

## Technical Note

### Application of Acceptance Probability Method in Assessment of Groundwater Chlorine Quality Monitoring Network (Case Study: Mashhad Aquifer)

S. Maghsudsangatah<sup>1</sup>, A. Khashei Siuki<sup>2\*</sup>,  
M. Pourreza Bilondi<sup>3</sup> and M. Shafiei<sup>4</sup>

#### Abstract

Groundwater is known to be a main resource for agricultural, industrial and drinking water. A change in groundwater quality due to wrong groundwater withdrawal management may cause deterioration in other water resources. In this regard the quality assessment and precise monitoring of the groundwater table is of great importance. A proper network for groundwater quality monitoring wells to determine the minimum number of samples on the other hand saves costs. In this research, a method was used based on kriging concept and probability function of normal distribution to evaluate the performance of Mashhad plain's observatory well network. This approach is based on a percentage of region's area criteria with acceptance probability (Ap) accuracy compliance. At first, spatial structure of the sampling wells' chlorine concentration was extracted using grid semi-variogram and then observation well network was evaluated using algorithm of the acceptance probability method. The results showed that the performance of the existing network or the acceptance accuracy at is 72.1 percent. The results also showed that the accuracy of the observation network using only 35 wells out of 80 wells was the same as the whole network at the probability of 80 percent and the remaining 45 wells had very little impact on the accuracy of the estimation of the spatial variations of chlorine in the aquifer of Mashhad. As a result by performing optimization by the method described for the current network and with displacement or removal of these 45 points, sixteen proposed points increased the acceptance accuracy from %72.1 to %100.

**Keywords:** Acceptance Accuracy, Optimal Network, Quality Monitoring.

Received: March 10, 2017

Accepted: June 27, 2017

## یادداشت فنی

### کاربرد روش احتمال پذیرش در ارزیابی شبکه پایش کیفی کلر آب زیرزمینی (مطالعه موردی آبخوان مشهد)

سمیه مقصود سنگ آتش<sup>۱</sup>، عباس خاشعی سیوکی<sup>۲\*</sup>،  
محسن پوررضا بیلندی<sup>۳</sup> و مجتبی شفییعی<sup>۴</sup>

#### چکیده

آب‌های زیرزمینی به عنوان یک منبع اصلی برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت محسوب می‌شوند. تغییر در کیفیت آب‌های زیرزمینی که معمولاً بر اثر مدیریت غلط استحصال آب زیرزمینی رخ می‌دهد، به طور مستقیم و غیرمستقیم مقدمه‌ای بر تخریب سایر منابع است. بنابراین ایجاد یک شبکه مناسب پایش کیفی برای آب‌های زیرزمینی با تعیین حداقل تعداد چاه‌های نمونه‌برداری موجب صرفه‌جویی در هزینه‌ها نیز می‌شود. در این مطالعه روش مبتنی بر مدل زمین‌آماري کریجینگ و تابع توزیع احتمال نرمال برای ارزیابی عملکرد شبکه چاه‌های مشاهده‌ای در دشت مشهد استفاده شده است. ابتدا با تحلیل تغییرات مکانی غلظت کلر، آب چاه‌های نمونه‌برداری توسط نیم‌تفسیرنما، ساختار مکانی آن استخراج گردید و سپس توسط الگوریتم روش احتمال پذیرش، شبکه چاه‌های مشاهده‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عملکرد شبکه موجود یا به عبارتی دقت پذیرش آن در سطح احتمال ۸۰ درصد برابر ۷۲/۱ درصد به‌دست آمده است. همچنین نتایج نشان داد که از ۸۰ حلقه چاه مورد تحلیل، تنها با استفاده از ۳۵ حلقه چاه دقت شبکه چاه‌های مشاهده‌ای در سطح احتمال هشتاد درصد برابر تمامی چاه‌های موجود می‌باشد و ۴۵ چاه باقیمانده تأثیر بسیار کمی در افزایش دقت برآورد تغییرات مکانی کلر در آبخوان مشهد داشتند. در نتیجه با انجام بهینه‌سازی توسط روش مذکور برای شبکه فعلی و با حذف یا جابه‌جایی این ۴۵ نقطه، تعداد ۱۶ نقطه پیشنهادی موجب افزایش دقت پذیرش، از ۷۲/۱ درصد به ۱۰۰ درصد شده است.

**کلمات کلیدی:** دقت پذیرش، شبکه بهینه، پایش کیفی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱۲/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۴/۶

1- MSC. Student in Water Engineering Department, University of Birjand, Birjand, Iran.

2- Associate Professor of Sciences and Water Engineering Department, University of Birjand, Birjand, Iran. Email: [abbaskhashei@birjand.ac.ir](mailto:abbaskhashei@birjand.ac.ir)

3- Assistant Professor of Sciences and Water Engineering Department, University of Birjand, Birjand, Iran.

4- Member Research Staff of the Hydroinformatic Department, East Water and Environmental Research Institute (EWERI), Mashhad, Iran.

\*- Corresponding Author

۱- کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه بیرجند.

۲- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه بیرجند.

۳- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه بیرجند.

۴- استادیار پژوهش، گروه هیدروانفورماتیک، مرکز پژوهشی آب و محیط زیست شرق.

\*- نویسنده مسئول

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

## ۱- مقدمه

$$p[|\bar{Z}(x_0)| < \sigma_z] = p\left[\frac{|\bar{Z}(x_0)|}{\sigma_k(x_0)} < \frac{\sigma_z}{\sigma_k(x_0)}\right] = P_A(x_0) \quad (1)$$

که در آن  $\bar{Z}^*(x_0)$  خطای تخمین استاندارد می‌باشد و از توزیع نرمال استاندارد پیروی می‌کند یا به عبارتی  $\bar{z}^*(x_0) \sim N(0,1)$  انحراف معیار داده‌های مقیاس شده می‌باشد که معادل سقف واریوگرام در نظر گرفته می‌شود و  $\sigma_k(x_0)$  جذر واریانس تخمین کریجینگ می‌باشد و  $P_A(x_0)$  احتمال پذیرش (Acceptance Probability) در نقطه  $x_0$  نامیده می‌شود که نشان‌دهنده احتمال آن است که خطای تخمین در  $x_0$  کمتر از  $\sigma_z$  است. حداقل احتمال  $\alpha$  بر اساس عواملی مانند: بودجه در دسترس برای تأسیس و نگهداری ایستگاه و دقت برآورد مورد نظر انتخاب می‌شوند. طبق نظر Cheng et al. (2008) در صورتی که محدودیتی وجود نداشته باشد،  $\alpha$  برابر  $0/8$  در نظر گرفته می‌شود.

از آنجایی که در محاسبه  $P_A(x_0)$  (رابطه ۱) نیاز به مراجعه به جدول توزیع نرمال استاندارد می‌باشد، لذا در این تحقیق از فرم تقریب‌زده شده‌ی آن توسط Shafiei et al. (2014) استفاده شده است:

$$P_A(x_0) = 1 - \left[ 1 - \left[ 1 - \exp\left(-\tau^2 \frac{\frac{4}{\pi} + 0.14\tau^2}{1 + 0.14\tau^2}\right) \right]^{1/2} \right], \quad (2)$$
$$\tau = \frac{\sigma_z}{\sqrt{2}\sigma_k(x_0)}$$

بنابراین، ارزیابی کارایی شبکه پایش کیفی آب زیرزمینی را می‌توان بر اساس درصدی از مساحت منطقه با دقت پذیرش (Ap) به این صورت انجام داد: ۱- محاسبه Ap برای شبکه با حذف یک چاه از شبکه موجود در یک سطح دقت مورد نظر  $(\alpha)$ . ۲- برگرداندن چاه حذف شده در مرحله قبل به شبکه، انتخاب چاهی دیگر و محاسبه مجدد Ap. این مرحله تا آنجایی ادامه می‌یابد که همه چاه‌ها مورد استفاده قرار گیرند. بنابراین مجموعه‌ای از مقادیر Ap به ازای حذف هر چاه از شبکه به دست می‌آید. ۳- در این مرحله چاهی که بیشترین مقدار Ap را در مرحله ۲ داشته باشد از محاسبات کنار گذاشته می‌شود. سپس از تعداد چاه‌های باقی‌مانده یکی کم می‌شود و مراحل ۱ و ۲ تکرار می‌شوند. مرحله ۳ تا زمانی اجرا می‌شود که تنها یک چاه باقی بماند. پس از اولویت‌بندی چاه‌ها براساس نوبت حذف شدنشان، نمودار Ap و شماره چاه حذف شده متناظر با آن رسم می‌گردد.

محدودیت‌های منابع آب سطحی و زیرزمینی ایجاب می‌کند که یک مدیریت صحیح و جامع بر منابع آبی اعمال شود. شبکه پایش سطح آب زیرزمینی (شبکه چاه‌های مشاهده‌ای) از جمله مهم‌ترین شبکه‌های پایش آبخوان می‌باشد که حفر، تجهیز و آماربرداری دوره‌ای آن هزینه‌بر بوده و از طرف دیگر می‌بایستی معرف نسبتاً کاملی از آبخوان باشد. روش‌های زمین‌آماری برای پهنه‌بندی و مدل کردن بسیاری از متغیرهای ناحیه‌ای از جمله عمق آب زیرزمینی در تحقیقات Delhomme (1978) و Sophocleous et al. (1982) استفاده شده است. Rezaei et al. (2015) عملکرد مدل حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان (Ls-svm) در طراحی شبکه برداشت چاه‌های مشاهده‌ای آب زیرزمینی را بررسی کردند. با استفاده از تابع تقریب بهینه، ۴۲ عدد چاه مشاهده‌ای به منظور پایش مکانی مناسب در منطقه دشت رامهرمز مشخص شد. از جمله جدیدترین روش‌های بر مبنای زمین‌آمار، روش احتمال پذیرش می‌باشد (Cheng et al., 2008; and Shafiei et al., 2014). مبنای تئوری این روش اولین بار توسط Cheng et al. (2008) ارائه شده است. سپس Shafiei et al. (2014) ضمن اصلاح و بهبود محاسبات روش فوق از آن در محیط GIS برای بهینه‌یابی شبکه باران‌سنجی حوضه گرگان‌رود استفاده کرده‌اند. با بررسی‌های انجام شده مشخص شد که تاکنون از روش احتمال پذیرش برای ارزیابی و تقویت شبکه پایش آب زیرزمینی استفاده نشده است که در این تحقیق به این مورد پرداخته می‌شود.

## ۲- روش تحقیق

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

دشت مشهد واقع در خراسان رضوی است که در آن سالانه حدود ۱۵۰ میلیون مترمکعب کسری مخزن وجود دارد. بررسی آبخوان مشهد نیز نشان می‌دهد که این آبخوان آبرفتی و از نوع آزاد است. در این مطالعه از آمار ۸۰ حلقه چاه که در سال ۹۲-۹۱ نمونه‌برداری شد، تنها به صورت مکانی برای ارزیابی و بهینه‌یابی شبکه پایش کیفی آب زیرزمینی در آبخوان دشت مشهد استفاده گردید.

### ۲-۲- تعریف و محاسبه احتمال پذیرش

یک شبکه‌ی پایش کیفی آب زیرزمینی بایستی منجر به دقت قابل قبول برای اکثر نقاط در منطقه شود. احتمال خطای برآورد  $\bar{z}(x_0)$  در داخل دامنه‌ی مورد نظر  $(-\sigma_z, \sigma_z)$  با استفاده از احتمال تجمعی توزیع نرمال استاندارد تعیین می‌گردد:

### ۳- نتایج و تحلیل نتایج

نتایج تحلیل‌های زمین‌آماری و برازش نیم‌تغییرنما برای ۸۰ حلقه چاه، عدم روند داده‌ها (شکل ۱) و مدل نیم‌تغییرنمای نمایی را بهترین برازش نشان داد. در شکل ۲ نیم‌تغییرنمای بدست آمده از این مرحله ارائه شده است که دامنه تأثیر آن برابر ۷۵ کیلومتر، سقف آن ۰/۴۹ و اثر قطعه‌ای آن صفر بدست آمده است.

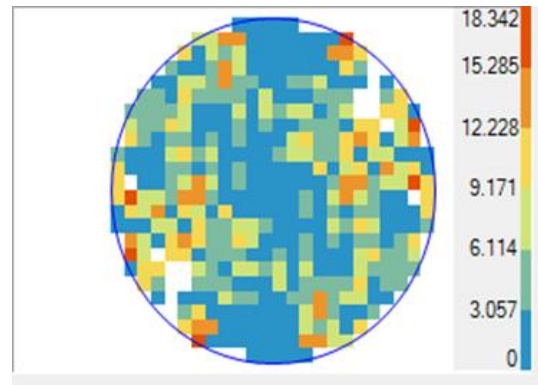


Fig.1- Isolated graph

شکل ۱- نمودار همسانگردی

را تشکیل می‌دهند (شکل ۴). به طوری که  $A_p$  متناظر با ایستگاه‌های پایه، تقریباً برابر  $A_p$  (یعنی ۷۲/۴۲ درصد) تمامی ۸۰ ایستگاه اولیه موجود در منطقه می‌باشد. برای افزایش دقت در شبکه پایه، در نقاطی که  $P_A(x_0) < \alpha$  (منطقه سفید رنگ در شکل ۴) با توجه به الگوریتم احتمال پذیرش، می‌توان به ترتیب نقاطی را که بیشترین  $A_p$  را در ترکیب با شبکه پایه می‌دهند، به دست آورد.

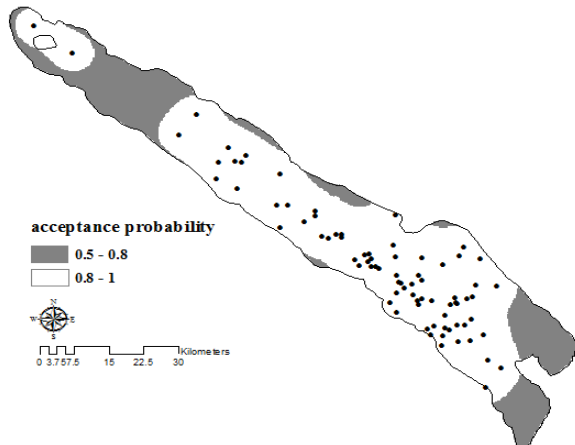


Fig. 3- Spatial distribution of the acceptance probability values and location of existing wells

شکل ۳- توزیع مکانی مقادیر احتمال پذیرش و موقعیت چاه‌های موجود

در این مطالعه با تغییر مکان ۱۶ چاه از ۴۵ چاه اضافی در شبکه به مکان‌های بهینه یافت شده، دقت مورد نظر در شبکه با معیار  $A_p=100\%$  فراهم شد (شکل‌های ۵ و ۶).

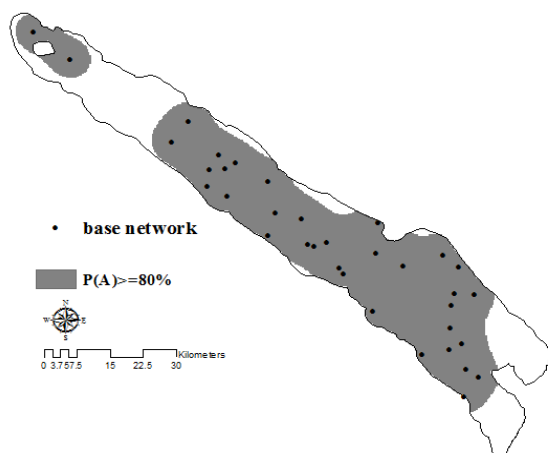


Fig. 4- Spatial distribution of acceptance probability values based on base wells

شکل ۴- توزیع مکانی مقادیر احتمال پذیرش براساس چاه‌های پایه

### Variogram

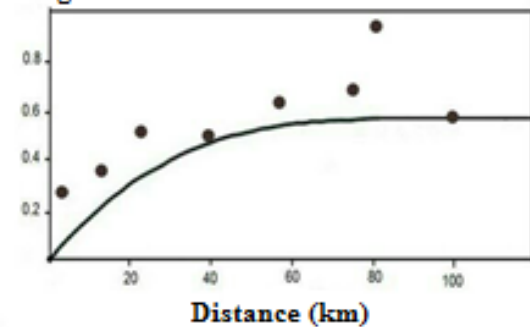


Fig. 2- Fitted exponential variogram on the data

شکل ۲- نیم‌تغییرنمای نمایی برازش داده شده بر روی داده‌ها

### ۳-۱- محاسبه احتمال پذیرش و ارزیابی و تقویت شبکه

جهت ارزیابی شبکه، احتمال پذیرش  $(P_A(x_0))$  در هر نقطه منطقه به فواصل شبکه‌ای ۳۰۰ متر محاسبه گردید (شکل ۳). با توجه به توزیع مکانی  $P_A(x_0)$  برای ضرایب ثابت  $\alpha=0/8$ ، ۷۲/۱ درصد از کل مساحت منطقه از دقت پذیرش برخوردار هستند. اگر بخواهیم کل مساحت منطقه از دقت پذیرش در سطح  $\alpha=0/8$  برخوردار باشد  $(A_p=100\%)$  شبکه موجود نیاز به افزایش چاه و یا حذف چاه‌های کم تأثیر موجود خواهد داشت.

با انجام الگوریتم مذکور، تعداد ۴۵ چاه تأثیر کمی در شبکه دارند و موجب صرف هزینه‌هایی اضافی می‌شوند. ۳۵ چاه باقیمانده، شبکه پایه

#### ۴- خلاصه و جمع‌بندی

در این مطالعه از روشی مبتنی بر مدل زمین‌آماري کريجينگ برای ارزیابی و بهینه‌یابی شبکه پایش کیفی آب زیرزمینی در آبخوان مشهد استفاده شده است که مفهوم آن بر اساس درصدی از مساحت منطقه با دقت پذیرش  $A_p$  می‌باشد. از ۸۰ چاه مورد بررسی، ۳۵ چاه به عنوان چاه‌های پایه و ۴۵ حلقه چاه دیگر، کم‌تأثیر شناسایی شدند. در نتیجه بهینه‌سازی، با حذف این ۴۵ نقطه، تعداد ۱۶ نقطه پیشنهادی به شبکه پایه اضافه شد که باعث شد میزان  $A_p$ ، از ۷۲/۱ درصد به ۱۰۰ درصد برسد.

#### ۵- مراجع

- Rezaei A, Khasheisiuki A, Shahidi A (2015) Groundwater monitoring network design by using the least squares support vector machine (Ls\_svm). Iran Soil and Water Research, 4(45):396-389 (In Persian)
- Shafiei M, Ghahraman B, Saghafian B, Pande S, Gharari S, and Davary K (2014) Assessment of rain-gauge networks using a probabilistic GIS based approach. Hydrology Research, 45(4-5):551-562
- Cheng KS, Wei C, Cheng YB, Yeh HC, and Liou JJ (2008) Rain-gauge network evaluation and augmentation using geostatistics. Hydrological Processes, 22(14):2555-2564
- Delhomme JP (1978) Kriging in hydrosiences. Advances in Water Resources, 1(5):251-266
- Shafiei M, Ghahraman B, Saghafian B, Pande S, Gharari S, Davary K (2014) Assessment of rain-gauge networks using a probabilistic GIS based approach. Hydrology Research, 45(4-5):551-562
- Sophocleous M, Paschetto JE, Olea RA (1982) Groundwater network design for Northwest Kansas using the theory of regionalized variables. Groundwater, 20(1):48-58

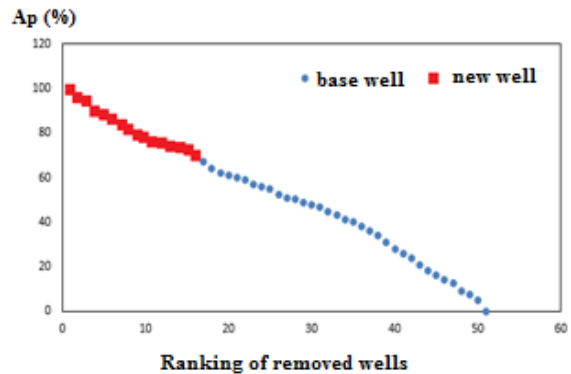


Fig. 5- Prioritizing the removed wells and their corresponding  $A_p$  values at the level of  $\alpha = 0.8$  after the boost of the network

شکل ۵- اولویت‌بندی حذف چاه‌ها و مقدار  $A_p$  متناظر آن‌ها در سطح  $\alpha=0/8$  پس از تقویت شبکه

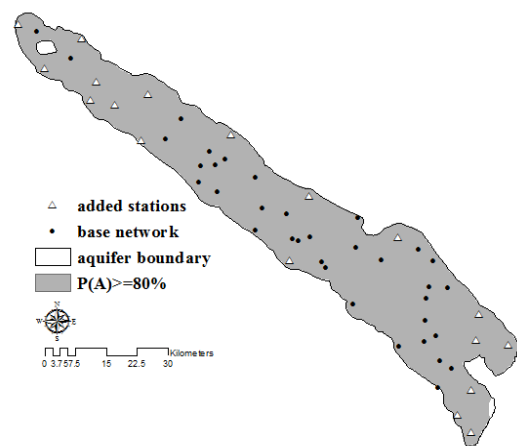


Fig. 6- Spatial distribution of acceptance probability values based on boosted network

شکل ۶- توزیع مکانی مقادیر احتمال پذیرش بر اساس شبکه تقویت شده

با اضافه شدن نقاط جدید به شبکه فعلی مطابق شکل‌های ۵ و ۶، کارایی شبکه جدید نسبت به قبل حدود ۲۸ درصد بیشتر شده است.