نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره ۲، جلد۴، پاییز ۱۳۸۹، ص. ۲۶۲-۲۵۱

Iranian Journal of lrrigation and drainage
No. 2, Vol. 4, fall 2010, p. 251-262

درون یابی و پهنه بندی میزان رطوبت حد ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم

محمود فاضلی[۱*]، مهدی شرفا[۲] و فریدون سرمدیان [۳]

چکیده

برنامه‌ریزی دقیق آبیاری در کشاورزی نیاز به پایش رطوبت خاک دارد. تعیین مقدارخصوصیات فیزیکی خاک مانند مقدار رطوبت که دارای تغییرات پیوسته مکانی می‌باشند در قالب یک کمیت عددی کلّی و بدون در نظرگرفتن تغییرات مکانی آن، برای برنامه ریزی خاص مکانی کافی نمی‌باشد. در این مطالعه، تخمین و پهنه‌بندی مقدار رطوبت خاک در دو نقطه حد ظرفیت مزرعه (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) با استفاده از سه روش میانگین عام، فاصله معکوس و کریجینگ معمولی با یکدیگر مقایسه گردید. هردو خصوصیت مورد بررسی تغییرات مکانی ساختاردار را به خوبی نشان دادند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تخمین‌گر کریجینگ معمولی نتایج بهتری نسبت به روش‌های معکوس فاصله و میانگین عام برای تخمین موضعی مقدار رطوبت در دو نقطه حد ظرفیت مزرعه و پژمردگی دائم نشان می دهد. نتایج بدست آمده پیشنهاد می‌کند، که می توان از نقشه های حاصل از روش کریجینگ به دلیل درون‌یابی دقیق‌تر میزان رطوبت در نقاط FC و PWP، برای برنامه ریزی آبیاری به منظور مصرف بهینه آب استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: حد ظرفیت مزرعه، نقطه پژمردگی دائم، تغییرات مکانی، درون‌یابی، پهنه‌بندی

مقدمه

با توجه به مشکلات کمبود آب، راندمان مصرف آب در کشاورزی به عنوان مهمترین مصرف کننده آب شیرین، باید تا حد ممکن افزایش پیدا نماید. بنابراین راهکارهای مدیریتی مختلف افزایش بهره‌وری آب، در این بخش باید مورد آزمایش قرار گیرد. یکی از مهمترین راهکارهای مدیریتی برنامه‌ریزی آبیاری می‌باشد. در اکثر روش های برنامه ریزی آبیاری، پایش رطوبت خاک اساسی ترین عملی است که انجام می‌شود. در بازه رطوبتی بین خشک تا اشباع، گیاه با حالات مختلفی از رطوبت مواجه است. در این بازه نقاطی که از نظر کاربردی در برنامه‌ریزی آبیاری اهمیت زیادی دارند، دو نقطه ظرفیت مزرعه و پژمردگی دائم می‌باشند (علیزاده، ۱۳۸۳).

خاک محصول فرآیندهایی است که به صورت تدریجی و پیوسته در زمان و مکان تغییر می‌نماید (Trangmar et al., 1985). بسیاری از متغیّرها و خصوصیات خاک دارای تغییرات پیوسته مکانی می‌باشند. شناخت کمّی این تغییرات برای اعمال مدیریت خاص مکانی که پایه و اساس کشاورزی دقیق است، ضروری و اجتناب ناپذیر است (Larson et al., 1997; Goovaerts 1999; Webster, 2000). خصوصیات فیزیکی خاک، همچون سایر خصوصیات آن دارای ماهیت پویا و متغیر است و تغییرات مکانی دارد. لذا می توان پارامترهایی که بیان گر این خصوصیات است را به صورت یک متغیر درنظر گرفت و از طریق روش‌های آماری به بررسی تغییرپذیری آن پرداخت (محمدی، ۱۳۸۵).

از نقطه نظر آماری، تغییرات مکانی خاک به دو دسته تغییرات ساختاری و تغییرات تصادفی تقسیم می شوند. تغییرات ساختاری در ارتباط با فیزیوگرافی، ژئومورفولوژی و ... قابل شناسایی است. تغییرات تصادفی در بر گیرنده تغییراتی است که علل و عوامل آن را نمی توان به راحتی شناسایی کرد. این تغییرات بیشتر به تغییرات درون واحدهای به ظاهر همگن گفته می شود (Webster, 2000) .

بدیهی است که برخی خصوصیات فیزیکی خاک مانند مقدار رطوبت که دارای تغییرات مکانی می باشند در قالب یک کمیت عددی همچون میانگین عام برای برنامه‌ریزی دقیق کافی نمی‌باشد و مدیریت خاص مکانی بر اساس مجموعه ای از نقاط گسسته نمونه‌برداری، امکان پذیر نمی‌باشد (Iqbal et al., 2005).

روش‌های متداول آمار کلاسیک موقعیت جغرافیایی و مکانی نمونه‌ها را در تجزیه و تحلیل در نظر نمی‌گیرند از این رو توصیف کمی الگوی پراکنش متغیرهایی که دارای تغییرات پیوسته مکانی می‌باشند، مناسب نمی‌باشند (Webster and Oliver, 1992). معمول‌ترین شیوه تخمین در آمار کلاسیک، استفاده از میانگین کل

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی علوم خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
(*- نویسنده مسئول: Email: mahmoodfazelisangani @gmail.com)
۲و۳- به ترتیب استادیار و دانشیار گروه مهندسی علوم خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

Archive of SID
www.SID.ir

نمونه‌های موجود در منطقه به عنوان تخمینی از پدیده مورد نظر در نقطه خاص است. این نوع تخمین را اصطلاحاً تخمین عام[1] می‌گویند. بدیهی است که به دلیل مد نظر قرار ندادن کلیه تغییرات موجود در سطح منطقه مورد مطالعه، تخمین عام، نارسا می‌باشد و تنها بیان‌گر سیمای کلّی از متوسط تغییرپذیری است. برای دستیابی به تخمین موضعی[2] دقیق‌تر، بایستی از مشاهداتی استفاده کرد که در همسایگی محل تخمین قرار گرفته اند. برآورد تغییرات مکانی عوامل بدون توجه به چگونگی انتخاب روش‌های مناسب می‌تواند از عوامل مهم ایجاد خطا در مطالعات باشد (محمدی، ۱۳۸۵).

روش‌های مختلفی برای برآورد متغیرهایی که تغییرات زمانی و مکانی دارند، وجود دارد. تفاوت عمدهٔ این روش‌ها مربوط به نحوه محاسبه است. مجموعه ای از روش های آماری تحت عنوان زمین آمار برای بررسی تغییرات مکانی خصوصیات خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند، که ارائه دهنده ابزارهایی برای توصیف الگوی تغییرپذیری (واریوگرام) و تخمین (کریجینگ) متغیر در نقاط نمونه‌برداری نشده با استفاده از اطلاعات محل‌های نمونه‌برداری شده می‌باشند (Goovaerts, 1999).

تغییرات مکانی با استفاده از روش های زمین آماری که توان تولید نقشه‌های تراز را دارند، می‌توانند مورد بررسی قرار گیرد (Burgess & Webster, 1980; Vieira et al., 1981.) و از آن در جهت کشاورزی دقیق استفاده گردد (Vieira et al., 1983; McBratney et al., 1999). از روش‌های تخمین زمین آماری مانند کریجینگ می‌توان برای تشریح توزیع مکانی یک خصوصیت در مناطقی که تعدادی نمونه مشاهده در دسترس است، استفاده نمود (Goovaerts, 1997). نخستین تجربه‌ها برای به کارگیری روش‌های آماری مبتنی بر زمین آمار در علوم خاک، با تجزیه و تحلیل اسیدیته و میزان شن خاک با استفاده از تابع واریوگرام، آغاز گردید (Cambell 1978). بعد از آن مطالعات گسترده‌تری صورت گرفت. بورگس و وبستر (۱۹۸۰)، اولین کسانی بودند که کریجینگ معمولی را در خاکشناسی معرفی کردند (Burgess & Webster 1980)؛ کریجینگ معمولی برای درون‌یابی خصوصیات مختلفی از خاک شامل خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و آلودگی مورد استفاده قرار گرفته است (Goovaerts, 1998; Heuvelink & Webster, 2001).

از آنجا که میزان رطوبت خاک، تابع خصوصیات فیزیکی خاک است که دارای تغییرات پیوسته مکانی می‌باشند (Grego et al., 2006)، بنابراین بررسی تغییرات پیوسته و شناخت ساختار تغییرات مکانی این پارامتر و اعمال مدیریت بر مبنای این ساختار به اعمال مدیریت بهینه و برنامه‌ریزی دقیق‌تر در زمینه آبیاری توسط بسیاری از محققین مورد توجه قرار گرفته است (Cameron 1978; Nielsen et al., 1973; Ju´nior et al., 2005). محققین مختلفی کارآیی روش های دورن یابی و پهنه بندی کلاسیک و زمین‌آماری را برای خصوصیات مختلف خاک مورد بررسی قرار داده‌اند (Voltz & Utset et al., 1999 Webster 1990,).

در این پژوهش، تخمین و پهنه‌بندی مقدار رطوبت خاک در دو نقطه ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم با استفاده از سه روش میانگین عام، فاصله معکوس و تخمین زمین آماری (کریجینگ معمولی)، با یکدیگر مقایسه می شود.

مواد و روش ها

روش‌های تخمین

روش‌های مختلفی برای برآورد متغیرهایی که تغییرات زمانی و مکانی دارند، وجود دارد. تفاوت عمدهٔ این روش‌ها مربوط به وزنی است که به نقاط مشاهده شده‌ی اطراف نقطه‌ی مجهول داده می‌شود. در این تحقیق سه روش میانگین عام، فاصله معکوس و کریجینگ معمولی برای دورن‌یابی و برآورد متغیّرهای میزان رطوبت در نقطه ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم مورد استفاده قرار گرفتند.

معمول ترین شیوه تخمین در آمار کلاسیک، استفاده از میانگین کل نمونه‌های موجود در منطقه به عنوان تخمینی از پدیده مورد نظر در تمام نقاط است. این نوع تخمین را اصطلاحاً تخمین عام می‌گویند. در این روش از مقدار میانگین حسابی نمونه‌های بدست آمده به عنوان مقدار آن متغیر در تمام نقاط استفاده می‌شود. میانگین حسابی به روش زیر محاسبه می شود:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i}^{n} x_i}{n} \qquad (۱)$$

که در آن:

x_i، مقدار مشاهده شده متغیر x در موقعیت i و n تعداد نمونه‌ها است.

روش عکس فاصله وزنی نیز از روش‌های درون‌یابی کلاسیک می‌باشد. در این روش وزن نقاط نمونه بر روی نقطه مجهول بر اساس فاصلهٔ بین نقاط معلوم و نقطه مجهول محاسبه می‌شود. این اوزان توسط توان وزن‌دهی کنترل می‌شود، به طوریکه توان‌های بزرگتر اثر نقاط دورتر از نقطهٔ مورد تخمین را کاهش می‌دهند و توان‌های کوچکتر، وزنها را به طول یکنواخت تری بین نقاط همسایه توزیع می‌کنند. معادله‌ی زیر چگونگی محاسبهٔ اوزان در این روش را نشان می‌دهد:

1 - Global estimation
2 - Local estimation

Archive of SID

www.SID.ir

$$\lambda_i = \left(\frac{D_0}{D_i}\right)^{\alpha} - 1 \qquad (۲)$$

که در آن :

λ_i : وزن نقطه نمونه iام

D_i : فاصله بین نقطه نمونه iام و نقطه مجهول

α : توان وزن دهی

D_0 : شعاع همسایگی می‌باشد.

ایراد این روش، آن است که به نقاط دارای فاصلهٔ یکسان از نقطهٔ مورد تخمین، وزن یکسان داده می‌شود و موقعیت و آرایش آنها در نظر گرفته نمی‌شود.

روش کریجینگ معمولی یک روش زمین آماری است که در آن از ساختار مکانی تغییرات متغیر برای درون‌یابی و پهنه‌بندی متغیر استفاده می‌شود (Goovaerts 1997). تابع واریوگرام، ابزار کلیدی در روشهای برآورد زمین آماری است (Mc Bratney and Webster, 1986;). واریوگرام به منظور تشریح پیوستگی مکانی یک متغیر بکار می‌رود. رابطه واریوگرام به صورت زیر می‌باشد :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{z(x_i) - z(x_i + h)\}^2 \qquad (۳)$$

که در آن:

γ (h) : مقدار نیم تغییرنما برای جفت نقاطی است که به فاصله h از هم قرار دارند،

N (h) : تعداد زوج نقاطی است که به فاصله h از هم قرار دارند،

$z(x_i)$: مقدار مشاهده شده متغیر x در موقعیت i و

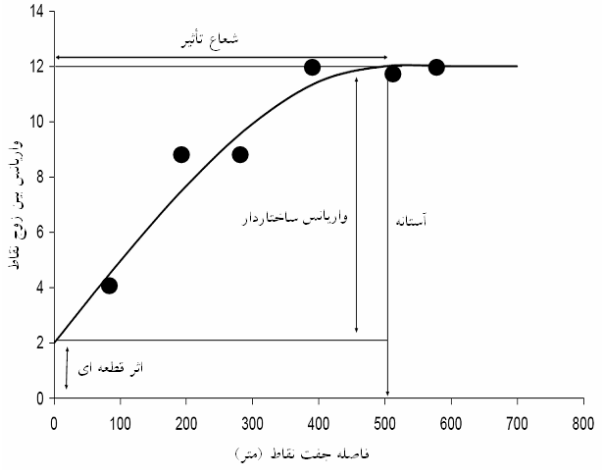
$z(x_i + h)$: مقدار مشاهده شده متغیر در فاصله h از x_i می‌باشند.

نمودار نیم تغییرنما با ترسیم مجموع مربع تفاضل زوج نقاطی که به فاصله معلوم h از یکدیگر قرار دارند، در مقابل h به دست می‌آید.

در شکل (۱) نمایی از یک نیم تغییرنما ارایه شده است.

فاصله‌ای که در آن واریوگرام به حد ثابتی می‌رسد و به حالت خط افقی نزدیک می‌شود، دامنه یا شعاع تأثیر (A) نامیده می‌شود. این دامنه محدوده‌ای را مشخص می‌کند که می‌توان از داده‌های موجود در آن، برای تخمین مقدار متغیر مجهول استفاده کرد. بدیهی است که دامنه تأثیر بزرگتر دلالت بر پیوستگی مکانی گسترده‌تری دارد. به مقدار ثابتی که واریوگرام در دامنه تأثیر به آن می‌رسد، آستانه گفته می‌شود. مقدار آستانه برابر واریانس کل تمام نمونه‌هایی است که در محاسبه تغییرنما به‌کار رفته‌اند.

مقدار واریوگرام در مبدأ مختصات یعنی به ازای h=۰ را اثر قطعه‌ای (C_0) می‌نامند؛ در حالت ایده‌آل مقدار اثر قطعه‌ای باید صفر باشد، اما در بیشتر مواقع بزرگتر از صفر است.



شکل ۱- واریوگرام و پارامترهای آن

در این حالت جزء تصادفی و یا غیر ساختاردار متغیر ظاهر می‌شود. مؤلفه ساختاردار (C)، که برابر است با تفاضل مقدار آستانه و اثر قطعه‌ای، تابع موقعیت فضائی داده‌ها، یعنی فاصله و جهت قرارگیری آنها است و بیانگر تغییراتی می‌باشد که علت آن را می‌توان در خصوصیات خود متغیر مکانی یافت. مؤلفه تصادفی بدون ساختار می‌باشد (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷).

پس از محاسبه نیم‌تغییرنمای تجربی بر اساس رابطه (۳) یک مدل ریاضی به آن برازش داده می‌شود و از آن برای تخمین مکانی استفاده می شود.

کریجینگ نامی تعمیم یافته برای کلیه روش‌های آماری تخمین و برآورد متغیرهای ناحیه ای بوده و به عنوان یک تابع خطی از مجموعه مشاهدات توزیع شده، واقع در همسایگی نقطه‌ای که قرار است تخمین زده شود، شناخته می‌شود (Armstrong, 1998). کریجینگ یک جمع خطی وزن دار است. لیکن هدف از کریجینگ یافتن وزن‌های آماری نمونه‌ها به گونه‌ای است که علاوه بر نا اریب بودن تخمین، واریانس تخمین نیز حداقل گردد. برای یافتن اوزان آماری، در اختیار داشتن اطلاعات واریوگرام اساسی است (محمدی،۱۳۸۰). روش کریجینگ برای برآورد نقطهٔ ناشناخته، به هر یک از نمونه‌های اندازه‌گیری شده وزنی را نسبت می‌دهد:

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

که در آن:

Z^*: مقدار متغیر مکانی برآورد شده،

$Z(x_i)$: مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطهٔ x_i، λ_i: وزنی که به مقدار مشاهده شده در نقطهٔ x_i نسبت داده می‌شود و بیانگر اهمیت نقطهٔ iام در برآورد است.

شرط استفاده از این تخمینگر این است که، متغیر z دارای توزیع

Archive of SID

www.SID.ir

نرمال باشد. در غیر اینصورت یا باید از کریجینگ غیرخطی استفاده کرد و یا اینکه به نحوی توزیع متغیرها را به نرمال تبدیل کرد. شکل معادله کریجینگ معمولی به صورت زیر است:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{n} \lambda i.C_{ij} - \mu = C.j \\ \sum_{i=1}^{n} \lambda_i = 1 \end{cases} \quad (5)$$

این دستگاه معادله خطی را می‌توان به صورت حاصلضرب ماتریسی نوشته و از روش‌های ماتریسی دستگاه معادلات را حل کرد:

$$K.\lambda_i = b \quad (6)$$

که در آن:

K: ماتریس کوواریانس بین داده‌ها،

B: بردار کوواریانس بین نقاط مشاهده‌ای و برآورد شده،

λ_i: بردار وزنی نقاط مورد نظر.

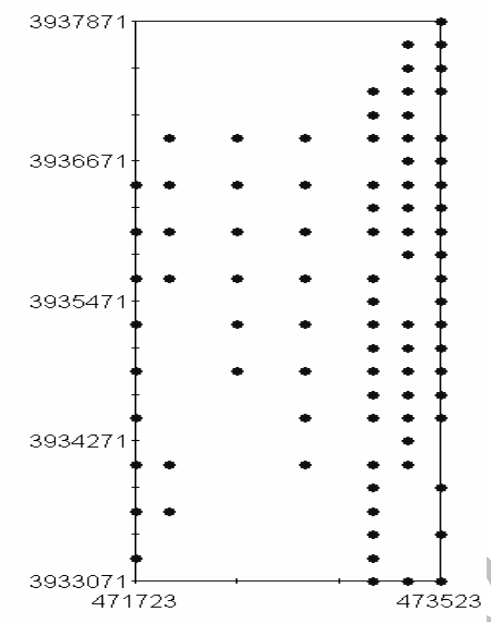
کریجینگ تخمینگری نااریب، با کمترین مقدار واریانس تخمین است که همراه هر تخمین، مقدار خطای آن را نیز می‌دهد. با استفاده از این ویژگی منحصر به فرد کریجینگ می‌توان، قسمت هایی که در آن خطای تخمین بالا است و برای کاهش آن به داده‌های بیشتری نیاز است را مشخص کرده و آن را تحت پوشش نمونه های بیشتری قرار داد و به این ترتیب بهترین الگوی شبکه نمونه‌برداری را پیشنهاد نمود (Goovaerts, 1997).

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل بخشی از اراضی اشتهارد به مساحت ۶۸۰ هکتار می‌باشد که در محدوده طول جغرافیایی۴۷۱۷۲۳ تا ۴۷۳۵۲۳ (UTM) و عرض جغرافیایی ۳۹۳۳۰۷۱ تا ۳۹۳۷۸۷۱ (UTM) واقع شده است. میانگین بارندگی سالیانه در این منطقه ۲۰۰ میلی متر و خاک آن دارای رژیم دمایی ترمیک و رژیم رطوبتی اریدیک می باشد.

تعداد ۸۶ نمونه خاک شامل نمونه دست خورده و دست نخورده، بر اساس یک شبکه نمونه‌برداری منظم از سطح منطقه مورد نظر در مهرماه سال ۱۳۸۷ تهیه گردید. ابعاد شبکه نمونه برداری در بخشی از منطقه مورد مطالعه ۲۰۰ در۲۰۰ و در بخشی دیگر ۴۰۰ در۴۰۰ انتخاب گردید. نمونه ها از عمق سطحی (۳۰-۰) سانتی‌متری برداشته شد و موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری شده به وسیله سیستم موقعیت یاب جهانی (GPS) ثبت گردید. شکل (۲) توزیع شبکه نمونه برداری در منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.

نمونه‌های دست خورده پس از انتقال به آزمایشگاه هوا خشک شده و پس از کوبیده شدن از الک ۲ میلی متری عبور داده شدند. جرم مخصوص ظاهری خاک، با تعیین نسبت جرم به حجم نمونه‌های دست نخورده، نمونه برداری شده با استوانه‌های به قطر و ارتفاع ۵ سانتی‌متر محاسبه گردید.



شکل۲- توزیع شبکه نمونه برداری در منطقه مورد مطالعه

از نمونه‌های خاک دست‌خورده برای اندازه‌گیری سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی استفاده گردید. مشخصات خاک‌های مورد بررسی در جدول (۱) نشان داده شده است. برای تعیین میزان رطوبت معادل نقاط ظرفیت مزرعه (FC) و پژمردگی دائم (PWP)، نمونه‌ها به ترتیب تحت فشار های ۰/۳ و ۱۵ بار در دستگاه صفحات فشاری قرار گرفته و رطوبت حجمی نمونه ها تعیین گردید.

جدول۱- مشخصات خاک های نمونه برداری شده

خصوصیت	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	درصدکربنات کلسیم	EC (dS/m)	pH	جرم مخصوص ظاهری (g/cm^3)
دامنه تغییرات	۹/۱ -۲۵/۵	۱۰/۸-۳۵/۹	۴۳/۱-۷۴/۵	۱/۷-۱۳/۵	۰/۱۸-۱/۸	۷-۷/۹	۱/۳۴-۱/۷۳

Archive of SID

www.SID.ir

بررسی تغییرات مکانی متغیر

خلاصه آماری داده‌ها، شامل میانگین حسابی، میانه، مد، واریانس، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی داده‌ها برای شناخت کلی و معرفی داده‌ها تعیین گردیدند. نرمال بودن داده‌ها با بررسی شاخص‌های چولگی و کشیدگی مورد بررسی قرار گرفت. تا در صورت غیرنرمال بودن داده‌ها تبدیل‌های لازم (لگاریتم، ریشه دوم) اعمال گردد. پس از بررسی آمار توصیفی داده ها، همبستگی مکانی داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. این مرحله که پیش نیاز ر ش کریجینگ می‌باشد، قبل از انتخاب روش درون یابی انجام می‌گیرد. واریوگرام تجربی داده‌ها مطابق با رابطه (۳) رسم گردید. برای بهینه کردن واریوگرام، پارامترهای گام و حداکثر فاصله تغییر داده شد. پس از بدست آوردن واریوگرام تجربی، مدل تئوری بر واریوگرام برازش داده شد و با در نظر گرفتن مقدار ضریب تبیین(R^2) و مجموع مربعات باقی مانده (RSS)، مدل مناسب انتخاب گردید. تخمین زمین آماری کریجینگ بر مبنای مدل انتخابی انجام شد.

تخمین مقدار رطوبت در هر یک از نقاط رطوبتی با استفاده از روش‌های، میانگین عام، فاصله معکوس و کریجینگ معمولی[1] و با استفاده از نرم افزار GS+ ۹ (Gama design, 2008) صورت گرفت. برای مقایسه دقت تخمین روش‌ها از معیارهای، میانگین خطای مطلق[2](MAE)، میانگین مربعات خطا[3](MSE) ، ریشه دوم میانگین مربع خطا[4](RMSE) و ضریب تبیین مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی (R^2) استفاده شد. روابط مربوطه به صورت زیر می باشد:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|Z^*(x_i) - Z(x_i)\right|}{n} \quad (۷)$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Z^*(x_i) - Z(x_i)\right)^2}{n} \quad (۸)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Z^*(x_i) - Z(x_i)\right)^2}{n}} \quad (۹)$$

که در آن‌ها:

n= تعداد نقاط مشاهده‌ای،

$Z^*(x_i)$ = مقدار برآوردی بر نقطه iام،

$Z(x_i)$ = مقدار مشاهده‌ای برای نقطه iام،

$\overline{Z}(x_i)$ = میانگین مقادیر مشاهده‌ای.

دقت دو تخمین‌گر کریجینگ و فاصله معکوس با استفاده از روش اعتبارسنجی تقاطعی نیز با یکدیگر مقایسه شدند. پس از انجام درون-یابی با استفاده دو روش فاصله معکوس و کریجینگ عمومی، نقشه توزیع مکانی این متغیرها نیز رسم گردید. نقشه خطای تخمین نیز برای نتایج حاصل از درون یابی بر اساس روش کریجینگ ترسیم شد.

نتایج و بحث

خلاصه آماری مربوط به دو متغیر FC و PWP در جدول (۲) نشان داده شده است. شاخص‌های مرکزیت داده‌ها برای متغیر FC نشان می‌دهد که مقادیر دو آماره میانه و مد برای این متغیر به مقدار میانگین نزدیک ولی بیشتر از مقدار میانگین می‌باشند. در مورد متغیر PWP مقدار میانه کمتر و مقدار آماره مد بیشتر از مقدار میانگین است. ضمن اینکه مقدار آماره مد فاصله بیشتری از میانگین پیدا کرده است. مقایسه ضریب تغییرات (معیار پراکندگی) این دو متغیر نشان دهنده تغییرات بیشتر در متغیر PWP می‌باشد. دو آماره کشیدگی و چولگی نشان می‌دهند که داده های دو متغیر به توزیع نرمال نزدیک و نیازی به تغییر متغیر در داده‌ها برای آنالیزهای زمین آماری نیست.

پس از رسم واریوگرام تجربی برای دو متغیر با انتخاب گام ۲۰۰ متر و حداکثر فاصله ۲۰۰۰ متر، برازش مدل تئوری بر واریوگرام تجربی نشان داد که در مورد هر دو متغیر مدل نمایی با داشتن بالاترین مقدار R^2، به ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۹۴ برای دو متغیر FC و PWP ، و کمترین مقدار RSS ، به ترتیب۰۶ - E ۲/۶۵۸ و ۰۵ - E ۱/۴۸۶ برای دو متغیر FC و PWP ، بهترین برازش را بر واریوگرام تجربی دارد. بنابراین از این مدل برای تخمین زمین آماری در روش کریجینگ استفاده گردید.

نسبت واریانس(C/C0+C) دو متغیر نشان می دهد که بخش زیادی از تغییرات دو متغیر را تغییرات ساختاردار شامل می‌شوند. مقایسه مقدار این نسبت برای دو متغیر نشان می‌دهد که تغییرپذیری متغیر PWP دارای ساختار بیشتری از متغیر FC می‌باشد. دامنه تأثیر، که نشان دهنده دامنه‌ای است که ساختار تغییرات متغیر در آن شناخته شده است، برای دو متغیر FC و PWP به ترتیب ۱۷۴۹و۱۳۲۳ می باشد که از آن می‌توان در طراحی شبکه نمونه برداری استفاده نمود. مدل نمایی واریوگرام های دو متغیر FC و PWP در شکل (۲) و نتایج آنالیز واریوگرام ها در جدول (۳) نشان داده شده است.

سه تخمین‌گر مورد بررسی از نظر میزان دقت تخمین با یکدیگر مقایسه شدند که نتایج آن در جدول (۴) نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد که از این سه تخمین‌گر، به ترتیب کریجینگ معمولی، معکوس فاصله و میانگین عام بیشترین دقت را در برآورد مقدار هر دو متغیر FC و PWP دارا بودند. مقایسه بین تخمین دو متغیر نشان داد که هر سه متغیر دقت بیشتر در برآورد مقدار متغیر PWP نسبت به متغیرFC داشته‌اند. تفاوت در استفاده از تخمین‌گر کریجینگ معمولی برای دو متغیر کاهش یافته است.

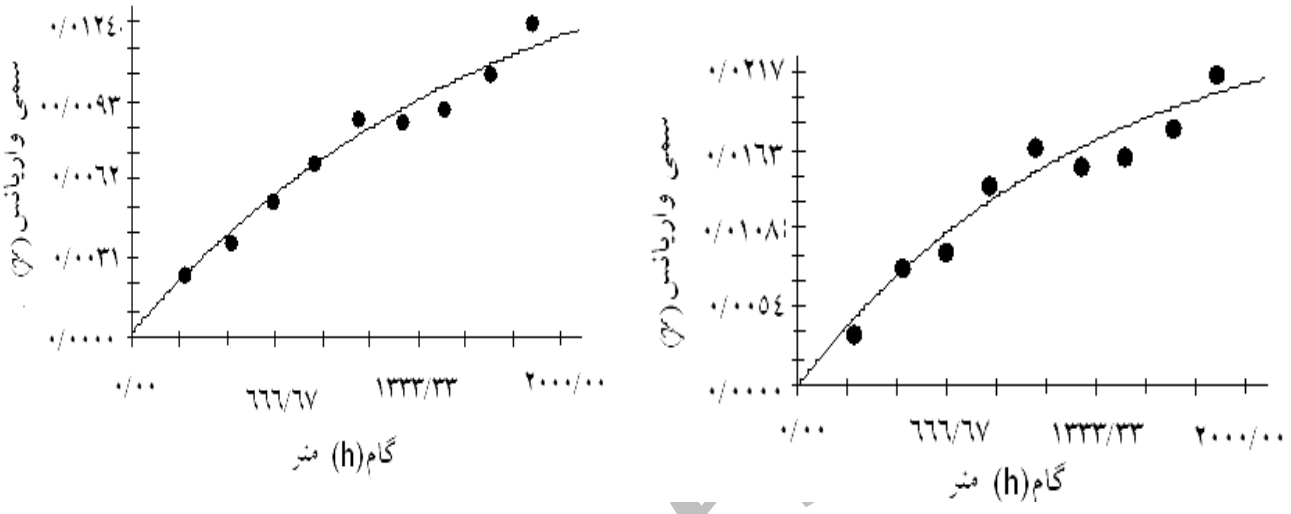
1 -Ordinary Kriging
2 - Mean Absolute Error
3 -Mean Squared Error
4 - Root Mean Squared Error

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۲- خلاصه آماری متغیرهای حد ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم

پارامتر	میانگین	میانه	مد	واریانس	انحراف معیار	مقدار ماکزیمم	مقدار مینیمم	دامنه	کشیدگی	چولگی	ضریب تغییرات
FC	۲۲/۰۸	۲۲/۱۲	۲۳	۳/۶۱	۱/۹۰	۲۵/۷۰	۱۸/۵۰	۷/۲۰	-۰/۸۱	-۰/۲۱	۸/۳۳
PWP	۱۳/۱۳	۱۱/۷۷	۱۴	۲/۳۷	۱/۵۴	۱۶/۵۰	۱۰/۴۰	۶/۱۰	-۰/۵۵	۰/۱۲	۱۱/۷۳



شکل۲- واریوگرام های تجربی دو متغیر FC (چپ) و PWP (راست) و برازش مدل نمایی بر آن ها

جدول۳- آنالیز سمی واریوگرام برای متغیرهای حد ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم

پارامتر	مدل انتخابی	اثر قطعه ای واریانس بدون ساختار(C_0)	واریانس ساختاردار (C)	مقدار آستانه (Sill)	دامنه تأثیر (A)	نسبت واریانس (C/C0+C)	R^2	RSS
FC	نمایی	۲/۱۰ E -۰۴	۲/۱ E -۰۴	۱/۷۳۲ E -۰۲	۱۷۴۹	۰/۹۸۸	۰/۹۷	۲/۶۵۸ E -۰۶
PWP	نمایی	۱/۰۰ E -۰۵	۲/۱ E -۰۴	۲/۶۷۲ E -۰۲	۱۳۲۳	۱/۰۰۰	۰/۹۴	۱/۴۸۶ E -۰

جدول۴- مقایسه کارآیی سه تخمین‌گر مورد بررسی

تخمین‌گر	متغیر	RMSE	MAE	MSE
میانگین عام	FC	۱/۸۸۹	۱/۵۷۱	۳/۵۶۸
	PWP	۱/۵۳۱	۱/۲۲۴	۲/۳۴۵
معکوس فاصله	FC	۱/۴۰۵	۱/۱۱۱	۱/۹۷۴
	PWP	۱/۲۱۹	۰/۹۵۴	۱/۴۸۶
کریجینگ معمولی	FC	۱/۰۸۴	۰/۸۸۴	۱/۱۷۶
	PWP	۱/۰۸۲	۰/۸۲۴	۱/۱۷۳

مقایسه نتایج اعتبارسنجی تقاطعی دو تخمین‌گر فاصله معکوس و کریجینگ معمولی، در جدول (۵) نشان داده شده است. این نتایج نیز نشان می‌دهد که تخمین‌گرکریجینگ معمولی، با دارا بودن مقدار R^2 بیشتر نسبت به تخمین گر فاصله معکوس، کمتر بودن خطای معیار(SE) و نزدیک‌تر بودن مقادیر دو پارامتر ضریب همبستگی (R) و عرض از مبدأ (Y Intercept) به مقادیر آن برای خط یک به یک (به ترتیب ۱و۰)، برای هر دو متغیر تخمین بهتری را دارا می‌باشد (Voltz and Webster 1990).

شکل (۳) و شکل (۴) پهنه‌بندی دو و سه بعدی دو متغیرFC وPWP، با استفاده از دو تخمین‌گر فاصله معکوس و کریجینگ معمولی را نشان می‌دهد. سه سطح تراز در این پهنه‌بندی در نظر گرفته شده است. همچنین نقشه خطای تخمین که تهیه آن در صورت استفاده از تخمین‌گر کریجینگ معمولی، ممکن می‌شود در سه سطح تراز در شکل (۵) برای دو متغیرFC وPWP نشان داده شده است. از این نقشه می‌توان برای اصلاح شبکه نمونه‌برداری استفاده نمود. با زیاد شدن مقدار خطای تخمین تراکم نمونه برداری در آن پهنه باید بیشتر گردد.

Archive of

www.SID.ir

جدول۵- پارامترهای ارزیابی اعتبارسنجی تقاطعی دو تخمین‌گر معکوس فاصله و کریجینگ معمولی

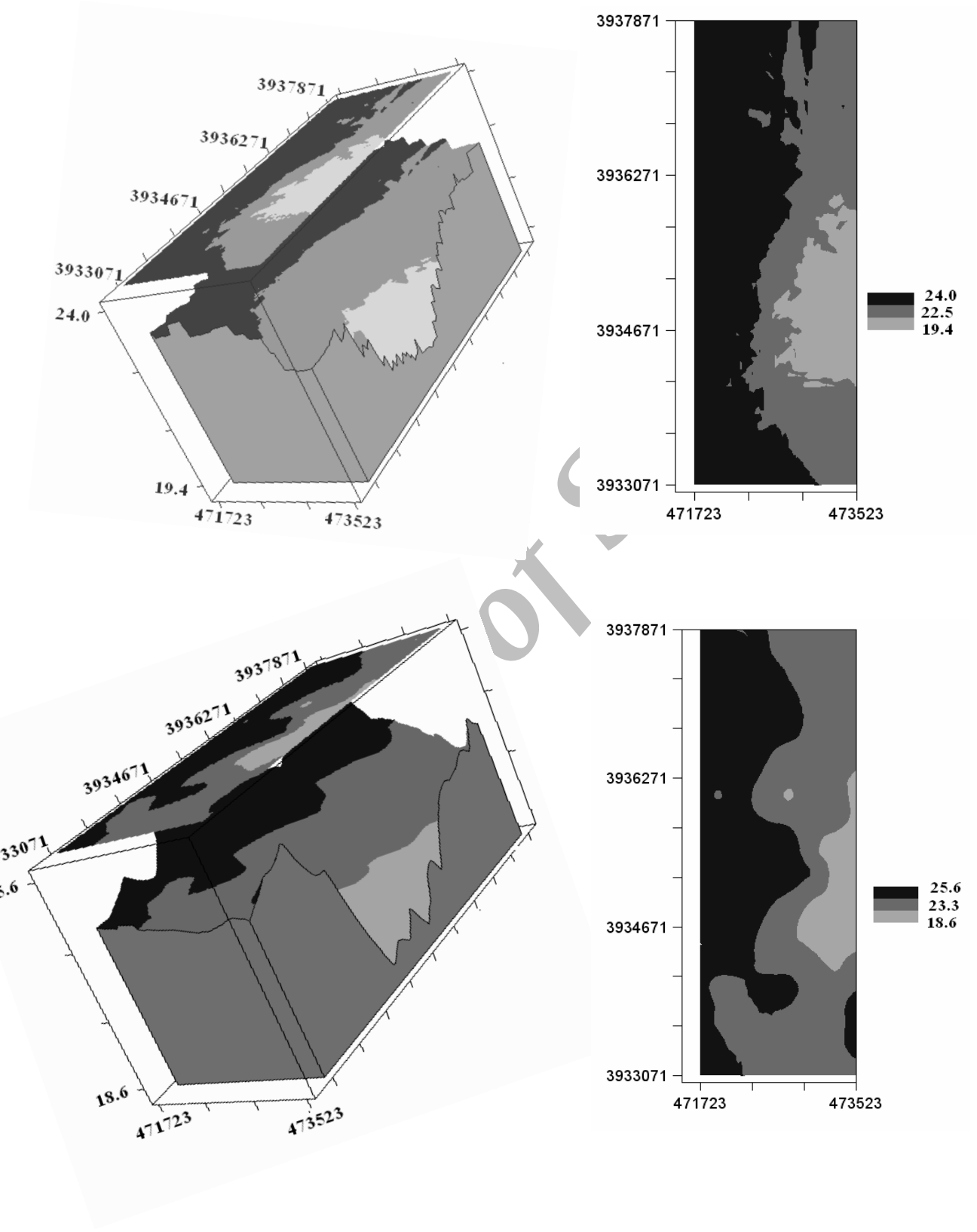
	متغیر	R	SE	$SE_{Prediction}$	$Y_{Intercept}$	R^2
کریجینگ معمولی	FC	۰/۹۸۸	۰/۰۷۶	۱/۰۹۱	۰/۲۵	۰/۶۷
	PWP	۰/۹۸۷	۰/۱۰۷	۰/۴۸۱	۰/۱۲۲	۰/۵۰
معکوس فاصله	FC	۱/۱۶۳	۰/۱۲۹	۱/۳۵۳	-۳/۱۷	۰/۴۹
	PWP	۱/۱۷۸	۰/۱۹۰	۰/۵۶۳	-۱/۴۸۹	۰/۳۱

نتیجه گیری

برنامه‌ریزی دقیق برای مصرف بهینه آب در کشاورزی نیاز به پایش رطوبت خاک دارد و دو نقطه ظرفیت مزرعه و پژمردگی دائم نقاطی هستند که میزان رطوبت در آن، از نظر کاربردی در برنامه‌ریزی آبیاری اهمیت زیاد دارند. میزان رطوبت خاک در این دو نقطه، تابع خصوصیات فیزیکی از خاک است که دارای تغییرات پیوسته مکانی می‌باشند و خصوصیات فیزیکی خاک مانند مقدار رطوبت که دارای تغییرات پیوسته مکانی می‌باشند در قالب یک کمیت عددی همچون میانگین عام برای برنامه ریزی دقیق کافی نمی‌باشد. روش‌های مختلفی برای برآورد متغیرهایی که تغییرات زمانی و مکانی دارند، وجود دارد. تفاوت عمدهٔ این روش‌ها مربوط به نحوه محاسبهٔ وزنی است که به نقاط مشاهده شدهٔ اطراف نقطهٔ مجهول می‌دهند. در تخمین با میانگین عام فاصله و تغییرات مکانی مقادیر متغیر و در تخمین با روش فاصله معکوس تغییرات مکانی مقادیر متغیر لحاظ نمی‌گردد. اما در تخمین‌گر کریجینگ هر دو این موارد لحاظ و تخمین با استفاده از اطلاعات بیشتری صورت می‌گیرد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تخمین‌گر کریجینگ معمولی نتایج بهتری نسبت به سایر روش‌های دورن‌یابی برای تخمین موضعی نشان می‌دهد. اگرچه تکنیک کریجینگ نیاز به تعیین واریوگرام و آنالیز آن دارد، اما استفاده از آن برای متغیرهایی که دارای تغییرات پیوسته مکانی هستند، منجر به ارایه نتایج دقیق‌تری می‌شود.

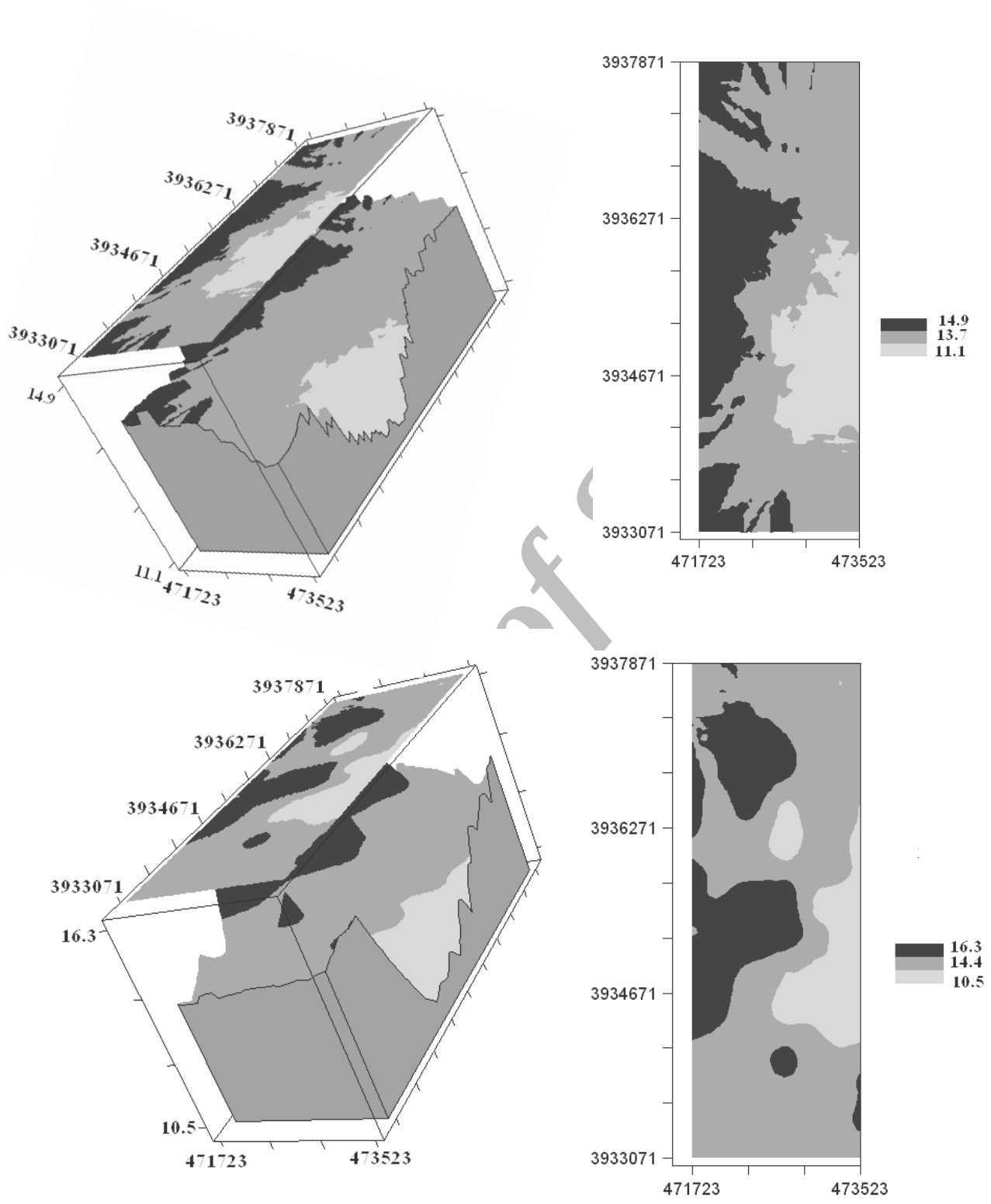
Archive of SID

www.SID.ir



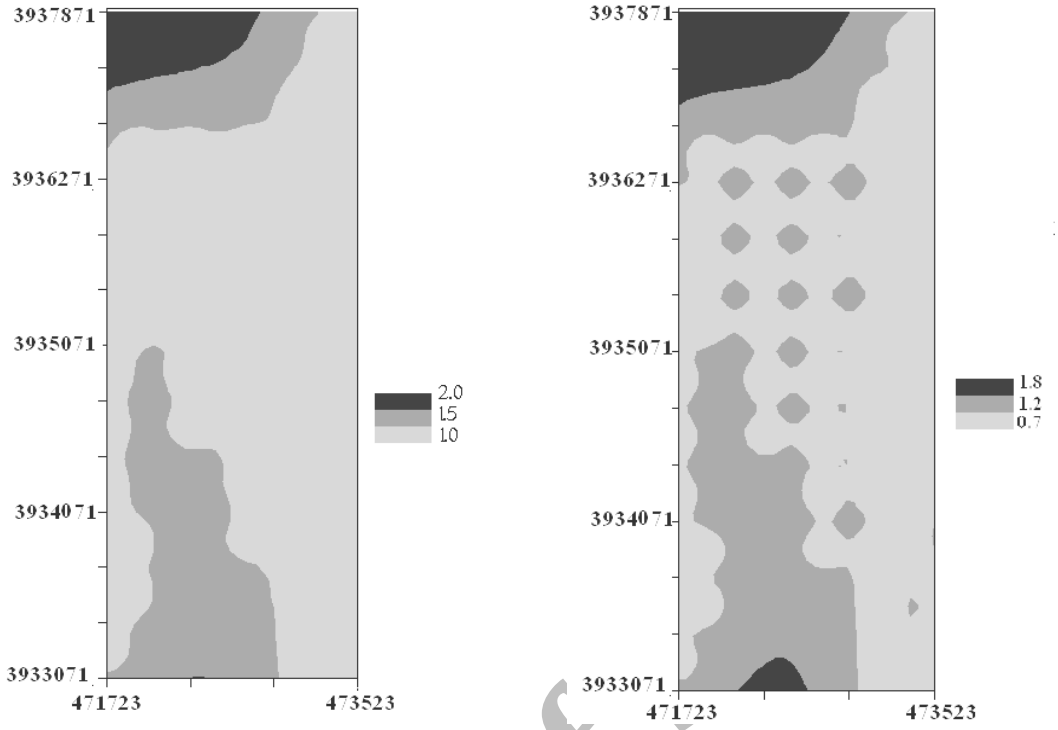
شکل ۳- پهنه بندی دو و سه بعدی مقدار رطوبتFC با استفاده از دو تخمین گر فاصله معکوس(بالا) و کریجینگ(پایین)

www.SID.ir



شکل۴- پهنه بندی دو و سه بعدی مقدار رطوبتPWP با استفاده از دو تخمین گر فاصله معکوس(بالا) و کریجینگ(پایین)

www.SID.ir



شکل۵- نقشه خطای تخمین برای دو متغیر FC (چپ) و PWP (راست) با استفاده از روش کریجینگ

پهنه‌بندی خصوصیات ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دایم با استفاده از روش کریجینگ به دلیل درون‌یابی دقیق‌تر میزان رطوبت در نقاط FC و PW، برای محاسبه میزان آب قابل دسترس و برنامه-ریزی آبیاری در راستای مصرف بهینه آب، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

مراجع

علیزاده، ا. فیزیک خاک، ۱۳۸۳. انتشارات آستان قدس رضوی.

حسنی پاک، ع.ا. ۱۳۸۶. زمین آمار (ژئواستاتیستیک)، انتشارات دانشگاه تهران.

محمدی، ج. ۱۳۸۰، مروری بر ژئواستاتیستیک و کاربرد آن در خاکشناسی. مجله خاک و آب. جلد ۱۵، شماره ۱، صفحه ۱۲۱-۹۹.

محمدی، ج. ۱۳۸۵، پدومتری. جلد دوم (آمار مکانی)، انتشارات پلک.

Armstrong, M.(1998), Basic Linear Geostatistics. Springer, New York.

Burgess,T.M., and Webster R.(1980), Optimal interpolation and isarithm mapping of soil properties; the semi-variogram and punctual kriging. J. Soil Sci. 31, 315–31.

Campbell, J.B.(1978), Spatial variation of sand content and pH within single contiguous delineations of two soil mapping units. Soil Sci.Soc. Am. J. 39:460–464.

Cameron, D.R.(1978), Variability of soil water retention curves and predicted hydraulic conductivities on a small plot. Soil Sci. 126:364–371.

Gamma Design Software(2008), GS+:Geostatistics for the Environmental Sciences, User's Guide, Gamma Design Software, LLC Plainwell, Michigan 49080.

Goovaerts, P.(1997), Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford University Press, New York.

Goovaerts,P.(1998), Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. Biol. Fertil. Soils 27, 315–334.

Goovaerts, P.(1999), Geostatistical in soil science: state –of-the-art and perspectives. Geoderma 89 :1-45.

Grego,C.R., Vieira,S.R., Antonio,A.M., and Rosa, S.C.D.(2006), Geostatical analysis for soil moisture content under the no tillage cropping system. Sci.Agric. 63(4), 341- 350.

Heuvelink,G.B.M., and Webster, R.(2001), Modelling soil variation: past, present and future. Geoderma 100, 269–301.

Iqbal,J., Thomasson,J.A., Jenkins,J.N., Owens,P.R., and Whisler, F.D.(2005), Spatial Variability Analysis of Soil Physical Properties of Alluvial Soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 69:1338–1350

Isaaks,EH, Srivastava, RM.(1989), An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford Univ. Press;. 561 pp.

Ju´nior,V.V., Carvalho,M.P., Dafonte,J., Freddi,O.S., Va´zquez,E.V., and Ingaramo, O.E.(2005), Spatial

Archive of SID

www.SID.ir

Trangmar,B.B., Yost,R.S., and Uehara, G.(1985), Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. Adv. Agron. 38, 45–94.

Utset,A., Lo´pez,T., and D´ıaz, M.(1999), A comparison of soil maps, kriging and a combined method for spatially predicting bulk density and field capacity of ferralsols in the Havana–Matanzas Plain. Geoderma 96, 199–213.

Vieira,S.R., Hatfield,J.L., Nielsen,D.R., and Biggar, J.W.(1983), Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. Hilgardia, v.51, p.1-75.

Vieira,S.R., Nielsen,D.R., Biggar,J.W.(1981), Spatial variability of field-measured infiltration rate. Soil Sci.Soc. Am. J., 45,1040-1048.

Voltz,M., and Webster, R.(1990), A comparison of kriging, cubic splines and classification for predicting soil properties from sample information. J. Soil Sci. 41, 473– 490.

Webster, R.(2000), Is soil variation random? Geoderma 97, 149– 163.

Webster,R., and Oliver, M.(1992), Statistical Methods in Soil and Land Resource Survey. OxfordUniv. Press, Oxford.

variability of soil water content and mechanical resistance of Brazilian ferralsol. Soil & Tillage Research 85, 166-177.

Larson,W.E., Lamb,J.A. Khakural,B.R., Ferguson,R.B. and Rehm, G.W.(1997), Potential of site-specific management for nonpoint environmental protection. pp. 369-396. In (Eds. F. J. Pierce and E. J. Sadler). The State of Site-Specific Management for Agriculture. ASA Misc. Publ. ASA/CSSA/SSSA, Madison, WI.

Mc Bratney,A.B., and M.J. Pringle.(1999), Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. Precis.Agric. 1:219–236.

Mc Bratney,A.B., and Webster, R.(1986), Choosing functions for semivariograms of soil properties and fitting then to sampling estimates. J. Soil Sci. 37, 617–639.

Nielsen,D.R., Biggar,J.W. and Erh K.T.(1973), Spatial variability of field-measured soil-water properties. Hilgardia, 42:215-259.

Oliver, M.A.(2001), Spatial scale variation in environmental properties. In N. J. Tate & P.M. Atkinson (Eds.), Modelling scale in geographic information

تاریخ دریافت: ۸۸/۸/۱۹
تاریخ پذیرش: ۸۹/۲/۵

Archive of SID

www.SID.ir

Iranian Journal of Irrigation and drainage
No. 2, Vol. 4, fall 2010, p. 251-262

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره ۲، جلد۴، پاییز ۱۳۸۹، ص. ۲۶۲-۲۵۱

Interpolation and Mapping of Soil Water Content in Field Capacity and Permanent Wilting Point

M. Fazeli[1*], M. Shorafa[2], F. Sarmadian[3]

Abstract

Accurate irrigation planning needs soil water content monitoring. Determining of soil properties, such as soil water content, that show spatial variability, in form of a global quantity and neglecting its spatial variability, is not adequate for site-specific-management. In this study, the estimation and mapping of soil water content, in field capacity (FC) and permanent wilting point (PWP),were compared by global mean, inverse distance weighting (IDW) and ordinary kriging interpolation methods. Results showed that a clear spatial structure could be identified for both FC and PWP. Estimation accuracy increase for using of global mean, IDW and ordinary kriging methods respectively. These results suggest that kriged maps can be used for irrigation planning programs because as more accurate interpolation from water content at FC and PWP.

Keywords: field capacity, permanent wilting point, Spatial variability, Interpolation, Mapping

Archive of SID

1- MSc. Student of Soil Science Department, University of Tehran
(*- Corresponding Author Email: mahmoodfazelisangani @gmail.com)
2,3- Assis. And Asso Prof. of Soil Science Department, University of Tehran

www.SID.ir