Archive of SID

مروری بر مبانی ژئواستاتیستیک و کاربرد آن در خاکشناسی

جهانگرد محمدی[1]

چکیده

ژئواستاتیستیک شاخه ای از علم آمار کاربردی است که با استفاده از اطلاعات حاصله از نقاط نمونه برداری شده، قادر به ارائه مجموعه وسیعی از تخمینگرهای آماری بمنظور برآورد خصوصیت مورد نظر در نقاطی که نمونه برداری نشده اند می باشد. یکی از ابزار مطالعات ژئواستاتیستیکی تابعی آماری بنام واریوگرام است که امکان تجزیه و تحلیل ساختار، مقیاس و شدت تغییرات مکانی متغیرهای ناحیه ای را فراهم می آورد. چنانچه واریوگرام بدرستی تعیین گردد از آن نه تنها جهت تخمین آماری بلکه بمنظور طراحی و اصلاح شبکه نمونه برداری نیز می توان استفاده کرد. بطور کلی کریجینگ را می توان یک تخمینگر ممتاز بحساب آورد زیرا نه تنها منجر به تخمین نااریب می شود بلکه برآوردی از حداقل خطای تخمین نیز ارائه می دهد. وجود انواع مختلف تکنیک های کریجینگ (مانند کریجینگ معمولی، کوکریجینگ، کریجینگ گسسته و ...) باعث انعطاف پذیری و دامنه وسیع کاربری ژئواستاتیستیک در تجزیه و تحلیل بسیاری از مسائل موجود در علوم محیطی شده است.

واژه های کلیدی : آمار کاربردری، واریوگرام، کریجینگ معمولی و گسسته

۱- استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

یکی از خصوصیات مشترک علوم محیطی ماهیت داده های آنها است. اغلب ویژگیهای محیطی دارای پراکنشی پیوسته در مکان بوده و از سوی دیگر نمونه برداری و اندازه گیری آنها در تمامی نقاط واقع در محدوده مطالعاتی غیرممکن است. بدین ترتیب جهت توصیف و نمایش تغییرات مکانی متغیر های مورد نظر، مقادیر آنها را می توان در نقاطی که نمونه برداری نشده اند، با در نظر گرفتن اطلاعات موجود از محلهای نمونه برداری شده برآورد نمود. تغییرات مکانی خاک، بعنوان یکی از متغیرهای محیطی، عبارت از تغییر در یک خصوصیت خاک بعنوان تابعی از موقعیت جغرافیایی است. علاوه بر تغییرات مکانی، بسیاری از خصوصیات خاک دارای تغییرات زمانی نیز می باشند. اگرچه بعضی از خصوصیات خاک دارای ماهیتی نسبتاً ثابت است، لیکن پویایی در مکان و زمان بعنوان یک ویژگی خاک ها شناخته شده است (٤٤و٤٨).

پدولوژی به عنوان زیرمجموعه ای از علوم خاک نقش اساسی در مطالعه عوامل و فرایندهای تشکیل خاک شامل کیفیت، وسعت، پراکنش و تغییرات مکانی خاک در مقیاس های مختلف را بعهده دارد (٤٨). از دیرباز تغییرات مکانی خاکها مورد توجه خاکشناسان بوده و امروزه نیز چگونگی دستیابی به اطلاعات کمی و دقیق از این تغییرات بمنظور ارزیابی های کیفیت زیست محیطی خاک، ریسک آلودگی خاک و سیر قهقرایی خواص خاک بعنوان جزیی از محیط زیست و ارائه تفسیرهای توسعه ای غیر کشاورزی از خاکها چالش های نوینی را فراروی متخصصین خاک قرار داده است.

تغییرات مکانی در خاک، بعنوان سیستمی پویا و چند مرحله ای، را میتوان در دو دسته کلی تغییرات ساختاری (سیستماتیک) و غیر ساختاری (تصادفی) تقسیم نمود. تغییرات ساختاری در بر گیرنده تغییرات مشخص و تدریجی خصوصیات خاک بعنوان تابعی از فیزیوگرافی، ژئومرفولوژی و بر همکنش های عوامل خاکسازی است (٢١). این نوع تغییرات را می توان با توجه به داده ها و آگاهی از عوامل دخیل در تشکیل خاک و ارتباط آنها با چشم انداز اراضی[1] درک و مورد شناسایی قرار داد. معهذا، حتی پس از تقسیم بندی و پهنه بندی تغییرات خصوصیات کلی خاک ها در قالب واحدهای مختلف نقشه، هنوز با بخشی از تغییرات مکانی خصوصیات خاک در هر واحد مواجه می باشیم. بطور مثال چنانچه میزان رس در یک منطقه از ٥ تا ٦٥ درصد در نوسان باشد، پهنه بندی واحدهای خاک تشکیل یافته بر رسوبا ت شنی ممکن است دارای رس به میزان ٣ تا ١٠ درصد بوده و در عین حال واحدهای نقشه که در بر گیرنده خاکهای شکل یافته بر مواد مادری شیل است، دارای میزان رس ٣٥ تا ٦٥ درصد می باشد. در چنین شرایطی آگاهی داشتن از اثرات خصوصیات مواد مادری در فرایندهای خاکسازی، تغییرات میزان رس را بخوبی در بین واحد های مختلف نقشه توصیف می کند. از سوی دیگر، در حالیکه اطلاع از تغییرات ساختاری خصوصیات خاک در منطقه مورد نظر ما را در درک فرایندهایی که منجر به ایجاد تفاوت در میزان رس در واحدهای مختلف نقشه شده است، کمک می نماید، لیکن یافتن علل و عوامل ایجاد کننده نوسانات در میزان رس موجود در یک واحد نقشه، بطور مثال مشاهده میزان رس ٣٠ و ٥٠ درصد در دو نقطه با فاصله اندک از یکدیگر در واحد نقشه مربوط به خاکهای دارای مواد مادری از نوع شیل، دشوار بنظر می رسد. این نوع تغییرات مکانی را اصطلاحاً تغییرات غیر ساختاری و یا تصادفی می نامند (٢١و٤٨). در مطالعات معمول خاکشناسی تغییرات تصادفی را با استفاده از دامنه تغییرات

١- Landscape

www.SID.ir

Archive of SID

خصوصیات برای هر خاک بیان می دارند. تغییرات تصادفی بر خلاف تغییرات ساختاری عموماً در محدوده های کوچکتر جغرافیایی رخ داده و بهمین دلیل آنها را تغییرات کوتاه دامنه نیز می نامند. افتراقی عمل نمودن بسیاری از عوامل مانند لیتولوژی، هیدرولوژی، شدت فرایندهای هوادیدگی و خاکسازی، فعالیت های بیولوژیکی و میکروبیولوژیکی، فرسایش و رسوب، و همچنین اثرات زمانی مدیریت خاک و نهایتاً خطاهای ناشی از نمونه برداری و تجزیه های آزمایشگاهی را میتوان از مهمترین علل و عوامل ایجاد تغییرات مکانی غیرساختاری در خاک دانست (٤٨). اگرچه بسیاری از این عوامل میتوانند در بروز تغییرات ساختاری نیز سهیم باشند لیکن اثرات آنها ممکن است بقدری پیچیده و ناشناخته باشد که مشاهده و یا اندازه گیری آنها را بر روی زمین غیرممکن سازد.

اگرچه فرضیات بکارگرفته شده در مطالعه و طبقه بندی خاکها نسبتاً خوب ارائه گردیده است، لیکن توجه روزافزون و نیاز وافر به در اختیار داشتن اطلاعات مرتبط با تغییرات خصوصیات خاک در مقیاس های محلی و موضعی و همچنین نیاز به اطلاعات کمی حاصل از برآورد مقادیر متغیر های خاک در نقاطی که مورد نمونه برداری واقع نشده اند، بمنظور کاربرد آنها در مدلها و شبیه سازی فرایندهای مختلف، باعث رویکرد بسیاری از خاکشناسان به سوی تکنیک های جدید آمار مکانی تحت عنوان ژئواستاتیستیک شده است (٤٢).

نیاز به تخمین های هر چه دقیق تر از متغیرهایی که دارای تغییرات پیوسته مکانی هستند بویژه در علوم مهندسی معدن و نفت منجر به بسط و توسعه تکنیک های آماری ژئواستاتیستیک شده است (۲۷و۳۱). ارائه تخمین های دقیق از متغیرهای وابسته به ماده معدنی مانند عیار و ضخامت آن و یا برآورد ذخیره ماده معدنی با حداقل خطا بسیار ارزشمند بوده زیرا باعث بهینه سازی طراحی و سرمایه گذاری های مناسب در بخش معادن می شود. بنظر میرسد با توجه به نقش اساسی خاک و کیفیت آن در ریسک های زیست محیطی و سلامت جامعه بشری، بکار گیری چنین روشها و تکنیک های آماری بمنظور برآورد هرچه دقیق تر خصوصیات خاک بیش از پیش ضروری باشد.

هدف از مقاله حاضر مروری بر مبانی ژئواستاتیستیک بمنظور آشنایی بیشتر خاکشناسان و دیگر متخصصین علوم محیطی است. در این مقاله همچنین مثالهایی از کاربرد این روشها در خاکشناسی با استفاده از مطالعات موردی آورده شده اند.

ژئواستاتیستیک و نظریه متغیر های ناحیه ای[1]

نخستین تجربه های بکارگیری روشهای ژئواستاتیستیک به مفهوم امروزی آن از حدود پنجاه سال پیش بر اساس ایده های دی. جی. کریج، مهندس معدن اهل آفریقای جنوبی، مبنی بر وجود نوعی رابطه همبستگی بین بخشهای کم عیار و پرعیار در یک قطعه معدنی آغاز شد. تلاشهای اولیه جهت یافتن ارتباط و همبستگی بین نمونه ها منجر به ارائه روشهای آماری همچون تجزیه و تحلیل سطوح روند، درون یابی با استفاده از میانگین متحرک و سطوح روند چند جمله ای گردید (۲۷). در تمامی این روشها مفهومی از پایایی به معنی تغییر میانگین عیار نمونه ها از نقطه ای به نقطه دیگر نهفته بود. نهایتاً محققین مدرسه معدن پاریس به سرپرستی پروفسور ماترون اقدام به تکمیل و تدوین مجموعه روشهای آمار مکانی تحت عنوان ژئواستاتیستیک نمودند (۲۹و۳۱).

1- Regionalized variables

www.SID.ir

Archive of SID

اگرچه قدمت شناسایی و مطالعه تغییرات مکانی خاک به اولین تلاشهای بشر جهت طبقه بندی خاکها بر میگردد، لیکن نخستین تجربه های بکارگیری ژئواستاتیستیک در علوم خاک با تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی پ-هاش و میزان شن خاک توسط کمپبل (۱۸) آغاز گردید. بعد از آن مطالعات تکمیلی و گسترده ای توسط وبستر (٤٦و٤٧)، بورگس (۱۵و۱٦)، و مک برتنی و وبستر (۳۳و۳٤) انجام شد. در یکی دو دهه اخیر نیز کتب و مقالات بسیاری در زمینه های نظری و کاربردی ژئواستاتیستیک در علوم محیطی منتشر گردیده است (۲۰و۲۳و۲۷). کاربرد نظریه ژئواستاتیستیک در ایران، که بدان زمین آمار اطلاق می شود (۱و۲)، اولین مرتبه توسط حاج رسولیها و همکاران (۲٤) بمنظور تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی شوری خاک استفاده گردید. در سالهای اخیر کاربرد این نظریه توسط محققین کشور در علوم خاک رو به افزایش بوده که از جمله بایستی به مطالعات محمدی (۳و٤و۵و۳۵)، عالمی و همکاران (۱۰و۱۱) و حسینی و همکاران (۲۵و۲٦) اشاره نمود.

یک متغیر ناحیه ای عبارت از هر خصوصیت محیطی است که در فضای یک، دو و یا سه بعدی توزیع شده باشد. از نقطه نظر ریاضی یک متغیر ناحیه ای می تواند تابعی مانند $Z(x)$ باشد که برای هر نقطه مانند x مقدار مشخصی را بدست می دهد. غالباً تغییرات این تابع از نقطه ای به نقطه دیگر پیوسته بوده لیکن توصیف تمامی آن تغییرات توسط مدلهای ریاضی ساده جبری بدلیل نامنظم بودن تغییرات امکان پذیر نمی باشد. بدین ترتیب تغییرات مکانی یک متغیر ناحیه ای دارای دو مولفه ساختاری و تصادفی بوده که اولین مولفه بیانگر یک روند و یا مقدار ثابت است و دومین مولفه نشانگر تغییرات تصادفی متغیر ناحیه ای از نقطه ای به نقطه دیگر است. تغییرات اخیر با مختصات مکانی نقاط دارای همبستگی می باشد. بدین ترتیب تغییرات مکانی یک متغیر ناحیه ای مانند $Z(x)$ را می توان بصورت زیر نشان داد :

[1]

که در آن $m(x)$ تابع متقن[2] جبری و معرف روند و یا مولفه تغییرات ساختاری و $\varepsilon(x)$ بیانگر مولفه تغییرات تصادفی است. مولفه های اصلی تغییرات مکانی یک متغیر ناحیه ای در شکل ۱ نشان داده شده است.

یکی از اهداف اصلی ژئواستاتیستیک ارائه مدلی مناسب جهت توصیف تغییرات مکانی یک متغیر ناحیه ای با در نظر گرفتن هر دو مولفه ساختاری و تصادفی می باشد. این مدل بر پایه تابع تصادفی استوار است (۲۷).

از آنجایی که در عمل تنها یک سری نمونه از منطقه مطالعاتی در دسترس می باشد، که آنها را میتوان یک حالت تحقق یافته از تابع تصادفی در نظر گرفت، و اینکه اصولاً تخمین ساختار آماری یک تابع تصادفی متعلق به متغیر ناحیه ای مورد نظر (که فقط دستیابی به نمونه هایی از یک حالت تحقق یافته آن امکان پذیر است) کار بسیار مشکلی است، لذا در نظر گرفتن یک سری فرضیات تحت عنوان "فرضیات پایایی"[1] ضروری است (۲۷). بر اساس این فرضیات، ساختار تغییرات یک متغیر ناحیه ای در یک منطقه ثابت فرض می شود که در اینصورت موقعیت نسبی نقاط نمونه برداری نسبت بیکدیگر حائز اهمیت خواهد بود.

2- Deterministic
1- Hypothesis of stationarity

www.SID.ir

Archive of SID

در ساده ترین وضعیت یعنی هنگامی که در تغییرات ناحیه ای روند وجود ندارد، $m(x)$ برابر با میانگین مقدار تغییرات در پهنه نمونه برداری بوده و میانگین اختلاف تغییرات در متغیر مورد نظر واقع در نقاط x و$x+h$ که با بردار فاصله h از هم جدا شده اند برابر صفر خواهد بود :

$$AVE\left[Z(x)-Z(x+h)\right]=0 \qquad [2]$$

همچنین با در نظر گرفتن یکی از فرضیات پایایی مبنی بر اینکه واریانس تفاوت ها تنها تابعی از فاصله میان نقاط نمونه برداری (بردار h) است، میتوان نوشت :

$$Var\left[Z(x)-Z(x+h)\right]=2\gamma(h) \qquad [3]$$

در معادله (۳)، $\gamma(h)$ را شبه واریوگرام، که نصف مقدار واریوگرام است، می نامند. بعضی از مولفان اصطلاح واریوگرام را برای $\gamma(h)$ بکار برده اند. بنابراین در مطالعات باید دقت شود که منظور از واریوگرام آیا $\gamma(h)$ است و یا $2\gamma(h)$. در این مقاله منظور از واریوگرام همان شبه واریوگرام، $\gamma(h)$، است. دو فرض فوق الذکر یعنی ثبات تفاوت و ثبات واریانس تفاوت ها را اصطلاحاً فرضیه پایایی ذاتی[2] می گویند (۲۰و۲۷). این فرضیات بدان معنا هستند که ساختار تغییرات همگن بوده و اختلاف مقادیر یک متغیر ناحیه ای در نقاط مختلف با یکدیگر صرفاً تابعی از فاصله بین آنها است. در صورت برقراری فرضیه پایایی ذاتی، مقدار واریوگرام را میتوان با استفاده از داده های حاصل از نمونه برداری محاسبه نمود. بنابر این :

$$\gamma(h)=\frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}\left\{Z(x_i)-Z(x_i+h)\right\}^2 \qquad [4]$$

که در آن $N(h)$ تعداد زوج نمونه ای است که در فاصله h از یکدیگر واقع شده اند.

واریوگرام

واریوگرام را میتوان ابزار کلیدی در نظریه متغیرهای ناحیه ای دانست. شکل ۲ نحوه مقایسه نقاط بمنظور محاسبه واریوگرام برای فواصل مختلف در شرایطی که نمونه ها بطور منظم بر روی یک خط طولی قرار گرفته باشند را نشان می دهد. علاوه بر آن تابع واریوگرام را می توان برای جهات مختلف و همچنین در مواردی که شبکه نمونه برداری نامنظم است، محاسبه نمود.

جهت ترسیم واریوگرام ابتدا لازم است مقدار تابع را به ازای مقادیر مختلف h محاسبه و سپس مقادیر مورد نظر را به ازای فواصل در یک نمودار رسم کرد. شکل شماره ۳ یک واریوگرام ایده آل را نشان می دهد. بطوری که دیده میشود با افزایش فاصله h مقدار واریوگرام نیز بتدریج تا فاصله معینی زیاد شده و از آن ببعد به حد ثابتی می رسد که نشانگر حد آستانه[1] می باشد. در این فاصله مقدار واریوگرام به مقدار واریانس مشاهدات نزدیک می شود. فاصله ای که میزان واریوگرام به حد ثابتی میرسد اصطلاحاً دامنه[2] تاثیر نامیده می شود. به دیگر سخن، دامنه تاثیر فاصله ای است که در ماورای آن نمونه ها بر هم تاثیری نداشته و آنها را می توان مستقل از یکدیگر محسوب نمود. چنین فاصله ای حد همبستگی خصوصیت مورد بررسی را مشخص ساخته و اطلاعاتی در رابطه با حد مجاز فاصله نمونه

2 - Intrinsic stationarity

1 - Sill
2 - Range

www.SID.ir

Archive of SID

برداری ارائه می کند. اصولاً تابع واریوگرام باید به آهستگی و بطور منظم از مختصات افزایش یابد. لیکن مطالعات تجربی نشان داده است که اکثر واریوگرام ها در فواصل خیلی کوتاه تغییرات ناگهانی و سریعی از خود بروز داده و بدین ترتیب مقدار واریوگرام در مبدا صفر نبوده و واریوگرام ها از مرکز مختصات محور واریوگرام عبور نمی نمایند. این مقدار را اصطلاحاً اثر قطعه ای[3] می نامند. اثر قطعه ای ناشی از عواملی مانند تغییرات مشخصه مورد بررسی در فواصل کمتر از کوتاهترین فاصله نمونه برداری، خطاهای اندازه گیری و آزمایشگاهی و دیگر تغییرات غیرقابل پیش بینی می باشد (۲۷).

تفسیر واریوگرام

واریوگرام های محاسبه و ترسیم شده می توانند دارای اشکال مختلفی باشند که تعدادی از آنها در شکل ٤ نشان داده شده است. بطورکلی شدت شیب اولیه واریوگرام بیانگر شدت تغییرات مکانی یک خصوصیت مورد مطالعه بعنوان تابعی از فاصله و میزان کاهش همبستگی مکانی بین نمونه ها است. شکل سهمی گونه در نزدیکی مبدا مختصات واریوگرام (٤ الف) حاکی از درجه پیوستگی بسیار بالا بهمراه روند موضعی در متغیر مورد نظر است (۲۷). گاهی اوقات شکل واریوگرام بصورت خط مستقیم ساده ای بوده که ممکن است از مبدا مختصات بگذرد و یا دارای اثر قطعه ای باشد (٤ ج و ب). این دسته از واریوگرام ها را بدون سقف (فاقد حد آستانه) می نامند. این نوع واریوگرام ها می تواند دلالت بر وجود روند در محدوده مورد مطالعه داشته باشد. گاهی اوقات افزایش واریوگرام ناشی از این واقعیت است که ساختار مکانی متغیر مورد نظر دارای دامنه تاثیر بمراتب بزرگتر از محدوده نمونه برداری شده بوده و لذا جهت اطلاع از سیمای واقعی تغییرات مکانی آن متغیر بسط شبکه و یا محدوده نمونه برداری ضروری است.

واریوگرام های دارای آستانه (سقف دار) معمولترین و شایع ترین آنها در ژئواستاتیستیک است (٤ د). اگر واریوگرامی به سقف معینی برسد و در نتیجه دامنه تاثیر مشخصی داشته باشد در اینصورت ساختار مکانی و بخشی از فرضیات پایایی برقرار خواهد بود. این به معنای عدم وجود روند می باشد. رایج ترین واریوگرام های دارای سقف عبارت از واریوگرام های کروی و نمایی که در شکل ٤ نمایش داده شده اند. همانگونه که مشاهده می شود هر دو واریوگرام در نزدیکی مبدا دارای رفتار خطی بوده لیکن آهنگ صعود در واریوگرام کروی بیشتر از نمایی است. در عمل واریوگرام های نمایی هیچگاه به حد آستانه معینی نمی رسد و می بایستی دامنه تاثیر کاربردی برای آنها تعریف نمود. معمولاً فاصله متناظر با بدست آمدن ۹۵ درصد حداکثر مقدار واریوگرام را بعنوان دامنه تاثیر در نظر گرفته می شود. واریوگرام (٤ ه) را اصطلاحاً اثرقطعه ای خالص[4] می نامند. این نوع واریوگرام دلالت بر غلبه کامل بخش بدون ساختار مولفه تصادفی متغیر ناحیه ای به بخش دارای ساختار آن دارد. در چنین شرایطی تغییرات داده ها مستقل از یکدیگر بوده و اصل همبستگی مکانی (فاصله کمتر، شباهت بیشتر و بالعکس) در مقیاس مطالعاتی مورد نظر برقرار نمی باشد. بنابراین جهت توصیف ساختار تغییرات مکانی مشخصه مورد نظر می بایستی اقدام به نمونه برداری متراکم تری کرد. واریوگرام (٤ و) بیانگر فرایندهای نسبتاً مداوم بوده و در مطالعات معدن معمولاً در شرایطی که قسمتهای پرعیار و کم عیار در کانسار بطور متناوب تکرار شده باشد، دیده می شود.

3 -Nugget effect

4 - Pure nugget effect

www.SID.ir

Archive of SID

بسیاری از خصوصیات خاک در شرایط گیلگای[1] ممکن است چنین واریوگرامی را نشان دهند (٤٦).

در هنگام تفسیر واریوگرام علاوه بر شکل آنها توجه به مقیاس مطالعاتی و فواصل نمونه برداری و ناهمسانگردی در تغییرات مکانی متغیر مورد نظر حائز اهمیت است (۲۷). در محاسبه واریوگرام نیز می بایستی به مسائلی همچون خطاهای ناشی از وارد کردن داده ها در برنامه محاسباتی، توزیع آماری ناهمگن داده ها، وجود داده های پرت، انتخاب فاصله یا گام مناسب، توجه نمود (۱۲).

واریوگرام ها علاوه بر آنکه به بررسی و شناخت ویژگیهای ساختار تغییرات مکانی متغیر ناحیه ای می پردازد، دارای نوعی نقش تلخیص سازی داده ها نیز میباشند. مهمترین کاربرد واریوگرام ها استفاده از اطلاعات آنها در الگوریتم های برآورد ژئواستاتیستیکی است. معهذا قبل از کاربرد آنها در تخمین، لازم است مناسبترین مدلهای تئوری را بر آنها برازش داد. تعداد این مدلها محدود و شامل مدلهای خطی، کروی، گوسی، نمایی، سینوسی وکروی مضاعف است (٣٤). معمولاً برازش واریوگرام با استفاده از روش کمترین مربعات وزنی[2] صورت می گیرد (۱۹).

تخمین ژئواستاتیستیکی : کریجینگ

جهت روشن شدن مسئله تخمین شکل ۵ ارائه شده است. فرض شود که مشخصه ای از خاک، Z، مانند درصد رس، در منطقه مورد مطالعه نمونه برداری و اندازه گیری شده است. محلهای نمونه رداری بر روی شکل بصورت دوایر توپر نشان داده شده است. حال چنانچه نیاز به دانستن میزان رس در محلی که با دایره توخالی مشخص شده است، باشد، می بایستی در همان نقطه اقدام به نمونه برداری و اندازه گیری رس نمود. لیکن از آنجاییکه در عمل نیازمند چنین اطلاعاتی در بیش از یک محل می باشیم لذا تخمین مقدار رس اجتناب ناپذیر است. اولین راه حل استفاده از میانگین کلیه نمونه ها موجود در منطقه بعنوان برآوردی از نقطه مورد درخواست است. این روش بدلیل دخیل نمودن کلیه تغییرات موجود در سطح منطقه منجر به برآوردی مناسب نخواهد شد. جهت تقسیم تغییرات و حذف آن، بطور معمول اقدام به طبقه بندی خاک نموده و سپس برای تخمین متغیر مورد نظر از ارقام متوسط و یا شاهد آن واحد نقشه (و یا واحد طبقه بندی) استفاده می شود. حال با توجه به شکل ۵، نقطه مورد تخمین در واحد A که بتعداد m نمونه برداری و درصد رس آنها اندازه گیری شده است، قرار گرفته است. جهت تخمین میزان رس، Z، دراین نقطه می توان میانگین داده هایی که در واحد A واقع شده اند بصورت جمع خطی وزن دار محاسبه نمود

1- Gilgai
2- Weighted least square

www.SID.ir

Archive of SID

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^{m} \lambda_i Z(x_i) \qquad [5]$$

که در آن $\hat{Z}(x_0)$ تخمین آماری از متغیرمورد نظر و λ_i وزن آماری اختصاص داده شده به نمونه i است. اگر دارای m نمونه در محدوده واحد A باشیم در اینصورت $\lambda = \frac{1}{m}$ و چنانچه نمونه ای در خارج از محدوده واحد A واقع شود، وزن آماری صفر در نظر گرفته می شود. بمنظور اطمینان از ناااریب بودن تخمین، جمع جبری اوزان بایستی برابر یک گردد.

همانطوری که ملاحظه می شود این روش با محدودیتهایی روبرو است. بطور مثال به نمونه هایی که در مجاورت نقطه مورد تخمین قرار گرفته اند تنها بدلیل واقع شدن در واحدی دیگر وزن آماری صفر اختصاص می گیرد. در عین حال نمونه هایی که در فواصل بسیار زیاد از نقطه مورد برآورد واقع شده اند صرفاً بدلیل متعلق بودن به واحد A همان وزن آماری یکسان را دریافت می دارند. بدیهی است در شرایطی که تغییرات در مرزهای بین کلاسهای مختلف شدید و ناگهانی باشد، روش مذکور معتبر و طبقه بندی انجام شده منجر به تخمین مناسب و قابل اعتمادی خواهد شد. اما چنانچه تغییرات خصوصیات خاک در مجاورت مرزها تدریجی و پیوسته باشد تخمین مزبور همراه با خطای فراوانی خواهد بود (۴۲و۴۷). در چنین شرایطی استفاده از تخمینگرهای ژئواستاتیستیکی (کریجینگ) مورد نیاز می باشد.

اصولاً کریجینگ نامی تعمیم یافته برای کلیه روشهای آماری تخمین و برآورد متغیرهای ناحیه ای بوده و بعنوان یک تابع خطی از مجموعه مشاهدات توزیع شده واقع در همسایگی نقطه ای که می خواهیم تخمین بزنیم، شناخته می شود. بنابراین همانند معادله (۵) ، کریجینگ نیز یک جمع خطی وزن دار است لیکن هدف از کریجینگ یافتن وزن های آماری نمونه ها به گونه ای است که علاوه بر ناااریب بودن تخمین، واریانس تخمین نیز حداقل گردد. جهت یافتن اوزان آماری، دراختیار داشتن اطلاعات واریوگرام اساسی است. از سوی دیگربه حداقل رساندن واریانس تخمین را که یک مسئله بهینه سازی ریاضی است می توان با استفاده از ضرایب لاگرانژ[1] و با در نظر گرفتن شرط ناااریب بودن انجام داد. در نتیجه سیستم معادلات کریجینگ (که اصطلاحاً کریجینگ معمولی[2] نامیده می شوند) را، که با استفاده از محاسبات ماتریسی حل می گردد، می توان بصورت زیر نوشت :

$$\gamma(x_i, x_0) \qquad [6]$$

در معادله فوق $\gamma(x_i, x_j)$ بیانگر واریوگرام مربوط به نمونه ها و $\gamma(x_i, x_0)$ واریوگرام مربوط به نقطه مورد تخمین و نمونه های واقع در همسایگی آن نقطه میباشد. دستگاه معادلات کریجینگ را میتوان بمنظور برآورد نقطه ای[3] و یا برآورد قطعه ای[4] انجام داد. بدین ترتیب واریانس کریجینگ عبارت است از :

$$[x_0) - Z(x_0)] = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \gamma(x_i, x_0) + \mu \qquad [7]$$

در معادله فوق μ ضریب لاگرانژ می باشد.

1- Lagrange multiplier
2- Ordinary kriging
3- Point kriging
4- Block kriging

www.SID.ir

Archive of SID

یکی از ویژگیهای اساسی کریجینگ این است که همراه هر تخمین، مقدار خطای آن را نیز بدست می دهد و به این ترتیب نه فقط می توان مقدار متوسط خطاها را محاسبه نمود بلکه توزیع خطاها در کل محدوده مورد مطالعه نیز قابل بررسی است. با استفاده از چنین ویژگی منحصربفرد می توان محلهایی را که دارای خطای تخمین بالایی است و برای کاهش آن به نمونه برداری های بیشتری نیاز است مشخص و تحت پوشش لازم قرار داد.

یکی دیگر از خصوصیات جالب توجه کریجینگ آن است که واریانس کریجینگ تابع مقدار واقعی داده ها نمی باشد. بنابراین اگر واریوگرام یک متغیر ناحیه ای در دسترس باشد، می توان با محاسبه واریانس تخمین اقدام به تعیین مناسبترین استراتژی نمونه برداری از نقطه نظر شکل نمونه برداری، تعداد نمونه ها و محل نمونه ها نمود (۳۲).

محمدی (۳و٦) با استفاده از تکنیک کریجینگ معمولی اقدام به پهنه بندی تغییرات شوری در منطقه رامهرمز (خوزستان) کرد. شکل ٦ نقشه شوری و همچنین نقشه واریانس تخمین حاصل از کریجینگ معمولی را نشان می دهد. همانطور یکه ملاحظه می شود با کاهش تعداد مشاهدات بویژه با نزدیک شدن به بعضی از مرزهای منطقه مطالعاتی میزان واریانس تخمین افزایش یافته است.

با توجه به ماهیت کمی این گونه نقشه ها، از آنها می توان بعنوان لایه های مختلف اطلاعاتی در سیستم های اطلاعات جغرافیایی بمنظور تجزیه و تحلیل های کمی و مدلسازی بهره جست (۷و۹).

کوکریجینگ[1]

در بعضی از مواقع ممکن است که از یک متغیر، بدلایلی مانند مشکل بودن نمونه گیری و یا گران بودن اندازه گیری آزمایشگاهی، به اندازه کافی نمونه برداری نشده باشد و بر اساس آنها نتوان برآورد آماری را با دقت مورد نظر انجام داد. در چنین مواردی میتوان با در نظر گرفتن همبستگی مکانی بین این متغیر و متغیر دیگری، که از آن بخوبی نمونه برداری شده است، تخمین را اصلاح و دقت آن را بالا برد. اینکار را می توان با استفاده از روش کوکریجینگ انجام داد (٤٠و٤١). بطور مثال، محمدی (٤) اثرات استفاده از اطلاعات شوری مربوط به دو عمق مختلف در نتایج برآورد شوری در یک عمق مورد نظر با استفاده از تکنیک وکریجینگ را بررسی کرد. واکلین و همکاران (٤٣) از رابطه بین بافت خاک و میزان آب قابل دسترس و آب نگهداری شده در پتانسیل ۰/۳۳ مگاپاسکال، جهت تخمین درصدهای مختلف رس، سیلت و شن خاک استفاده کردند.

همانند روش کریجینگ، اولین قدم در بکارگیری کوکریجینگ تعیین و مدل نمودن ساختار تغییرات مکانی متغیرهای مورد نظر است . در این حالت علاو ه برتعیین واریوگرام های متغیرهای اولیه و ثانویه بطور جداگانه، واریوگرام دو جانبه[2] که بیانگر ساختار همبستگی مکانی بین دو متغیر اولیه و ثانویه است نیز بایستی محاسبه و ترسیم گردد. برای محاسبه موفق یک واریوگرام دو جانبه به تعداد قابل توجهی نقاط نمونه برداری شدهٔ مشترک نیازمند میباشیم . از سوی دیگر چنانچه همبستگی بین دو متغیر ضعیف باشد واریوگرام دو جانبه محاسبه شده فاقد ساختار مناسب جهت تجزیه وتحلیل های بعدی خواهد بود.

یکی از مهمترین دشواری های کاربرد روش کوکریجینگ چگونگی مدل نمودن واریوگرام ها است . این دشواری بدین سبب است که تمامی واریوگرام های منفرد و دو جانبه میباسیتی بطور

1- Cokriging

2- Cross variogram

www.SID.ir

Archive of SID

همزمان مدل شوند. از طرف دیگر ما تنها مجاز به استفاده از یک مدل پایه (بطور مثال مدل کروی) و یا ترکیبی از آن (مانند مدل کروی مضاعف) میباشیم . معمولترین روش برای مدل کردن واریوگرام ها تحت شرایط فوق مدل خطی همه بسته بودن[3] (LMC) میباشد (۲۲و٤٥) .

در استفاده از این روش بایستی توجه به این نکته داشت که از نقطه نظر تئوری در شرایط مشخصی کوکریجینگ در مقایسه با کریجینگ هیچگونه بهبودی در امر تخمین بدست نمیدهد. چنانچه تعداد نمونه ها برای هر دو متغیر اولیه و ثانویه تقریبا" یکسان و همچنین در شرایطی که واریوگرام ها از نظر شکل و نوع مدل برازش داده شده با یکدیگر متناسب و شبیه بهم باشند در اینصورت نتایج حاصل از روش کوکریجینگ و کریجینگ معمولی یکسان خواهد بود (٤).

کریجینگ گسسته[1]

در شرایطی که چگونگی پراکنش مکانی خصوصیات خاک مورد نظر است، از روش کریجینگ معمولی می توان جهت تهیه نقشه خصوصیات مختلف خاک استفاده نمود. لیکن در پاره ای از شرایط مدیریتی خاک، دانستن مقدار عنصر غذایی و یا ماده بهساز که میبایستی به خاک افزوده شود در مقابل این پرسش که آیا اصولاً چنین افزایشی باید صورت پذیرد و یا خیر از اهمیت کمتری برخوردار است. بطور مثال یک گونه گیاهی قادر به تحمل اسیدیته تا سطح مشخصی بوده لیکن افزایش اسیدیته خاک ممکن است نهایتاً بحدی برسد که بناچار میبایستی با کاربرد مواد بهساز مانند آهک آن را تعدیل نمود. در چنین وضعیتی مقدار عددی برآورد شده خصوصیت مورد نظر می بایستی با یک حد آستانه معین مقایسه گردد. بدین ترتیب هنگامی که میزان پ هاش تخمین زده شده در سطح مزرعه و یا غلظت عنصر مورد نظر از حد آستانه معینی تجاوز نماید و یا کمتر شود، در اینصورت میبایستی قطعاً مدیریت های خاصی را اعمال نمود. حال چنانچه اختلاف بین مقدار تخمین زده شده و حد آستانه مورد نظر زیاد باشد، در اینحالت تصمیم گیری در مورد ضرورت انجام اقدامات مدیریتی آسان خواهد بود. لیکن در صورتیکه این اختلاف بسیار اندک باشد، اتخاذ تصمیم دشوار بوده و این امر با دانستن این حقیقت که اصولاً برآوردهای آماری همیشه با خطا های ناشی از تخمین همراه میباشند اهمیت بیشتری مییابد.

بطور مثال در مطالعه کمبود یک عنصر ضروری، در شرایطی که میزان تخمین در نقطه نمونه برداری نشده از حد آستانه عدول نماید، در حالیکه مقدار حقیقی آن عنصر کمتر از حد آستانه مورد نظر باشد در اینصورت مدیر ممکن است دچار اشتباه ناشی از اطمینان خاطر از عدم کمبود عنصر مورد نظر در خاک شود. از طرف دیگر، چنانچه میزان تخمین کمتر از حد بحرانی بوده و درعین حال مقدار حقیقی عنصر مورد نظر در خاک از حد آستانه بیشتر باشد، باعث اعمال مدیریت های غیر ضروری و تقبل هزینه های اضافی از سوی مدیر و یا کشاورز میگردد. در چنین شرایطی فرد مورد نظر خواستار اطلاع یافتن از میزان ریسک ناشی از پذیرفتن میزان تخمین صورت گرفته توسط خود است . به دیگر سخن او خواهان دانستن احتمال فزونی یا کمبود مقدار واقعی خصوصیت مورد مطالعه از حدود بحرانی مورد نظر میباشد. با استفاده از تکنیک کریجینگ گسسته نه تنها میتوان اقدام به برآورد متغیر مورد نظر نمود بلکه احتمال شرطی زیادبود و یا کمبود مقدار آن متغیر از حدود آستانه مورد نظر را

3 - Linear Model of Coregionalization
1- Disjunctive kriging

www.SID.ir

Archive of SID

نیز می تـوان محاسـبه نمـود (۱۳و۱٤و٤۹و۵۱). ایـن روش اگرچـه از جنبـه نظـری بـسیار پیچیـده و محاسبات آن طولانی مدت است، لیکن دقـت نتـایج حاصل از تخمین آن بمراتب دقیق تـر از کریجینـگ معمولی است (۵۰). محمدی (۳۹) سری نقشه هـای ریسک شوری خاک را با استفاده از ایـن روش ارائـه نموده است. شکل ۷ نقشه هـای ریـسک شـوری در شرایطی که میزان شوری خاک از حدود آسـتانه ۲ و ٤ دسی زیمنس بر متر بیشتر است را نشان می دهـد. همانگونه که ملاحظه می شود هـر دو نقـشه الگـوی عمومی یکسانی از پراکنش شـوری در منطقـه نـشان می دهند. لیکن بـا افـزایش حـد آسـتانه شـوری، از وسـعت منـاطقی کـه دارای ریـسک شـوری بـالایی هستند کاسته می شـود. بطـور کلـی انتخـاب حـدود آســـــتانه و پهنه بندی ریـسک متغیـر مـورد نظـر وابسته به اهداف مطالعه می باشد.

روش کریجینگ گسسته را میتوان بعنوان ابـزاری مفید در راستای مدیریت خاک بکار گرفـت. از ایـن روش میتوان بمنظـور پیگیـری و کنتـرل بـسیاری از فرایندهای خاک که که تغییـرات آنهـا دارای مـاهیتی مکانی و زمانی است، استفاده نمود. نتایج حاصـل از تجزیه و تحلیل کریجینگ گسسته منجـر بـه آگـاهی مدیر و یـا زارع از میـزان ریـسکی میگـردد کـه وی میبایستی در اثر نادیده انگاشتن بـرآورد متغیـر مـورد نظر در حالتی که از حـدود آسـتانه فزونـی مییابـد و بالعکس، متحمل گردد.

کریجینگ شاخص[1]

علاوه بر روش کریجینگ گسسته، تخمین توزیع احتمال را می توان با اسـتفاده از تکنیـک کریجینـگ شاخص نیز انجام داد. بطور کلی تابع توزیع تراکمـی را میتـوان از دو طریـق پـارامتری، ماننـد کریجینـگ گسـسته، و غیـر پـارامتری (۲۸و۳٦) تخمـین زد. از آنجاییکه روشهای غیر پارامتری بر پایـه آمـار توزیـع آزاد استوار است لذا درک و بکارگیری آن در مقایسه با روشهای وابسته به توزیع آماری (پارامتری) آسانتر است. محمدی و وان مرونه (۳۸) از روش کریجینگ شاخص به عنـوان یـک روش ژئواستاتیـستیکی غیـر پارامتری جهت تخمین تابع توزیـع تراکمـی شـوری خاک و تهیه نقشه های ریسک شوری استفاده کردند.

ایــن روش بطــور روزافزونــی در پهنــه بنــدی خــصوصیات هیــدرولیکی منــابع نفتــی و آبهــای زیرزمینی بکارگرفته میشود (۲۸). لیتائور و همکـاران (۳۰) اقدام بـه ارزیـابی و تهیـه نقـشه هـای ریـسک آلــودگی خــاک توســط پلوتونیــوم بــا اســتفاده از کریجینگ شاخص کردند. عـلاوه بـر آن محمـدی و همکـــاران (۳۷) بـــا اســـتفاده از روش هـــای ژئواستاتیستیک غیرپارامتری ریسک آلودگی کـادمیوم در خاک را مورد مطالعه قرار دادند. بدین منظور آنها از حدود آستانه ۱ و ۳ میلی گرم بر کیلوگرم اسـتفاده کردند. آنها عـلاوه بـر تهیـه نقـشه ریـسک آلـودگی کادمیوم، اقــدام به پهنه بندی میزان کادمیوم در خاک کردند (شکل ۸).

نتیجه گیری

اگرچه بیش از حدود نیم قرن از تـدوین و ارائـه مجموعه روشهای ژئواستاتیستیکی مـی گـذرد لـیکن بکارگیری آن در مطالعه خاک تنها در سه دهـه اخیـر صورت گرفته است. این در حالی است که کاربرد آن توسط متخصصین علـوم خـاک کـشور بـدلیل عـدم اطلاع بسیاری از آنها محدود به چند سال اخیر است.

همانند دیگر روشهای تجزیـه و تحلیـل آمـاری، ژئواستاتیستیک نیز دارای نقاط قوت زیاد کاربردی و در عـین حـال نقـاط ضـعف چنـدی اسـت. اگرچـه روشهای ژئواستاتیستیکی مـستقل از مقیـاس بـوده و

1- Indicator kriging

www.SID.ir

Archive of SID

بسط آنها به نواحی بزرگتر باعث باطل نمودن فرضیات آن نمی شود، لیکن باید توجه به این نکته داشت که تغییرات مورد نظر را بایستی با توجه به مقیاس مطالعاتی تفسیر نمود و بسته به مقیاس مطالعاتی آنها را به ابعاد منطقه ای و یا موضعی مرتبط کرد. در عین حال تجارب نشان داده است که با بسط ناحیه مطالعاتی پتانسیل سودمندی و کاربری این روشها کاهش می یابد.

واریوگرام دارای نقش کلیدی در روشهای برآورد ژئواستاتیستیکی است. اما معلوم ساختن این که واریوگرام محاسبه شده حقیقتاً برآورد مناسب و مطمئنی از واریوگرام واقعی متغیر ناحیه ای مورد مطالعه است، کار بسیار دشواری است. از سوی دیگر جهت محاسبه واریوگرام مناسب و همچنین ارائه تخمین های متقن نیازمند تعداد قابل توجه ای نمونه است.

اگرچه روشهای ژئواستاتیستیکی از نقطه نظر محاسبات، سنگین و طولانی و متضمن وقت و هزینه است لیکن بدلیل وجود امکانات سخت افزاری و نرم افزاری فراوان و در دسترس، امروزه بدون هیچگونه محدودیت جدی می توان از ژئواستاتیستیک در مطالعات خود بهره جست. بدین منظور سیاهه ای از نرم افزارهای قابل استفاده و موجود در ضمیمه آورده شده است.

از سوی دیگر، یکی از مزایای روشهای مزبور ماهیت کمی نتایج حاصل است که موجب قابلیت بازتولیدی و بهنگام سازی اطلاعات بدست آمده می گردد. بدین ترتیب امکان بکارگیری نتایج حاصل از این تکنیک ها در فن آوری های نوین پردازش اطلاعات فراهم می آید. بطور معمول در این روشها نیازی به طبقه بندی داده ها نبوده و لذا مشکلات و نارسایی های ناشی از طبقه بندی داده ها وجود ندارد.

بطور کلی روش کریجینگ را می توان یک تخمینگر ممتاز بحساب آورد زیرا نه تنها منجر به تخمین ناریب می شود بلکه برآوردی از حداقل خطای تخمین نیز ارائه می دهد. این در صورتی است که هیچیک از دیگر تخمینگرها چنین مزیتی را دارا نمی باشند. وجود انواع مختلف تکنیک های کریجینگ باعث انعطاف پذیری و دامنه وسیع کاربری ژئواستاتیستیک در تجزیه و تحلیل بسیاری از مسائل و مشکلات موجود در علوم محیطی، و از جمله خاکشناسی، شده است.

ضمیمه : تعدادی از نرم افزارهای مخصوص تجزیه و تحلیل های ژئواستاتیستیکی :

۱- GEOEAS

این نرم افزار برای کامپیوترهای شخصی طراحی شده است و بدلیل وجود صفحات راهنما، کار با آن آسان می باشد. دارای محدودیت تعداد مشاهدات است و حداکثر ۱۰۰۰ نمونه را جهت تجزیه و تحلیل می پذیرد. روشهای تجزیه و تحلیل شامل محاسبه آماره های اساسی (میانگین، واریانس، ...)، خط برگشت (رگرسیون)، محاسبه و مدلسازی واریوگرام و کریجینگ معمولی (نقطه ای و بلوکی) است. هم اکنون در حال توسعه به گونه ای که روش کوکریجینگ را نیز شامل شود.

۲- GEOPACK

مانند نرم افزار GEOEAS دارای قابلیت تجزیه و تحلیل های اولیه آمار کلاسیک و ژئواستاتیستیک است. علاوه بر آن امکان بکارگیری روشهای کوکریجینگ و کریجینگ گسسته را نیز فراهم می آورد.

www.SID.ir

Archive of SID

۳- GSLIB

مجموعه متنوعی از برنامه های ژئواستاتیستیکی است (۳۷ برنامه) که به زبان فرترن و توسط دانشگاه استانفورد، آمریکا نوشته شده است. برنامه های مزبور بصورت کد اصلی و بهمراه کتاب راهنمای بسیار جامعی ارائه شده است. محاسبه انواع مختلف واریوگرام، روشهای مختلف کریجینگ (شامل کریجینگ معمولی، ساده، یونیورسال، گسسته، کوکریجینگ و ایندیکاتور کریجینگ) و مجموعه ای از روشهای شبیه سازی از جمله توانایی های این نرم افزار است.

٤- GEOVARIANCES

نرم افزار تجارتی که توسط مدرسه معدن پاریس ارائه شده است. این نرم افزار در حقیقت نگارش توسعه یافته نرم افزار BLUEPACK بوده و عمدتاً برای تجزیه و تحلیل های ۲ و ۳ بعدی معمول در علوم معدن بکار گرفته می شود. این نرم افزار تحت سیستم UNIX و بر روی مینی کامپیوترها یکار گرفته می شود.

۵- GS Plus

نرم افزار تجارتی جهت کاربرد روشهای ژئواستاتیستیکی در علوم محیطی بوده که در آمریکا طراحی شده است. شامل برنامه های واریوگرافی و کریجینگ معمولی است.

٦- GEOSTOKOS

نرم افزار تجارتی و گران قیمتی بوده که در انگلستان توسعه یافته است. شامل برنامه های واریوگرافی، کریجینگ، کوکریجینگ و ایندیکاتور کریجینگ می باشد.

۷- GEOSTATISTICAL TOOLBOX

این نرم افزار توسط کمپانی FSS در کانادا طراحی شده است. در برگیرنده مجموعه برنامه های واریوگرافی و اغلب روشهای کریجینگ است.

۸- GEOSTAT

نرم افزار تجارتی که در کشور کانادا طراحی شده است. طیف وسیعی از روشهای تجزیه و تحلیل آمار کلاسیک، مدلسازی های زمین شناسی، طراحی معادن و روشهای ژئواستاتیستیکی را دربر می گیرد.

۹- GENSTAT

۱۰- SURFER

نرم افزار تجارتی با قیمت مناسب و در برگیرنده طیف وسیعی از روشهای درون یابی و از جمله کریجینگ است. از مزایای این نرم افزار توانایی گرافیکی و نمایشی بسیار بالای آن است.

این نرم افزار ابتدا بمنظور انجام تجزیه و تحلیلهای آمار کلاسیک در ایستگاه روتامستد، نگلستان طراحی شد. سپس برنامه های ژئواستاتیستیکی نیز به آن اضافه شد. در عین حال این نرم افزار دارای امکانات مناسب جهت برازش انواع مختلف واریوگرام است.

۱۰- SURFER

www.SID.ir

Archive of SID

کریجینگ است. از مزایای این نرم افزار توانایی گرافیکی و نمایشی بسیار بالای آن است.

نرم افزار تجارتی با قیمت مناسب و در برگیرنده طیف وسیعی از روشهای درون یابی و از جمله

منابع

۱- حسنی پاک، ع. ۱۳۷۷. زمین آمار (ژئواستاتیستیک). انتشارات دانشگاه تهران. ۳۱٤ صفحه.

۲- مدنی، ح. ۱۳۷۳. مبانی زمین آمار. انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر (واحد تفرش). ٦٥۹ صفحه.

۳- محمدی، ج. ۱۳۷۷. مطالعه تغییرات مکانی شوری در منطقه رامهرمز (خوزستان) با استفاده از نظریه ژئواستاتیستیک. ۱- کریجینگ. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی.ج۲، شماره ٤، زمستان ۱۳۷۷. ص ٦٤-٤۹.

٤- محمدی، ج. ۱۳۷۸. مطالعه تغییرات مکانی شوری در منطقه رامهرمز (خوزستان) با استفاده از نظریه ژئواستاتیستیک. ۱- کوکریجینگ. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی.ج۳، شماره ۱، بهار ۱۳۷۸. ص ٦٤-٤۹.

٥- محمدی، ج. ۱۳۷۷. تهیه نقشه فرسایندگی باران با استفاده از شاخص فورنیه و روش آماری کریجینگ. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. سال چهارم، شماره ۳ و ٤. ص ٤٤-۳٥.

٦- محمدی، ج. ۱۳۷۸. مقایسه روش های مختلف پهنه بندی و ارزیابی شوری اراضی واقع در منطقه رامهرمز (خوزستان). مجموعه مقالات همایش نقشه برداری ۷۸. سازمان نقشه برداری کشور. تهران ۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۷۸. ص ۳۳٤-۳۲٤.

۷- محمدی، ج. ۱۳۷۸. ارزیابی خطا و پراکنش آن در مدلهای کارتوگرافیکی حاصل از منطق دو گزینه ای بول در سیستم های اطلاعات جغرافیایی. مجموعه مقالات همایش نقشه برداری ۷۸. سازمان نقشه برداری کشور. تهران ۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۷۸. ص٥۰-٤۱.

۸- محمدی، ج، و مارک وان مرونه. ۱۳۷۸. ژئواستاتیستیک : ابزاری مفید در مطالعه و پهنه بندی آلودگی های زیست محیطی. اولین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران. دانشگاه صدرا، تهران ۲۲-۱۹ اردیبهشت ۱۳۷۸. ص ۸۲۸-۸۱٥.

۹- محمدی، ج. ۱۳۷۸. عدم قطعیت در اطلاعات حاصل از مطالعات خاکشناسی. ششمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه فردوسی مشهد. خلاصه مقالات، ص ۸٥-۸٤.

10- Alemi, M.H., M.R. Shahriari, and D.R. Nielsen. 1988. Kriging and cokriging of soil properties. Soil Technology 1 : 117-132.

11- Alemi, M.H., M.R. Shahriari, and D.R. Nielsen. 1988. Kriging and univariate modelling of a spatially correlated data. Soil Technology 1 : 133-147.

12- Armstrong, M. 1984. Common problems seen in variograms. Mathematical Geology 16 : 308-313.

13- Armstrong, M. & G. Matheron. 1986. Disjunctive kriging : part I. Mathematical Geology 18 : 711-728.

www.SID.ir

Archive of SID

14- Armstrong, M. & G. Matheron. 1986. Disjunctive kriging : part II. Mathematical Geology 18 : 729-742.
15- Burgess, T.M. & R. Webster. 1980. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I. The semivariogram and punctual kriging. Journal of Soil Science 31 : 315-331.
16- Burgess, T.M. & R. Webster. 1980. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. II. Block kriging. Journal of Soil Science 31 : 334-341.
17- Burrough, P.A. 1986. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford Univ. Press. 194 p.
18- Campbell, J.B. 1978. Spatial variation of sand content and pH within single contiguous delineations of two soil maping units. Soil Sci. Soc. Am J . 42 : 460-464.
19- Cressie, N. 1985. Fitting variogram models by weighted least squares. Mathematical Geology 17 : 563-585.
20- Cressie, N. 1991. Statistics for spatial data. John Wiley. 900P.
21- Ditzler, C. 1994. Geostatistics : A brief look at its application in soil survey. Soil Survey Horizons 3 : 69-73.
22- Goulard, M., and M. Voltz. 1992. Linear coregionalization model : tools for estimation and choice of cross variogram matrix. Mathematical Geology 24 : 269-286.
23- Isaaks, E.H., and R.M. Srivastava. 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press. 561P.
24- Hajrasuliha, S., N. Baniabassi, J. Metthey, and D.R. Nielsen. 1980. Spatial variability of soil sampling for salinity studies in southwest Iran. Irrigation Science 1 : 197-208.
25- Hosseini, E., J. Gallichand, & D. Marcotte. 1993. Comparison of several interpolators for smoothing hydraulic conductivity data in south-west Iran. ASAE, 37(6) : 1687-1693.
26- Hosseini, E., J. Gallichand, & D. Marcotte. 1994. Theoretical and experimental performance of spatial interpolation methods for soil salinity analysis. ASAE, 37(6) : 1799-1807.
27- Journel, A.G., and C.J. Huijbregts. 1978. Mining geostatistics. Academic Press Inc. 599 p.
28- Journel, A.G. 1983. Non-parametric estimation of spatial distributions. Mathematical Geology 15 : 445-468.
29- Krige, D.G., and E.J. Magri. 1982. Studies of the effects of outliers and data transformation on variogram estimates for a base metal and a gold ore body. Mathematical Geology 14 : 557-564.
30- Litaor, M.I., D. Ellerbroek, L. Allen, & E. Dovala. 1995. Comprehensive appraisal of Plutonium 239+240 in soils around Rocky Flats, Colorado. Health Physics 69 : 923-935.
31- Matheron, G. 1971. The theory of regionalized variables and its applications. Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique de Fontainebleau. No. 5. 208P.
32- McBratney, A.B. & R. Webster. 1981. The design of optimal sampling schemes for local estimation and mapping of regionalized variables. II. Program and examples. Computers and Geosciences 7 : 335-365.
33- McBratney, A.B. & R. Webster. 1983. How many observations are needed for regional estimation of soil properties?. Soil Science 135 : 177-183.
34- McBratney, A.B. & R. Webster. 1986. Choosing functions for semi-variograms and fitting them to sampling estimates. Journal of Soil Science 37 : 617-639.

www.SID.ir

Archive of SID

35- Mohammadi, J. 1997. Geostatistical mapping of environmental soil hazards. Ph.D. thesis. Gent University. 196P.
36- Mohammadi, J., M. Van Meirvenne & P. Goovaerts. 1997. Mapping cadmium concentration and the risk of exceeding a local sanitation threshold using indicator geostatistics. In : Soares, A., GomezHernandez, J. and R. Froidevaux (editors). geoENV97. I. Geostatistics for Environmental Applications. Quantitative geology and geostatistics. Vol. 9. Kluwer Academic Publishers. pp : 327-337.
37- Mohammadi, J., M. Van Meirvenne & P. Goovaerts. 1997. Mapping probability of exceeding the sanitation threshold of a cadmium enriched area. Theme day of the Belgian Soil Science Society : Soil & Heavy metals. Brussels, 15 Nov. 1996. Pedologie-Themata 3 : 39-48.
38- Mohammadi, J. & M. Van Meirvenne. 1997. Comparison of different mapping and classification algorithms for the evaluation of soil salinity in Iran. In : The second international Pedometrics'97 Conference, Madison, Wisconsin, USA 18-20 Aug. 1997.
39- Mohammadi, J. 2000. Evaluation and mapping of soil salinity hazard in Ramhormoz area (Khuzestan) using disjunctive kriging. Journal of Agricultural Research (In Press).
40- Myers, D.E. 1982. Matrix formulation of cokriging. Mathematical Geology 14 : 249-57.
41- Myers, D.E. 1984. Cokriging : New developments. In : G. Verly (Editor), Geostatistics for natural resources charectrization. Reidel, Dordrecht, Holland. pp : 295-305.
42- Oliver, M. and R. Webster. 1991. How geostatistics can help you. Soil Use and Management 7 : 206-217.
43- Vauclin, M., S.R. Vieira, G. Vachaud, and D.R. Nielsen. 1983. The use of cokriging with limited field soil observations. Soil Sci. Soc. Am J. 47 : 175-184.
44- Verhagen, J., & J. Bouma. 1997. Modeling soil variability. In : The site-specific management for agricultural systems. ASA-CSSA-SSSA, 677 S. Segoe Rd., Madison, WI, USA.
45- Voltz, M., and M. Goulard. 1994. Spatial interpolation of soil moisture retention curves. Geoderma 62 : 109-123.
46- Webster, R. 1977. Spectral analysis of gilgai soil. Aust. J. Soil Res. 15 : 191-204.
47- Webster, R., & M. A. Oliver. 1990. Statistical methods in soil and land resource survey. Oxford Univ. Press. 316 p.
48- Wilding, L.P., J. Bouma, & D.W. Goss 1994. Impact of spatial variability on interpretive modeling. In : Quantitative modeling of soil forming processes. SSSA special publication 39 : 61-75.
49- Wood, G., M.A. Oliver, and R. Webster. 1990. Estimating soil salinity by disjunctive kriging. Soil Use and Management 6 : 97-104.
50- Yates, S.R., A.W. Warrick, & D.E. Myers. 1986. Disjunctive kriging. I. Estimation and conditional probability. Water Resour. Res 22 : 615-621.
51- Yates, S.R., A.W. Warrick, & D.E. Myers. 1986. Disjunctive kriging. II. Examples. Water Resour. Res 22 : 623-630.

www.SID.ir

Archive of SID

Review on Fundamentals of Geostatistics and its Application to Soil Science

J. Mohammadi[1]

Abstract :

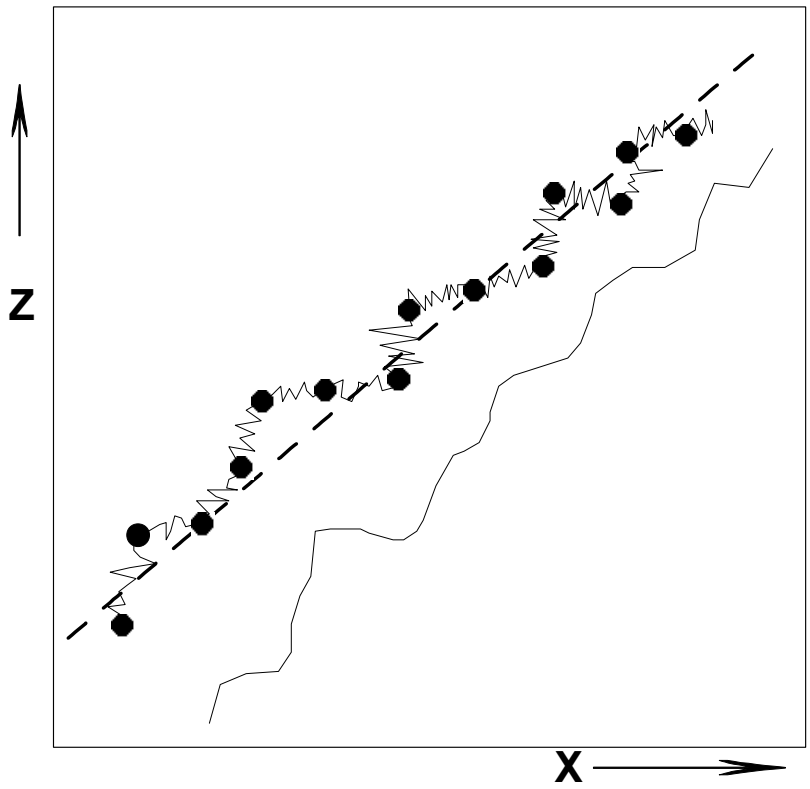
Geostatistics is a branch of applied statistics that provides a wide range of statistical estimators to predict the values of variables at places, where it has not been sampled using neighbouring observations. Spatial information can be used to estimate values of properties at unsampled locations through kriging techniques. The variogram is a central tool of geostatistics which is a statistical function quantifying the structure, scale, and intensity of spatial variation. Once it determines properly, it can be used not only in the estimation, but also to design and improve the sampling network. Generally, the kriging procedure is optimal in the sense that estimates are not only unbiased but also the estimation variance is a minimum. Several forms of kriging techniques like : ordinary kriging, cokriging, and disjunctive kriging, allow dealing with a wide range of problems in environmental sciences.

Key words: Applied statistics, variogram, Kriging

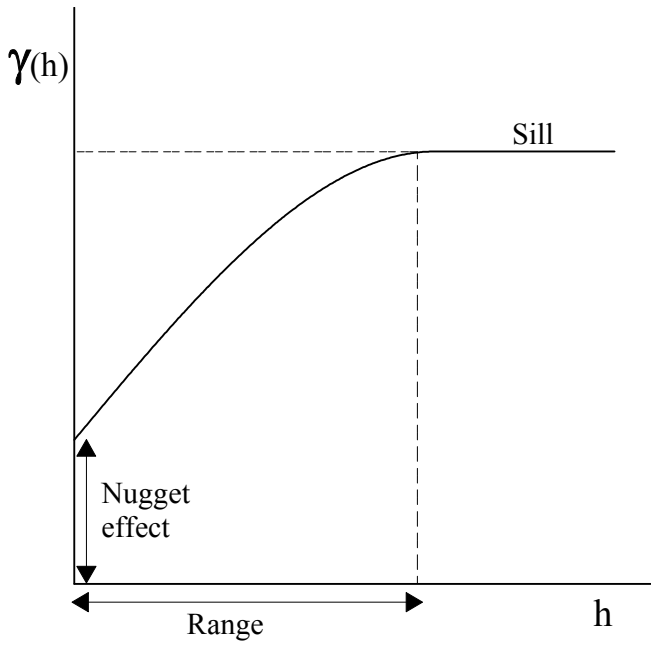
1- Assisst. Prof., Soil Science Dept., Agri. College, Shahre Kord Univ., Shahre Kord, Iran.

www.SID.ir

Archive of SID



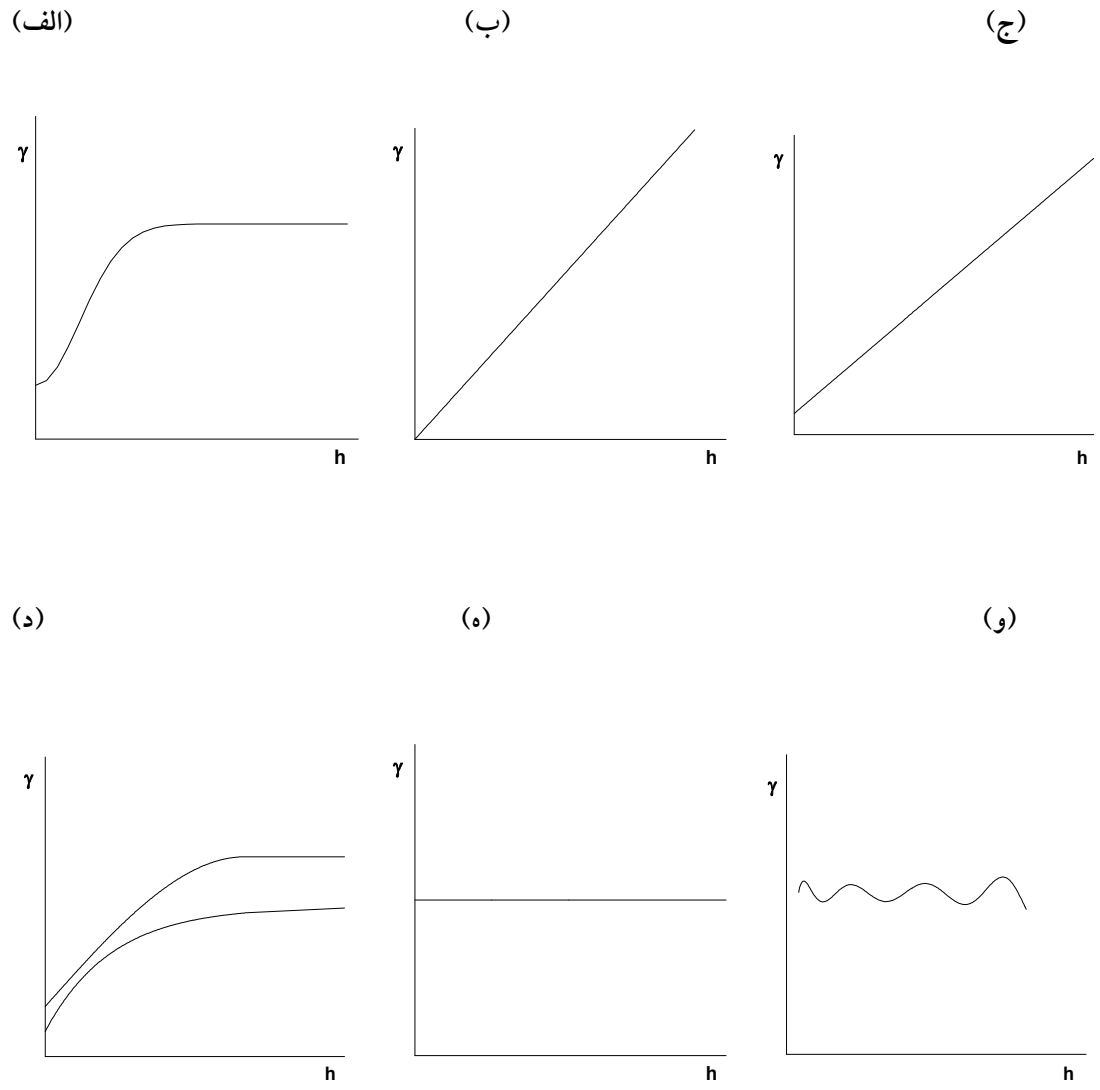
شکل ۱- مولفه های اصلی تغییرات مکانی یک متغیر ناحیه ای. دوایر سیاه رنگ بیانگر نقاط نمونه برداری و یا مشاهدات است. خط شکسته نشانگر مولفه ساختاری است که با روندی ثابت تغییر می کند. خطوط زیگزاگ تغییرات واقعی متغیر ناحیه ای را نشان می دهد، و نهایتاً خط موجدار پیوسته نشان دهنده مولفه تصادفی دارای همبستگی مکانی بوده که پس از حذف روند باقی می ماند.



شکل ۳- واریوگرام ایده آل بهمراه پارامترهای آن.

www.SID.ir

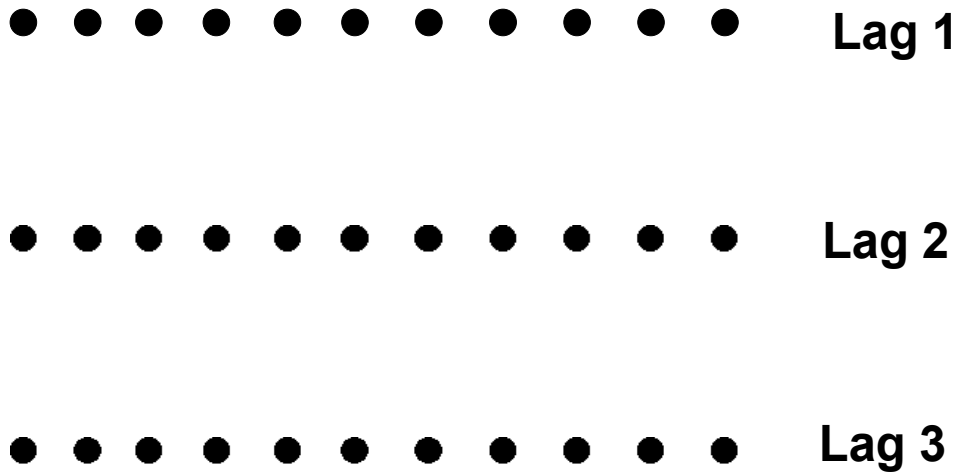
Archive of SID



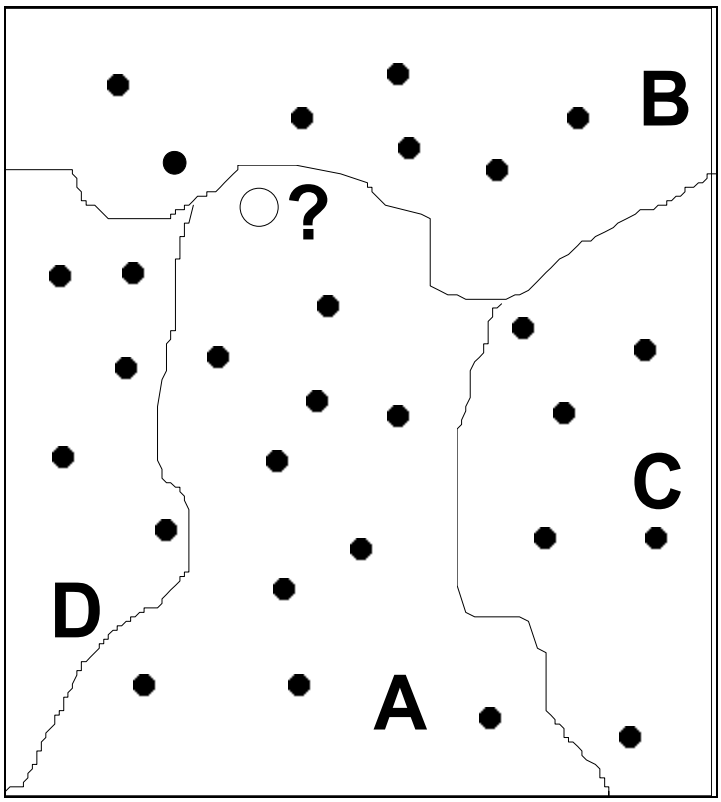
شکل ٤- اشکال مختلف واریوگرام شامل (الف) گوسی، (ب) خطی بدون اثر قطعه ای، (ج) خطی با اثر قطعه ای، (د) سقف دار شامل کروی و نمایی، (ه) اثر قطعه ای خالص، (و) تناوبی.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- نمودار شماتیکی برای محاسبه واریوگرام با استفاده از زوج نمونه هایی که به فـــواصل معینی (بترتیب از بالا : گام اول، گام دوم و گام سوم) از یکدیگر قرار گرفته اند.



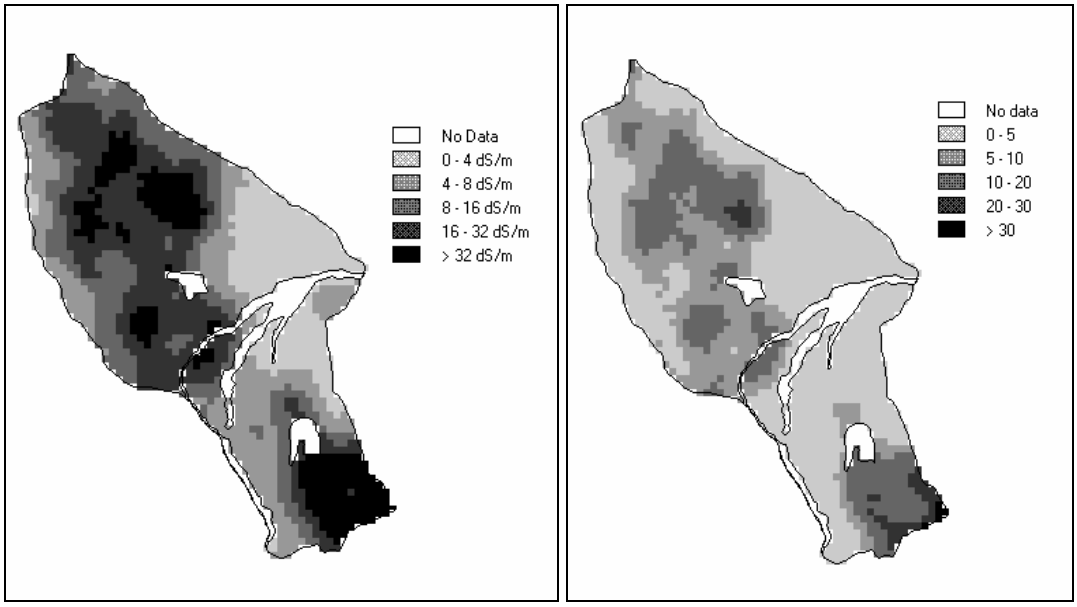
شکل ۵- نقشه نقاط نمونه برداری شده (دوایر توپر) و محلی که خصوصیت مورد نظر بایستی تخمین زده شود (دایره توخالی) همراه با مرزهای جداکننده واحدهای مختلف نقشه.

www.SID.ir

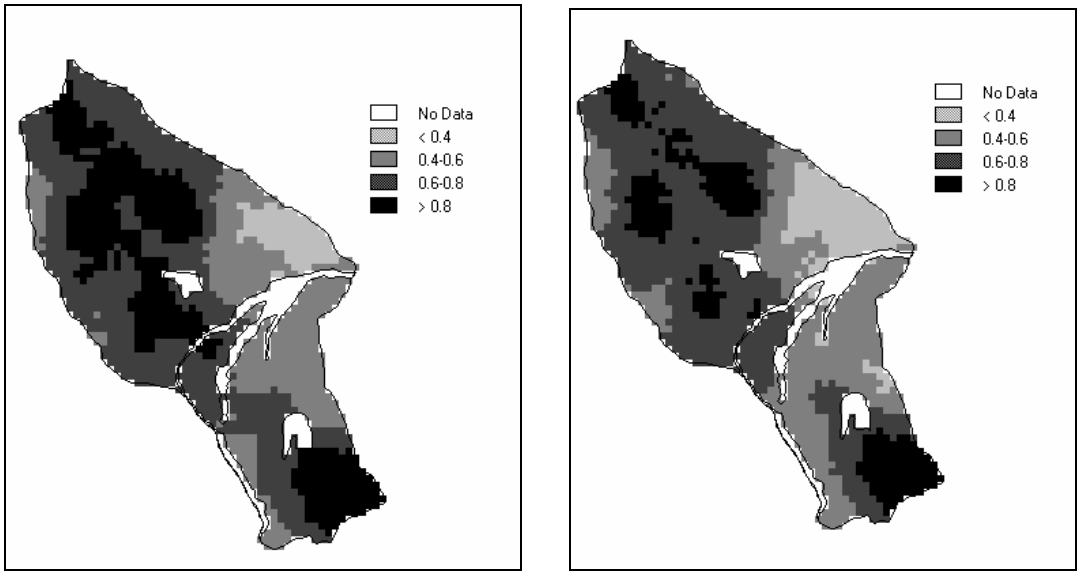
Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID



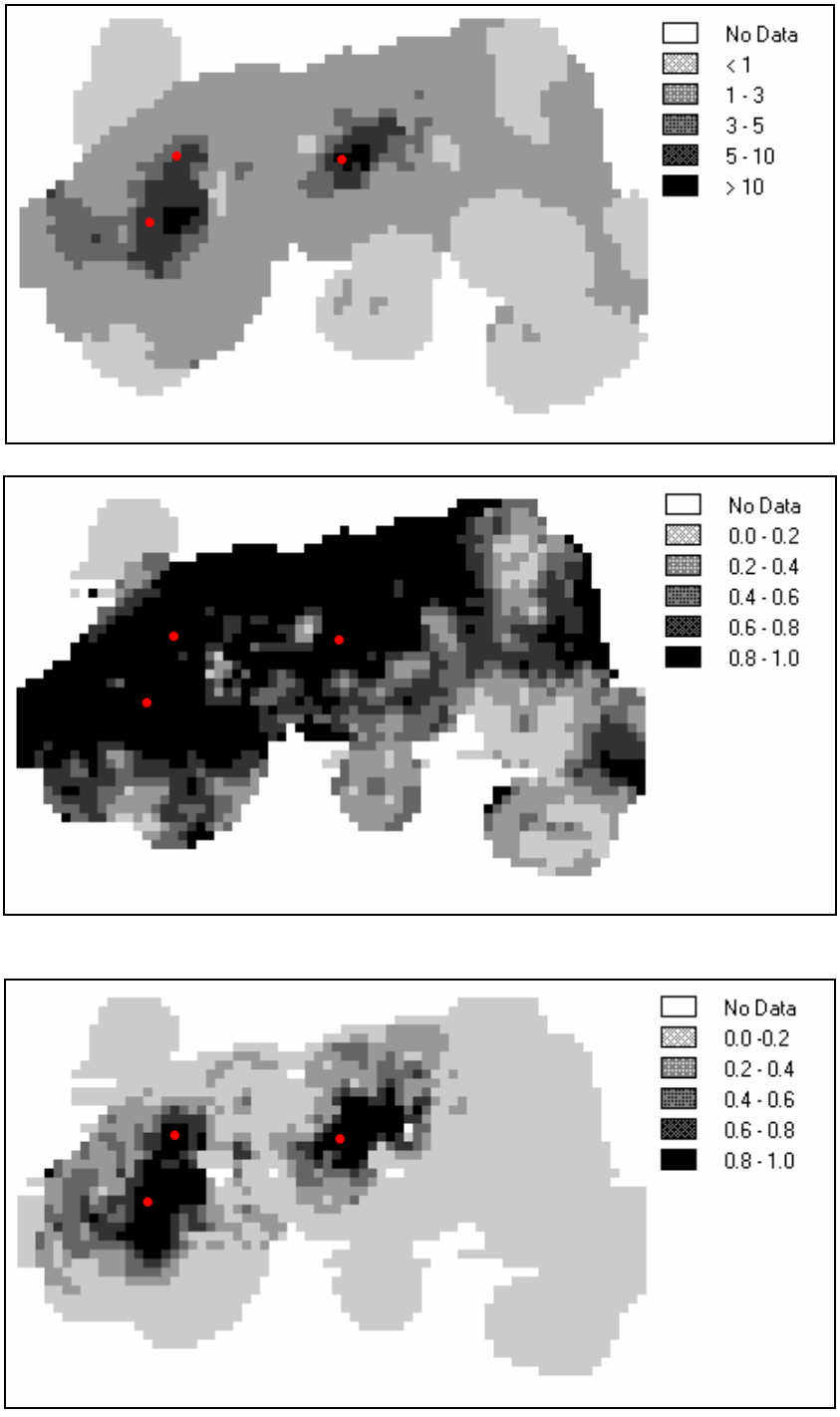
شکل ٦- نقشه مقادیر شوری خاک (چپ) بهمراه واریانس تخمین (راست) با استفاده از روش کریجینگ معمولی، منطقه رامهرمز، خوزستان.



شکل ٧- نقشه های ریسک شوری با استفاده از روش کریجینگ گسسته : احتمال افزایش شوری از حدآستانه ٢ دسی زیمنس بر متر (چپ) و حدآستانه ٤ دسی زیمنس بر متر (راست)، منطقه رامهرمز، خوزستان.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸- غلظت کادمیوم (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک (بالا) و احتمال زیادبود آن از حدود آستانه ۱ میلی گرم بر کیلوگرم (وسط) و ۳ میلی گرم بر کیلوگرم (پایین) با استفاده از روش ایندیکاتور کریجینگ (منطقه کمپن واقع در شمال شرقی کشور بلژیک).

www.SID.ir