

## Methodology for Groundwater Monitoring Network Assessment and Design, Part 2: Iran Evaluation of Monitoring Network by Acceptance Probability Method; Case Study: Shirvan Aquifer, North Khorasan, Iran

Sh. Gholizadeh Sarabi<sup>1</sup>, A. Joodavi<sup>2\*</sup>, M. Majidi Khalilabad<sup>2</sup>, A. Ebrahimi<sup>3</sup>, A. Ronaghi<sup>4</sup>

1- Faculty member, Hydroinformatics Department, East Water and Environmental Research Institute (EWERI), Mashhad, Iran. 2- Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran. 3-4- Manager and Expert of Water Resources Basic Studies, Regional Water Authority of North Khorasan, Bojnord, Iran.

\* (Corresponding Author Email: atajoodavi@kashmar.ac.ir)

Received: 11-03-2022

Revised: 11-05-2022

Accepted: 30-05-2022

Available Online: 21-12-2022

## روش‌شناسی ارزیابی و بازطراحی شبکه پایش سطح آب زیرزمینی، بخش دوم: ارزیابی شبکه پایش توسط روش احتمال پذیرش (مطالعه موردی: آبخوان شیروان، خراسان شمالی)

شیوا قلی‌زاده سرابی<sup>۱</sup>، عطاءاله جودوی<sup>۲\*</sup>، میثم مجیدی خلیل‌آباد<sup>۲</sup>، عباس ابراهیمی<sup>۳</sup>، اعظم رونقی<sup>۴</sup>

۱- عضو هیات علمی گروه هیدروانفورماتیک، مرکز پژوهشی آب و محیط زیست شرق (EWERI)، مشهد، ایران. ۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، کاشمر، ایران. ۳ و ۴- به ترتیب مدیر و کارشناس دفتر مطالعات پایه منابع آب، شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی، بجنورد، ایران.

\* (نویسنده مسئول، E-Mail: atajoodavi@kashmar.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۲/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۹/۳۰

### Abstract

Groundwater monitoring networks provide important data which are necessary to understand the dynamics of hydrogeological systems. Since the cost of the installation and maintenance of groundwater monitoring networks is extremely high, optimal design and the assessment of the effectiveness of the monitoring networks is necessary. This paper presents the application of a newly developed geostatistical method based on the acceptance probability concept, to optimize the existing network of observation wells in the Shirvan alluvial aquifer, located in North Khorasan province. To this aim, by choosing a suitable semi-variogram and using ordinary kriging, the acceptance probability in the aquifer was calculated. Then, based on the spatial pattern of groundwater level, the acceptance probability was calculated for various parts of the aquifer and the acceptance accuracy values were analyzed at different levels of probability. The results showed that based on the existing observation wells network, 19.2% of the aquifer area has a very high acceptance accuracy. On the other hand, by modifying the network of existing observation wells and adding suggested points, 46.7% of the aquifer area will have a very high acceptance accuracy. Therefore, the installation of new observation wells in the proper locations will increase the accuracy acceptance and improve the efficiency of the observation well network.

**Keywords:** Acceptance Probability, Groundwater Monitoring, Acceptance Accuracy, Geostatistics, Kriging.

### چکیده

شبکه‌های پایش آب زیرزمینی داده‌های مهمی را ارائه می‌دهند که برای درک دینامیک سامانه‌های هیدروژئولوژیکی ضروری هستند. از آنجاکه هزینه نصب و نگهداری شبکه‌های پایش آب زیرزمینی بسیار زیاد است، طراحی بهینه و ارزیابی اثربخشی شبکه پایش ضرورت می‌یابد. این مقاله کاربرد یک روش جدید زمین‌آماری را مبتنی بر مفهوم «احتمال پذیرش»، با هدف بهینه‌سازی شبکه چاه‌های مشاهده‌ای موجود در آبخوان آبرفتی شیروان، واقع در استان خراسان شمالی، ارائه می‌نماید. به این منظور با انتخاب واریوگرام مناسب و با استفاده از کریجینگ معمولی، احتمال پذیرش در آبخوان محاسبه شد. سپس بر اساس الگوی مکانی سطح آب زیرزمینی، احتمال پذیرش برای بخش‌های مختلف آبخوان محاسبه و مقادیر «دقت پذیرش» در سطوح احتمالی مختلف تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان داد با شبکه چاه‌های مشاهده‌ای موجود، ۱۹/۲ درصد از سطح آبخوان دقت پذیرش بسیار بالایی دارد. از سوی دیگر، با اصلاح شبکه چاه‌های مشاهده‌ای موجود و اضافه شدن نقاط پیشنهادی، ۴۶/۷ درصد از سطح آبخوان دقت پذیرش بسیار بالایی خواهد داشت. بنابراین، به نظر می‌رسد ایجاد چاه‌های مشاهده‌ای جدید در نقاط پیشنهادی و یا جابه‌جایی چاه‌های کم‌اهمیت به این نقاط، باعث افزایش دقت پذیرش و بهبود کارایی شبکه چاه‌های مشاهده‌ای موجود می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** احتمال پذیرش، پایش آب زیرزمینی، دقت پذیرش، زمین‌آمار، کریجینگ.

زمین آماری تغییرات زمانی و مکانی نوسانات ماهانه سطح آب زیرزمینی را در ۳۹ حلقه چاه مشاهده‌ای واقع در دشت داراب در استان فارس طی ۱۲ سال مورد مطالعه قرار دادند. Chao و همکاران (۲۰۱۱) نیز برپایه روش‌های زمین آماری و با استفاده از ابزارهای هم‌پوشانی شبکه پایش سطح آب زیرزمینی بهینه را در دشت بینچوان چین طراحی کردند. همچنین Chandan و Yashwant (۲۰۱۷) با استفاده از روش‌های زمین آماری در GIS، شبکه چاه‌های مشاهده‌ای موجود در ۱۸ دشت در بخش مرکزی هندوستان را بهینه‌سازی نمودند.

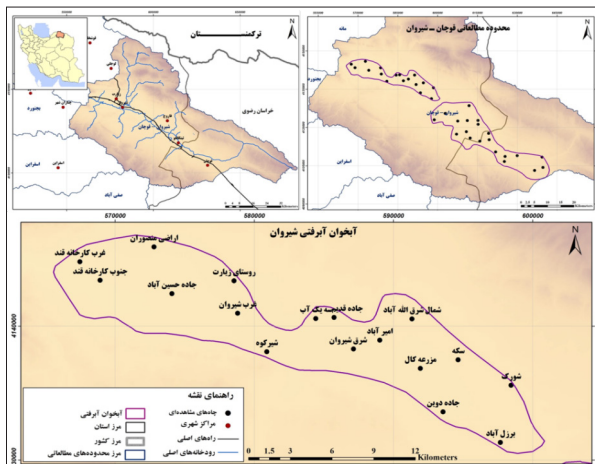
در بین روش‌های زمین آماری محبوبیت و قابلیت روش‌های مبتنی بر تخمین گر کریجینگ بیشتر بوده است و این به سبب قابلیت ناریب بودن آن در تعمیم داده‌های نقطه‌ای و ارائه ساختار تغییرات مکانی می‌باشد؛ به‌عنوان ساده‌ترین آنها، روش‌های کاهش واریانس کریجینگ با حداقل کردن واریانس تخمین کریجینگ در جستجوی مناسب‌ترین تعداد و موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای می‌باشند (Reed و Minsker، ۲۰۰۴؛ Yang و همکاران، ۲۰۰۸). در این خصوص می‌توان به مطالعات انجام شده توسط Theodossiou و Latinopoulos (۲۰۰۶)؛ Gundogdu و Guney (۲۰۰۷)؛ Varouchakis و Hristopoulos (۲۰۱۳)؛ Raeisi و همکاران (۲۰۱۸) و Wei و همکاران (۲۰۲۱) اشاره نمود که تمام آنها با هدف بهینه‌سازی شبکه پایش کمی و کیفی آب زیرزمینی مبتنی بر کریجینگ انجام شده‌اند. از کمبودهای این مطالعات می‌توان به این مورد اشاره نمود که هدف اکثر آنها ارزیابی عملکرد شبکه مبتنی بر کاهش واریانس تخمین سطح آب زیرزمینی در سطح می‌باشد و کاهش واریانس تخمین به‌صورت نقطه‌ای مد نظر قرار نمی‌گیرد.

در این میان، روش احتمال پذیرش یکی از جدیدترین روش‌های مبتنی بر مفاهیم زمین‌آمار و بر مبنای مدل زمین آماری کریجینگ معمولی می‌باشد، مبنای تئوری این روش اولین بار توسط Cheng و همکاران (۲۰۰۸) ارائه شده است. سپس Shafiei و همکاران (۲۰۱۴) ضمن اصلاح و بهبود محاسبات روش فوق، از آن در محیط GIS برای بهینه‌یابی شبکه باران‌سنجی حوضه آبریز گرگان‌رود استفاده کردند. از قابلیت‌های این روش می‌توان به در نظر گرفتن مقدار یک پارامتر کمی نقطه‌ای (به‌جای در نظر گرفتن میانگین) در بررسی دقت تخمین توزیع مکانی، به کمیت درآوردن میزان مشارکت هر چاه مشاهده‌ای در دقت تخمین توزیع مکانی و انعطاف‌پذیری برای بهینه‌سازی در شبکه‌هایی با وسعت زیاد تا کم اشاره کرد (مقصود سنگ آتش، ۱۳۹۵)؛ از این‌رو نسبت به روش‌های قبلی از مزیت‌های بیشتری برخوردار است. مقصود سنگ آتش و همکاران (۱۳۹۷) همین روش را برای ارزیابی شبکه پایش کیفیت آب زیرزمینی (بر اساس یون کلر) در آبخوان آبرفتی مشهد به‌کار گرفته‌اند.

در شرایط کنونی نظر به نگرانی فزاینده در خصوص مدیریت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، پایش سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌های آبرفتی از طریق شبکه چاه‌های مشاهده‌ای به‌عنوان اولین ابزار برای هشدار در خصوص جلوگیری از بهره‌برداری بی‌رویه، بسیار حائز اهمیت می‌باشد. بدون شک، ملاحظات اقتصادی به‌شدت بر تعداد و موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای تأثیرگذار است. از این‌رو برای کاهش هزینه حفر و تجهیز چاه‌های مشاهده‌ای اضافی در شبکه‌های موجود، لازم است مناسب‌ترین مکان‌ها طی فرایند بهینه‌سازی برای داشتن بهترین ترکیب در بین چاه‌های مشاهده‌ای موجود شناسایی شوند (Yang و همکاران، ۲۰۰۸؛ Chandan و Yashwant، ۲۰۱۷). بنابراین انتخاب روشی کارآمد برای اصلاح و بهینه‌سازی شبکه‌های چاه‌های مشاهده‌ای موجود بسیار حائز اهمیت می‌باشد. از طرفی دیگر، عمر بسیاری از چاه‌های مشاهده‌ای در ایران بیشتر از ۱۵ سال است. با گذشت زمان، وضعیت آبخوان‌ها، کاربری اراضی و منابع و مصارف آب دچار دگرگونی می‌شوند. ضمن اینکه ساختمان چاه‌های مشاهده‌ای/پیزومتری که طول عمر طولانی دارند، ممکن است تخریب شده باشد یا منافذ اسکرین این چاه‌ها دچار گرفتگی شده باشد که در این صورت نیاز به احیای چاه وجود دارد. بنابراین در این پژوهش چارچوبی ارائه شد که تلفیقی از رویکرد مطالعات هیدروژئولوژیکی، عملیات میدانی و استفاده از ابزارهای زمین‌آمار برای ارزیابی و بازطراحی شبکه پایش سطح آب زیرزمینی ارائه می‌کند. ارزیابی‌ها در این چارچوب در دو سطح انجام می‌شود. در سطح اول، وضعیت ساختمان چاه‌های مشاهده‌ای و ارتباط آنها با آبخوان بررسی می‌شود که در مقاله‌ای مجزا با عنوان «روش‌شناسی ارزیابی و بازطراحی شبکه پایش سطح آب زیرزمینی، بخش اول: ارزیابی ساختمان چاه‌های مشاهده‌ای» ارائه شده است. سطح دیگر بررسی‌ها شامل ارزیابی عملکرد شبکه به‌عنوان یک «کل» است و بر اساس مدل‌های زمین آماری انجام می‌شود که در این مقاله به‌عنوان بخش دوم روش‌شناسی ارزیابی و بازطراحی شبکه پایش سطح آب زیرزمینی ارائه می‌شود.

در میان رویکردهای موجود در خصوص طراحی/بازطراحی و ارزیابی وضعیت شبکه پایش سطح آب زیرزمینی، رویکرد استفاده از روش‌های زمین آماری در تحقیقات بسیاری مورد توجه قرار گرفته است. از جمله، Prakash و Singh (۲۰۰۰) به‌منظور مکان‌یابی بهینه چاه‌های مشاهده‌ای در شبکه پایش سطح آب زیرزمینی، از ابزارهای زمین آماری مبتنی بر داده‌های ۳۲ حلقه چاه مشاهده‌ای در حوضه آبریز کانگال در هندوستان استفاده کردند. Ahmadi و Sedghamiz (۲۰۰۷) با استفاده از روش‌های

مقدار تراز آب زیرزمینی به ترتیب در چاه‌های مشاهده‌ای شمال شرق الله‌آباد (۱۱۰۴/۶۲ متر) و مزرعه کال (۱۰۰۱/۲۳ متر) ثبت شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی شیروان - قوچان و شبکه پایش سطح آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی شیروان

• بررسی‌های زمین آماری شبکه پایش سطح آب  
روش‌شناسی بررسی‌های زمین آماری شبکه پایش سطح آب زیرزمینی در این مطالعه به اختصار در شکل (۲) نشان داده شده و در ادامه توضیحات تکمیلی مرتبط با هر مرحله ارائه شده است.



شکل ۲- روش‌شناسی بررسی‌های زمین آماری شبکه پایش سطح آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی شیروان

مطالعه حاضر نیز با هدف ارزیابی وضعیت شبکه چاه‌های مشاهده‌ای در سطح آبخوان آبرفتی شیروان مبتنی بر روش زمین آماری احتمال پذیرش انجام شده است. طی این پژوهش با تحقق شرط‌های اولیه تحلیل زمین آماری، برازش بهترین مدل واریوگرام بر داده‌های سطح آب زیرزمینی و تعیین مشخصات آن، تقویت شبکه چاه‌های مشاهده‌ای موجود با کاربرد الگوریتم احتمال پذیرش و ارزیابی کارایی شبکه، می‌توان گامی مؤثر در جهت تأمین داده‌های مناسب از تغییرات ذخیره آب زیرزمینی و به دنبال آن تدقیق محاسبات بیلان برداشت. نتایج این مطالعه در قالب بخش‌های تحلیل واریوگرام متوسط ارتفاع سطح آب زیرزمینی، محاسبه احتمال پذیرش و محاسبه کارایی شبکه موجود چاه‌های مشاهده‌ای، و ارزیابی شبکه پایش سطح آب زیرزمینی ارائه شده است.

## مواد و روش‌ها

### • معرفی محدوده مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی قوچان-شیروان با مساحت ۵۵۳۹ کیلومتر مربع، در حوضه آبریز درجه دو اترک و جنوب شرق استان خراسان شمالی واقع شده است (شکل ۱). به لحاظ اقلیم، بر اساس روش دومارتن آب‌وهوای حاکم بر این محدوده نیمه‌خشک بوده و زمستان‌های سرد و طولانی و تابستان‌های معتدل دارد (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۵). این محدوده مطالعاتی دو آبخوان آبرفتی به نام‌های «شیروان» و «قوچان- فاروج» دارد.

مساحت آبخوان آبرفتی شیروان که محدوده مورد مطالعه در این مطالعه می‌باشد برابر ۱۸۶/۴ کیلومتر مربع است. در این آبخوان آبرفتی که یک‌لایه و از نوع آزاد می‌باشد، تعداد ۲۹۷ حلقه چاه و ۶ رشته قنات با حجم برداشت به ترتیب ۴۱/۸۵ و ۱ میلیون متر مکعب در سال در دست بهره‌برداری می‌باشند (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۵). همچنین در این آبخوان، ۱۷ حلقه چاه مشاهده‌ای فعال است که موقعیت آنها در شکل (۱) نشان داده شده است. بر اساس داده‌های ثبت شده در این چاه‌های مشاهده‌ای، سطح آب زیرزمینی به‌طور میانگین در حدود ۹ متر در ۲۰ سال گذشته پایین آمده است. همچنین، به‌طور کلی عمق سطح آب زیرزمینی از سمت نواحی میانی آبخوان به سمت نواحی شمال‌غربی و جنوب‌شرقی افزایش می‌یابد. بیشترین عمق آب زیرزمینی در حوالی چاه مشاهده‌ای مزرعه کال (۱۰۱/۴۵ متر) و کمترین عمق در حوالی چاه مشاهده‌ای جنوب کارخانه قند (۶ متر) مشاهده شده است (ثبت شده در اسفندماه ۱۳۹۹). تراز سطح آب زیرزمینی نشان می‌دهد، جهت کلی جریان از نواحی شمالی در حاشیه ارتفاعات به سمت مناطق مرکزی می‌باشد. بیشترین و کمترین

## ۱- بررسی تغییرات مکانی یک متغیر تصادفی و تحلیل واریوگرام و روش کریجینگ

زمین آمار مبتنی بر «تئوری متغیرهای ناحیه‌ای» است. هر متغیری که در فضای سه‌بعدی توزیع شده باشد و دارای وابستگی مکانی باشد، متغیر ناحیه‌ای نامیده می‌شود. مقدار متغیر ناحیه‌ای  $Z(x)$  در هر نقطه را می‌توان به دو مؤلفه قطعی  $m(x)$  و تصادفی  $L(x)$  تجزیه کرد، بنابراین:

$$Z(x) = m(x) + L(x) \quad (1)$$

تخمین زمین‌آمار شامل دو مرحله شناخت و مدل‌سازی ساختار فضایی متغیر به وسیله آنالیز نیم‌تغییرها (Semivariogram) و تخمین متغیر مورد نظر می‌باشد. ساختار تغییرات مکانی متغیر تصادفی  $Z(x)$  با میانگین ایستا را می‌توان توسط واریوگرام آن به این صورت تعریف کرد (حسنی پاک، ۱۳۹۲؛ Sarma، ۲۰۰۹):

$$\gamma(x_i - x_j) = \frac{1}{2} \text{Var}[Z(x_i) - Z(x_j)] = \frac{1}{2} E[Z(x_i) - Z(x_j)]^2 \quad (2)$$

در این رابطه  $E(Z)$  و  $\text{Var}(Z)$  به ترتیب بیانگر مقدار مورد انتظار و واریانس متغیر تصادفی  $Z$  هستند. در این مطالعه برای درون‌یابی و کاربرد مفهوم واریانس تخمین از روش کریجینگ معمولی به‌خاطر سادگی محاسبات و در دسترس بودن داده‌های مرتبط با آن استفاده شده است. کریجینگ یک روش تخمین مبتنی بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار است و می‌توان گفت بهترین تخمین‌گر خطی ناریب است. اگر  $Z(x)$  متغیر تصادفی در موقعیت  $x$  تعریف شود و  $\{Z(x), x \in \Omega\}$  در شرایط ایستایی مرتبه دوم در محدوده مکانی  $\Omega$  باشد، می‌توانیم مقدار مجهول  $Z$  را در  $x_0$  توسط معادله خطی ذیل به دست آورد، که  $\lambda_i$  وزن‌های در نظر گرفته شده برای تخمین‌هاست:

$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (3)$$

واریانس خطای تخمین به‌عنوان واریانس کریجینگ معمولی به صورت رابطه ذیل تعریف شده است:

$$\sigma_k^2(x_0) = \mu + \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma_{i0} \quad (4)$$

که  $\mu$  ضریب لاگرانژ و  $\gamma_{i0}$  مقدار واریوگرام بین نقطه معلوم  $Z(x_i)$  و نقطه مجهول  $Z(x_0)$  است (Oliver و Webster، ۲۰۰۱). در این مطالعه برای برآورد واریوگرام و کاربرد روش کریجینگ از نرم‌افزار ArcGIS 10.2.2 استفاده شد.

## ۲- تعریف و محاسبه احتمال پذیرش

دقت تخمین ارتفاع سطح آب زیرزمینی در هر نقطه از آبخوان متفاوت است و به تعداد و موقعیت قرارگیری چاه‌های مشاهده‌ای بستگی دارد. از نظر کاربردی، یک شبکه چاه‌های مشاهده‌ای خوب باید منجر به دقت قابل قبول برای اکثر نقاط شود. برآورد در نقطه  $x_0$  قابل قبول خواهد بود اگر مقدار برآورد شده در دامنه‌ای از مقدار واقعی قرار گیرد، به عبارتی:

$$|\bar{z}(x_0) - z(x_0)| < r \quad (5)$$

که در آن  $r > 0$  است. هر چند در نقطه مشخص  $x_0$  دقت برآورد واقعه به واقعه تغییر می‌کند؛ از این رو ارزیابی باید بر مبنای یک مفهوم دربرگیرنده تمامی وقایع صورت پذیرد. همچنین تعیین دامنه ( $r$ ) باید با در نظر گرفتن واریانس تغییرات سطح آب زیرزمینی  $Z(x)$  صورت پذیرد. بنابراین معیار تجدید نظر شده و دقیق‌تر با رابطه ذیل را می‌توان بیان کرد:

$$P[|\hat{z}(x_0) - z(x_0)| < k\sigma_z] \geq \alpha \quad (6)$$

در این معادله دامنه قابل قبول برای خطای برآورد برحسب انحراف معیار متغیر تصادفی  $Z(x)$  است، ضریب  $k$  و حداقل احتمال  $\alpha$  بر اساس عواملی مانند بوجه در دسترس برای تأسیس و نگهداری چاه مشاهده‌ای و دقت برآورد مورد نظر انتخاب می‌شوند. در صورتی که محدودیتی وجود نداشته باشد،  $k=1$  و  $\alpha$  برابر  $0.8$  در نظر گرفته می‌شود (Cheng و همکاران، ۲۰۰۸). در روش کریجینگ معمولی واریانس خطای تخمین از معادله (۴) به دست می‌آید. چون تخمین‌گر کریجینگ معمولی نااریب است، میانگین خطای برآورد در  $x_0$  صفر و واریانس آن  $\sigma_k^2(x_0)$  است. اگر فرض شود، توزیع خطای برآورد نرمال باشد، احتمال اینکه خطای برآورد  $\hat{z}(x_0)$  در دامنه مورد نظر  $(-\sigma_z, \sigma_z)$  قرار گیرد را می‌توان به سادگی با استفاده از احتمال تجمعی توزیع نرمال استاندارد تعیین کرد:

$$P[|\bar{z}(x_0) - z(x_0)| < \sigma_z] = P\left[\frac{|\bar{z}(x_0) - z(x_0)|}{\sigma_k(x_0)} < \frac{\sigma_z}{\sigma_k(x_0)}\right] \quad (7)$$

که در آن  $\bar{z}^*(x_0)$  خطای تخمین استاندارد می‌باشد و از توزیع نرمال استاندارد پیروی می‌کند،  $\sigma_z$  انحراف معیار داده‌های ارتفاع سطح آب زیرزمینی مقیاس شده می‌باشد و معادل سقف واریوگرام بدون بعد در نظر گرفته می‌شود،  $\sigma_k(x_0)$  جذر واریانس تخمین کریجینگ می‌باشد و  $P_A(x_0)$  احتمال پذیرش در نقطه  $x_0$  نامیده می‌شود که نشان دهنده احتمال آن است خطای تخمین در  $x_0$  کمتر از  $\sigma_z$  است. بنابراین می‌توان گفت دقت برآورد در یک نقطه در نبود آمار، وقتی قابل قبول است که احتمال پذیرش مربوط به آن بزرگتر یا مساوی  $\alpha$  باشد. به بیان دیگر نقاطی که واریانس‌های کریجینگ بزرگتر دارند احتمال‌های پذیرش در آنها کمتر است (Cheng و همکاران، ۲۰۰۸). از آنجایی که در محاسبه  $P_A(x_0)$  نیاز به مراجعه به جدول توزیع نرمال استاندارد می‌باشد، لذا ساده‌سازی‌هایی انجام شده است که در نهایت منجر به رابطه‌ای ساده و با دقت مناسب برای محاسبه  $P_A(x_0)$  شده است (Shafiei و همکاران، ۲۰۱۴):

$$P_A(x_0) = 1 - \left[ 1 - \left[ 1 - \exp\left(-\tau^2 \frac{4 + 0.14\tau^2}{1 + 0.14\tau^2}\right) \right]^{1/2} \right], \quad \tau = \frac{\sigma_z}{\sqrt{2}\sigma_k(x_0)} \quad (8)$$

۳- ارزیابی کارایی و تقویت شبکه موجود چاه‌های مشاهده‌ای  
 ارزیابی کارایی یک شبکه چاه‌های مشاهده‌ای را می‌توان بر اساس درصدی از مساحت منطقه با دقت پذیرش ( $A_p$ ) انجام داد. بنابراین احتمال پذیرش را می‌توان در هر نقطه درون منطقه مورد مطالعه محاسبه کرد. یک شبکه موجود چاه‌های مشاهده‌ای را می‌توان برحسب درصد مساحتی با دقت پذیرش از طریق جابه‌جایی چاه‌ها یا اضافه کردن چاه‌های جدید تقویت کرد. از الگوریتم ارائه شده توسط Cheng و همکاران (۲۰۰۸) می‌توان جهت ارزیابی کارایی مجموعه‌ای از چاه‌های مشاهده‌ای به شرح ذیل استفاده کرد:

۱. محاسبه  $A_p$  برای شبکه با حذف یک چاه مشاهده‌ای از شبکه موجود در یک سطح دقت مورد نظر ( $\alpha$ ).  
 ۲. برگرداندن چاه مشاهده‌ای حذف شده در مرحله قبل به شبکه، انتخاب چاه مشاهده‌ای دیگر و محاسبه مجدد  $A_p$ . این مرحله تا آنجایی ادامه می‌یابد که همه چاه‌های مشاهده‌ای مورد استفاده قرار گیرند. بنابراین مجموعه‌ای از مقادیر  $A_p$  به ازای حذف هر چاه مشاهده‌ای از شبکه به دست می‌آید.

۳. در این مرحله چاه مشاهده‌ای که بیشترین مقدار  $A_p$  را در مرحله ۲ داشته از محاسبات کنار گذاشته می‌شود. سپس از تعداد چاه‌های مشاهده‌ای باقی‌مانده یکی کم می‌شود و مراحل ۱ و ۲ تکرار می‌شوند. مرحله ۳ تا زمانی اجرا می‌شود که تنها دو چاه مشاهده‌ای باقی بماند.

بعد از اتمام این الگوریتم، تمامی چاه مشاهده‌ای بر اساس نوبت (رتبه) حذف شدنشان در گام سوم اولویت‌بندی می‌شوند. علاوه بر این، در هر بار که در گام سوم یک چاه حذف می‌شود، نقشه مقادیر احتمال پذیرش و مقادیر  $A_p$  متناظر با آن با استفاده از چاه‌های باقی‌مانده به دست می‌آید. با استفاده از مقادیر  $A_p$  مربوط به حذف تک تک چاه‌ها، یا معادل آن مجموعه‌ای از چاه‌های باقیمانده، نمودارهایی برای نشان دادن اهمیت چاه‌های مشاهده‌ای برای کل شبکه پایش استخراج می‌شود.

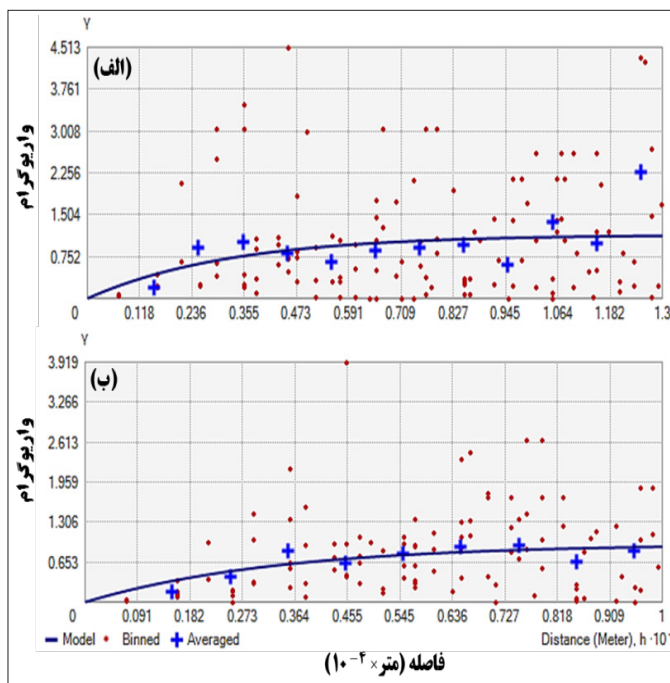
## یافته‌ها و بحث

در این مطالعه به منظور انجام تحلیل‌های زمین‌آماري دو دسته از داده‌ها مد نظر قرار گرفته است. یک دسته از داده‌ها مرتبط با متوسط ۱۰ ساله ارتفاع سطح آب زیرزمینی در شبکه چاه‌های مشاهده‌ای موجود می‌باشد. لازم به ذکر است باتوجه به اینکه مطالعات هیدروژئولوژیکی نشان داد چاه مشاهده‌ای «جنوب کارخانه قند» نماینده آبخوان نیست، برای انجام تحلیل‌های زمین‌آماري از ارتفاع سطح آب چاه‌های بهره‌برداری اطراف آن استفاده شده است تا ارتفاع صحیح سطح آب در آبخوان

در محاسبات در نظر گرفته شود. پس از تحلیل شبکه فعلی، باتوجه به اینه در برخی از نقاط آبخوان پراکنش چاه‌های مشاهده‌ای مناسب نیست، پنج نقطه کمکی (پیشنهادی برای حفر چاه مشاهده‌ای جدید) نیز در نقاط فاقد چاه مشاهده‌ای مد نظر قرار گرفت و تحلیل‌های زمین‌آماري با اضافه شدن این نقاط تکرار شد.

## • تحلیل واریوگرام متوسط ارتفاع سطح آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه

در این مطالعه برازش واریوگرام بر اساس دو دسته داده انجام شد. بررسی همسان‌گردی توسط واریوگرام رویه نشان داد واریوگرام همه جهته است و در جهت خاصی همسان‌گرد نیست. به منظور تحلیل ساختار مکانی ارتفاع سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای، ابتدا واریوگرام تجربی آن ساخته شد و سپس بهترین برازش واریوگرام نظری روی آن انجام شد (شکل ۳).



شکل ۳- بهترین واریوگرام برازش شده بر الف) داده‌های چاه‌های مشاهده‌ای موجود، ب) داده‌های چاه‌های مشاهده‌ای موجود و نقاط کمکی

برای برازش واریوگرام تجربی از انواع متداول واریوگرام مانند خطی، توانی، نمایی و گوسی استفاده شد و در نهایت مدل واریوگرام نمایی بهترین برازش را نشان داد. برازش واریوگرام بر اساس ترکیب‌های مختلفی از تعداد جفت نقاط و زمان تأخیر انجام شد که واریوگرام مناسب مبتنی بر ناگت صفر و کمترین مقدار نسبت ناگت به سقف و ریشه میانگین مربعات خطا، انتخاب شد (جدول ۱).

جدول ۱- مشخصات واریوگرام‌های برازش شده بر اساس الف) چاه‌های مشاهده‌ای موجود، ب) چاه‌های مشاهده‌ای موجود به همراه نقاط کمکی (چاه‌های پیشنهادی جدید)

الف) چاه‌های مشاهده‌ای موجود							
ردیف	زمان تأخیر (متر)	تعداد جفت نقاط	ناگت	سقف	دامنه (متر)	نسبت ناگت به سقف	ریشه میانگین خطا
۱	۲۲۱۹	۱۲	۰/ ۲۳۴	۱/۲	۱۲۴۶۴	۰/ ۲	۰/۸۸
۲	۲۲۱۹	۱۳	۰	۱/۱	۸۵۳۷	۰	۰/۸۸
۳	۲۰۰۰	۱۲	۰/ ۲۰۳	۱/۱	۱۱۷۳۲	۰/ ۱۸	۰/۸۸
۴	۲۰۰۰	۱۴	۰	۱/۱	۸۸۰۶	۰	۰/۸۵
۵	۲۰۰۰	۱۱	۰	۱/۱	۸۶۹۵	۰	۰/۸۵
۶	۱۵۰۰	۱۲	۰	۱/۱	۸۵۷۶	۰	۰/۸۸
۷	۱۵۰۰	۹	۰	۱/۱	۸۹۵۵	۰	۰/۸۵
۸	۱۵۰۰	۱۵	۰	۱/۱	۸۷۰۳	۰	۰/۸۵
۹	۲۵۰۰	۱۲	۰	۱/۱	۸۵۴۲	۰	۰/۸۸
۱۰	۲۵۰۰	۱۳	۰	۱/۱	۸۳۷۳	۰	۰/۸۸
۱۱	۲۵۰۰	۹	۰	۱/۱	۸۷۰۳	۰	۰/۸۵
۱۲	۳۰۰۰	۱۰	۰	۱/۱	۸۵۴۲	۰	۰/۸۸
۱۳	۳۰۰۰	۱۲	۰	۱/۱	۸۴۲۱	۰	۰/۸۸
*۱۴	۱۰۰۰	۱۳	۰	۱/۱	۹۶۵۸	۰	۰/۸۵
ب) چاه‌های مشاهده‌ای موجود به همراه نقاط کمکی (چاه‌های پیشنهادی جدید)							
۱	۱۷۱۵	۱۲	۰	۱/۵	۲۰۵۸۸	۰	۰/۷۷
۲	۱۷۱۵	۱۳	۰	۱/۳	۱۷۷۴۶	۰	۰/۷۷
۳	۱۷۱۵	۱۱	۰	۱/۴	۱۸۸۷۲	۰	۰/۷۷
۴	۱۵۰۰	۱۲	۰	۱/۳	۱۸۰۰۰	۰	۰/۷۷
۵	۱۵۰۰	۱۵	۰	۱/۳	۱۷۶۸۵	۰	۰/۷۷
۶	۲۰۰۰	۱۰	۰	۱/۲	۱۵۰۰۰	۰	۰/۷۶
۷	۲۰۰۰	۱۲	۰	۱/۳	۱۷۰۵۲	۰	۰/۷۷
۸	۲۰۰۰	۲۰	۰	۱/۲	۱۵۵۹۲	۰	۰/۷۷
۹	۱۰۰۰	۱۲	۰	۱/۱	۱۲۰۰۰	۰	۰/۷۶
۱۰	۱۰۰۰	۲۰	۰	۱/۴	۲۰۰۰۰	۰	۰/۷۷
*۱۱	۱۰۰۰	۱۰	۰	۰/۹۵	۱۰۰۰۰	۰	۰/۷۳

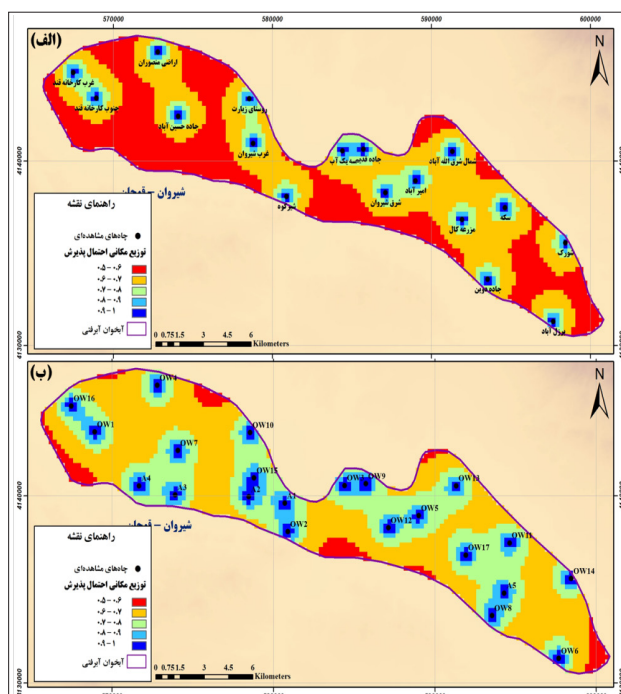
\* بهترین واریوگرام برازش شده (منتخب)

رابطه محاسبه احتمال پذیرش و الگوریتم ارائه شده جهت ارزیابی شبکه چاه‌های مشاهده‌ای، یک برنامه جانبی در نرم‌افزار ArcGIS و در محیط ModelBuilder تهیه شد که به صورت یک ابزار مستقل در ArcGIS قابل استفاده است (Manegold, ۲۰۰۳). با در نظر گرفتن یک شبکه سلولی ۵۰۰ متر در ۵۰۰ متر و با استفاده از روابط و ابزار توسعه داده شده، احتمال پذیرش در شبکه موجود چاه‌های مشاهده‌ای و همچنین شبکه چاه‌های مشاهده‌ای و نقاط کمکی محاسبه شد و نتیجه مقادیر هم مقدار آن در شکل (۴) نشان داده شده است. نتایج نشان داد

#### • محاسبه احتمال پذیرش و محاسبه کارایی شبکه موجود چاه‌های مشاهده‌ای آبخوان آبرفتی شیروان

در این بخش بر اساس ساختار مکانی تغییرات سطح آب زیرزمینی در منطقه و روابط ارائه شده در محاسبه احتمال پذیرش، احتمال پذیرش ( $P_A$ ) در نقاط مختلف آبخوان محاسبه و سپس دقت پذیرش ( $A_p$ ) در سطوح احتمال مختلف تحلیل و بررسی شد. در این مطالعه از متوسط ۱۰ ساله سطح آب زیرزمینی برای ترسیم نقشه‌های هم مقدار احتمال پذیرش و ارزیابی شبکه چاه‌های مشاهده‌ای (به عبارتی محاسبه دقت پذیرش) منطقه استفاده شده است. بر اساس

نتایج حاصل از اولین تکرار از الگوریتم نشان می‌دهد، چاه مشاهده‌ای برزل‌آباد کمترین نقش و چاه مشاهده‌ای شرق شیروان بیشترین نقش را در تأمین دقت شبکه پایش موجود دارد. به این ترتیب، هر چاهی که بیشترین احتمال پذیرش (کمترین رتبه حذف) را دارد، در شبکه پایش دارای اهمیت کمتری است؛ در واقع با حذف آن چاه، احتمال پذیرش شبکه عدد بزرگتری خواهد بود که نشان دهنده اهمیت کمتر آن چاه مشاهده‌ای می‌باشد.



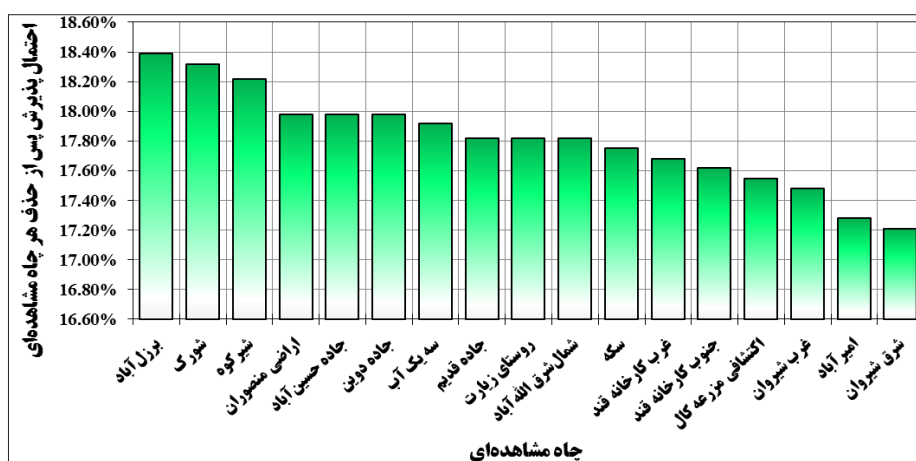
شکل ۴- توزیع مکانی مقادیر احتمال پذیرش در الف) شبکه چاه‌های مشاهده‌ای موجود، ب) شبکه چاه‌های مشاهده‌ای موجود و نقاط پیشنهادی (کمکی) در آبخوان آبرفتی شیروان

بازه تغییرات احتمال پذیرش بین ۰/۵ تا ۱ است. در محل هر چاه مشاهده‌ای مقدار احتمال پذیرش برابر یک می‌باشد؛ زیرا تخمین‌گر کریجینگ معمولی دقیق است و خطای تخمین در محل‌هایی که داده اندازه‌گیری شده دارند صفر می‌باشد و همان‌طور که در شکل‌ها مشاهده می‌شود، در نزدیکی مرزهای آبخوان و مناطقی که چاه مشاهده‌ای وجود ندارد احتمال پذیرش کمتر از سایر نقاط است. با توجه به توزیع مکانی مشاهده‌ای موجود، برای ضریب ثابت  $\alpha = 0.7$  حدود  $19.2\%$  درصد از سطح آبخوان آبرفتی شیروان از دقت پذیرش بسیار بالا برخوردار می‌باشد. از طرفی با اضافه شدن نقاط کمکی به شبکه چاه‌های مشاهده‌ای موجود، برای ضریب ثابت  $\alpha = 0.7$ ، حدود  $46.7\%$  درصد از سطح آبخوان آبرفتی شیروان دقت پذیرش بسیار بالایی دارد. به این ترتیب مشاهده می‌شود در صورتی که هدف تقویت شبکه چاه‌های مشاهده‌ای براساس معیار  $70\%$  درصد باشد، به تعداد چاه‌های مشاهده‌ای بیشتری نیاز است و افزایش تعداد چاه‌ها، دقت پذیرش را افزایش خواهد داد.

#### • ارزیابی و بهینه‌یابی شبکه پایش سطح آب در آبخوان آبرفتی شیروان

#### ۱- ارزیابی شبکه چاه‌های مشاهده‌ای موجود در سطح احتمال پذیرش ۷۰ درصد

در این بخش، نتایج انجام الگوریتم در اولین تکرار بر اساس داده‌های شبکه چاه‌های مشاهده‌ای موجود انجام شده است. هدف از انجام این مرحله یک ارزیابی کلی و ابتدایی از نقش هر چاه مشاهده‌ای در تأمین دقت شبکه پایش موجود می‌باشد. نتایج اولین تکرار از این الگوریتم در شکل (۵) ارائه شده است.



شکل ۵- اولویت‌بندی اهمیت هر چاه مشاهده‌ای در تأمین دقت شبکه پایش موجود

## ۲- ارزیابی شبکه چاه‌های مشاهده‌ای موجود و نقاط کمی در سطح احتمال پذیرش ۷۰ درصد

در این بخش، نتایج انجام الگوریتم در اولین تکرار بر اساس داده‌های شبکه چاه‌های مشاهده‌ای موجود و نقاط کمی انجام شده است. با انجام الگوریتم و بعد از اتمام آن، تمامی چاه‌های مشاهده‌ای بر اساس نوبت (رتبه) حذف شدنشان اولویت‌بندی شدند و با استفاده از مقادیر  $A_p$  مربوط به حذف تک چاه مشاهده‌ای یا معادل آن مجموعه‌ای از چاه‌های مشاهده‌ای باقیمانده، نموداری براساس  $A_p$  و شماره چاه مشاهده‌ای حذف شده متناظر با آن برای نشان دادن ترتیب اولویت چاه‌های مشاهده‌ای (جدول ۳) و کارایی مجموعه چاه‌های مشاهده‌ای در شکل (۶) ترسیم شده است. نتایج تکرارهای مختلف و کامل الگوریتم نشان می‌دهد که چاه مشاهده‌ای برزل آباد کمترین نقش و چاه مشاهده‌ای شمال شرق الله‌آباد بیشترین نقش را در تأمین دقت شبکه پایش موجود دارد. به این ترتیب، هر چاهی که بیشترین احتمال پذیرش را دارد، در شبکه پایش اهمیت کمتری دارد؛ در واقع با حذف آن چاه، احتمال پذیرش شبکه عدد بزرگتری خواهد بود که نشان دهنده اهمیت کمتر آن چاه مشاهده‌ای می‌باشد. بدون شک، کم‌اهمیت بودن نقش این چاه‌ها به معنای الزام حذف این چاه‌ها از شبکه پایش نمی‌باشد، بلکه جابه‌جایی آنها و همچنین پیشنهاد تأسیس چاه‌های مشاهده‌ای جدید در ترکیب با چاه‌های قبلی می‌تواند نقش این چاه‌ها را در تأمین دقت شبکه پایش افزایش دهد. از طرف دیگر، در میان نقاط پیشنهادی، تمام نقاط به جز  $A_1$  در تأمین دقت شبکه پایش موجود نقش قابل ملاحظه‌ای داشته‌اند. از این رو حفر چاه‌های مشاهده‌ای جدید در این نقاط و یا

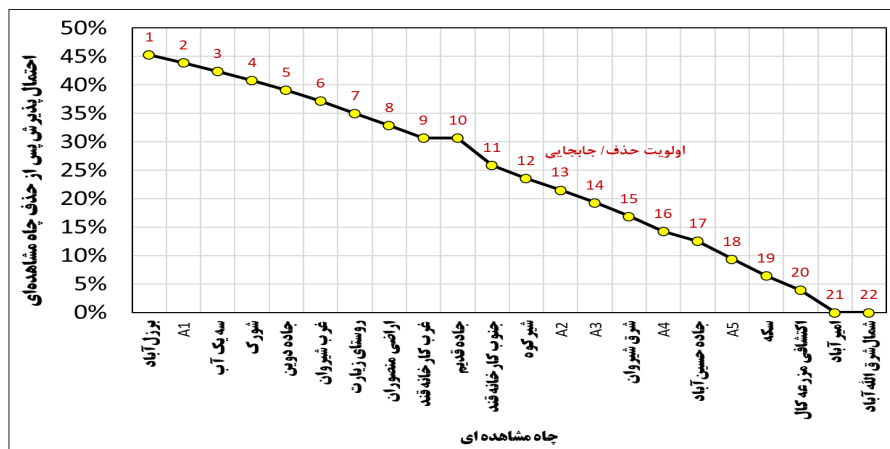
جابه‌جایی چاه‌های کم‌اهمیت‌تر به این نقاط منجر به بهبود کارایی شبکه چاه‌های مشاهده‌ای موجود خواهد شد.

در نهایت بر اساس تلفیق نتایج ارزیابی ساختمان چاه‌های مشاهده‌ای و تحلیل زمین آمار شبکه پایش در دشت شیروان و اقدامات لازم برای چاه‌های مشاهده‌ای موجود در جدول (۲) پیشنهاد شده است.

شبکه پایش سطح آب در آبخوان آبرفتی شیروان با مساحت حدود ۱۸۶/۵ کیلومتر مربع و تعداد ۱۷ حلقه چاه مشاهده‌ای، با وجود ۹ حلقه چاه در هر ۱۰۰ کیلومتر مربع آبخوان دارای شبکه با تراکم زیاد می‌باشد (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، ۱۳۹۳). بنابراین از لحاظ عملیاتی، اولویت با اصلاح و احیای شبکه موجود می‌باشد و نیازی به حفر چاه جدید نیست. اما در صورت از کار افتادن بعضی از چاه‌های مشاهده‌ای مانند شورک و سه یک آب، باتوجه به اهمیت پایین آنها در عملکرد شبکه پایش، می‌توان از نقاط پیشنهادی موجود در جدول (۳) برای جایگزینی آنها استفاده کرد.

جدول ۳- مختصات محل و اولویت حفر چاه‌های مشاهده‌ای جدید به منظور تکمیل شبکه پایش سطح آب در آبخوان آبرفتی شیروان

اولویت حفر	نام اختصاری	X	Y
۱	A5	۵۹۴۳۲۰	۴۱۳۴۵۹۸
۲	A۴	۵۷۱۶۷۵	۴۱۴۰۵۳۵
۳	A۳	۵۷۳۹۱۰	۴۱۴۰۰۴۸
۴	A۲	۵۷۸۴۷۹	۴۱۳۹۷۴۸



شکل ۶ - اولویت‌بندی چاه‌های مشاهده‌ای و مقدار  $A_p$  متناظر آنها در سطح  $\alpha=0.7$



جدول ۲- اقدامات اصلاحی لازم برای چاه‌های مشاهده‌ای آبخوان آبرفتی شیروان

Y	X	نام چاه مشاهده‌ای	اهمیت برای شبکه پایش از نظر زمین‌آماری	اقدام اصلاحی لازم
۴۱۳۸۲۸۸	۵۸۷۱۳۴	شرق شیروان	زیاد	بدون نیاز به اقدام اصلاحی
۴۱۴۰۶۴۴	۵۸۵۷۳۹	جاده قدیم	متوسط	
۴۱۴۵۹۱۲	۵۷۲۸۰۸	اراضی منصوران	کم	
۴۱۳۳۵۹۱	۵۹۳۵۶۶	جاده دویین	کم	
۴۱۴۰۹۵۷	۵۷۸۸۱۱	غرب شیروان	کم	
۴۱۳۱۳۰۲	۵۹۷۶۹۴	برزل‌آباد	خیلی کم	
۴۱۳۷۴۷۶	۵۹۴۶۵۵	سکه	خیلی زیاد	پاکسازی اسکرین
۴۱۴۰۵۳۲	۵۹۱۳۳۹	شمال‌شرق الله‌آباد	خیلی زیاد	
۴۱۳۸۹۳۷	۵۸۹۰۱۹	امیرآباد	خیلی زیاد	
۴۱۳۶۸۳۳	۵۹۱۹۴۴	مزرعه کال	خیلی زیاد	
۴۱۳۸۰۸۳	۵۸۰۹۰۶	شیرکوه	متوسط	
۴۱۴۳۳۸۳	۵۷۸۵۵۷	روستای زیارت	کم	
۴۱۴۲۴۲۵	۵۷۴۰۸۸	جاده حسین‌آباد	زیاد	نو کنی در صورت خشک شدن
۴۱۴۴۸۰۳	۵۶۷۴۷۹	غرب کارخانه قند	متوسط	
۴۱۴۰۵۵۱	۵۸۴۴۱۸	سه یک آب	خیلی کم	جابه‌جایی با چاه جدید
۴۱۳۵۵۷۱	۵۹۸۴۶۱	شورک	خیلی کم	
۴۱۴۳۴۱۵	۵۶۸۹۳۱	جنوب کارخانه قند	متوسط	نیاز به نو کنی در حال حاضر

### نتیجه‌گیری

حفر چاه‌های مشاهده‌ای جدید در نقاط پیشنهادی و یا جابه‌جایی چاه‌های کم‌اهمیت‌تر به این نقاط منجر به افزایش دقت پذیرش و بهبود کارایی شبکه چاه‌های مشاهده‌ای موجود خواهد شد. به‌طورکلی از مزیت‌های بسیار مهم کاربرد روش احتمال پذیرش می‌توان به در نظر گرفتن خطای تخمین سطح آب زیرزمینی در محل هر چاه مشاهده‌ای به‌طور نقطه‌ای و کمی‌سازی میزان مشارکت هر چاه مشاهده‌ای در دقت تخمین توزیع مکانی سطح آب زیرزمینی اشاره نمود. از این‌رو کاربرد این روش به‌منظور ارزیابی کارایی شبکه موجود چاه‌های مشاهده‌ای در آبخوان‌های مختلف در کشور، به‌عنوان یک روش ساده و کاربردی می‌تواند تصویری مناسب از وضعیت شبکه‌های پایش سطح آب زیرزمینی به‌عنوان ابزاری کلیدی در مدیریت منابع آب زیرزمینی به‌دست دهد.

### سپاسگزاری

این پژوهش با سفارش و حمایت مالی شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی (دفتر مطالعات پایه منابع آب) در راستای حل مسائل و چالش‌های کشور در زمینه داده و اطلاعات پایه منابع آب انجام گرفته است. به‌این‌وسیله از حسن توجه و اعتماد آن شرکت قدردانی می‌شود. همچنین از پشتیبانی و همیاری شرکت مهندسی مشاور تاوآب توسعه فلات شرق در انجام این پژوهش، سپاسگزاری می‌شود.

در این مطالعه از روش زمین‌آماری احتمال پذیرش مبتنی بر مدل کریجینگ معمولی برای ارزیابی شبکه چاه‌های مشاهده‌ای در سطح آبخوان آبرفتی شیروان استفاده شد. با در نظر گرفتن یک شبکه سلولی ۵۰۰ متر در ۵۰۰ متر، احتمال پذیرش در شبکه موجود چاه‌های مشاهده‌ای و همچنین شبکه چاه‌های مشاهده‌ای و نقاط کمکی (شامل ۱۷ چاه مشاهده‌ای و ۵ نقطه کمکی) محاسبه شد. نتایج نشان داد بازه تغییرات احتمال پذیرش بین ۰/۵ تا ۱ است. باتوجه‌به توزیع مکانی احتمال پذیرش در آبخوان، بر اساس شبکه چاه‌های مشاهده‌ای موجود و برای ضریب ثابت  $\alpha = 0/7$  حدود ۱۹/۲ درصد از سطح آبخوان دقت پذیرش بسیار بالایی دارد. از طرفی بر اساس شبکه چاه‌های مشاهده‌ای موجود و نقاط کمکی، برای ضریب ثابت  $\alpha = 0/7$  حدود ۴۶/۷ درصد از سطح آبخوان دقت پذیرش بسیار بالایی دارد. همچنین، نتایج تکرارهای مختلف الگوریتم نشان داد، چاه‌های مشاهده‌ای برزل‌آباد و شمال‌شرق الله‌آباد به‌ترتیب کمترین و بیشترین نقش را در تأمین دقت شبکه پایش موجود دارند. از طرف دیگر، در میان نقاط پیشنهادی، چهار نقطه در تأمین دقت شبکه پایش موجود نقش قابل ملاحظه‌ای داشته‌اند. به‌این‌ترتیب مشاهده می‌شود در صورتی که هدف تقویت شبکه چاه‌های مشاهده‌ای بر اساس معیار ۷۰ درصد باشد،

- Program in Landscape Architecture. Anhalt University of Applied Sciences, Heidelberg, Germany.
- Prakash M. R. and Singh V. S. 2000. Network design for groundwater monitoring – A case study. *Environmental Geology*, 39: 628–632.
- Raeisi A., Ghafouri H.R. and Moslemzadeh M. 2018. Minimization of Groundwater Observation Wells Using Geostatistics and Optimization Technique (Case study: Dezful-Andimeshk plain). *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(3): 79-96.
- Reed P. and Minsker B.S. 2004. Striking the balance: long-term groundwater monitoring design for conflicting objectives. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 130(2): 140-149.
- Sarma D.D. 2009. *Geostatistics with Applications in Earth Sciences*. Capital publishing company. India.
- 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): 551-56.
- Theodossiou N. and Latinopoulos P. 2006. Evaluation and optimisation of groundwater observation networks using the kriging methodology. *Environmental Modeling and Software*, 21(7): 991–1000.
- Varouchakis A. and Hristopoulos D.T. 2013. Comparison of stochastic and deterministic methods for mapping groundwater level spatial variability in sparsely monitored basins. *Environmental Monitoring Assessment*, 185(1): 1–19.
- Webster R. and Oliver M.A. 2001. *Geostatistics for environmental scientists*. John Wiley and Sons. Ltd. Chichester, England.
- Wei F, Yuexiao J., Yin L., Wei L, Zhiyu C. and Cheng HU. 2021. Study on the Optimization of Groundwater Monitoring Network in Key Areas of Jiangnan Plain in Hubei Province. *Northwestern Geology*, 54(3): 222-228.
- Yang F. Cao S. Liu X. and Yang K. 2008. Design of groundwater level monitoring network with ordinary kriging. *Journal of Hydrodynamics*, 20(3): 339–346.
- حسنى پاك، ع.ا. ۱۳۹۲. زمین‌آمار (ژئواستاتستیک). دانشگاه تهران. چاپ پنجم. تهران. ایران.
- شرکت مدیریت منابع آب ایران. ۱۳۹۵. گزارش تمدید ممنوعیت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی دشت قوچان - شیروان، تهران.
- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور. ۱۳۹۳. نشریه شماره ۶۶۵- دستورالعمل رفتارسنجی کمی آب‌های زیرزمینی، تهران.
- مقصود سنگ آتش، س.، خاشعی سیوکی، ع.، پوررضا بیلندی، م. و شفیعی، م. ۱۳۹۵. طراحی شبکه پایش کیفی آب زیرزمینی با استفاده از روش زمین‌آمار (مطالعه موردی آبخوان مشهد). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. بیرجند، ایران.
- مقصود سنگ آتش، س.، خاشعی سیوکی، ع.، پوررضا بیلندی، م. و شفیعی، م. ۱۳۹۷. کاربرد روش احتمال پذیرش در ارزیابی شبکه پایش کیفی کلر آب زیرزمینی (مطالعه موردی آبخوان مشهد). تحقیقات منابع آب ایران، ۱۴(۱): ۲۵۳-۲۵۶.
- Ahmadi S.H. and Sedghamiz A. 2007. Geostatistical analysis of spatial and temporal variations of groundwater level. *Environmental Monitoring Assessment*, 129(1): 277–294.
- Chandan K.S. and Yashwant B.K. 2017. A GIS Based Design of Groundwater Level Monitoring Network Using Multi-Criteria Analysis and Geostatistical Method. *Water Resources Management*, 31(13): 4149-4163.
- Chao Y., Qian H., Fang Y. and Wang H. 2011. Optimum design of groundwater level monitoring network in Yinchuan plain. *Water Resource and Environmental Protection*, 1: 278–281.
- Cheng K.S., Wei C., Cheng Y.B., Yeh H.C. and Liou J.J. 2008. Rain-gauge network evaluation and augmentation using geostatistics. *Hydrological Processes*, 22(14): 2555–2564.
- Gundogdu K.S. and Guney I. 2007. Spatial analyses of groundwater levels using universal kriging. *Journal of Earth System Science*, 116(1): 49–55.
- Manegold J. 2003. Using the Model Builder of ArcGIS 9 for Landscape Modeling. In: Buchmann E. & Ervin S. (Eds.): *Proceedings of International Seminar on New Technologies of the International Master*