

Journal of Water and Wastewater, Vol. 33, No. 4, pp: 36-50

Evaluation of Quantitative and Qualitative Management Plans in Varamin Plain Aquifer

F. Valivand¹, H. Katibeh²

1. PhD. Student in Mining Exploration, Dept. of Mining and Metallurgical Engineering, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Tehran, Iran
2. Assist. Prof., in Mining Engineering, Dept. of Mining and Metallurgical Engineering, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Tehran, Iran
(Corresponding Author) katibeh@aut.ac.ir

(Received Nov. 14, 2021 Accepted May 21, 2022)

To cite this article:

Valivand, F., Katibeh, H. 2022. "Evaluation of quantitative and qualitative management plans in Varamin Plain aquifer" Journal of Water and Wastewater, 33(4), 36-50.
Doi:10.22093/wwj.2022.315051.3197. (In Persian)

Abstract

Groundwater is the most important source of fresh water supply in arid and semi-arid regions around the world, so it is necessary to maintain it through proper management in the use of these resources. Predicting areas of the aquifer that are most likely to be vulnerable is a powerful tool for optimally managing groundwater resources. Using numerical models, it is possible to predict how the aquifer reacts to the harvesting and feeding of the aquifer, with the prevailing trend or different management scenarios. The purpose of this study is to evaluate the effect of current management plans of the aquifer and the catchment area of the Jajroud River on changes in aquifer water levels and changes in nitrate ion concentration in the Varamin Plain, using numerical modeling. In this study, the effect of aquifer and catchment management plans of Jajrud River on changes in aquifer water level and changes in nitrate ion concentration in Varamin Plain, using numerical modeling. In this study, first a quantitative model was prepared in GMS software using MODFLOW code and then qualitative data were entered into the model. MT3D code was used to run the model. The model was simulated in both stable and unstable modes. After calibrating the model, the hydrodynamic coefficients were corrected and then, using the obtained model, the quantitative and qualitative behavior of the aquifer for the coming years was predicted for two management scenarios. The resulting model showed that with the continuation of the current trend in the aquifer (first scenario), the trend of quantitative and qualitative decline of the aquifer will continue as in previous years, but in the second scenario, with reduced harvesting from wells, municipal wastewater treatment plant will be commissioned. The artificial feeding of the aquifer and the use of the effluent of the Tehran water treatment plant to irrigate the Varamin Plain will significantly reduce the water level decline. Comparison of model implementation in the first and second scenarios shows that with the implementation of planned projects, part of the quantitative problems of the aquifer,



especially in the northern areas of the plain will be reduced, so that in some areas, groundwater loss calculated in the quantitative model of the first scenario (until 1420) is reduced by about 30 to 40 meters. The output maps of the qualitative model of the first scenario show that in 1420 the concentration of nitrate in a large part of the aquifer will reach over 40 mg/L, which indicates serious health threats to the region. Simulation in the second scenario shows that the implementation of artificial feeding plan and feeding the aquifer with the effluent of the wastewater treatment plant (with a concentration of 50 mg/L) will not have much effect on reducing nitrate in the aquifer. In general, the implementation of nutrition and consumption management plans in the Varamin aquifer can only lead to a reduction in the quantitative and qualitative decline of groundwater in the aquifer that does not significantly reduce the percentage of water entering the aquifer. Certainly, using the current management methods (second scenario) will not have much effect on improving the aquifer. In addition to the plan to import wastewater from the Tehran treatment plant to the Varamin Plain, the plain should continue to be fed from the Jajrud River as a suitable natural feeding source.

Keywords: Groundwater, Varamin Plain Aquifer, Aquifer Management, Numerical Modeling, Quantitative and Qualitative Model of Groudwater.



مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۳، شماره ۴، صفحه: ۳۶-۵۰

ارزیابی اجرای طرح‌های مدیریتی کمی و کیفی در آبخوان دشت ورامین

فرشته ولی‌وند^۱، همایون کتیبه^۲

۱- دانشجوی دکترا، گروه مهندسی اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی،

دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

۲- دانشیار، گروه مهندسی اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی،

دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

katibeh@aut.ac.ir (نویسنده مسئول)

پذیرش (۱۴۰۱/۲/۳۱)

(دریافت ۱۴۰۰/۸/۲۳)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام فرمایید:

ولی‌وند، ف.، کتیبه، ه.، ۱۴۰۱، "ارزیابی اجرای طرح‌های مدیریتی کمی و کیفی در آبخوان دشت ورامین"

مجله آب و فاضلاب، ۳۳(۴)، ۳۶-۵۰. Doi:10.22093/wwj.2022.315051.3197

چکیده

آب زیرزمینی مهم‌ترین منبع تأمین آب شیرین در مناطق خشک و نیمه‌خشک در سراسر جهان است، بنابراین حفظ و نگهداری آن از طریق اعمال مدیریت صحیح در بهره‌برداری از این منابع، ضروری است. با استفاده از مدل‌های عددی، می‌توان نحوه واکنش آبخوان نسبت به برداشت و تغذیه آبخوان، با روند حاکم یا سناریوهای مختلف مدیریتی را پیش‌بینی کرد. هدف از این پژوهش، ارزیابی تأثیر طرح‌های مدیریتی فعلی آبخوان و حوضه آبریز رودخانه جاجرود بر تغییرات سطح آب آبخوان و نیز تغییرات غلظت یون نیترات در دشت ورامین، با استفاده از مدل‌سازی عددی بود. در انجام این پژوهش، ابتدا مدل کمی در نرم‌افزار GMS، با استفاده از کد MODFLOW تهیه و داده‌های کیفی به مدل وارد شد. سپس از کد MT3D برای اجرای مدل استفاده شد. مدل در دو حالت پایدار و ناپایدار شبیه‌سازی شد. پس از واسنجی مدل، ضرایب هیدرودینامیکی تصحیح شدند و سپس با استفاده از مدل به‌دست آمده، رفتار کمی و کیفی آبخوان برای سال‌های آینده، برای دو سناریو مدیریتی، پیش‌بینی شد. مدل حاصله نشان داد که با ادامه روند فعلی حاکم بر آبخوان (سناریو اول)، روند افت کمی و کیفی آبخوان مانند سال‌های پیشین ادامه خواهد یافت، ولی در سناریو دوم، با کاهش برداشت از چاه‌ها، راه‌اندازی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری، انجام تغذیه مصنوعی آبخوان و استفاده از پساب خروجی تصفیه‌خانه تهران، به‌منظور آبیاری دشت ورامین از روند افت سطح ایستابی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاسته خواهد شد. مقایسه اجرای مدل در سناریو اول و دوم نشان داد که با اجرای طرح‌های برنامه‌ریزی شده، بخشی از مشکلات کمی آبخوان به‌ویژه در نواحی شمالی دشت کاهش خواهد یافت، به‌گونه‌ای که در برخی از مناطق از افت آب زیرزمینی محاسبه شده در مدل کمی سناریو اول (تا سال ۱۴۲۰)، حدود ۳۰ تا ۴۰ متر کاسته می‌شود. نقشه‌های خروجی از مدل کیفی سناریو اول نشان داد که در سال ۱۴۲۰ غلظت نیترات در بخش وسیعی از آبخوان به بیش از ۴۰ میلی‌گرم در لیتر خواهد رسید که بیانگر تهدیدات جدی سلامت منطقه است. شبیه‌سازی در سناریو دوم نشان داد که اجرای طرح تغذیه مصنوعی و تغذیه آبخوان با پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب (با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر) تأثیر چندانی بر کاهش نیترات در آبخوان نخواهد داشت. به‌طور کلی، اجرای طرح‌های مدیریت تغذیه و مصرف در آبخوان ورامین، تنها در صورتی می‌تواند موجب روند کاهش افت کمی و کیفی آب زیرزمینی در آبخوان شود که به‌طور قابل‌توجهی در صد آبهای ورودی به آبخوان را کاهش ندهد. قطعاً بهره‌گیری از روش‌های مدیریتی فعلی (سناریو دوم)، تأثیر چندانی بر بهبود وضعیت آبخوان نخواهد داشت. علاوه بر طرح ورود فاضلاب تصفیه‌خانه تهران به دشت ورامین باید تغذیه دشت از رودخانه جاجرود، به‌عنوان منبع تغذیه طبیعی مناسب همچنان ادامه یابد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، آبخوان دشت ورامین، مدیریت آبخوان، مدل‌سازی عددی، مدل کمی و کیفی آب زیرزمینی



۱- مقدمه

آب زیرزمینی، آب ذخیره شده در ناحیه اشباع است. اگرچه در کره زمین آب فراوانی وجود دارد، ولی تنها ۲/۵ درصد از کل منابع آب به صورت آب شیرین در دسترس است و از این میزان بیش از ۹۸ درصد از آبهای شیرین یخ نزده به صورت آب زیرزمینی وجود دارند (Mashhadi Mighani and Baghvand, 2010).

امروزه استفاده از مدل‌ها، برای به تصویر کشیدن واقعیات و درک بهتر آنها و همچنین اتخاذ تصمیمات درست در مورد پدیده‌ها، بسیار متداول است. یکی از این مدل‌ها، مدل شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی است که توسط متخصصان در بسیاری از کشورها استفاده می‌شود و دقت و صحت نتایج آنها نیز ثابت شده است (Karami et al., 2018).

مدل‌های عددی آب زیرزمینی می‌توانند در تخمین پارامترهای هیدرولیکی و همچنین مدیریت منابع آب استفاده شوند (Regli et al., 2003). با استفاده از مدل‌های عددی، می‌توان نحوه واکنش آبخوان نسبت به برداشت و تغذیه آبخوان، با روند حاکم یا سناریوهای مختلف را پیش‌بینی کرد. پیش‌بینی رفتار آینده آبخوان در قبال یک آلاینده خاص (مثل نیترات) اهمیت به‌سزایی دارد. در این راستا با استفاده از مدل شبیه‌سازی شده آبخوان، پیش‌بینی مسیر حرکت آلاینده و تغییرات غلظت آن در نقاط در طول زمان، ممکن خواهد بود. با مشاهده مسیر حرکت آلاینده‌ها، می‌توان بهینه‌ترین سیستم را برای رفع آلودگی موجود و کنترل آن و جلوگیری از پیشرفت آن در سال‌های آینده در نقاط مختلف آبخوان انتخاب کرد (Nakhaei et al., 2016).

امروزه شبیه‌سازی کمی آب زیرزمینی با استفاده از کد Modflow همراه با استفاده از نرم‌افزارهای پیش و پس پردازنده، گسترش یافته است. کد Modflow برای شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی، در مناطق مختلفی از جهان به‌کار رفته است. از جمله می‌توان آبخوان‌های دره نیل در منطقه تحتا و دلتای میانی در مصر (Shamruk et al., 2001, Ghoraba et al., 2013)، آبخوان‌های حوضه آبریز کرویدی (از مهم‌ترین مناطق تولید محصولات کشاورزی در اروپا) و منطقه کامبریا در فرانسه (Serhal et al., 2002), Molenat and Gascuel-Odoux, 2009، آبخوان سوماس بلین در ایالت واشنگتن آمریکا (Almasri and Kaluarachchi, 2007) حوضه رودخانه ویلموت در جزیره ادومند کانادا (Jiang

and Somers, 2009 and آبخوان شروود در غرب ناتینگام شایر انگلستان (Zhang and Hiscock, 2011)، منطقه تسالی در یونان (Stamatis et al., 2011) و آبخوان آبرفتی زاگرب در کرواسی (Marković et al., 2013) را نام برد. شبیه‌سازی آب زیرزمینی با کد بیان شده در ایران نیز برای دشت‌های مختلف از جمله دشت خزل نهاوند (Ghobadian et al., 2016)، دشت کاشمر (Ghafarian Sayeli, 2013)، دشت نورآباد (Pourhaghi et al., 2014)، دشت زنجان (Panahi et al., 2016)، دشت عجب شیر (Nikbakht and Najib, 2015) و دشت تویسرکان همدان (Poormohammadi et al., 2016) انجام شده است.

دشت ورامین به‌دلیل ظرفیت‌های قابل توجه اقتصادی و اجتماعی، به‌ویژه در زمینه توسعه فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی، از ۵۰ سال پیش تاکنون همواره مورد توجه بوده و پژوهش‌های زیادی بر روی آن انجام شده است (Zehtabian et al., 2005, Fatemi et al., 2011).

بیشتر این پژوهش‌ها بر روی کیفیت آب (Torabian et al., 2004) و با استفاده از روش‌های آماری بوده است. از این‌رو بررسی هم‌زمان کمی و کیفی آب زیرزمینی این دشت با استفاده از مدل‌های ریاضی، برای پیش‌بینی رفتار آبخوان در آینده، به‌دلیل تأمین بخش عمده‌ای از آب کشاورزی و آشامیدنی، اهمیت خاصی دارد. در انجام این پژوهش، ابتدا مدل کمی در نرم‌افزار GMS، با استفاده از کد MODFLOW تهیه شد و داده‌های کیفی به مدل وارد شد. سپس از کد MT3D برای اجرای مدل استفاده شد. مدل دو حالت پایدار و ناپایدار شبیه‌سازی شد. هدف از این شبیه‌سازی، ارزیابی تأثیر طرح‌های مدیریتی فعلی آبخوان و حوضه آبریز رودخانه جاجرود بر تغییرات سطح آب آبخوان و نیز تغییرات غلظت یون نیترات در دشت ورامین، با استفاده از مدل‌سازی عددی بود. پس از واسنجی مدل، ضرایب هیدرودینامیکی دشت تصحیح و سپس با استفاده از مدل به‌دست آمده، رفتار کمی و کیفی آبخوان برای سال‌های آینده، برای دو سناریو مدیریتی موردنظر، پیش‌بینی شد.

۲- معرفی منطقه مورد مطالعه

دشت ورامین، در جنوب شرقی دشت تهران و شمال غربی کویر مرکزی ایران، در دامنه‌های جنوبی کوه‌های البرز، شمال ایران، واقع شده است. مساحت منطقه مورد مطالعه، حدود ۱۵۹۵ کیلومتر مربع



شکل ۱ موقعیت دشت ورامین در ایران و استان تهران را نشان می‌دهد.

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- طرح‌های مدیریتی آبخوان ورامین و حوضه آبریز رودخانه جاجرود

توسعه روزافزون دشت ورامین موجب شده است طرح‌های توسعه منابع آبی از جمله طرح شبکه آبیاری و زهکشی دشت، بند انحرافی ورامین، طرح تغذیه مصنوعی آبخوان و کانال ورامین، بهره‌برداری شوند. با این حال در شرایط کنونی، بحران آب ناشی از بهره‌برداری بی‌رویه آب زیرزمینی افزایش یافته و منطقه را تحت تأثیر قرار داده است. طی سال‌های آینده، با بهره‌برداری کامل سد مخزنی ماملو، طرح‌های تغذیه مصنوعی دشت ورامین، تصفیه‌خانه جنوب شرق تهران، افزایش ظرفیت کانال ورامین و تغییر در برنامه تخصیص سد مخزنی لتیان، دشت ورامین با تغییر و تحولات مختلفی در کمیت و

است. منطقه مورد مطالعه، بین طول‌های جغرافیایی $29^{\circ} 55'$ و $28^{\circ} 49'$ و عرض‌های جغرافیایی $58^{\circ} 29'$ واقع شده است (Karami et al., 2018). میانگین بارندگی سالانه حدود ۱۷۲ میلی‌متر و میزان تبخیر حدود ۲۴۳۹ میلی‌متر در سال است. آب و هوای این منطقه خشک و نیمه‌خشک است، اما بخش جنوبی به دلیل موقعیت آن در مرز دشت، متمایل به گرم و خشک است (Mokhtari and Espahbod, 2009). ارتفاع متوسط این ناحیه حدود ۱۰۲۴ متر است. منابع آب زیرزمینی دشت ورامین که مهم‌ترین و مطمئن‌ترین منبع تأمین نیازهای آبی منطقه را تشکیل می‌دهد، در محدوده‌ای به مساحت ۹۴۳ کیلومتر مربع با افت متوسط سطح آب، معادل $1/3$ متر و کاهش حجم مخزن معادل ۸۸ میلیون مترمکعب در سال روبه‌رو بوده است. در مورد آبخوان ورامین، بر اساس گزارش بیلان حجم برداشت از دو سفره برای مصارف گوناگون در سال آبی ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۶ بالغ بر ۴۱۶/۱۹۹ میلیون مترمکعب توسط چاه انجام می‌شود (TRWA, 2014).

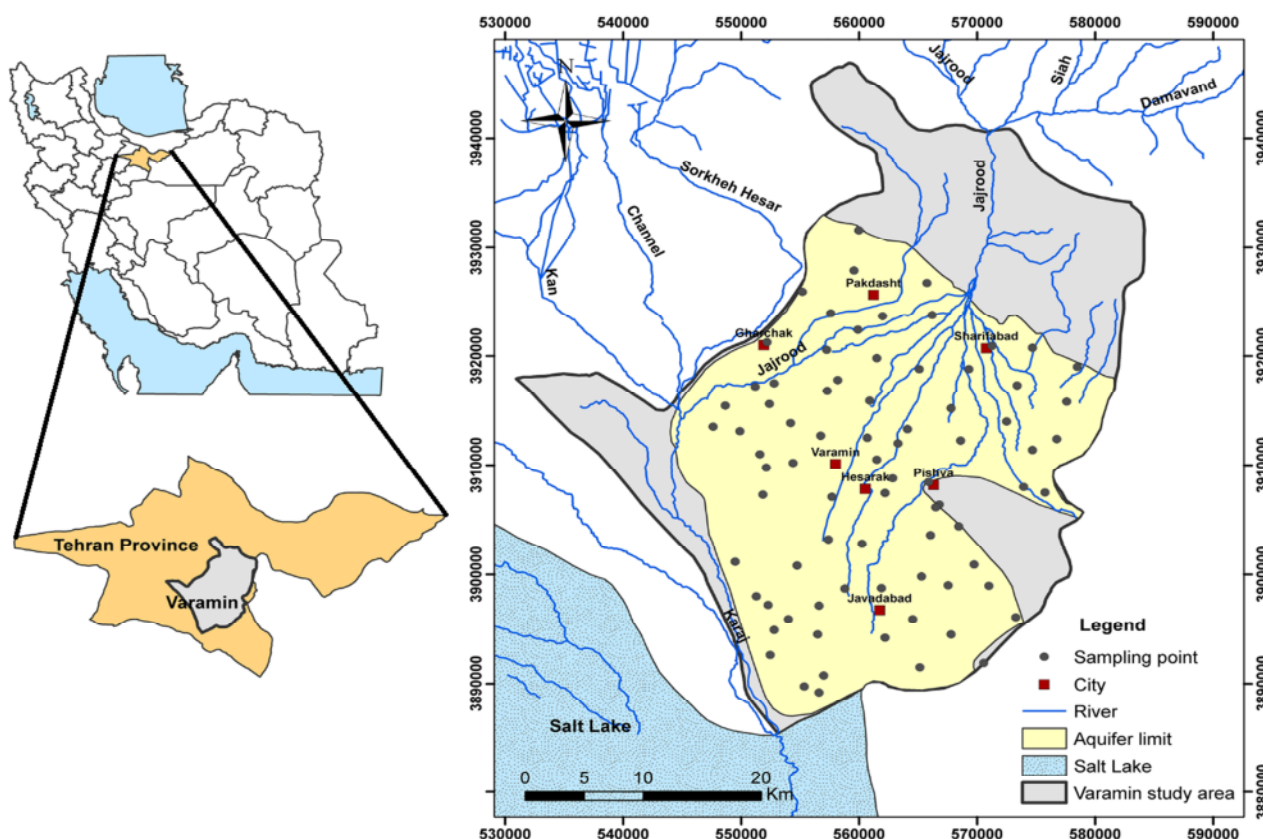


Fig. 1. Location of Varamin Plain in Iran and Tehran Province

شکل ۱- موقعیت دشت ورامین در ایران و استان تهران



توسط سازمان‌های مربوطه بود. در این شرایط، مقدار تخصیص یافته از خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب شرق تهران وارد منطقه مورد مطالعه شد و به دلیل اجرای سد مخزنی ماملو، بخش قابل توجهی از منابع آب سطحی رودخانه جاجرود وارد منطقه مورد مطالعه نشد. بنابراین در افق طرح، حدود ۲۰۳ میلیون مترمکعب از خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب تهران برای مصارف کشاورزی دشت ورامین اختصاص یافت و حدود ۶۵ میلیون مترمکعب نیز به تغذیه مصنوعی در حوضچه‌های ۲، ۳ و ۴ انتقال یافت. در این صورت برآورد شد، روزانه معادل ۳۵ تن بار نیترات به محدوده مطالعاتی ورامین وارد می‌شود (سالانه معادل ۱۲/۶ هزار تن بار نیترات) که می‌تواند عامل ناپایداری کیفی منطقه شود (TRWA, 2014).

۳-۳- شبیه‌سازی کمی آب زیرزمینی

به منظور شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی آبخوان ورامین از نرم‌افزار (GMS (Ver: 7.1 استفاده شد. مراحل اجرای مدل، شامل شبکه‌بندی محدوده مورد مطالعه، تقسیم‌بندی مکانی و زمانی، تعریف مرزهای مدل و چگونگی تخصیص مقدار پارامترهای اولیه و شرایط مرزی به گره‌های مختلف مدل در حالت پایدار و ناپایدار بود. تمام مراحل بیان شده به منظور شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت ورامین در نظر گرفته شد و در مرحله بعد واسنجی و صحت‌سنجی مدل نیز انجام شد. تمام این مراحل به صورت تفصیلی در پژوهشی مربوط به این دشت آمده است (Valivand and Katibeh, 2019).

۳-۴- شبیه‌سازی کیفی آب زیرزمینی

در مدل کیفی به علت در اختیار بودن مشاهدات کیفی در طول چهار فصل (۴ دوره تنش)، دوره زمانی معادل این چهار فصل سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۸ تعیین شد. بدیهی است مقایسه مقدار محاسباتی تولید شده در مدل کیفی با مقدار مشاهده‌ای در همین دوره خاص انجام شد. برای تعیین شرایط اولیه غلظت نیترات، از نتایج آزمایش‌های شیمیایی این یون در پاییز ۱۳۸۷ استفاده شد. لازم به ذکر است همان‌طور که در مدل مفهومی گفته شد، در تمامی اشکال مربوط به اجرای مدل برای آبخوان تحت فشار، فقط نیمه پایینی دشت مدنظر بود. همچنین تمام مراحل مربوط به شبیه‌سازی کیفی

کیفیت ذخیره آبخوان مواجه خواهد شد. به طور کلی، آثار اجرای هر یک از طرح‌های بیان شده بر آبخوان ورامین به صورت زیر است (TRWA, 2014):

- اجرای سد مخزنی ماملو و انتقال ۱۲۰ میلیون مترمکعب برای تأمین آب آشامیدنی تهران که موجب کاهش آب ورودی از طریق رودخانه جاجرود در ورودی دشت ورامین خواهد شد.
- بهره‌برداری کامل از تصفیه‌خانه جنوب تهران و افزایش ظرفیت انتقال کانال ورامین موجب خواهد شد تا به میزان ۲۰۳ میلیون مترمکعب به شبکه کشاورزی ورامین و ۶۵ میلیون مترمکعب به طرح‌های تغذیه مصنوعی دشت ورامین تخصیص یابد. در این صورت برآورد می‌شود روزانه معادل ۳۵ تن بار نیترات به محدوده مطالعاتی دشت ورامین وارد شود (سالانه معادل ۱۲/۶ هزار تن بار نیترات) که می‌تواند موجب افت کیفیت آبخوان شود.
- در صورت اجرای طرح‌های تصفیه فاضلاب شهرهای ورامین، پاکدشت، پیشوا و قرچک و تخصیص از خروجی تصفیه‌خانه‌ها به بخش کشاورزی و یا تغذیه مصنوعی، منابع آلاینده نیترات در آبخوان که در وضع موجود، موجب آلودگی آب آبخوان پایین دست این شهرها شده است، به طور نسبی کاهش خواهد یافت.
- شبیه‌سازی آبخوان دشت ورامین در دو حالت پایدار و ناپایدار انجام شد. پس از کالیبراسیون و تهیه مدل نهایی، دو سناریو مختلف، یکی بدون وجود طرح‌های مدیریتی فوق و دیگری مبتنی بر سه طرح مدیریتی فوق، بر مدل اعمال شد تا واکنش آبخوان در قبال این دو طرح طی سال‌های آینده ارزیابی شود. در زیر، به روند ارزیابی انجام شده در این دو سناریو پرداخته شده است.

۳-۲- سناریوهای شبیه‌سازی آبخوان

برای پیش‌بینی وضعیت کمی آبخوان در سال‌های آینده دو سناریو زیر در نظر گرفته شد. هدف از بررسی این سناریوها، ارزیابی کمی و کیفی تأثیر اجرای طرح‌های توسعه منابع آبی بر آبخوان دشت ورامین بود. سناریوی اول مربوط به ادامه شرایط موجود بود. این سناریو که شرایط مرزی و اولیه آن مشابه وضعیت شبیه‌سازی شده بود، بیانگر شرایط کمی و کیفی فعلی آبخوان ورامین بود. به این معنا که اگر وضعیت کنونی همچنان ادامه یابد، آبخوان ورامین در سال‌های آینده با چه شرایطی مواجه خواهد شد. سناریو دوم، بیانگر وضعیت آبخوان در صورت تحقق برنامه‌ریزی‌های انجام شده



مشاهداتی در ورامین آمده است. در جدول ۱ وزن موازنه نیترات در مخزن آب زیرزمینی ورامین (بیلان جرمی نیترات) برحسب میلی‌گرم محاسبه و ارائه شده است.

جدول ۱- وزن موازنه نیترات در مخزن آب زیرزمینی ورامین

برحسب کیلوگرم

Table 1. The nitrate balance weight in the groundwater reservoir in Varamin (kg)

Mass (kg)	Time step	
83807.930218	90	1
83803.893482	179	2
84000.868777	272	3
84185.608949	365	4

۳-۴- پیش‌بینی تغییرات کمی و کیفی آبخوان در سال‌های آینده

با توجه به اینکه شبیه‌سازی دوره ناپایدار مدل منتهی به سال آبی ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۷ بود. اجرای مدل در شرایط آینده از این سال به بعد و دوره پیش‌بینی مدل دشت ورامین طی سال‌های آبی مختلف تا سال ۱۴۲۰ انجام شد. دو سناریو پیشنهادی (بخش ۳-۲) در این دوره زمانی اجرا و نتایج با یکدیگر مقایسه شدند. در طول دوره شبیه‌سازی، عوامل مطابق با برآورد اعلام شده در سناریوها تغییر کرد و اگر داده‌ای در سناریو دیده نشد، به صورت ثابت و مشابه با شبیه‌سازی کمی در شرایط پایدار در نظر گرفته شد.

۳-۴-۱- نتایج حاصل از سناریو اول

مهم‌ترین شرایطی که در سناریو اول اعمال شد، شامل عدم تکمیل سد ماملو و ادامه روند ورودی رودخانه جاجرود به دشت، مشابه دوره شبیه‌سازی اولیه بود. انتقال آب از طریق شبکه کانال ورامین به شبکه آبیاری ورامین حدود ۲ مترمکعب بر ثانیه بود. همچنین، مقدار آب موردنیاز برای اهداف کشاورزی، آشامیدن و صنعت و منابع تأمین‌کننده آن، مشابه دوره شبیه‌سازی بود. شکل‌های ۶ و ۷ وضعیت افت سطح آب زیرزمینی و سطح پیزومتریک در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۲۰ را نسبت به تابستان ۱۳۸۷، نشان می‌دهند. شکل‌های ۸ تا ۱۱ نیز غلظت یون نیترات در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۲۰ در آبخوان آزاد و تحت فشار را نشان می‌دهند.

آبخوان دشت ورامین نیز به تفصیل در پژوهش بیان شده شرح داده شده است (Valivand and Katibeh, 2020).

۴- نتایج

۴-۱- شبیه‌سازی کمی در حالت ناپایدار

بعد از واسنجی پارامترهای مدل، نتایج شبیه‌سازی مدل در آبخوان آزاد و آبخوان تحت فشار در شرایط ناپایدار، برای دوره‌های مختلف محاسبه و با مقدار مشاهده شده مقایسه شد. به‌عنوان مثال نتایج یکی از چاه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

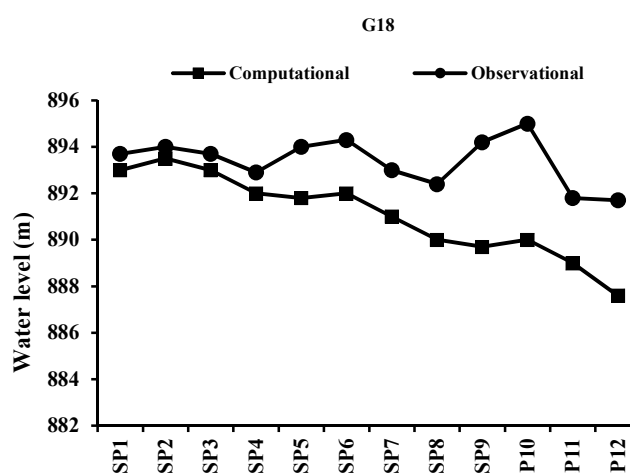


Fig. 2. Comparison of observational and computational water levels in observational wells in unsteady period

شکل ۲- مقایسه سطح آب مشاهداتی و محاسباتی در چاه

مشاهده‌ای در دوره ناپایدار

نقشه هم ارتفاع سطح ایستابی آبخوان آزاد و سطح پیزومتریک آبخوان تحت فشار در سال‌های ۸۴ تا ۸۷ حاصل از مدل، در شکل‌های ۳ و ۴ دیده می‌شود. در این بازه زمانی، ۱۲ دوره تنش وجود داشت که در نتیجه ۱۲ نقشه هم‌ارتفاع به‌دست آمدند. البته در شکل‌های ۳ و ۴، تنها ۳ دوره تنش ارائه شد.

۴-۲- تنظیم مدل دشت ورامین بر اساس داده‌های کیفی

بعد از وارد کردن اطلاعات غلظت نیترات در دوره‌های مختلف مدل کیفی در حالت ناپایدار، مدل اجرا شد. بعد از اجرای مدل، کالیبراسیون انجام شد و ضرایب پخشیدگی تصحیح شد. در شکل ۵، مقایسه غلظت نیترات مشاهده‌ای و محاسباتی برای دو چاه



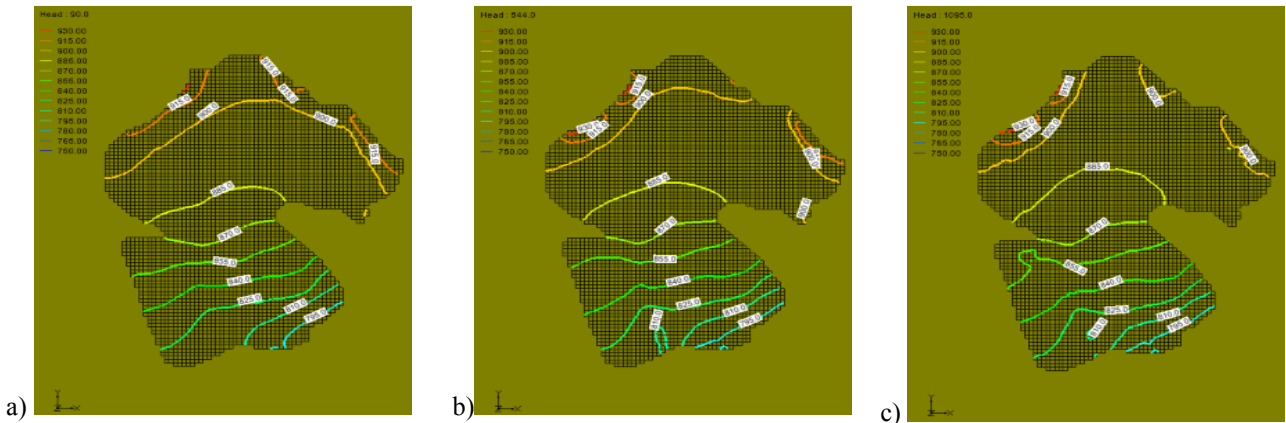


Fig. 3. Isopleth lines of the groundwater level in the unconfined aquifer during 3 different stress periods. (a: Fall 2005, b: Winter 2006 and c: Summer 2008)

شکل ۳- خطوط هم‌ارتفاع سطح آب زیرزمینی در سفره آزاد در ۳ دوره تنش مختلف. (a: پاییز ۱۳۸۴، b: زمستان ۱۳۸۵ و c: تابستان ۱۳۸۷)

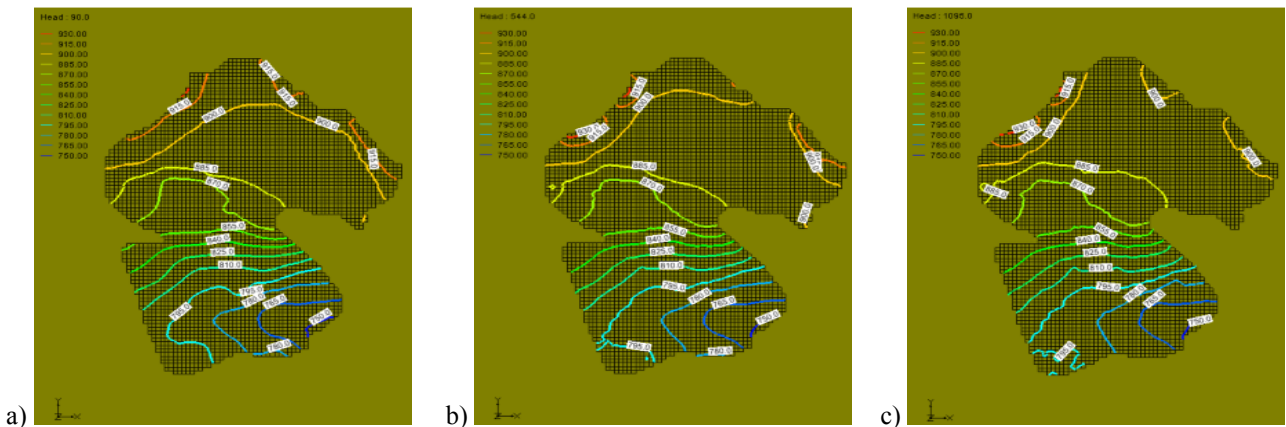


Fig. 4. Isopleth lines of the piezometric level in the confined aquifer in 3 different stress periods. (a: Fall 2005, b: Winter 2006 and c: Summer 2008)

شکل ۴- خطوط هم‌ارتفاع سطح پیزومتریک در آبخوان تحت فشار در ۳ دوره تنش مختلف. (a: پاییز ۱۳۸۴، b: زمستان ۱۳۸۵ و c: تابستان ۱۳۸۷)

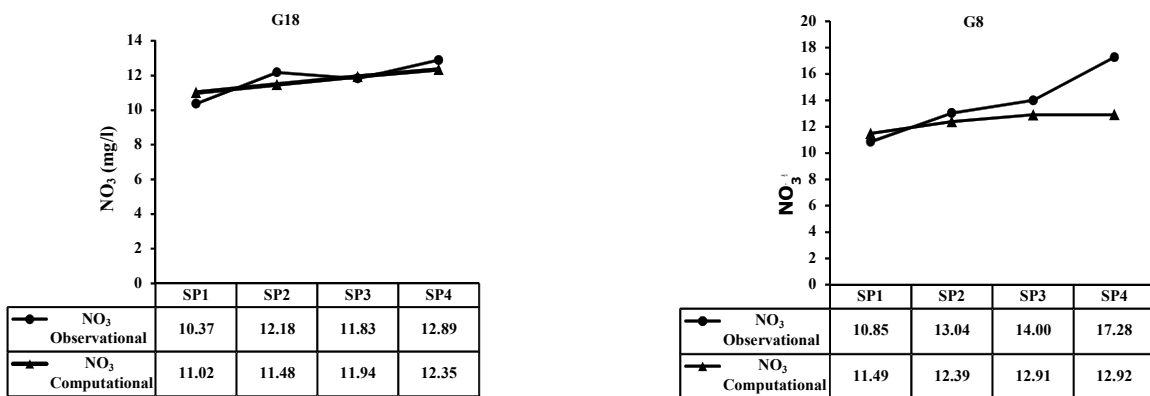


Fig. 5. Comparison of observational and computational nitrate concentration at several measured points in Varamin Plain

شکل ۵- مقایسه غلظت نیترات مشاهده‌ای و محاسباتی در چند نقطه اندازه‌گیری شده دشت ورامین



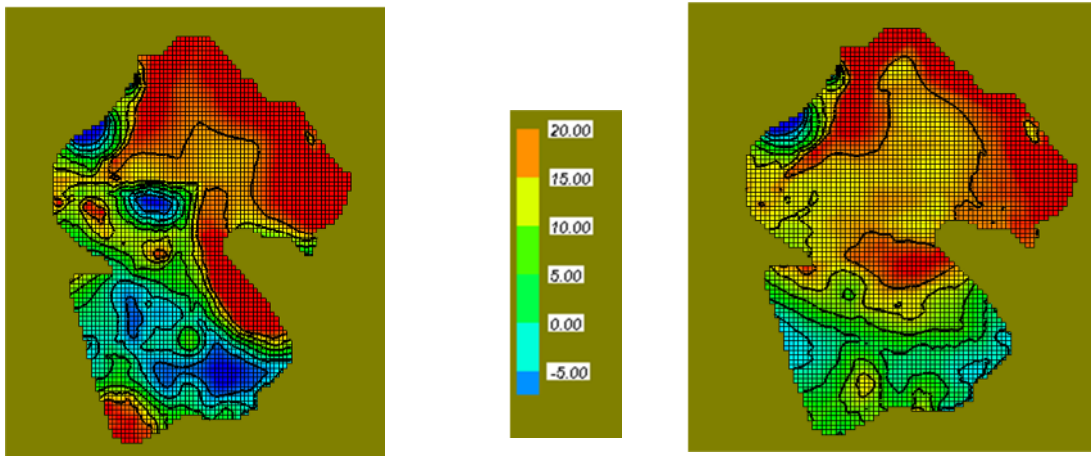


Fig. 6. The situation of groundwater level drop in the first scenario in unconfined aquifer (right) and confined aquifer (left) in 2021

شکل ۶- افت سطح آب زیرزمینی در سناریو اول در آبخوان آزاد (سمت راست) و افت سطح پیزومتریک در آبخوان تحت فشار (سمت چپ) در سال ۱۴۰۰ در مقایسه با تابستان ۱۳۸۷

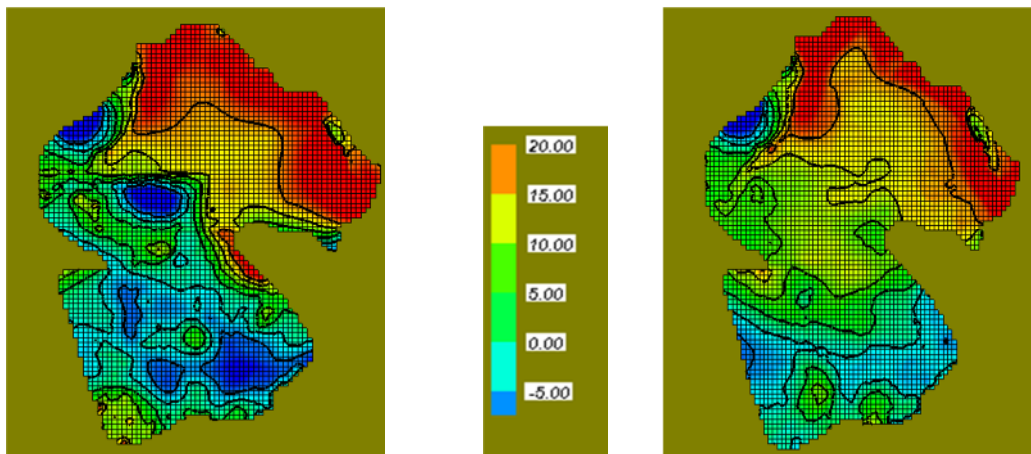


Fig. 7. The situation of groundwater level drop in the first scenario in unconfined aquifer (right) and confined aquifer (left) in 2041

شکل ۷- افت سطح آب زیرزمینی در سناریو اول در آبخوان آزاد (سمت راست) و میزان افت سطح پیزومتریک در آبخوان تحت فشار (سمت چپ) در سال ۱۴۲۰ در مقایسه با تابستان ۱۳۸۷

۱۳۹۵ بود. بنابراین در افق طرح، به میزان ۲۰۳ میلیون مترمکعب از خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب تهران برای مصارف کشاورزی دشت ورامین تخصیص یافته و حدود ۶۵ میلیون مترمکعب نیز به تغذیه مصنوعی در حوضچه‌های ۲، ۳ و ۴ انتقال خواهد یافت. در اجرای مدل برای شبیه‌سازی این شرایط، مقدار آب برگشتی ناشی از مصارف آب سطحی به مدل اعمال می‌شود. همچنین در این سناریو با اجرای طرح‌های تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در سطح منطقه، بخش‌هایی از آلودگی‌های شهری وارد تصفیه‌خانه‌ها خواهد

۴-۳-۲- نتایج حاصل از سناریو دوم

در سناریو دوم، مقدار تخصیص یافته از خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب شرقی تهران، وارد منطقه مورد مطالعه شد و به دلیل اجرای سد مخزنی ماملو، بخش قابل توجهی از منابع آب سطحی رودخانه جاجرود وارد محدوده مورد مطالعه نشد (سال ۱۳۹۶). دوره پیش‌بینی مدل ریاضی دشت ورامین در دوره سال‌های آبی ۱۳۹۶ تا ۱۴۲۰ انجام شد. این پیش‌بینی با فرض تحقق برنامه‌ریزی‌های انجام شده از طرف سازمان‌های ذی‌ربط تا سال



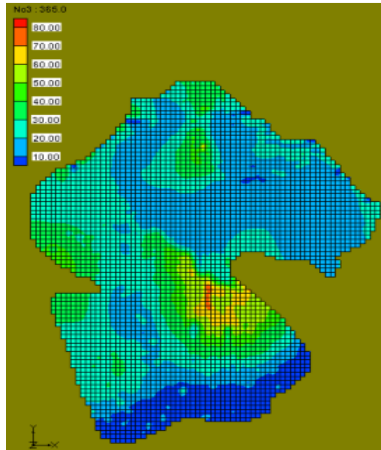


Fig. 10. Nitrate concentration in 2041 unconfined aquifer of Varamin Plain (mg/L)

شکل ۱۰- غلظت یون نیترات در سال ۱۴۲۰ آبخوان آزاد دشت ورامین برحسب میلی‌گرم در لیتر

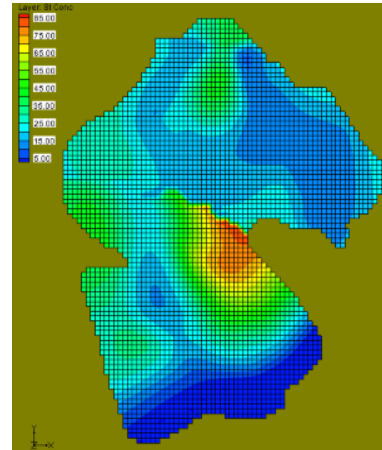


Fig. 8. Nitrate concentration in 2021 unconfined aquifer of Varamin Plain (mg/L)

شکل ۸- غلظت یون نیترات در سال ۱۴۰۰ آبخوان آزاد دشت ورامین برحسب میلی‌گرم در لیتر

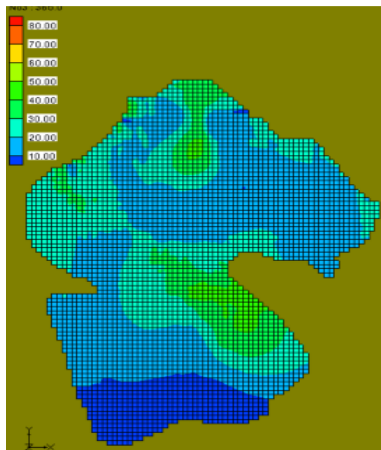


Fig. 11. Nitrate concentration in 2041 confined aquifer of Varamin Plain (mg/L)

شکل ۱۱- غلظت یون نیترات در سال ۱۴۲۰ در آبخوان تحت فشار دشت ورامین برحسب میلی‌گرم در لیتر

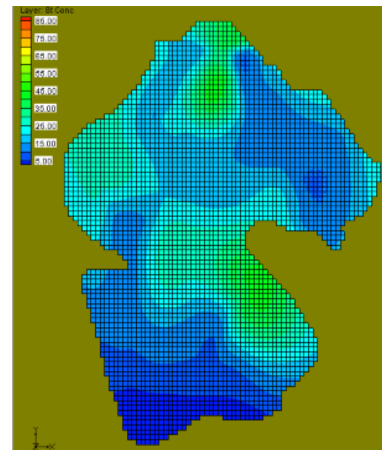


Fig. 9. Nitrate concentration in 2021 confined aquifer of Varamin Plain (mg/L)

شکل ۹- غلظت یون نیترات در سال ۱۴۰۰ در آبخوان تحت فشار دشت ورامین برحسب میلی‌گرم در لیتر

پیزومتریک در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۲۰ را نسبت به تابستان ۱۳۹۶ نشان می‌دهند. شکل‌های ۱۴ تا ۱۷ نیز غلظت یون نیترات در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۲۰ در آبخوان آزاد و تحت فشار را نشان می‌دهند.

۵- بحث

در این پژوهش، با استفاده از شبیه‌سازی، روند تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی بر اساس دو سناریو برای سال‌های آینده

شد. اگرچه اجرای تصفیه‌خانه فاضلاب موجب کاهش مخاطرات محیط‌زیستی از جمله کاهش آلاینده‌های میکروبی خواهد شد، اما غلظت نیترات را حداکثر تا سطح ۵۰ میلی‌گرم در لیتر کاهش خواهد داد. همچنین در این سناریو، نیازهای شرب و صنعت برابر با پیش‌بینی‌های انجام شده برای شرایط طرح لحاظ شد و کلیه طرح‌های تغذیه مصنوعی نیز به بهره‌برداری رسید. با اعمال این فرضیات، مدل برای پیش‌بینی تحولات کیفی دشت دوباره اجرا شد. شکل‌های ۱۲ و ۱۳ وضعیت افت سطح آب زیرزمینی و سطح



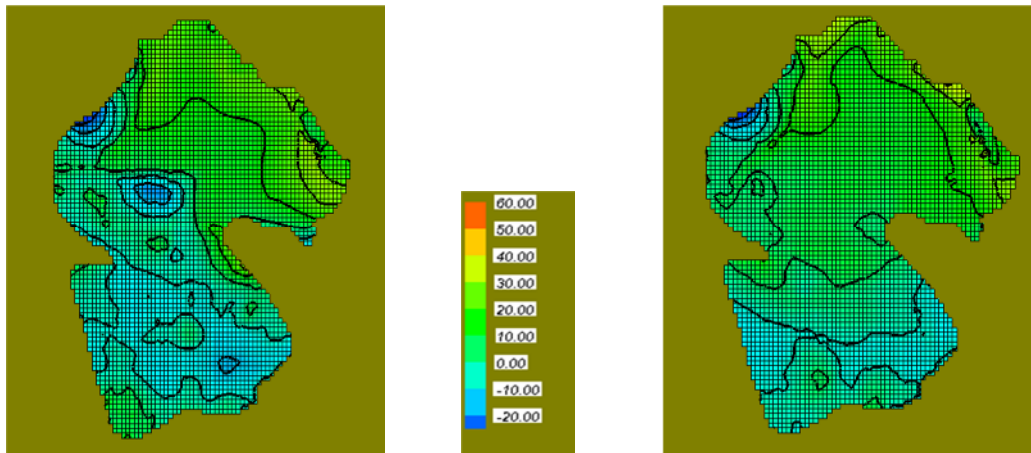


Fig. 12. The situation of groundwater level drop in the second scenario in unconfined aquifer (right) and confined aquifer (left) in 2021

شکل ۱۲- افت سطح آب زیرزمینی در سناریو دوم در آبخوان آزاد (سمت راست) و افت سطح پیزومتریک در آبخوان تحت فشار (سمت چپ) در سال ۱۴۰۰ در مقایسه با تابستان ۱۳۸۷

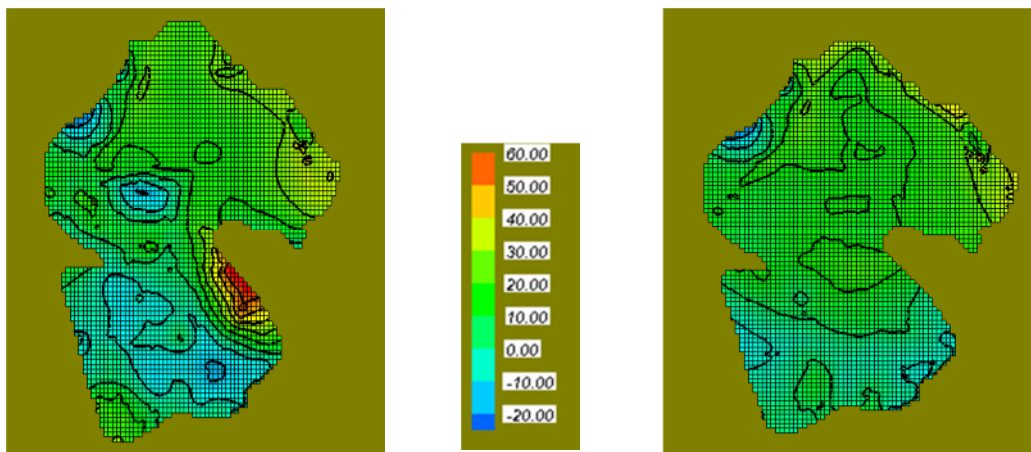


Fig. 13. The situation of groundwater level drop in the second scenario in unconfined aquifer (right) and confined aquifer (left) in 2041

شکل ۱۳- افت سطح آب زیرزمینی در سناریو دوم در آبخوان آزاد (سمت راست) و میزان افت سطح پیزومتریک در آبخوان تحت فشار (سمت چپ) در سال ۱۴۲۰ در مقایسه با تابستان ۱۳۸۷

واقع شد. بیشترین مقدار نیترات در نقشه‌های حاصل از مدل‌سازی آبخوان آزاد، مربوط به ناحیه پایین‌دست (جنوب) شهر پاکدشت بود که می‌توان عامل آن را دفع فاضلاب‌های شهر پاکدشت به آب زیرزمینی و ورود پساب تصفیه‌خانه تهران از ورودی آب‌بند ورامین در این ناحیه از آبخوان دانست. به دلیل نقش پساب ورودی از طریق کانال ورامین، کل پیکره آبخوان، افزایش قابل‌ملاحظه آلودگی دارد و مخاطرات کیفی و آلودگی دشت ورامین به‌خوبی

پیش‌بینی شد. در پی بهره‌برداری از سد ماملو میزان تغذیه طبیعی آبخوان ورامین توسط رودخانه جاجرود کاهش یافت. از سوی دیگر، حجم زیادی از حبابه کشاورزی دشت که از این منبع تأمین می‌شد نیز کاهش قابل‌ملاحظه‌ای داشت. برای جبران این کاهش و نیز به‌منظور تعادل بخشی در آبخوان، پساب خروجی از تصفیه‌خانه جنوب شرقی تهران از طریق کانال ورامین به دشت ورامین منتقل شد، اما در این شرایط کیفیت آبهای زیرزمینی در شرایط نامناسبی



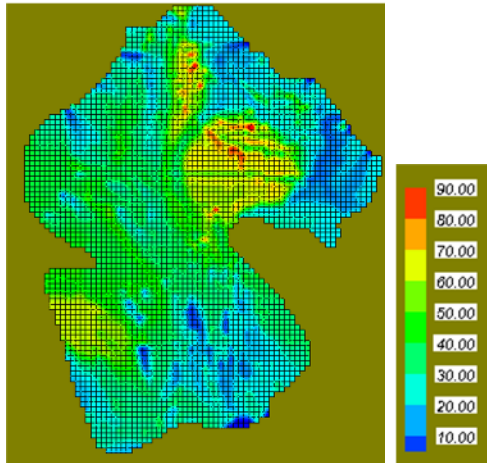


Fig. 16. Nitrate concentration in 2041 unconfined aquifer of Varamin Plain (mg/L)

شکل ۱۶- غلظت یون نیترات در سال ۱۴۲۰ آبخوان آزاد دشت ورامین برحسب میلی‌گرم در لیتر

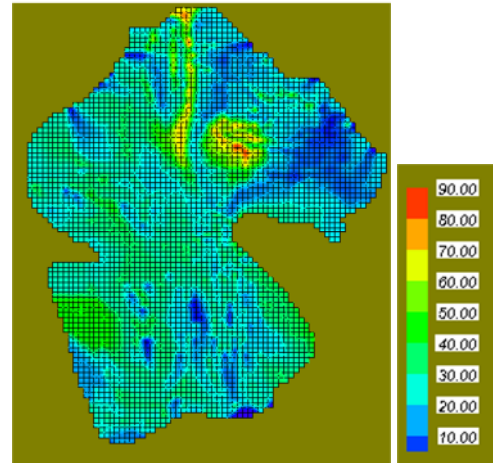


Fig. 14. Nitrate concentration in 2021 unconfined aquifer of Varamin Plain (mg/L)

شکل ۱۴- غلظت یون نیترات در سال ۱۴۰۰ آبخوان آزاد دشت ورامین برحسب میلی‌گرم در لیتر

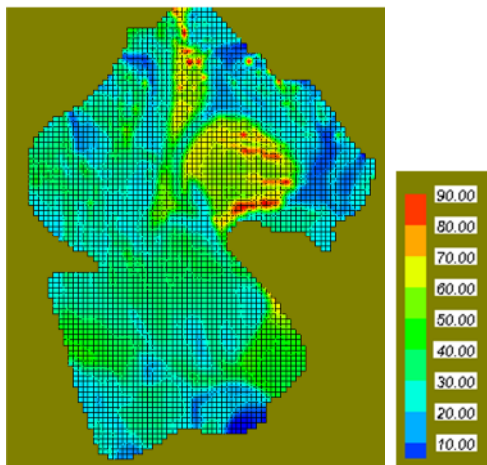


Fig. 17. Nitrate concentration in 2041 confined aquifer of Varamin Plain (mg/L)

شکل ۱۷- غلظت یون نیترات در سال ۱۴۲۰ در آبخوان تحت فشار دشت ورامین برحسب میلی‌گرم در لیتر

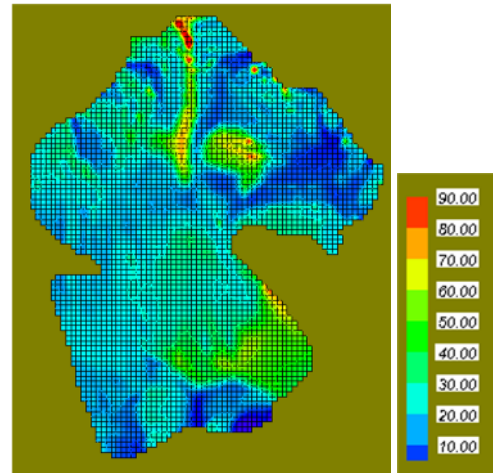


Fig. 15. Nitrate concentration in 2021 confined aquifer of Varamin Plain (mg/L)

شکل ۱۵- غلظت یون نیترات در سال ۱۴۰۰ در آبخوان تحت فشار دشت ورامین برحسب میلی‌گرم در لیتر

داشت. در این شرایط، به‌طور میانگین کاهش ذخیره آبخوان ورامین سالانه برابر با ۱۲۷ میلیون مترمکعب خواهد بود. جدا از عدم قطعیت‌های موضعی در نتایج مدل، در کل ادامه شرایط موجود موجب ناپایداری کمی آبخوان خواهد شد. نقشه‌های خروجی از مدل کمی در سناریو دوم (شکل‌های ۱۲ و ۱۳) نشان می‌دهد که وضعیت کمی آبخوان با توجه به بهره‌گیری از خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب، نسبت به وضعیت موجود (سناریو اول) شرایط مناسب‌تری دارد، هرچند که روند افت سطح ایستابی همچنان ادامه

قابل‌ردیابی است.

همان‌طور که در نقشه‌های خروجی از مدل در سناریو اول (شکل‌های ۶ و ۷) مشاهده می‌شود، وضعیت افت سطح آب زیرزمینی مانند سال‌های پیشین ادامه دارد و شاخص‌های ناپایداری آبخوان به‌وضوح قابل‌ردیابی است. بیشترین افت سطح آب زیرزمینی در محدوده شمال دشت ورامین به وقوع می‌پیوندد و همان‌طور که در شکل ۷ دیده می‌شود، گستره وسیعی از آبخوان (نیمه شمالی دشت) طی ۳۰ سال آینده، بیش از ۲۰ متر افت خواهد



شرب فراتر نخواهد رفت.

۶- نتیجه‌گیری

مدل حاصله نشان داد که با ادامه روند فعلی حاکم بر آبخوان (سناریو اول)، روند افت کمی و کیفی آبخوان مانند سال‌های پیشین ادامه خواهد یافت ولی در سناریو دوم، با کاهش برداشت از چاه‌ها، راه‌اندازی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری، انجام تغذیه مصنوعی آبخوان و استفاده از پساب خروجی تصفیه‌خانه تهران به منظور آبیاری دشت ورامین از روند افت سطح ایستابی به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاسته خواهد شد، ولی تغذیه آبخوان با پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب (با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر) تأثیر چندانی بر کاهش نیترات در آبخوان نخواهد داشت و روند صعودی افت کیفی، مخصوصاً در آبخوان آزاد همچنان خواهد داشت.

به‌طور کلی، اجرای طرح‌های مدیریت تغذیه و مصرف در آبخوان ورامین، تنها در صورتی می‌تواند موجب روند کاهش افت کمی و کیفی آب زیرزمینی در آبخوان شود که به‌طور قابل توجهی درصد آبهای ورودی به آبخوان را کاهش ندهد. قطعاً بهره‌گیری از روش‌های مدیریتی فعلی (سناریو دوم)، تأثیر چندانی بر بهبود وضعیت آبخوان نخواهد داشت. علاوه بر طرح ورود فاضلاب تصفیه‌خانه تهران به دشت ورامین باید تغذیه دشت از رودخانه جاجرود به‌عنوان منبع تغذیه طبیعی مناسب همچنان ادامه یابد.

با توجه به اینکه غلظت نیترات متأثر از الگوی دفع فاضلاب‌های انسانی و فعالیت‌های کشاورزی است، در صورت ادامه روند کنونی و رشد فعالیت‌های کشاورزی و افزایش حجم فاضلاب تولیدی مناطق شهری و روستایی، بخش‌های وسیع‌تری از آبخوان آزاد با محدودیت کیفی ناشی از افزایش نیترات مواجه خواهد شد، بنابراین پیشنهاد می‌شود برای تأمین آب شرب منطقه از چاه‌هایی که از آبخوان تحت فشار تغذیه می‌شوند، استفاده شود.

۷- قدردانی

در پایان، نویسندگان پژوهش بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از زحمات آقای دکتر محمود محمدرضا پور طبری که ما را در انجام و ارتقای کیفی این پژوهش یاری کردند، اعلام کنند.

دارد و بیلان آبخوان، منفی خواهد بود. در این شرایط بیشترین افت سطح آب زیرزمینی در بخش شمالی آبخوان به وقوع می‌پیوندد. در مناطق جنوبی دشت، به دلیل وجود لایه نفوذناپذیر بین دو آبخوان آزاد و تحت فشار، سطح آب زیرزمینی آبخوان آزاد با اندک افزایش مواجه خواهد شد. در سناریو دوم، به دلیل تأمین آب آشامیدنی شهر پاکدشت از سد ماملو و در نتیجه حذف چاه‌های آب آشامیدنی، نرخ افت سطح ایستابی در جنوب شهر پاکدشت اندکی کاهش یافته است.

مقایسه اجرای مدل کمی در سناریو اول و دوم نشان داد که با اجرای طرح‌های برنامه‌ریزی شده، بخشی از مشکلات کمی آبخوان به‌ویژه در نواحی شمالی دشت کاهش خواهد یافت، به‌گونه‌ای که در برخی از مناطق از افت آب زیرزمینی محاسبه شده در مدل کمی سناریو اول (تا سال ۱۴۲۰)، حدود ۳۰ تا ۴۰ متر کاسته می‌شود. در سناریو دوم، علی‌رغم افزایش آب تصفیه‌خانه فاضلاب تهران و اجرای طرح تغذیه مصنوعی، همچنان بیلان آب زیرزمینی منفی خواهد بود، به‌گونه‌ای که سالانه حدود ۱۰۰ میلیون مترمکعب، ذخیره آبخوان کاهش می‌یابد. بنابراین، کاهش تخصیص آب از رودخانه جاجرود به دشت ورامین، باید متناسب با افزایش منابع آب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران باشد، در غیر این صورت بدون شک در کوتاه‌مدت، افت قابل توجهی در نواحی شمالی آبخوان و در نتیجه فرونشست زمین به وقوع خواهد پیوست.

در مورد مدل کیفی چنانچه در شکل ۱۶ مشاهده می‌شود، در سال ۱۴۲۰ بخش عمده‌ای از آبخوان آزاد دارای غلظت نیترات بیش از ۴۰ میلی‌گرم در لیتر شده است که بیانگر تهدیدات جدی سلامت منطقه است. همچنین به دلیل اجرای طرح تغذیه مصنوعی و تغذیه آبخوان از پساب خروجی تصفیه‌خانه (با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر)، مشاهده می‌شود که بخش قابل توجهی از مناطق شمالی آبخوان نیز با افزایش غلظت نیترات مواجه شده است.

مقایسه شکل‌های ۱۰ و ۱۶ تبعات تغذیه آبخوان از این پساب در میانه شمالی دشت را به خوبی نشان می‌دهد. در آبخوان تحت فشار نیز در همه چاه‌ها غلظت نیترات روند افزایشی دارد. با این وجود، این افزایش با شیب کمی انجام می‌شود (به دلیل وجود لایه نفوذناپذیر)، به‌گونه‌ای که حتی در پایان دوره شبیه‌سازی (سال ۱۴۲۰)، غلظت نیترات در آبخوان تحت فشار از حد استاندارد



References

- Almasri, M. N. & Kaluarachchi, J. J. 2007. Modeling nitrate contamination of groundwater in agricultural watersheds. *Journal of Hydrology*, 343(3-4), 211-229.
- Fatemi, M., Ataei, Z. & Furughi, F. 2011. Environmental risk assessment plains of Varamin using mathematical models pmwin. *The 1st National Conference on Environmental Spatial Analysis of the Metropolitan Area of Tehran*. Tehran, Iran. (In Persian)
- Ghafarian Sayeli, A. 2013. Simulation of groundwater level fluctuations by using MODFLOW code and prediction of land subsidence in the Kashmar plain. MSc Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
- Ghobadian, R., Bahrami, Z. & Dabagh Bagheri, S. 2016. Application of management scenario in predicting groundwater fluctuations with MODFLOW conceptual and mathematical model (case study: Nahavand plain). *Ecohydrology*, 3(3), 303-319. (In Persian)
- Ghoraba, S. M., Zyedan, B. A. & Rashwan, I. M. H. 2013. Solute transport modeling of the groundwater for quaternary aquifer quality management in Middle Delta, Egypt. *Alexandria Engineering Journal*, 52, 197-207.
- Jiang, Y. & Somers, G. 2009. Modeling effects of nitrate from non-point sources on groundwater quality in an agricultural watershed in Prince Edward Island, Canada. *Hydrogeology Journal*, 17, 707-724.
- Karami, S., Madani, H., Katibeh, H. & Fatehi Marj, A. 2018. Assessment and modeling of the groundwater hydrogeochemical quality parameters via geostatistical approaches. *Applied Water Science*, 8(1), 1-13.
- Marković, T., Brkić, Z. & Larva, O. 2013. Using hydrochemical data and modelling to enhance the knowledge of groundwater flow and quality in an alluvial aquifer of Zagreb, Croatia. *Science of The Total Environment*, 458, 508-516.
- Mashhadi Mighani, L. & Baghvand, A. 2010. Investigation and modeling of pollution caused by landfill wastes on groundwater (case study of Aman Abad aquifer). *4th Environmental Engineering Conference*. Tehran, Iran. (In Persian)
- Mokhtari, H. R. & Espahbod, M. R. 2009. The investigation of hydrodynamic parameters potentiality of the Varamin plain regarding the variation of salinity gradient. *Journal of Earth Science*, 4(2), 27-47. (In Persian)
- Molénat, J. & Gascuel-Oudou, C. 2002. Modelling flow and nitrate transport in groundwater for the prediction of water travel times and of consequences of land use evolution on water quality. *Hydrological Processes*, 16, 479-492.
- Nakhaei, M., Dadgar, M. A. & Amiri, V. 2016. Geochemical processes analysis and evaluation of groundwater quality in Hamadan Province, Western Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(5), 1-13.
- Nikbakht, J. & Najib, Z. 2015. Effect of irrigation efficiency increasing on groundwater level fluctuations (case study: Ajab-Shir Plain, East Azarbaijan). *Journal of Water and Irrigation Management (Journal of Agriculture)*, 5(1), 115-127. (In Persian)
- Panahi, M., Misaghi, F. & Asgari, P. 2016. Investigate of groundwater level fluctuations by using GMS. *2nd International Conference on Sustainable Development, Approaches & Challenges with a Focus on Agriculture*. Environment and Tourism. Tabriz, Iran. (In Persian)
- Poormohammadi, S., Dastorani, M. T., Jafari, H., Rahimian, M. H., Goodarzi, M., Mesmarián, Z., et al. 2016. The groundwater balance analysis in Tuyserkan-Hamedan Plain, by using the mathematical model MODFLOW. *The Journal of Ecohydrology*, 2, 371-382. (In Persian)



- Pourhaghi, A., Akhondali, A. M., Radmanesh, F. & Mirzaee, S. Y. 2014. Manage the groundwater sources exploration of the Nourabad Plain in the drought conditions with MODFLOW modeling. *Journal of Irrigation of Science and Engineering*, 37, 71-82. (In Persian)
- Regli, C., Rauber, M. & Huggenberger, P. 2003. Analysis of aquifer heterogeneity within a well capture zone, comparison of model data with field experiments: a case study from the river Wiese, Switzerland. *Aquatic Sciences*, 65(2), 111-128.
- Serhal, H., Bernard, D., El Khattabi, J., Sabine, B. & Shahrour, I. 2009. Impact of fertilizer application and urban wastes on the quality of groundwater in the Cambrai Chalk aquifer, Northern France. *Environmental Geology*, 57, 1579-1592.
- Shamrukh, M., Corapcioglu, M. Y. & Hassona, F. A. A. 2001. Modeling the effect of chemical fertilizers on groundwater quality in the Nile valley aquifer. Egypt. *Groundwater*, 39(1), 59-67.
- Stamatis, G., Parpodis, K., Filintas, A. & Zagana, E. 2011. Groundwater quality, nitrate pollution and irrigation environmental management in the Neogene sediments of an agricultural region in central Thessaly (Greece). *Environmental Earth Sciences*, 64, 1081-1105.
- Torabian, A., Hashemi, H., Khalili, R. & Ferdosipur, S. 2004. Investigating the effect of water extraction on the water quality of the River Mamlo Dam using the QUAL2E model. *Ecology Journal*, 30(35), 69-76. (In Persian)
- TRWA (Tehran Regional Water Authority). 2014. Report of groundwater resources studies in Varamin area Tehran, Iran. (In Persian)
- Valivand, F. & Katibeh, H. 2020. Prediction of nitrate distribution process in the groundwater via 3D modeling. *Environmental Modeling and Assessment*, 25(2), 187-201.
- Valivand, F. & Katibeh, H. 2019. The study of environmental effects of nitrate transfer in Varamin aquifer using numerical modeling. *Journal of Water and Wastewater*, 30(4), 130-136. (In Persian)
- Zehtabian, A., Rafiei Emam, A., Alavi Panah, K. & Jafari, M. 2005. Investigating the groundwater of Varamin plain. *Journal of Geographic Research*, 48, 91-102. (In Persian)
- Zhang, H. & Hiscock, K. M. 2011. Modelling the effect of forest cover in mitigating nitrate contamination of groundwater: a case study of the Sherwood Sandstone aquifer in the East Midlands, UK. *Journal of Hydrology*, 399(3-4), 212-225.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

