تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال چهاردهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷
Volume 14, No. 1, Spring 2018 (IR-WRR)
۲۵۷-۲۶۲

یادداشت فنی

ارزیابی روش‌های زمین‌آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی در تحلیل تغییرات مکانی و طبقه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی

نوید نجف‌پور[۱]، حسن ترابی پوده[۲*] و حجت اله یونسی[۳]

چکیده

آب زیرزمینی یکی از مهمترین منابع آب در نواحی خشک و نیمه خشک است. از این نظر جلوگیری از آلودگی آن نیز به همان نسبت مهم و مورد توجه می‌باشد. در این مطالعه، توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی و طبقه‌بندی کیفی آب در حوضه آبریز رودخانه شور، شهرستان دهاقان واقع در جنوب استان اصفهان، با روش‌های مختلف بررسی گردید. بدین منظور از ۴۸ حلقه چاه و قنات شاخص در منطقه نمونه‌برداری شد. روش‌های کریجینگ معمول، کوکریجینگ و IDW با توان‌های ۱ تا ۳ برای درون‌یابی ۱۲ پارامتر کیفیت آب به کار رفت. به منظور استفاده از روش‌های زمین‌آمار توزیع نرمال پارامترها بررسی گردید؛ سپس واریوگرم پارامترها به منظور انتخاب بهترین مدل درون‌یابی تعیین گردید و پهنه‌بندی مربوط به هر پارامتر با بهترین روش درون‌یابی در نرم‌افزار ArcGIS ترسیم گردید. نتایج نشان داد روش کریجینگ معمول برای اکثر پارامترها بهترین روش درون‌یابی است. بر طبق نقشه‌های پهنه‌بندی تجمع پارامترهای کیفیت آب و آلودگی در شمال حوضه بسیار بیشتر است که این امر با وضعیت هیدروژئولوژیک منطقه در تعامل بود. نتایج طبقه‌بندی کیفی آب با شاخص WHO نشان داد کیفیت آب در شمال آبخوان مطلوب نیست.

کلمات کلیدی: آب زیرزمینی، توزیع مکانی، درون‌یابی، شاخص، کیفیت آب.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱۰/۲۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۴/۸

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان.
۲- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان.
۳- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

Technical Note

Evaluation of GIS and Interpolation Methods in Determining Spatial Distribution and Classifying Groundwater Quality

N. Najafpour[1], H. Torabi Pudeh[2] and H.A. Yonesi[3]*

Abstract

Groundwater is the most important water resource in arid and semiarid area. Therefore, groundwater pollution is also important. In this study, spatial distribution of groundwater quality was evaluated in Shoor River basin in Dehaghan County, south of Esfahan Province. For this propose, kriging, cokriging and IDW methods were used to predict spatial distribution of groundwater quality parameters related to 48 wells and Qanats. According to Anderson Darling test, data of water quality were not normally distributed and therefore COX-BOX transformation was used to normalize the data. Next, the variogram of each parameter was drawn for fitting the best interpolation model. Then, spatial distribution maps of groundwater quality were drawn using ArcGIS. Results showed that ordinary kriging was the best interpolation method for most of the parameters. According to the spatial distribution maps, pollution was aggregated in north of the basin which agreed with the hydrogeological condition in the basin. Also spatial distribution of water quality index (WQI) was determined in the area according to Water Health Organization Standard.

Keywords: Groundwater, Index, Interpolation, Spatial Distribution, Water Quality.

Received: January 14, 2017
Accepted: June 29, 2017

1- PhD Student in Water Engineering Department, Lorestan University, Khoramabad, Iran.
2- Associate Professor, Water Engineering Department, Lorestan University, Khoramabad, Iran. Email: torabi.ha@lu.ac.ir
3- Assistant Professor, Water Engineering Department, Lorestan University, Khoramabad, Iran.
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

اگر محیط زیست منابع آب زیرزمینی آلوده شود، به علت اینکه حرکت آب‌های زیرزمینی بسیار کند می‌باشد، بعد از شروع آلودگی، باید سال‌ها بگذرد تا آب تحت تأثیر قرار گرفته و آلودگی در چاهی ظاهر شود. از بین بردن آلودگی یک آبخوان، زمان بر و مشکل بوده و هرگز نمی‌توان آن را به‌طور کامل انجام داد (Babaie et al., 2013). با توجه به اینکه تعیین کیفیت آبهای زیرزمینی، پایه و اساس تشخیص میزان آلودگی و اصلاح آن در منابع آب زیرزمینی است، محققان بسیاری در سرتاسر جهان به این مسأله پرداخته‌اند و تحقیقات گسترده‌ای طی دهه‌های اخیر در این زمینه انجام شده است. از جمله Stigter et al. (2006) در کشور پرتغال، نقشه‌های کیفی آب در منطقه را ترسیم نمودند و نشان دادند میزان کیفیت آب در آبخوان‌های کم‌عمق پایین بوده و فعالیت‌های کشاورزی بر روی کیفیت آب مؤثر است، Baba and Tayfur (2011) به بررسی میزان آلودگی آبهای زیرزمینی در کشور ترکیه و تاثیر آن بر سلامتی انسان‌ها پرداختند، Choi and Lee (2011) آلودگی نفتی در مناطق نظامی کشور کره را ارزیابی کردند، Hamzaoui et al. (2011) میزان یون‌های محلول و کیفیت شیمیایی سفره آب زیرزمینی زئوس در کشور تونس با روش هیدروشیمیایی و بررسی‌های عددی تعیین کردند. Wu et al. (2011) و Li et al. (2010) به بررسی کیفیت آب زیرزمینی در دو استان کشور چین پرداختند و نشان دادند که کیفیت منابع آب زیرزمینی تحت تأثیر فعالیت‌های بشر در طبیعت و وضعیت هیدروژئولوژیکی منطقه است. Riahi and Seifi (2016) از تحلیل مکانی گروهی و تحلیل مکانی فازی به روش‌های مختلف برای پیش‌بینی پارامترهای کیفیت آب به منظور استفاده‌های شرب و کشاورزی در دشت بابک پرداختند. در تحلیل فازی نتایج به صورت صفر و یک ارائه می‌شوند که عدد صفر نشان‌دهنده نامطلوب بودن کیفیت آب است. بر اساس نتایج به‌دست آمده از روش‌های مذکور دشت مورد مطالعه از نظر کیفیت آب زیرزمینی برای کاربری‌های شرب و کشاورزی تقسیم‌بندی شد. Poorfarhabadi and Kholghi (2016) غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی آبخوان کرج را با مدل‌های کوکریجینگ و نروفازی بررسی نمودند. در این مطالعه از داده‌های غلظت نیترات ۱۷۹ حلقه چاه در سال ۱۳۸۴ به عنوان متغیرهای اولیه و داده‌های نیترات در سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۳ به عنوان متغیرهای کمکی مدل کوکریجینگ و متغیرهای ورودی مدل نروفازی استفاده شد. نتایج نشان داد مدل‌های نروفازی به کار رفته از دقت و کارایی بیشتری برخوداردند. منابع آب در اکثر مناطق حوضه رودخانه شور با سیستم قنوات مدیریت می‌شود. قنوات در محدوده مورد مطالعه قدمتی ۱۰۰۰ ساله داشته و نقش اساسی در تامین آب شرب و کشاورزی و توسعه مناطق روستایی دارد. بنابراین بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه دارای اهمیت ویژه بوده و از اهداف این مطالعه است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه شور با مساحت بالغ بر ۱۶۰۰ کیلومتر مربع در جنوب غربی استان اصفهان و بخشی از محدوده مطالعاتی لنجانات از زیرحوضه‌های آبریز رودخانه زاینده‌رود می‌باشد. با توجه به ضرورت مطالعه، آنالیز فیزیکی و شیمیایی بر روی ۴۸ نمونه آب چاه و قنات توسط محققان این مطالعه و با همکاری شرکت آب منطقه‌ای اصفهان در سال ۱۳۹۵ انجام گردید و مقدار پارامترهای pH، هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول، نسبت جذب سدیمی، کلر، کربنات، بی‌کربنات، پتاسیم، سولفات، کلسیم، منیزیم، سدیم، سختی و نیترات در آنها اندازه‌گیری شد. موقعیت منطقه مطالعاتی و نقاط نمونه‌برداری در شکل ۱ نشان داده شده است.

۲-۲- آنالیز داده‌ها

۲-۲-۱- توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب

برای تعیین توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی از ۱۲ پارامتر کیفی pH، هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول، نسبت جذب سدیمی، کلر، بی‌کربنات، سولفات، کلسیم، منیزیم، سدیم، سختی و نیترات استفاده شد. در برآورد توزیع مکانی با رویکرد زمین‌آمار از روش‌های درون‌یابی مختلف استفاده می‌گردد. درون‌یابی به دو طریق قطعی و زمین‌آمار انجام می‌شود. در روش قطعی تنها از توابع ریاضی استفاده می‌گردد (روش IDW) در صورتی که روش زمین‌آمار (انواع کریجینگ و روش کوکریجینگ) بر اساس تئوری متغیرات ناحیه‌ای بوده و به توابع ریاضی و آمار وابسته است و از مدل واریوگرام که ابزار اصلی در زمین‌آمار است برای توصیف پیوستگی فضایی داده‌های ورودی و تخمین مقدار مکان‌های اندازه‌گیری نشده، استفاده می‌شود (Momeni et al., 2015). در این مطالعه روش‌های کریجینگ معمول، کوکریجینگ و روش وزن‌دهی عکس فاصله به کار رفت. برای روش‌های درون‌یابی لازم است داده‌های مربوط دارای توزیع نرمال باشند. برای تعیین توزیع داده‌ها و نرمال‌سازی توزیع آنها از نرم‌افزار MiniTab استفاده شد. سپس برای درون‌یابی داده‌ها با روش‌های زمین‌آمار، ابتدا واریوگرام هر پارامتر کیفی با نرم‌افزار GS+ ترسیم شد.

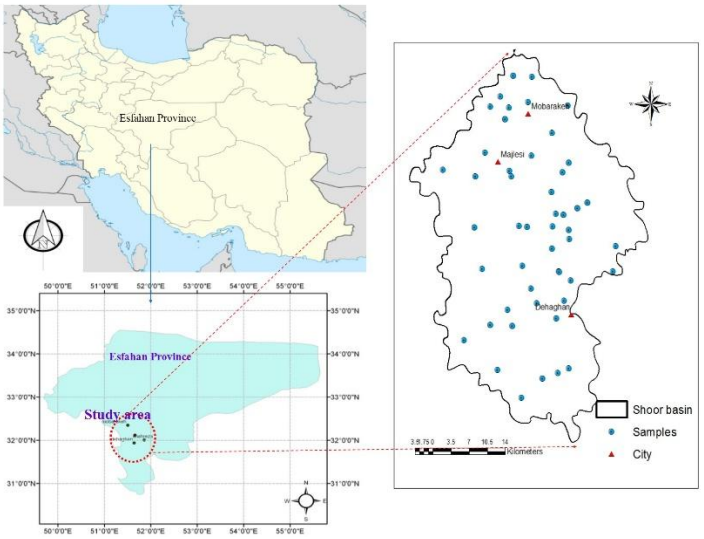

Fig. 1- Location of Shoor River basin and the sampling points

شکل ۱- موقعیت مکانی حوضه آبریز رودخانه شور و نقاط نمونه‌برداری

بعد از مشخص شدن واریوگرام هر پارامتر، از روش ارزیابی متقابل و محاسبه میانگین خطای مطلق (MAE)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین انحراف خطا (MBE)، برای انتخاب بهترین روش درون‌یابی استفاده شد. در انتها توزیع مکانی و نقشه‌های پهنه‌بندی مربوط به هر پارامتر با روش درون‌یابی مناسب آن با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS برآورد شد.

۲-۲-۲- طبقه‌بندی کیفی آب زیرزمینی

در طبقه‌بندی آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه از شاخص سازمان جهانی بهداشت برای مصارف شرب، (WHO)، استفاده شد. شاخص سازمان جهانی بهداشت WHO برای تعیین توزیع شاخص کیفیت آب استفاده گردید. این شاخص در سال ۱۹۹۲ تدوین شد و برای کاهش مقادیر عددی پارامترهای کیفیت آب به یک مقدار عددی واحد است. در محاسبه شاخص کیفیت آب ابتدا به هر یک از پارامترها بر اساس درجه اهمیت‌شان وزنی از ۱ تا ۵ تعلق خواهد گرفت. مثلاً برای پارامتر نیترات به دلیل خطرات وجود آن در آب آشامیدنی وزن ۵ تعلق می‌گیرد. سپس وزن نسبی پارامترها محاسبه می‌شود (WHO, 1998).

۳- یافته‌ها و بحث

در مرحله اول، از آزمون اندسون دارلینگ برای بررسی توزیع آماری پارامترها و از تبدیل آماری Cox-Box در نرم‌افزار MiniTab برای نرمال‌سازی توزیع داده‌ها استفاده شد. بعد از نرمال‌سازی توزیع پارامترها از ترسیم واریوگرام پارامترهای کیفیت آب، مناسب‌ترین مدل بر روی واریوگرام داده‌ها بر اساس میزان مجموع مربعات باقیمانده (RSS) و بررسی میزان پیوستگی مکانی در هر مدل، انتخاب گردید و بنابر نتایج آن مدل کروی برای پارامترهای SAR، TH، EC، TDS، SO_4، Ca و Mg و مدل نمایی برای پارامترهای pH، NO_3، HCO_3، Cl و Na به عنوان بهترین مدل در درون‌یابی به روش کریجینگ تعیین شد.

برای تعیین واریوگرام در روش کوکریجینگ از متغیر کمکی برای هر پارامتر که بیشترین همبستگی را دارا بود استفاده شد، بعد از تعیین همبستگی با ضریب همبستگی پیرسون، مشخص شد، پارامترهای Na، Mg بیشترین همبستگی را با SO_4 و پارامترهای Ca، SO_4، HCO_3، TDS و SAR بیشترین همبستگی را به ترتیب با TDS، SAR، TDS، EC و Na داشته است. بر این اساس و بعد از تعیین واریوگرام هر پارامتر، بهترین مدل برازش شده برای درون‌یابی به روش کوکریجینگ برای پارامترهای Na و SO_4 مدل کروی، پارامتر HCO_3 مدل خطی و برای سایر پارامترها مدل نمایی، برآورد شده است.

نتیجه ارزیابی متقابل بین روش‌های درون‌یابی کریجینگ معمولی، کوکریجینگ و IDW با محاسبه MAE، MBE و RMSE بین مقادیر مشاهداتی و ارزیابی شده برای هر پارامتر مشخص گردید. بر اساس معیارهای ارزیابی RMSE، MBE و MAE مناسب‌ترین روش درون‌یابی برای پارامترهای منیزیم، کلسیم، کلر، بی‌کربنات، NO_3، هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیمی، pH و سختی روش درون‌یابی کریجینگ؛ برای پارامتر سدیم روش درون‌یابی IDW با توان یک و برای پارامتر کل مواد جامد محلول روش درون‌یابی کوکریجینگ تعیین گردید.

۳-۳- نتایج توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب

پهنه‌بندی مکانی برخی از پارامترهای کیفیت آب با توجه به آنالیز انجام شده در بخش آماری تحقیق با روش درون‌یابی مناسب در نرم‌افزار ArcGIS10.2 تعیین گردید و در شکل ۲ نشان داده شد.

با توجه به مطالعات زمین‌شناسی در محدوده مطالعاتی شیب هیدروژئولوژیکی منطقه از سمت جنوب به سمت شمال است. همانطور که در پهنه‌بندی عناصر کیفیت آب در شکل ۲ مشاهده می‌شود تجمع عناصر شیمیایی در جنوب آبخوان بسیار بیشتر است که علت اصلی آن را می‌توان شیب هیدروژئولوژیکی منطقه تعبیر کرد. البته تراکم شهرنشینی، زمین‌های کشاورزی و صنایع نیز در شمال حوضه بیشتر بوده، که در تجمع عناصر شیمیایی آب در این قسمت تأثیرگذار است.

۳-۴- طبقه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی بر اساس استاندارد سازمان جهانی بهداشت WHO

با توجه به محاسبات شاخص کیفیت آب جهانی، محدوده مطالعاتی از نظر کیفیت آب شرب به پنج دسته عالی، خوب، ضعیف و خیلی ضعیف و غیر قابل شرب طبقه‌بندی گردید. در شکل ۳ تغییرات و توزیع شاخص کیفیت آب نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۳ شاخص WQI از جنوب به شمال آبخوان افزایش پیدا کرد که این مسأله با توجه به پهنه‌بندی عناصر کیفیت آب قابل پیش‌بینی بود.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج تحلیل روش‌های درون‌یابی مختلف نشان داد، روش کریجینگ معمول از خطای کمتر و پیوستگی بیشتری به ترتیب نسبت به روش‌های درون‌یابی کوکریجینگ و IDW برخوردار است. پهنه‌بندی پارامترهای کیفی نشان داد در پایین دست آبخوان تجمع پارامترها بیشتر است؛ که علت اصلی آن را می‌توان به خصوصیات هیدروژئولوژیک منطقه مانند شیب جنوبی شمالی آبخوان، هدایت هیدرولیکی بالا و وجود لایه شن که باعث افزایش نفوذپذیری می‌شود، ربط داد.

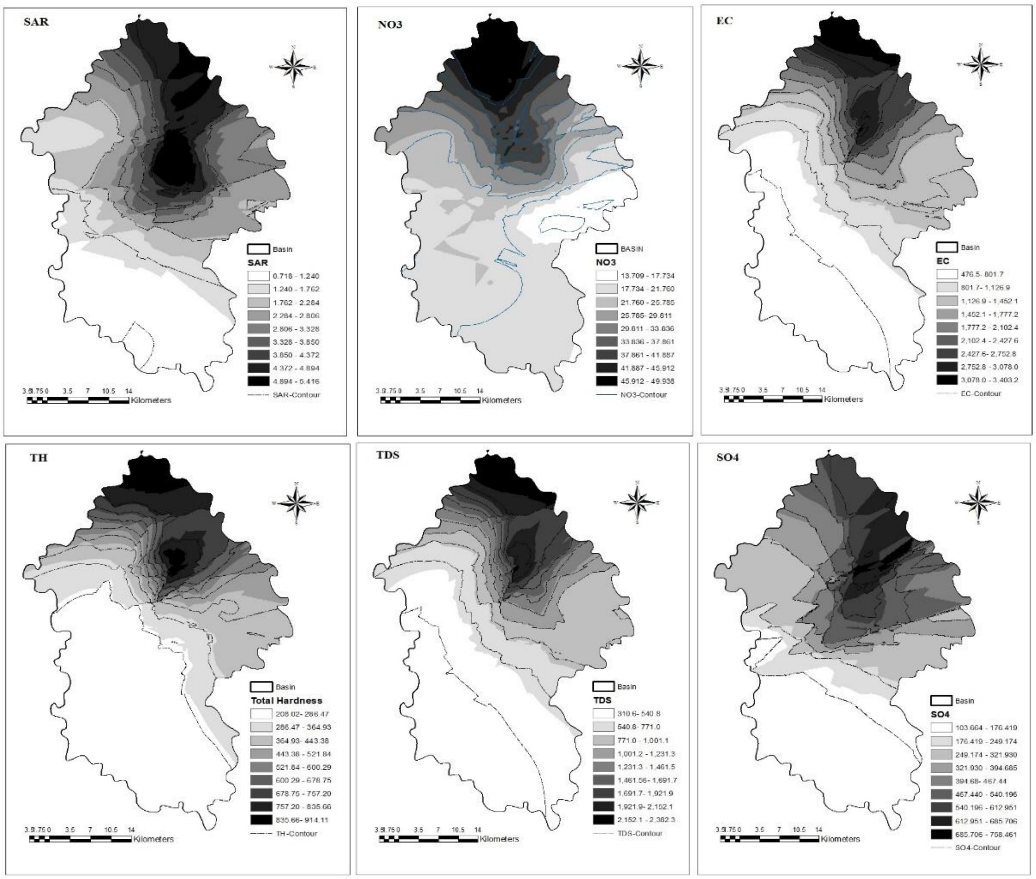

Fig. 2- Spatial distribution of water quality parameters in Shoor River basin

شکل ۲- پهنه‌بندی پارامترهای کیفیت آب در حوزه آبریز رودخانه شور

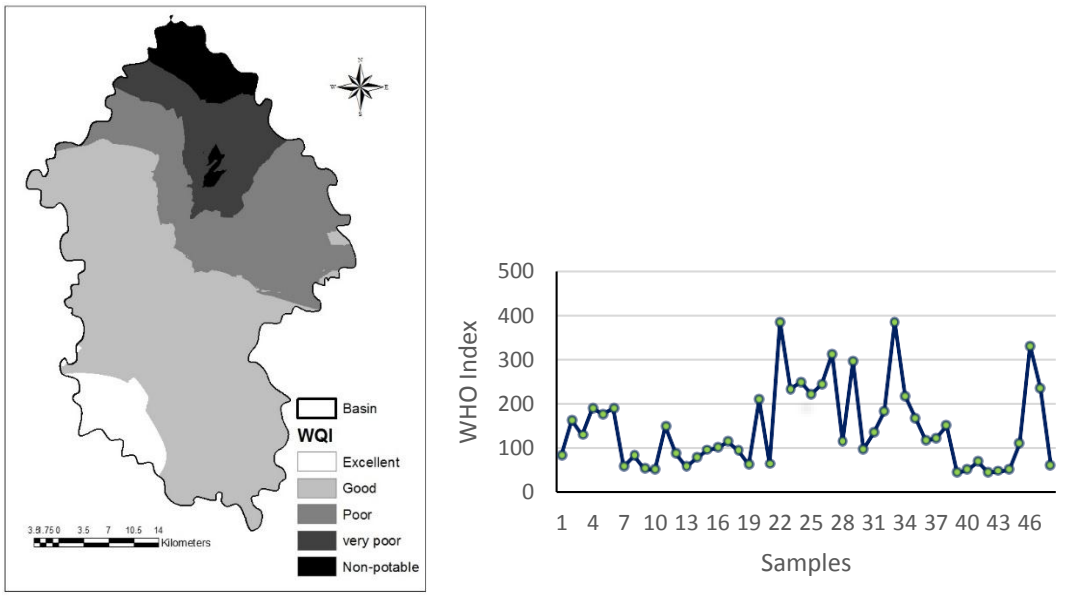

Fig. 3- Variation of WQI index for samples (right) and zoning of WHO index in the study area (left)

شکل ۳- تغییرات شاخص WQI در نمونه‌های برداشت شده (شکل راست) و پهنه‌بندی شاخص در سطح محدوده مطالعاتی (شکل چپ)

اثبات این امر با تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری آبخوان مورد مطالعه مشخص می‌شود. قسمت بالادست حوضه (جنوب) دارای شیب بیشتری است، بنابراین خطر آلودگی در این مناطق کمتر بوده که این امر در نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای کیفیت آب نیز مشخص است. شاخص کیفیت آب زیرزمینی در آبخوان نشان داد که آب زیرزمینی در جنوب حوضه از کیفیت مطلوبی برخوردار است و با حرکت به سمت شمال حوضه این شاخص افزایش پیدا کرد که نشان از کاهش کیفیت آب دارد. بنابراین با وجود کاهش منابع آب زیرزمینی حوضه و افزایش غلظت آلاینده‌ها در صورتی که اقدامات پیشگیرانه صورت نگیرد جبهه آلودگی به سمت جنوب حوضه حرکت خواهد کرد و غلظت آلاینده‌ها در دوره‌های زمانی مرتبط افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج بیان شده، روش‌های زمین‌آمار در تحلیل کیفیت آب زیرزمینی مناسب هستند و حتی با وجود داده‌هایی با عدم‌قطعیت بالا و ناقص، انجام این‌گونه آنالیزها برای پیش‌بینی‌های آینده، ارزشمند است. اما در شرایط خاص این روش‌ها نباید جایگزین روش‌های اصلی تحلیل کیفیت فیزیکی، شیمیایی و زیستی آب خصوصا در مناطقی که با افت شدید سطح آب زیرزمینی روبرو هستند، شوند و باید به عنوان ابزاری کمکی در پیش‌بینی و ارزیابی اولیه به کار روند.

۵- مراجع

Babaei Bazkiyaei Z, Shariati F, oshaksaraei L, and Amiri E (2013) Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking and agriculture use. Journal Agriculture and Crop Sciences 5:51-63

Baba A, and Tayfur G (2011) Groundwater contamination and its effect on health in Turkey. Journal of Environmental Monitoring and Assessment 83:77–94

Choi HM, and Lee JY (2011) Groundwater contamination and natural attenuation capacity at a petroleum spilled facility in Korea. Journal of Environmental Sciences 23(10):1650-1659

Poorfarahabadi E, and Kholghi M (2016) Evaluation of cokriging and neuro-fuzzy model performance in estimating the nitrate concentration in Karaj Aquifer. Journal of Iran- Water Resources Research 11(3):182-186 (In Persian)

Hamzaoui-Azaza F, Ketata M, Bouhlila R, Gueddari M, and Riberio L (2011) Hydro geochemical characteristics and assessment of drinking water quality in Zeuss– Koutine aquifer southeastern Tunisia. Journal of Environmental Monitoring and Assessment 174:283-298

Li PY, Qian H, and Wu JH (2010a) Groundwater quality assessment based on improved water quality index in Pengyang County Ningxia Northwest China. Journal of Chemistry 7(1):209-216

Momeni Damaneh J, Joulaei F, Alidadi H, and Peiravi R (2015) Evaluation of interpolation methods to determine spatial variations of groundwater qualitative parameters in Gonabad plain. Iranian

environmental policies a two Portuguese case studies. Journal of Hydrology 327(3-4):578-591

World Health Organization (WHO) (1998) Guide lines for drinking water 2nd edition health criteria and other information genera. Switzerland 2:281-308

Wu JH, Li PY, and Qian H (2011) Groundwater quality in Jingyuan County a semi-Humid area in northwest China. Journal of Chemistry 8(2):787-793

Journal of Research in Environmental Health1 (3):165-176 (In Persian)

Riahi Madvar H, and Seifi A (2016) Spatial grouping analysis and fuzzy spatial analysis of Shahr-e-Babak plain groundwater quality for drinking and irrigation. Journal of Iran- Water Resources Research 12(2):152-157 (In Persian)

Stigter TY, Ribeiro L, and Carvalho Dill AMM (2006) Application of a groundwater quality index as an assessment and communication tool in agro-