

## Technical Note

### Evaluation of Groundwater Quality Parameters Using GIS and Geostatistical Methods (Case Study: Urmia Plain)

M. Sadeghian<sup>1\*</sup>, H. Rezaei<sup>2</sup>, J. Behmanesh<sup>3</sup>  
and N. Khanmohammadi<sup>4</sup>

#### Abstract

In this research, the goal of evaluating the accuracy of interpolation methods is the prediction of spatial distribution of some of the quality indices of groundwater in Urmia plain. At first, the water quality data of 20 wells in the years of 2001-2014 were analyzed. The Kolmogorov-Smirnov test showed that the data were not normal and therefore the conversion of the box-cox was used to normalize them. Then, using the GIS software, the best semivariogram model was fitted to the spatial structure of the data. The results showed that for water quality parameters, circular, spherical, and exponential models are the best models for semivariogram. Then, the spatial variations of parameters were studied using different interpolation methods such as Kriging and Inverse Distance Weight with power of one to three. Then, the zoning maps of qualitative parameters were drawing with the most appropriate method in the ArcGIS software. Plain aquifer was also examined considering Wilcox and Schoeller standards for agricultural and drinking purposes. The results of the Wilcox and Schoeller standard showed that 40% of the wells in the plain have brine water to use for agriculture. Also the wells above are of good quality and acceptable for drinking.

**Keywords:** Geostatistical, Kriging, Schoeller, Wilcox, Zoning.

Received: November 14, 2017

Accepted: April 21, 2018

## یادداشت فنی

### ارزیابی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با استفاده از GIS و زمین‌آمار (مطالعه موردی: دشت ارومیه)

مرضیه صادقیان<sup>۱\*</sup>، حسین رضایی<sup>۲</sup>، جواد بهمنش<sup>۳</sup>  
و ندا خان‌محمدی<sup>۴</sup>

#### چکیده

در این تحقیق، هدف ارزیابی دقت روش‌های درون‌یابی جهت پیش‌بینی پراکنش مکانی تعدادی از شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی دشت ارومیه می‌باشد. در ابتدا داده‌های کیفی ۲۰ حلقه چاه در سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۳ آنالیز شیمیایی گردید. آزمون کلوموگوروف-اسمیرنوف نشان داد که داده‌ها نرمال نبوده و در نتیجه به منظور نرمال‌سازی از تبدیل باکس کاکس استفاده شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار GIS بهترین مدل واریوگرام به ساختار فضایی داده‌ها برازش داده شد. نتایج نشان داد که برای پارامترهای کیفی، مدل‌های دایره‌ای، کروی و نمایی بهترین مدل نیم تغییرنماها می‌باشند. سپس، تغییرپذیری آن‌ها با روش‌های مختلف درون‌یابی همچون کریجینگ و عکس مجذور فاصله با توان‌های یک، دو و سه مورد بررسی قرار گرفت. نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای کیفی با روش کریجینگ ساده در محیط نرم‌افزار ArcGIS ترسیم گردید. همچنین آبخوان دشت از لحاظ مصارف کشاورزی و شرب با استانداردهای ویل کاکس و شولر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج استاندارد ویل کاکس و شولر نشان داد که آب ۴۰ درصد از چاه‌های واقع در این دشت دارای آب شور قابل استفاده برای کشاورزی می‌باشد و همچنین، آب چاه‌های ذکر شده دارای کیفیت خوب و قابل قبول برای شرب است.

**کلمات کلیدی:** پهنه‌بندی، زمین‌آمار، شولر، کریجینگ، ویل کاکس.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۸/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۲/۱

1- M.Sc. Student of Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. Email: marziye.saadeghian@yahoo.com

2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran.

3- Associate Professor, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran.

4- Ph.D. Graduate of Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

\*- Corresponding Author

۱- کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.

۴- دانش‌آموخته دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.

\*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i) - z(x_{i+h})]^2 \quad (1)$$

که در آن  $\gamma(h)$  مقدار نیم تغییرنا برای جفت نقاطی که به فاصله  $h$  از هم قرار دارند،  $n$  تعداد نقاط اندازه‌گیری و  $z(x_i)$  مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در مکان  $x_i$  و  $z(x_{i+h})$  مقدار اندازه‌گیری شده متغیری که به فاصله  $h$  از  $x$  قرار دارد. اگر نقاط در شبکه‌های منظم و با فواصل مساوی قرار داشته باشند، نیم تغییرنا بر اساس میانگین حسابی فواصل محاسبه و برآورد می‌گردد (Asakere, 2008).

یکی از روش‌های معروف درون‌یابی کریجینگ است که بهترین تخمین گر خطی نارایب (BLUE) نام‌گرفته است. این روش یک روش تخمین زمین‌آماری است که با استفاده از مقادیر معلوم و یک نیم تغییر نما، مقادیر مجهول را برآورد می‌کند و بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است (Ghahrevaridi Tally, 2005) و به شکل رابطه ۲ تعریف می‌شود:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

که در آن  $Z^*(x_0)$  مقدار تخمین زده شده متغیر در نقطه‌ی  $x_0$ ،  $Z(x_i)$  مقدار مشاهده شده متغیر در نقطه  $x_i$  و  $\lambda_i$  وزن آماری است که به متغیر در نقطه  $x$  نسبت داده می‌شود. این پارامتر ( $\lambda_i$ ) نشان‌دهنده‌ی مقدار اهمیت و تأثیر نقطه‌ی نام بر مقدار تخمین زده شده متغیر در نقطه  $x_0$  است و  $n$  تعداد نقاطی است که متغیر در آن اندازه‌گیری شده است.

### ۳- نتایج و بحث

به‌منظور بررسی بهترین مدل بر روی واریوگرام تجربی از میزان مجموع مربعات باقیمانده (RSS) کمتر و استحکام ساختار فضائی (پیوستگی مکانی) قوی‌تر استفاده شد. بدین‌صورت که هر چه نسبت  $C/(C_0 + C)$  کوچک‌تر باشد، ساختار فضائی متغیر بهتر ترسیم می‌گردد (Shi et al., 2007; Sheikhgoudaezi et al., 2012). نتایج تجزیه و تحلیل واریوگرام متغیرها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۲ مقادیر RMSE و MAE را برای هر یک از روش‌های معین و زمین‌آماری نشان می‌دهد. مناسب‌ترین روش درون‌یابی برای پارامترهای کیفی روش کریجینگ ساده می‌باشد. شکل ۱ و ۲ به ترتیب، نقشه پهنه‌بندی با روش کریجینگ ساده را برای یون بی‌کربنات نشان می‌دهد.

تغییر در کیفیت آب‌های زیرزمینی که معمولاً بر اثر مدیریت غلط بهره‌برداری از آب زیرزمینی رخ می‌دهد، مقدمه‌ای بر تخریب منابع آب و سایر منابع چه به‌صورت مستقیم و چه به‌صورت غیرمستقیم است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک که وابستگی به این منابع بیشتر است، اثر تخریبی به علت ضعف طبیعی در منابع آب و خاک شدت بیشتری خواهد داشت (Zehtabiyan et al., 2010). مدل‌های زمین‌آماری سابقه زیادی در بررسی و پهنه‌بندی پارامترهای شیمیایی آب زیرزمینی دارند (Rajaei, 2011; Hassany pak, 2010; Arsalan, 2012) از این بین روش کریجینگ قادر به پهنه‌بندی با قابلیت بیشتری در مقایسه با دیگر روش‌های زمین‌آماری می‌باشد. روش‌های مختلف کریجینگ و عکس مجذور فاصله (IDW) با توان‌های مختلف دو مدل از روش‌های مختلف زمین‌آمار هستند که توسط برخی از محققان در بررسی ساختار مکانی و نحوه پراکندگی پارامترهای شیمیایی موجود در آب‌های سطحی و زیرزمینی استفاده شده‌اند (Mir et al., 2017; Shoulifard et al., 2014). بررسی تغییرات مکانی عناصر، یون‌ها و به خصوص شوری آب‌های زیرزمینی کار ساده‌ای نیست. (Shoulifard et al., 2014) در دشت دیر کنگان از روش‌های کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله جهت پهنه‌بندی شوری آب زیرزمینی استفاده کردند و نتایج ارجحیت روش کریجینگ بر روش وزن‌دهی عکس فاصله را نشان داد.

دشت ارومیه در جنوب غرب استان آذربایجان غربی و در حاشیه غربی دریاچه ارومیه که جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک کوهستانی بوده و از پتانسیل مناسبی در بخش کشاورزی برخوردار است، قرار گرفته است. آنچه باعث شد که در این تحقیق به مطالعه کیفیت آب‌های زیرزمینی در این منطقه پرداخته شود، به خاطر اهمیت آب‌های زیرزمینی برای منطقه، همچنین قرارگیری آن در مجاورت دریاچه می‌باشد. در این مطالعه به منظور پراکنش مکانی کیفیت آب زیرزمینی از نتایج تجزیه شیمیایی ۲۰ حلقه چاه در یک بازه زمانی ۱۴ ساله، از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۳ (تهیه شده از چاه‌های پیژومتری توسط سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی) استفاده گردید.

### ۲- مواد و روش‌ها

تخمین‌گرهای زمین‌آماری مقادیر مجهول را با استفاده از مقادیر معلوم و واریوگرام برآورد می‌کنند. واریوگرام، مدلی ریاضی است که به‌منظور تشریح پیوستگی مکانی یک متغیر بکار می‌رود. معادله ۱ نحوه محاسبه یک واریوگرام را نشان می‌دهد (Sheikhgoudarzi et al., 2012):

**Table 1- Specifications of the best fitted models to experimental semivariogram of parameters in the Kriging method**

**جدول ۱- مشخصات بهترین مدل‌های برازش شده به نیم تغییر نماهای تجربی پارامترها در روش کریجینگ**

Parameter	Model	Nugget (m <sup>2</sup> )	R <sup>2</sup>	C <sub>0</sub> /(C <sub>0</sub> + C)	Lag size (m)	Partial sill (m <sup>2</sup> )	Residual sum square (RSS)
SO <sub>4</sub>	Spherical	0.308	0.863	0.439	1855.787	0.701	0.0080
Cl	Circular	0.531	0.854	0.891	1810.812	0.596	0.0425
Ca	Exponential	0	0.844	0	1855.787	0.373	0.0036
EC	Exponential	0.209	0.920	0.254	1855.787	0.823	0.0135
HCO <sub>3</sub>	Exponential	0	0.937	0	4379.781	0.988	0.0025
Mg	Spherical	0.001	0.861	0.001	4379.781	0.938	0.0050
Na	Spherical	0.087	0.869	0.109	1601.764	0.799	0.0472
pH	Circular	0.088	0.980	0.116	2123.883	0.759	0.0034
TDS	Exponential	0.207	0.906	0.348	1855.787	0.776	0.0196

**Table 2- The results of the evaluation of parameters examined in the methods**

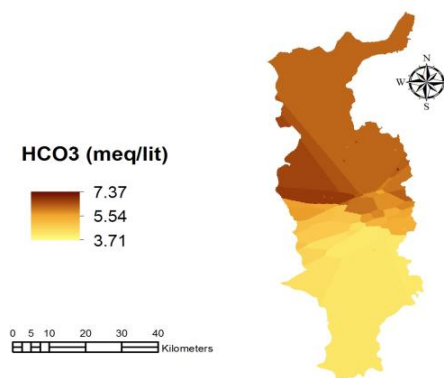
**جدول ۲- نتایج حاصل از ارزیابی متقابل پارامترهای مورد بررسی در روش‌های مورد استفاده**

parameter	model	Evaluation criteria	Inverse Distance Weight (IDW)			Simple kriging	Ordinary kriging
			1	2	3		
SO <sub>4</sub>	Spherical	RMSE	0.929	0.963	0.967	0.830	0.955
		MAE	0.680	0.733	0.738	0.612	0.739
Cl	Circular	RMSE	0.772	0.874	0.931	0.719	0.748
		MAE	0.595	0.610	0.638	0.534	0.584
Ca	Exponential	RMSE	0.529	0.533	0.559	0.527	0.558
		MAE	0.387	0.406	0.420	0.385	0.418
EC	Exponential	RMSE	0.836	0.954	1.013	0.743	0.779
		MAE	0.590	0.661	0.689	0.571	0.580
HCO <sub>3</sub>	Exponential	RMSE	0.656	0.777	0.837	0.538	0.608
		MAE	0.469	0.538	0.576	0.404	0.459
Mg	Spherical	RMSE	0.874	1.027	1.104	0.716	0.816
		MAE	0.606	0.707	0.756	0.483	0.570
Na	Spherical	RMSE	0.864	0.977	1.031	0.755	0.803
		MAE	0.633	0.685	0.716	0.566	0.615
pH	Circular	RMSE	0.382	0.410	0.427	0.376	0.401
		MAE	0.313	0.313	0.336	0.320	0.329
TDS	Exponential	RMSE	0.853	0.969	1.027	0.762	0.808
		MAE	0.597	0.668	0.701	0.573	0.597

### ۳-۱- طبقه‌بندی آب زیرزمینی دشت ارومیه جهت مصارف

#### شرب و کشاورزی

محاسبه مقادیر هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم در نمودار ویل کاکس، حاکی از قرارگیری ایستگاه‌ها در رده‌های کلاسی C2-S1 و C3-S1 می‌باشد. همچنین مشخص شد که ایستگاه‌های نزدیک دریاچه ارومیه دارای آب شور و کیفیت خوب تا ضعیف برای کشاورزی و سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای آب شور و کیفیت پایین می‌باشند. همچنین، جهت مصارف شرب از دیاگرام شولر استفاده شد. جدول ۳ نشان می‌دهد که بر اساس دیاگرام شولر، کیفیت آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه در سطح خوب و قابل قبول برای شرب تشخیص داده شده است.



**Fig. 1- Zoning map of HCO<sub>3</sub> by simple kriging method**

**شکل ۱- نقشه پهنه‌بندی HCO<sub>3</sub> با روش کریجینگ ساده**

**Table 3- The percentage of Schoeller classification for drinking in the entire range**

جدول ۳- درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی شولر برای مصارف شرب در کل محدوده						
So4	Cl	Na	PH	TH	TDS	Water classification
85	95	85	95	15	60	well
10	5	15	5	85	35	acceptable
5	0	0	0	0	5	intermediate
0	0	0	0	0	0	improper

Hassanyapak A (2010) Geostatistics (3rd edition). Tehran University Press, 314 pp (In Persian)

Mir A, Piri J and Kisi O (2017) Spatial monitoring and zoning water quality of Sistan river in the wet and dry years using GIS and geostatistics. Computers and Electronics in Agriculture 135:38-50

Rajaei Q, Mehdinejad M H, Hesari Motlagh S (2011) A survey of chemical quality of rural drinking water of Birjand and Qaen plains, Iran. Journal of Health Systems Research 6:737-745 (In Persian)

Sheikh goodarzi M, Mousavi S H, Khorasani N (2012) Simulating spatial changes in groundwater qualitative factors using geostatistical methods (case study: Tehran- Karaj plain). Journal of natural environment, Iranion Journal of Natural Resources 65(1):83-93 (In Persian)

Shi J, Wang H, Xu J, Wu J, Liu X, Zhu H and Yu C (2007) Spatial distribution of heavy metals in soils: a case study of changing, China. Environmental Geology 52:1-10

Shulifard A, Nahtani M, Mozaffarizadeh J (2014) Study of spatial changes groundwater salinity using geostatistical methods (Case study: Dir Kangan plain). National Second Conference on Wilderness, Semnan (In Persian)

Zehtabian Gh, Jaanfaza A, Mohammad Asgari H and Nematollahi, M C (2010) Modeling of spatial variations of some groundwater chemical properties (Case study: Garmsar watershed). Journal of Range and Desert Research of Iran 17:61-73 (In Persian)

#### ۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از ارزیابی متقابل نشان داد که روش‌های زمین‌آماري دارای برتری نسبی در مقایسه با روش‌های معین در تحلیل مکانی خصوصیات آب‌های زیرزمینی می‌باشند. از طرفی نتایج حاصل از بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت و رسم نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترها نشان‌دهنده دو محدوده در شرق و جنوب شرقی منطقه است که دارای شرایط نامطلوب از نظر آب‌آبراری است و تعداد ۸ حلقه از چاه‌های مطالعاتی را در برمی‌گیرد که دلیل آن را می‌توان نفوذ آب‌شور از سمت دریاچه ارومیه به آبخوان این دشت دانست و همچنین از علل دیگر کاهش کیفیت آب زیرزمینی می‌توان به تجمع روستاها و زمین‌های کشاورزی در این قسمت اشاره کرد که بهره‌برداری بیش از حد مجاز از منابع آب زیرزمینی در این بخش دشت نسبت به سایر نواحی بیشتر است.

#### ۵- مراجع

Arslan H (2012) Spatial and temporal mapping of groundwater salinity using ordinary kriging and indicator kriging: the case of Bafra Plain, Turkey. Agricultural Water Management 113:57-63

Asakereh H (2008) Application of kriging method on interpolation of rainfall. Geography and Development, No 12:25-42 (In Persian)

Ghahrevaridi Tally M (2005) In the three-dimensional geographic information system ArcGIS. Publications Teacher Training University Jahad (In Persian)