

کاربرد زمین آمار در ارزیابی شبکه های پایش کیفی آب زیرزمینی

سید محمود حسینی

استادیار

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

بیژن قهرمان

استادیار

دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

حمیدرضا عسگری

کارشناس ارشد

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

در حال حاضر ۹۰ درصد نیاز آبی مصرفی شهر مشهد از چاه های عمیق تامین می شود که نشان دهنده اهمیت برسی کیفی این منبع تامین آب می باشد. برای تعیین نتایج اندازه گیری از چاه های موجود به سایر نقاط فاقد آمار باستی شبکه چاه ها از تراکم مناسبی برخوردار باشد. در این برسی ارزیابی کفایت شبکه چاه های آب شرب شهر مشهد در ردیابی نیترات و هدایت الکتریکی با استفاده از کریجینگ، که یک روش میانی یابی بهینه بین آمارهای اندازه گیری شده بر پایه تشخیص ساختار مکانی است، انجام پذیرفته است. با برسی کمیت و کیفیت اطلاعات در دسترس، آخرین آمار موجود در سال ۱۳۷۹ از ۹۲ چاه که در اعماق بین ۱۶۰ تا ۲۵۰ متر در آنها اندازه گیری صورت گرفته بود، مبنای تعزیزی و تحلیل مکانی قرار گرفتند. بر مبنای تعزیزی و تحلیل مکانی، مناسب ترین مدل نیم تغییرنما برای نیترات مدل نمایی (پس از بروزش یک رویه در جه دوم برای حذف روند) و برای هدایت الکتریکی مدل خطی سقف دار بدست آمد. نقشه های توزیع مقدار و خطای تخمین این پارامترهای کیفی، تهیه شده به روش کریجینگ معمولی و نقطه ای، نشان دادند که به طور کلی نیترات از تغییر پذیری بالاتری نسبت به هدایت الکتریکی برخوردار بود و خطای برآورد بالاتری داشت. با این وجود توزیع خطای برآورد برای هر کدام از پارامترها در کل منطقه تغییرات کمی داشت. برای هر پارامتر سه محل چاه پیشنهادی ارائه شد که بتوانند موجب کاهش حداکثر خطای برآورد شود. نتایج نشان داد که این سه چاه در حاشیه ناحیه تحت مطالعه قرار دارند و تنها قادر هستند حداکثر خطای برآورد را کمتر از ۳ درصد کاهش دهند. این مقدار کاهش در خطا قابل توجه نمی باشد و لذا بنتظر می رسد که عملکرد شبکه فعلی با توجه به نوع اطلاعات در دسترس قابل تغییر نمی باشد. علیرغم این مسئله با توجه به میزان خطاهای طرح یک شبکه موثرتر که توزیع مکانی (سطحی و عمیقی) و زمانی مناسب تری داشته باشد احساس می گردد.

کلمات کلیدی

زمین آمار، کریجینگ، طراحی شبکه اندازه گیری، آب زیرزمینی، نیترات، هدایت الکتریکی، مشهد.

Use of Geostatistics in Evaluation of Groundwater Quality Monitoring Networks

B. Ghahraman

Assistant Professor

Irrigation Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

S. M. Hosseini

Assistant Professor

Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

H. R. Asgari

Former Graduate Student

Civil Engineering (water Resources),

Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

Abstract

At present about 90% of Mashhad water consumption is supplied by deep wells. This high level of consumption indicates the importance for monitoring groundwater quality in this area. There is a need for a dense network to be able to extend the point data to ungaed locations. The adequacy of Mashhad water supply deep well network for monitoring nitrate and electrical conductivity (EC) has been investigated in this research by kriging, which is an optimal interpolation technique based on spatial structure of data. An exponential model of semivariogram was fitted to nitrate data (after removing its trend by a second order equation), while EC data showed a linear-sill one. On the whole, nitrate was more variable than EC with higher error of estimate. However, the error maps showed that the variation of error was not so great in the study area for both parameters. Three new well locations were proposed for decreasing the maximum error of estimates. These locations were around the boundaries of the study and reduced the maximum error by less than 3%. Such a reduction is quite insignificant; illustrating that based on the available data the performance of the present network cannot be improved. Despite this, the need for an optimum network with a better spatial and temporal distribution is felt.

Keywords

Geostatistics, Kriging, Network Design, Groundwater, Nitrate, Electrical Conductivity, Mashhad.

مقدمه

در حال حاضر ۹۰ درصد نیاز آبی مصرفی شهر مشهد از تعدادی چاه با ظرفیت تولید ۱/۰۹ میلیون متر مکعب در سال، ۸ درصد از دو سد طرق و کارده با ظرفیت تولید ۱۹/۷ میلیون متر مکعب در سال و ۲ درصد از یک دهانه چشمه اندخ با ظرفیت پتوالید ۵/۶ میلیون متر مکعب در سال تامین می شود [۲۱]. از آنجائیکه عمدہ آب مصرفی شهر از منابع آبهای زیرزمینی تأمین می شود، لذا بررسی کیفی این منبع تامین آب حائز اهمیت فراوانی می باشد.
اندازه گیری های انجام شده تنها در چاه های موجود صورت می پذیرد و لذا نقطه ای می باشند. تعمیم نتایج به سایر نقاط فاقد آمار ایجاب می کند که شبکه چاهها از تراکم مناسبی برخوردار باشد به طوری که کلیه برآوردها بتوانند با دقت بالای (خطای برآورد بانین) تعیین شوند.

تهیه و به کار گیری روش های علمی طراحی شبکه یکی از مسائل پیچیده در هیدرولوژی به شمار می آید. نمونه گیری ساده تصادفی، توابع همبستگی و روش های رگرسیون غالباً برای طراحی شبکه بکار گرفته می شوند. به نظر می رسد که قدیمی ترین تلاش ها مربوط به هر شفیلد [۳] باشد. وی پیشنهاد کرد که میانگین فاصله بین ایستگاه ها به نحوی انتخاب شود که منجر به یک ضریب همبستگی ۰/۹ بین آمار ایستگاه ها شود. چنین مفهوم رگرسیونی توسط سایر محققین نیز بکار گرفته شده است [۴-۶]. افراد بر چنین روش هایی از مفاهیم تئوریکی و تعمیم یافته تری نیز استفاده شده است. در این روش ها عمدتاً همبستگی مکانی فرآیند تحت مطالعه مد نظر می باشد [۷-۹].

هوگز و لتن مایر [۱۰] این نکته را تاکید کردند که روش کریجینگ از توانایی بالقوه بالاتری نسبت به سایر روش های دیگر برای طراحی شبکه آمار برداری در مطالعات هیدرولوژیکی برخوردار است. کسیم و کوتگودا [۱۱] خاطر نشان کردند که واریانس تخمین زده عامل مهمی برای تعیین موقعیت باران سنج ها می باشد. نامبرد گان تعدادی باران سنج را به یک شبکه موجود باران سنجی اضافه کردند تا دقت بالاتری در اندازه گیری مقدار و سایر خصوصیات باران برای یک واقعه خاص بارندگی قابل حصول باشد. کسیم و کوتگودا با استفاده از اصول کریجینگ [۱۲] نقشه خطای اساس انحراف معیار مقدار بارندگی تخمین زده شده تهیه کردند. گرچه این روش برای یک واقعه بارندگی مفید است، لیکن تغییر واقعه بارندگی منجر به تغییراتی اساسی در نقشه توزیع خطای واریوگرام می شود که نتیجه گیری را برای محل مناسب باران سنج های مورد نیاز دشوار می سازد. علاوه بر این، انحراف معیار برای دو مقدار کاملاً متفاوت از برآورد، نتایج کاملاً متفاوتی خواهد داشت (بطور مثال اگر دو واقعه برآورده شده ۲ و ۱۰۰ دارای انحراف معیار یکسان ۲ باشند، واقعه اول به مرتب غیر قابل اطمینان تر است در حالیکه واقعه دوم

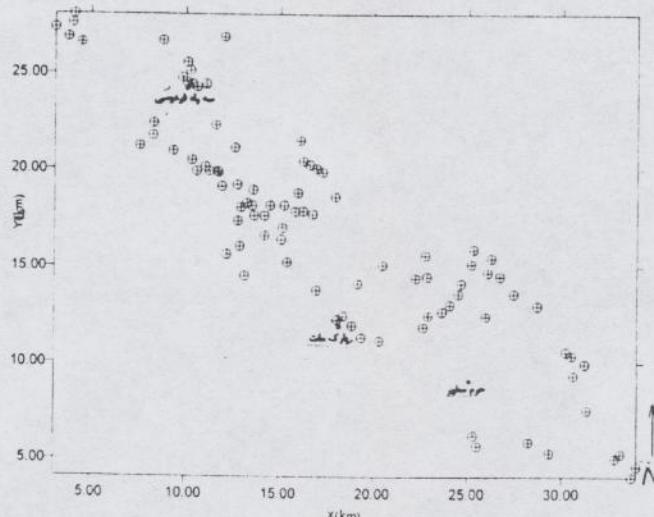
که در آن h فاصله مکانی، $N(h)$ تعداد جفت مشاهدات با فاصله مکانی h ، و $Z(x_i+h)$ مقدار پارامتر تحت بررسی در موقعیت x_i+h می‌باشد. نیم تغییر نمایی که به این روش بدست می‌آید تنها مجموعه‌های مرتب شده‌ای از مقادیر منفرد بوده و توأم با خطای می‌باشد. گرچه می‌توان این نقاط را با خطوط و یا منحنی‌هایی به هم وصل نمود ولی شکل حاصل کاملاً نامنظم خواهد بود. با این وجود، عموماً می‌توان شکلهای مشخصی را بر روی نقاط حاصل برآمد و معادله ریاضی آن‌ها را نیز تعیین کرد. برخی از این توابع شناخته شده در مراجع موجود است (مثالاً ویستر، [۲۱]؛ کیتانیدیس، [۲۲]). در یک طبقه بندی کلی این مدلها را می‌توان به مدل‌های مطمئن (خطی، کروی، نمایی، هیپربولیک)، مدل‌های ریسکی (دایره‌ای، خطی سقف‌دار) و تودر تو تقسیم بندی کرد. غالباً ضریب همبستگی بالا و انحراف معیار کم مقادیر برآورده شده، معیارهایی برای انتخاب بهترین مدل و سپس انجام فرآیند تخمین به روش کریجینگ تلقی می‌شود. انحراف معیار (جذر VAR در رابطه ۲) شاخصی از عدم اطمینان برای مقادیر برآورده شده می‌باشد و عموماً ترسیمی از این عدم اطمینان را نقشه خطای می‌نمند [۱۱].

انحراف معیار بالا دلیلی بر ناکافی بودن تعداد ایستگاه‌های آماربرداری در تئوری کریجینگ می‌باشد. با این وجود مقدار مطلق انحراف معیار بدون توجه نمودن به مقدار واقعه برآورده شده منجر به استنتاج صحیحی نخواهد شد. در این صورت کمیت ضریب تغییرات که در آن تاثیر نسبی خطای سنجیده می‌شود کاراتر خواهد بود. در این تحقیق، ضریب تغییرات مورد استفاده قرار گرفته است.

ناحیه تحت مطالعه و آمار و اطلاعات

دشت مشهد با وسعت تقریبی ۵۰۰۰ کیلومتر مربع در حوزه کشف رود با مساحت تقریبی ۱۶۵۰۰ کیلومتر مربع قرار دارد که در آن سالانه در حدود ۲۵۰ میلیون متر مکعب کسری مخزن وجود دارد و در نتیجه از سال ۱۳۴۷ در لیست دشتهای ممنوعه قرار گرفته است. یکی از قسمتهای دشت مشهد، شهر مشهد می‌باشد که به عنوان مرکز استان خراسان در شمال شرقی کشور و در حوزه آبریز کشف رود واقع است. این شهر از نظر وسعت دومین شهر بزرگ ایران است و با دارا بودن جمعیتی بیش از ۲ میلیون نفر به عنوان دومین شهر پرجمعیت کشور شناخته می‌شود [۱].

گستره شهر مشهد و حومه آن در این مطالعه تحت بررسی می‌باشد. چاه‌های حفر شده در این محدوده توسط شرکت آب و فاضلاب مشهد بهره برداری و مدیریت می‌شود. با توجه به کیفیت ثبت آمار و اطلاعات در آرشیو این شرکت، تعداد ۹۲ حلقه چاه عمیق جهت انجام بررسی انتخاب گردید. این چاه‌ها در محدوده‌ای در حدود ۲۷۰ کیلومتر مربع پراکنده‌اند و دارای عمقی بین ۱۶۰ تا ۲۵۰ متر می‌باشند. در شکل ۱ نحوه پراکندگی چاه‌ها نشان داده شده است. مختصات چاه‌ها بوسیله سیستم UTM بیان می‌شود و نقطه‌ای با UTM افقی ۷۱۰۰۰ و UTM عمودی ۴۰۱۰۰۰ به عنوان مبدأ مختصات در نظر گرفته شد تا یک دستگاه مختصات محلی حاصل گردد.



شکل (۱) موضعیت نسبی چاه‌های آب شرب شهر مشهد مورد استفاده در این مقاله.

این بررسی بر روی دو پارامتر نیترات و هدایت الکتریکی آب متمرکز می‌باشد. به این دلیل مقادیر اندازه‌گیری شده آن‌ها در دو سال ۱۳۷۸ و ۱۳۷۹ جمع‌آوری گردید (هر چاه دارای حدود ۶ آمار می‌باشد). از آنجا که بررسی‌های زمین آماری تنها به تحلیل مکانی اطلاعات، و نه تحلیل زمانی آنها، می‌پردازد. بنابراین برای این منظور بایستی از یک محدوده زمانی مشخص استفاده شود. این نکته که اندازه‌گیری‌ها در چاه‌های مختلف در یک زمان واحد انجام نشده است، انتخاب محدوده زمانی را دچار مشکل می‌کند. بنابراین در محدوده‌های مختلف زمانی (فصلی، سالانه و آخرین آمار) مقایسه‌هایی بین مقدار پارامتر در یک دوره زمانی با مقدار همان پارامتر در دوره زمانی دیگر صورت پذیرفت. در این رابطه، مقدار کمیت مربوط به یک چاه در یک بازه زمانی مورد بررسی، از میانگین اطلاعات مختلف مربوط به آن چاه در آن بازه زمانی بدست آمد. به منظور مقایسه اطلاعات در دو بازه زمانی مختلف، مقادیر آن‌ها برروی دو محور متعامد قرار داده شدند. مشاهدات نشان داد که روند تغییرات نسبتاً یکنواخت است و نقاط ترسیم شده در حوالی خط 45° واقع در صفحه این دو محور متعامد پراکنده می‌باشند. شب خوط (ضرایب همسانی) در بررسی‌ها نزدیک به یک بدست آمد که نشان دهنده تغییرات اندک پارامترهای تحت بررسی در طی سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۷۹ و دوره‌های زمانی متفاوت می‌باشد. جداول ۱ و ۲ نتایج مربوط به هدایت الکتریکی را برتریب برای دوره‌های زمانی شش ماهه و سه ماهه نشان می‌دهند. در نتیجه آخرین اندازه‌گیری در هر چاه ملاک عمل برای تحلیل فضایی اطلاعات در نظر گرفته شد. توضیح کامل تجزیه و تحلیل زمانی انجام شده خارج از موضوع این مقاله است و در مرجع [۲۳] یافت می‌شود.

جدول (۱) ضرایب همسانی تغییرات زمانی شش ماهه و سالانه پارامترهای کیفی آب در طی سال‌های ۷۸ و ۷۹.

| دوره زمانی | | | | | | |
|------------|---------------|-----------------|----------|---------------|---------------|------------|
| | نیمه اول ۱۳۷۹ | آخرین آمار ۱۳۷۹ | سال ۱۳۷۸ | نیمه دوم ۱۳۷۸ | نیمه اول ۱۳۷۸ | دوره زمانی |
| - | ۰/۹۸۴ | - | ۱ | ۰/۹۹۴ | ۱۳۷۸ | نیمه دوم |
| - | ۱ | - | ۱/۰۱۶ | - | ۱۳۷۹ | نیمه اول |
| - | ۰/۹۸۶ | - | - | - | ۱۳۷۹ | نیمه دوم |
| ۰/۹۷۷ | - | - | ۱/۰۲۳ | - | ۱۳۷۹ | سال |

جدول (۲) ضرایب همسانی تغییرات زمانی، فصلی پارامترهای کیفی آب در طی سال‌های ۷۸ و ۷۹.

| دوره زمانی | ۷۸ بهار | ۷۸ تابستان | ۷۸ پائیز | ۷۸ زمستان | ۷۹ بهار | ۷۹ تابستان | ۷۹ پائیز | ۷۹ زمستان |
|------------|---------|------------|----------|-----------|---------|------------|----------|-----------|
| تابستان | - | - | ۱/۰۲۵ | ۰/۹۷۶ | ۱ | ۰/۹۸ | - | - |
| پائیز | - | - | ۱/۰۴۹ | ۱ | ۱/۰۲۴ | ۱/۰۰۴ | - | - |
| زمستان | - | ۱ | ۰/۹۵۱ | ۰/۹۷۵ | ۰/۹۵۶ | - | - | - |
| بهار | ۱/۰۲۴ | ۱/۰۱۴ | ۱ | - | - | ۱/۰۲۳ | - | - |
| تابستان | ۱/۰۹۹ | ۱ | ۰/۹۸۶ | - | - | - | - | - |
| پائیز | ۱ | ۰/۹۹۱ | ۰/۹۷۶ | - | - | - | - | - |
| زمستان | ۰/۹۷۶ | ۰/۹۶۶ | ۰/۹۴۷ | ۱/۰۱ | - | - | - | - |

بحث و نتایج

ارزیابی شبکه و ارائه بهترین مناطق حفاری

بهترین نقاط حفاری جدید برای کاستن خطای برآورد می‌تواند با استفاده از مقادیر خطای محاسبه شده در روش کریجینگ و با اعمال معیارهای مختلف خطا صورت پذیرد. این معیارهای مختلف شامل حداقل کردن مجموع مربعات انحرافات، حداقل کردن مجموع قدر مطلق انحرافات و یا حداقل نمودن حداقل انحراف می‌باشد که برای پیشنهاد دادن نقاط

نمونه برداری جدید به منظور کاستن خطای برآورد در یک شبکه موجود اعمال می‌شود. اعمال دو معیار اول نیاز به تدوین یک مدل بهینه‌یابی وسیع دارد. در این تحقیق، از معیار آخر، یعنی ردبایی نقطه‌ای با حداکثر ضریب تغییرات، استفاده شده است. برای این منظور نقطه‌ای که بالاترین ضریب تغییرات را دارا باشد مشخص می‌شود. در مرحله بعد چاه فرضی در این نقطه به سیستم چاه‌های موجود اضافه شده و کلیه مراحل کار با تعداد نقاط بیشتر تکرار می‌شود و مجدداً تحلیل خطا صورت می‌پذیرد. این چاه اضافه شده فرضی است و لذا قادر مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی می‌باشد. با این وجود مقادیر برآورد شده در این محل که توسط کریجینگ صورت پذیرفته است، بهترین برآورد نالریب می‌باشد و می‌تواند پایه ای برای ادامه مطالعات تلقی شود. این سیکل تا رسیدن به ضریب تغییراتی که به اندازه کافی کم باشد می‌تواند تکرار شود.

همان طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، کلیه چاه‌های مورد بررسی در محدوده‌های خاص و در یک راستای شمال غربی - جنوب شرقی پراکنده شده‌اند. دلیل چنین گسترشی وجود رودخانه کشف رود در شمال و نیز وجود رشته کوه‌های کوهسنگی و بینالود در قسمت جنوبی می‌تواند باشد. به همین دلیل لازم است محل‌های جدید پیشنهاد حفاری به منظور کاهش خطای تخمین‌ها نیز در محدوده پراکندگی چاه‌های موجود قرار داشته باشند. بدین منظور منطقه مورد بررسی برای تعیین محل‌های جدید حفاری بین دو خط موازی به معادلات $X = 37.0 - 0.8Y$ و $X = 24.8 - 0.8Y$ محدود شد و خطای تخمین‌ها تنها در نقاطی که در این محدوده قرار دارند مورد نظر قرار گرفت. مقادیر X و Y در این روابط بترتیب فاصله مکانی بر روی محور افقی و عمودی (در راستای شمال) می‌باشند.

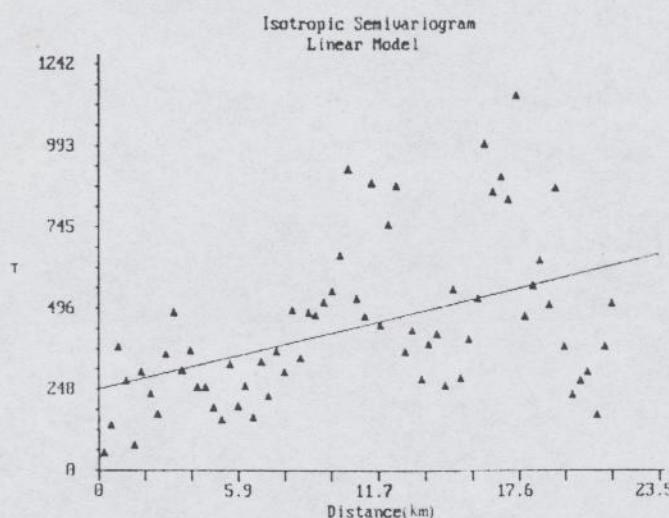
نتیرات

مدل خطی (شکل ۲) برای نیم تغییر نمای نیترات بدست آمد. کلیه آزمون‌های آماری [۲۲] در این مدل با موقیت انجام شدند. این مدل از جمله مدل‌های دارای روند است. حذف روند با انتخاب ساده‌ترین رویه (مدل درجه اول خطی، معادله ۴) میسر نگردید ولی رویه درجه دوم (معادله ۵) منجر به حذف روند از اطلاعات گردید. شکل (۳) مدل نیم تغییر نمای نمایی را به عنوان مدل بهینه نشان می‌دهد که بر باقیمانده‌های اطلاعات پس از حذف روند برآذش داده شده است. رابطه نیم تغییر نمای به دست آمده در رابطه ۶ ارائه شده است.

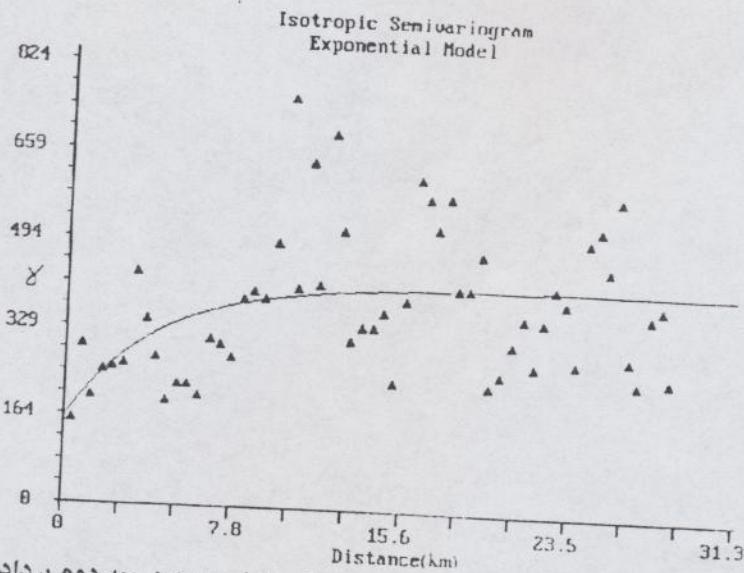
$$\hat{Z} = 13.354 + 0.789X - 0.21Y \quad (4)$$

$$\hat{Z} = 18.38 + 1.759X + 2.712Y - 0.01X^2 - 0.069Y^2 - 0.034XY \quad (5)$$

$$\gamma(h) = 164 + 267(1 - e^{-0.645h}) \quad (6)$$

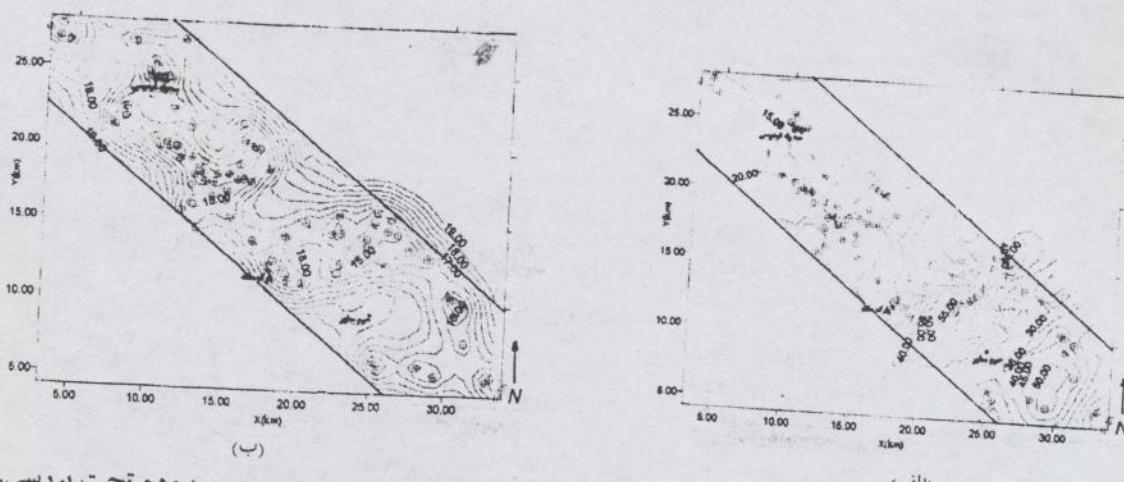


شکل (۲) نیم تغییر نمای برآذش داده شده بر داده‌های اولیه نیترات.



شکل (۳) نیم تغییر نمای برآذش داده شده بر باقیمانده ها پس از برآذش رویه درجه دوم بوده های نیترات.

گرچه پراکندگی نقاط حول معادله برآذش یافته به نظر زیاد می‌آید ولی چنین پراکندگی در مطالعات منابع آب قابل قبول می‌باشد [۱۱، ۱۹، ۲۳]. مدل فوق در طی یک فرآیند کالیبراسیون بهینه‌سازی صورت پذیرفت و منجر به انتخاب فاصله فعال ۸۰ درصد، گام فعال ۵۴/۰ کیلومتر و تعداد نقاط همسایگی ۸ گردید [۲۳]. این پارامترها، پارامترهای کنترلی در انتخاب تعداد نقاط در ترسیم نیم تغییر نمای و نقاط مورد استفاده به منظور تخمین در یک نقطه در روش کریجینگ می‌باشند. در نرم افزار GS+، که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است [۲۴]، پارامترهای مذکور در یک فرآیند محاسباتی بهینه شدند [۲۳]. شکل (۴) چگونگی تغییرات نیترات و خطای برآورد آن را نشان می‌دهد. گرچه در مناطق شمال غربی میزان نیترات کم و بین ۱۵ تا ۲۰ میلی گرم در لیتر است، ولی در مناطق جنوب شرقی میزان آن از حد مجاز ۵۰ میلی گرم در لیتر (بر اساس استاندارد اتحادیه اروپا؛ [۲۵]) نیز فراتر رفته است. شکل (۴) همچنین حکایت از این دارد که خطای برآورد برای کل منطقه تقریباً یکسان و در حدود ۱۵ میلی گرم در لیتر است. بنابراین نقاطی که میزان برآورد نیترات پائینی دارند از ضریب تغییرات بالاتری برخوردار خواهند بود.

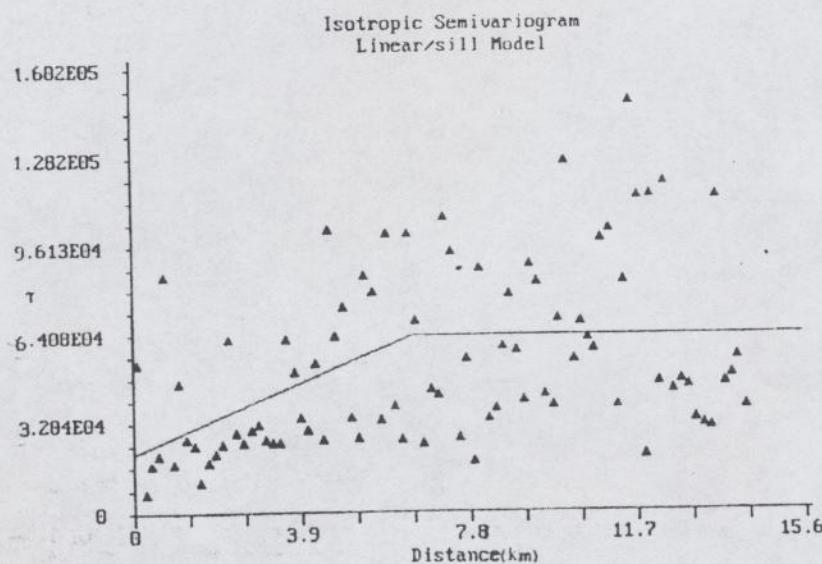


شکل (۴) تغییرات مکانی نیترات (الف) و خطای برآورد آن (ب) بر حسب میلی گرم در لیتر در محدوده تحت بررسی.

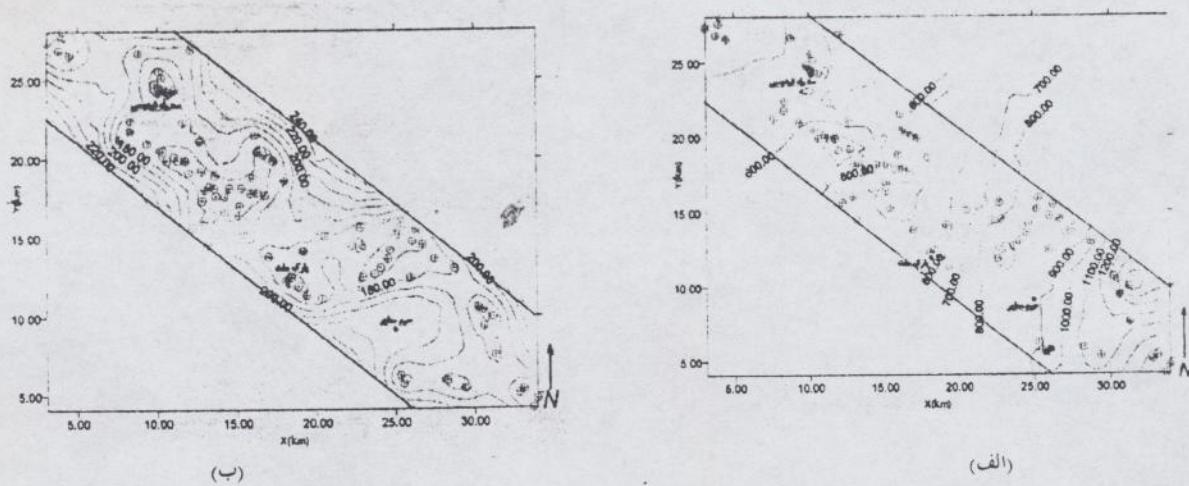
موقعیت بهترین سه نقطه اولیه چاه به منظور کاهش خطای تخمین‌ها در شکل (۵) ارائه شده است. همان‌طور که قبل از

پس از طی یک فرآیند کالibrاسیون و انتخاب پارامترهای فاصله فعال ۴۰ درصد، گام فعال ۱۸/۰ کیلومتر و تعداد نقاط همسایگی ۱۰ [۲۳] بدست آمد. نحوه تغییرات هدایت الکتریکی و خطای برآورده آن در شکل (۷) آورده شده است. هدایت الکتریکی آب در محدوده وسیعی از مناطق مناسب (کمتر از ۹۰۰ دسیزیمنس بر متر) است و تنها ناحیه کوچکی در جنوب شرقی شهر از شوری بالایی (بیشتر از ۱۲۵۰ دسیزیمنس بر متر) - حداکثر قابل قبول هدایت الکتریکی در آب آشامیدنی بر اساس استاندارد اتحادیه اروپا، [۲۵] بخوردار است. خطا در تخمین مقدار هدایت الکتریکی نیز همچون نیترات برای کل محدوده چاهها تقریباً یکسان بوده و در حدود ۱۸۰ تا ۲۰۰ دسیزیمنس بر متر است.

$$\gamma(h) = 21230 + 5663h \quad h \leq 6.45 \quad (7)$$



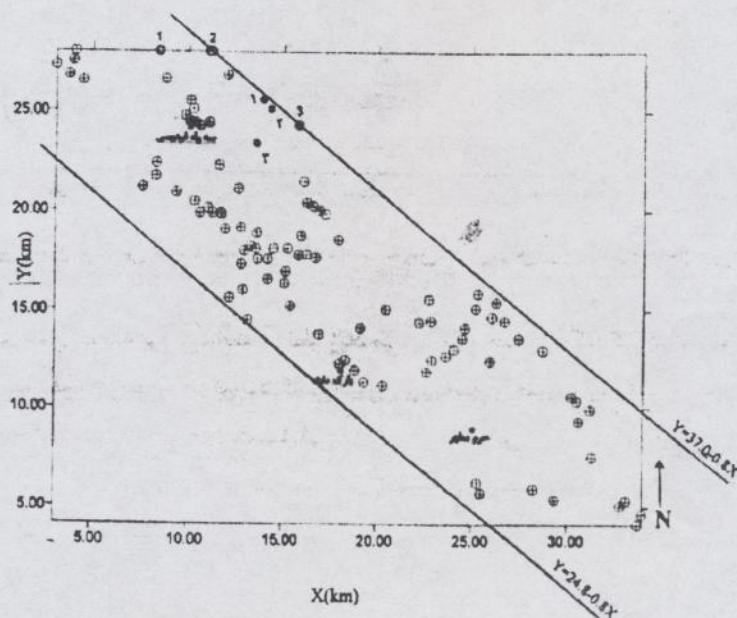
شکل (۶) نیم تغییر نمای برآذش داده شده بر داده های هدایت الکتریکی.



شکل (۷) تغییرات مکانی هدایت الکتریکی (الف) و خطای برآورده آن (ب) بر حسب دسیزیمنس بر متر در محدوده تحت بررسی.

موقعیت تقریبی سه مکان پیشنهادی حفر چاه به جهت کاهش خطاهای تخمین در شکل (۵) نشان داده شده است. بجز محل پیشنهادی شماره ۳، دو محل دیگر تقریباً بر روی محیط ناحیه محصور شده بین دو خط موازی محدود کننده ناحیه چاهها قرار دارند. با وجود این، محل شماره ۳ بخوبی توانسته است در محل مناسبی از نقطه نظر فاصله بین چاههای مجاور قرار گیرد. درصد کاهش حداکثر خطای تخمین ناشی از اضافه کردن چاه(های) پیشنهادی در جدول ۱ آورده شده است. مشابه حالت بررسی شده در مورد نیترات این کاهش‌ها محسوس نمی‌باشد.

توضیح داده شد انتخاب این نقاط بر مبنای ضریب تغییرات در محدوده مورد مطالعه می‌باشد. بایستی توجه شود که لزوماً نقطه‌ای با حداقل ضریب تغییرات بر نقطه‌ای با حداقل خطای برآورده منطبق نخواهد بود. ولی همان‌طور که قبلاً عنوان شد بر نقطه‌ای با حداقل خطای برآورده ارجح است. هر سه نقطه پیشنهادی در مرزهای محدوده چاه‌های موجود است که نشان‌دهنده این نکته در تئوری کریجینگ می‌باشد که با فاصله گرفتن از محل‌های موجود اندازه‌گیری شده، انحراف معیار برآوردها افزایش می‌یابد. بنابراین بطور قطع در مناطق دورتر از این مرزها مقادیر تخمین بالاتری وجود خواهد داشت. با وجود این جدول (۳) مشخص می‌سازد که درصد کاهش خطای تخمین برای این سه نقطه بسیار ناچیز است و بنابراین نمی‌تواند توجیه‌کننده مخارج بالای حفاری چاه‌ها باشد.



شکل (۵) وضعیت قرارگیری چاه‌های نمونه‌برداری پیشنهادی در مورد نیترات (دوایر توخالی) و هدایت الکتریکی (دوایر توپر).

جدول (۳) درصد کاهش در حداقل خطای برآورده و حداقل ضریب تغییرات پس از پیشنهاد اضافه کردن چاه‌های جدید.

| شماره چاه پیشنهادی | X (km) | Y (km) | درصد کاهش در حداقل خطای برآورده | درصد کاهش در حداقل ضریب تغییرات | درصد کاهش در حداقل ضریب تغییرات پس از پیشنهاد اضافه کردن چاه‌های جدید |
|-----------------------|--------|--------|------------------------------------|------------------------------------|---|
| نیترات | | | | | |
| ۱/۰۱ | ۸/۶۲۵ | ۲۸/۱ | ۲/۲۲ | ۲/۲۲ | ۱ |
| ۱/۶۶ | ۱۵/۱۲۵ | ۲۴/۹ | ۸/۹۸ | ۸/۹۸ | ۲ |
| ۲/۶۹ | ۱۱/۱۲۵ | ۲۸/۱ | ۱۴/۶۱ | ۱۴/۶۱ | ۳ |
| هدایت الکتریکی | | | | | |
| ۰/۷۳ | ۱۳/۸۲۵ | ۲۵/۹ | ۱۰/۴۱ | ۱۰/۴۱ | ۱ |
| ۱/۰۰ | ۱۴/۲۲۵ | ۲۵/۶ | ۱۲/۷۱ | ۱۲/۷۱ | ۲ |
| ۱/۷۸ | ۱۳/۴۲۵ | ۲۳/۸ | ۲۰/۲۹ | ۲۰/۲۹ | ۳ |

هدایت الکتریکی

نمی‌تغییر نمای خطی سقف‌دار بهترین مدل نیم تغییر نمایی بدست آمد که بتواند آزمون‌های آماری [۲۲] را با موفقیت بگذراند. این نیم تغییر نما (شکل ۶) بر خلاف نیترات (شکل ۲) قادر روند است (معادله ۷)، با این وجود پراکندگی نقاط حول مدل مناسب در همان محدوده مدل‌های برآش داده شده برای نیترات (شکل های ۲ و ۳) می‌باشد. انتخاب این مدل بهینه

شیوه تجزیه و تحلیل ارایه شده و استفاده جهتدار از روش سیستماتیک کریجینگ در ارزیابی عملکرد مکانی شبکه چاههای موجود و اعمال این روش‌ها بر اطلاعات میدانی موجود در داخل کشور از نتایج مشخص این تحقیق می‌باشد.

نقشه‌های توزیع خطا برای برآورد نیترات و هدایت الکتریکی مشخص می‌سازند که علیرغم بالا بودن نسبتی خطای مربوط به هر یک از پارامترهای کیفی، در گستره مکانی تحت مطالعه، این خطاهای از توزیع نسبتاً یکسانی برخوردار می‌باشند. بنابراین می‌توان استنتاج نمود که توزیع مکانی شبکه فعلی چاههای، گرچه بر یک پایه اصولی طراحی شبکه پایه گذاری نشده است، به نحوی است که حتی پس از اضافه کردن سه چاه مجازی کاهش بسیار ناچیز در حداکثر خطای تخمین (۲/۶۹ و ۱/۷۸) درصد بترتیب برای نیترات و هدایت الکتریکی) خواهد داشت. لذا عملکرد شبکه فعلی با توجه به نوع اطلاعات در دسترس قابل تغییر نمی‌باشد. گرچه مقادیر پارامترهای کیفی آب در مجله‌های پیشنهادی چاههای برمبنای روش کریجینگ تخمین زده شده‌اند بهترین برآورد می‌باشند، لکن مقادیر واقعی نبوده و پس از احداث چاههای بایستی ارزیابی مجدد صورت پذیرد. چنین کاهشی در خطای برآورد به احتمال قوی هزینه بالای احداث و تجهیز چاه (های) جدید را توجیه نمی‌کند. بر این نکته تاکید می‌گردد که توزیع مکانی (سطحی و عمقی) و آمارگیری زمانی از این چاههای برمبنای اصول طراحی شبکه نمونه‌برداری و اندازه‌گیری پایه‌ریزی نشده است که این مسئله خود موجب بروز انحراف معیار زیاد در تخمین‌ها گردیده است. لذا، طراحی شبکه‌های اندازه‌گیری موثر و بهینه از پارامترهای کمی و کیفی آب زیرزمینی در این منطقه و سایر مناطق کشور، امری است که باید مورد پی‌گیری جدی قرار گیرد.

سپاسگزاری

هزینه‌های این تحقیق توسط شرکت آب و فاضلاب مشهد طی قرارداد شماره ۱۱۶۳/۱۱۱ مورخ ۱۳۸۰/۲/۱۵ منعقده با دانشگاه فردوسی مشهد تامین شده است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

فهرست علائم انگلیسی

فهرست علائم یونانی

- α_i : وزن بهینه برای نقطه i در سیستم معادلات کریجینگ.
- γ_{ij} : نیم تغییر نما (سمی واریوگرام) بین دو نقطه با موقعیت j و i .
- ζ : ضریب لامبرت در سیستم معادلات کریجینگ.
- $N(h)$: تعداد حفظ مشاهدات با فاصله مکانی h واریاس برآورده خمین.
- X : مختصات در محور افقی (شرقی - غربی)
- Z : مختصات در محور عمودی (شمالی - جنوبی)
- $Z(x_0)$: مقدار پارامتر اندازه‌گیری شده در نقطه مشخص x_0
- \hat{Z} : مقدار برآورد شده پارامتر از معادله روبه برآراش داده شده برای حذف روند.

مراجع

- [1] ولاتی، ۱۳۷۸. بیامدهای ناشی از اضافه برداشت از آبخانهای زیرزمینی. مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه فردوسی مشهد، شماره اول و دوم، صفحات ۱۰۷-۱۲۴، بهار و تابستان ۱۳۷۸.
- [2] نام، ۱۳۷۹. گزارش عملکرد آب و فاضلاب مشهد، شرکت آب و فاضلاب مشهد، مشهد.
- [3] D.M. Hershfield, On the spacing of raingages. IASH Publ. 67, Symp. Design of Hydrol. Networks: 72-79 (1965).
- [4] P.S. Eagleson. Optimum density of rainfall networks. Water Resour. Res., 3(4): 1021-1034 (1967).
- [5] P.T. Stol, The relative efficiency of the density of raingage networks. J. Hydrol., 15: 193-208 (1972).
- [6] V.L. Gupta, Hydrologic network design by modified Langbein method. In: V.P. Singh (ed.), Modeling components of hydrologic cycle, Proceedings of the International Symposium on Rainfall- Runoff Modeling, May 18-21, Mississippi State Univ., Miss., USA: 51-70 (1981).
- [7] I. Rodriguez-Iturbe and J.M. Mejia, The design of rainfall networks in time and space. Water Resour. Res.,

- 10(4): 713-728 (1974).
- [8] R.L. Bras and I. Rodriguez-Iturbe, Network design for the estimation of areal mean rainfall events. *Water Resour. Res.*, 12 (6): 1185-1195 (1976).
- [9] R.L. Bras and R. Colon, Time averaged areal mean of precipitation: Estimation and network design. *Water Resour. Res.*, 14(5): 8878-8888 (1978).
- [10] J.P. Hughes and D.P. Lettenmaier, Data requirements for kriging: Estimation and network design. *Water Resour. Res.*, 17(6): 1641-1650 (1981).
- [11] A.H.M. Kassim and N.T. Kottekoda, Rainfall network design through comparative Kriging. *Hydrol. Sci. J.*, 36(3): 223-240 (1991).
- [12] G. Matheron, The theory of regionalized variables and its applications. *Ecol Des Mines Fontainebleau*, France (1971).
- [13] B. Ghahraman and A.R. Sepaskhah, Autographic rain-gage network design for Iran by Kriging. *Iran. J. Sci. Tech.*, 25(B4): 653-660 (2001).
- [14] M. Ashraf, J.C. Loftis and K.G. Hubbard, Application of geostatistics to evaluate partial weather station network. *Agric. Forest Meteorol.*, 84: 255-271 (1997).
- [15] T.S. Virdee and N.T. Kottekoda, A brief review of Kriging and its applications to optimal interpolation and observation well selection. *Hydrol. Sci. J.*, 29(4): 367-387 (1984).
- [16] P.K. Kitanidis and S. Kuo-Fen, Geostatistical interpolation of chemical concentration. *Advances in Water Resour.*, 19(6):369-378 (1996).
- [17] M.F. Snodgrass and P.K. Kitanidis, A geostatistical approach to contaminant source identification. *Water Resour. Res.*, 33(4):537-546 (1997).
- [18] R.A. Carlson and J.L. Osiensky, Geostatistical analysis and simulation of nonpoint source groundwater nitrate contamination: A case study. *Environmental Geosciences*, 5(4):177-186 (1998).
- [19] E.J. Pebesma and J.W. de Kwaadsteniet, Mapping groundwater quality in the Netherlands. *J. Hydrol.*, 200: 364-386 (1997).
- [20] A.W. Warrick, D.E. Myers and D.R. Nielsen, Geostatistical methods applied to soil science. In: A. Klute (ed.), *Methods of Soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods*, Agronomy Monograph No. 9, Soil Soc. of Amer., Madison, WI, USA, 53-82 (1986).
- [21] R. Webster, Quantitative spatial analysis of soil in the field. *Advances in Soil Science*, 3: 1-70 (1982).
- [22] P.K. Kitanidis, Geostatistics. In: D.R. Maidment (ed.), *Handbook of Hydrology*, McGraw-Hill Book Co., Chapter 20 (1993).
- [23] عسگری، ح.م.. ۱۳۸۰. تهیه نقشه های کاربردی از پارامترهای کیفی آب زیرزمینی شهر مشهد با استفاده از علم زمین آمار. *یابان نامه کارشناسی ارشد در رشته عمران گرایش آب*. دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد. ۲۰۸ ص.
- [24] Gamma Design Software, GS+, Geostatistics for the Agronomic and Biological Sciences, Version 1.1, 65p.
- [25] عودی، ق. ۱۳۷۳. *کیفیت آب آشامیدنی*. انتشارات محقق. ۱۵۰ ص.