

## ارزیابی و مقایسه روش های زمین آماری در تهیه نقشه مدیریت اعمال نرخ-متغیر (VRA) علف کش پیش رویشی سیانازین

داوود محمدزمانی<sup>۱\*</sup> - سعید مینایی<sup>۲</sup> - رضا علیمردانی<sup>۳</sup> - مرتضی الماسی<sup>۴</sup> - روح اله یوسفی<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۹/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۷/۴

### چکیده

در این مقاله روش ارزیابی و مقایسه‌ی رهیافت های مختلف میانبایی در تخمین مقادیر نمونه برداری نشده‌ی ماده‌ی آلی و بافت خاک ارائه شده است. هدف از این پژوهش توسعه‌ی روشی دقیق برای تهیه‌ی نقشه‌ی های رقمی مدیریتی اعمال علف‌کش‌ها به صورت موضعی است که در نهایت منجر به کاهش میزان مصرف علف‌کش‌ها و نیز کاهش خطرات زیست محیطی خواهد شد. بدین منظور پس از نمونه برداری ۴۲ نقطه در مزرعه و تشکیل شبکه محلی و جهانی نقاط نمونه برداری شده در رایانه، به منظور تعیین مقادیر ماده‌ی آلی و بافت خاک در نقاط نمونه برداری نشده از روش های مختلف میانبایی در محیط نرم افزار *Surfer* استفاده شد. به منظور بسط مقادیر به سایر نقاط شبکه از پنج روش میانبایی فاصله‌ی معکوس توانی<sup>۶</sup>، کریجینگ<sup>۷</sup>، کمینه خمیدگی<sup>۸</sup>، میانگین متحرک وزن دار<sup>۹</sup> و تابع شعاع-مینا<sup>۱۰</sup> استفاده شد. به منظور ارزیابی روش های مختلف میانبایی در برآورد مقادیر نامعلوم رهیافت ارزیابی متقاطع<sup>۱۱</sup> و دو پارامتر آماری "خطای میانگین مطلق"<sup>۱۲</sup> *MAE* و "خطای میانگین اریب"<sup>۱۳</sup> *MBE* بکار گرفته شد. نتایج ارزیابی روش ها نشان داد که روش کمینه خمیدگی با خطای ۱/۳۱ درصد نسبت به سایر روش های میانبایی کمترین خطا را در برآورد میزان ماده‌ی آلی خاک داشت. در مورد درصد ذرات شن، سیلت و رس، مقادیر خطا در روش کمینه خمیدگی به ترتیب برابر با ۱/۶۰، ۱/۱۸ و ۰/۵۹ بود که در مقایسه با سایر روش ها کمترین خطا را دارا می‌باشد. بر این اساس روش میانبایی کمینه خمیدگی به عنوان مناسب ترین روش برای برآورد درصد ماده‌ی آلی و بافت خاک در نقاط نمونه برداری نشده انتخاب شد. در گام بعدی، پس از انتخاب مدل مناسب در برآورد داده های ماده‌ی آلی و بافت خاک و نیز با استفاده از جدول تجویز علف‌کش سیانازین، نقشه‌ی مدیریتی کاربرد علف‌کش بر اساس مقادیر توصیه شده توسط شرکت تولید کننده‌ی علف‌کش سیانازین در محصول ذرت به دست آمد. بر اساس این نقشه و با در نظر گرفتن میزان کاربرد یکنواخت برای کل مزرعه به اندازه ۱/۷ و ۲/۹ و ۴ لیتر ماده‌ی مؤثر در هکتار، مصرف علف‌کش در مقایسه با میزان ۱/۸ لیتر به ترتیب به میزان ۳۹ درصد کاهش، ۴ و ۵۰ درصد افزایش می‌یابد. این بدان معنا است که اگر کل مزرعه به میزان یکنواخت ۱/۷ لیتر ماده‌ی مؤثر در هکتار سمپاشی شود در مقایسه با مقدار ۱/۸ لیتر که با استفاده از نقشه‌ی مدیریتی به دست آمده است به میزان ۳۹ درصد در مصرف علف‌کش صرفه جویی خواهد شد. به همین ترتیب در صورت اعمال یکنواخت ۲/۹ و ۴ لیتر ماده‌ی مؤثر در هکتار در مقایسه با مقدار ۱/۸ لیتر به ترتیب به میزان ۴ و ۵۰ درصد مصرف علف‌کش افزایش خواهد یافت.

**واژه های کلیدی:** نقشه‌ی رقمی، روش های زمین آماری، میانبایی، بافت خاک، درصد ماده‌ی آلی، علف‌کش پیش رویشی

امروزه کشاورزی نوین نیاز به کنترل مؤثر آفات، کنترل میزان

مقدمه

۵- مربی مرکز آموزش جهاد کشاورزی قزوین

6-Inverse Distance to a Power

7-Kriging

8-Minimum Curvature

9-Weighted Moving Average

10-Radial Basis Function

11 -Cross Validation

12-Mean Absolute Error

13-Mean Bias Error

۱- عضو باشگاه پژوهشگران جوان و استادیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان

۲- دانشیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

(\*) نویسنده مسئول: [davood412@aol.com](mailto:davood412@aol.com) Email:

۳- استاد گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشکده مهندسی بیوسیستم کشاورزی - پردیس کشاورزی - دانشگاه تهران

۴- استاد گروه مکانیزاسیون کشاورزی - دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

نایبوسته به نقشه‌ی اعمال نهاده‌ها به صورت پیوسته، منجر به خطاهایی در تخمین شرایط در نقاط نمونه برداری نشده می‌شود. در این رهیافت اگر برخی عملیات نظیر قطع درختان، بعد از جمع آوری داده‌های مکانی صورت بگیرد، امکان نادقیق بودن داده‌ها وجود دارد (Cugati, 2006).

تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک مزرعه نظیر بافت و درصد مواد آلی خاک میزان متفاوتی برای اعمال برخی علف‌کش‌های شیمیایی نظیر سیانازین، متناسب با نیاز نقاط مختلف مزرعه پیشنهاد می‌کند. برای علف‌کش‌های پیش‌رویشی و برای یک مزرعه‌ی خاص، رایج‌ترین عوامل تأثیرگذار در میزان کاربرد علف‌کش‌ها، بافت خاک و درصد ماده‌ی آلی خاک است (Loghavi, 2004). همچنین الگوریتم‌هایی به منظور تعیین میزان اعمال علف‌کش بر مبنای ویژگی‌های خاک ارائه شده است که بر مبنای آن مشخص شده است که تأثیر علف‌کش‌ها شدیداً با درصد ماده‌ی آلی خاک در ارتباط است (Weber et al., 1987). برخی پژوهشگران اثر علف‌کش‌های انتخابی را در ارتباط با ویژگی‌های خاک بررسی کردند و دریافتند که فعالیت علف‌کش‌ها همبستگی زیادی با درصد ماده‌ی آلی خاک دارد. آن‌ها پیشنهاد کردند که میزان اعمال برخی علف‌کش‌ها را باید با توجه به ویژگی‌های خاک تعیین کرد و برای این منظور معادلات میزان اعمال علف‌کش‌ها را به صورت تابعی از درصد ماده‌ی آلی خاک و میزان ذرات رس خاک ارائه کردند (Blumhorst et al., 1990).

با توجه به وجود محدودیت در انجام عملیات نمونه برداری در نقاط مختلف مزرعه به دلیل هزینه‌ی بالا، استفاده از روش‌های زمین آماری نظیر میانیاب‌ها می‌تواند در برآورد مقادیر مورد نظر در سایر نقاط مفید واقع گردد. میانیابی به مفهوم تعیین مقادیر مجهول مربوط به نقاطی از شبکه است که مقادیر  $Z$  مربوط به این نقاط به وسیله‌ی نمونه‌گیری و یا آزمایش تعیین نشده‌اند. مقادیر  $Z$  می‌تواند هر کمیت فیزیکی دلخواه نظیر ارتفاع، میزان ماده‌ی آلی خاک، دما،  $pH$  خاک و غیره باشد.

در حالت کلی روش‌های میانیابی به دو دسته تقسیم می‌شوند: میانیاب‌های دقیق<sup>۴</sup> و میانیاب‌های هموارساز<sup>۵</sup> (Blewitt, 1997). میانیاب‌های دقیق، مقادیر مربوط به نقاط داده‌ها را در گره‌های شبکه (نقاطی که مقادیر  $Z$  آن‌ها معلوم است) با دقت بالا حفظ می‌کنند. به عبارت دیگر در این روش نقاطی که با نقاط گره‌ای شبکه منطبق شوند با وزنی معادل با یک و سایر نقاط با وزنی معادل صفر میانیابی می‌شوند. میانیاب‌های هموارساز و ضرایب هموارسازی را می‌توان هنگامیکه قابلیت تکرارپذیری<sup>۶</sup> در اندازه‌گیری داده‌های اولیه

اعمال نهاده‌ها به صورت موضعی و کمینه آسیب به محیط زیست را بیش از پیش احساس می‌کند و بر این اساس تقاضای عمومی برای سامانه‌های کنترل اعمال مواد شیمیایی روز به روز در حال افزایش است. یکی از روش‌های اصولی در دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار، مدیریت موضعی محصولات زراعی یا به کارگیری کشاورزی دقیق است. مدیریت موضعی محصولات زراعی رهیافتی مبتنی بر فناوری اطلاعات و الکترونیک به منظور اصلاح ساختار مدیریت خاک، آب، آفات و نیز محصولات زراعی به صورت موضعی همگام با تغییرپذیری مکانی و زمانی عوامل مؤثر بر تولید زراعی است.

یکی از مهمترین دستاوردهای کشاورزی دقیق، کاربرد فناوری میزان-متغیر<sup>۱</sup> (VRT) به منظور کاهش مصرف مواد شیمیایی به ویژه ویژه علف‌کش‌ها است به گونه‌ای که کاهش ۵۰ درصدی در کاربرد علف‌کش‌های پیش‌رویشی بر مبنای ویژگی‌های خاک در زراعت ذرت با استفاده از فناوری نرخ-متغیر گزارش شده است (Qiu et al., 1998). در اعمال نرخ-متغیر نهاده‌ها (VRA<sup>۲</sup>)، رهیافت مبتنی بر نقشه (در مقایسه به رهیافت مبتنی بر حسگر)، بر مبنای به کارگیری GPS و GIS توسعه یافته است. سامانه‌های VRA مبتنی بر نقشه، میزان اعمال نهاده‌ها را بر مبنای اطلاعات موجود در یک نقشه‌ی رقومی مشخصات مزرعه تنظیم می‌کنند (Loghavi, 2004). یک نقشه‌ی رقومی مدیریتی اعمال نهاده‌ها مبتنی بر ویژگی‌های خاک چنانچه به وسیله‌ی یک روش نمونه برداری مناسب تهیه شده باشد، می‌تواند تا چندین سال به عنوان یک مرجع ارزشمند در عملیات زراعی مبتنی بر کشاورزی دقیق مورد استفاده قرار گیرد.

به منظور اعمال نهاده‌های زراعی نظیر کود، مواد شیمیایی، بذور و آب به شیوه‌ی نرخ-متغیر در رهیافت مبتنی بر نقشه یا حسگر، اندازه‌گیری کمیت‌های تغییرپذیر و مؤثر بر میزان اعمال نهاده‌ها در مزرعه الزامی است. در رهیافت مبتنی بر نقشه، نمونه‌گیری از کمیت‌های مورد نظر قبل از اعمال نهاده‌ها انجام گرفته و پس از پردازش و تهیه‌ی نقشه‌ها، نهاده‌های زراعی بر مبنای نقشه‌ی مدیریتی تهیه شده، با به کارگیری اعمال‌کننده‌های نرخ-متغیر اعمال می‌شود. این سامانه‌ها قادر به تعیین موقعیت خود درون مزرعه توسط یک گیرنده-GPS می‌باشند که معمولاً به صورت تصحیح افراتی<sup>۳</sup> عمل می‌کند. کنترل‌گرهای موجود در این سامانه‌ها شرایط زراعی موجود در نقشه‌ی تجویز شده را بر مبنای موقعیت این سامانه درون مزرعه جستجو کرده، سپس میزان اعمال نهاده‌ها را بر اساس این شرایط تغییر می‌دهند. عیب اساسی این نوع سامانه‌ها خطاهایی است که در اثر خطای ناشی از عدم دقت گیرنده‌ی GPS در آن‌ها حاصل می‌شود. همچنین عملیات تبدیل داده‌های نمونه‌گیری شده‌ی

4-Exact Interpolators  
5-Smoothing Interpolators  
6-Repeatability

1-Variable Rate Technology  
2-Variable Rate Application  
3-Differential Correction

سانتی متر تحت تأثیر قرار گیرد. بعد از دو هفته از زمان آبیاری از یک خاک ورز برگرداندار سه خیش در عمق ۳۰ سانتیمتری به منظور شخم زمین و از یک هرس بشقابی آفست برای خاک ورزی ثانویه استفاده شد. به منظور تهیه‌ی بستری مناسب برای عملیات داده برداری و اجرای شبکه بندی سطح مزرعه، کلوخه های بزرگ، گاه و گلش سطحی خاک که عملیات نقشه برداری را با مشکل همراه می ساخت با دو بار استفاده از هرس بشقابی در دو جهت عمود بر هم مرتفع شدند. در نهایت به منظور تسطیح نهایی سطح خاک از یک ماله‌ی کششی بهره گرفته شد. قبل از شروع نقشه برداری از سطح مزرعه، چهار نقطه‌ی مرجع بر روی سطح مزرعه به وسیله بلوک های بتنی با ابعاد  $30 \times 20 \times 20$  سانتی متر مشخص شدند. محل نصب این بلوکها کاملاً اختیاری بود که این نقاط به عنوان محل هایی برای استقرار دوربین *Total Station* و گیرنده های *GPS* بکار برده شد. مختصات این چهار نقطه به منظور تعیین بردار انتقال در مرحله پردازش داده های گیرنده های *GPS* و تبدیل مختصات محلی به جهانی بکار برده شد.

با به کارگیری تجهیزات نقشه برداری از نوع *Total Station*، موقعیت محلی چهار نقطه‌ی مرجع مشخص گردید که به نقطه‌ی مرجع  $B_4$  با مختصات  $(1000, 1000, 1000)$  بر حسب متر نسبت داده شد و سپس مختصات نسبی سه نقطه مرجع بعدی  $(B_3, B_2, B_1)$  نسبت به نقطه مرجع  $B_4$  تعیین شد (شکل ۱). با استقرار دوربین *Total Station* بر روی نقطه‌ی مرجع  $B_4$  و با استفاده از انعکاس دهنده، مختصات محلی مرز مزرعه مشخص شد. در ادامه با استقرار انعکاس دهنده در نقاط مختلف مزرعه، مختصات نقاط تراز مزرعه نیز به دست آمد. با استفاده از نقاط تراز مزرعه می توان ارتباط بین میزان تغییرات سرعت پیشروی تراکتور با شیب مزرعه را در مرحله اجرای فناوری نرخ-متغیره دست آورد. با پیاده کردن داده های به دست آمده از دوربین *Total Station* بر روی نرم افزار *Land*، نقشه‌ی اولیه‌ی مزرعه بر اساس مختصات محلی به دست آمد. سپس در محیط این نرم افزار به منظور نمونه برداری از خاک، نقشه‌ی مزرعه شبکه بندی شد (شکل ۱). این شبکه از ۴۲ سلول مربعی با ابعاد  $14/8 \times 14/8$  متر تشکیل شده است که دوربین *Total Station* برای پیاده سازی نقاط رئوس این سلول ها بر روی مزرعه بکار برده شد. مختصات به دست آمده از دوربین های نقشه برداری *Total Station*، مختصات محلی است و به منظور کاربرد در عملیات کشاورزی دقیق، باید به مختصات نصف النهارات متقاطع جهانی  $UTM$ <sup>۲</sup> تبدیل شوند. بدین منظور چهار گیرنده‌ی *GPS* استاتیک<sup>۳</sup> با دقت پنج میلی متر، که بر روی باند *LI* کار می کرد، بر روی چهار نقطه‌ی مرجع به کار گرفته

اولیه ناممکن است، به کار برد. این نوع میانیابی، اثرات تغییرپذیری بسیار کم بین نقاط داده های همجوار را به کمینه می‌رساند. میانیاب های هموارساز، به هیچ نقطه ای وزنی معادل یک را اختصاص نمی‌دهند حتی اگر آن نقطه دقیقاً منطبق بر گره‌ی شبکه باشد. هنگامیکه هموارسازی به کار برده می‌شود، ضرایب هموارسازی به گونه ای تعیین می‌شوند که نقشه های تولید شده با این میانیاب ها هموار گردند. ذکر این نکته ضروری است که هنگام استفاده از میانیاب های هموارساز، تضمینی برای رسیدن به مقادیری که این مقادیر قبلاً به عنوان نقاط کنترل در میان گره های شبکه تعیین شده اند وجود ندارد.

در گزارشی روش های زمین آماری برای پیش بینی پراکنش مکانی شوری خاک بکار برده شده است. در این گزارش آمده است که روش کریجینگ با ضریب همبستگی  $0/98$  و نیم تغییر نگار مدل گوسی از دقت بالایی برای برآورد شوری در نقاط فاقد اطلاعات برخوردار است (Sokootti Oskooei et al., 2008).

هدف اصلی این پژوهش بررسی و مقایسه‌ی روش های مختلف میانیابی در تهیه‌ی نقشه‌ی رقومی خاک به عنوان یک نقشه‌ی مدیریتی می باشد که از آن به عنوان ورودی مطلوب<sup>۱</sup> در سامانه‌ی کنترل الکترونیکی میزان کاربرد علف کش های پیش رویشی استفاده می شود که قادر است در حین حرکت در مزرعه به طور خودکار تغییراتی در میزان کاربرد علف کش متناسب با نیاز مزرعه اعمال کند. بررسی میزان صرفه جویی در مصرف علف کش با استفاده از نقشه‌ی تهیه شده از دیگر اهداف این پژوهش بوده است.

## مواد و روش ها

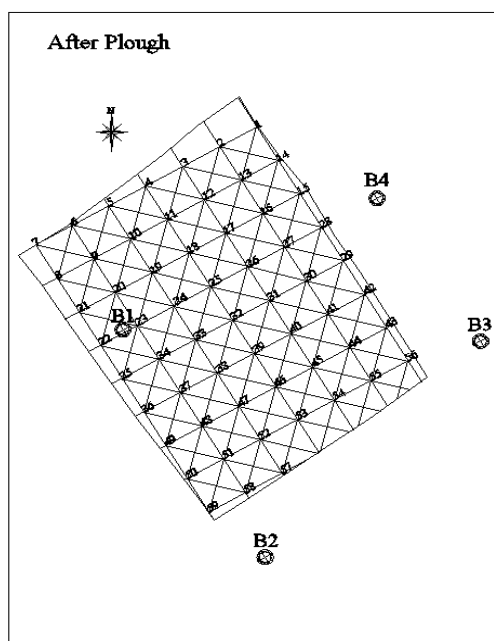
### نمونه برداری و تهیه‌ی شبکه نقاط نمونه برداری شده

در این پژوهش یک مزرعه‌ی یک هکتاری واقع در دشت قزوین در جنوب غربی شهر قزوین که به مدت یک سال به صورت آیش باقی مانده بود به عنوان مزرعه مورد نظر در تهیه‌ی نقشه‌ی خاک بکار برده شد. این مزرعه که از مزارع تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی استان قزوین است، در طی دو سال قبل از شروع این تحقیق زیر کشت دو محصول کلزا و ذرت بوده است. به دلیل کاربری تحقیقاتی این مزرعه سطح آن در بخش های مختلف دارای ناهمواری های قابل ملاحظه ای بود و از طرفی به دلیل عدم کشت مزرعه در طی یک سال قبل از شروع این تحقیق، لایه‌ی سطحی خاک آن نسبتاً متراکم شده و نفوذ ادوات خاک ورزی در لایه‌ی سطحی آن با مشکل مواجه شد. لذا دو هفته قبل از شروع عملیات خاک ورزی و آماده نمودن مزرعه برای عملیات نقشه برداری، سطح مزرعه به روش آبیاری غرقابی به میزان ۴۸ ساعت آبیاری شد تا خاک تا عمق ۲۰

2-Universal Transverse Mercator

۳- ساخت شرکت Huace چین مدل X20

1-Desired Input



شکل ۱- شبکه بندی مزرعه و موقعیت چهار ایستگاه  
Figure 1: Griding of the test field and position of 4 benchmarks

نکته‌ی قابل توجه در مورد این گیرنده ها، تفاوت روش مکان یابی این گیرنده ها با گیرنده های GPS دستی است که در گیرنده های اخیر، داده‌ی دریافت شده توسط گیرنده بدون هر گونه فرآیند پردازش داده به عنوان موقعیت مطلق نقطه‌ی مورد نظر به کاربر ارائه می شود که شامل خطای قابل توجهی است. ولی در عملیات داده برداری به روش استاتیک، داده های موقعیت نسبت به یکدیگر سرشکنی شده‌و خطا به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. به موقعیت های محاسبه شده در این روش، موقعیت نسبی نقاط شبکه در مختصات UTM اطلاق می‌شود.

به منظور تبدیل مختصات محلی نقاط شبکه به مختصات جهانی UTM، نرم افزار Land بکار برده شد که در آن با وارد کردن مختصات UTM مربوط به چهار ایستگاه و با به دست آمدن بردار انتقال موقعیت، مختصات UTM تمام نقاط شبکه به دست آمد.

روش مورد استفاده در نمونه برداری از خاک، روش نقطه شبکه<sup>۱</sup> (مرکز شبکه) بود که در آن، نمونه ها از مرکز هر سلول شبکه انتخاب می‌شوند. برای به دست آوردن موقعیت مرکز هر سلول از دو ریسمان که رئوس هر سلول را به صورت ضربدری به یکدیگر متصل می‌کرد، استفاده شد. سپس توسط مته‌ی نمونه برداری از عمق ۲۰ سانتی متری که عمق متوسط توسعه و تأثیر علف‌کش های پیش رویشی در خاک است، نمونه برداری انجام گرفت.

انطباق لایه‌ی موقعیت UTM نقاط مزرعه با لایه‌ی میزان کاربرد علف‌کش و میانبایی داده ها پس از اتمام آزمایش های خاک، مقادیر درصد ماده‌ی آلی و بافت

به منظور پردازش داده های گیرنده های GPS، داده ها به رایانه‌ی شخصی منتقل شد که برای این منظور نرم افزار HcLoader که یک نرم افزار اختصاصی انتقال داده گیرنده های GPS بود، به کار برده شد. پردازش داده ها توسط نرم افزار Compass که یک نرم افزار اختصاصی برای پردازش داده های دریافت شده توسط GPS است، انجام شد. این نرم افزار داده های مربوط به گیرنده ها را به دو پنجره شامل پنجره جدول اطلاعات ایستگاه ها و پنجره‌ی گرافیکی موقعیت ایستگاه ها به صورت نقشه منتقل می‌کند. در نخستین مرحله پردازش داده ها، ارتفاع آنتن GPS برای نرم افزار تعریف شده و این مرحله برای هر چهار آنتن GPS اجرا شد. بعد از این مرحله، نرم افزار به طور خودکار پردازش داده های GPS را انجام داد. پردازش داده ها در سامانه‌ی مختصات بیضوی

میانگین مطلق  $MAE^E$  و "خطای میانگین اریب  $MBE^Y$ " استفاده شد. ارزیابی متقاطع امکان سنجش کیفیت شبکه بندی را با محاسبه و بررسی خطاهای شبکه بندی میسر می‌سازد. در این روش نخست اولین داده از ۴۲ داده‌ی معلوم حذف شد و سپس با بکارگیری الگوریتم میانبایی مورد نظر، مقدار این داده از سایر داده‌ها (۴۱ داده‌ی باقیمانده) محاسبه شد. خطای میانبایی از رابطه‌ی (۱) تعیین شد:

$$E = IV - OV \quad (1)$$

که در آن :

$E$  : خطا

$IV$  : مقدار برآورد شده ماده‌ی آلی

$OV$  : مقدار مشاهده شده ماده‌ی آلی می‌باشد.

سپس نخستین داده به مجموعه‌ی داده‌ها (۴۲ داده) برگردانده شد و دومین داده از مجموعه‌ی داده‌ها حذف گردید. پس از عملیات میانبایی، خطای میانبایی به روش فوق‌الذکر برای داده‌ی دوم محاسبه گردید. به همین ترتیب تمام ۴۲ داده به صورت متوالی حذف و سپس خطای میانبایی برای تمام نقاط محاسبه شد. این فرآیند، منجر به محاسبه‌ی ۴۲ خطای میانبایی برای تمام داده‌های اندازه‌گیری شده گردید. آنگاه کیفیت روش‌های مختلف میانبایی با بکارگیری پارامترهای آماری  $MAE$  و  $MBE$  مورد ارزیابی قرار گرفت.

$MAE$  مشخص‌کننده‌ی خطای نتایج و  $MBE$  انحراف نتایج روش مورد استفاده در میانبایی را نشان می‌دهد. در شرایطی که  $MAE$  و  $MBE$  برابر با صفر و یا نزدیک به صفر باشند، نشان دهنده‌ی این است که روش مورد استفاده در میانبایی، واقعیت را به خوبی شبیه‌سازی کرده است. با فاصله گرفتن از صفر (در مورد  $MBE$  به سمت مقادیر مثبت یا منفی)، کاهش دقت یا افزایش انحراف را نتیجه خواهند داد. روابط (۲) و (۳) روابط مربوط به محاسبه‌ی  $MAE$  و  $MBE$  می‌باشد:

(۲)

که در آن :

$R_s$  : مقدار برآورد شده

$R_o$  : مقدار مشاهده شده

$n$  : تعداد داده‌ها می‌باشد.

در گام بعدی، پس از انتخاب مدل مناسب در برآورد داده‌های ماده‌ی آلی و بافت خاک، با بکارگیری مدل انتخاب شده و نیز با بکارگیری جدول میزان تجویز علف‌کش سیانازین، نقشه‌ی مدیریتی کاربرد علف‌کش بر اساس مقادیر توصیه شده توسط شرکت تولیدکننده‌ی علف‌کش سیانازین در محصول ذرت به دست آمد.

خاک به موقیبت  $UTM$  مراکز سلول‌های شبکه نسبت داده شد. به منظور ترسیم نقشه‌ی منحنی میزان برای دو پارامتر فوق، از روش‌های زمین‌آماری به منظور بسط مقادیر درصد ماده‌ی آلی و بافت خاک به سایر نقاط شبکه که در آن‌ها نمونه برداری انجام نشده بود، استفاده شد. بدین منظور پنج روش میانبایی فاصله‌ی معکوس توانی، کریجینگ، کمینه خمیدگی، میانگین متحرک وزن دار و تابع شعاع-مبنا مورد ارزیابی قرار گرفت. این روش‌ها از رایج‌ترین میانبایی‌های مورد استفاده در کشاورزی دقیق می‌باشند (Loghavi, 2004).

با توجه به انجام عملیات میانبایی با استفاده از نرم افزار  $Surfer$ ، در این بخش روش‌های مختلف میانبایی به کار رفته در این نرم افزار تشریح می‌گردد.  $Surfer$  از روش میانبایی دو سوپه<sup>۱</sup> برای محاسبه‌ی مقادیر  $Z$  در نقاطی از شبکه که با گره‌های شبکه<sup>۲</sup> انطباق ندارند، استفاده می‌کند.

روش‌های شبکه بندی<sup>۳</sup> در نرم افزار  $Surfer$  از الگوریتم‌های میانبایی به روش متوسط وزنی<sup>۴</sup> استفاده می‌کنند. بدین مفهوم که با در نظر گرفتن اینکه تمام عوامل مؤثر در میانبایی یکسان باشد، نزدیک‌ترین نقطه به گره‌ی شبکه، وزن بیشتری در تعیین مقدار  $Z$  در آن گره‌ی شبکه خواهد داشت. تفاوت بین روش‌های مختلف شبکه بندی، در نحوه‌ی محاسبه و اعمال ضرایب وزنی به نقاط داده‌ها در میانبایی گره‌های شبکه است.

### انجام عملیات میانبایی توسط $Surfer$

به منظور مقایسه‌ی روش‌های مختلف میانبایی در برآورد آن دسته از پارامترهای خاک در نقاطی که نمونه‌برداری انجام نشده است، پنج روش میانبایی فاصله‌ی معکوس توانی، کریجینگ، تابع شعاع-مبنا، کمینه خمیدگی و متحرک وزن دار بکار برده شد. در تنظیمات مربوط به روش فاصله‌ی معکوس توانی از توان‌های ۱، ۲ و ۳ و در تنظیمات مربوط به روش کریجینگ نیم تغییرنگارهای خطی، گوسی و توانی بکار برده شد. در سایر روش‌ها نیز تنظیمات پیش فرض  $Surfer$  بکار برده شد. جدول ۱ نمونه‌ای از تنظیمات انجام یافته مربوط به روش‌های مختلف میانبایی را برای ماده‌ی آلی خاک به نمایش می‌گذارد.

### ارزیابی روش‌های میانبایی در برآورد داده‌ها

به منظور ارزیابی روش‌های مختلف میانبایی در برآورد مقادیر نامعلوم از رهیافت ارزیابی متقاطع<sup>۵</sup> و دو پارامتر آماری "خطای

1- Bilinear Interpolation Method

2- Grid Nodes

3- Gridding

4- Weighted Average

5- Cross Validation

6-Mean Absolute Error

7-Mean Bias Error

جدول ۱ - تنظیمات مربوط به روش های مختلف میانابی مادهی آلی خاک در Surfer

Table 1: Settings of various interpolation methods for organic matter content in Surfer												
زاویه Angle	بیضی جستجو Search Ellipse	شعاع ۲ (m) Radius 2(m)	شعاع ۱ (m) Radius 1(m)	تابع مبنا Basis Function	تکرار بیشینه Maximum of Repeat	بیشینه باقیمانده Maximum of Residue	نوع کریجینگ Kriging Type	ضریب هموارسازی Smoothing Coefficient	ناهمسانگردی Anisotropy	اندازه سلول (m) Cell Size	روش میانابی Interpolation Method	کمیت مورد بررسی Quantity
-	-	-	-	-	-	-	نقطه ای Point	-	-	1.15	خطی Linear	ماده آلی خاک Organic Matter Content
-	-	-	-	-	-	-	نقطه ای Point	-	-	1.15	گوسی Gaussian	
-	-	-	-	-	-	-	نقطه ای Point	-	-	1.15	توانی Exponential	
-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	1.15	توان Exponential 1	
-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	1.15	فاصله معکوس Inverse Distance to a Power	
-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	1.15	توان Exponential 2	
-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	1.15	توان Exponential 3	
-	-	-	-	-	100000	0.000064	-	-	1	1.15	کمینه خمیدگی Minimum Curvature	
-	-	-	-	TPS	-	-	-	0	1	1.15	تابع شعاع-میاناب Radial Basis Function	
0	78.8	78.8	78.8	-	-	-	-	-	-	1.15	متحرک وزن دار Weighted Moving Average	

## نتایج و بحث

### تجزیه‌ی آماری نتایج آزمایشگاهی نمونه‌های خاک

پس از اخذ نتایج آزمایش‌های خاک، داده‌های ماده‌ی آلی و بافت خاک مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و شاخص‌های آماری آن نظیر مقادیر کمینه، بیشینه، میانگین، انحراف معیار و چولگی به دست آمد (جدول ۲). از نتایج تجزیه و تحلیل نمونه‌ها مشخص شد که دامنه‌ی تغییرات ( $R$ ) کربن آلی خاک مزرعه مورد نظر ۰/۶۴ درصد و مقادیر کمینه و بیشینه‌ی آن به ترتیب ۰/۵۴ و ۱/۱۸ درصد می‌باشد. ماده‌ی آلی خاک دارای توزیع نرمال با میانگین ۰/۸۲ درصد و انحراف معیار ۰/۱۷ درصد می‌باشد و بافت خاک نیز در محدوده‌ی لومی، لومی‌شنی و شنی لومی قرار دارد. سپس نرمال بودن داده‌ها بر اساس آزمون *Shapiro-Wilk* و *Kolmogorov-Smirnov* بررسی شد (جدول ۳). روش‌های اخیر، روش‌هایی غیرپارامتریک به منظور بررسی میزان انطباق داده‌ها با منحنی توزیع نرمال محسوب می‌شوند. شکل ۲ منحنی  $P-P$  مربوط به آزمون توزیع نرمال داده‌های مرتبط با ماده‌ی آلی خاک را نشان می‌دهد. توزیع نرمال داده‌ها در این آزمون‌ها به شرط داشتن ضریب آزمون بیش از ۰/۰۵ و ضریب چولگی کمتر از یک قابل قبول است. با توجه به منحنی  $P-P$  در شکل ۲ و نیز نتایج به دست آمده در جدول ۳ می‌توان استنباط کرد که داده‌های مربوط به ماده‌ی آلی خاک از

چنین ویژگی برخوردار هستند. گرچه ضریب آزمون به دست آمده برای آزمون‌های *Shapiro-Wilk* و *Kolmogorov-Smirnov* که به ترتیب برابر با ۰/۱۵۸ و ۰/۲۰۰ می‌باشد، نشان می‌دهد که فاصله داده‌ها از توزیع نرمال کم می‌باشد.

### ارزیابی روش‌های میانبایی در برآورد داده‌های ماده‌ی آلی و بافت خاک

جدول ۴ نتایج ارزیابی روش‌های مختلف میانبایی برای ماده‌ی آلی خاک، درصد ذرات شن، رس و سیلت را با استفاده از پارامترهای آماری  $MAE$  و  $MBE$  نمایش می‌دهد. با توجه به این جدول ملاحظه می‌گردد که روش کمینه خمیدگی با خطای ۰/۰۴ نسبت به سایر روش‌های میانبایی کمترین خطا را در برآورد میزان ماده‌ی آلی خاک داشته است. میزان انحراف برای ماده‌ی آلی، در تمام روش‌ها غیر از روش فاصله‌ی معکوس توانی با توان ۳ برابر با صفر است. بنابراین روش کمینه خمیدگی به عنوان مناسب‌ترین روش برای برآورد درصد ماده‌ی آلی خاک انتخاب شد. درمورد درصد ذرات شن، سیلت و رس مقادیر خطا در روش کمینه خمیدگی به ترتیب برابر با ۰/۶۰، ۱/۱۸ و ۰/۵۹ است که در مقایسه با سایر روش‌ها کمترین خطا را دارا می‌باشد.

جدول ۲- نتایج تجزیه‌ی آماری مقادیر ماده‌ی آلی نمونه‌های خاک

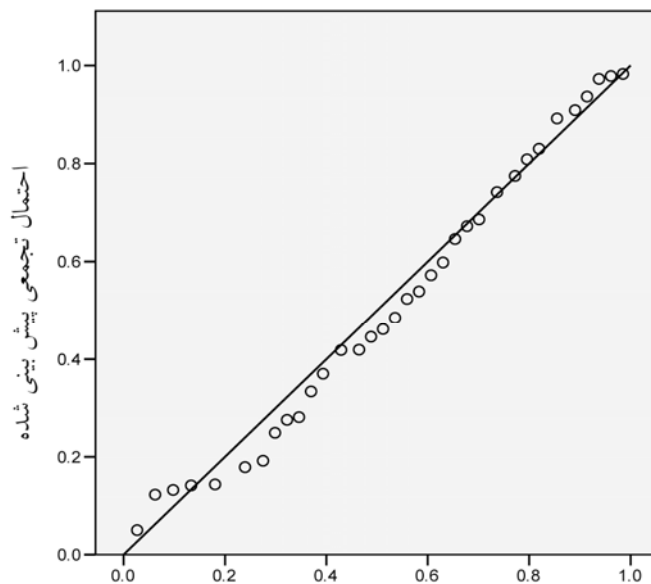
Table 2: Results of statistical analysis for organic matter content in soil samples

دامنه‌ی تغییرات Range	چولگی Skewness	خطای استاندارد چولگی Error .Std of Skewness	انحراف معیار deviationStd	واریانس Variance	کمینه Minimum	بیشینه Maximin	میان Median	خطای استاندارد میانگین Error .Std of Mean	میانگین Mean
0.64	0.41	0.36	0.17	0.03	0.54	1.18	0.80	0.03	0.82

جدول ۳- نتایج آزمون نرمال بودن مقادیر ماده‌ی آلی نمونه‌های خاک با استفاده از روش‌های *Shapiro-Wilk* و *Kolmogorov-Smirnov*

Table 3: Results of Normal Test for organic matter content in soil samples by Shapiro-Wilk and Kolmogorov-Smirnov methods

درجه‌ی آزادی DOF	ضریب آزادی Coefficient of Test	ضریب چولگی Coefficient of Skewness	درجه‌ی آزادی DOF	ضریب آزادی Coefficient of Test	ضریب چولگی Coefficient of Skewness	روش آزمون Test	عامل Factor
42	0.158	0.412	42	0.200	0.412	روش آزمون <i>Shapiro-Wilk</i> / <i>Kolmogorov-Smirnov</i>	ماده‌ی آلی خاک Organic Matter Content



احتمال تجمعی مشاهدات ماده‌ی آلی خاک

شکل ۲- منحنی P-P مربوط به آزمون توزیع نرمال داده های مرتبط با ماده‌ی آلی خاک

Figure 2 : P-P diagram of Normal Distribution Test for organic matter content in soil samples

جدول ۴- نتایج ارزیابی روش های مختلف میانجیابی برای ماده‌ی آلی خاک، درصد ذرات شن، رس و سیلت

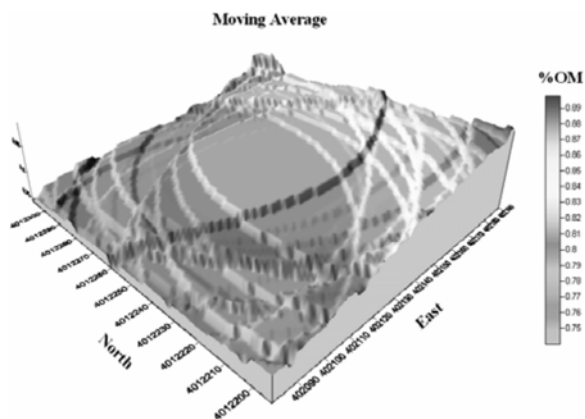
Table 4: Results of evaluation of various interpolation methods for organic matter content, sand, clay and silt

روش میانجیابی Interpolation Method										
متحرک وزن دار Weighted Moving Average	تابع شعاع- مبتنا با مدل TPS Radial Basis Function- TPS	کمینه خمیدگی Minimum Curvature	فاصله‌ی معکوس Inverse Distance			کریجینگ Kriging			معیار ارزیابی EvaluationFactor	کمیت مورد بررسی Quantity
			توان ۳ Power 3	توان ۲ Power 2	توان ۱ Power 1	نیم تغییرنگار گوسی Semi -variogram Gaussian	نیم تغییرنگار نمایی Semi -variogram Exponential	نیم تغییرنگار خطی Semi -variogram Linear		
0.13	0.12	0.04	0.81	0.12	0.13	0.14	0.14	0.11	MAE	ماده- Organic Matter
0.00	0.00	0.00	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	MBE	ی آلی
5.63	4.00	1.60	4.13	4.44	5.12	5.93	5.93	3.92	MAE	شن Sand
0.04	0.09	0.04	0.08	0.08	0.05	0.00	0.00	0.06	MBE	
3.73	2.83	1.18	2.68	2.92	3.40	3.96	3.96	2.66	MAE	سیلت Silt
-0.17	-0.11	-0.12	-0.23	-0.23	-0.16	0.00	0.00	-0.09	MBE	
2.61	1.84	0.59	2.14	2.26	2.49	2.76	2.76	1.85	MAE	رس Clay
0.13	0.02	0.10	0.15	0.15	0.11	0.00	0.00	0.03	MBE	

میزان خطا (اختلاف به میزان ۴/۳۳) بسیار کمتر است، لذا روش کمینه خمیدگی به عنوان مناسب ترین روش در برآورد درصد شن انتخاب می‌شود. در مورد درصد ذرات سیلت و رس نیز این اختلاف به ترتیب برابر با ۰/۱۲- و ۰/۱۰ می‌باشد که در مقایسه با اختلاف مقادیر خطا ناچیز محسوب می‌شود. لذا در انتخاب روش مناسب برای برآورد

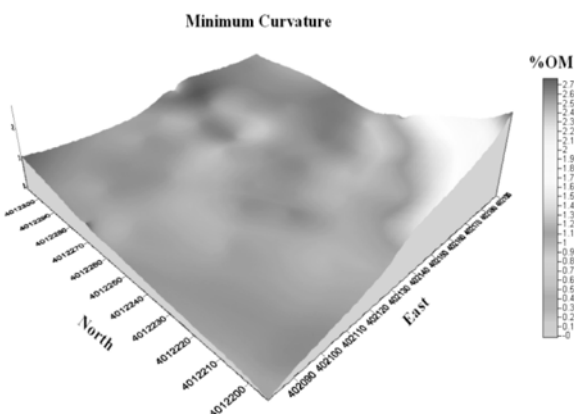
مقادیر انحراف مربوط به درصد شن، سیلت و رس در روش کریجینگ با نیم تغییر نگارهای نمایی و گوسی کمترین مقدار (صفر) را دارا هستند. با توجه به اینکه میزان انحراف در مورد مقادیر مربوط به شن بین روش کریجینگ با نیم تغییر نگارهای نمایی و گوسی با روش کمینه خمیدگی، (اختلاف به میزان ۰/۰۴) در مقایسه با تفاوت





شکل ۵- نقشه‌ی توزیع ماده‌ی آلی خاک با شبکه بندی به روش کمینه خمیدگی

Figure 5: Map of organic matter content distribution generated by Minimum Curvature method



شکل ۶- نقشه‌ی توزیع ماده‌ی آلی خاک با شبکه بندی به روش متحرک وزن دار

Figure 6: Map of organic matter content distribution generated by Weighted Moving Average method

### ترسیم نقشه‌ی مدیریتی اعمال علف‌کش سیانازین بر

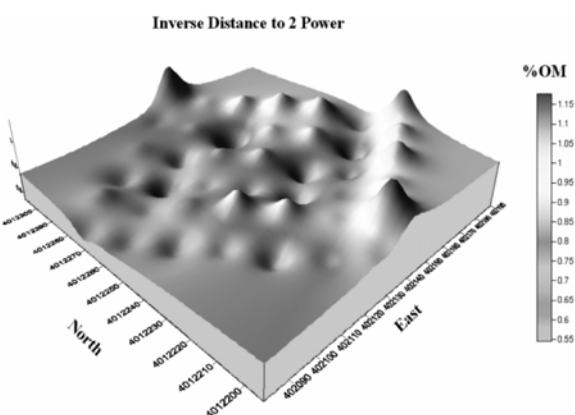
#### اساس روش میانجیابی کمینه خمیدگی

بر اساس انتخاب مناسب ترین روش شبکه بندی (روش کمینه خمیدگی)، نقشه‌ی مدیریتی اعمال علف‌کش سیانازین بر اساس شکل ۸ توسط نرم افزار *MATLAB* ترسیم شد. این نقشه که متشکل از ۸۰۵۴ داده برای اعمال علف‌کش در سطح مزرعه است به صورت یک فایل متنی (*.txt*) توسط برنامه‌ی نوشته شده به زبان *C++ Builder* فراخوانی و با داده های موقعیت ردیابی شده توسط گیرنده‌ی *GPS* مقایسه گردید. سپس میزان علف‌کش مورد نیاز هر بخش از مزرعه به عملگر (توزیع کننده) ارسال شد. همانگونه که از شکل ۸ مشخص است نقشه‌ی مدیریتی مزرعه در اعمال علف‌کش

درصد سیلت و رس نیز روش کمینه خمیدگی مناسب ترین نتیجه را در پی داشت.

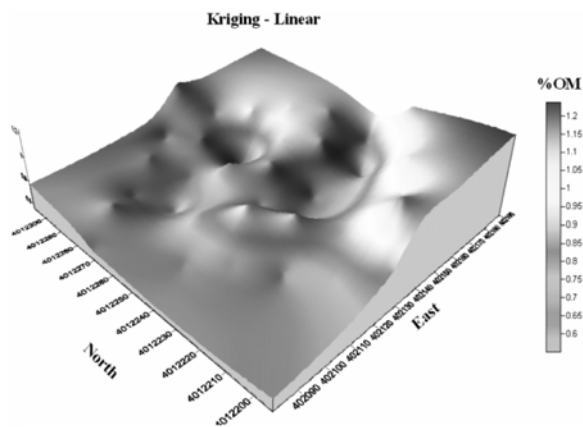
با توجه به مطالب فوق می‌توان نتیجه گرفت که روش میانجیابی کمینه خمیدگی مناسب ترین روش برای برآورد درصد ماده‌ی آلی و بافت خاک در نقاط نمونه برداری نشده می‌باشد.

شکل های ۳ تا ۷ نقشه های سه بعدی درصد ماده‌ی آلی خاک را با استفاده از پنج روش میانجیابی به کار رفته در این پژوهش در سطح مزرعه نشان می‌دهد. به منظور مشاهده‌ی نواحی رنگی مشخص شده در این نقشه ها باید از نسخه رقومی یا چاپ رنگی مقاله استفاده شود. با توجه به فضای محدود در متن مقاله، از ارائه‌ی نقشه های مربوط به بافت خاک (درصد ذرات شن، سیلت و رس) خودداری می‌شود.



شکل ۳- نقشه‌ی توزیع ماده‌ی آلی خاک با شبکه بندی به روش فاصله‌ی معکوس توانی با توان ۲

Figure 3: Map of organic matter content distribution generated by Inverse Distance to 2 Power method

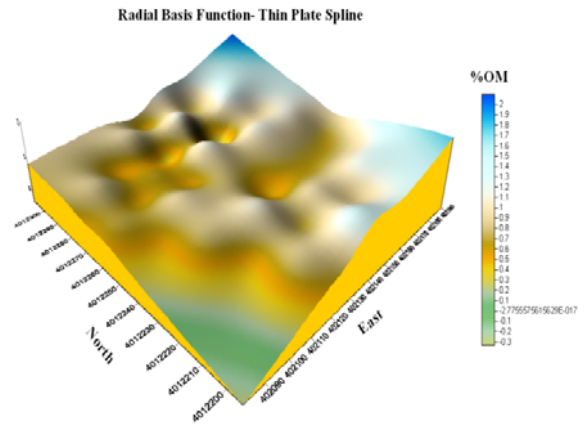


شکل ۴- نقشه‌ی توزیع ماده‌ی آلی خاک با شبکه بندی به روش کریجینگ با نیم تغییر نگار خطی

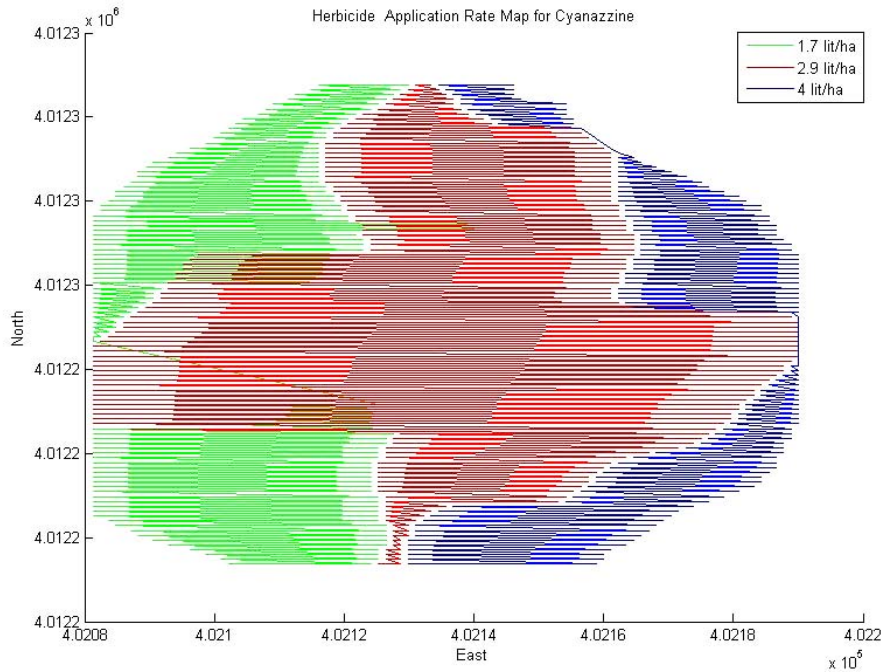
Figure 4: Map of organic matter content distribution generated by Kriging-linear method

جدول ۵ میزان افزایش و یا کاهش مصرف علف‌کش را با در نظر گرفتن میزان کاربرد یکنواخت و نرخ-متغیر علف‌کش برای کل مزرعه در سه مقدار ۱/۷، ۲/۹ و ۴ لیتر ماده مؤثر در هکتار به صورت درصد نشان می‌دهد. در صورت استفاده از این نقشه در اعمال علف‌کش، کل مزرعه (با سطح ۰/۶۵ هکتار) به میزان ۱/۸ لیتر ماده-ی مؤثر علف‌کش نیاز خواهد داشت. این مقدار از حاصلضرب مقدار علف‌کش مورد نیاز هر ناحیه‌ی مدیریتی در مساحت همان ناحیه به دست آمده است. بدین صورت که سطوح نواحی مدیریتی ۱، ۲ و ۳ که به ترتیب دارای مساحت ۰/۱۸، ۰/۳۵ و ۰/۱۲ هکتار می‌باشند را در میزان علف‌کش مورد نیاز هر ناحیه یعنی به ترتیب در مقادیر ۱/۷، ۲/۹ و ۴ لیتر در هکتار ضرب کرده و بدین ترتیب حاصل جمع کل مقادیر را که مساوی با ۱/۸ لیتر است به دست می‌آوریم. همانگونه که از جدول ۵ مشخص است، با در نظر گرفتن میزان کاربرد یکنواخت برای کل مزرعه به اندازه ۱/۷ و ۲/۹ و ۴ لیتر ماده‌ی مؤثر در هکتار، مصرف علف‌کش در مقایسه با میزان ۱/۸ لیتر به ترتیب به میزان ۳۹ درصد کاهش، ۴ و ۵۰ درصد افزایش می‌یابد.

به صورت نرخ-متغیر شامل سه ناحیه‌ی مدیریتی است که این نواحی دارای میزان اعمال ۱/۷، ۲/۹ و ۴ لیتر ماده‌ی مؤثر علف‌کش در هکتار است.



شکل ۷- نقشه‌ی توزیع ماده‌ی آلی خاک با شبکه بندی به روش تابع شعاع-مینا با مدل منحنی صفحه ای نازک (TPS)  
 Figure 7: Map of organic matter content distribution generated by Radial Basis Function-Thin Plate Spline method



شکل ۸- نقشه‌ی مدیریتی اعمال علف‌کش سیانازین (نواحی با رنگ سبز ۱/۷ لیتر در هکتار، با رنگ قرمز ۲/۹ لیتر در هکتار و آبی ۴ لیتر در هکتار ماده‌ی مؤثر سیانازین نیاز دارند. برای مشاهده نواحی رنگی نقشه باید چاپ رنگی یا نسخه رقومی مقاله بکار گرفته شود)  
 Figure 8: Management map of Cyanazine herbicide application rate (application rate in green zones 1.7 L.ha<sup>-1</sup>, red zones 2.9 L.ha<sup>-1</sup> and, blue zones 4 L.ha<sup>-1</sup>)

جدول ۵- مقایسه‌ی میزان کاربرد علف‌کش به صورت یکنواخت (URA) و نرخ-متغیر (VRT)  
 Table 5: Comparison of herbicide application rate as VRT and URT (Uniform Rate Application)

ناحیه مدیریتی	سطح (ha)	میزان سطح از کل سطح مزرعه (%)	میزان کاربرد علف‌کش (L/ha)	میزان علف‌کش مورد نیاز (L)	A*	B**	C***
Management Zone	Area (ha)	Percent of A Field Area (%)	Herbicide Rate Application (L/ha)	Herbicide Requirement (L)	A*	B**	C***
1	0.18	28	1.7	0.31	1.1	0.7	39decrease
2	0.35	54	2.9	1.01	1.88	-0.08	4increase
3	0.12	18	4	0.48	2.6	-0.8	50increase

A\*: میزان کاربرد یکنواخت علف‌کش در کل مزرعه بر اساس میزان کاربرد علف‌کش در هر ناحیه مدیریتی (L)

A\*: Uniform herbicide application rate in field based on herbicide application rate on management zones (L)

B\*\*: میزان تفاوت مصرف علف‌کش بین مقادیر ستون A و میزان کل مورد نیاز برای مزرعه بر اساس فناوری نرخ-متغیر ۱/۸ لیتر (L)

B\*\*: Different herbicide application between A column amounts and total required amount in field based on variable rate application 1.8 L

C\*\*\*: میزان کاهش یا افزایش مصرف علف‌کش بر اساس تفاوت مقادیر ستون B نسبت به میزان ۱/۸ لیتر (/)

C\*\*\*: Decreasing or increasing of herbicide application based on different of B column amounts in comparison to 1.8 L (%)

اینگونه عناصر شیمیایی به کار می‌رود، در صورتی قابل قبول است که دو پارامتر درصد کربن آلی و بافت خاک که بر میزان تأثیرگذاری آن دخالت دارد، تغییرات مکانی قابل ملاحظه‌ای را دارا باشند. با توجه به وجود محدودیت در تعداد نمونه برداری در نقاط مختلف مزرعه به دلیل هزینه‌ی بالا، استفاده از روش‌های زمین آماری نظیر میاناب‌ها می‌تواند در برآورد مقادیر مورد نظر در سایر نقاط مفید واقع گردد. نتایج تحلیل داده‌های این پژوهش نشان داد که از میان پنج روش میاناب‌ی فاصله‌ی معکوس توانی، کریجینگ، تابع شعاع-مبناء، کمینه خمیدگی و متحرک وزن دار، روش کمینه خمیدگی مناسب‌ترین روش در برآورد مقادیر ماده‌ی آلی خاک و بافت خاک در نقاط نمونه برداری نشده است. بر این اساس نقشه توزیع این دو پارامتر تهیه و بر اساس آن میزان اعمال علف‌کش پیش‌رویشی سیانازین تهیه شد.

با توجه به تغییرات بسیار اندک ماده آلی خاک و نیز بافت خاک با گذشت زمان، نقشه‌ی تهیه شده در این پژوهش حدوداً به مدت ۱۰ سال در فناوری نرخ-متغیر در عملیات مبارزه شیمیایی با علف‌های هرز قابل استفاده خواهد بود (Ferguson et al., 2000).

علیرغم آمار موجود در سازمان‌های مرتبط با تجزیه و تحلیل اطلاعات مربوط به خاک‌های زراعی، مطالعات بیشتر در زمینه بررسی تغییرات واقعی ویژگی‌های فیزیکی مهم خاک همگام با تعیین موقعیت نقاط مزرعه که در کاربرد نهاده‌های زراعی به صورت نرخ-متغیر تأثیرگذار می‌باشند، به منظور تهیه نقشه‌های مدیریتی ضروری است. با انجام این کار می‌توان یکی از ابزارهای مفید در مورد انتخاب و یا عدم انتخاب فناوری میزان-متغیر (VRT) را در اختیار

این بدان معنا است که اگر کل مزرعه به میزان یکنواخت ۱/۷ لیتر ماده‌ی مؤثر در هکتار سمپاشی شود در مقایسه با مقدار ۱/۸ لیتر که با استفاده از نقشه‌ی مدیریتی به دست آمده است به میزان ۳۹ درصد در مصرف علف‌کش صرفه جویی خواهد شد.

به همین ترتیب در صورت اعمال یکنواخت ۲/۹ و ۴ لیتر ماده‌ی مؤثر در هکتار در مقایسه با مقدار ۱/۸ لیتر به ترتیب به میزان ۴ و ۵۰ درصد مصرف علف‌کش افزایش خواهد یافت.

همانگونه که ملاحظه شد تنها در صورتی که سطح مزرعه به میزان یکنواخت ۱/۷ L/ha سمپاشی شود در مصرف علف‌کش صرفه جویی خواهد شد ولی در صورت استفاده از مقادیر ۲/۹ و ۴ L/ha نه تنها مصرف علف‌کش در مقایسه با نرخ-متغیر ۱/۸ L/ha صرفه جویی نخواهد شد بلکه با افزایش مصرف علف‌کش مواجه خواهیم شد. البته این موضوع با اهداف کشاورزی موضعی منافات ندارد زیرا هدف اصلی اعمال نرخ-متغیر نهاده‌ها کاهش مصرف آن‌ها نیست. بلکه مصرف بهینه‌ی آن‌ها در اولویت قرار دارد که در برخی موارد ممکن است لازم باشد سطح مزرعه به میزان نهاده‌های بیشتری در مقایسه با اعمال یکنواخت نهاده‌ها نیاز داشته باشد.

## بحث و نتیجه گیری

شرط پذیرش فناوری نرخ-متغیر (VRT) در کاربرد نهاده‌های کشاورزی، وجود تغییرات معنی‌دار در عوامل مؤثر بر کاربرد این نهاده‌ها در مزرعه می‌باشد. بر این اساس، کاربرد نرخ-متغیر علف‌کش‌های پیش‌رویشی در مزارع، به ویژه در شرایطی که مقادیر متناهی از

متخصصین و کشاورزان قرار داد که گام مهمی برای تصمیم گیری درباره به کارگیری کشاورزی دقیق خواهد بود.

## منابع

- 1- Blewitt, G. 1997. *Basics of the GPS Technique: Observation Equations*. Department of Geomatics, University of Newcastle Newcastle upon Tyne, NE1 7RU, United Kingdom.
- 2- Blumhorst, M. R., J. B. Weber, and L. R. Swain. 1990. *Efficacy of selected herbicides as influenced by soil properties*. *Weed Technol.* 4(2):279-283.
- 3- *Brochure of X20 GPS Integrated L<sub>1</sub> GPS*. 2006. Hauce Company. China.
- 4- Cugati, S. A. 2006. *Dynamic Modeling, Control and Verification for Citrus Variable-Rate Technology (VRT) Fertilization*. Ph.D Thesis. University of Florida.
- 5- Ferguson, R.B. and G.W. Hergert. 2000. *Soil Sampling for Precision Agriculture*. Cooperative Extension Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska
- 6- Loghavi, M. 2004. *The Precision Farming Guide for Agriculturists*. Rendition. Agricultural Research and Education Organization. Iran. (in Farsi)
- 7- Qiu, W., G. A. Watkins, C. J. Sobolik, and S. A. Shearer. 1998. *A feasibility study of direct injection variable-rate herbicide application*. *Transactions of the ASAE*. Vol. 41(2):291-299.
- 8- SokootiOskooei, R. Mahdian, M.H, Mahmoodi, S. and Ghahremani, A. 2008. *Comparing the applicability of some geostatistical methods to predict the variability of soil salinity, a case study of Uromieh plain*. *Pajuhesh&Sazandegi No 74* pp:90-98.
- 9- Weber, J. B., M. R. Tucker, and R. A. Isaac. 1987. *Making herbicide rate recommendations based on soil tests*. *Weed Technol.* 1(1):41-45.