Archive of SID

نشریه علمی-پژوهشی "مهندسی معدن"
Iranian Journal of Mining Engineering (IRJME)
دوره دوازدهم،شماره ۳۵، تابستان ۱۳۹۶، صفحه۶۷تا۷۴
Vol. 12, No. 35, 2017, pp.67-74

تحلیل حساسیت پارامترهای مؤثر بر درونیابی با استفاده از روش کریجینگ عمومی

محسن یاوری [۱]؛ محمد کنشلو *[۲]؛ ابوالقاسم کامکار روحانی [۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود، m.yavari.66@gmail.com
۲- استادیار دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود،mkoneshloo@gmail.com
۳- دانشیار دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود، kamkarr@yahoo.com
(دریافت۱ آبان ۱۳۹۰، پذیرش ۱۵ تیر ۱۳۹۲)

چکیده

در حال حاضر که آبهای زیرزمینی به یکی از اصلی‌ترین منابع تأمین آب برای استفاده‌های گوناگون تبدیل شده‌اند، پایش سطح آب زیرزمینی به‌ویژه در حوضه هایی که تحت تهدید پمپاژ بیش از حد هستند، یعنی مناطق با تمرکز زیاد شهری و یا صنعتی اهمیت بیشتری دارند. با این وجود همواره هزینه‌های حفر گمانه‌های اکتشافی، تعداد داده‌ها و نهایتا کیفیت تخمین را محدود کرده است. با استفاده از داده‌های کمکی و صرف هزینه‌ی نسبتا کمی می‌توان نتایج تخمین را بهبود بخشید، یکی از این روشها ، روش تخمین زمین آماری "کریگینگ با روند بیرونی" است. به واسطه استفاده از داده‌های ثانویه در دسترس و ارزانی، مانند داده‌های توپوگرافی، به‌عنوان روند بیرونی در تخمین سطح آب زیرزمینی میسر می-شود. در این مقاله حساسیت روش کریگینگ با روند بیرونی نسبت به ضریب همبستگی بین داده‌های اولیه و ثانویه و همچنین مقدار اثر قطعه‌ای داده‌های اولیه و تأثیر متقابل آن‌ها سنجیده شده است. هدف از این مطالعه دستیابی به برخی معیارهای سرانگشتی برای به کارگیری این روش و سنجش توانایی آن در شرایط مختلف است. حساسیت‌سنجی روش مذکور براساس نتایج اعتبارسنجی انجام شده است. پارامترهایی که در این اعتبارسنجی بررسی شدهاند، شامل میانگین خطای تخمین، واریانس خطای تخمین، شیب خط رگرسیون برازش داده شده بر ابر پراکندگی داده-های تخمینی و واقعی و همچنین ضریب تعیین به‌دست آمده از این رگرسیون می‌باشند. در پایان براساس نتایج اعتبارسنجی، حساسیت‌سنجی کریگینگ با روند بیرونی برای هر یک از پارامترهای مورد نظر انجام شده و نتایج ارائه و تفسیر شده‌اند.

کلمات کلیدی

کریگینگ با روند بیرونی، تحلیل حساسیت ، پارامترهای تخمین، اعتبارسنجی، آبهای زیرزمینی

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

امروزه تکنیک‌های زمین‌آماری حیطه وسیعی از تخمین‌های علوم زمین را به خود اختصاص داده‌اند و استفاده از روش‌های تک‌متغیره در صنعت معمول شده است. روش‌های چند متغیره زمین آماری توانایی استفاده‌ی بیش از یک متغیر در تخمین مورد نظر را دارند و بنابراین در این روش‌ها از اطلاعات ثانویه برای کمک به تخمین متغیر اولیه (متغیر هدف) نیز استفاده می‌شود. با این وجود به دلیل برخی از پیچیدگی‌های فنی و تکنیکی کمتر در صنعت مرسوم شده‌اند، حال آن‌که کاربرد آن‌ها می‌تواند کمک شایسته‌ای به بهبود وضعیت تخمین‌ها کند، بدون آن‌که که هزینه‌های جنبی خاصی را بر پروژه اعمال نماید. یکی از روش‌های چند متغیره زمین‌آماری که در این تحقیق از آن استفاده شده‌است، روش کریگینگ با روند بیرونی (KED) است که کاربردهای متعددی در شاخه‌های علوم زمین و به‌ویژه تخمین سطح آب زیرزمینی در سفره‌های آزاد دارد [۱] .

با توجه به چالش‌های زیست محیطی پیش رو، یکی از مباحث بسیار حساس در علوم زمین مسائل مربوط به آب‌های زیرزمینی به‌عنوان مهم‌ترین منبع تامین آب شرب هستند. آن‌چه در ارزیابی یک آب‌خوان اهمیت دارد، به‌دست آوردن اطلاعاتی در مورد سطح آب زیرزمینی در تمام نقاط حوزه‌ی مربوط به آن است. برای به‌دست آوردن این اطلاعات راه‌های متعددی وجود دارد. یکی از این راه‌ها، دسترسی مستقیم به این اطلاعات از طریق حفر پیزومترها و تخمین آن‌ها در سایر نقاط است. در این روش اغلب به دلیل هزینه زیاد حفر پیزومترها، تعداد نقاط مشاهده بسیار کم است. در نتیجه تخمینی که صرفا با استفاده از این داده‌ها زده شود اعتبار زیادی دارد. راه دیگر برای دست‌یابی به این اطلاعات استفاده از مطالعات ژئوفیزیکی مانند روش مقاومت ویژه الکتریکی است. در این مورد نیز هزینه این روش‌ها فراوان است. از سوی دیگر معمولا تفسیر نتایج این روش‌ها پیچیدگی‌های خاص خود را دارد، ضمن این‌که در اغلب موارد برای اعتباربخشی به نتایج لازم می‌شود تا نتایج با مقادیر واقعی (نقاط مشاهده‌ای مستقیم) کالیبره شوند [۲] .

با استفاده از روش‌های تخمین زمین‌آماری، مخصوصا روش KED می‌توان از داده‌های دیگری مانند توپوگرافی به‌عنوان روند بیرونی در تخمین سطح آب زیرزمینی در منطقه استفاده نمود، تا کیفیت تخمین را بهبود بخشید. گرچه روش‌های دیگری نیز در زمین آمار برای تلفیق این داده‌های ثانویه در تخمین وجود دارد (مانند تکنییک‌های متعدد کوکریجینگ) اما به‌دلیل سادگی این روش، بکار گرفتن آن بسیار ساده‌تر است [۲]. در این روش از همبستگی داده‌های توپوگرافی و سطح آب زیرزمینی برای بهبود تخمین داده‌های پیزومتریک استفاده می‌شود [۳].

کریگینگ همراه با روند بیرونی تاکنون در زمینه‌های مختلفی مانند: تخمین رسانش هیدرولیکی با استفاده از داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی [۴ و ۵]، اکتشافات معدنی [۶]، تخمین میزان بارش باران با استفاده از داده‌های رادار [۷]، تخمین افق‌های خاک با استفاده از داده‌های توپوگرافی [۸]، تعیین میزان رطوبت خاک [۹] و بررسی میزان گازهای آلاینده هوا [۱۰و ۱۱] به‌کار گرفته شده است.

هدف از انجام این مطالعه، بررسی تأثیر پارامترهایی چون اثر قطعه‌ای متغیر اولیه و همچنین تأثیر همبستگی با متغیر ثانویه و تأثیر متقابل آن‌ها در نتایج تخمین با روش KED و نهایتا رسیدن به ایده‌ای برای شرایط مناسب استفاده از این روش است.

۲- کریگینگ با روند بیرونی

اساس روش تخمین زمین آماری کریگینگ همراه با روند بیرونی (Kriging with External Dirft, KED) توسط پروفسور جورج مترون [۱۲] پایه‌گذاری و بعدها در زمینه‌های گوناگون توسعه داده شده است. در این روش برای تخمین متغیر اولیه از داده‌های ثانویه‌ی موجود در محدوده مورد مطالعه استفاده می‌شود. آن‌چه استفاده از اطلاعات ثانویه در تخمین متغیر اولیه با استفاده از روش کریگینگ با روند بیرونی را امکان‌پذیر می‌کند، وجود همبستگی بین متغیر اولیه و ثانویه است. به عبارت دیگر منطقا، داده‌های ثانویه در حالتی می‌توانند برای هدایت تخمین متغیر اولیه به‌کار گرفته شوند که با این متغیر یک رابطه خطی داشته باشد [۱ و ۱۳].

دومین ویژگی متغیر ثانویه، این است که بر خلاف متغیر اولیه به وفور در منطقه وجود دارد و هزینه برداشت آن نسبتا ناچیز است و با هزینه اندکی، اطلاعات قابل‌توجهی در مورد متغیر اولیه به‌دست می‌دهد [۱۳]. بر همین اساس، در تخمین سطح آب زیرزمینی، داده‌های پیزومتریک به‌عنوان داده اولیه و داده‌های توپوگرافی به‌عنوان داده ثانویه به‌کار گرفته می‌شوند.

فرضیه اصلی در KED، این است که امید ریاضی متغیر اولیه $Z(x)$ تابعی از متغیر ثانویه $Y(x)$است:

www.SID.ir

Archive of SID

$$E[Z(x)] = Y(x) \qquad (۱)$$

برای رسیدن به انعطاف بیشتر می‌توان رابطه (۱) را به صورت رابطه (۲) تعریف کرد:

$$E[Z(x)] = a0 + a1.Y(x) \qquad (۲)$$

که ضرایب a_0 و a_1 مجهول هستند و برای فیلتر کردن روند محلی داده‌های ثانویه به‌کار می‌روند.

ماتریس KED مشابه با ماتریس کریگینگ معمولی است با این تفاوت که ماتریس KED به ازای هر نوع داده ثانویه، یک سطر و یک ستون نسبت به ماتریس کرگینگ معمولی اضافه‌تر دارد. این سطر و ستون شامل داده‌های ثانویه در موقعیت داده‌های اولیه‌ی شرکت کننده در تخمین است که به‌طور مستقیم در تخمین داده اولیه به‌کار گرفته می‌شوند؛ بنابراین روابط زیر از ماتریس KED به‌دست می‌آیند:

$$\begin{gathered}\sum_{i=1}^{n}\lambda_i\gamma_{ij} + \mu_1 + \mu_2 = \gamma_{i0} \quad i = 1,\dots,n \\ \sum_{i=1}^{n}\lambda_i = 1 \\ \sum_{i=1}^{n}\lambda_i\, Y(x_i) = Y(X_0)\end{gathered} \qquad (۳)$$

μ_1 و μ_2 ضرایب لاگرانژ هستند که به‌منظور کنترل شرط‌های مرزی به‌کار گرفته شده‌اند. نهایتا تخمین داده اولیه در نقطه هدف با استفاده از رابطه (۴) انجام می‌گیرد (۱۱).

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^{n}\lambda_i Z(x_i) \qquad (۴)$$

۳- تحلیل حساسیت KED

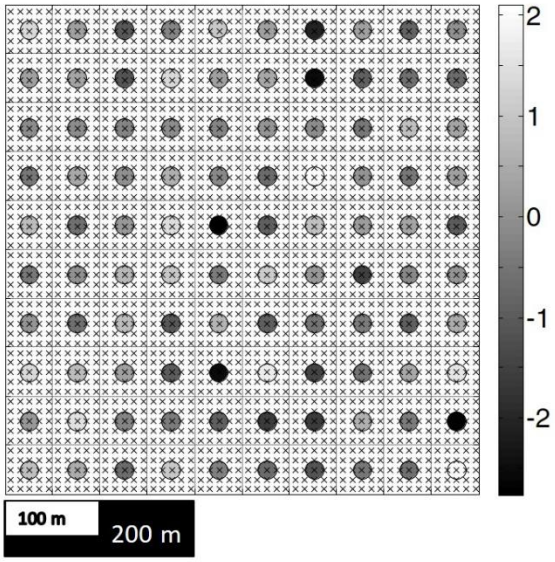
در این مقاله حساسیت روش کریگینگ با روند بیرونی نسبت به دو عامل بسیار مهم و مؤثر در معادلات این روش بررسی شده است. این دو عامل، مقدار اثر قطعه‌ای داده اولیه و ضریب همبستگی بین داده‌های اولیه وثانویه هستند. تحلیل حساسیت، براساس نتایج اعتبارسنجی متقابل با این روش نسبت به تغییر هر یک از عامل‌های یاد شده، انجام شده است. شاخص‌های مورد مقایسه که با استفاده از نتایج اعتبارسنجی به‌دست آورده شده‌اند، شامل:

- شاخص صحت کلی نتایج: میانگین خطای واقعی تخمین
- شاخص دقت تخمین: واریانس خطای واقعی تخمین و همچنین ضریب تعیین[۱] رگرسیون، میانگین خطای محلی تخمین
- شاخص‌های هموارشدگی و اریب شرطی[۲]: شیب خط برازش داده شده (رگرسیون) در نمودار پراکندگی مقادیر تخمینی-واقعی

لازم به ذکر است که ضریب تعیین یا ضریب تشخیص، به‌عنوان ملاکی برای نکویی به رازش به کار می‌رود و برابر نسبت واریانس تخمین‌گر به واریانس متغیر مورد تخمین است و در حالت رگرسیون خطی ساده با توان دوم ضریب همبستگی پیرسون برابر است [۱۴].

۳-۱- داده‌ها

برای سنجیدن حساسیت KED نسبت به پارامترهای یاد شده، از داده‌های مصنوعی[۳] استفاده شده است. به‌دلیل این که هم می‌توان روی شبکه دلخواه آن‌ها را تولید کرد و هم از مقدار داده‌ها در نقاط هدف اطلاعات داریم. تعداد ۱۰۰ داده اولیه با فاصله ۵۰ متر (شکل ۱) با استفاده از این مدل تولید شده است و ۲۵۰۰ داده‌های ثانویه با فاصله ۱۰ متر روی یک شبکه مربعی ۵۰۰×۵۰۰ به‌صورت منظم (شکل ۲) در چند سری با ضرایب همبستگی مختلف تولید شده است.

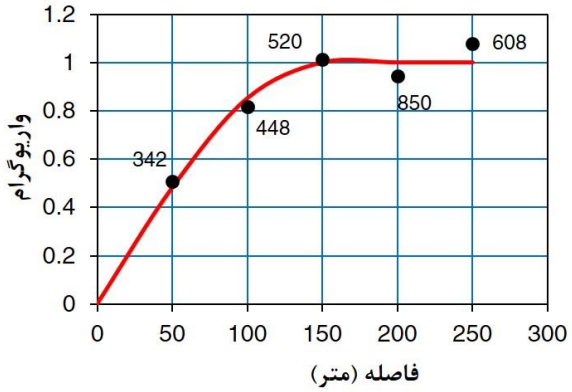


شکل ۱ : داده های اولیه بر روی شبکه ی منظم ۵۰ متر در ۵۰ متر و داده های ثانویه بر روی شبکه ی منظم ۱۰ متر در ۱۰ متر

مدل مصنوعی برای داده‌های مورد نظر با روش شبیه‌سازی گوسی متوالی غیرشرطی[۴] تولید شده است. مدل واریوگرامی که برای توزیع فضایی این داده‌ها در نظر گرفته شده است، یک مدل واریوگرام کروی با دامنه ۱۵۰ متر و سقف ۱ و اثر قطعه‌ای برابر با صفر، است؛ واریوگرام تجربی داده های اولیه و مدل برازش داده شده به آن در شکل نمایش داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲ : واریوگرام تجربی داده های اولیه و مدل تئوری انتخاب شده برای مدلسازی داده‌ها

بدیهی است، می‌توان از یک ترکیب خطی برای مقیاس کردن این متغیر استفاده کرد، هر گونه تغییر مبدا (اضافه یا کم کردن عدد دلخواه) تغییری در واریوگرام ایجاد نمی‌کند و ضرب شدن یک عدد دلخواه نیز در آن‌ها باعث ضرب شدن توان دوم آن عدد در سقف واریوگرام می‌شود. این قابلیت امکان استفاده و بسط نتایج این تحقیق را برای مطالعات موردی واقعی روی داده‌های مربوط به سطح آب زیرزمینی (با توزیع تقریبا نرمال) را فراهم می‌آورد.

۲-۳- حساسیت KED نسبت به ضریب همبستگی

در این مطالعه حساسیت KED نسبت به ضرایب مختلف همبستگی بین داده اولیه و ثانویه که برابر با مقادیر زیر در نظر گرفته شده‌اند، بررسی خواهد شد.

ρ = -1, -0.75, -0.5, -0.25, 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1

مقادیر ρ در هر بار بازتولید داده‌های ثانویه در مدل مصنوعی، اعمال خواهند شد؛ بنابراین به ازی هر ضریب همبستگی، یک گروه داده‌ی ثانویه جدید تولید می‌شود که در اعتبارسنجی KED به‌کار برده خواهد شد. برای تولید این اعداد (Y)، از تکنیک اضافه کردن یک نویز مستقل (U) با نسبت‌های مختلف (a) به سیگنال اولیه (X) استفاده شده است. برای تعیین مقدار مناسب a می‌توان از رابطه‌ی زیر استفاده کرد:

$$Y=aX+U \qquad (۵)$$

$$r_{xy}=\frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x\sigma_y}=\frac{a\ \sigma_x^2}{\sigma_x\sqrt{(a^2\sigma_x^2+\sigma_u^2)}}$$

داده‌های مورد نظر در محیط صفحه گسترده Excel® تولید شده و با انتقال داده‌های حاصل از آن به نرم افزار زمین آماری WinGSLIB1.5.6®، اعتبارسنجی انجام و نهایتا نتایج اعتبارسنجی برای به‌دست آوردن پارامترهای مقایسه، مجددا به محیط گسترده Excel® انتقال داده شده‌اند. در ضمن کدهای تخمین و اعتبارسنجی متقابل با امکانات بیشتر در محیط MATLAB7® نوشته شده و نتایج از حیث صحت کنترل شد.

معیاری که برای تخمین‌گر ایده‌آل در نظر گرفته می‌شود این است که میانگین خطای تخمین باید برابر با صفر باشد که منطبق با شرط ناریبی تخمین‌گر کریگینگ است همچنین واریانس این مقادیر باید کمینه شود. همچنین مقدار شیب خط رگرسیون (مقادیر واقعی نسبت به تخمینی) و ضریب تعیین آن برابر با یک باشد [۱۵]. بنابراین براساس پارامترهای مقایسه، تخمینی نتایج مطلوب‌تری دارد که در آن به‌طور نسبی ضریب تعیین و شیب خط رگرسیون به یک و میانگین و واریانس خطای تخمین به صفر نزدیک‌تر باشند [۱۳].

نتایج اعتبارسنجی KED در ضریب همبستگی‌های مذکور بین داده‌ها اولیه و ثانویه در شکل ۳-الف ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با کاهش ضریب همبستگی، شیب خط رگرسیون برازش داده شده بر داده‌های تخمینی و واقعی نیز کاهش می‌یابد. مشاهده می‌شود که با کاهش قدر مطلق ضریب همبستگی (اندازه‌ی آن)، مقدار شیب رگرسیون نیز به صفر نزدیک می‌شود. در نتیجه از کیفیت تخمین کاسته می‌شود.

در شکل ۳-ب تغییرات ضریب تعیین رگرسیون موجود نسبت به ضریب همبستگی نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، با کاهش ضریب همبستگی، ضریب تعیین نیز کاهش می‌یابد. یعنی در جایی که ضریب همبستگی برابر با ۱ یا ۱- است، ضریب تعیین نیز بیشینه و جایی که ضریب همبستگی برابر با صفر است ضریب تعیین کمینه مقدار خود را دارد. این فرایند امری منطقی به‌نظر می‌رسد چرا که ضریب همبستگی کم یک تخمین ضعیف را در پی خواهد داشت. این فرایند نیز امری منطقی است زیرا با کاهش ضریب همبستگی انتظار می‌رود که تخمین ضعیف‌تری ارائه شود که این امر خود را با کاهش در مقدار ضریب تعیین نشان داده است.

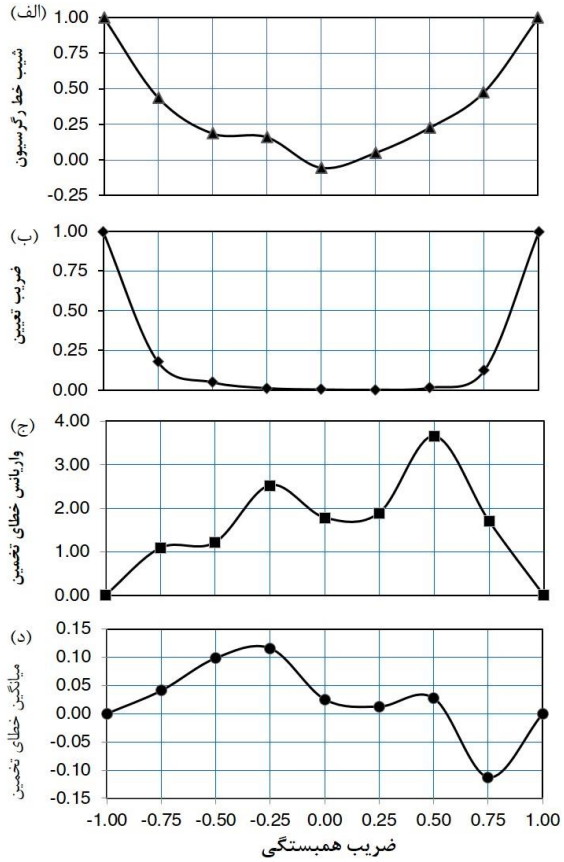
در شکل ۳-ج مشاهده می‌شود که با افزایش ضریب همبستگی واریانس خطای واقعی تخمین به صفر می‌رسد. این فرایند امری طبیعی است. از سوی دیگر انتظار می‌رود،

www.SID.ir

Archive of SID

واریانس خطای تخمین در ضریب همبستگی صفر، بیشترین مقدار خود را داشته باشد. اما مطابق آنچه در شکل نشان داده شده است، این اتفاق در این مسئله نیفتاده است. این امر را می‌توان ناشی از نوسانات آماری در ضریب همبستگی صفر دانست که منجر به عدم تبعیت واریانس خطای تخمین از روال طبیعی خود شده است.

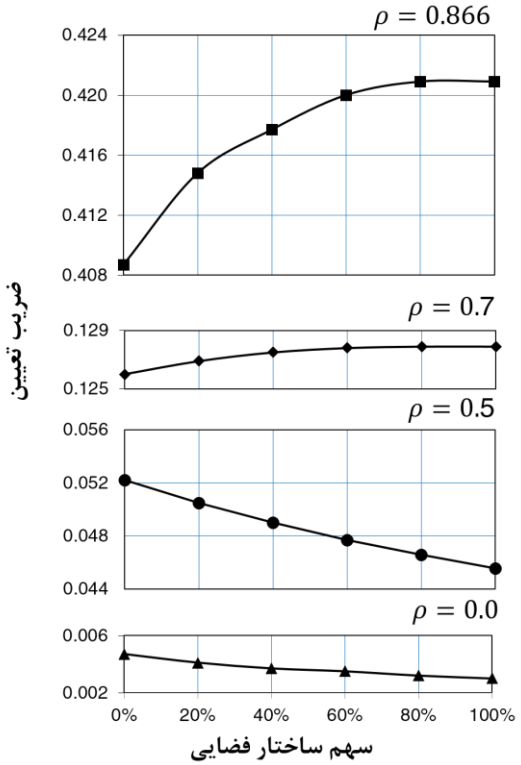
در شکل ۳-د تغییرات میانگین خطای تخمین نسبت به ضریب همبستگی ارائه شده است. انتظار می‌رود با افزایش ضریب همبستگی، میانگین خطای تخمین کاهش یابد. این اتفاق در بیشینه ضریب همبستگی یعنی در ۱ و ۱- افتاده است. از سوی دیگر می‌بایستی در کمینه ضریب همبستگی، میانگین خطای تخمین به مقدار بیشینه خود برسد که این اتفاق نیز در این مسئله رخ نداده است. در واقع رفتار میانگین خطای تخمین در ضرایب همبستگی بین ۱ و ۱- پیچیدگی‌های زیادی دارد.



شکل ۳: الف) مقادیر شیب خط رگرسیون در مقابل ضرایب همبستگی داده‌های اولیه و ثانویه ب)مقادیر ضریب تعیین در مقابل ضرایب همبستگی داده‌های اولیه و ثانویه ج) واریانس خطای تخمین در مقابل ضرایب همبستگی بین داده‌های اولیه وثانویه د) میانگین خطای تخمین در مقابل ضرایب همبستگی بین داده‌های اولیه و ثانویه

۳-۳- حساسیت‌سنجی KED نسبت به سهم ساختار فضایی داده‌های اولیه

در این بخش نتایج تحلیل حساسیت پارامترهای مختلف کیفیت تخمین KED نسبت به سهم ساختار فضایی واریوگرام داده‌های اولیه و در حضور ضرایب همبستگی مختلف بین داده‌های اولیه و ثانویه ارایه شده است. شکل‌های ۴ تا ۷ به ترتیب تعییرات ضریب تعیین رگرسیون، شیب خط رگرسیون (مقدار تخمینی براساس مقدار واقعی)، میانگین خطای تخمین، و واریانس خطای تخمین را براساس سهم ساختار فضایی نشان می‌دهد. زمانی که ضریب همبستگی بین داده‌های اولیه و ثانویه برابر با یک است، ساختار فضایی داده‌های اولیه تاثیری در روند تخمین ندارد. به دیگر سخن، داده‌های ثانویه در این حالت تأثیر فراوانی داشته و می‌توان گفت روند تخمین را کاملا تحت کنترل خود دارند، از این رو با توجه به همبستگی کامل تخمینگر، تخمینگر ایده‌آل است. این بدان معنی است که مقادیر تخمینی بر مقادیر واقع منطبق هستند.



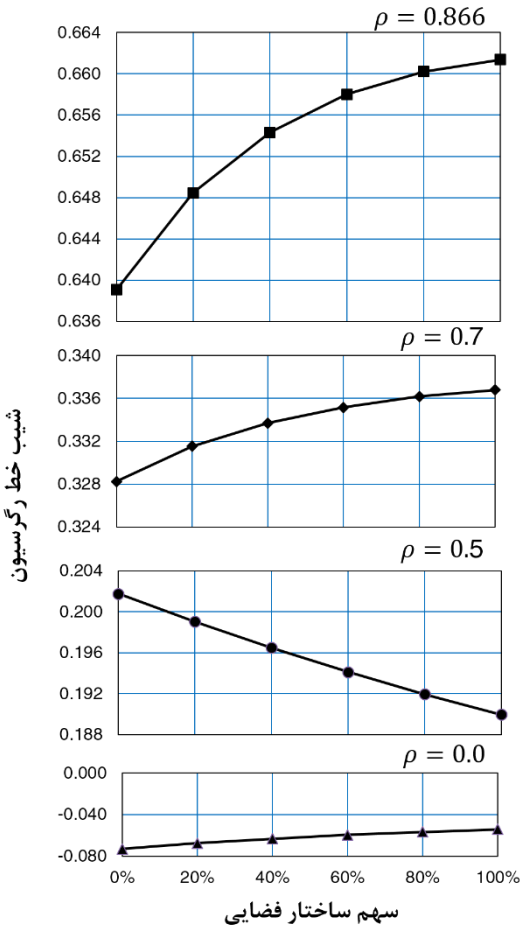
شکل ۴: حساسیت سنجی KED نسبت به سهم ساختار فضایی با استفاده از ضریب تعیین رگرسیون برازش داده شده به نمودار پراکندگی نقطه‌ای مقادیر تخمینی در مقابل مقادیر واقعی. ضریب همبستگی بین داده‌های اولیه و ثانویه در بالای هر نمودار ارائه شده‌اند

www.SID.ir

Archive of SID

با کاهش ضریب همبستگی از یک به ۰/۸۶۶و ۰/۷ و ۰/۲۵ ضریب تعیین نیز کاهش می‌یابد. اما این پارامتر، تغییرات قابل توجهی نسبت به ساختار فضایی داده‌های اولیه ندارد. بیشترین تغییرات ضریب تعیین در حالت همبستگی بالا بین مقدار متغییر اولیه و متغییر کمکی دیده می‌شود. در ضریب همبستگی صفر و ۰/۵، با افزایش سهم ساختار فضایی، ضریب تعیین به مقدار خیلی کمی کاهش می‌یابد. این امر منطقی به نظر می‌رسد، چرا که متغیر ثانویه تاثیر بیشتری دارد (کنترل روند). از این رو، این همبستگی ضعیف آن با متغیر اولیه، با ساختار فضایی قوی متغیر در تقابل قرار می‌گیرد و از کیفیت تخمین می‌کاهد (شکل ۴).

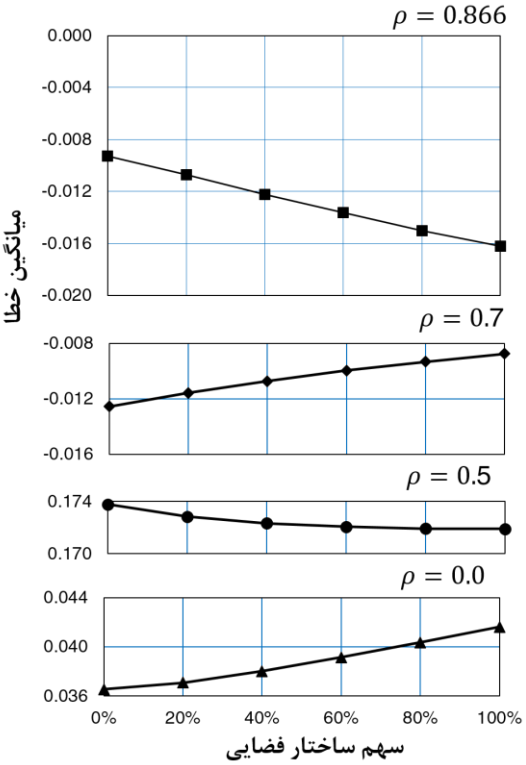
زمانی که ضریب همبستگی برابر ۰/۸۶۶ و ۰/۷ است، با افزایش سهم ساختار فضایی، شیب خط رگرسیون نیز به صورت بسیار آرام افزایش می‌یابد (شکل ۵) . زمانی که ضریب همبستگی به صفر می‌رسد شیب خط رگرسیون منفی می‌شود که منجر به ارائه نتایج نامطلوب در تخمین می‌شود.



شکل ۵: حساسیت سنجی KED نسبت به سهم ساختار فضایی با استفاده از تغییرات شیب خط رگرسیون برازش داده شده به نمودار پراکندگی مقادیر تخمینی در مقابل مقادیر واقعی. ضریب همبستگی بین داده‌های اولیه و ثانویه در بالای هر نمودار ارائه شده است.

چنانکه انتظار میرفت، با فاصله گرفتن از همبستگی کامل (بین متغیرهای اولیه و ثانویه) شیب خط رگرسیون به شدت کاهش می‌یابد. و در همبستگی بالاتر تاثیر ساختار فضایی نیز ملموس‌تر است.

در حالتی که ضریب همبستگی بین داده‌های اولیه و ثانویه قابل توجه است، مشاهده می‌شود که مقدار میانگین خطای تخمین نیز قابل چشم‌پوشی است (شکل ۶) و با تغییر سهم اثر قطعه‌ای تغییر چندانی نمی‌کند. با این وجود مانند موارد پیشین، باز هم بیشترین حساسیت نسبت به ساختار فضایی مربوط به حالت همبستگی بالا بین متغیرهای اولیه و ثانویه است.



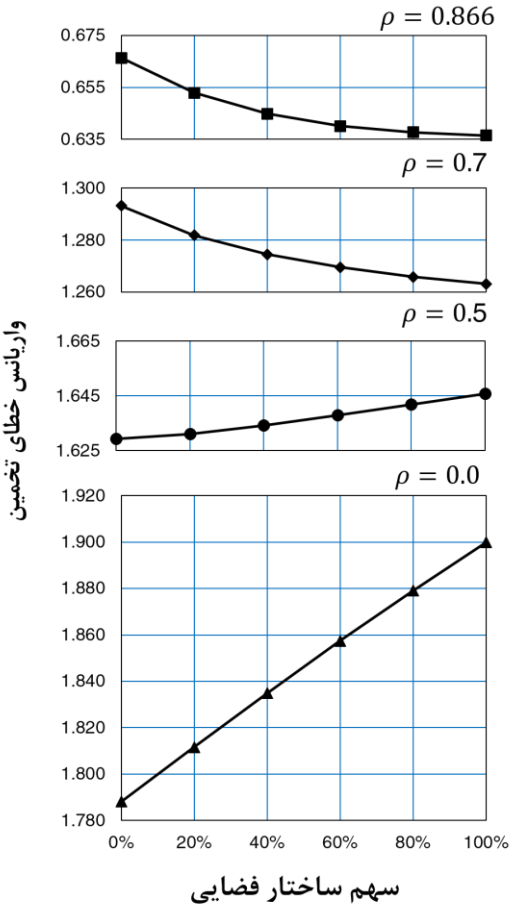
شکل ۶: حساسیت سنجی KED نسبت به سهم ساختار فضایی با استفاده از میانگین خطای تخمین. ضریب همبستگی بین داده‌های اولیه و ثانویه در بالای هر نمودار ارائه شده‌است.

در شکل ۷ نتایج حاصل از حساسیت سنجی KED، براساس دقت تخمین (واریانس خطای واقعی تخمین) برای ۴ ضریب مختلف همبستگی بین داده‌های اولیه و ثانویه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، زمانی که ضریب همبستگی بین داده‌های اولیه وثانویه بالا است، تغییرات واریانس خطای تخمین براساس تغییر سهم ساختار فضایی، مقداری ناچیز است. با کاهش ضریب همبستگی تا

www.SID.ir

Archive of SID

حدود ۰/۵، بر مقدار واریانس خطای تخمین و میزان تغییرات آن افزوده شده است. در زمانی که ضریب همبستگی کم است بازهم به دلیل کاهش تأثیر داده‌های ثانویه در نتیجه تخمین، مشاهده می‌شود که با افزایش ساختار فضایی، واریانس خطای تخمین افزایش می‌یابد.



شکل۷: حساسیت سنجی KED نسبت به اثر نقطه‌ای با استفاده از واریانس خطای واقعی تخمین. ضریب همبستگی بین داده‌های اولیه و ثانویه در بالای هر نمودار ارائه شده است.

۴- نتیجه‌گیری

همان‌طور که مشاهده شد، پارامترهایی مانند شیب خط رگرسیون و ضریب تعیین حساسیت زیادی به ضریب همبستگی بین داده‌های اولیه و ثانویه در روش KED دارند و می‌توان از این دو پارامتر برای حساسیت سنجی این روش استفاده کرد. با توجه به شیب خط رگرسیون، با کاهش همبستگی بین متغیر اولیه و ثانویه شاهد هموار شدگی تخمین، خواهیم بود و تخمین‌ها کیفیت پایینی دارد به‌طوری که براساس ضریب تعیین، تغییرات متغیر تخمینی تنها بیان‌گر بخش کوچکی از تغییرات متغیر واقعی خواهد بود. واریانس خطای تخمین در ضرایب همبستگی کم رفتار معنی‌داری از خود نشان نمی‌دهد. میانگین خطای تخمین، فقط در ضرایب همبستگی بالا از خود رفتار منطقی و طبیعی نشان می‌دهد و با کاهش ضریب همبستگی و نزدیک شدن آن به مقدار صفر، نمی‌توان برای آن رفتار معنی‌داری تعریف کرد. بر اساس آنچه گفته شد، می‌توان نتیجه گرفت ضریب همبستگی یک پارامتر مهم در کیفیت تخمین مورد نظر توسط روش KED بوده و بالا بودن ضریب همبستگی قطعا در تخمین مورد نظر تأثیر مطلوب خواهد گذاشت.

در تخمینهای کریجینگ ساده و عادی، وجود اثر قطعه‌ای به واسطه هموار کردن نتایج تخمین، از کیفیت آن خواهد کاست. اما این موضوع در روش KED متفاوت است. بر اساس حساسیت سنجی ای که روی وجود اثر قطعه‌ای در داده‌های اولیه در این روش انجام شده است، مشاهده می‌شود که در زمانی که ضریب همبستگی بالایی بین داده-های اولیه و ثانویه ثانویه وجود دارد از هموار سازی اثر فظعه‌ای تا حدی جلوگیری می‌شود.. اما در شرایطی که این ضریب همبستگی پایین باشد، وجود ساختار در داده‌های اولیه بر تخمین مورد نظر تأثیر گذاشته و نتایج را نامطلوب می‌کند.

بنابراین بالا بودن ضریب همبستگی حتی در حالتی که داده‌های اولیه دارای اثر قطعه‌ای باشند، در بهبود نتایج تخمین با استفاده از روش KED یک پارامتر مهم تلقی می‌شود. به بیان دیگر، در حالتی که ضریب همبستگی بالا باشد، می‌توان اثر قطعه‌ای را ندیده گرفت؛ بنابراین در چنین شرایطی استفاده از از روش KED می‌تواند در بهبود نتایج تخمین کمک شایانی کند.

نکته دیگری که باید توجه داشت این است که روش KED در زمانی که ضریب همبستگی بین داده‌های اولیه و ثانویه بالاست، نتایج مطلوب‌تری ارائه می‌دهد در واقع این شرایط منجر به بهینه شدن نتایج تخمین خواهد شد اما این امر دلیل بر این نخواهد بود که از روش KED در زمانی که این ضریب همبستگی پایین است، نمی‌توان استفاده کرد. در این زمینه معیاری وجود ندارد، مثلا نمی‌توان حد مشخصی از ضریب همبستگی را برای استفاده از این روش در تخمین‌های زمین آماری تعیین کرد. منظور این است که هرچه ضریب همبستگی بالاتر باشد نتایجی که از تخمین به کمک این روش حاصل می‌شوند، مطلوب‌تر خواهند بود. البته در زمانی نیز که ضریب همبستگی پایین باشد، استفاده از این روش نسبت به

www.SID.ir

Archive of SID

روش‌های معمول تخمین مانند کریگینگ معمولی و غیره نتایج مطلوب‌تری را فراهم خواهد کرد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از جناب پروفسور هانس واکرناگل به خاطر بازنگری نتایج این مطالعه، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند.

References

[۱] Wackernagel, H.; 2003; "*Multivariate geostatistics: an introduction with applications*"; Berlin, springer

[۲] Chiles J.P. ; 1991 ; "*Application du krigeage avec dérive externe à l'implantation d'un réseau de surveillance piézométrique*"; Sciences de la Terre, no. 30, 1991, p. 131-147

[۳] Desbarats A. J.; M. J. Hinton; et al.; 2001; "*On the kriging of water table elevations using collateral information from a digital elevation model*" Geological Survey of Canada: 20.

[۴] Troisi, S.; C. Fallico; et al.; 2000; "*Application of kriging with external drift to estimate hydraulic conductivity from electrical-resistivity data in unconsolidated deposits near Montalto Uffugo, Italy*"; Hydrogeology Journal 8(4): 356-367.

[۵] Patriarche, D.; M. Castro; et al.; 2005; "*Estimating Regional Hydraulic Conductivity Fields: A Comparative Study of Geostatistical Methods*"; Mathematical Geology 37(6): 587-613.

[۶] Dimitrakopoulos R.; 2000; "*Integrated Interpolation Methods for Geophysical Data: Applications to Mineral Exploration*"; Natural Resources Research 9, No 1.

[۷] Haberlandt, U.; 2006; "*Geostatistical interpolation of hourly precipitation from rain gauges and radar for a large-scale extreme rainfall event*"; Hydrology 332: 144– 157.

[۸] Bourennane, H.; King, D.; 2003; "*Using multiple external drifts to estimate a soil variable*" Geoderma, 114(1), 1-18.

[۹] Vanderlinden, K.; J. A. Jiménez; et al.; 2008; "*Interpolation of Soil Moisture Content Aided by FDR Sensor Observations*", in: geoENV VI – Geostatistics for Environmental Applications, Springer Netherlands. 15: 397-407.

[۱۰] Gallois, D.; C. D. Fouquet, et al.; 2005; "*Mapping annual nitrogen dioxide concentrations in urban areas*" in: Geostatistics Banff: Springer Netherlands. 14: 1087-1096.

[۱۱] van de Kassteele; J.; A. Stein; et al.; 2009; "*External drift kriging of NO x concentrations with dispersion model output in a reduced air quality monitoring network*"; Environmental and ecological statistics;16(3):321-39.

[۱۲] Matheron G.; 1973; "*The intrinsic random functions and their applications*"; Advances in applied probability, vol. 5, p. 439-468.

[۱۳] Goovaerts, P. ;1997; "*Geostatistics for Natural Resources Evaluation*"; New York, Oxford University Press.

[۱۴] Davis, J. C.; 2012; "*Statistics and data analysis in geology*"; New York; Wiley.

[۱۵] Jaime-Gomez, J. H.; 2005; "Geostatistics"; in: Hydrogeophysics; Netherlands, Springer; pp: 59-81.

[۱] Coefficient of determination
[۲] Conditional bias
[۳] Synthetic data or Simulated data
[۴] Non-conditional Sequential Gaussian Simulation (SGS)

www.SID.ir