

بهینه سازی شبکه پایش سطح آب زیرزمینی در دشت تبریز با استفاده از روش زمین آمار

فائزه فروغی^۱، محسن رضایی^۲

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشگاه خوارزمی تهران foroghifaeze@ymail.com

۲- استادیار گروه زمین شناسی، دانشگاه خوارزمی تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۲/۳۱ تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۱۲/۸

چکیده

در این مقاله از روش های زمین آمار برای بهینه سازی شبکه چاه های پایش آبخوان دشت تبریز در شمال غربی ایران استفاده گردیده است. شبکه موجود چاه های مشاهده ای در دشت تبریز از ۱۵۶ حلقه چاه تشکیل گردیده و از توزیع بهینه ای برخوردار نیستند. برای بهینه سازی از اطلاعات شبکه موجود چاه های مشاهده ای و شبکه کمی و کیفی آبخوان استفاده شده است. ضمن مقایسه مدل های مختلف زمین آمار در شبیه سازی تغییرات تراز آب در دشت تبریز و انتخاب بهترین مدل تلاش گردیده است تا با استفاده از سه شیوه کاهش، افزایش و تغییر مکان چاه ها اقدام به بهینه سازی شبکه چاه های موجود گردد. نتایج بدست آمده نشان داد که با کاهش تعداد چاه های شبکه و با تعدادی معادل ۶۴٪ شبکه حاضر می توان با تخمین قابل قبولی سطح آب را در مناطق فاقد آمار پیش بینی نمود. افزایش تعداد چاه ها تاثیر چندانی را در بهبود معیارهای آماری ایجاد ننمود ولی تغییر محل ۳/۴٪ چاه ها باعث می شود تا حدی دقت برازش کریجینگ به داده ها کاهش یابد.

واژگان کلیدی: بهینه سازی، پایش تراز آب زیرزمینی، شبکه چاه های مشاهده ای، کریجینگ

مقدمه

چنانچه محل های نمونه برداری خیلی زیاد باشند اطلاعات بدست آمده زاید بوده و شبکه پایش پر هزینه و ناکارا خواهد بود. دو دیدگاه اصلی در بهینه سازی شبکه پایش وجود دارد؛ دیدگاه احتمالاتی و دیدگاه هیدروژئولوژیکی. روش احتمالاتی مورد استفاده برای طراحی شبکه پایش بر اساس کریجینگ (kiriging) و تغییر نما (variogram) مدل پایه گذاری شده است. اشکال این روش این است که در آن فقط تغییرات مکانی داده بدون در نظر گرفتن سیستم

شبکه پایش کمی و کیفی آب های زیرزمینی یک گام ضروری در تشریح سیستم آب های زیرزمینی است و یک شبکه پایش می تواند اطلاعات کمی و کیفی لازم برای انجام تحقیق درباره کیفیت و کمیت محیطی فراهم بیاورد. یک سیستم پایش با طراحی صحیح نماینده ایی از کمیت و کیفیت آبخوان مورد مطالعه خواهد بود. از یک طرف توزیع نامناسب محل های پایش یا تعداد ناکافی آن برداشت درستی از پارامتر مورد سنجش را فراهم نخواهد کرد و از طرف دیگر

هیدروژئولوژیکی بررسی می شود و چنانچه سیستم در نقاطی دارای ریسک آلودگی نباشد، ضرورتی به انجام نمونه برداری در نقاط دارای واریانس بالای کریجینگ نیست.

زمین آمار فرآیندی است که طی آن می توان مقدار یک کمیت را در نقاطی با مختصات معلوم بدست آورد. در زمین آمار از روش های متنوعی برای تخمین مقدار یک متغیر در یک مکان معین استفاده می شود در هر روش برای تخمین متغیر مورد نظر از یک تخمین گر استفاده می شود. معروف ترین تخمین گر در علم زمین آمار کریجینگ نام دارد. محققین مختلفی از این روش در جهت بهینه سازی شبکه پایش استفاده نموده اند. حسام بالوشا (Husam Baalousha) در سال ۲۰۰۹ در ناحیه Heretaunga Plains, New Zealandfh با ترکیب نقشه های آسیب پذیری و زمین آمار، روش جدیدی را پیشنهاد کرد که به بهینه سازی شبکه پایش کیفی منابع آب زیرزمینی در مقیاس منطقه ای کمک می کرد [7].

ناصر گنجی خرم دل، کورش محمدی و محمد جواد منعم (۱۳۸۷) روشی جهت بهینه نمودن شبکه پایش به طوری که بتوان بیلان آب زیرزمینی را با دقت مناسب تخمین زد، ارائه دادند. ییلماز ایکاگا (YILMAZ ICAGA) در سال ۲۰۰۴ برای فرآیند انتخاب ترکیب بهینه ایستگاه ها را به منظور کاهش تعداد ایستگاه ها از ۳۳ به ۱۴ در شبکه پایش کیفی آب در حوضه رودخانه Gediz با استفاده از یک روش بهینه سازی انجام گردید [9]. لیلانیک رو (۱۳۸۶) از روش های زمین آماری به عنوان یکی از روش های مناسب برای درون یابی متغیرهای ناحیه ای استفاده

کرد که از میان آنها روش کریجینگ بهترین تخمینگر نا اریب خطی می باشد [2]. گریکیا (Garcia) و همکاران (۲۰۰۶) هدف از استفاده از روش های زمین آماری در تحقیق خود را تهیه یک نیم تغییرنا (Semi-variogram) از خصوصیات سفره آب زیرزمینی دانستند آنها نیم تغییرنا را بیشتر یک شبیه سازی از الگوی تغییرات مقدار افت هیدرولیکی اندازه گیری شده در مدل جریان آب زیرزمینی می دانند [13].

احمدی و صدق آمیز (۲۰۰۷) در دشت تبریز دقت مدل های کریجینگ و کوکریجینگ برای تراز آب زیرزمینی را مورد مقایسه قرار دادند و نتایج نشان داد که روش کریجینگ از دقت بیشتری برخوردار است [7].

در این مقاله سعی شده است با کاربرد این روش شبکه پایش سطح آب زیرزمینی در دشت تبریز مورد بررسی و از نظر تعداد و محل قرارگیری چاه های مشاهده ای بهینه سازی گردد.

مواد و روش ها

اطلاعات مربوط به تعداد ۱۵۴ چاه مشاهده ای در دشت تبریز مورد استفاده قرار گرفته است. اطلاعات سطح آب مربوط به سال آبی در فاصله سال های ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۸ از شرکت سهامی آب منطقه ای تبریز اخذ گردیده است. لایه های اطلاعاتی پایه مورد نیاز این تحقیق شامل نقشه های زمین شناسی، توپوگرافی و هیدروژئولوژی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (Arc GIS) مدون و تهیه گردیده است. در این بررسی ها از رفتار شیمیایی عناصر

میان گروه های انتخاب شده گروه هایی با حداقل تعداد چاه یا درصد به عنوان گروه بهینه انتخاب گردید. در الگوریتم افزایش تعداد چاه ها، چاه به مکانی و یا نقاطی اضافه می شود که بهترین عملکرد را در بالا آوردن تخمین داشته باشند که به عبارتی چاه باید به نقاطی اضافه شوند که بیشترین کاهش را در خطای حاصل از تخمین ایجاد کنند. از جمله راه هایی که برای تعیین بهترین مکان اضافه کردن چاه ها به شبکه موجود استفاده می شود استفاده از نقشه واریانس و یا خطای استاندارد است که بهترین محل برای افزودن چاه جایی است که واریانس تخمین در آنها بیشتر از سایر نقاط بر روی نقشه باشد. در الگوریتم تغییر مکان چاه ها حذف تعداد یا درصد از چاه ها و اضافه کردن تعداد چاه ها به شبکه است در این روش با استفاده از روش اول تعدادی از چاه ها با روش تصادفی حذف می شوند. سپس با استفاده از روش دوم در مکان هایی که خطای تخمین بیشترین مقدار است اضافه می شوند که در این مورد اصطلاحاً تعدادی از چاه ها در منطقه تغییر مکان داده اند و به محل هایی که خطای تخمین در آنجا بیشترین مقدار است اضافه شده اند که در این روش با استفاده از روش کمترین خطای مربعات ریشه میانگین و مقایسه حالت های قبل و بعد از تغییر مکان چاه به مناطق بهینه مشخص می شود.

معرفی منطقه مورد مطالعه

دشت تبریز در شمال غربی ایران در محدوده جغرافیایی 30° ، 53° تا $30'$ ، 53° طول شرقی و $00'$ ، 55° تا $45'$ ، 55° عرض شمالی واقع شده است. وضعیت آب و هوایی در این ناحیه وضعیت

اصلی آب و نسبت آنها با همدیگر استفاده می شود و ترکیب شیمیایی نمونه ها در نمودار های مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد و برای تعیین بهترین مدل تخمین گر از تراز آب زیر زمینی با استفاده از روش جک نایف مقادیر پارامتر های تغییر نما محاسبه گردیده اند. برازش مدل های مختلف تغییر نما (variogram) به داده های تراز در منطقه مورد مطالعه براساس یکسری پارامتر های آماری که برای تعیین دقت تغییر نما مورد استفاده قرار می گیرند. در این حالت مدل های مختلف تغییر نما با هم مقایسه و بهترین مدل برازش داده شده تعیین می شود. تغییر نما مدل انتخاب شده در حالتی بهترین است که داده های تجربی را با کمترین خطای مربعات ریشه میانگین (RMSE) نشان دهد. پارامترهایی که دارای انطباق بهتری با تغییر نما (variogram) باشند برای درون یابی در کریجینگ انتخاب شده و واریانس کریجینگ بدست می آید. در این روش از انحراف معیار کریجینگ برای شناسایی نقاط با واریانس بالا به عنوان نقاط دارای پتانسیل برای پایش استفاده می شود [14,15]. در بهینه سازی شبکه از سه الگوریتم متفاوت شامل افزایش تعداد چاه های شبکه پایش، کاهش تعداد چاه های شبکه پایش و تغییر مکان چاه های شبکه استفاده گردیده است. در الگوریتم کاهش تعداد چاه ها تعیین می شود که حداقل چه تعداد یا درصد از چاه ها برای درون یابی آب زیر زمینی در این منطقه کافی است. در این روش گروه هایی با درصد مختلف چاه ها انتخاب گردید و برای هر گروه دقت تخمین محاسبه گردید. گروه هایی که دقت تخمین آنها در حد قابل قبول قرار گرفت، انتخاب و از

بارندگی سالانه، پنجاه ساله ۲۸۳ میلی متر در سال است و تبخیر سالانه در دشت مذکور ۱۵۷ میلی متر در سال تخمین زده می شود و میانگین دما در این دشت ۲۰ درجه می رسد. جهت وزش باد برحسب ماه و فصل کاملاً متغیر بوده و اکثراً از جهت غرب به شرق و میانگین سرعت سالانه آن ۶ متر بر دقیقه می باشد.

هیدروژئولوژی

در دشت تبریز یک آبخوان آبرفتی شکل گرفته است. بررسی روند منحنی ها و جهت جریان آب زیرزمینی در دشت تبریز مؤید این مطلب است که آب های زیرزمینی از نواحی شمال و شمال شرقی به سمت نواحی جنوب غربی در حرکت می باشد. خطوط تراز آب زیرزمینی، جهت جریان و موقعیت رودخانه آجی چای در منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است بیشتر مصرف آب شرب در شهر تبریز از چاه های عمیق و نیمه عمیقی که در منطقه احداث شده است تامین می شود. در شرایط کنونی در این دشت ۱۵۴ حلقه چاه مشاهده ای برای پایش تغییرات تراز آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می گیرد. در شکل ۲ موقعیت قرار گیری این چاه های مشاهده ای نشان داده شده است. هدف اصلی این مقاله بهینه سازی تعداد و محل قرارگیری این نقاط پایش کمی و کیفی می باشد.

بحث و نتایج

آب زیرزمینی در دشت تبریز عمدتاً از شوری بالایی برخوردار است. هدایت الکتریکی منابع آب این دشت

متفاوتی از شرایط بیابانی در تیرماه تا شرایط مرطوب در اسفند ماه را نشان می دهد. مساحت کل دشت ۹ کیلومتر مربع است. شکل ۱ موقعیت جغرافیائی و شرایط زمین شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد. دشت تبریز مسطح و با شیب تقریباً یکنواخت ۰.۲٪ از شرق به غرب (از تبریز به طرف دریاچه ارومیه) گسترده شده است. این دشت از پادگانه های آبرفتی و مخروط افکنه ها تشکیل شده است که از شمال و شمال شرق به توالی از مارن و ماسه سنگ قرمز رنگ و مارن به همراه ماسه سنگ قرمز به سن کواترنری، از جنوب و جنوب شرقی از کنگلومرای نیمه سخت به همراه میان لایه هایی ماسه سنگ پومیس و سنگ های آذر آواری به سن میوسن مربوط می شود که در قسمت جنوب شرقی بر روی میان لایه های ماسه سنگ نهشته های دانه ریز آواری و توف با لایه های دیاتومه و ماهی به سن پلیستوسن قرار دارد تشکیل شده است. بالاترین ارتفاع از سطح دریا در دشت مورد مطالعه ۱۵۴۹ متر و کمترین ارتفاع حوضه ۱۲۶۶ متر است.

وضعیت هیدروژئولوژی و هواشناسی در منطقه

مورد مطالعه

مهمترین رودخانه دشت تبریز، رودخانه آجی چای در حوضه آبریز ارومیه است که رودخانه مذکور از دامنه سهند شروع شده و ضمن دریافت شاخه های متعدد در قسمت غربی دشت تبریز و ضمن گذر از شمال غربی شهر تبریز طی حدود ۲۴۰ کیلومتر از نقطه شروع تا مصب در زمین های پست و شور دریاچه ارومیه وارد این دریاچه می شود. در این منطقه متوسط

نسبت همه یون ها با افزایش کلر افزایش نشان می دهد که سکانس تکامل شیمیایی دشت تبریز در رابطه با انحلال هالیت مشخص می شود [۱۶،۱۷].

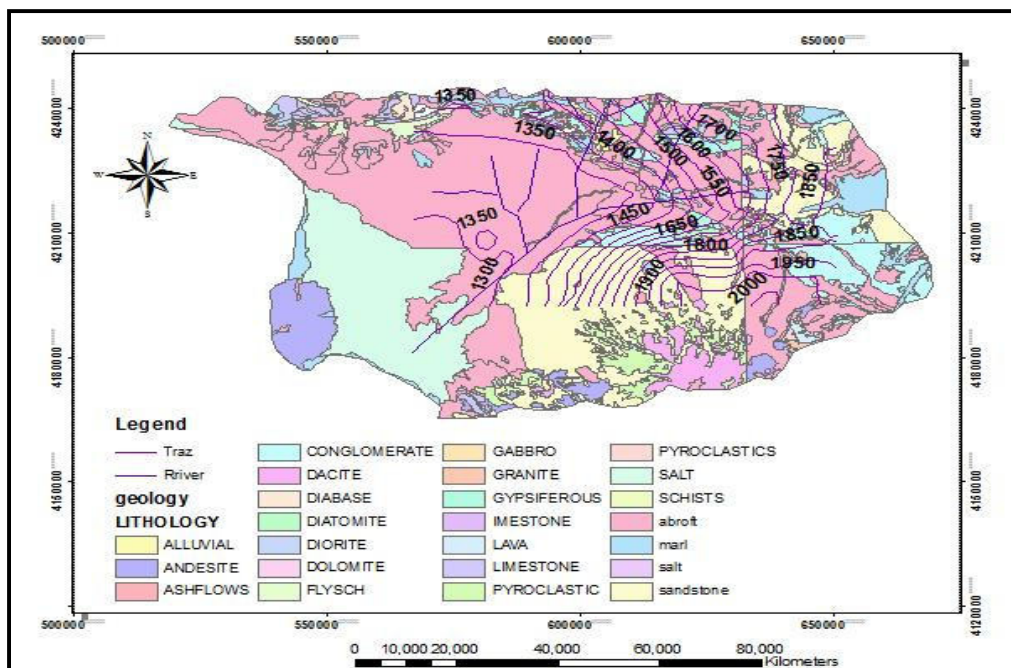
بهینه سازی شبکه پایش

همانطور که در بالا گفته شد بهینه سازی شبکه چاه ها در سه مرحله انجام گردید. در مرحله اول با کاهش تعداد چاه ها، در مرحله دوم با افزایش تعداد چاه ها و در مرحله سوم با جا به جایی چاه ها شبکه بهینه گردیده است. بهینه سازی در بخش اول بر این واقعیت استوار است که با انتخاب تعدادی چاه از میان چاه های موجود می توان به مقدار دقیقی در تخمین دست یافت که در حد دقت تخمین در سطح اطمینان حالتی است که از کل چاه ها استفاده گردیده است و در بخش دوم تعداد کمی چاه به عنوان تعداد اولیه در نظر گرفته می شود و با افزودن چاه در جاهایی که با توجه به پراکندگی خطای موجود در تخمین انتخاب شده اند دقت تخمین افزایش می یابد. در بخش سوم سعی بر این است که با تغییر مکان تعداد حداقلی چاه در شبکه دقت را به بیشترین مقدار ممکن افزایش داد در نهایت محل هایی را که دارای آب زیر زمینی مناسب برای آشامیدن را دارند تعیین می شوند.

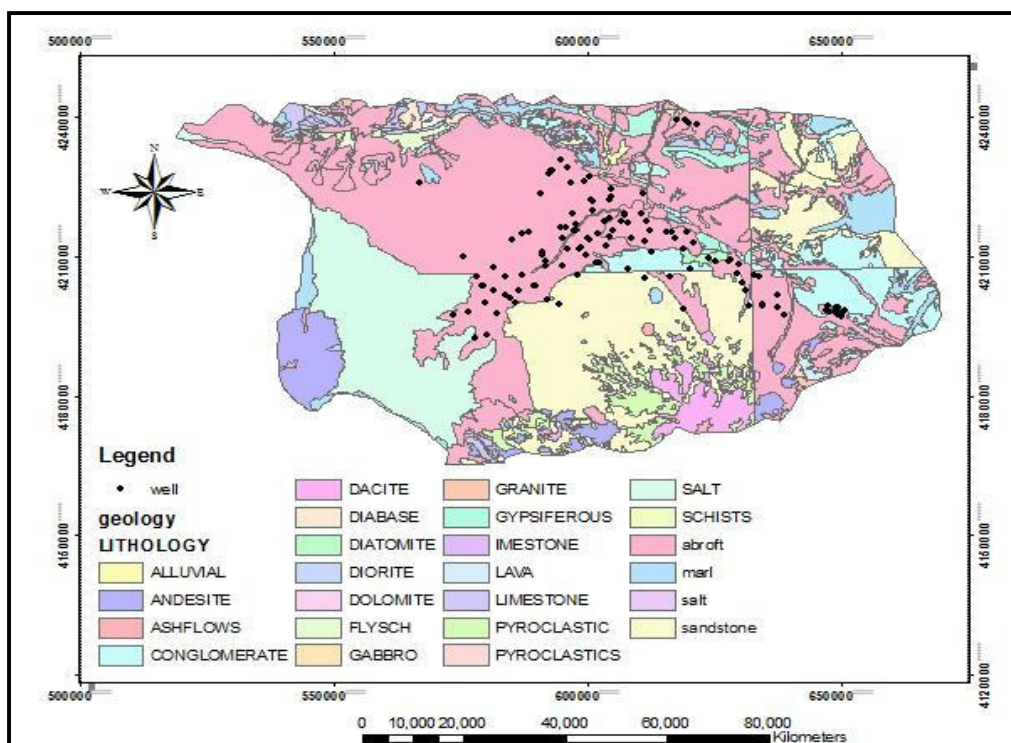
بین مقادیر ۲۴۴ تا ۱۳۳۲۰ میکروموهس بر سانتی متر در تغییر است. در نمونه های بررسی شده اولویت کاتیونی با کاتیون های منیزیم و سدیم می باشند.

نمودارهای ترکیبی

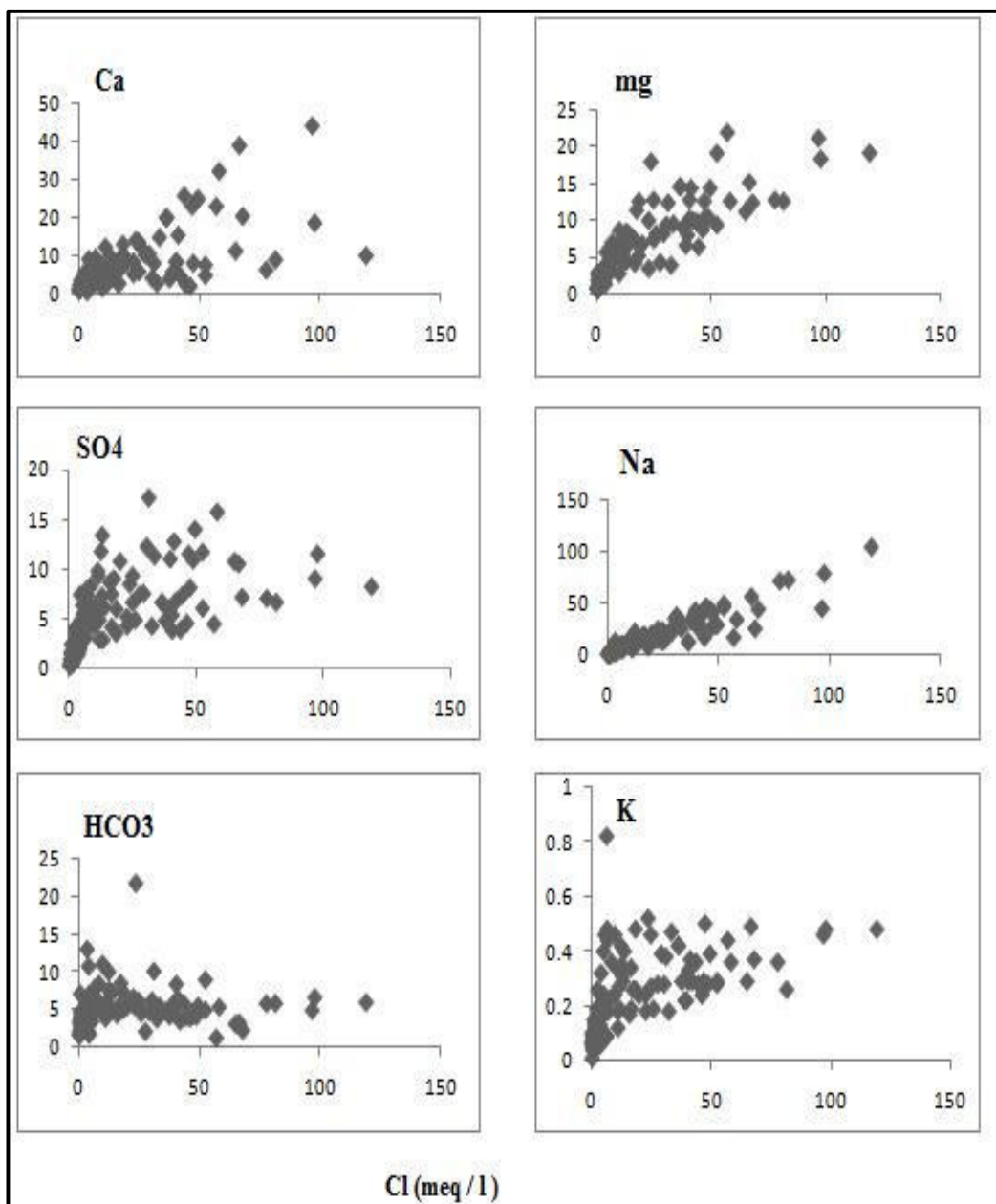
دیاگرام های ترکیبی ابزار مفیدی جهت شناخت منشأ شوری می باشند. از نمودار های ترکیبی مختلفی جهت شناخت فرآیند های ژئوشیمیایی موثر بر شوری آب های زیرزمینی در مناطق مختلف دنیا استفاده شده است. جهت شناخت فرآیند های ژئوشیمیایی موثر در شوری آب زیرزمینی دشت تبریز از نمودار های ترکیبی مختلفی استفاده گردید. در شکل ۳ نسبت غلظت کلر به عناصر اصلی آب نشان داده شده است و علت انتخاب کلر به عنوان یک محور ثابت در رسم نمودار پایدار بودن و عدم شرکت این یون در واکنش های شیمیایی مثل تبادل کاتیونی و رسوب گذاری است [۴،۵،۶]. با توجه به شکل بالا غلظت بی کربنات با افزایش کلر ابتدا کمی افزایش و بتدریج کاهش پیدا می کند که عمدتاً این امر را می توانیم به مناطق تغذیه مربوط بدانیم که در عمل این مورد تحت تاثیر انحلال کربنات ها قرار می گیرد که به تدریج با افزایش قدرت یونی محلول ها کاهش بی کربنات رخ می دهد از طرفی با افزایش غلظت کلر مقدار کلسیم در منطقه افزایش پیدا می کند و از طرف دیگر رابطه غلظت کلر به غلظت سولفات در این منطقه حاکی از این مورد است که فرآیند انحلالی ژپس در سفره های آبدار مورد نظر است. نمودار غلظت کلر در برابر سدیم نشان دهنده انحلال نمک در رسوبات آبخوان دشت تبریز است که در حالت کلی



شکل ۱- موقعیت جغرافیائی و شرایط زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (دشت تبریز)



شکل ۲- موقعیت قرار گیری چاه های مشاهده ای در منطقه مورد مطالعه (دشت تبریز)



شکل ۳ - نمودار های ترکیبی متغیرهای فیزیکی و شیمیائی آب های زیرزمینی (غلظت یون ها بر حسب meq/l)

بهینه سازی با کاهش تعداد چاه ها

خط ۱:۱ با شیب ۰/۱۰ عرض از مبدا صفر در این محدوده واقع شده است [۱۲،۱۶].

نتایج ارائه شده در جدول ۱ نشان داد که با استفاده از داده های ارتفاع سطح آب ۶۱٪ از کل چاه های موجود، ۹۴ حلقه چاه، می توان مدلی به داده ها برازش نمود که ارتفاع سطح آب را در چاه های حذف شده از گروه مربوطه، ۱۵۴ حلقه چاه، در سطح اطمینان ۹۵٪ به درستی تخمین بزند. در شکل ۴ نقشه خطای استاندارد برای چاه ها با درصد های حذف شده را نشان می دهد. جدول ۲ نشان دهنده این است که گروه هایی با درصد چاه های حذف شده دارای خطوط حد بالا و پائین و عرض از مبدا هستند. یعنی

بهینه سازی از طریق افزودن چاه به شبکه برازشی که در این شیوه انجام شده است نشان می دهد که در تراکم تعداد چاه ها در منطقه زیاد است و افزودن چاه در منطقه تاثیر چندانی را در مقدار خطای اندازه گیری شده (RMSE) ندارد و این مقدار را تنها حدود ۰/۰۲ کاهش می دهد. بنابراین برای بهینه سازی بهتر در این حالت از روش جایجا کردن تعداد چاه ها در منطقه استفاده می کند.

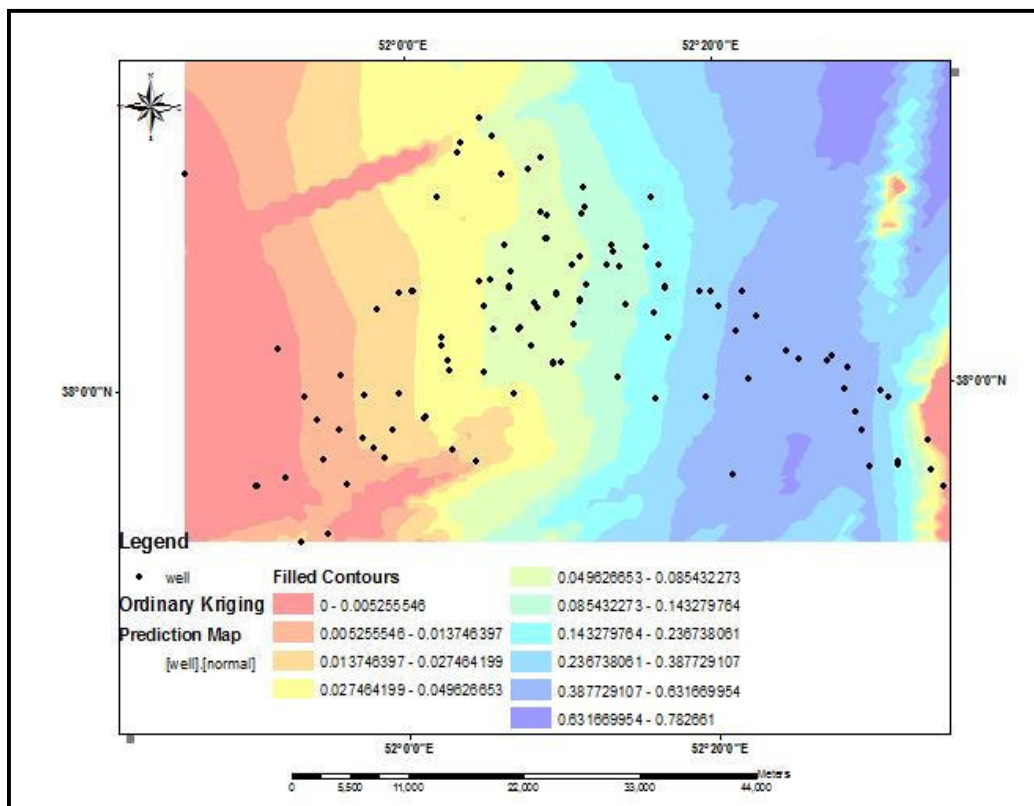
جدول ۱- مقایسه مدل های نیم تغییرنا ارتفاع سطح آب با استفاده از درصد های مختلف که به طور تصادفی انتخاب شده است

ردیف	تعداد نمونه	درصد نمونه ها	میانگین (ME)	خطای اندازه گیری (RMSE)	میانگین استاندارد (ASE)	خطای استاندارد (RMSS)	نوع تغییر نما
۱	۱۲۵	۸۰٪	-۰/۰۰۰۳	۰/۰۴	۰/۰۳	۱/۱	اثر حفره (Hole effect)
۲	۹۴	۶۱٪	-۰/۰۰۰۹	۰/۰۲۷	۰/۰۲	۱/۰۰۴	اثر حفره (Hole effect)
۳	۷۵	۴۸٪	۰	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۱/۰۴۹	گوسی (Gaussian)
۴	۵۰	۳۲٪	-۰/۰۰۰۲	۰/۰۲۹	۰/۰۲۶	۱/۰۵۷	کروی (Spherical)
۵	۲۵	۱۶٪	-۰/۰۰۰۵	۰/۰۳۶	۰/۰۳	۰/۹۴	نمایی (Exponential)

بهینه سازی شبکه پایش سطح آب زیرزمینی در دشت تبریز با استفاده از روش...

جدول ۲- دامنه اطمینان نوسان مقدار میانگین ارتفاع سطح آب تخمین زده شده برای باقیمانده چاه ها

ردیف	درصد داده های باقیمانده	درصد داده های حذف شده	فاکتور های محدوده اطمینان	مقدار عددی		ضریب تعیین
				حد پائینی و بالایی	حد پائینی و بالایی	
۱	٪۸۰	٪۲۰	شیب عرض از مبدأ	۰/۰۰۳	۰/۰۳	٪۵۲
				-۰/۰۸	۰/۰۰۲	
۲	٪۶۱	٪۳۹	شیب عرض از مبدأ	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	٪۹۵
				-۰/۰۰۷	۰	
۳	٪۴۸	٪۵۲	شیب عرض از مبدأ	۰/۰۰۱	۰/۰۱	٪۳۵
				-۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	
۴	٪۳۲	۶۸٪	شیب عرض از مبدأ	۰/۰۰۲	۰/۰۱	٪۶۴
				-۰/۰۱	۰	
۵	٪۱۶	۸۴٪	شیب عرض از مبدأ	۰/۰۰۲	۰/۰۲	٪۳۷
				-۰/۰۱	-۰/۰۰۱	



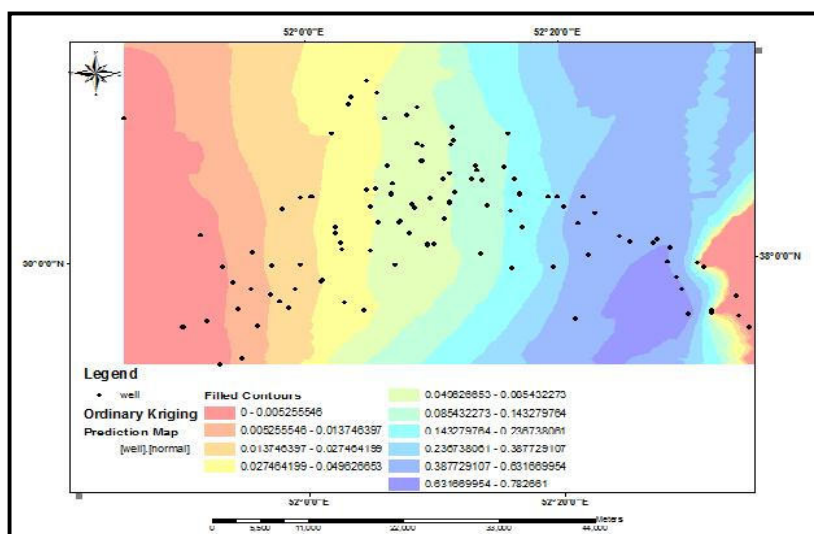
شکل ۴- نقشه خطای استاندارد مربوط به برازش مدل کریجینگ برای ٪۶۱ تعداد چاه ها

چاه به شبکه موجود اضافه شد و تعداد کل چاه ها در منطقه به ۹۹ حلقه چاه رسید. در این شیوه بعد از اضافه کردن هر چاه نتایج بدست آمده از افزودن چاه به شبکه تخمین زده شد و با حالتی که قبل از اضافه کردن چاه ها بود مقایسه شد. نتایج این روش، با تغییر مکان تعداد چاه ها تاثیری در دقت تخمین نداشت که در این شیوه مقدار RMSE حدود ۰/۰۱ افزایش پیدا کرده است ولی خطای استاندارد نسبت به حذف کردن تعداد چاه ها در منطقه کاهش پیدا کرده است، که در کل تغییر محل چاه ها نیز در مقدار RMSE در این منطقه تاثیر چندانی ندارد.

بهینه سازی با جابجا کردن تعداد چاه ها در منطقه در این روش از بهینه سازی تعدادی از چاه ها حذف شدند و به جای این چاه های حذف شده تعدادی چاه به محل بهینه اضافه می شود. برای انجام این مرحله با استفاده از شیوه اول که در آن تعدادی از چاه ها را به عنوان گروه بهینه انتخاب شده بودند، به عنوان گروه اولیه انتخاب و بر روی آنها روش کریجینگ معمولی برازش داده شد و داده های آماری مربوطه و نقشه خطای استاندارد در این مرحله تعیین شد. با استفاده از نقشه خطای استاندارد در مکان هایی که خطای تخمین بیشترین مقدار است، در طی ۵ مرحله ۵ حلقه

جدول ۳- مقایسه نتایج مدل بدست آمده براساس ۶۴ درصد کل داده ها با دو روش بهینه سازی از طریق حذف یا تغییر محل چاه ها

نوع تغییر نما	درصد خطای استاندارد (RMSS)	میانگین استاندارد (ASE)	خطای اندازه گیری (RMSE)	میانگین (ME)	نوع بهینه سازی
اثر حفره (Hole effect)	۱/۰۰۴	۰/۰۲	۰/۰۲۷	-۰/۰۰۹	بهینه سازی با حذف تعدادی چاه
کروی (Spherical)	۰/۹۵	۰/۰۳۱	۰/۰۴۱	۰/۰۰۱	بهینه سازی با تغییر مکان تعدادی از چاه ها



شکل ۵- خطای استاندارد تخمین ارتفاع سطح آب برای ۶۴ درصد کل داده ها

نتیجه گیری

بررسی نمودارهای ترکیبی اجزا محلول آب نشان می دهد که سکانس آب زیر زمینی دشت تبریز در ارتباط کامل با انحلال هالیت مشخص می شود. اما غلظت بالای سولفات می تواند به خاطر انحلال ژپس در سفره آبدار باشد. نمودارهای ترکیبی چند متغیره وقوع پدیده تبادل کاتیونی را در مقیاس وسیع نشان می دهد بهینه سازی شبکه چاه ها که به منظور به حداقل رساندن تعداد چاه های شبکه و کاهش خطای تخمین انجام گرفته نشان داد که می توان با داشتن حداقل ۶۱ درصد کل داده ها (۹۴ حلقه چاه) ارتفاع سطح آب را در بقیه چاه ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد تخمین زد. ولی افزایش چاه در شبکه نمونه برداری و همچنین تغییر مکان چاه ها، تاثیری در کاهش خطای تخمین نداشت.

منابع

- ۱- حسنی پاک، ع. (۱۳۷۷) زمین آمار (ژئواستاتستیک). چاپ اول. تهران: انتشارات دانشگاه تهران، ۳۱۴ ص.
- ۲- نیک رو، ل. (۱۳۸۶) پایان نامه کارشناسی ارشد، کاربرد زمین آمار در بررسی نوسانات عمق سطح آب زیرزمینی و شوری آن در دشت مهر (جنوب استان فارس)، شیراز دانشگاه شیراز، ۱۸۱ ص.
- ۳- مدنی، ح. (۱۳۷۳)، مبانی زمین آمار، چاپ اول تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۲۱۹ ص.
- ۴- رضائی، م. (۱۳۸۶) کاربرد آنالیزهای چند متغیره، اندیس اشباع، دیاگرام های ترکیبی و تحلیل کیفی آبخوان دشت کرمان مجموعه مقالات کنفرانس بین المللی کرمان، جهاد دانشگاهی.
- ۵- کلانتری، ن، رحیمی، م. اکبری، ا، (۱۳۸۸) بررسی هیدروشیمیایی دشت میان آب با استفاده از روش های آماری نمودار هیدروشیمیایی و منطق فازی، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، وزارت صنایع و معادن.
- ۶- کلانتری، ن. علیجانی، ف. (۱۳۸۶) بررسی کیفیت منابع آب زیر زمینی دشت عباس استان خوزستان، فصلنامه زمین شناسی ایران، شماره ۹، ص ۱۵ تا ۲۵.
- 7-Ahmadi, S. H., and A. Sedghamiz. (2007). "Geostatistical analysis of spatial and temporal variations of groundwater level" *Journal of Environmental Monitoring Assessment*, 129: pp 277-294.
- 8-Hudson, G., and H. Wackernagel. (1994). Mapping temperature using kriging with external drift": Theory example from Scotland, pp: pp 77-91.
- 9-YILMAZ ICAGA. (2008). "Regionalization of probable rainfall using regression analysis and kriging." *Journal of Structural Mechanics of Earthquake Engineering*, 456(II-21): pp 1-10.
- 10-Theodossiou, N., and P. Latinopoulos. (2006). "Evaluation and optimisation of groundwater observation networks using the kriging methodology". *Environmental Modeling and Software*, 21: pp 991-1000.
- 11-Kitanidis, P. K. (1997). *Introduction to Geostatistics*. University Press, Cambridge, 249 p.
- 12- Ghahraman, B., and A.R. Sepaskhah. (2001) "Autographic rain-gage network design for Iran by Kriging". *Journal of Science and Technology*
- 13- Garcia, L.A., and A. Shigid. (2006), "Using neural networks for parameter estimation in ground water" *Journal of Hydrology*, 318: pp 215-231.
- 14- Isaaks, E. H., and R. M. Srivastava. (1989). *Applied Geostatistics*. New York; Oxford University Press. 561p
- 15-Davis, J. C. (2002). *Statistics and Data Analysis in Geology*. Kansas Geological Survey, University of Kansas, 622p.
- 16-Fetter, c.w, (1999), *Contaminant Hydrgeology*, 2d ed Prentice Hall Inc.
- 17-Hounslow, A.W, (1995), *water Quality Date-Analysis and Interpretation*, CRC Press LLC, p.
- 17- Marie, A, and Vengosh , A, (2001), *Sources of salinity in ground water from Jericho area , Jordan Vallery , ground water*

