

Short Paper

Investigating Spatio-Temporal Variations of Groundwater Quality of Guilan Province using Geostatistical Method

Seyed Esmaeil Mirabdolahi¹ and Ebrahim Amiri^{2*}

¹PhD Scholar, Water Engineering Department, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

²Professor, Water Engineering Department, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

Article information

Received: January 24, 2021

Revised: April 15, 2021

Accepted: April 19, 2021

Keywords:

GIS

Groundwater Depth

Interpolation

Kriging

Water Quality

*Corresponding author:

eamiri57@liau.ac.ir



Abstract

Knowledge and awareness of temporal and spatial changes of quality parameters, especially salinity in groundwater and surface water resources and the preparation of zoning maps can be an important step in proper management and planning in the use of water resources. In this research, the trend of spatial and temporal changes of some groundwater quality parameters in Guilan province has been evaluated. Measurement data of some cations and anions sampled from 150 wells in September and March of 2011-2018 and water level data of 282 piezometric wells were collected. The zoning maps obtained by ordinary kriging method were examined. These maps show that in terms of quality parameters, groundwater resources in the central part of Gilan province have higher values and in the growing season due to agricultural activities and fertilization, groundwater quality decreases. Effect of groundwater depth on the concentration of the parameters was assessed. According to the map of groundwater depth changes, the largest area of Gilan province has a water level of 0.23 to 5.5 m. The results of classification of qualitative parameters show that in shallow groundwater depths the concentration of qualitative parameters increases.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open access article distributed under the CC BY) license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.



Introduction

Groundwater is the main source of irrigation water supply in Iran's agriculture and plays an important role in food security. Knowledge and awareness of temporal and spatial changes of quality parameters, especially salinity in groundwater and surface water resources and the preparation of zoning maps can be an important step in proper management and planning in the use of water resources. Statistical method can be used to identify temporal and spatial changes in water quality. Preparation of distribution maps and their integration by spatial statistics methods and geographic information systems (GIS) has found a special role in different geographical trends.

Materials and Methods

In this study, changes in groundwater quality parameters of Guilan province have been evaluated using Kriging geostatistical method and preparation of zoning maps in order to better understand changes in water quality and identify sensitive areas of Guilan province. The effect of groundwater depth on the concentration of the parameters was also evaluated. Sampling statistics from 2011 to 2017 from 150 monitoring wells of groundwater network were prepared from Guilan Regional Water Company. Sampling was performed every six months. The most important descriptive statistics for the parameters of calcium, potassium, sodium, magnesium, chlorine, sulfate, bicarbonate, salinity and pH were calculated using SPSS23 software. Spatial correlation of groundwater quality parameters was calculated by

geostatistical tools. the effect of groundwater depth on the concentration of the parameters was analyzed and evaluated.

Results

The results show that the variables of calcium, potassium, sodium, magnesium and sulfate, chlorine, bicarbonate and pH and salinity follow the change of the roof appearance and are well compatible with the spherical model. The spatial distribution of groundwater quality parameters showed that: The amount of quality parameters increases in the central part of Gilan province and the central part is more exposed to pollution. In the central part of the province, calcium levels from 3.81 to 5.29 meq/l, potassium from 0.112 to 0.227 meq/l, sodium from 1.13 to 46.7 meq/l, magnesium from 1.68 to 28.2 meq/l, sulfate from 1.11 to 2.19 meq/l, chlorine from 1.81 to 4.98 meq /l, bicarbonate from 3.77 to 6.71 meq/l and salinity from 6.1494 to 4.1286 $\mu\text{mohs/cm}$ (Table 1). Due to agricultural activities and fertilization, groundwater quality decreases. According to the map of groundwater depth changes, most of the area of Gilan province has a water level of 0.23 to 5.5 m. The results showed in general, in areas where the water table depth is less, the concentration of qualitative parameters increases. Currently, there is no serious problem in terms of quality parameters in the province, but the trend of changes during the period under study is a warning to continue the current situation and the use of groundwater in these areas, especially in years of low rainfall.

Table 1 Area of areas in the range of different depths and range of different concentrations of groundwater quality parameters

Area (%)	Range	Area (%)	Range	Area (%)	Range
	Mg (meq/l)		Ca (meq/l)		Groundwater Depth (m)
54.61	0.93-1.5	37.19	2.69- 3.15	77.52	0.23-5.5
38.93	1.5-2.2	33.98	3.15-3.62	22.25	5.5-11.5
6.45	2.2-2.78	28.83	3.62-4.08	0.22	11.5-17.5
	SO ₄ ²⁻ (meq/l)		Na (meq/l)		K (meq/l)
46.5	0.35-0.83	42.85	0.3-1.5	69.91	0.03-0.07
47.9	0.83-1.3	35.79	1.5-3	10.08	0.07-0.11
5.55	1.3-1.77	21.35	3-4.5	20	0.11-0.15
	EC ($\mu\text{moh/cm}$)		HCO ₃ (meq/l)		Cl (meq/l)
27.8	392.6-600	36.18	2.55-3.8	39.45	0.33-1.5
44.3	600-900	62.69	3.8-5	33.74	1.5-3
27.8	900-1180	1.12	5-6	26.8	3-5

Conclusions

The results showed in general, in areas where the water table depth is less, the concentration of qualitative parameters increases. Currently, there is no serious

problem in terms of quality parameters in the province, but the trend of changes during the period under study is a warning to continue the current situation and the use of

groundwater in these areas, especially in years of low rainfall.

Data Availability

The data used in this research are presented in the paper.

Conflict of Interests

The authors of this paper declare no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir



مقاله کوتاه

تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی استان گیلان با استفاده از زمین آمار

سیداسماعیل میرعبداللهی حسناتی^۱ و ابراهیم امیری^{۲*}

^۱ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
^۲ استاد گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۱۱/۰۵]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۰۱/۲۶]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۰۱/۳۰]

واژه‌های کلیدی:

درون‌یابی

عمق آب زیرزمینی

سامانه اطلاعات جغرافیایی

کریجینگ

کیفیت آب

*نویسنده مسئول:

eamiri57@liau.ac.ir

یکی از راه‌های بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی، روش زمین‌آمار می‌باشد. شناخت و آگاهی از تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی به‌ویژه شوری در منابع آب زیرزمینی و سطحی و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی می‌تواند گام مهمی در مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح در استفاده از منابع آب باشد. در این پژوهش به ارزیابی روند تغییرات مکانی و زمانی برخی از پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی استان گیلان پرداخته شده است. اطلاعات اندازه‌گیری برخی کاتیون‌ها و آنیون‌ها نمونه‌برداری شده از ۱۵۰ چاه در ماه‌های شهریور و اسفند برای سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۷ و اطلاعات سطح ایستابی ۲۸۲ چاه پیژومتری جمع‌آوری شد. نقشه‌های پهنه‌بندی به‌دست‌آمده از روش کریجینگ معمولی مورد بررسی قرار گرفت. این نقشه‌ها نشان می‌دهند که از نظر پارامترهای کیفی، منابع آب زیرزمینی بخش مرکزی استان گیلان مقادیر بیش‌تری دارند و در فصل زراعی به‌دلیل فعالیت‌های کشاورزی و کوددهی کیفیت آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. اثر عمق آب زیرزمینی بر مقدار غلظت پارامترها بررسی شد. با توجه به نقشه تغییرات عمق آب زیرزمینی بیش‌ترین مساحت استان گیلان دارای سطح ایستابی ۰/۲۳ تا ۵/۵ m می‌باشد. نتایج طبقه‌بندی پارامترهای کیفی نشان می‌دهد که در عمق‌های کم آب زیرزمینی غلظت پارامترهای کیفی افزایش می‌یابد.

۱- مقدمه

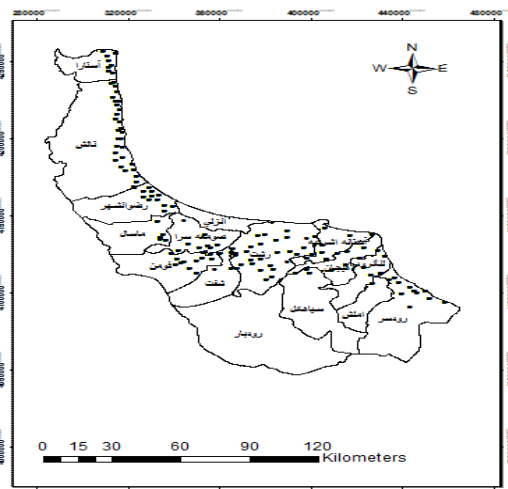
زیرزمینی ارزیابی می‌شود (Jang et al. 2008). شناخت و آگاهی از تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی به‌ویژه شوری در منابع آب زیرزمینی و سطحی و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی می‌تواند گام مهمی در مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح در استفاده از منابع آب باشد (Amiri Bourkhani et al. 2016). برای شناخت تغییرات زمانی و مکانی کیفیت

برای بسیاری از تولیدات کشاورزی در ایران، آب‌های زیرزمینی منبع اصلی تأمین آب آبیاری می‌باشد و در دسترس بودن و قابلیت اطمینان آن نقش مهمی در امنیت غذایی کشور دارد (Ostad-Ali-Askari et al. 2017). مناسب بودن کیفیت آب زیرزمینی برای آبیاری براساس مقادیر مشاهده‌شده از متغیرهای هیدروشیمیایی آب

زمین‌آمار کریجینگ معمولی، کریجینگ شاخص و نرم‌افزار GIS بررسی کردند. (2014) Jahanshahi et al. در پژوهش خود به ارزیابی دقت روش‌های درون‌یابی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در غرب کرمان پرداختند. نتایج نشان داد که روش کوکریجینگ برتری نسبت به کریجینگ ندارد ولی مقدار خطای کم‌تری نسبت به روش IDW دارند. در این پژوهش، تغییرات پارامترهای کیفی آب زیرزمینی استان گیلان با استفاده از روش زمین‌آمار کریجینگ و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی به‌منظور درک بهتر تغییرات کیفیت آب و تشخیص مناطق حساس استان گیلان ارزیابی شد.

۲- مواد و روش‌ها

آمار نمونه‌برداری از سال آبی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ از ۱۵۰ حلقه چاه شبکه پایش آب‌های زیرزمینی از شرکت آب منطقه‌ای استان گیلان تهیه شد. نمونه‌برداری‌ها هر شش ماه یکبار انجام‌شدند. شکل (۱) منطقه مورد مطالعه و نحوه پراکنش چاه‌های نمونه‌برداری شده را در نقشه استان گیلان نشان می‌دهد.



شکل ۱- منطقه مورد پژوهش
Fig. 1 The study area

عمده‌ترین یون‌ها در آب‌های زیرزمینی Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، Na^+ ، SO_4^{2-} ، Cl^- و HCO_3^- است. اما یون‌ها و عناصر دیگری مانند فلزات سنگین، ترکیبات نیتروژن، گازهای محلول، گوگرد، سیلیس، و سایر یون‌های فلزی و غیرفلزی موجود در پوسته زمین می‌توانند در آب زیرزمینی محلول باشند. برای پارامترهای کلسیم، پتاسیم، سدیم، منیزیم، کرب، سولفات، بی‌کربنات، شوری و pH مهم‌ترین آماره‌های توصیفی با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۳) محاسبه شد (Wang

آب می‌توان از روش زمین‌آمار استفاده کرد. تهیه نقشه‌های پراکنندگی و ادغام آن‌ها توسط روش‌های آمار فضایی و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) در گرایش‌های مختلف جغرافیا نقش ویژه‌ای یافته است GhahroudiTali (2002). (2008) Jang et al. از کریجینگ شاخص^۱ برای ارزیابی خطرات استفاده از آب زیرزمینی برای آبیاری در ناحیه غربی کشور تایوان استفاده کرد. (2012) Arsalan از کریجینگ شاخص برای ارزیابی میزان شوری آب زیرزمینی در دشت کشاورزی در شمال ترکیه استفاده و تغییرات زمانی منطقه‌ای که بیشترین احتمال را در بالا بودن از آستانه بحرانی شوری داشت را تخمین زد. (2013) Jang میزان آلودگی آلاینده‌ها را در یک سامانه آبخوان در تایوان با استفاده از دو نوع مختلف کریجینگ مشخص کرد.

(2014) Chica-Olmo et al. بر اساس نقشه‌های احتمال غلظت نترات به‌دست‌آمده از کریجینگ، میزان آلودگی نترات آب زیرزمینی مورد استفاده شرب را در مناطق شهری جنوب شرقی اسپانیا ارزیابی کردند. (2014) Delbari et al. با استفاده از کریجینگ معمولی و کریجینگ شاخص، توزیع مکانی متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی در جنوب ایران ارزیابی و مناسب‌ترین مناطق برای اجرای سامانه‌های آبیاری آبپاش را تعیین کرد. (2016) Bradai et al. برای برآورد مقادیر هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در مکان‌های غیرمشخص در یک دشت نیمه‌خشک در الجزایر، که آب‌های زیرزمینی منبع اصلی برای آبیاری بود، از کریجینگ معمولی و کریجینگ شاخص استفاده کردند. Ashrafzadeh et al. (2016) برای بررسی کیفیت آب زیرزمینی برای آبیاری در استان گیلان از دو روش کریجینگ معمولی و کوکریجینگ استفاده کردند و نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای شوری و مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌ها را به‌دست آوردند. نتایج حاکی از آن بود که بخش شرقی گیلان دارای وضعیت بحرانی برای کشت برنج دارد. (2010) Dash et al. با استفاده از نقشه‌های احتمالی متغیرهای کیفی، کیفیت آب زیرزمینی را توسط کریجینگ شاخص بررسی کردند و وضعیت آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه شهری پرجمعیت در هند با هدف مصرف آب شرب را مورد بررسی قرار دادند. Amiri (2016) Bourkhani et al. در این پژوهش تغییرات مکانی شوری آب زیرزمینی را در استان یزد با استفاده از روش‌های

¹Indicator Kriging

برای ۲۸۲ چاه مشاهداتی در استان گیلان برای ماه شهریور سال ۹۶ به دست آمد. نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی استان گیلان برای شهریور سال ۹۶ به سه بخش طبقه‌بندی شد.

۳- یافته‌ها و بحث

در جدول (۱) خلاصه اطلاعات آماری پارامترهای کیفی از سال آبی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ پس از نرمال‌سازی ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که متغیر کلسیم، پتاسیم، سدیم، منیزیم و سولفات، کلر، بی‌کربنات و pH و شوری از تغییر نمای سقف‌دار تبعیت می‌کنند و به خوبی با مدل کروی سازگاری دارند. با توجه به نتایج ارائه شده و نقشه‌های پهنه‌بندی شده آب زمینی استان گیلان، بهترین روش‌های زمین‌آمار برای هر یک از پارامترها طوری انتخاب شد که کم‌ترین مقدار RMSE و ME را داشته باشد.

جدول ۱- توصیف آماری مربوط به پارامترهای کیفی برای سال آبی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ بعد از نرمال‌سازی

Table 1 Statistical description of quality parameters for the water year 2011 to 2017 after normalization

Parameters	median	median	standard deviation	maximum	minimum	Skewness	Kurtosis
Ca ²⁺ (meq/l)	6.51E-15	-0.002	1.519	2.153	-3.58	-0.117	0.26
K ⁺ (meq/l)	1.45E-15	-0.25	0.134	2.77	-1.035	1.46	1.53
Na ⁺ (meq/l)	-2.9E-15	-0.202	17.27	1.65	-2.18	0.10	-1.24
Mg ²⁺ (meq/l)	2.18E-15	0.011	17.36	2.014	-2.73	-0.14	-0.52
SO ₄ ⁻ (meq/l)	-1.61E-16	-0.136	0.88	1.72	-2.43	0.13	-0.89
Cl ⁻ (meq/l)	-9.6E-17	-0.29	2.24	1.71	-1.44	0.29	-1.441
HCO ₃ ⁻ (meq/l)	-1.8E-16	-0.056	12.16	2.68	-3.501	0.14	0.40
EC (μmoh/cm)	5.8E-15	-0.204	702.52	2.23	-4.01	0.38	-0.51

منیزیم و پتاسیم در شکل‌های (۲-ج) و (۲-د) نشان می‌دهد که بیش‌ترین مساحت استان گیلان به ترتیب ۵۴/۶۱ و ۶۹/۹۱٪ دارای مقادیر کم غلظت منیزیم و پتاسیم می‌باشد. پارامترهای سدیم و سولفات (شکل‌های ۲-ه و ۲-و) در بخش غربی استان دارای مقادیر غلظت پایین هستند. غلظت بالای سدیم در محدوده ۳ تا ۴/۵ meq/l در بخش مرکزی استان (۲۱/۳۵٪) است. نقشه تغییرات پارامتر بی‌کربنات در شکل (۲-ز) نشان می‌دهد که در حدود ۶۲/۷٪ از مساحت استان گیلان دارای غلظت ۳/۸ تا ۵ meq/l بی‌کربنات می‌باشد. نقشه تغییرات EC (شکل ۲-ح) نشان می‌دهد که مقادیر EC در قسمت‌های مرکزی نسبت به قسمت‌های شمال غربی و غربی استان گیلان بالاتر بوده است. دلیل این امر ممکن است ناشی از وجود عمق سفره کم عمق آب به سمت شمال و شمال غربی باشد که در نقشه تغییرات مکانی از عمق آب‌های زیرزمینی مشهود است (شکل ۲-الف). هم‌چنین وضعیت پهنه‌بندی کلرور (شکل ۲-ط) همانند سدیم می-

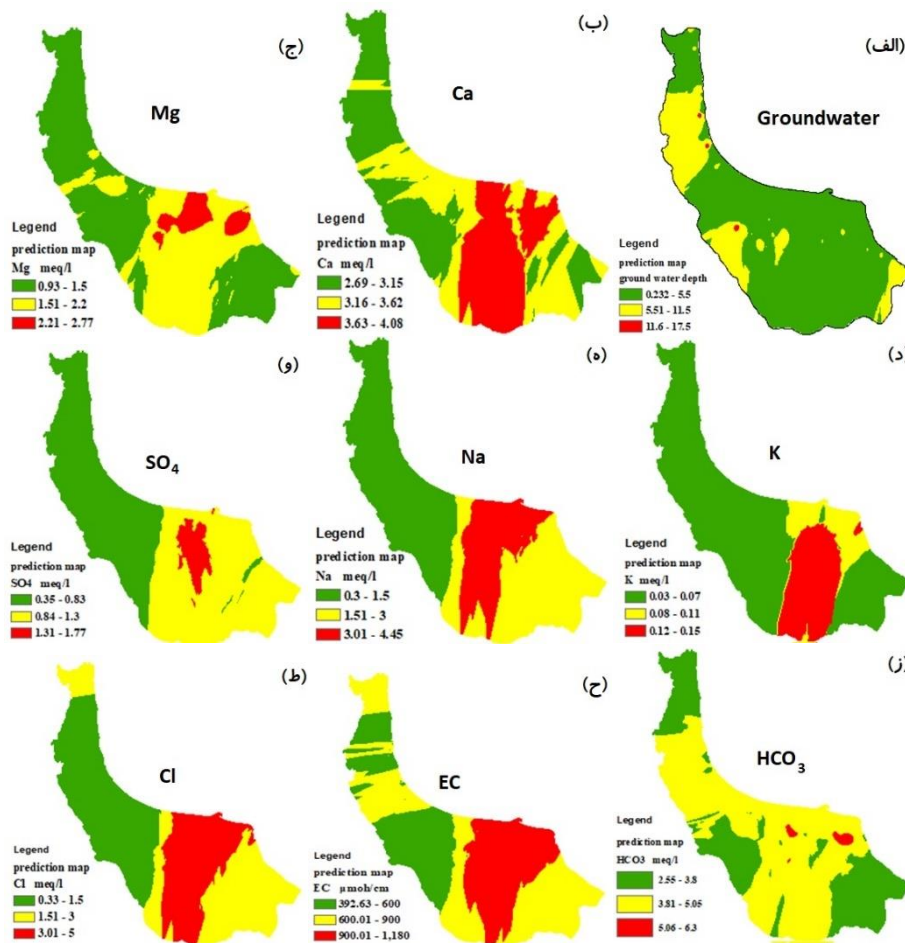
et al. 2009). همبستگی مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی به وسیله ابزارهای زمین‌آمار در نرم‌افزار ArcGIS محاسبه و بهترین مدل سمی‌واریوگرام انتخاب شد. معادله سمی‌واریوگرامها به صورت رابطه (۱) می‌باشد.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i+h) - Z(X_i)]^2 \quad (1)$$

در رابطه (۱)، $\gamma(h)$ مقدار سمی‌واریوگرام تجربی و $N(h)$ تعداد زوج‌ها نمونه‌ها که به فاصله h از یکدیگر قرار دارند. $Z(X_{i+h})$ و $Z(X_i)$ به ترتیب مقادیر مشاهده شده متغیر Z در نقاط X_{i+h} و X_i هستند. در این پژوهش، برای درون‌یابی داده‌ها از نرم‌افزار ArcMap. برای تحلیل تغییرات پارامترهای کیفی علاوه بر پهنه‌بندی از روش مناسب به دست آمده از شاخص‌های خطا، به تحلیل و ارزیابی اثر عمق آب زیرزمینی بر مقدار غلظت پارامترها پرداخته شد. برای این کار نقشه پهنه‌بندی عمق آب زیرزمینی از سطح زمین

نقشه تغییر مکانی عمق آب زیرزمینی و پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی در شکل (۲) با سه بخش طبقه‌بندی شده است و در جدول (۲) مساحت هر محدوده مشخص شده است. نقشه تغییرات عمق آب‌های زیرزمینی نشان داد که حدود ۷۷/۵٪ از مساحت آب زیرزمینی استان گیلان دارای عمق ۰/۲ تا ۵/۵ m، ۲۲/۲۵٪ دارای عمق ۵/۵ تا ۱۱/۵ m و فقط ۰/۲۵٪ مساحت آب زیرزمینی استان گیلان دارای عمق بیش از ۱۱/۵ m می‌باشد. افزایش عمق آب زیرزمینی از شمال به جنوب (شکل ۲-الف) می‌تواند به دلیل افزایش شیب هیدرولیک باشد (Dash et al. 2010). با توجه به شکل (۲-ب) که طبقه‌بندی پارامتر کلسیم را نشان می‌دهد، مقدار کلسیم در منطقه شمال غربی استان گیلان در محدوده کم ۳/۱۵ meq/l - ۲/۶۹) و در حدود ۳۷/۱۹٪ از مساحت استان را تشکیل می‌دهد. مقادیر بالای کلسیم در بخش شرقی و مرکزی در محدوده (۳/۴ - ۱۵ meq/l) ۶۲/۸۱٪ مساحت استان گیلان را تشکیل می‌دهد. نقشه تغییرات پارامتر

باشد. به‌طور کلی با توجه به شکل (۲) در مناطقی که عمق می‌یابد (Dash et al. 2010). سطح ایستابی کمتر می‌باشد غلظت پارامترهای کیفی افزایش



شکل ۲- نقشه‌های طبقه‌بندی پارامترهای عمق آب زیرزمینی از سطح زمین و پارامترهای کیفی

Fig. 2 Classification maps of groundwater depth parameters from ground level and quality parameters

جدول ۲ - مساحت ناحیه‌ها در محدوده عمق‌های متفاوت و محدوده غلظت‌های متفاوت پارامترهای کیفی آب زیرزمینی

Table 2 Area of areas in the range of different depths and range of different concentrations of groundwater quality parameters

Area (%)	Range	Area (%)	Range	Area (%)	Range
	Mg (meq/l)		Ca (meq/l)		Groundwater Depth (m)
54.61	0.93-1.5	37.19	2.69- 3.15	77.52	0.23-5.5
38.93	1.5-2.2	33.98	3.15-3.62	22.25	5.5-11.5
6.45	2.2-2.78	28.83	3.62-4.08	0.22	11.5-17.5
	SO ₄ ²⁻ (meq/l)		Na (meq/l)		K (meq/l)
46.5	0.35-0.83	42.85	0.3-1.5	69.91	0.03-0.07
47.9	0.83-1.3	35.79	1.5-3	10.08	0.07-0.11
5.55	1.3-1.77	21.35	3-4.5	20	0.11-0.15
	EC (μmoh/cm)		HCO ₃ (meq/l)		Cl (meq/l)
27.8	392.6-600	36.18	2.55-3.8	39.45	0.33-1.5
44.3	600-900	62.69	3.8-5	33.74	1.5-3
27.8	900-1180	1.12	5-6	26.8	3-5

۱- مقدار پارامترهای کیفی در بخش مرکزی استان گیلان افزایش می‌یابد و بخش مرکزی بیش‌تر در معرض آلودگی قرار دارد. در بخش مرکزی استان مقادیر کلسیم از ۳/۸۱ تا ۵/۲۹ meq/l، پتاسیم از ۰/۱۱۲ تا ۰/۲۲۷ meq/l سدیم

۴- نتیجه‌گیری

نحوه پراکنش مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی نشان داد که:

ادامه وضعیت موجود و استفاده از آب زیرزمینی در این مناطق به‌خصوص در سال‌های کم‌باران است. با توجه به نقشه‌های تولیدشده می‌توان برای کنترل و جلوگیری از آلودگی آب زیرزمینی در استان گیلان برنامه‌ریزی‌های بهتر و کارآمدتری انجام داد.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های کیفی این پژوهش از سازمان آب و فاضلاب استان گیلان اخذشده است که به دلیل نداشتن مجوز از طرف سازمان، داده‌ها قابل انتشار نیستند.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

۱/۱۳ تا ۴۶/۷ meq/l، منیزیوم از ۱/۶۸ تا ۲۸/۲ meq/l سولفات از ۱/۱۱ تا ۲/۱۹ meq/l، کلر از ۱/۸۱ تا ۴/۹۸ meq/l، بی‌کربنات از ۳/۷۷ تا ۶/۷۱ meq/l و شوری از ۶۹۴/۱۴ تا ۱۲۸۶/۴ $\mu\text{mohs/cm}$ تغییر می‌کند. به دلیل فعالیت‌های کشاورزی و کود دهی، کیفیت آب زیرزمینی کاهش می‌یابد.

۲- با توجه به نقشه تغییرات عمق آب زیرزمینی بیشترین مساحت استان گیلان دارای سطح ایستابی ۰/۲۳ تا ۵/۵ m می‌باشد.

۳- نتایج طبقه‌بندی پارامترهای کیفی نشان داد که در عمق‌های کم، آب زیرزمین، غلظت پارامترهای کیفی افزایش می‌یابد.

از نظر پارامترهای کیفی مشکل جدی در استان وجود ندارد اما روند تغییرات در طول دوره موردپژوهش، هشدار برای

References

- Amiri Bourkhani, M., Khaledain, M., Ashrafzade, A. and Shahnazari, A. (2016). Investigation of temporal and spatial changes of groundwater salinity in Yazd province using indicator kriging geostatistical method. *Echo. Hydrol.* 3, 333-345.
- Arslan, H. (2012). Spatial and temporal mapping of groundwater salinity using ordinary kriging and indicator kriging: the case of Bafra Plain, Turkey. *Agri. Water Manage.*, 113, 57-63.
- Ashrafzadeh, A., Roshandel, F., Khaledian, M., Vazifedoust, M. and Rezaei, M. (2016). Assessment of groundwater salinity risk using kriging methods: A case study in northern Iran. *Agri. Water Manage.*, 178, 215-224. doi: 10.1016/j.agwat.2016.09.028
- Bradai, A., Douaoui, A., Bettahar, N. and Yahiaoui, I. (2016). Improving the prediction accuracy of groundwater salinity mapping using indicator kriging method. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 142(7), 4016023.
- Chica-Olmo, M., Luque-Espinar, J. A., Rodriguez-Galiano, V., Pardo-Igúzquiza, E. and Chica-Rivas, L. (2014). Categorical indicator Kriging for assessing the risk of groundwater nitrate pollution: the case of Vega de Granada aquifer (SE Spain). *Sci. Total Environ.*, 470, 229-239.
- Dash, J. P., Sarangi, A. and Singh, D. K. (2010). Spatial variability of groundwater depth and quality parameters in the national capital territory of Delhi. *Environ. Manage.*, 45(3), 640-650. doi: 10.1007/s00267-010-9436-z
- Delbari, M. and Afrasiab, P. (2014). Application of indicator and ordinary Kriging for modeling of groundwater chloride. *J. Environ. Stud.*, 40(3), 751-764.
- GhahroudiTali, M. (2002). Kriging interpolation evaluation. *Geogra. Res.*, 3(43), 95-108.
- Jahanshahi, A., Moghaddam, E. R. and Dehviri, A. (2014). Investigating groundwater quality parameters using GIS and Geostatistics (Case study: Shahr-Babak Plain Aquifer). *Water Soil Knowled.*, 24(2), 183-197.
- Jang, C. C. S. (2013). Use of multivariate indicator kriging methods for assessing groundwater contamination extents for irrigation. *Environ. Monit. Assess.*, 185(5), 4049-4061. doi: 10.1007/s10661-012-2848-x
- Jang, C. C., Chen, S. K. and Ching-Chieh, L. (2008). Using multiple-variable indicator kriging to assess groundwater quality for irrigation in the aquifers of the Choushui River alluvial fan. *Hydrol. Process. An Int. J.*, 22(22), 4477-4489. doi: 10.1002/hyp
- Ostad-Ali-Askari, K., Shayannejad, M. and Ghorbanizadeh-Kharazi, H. (2017). Artificial

neural network for modeling nitrate pollution of groundwater in marginal area of Zayandeh-rood River, Isfahan, Iran. *KSCE J. Civil Eng.*, 21(1), 134–140. doi: 10.1007/s12205-016-0572-8

Wang, Z. M., Song, K. S., Zhang, B., Liu, D. W., Li, X. Y., Ren, C. Y., Zhang, S. M., Luo, L. and Zhang, C. H. (2009). Spatial variability and affecting factors of soil nutrients in croplands of Northeast China: a case study in Dehui County. *Plant Soil Environ.*, 55(3), 110–120.