نخستین کنگره بین المللی کاربرد علوم نوین در مطالعات جغرافیایی ایران
The 1st International Congress on Use of Modern Science in the study of geography of Iran

کاربرد GIS در بهینه سازی شبکه پایش آب زیرزمینی
مطالعه موردی دشت قایم شهر - جویبار

هوشنگ خیری*[1]، سحاب خادمی[2]، فاطمه محبوبی[3]

[1]استاد یار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان ، دامغان، (نویسنده مسئول) پست الکترونیکی: h.khairy@du.ac.ir
[2]دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، پست الکترونیکی:khademisahab@gmail.com
[3] کارشناس منابع آب، شرکت سهامی آب منطقه ای مازندران، پست الکترونیکی: f.mahbobi@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق با استفاده از قابلیت و توانمندی های GIS ، روشی جهت بهینه سازی شبکه پایش آب زیرزمینی ارائه شد. در این روش با استفاده از تکنیک زمین آمار موجود در الحاقیه Geostatistical Analyst از نرم افزار Arcgis درجه اهمیت هر چاه ارزیابی گردید. به منظور کاربرد و آزمایش روش پیشنهادی، دشت قائم شهر جویبار در استان مازندران مورد بررسی قرار گرفت. بهینه کردن شبکه‌ی پایش با این روش در دو مرحله انجام شده است، در مرحله اول با استفاده از نمودار Cross Validation چاههای که سطح ایستابی در آنها توسط سطح ایستابی چاه های مجاور با دقت کافی قابل تخمین زدن است از شبکه حذف شد و در مرحله ی دوم بر اساس نقشه های توزیع انحراف معیار تخمین در شبکه، چاه های مشاهده ای مناسب به شبکه اضافه گردید. در منطقه مورد بررسی شبکه فعلی دارای تراکم قابل قبولی است لذا در این تحقیق سعی گردید با روشهای زمین آماری و با تغییر آرایش شبکه در خصوص بهینه سازی آن اقدام گردد. در نهایت نتایج این مطالعات حاکی از آن است که استفاده از روش کریجینگ در تخمین توزیع سطح آب زیرزمینی، حدود ۱۱٪ سبب کاهش انحراف معیار نقشه های سطح آب گردیده به عبارتی دقت داده های تولیدی را افزایش داده است.

واژه های کلیدی: شبکه سنجش، بهینه سازی، زمین آمار، GIS ، آب زیرزمینی

مقدمه

جهت استمرار و یا توسعه بهره برداری از آب های زیرزمینی برای انواع مصارف و اهداف مختلف، ضرورت دارد که اطلاعات کافی از مجموعه ویژگی های کمی وکیفی آبخوان مورد نظر جمع آوری، ذخیره، تجزیه و تحلیل و نتیجه گیری شود ، برای رسیدن به این هدف، انجام عملیات پایش کمی و کیفی ضروری می باشد.

یکی از موضوعات اساسی پایش کمی آب زیرزمینی، اندازه گیری سطح آب زیرزمینی است که باید تا حد امکان با دقت بالایی اندازه گیری گردد یا تخمین زده شود. روش های معمول مورد استفاده با توجه به عدم کفایت آمار و اطلاعات موجود و کم بودن دقت روش ها، تخمین درستی را از سطح ایستابی ارائه نمی دهد.

از جمله روش های آماری که می توان برای تخمین متغیرهای مکانی از قبیل سطح ایستابی در هر منطقه به کار برد، روش زمین آمار است. بطور کلی تخمین زمین آماری فرآیندی است که طی آن می توان مقدار یک کمیت در نقاطی با مختصات معلوم را با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم به دست آورد . تفاوت اصلی بین این روش با آمار کلاسیک، این است که در آمار کلاسیک نمونه های گرفته شده از هر جامعه ی آماری مستقل از یکدیگر بوده و وجود یک نمونه هیچگونه اطلاعاتی درباره ی نمونه ی بعدی نمی دهد اما روش زمین آمار وجود همبستگی مکانی بین مقادیر یک متغیر در یک ناحیه را بررسی می کند(حسنی پاک، ۱۳۷۷، ۲۰).

درسالهای اخیر محققین زیادی از روش های آماری و زمین آماری جهت بهینه سازی شبکه های پایش کمی و کیفی استفاده نموده اند (معصومی و کراچیان، ۱۳۸۵، لی و ریویس، ۲۰۰۴، مارینونی ، ۲۰۰۳، اولینه،۱۹۹۹، یه و همکاران، ۲۰۰۶، گنجی خرم دل و همکاران،۱۳۸۷).

هدف از انجام این تحقیق بسط و توسعه یک روش بهینه سازی شبکه پایش با استفاده از روشهای زمین آماری به کمک سیستم اطلاعات مکانی (GIS) است، تا آنجاییکه شبکه حاصل به طور کافی مبین شرایط هیدرولوژیکی در منطقه مورد نظر باشد. روش استفاده شده در این مطالعه کمک می نماید تا به اندازه قابل توجهی میزان وقت و هزینه صرف شده در اندازه گیری سطح آب چاه های مشاهده ای کاهش و دقت داده های تولیدی افزایش یابد. جهت انجام این تحقیق الحاقیه Geostatistical Analyst از نرم افزار Arcgis مورد استفاده قرار گرفت.

مواد و روش ها

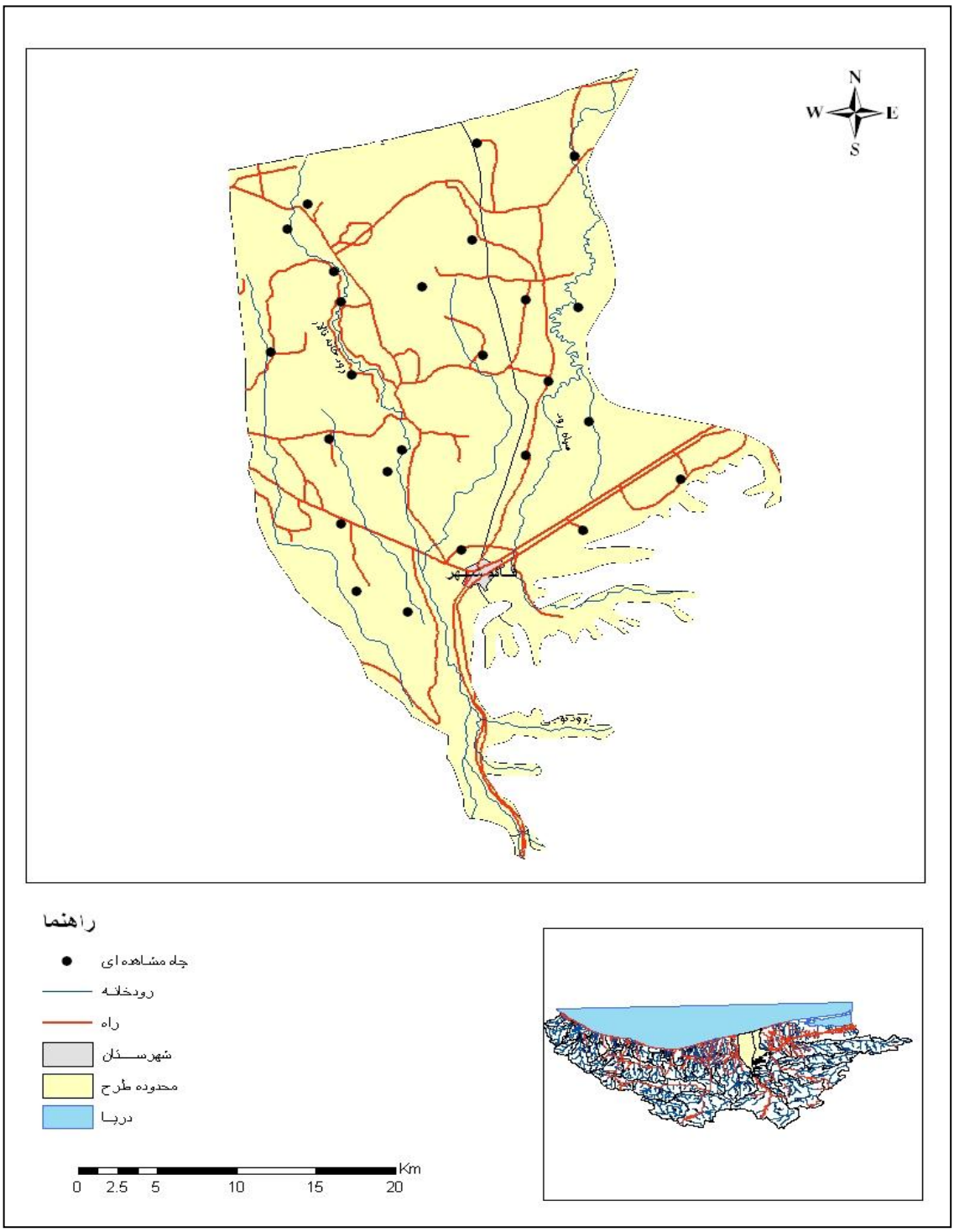
حدود و موقعیت جغرافیایی منطقه طرح

دشت قائم‌شهر – جویبار بخش جلگه ای محدوده مطالعاتی قائمشهر – جویبار در استان مازندران است که بین طولهای جغرافیایی ´۳۵ °۵۲ تا ´۲۳ °۵۳ شرقی و عرض های جغرافیایی ´۴۴ °۳۵ تا ´۴۷ °۳۶ شمالی قرار گرفته است. محدوده مورد نظر از غرب به حوزه آبریز بابلرود، از شرق به حوزه آبریز تجن، از شمال به دریای خزر و از جنوب به کوهپایه های سلسله جبال البرز محدود می گردد. (شکل ۱)

دشت قائمشهر – جویبار از نظر زمین شناسی در زون زمین شناسی گرگان – رشت قرار گرفته است.

منابع عمده تامین آب در منطقه به خصوص آب شرب، چاههای عمیق ، کم عمق و چشمه می باشند.

روند عمومی منحنی های تراز آب زیرزمینی در این دشت شرقی– غربی بوده و رقـوم آنهـا از جنـوب بـه شمال کاهش می یابد و جهت جریان آب زیرزمینی در این دشـت از جنـوب بـه شـمال مـی‌باشـد. (اطلـس مطالعات منابع آب حوزه آبریز رودخانه های مازندران ، ۱۳۸۵)



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه

شرح روش بهینه سازی شبکه چاههای مشاهده‌ای

با تو جه به اطلاعات موجود از منطقه ی مورد مطالعه که شامل نقشه ی منطقه، موقعیت چاههای بهره برداری و مشاهده ای و ارتفاع سطح ایستابی در چاه های مشاهده ا ی بوده است، طی مراحلی که در این بخش به آن اشاره خواهد شد اقدام به تعیین شبکه ی بهینه ی پایش آب زیرزمینی شد.

استخراج هیدروگراف چاه های منطقه و انتخاب سالهای خشک، متوسط و تر

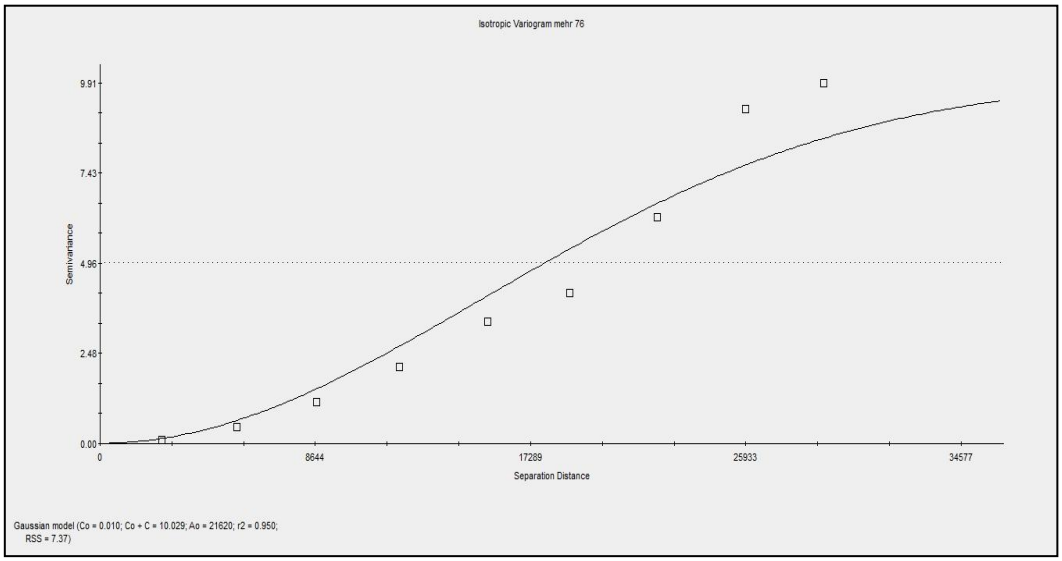
در اولین گام هیدروگراف چاه های منطقه ترسیم گردید، برای این کار از آمار مربوط به ۳۶ حلقه چاه مشاهده ای سالهای ۷۶- ۱۳۷۵ تا ۸۵ - ۱۳۸۴ که بیشتر بیانگر وضعیت سطح ایستابی فعلی دشت می باشد، استفاده شده است سپس با محاسبه ی متوسط سطح ایستابی در هر سال آبی ، سال ۷۹-۸۰، ۷۶-۷۷ و ۸۳-۸۴ به ترتیب به عنوان سالهای خشک، متوسط و تر انتخاب گردیدند.

انتخاب مدل و روش کار با آن

در این مرحله هدف بدست آوردن نیم‌تغییر نمای داده ها برای هر ماه می باشد، لذا نخست باید مدل نیم تغییرنمای مناسب انتخاب گردد. معیار انتخاب بهترین مدل، شکل منحنی و میزان انطباق با داده ها ، میزان ضریب همبستگی و نیز مجموع مربع باقیمانده ها می باشد، در واقع باید مدلی انتخاب گردد که کمترین خطا و بیشترین انطباق را با نقاط حاصله داشته باشد. به منظور انتخاب مدل مناسب اقدام به اجرای کلیه مدل های تغییر نمای موجود در الحاقیه Geostatistical Analyst در نرم افزار Arcgis شامل مدل های تغییر نمای خطی(Linear) ،خطی با آستانه (Linear to sill)، کروی (Spherical) ، نمایی (Exponential) و گوسی (Gaussian) و ..... گردیده است.

جهت انتخاب نیم تغییر نمای مناسب بعد از انتخاب هریک از مدل ها و بررسی شکل مدل ، اندیس های آماری ضریب همبستگی و مجموع مربع باقیمانده‌ها، اقدام به انتخاب مدل مناسب می گردد به این نحو که مدل بهترین برازش، ضریب همبستگی بیشرین مقدار و مجموع مربع باقیمانده ها کمترین مقدار را داشته باشند آن مدل، بهترین مدل برای داده ها خواهد بود لذا کلیه مراحل مذکور برای تمام داده های آماری مورد استفاده در طرح انجام شده و بهترین مدل برازش مدل گوسی انتخاب گردیده است.

شکل شماره ۲ بهترین مدل تغییر نما برای داده های مربوط به مهر ۱۳۷۶ را نشان میدهد ضمناً جدول شماره ۱حاوی اندیس های آماری منتج شده از اجرای بعضی از مدل های مذکور است همانطوری که از بررسی شکل ها و اندیس های آماری جدول مذکور مشخص است مدل تغییر نمای گوسی با حداقل میزان مجموع مربع باقیمانده ها (RSS= 7.37)و حداکثر ضریب همبستگی به میزان ۰,۹۵ درصد بهترین تناسب را برای داده داشته است لذا این مدل برای اجرای مراحل بعدی طرح انتخاب گردیده است.



شکل ۲- مدل تغییر نمای Gaussian مربوط به شبکه (مهر ۱۳۷۶)

جدول ۱- اندیس های آماری مربوط به مدلهای تغییر نما مربوط به مهر ۱۳۷۶

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C]	r2	RSS
Spherical	0.0100	10.0290	49520.00	49520.00	0.999	0.924	18.1
Exponential	0.0100	10.0290	24900.00	74700.00	0.999	0.871	29.0
Linear	0.0100	10.0280	34570.00	34570.00	0.999	0.948	13.8
Linear to sill	0.0100	10.0280	34570.00	34570.00	0.999	0.948	13.8
Gaussian	0.0100	10.0290	21620.00	37446.94	0.999	0.950	7.37

Refit | Apply | Print | Cancel | Exit

آنالیز نیم تغییر نما

اساس تعدادی از روش های زمین آماری، از جمله روش بکار رفته در تحقیق حاضر بر نیم‌تغییرنما استوار است . واریانس متغیر بین نقاطی به فاصله‌یh از یکدیگر، می تواند همبستگی متقابل مقدار متغیر تصادفی را بین این نقاط نشان دهد . در صورت وجود ساختار مکانی، طبیعی است که همبستگی در نقاط نزدیک به هم بیشتر از نقاط دور از هم است. اگر واریانس بین نقاطی به فاصله یh ، کوچک باشد، نشانه ی همبستگی بیشتر بین آن نقاط است. این واریانس وابسته به فاصله را تغییرنما می نامند و با $2\gamma(h)$ نشان می دهند . هدف اصلی از برقرار کردن تابع تغییرنما این است که بتوان ساختار تغییرپذیری متغیر را نسبت به فاصله ی مکانی یا زمانی شناخت.

تابع نیم‌تغییرنما، تغییرات یک پارامتر را با در نظر گرفتن فاصله به صورت زیر نشان می دهد:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E\{[Z(x+h) - Z(x)]^2\} \quad (۱)$$

که در آن :

Z(X) و Z(x+h) : مقدار متغیر ناحیه ای در نقاط x و x+h

E : امید ریاضی (مقدار قابل انتظار)

با استفاده از معادله (۱) می توان تخمینی از مقدار نیم‌تغییر نمای تجربی را به صورت زیر به دست آورد:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \quad (۲)$$

که در آن N(h) تعداد جفت نمونه های به کار رفته به ازای هر فاصله ی h است (حسنی پاک، ۱۳۷۷).

رسم منحنی Cross Validation

برای این منظور ابتدا می بایست بهترین و مناسب ترین روش زمین‌آمار را در منطقه انتخاب کرد و سپس با توجه به روش مناسب انتخاب شده، نسبت به بهینه سازی شبکه با نمودار Cross Validation اقدام نمود. روشهای آماری موجود در نرم افزار ARCGIS شامل انواع متد های کریجینگ (Kriging) ، متدهای وزنی (Weighting method) و اسپیلاین (Spline) می باشند که در این تحقیق مورد مقایسه قرار گرفته اند، چه از نظر مقایسه بصری و چه از نظر اندیسهای آماری ، ضریب همبستگی و خطای استاندارد، روش کریجینگ نقطه ای مناسب تر از روشهای دیگر موجود بوده لذا این روش برای بهینه سازی شبکه سنجش انتخاب گردیده است (جدول۲).

با توجه به اطلاعات بدست آمده از نیم‌تغییرنمای مربوط به شبکه و با استفاده ازمعادلات زمین آمار، می توان منحنی Cross Validation را بدست آورد. این منحنی مقایسه ی مقدار مشاهده ای یا واقعی را با مقدار تخمینی سطح ایستابی ممکن می سازد. روش کار به این صورت است که مقدار سطح آب زیرزمینی در هر نقطه مشاهده ای، با استفاده از کلیه اندازه گیری های میدانی (به غیر از خود آن نقطه) محاسبه میشود. این کار برای تمام چاههای مشاهده ای تحت آزمایش، تکرار می شود و اختلاف های بین اندازه گیریهای میدانی و مقادیر تخمینی ثبت می شوند، بر اساس اختلاف اندازه گیری شده بین مقادیر مشاهده ای و تخمینی، هر نقطه (چاه) دارای یک شاخص اولویت خواهند شد. هر چه این اختلاف بزرگتر باشد، حاکی از این است که آن نقطه و یا نقاط دارای اولویت بالاتری هستند تا اینکه در سنجش های آتی مد نظر قرار بگیرند. نقطه ای که دارای کوچکترین اختلاف عددی باشد، دارای بالاترین شاخص اولویت خواهد بود و به سادگی مشخص است که مقدار مشاهده شده درآن نقطه، با دقت از روی بقیه نقاط تخمین زده خواهد است بنابراین این چاهها در آینده نیازی به اندازه گیری نخواهند داشت و دارای اولویت کمتری برای سنجش های آتی خواهند بود. شکل ۲ **نمودار cross validation کل شبکه را با روش کریجینگ نقطه ای مربوط به مهر ۱۳۷۶ نشان می دهد.** در نمودار، خط موجود y=x می باشد که معیاری برای تعیین دقت یا عدم دقت تخمین درچاه

های مختلف شبکه است. نقاط نزدیک یا واقع برخط نشان دهنده ی تخمین دقیق از مقدار واقعی و نقاط دور از خط نشان دهنده اختلاف مقدار واقعی و مقدار تخمینی در نقاط مورد نظر هستند.

علاوه بر معیار مذکور میزان نوسانات سطح آب در یک چاه در طول یک سال نیز در انتخاب بهترین اولویت اثرگذار است بدین نحو که در صورت برابر بودن شرایط قبلی چاهی که نوسانات سالانه بیشتری را نشان می دهد در اولویت بالاتر قرار خواهد داشت، بدین منظور در مرحله بعدی جهت هم مقیاس شدن داده های سطح آب در چاههای مختلف به دلیل نوسات متفاوت سطح آب ، از فرمول زیر استفاده شد.

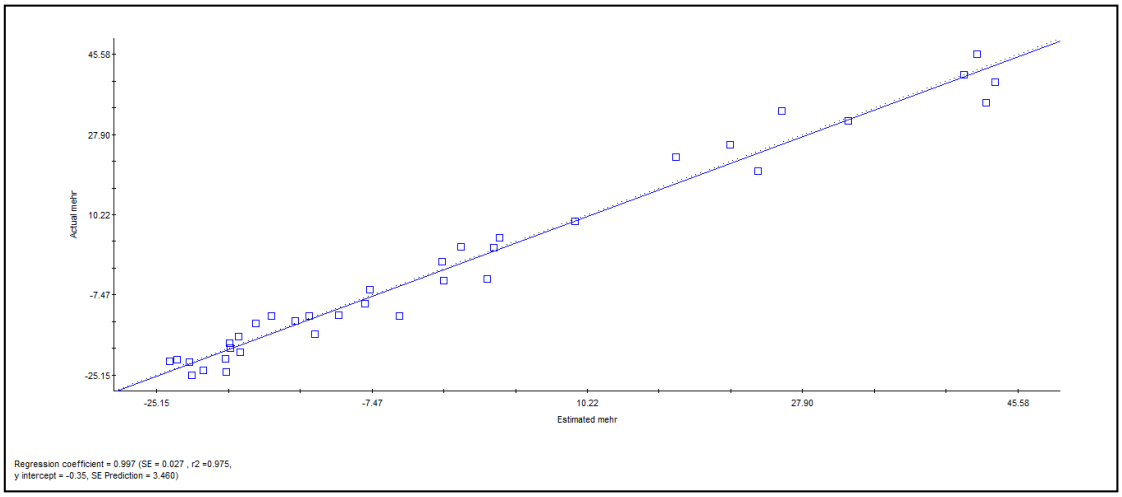
رابطه (۳):

$$\left| \frac{Zact - Zest}{Z\max - Z\min} \right|$$

Zact: ارتفاع سطح آب اندازه گیری شده ، Zest: ارتفاع سطح اب اندازه گیری شده ، Zmax: ماکزییم سطح آب، Zmin: مینیمم سطح آب

نتیجه این یکسان سازی تولید داده ای خواهد بود که در نهایت جهت اولویت بندی چاه ها برای وجود یا عدم وجود در شبکه سنجش مورد استفاده قرار می گیرد.

شکل ۲- نمودار نتایج cross validation شبکه با روش کریجینگ نقطه ای(مهر ۱۳۷۶)



جدول ۲- اندیسهای آماری مربوط به روشهای مختلف زمین آمار (مهر ۱۳۷۶)

ردیف	روش زمین امار	ضریب همبستگی	خطای استاندارد	انطباق خط x=y با بهترین خط برازش
۱	کریجینگ	**۰,۹۷۵**	**۰,۰۲۷**	**خیلی خوب**
	وزنی فاصله معکوس	۰,۸۹۹	۰,۰۹۸	نامناسب
	وزنی فاصله مستقیم	۰,۵۸۸	۰,۲۹۹	نامناسب
	اسپیلاین	۰,۹۵	۰,۰۵۲	خوب

تولید نقشه

از دیگر قابلیتهای این نرم افزار ارائه اطلاعات حاصل از تجزیه و تحلیل های انجام شده بر روی نقشه است. این نقشه علاوه بر آن که محل نقاط اندازه گیری را به ما نشان می دهد دارای دو قابلیت زیر است :

۱- تخمینی از سطح ایستابی در سرتاسر نقاط شبکه ارائه می کند.

۲- انحراف معیار تخمین را در نقاط مختلف شبکه تعیین می نماید.

لذا با توجه به روش زمین آمار انتخابی (کریجینگ) نقشه های سطح آب و انحراف معیار تخمین برای ماههای مختلف تهیه گردیده که از این نقشه ها در اضافه کردن چاه به شبکه استفاده شد.

حذف چاه های اضافی

نمودار Cross Validation به خوبی گویای میزان اختلاف مقدار واقعی و مقدار تخمینی سطح ایستابی در هر یک از چاه های شبکه می باشد، لذا می توان چاه هایی را که این اختلاف در آنها کمتر است از شبکه حذف کرد به این دلیل که میزان سطح ایستابی در این چاه، با استفاده از چاههای مجاور با دقت خوبی قابل تخمین است. اما در این میان میزان نوسانات سطح آب در طول یکسال آبی در هر چاه نیز در انتخاب چاه محذوف مؤ ثر است، بدین معنی که بین دو چاه که اختلاف مقادیر واقعی و تخمینی آنها تقر یباً برابر است، چاهی برا ی حذف از شبکه انتخاب میگردد که میزان نوسانات سطح ا یستابی درآن چاه بیش از چاه دوم است. برای اینکه بتوان این مقایسه را بین تمام چاههای منطقه انجام داد، باید نسبت اختلاف بین مقادیر واقعی و تخمینی به اختلاف بین سطح ایستابی حداکثر و حداقل را محاسبه نمود . در هر چاهی که نسبت یاد شده کمتر باشد، چاه مورد نظر بر ای حذف ارجح تر از سایر چاه ها است. نکته ی مورد توجه دیگر در مورد حذف چاه از شبکه این است که نباید با استدلال اینکه دو یا چند چاه شرایط حذف از شبکه را دارند، همزمان اقدام به حذف آنها کرد، بلکه باید به صورت مجزا چاه اول را حذف و مجدداً شبکه را آنالیز نمود تا تاثیر حذف این چاه بر میزان تخمین سطح ایستابی چاه های دیگر مشخص شود. در این حالت ممکن است، حذف اولین چاه، دقت تخمین را در سایر نقاط کاهش دهد، به صورتی که تعداد نقاط محذوف از شبکه نیز کاهش یابد.

افزودن نقاط جدید

پس از مشخص شدن نقاطی که باید از شبکه ی اولیه حذف شوند، باید نقاط جدید شبکه را برای رسیدن به شبکه ی بهینه مشخص نمود. نقاط زیادی در دشت وجود دارند که می توانند به عنوان محلی برای افزودن یک چاه جدید به شبکه در نظر گرفته شوند، ولی تمام این نقاط، نقاط مطلوب مورد نظر ما نیستند. برای مشخص کردن محل هایی که به عنوان نقاط پیشنهادی اولیه انتخاب و تجزیه و تحلیل های مربوطه روی این نقاط انجام شده و جواب نهایی نیز از بین این نقاط انتخاب می شود، به صورت زیر عمل شده است :

در ابتدا نقاطی که اطلاعات آنها تاثیری در برآورد توزیع مکانی سطح آب زیرزمینی ندارد و یا اطلاعات درستی بدست نمی دهد، از شبکه حذف شدند. برای انجام این کار باید ابتدا کل منطقه ی دشت را شبکه بندی نمود شبکه بندی دشت در ابعاد ۲/۵ × ۲/۵ کیلومتر در محیط نرم افزار ARCGIS صورت گرفته

است. از مرزهای دشت تا فاصله ی یک کیلومتر به سمت داخل دشت و از رودخانه های جاری در دشت به فاصله ی ۵۰۰ متر از سواحل رودخانه، مناطقی هستند که با توجه به اینکه نوسانات سطح آب در چاه های احتمالی در این نقاط تحت تاثیر پارامترهایی مثل آبدهی رودخانه یا جریانات زیرزمینی مناطق مجاور قرار دارد، باید چاه هایی را که در این مناطق قرار می گیرند حذف کردکه عملیات با استفاده از تکنیک های GIS از محدوده حذف می گردد.

برای انتخاب چاه در محدوده ۲/۵ × ۲/۵ کیلومتر، مرکز ثقل این محدوده به عنوان محل چاه مورد نظر انتخاب می شود. برای بالا بردن دقت، می توان ابعاد شبکه بندی دشت را کوچکتر انتخاب نمود تا تعداد نقاط بیشتری به عنوان نقاط مناسب برای محل چاه ها وجود داشته باشد. در ضمن نقاطی که درمحدوده ی سازندها قرار می گیرند و همچنین نقاطی که در محدوده ی اثر چاه های بهره برداری قرار می گیرند نیز به عنوان نقاط نامناسب حذف می شوند، زیرا برداشت آب از چاه های بهره برداری، سطح آب چاهی را که در شعاع تاثیر آن قرار گیرد به شدت تغییر می دهد.

با توجه به نقاط مطلوب حاصله مشخص می گردد که اضافه کردن چاه مسئله بسیار مشکل تری است، زیرا ترکیب های مختلفی از محل و تعداد چاه ها را می توان درنظر گرفت لذا با توجه به نقشه ی انحراف معیار تخمین، در سطح شبکه، می توان در محدوده ای نقاط اضافی را در نظرگرفت که با افزایش نقاط در این مناطق، انحراف معیار تخمین کاهش یابد. با توجه به افزایش انحراف معیار تخمین مشخص می گردد که در نقطه ی مورد نظر در صورت استفاده از تخمین با کمک چاه های مجاور، دقت تخمین کم خواهد بود. لذا در این محل نیاز به حفر چاه و قرائت سطح ایستابی وجود خواهد داشت. با توجه به اینکه پیش از این، نقاط محذوف نیز انتخاب شده اند، شبکه ی بهینه ی پایش حاصل می گردد.

نتایج و بحث

در این تحقیق برای پایش سطح ایستابی از آمار سطح ایستابی ۳۶ حلقه چاه مشاهده ای استفاده شده است. برای تعیین شبکه ی بهینه پایش، با استفاده از روش زمین آماری تعدادی چاه از شبکه ی قدیم حذف و تعدادی چاه در موقعیت مکانی جدید به شبکه اضافه می شود تا شبکه ی جدید پایش حاصل گردد. قابل ذکر است که از این ۳۶ جلقه چاه مشاهده ای ۲۶ حلقه مربوط به منطقه طرح بوده و بقیه چاهها مربوط به محدوده های مجاور آن (آمل – بابل و ساری- نکا) بوده که به علت پیوستگی آبخوان از آنها استفاده گردیده و در خصوص بهینه بودن آنها هیچگونه اقدامی صورت نگرفته است .

حذف چاه

با توجه به تحلیل های انجام گرفته بر روی شبکه اولیه، خروجی های مدل و استخراج نسبت قدرمطلق اختلاف مقادیر واقعی و شبیه سازی شده به اختلاف مقادیر حداکثر و حداقل سطح آب سالانه، در تمام چاههای شبکه اولیه و برای تمام ماههای سه سال آبی خشک، متوسط و مرطوب چاههای مورد نظر جهت حذف از شبکه انتخاب گردیدند ، در جدول (۳) محاسبات این نسبت برا ی تمام چاه ها در دیماه سال

۱۳۷۶ ارائه شده و چاه انتخاب شده برای حذف از شبکه مشخص گردیده ا ست . برای تمام ماه های سه سال، این نسبت استخراج و بر اساس آن چاه یا چاه های محذوف انتخاب شدند،در واقع در هر یک از ماههای مورد آزمایش یک چاه به عنوان بهترین مورد برای حذف از شبکه انتخاب گردیده است و با توجه به تعداد دفعاتی که یک چاه شرایط برای حذف شدن را داشته باشد رده بندی صورت گرفته است. جدول (۴) نتایج رده بندی چاهها جهت انتخاب چاه محذوف از شبکه در مرحله اول را نشان می دهد (منظور از تعداد، تعداد دفعاتی است که چاه مورد نظر بهترین انتخاب برای حذف از شبکه بوده است و منظور از درصد، درصد دفعات اول شدن چاه مورد نظر می باشد). با توجه به جدول (۴) چاه تازه آباد بابلسر بهترین انتخاب برای حذف از شبکه است.

برای انتخاب چاه دوم به صورت مجزا چاه اول را حذف و مجدداً شبکه آنالیز گردیده و چاه دوم انتخاب شد که جدول (۵) نتایج رده بندی مرحله دوم رانشان می دهد لذا چاههای تازه آباد و قاضی محله زیارمحله جهت حذف از شبکه انتخاب گردیدند که سطح آب آنها از طریق داده های چاههای دیگر موجود در شبکه با تخمین مناسب قابل برآورد می باشد.

مسلماً همیشه بهینه سازی به معنی افزایش دقت نیست و در فرایند بهینه سازی، دقت قابل قبول به همراه هزینه های کمتر و منافع اقتصادی بیشتر از اهداف اصلی طرح می باشد لذا در این تحقیق نیز مسلماً حذف هر چاه در شبکه سبب کاهش دقت داده های تولید شده (نقشه ها) خواهد شد به منظور بررسی دقیق میزان تغییرات خطا در روش زمین آمار از داده های مربوط به نقشه های انحراف معیار تولیدی استفاده گردید و نتایج تغییرات انحراف معیار در شرایط قبل از حذف چاهها، در شرایط حذف یک حلقه چاه و در حالت حذف دو حلقه چاه به تفکیک کلیه ماههای اجرای مدل و نیز میانگین خطا محاسبه گردید. نتایج حاکی از آن است که در حالت حذف یک چاه و دو چاه به ترتیب ٪۱,۶ و ٪۱۲,۶به میزان خطا افزوده شد.

افزودن چاه

بعد از شبکه بندی دشت در ابعاد ۲/۵×۲/۵ کیلومتر و حذف مناطق نامناسب جهت جانمایی چاهها که در فصل قبل به آنها اشاره شد از نقشه های تراز و انحراف معیار خروجی مدل (بعد از حذف چاهها) جهت اضافه نمودن چاهها استفاده گردید. (شکل ۳ و ۴)

افزودن چاه به شبکه به روش سعی وخطا با استفاده از نقشه انحراف معیار مذکور صورت پذیرفته است بدین ترتیب که، در مراکزی از شبکه طراحی شده که بر روی نقشه دارای انحراف معیار بزرگتری بوده و همچنین معیارهای استقرار چاه را داشته،نقاط انتخاب گردیدند، نکته قابل توجه اینکه در مرحله افزودن چاه نیز بهتر است ابتدا یک چاه اضافه گردد و سپس با تکرار مراحل قبلی و تهیه نقشه های مربوطه بهترین محل (محلی با بیشترین انحراف معیار) برای افزودن چاه بعدی انتخاب گردد به این روش دو حلقه چاه شمال شرق شورک و شمال ترجیکلا برای افزودن به شبکه انتخاب گردید (جدول۷). قابل ذکر است که به دلیل تراکم مناسب چاهها در شبکه سنجش سطح آب زیرزمینی منطقه طرح (هر ۲۲ کیلومترمربع یک حلقه چاه) همان تعداد چاه که از شبکه حذف گردید به همان تعداد به شبکه چاه اضافه شد. در صورتی که هدف ،

افزایش دقت بیشتر باشد می توان تعداد بیشتری چاه را به شبکه اضافه کرد ضمن اینکه جهت مطالعات منطقه ای تراکم موجود کافی و مورد قبول می باشد.

جدول ۳- نتایج بدست آمده از نمودار cross validation جهت حذف چاهها مرحله اول (دی ۱۳۷۶)

$\left\lvert\frac{Zact - Zest}{Z\max - Z\min}\right\rvert$	zact-zest	zmax-zmin	z_est	z_act	name	id
0.101736973	0.41	1.7	-21.87	-21.46	تازه آباد بابلسر	2
0.101736973	0.41	1.21	-12.11	-11.7	قادی محله - زیار محله	22
0.153846154	0.62	2.21	-12.97	-12.35	مخزن جویبار	19
0.156327543	-0.63	1.08	9.5	8.87	پشت سیم	6
0.263027295	1.06	3.57	-6.6	-5.54	صیدکلا	20
0.275434243	1.11	1.51	30.18	31.29	قراخیل	9
0.277915633	1.12	1.24	-22.62	-21.5	لا ریم	21
0.35483871	1.43	1.74	-17.52	-16.09	اسماعیل کلا ی بزرگ	13
0.41191067	-1.66	4.1	-9.49	-11.15	فوتم سفلی	17
0.498759305	2.01	1.95	-18.74	-16.73	ذغال منزل	15
0.543424318	-2.19	1.48	-17.56	-19.75	دینه سرگالش کلا	7
0.565756824	-2.28	2.17	-18.73	-21.01	منگلا ف	5
0.607940447	2.45	2.14	-23.51	-21.06	عرب خیل	3
0.660049628	2.66	4.03	-16.09	-13.43	بیشه سرنی کلا	1
0.724565757	-2.92	1.74	-0.4	-3.32	سمناکلا	11
0.933002481	3.76	4.07	3.69	7.45	قادی کلا نوکنده کاو	18
0.950372208	3.83	4.1	0.81	4.64	آهنگرکلا تالا رپی	10
0.985111663	3.97	1.74	-15.2	-11.23	ملا کلا	8
1.255583127	-5.06	2.35	45.09	40.03	افرا	12
1.449131514	-5.84	0.92	-18.12	-23.96	میان ملک	16
1.473945409	-5.94	1.55	3.26	-2.68	تیرکلا ماچک پشت	24
1.491315136	6.01	0.8	27.29	33.3	کوچک سرا	14
1.625310174	-6.55	2.41	-4.54	-11.09	موذی گله	4
1.687344913	6.8	1.49	16.46	23.26	رودپشت	25
1.913151365	-7.71	2.43	28.29	20.58	قادی کلا ارطه	23

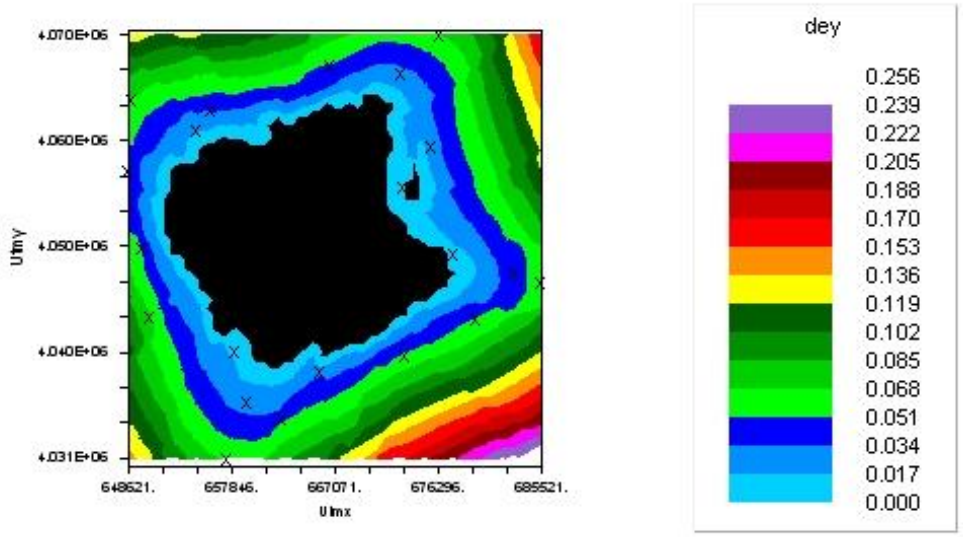
جدول ۴- نتایج رده بندی چاهها برای انتخاب چاه محذوف در مرحله اول

شماره چاه	نام چاه	تعداد	درصد	اولویت حذف از شبکه
۲	تازه آباد	۱۳	۳۶,۱	۱
۹	قراخیل	۷	۱۹,۴	۲
۲۰	صیدکلا	۵	۱۳,۹	۳
۲۲	قاضی محله زیارمحله	۳	۱۹,۴	۴
۱۰	آهنگر کلا طالار پی	۳	۸,۳	۵
۱۳	اسماعیل کلا بزرگ	۲	۵,۶	۶
۱۹	مخزن جویبار	۱	۲,۸	۷
۱۷	فوتم سفلی	۱	۲,۸	۸
۶	پشت سیم	۱	۲,۸	۹

جدول ۵- نتایج رده بندی چاهها برای انتخاب چاه محذوف در مرحله دوم

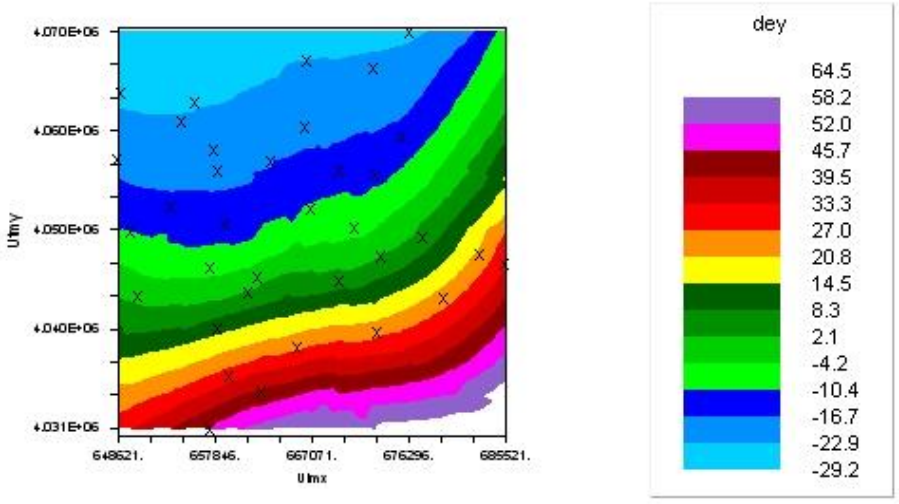
شماره چاه	نام چاه	تعداد	درصد	اولویت حذف از شبکه
۲۲	قاضی محله زیارمحله	۸	۲۲	۱
۲۰	صیدکلا	۵	۱۳,۹	۲
۹	قراخیل	۵	۱۳,۹	۳
۱۹	مخزن جویبار	۵	۱۳,۹	۴
۶	پشت سیم	۴	۹	۵
۱۰	آهنگر کلا طالار پی	۴	۹	۶
۱۷	فوتم سفلی	۲	۴,۵	۷
۷	دینه سرگالش کلا	۲	۴,۵	۸
۱۸	قادیکلا نوکنده کاو	۱	۲,۸	۹

همانند مراحل حذف چاهها، بعد از افزودن هر یک از چاهها به شبکه میزان تغییرات انحراف معیار مورد بررسی قرار گرفته که نتایج داده مربوط حاکی از بهبود وضعیت آبخوان بعد از افزودن چاهها نسبت به شرایط اولیه شبکه است به عبارتی با جابجایی دو حلقه چاه در شبکه، میزان خطای انحراف معیار نسبت به شرایط اولیه شبکه به میزان ۱۱٪ کاهش یافته است لذا با توجه به اینکه تعداد چاهها ی موجود نسبت به شرایط اولیه تغییر نکرده و فقط شاهد جابجایی دو حلقه چاه بودیم و میزان انحراف معیار کل به میزان ۱۱٪ کاهش را نشان می دهد لذا کیفیت داده های تولیدی بهتر گردیده است و در واقع شبکه به حالت بهینه نزدیک تر گردیده است



شکل۳-

نقشه توزیع انحراف معیار برای شبکه بعد از مرحله حذف چاهها (دی ۱۳۷۶)



شکل ۴- نقشه خطوط هم تراز سطح ایستابی بعداز مرحله حذف چاهها (دی ۱۳۷۶)

نتیجه گیری

در این تحقیق پیشنهاد حذف یا اضافه نمودن چاه ها تنها با استفاده از روشهای زمین آماری صورت گرفته و معیار حذف یک چاه از شبکه امکان تخمین دقیق سطح ایستابی در آن چاه با استفاده از اطلاعات چاههای مجاور بوده است.

در بررسی کلیه مدلهای موجود و اجرای آنها با داده ها مورد نظر، مدل گوسی بهترین برازش منحنی ها و کمترین خطا را داشته و مدل مناسب برای محدوده مورد مطالعه می باشد.

نتایج این مطالعات حاکی از آن است که استفاده از روش Kriging نسبت به روش های NDW ، IDW و Spline در تخمین سطح آب زیرزمینی مناسب تر بوده و موجب ارائه دقیق تر مقادیر ارتفاع سطح آب زیرزمینی در نقاط فاقد اندازه گیری می شود.

چاههای موجود در شبکه محدوده طرح از تراکم تقریباً مناسبی برخوردار می باشد ولی از نظر آرایش در شرایط کاملاً بهینه نبودند که در این تحقیق در خصوص بهینه سازی آن اقدام شد.

نتایج حاصل از این تحقیق می تواند در تهیه نقشه های سطح آب زیرزمینی با استفاده از برنامه های کامپیوتری(نرم افزار های GIS) مورد استفاده قرار گیرد بدین نحو که به جای تهیه نقشه از روشهای ترسیم دستی با استفاده از نرم افزارهای GIS و از روش کریجینگ با مدل گوسی اقدام به تهیه نقشه های سطح آب گردد این روش ضمن افزایش سرعت در تهیه نقشه ها، دارای دقت بیشتری نیز می باشد.

تنها استفاده از روشهای زمین آمار و مدل های کامپیوتری برای تعیین شبکه بهینه کافی نیست، لذا پیشنهاد می گردد برای رسیدن به نتایج دقیق تر، موقعیت فیزیکی منطقه و تأثیرات پارامترهای مختلف بر کمیت مورد اندازه گیری نیز با نتایج حاصل از تخمین ترکیب گردد.

استفاده از روش زمین آمار جهت بهینه سازی شبکه سنجش در شرایط یکسان با روش سنتی از نظر تعداد چاهها در این تحقیق حدود ۱۱٪ سبب کاهش انحراف معیار نقشه های سطح آب گردیده است به عبارتی دقت داده های تولیدی را افزایش داده است.

فهرست منابع

۱) حسنی پاک، ع. ا ، ۱۳۷۷، زمین آمار(ژئواستاتیستیک)، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۱۴ ص.

۲) شرکت سهامی آب منطقه ای مازندران، ۱۳۸۵، گزارش اطلس مطالعات منابع آب حوزه آبریز رودخانه های مازندران .

۳) گنجی خرم دل، ن، محمدی، ک و منعم، م ج. ۱۳۸۷. بهینه سازی شبکه چاههای مشاهده ای برای تخمین بیلان با روش نوسان دوگانه سطح آب زیرزمینی، مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) جلد ۲۲، شماره۲، صفحه ۳۵۸ تا ۳۷۰.

۴) معصومی، ف و کراچیان، ر. ۱۳۸۵. ارزیابی سیستمهای پایش کیفی منابعآب زیرزمینی با کاربرد تئوری آنتروپی گسسته-مطالعه موردی آبخوان تهران، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، اصفهان، ۴-۳ بهمن.

5. Li, L., & Revesz, P. (2004). Interpolation methods for spatio-temporal geographic data. Computers, Environment and Urban Systems, 28(3), 201-227.
6. Marinoni, O. 2003. Improving geological models using a combined ordinary – indicator kriging approach, Engineering Geology. 69, 37–45.
7. Olea, R. and Davis, J. 1999. Optimizing the High Plains aquifer water-level observation network, K.G.S. Open File Report. 1999-15.

8. Yeh, M.S. Lin, Y.P. and Chang, L.C. 2006. Designing an optimal multivariate geostatistical groundwater quality monitoring network using factorial Kriging and genetic algorithms, Environmental Geology. 50, 101-121.