Research Paper

# Simulation of Nitrate Concentration in Aquifer in Qazvin Plain Using Groundwater Modeling System (GMS)

**Mehrdad Zanganeh[1], Hamid Zare Abyane[2], Maryam Bayatvarkeshi[3], Hamid Karyab[1*]**

1. Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran.
2. Department of Irrigation Engineering, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamadan, Iran.
3. Department of Soil Science, Faculty of agriculture, Malayer University, Malayer, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation Zanganeh M, Zare Abyane H, Bayatvarkeshi M, Karyab H. Simulation of Nitrate Concentration in Aquifer in Qazvin Plain Using Groundwater Modeling System. The Journal of Qazvin University of Medical Sciences. 2019; 23(3):250-261. https://doi.org/10.32598/JQUMS.23.3.250

https://doi.org/10.32598/JQUMS.23.3.250

CC BY NC

Received: 22 Sep 2018
Accepted: 13 Feb 2019
Available Online: 01 Aug 2019

Keywords:
Groundwater Modeling System (GMS), Nitrate, Groundwater

## ABSTRACT

**Background** Nitrate is among major anions in drinking water. Therefore, it is crucial to investigate its concentration in water resources. Modeling is a management strategy to predict the behavior of nitrate in water resources.

**Objective** The current study aimed to predict nitrate concentration in the aquifer of Qazvin plain, using Groundwater Modeling System (GMS).

**Methods** The GMS7.1 software was used to prepare the groundwater flow model. MODFLOW pattern was used to investigate the three-dimensional flow. MT3D pattern was used to assess the changes nitrate concentration in the aquifer. Additionally, several scenarios were designed to evaluate the process of nitrate changes in the aquifer by altering in the aquifer feed and nitrate input rates.

**Findings** There was no anomaly concentration in the aquifer. The scenarios of rainfall reduction suggested that nitrate feed was ineffective in changing nitrate concentration in the aquifer. Moreover, with entry 100, 200, and 300 mg/L of nitrate into the aquifer, the average of nitrate concentration after the end of the two-year periods would increase to 31, 55, and 100mg/L, respectively.

**Conclusion** The obtained results indicated that in a wide area of the saturated aquifer nitrate concentration was below than national standards. Furthermore, high nitrate concentrations were due to the penetrating of the sewage into the aquifer. The outputs of the GMS model suggestd that these conditions could lead to more contamination in central parts of the aquifer.

## Extended Abstract

### 1. Introduction

Increasing water demand causes stress on the quality and quantity of groundwater resources, especially in arid and semi-arid regions; where groundwater is the primary source of drinking water [1-4]. Nitrate is among the frequent ions in wastewater as well as an underground pollutant with adverse effects on health. Furthermore, it is used as an indicator in evaluating groundwater quality [5-8]. Nitrate causes methemoglobinemia in infants and gastric cancer in adults [9, 10]. The World Health Organization (WHO) and Iran national water standard (no.1053) have set a maximum allowable concentration for the nitrate of 50mg/L [11, 12].

Modeling the behavior of groundwater aquifers is a water resource management strategy. Modeling is a process by which the capabilities of a complex system is simulat-

*** Corresponding Author:***
**Hamid Karyab**
**Address:** Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran.
**Tel:** +98 (912) 7830583
**E-Mail:** hkaryab@qums.ac.ir

ed [13]. MODFLOW code for quantitative modeling and MT3DMS code for qualitative modeling in Groundwater Modeling System (GMS) software are the most common models of groundwater system simulation in the world [14]. In these models, the governing equations in groundwater systems are solved by finite difference methods [15]. Zamzam and Rahnama used the MT3DMS model to evaluate the groundwater quality of Rafsanjan plain in Iran. They concluded that the number of different parameters in the groundwater had an increasing trend [16].

In a study on Nile Valley aquifer, the effect of chemical fertilizers on groundwater quality was assessed by the GMS [17]. Other similar studies were conducted in Sherwood Sandstone aquifer (England), an agricultural region in Thessaly (Greece), the Kervidy catchment in Cambria (France), and an alluvial aquifer of Zagreb (Croatia) [18-21]. Among similar studies in Iran, we can highlight the prediction of nitrate in underground water sources of Mashhad and Birjand plains [22, 23]. The present study aimed to simulate the nitrate concentration in Qazvin plain aquifer, using GMS, and MODFLOW and MT3DMS codes.

## 2. Materials and Methods

This descriptive-analytical study was conducted during 2016-2018 in an area of 9546 $km^2$ in Qazvin Province, Iran, with an average rainfall of 230mm [24]. Nitrate concentration was predicted using MODFLOW code in GMS software with finite difference method. To simulate the nitrate concentration in the aquifer, the geometrical properties of the aquifer were used and interpolated by kriging method [25]. The quantitative scenarios of five and 35% reductions in precipitation rate and the qualitative scenario of 5% reduction in precipitation rate were analyzed by the MODFLOW model. Moreover, the 100, 200, and 300mg/L nitrate discharge scenarios were analyzed using the data presented by Kazemi et al. [25].

## 3. Results

The mean nitrate concentration in the aquifer was 23.6 mg/L, and no nitrate concentration anomaly was observed in the aquifer. The prediction of nitrate qualitative changes assuming five and 35% reduction in precipitation rate suggested no considerable water stress applied to the initial model. In addition, there was a decrease of two and five mg/L of the nitrate concentration, respectively. In the scenario of entering 100, 200, and 300mg/L nitrate into the aquifer, the mean nitrate concentration after the end of the two years reached 31, 55, and 100 mg/L, respectively (Figure 1).

## 4. Conclusion

Modeling of nitrate concentration revealed no anomalies in the aquifer; however, in the northern region, the aquifer indicated an increased concentration due to the existence of livestock farms. Identifying the behavior of an underground water system using mathematical models is an indirect and low-cost method, used in this study [27]. In a transport modeling of groundwater nitrate contaminant in Bahar plain (Hamedan, Iran) using GMS, the reason for the pollution of the aquifer was the use of agricultural fertilizers [28]. This data is inconsistent with our results, due to the high water level in Bahar plain.

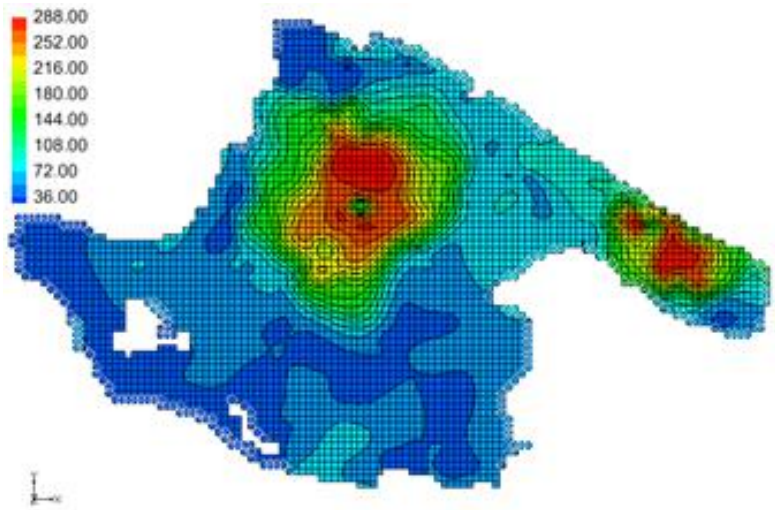



**Figure 1.** Qualitative changes in nitrate concentration (mg/L) observed in Qazvin plain aquifer at the end of the two years in the 300-mg/L nitrate discharge scenario

Evaluating rainfall scenarios suggested that rainfall reduction did not affect nitrate changes. The reason was the shallow hydraulic gradient and low aquifer effect from feeding by ground surface (precipitation). Thus, direct feeding from the ground surface will not significantly affect the nitrate concentration in the Qazvin plain; unless leaching causes nitrate transfer through short-circuit pathways to the groundwater [29, 30]. The results of the qualitative scenario analysis indicated that the aquifer in the region was highly susceptible to the penetration of sewage, which is consistent with the findings of other studies on Shahrood Aquifer and the San Angelo landfill site in the United States [31, 32].

## Ethical Considerations

### Compliance with ethical guidelines

This research was approved by the Ethics Committee of the Qazvin University of Medical Sciences (code: IR.QUMS.REC.1394.227).

### Funding

The present paper was extracted from the MSc. thesis of Mehrdad Zanganeh, in the Department of Environmental Health, School of Health, Qazvin University of Medical Sciences.

### Authors' contributions

Design study, data analysis, and revising the article critically for important intellectual content by Hamid Karyab; Analysis, validating data and assessment of different scenarios by Hamid Zare Abyane and Maryam Bayatvarkeshi; Run different scenarios in modeling, drafting the article, and cooperation in design study by Mehrdad Zanganeh.

### Conflicts of interest

The authors declared no conflicts of interest.

### Acknowledgements

The authors would like to thank the Department of Environmental Health, School of Health, Qazvin University of Medical Sciences.

# شبیه‌سازی تغییرات غلظت نیترات در آبخوان دشت قزوین با استفاده از سیستم مدل‌سازی آب زیرزمینی (GMS)

مهرداد زنگنه[۱]، حمید زارع ابیانه[۲]، مریم بیات ورکشی[۳]، *حمید کاریاب[۱]

۱. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران
۲. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۳. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

تاریخ دریافت: ۳۱ شهریور ۱۳۹۷
تاریخ پذیرش: ۲۴ بهمن ۱۳۹۷
تاریخ انتشار: ۱۰ مرداد ۱۳۹۸

کلیدواژه‌ها:
سیستم مدل‌سازی آب زیرزمینی، نیترات، منابع آب

## چکیده

**زمینه** نیترات از آنیون‌های مهم آب شرب است که همواره اطلاع از میزان آن مورد توجه بوده است. از راهکارهای مدیریت منابع آب، استفاده از روش های مدل‌سازی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی رفتارهای نیترات در آبخوان است.

**هدف** هدف از این مطالعه بررسی نحوه انتقال نیترات و میزان آلودگی در آبخوان دشت قزوین با استفاده از سیستم مدل‌سازی آب زیرزمینی بود.

**مواد و روش‌ها** در این مطالعه توصیفی‌تحلیلی برای تهیه مدل جریان آب زیرزمینی از نرم‌افزار GMS7.1 استفاده شد. بررسی سه‌بعدی جریان با الگوی MODFLOW و بررسی تغییرات غلظت نیترات با الگوی MT3D انجام شد. همچنین در بررسی روند تغییرات نیترات در آبخوان، چند طرح با تغییر در میزان تغذیه و غلظت نیترات ورودی طراحی شد.

**یافته‌ها** در شرایط فعلی غلظت غیرطبیعی نیترات در آبخوان مطالعاتی وجود ندارد. بررسی طرح‌های کاهش بارندگی نشان داد تغذیه (بارش) عامل مؤثری در تغییرات نیترات نخواهد بود. در صورت ورود مقادیر ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات به آبخوان، میانگین غلظت نیترات بعد از پایان دوره دوساله به ترتیب به ۳۱، ۵۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش خواهد یافت.

**نتیجه‌گیری** در بخش‌های وسیعی از آبخوان، غلظت نیترات کمتر از حد مجاز استاندارد ملی است. اینکه در مناطقی غلظت بالا مشاهده می‌شود دلیلش تخلیه فاضلاب و نفوذ آن به آبخوان منطقه است. خروجی مدل نشان داد ادامه این شرایط می‌تواند سبب آلودگی بیشتر آبخوان شده و قسمت‌های مرکزی آبخوان را نیز آلوده کند.

## مقدمه

افزایش جمعیت و تقاضای آب و غذا موجب افزایش تنش در کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی از یک‌طرف و کاهش منابع باارزش آب زیرزمینی خصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود [۳-۱]. آب‌های زیرزمینی به عنوان یک منبع مهم برای مصارف آشامیدنی، دامداری، کشاورزی و صنایع در مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند. درنتیجه در این مناطق بیشتر روی منابع آب زیرزمینی تکیه می‌شود. بنابراین با آگاهی از وضعیت این مناطق می‌توان برنامه‌ریزی درست و کارآمدی جهت دسترسی قابل‌اعتماد به منابع آب ارائه کرد [۴].

نیترات یکی از یون‌های معدنی است که در نتیجه اکسیداسیون نیتروژن عنصری حاصل شده و یکی از عناصر ضروری برای ساخت پروتئین در گیاهان است و نقش مهمی را در چرخه نیتروژن دارد. همچنین آنیون نیترات، یکی از یون‌های رایج در فاضلاب است که اثرات نامطلوب آن بر سلامتی انسان شناخته‌شده است. ضمناً این یون به عنوان یکی از رایج‌ترین آلاینده‌های آب‌های زیرزمینی در جهان شناخته شده است [۷-۵]. بنابراین نیترات به عنوان یک شاخص در ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی به کار می‌رود [۸].

غلظت زیاد نیترات در آب آشامیدنی موجب بروز بیماری مت هموگلوبینما[1] در نوزادان و سرطان معده در بالغان می‌شود [۱۰، ۹]. در این راستا، سازمان بهداشت جهانی غلظت مجاز نیترات در آب شرب را ۵۰ میلی‌گرم در لیتر بر حسب نیترات اعلام کرده است. همچنین در استاندارد ملی شماره ۱۰۵۳ نیز این میزان

1. Methemoglobinemia

* نویسنده مسئول:
حمید کاریاب
نشانی: قزوین، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشت درمانی قزوین، دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط.
تلفن: ۷۸۳۰۵۸۳ (۹۱۲) ۹۸+
رایانامه: hkaryab@qums.ac.ir

برابر با رهنمود سازمان بهداشت جهانی ارائه شده است [۱۱،۱۲].

از راهکارهای مدیریت منابع آب استفاده از فن‌های مدل‌سازی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی رفتار سفره‌های آب زیرزمینی در مقابله با بحران‌های محیطی است. مدل‌سازی فرایندی است که طی آن سعی می‌شود واقعیت یک سیستم پیچیده به صورت ساده در قالب یک معادله یا یک مدل آزمایشگاهی شبیه‌سازی شود. به عبارتی یک مدل، خواص مکانی و زمانی یک سیستم یا بخش‌هایی از آن را به صورت فیزیکی یا ریاضی شبیه‌سازی می‌کند. شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی توسط مدل‌های ریاضی به عنوان یک روش غیرمستقیم می‌تواند باعث کاهش هزینه در بخش مدیریت آب زیرزمینی شود [۱۳]. در بین الگوهای مختلف ارائه‌شده، کدهای MODFLOW[۲] جهت مدل‌سازی کمّی و MT3D[۳] جهت مدل‌سازی کیفی در نرم‌افزار GMS[۴]، به عنوان رایج‌ترین الگوی شبیه‌سازی سیستم‌های آب زیرزمینی در جهان، مطرح هستند که بایستی قبل از اجرای مدل کیفی مدل‌سازی کمی با استفاده از MODFLOW اجرا شوند [۱۴].

در این مدل معادلات حاکم در دستگاه‌های آب زیرزمینی به صورت تفاضلات محدود حل می‌شود. یکی از قابلیت‌های نرم‌افزار GMS توانایی محاسبه مقدار جرمی نیترات در کل محدوده مدل است. در این مدل برای محاسبه مقدار جرمی از پارامترهای ضخامت آبخوان، ابعاد آبخوان و غلظت نیترات استفاده می‌شود. از دیگر مزایای مدل GMS، نمایش بصری میزان خطای ناشی از اختلاف بار هیدرولیکی محاسبه‌شده و شبیه‌سازی‌شده است. بدین‌صورت که با رسم یک هدف واسنجی در مجاورت هریک از پیزومترها می‌توان به وضعیت واسنجی پس از هر اجرای مدل پی برد [۱۵].

تاکنون در مطالعات مختلفی از مدل GMS به صورت گسترده برای شبیه‌سازی غلظت نیترات در منابع زیرزمینی استفاده شده است؛ برای نمونه، زمزم و رهنما با هدف ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت رفسنجان از مدل MT3D استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان داد میزان پارامترهای مختلف در آب زیرزمینی در کل دشت، در گذشته و آینده روند افزایشی داشته و پیشنهاد شد کاهش برداشت، کم‌شدن فعالیت‌های کشاورزی و افزایش تغذیه به منابع آب زیرزمینی می‌تواند تا حدودی از افزایش پارامترهای کیفی طی سال‌های آینده جلوگیری کند [۱۶]. در پژوهش دیگری در آبخیز دره نیل مصر، اثر مصرف کودهای شیمیایی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل GMS مدل‌سازی شد و به این نتیجه رسیدند این مدل توانایی خوبی در پیش‌بینی آلاینده‌هایی نظیر نیترات و فسفات دارد [۱۷].

از سایر مطالعات مشابه می‌توان به شبیه‌سازی تغییرات نیترات و انتقال آن در آبخوان شروود[۵] در غرب ناتینگام شایر[۶] انگلستان، منطقه تسالی[۷] در یونان، منطقه کامبریا[۸] در فرانسه و در آبخوان زاگرب[۹] در کرواسی اشاره کرد [۱۸-۲۱]. پیش‌بینی نیترات در منابع زیرزمینی مشهد و دشت بیرجند در خراسان جنوبی از جمله مطالعات انجام‌شده مشابه در ایران هستند [۲۲،۲۳].

با توجه به اهمیت اطلاع از میزان یون نیترات در منابع زیرزمینی، هدف از انجام این مطالعه کسب شناخت از الگوی آلودگی به نیترات در آبخوان دشت قزوین با استفاده از مدل GMS و با استفاده از کدهای MODFLOW و MT3D و اطلاعات غلظت نیترات موجود، میزان بارش و برداشت در آبخوان و استفاده در نرم‌افزار مربوطه بود تا با یافته‌های حاصل‌شده بتوان در توسعه مدیریت آبخوان دشت قزوین کوشید.

## مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر از نوع توصیفی‌تحلیلی است که بین سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۷ در دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی قزوین اجرا شد. منطقه موردمطالعه از نظر تقسیمات کشوری بخشی از استان قزوین است. مساحت کل حوزه آبریز محدوده مطالعاتی ۹۵۴۶ کیلومترمربع است که ۵۳ درصد آن را دشت و ۴۷ درصد آن را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. این محدوده از شمال با حوزه آبریز شاهرود، از غرب با حوزه آبریز ابهررود و خررود، از جنوب با حوزه آبریز رودخانه‌های شور، قره‌بلاغ لار و قره‌چای و از شرق با حوزه آبریز رودخانه کردان و کرج هم‌جوار است. از نظر تقسیم‌بندی آب‌شناسی حوزه‌های آبریز کشور، جزئی از حوزه آبریز دریاچه نمک است و به عنوان زیرحوزه رودخانه شور محسوب می‌شود.

متوسط بارندگی سالانه در محدوده مطالعاتی در سال آبی ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۳ نسبت به سال قبل با ۲/۶ درصد کاهش از ۲۳۶/۷ به ۲۳۰/۵ میلی‌متر رسیده است و نسبت به متوسط بلندمدت ۱۸ درصد کاهش داشته است. با استفاده از آمار موجود در ایستگاه‌های تبخیرسنجی محدوده مطالعاتی قزوین و آوج، میزان پتانسیل تبخیر و تعرق برابر ۴۶ میلی‌متر در ماه و مجموع سالانه آن برابر ۵۵۲ میلی‌متر است [۲۴]. بر اساس شاخص‌های حرارتی پنج‌گانه مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی منتخب در محدوده مورد مطالعه، سردترین ماه سال در قزوین مربوط به دی‌ماه و گرم‌ترین ماه سال مربوط به تیرماه است. دمای متوسط سالانه حدود هشت درجه سانتی‌گراد است. در این تحقیق جهت بررسی رفتار آبخوان و پیش‌بینی تغییرات مقدار نیترات آن در شرایط مختلف از کد نرم‌افزاری MOD-

2. Modular Tree-dimensional Finite Difference Flow (MODFLOW)
3. Modular Tree Dimension Transport Model (MT3D)
4. Groundwater Management System (GMS)

5. Sherwood
6. Nottinghamshire
7. Thessaly
8. Cambria
9. Zagreb

FLOW در محیط GMS استفاده شد [۲۵]. مدل سه‌بعدی جریان آب زیرزمینی به‌کاررفته در این مطالعه (MODFLOW) جهت حل معادلات دیفرانسیل جزئی از روش تفاضل محدود است و به دلیل اینکه در مدل‌های عددی، قلمروی پیوسته با قلمروی گسسته جایگزین می‌شود، پس از تهیه مدل مفهومی، محدوده مدنظر به اجزای کوچک‌تر (سلول) تقسیم شد [۱۴].

در آبخوان موردمطالعه، محدوده مدل با ۱۳۰ ستون و ۸۰ ردیف از نوع مرکز بلوکی با طول ۹۷۵ و عرض ۹۷۵ متر شبکه‌بندی شد که باعث ایجاد ۱۰۴۰۰ سلول شد. از این تعداد ۴۱۲۲ سلول فعال و ۶۲۷۸ سلول غیرفعال بودند. در این مطالعه، با توجه به هیدروگراف واحد دشت و با استناد به آمار و اطلاعات موجود، دوره زمانی واسنجی دشت موردمطالعه در مهرماه سال ۱۳۹۴ به صورت شرایط پایدار در مدل‌سازی کمّی و مدت ۷۳۰ روز با هشت دوره فصلی در مدل‌سازی کیفی شبیه‌سازی شد.

جهت شبیه‌سازی غلظت نیترات در آبخوان، اطلاعات خصوصیات هندسی آبخوان شامل خصوصیات سنگ کف و توپوگرافی سطح زمین و همچنین بار هیدرولیکی اولیه به صورت نقطه‌ای در سطح دشت پراکنده استفاده شد. برای نسبت‌دادن این اطلاعات، که در نقاط معدودی از آبخوان در دسترس هستند، به‌کل محدوده مدل و سپس به سلول‌های شبکه مدل، از توابع درون‌یابی دوبعدی شبکه‌ای[10] و نقاط پراکنده[11] استفاده شد. به منظور تعیین این خصوصیات و نسبت‌دادن آن‌ها به کلیه سلول‌های شبکه با توجه به توزیع داده‌ها و به روش سعی و خطا و با رسم واریوگرام[12] تجربی، توابع درون‌یابی مختلف استفاده شد و روش کریجینگ[13] جهت درون‌یابی داده‌ها انتخاب شد.

در این بخش اطلاعات ۹۸۱ چاه با کاربری کشاورزی و خانگی استفاده شد. با اطلاعات به‌دست‌آمده، میزان تخلیه سالانه از چاه‌های بهره‌برداری منطقه جهت شبیه‌سازی، ۴۰۰ میلیون مترمکعب در نظر گرفته شد [۲۶]. مدل در شرایط ماندگار با تصحیح مقادیر هدایت هیدرولیکی، جریان‌های ورودی و خروجی و تغذیه سطحی، کالیبره و واسنجی شد. درنهایت آزمون ضرایب هیدرودینامیک به‌دست‌آمده صحت‌سنجی شدند. در فرایند صحت‌سنجی با تغییر نرخ تغذیه، اختلاف جزئی که در برخی از چاه‌های مشاهده‌ای وجود داشت، برطرف شد. کالیبراسیون مدل عددی از طریق پارامتر ضریب هیدرولیکی انجام شد. بر این اساس مدل جریان با کمترین معیارهای ارزیابی خطا به عنوان مدل نهایی جهت اجرای مدل انتقال تعیین شد. بر اساس مدل جریان به‌دست‌آمده، مدل انتقال نیترات در یک بازه زمانی دوساله با دوره‌های فصلی (هشت دوره زمانی) طراحی و اجرا شد. جهت کالیبراسیون مدل انتقال، در نقاطی که آلودگی وجود دارد، با اعمال جرم ورودی به عنوان یک عامل کالیبراسیون کیفی، درصد دقیق رفتار منحنی‌های غلظت در منطقه بررسی شد.

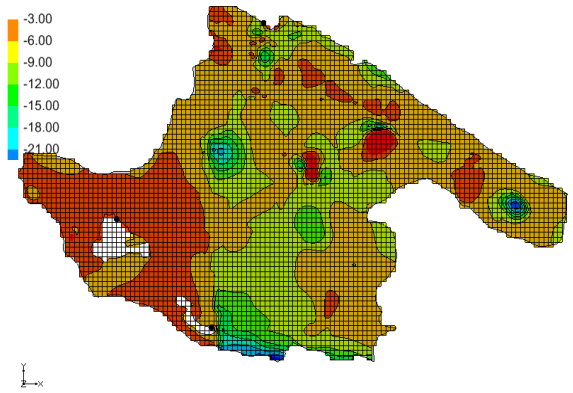
جهت پیش‌بینی و شبیه‌سازی تغییرات کیفی آبخوان، از تغییر متغیرهای ورودی از قبیل: میزان غلظت نیترات و مقدار بارندگی (تغذیه) استفاده شد. به طوری که چند طرح با تغییر در میزان تغذیه به آبخوان (مقدار بارش) و تغییر در مقدار نیترات ورودی از سطح، در اثر فعالیت مجتمع‌های دامداری طراحی شد. سناریوها با توجه به شرایط و وضعیت آبخوان منطقه و در دو دسته کمّی و کیفی طراحی و بررسی شدند. در سناریوی کمی دو سناریوی کاهش ۵ و ۳۵درصدی میزان بارش نسبت به سال قبل بررسی شد که علت انتخاب این دو معیار بر اساس بارش‌های سالانه بود که از سوی سازمان هواشناسی اعلام شده است. ضمن آنکه سعی بر این بود که به واقعیت دشت نزدیک باشد.

جهت پیش‌بینی تغییرات کیفی نیترات با فرض کاهش پنج درصد از نرخ تغذیه (مقدار بارش) به آبخوان، داده‌های تغذیه با کاهش پنج‌درصدی به عنوان داده اولیه به مدل مفهومی و از آن طریق به مدل MODFLOW وارد شد. همچنین سناریوهای تخلیه نیترات در مقادیر ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از منابع آلاینده بررسی شد. این میزان آلودگی با فرض تولید ۱۵۰۰ مترمکعب فاضلاب در روز در دامداری‌ها و بر اساس تولید ۸۰ لیتر فاضلاب در روز به ازای هر دام در حالت نیمه‌بهداشتی دامداری‌ها اتخاذ شد. همچنین با توجه به اینکه هرچه در مدل، دوره پیش‌بینی کوتاه‌تر باشد نتیجه دقیق‌تر می‌شود، تغییرات کیفی برای بازه‌های زمانی دوساله اجرا شد. در این مطالعه داده‌های تعیین غلظت نیترات که توسط کاظمی و همکاران در دشت قزوین انجام گرفته، به عنوان غلظت اولیه در مدل تعریف شد [۱۴، ۱۵، ۲۵].

## یافته‌ها

نتایج به‌دست‌آمده از توزیع نیترات در آبخوان نشان داد بر اساس غلظت‌های شناسایی‌شده، میانگین غلظت نیترات در آبخوان برابر با ۲۳/۶ میلی‌گرم در لیتر است و غلظت غیرطبیعی از میزان نیترات در آبخوان مشاهده نشد. پیش‌بینی تغییرات کیفی نیترات با استفاده از مدل MODFLOW و با فرض کاهش پنج درصد نرخ تغذیه (مقدار بارش) به آبخوان، نشان داد چندان تنش آبی به مدل اولیه وارد نشده و در پایان گام زمانی ۷۲۰ روز به طور متوسط، کاهشی حدود دو میلی‌گرم بر لیتر از مقدار نیترات آبخوان مشاهده شد. پیش‌بینی تغییرات کیفی نیترات با فرض کاهش ۳۵ درصد از نرخ تغذیه (مقدار بارش) به آبخوان نیز بیانگر عدم اعمال تنش آبی و تغییرات چشمگیر نیترات در آبخوان بود. در این سناریو در پایان گام زمانی، میزان برداشتی که در حال حاضر صورت می‌گیرد و میانگین بارشی ۱۶۰ میلی‌متر،

10. 2D Grid
11. 2D Scatter point
12. Variogram
13. Kriging



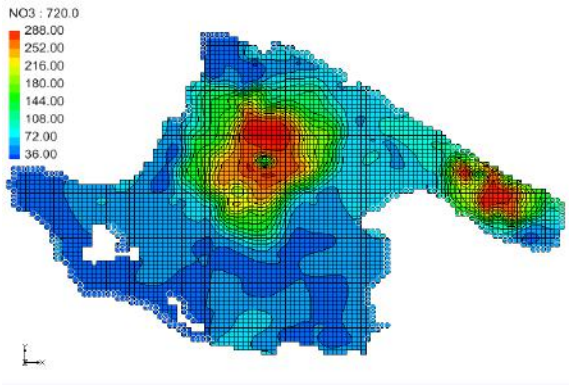

مجله‌علمی
دانشگاه‌علوم‌پزشکی قزوین

**شکل ۱.** پراکندگی تغییرات غلظت نیترات در آبخوان با بررسی سناریوی کاهش ۳۵درصدی مقدار تغذیه (بر حسب میلی‌گرم در لیتر)

میانگین غلظت نیترات در آبخوان پنج میلی‌گرم بر لیتر کاهش یافت. در شکل شماره ۱ پراکندگی نیترات در آبخوان با کاهش تغذیه ۳۵درصدی نمایش داده شده است.

پیش‌بینی تغییرات کیفی نیترات با استفاده از مدل MT3D-MSو با ورود مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات از مجتمع‌های صنعتی دامداری در دوره زمانی دوساله نشان داد در این شرایط متوسط مقدار نیترات در آبخوان در محدوده، حدود ۳۱ میلی‌گرم بر لیتر قابل برآورد است. با توجه به مدل اجراشده در سناریوی مذکور، مقدار جرمی نیترات محاسبه و با مقدار جرمی مدل اولیه مقایسه و در جدول شماره ۱ ارائه شد.

بر این اساس با گذشت دو سال (۷۲۰ روز) و ورود مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در هر روز از مناطق آلاینده، میزان جرمی نیترات در




مجله‌علمی
دانشگاه‌علوم‌پزشکی قزوین

**شکل ۲.** تغییرات کیفی غلظت نیترات آبخوان قزوین در پایان زمان دوساله در سناریوی تخلیه نیترات با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر (میلی‌گرم در لیتر)

منطقه بالغ بر ۱۶ درصد نسبت به شرایط اولیه افزایش خواهد یافت. جهت پیش‌بینی تغییرات کیفی نیترات با ورود مقدار ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات از مجتمع‌های دامداری، داده‌های ورودی استفاده‌شده در ساخت مدل واسنجی‌شده به عنوان شرایط اولیه به مدل وارد و تغییرات کیفی در بازه‌های زمانی دوساله نشان داد بعد از گذشت ۷۲۰ روز تقریباً اکثر منطقه مرکزی محدوده مطالعاتی تحت تأثیر آلودگی به نیترات قرار می‌گیرد. مناطق غربی و دور از موقعیت انباشت آلودگی نیز کمی متأثر از حجم آلودگی قرار خواهند گرفت، به طوری که متوسط غلظت نیترات به ۵۵ میلی‌گرم بر لیتر افزایش می‌یابد. مقایسه درصد جرمی نیترات محاسبه‌شده با درصد جرمی مدل اولیه حاکی از افزایش بیش از دوبرابری درصد جرمی نیترات نسبت به شرایط اولیه در مدت زمان ۷۲۰ روز است. همچنین در سناریوهای مختلف تخلیه ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر غلظت نیترات

**جدول ۱.** درصد افزایش جرمی نیترات در طرح‌های مختلف تخلیه آلاینده به آبخوان نسبت به شرایط اولیه مدل

| دوره زمانی (روز) | سناریوی تخلیه (میلی‌گرم بر لیتر) | | |
|---|---|---|---|
| | ۱۰۰ | ۲۰۰ | ۳۰۰ |
| ۹۰ | ۱۸/۵ | ۱۱۸ | ۳۰۸ |
| ۱۸۰ | ۱۸/۳ | ۱۱۶ | ۳۰۴ |
| ۲۷۰ | ۱۸/۰ | ۱۱۲ | ۳۰۰ |
| ۳۶۰ | ۱۷/۷ | ۱۱۲ | ۲۹۷ |
| ۴۵۰ | ۱۷/۴ | ۱۰۸ | ۲۹۵ |
| ۵۴۰ | ۱۷/۲ | ۱۰۸ | ۲۹۱ |
| ۶۳۰ | ۱۶/۹ | ۱۰۰ | ۲۸۷ |
| ۷۲۰ | ۱۶/۶ | ۱۰۰ | ۲۸۴ |

مجله‌علمی
دانشگاه‌علوم‌پزشکی قزوین

مطابق با جدول شماره ۱ تغییر خواهد یافت. پیش‌بینی تغییرات کیفی نیترات با ورود مقدار ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات از طریق فاضلاب و نشتاب‌ها و همچنین با میزان برداشت ذکرشده از طریق چاه‌ها و قنات‌ها و میانگین بارش ۲۴۰ میلی‌متر نیز نشان داد بعد از گذشت ۷۲۰ روز تقریباً اکثر منطقه مرکزی محدوده مطالعه‌شده تحت تأثیر آلودگی به نیترات قرار می‌گیرد (شکل شماره ۲).

در این شرایط برآورد شد متوسط غلظت نیترات به حدود ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش می‌یابد. مقایسه درصد جرمی نیترات محاسبه‌شده با مقدار درصد جرمی مدل اولیه نشان‌دهنده افزایش بیش از چهاربرابری درصد جرمی نیترات نسبت به شرایط اولیه است (جدول شماره ۱).

## بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر با استفاده از نرم‌افزار GMS، با صرف هزینه اندک و در مدت‌زمان نسبتاً کوتاه، شبیه‌سازی رفتار سیستم آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی اجرا شد. مقایسه غلظت نیترات در آبخوان موردمطالعه با استانداردهای سازمان جهانی بهداشت نشان داد در بخش‌هایی وسیعی از آبخوان، افزایش غلظت نیترات وجود ندارد و در مناطقی که غلظت بالا مشاهده می‌شود به دلیل استقرار واحدهای جمعیتی، دامداری‌های صنعتی و تخلیه فاضلاب‌های تولیدی آن‌ها به محیط است.

همان‌طور که در شکل شماره ۱ ارائه شد، در حالت طبیعی و با مدل‌کردن داده‌های غلظت نیترات، شرایط غیرطبیعی در منطقه ایجاد نخواهد شد. ولی در منطقه شمالی آبخوان، غلظت در حال افزایش است که با توجه به اینکه در این مناطق واحدهای دامداری بسیاری دایر است و همچنین شغل بسیاری از ساکنین این منطقه دامداری و کشاورزی است، افزایش نسبی غلظت را می‌توان به این فعالیت‌ها و دفع فاضلاب یا تخلیه در چاه‌های جاذب نسبت داد. همچنین این شکل گویای آن است که آلودگی به نیترات در حال گسترش به مرکز آبخوان است که از دلایل آن می‌توان به مسیر حرکت جریان آب زیرزمینی از شمال به سمت مرکز آبخوان استناد کرد. یافته‌های این مطالعه نشان داد غلظت نیترات در آبخوان بسیار متأثر از دفع فاضلاب‌های حاوی مقادیر بالای نیترات است.

بررسی مطالعات مختلف نشان می‌دهد روش‌های گوناگونی برای ارزیابی کمّی و کیفی منابع آب زیرزمینی توسط محققان استفاده می‌شود. شناسایی رفتار یک سیستم آب زیرزمینی، نیازمند انجام یکسری مطالعات درازمدت و صرف هزینه‌های فراوان، حفر تعداد زیادی چاه اکتشافی و انجام عملیات پمپاژ و آزمایش‌های ژئوفیزیک است. در حالی که شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی توسط مدل ریاضی یک روش غیرمستقیم است که با صرف هزینه کمتر نسبت به روش‌های مستقیم می‌تواند چالش‌های موجود را برطرف کند [۲۷].

یافته‌های مطالعه حاضر با نتایج ارائه‌شده در برخی مطالعات مطابقت دارد. در بررسی اثرات تخلیه کودهای شیمیایی بر آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل GMS در دشت رفسنجان، گزارش شد آب‌های عمیق کمتر تحت تأثیر نیترات کودهای کشاورزی هستند. بنابراین با توجه به عمق زیاد آب‌های زیرزمینی در آبخوان دشت قزوین، یافته‌های مطالعه مذکور علاوه بر اثبات توانایی مدل در پیش‌بینی نیترات در آب‌های عمیق، تأییدکننده عدم راه‌یابی زیاد نیترات حاصل از کودهای شیمیایی به آب‌های زیرزمینی عمیق است [۱۶]. در مدل‌سازی انتقال نیترات در دشت بهار همدان با کاربرد MODFLOW و MT3D، با توجه به نبود گزارشی مبنی بر وجود فاضلابی در منطقه و کشت سیب‌زمینی در منطقه موردمطالعه و کود شیمیایی زیادی که استفاده می‌شود، محققان گزارش کردند علت بالابودن غلظت نیترات در استفاده از کودهای کشاورزی است. این یافته با نتیجه مطالعه حاضر همخوانی ندارد. دلیل این عدم مطابقت را می‌توان به بالابودن سطح آب در دشت بهار نسبت داد [۲۸].

همان‌طور که بیان شد در آبخوان منطقه مطالعاتی، وضعیت غیرطبیعی از غلظت نیترات وجود ندارد، لذا جهت پیش‌بینی وضعیت آینده آبخوان و با توجه به شرایط منطقه مطالعاتی سناریوهایی طراحی و بررسی شد. بررسی دو سناریوی کاهش ۵ و ۳۵درصدی بارندگی در منطقه نشان داد در دشت قزوین کاهش بارندگی در تغییرات نیترات چندان مؤثر نخواهد بود. علت این امر نیز به علت شیب هیدرولیکی بسیار کم و تأثیر کم آبخوان از تغذیه از سطح (بارندگی) در مقایسه با تخلیه چاه‌های بهره‌برداری و جریان‌های ورودی و خروجی جانبی آبخوان است. این موضوع را می‌توان به وجود لایه‌های نیمه‌نفوذپذیر در سطح دشت، وسعت و عمق آبخوان دشت قزوین و تمرکز و تعداد بالای چاه‌های تخلیه در دشت نیز نسبت داد. با توجه به این یافته می‌توان استنتاج کرد تغذیه مستقیم از سطح زمین تأثیر زیادی بر غلظت نیترات در آبخوان دشت قزوین نخواهد داشت، مگر اینکه خاک حاوی نیترات آب‌شویی شود و با جریانات اتصال کوتاه به آب‌های زیرزمینی راه یابد [۲۹، ۳۰].

در سناریوی کیفی پیش‌بینی شد در صورت تخلیه مقادیر ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم نیترات در لیتر همراه با فاضلاب به آبخوان، بعد از مدت زمان دو سال میانگین غلظت نیترات در آبخوان به ترتیب ۳۱، ۵۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش خواهد یافت. این یافته نشان‌دهنده حساسیت زیاد آبخوان منطقه به نشت و نفوذ فاضلاب است. جعفری و همکاران در مطالعه‌ای در دشت شاهرود، که با استفاده از نرم‌افزار GMS و با هدف بررسی و سرنوشت انتقال نیترات انجام شد، نیز به این نتیجه رسیدند بیشترین عامل افزایش غلظت نیترات در منابع زیرزمینی دفع غیربهداشتی فاضلاب است. بنابراین نتیجه به‌دست‌آمده با مطالعه حاضر همخوانی دارد [۳۱]. عزیزی و همکاران در مطالعه‌ای با

هدف بررسی آلودگی آب زیرزمینی ناشی از نشت شیرابه تولیدی محل دفن پسماند در شهر سن‌آنجلو[14] آمریکا با استفاده از MODFLOW و MT3D به این نتیجه دست یافتند که مدل GMS می‌تواند با توجه به شرایط موجود منطقه پیش‌بینی کند که آلودگی می‌تواند در چه مدت‌زمانی به منابع آب پایین‌دست نفوذ کند و سبب آلودگی شود [۳۲]. یافته‌های این مطالعه نیز با مطالعه حاضر از جهت توانایی مدل GMS در پیش‌بینی وضعیت انتشار آلایندگی در آبخوان همخوانی داشت.

در کل می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که در زمان انجام مطالعه، در آبخوان دشت قزوین غلظت غیرطبیعی از نیترات وجود ندارد؛ به جز مناطقی از دشت که قطب دامداری است، غلظت برآوردشده نیترات در آبخوان تا حدودی خارج از استانداردهای آب آشامیدنی است. همچنین با توجه به موقعیت آبخوان که حالت کاسه‌ای دارد، در صورت ورود آلاینده به آبخوان آلودگی می‌تواند تا مدت‌ها در آبخوان ماندگار شود. ضمن آنکه وجود چاه‌های غیرمجاز نیز می‌تواند مسیر حرکت آبخوان را تحت تأثیر قرار دهد و آلودگی را به سایر قسمت‌ها منتقل کند.

## ملاحظات اخلاقی

### پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این مطالعه دارای شناسه اختصاصی IR.QUMS.REC.1394.227 از کمیته اخلاق در پژوهش‌های زیست پزشکی دانشگاه علوم پزشکی قزوین است.

### حامی مالی

مقاله حاضر حاصل پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آقای مهرداد زنگنه در رشته مهندسی بهداشت محیط در دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی قزوین و طرح تحقیقاتی با عنوان«بررسی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی و شبیه‌سازی انتقال نیترات در آبخوان دشت قزوین» بوده است.

### مشارکت نویسندگان

طراحی مطالعه، مشارکت در تحلیل داده‌ها، نگارش و بازبینی مقاله و مدیریت طرح: حمید کاریاب؛ اجرای مدل‌سازی، اعتبارسنجی داده‌ها و بررسی سناریوهای مختلف: حمید زارع ابیانه و مریم بیات ورکشی؛ اجرای سناریوهای مختلف مدل‌سازی، جمع‌آوری اطلاعات، تهیه پیش‌نویس مقاله و همکاری در تحلیل داده‌ها: مهرداد زنگنه.

### تعارض منافع

نویسندگان اظهار می‌دارند که هیچ‌گونه تعارض منافع در تدوین مقاله ندارند.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان از حمایت دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی قزوین در اجرای این پایان‌نامه تشکر و قدردانی می‌کنند.

14. San angelo

## References

[1] Gutiérrez M, Biagioni RN, Alarcón-Herrera MT, Rivas-Lucero BA. An overview of nitrate sources and operating processes in arid and semiarid aquifer systems. Sci Total Environ. 2018; 15(624):1513-22. [DOI:10.1016/j.scitotenv.2017.12.252] [PMID]

[2] Lewis K, Bardon K. A computer-based informal environmental management system for agriculture. Envi Model Softw. 1998; 13(2):123-37. [DOI:10.1016/S1364-8152(98)00010-3]

[3] Tait NG, Davison RM, Leharne SA, Lerner DN. Borehole Optimisation System (BOS)-a case study assessing options for abstraction of urban groundwater in Nottingham, UK. Environ Model. 2008; 23(5):611-21. [DOI:10.1016/j.envsoft.2007.09.001]

[4] Hoseinsarbazy A, Esmaili K. Investigation and quantitative modeling of groundwater (case study: The plain of Neyshabour). Irrigation Sci Eng. 2014; 36(4):73-87. [In Persian]

[5] Wongsanit J, Teartisup P, Kerdsueb P, Tharnpoophasiam P, Worakhunpiset S. Contamination of nitrate in groundwater and its potential human health: A case study of lower Mae Klong river basin, Thailand. Environ Sci Pollut Res. 2015; 22(15):11504-12. [DOI:10.1007/s11356-015-4347-4] [PMID]

[6] Walter DA. Use of numerical models to simulate transport of sewage-derived nitrate in a coastal aquifer, central and Western Cape Cod, Massachusetts. New York: Science for a changing world; 2008.

[7] Erwin ML, Tesoriero AJ. Predicting ground-water vulnerability to nitrate in the Puget Sound Basin. New York: National Water-Quality Assessment Program; 1997. [DOI:10.3133/fs06197]

[8] Kim KH, Yun ST, Kim HK, Kim JW. Determination of natural backgrounds and thresholds of nitrate in South Korean groundwater using model-based statistical approaches. J Geochem Explor. 2015; 1(148):196-205. [DOI:10.1016/j.gexplo.2014.10.001]

[9] Pawełczyk A. Assessment of health hazard associated with nitrogen compounds in water. Water Sci Technol. 2012; 66(3):666-72. [DOI:10.2166/wst.2012.227] [PMID]

[10] Espejo-Herrera N, Cantor KP, Malats N, Silverman DT, Tardón A, García-Closas R, et al. Nitrate in drinking water and bladder cancer risk in Spain. Env Res. 2015; 137:299-307. [DOI:10.1016/j.envres.2014.10.034] [PMID]

[11] World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality. Geneva: World Health Organization; 2008.

[12] Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Drinking water -Physical and chemical specifications, 1053, 5th revision. [Internet] . 2010. [Updated 2014 October 5]. Availabe from: http://standard.isiri.gov.ir/StandardView.aspx?Id=36327

[13] Kresic N. Hydrogeology and groundwater modeling. Boca Raton: CRC Press; 2006.

[14] McDonald MG, Harbaugh AW. A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. Reston: US Geological Survey; 1988. [DOI:10.3133/twri06A1]

[15] Pathak R, Awasthi MK, Sharma SK, Hardaha MK, Nema RK. Ground water flow modelling using MODFLOW-A review. Int. J Curr Microbiol App Sci. 2018; 7(2):83-8. [DOI:10.20546/ijcmas.2018.702.011]

[16] Zamzam A, Rahnama M. Investigation of groundwater quality by mathematical model MT3DMS (Case study: Rafsanjan plain). Iran Water Res J. 2012; 6(10):1-10. [In Persian]

[17] Shamrukh M, Corapcioglu MY, Hassona FA. Modeling the effect of chemical fertilizers on ground water quality in the Nile Valley Aquifer Egypt. Groundwater. 2001; 39(1):59-67. [DOI:10.1111/j.1745-6584.2001.tb00351.x]

[18] Zhang H, Hiscock K. 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. J Hydrol. 2011; 399(3-4):212-25. [DOI:10.1016/j.jhydrol.2010.12.042]

[19] Stamatis G, Parpodis K, Filintas A, Zagana E. Groundwater quality, nitrate pollution and irrigation environmental management in the Neogene sediments of an agricultural region in central Thessaly (Greece). Env Hearth sci. 2011; 64(4):1081-105. [DOI:10.1007/s12665-011-0926-y]

[20] Molenat J, Gascuel-Odoux C. Modelling flow and nitrate transport in groundwater for the prediction of water travel times and of consequences of land use evolution on water quality. Hydrol Process. 2002; 16(2):479-92. [DOI:10.1002/hyp.328]

[21] Marković T, Brkić Ž, Larva O. Using hydrochemical data and modelling to enhance the knowledge of groundwater flow and quality in an alluvial aquifer of Zagreb, Croatia. Sci Total Environ. 2013; 458-460:508-16. [DOI:10.1016/j.scitotenv.2013.04.013] [PMID]

[22] Baghvand A, Vosoogh A, Givehchi S, Daryabeigi Za. Ground water modeling to estimate nitrate dispersion in critical Aquifers (A case study: Mashhad City). J Env Sci Tech. 2016; 17(4):1-22. [In Persian]

[23] Rahimzadeh Kz, Kardan Mh, Behbahani Smr. Simulation and perdiction Nitrate in ground water (case study: South Khorasan-Birjand Aquifer). J Irrigation Water Engineering. 2016; 6(4):114-27. [In Persian]

[24] Office of Basic Water Resources Studies. Updated report of the Qazvin plain, which ends in the year 1889-89, Ministry of Energy, Iran Water Resources Management Company. Qazvin: Office of Basic Water Resources Studies; 2016.

[25] Kazemi E, Karyab H, Emamjome MM. Optimization of interpolation method for nitrate pollution in groundwater and assessing vulnerability with IPNOA and IPNOC method in Qazvin plain. J Env Health Sci Eng. 2017; 15:23. [DOI:10.1186/s40201-017-0287-x] [PMID] [PMCID]

[26] Office of Basic Water Resources Studies. Report of justification extension of the ban on development of exploitation of groundwater resources of Qazvin Plain, Blue water supply 93-94 Ministry of Energy, Iran Water Resources Management Company, Qazvin Regional Water Company. Qazvin: Office of Basic Water Resources Studies; 2016.

[27] Liang Y, Lan J, Wen Z. Simulation and prediction of groundwater pollution from planned feed additive project in nanning city based on gms model. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018; 301(2018):012159. [DOI:10.1088/1757-899X/301/1/012159]

[28] Naseri Hr, Nadafian H. Transport modeling of ground water nitrate contaminant in Hamedan drinkingwaterwells area. Iranian J Geology. 2008; 2(6):87-98. [In Persian]

[29] Sebilo M, Mayer B, Nicolardot B, Pinay G, Mariotti A. Long-term fate of nitrate fertilizer in agricultural soils. Proc Natl Acad Sci India Sect B Biol Sci. 2013; 110(45):18185-9. [DOI:10.1073/pnas.1305372110] [PMID] [PMCID]

[30] Kurunc A, Ersahin S, Uz BY, Sonmez NK, Uz I, Kaman H, et al. Identification of nitrate leaching hot spots in a large area with contrasting soil texture and management. Agric Water Manag. 2011; 1(6):1013-9. [DOI:10.1016/j.agwat.2011.01.010]

[31] Jafari H, Valizadeh M. Modeling transport of nitrate in Shahrood aquifer. Geochem. 2014; 3(1):398-402. [In Persian]

[32] Azizi M, Khashei Sa, Dastorani M. Evaluation of groundwater pollution caused by leakage of leachate produced landfill using numerical model. Iran J Res Env Health. 2017; 3(3):187-97. [In Persian]