یک منبع نقطه ای ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سال نشان داد که این آبخوان از نظر آلودگی آسیب پذیر بوده و فعالیت های انسانی دلیل عمده بسیاری از مشکلات آلودگی آب می باشد(5).

سنگلو و اونلو در سال ۲۰۱۳ انتقال آلاینده اکریلونیتریل(AN) ناشی از نشت ۳ تانک(خسارت دیده در زلزله آگوست ۱۹۹۹ ترکیه) در کارخانه تولید فیبرهای مصنوعی پلیمری واقع در ساحل جنوبی دریای مارماری ترکیه، همچنین جریان غیرماندگار ۲ و ۳ بعدی آبخوان با مدل جریان آب زیرزمینی MODFLOW و همچنین با مدلسازی MT3DMS انتشار آلاینده مورد نظر در محل نشت را مدلسازی نمودند. آنها در مرحله اول با استفاده از داده های ارتفاع سطح آب و غلظت در ۲۶۶ روز واسنجی و سپس با استفاده از داده های مشاهده شده در ۵۴۰ روز باقیمانده، صحت سنجی انجام دادند. آنها به این نتیجه دست یافتند که جهت جریان آب زیرزمینی از جنوب به شمال دریا می باشد. مقادیر سرعت آب زیرزمینی در نواحی با نفوذپذیری بالا در حدود ۰/۲۵ متر در روز و در نواحی با نفوذپذیری کم برابر ۰/۱۵ متر در روز می باشد. همچنین نشان دادند که سیستم تصفیه و پمپاژ در مناطقی با نفوذپذیری بالا برای بازسازی سایت موثر می باشد و اندازه صافیها در این مناطق به علت رقیق شدن آلاینده ها در اثر تغذیه طبیعی کمتر است(6).

ولیزاده و جعفری در سال ۲۰۱۴ غلظت کل مواد جامد محلول(TDS) را به عنوان شاخص کیفیت آب آبخوان استفاده نمودند و با استفاده از مدل های MODFLOW و MT3DMS دو سناریوی تغذیه مستقیم و غیرمستقیم شبیه سازی کرده و در شرایط ماندگار و غیرماندگار واسنجی نمودند. همچنین آنها هدایت هیدرولیکی و آبدی و ویژه در مدل جریان و انتشارپذیری طولی و عرضی و ضریب پخشیدگی مولکولی در شبیه سازی انتقال املاح واسنجی کردند و نقاطی که مشاهده نمودند که شامل هفت چاه آب شرب می باشد. نتایج نشان می دهد که شبیه سازی TDS قابلیت بالایی در مدلسازی دارد که روش های تغذیه مستقیم و غیرمستقیم به ترتیب حدود ۴ و ۲ متر به سطح ایستایی را اضافه می نماید. همچنین آنها تاثیر انتقال آلاینده با غلظت ۲۰۰۰ میلیگرم در لیتر در فاصله ۵۰۰ متری، به جهت شبیه سازی در آبخوان شاهرود، ابتدا مدل جریان MODFLOW در یک دوره سه ساله(پایدار و ناپایدار) واسنجی و صحت سنجی انجام دادند و انتقال آلاینده نیترات با مدل MT3DMS شبیه سازی کردند. نتایج نشان داد که جهت جریان آب زیرزمینی و هدایت هیدرولیکی منطقه، بیشترین تاثیر را در انتقال آلاینده نیترات دارد. وجود

GMS و انطباق آن با خصوصیات طبیعی حفره آب زیرزمینی اشاره نمود. همچنین با بدست داشتن اطلاعات شفاف و دقیق از انجام این تحقیق می توان به سوالات مهمی در ارتباط با مدیریت بهتر این آبخوان پاسخ داد و راحت تر این منبع آبی را مدیریت نمود. به عنوان مثال با نتایج این تحقیق می توان به سوالات زیر پاسخ داد که نحوه انتشار و توسعه آلودگی در آبخوان دشت سملقان به چه صورت است و با افزایش جمعیت و مصرف بیشتر منابع آبی به خصوص منابع آب زیرزمینی مدیریت به چه نحوی صورت بگیرد. با توجه به گسترش آلودگی آب های زیرزمینی آیا در سالهای آتی می توانند جوابگوی نیازهای مردم باشد یا خیر؟! تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی در مکان های مختلف با توجه به وجود آلاینده های مختلف، چگونه خواهد بود؟! آیا می توان راه حل مناسبی جهت تعادل سطح ایستابی ارائه نمود تا شرایط از لحاظ کیفی مناسب گردد؟! چه عواملی بر نوسانات سطح ایستابی و کیفیت آبخوان در دشت سملقان اثر گذار است؟!

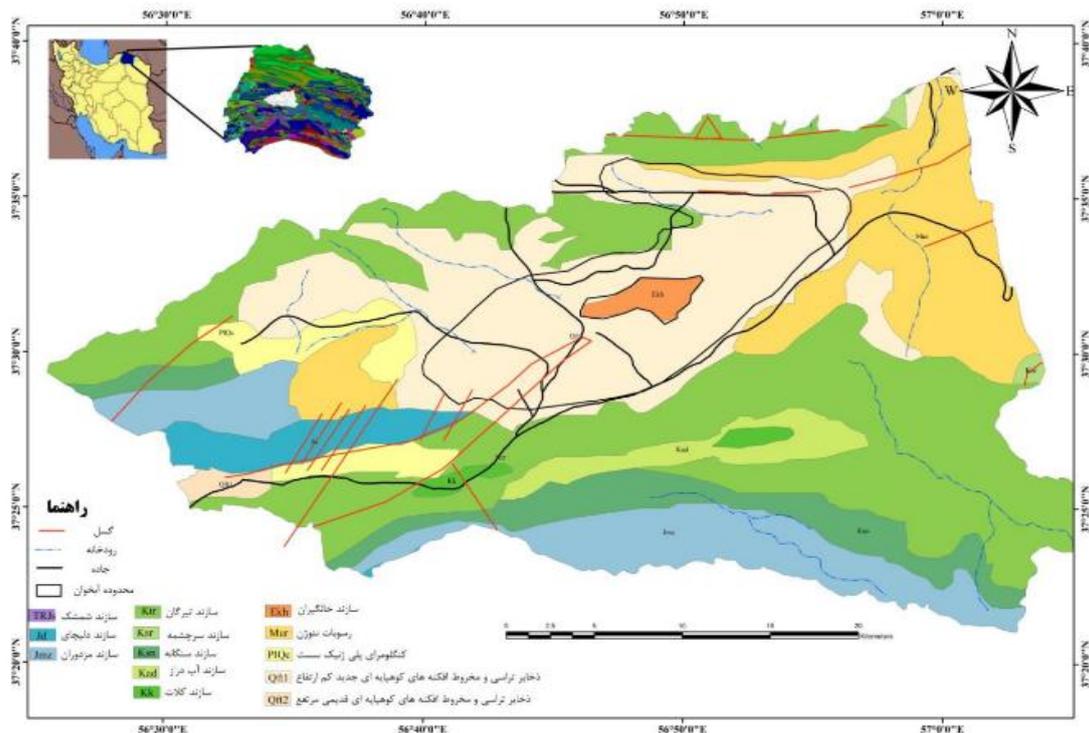
میدهد. همچنین آبخوان آبرفتی با وسعت ۱۸۹/۷۷ کیلومترمربع ۸۶/۱ درصد از گستره دشت را فراگرفته است. لازم به ذکر است که این آبخوان از نوع آزاد می باشد. حداکثر ارتفاع محدوده مطالعاتی ۲۸۶۰ متر و حداقل آن حدود ۶۸۰ متر از سطح دریا می باشد. رودخانه های اصلی و مهم محدوده مطالعاتی شامل دربند سملقان، درکش و شیرآباد است. از مراکز جمعیتی مهم این محدوده مطالعاتی میتوان شهرهای آشخانه، پیشقلعه و قاضی را نام برد (10). شکل ۱ موقعیت محدوده مطالعاتی را در حوضه آبریز ترک نشان می دهد.

باشد. به منظور شناخت انعکاس سفره و پیش بینی اثر فعالیت های مختلف بر روی سفره، امکان آزمایش و بررسی کل سفره وجود ندارد. امکان مطالعه، بحث و بررسی سیستم ها و پدیده ها به طور واقعی و آزمایشگاهی، به دلیل فقدان اطلاعات نبوده و انجام این امر زمان بر و پرهزینه می باشد. از این رو تاکنون مطالعه همزمان مدل ریاضی و شبیه سازی آبخوان سملقان انجام نشده است که به نظر می رسد انجام این امر با استفاده از نرم افزار MODFLOW در مدل های ریاضی می تواند نتایج مثبتی ایجاد نماید که در تحلیل های مدیریتی از آن استفاده کرد. در این پژوهش تلاش شده است شبیه سازی کمی و کیفی دشت سملقان در استان خراسان شمالی با استفاده از نرم افزار MODFLOW صورت گیرد. از اهداف این تحقیق می توان به ارائه راهکارهای مدیریتی بهره برداری کمی و کیفی بهینه از آبخوان دشت سملقان بر اساس شرایط و سناریوهای مختلف و شبیه سازی کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت سملقان و تهیه مدل ریاضی با استفاده از نرم افزار

مواد و روش ها

۱. موقعیت مورد مطالعه:

محدوده مطالعاتی این تحقیق سملقان با کد ۱۷۰۶ از نظر موقعیت جغرافیایی بین طولهای ۴۴۹۰۶۱ تا ۵۰۸۹۹۵ شرقی و عرض های ۴۱۳۶۷۳۷ تا ۴۱۶۷۸۱۴ شمالی واقع شده است. این محدوده دارای وسعت ۱۱۴۸/۵۲ کیلومتر مربع است که ۹۲۸/۱۹ کیلومتر مربع آن را ارتفاعات و ۲۲۰/۳۳ کیلومتر مربع را دشت تشکیل



شکل ۱- موقعیت دشت سملقان در کشور و در استان خراسان شمالی

۲. اطلاعات مورد استفاده

اطلاعات مربوط به این تحقیق به صورت میدانی و از منابع داده های سازمانهای مرتبط و تحقیقات گذشته استفاده شده است. ابزار گردآوری از طریق نمونه برداری و ابزار تحقیقات آزمایشگاهی تعیین گردید. برای تجزیه و تحلیل اطلاعات در این تحقیق از نرمافزار GMS و MODFLOW استفاده گردید. شهرستان مانه و سملقان با وسعت ۶۰۵۳ کیلومتر و ۳۸۳ چاه موجود در این آبخوان، با توجه به موضوع تحقیق در رابطه با بررسی ارزیابی شرایط و رفتار آبخوان در دشت سملقان استان خراسان شمالی با استفاده از نرمافزار GMS و سیستم اطلاعات جغرافیایی، جامعه آماری این پژوهش شامل کلیه ایستگاههای مشخص در زمینه نمونه گیری از چاه آب است. شبکه بندی منطقه مدل اولین نقطه شروع در طراحی واقعی مدل رایانه‌ای است. در MODFLOW که مدلی از نوع تفاضل محدود است، شبکه مدل توسط دو دسته خط موازی که عمود بر هم هستند تشکیل میشود. بلوکهای تشکیلدهنده توسط خطوط مذکور سلول نامیده میشوند. مرکز هر سلول، گره (نقطه‌ای که در آن محاسبات بار هیدرولیکی صورت میگیرد) نامیده می شود. فرض بر آن است که خواص هیدرولیکی و هیدروژئولوژیکی در محدوده یک سلول یکنواخت است در نتیجه، هر سلول توسط گره وابسته به آن مشخص میشود. این نوع شبکه مورد استفاده در MODFLOW، مرکز شبکه ای (خانه ای) نامیده می شود (11).

آرایه های مرزی شامل نوع سلولها (فعال و غیر فعال) نیز تعیین میشوند. سرانجام بعد از آن که پارامترهای مورد نیاز مدل، به طور صحیحی به هر سلول تخصیص داده شد، مدل وارد مرحله اجرا می شود. در این مرحله قبل از آنکه مدل به طور واقعی اجرا شود، استفاده کننده از مدل لازم است یکی از روشهای محاسباتی و چندین پارامتر محاسباتی را انتخاب کند. نقطه مشترک در تمامی روشهای محاسباتی، معیار تغییر بار هیدرولیکی برای همگرایی و حداکثر تعداد تکرار مجاز میباشد. زمانی که مقدار حداکثر مطلق تغییر بار هیدرولیکی در هر سلول مدل، کمتر یا مساوی معیار تغییر بار هیدرولیکی است، فرآیند تکرار متوقف می شود. گسترده ترین روشهای محاسباتی MODFLOW، روش به شدت ضمنی یا روش SIP، روش فوق تخفیف متوالی یا روش SSOR و روش (PCG) می باشند. مطمئناً اولین نتیجه به دست آمده از مدل، به صورت برازش رضایت مندانه بین بار هیدرولیکی محاسبه شده و اندازه گیری شده نخواهد بود.

۳. پروتکل یا روند ساخت و توسعه مدل

روند ساخت مدل شامل هدف سازی، ایجاد مدل مفهومی، انتخاب معادلات حاکم و کد رایانه‌ای، شبکه بندی مدل، طراحی و اجرای برنامه، آنالیز حساسیت، صحت سنجی، پیشبینی و در نهایت ارائه نتایج میگردد که به تشریح مهمترین آنها خواهیم پرداخت.

۴. معادلات حاکم بر جریان آب زیرزمینی

برای استخراج معادله دیفرانسیلی جریان آب زیرزمینی، باید معادله پیوستگی را با معادله حرکت داری، ترکیب نمود. سپس با قبول فرضیاتی برای هدایت هیدرولیکی و وضعیت هندسی آبخوان معادله حاصل را برای حالتی خاص با قابلیت کنترل بیشتر نوشت. در حالت کلی معادله جریان آب زیرزمینی در آبخوان محصور ناهمگن و ناهمسان در شرایط جریان غیرماندگار با در نظر گرفتن توابع تولید و مصرف به صورت رابطه ۱ و در شرایط مشابه در آبخوان باز به شکل رابطه ۲ میباشد (منبع دشت خزل):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) \pm \frac{q_s}{\Delta x \Delta y \Delta z} = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y h \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z h \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_y \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2)$$

که در آن، S_s ضریب ذخیره‌ی ویژه، S_y ضریب آبدهی ویژه، K_x, K_y, K_z و به ترتیب هدایت هیدرولیکی در جهت محورهای x, y, z ، h بار هیدرولیکی در هر نقطه از آبخوان برحسب، $q_s \pm$ میزان آب اضافه یا برداشت شده از آبخوان توسط منبع تولید یا مصرف $\Delta x, \Delta y$ و Δz ابعاد سلولهای شبکه است. رابطه ۱ در صورت همگن و همسان بودن آبخوان و شرایط جریان ماندگار و عدم وجود منابع تولید و مصرف به صورت معادله معروف لاپلاس ساده می شود. برای حل رابطه ۲ که معروف به معادله غیرخطی بوزینسک می باشد، با فرضیات دویویی به معادله خطی تبدیل و حل می شود. لازم به ذکر است که معادلات ۱ و ۲ در شرایط مختلف جریان و آبخوان به شکلهای متفاوتی نوشته می شود (12). پیچیدگی سیستم آبخوان، غیرهمگنی تشکیلات زمین شناسی، مقادیر مختلف پمپاژ و تغذیه در زمانهای متفاوت و ... باعث می شوند که برای حل معادلات جریان مدل های عددی جایگزین مدلهای تحلیلی شوند. روشهای عددی مدلسازی آب زیرزمینی به پنج گروه روش تفاضلهای محدود، روش اجزا محدود، روش انتگرال مرزی،

روش تفاضل‌های محدود جامع IFD^۱ و روش اجزا تحلیلی تقسیم میشوند. در نرم افزار GMS ابزار متنوعی برای کالیبراسیون اتوماتیک وجود دارد که در این مطالعه از کد PEST به همراه Piltpoint با میان یابی IDW برای واسنجی اتوماتیک مدل استفاده شده است. PEST یکی از کدهای بسیار مناسب برای تخمین پارامتر است که توسط دوهرتی و همکاران برای MODFLOW ایجاد گردیده است. (13).

۵. شبکه بندی مدل

شبکه بندی منطقه مدل اولین نقطه شروع در طراحی واقعی مدل رایانه‌ای است. در MODFLOW که مدلی از نوع تفاضل محدود است، شبکه مدل توسط دو دسته خط موازی که عمود بر هم هستند تشکیل میشود. بلوکهای تشکیل دهنده توسط خطوط مذکور سلول نامیده میشوند. مرکز هر سلول، گره (نقطه‌ای که در آن محاسبات بار هیدرولیکی صورت میگیرد) نامیده میشود. فرض بر آن است که خواص هیدرولیکی و هیدروژئولوژیکی در محدوده یک سلول یکنواخت است در نتیجه، هر سلول توسط گره وابسته به آن مشخص میشود. این نوع شبکه مورد استفاده در MODFLOW، مرکز شبکه ای (خانه ای) نامیده می شود. کنترل نهایی ارزیابی چند ساله مدل پس از اینکه مطالعه مدلسازی کامل گردید، صورت می گیرد. اطلاعات صحرایی جدید به منظور تعیین اینکه آیا پیشبینی صحیح بوده است، جمع‌آوری میگردد. بعد از پیشبینی، کنترل نهایی باید به قدر کافی طولانی بوده تا مطمئن شویم که زمان کافی برای حادث شدن تغییرات مهم در سیستم وجود داشته است. مسلماً کنترل نهایی منجر به بینش جدیدی از رفتار سیستم خواهد شد که ممکن است باعث تغییراتی در مدل مفهومی و یا تغییراتی در پارامترهای مدل گردد.

در این مطالعات به منظور محاسبه عوامل دخیل در بیلان محدوده مطالعاتی مزبور، آمار و اطلاعات تعداد ۱۱ ایستگاه هواشناسی شامل ۵ ایستگاه باران سنجی سازمان هواشناسی کشور، به همراه آمار و اطلاعات تعداد ۱ ایستگاه تبخیرسنجی، ۳ ایستگاه باران سنجی معمولی وزارت نیرو و ۲ ایستگاه باران سنجی ذخیره ای که تحت پوشش وزارت نیرو می باشند، واقع در داخل محدوده مطالعاتی جمع آوری گردیده است.

به منظور بررسی رژیم حرارتی محدوده مطالعاتی سملقان و بررسی تحولات زمانی و مکانی و مقادیر حدی، گردآوری و تجزیه و تحلیل آمار درجه حرارت آن انجام پذیرفته است.

در این مطالعات از آمار درجه حرارت ثبت شده در ایستگاههای سینوپتیک و کلیماتولوژی تحت پوشش سازمان هواشناسی کشور و ایستگاههای تبخیر سنجی وزارت نیرو استفاده شده است. با استفاده از منحنیهای هم دما و بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی مقادیر درجه حرارت سالانه محدوده مطالعاتی به تفکیک ارتفاع و دشت محاسبه گردیده و مقادیر دمای ماهانه آن نیز با استفاده از ایستگاههای معرف (ایستگاه بربرقلعه معرف ارتفاعات و ایستگاه رسالت معرف دشت) برآورد شد.

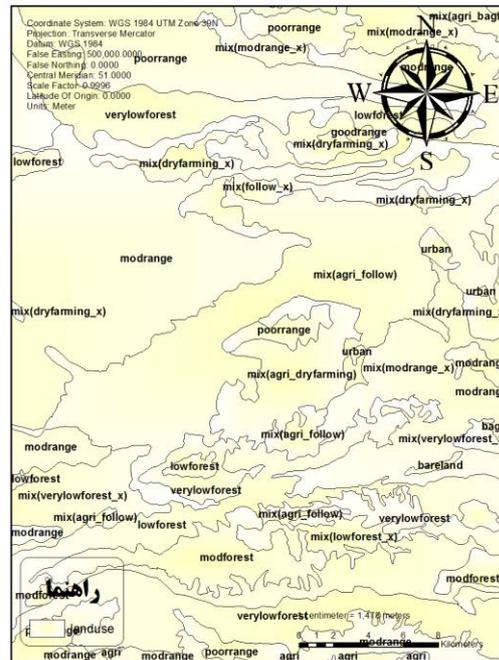
به منظور بررسی بارش محدوده مطالعاتی سملقان آمار بارش ایستگاههای سینوپتیک، کلیماتولوژی، باران سنج معمولی و تبخیر سنجی جمع آوری شده است.

برای برآورد رژیم ماهیانه و سالیانه رواناب حوزه آبریز از اطلاعات ثبت شده ایستگاه هیدرومتری در حوضه سملقان استفاده شد.

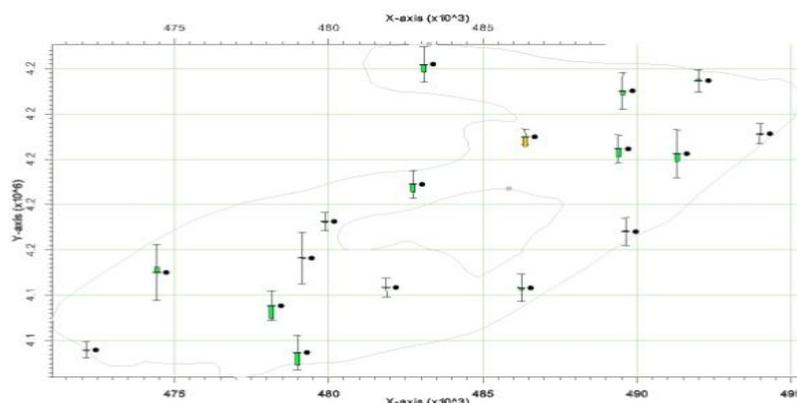
با توجه به اهمیت تشخیص نوع کاربری زمین در نواحی مختلف مستعد به تغذیه آبخوان از سطح، بیشترین نوع کاربری متغیر در نواحی اطراف آبخوان بوده که موارد شهری عمدتاً در بخشهای پراکنده شمال و میانه آبخوان میباشد (شکل ۲). بعلاوه نواحی کشاورزی بیشتر در جنوب آبخوان تمرکز داشته و نواحی با پوشش خوب گیاهی و کشاورزی دیم و کاربریهای دیگر و بایر با وسعت تقریباً مشابهی همچنان که در شکل نمایش داده شده است در موقعیت آبخوان سملقان واقع می باشند. از لایه حدود کاربری موجود میتوان جهت استخراج نواحی مستعد به نفوذ بیشتر و زونهای بالقوه استفاده نمود. بعلاوه در تحلیل شاخص آسیب آبخوان در برابر کم آبی نیز قابل تحلیل آماری میباشد.

^۱ Integrated Finite Difference

تعداد دوره آمار برداری در محدوده مطالعاتی سملقان ۶ نوبت میباشد بطوریکه اولین آمار برداری از منابع آب در سال ۱۳۴۹ و آخرین دوره در سال ۱۳۸۹ صورت گرفته است. تعداد چاههای مشاهدهای شبکه رفتارسنجی سطح آب زیرزمینی در این محدوده ۱۷ حلقه میباشد بطوریکه اولین شبکه در سال ۱۳۶۴ انتخاب شده و در سال ۱۳۷۷ شبکه رفتارسنجی به وضع فعلی درآمده است. برای تکمیل شبکه چاههای مشاهدهای با توجه به عدم حفر چاه مشاهده ای در شمال شرقی و تراکم اندک چاهها در بخش شرقی آبخوان نیاز به حفر ۵ حلقه چاه میباشد. عمق برخورد به آب از حداقل ۳/۳۶ تا حداکثر ۴۵/۰۱ متر در محدوده آبخوان آبرفتی سملقان متغیر است.



شکل ۲- کاربری اراضی دشت سملقان (۱۵)



شکل ۳- کاهش خطای شماتیک در موقعیت چاه های مشاهداتی منتخب آبخوان سملقان

داده از انتهای همین بازه به مقدار ۲۵٪ ماه جهت صحت سنجی تفکیک گردید. سطح ایستابی اولیه علی رقم تخمین با استفاده از یک روش میانمایی در سطوح آبخوان؛ بر اساس اصول تشریح شده در راهنمای ساختاری نرم افزار GMS، معادل با توپوگرافی سطح زمین در نظر گرفته شد. در ماه ابتدایی مدل، اقدام به پهنه بندی تراز آب زیرزمینی بین منابع آب انتخابی (پیزومترها) شد. به علت تطابق پایین نمودار تنظیم و ریوگرام، از روش (Inverse distance weighted) IDW در نهایت به جهت پهنه بندی استفاده گردید. در آبخوان سملقان ضریب قابلیت سفره از ۳۰ متر در روز (در حواشی) تا مقدار ۹۳۰ متر مربع در روز و بیشتر در نواحی میانی

نقشه های تراز سطح آب زیرزمینی ضمن محاسبه مقدار گرادیان هیدرولیک (شیب آبهای زیرزمینی)، در تعیین نسبی مقدار نفوذپذیری رسوبات آبرفتی و ضریب قابلیت انتقال نسبی آنها استفاده به عمل آمده و نهایتاً مقادیر ورودی زیرزمینی از اطراف قابل محاسبه میباشد. پارامترهای زمانی باید با توجه به هدف، اطلاعات موجود، شرایط حاکم بر آبخوان، هزینه و وقت لازم برای مدلسازی، انتخاب گردد. در نهایت بازه زمانی مدلسازی بر اساس ارقام سطوح آب موجود و قابل بازسازی در حداکثر چاههای مشاهداتی از تاریخ مهر ۱۳۸۶ به عنوان اولین ماه تا تاریخ شهریور ۱۳۹۷ با گامهای ۱ ماهه و معادل با ۱۲۶ ماه تعیین گردید. همچنین با توجه به دسترسی

خطای بالا همراه گردید. در این پژوهش پس از آزمون هر سه روش در هر دو حالت پایدار و ناپایدار، نهایتاً موتور محاسباتی PCGN با ۱۰۰ تکرار Outer و Inner و با حد بحرانی تغییرات همگرایی ۱ متر و همچنین حد بحرانی خطای همگرایی ۱ متر مکعب در روز انتخاب گردید.

۶. نتایج مدل ها

حداکثر ارتفاع مطلق آب در ماه ابتدایی دوره برابر با ۸۷۱/۵ متر تخمین زده شد. در آبخوان محدوده مطالعاتی سملقان ۲۰۵ حلقه چاه با تخلیه سالانه ۳۵/۶۳۲ میلیون مترمکعب، ۵ رشته قنات با تخلیه سالانه ۲/۰۳۴ میلیون متر مکعب و ۲۲ دهنه چشمه با تخلیه ۱/۸۹۱ میلیون متر مکعب در سال وجود دارد.

دشت با توجه به تجمع میزان قابل توجه رسوبات آبرفتی تغییر میکند. ضمن آنکه در اطراف رودخانه منحنیهای با مقدار متوسط گسترش دارند و در آبرفتهای شمال رودخانه منحنیهای با رقوم بالاتر عبور میکنند.

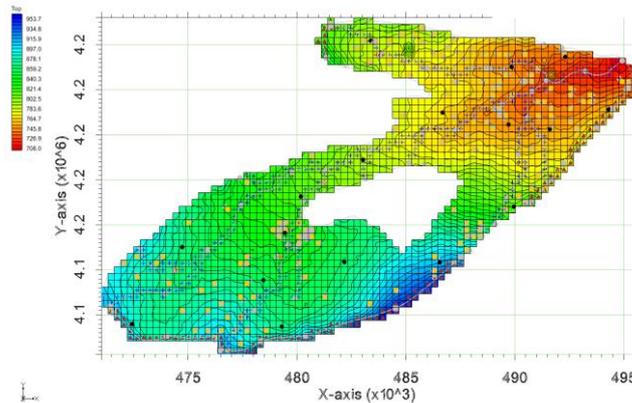
ضریب ذخیره یا قابلیت ذخیره عبارتست از حجم آبی که از واحد سطح لایه آبدار به ازای یک واحد تغییرات بار آبی، آزاد یا ذخیره میگردد و بدون بعد میباشد. با توجه به این تعریف، ضریب ذخیره مربوط به سفره‌های محصور بوده و مقدار آن تابع قابلیت ارتجاع مواد تشکیل دهنده سفره و خود آب میباشد. مقادیر این پارامتر بین 10^{-3} تا 10^{-7} متغیر میباشد (14).

در این پژوهش پس از توسعه مدل مفهومی به شرحی که در فصل پیشین ذکر آن رفت، در گام اول مدل به فرم پایدار و به شکل پیشرو با موتور MODFLOW 2005 اجرا شده و نتایج با توجه به عدم قطعیت حاکم در برخی از پارامترهای ورودی و

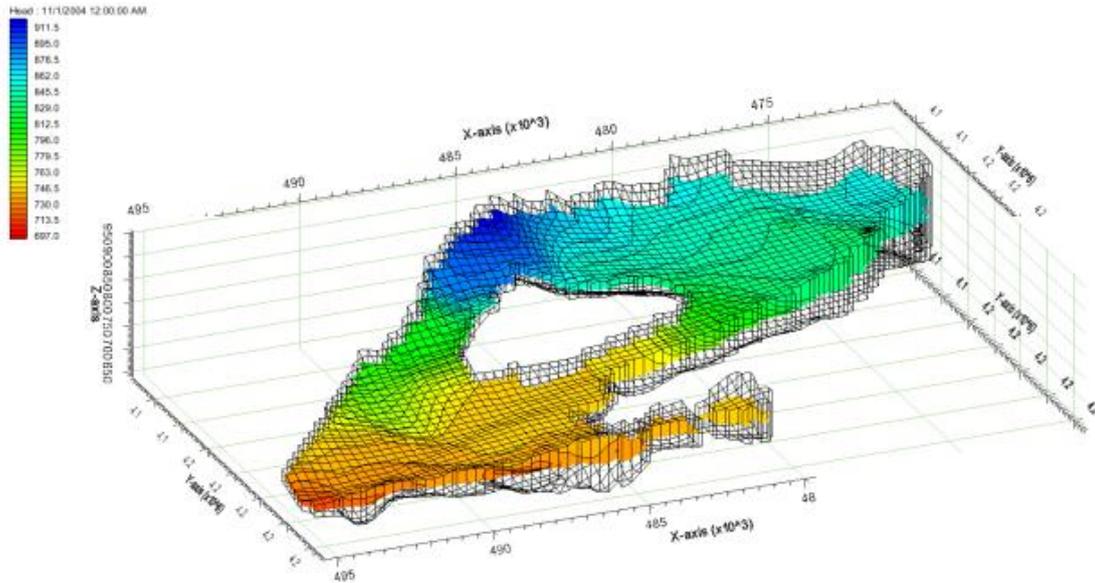
جدول ۱-بیان خروجی دشت سملقان

ملاحظات	تغییرات ذخیره		خروجی							ورودی						
	مخازن آب زیرزمینی	مخازن آب سطحی	ذخیره	آبهای انتقالی به خارج	جرایم زیرزمینی خروجی	جرایم سطحی خروجی	تبخیر و تعرق			ذخیره	آبهای انتقالی به محدوده	جرایم زیرزمینی ورودی	جرایم سطحی ورودی	بارندگی		
							مصرف خانگی	از سفره	از آب آزاد					از بارندگی	دشت	ارتفاعات
	-1.594	-	409.31	-	-	13.32	47.204	0.06	-	348.726	407.716	-	-	-	64.843	342.873

ارقام به میلیون متر مکعب در سال



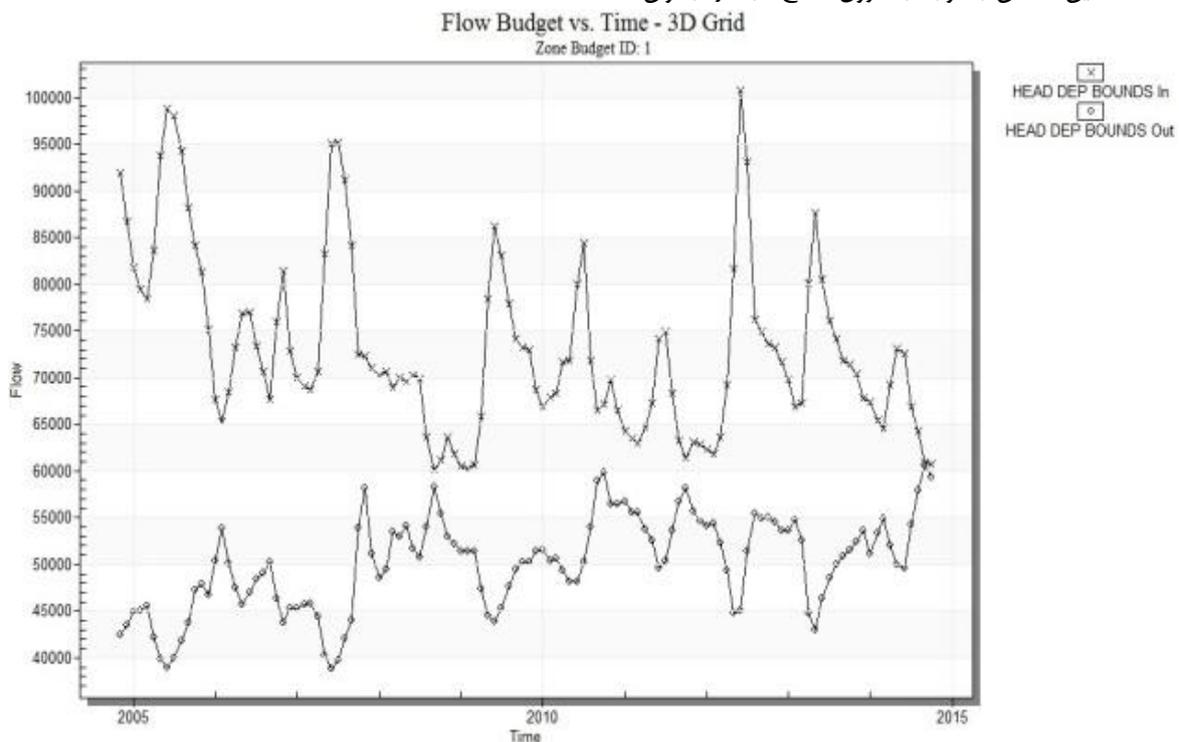
شکل ۴-ساختار شماتیک مدل MODFLOW دشت سملقان



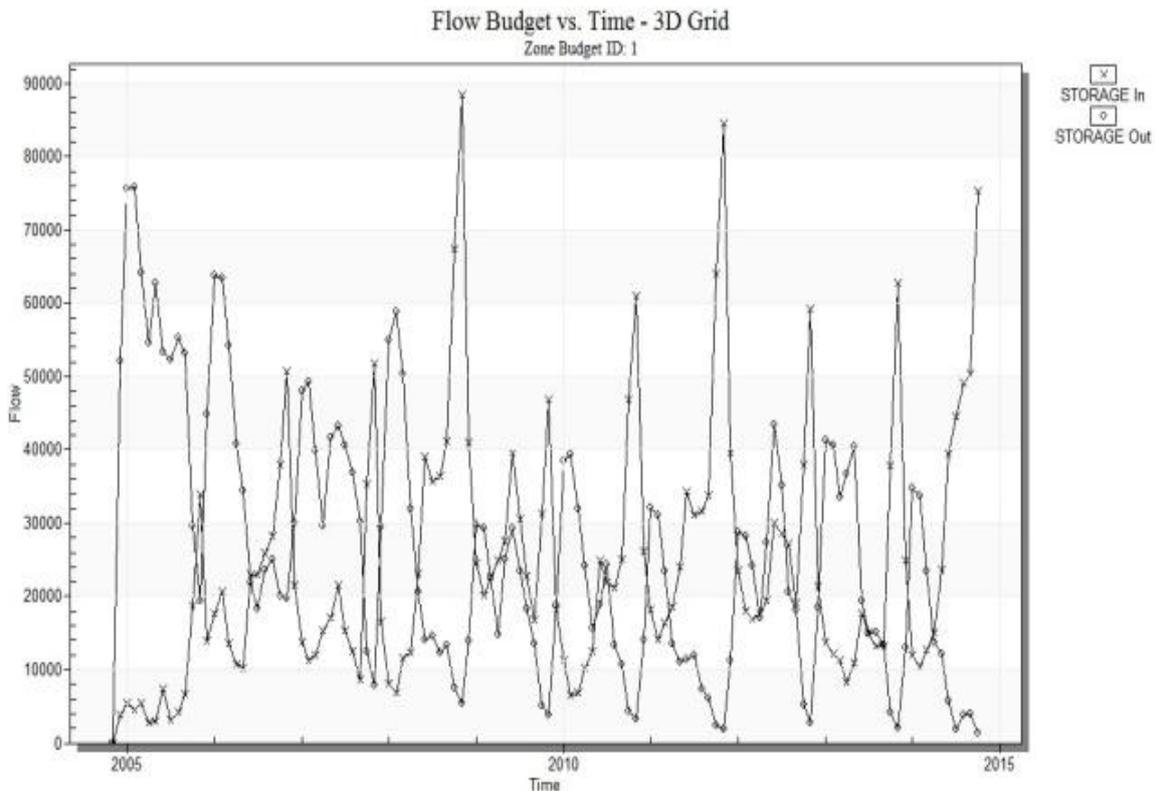
شکل ۵- ساختار سه بعدی مدل ریاضی دشت سملقان

سملقان، معادل با کسری مخزن در طول دوره ۱۰ ساله بوده است. اشکال زیر تغییرات حجم آب ورودی و خروجی از مجموع مرزهای با بار پیوسته و همچنین شبکه آبراه های را نشان می دهد.

Budget یک موتور ریاضی است که توسط USGS برای محاسبه بیلان آبی در مدل MODFLOW توسعه یافته است. اعداد استخراجی از موتور FlowBudget سوار بر مدل واسنجی شده MODFLOW نشان میدهد در دوره ۱۲۶ ماهه شبیه سازی به شکل متوسط روزانه سهم مشخصی از ذخیره ثابت آبخوان کاسته شده است؛ این کاهش با توجه به نزول سطح آب در آبخوان



شکل ۶- حجم جریان ورودی و خروجی از مرزهای پویا دشت سملقان



شکل ۷- حجم جریان ذخيره ورودى و خروجى دشت سملقان

پایلوٲ، فایل رستری (Grid) شکل ۸ (الف) که مقادیر هدایت هیدرولیکى در آن بین دو عدد 0.0788207 و $149,7683$ و با میانگین $24,88973$ و میانه $12,22588$ و انحراف معیار $31,43761$ متغیر است.

مقدار ناهمسانى افقى هدایت هیدرولیکى (آنیزوتروپى) یا HANI در گام اول با توجه به نبود محاسبات صحراى و آزمایشگاهى به مقدار ۱ به تمام سلولها معرفى گردید. سپس در گام واسنجى فرم پایدار (گام دوم) همین مقادیر به عنوان اولیه در قالب نقاط پایلوٲ به مدل معرفى و مقادیر بهینه در این گام حاصل شد (گام دوم). در نهایت در دوره واسنجى بلند مدت، برای پارامتر مذکور با میان یابى IDW نقاط پایلوٲ، فایل رستری (Grid) شکل بالا حاصل گردید که مقادیر ناهمسانى افقى هدایت هیدرولیکى یا Anisotropy در آن بین دو عدد 0.006261275 و $10,12497$ با میانگین $1,090846$ و میانه 0.5795554 و انحراف معیار $1,569848$ متغیر است.

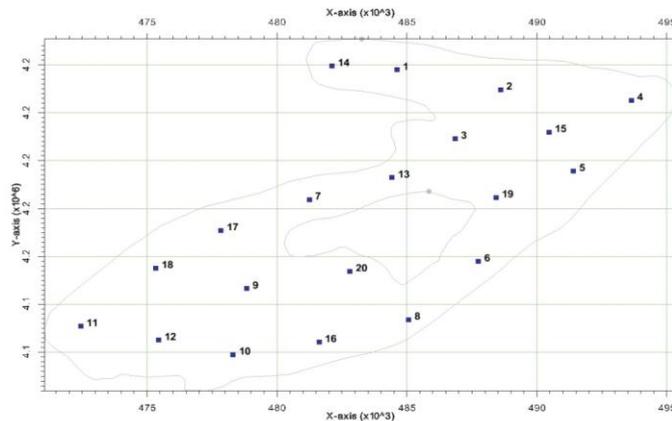
مقدار تغذیه یا RCH با استفاده از اطلاعات موجود از بیلان آبى منطقه محاسبه و با استفاده از زون بندى (یک زون کلی) با اعداد برابر به حوضه اطلاق گردید. مقدار اخیر در قالب مدل مفهومى به شبیه سازى در فرم پایدار معرفى گردید (گام اول)؛ سپس در گام واسنجى فرم پایدار، همین مقدار با پایلوٲ دهى مشابه با پلیگون هدایت هیدرولیکى، به عنوان "اولیه" به مدل معرفى و مقادیر بهینه پارامتر در این گام حاصل شد (گام دوم). در نهایت

نمودارهاى حاضر مشخص میکند که مقدار آب ورودى به ناحیه علاوه بر وابستگى به شرایط فیزیکی آبخوان سملقان، نظیر ضرایب هیدرودینامیکى و ثقل، به مقدار دبی پمپاژ چاههاى بهره بردارى وابستگى مستقیم دارد. بنابراین با افزایش برداشت از آبخوان تغییر در مقدار حجم جریان تبادلى از المانهاى موثر در بیلان قابل انتظار خواهد بود.

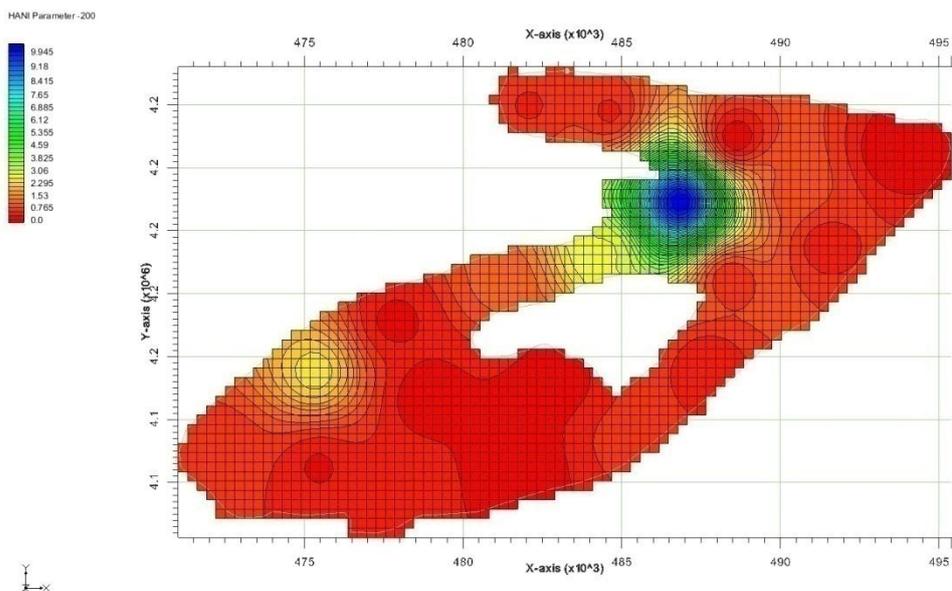
۷. نتایج واسنجى ۷/۱ در شرایط ماندگار

با توجه به اطلاعات برداشتى، ضریب انتقال هدایت هیدرولیکى پس از تخمین با استفاده از محاسبات روابط قابلیت انتقال، به منطقه اطلاق گردید. تخمین اولیه سطح ناپیوسته به صورت عمده Gravel و بر طبق منبع (16) بر پایه بافت آبخوان از سایت www.aqtesolv.com دریافت نموده و با تعیین یک ضریب تاثیر از چاه هاى پمپاژ قابل تصحیح مى باشد که در منطقه هر چاه مقدار پمپاژ از منعکس کننده انتقال بالاتر است. بنابراین در گام اول مقادیر مدل مفهومى به شبیه سازى در فرم پایدار معرفى گردید. در گام واسنجى فرم پایدار این مقادیر به عنوان مقادیر "اولیه" در قالب نقاط پایلوٲ به مدل معرفى و داده مى شود که مقادیر در این گام بهینه مى شود (گام دوم). در نهایت در دوره واسنجى بلند مدت، برای پارامتر مذکور با میان یابى IDW نقاط

در دوره واسنجی بلند مدت، برای پارامتر مذکور، فایل رستری (Grid) شکل ۸(ب) حاصل گردید که در آن اعداد بین دو عدد ۰,۰۰۰۴۶۵۲۸۸۶ با میانگین ۰,۰۰۲۵۱۸۰۹ و ۰,۰۰۰۰۶۳۴۱۰۰۳ و میانه ۰,۰۰۰۳۴۰۹۷۷۷ و انحراف معیار ۰,۰۰۰۳۷۴۲۵۷۶ متغیر است.



(الف)



(ب)

شکل ۸- میان یابی نقاط پایلوت ناهمسانگردی هدایت هیدرولیکی در گام واسنجی غیرماندگار.

واسنجی بلند مدت، برای پارامتر مذکور با میان یابی IDW نقاط پایلوت، فایل رستری (Grid) شکل بالا حاصل گردید که مقادیر در آن بین دو عدد ۰,۰۰۱۵۱۶۴۰۵ و ۰,۴۴۹۹۲۶ با میانگین ۰,۱۶۶۲۲۷۹ و میانه ۰,۰۹۹۸۹۱۴۵ و انحراف معیار ۰,۱۵۳۱۷۶ متغیر است.

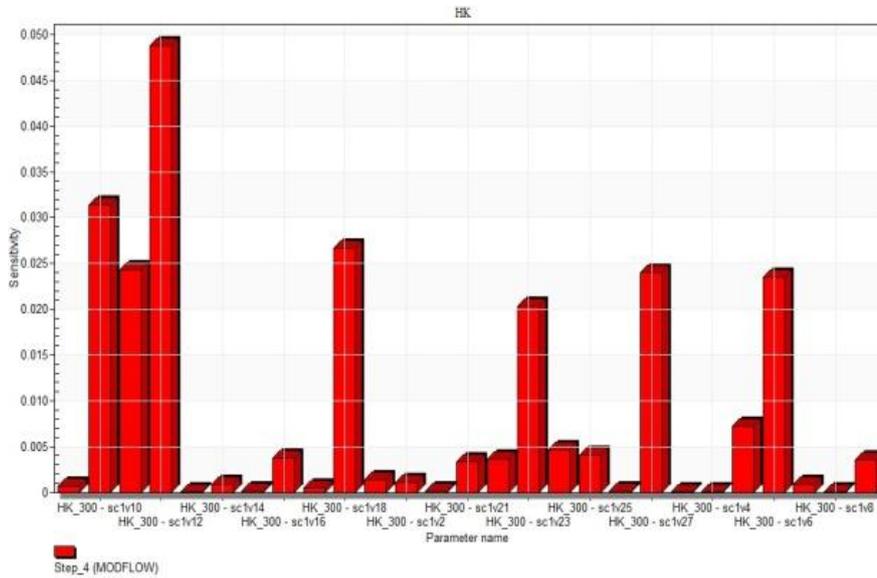
۷/۲ نتایج واسنجی در شرایط غیرماندگار

در مرحله واسنجی ناپایدار جهت کاهش خطای کل و همچنین پیشگیری از انتقال عمده خطا بر روی هیچ یک از پارامترها،

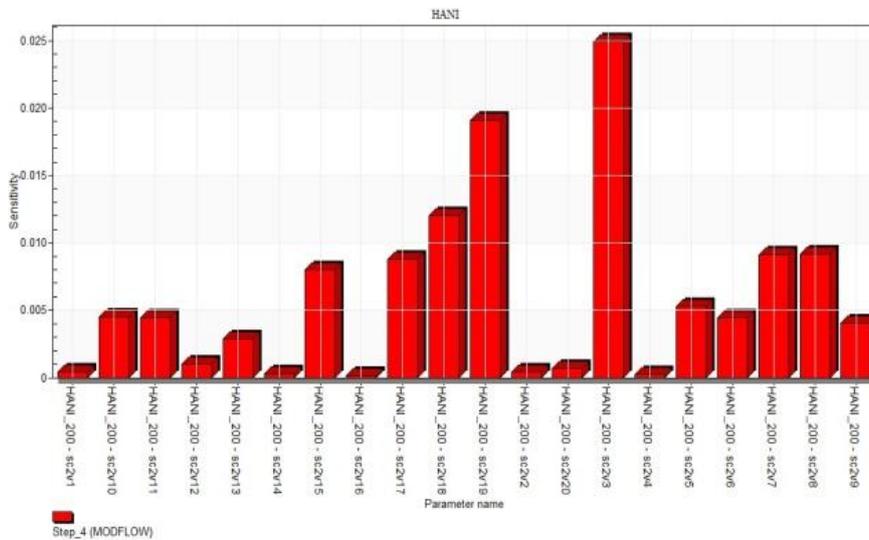
مقدار آبدهی ویژه (به اشتباه در آب منطقه ای ضریب ذخیره نامیده میشود) یا S_Y در گام سوم مدل سازی با توجه به محاسبات صحرایی و آزمایشگاهی به مقدار میان یابی متغیر به تمام سلولها معرفی گردید. این عدد بر پایه بافت آبخوان به صورت عمده Gravel و بر طبق منبع (۱۶) از سایت www.aqtesolv.com قابل اصلاح بوده است. سپس در گام واسنجی فرم ناپایدار (گام چهارم) همین مقادیر به عنوان اولیه در قالب نقاط پایلوت به مدل معرفی و مقادیر بهینه در این گام حاصل شد (گام چهارم). در دوره

مقدور بود. تحلیل حسایت در مرحله واسنجی ناپایدار به شرح ذیل است:

مجموعاً با چهار بار اصلاح مدل مفهومی^۲، نتایج بهینه حاصل گشت. در هر مرحله اصلاح با استفاده از نمودارهای تحلیل حسایت، بررسی تأثیر تمامی پارامترهای دخیل در گام واسنجی



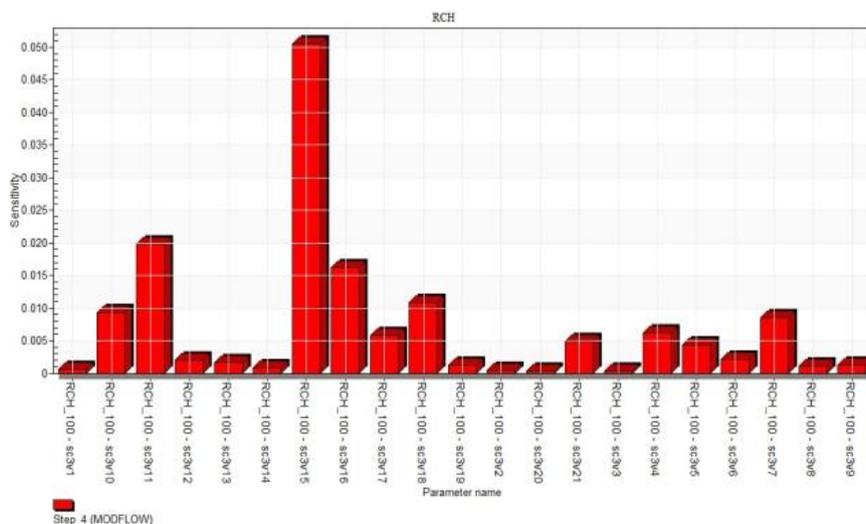
شکل ۹- تحلیل حسایت پیلوت‌های پارامتر هدایت هیدرولیکی افقی



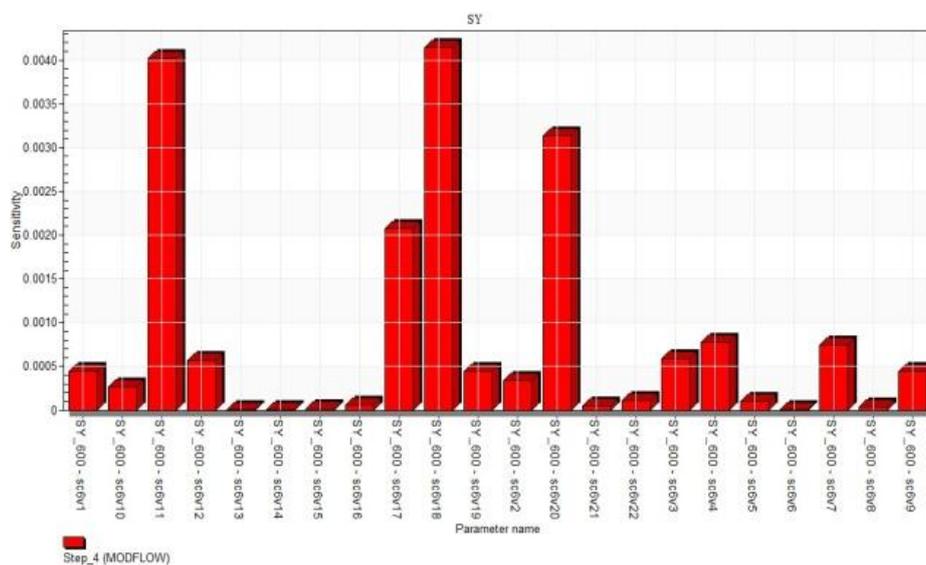
شکل ۱۰- تحلیل حسایت پیلوت‌های پارامتر ناهمسانگردی افقی هدایت هیدرولیکی

مفهومی هرگز به طور کامل نمی تواند تمام جزئیات یک سیستم واقعی را تشریح نماید.

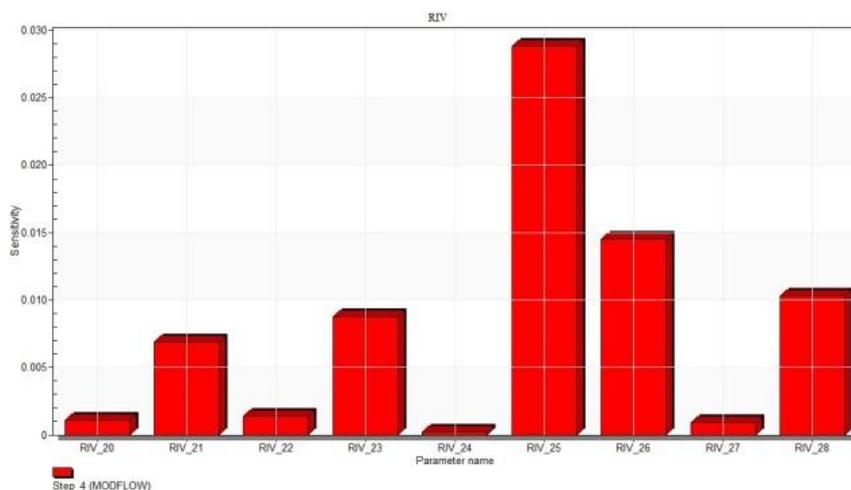
^۲ مدل مفهومی: برای مطالعه یک سیستم جریان آب زیرزمینی ابتدا یک مدل مفهومی تهیه می شود که این مدل نسبت به سیستم حقیقی پیچیدگی کمتری دارد به همین دلیل مدل



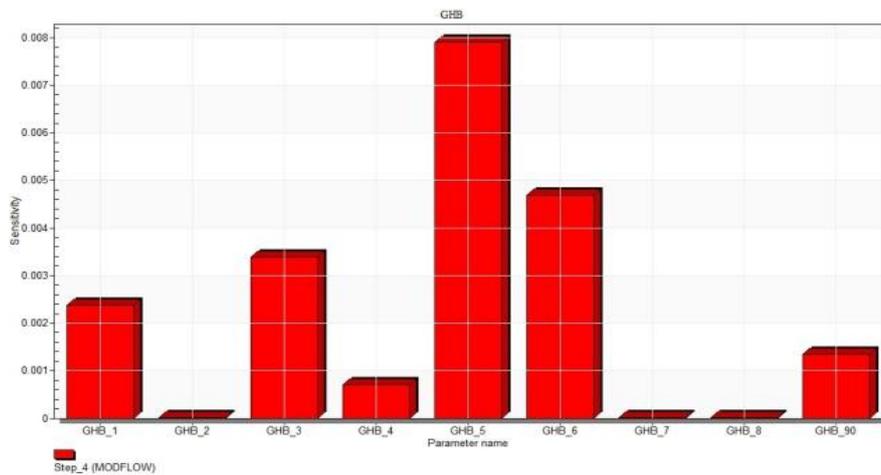
شکل ۱۱- تحلیل حساسیت پیلوت‌های پارامتر تغذیه از سطح



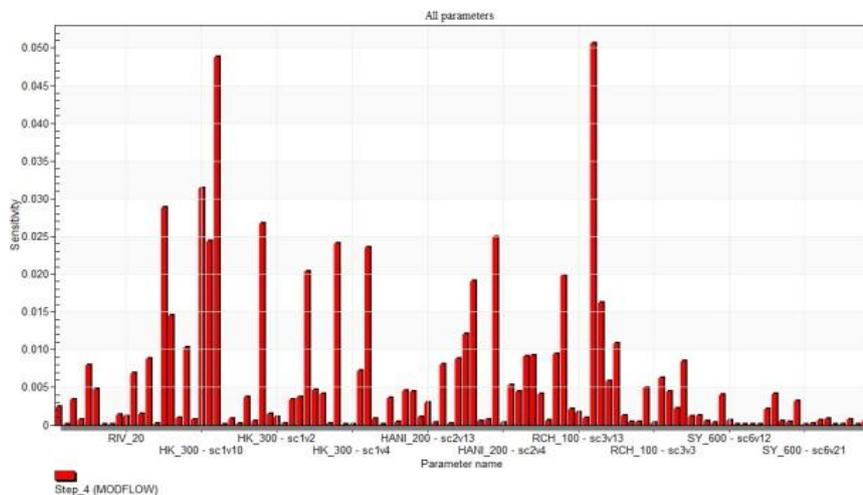
شکل ۱۲- تحلیل حساسیت پیلوت‌های پارامتر آبدهی ویژه



شکل ۱۳- تحلیل حساسیت پیلوت‌های پارامتر آبراهه



شکل ۱۴-تحلیل حساسیت پالیوت‌های پارامترهای ترابوا



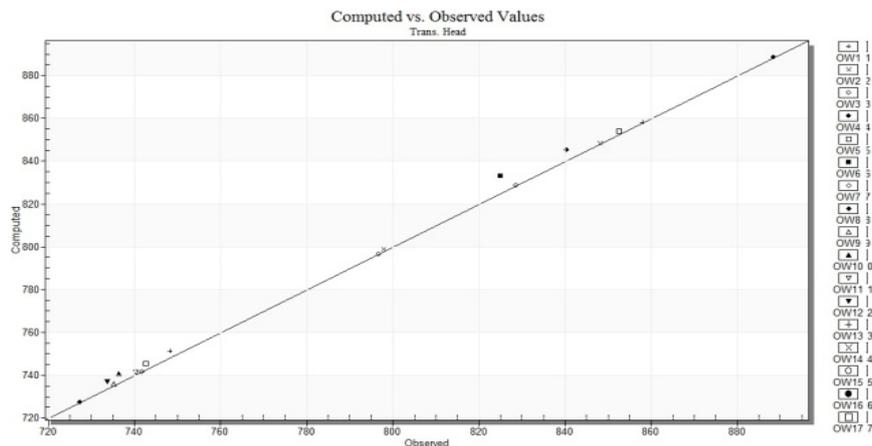
شکل ۱۵- تحلیل مقایسه‌های حساسیت تمامی پارامترها در مرحله واسنجی ناپایدار.

نتایج

بیشینه به مقدار ۲۲/۸۳، در چاههای پیرومتری منطقه، عدد نرمال شده ۶٪ را بدست داد، که کمتر بودن این عدد از حد ۳۰٪ برای دوره طولانی مدت شبیه سازی، مناسب میباشد. برای اطمینان از مدل ساخته شده در آبخوان سملقان، فرآیند واسنجی در یک دوره ۱۲۶ ماهه صورت پذیرفت و بنابراین با توجه به ۱۲۶ ماهه بودن بازه مطالعاتی، گام صحت سنجی عملا برای ۲۵٪ ماه نهایی از ماه ابتدایی شکل گرفت که خطای اندک در مرحله صحت سنجی موید دقت در واسنجی صورت گرفته و صحت هیدروگراف سلولهای شبکه ریاضی بود. نمودار شبیه سازی سطح آبخوان در دوره زمانی ۱۲۶ ماهه برای همه چاههای مشاهداتی، با حداقل خطای مطلوب حاصل گردید که ذیلا نمودار خطا برای این مرحله آمده است. (شکل ۱۶)

نتایج خروجی از آنالیز حساسیت پارامترهای موثر در واسنجی آبخوان سملقان، نشان دهنده تأثیر حداکثری پارامترهای هدایت هیدرولیکی و ناهمسان گردی هدایت هیدرولیکی بخصوص در برخی از پالیوتها میباشد. علاوه یک تک گروه از رودخانه حدود دشت دارای حساسیت بالایی گزارش شده است. بر همین اساس، ویرایشهای صورت گرفته بر مرزهای با بار هیدرولیکی پویا (مدل مفهومی) در حدود پارامترهای با حساسیت زیاد، خطای کل واسنجی را در آخرین مرحله از مراحل چهار گانه واسنجی به حداقل مطلوب کاهش داد.

مقدار خطای نسبی RMS یا RMSE در آخرین مرحله واسنجی ناپایدار معادل با ۱/۲۴ میباشد که دقت بالای شبیه سازی را نشان میدهد. همچنین مقدار خطای نسبی نرمال شده (NRMSE) برای مدل حاضر با تقسیم RMSE با رقم ۱/۲۴ بر حد اختلاف کمینه از



شکل ۱۶- خطای مقادیر محاسباتی در مقابل داده‌های مشاهداتی در مرحله صحت سنجی

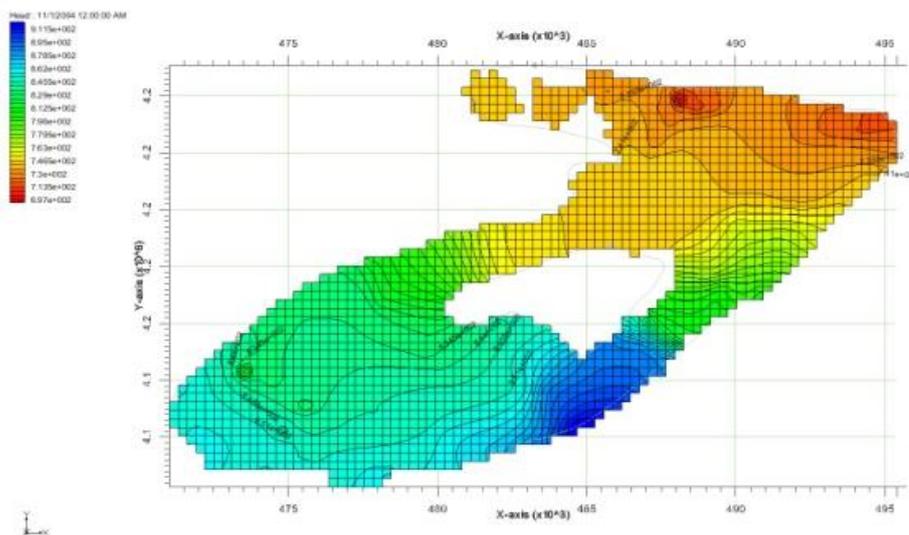
از آبخوان تغییر در مقدار حجم جریان تبدیلی از المانهای موثر در بیلان قابل انتظار خواهد بود.

خروجی سطح آب در مدل عددی:

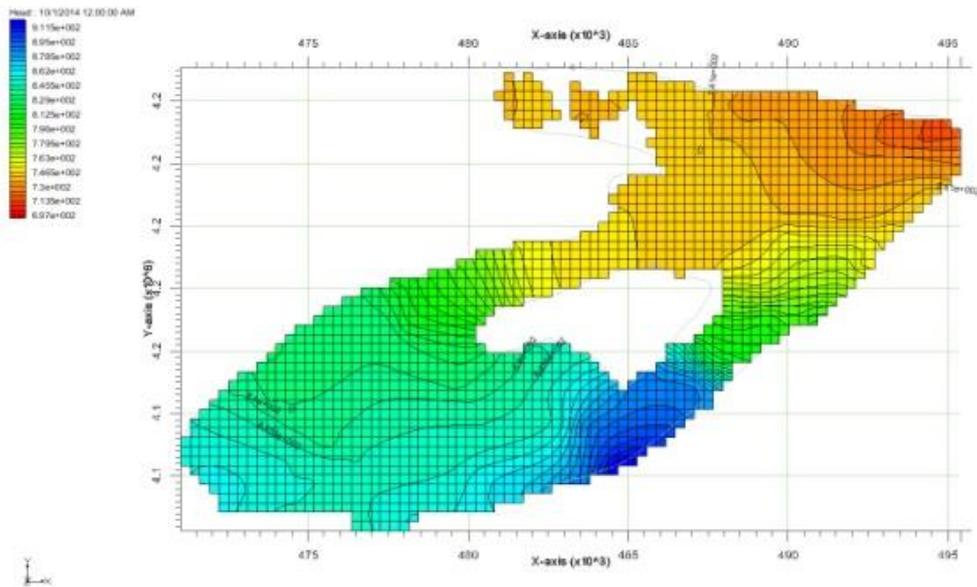
مدلی که مراحل واسنجی و صحت سنجی را پشت سر گذاشته باشد برای پیشبینی وضعیت آینده آبخوان مناسب بوده و قادر است با اعمال استرس‌های مورد نظر وضعیت آینده آبی را برای بهبود عملکرد و تصمیمات مدیریتی مشخص کند. شکل حاضر سطح آب زیرزمینی آبخوان سملقان را در آخرین گام زمانی بازه ۱۲۶ ماهه نشان می‌دهد. درحالی که صورت شکل رستری شبکه تقاضل محدود و خلاصه آماری آن در ابتدای دوره، به صورت ذیل بوده است. این تفاوت بیانگر افت آب پس از ۱۰ سال برداشت از آبهای زیرزمینی است.

Flow_Budget یک موتور ریاضی است که توسط USGS برای محاسبه بیلان آبی در مدل MODFLOW توسعه یافته است. اعداد استخراجی از موتور FlowBudget سوار بر مدل واسنجی شده MODFLOW نشان میدهد در دوره ۱۲۶ ماهه شبیه سازی به شکل متوسط روزانه سهم مشخصی از ذخیره ثابت آبخوان کاسته شده است؛ این کاهش با توجه به نزول سطح آب در آبخوان سملقان، معادل با کسری مخزن در طول دوره ۱۰ ساله بوده است. اشکال زیر تغییرات حجم آب ورودی و خروجی از مجموع مرزهای با بار پیوسته و همچنین شبکه آبراههای را نشان می‌دهد.

نمودارهای شکل ۱۸ و ۱۸ نشان می‌دهد که مقدار آب ورودی به ناحیه علاوه بر وابستگی به شرایط فیزیکی آبخوان سملقان، نظیر ضرایب هیدرودینامیکی و ثقل، به مقدار دبی پمپاژ چاههای بهره برداری وابستگی مستقیم دارد. بنابراین با افزایش برداشت



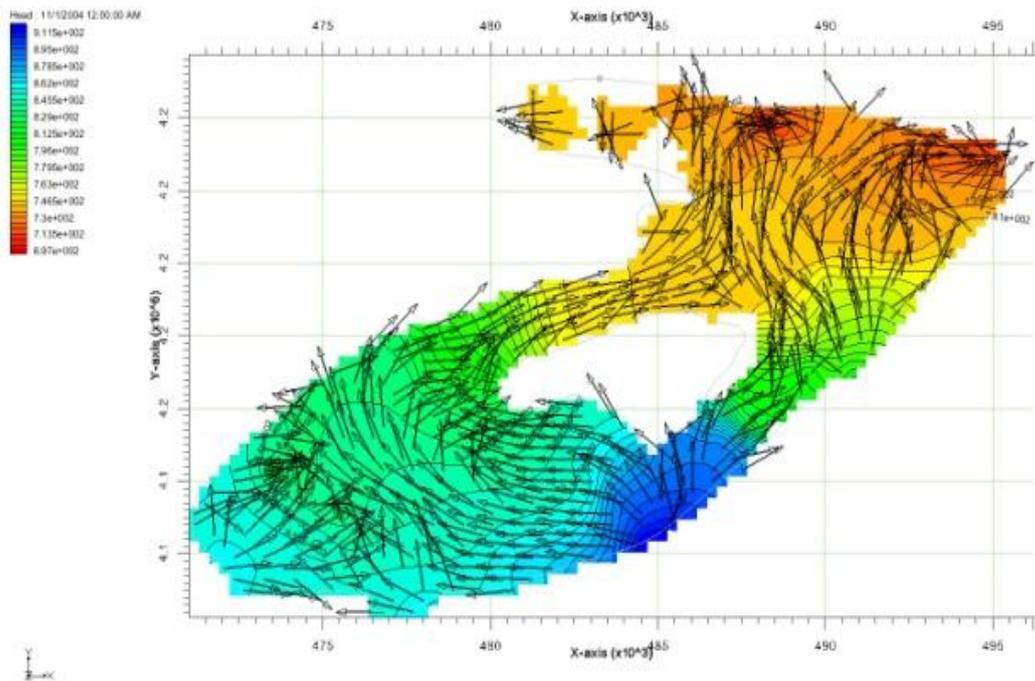
شکل ۱۷- تراز آب زیرزمینی آبخوان سملقان در ابتدای دوره



شکل ۱۸- تراز آب زیرزمینی آبخوان سملقان در پایان دوره با ادامه روند برداشت حاضر از چاهها

عمده در جهت گیری را در همین نواحی مشاهده کرد. بیشترین مقدار خطوط سرعت، در نواحی مرزی و در محدوده حاشیه مرزهای تراوا قابل مشاهده است. به این شکل میتوان بیان داشت که حفر چاه های فراوان با دبی بهره برداری بالا در بخشهای مرکزی آبخوان، منجر به استخراج نقشه های سرعت جریان با ساختار ناهمگن در محدوده دشت سملقان شده است.

همچنین بر اساس نقشه تراز آب زیرزمینی دشت سملقان (شکل ۱۸)، استفاده از ابزار محیط نرم افزار GMS می توان خطوط سرعت و جهت جریان آب زیرزمینی را برای محدوده آبخوان و بر طبق کلاسه بندی نمایش بزرگی مقدار آن رسم کرد. همچنان که در شکل ۱۸، سرعت جریان آب زیرزمینی در بخش های شمال آبخوان از رقم بالایی برخوردار است. به وضوح می توان تغییرات



شکل ۱۹- بردارهای جهت و سرعت جریان مدل نهایی دشت سملقان

بحث و نتیجه‌گیری

کاسته شدن میزان ورودی آبخوان و افزایش خروجی دشت سملقان از نتایج این تحقیق می باشد که در سالهای اخیر این میزان تقریباً با یکدیگر برابر بوده است و با در نظر گرفتن ادامه روند فعلی پس از ده سال کیفیت و کمیت آبهای زیرزمینی دشت سملقان به شدت کاهش خواهد یافت.

مسئله نیز در آسیب رسانی به کیفیت و کمیت آبهای زیرزمینی دامن میزند و پیشنهاد میشود با ترویج روشهای بهینه آبیاری کشاورزی و انتقال آب و جلوگیری از هدر رفت آب در مسیر و همچنین جلوگیری از تغییر کاربری اراضی و ترویج عمومی مسئله بحران آب و اهمیت آبخوانها بویژه منطقه بحرانی دشت سملقان از نابودی اکوسیستم سبز جلوگیری شود.

پیشنهادها

نتایج نشان داد نرم افزار GMS و مدل MODFLOW میتواند اطلاعات و تحلیل‌های مناسب و فراوانی را به ما بدهد که از طریق بتوانیم آبخوان را جهت حفظ و استفادهی بهینه مدیریت کنیم. نتایج نشان داد آبخوان دشت سملقان با ادامه روند فعلی بهره برداری و تغذیه ضعیف آن به لحاظ کمی و کیفی آسیب خواهد دید و این مسئله در کل اکوسیستم منطقه تاثیر گذار خواهد بود. نتایج نشان داد علاوه بر مسئله مدیریت بهره‌وری و استفاده از آبخوان، باید مسئله تغذیه آبخوان نیز مورد توجه قرار بگیرد و با انجام عملیات و پروژه های آبخیزداری به افزایش حجم آبهای زیرزمینی کمک کنیم تا آیندگان نیز بتوانند از آن استفاده بنمایند. نتایج نشان داد با افزایش میزان خشکسالی ها علاوه بر اینکه ورودی آب آبخوان ها کم شده است، مصارف و بهره برداری ها نیز از آبهای زیرزمینی افزایش یافته که همین مسئله باعث تغییر در سرعت و جهت جریان آبهای زیرزمینی در آبخوان دشت سملقان شده است.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده پردازی: مسعود سجادی، حسین حسن پور دریوشی؛ روششناسی و تحلیل دادهها: مسعود سجادی، حسین حسن پور دریوشی، حسین ابراهیمی؛ نظارت و نگارش نهایی: مسعود سجادی.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

References

- Babran, S., and Honarbakhsh, N. 2008. Water crisis in the world and Iran. Strategy Quarterly, 16(48): 193-212. [In Persian].
- Ramezanikhojeen, A.; Kheirkhahzarkesh, M.; Daneshkar, P.; Moridi, A., and Alimohammadi, R. 2017. Sensitivity analysis of calculated evapotranspiration using daily energy balance model and comparing it with Sebal model. Iran-water resources research, 12(1): 18-28. [In Persian].
- Ministry of Power. 2002. Report on the preparation of mathematical models of groundwater aquifers, first volume P:157. [In Persian].
- Deb Barma, S. 2010. Development of groundwater management model linking GMS with GA-PSO-based hybrid algorithm. International journal of engineering science and technology, 2(12), 7297-7300.
- Ghoraba, S.M., Zeydan, B.A. and Rashwan, I.M.H. 2013. Solute transport modeling of the groundwater for quaternary aquifer quality management in Middle Delta, Egypt. Alexandria engineering journal, 152, 197-207.
- Şengör, S.S. and Ünlü, K. 2013. Modeling contaminant transport and remediation at an acrylonitrile spill

- site in Turkey. Journal of Contaminant Hydrology, 150, 77-92.
7. Valizadeh, M. and Jafari, H. 2014. Simulation of Transfer of nitrate pollution in Shahrood Aquifer. Journal of Geochemistry, 3(1): 393-402 (In Persian).
 8. Behmanesh, J., Rezaei, H. and Jonubi, R. 2014. Effect of modern irrigation and drainage networks on Urmia groundwater. Journal of Soil and Water Conservation, 20(3): 241-251(In Persian).
 9. Gholami, Sh. and Noori, M. (2014). Simulation contamination in groundwater From landfill covered pollutants. The first national conference planning, environmental protection and sustainable development, Hamedan, Community Environmental Assessment Hegmataneh (In Persian).
 10. Office of Basic Studies of the Ministry of Energy. 2016. Report on the preparation of mathematical models of groundwater aquifers, Volume Five, P:121. [In Persian].
 11. Kresic, N. 2007. "Hydrogeology and Groundwater Modeling", New York, Taylor & Francis Group. first volume. P:71.
 12. Mahmoodian Shooshtari, M. (2010). Hydraulics of Groundwater, University of Chamran press (In Persian).
 13. Ministry of Power. Guidelines for mathematical modelling of groundwater. Publication No. 337 (a) (In Persian).
 14. Pourseiedi, A., and Kashkoli, H. 2013. Study of groundwater status of Jiroft plain using PMWIN model. Irrigation Sciences and Engineering. 35(2). 51-63.
 15. The office of basic studies of Nero Ministry, 1395.
 16. Domenico, P.A. and F.W. Schwartz, 1990. Physical and Chemical Hydrogeology, John Wiley & Sons, New York, P:824.