

استفاده از رویکردهای بنیادی زمین آمار به منظور شناسایی نواحی محتمل تغذیه کننده آبخوان دشت تهران- کرج

بهزاد رایگانی*

behzad.rayegani@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۱۵

چکیده

آب زیرزمینی به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک یکی از مهم ترین منابع تامین کننده آب شرب به حساب می آید. برخلاف تصور عمومی در این مناطق، منابع آبی بیش تر از نظر کیفیت با مشکل روبرو است تا کمیت، بنابراین پایش روند کیفیت آب و شناسایی منابع آلوده کننده آن، همواره به عنوان یکی از دغدغه های اصلی پژوهشگران این نواحی به شمار می رود. در این پژوهش به منظور شناسایی نواحی آلوده کننده آب زیرزمینی، اقدام به شناسایی نواحی محتمل تغذیه سفره آب آبخوان دشت تهران- کرج شده است. بدین منظور پس از استخراج آمار مربوط به سطح تراز آب زیرزمینی، از روش های مختلف درونیابی و زمین آمار برای تولید تصویر سطح تراز استفاده شده است. دو نرم افزار Gstat و تحلیل گر زمین آمار برای انجام این مطالعات بکار گرفته شده اند، سپس عملکرد و توان هر کدام در تولید تصاویر سطح مورد ارزیابی قرار گرفته است. با استفاده از روش های مختلف آماری، عملکرد مدل های درونیابی مورد سنجش قرار گرفت. بر اساس نتایج این پژوهش نرم افزار تحلیل گر زمین آمار انعطاف بهتری برای انجام تحلیل های ویژه بر روی داده ها نشان داد. بر اساس روش داده های تعلیمی و آزمون، روش های درونیابی بسیار به یکدیگر شبیه نشان دادند، اما خروجی تصاویر سطحی از منظور شبیه سازی حرکت آب زیرزمینی و هیستوگرام تصاویر با یکدیگر بسیار متفاوت به نظر می رسید. در نهایت بر اساس مقایسه خروجی مدل ها با واقعیت زمینی، مناسب ترین روش، کریجینگ کلی نشان داد. بر همین اساس تصاویر سطح تراز در مقاطع مختلف زمانی بوسیله روش مذکور تولید و در نهایت با شبیه سازی جهت جریان آب زیرزمینی محتمل ترین نواحی تغذیه آبخوان شناسایی گردید.

کلمات کلیدی: زمین آمار، درونیابی، نرم افزار Gstat، ماژول تحلیل گر زمین آمار، آب زیرزمینی، جهت جریان آب زیرزمینی، ناحیه تغذیه کننده آبخوان.

Applying fundamental geostatistical approaches to determine potential zones of groundwater recharge of Tehran-Karaj Plain Aquifer

Behzad Rayegani^{1*} (*Corresponding Author*)

behzad.rayegani@gmail.com

Abstract

Groundwater, especially in arid and semi-arid is one of the main sources of drinking water. Contrary to public perception in these areas the water quality is more important than quantify. Therefore, monitoring of water quality and identification of pollution sources is one of the main concerns of researchers in this area. In this study, in order to identify sources of groundwater contamination, areas are likely aquifer recharge sources of Tehran-Karaj plain detected. So, after extraction of groundwater level data different interpolation and geostatistics methods are used to create surface images. The Gstat software and Geostatistical Analyst were used for this study then performance and ability of each one to produce surface images are evaluated. According to the results, the Geostatistical Analyst software has better flexibility to do the special analysis. Based on the training and test data interpolation methods were very similar, but the surface images regarding groundwater direction flow and histogram look very different. According to the results, universal kriging showed better performance. Accordingly, surface images of different time created by an appropriate method to simulate groundwater flow direction and eventually areas were identified which are more likely ground water recharge source of Tehran-Karaj aquifer.

Keywords: Geostatistics, Interpolation, Gstat Software, Geostatistical Analyst, Groundwater, Groundwater Direction Flow, Aquifer Recharge Area.

1-Assistant Professor, Faculty of Environment, Department of Environment, Karaj, Iran. **(Corresponding Author)*

مقدمه

آب از منابع با ارزش طبیعی است که برای حیات بشر و سلامت زیست‌بوم حیاتی می‌باشد. از میان ذخایر آبی، آب زیرزمینی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک یکی از مهم‌ترین منابع تامین‌کننده آب شرب است (۱). بر خلاف تصور عمومی در این مناطق، منابع آبی بیش‌ترین از نظر کیفیت با مشکل روبرو می‌باشند تا کمیت (۲). بنابراین پایش روند کیفیت آب (۳) و شناسایی منابع آلوده‌کننده آن (۱، ۴) همواره به عنوان یکی از دغدغه‌های اصلی پژوهش‌گران این نواحی به شمار می‌رود. یکی از روش‌های شناسایی منابع سطحی آلوده‌کننده آب زیرزمینی، بررسی جهت جریان آب به منظور آشکارسازی واگرایی در آن است. به طور کلی وجود جریان‌های واگرا در منابع آب زیرزمینی یکی از نشانه‌های تغذیه سفره آب می‌باشد (۵). اما یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در استفاده از این فرآیند، نیازمندی آن به یک تصویر پیوسته سطح تراز آب زیرزمینی است. برای تهیه این گونه تصاویر سطح تراز، از عمق و ارتفاع چاه‌های مشاهداتی استفاده می‌شود. به دلیل هزینه بسیار زیاد، معمولاً چاه‌های مشاهداتی در سطح آبخوان از یکدیگر فاصله زیادی دارند و تهیه تصویر سطح تراز دقیق از آن‌ها یک چالش اساسی است. یکی از روش‌های حل این مشکل، استفاده از ابزارهای سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی می‌باشد.

تکنیک‌های درون‌یابی مکانی در سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، ابزارهای بسیار قدرتمندی برای پیش‌بینی مقادیر ارزشی تصاویر سطحی آب حساب می‌آیند (۶). در تعریف، درون‌یابی مکانی فرآیندی است در آن ارزش ویژگی یک مکان خاص بوسیله ارزش‌ها مشخص برخی سایت‌های دیگر پیش‌بینی می‌شود (۷). تمامی روش‌های درون‌یابی از قانون توپلر تبعیت می‌کند، مطابق با این قانون تمامی مکان‌ها باهم در ارتباطند اما مکان‌های نزدیک به هم ارتباط بیش‌تری نسبت به مکان‌های

دور از هم دارند (۹-۷). بنابراین در فرآیند درون‌یابی ارزش‌ها نامشخص، بر اساس ارزش‌ها مکان‌های مجاور یا نزدیک تعیین می‌گردد. در تمامی روش‌های درون‌یابی معنی "نزدیکی" در قانون توپلر تعریف می‌شود. معمولاً روش‌های درون‌یابی مکانی بر اساس فرضیه‌هایشان به دو دسته کلی به چند صورت مختلف تقسیم می‌شوند (۷): کلی^۴ یا محلی^۵؛ در روش محلی از میان داده‌ها فقط یک بخش، آن هم به صورت فضای همسایگی برای محاسبه یک مجهول بکار می‌رود؛ دقیق^۶ یا تقریبی^۷؛ در روش دقیق، تصویر سطح ارزشی دقیقاً از روی ارزش‌ها معلوم عبور می‌کند، در حالی که در روش‌های تقریبی، ارزش‌ها مکان‌های معلوم نیز دوباره تقریب زده می‌شود؛ روش‌های قطعی (جبری) یا روش‌های تصادفی^۸؛ در روش‌های قطعی فرض می‌شود رفتار متغیر کاملاً مشخص است بنابراین خطاهای ممکن ارایه نمی‌شود، در حالی که در روش‌های تصادفی به دلیل فرض بر تصادفی بودن متغیر، امکان ارایه برآوردهای احتمالی (احتمالات) وجود دارد. معمولاً در جداسازی روش‌های درون‌یابی مکانی از شیوه تقسیم‌بندی قطعی یا تصادفی استفاده می‌شود (۸، ۹). از جمله روش‌های قطعی می‌توان به روش وزن‌دهی بر اساس معکوس فاصله به اختصار IDW که جزء روش‌های دقیق و محلی است؛ روش درون‌یابی چندجمله‌ای کلی یا به اختصار^{۱۱} GPI که از نوع روش‌های تقریبی و کلی است؛ درون‌یابی بوسیله تابع شعاعی محور یا به اختصار^{۱۲} RBF که از روش‌های دقیق است (هم محلی و هم کلی را شامل می‌شود)؛ و روش درون‌یابی چندجمله‌ای محلی یا

4-Global

5-Local

6-Exact

7-Inexact (approximate)

8-Deterministic

9-Stochastic

10-Inverse Distance Weighting

11-Global Polynomial Interpolation (Trend)

12-Radial Basis Functions (Spline)

1-Spatial Interpolation

2-Surface Raster Images

3-Tobler's Law

معادله برای تعیین وزن‌ها به نقاط نماینده وقفه‌های فاصله‌ای و شبه واریانس، برازش می‌یابد (شکل ۱). به شکل نهایی منحنی بدست آمده واریوگرام گفته می‌شود (شکل ۱) که از آن برای تعیین وزن هر نمونه استفاده خواهد شد و دارای سه جزء اصلی است (شکل ۱): $Sill$ ، $Nugget$ و $Range$. دقت خروجی حاصل از روش درون‌یابی کریجینگ به شدت به مدل برازش داده شده و مقدار عددی این سه جزء واریوگرام وابسته است (۱۳، ۱۲). بنابراین یکی از مهم‌ترین چالشها در استفاده از روش زمین‌آمار کریجینگ، تعریف صحیح مدل واریوگرام می‌باشد.

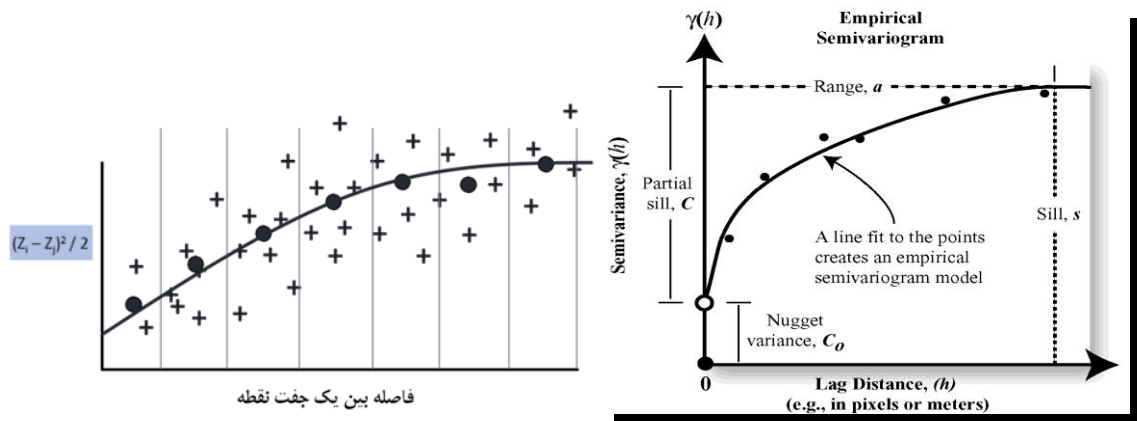
به دلیل در نظر گرفتن جهت و فاصله در وزن‌دهی، کاربرد زمین‌آمار در مطالعه کمیت و کیفیت آب زیرزمینی کاملاً شناخته شده است (۳-۱، ۱۱، ۱۲، ۱۹-۱۴). با این وجود هنوز هم مدل واریوگرام و تعریف صحیح آن یکی از عمده‌ترین دغدغه‌های این پژوهش‌ها باقی مانده است (۱۲، ۱۳). یکی از روش‌های حل این مساله، بکارگیری درست از قابلیت‌های نرم-افزارهای زمین‌آمار موجود می‌باشد.

معادله (۱) شبه واریانس

$$\gamma(h) = \frac{\sum_{i=1}^m [z(x_i) - z(x_i + h)]^2}{2m(h)}$$

LPI^1 که یک روش تقریبی و محلی است نام برد (۱۱-۸). معروفترین روش درون‌یابی تصادفی، زمین‌آمار می‌باشد (۱۲). استفاده از روش‌های زمین‌آمار به خصوص روش‌های کریجینگ^۳ که از جمله روش‌های محلی، تقریبی و تصادفی به شمار می‌رود، در مطالعات علوم مختلف، سابقه چند ده ساله دارد (۷، ۱۲). دانیل کریج^۴ پدر زمین‌آمار در معادن آفریقای جنوبی از یک روش آماری تجربی برای پیش‌بینی درجه عیار سنگ از نمونه-های برگرفته از مناطق مجاور استفاده نمود که بعدها بوسیله مترون^۵ حالت فرمولی به آن داده شد و به احترام کریج، نام این روش، کریجینگ لقب گرفت (۱۳). در روش کریجینگ همانند IDW به منظور پیش‌بینی ارزش مناطق اندازه‌گیری نشده از وزن‌دهی به ارزش مناطق مجاور استفاده می‌شود، ولی برخلاف IDW وزن‌ها تنها بر اساس نزدیکی و فاصله نیستند، بلکه وزن‌ها از یک پلات فاصله-ارزشی خاص به نام شبه‌واریوگرام^۶ ناشی می‌شوند (۹) که در آن جهت نیز در نظر گرفته می‌شود. شبه‌واریوگرام از دو محور تشکیل شده است که در محور X آن فاصله جفت نمونه‌ها قرار دارد و در محور Y مقدار شبه‌واریانس^۷ یا متوسط گشتاور درجه دوم ارزش همان جفت نمونه را نشان می‌دهد (شکل ۱). پس از ترسیم شبه واریوگرام، داده‌ها به یک-سری وقفه‌های فاصله‌ای^۸ تقسیم می‌شوند، متوسط شبه‌واریانس برای هر وقفه بدست می‌آید (بوسیله معادله ۱) و در نهایت یک

-
- 1-Local Polynomial Interpolation
 - 2- Geostatistics
 - 3- Kriging
 - 4- Daniel Krige
 - 5-Matheron
 - 6-Semivariogram
 - 7-Semivariance
 - 8-Lag



شکل ۱- شیوه نمایش جفت نمونه‌ها در شبه‌واریوگرام (محور X و Y) و بخش‌های مختلف یک واریوگرام (۲۰)

۲. مدول Geostatistical Analyst در نرم‌افزار ArcGIS که در بسیاری از مطالعات بکار گرفته شده است و از جمله قوی‌ترین نرم‌افزارهای زمین‌آمار به شمار می‌رود (۹، ۱۳، ۲۱).

در این بررسی ضمن ارایه نتایج حاصل از این دو نرم‌افزار، شیوه بکارگیری صحیح هر یک بر اساس موارد توصیه شده در منابع علمی نیز مورد اشاره قرار خواهد گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

آبخوان دشت تهران-کرج با مساحتی در حدود ۲۳۳۰ کیلومتر مربع بین طول‌های شرقی "۴۶/۶۲۷ ° ۴۴' ۵۰ تا" ۴۹/۶۷ ° ۳۷' ۵۱ و عرض‌های شمالی "۱۵/۵۴۵ ° ۱۷' ۳۵ تا" ۰۵/۸ ° ۵۵' ۳۵ در میان استانهای تهران و البرز قرار گرفته است (شکل ۲). با توجه به قرارگیری دو کلان شهر تهران و کرج در محدوده آن، این سفره آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین آبخوان‌های موجود در کشور می‌باشد. ارتفاع محدوده‌ی آبخوان بین ۸۷۲ تا ۱۷۷۶ متر متغیر است و میزان ارتفاع از شمال آبخوان به سمت جنوب آن کاهش می‌یابد. بدون در نظر گرفتن محدوده و حریم شهرها و روستاها و تنها بر اساس نوع استفاده از زمین، کاربری بیش از ۵۱ درصد از وسعت آبخوان به کشاورزی و باغبانی اختصاص یافته است، بیش از ۳۲ درصد از مساحت آن را مناطق مسکونی اشغال نموده‌اند، در حدود ۱۱/۵

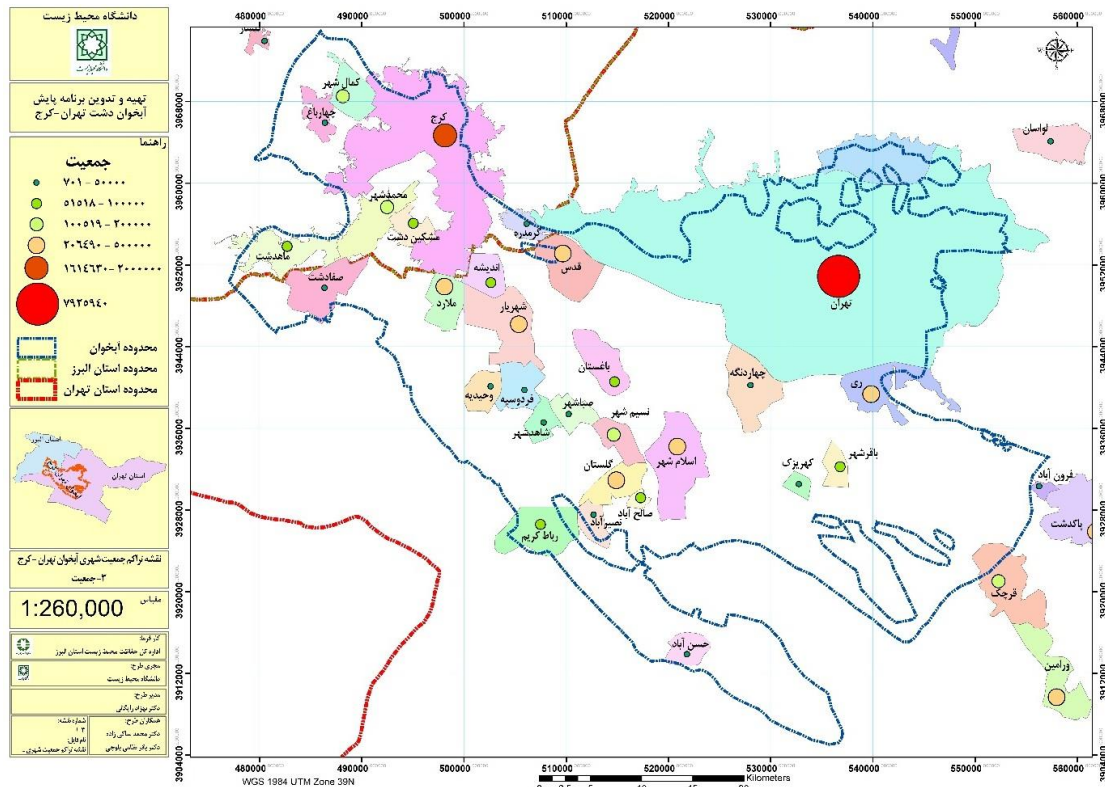
نرم افزارهای زیادی برای انجام درون‌یابی‌های مکانی داده‌های جغرافیایی به خصوص روش‌های زمین‌آمار وجود دارد (۹، ۱۳، ۲۴-۲۱) و هر یک از این نرم‌افزارها نقاط قوت و ضعف متفاوتی دارند (۲۱). این وجود اساس استفاده از این نرم‌افزارها تقریباً مشابه است و نکته مهم در کسب نتایج مطلوب از این نرم‌افزارها، تسلط کافی داشتن بر مباحث نظری روش‌های زمین‌آمار می‌باشد (۱۳).

از آنجا که هدف اصلی این پژوهش تهیه نقشه‌های جهت جریان آب زیرزمینی به منظور شناسایی نواحی محتمل تغذیه سفره آب زیرزمینی است و همان‌گونه که اشاره شد، شیوه درونیابی مکانی به شدت تصویر سطح نهایی بدست آمده را متاثر می‌سازد، بنابراین در این مطالعه به دقت بررسی خواهد شد، در مطالعات مشابه چه گام‌هایی توصیه شده است و با در نظر داشتن این مراحل نتایج نهایی چگونه متاثر خواهند شد. در این بررسی از قابلیت‌های دو نرم‌افزار و دستورالعمل‌های توصیه شده توسط آن‌ها استفاده شده است:

۱. نرم افزار Gstat: یک نرم‌افزار منبع باز که بر اساس بسیاری از مطالعات، توانایی آن در روش‌های مختلف کریجینگ به اثبات رسیده است (۱۳، ۲۴-۲۱) و در حال حاضر نسخه گرافیکی آن در نرم افزار IDRISI وجود دارد (۲۵، ۲۶).

۹۱۳۹۶۴۶ نفر جمعیت شهرنشین را تحت پوشش قرار داده است (شکل ۲).

درصد از سطح آن را زمین‌های رها شده و فاقد استفاده تشکیل می‌دهد و در حدود ۴ درصد نیز سهم مراتع و زمین‌های جنگل-کاری می‌باشد. در مجموع آبخوان تهران-کرج به طور تقریبی



شکل ۲- آبخوان دشت تهران-کرج و پراکنش شهرهای واقع در آن

روش مطالعه

استخراج اطلاعات تراز آب چاه‌های مشاهده‌ای

در درون آبخوان دشت تهران-کرج در حدود ۱۶۸ چاه مشاهده-ای وجود دارد که برخی از آن‌ها به دلیل خشک شدن، اندازه-گیری نمی‌شوند. آمار عمق این چاه‌های مشاهده‌ای در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۸۹ از شرکت آب منطقه استان تهران دریافت شد. به منظور شناسایی داده‌های پرت، توزیع فراوانی آمار هر یک این چاه‌ها در طول سال ترسیم شد تا داده‌های غلط شناسایی و حذف شوند. به منظور تهیه آمار تراز آب چاه‌ها، یک‌بار از میانگین اعداد استفاده شد تا اثر خطاهای ناخواسته از بین برود و یک‌بار از آمار ماهیانه چاه‌ها استفاده گردید. در نهایت ارتفاع هر چاه از مقدار عددی عمق آن کسر شد تا تراز چاه بدست آید.

با توجه به تعدد ماه‌ها و بررسی در دو سال مختلف، در ادامه فقط روش‌های بکار گرفته شده بر روی آمار میانگین و نتایج حاصل از آن اشاره خواهند شد. لازم به ذکر است به منظور شناسایی دقیق مناطق محتمل تغذیه سفره، مشابه با همین فرآیندها بر روی آمار ماهیانه نیز بکار گرفته شده است.

درون‌یابی مکانی تراز چاه‌ها به روش کریجینگ به کمک

نرم‌افزار Gstat

در فرآیندهای درون‌یابی تراز چاه‌ها بوسیله نرم‌افزار Gstat، دقیقاً گام‌های توصیه شده توسط راهنمای این نرم‌افزار (۲۷-۲۲) و منابع اطلاعاتی مرتبط با زمین‌آمار (۷، ۹، ۱۳) طی شده است که در ادامه به طور خلاصه به آن‌ها خواهیم پرداخت.

های ابتدایی که بسیار مهم و تاثیر گذار می‌باشند کم‌تر از ۳۰ نباشد، همچنین فاصله نهایی حاصل از ضرب تعداد وقفه در فاصله هر وقفه با توجه به فاصله چاه‌های پیژومتری بیش‌تر از ۳۰ کیلومتر نشود. هم‌زمان دقت شد بیضی شکل منظم خود را حفظ کند و در واریوگرام‌ها نهایی حدوداً محل **Range** مشخص باشد. همچنین برای اطمینان از دقت واریوگرام، بوسیله **h-scatterplot** در هر مرحله تنظیم فاصله و تعداد وقفه، بررسی می‌گردید تا به‌خصوص در چند وقفه اول حالت خطی ۴۵ درجه بیش‌تر وجود داشته باشد.

پس از تنظیم نهایی واریوگرام‌ها ذخیره شدند تا در مرحله بعدی در برازش مدل از آن‌ها استفاده شود.

برازش مدل نهایی بوسیله **Model Fitting**

بدون استثناء در تمامی ماه‌ها و متوسط سالیانه مدل ناهمسان پهنه‌ای وجود داشت، بنابراین مطابق با موارد توصیه شده بدین صورت عمل شد (۲۲، ۲۵، ۲۶):

۱. برای حذف اثر روند کلی و مشخص نمودن مدل ناهمسان پهنه‌ای در ابتدا در زاویه بیش‌ترین تغییرات (محور عرضی بیضی مرحله قبل) در ساختار شماره ۸۲ یک بیضی بی‌نهایت با **Range** بسیار بزرگ و نرخ ناهمسانی^۱ بسیار کم به واریوگرام محور طولی نسبت داده شد.

۲. سپس بوسیله تنظیم واریوگرام‌ها در ساختار شماره ۳ و ۴ و تنظیم **Nugget** در ساختار شماره ۱ یک واریوگرام ترکیبی به شکلی به نقاط شبه‌واریوگرام برازش داده شد که دقیقاً از چند نقطه اول عبور کند و به نقاط بعدی به صورت کم‌ترین مربعات خطا نزدیک باشد و ساختار **Range** در انتهای آن قابل مشاهده باشد. لازم به ذکر است این ساختارهای برای زاویه کم‌ترین تغییرات تنظیم گردید.

بررسی شبه‌واریوگرام و انتخاب فاصله و تعداد وقفه‌های

فاصله‌ای بوسیله **Spatial Dependence Modeler**

در این ماژول در مرحله اول برای تمامی داده‌های وکتوری تراز، مدل آزیموتی تصویر سطح بر اساس روش شبه واریوگرام ساخته شد تا بوسیله آن روند تغییرات در جهت‌های مختلف مشخص گردد. بر اساس تصویر سطح مقدار فاصله و تعداد وقفه‌ها به طور دستی تغییر نمود تا بیضی آزیموتی تغییرات به وضوح مشخص گردد. بر این اساس در صورتی که در جهت‌های مختلف، تغییر میزان وابستگی مکانی آیا تغییرات آزیموتی ارزش پیکسل‌های تصویر سطح، به شیوه یکسان نبود و الگوی خاصی در جهت‌های مختلف دیده می‌شد، از نظر الگوهای پیوستگی مکانی مدل ناهمسان^۲ بود. در این موارد برای محور طولی و عرضی بیضی آزیموتی تصویر سطح، واریوگرام ترسیم و هر یک از آن‌ها به صورت فایل جداگانه ذخیره می‌گردید. در صورتی که در واریوگرام‌های طولی و عرضی بیضی اختلاف اساسی در میزان **Sill** دیده شود، نشان می‌دهد در داده‌ها یک روند کلی^۳ وجود دارد که باید عمل بی‌روندسازی^۴ بر روی داده‌ها صورت پذیرد، بنابراین مدل، ناهمسان پهنه‌ای^۵ دیده می‌شود که برای مرحله دوم باید بر اساس آن عمل نمود (۲۲، ۲۷-۲۵). در صورتی که میزان **Sill** در دو جهت عمود بر هم، تغییر زیادی نکند و فقط میزان **Range** تغییر نماید، مدل، ناهمسان دیده خواهد شد و نیازی به حذف روند در آن وجود ندارد، اما در مرحله دوم باید از تابع ناهمسان استفاده شود. به هر حال در هر دو مدل، نیاز است واریوگرام این دو جهت جداگانه ذخیره شود. نکته بعدی در این ماژول تنظیم فاصله و تعداد وقفه‌های فاصله-ای می‌باشد. مطابق موارد پیشنهاد شده (۱۳، ۲۲، ۲۷-۲۵) با بررسی آماری به گونه‌ای عمل شد که تعداد جفت‌ها در وقفه-

- 1- Ellipse
- 2- Spatial dependence
- 3- Spatial continuity
- 4- Anisotropy
- 5- Trend
- 6- Detrend
- 7- Zonal Anisotropy

برای انجام این درون‌یابی‌ها از مدول ساحر زمین‌آمار^۵ جعبه-ابزار^۶ تحلیل‌گر زمین‌آمار^۷ استفاده شده است (۹، ۱۳). بر خلاف Gstat در اینجا بیش‌تر فرآیندها به‌طور خودکار یا نیمه خودکار قابل انجام است و همچنین برای انجام یک شبیه‌سازی صحیح‌تر می‌توان بررسی‌های متعددی به انجام رساند و بر همین اساس مدل نهایی را تنظیم نمود. در ادامه به‌طور خلاصه به این بررسی‌ها خواهیم پرداخت.

بررسی توزیع فراوانی و نیازمندی داده‌ها به تبدیلات عددی

یکی از شرایط برای آنکه روش‌های درون‌یابی یک تصویر سطح با کم‌ترین میزان خطا تولید کنند، داشتن توزیع نرمال در داده‌ها است (۹، ۱۳). بنابراین در این مطالعه از هر دو روش بررسی توزیع داده‌ها یعنی هیستوگرام و Normal QQPlot استفاده گردید تا ضمن بررسی نرمال بودن داده‌ها هم‌زمان بررسی شود تبدیل داده‌ها به شکل لگاریتمی یا Box-Cox می‌تواند به نرمال‌تر شدن داده‌ها کمک نماید یا خیر. در صورتی که تبدیل اثر مثبتی بر نرمال شدن داده‌ها نشان می‌داد در ابتدا قبل از شبیه‌سازی از آن برای تبدیل استفاده می‌گردید.

بررسی وجود روند کلی در داده‌ها و انتخاب شیوه مناسب

بی‌روندسازی

در صورتی که در داده‌ها یک روند کلی دیده شود، نیاز است این روند از داده‌ها حذف شود تا شبیه‌سازی بر روی باقی‌مانده‌هایی صورت گیرد که تغییرات محلی را بهتر نشان می‌دهند (۹، ۱۳، ۲۲، ۲۶). برای حذف این روند در نرم‌افزار Gstat از روش ناهمسانی پهنه‌ای استفاده می‌شود (۲۶) ولی در مدول تحلیل‌گر زمین‌آمار امکان شناسایی روند کلی و حذف آن قبل از شروع شبیه‌سازی وجود دارد. بنابراین از مدول تحلیل روند^۸ استفاده شد تا روندها شناسایی و در صورت نیاز حذف شوند

۳. مطابق با راهنمای Gstat بهتر برازش به معنی عبور دقیق از تمامی نقاط یا داشتن کم‌ترین مربعات خطا در خط برازش داده شده نیست (۲۲، ۲۵، ۲۶)، بلکه نیاز است بر اساس ماهیت نقاط و داشتن اطلاعات جانبی بهترین خط انتخاب شود. بنابراین با بررسی پراکنش چاه‌های مشاهده‌ای و نقاط شبه‌واریوگرام فاصله مناسب برای Range انتخاب و بر همین اساس مدل برازش یافت. این مدل‌ها برای مرحله بعدی ذخیره شدند.

ساخت تصاویر سطح تراز نهایی بوسیله Kriging and Simulation

در این پژوهش دو نوع روش زمین‌آمار مورد بررسی قرار گرفته است. برای تمامی تخمین‌ها و شبیه‌سازی از کریجینگ معمولی استفاده شده است. همچنین با توجه به ناهمسانی پهنه‌ای در تمامی داده‌ها روش کریجینگ کلی^۱ نیز مورد بررسی قرار گرفته است. نکته مهم و تاثیرگذار در خروجی‌ها، تعریف فضای همسایگی محلی^۲ یا مشخص نمودن تعداد کمینه، بیشنه یا شعاع انتخاب نمونه‌ها در فرآیند شبیه‌سازی هر پیکسل می‌باشد. با توجه به این‌که در نرم‌افزار Gstat تاثیر تعریف ناحیه همسایگی به صورت چشمی قابل ارزیابی نیست، برای این تعریف به دقت فاصله نقاط بررسی شد و بر آن اساس تعداد کمینه نمونه‌برداری برابر ۸ و تعداد بیشنه آن معادل ۲۰ در نظر گرفته شد. همچنین به منظور بررسی دقت نقشه‌خروجی بجزء فایل پیش‌بینی، فایل واریانس نیز تولید گردید تا مشخص شود کدام نواحی پوشش مناسبی نداشته‌اند و با توجه به این‌که کریجینگ از جمله مدل‌های درون‌یابی تقریبی است برای مشخص نمودن دقت شبیه‌سازی از گزینه اعتبارسنجی از نوع تقاطع^۳ نیز بکار گرفته شده است.

درون‌یابی مکانی تراز چاه‌ها به روش کریجینگ به کمک

نرم‌افزار Geostatistical Analyst

- 5-Geostatistical Wizard
- 6-Toolbar
- 7-Geostatistical Analyst
- 8-Trend Analysis

- 1-Ordinary Kriging
- 2-Universal Kriging
- 3-Local Neighborhood
- 4-Cross-Validate

در نظر گرفته شده است (تا تعداد نقاط با نرم افزار Gstat یکسان باشد).

بررسی خطاهای تک تک نقاط و خطای کل شبیه سازی
در گام آخر پس از تنظیمات در ساحر زمین آمار و تولید تصویر سطح نهایی، آمار خطای هر نوع و خطای کل در پنجره اعتبارسنجی تقاطع ذخیره شد تا در فرآیند ارزیابی صحت مورد استفاده قرار گیرد.

دورنیابی مکانی تراز چاه‌ها به کمک روش‌های قطعی
با توجه به هدف این پژوهش و اهمیت جهت جریان آب زیرزمینی در شناسایی درست نواحی محتمل تغذیه، بجز روش‌های زمین‌آمار از روش‌های قطعی درونیابی مرسوم شامل IDW، RBF و LPI نیز استفاده شد تا بر اساس بررسی‌های عملکرد و اعتبارسنجی روش‌های درونیابی مناسب‌ترین آن‌ها جهت مدل‌سازی جهت جریان آب مورد استفاده قرار گیرد. بدین منظور از ماژول ساحر زمین‌آمار در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد.

اعتبارسنجی روش‌های دورنیابی
بهترین روش اعتبارسنجی، مقایسه خروجی مدل‌سازی با اندازه‌گیری‌های نقاط جدید پیش‌بینی شده در محل می‌باشد (۹)، اما معمولاً چنین دسترسی‌هایی امکان پذیر نیست (نیاز به حفر چاه مشاهده‌ای دارد)، بنابراین متداول است داده‌های مورد استفاده به دو دسته تعلیمی و آزمون تقسیم شوند و مدل‌سازی ابتدا بوسیله داده‌ها تعلیمی صورت پذیرد، سپس بر روی داده‌های آزمون، اعمال شده و خروجی آن با واقعیت سنجیده می‌شود (۹). بنابراین به منظور بررسی عملکرد هر مدل درونیابی، ابتدا بوسیله ماژول تولید زیرمجموعه‌دار ابزار تحلیل‌گر زمین-آمار داده‌ها به دو دسته تعلیمی و آزمون تفکیک شدند (به نسبت ۷۰ به ۳۰)، سپس مدل‌سازی‌ها و عملیات‌های درونیابی بر اساس داده‌تعلیمی انجام و با اعمال مدل بر روی داده آزمون،

کنکاش شبه‌واریانس‌ها به منظور بررسی همبستگی ارزشی-مکانی در نمونه‌ها

بر اساس قانون توپلر و فرض زمین‌آمار هر چقدر فاصله یک جفت داده بیش‌تر شود، اختلاف ارزشی آن‌ها بیش‌تر می‌شود (۹-۷، ۱۳). شبه‌واریوگرام اجازه می‌دهد این رابطه یا به عبارت بهتر همبستگی مکانی-ارزشی بررسی شود. با بررسی نقاطی که در فاصله کم محور X (مولفه فاصله)، مقدار زیاد شبه‌واریانس در محور Y (متوسط گشتاور دوم اختلاف ارزشی) دارند یا بر عکس در فاصله زیاد، مقدار شبه‌واریانس بسیار کم است، می‌توان جهت‌هایی را شناسایی نمود که الگوی تغییرات ارزشی در آن‌ها به دلایل مختلف محیطی متفاوت می‌باشد. بنابراین در اینجا با این بررسی، شناسایی مدل همسان یا ناهمسان شبیه‌سازی امکان پذیر می‌باشد که در مراحل بعدی فرآیند زمین‌آمار از آن استفاده خواهد شد.

بررسی مدل آزمون‌ی تصویر سطح به منظور استفاده از مدل ناهمسانی

همانند نرم‌افزار Gstat در اینجا نیز امکان تشکیل مدل آزمون‌ی تصویر سطح وجود دارد، بنابراین به غیر از بررسی شبه‌واریانس که در فاز قبل مورد آزمون قرار گرفت، روش تشکیل تصویر آزمون‌ی سطح به انتخاب نوع مدل، جهت مناسب و تعریف تعداد وقفه‌ها و فاصله‌ها کمک می‌کند که در این پژوهش از این تکنیک نیز استفاده شده است.

تعریف چشمی فضای همسایگی و بررسی اثر تغییر در پارامترهای آن

یکی از مهم‌ترین تفاوت‌های تحلیل‌گر زمین‌آمار با نرم‌افزار Gstat، امکان تعریف فضای همسایگی محاسبه محلی به صورت چشمی و بررسی هم‌زمان تغییر اندازه آن در مدل خروجی می‌باشد. بنابراین با دقت بهتری امکان تعریف این فضا وجود دارد. در این پژوهش از نوع بخش بندی چهار جهته، استفاده شد و در هر جهت کمینه معادل ۲ و بیشینه معادل ۵

تعریف نواحی محتمل تغذیه سفره

بر اساس نتایج اعتبارسنجی برای هر داده مورد بررسی، بهترین روش درون‌یابی مشخص و بر همان اساس یک مدل‌سازی درون‌یابی مجدد با تمامی داده‌ها انجام پذیرفت و تصویر سطح تراز مربوطه بدست آمد. در گام بعدی با استفاده از نرم‌افزار ArcHydro Groundwater جهت جریان آب زیرزمینی بوسیله تصویر سطح مذکور مشخص و نواحی دارای جریان واگرا علامت زده می‌شد. در نهایت بر اساس مقایسه نتایج در دو سال متمادی ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ محتمل‌ترین مناطق تغذیه‌کننده سفره آب مشخص گردید.

نتایج

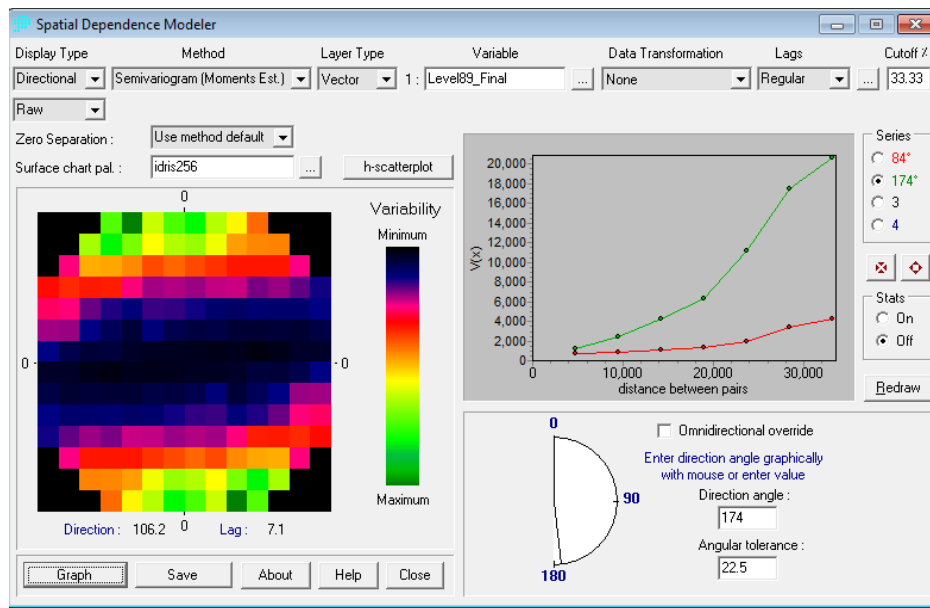
مدل‌سازی توسط Gstat

با بررسی تصاویر سطح تراز در ماژول مدلساز وابستگی مکانی^۱ مشخص گردید، تقریباً برای تمامی داده‌ها مدل ناهمسان پهنه-ای باید بکار گرفته شود، زیرا در جهت‌های مختلف مقدار Sill بسیار متفاوت بود (شکل ۳).

صحت مدل‌سازی مشخص می‌گردید. بدین منظور برای بررسی دقت مدل‌سازی بر روی داده‌های آزمون، در نرم‌افزار ArcGIS از ابزار اعتبارسنجی GA Layer To Points استفاده و در نرم‌افزار IDRISI، ماژول رگرسیون یا REGRESS بکار گرفته شده است.

لازم به ذکر است در مورد روش‌های درون‌یابی دقیق، تنها روش بررسی صحت، تفکیک داده‌ها به دو دسته تعلیمی و آزمون است زیرا در این روش‌ها ارزش پیش‌بینی‌ها دقیقاً با مقادیر ورودی یکسان می‌باشند و امکان بررسی دقت مدل‌سازی وجود ندارد، اما در مورد روش‌های تقریب می‌توان از آمار اعتبارسنجی به شکل تقاطع استفاده نمود.

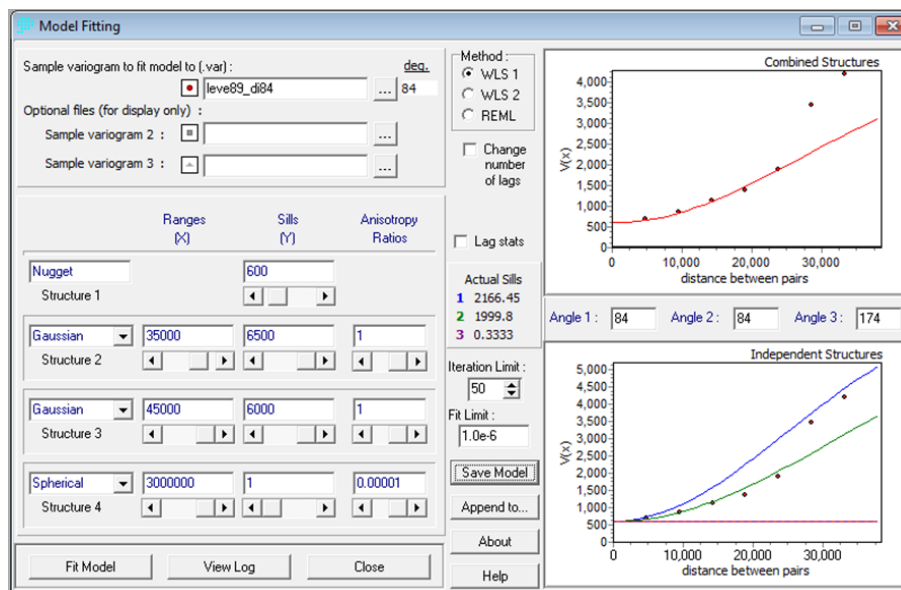
همچنین بر آنکه از نظر عملی مشخص شود عملکرد هر روش به روش دیگر چقدر شباهت دارد، تصاویر سطح خروجی با یکدیگر از نظر آماری و خروجی مدل‌سازی جهت جریان آب مقایسه شدند و در نهایت با انتقال این خروجی‌ها در نرم‌افزار گوگل ارث، از نقطه‌نظر کارشناسی هم عملکرد هر مدل درون‌یابی مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۳- تصویر آزمون سطح تراز (چپ) و شبه واریوگرام (راست) در جهت‌های مختلف داده متوسط سالیانه ۸۹

در مورد روش کریجینگ کلی که برای مدل ناهمسان پهنه‌ای توصیه شده است، واریوگرام بر اساس جهت بیش‌ترین وابستگی مکانی ایجاد و برای حذف روند کل از نمونه‌ها، در ابتدا بوسیله مازول روند، تصویر سطح روند کلی بدست آمد و در مدل نهایی به عنوان لایه رستری دوم بکار گرفته شد (۲۵).

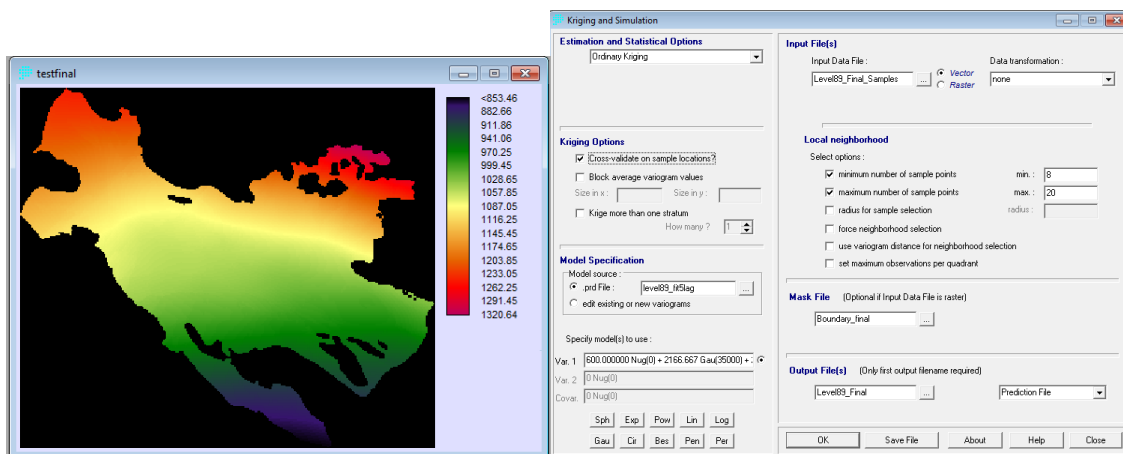
در مورد روش کریجینگ معمولی، به منظور بکارگیری مدل ناهمسان پهنه‌ای برای تمامی داده‌ها از چهار ساختار برای ایجاد واریوگرام نهایی استفاده شده است. بر این اساس یکی از ساختارها به شکل یک بیضی بی‌نهایت در جهت آزمون بیش‌ترین تغییرات با مقدار ناهمسانی بسیار ناچیز تعریف شده است (شکل ۴ ساختار شماره ۴).



شکل ۴- ساختارهای مختلف واریوگرام (شکل راست پایین) و واریوگرام ترکیبی (شکل راست بالا) داده متوسط سالیانه ۸۹

گردید(شکل ۴). همچنین برای درک صحت شبیه‌سازی از اعتبارسنجی به شکل تقاطع در مورد کل داده نیز استفاده شده است(شکل ۴).

مهم‌ترین مشکل استفاده از نرم‌افزار Gstat مشخص نبودن اثر تعریف فضای همسایگی قبل از انجام شبیه‌سازی می‌باشد، بنابراین این فضا با بررسی چشمی پراکنش نقاط مشخص

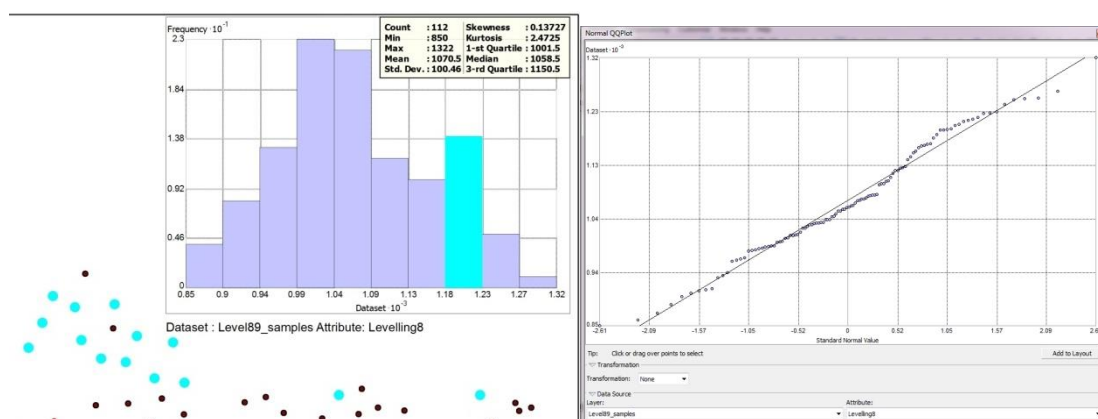


شکل ۵- تعریف فضای همسایگی، مدل نهایی و اعتبارسنجی تقاطع در مورد داده متوسط سالیانه ۸۹ و تصویر سطح نهایی

مدل‌سازی توسط Geostatistical Analyst

با بررسی توزیع فراوانی داده‌های تراز آب مشخص گردید این توزیع در مورد تمامی تاریخچه نرمال نیست و تبدیل داده نیز کمکی به نرمال‌تر شدن آن‌ها نمی‌کند(شکل ۶). بنابراین تبدیل داده‌ها صورت نپذیرفت.

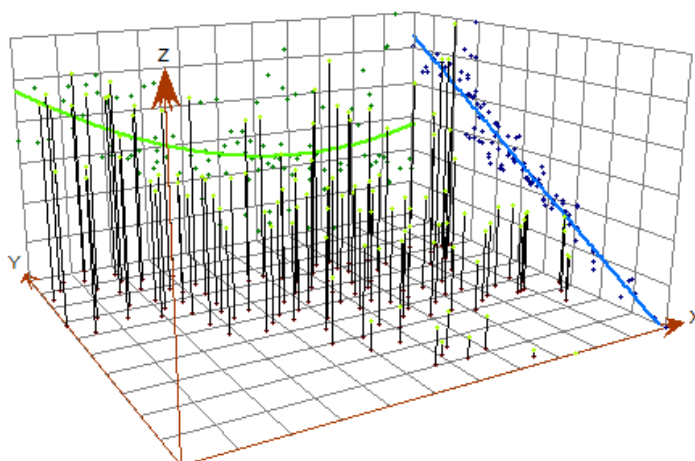
رابطه همبستگی بین پیش‌بینی‌ها و مشاهدات در مورد کل داده در زمان‌های مختلف بین ۰/۹۴۹۴ تا ۰/۹۴۹۷ متغیر بود. اما به منظور انتخاب مناسب‌ترین شیوه درون‌یابی تصویر سطح، از روش داده آزمون و تعلیمی استفاده شده است. در این حالت نیز همبستگی بین مشاهدات و شبیه‌سازی‌ها در روش کریجینگ بین ۰/۹۴۹ تا ۰/۹۵۳ متغیر نشان می‌دهد.



شکل ۶- بررسی هیستوگرام و Normal Q-QPlot به منظور تشخیص نرمال بودن در مورد داده متوسط سالیانه ۸۹

در محور X در مورد اغلب داده‌ها وجود دارد. بنابراین برای حذف روند کلی، روند بالا به پایین که بسیار قوی به نظر می‌رسید، در فرآیندهای بعدی مدل‌سازی حذف گردید(شکل ۷).

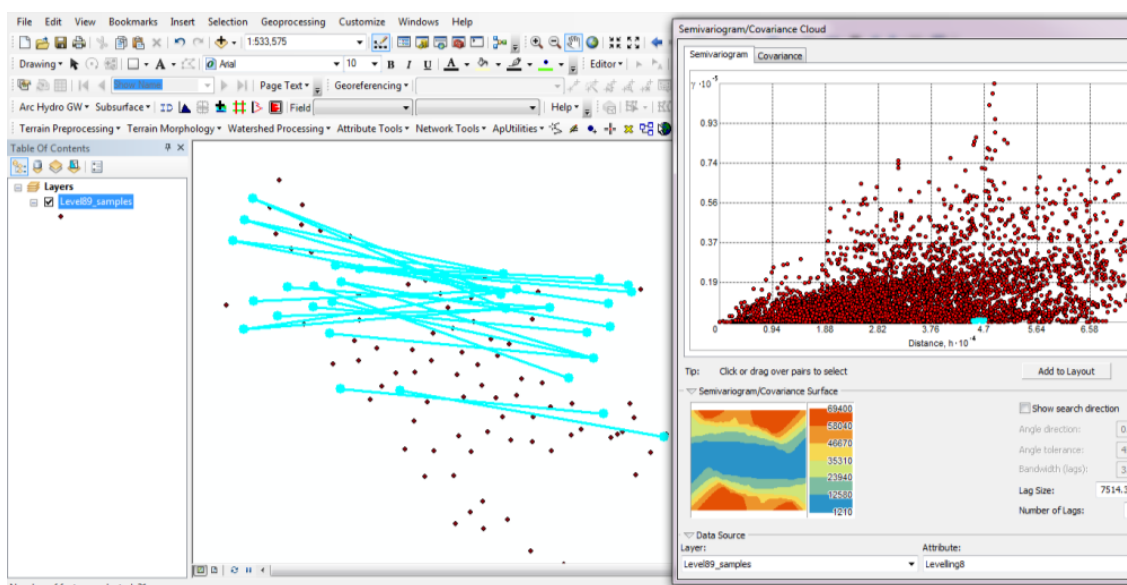
با بررسی روند همان‌گونه که در مورد نرم‌افزار Gstat نیز بیان شد، مشخص گردید داده‌ها دارای روند است(شکل ۷) و یک روند قوی خطی از بالا به پایین (محور Y) و یک روند ضعیف‌تر



شکل ۷- بررسی روند کلی در مورد داده متوسط تراز سالیانه آب سال ۸۹

شرق آبخوان افزایش نمی‌یابد (شکل ۸) و بیش‌ترین تغییرات مربوط روند بالا به پایین است.

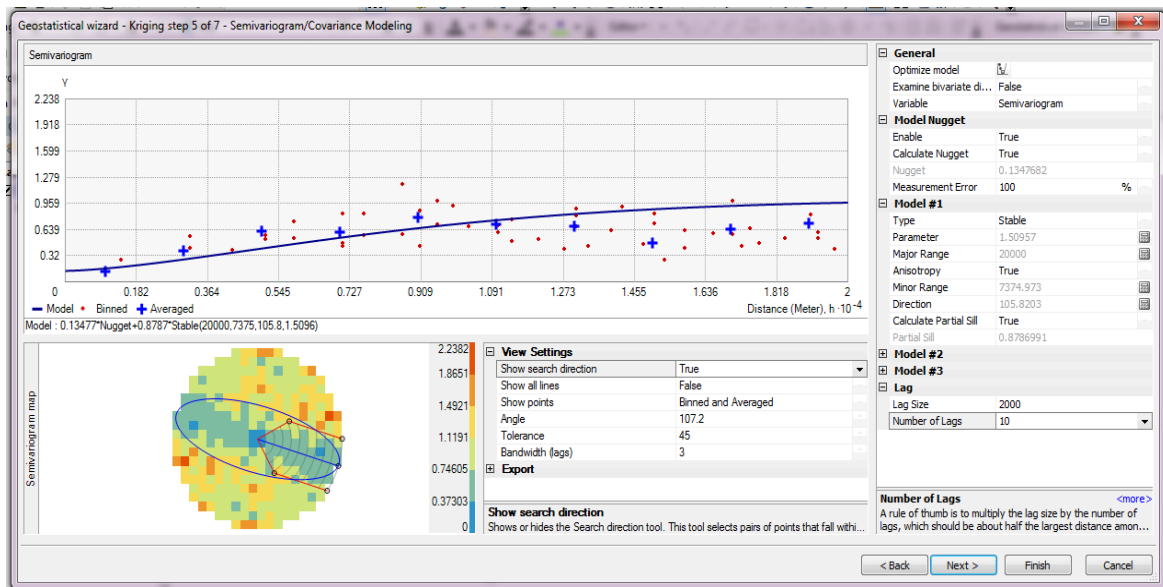
در بررسی شبه واریوگرام نیز مشخص گردید با افزایش فاصله، متوسط گشتاور درجه دوم ارزشی داده‌های مربوط به غرب و



شکل ۸- بررسی شبه‌واریوگرام در مورد داده متوسط تراز سالیانه آب سال ۸۹

پذیرد، جهت در داده‌ها بسیار مهم است، بنابراین مدل ناهمسان باید در نظر گرفته شود و جهت مدل‌سازی بر اساس بیضی تغییرات آزمون سطح و در جهت کم‌ترین تغییرات باید تعریف شود (شکل ۹).

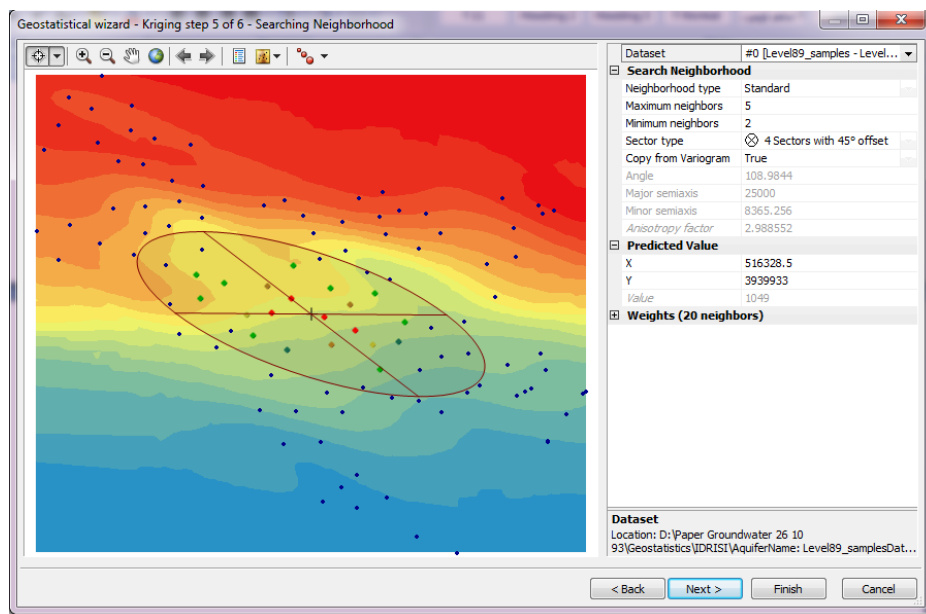
بنابراین با بررسی‌های انجام شده بر روی داده مشخص گردید در مورد تمامی آن‌ها نیازی به تبدیل عددی نیست (کمکی به نرمال‌تر شدن داده‌ها نمی‌کند)، روند بالا به پایین خطی باید از داده‌ها حذف شود تا شبیه‌سازی بر روی باقی‌مانده‌ها صورت



شکل ۹- تعریف مدل ناهمسان و جهت بیضی در مورد داده متوسط تراز سالیانه آب سال ۸۹

داشتن کمینه ۲ و بیشینه ۵ در هر بخش آن، مناسب این پژوهش می‌باشد. با این انتخاب امکان مقایسه خروجی ساحر زمین‌آمار با Gstat نیز امکان پذیر می‌باشد.

مهم‌ترین ویژگی ساحر زمین‌آمار نسبت به Gstat امکان بررسی اثر تغییر فضای همسایگی در خروجی مدل‌سازی می‌باشد (شکل ۱۰). بر همین اساس با بررسی چشمی نقاط مختلف آبخوان، مشخص گردید انتخاب نوع بخش بندی به صورت چهار جهته و



شکل ۱۰- تعریف فضای همسایگی شبیه‌سازی محلی در مورد داده متوسط تراز سالیانه آب سال ۸۹

تعلیمی نیز همبستگی بین مشاهدات و شبیه‌سازی‌ها در روش کریجینگ بین ۰/۹۴۹۴ تا ۰/۹۷۶۸ متغیر نشان داد.

در مورد خروجی تحلیل گر زمین‌آمار رابطه همبستگی بین پیش‌بینی‌ها و مشاهدات در مورد کل داده در زمان‌های مختلف بین ۰/۹۵۹۳ تا ۰/۹۶۸ متغیر بود. در روش داده آزمون و

مقایسه عملکرد دو نرم افزار و روش های درون یابی

به منظور مقایسه عملکرد دو نرم افزار و مقایسه عملکرد روش کریجینگ با سایر روش های درون یابی در این پژوهش چندین مکانیزم مختلف بکار گرفته شده است. در روش اول بیشترین همبستگی مشاهده شده در مورد داده های آزمون مشاهده شده و پیش بینی شده معیار قرار گرفته است (جدول ۱). همان گونه که در جدول (۱) مشاهده می شود عملاً امکان ارزیابی عملکرد و

گزینش بهترین روش درون یابی یا نرم افزار مطمئن تر با این روش وجود ندارد (در واقع بیشترین تفاوت همبستگی در حدود ۰/۰۲ می باشد). مطابق با ضرایب همبستگی به نظر می رسد تفاوت معنی داری بین نرم افزارها و روشها وجود ندارد. بنابراین با توجه به اهمیت تصویر سطح تراز در این پژوهش به منظور درک بهتر عملکرد روش های درون یابی از مکانیزم های دیگری نیز استفاده شده است.

جدول ۱- بیشترین همبستگی مشاهده شده در مورد داده های آزمون

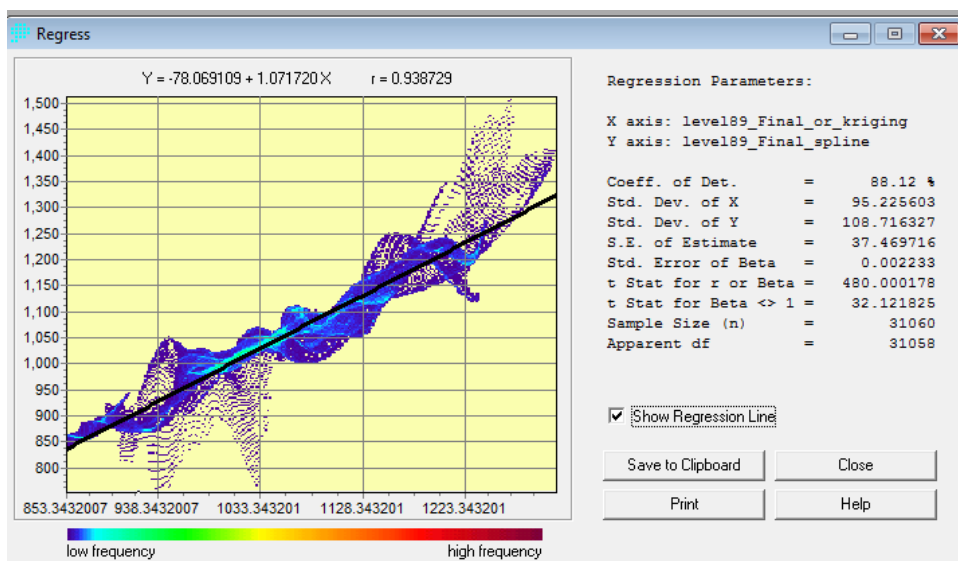
| روش درون یابی | ماژول مورد استفاده | بیشترین ضریب همبستگی |
|----------------|------------------------|----------------------|
| کریجینگ معمولی | Gstat | ۰/۹۵۳ |
| کریجینگ معمولی | Geostatistical Analyst | ۰/۹۷۶۸ |
| کریجینگ کلی | Gstat | ۰/۹۶۰ |
| کریجینگ کلی | Geostatistical Analyst | ۰/۹۷۵۳ |
| IDW | هر دو ماژول | ۰/۹۷ |
| RBF & Spline | هر دو ماژول | ۰/۹۵ |
| LPI | هر دو ماژول | ۰/۹۶۴۶ |
| TIN | هر دو ماژول | ۰/۹۶ |

با توجه به برآورد تصویر سطحی در تمامی روشها، در ابتدا رابطه همبستگی میان تخمین های هر روش در کل تصویر با روش های دیگر بدست آمد. هر چند مطابق با انتظارات بر اساس جدول (۱)، اعداد ضرایب همبستگی بین روش های مختلف، بسیار زیاد مشاهده گردید (جدول ۲)، ولی تغییرات ابرپراکنش

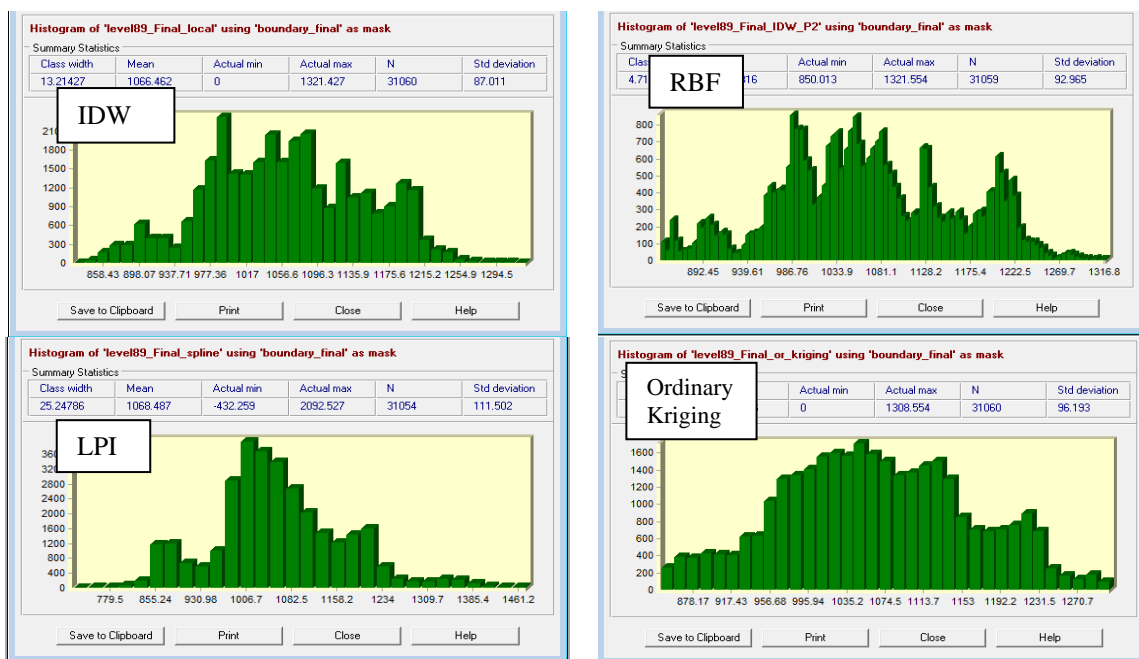
نقاط حول خط کمترین مربعات بسیار شدید و محسوس نشان داده شده است (شکل ۱۱) و هیستوگرام تصاویر خروجی هر مدل نیز این تغییرات آشکار عملکرد مدل ها را به خوبی نشان می دهد (شکل ۱۲).

جدول ۲- مقایسه ضرایب همبستگی میان روش های مختلف درون یابی و زمین آمار

| روش های مورد مقایسه | بیشترین ضریب همبستگی |
|-----------------------|----------------------|
| کریجینگ معمولی با IDW | ۰/۹۷۴ |
| کریجینگ کلی با IDW | ۰/۹۷۲ |
| کریجینگ معمولی با RBF | ۰/۹۳۸ |
| کریجینگ کلی با RBF | ۰/۹۵۵ |
| کریجینگ معمولی با LPI | ۰/۹۷۲ |
| کریجینگ کلی با LPI | ۰/۹۶۴ |
| کریجینگ معمولی با TIN | ۰/۹۵۴ |
| کریجینگ کلی با TIN | ۰/۹۸۱ |



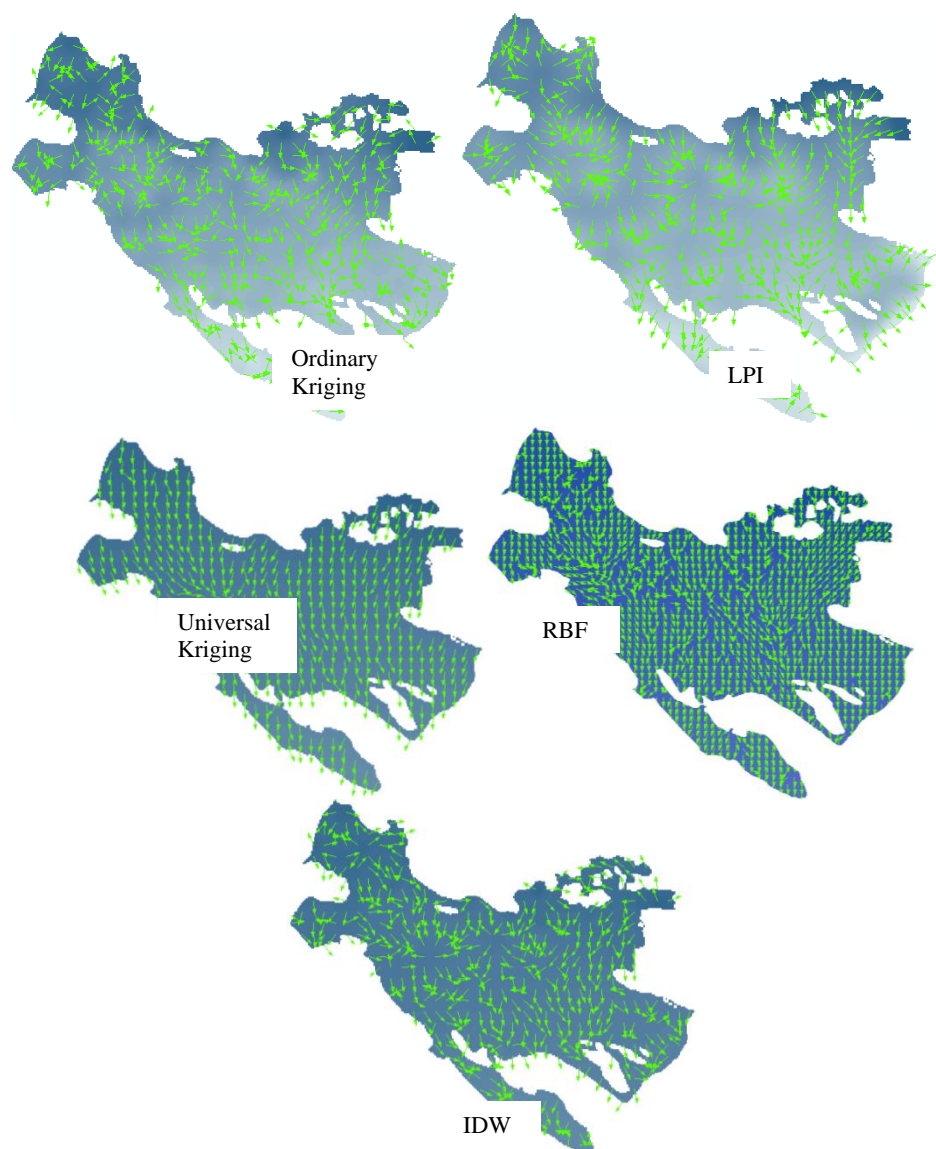
شکل ۱۱- ابرپراکنش نقاط در رابطه رگرسیونی کریجینگ معمولی با RBF در مورد داده متوسط تراز سالیانه آب سال ۸۹



شکل ۱۲- مقایسه هیستوگرام تصاویر بدست آمده از روشهای مختلف در مورد داده متوسط تراز سالیانه آب سال ۸۹

نشد. بنابراین درست است که به لحاظ همبستگی خروجی مدل‌های مختلف درون‌یابی بسیار شبیه به یکدیگر می‌باشد، ولی عملکرد این روشها به لحاظ آماری کاملاً متفاوت از یکدیگر است. برای آنکه در عمل بتوان کارکرد روشهای درون‌یابی را مورد ارزیابی قرار داد، در گام آخر برای تمامی تصاویر سطح بدست آمده از روشهای مختلف، جهت جریان آب زیرزمینی مشخص گردید.

هر چند در روشهای مختلف درون‌یابی، میانگین و انحراف معیار ۳۱۰۶۰ پیکسل واقع در آبخوان بسیار به یکدیگر نزدیک بود، ولی با استخراج این پیکسل‌ها و بررسی آن‌ها در نرم‌افزار SPSS مشخص گردید، بین خروجی روش کریجینگ معمولی با روشهای IDW, LPI, RBF, TIN در سطح یک درصد آزمون‌های توکی، دانکن، LSD و دانت، اختلاف معنی‌دار وجود دارد. هر چند بین روش کریجینگ معمولی با کریجینگ کلی بوسیله هیچ یک از آزمون‌های مذکور اختلاف معنی‌دار دیده



شکل ۱۳- مقایسه جهت جریان تصاویر بدست آمده از روشهای مختلف در مورد داده متوسط تراز سالانه آب سال ۸۹

بحث و نتیجه‌گیری

متفاوت باشد. بنابراین برای انتخاب روش مناسب درون‌یابی در این تحقیق از روش تحلیل کارشناسی بر اساس واقعیت موجود، استفاده شد. بر این اساس اطلاعات مربوط به شهرک‌های صنعتی، نواحی مسکونی و زمین‌های کشاورزی در کل ناحیه مطالعاتی جمع‌آوری شد، مشخص گردید کدام ناحیه از روش چاه جذبی برای دفع پساب استفاده می‌کند. در گام دیگر بر اساس تمامی روشهای درون‌یابی و داده‌های مقاطع زمانی مختلف و با استدلال واگرایی در جهت جریان، تمامی مناطق

با مقایسه شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ مشاهده می‌گردد، با وجود دقت عملکرد بسیار مناسب تمامی روشهای درون‌یابی (مطابق جدول ۱)، تفاوت زیادی بین خروجی تصاویر سطحی حاصل از روشهای مختلف درون‌یابی وجود دارد. با توجه به مشاهده این روند در تمامی داده‌های مربوط به مقاطع زمانی مختلف، انتخاب روش دورنیابی مناسب بر اساس استدلال‌های آماری بر اساس خطاهای محاسباتی عملاً امکان‌پذیر نمی‌باشد و در صورت اشتباه در انتخاب روش، خروجی می‌تواند بسیار با واقعیت

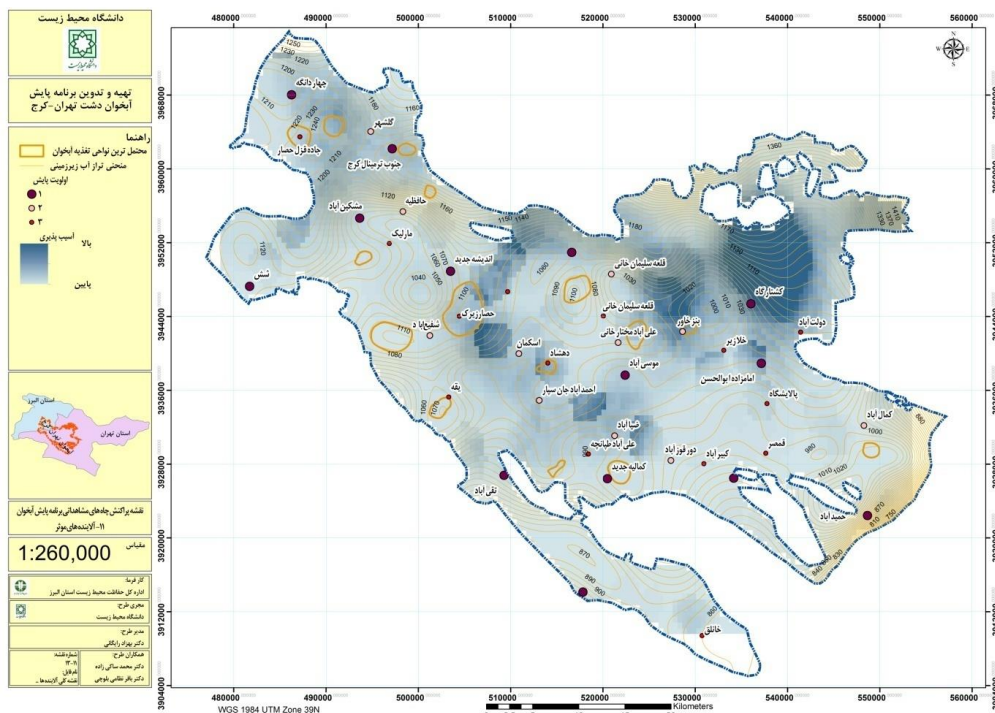
بر اساس خروجی‌ها، نرم‌افزار Gstat با وجود انعطاف‌پذیری بالا، در مدل‌سازی کربجینگ معمولی به دلیل از بین نبردن کامل روند، توان زیادی در مدل‌سازی به شکل ناهمسان پهنه‌ای ندارد. هرچند می‌توان در مورد این نوع از مدل‌ها از روش کربجینگ کلی استفاده نمود. در مقایسه، نرم‌افزار تحلیل‌گر زمین‌آمار قابلیت‌های تصمیم‌گیری بیش‌تری در اختیار پژوهشگر قرار می‌دهد و در مورد مدل‌های ناهمسان پهنه‌ای، توان بی‌روندسازی کلی را در مورد روش کربجینگ معمولی دارد. همچنین امکان مشاهده اثر تعریف فضای همسایگی در نرم‌افزار Gstat به طور هم‌زمان برخلاف تحلیل‌گر زمین‌آمار وجود ندارد، بنابراین در این قبیل مطالعات استفاده از این تحلیل‌گر توصیه می‌شود.

بخش‌های روش‌های زمین‌آمار، سایر روش‌های درون‌یابی نیز عملکرد مناسبی نشان دادند، بنابراین باید تاکید شود، هیچ روش درون‌یابی بر روش دیگر بدون در نظر گرفتن شرایط محیطی برتری خاصی ندارد (۶، ۸)، بنابراین توصیه می‌شود کارکرد تمامی روش‌ها در مورد مطالعه موردی مدنظر مقایسه و بر آن اساس انتخاب صورت پذیرد.

محتمل تغذیه آبخوان مشخص شدند. سپس با مقایسه تحلیل کارشناسی اطلاعات موجود و این خروجی‌ها، بهترین روش انتخاب و نقشه نواحی محتمل تغذیه تهیه گردید (شکل ۱۴). بر اساس این نتایج، روش زمین‌آمار کربجینگ کلی عملکرد بهتری از روش‌های درون‌یابی دیگر نشان داد.

بر اساس یافته‌های این پژوهش هر چند برخی از مطالعات آبهای زیرزمینی بر برتری یک روش درون‌یابی بر روش دیگر تاکید می‌کنند (۱، ۶، ۱۶، ۲۷) ولی مطابق نتایج این تحقیق، این برتری در ظاهر وجود ندارد و تنها به کمک مقایسه خروجی با واقعیت می‌توان با قطعیت بالاتری در زمینه برتری یک روش درون‌یابی به جمع‌بندی نهایی رسید.

همچنین نرم‌افزار مورد استفاده و توان علمی پژوهشگر در بکارگیری قابلیت استفاده از آن (۹، ۱۳، ۲۱، ۲۲)، تاثیر زیادی بر تصمیم‌گیری نهایی خواهد داشت. تعریف هوشمندانه و رایوگرام بر اساس شرایط محیط و انتخاب فضای همسایگی مطابق با آن در خروجی تصویر سطحی بسیار اثرگذار است (۱۳)، بنابراین بسیار مهم است پژوهشگر از واقعیت‌های محیطی موجود، نهایت استفاده را برده باشد.



شکل ۱۴- نقشه مناطق محتمل تغذیه آبخوان همراه با چاه‌های آب مشاهده‌ای که برای برنامه پایش توصیه شده است

6. Gong G, Mattevada S, O'Bryant SE, 2014. Comparison of the accuracy of kriging and IDW interpolations in estimating groundwater arsenic concentrations in Texas. *Environmental Research*, vol. 130, pp. 59-69.
7. Karimi HA. *Handbook of research on geoinformatics*. Hershey: Information Science Reference; 2009. xxxiv, 481 p. p.
8. Di Piazza A, Conti FL, Noto LV, Viola F, La Loggia G, 2011. Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for Sicily, Italy. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 13, pp. 396-408.
9. Johnston K, Ver Hoef JM, Krivoruchko K, Lucas N. *Using ArcGIS geostatistical analyst: Esri Redlands*; 2001.
10. Kebaili Bargaoui Z, Chebbi A, 2009. Comparison of two kriging interpolation methods applied to spatiotemporal rainfall. *Journal of Hydrology*, vol. 365, pp. 56-73.
11. Zhang K, Li H, Achari G, 2009. Fuzzy-stochastic characterization of site uncertainty and variability in groundwater flow and contaminant transport through a heterogeneous aquifer. *Journal of Contaminant Hydrology*, vol. 106, pp. 73-82.
12. Tapoglou E, Karatzas GP, Trichakis IC, Varouchakis EA, 2014. A spatio-temporal hybrid neural network-Kriging model for groundwater level

تشکر و قدردانی

این پژوهش با تصویب و حمایت مالی حوزه معاونت محیط زیست انسانی سازمان حفاظت محیط زیست و همکاری اداره کل حفاظت محیط زیست استان البرز اجرا گردیده است که بدین وسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع

1. Nwankwoala HO, Eludoyin OS, Obafemi AA, 2012. Groundwater Quality Assessment And Monitoring Using Geographic Information Sysytems (Gis) In Port Harcourt, Nigeria. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*, vol. 5, pp. 583-96.
2. Machiwal D, Jha MK, 2015. Identifying sources of groundwater contamination in a hard-rock aquifer system using multivariate statistical analyses and GIS-based geostatistical modeling techniques. *Journal of Hydrology: Regional Studies*,
3. Ahmed SS, Okour YH, Said EH, 2015. A Methodology Based on Advanced Modeling Techniques for Groundwater Monitoring and Management-Part A. *International Journal For Research & Development In Technology*, vol. 3, pp. 6-12.
4. Liu L, Yi L, Cheng X, 2014. Stochastic simulation of shallow aquifer heterogeneity and it's using in contaminant transport modeling in Tianjin plains. *Journal of Water Resources and Ocean Science*, vol. 3, pp. 80-8.
5. Huang PM, Li Y, Sumner ME. *Handbook of soil sciences : properties and processes*. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press; 2011.

- Using pH as Auxiliary Co-kriging Variable. *Procedia Environmental Sciences*, vol. 3, pp. 130-5.
20. Jensen JR. *Introductory digital image processing : a remote sensing perspective*. 3rd ed. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall; 2005. xv, 526 p. p.
21. Negreiros J, Painho M, Costa A, Santos J, Lopes I, editors. *Geostatistical Analysis: Software Flashpoint. Geocomputation Conference, Dublin, Ireland; 2007*.
22. Pebesma EJ, *Gstat user's manual* .
23. Pebesma EJ, Wesseling CG, 1998. *Gstat: a program for geostatistical modelling, prediction and simulation. Computers & Geosciences*, vol. 24, pp. 17-31.
24. Pebesma EJ, editor *Gstat: multivariable geostatistics for S. Proceedings of DSC; 2003*.
25. Eastman J. *IDRISI Selva manual: Clark Labs; 2012*. 324 p.
26. Eastman J. *IDRISI Selva Tutorial: Clark Labs; 2012*.
27. Jang C-S, Chen S-K, Kuo Y-M, 2013. Applying indicator-based geostatistical approaches to determine potential zones of groundwater recharge based on borehole data. *Catena*, vol. 101, pp. 178-87.
- simulation. *Journal of Hydrology*, vol. 519, pp. 3193-203.
13. Oliver MA, Webster R, 2014. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. *Catena*, vol. 113, pp. 56-69.
14. Özdemir Y. Determination of surface water resources changes by Multi Temporal Satellite Imagery and Investigations of groundwater by using of geostatistical method. 30th EARSeL Symposium: Remote Sensing for Science, Education and Culture; Paris, France 2010.
15. Theodossiou N, Latinopoulos P, 2006. Evaluation and optimisation of groundwater observation networks using the Kriging methodology. *Environmental Modelling & Software*, vol. 21, pp. 991-1000.
16. Hassan J, 2011. A Geostatistical approach for mapping groundwater quality (Case Study: Tehsil Sheikhpura). *International Journal* ,
17. Candela L, Olea RA, Custodio E, 1988. Lognormal Kriging For The Assessment Of Reliability In Groundwater Quality Control Observation Networks. *Journal of Hydrology*, vol. 103, pp. 67-84.
18. Anderson F, 2014. Multivariate Geostatistical Model for Groundwater Constituents in Texas. *International Journal of Geosciences*, vol. 5, pp. 1609-17.
19. Ghadermazi J, Sayyad G, Mohammadi J, Moezzi A, Ahmadi F, Schulin R, 2011. Spatial Prediction of Nitrate Concentration in Drinking Water