ارزیابی و مقایسه‌ی روش های زمین آماری در تهیه‌ی نقشه‌ی مدیریت اعمال میزان متغیر علف کش پیش رویشی سیانازین

داود محمدزمانی[۱]، سعید مینایی[۲]، رضا علیمردانی[۳]، مرتضی الماسی[٤]، روح اله یوسفی[٥]

۱- استادیار گروه مهندسی ماشینهای کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان
۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس
۳- استاد گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران
٤- استاد گروه مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
۵- مربی مرکز آموزش جهاد کشاورزی قزوین

چکیده

در این مقاله روش ارزیابی و مقایسه‌ی رهیافت های مختلف میانیابی در تخمین مقادیر نمونه برداری نشده‌ی ماده‌ی آلی و بافت خاک ارائه شده است. هدف از این تحقیق توسعه‌ی روشی دقیق برای تهیه‌ی نقشه های رقومی مدیریتی اعمال علف کش ها به صورت موضعی است که در نهایت منجر به کاهش میزان مصرف علف کش ها و نیز کاهش خطرات زیست محیطی خواهد شد. بدین منظور پس از نمونه برداری ٤۲ 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 میانیابی در محیط نرم افزار Surfer استفاده شد. به منظور بسط مقادیر به سایر نقاط شبکه از پنج روش میانیابی فاصله‌ی معکوس توانی[۱]، کریجینگ[۲]، حداقل انحناء[۳]، میانگین متحرک وزن دار[٤] و تابع شعاعی مبنا[٥] استفاده شد. به منظور ارزیابی روش های مختلف میانیابی در برآورد مقادیر نامعلوم از رهیافت ارزیابی تقاطعی[٦] و دو پارامتر آماری "خطای میانگین مطلق[۷] MAE" و " خطای میانگین اریب[۸] MBE" استفاده شد. نتایج ارزیابی روش ها نشان داد که روش حداقل انحناء با خطای ۱/۳۱ نسبت به سایر روش های میانیابی کمترین خطا را در برآورد میزان ماده‌ی آلی خاک داشت. در مورد درصد ذرات شن، سیلت و رس مقادیر خطا در روش

[1] Inverse Distance to a Power
[2] Kriging
[3] Minimum Curvature
[4] Moving Average
[5] Radial Basis Function
[6] Cross Validation
[7] Mean Absolute Error
[8] Mean Bias Error

حداقل انحناء به ترتیب برابر با ۱/٦۰، ۱/۱۸ و ۰/۵۹ است که در مقایسه با سایر روش ها کمترین خطا را دارا می باشد. بر این اساس روش میانیابی حداقل انحناء به عنوان بهترین 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 علف کش سیانازین، نقشهی مدیریتی کاربرد علف کش بر اساس مقادیر توصیه شده توسط شرکت تولید کنندهی علف کش سیانازین در محصول ذرت به دست آمد.

واژه های کلیدی : نقشهی رقومی، روش های زمین آماری، میانیابی، بافت خاک، درصد مادهی آلی، علف کش پیش رویشی

۱- مقدمه

امروزه کشاورزی نوین نیاز به کنترل مؤثر آفات، کنترل میزان اعمال نهاده ها به صورت موضعی و حداقل آسیب به محیط زیست را بیش از پیش احساس می کند و بر این اساس تقاضای عمومی برای سامانه های کنترل اعمال مواد شیمیایی روز به روز در حال افزایش است. یکی از روش های 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 به منظور کاهش مصرف مواد شیمیایی به ویژه علف کش ها است به گونه ای که کیو و همکاران (۱۹۹۸) کاهش ۵۰ درصدی در کاربرد علف کش های پیش رویشی را بر مبنای خصوصیات خاک در زراعت ذرت با استفاده از فناوری میزان متغیر گزارش کرده اند. در اعمال میزان متغیر نهاده ها (VRA[1])، رهیافت مبتنی بر نقشه در مقایسه به رهیافت مبتنی بر حسگر، بر مبنای به کارگیری GPS و GIS توسعه یافته است. سامانه های VRA مبتنی بر نقشه، میزان اعمال نهاده ها را بر مبنای اطلاعات موجود در یک نقشهی رقومی مشخصات مزرعه تنظیم می کنند. یک نقشهی رقومی مدیریتی اعمال نهاده ها مبتنی بر خصوصیات خاک می تواند تا چندین سال به عنوان یک مرجع ارزشمند در عملیات زراعی مبتنی بر کشاورزی دقیق مورد استفاده قرار گیرد، چنانچه به وسیلهی یک روش نمونه برداری مناسب تهیه شده باشد.

به منظور اعمال نهاده های زراعی نظیر کود، مواد شیمیایی، بذور و آب به شیوهی میزان متغیر در رهیافت مبتنی بر نقشه یا حسگر، اندازه گیری کمیت های تغییرپذیر و مؤثر بر میزان اعمال نهاده ها در مزرعه الزامی است. در رهیافت مبتنی بر نقشه، نمونه گیری از کمیت های مورد نظر قبل از اعمال نهاده ها انجام گرفته و پس از پردازش و تهیهی نقشه ها، نهاده های زراعی بر مبنای نقشهی مدیریتی تهیه شده با به کارگیری اعمال کننده های میزان متغیر اعمال می شود. این سامانه ها قادر به تعیین موقعیت خود درون مزرعه توسط یک گیرندهی GPS می باشند که

[1] Variable Rate Application

معمولاً به صورت تصحیح افتراقی[1] عمل می کند. کنترلگرهای موجود در این سامانه ها شرایط زراعی موجود در نقشه‌ی تجویز شده را بر مبنای موقعیت این سامانه درون مزرعه جستجو کرده، سپس میزان اعمال نهاده ها را بر اساس این شرایط تغییر می دهند. عیب اساسی این نوع سامانه ها این است که خطاهایی در اثر خطای ناشی از عدم دقت گیرنده‌ی GPS در آنها حاصل می شود. همچنین عملیات تبدیل داده های نمونه گیری شده‌ی ناپیوسته به نقشه-ی اعمال نهاده ها به صورت پیوسته، منجر به خطاهایی در تخمین شرایط در نقاط نمونه برداری نشده می شود. در این رهیافت اگر برخی عملیات زراعی نظیر حذف درختان، بعد از جمع آوری داده های مکانی صورت بگیرد، امکان نادقیق بودن داده ها وجود دارد(کوگاتی و همکاران، ۲۰۰۶).

تغییرات مکانی ویژگی های خاک مزرعه نظیر بافت خاک و درصد مواد آلی خاک میزان متفاوتی برای اعمال برخی علف کش های شیمیایی نظیر سیانازین، متناسب با نیاز نقاط مختلف مزرعه پیشنهاد می کند. برای علف کش های پیش رویشی و برای یک مزرعه‌ی خاص، رایج ترین عوامل تأثیر گذار در میزان کاربرد علف کش ها، بافت خاک و درصد ماده‌ی آلی خاک است (لغوی،۱۳۸۲). وبر و همکاران (۱۹۸۷) الگوریتم هایی به منظور تعیین میزان اعمال علف کش بر مبنای خصوصیات خاک ارائه کردند. آنها دریافتند که تأثیر علف کش ها شدیداً با درصد ماده‌ی آلی خاک در ارتباط است. بلام هرست و همکاران (۱۹۹۰) اثر علف کش های انتخابی را در ارتباط با خصوصیات خاک بررسی کردند و دریافتند که فعالیت علف کش ها همبستگی زیادی با درصد ماده‌ی آلی خاک دارد. آنها پیشنهاد کردند که میزان اعمال برخی علف کش ها را باید با توجه به ویژگی های خاک تعیین کرد و برای این منظور معادلات میزان اعمال علف کش ها را به صورت تابعی از درصد ماده‌ی آلی خاک و میزان ذرات رس خاک ارائه کردند.

با توجه به وجود محدودیت در انجام عملیات نمونه برداری در نقاط مختلف مزرعه به دلیل هزینه‌ی بالا، استفاده از روش های زمین آماری نظیر میانیاب ها می تواند 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 نمونه گیری و یا آزمایش تعیین نشده اند. مقادیر z می تواند هر کمیت فیزیکی دلخواه نظیر ارتفاع، میزان ماده‌ی آلی خاک، دما، pH خاک و غیره باشد.

در حالت کلی روش های میانیابی به دو دسته‌ی کلی تقسیم می شوند: میانیاب های دقیق[2] و میانیاب های هموارساز[3].

میانیاب های دقیق، مقادیر مربوط به نقاط داده ها را در گره های شبکه (نقاطی که مقادیر z آنها معلوم است) با دقت بالا حفظ می کنند. به عبارت دیگر در این روش نقاطی که با نقاط گره ای شبکه منطبق شوند با وزنی معادل با یک و سایر نقاط با وزنی معادل صفر میانیابی می شوند. میانیاب های هموارساز و ضرایب هموارسازی را می توان هنگامیکه قابلیت تکرارپذیری[4] در اندازه گیری داده های اولیه ناممکن است، به کار برد. این نوع میانیابی، اثرات

[1] Differential Correction

[2] Exact Interpolators

[3] Smoothing Interpolators

[4] Repeatability

تغییرپذیری بسیار کم بین نقاط داده های همجوار را به حداقل می رساند. میانیاب های هموارساز، به هیچ نقطه ای وزنی معادل یک را اختصاص نمی دهند حتی اگر آن نقطه دقیقاً منطبق بر گره‌ی شبکه باشد. هنگامیکه هموارسازی به کار برده می شود، ضرایب هموارسازی به گونه ای تعیین می شوند 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.

سکوتی اسکوئی و همکاران (۱۳۸۵) از روش های زمین آماری برای پیش بینی پراکنش مکانی شوری خاک استفاده کردند. آنها نشان دادند که روش کریجینگ با ضریب همبستگی ۰/۹۸ و نیم تغییر نگار مدل گوسی از دقت بالایی برای برآورد شوری در نقاط فاقد اطلاعات برخوردار است.

هدف اصلی این تحقیق 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[1] 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 تحقیق بوده است.

۲- مواد و روشها

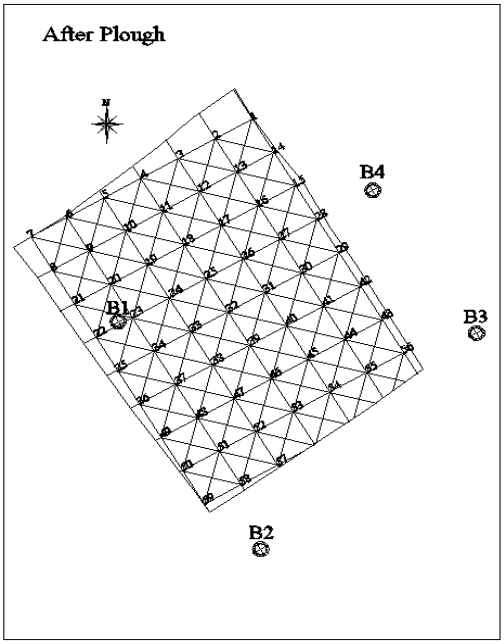
۲-۱ – نمونه برداری و تهیه‌ی شبکه نقاط نمونه برداری شده

در این تحقیق از 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 استفاده شد. قبل از شروع نقشه برداری از سطح مزرعه، چهار نقطه‌ی مرجع بر روی سطح مزرعه به وسیله بلوک های بتنی با ابعاد۲۰×۲۰×۳۰ سانتی متر مشخص شدند. محل نصب این بلوک ها کاملاً اختیاری بود که از آنها به عنوان محل هایی برای استقرار دوربین های Total Station و گیرنده های GPS استفاده شد. از مختصات این چهار نقطه به منظور تعیین بردار انتقال در مرحله پردازش داده های گیرنده های GPS و تبدیل مختصات محلی به جهانی استفاده شد.

با به کارگیری تجهیزات نقشه برداری از نوع Total Station، موقعیت محلی چهار نقطه‌ی مرجع مشخص گردید که به نقطه‌ی مرجع B_4 مختصات (۱۰۰،۱۰۰۰،۱۰۰۰) 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(شکل۱). 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 استفاده از 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 میزان متغیر به دست آورد. با پیاده کردن داده های به دست آمده از دوربین Total Station بر روی نرم افزار Land، نقشه‌ی اولیه مزرعه بر اساس مختصات محلی به دست آمد. سپس در محیط این نرم افزار به منظور نمونه برداری از خاک، نقشه-

[1] Desired Input

ی مزرعه شبکه بندی شد (شکل۱). این شبکه از ٤٢ سلول مربعی با ابعاد ١٤/٨×١٤/٨ متر تشکیل شده است که از دوربین Total Station برای پیاده سازی نقاط رئوس این سلول ها بر روی مزرعه استفاده شد. مختصات به دست آمده از دوربین های نقشه برداری Total Station، مختصات محلی است و به منظور استفاده در عملیات کشاورزی دقیق، باید به مختصات نصف النهارات متقاطع جهانی[1] (UTM) تبدیل شوند. بدین منظور چهار گیرنده‌ی GPS استاتیک[2] با دقت پنج میلی متر، که بر روی باند L_1 کار می کرد، بر روی چهار نقطه‌ی مرجع به کار برده شد. 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 شده و خطا به طور قابل توجهی کاهش می یابد. به موقعیت های محاسبه شده در این روش، موقعیت نسبی نقاط شبکه در مختصات UTM اطلاق می شود.



شکل ۱- شبکه بندی مزرعه و موقعیت چهار ایستگاه

[1] Universal Transverse Mercator

[2] ساخت شرکت Huace چین از نوع X20

به منظور پردازش داده های گیرنده های GPS، داده ها به رایانه‌ی شخصی منتقل شد که برای این منظور نرم افزار Hc Loader که یک نرم افزار اختصاصی برای انتقال داده برای 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 می کند. در نخستین مرحله پردازش داده ها، ارتفاع آنتن GPS برای نرم افزار تعریف شده و این مرحله برای هر چهار آنتن GPS انجام شد. بعد از این مرحله، نرم افزار به طور خودکار پردازش داده های GPS را انجام داد. پردازش داده ها در سامانه‌ی مختصات بیضوی WGS84 انجام گرفت. در تنظیمات مربوط به پردازش داده ها، نصف النهار مرکزی محل مشاهدات (ایران) ۵۳° و ضریب مقیاس نصف النهار ۰/۹۹۹۶ انتخاب شد. با پردازش داده های GPS ، مختصات طول و عرض ژئودتیک و ارتفاع ژئودتیک موقعیت چهار ایستگاه B_1, B_2, B_3 و B_4 به دست آمد.

به منظور تبدیل مختصات محلی نقاط شبکه به مختصات جهانی UTM، از نرم افزار Land استفاده 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.

۲ -۲- انطباق لایه‌ی موقعیت UTM نقاط مزرعه با لایه‌ی میزان کاربرد علف کش

پس از اتمام آزمایش های خاک، مقادیر درصد ماده‌ی آلی و بافت خاک به موقعیت UTM مراکز سلول های شبکه نسبت داده شد. به منظور ترسیم نقشه‌ی منحنی میزان برای دو پارامتر فوق، از روش های زمین آماری 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 میانیابی فاصله‌ی معکوس توانی، کریجینگ، حداقل انحناء، میانگین متحرک وزن دار و تابع شعاعی مبنا مورد ارزیابی قرار گرفت. این روش ها از رایج ترین میانیاب های مورد استفاده در کشاورزی دقیق می باشند.

با توجه به انجام عملیات میانیابی با استفاده از نرم افزار Surfer، روش های مختلف میانیابی به کار رفته در این نرم افزار تشریح می گردد. Surfer از روش میانیابی دو سویه[1] برای محاسبه‌ی مقادیر z در نقاطی از شبکه که با گره های شبکه[2] انطباق ندارند، استفاده می کند.

روش های شبکه بندی[3] در نرم افزار Surfer از الگوریتم های میانیابی به روش متوسط وزنی[4] استفاده می کنند. بدین مفهوم که با در نظر گرفتن اینکه تمام عوامل مؤثر در میانیابی یکسان باشد، نزدیک ترین نقطه به گره‌ی شبکه، وزن بیشتری در تعیین مقدار Z در آن گره‌ی شبکه خواهد داشت. تفاوت بین روش های مختلف شبکه بندی، در نحوه‌ی محاسبه و اعمال ضرایب وزنی به نقاط داده ها در میانیابی گره های شبکه است.

[1] Bilinear Interpolation Method
[2] Grid Nodes
[3] Gridding
[4] Weight Average

۲-۳- انجام عملیات میانیابی توسط Surfer

به منظور مقایسه‌ی روش های مختلف میانیابی در برآورد آن دسته از پارامترهای خاک در نقاطی که نمونه گیری انجام نشده است، از پنج روش میانیابی فاصله‌ی معکوس توانی، کریجینگ، تابع شعاعی مبناء، حداقل انحناء و متحرک وزن دار استفاده شد. در تنظیمات مربوط به روش فاصله‌ی معکوس توانی از توان های ۱، ۲ و ۳ و در تنظیمات مربوط به روش کریجینگ از نیم تغییرنگارهای خطی، گوسی و توانی استفاده شد. در سایر روش ها نیز از تنظیمات پیش فرض Surfer استفاده شد. جدول ۱ نمونه ای از تنظیمات انجام یافته مربوط به روش های مختلف میانیابی را برای ماده‌ی آلی خاک به نمایش می گذارد.

۲-٤- ارزیابی روش های میانیابی در برآورد داده ها

به منظور ارزیابی روش های مختلف میانیابی در برآورد مقادیر نامعلوم از رهیافت ارزیابی تقاطعی[1] و دو پارامتر آماری "خطای میانگین مطلق[2] MAE" و " خطای میانگین اریب[3] MBE" استفاده شد. ارزیابی تقاطعی امکان ارزیابی کیفیت شبکه بندی را با محاسبه و بررسی خطاهای شبکه بندی میسر می سازد. در این روش ابتدا اولین داده از ٤٢ داده‌ی معلوم حذف شد و سپس با استفاده از الگوریتم میانیابی مورد نظر، مقدار این داده از سایر داده ها (٤١ داده‌ی باقیمانده) محاسبه شد. خطای میانیابی با استفاده از رابطه‌ی (۱) تعیین شد:

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

کمیت مورد بررسی	روش میانیابی		اندازه سلول (m)	نامعمانگری		ضریب هموارسازی	نوع کریجینگ	بیشینه باقیمانده	بیشینه تکرار	تابع مبنا	بیضی جستجو		
				تست	زاویه						شعاع (m)۱	شعاع (m)۲	زاویه
ماده‌ی آلی خاک	کریجینگ	خطی	۱/۱۵	-	-	-	نقطه ای	-	-	-	-	-	-
		گوسی	۱/۱۵	-	-	-	نقطه ای	-	-	-	-	-	-
		توانی	۱/۱۵	-	-	-	نقطه ای	-	-	-	-	-	-
	فاصله‌ی معکوس توانی	توان ۱	۱/۱۵	۱	۰	۰	-	-	-	-	-	-	-
		توان ۲	۱/۱۵	۱	۰	۰	-	-	-	-	-	-	-
		توان ۳	۱/۱۵	۱	۰	۰	-	-	-	-	-	-	-
	حداقل انحناء		۱/۱۵	۱	-	-	-	۰/۰۰۰٦٤	۱۰۰۰۰۰	-	-	-	-
	تابع شعاعی مبناء		۱/۱۵	۱	۰	-	-	-	-	منحنی لایه نازک (TPS)	-	-	-
	متحرک وزن دار		۱/۱۵	-	-	-	-	-	-	-	۷۸/۸	۷۸/۸	۰

[1] Cross Validation
[2] Mean Absolute Error
[3] Mean Bias Error

Error=IV-OV (۱)

که در آن :

IV : مقدار برآورد شده مادهی آلی

OV : مقدار مشاهده شده مادهی آلی می باشد.

سپس اولین داده را به مجموعهی داده ها (٤٢ داده) برگردانده و دومین داده از مجموعهی داده ها حذف شد. بعد از عملیات میانیابی، خطای میانیابی با استفاده از روش فوق الذکر برای دادهی دوم محاسبه گردید. به همین ترتیب تمام ٤٢ داده به صورت متوالی حذف و سپس خطای میانیابی برای تمام نقاط محاسبه شد. این فرآیند، منجر به محاسبهی ٤٢ خطای میانیابی برای تمام داده های اندازه گیری شده شد. آنگاه کیفیت روش های مختلف میانیابی با استفاده از پارامترهای آماری MAE و MBE مورد ارزیابی قرار گرفت.

MAE مشخص کنندهی خطای نتایج و MBE انحراف نتایج روش مورد استفاده در میانیابی را نشان می دهد. در شرایطی که MAE و MBE برابر صفر و یا نزدیک به صفر باشند، نشان دهندهی این است که روش مورد استفاده در میانیابی، واقعیت را به خوبی شبیه سازی کرده است. با فاصله گرفتن از صفر (در مورد MBE به سمت مقادیر مثبت و یا منفی)، کاهش دقت و یا افزایش انحراف را نتیجه خواهند داد. روابط (۲) و (۳) روابط مربوط به محاسبهی MAE و MBE می باشد :

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n} |R_s - R_o|}{n} \quad (۲)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{n} (R_s - R_o)}{n} \quad (۳)$$

که در آن :

R_s : مقدار برآورد شده

R_o : مقدار مشاهده شده

n : تعداده داده ها می باشد.

در گام بعدی، پس از انتخاب مدل مناسب در برآورد داده های مادهی آلی و بافت خاک، با استفاده از مدل انتخاب شده و نیز با استفاده از جدول تجویز علف کش سیانازین، نقشهی مدیریتی کاربرد علف کش بر اساس مقادیر توصیه شده توسط شرکت تولید کنندهی علف کش سیانازین در محصول ذرت بر اساس به دست آمد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تجزیهی آماری نتایج آزمایشگاهی نمونه های خاک

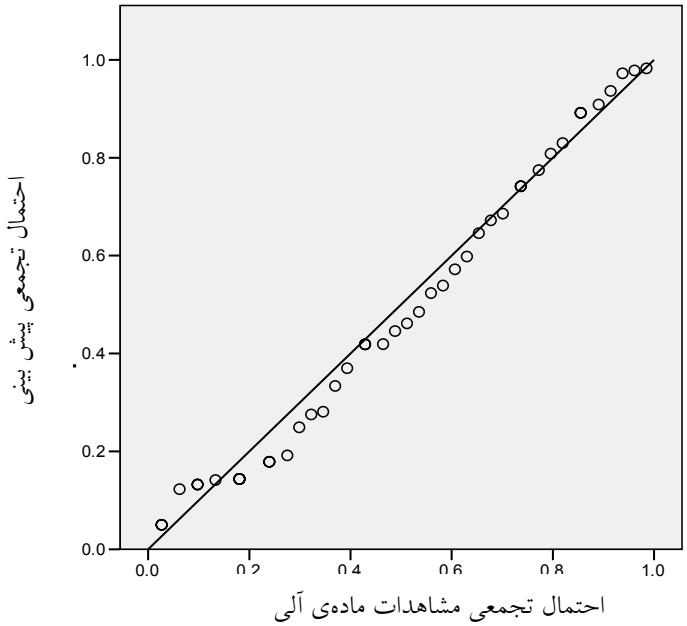
پس از اخذ نتایج آزمایش های خاک، داده های مادهی آلی و بافت خاک مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و شاخص های آماری آن نظیر مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف معیار و چولگی به دست آمد(جدول ۲). از نتایج تجزیه و تحلیل نمونه ها مشخص شد که دامنهی تغییرات (R) کربن آلی خاک مزرعه مورد نظر ۰/٦٤ درصد، کمینهی آن ۰/٥٤ درصد و بیشینهی آن ۱/۱۸ درصد می باشد. مادهی آلی خاک دارای توزیع نرمال با میانگین ۰/۸۲ درصد و انحراف معیار ۰/۱۷ درصد می باشد و بافت خاک نیز در محدودهی لومی، لومی شنی و شنی لومی قرار دارد. سپس نرمال بودن داده ها بر اساس آزمون Shapiro-Wilk و Kolmogorov-Smirnov بررسی شد(جدول ۳). روش های اخیر، روش هایی ناپارامتریک به منظور بررسی میزان انطباق داده ها با منحنی توزیع نرمال محسوب می شوند. شکل ۲ منحنی P-P مربوط به آزمون توزیع نرمال داده های مرتبط با مادهی آلی خاک را نشان می دهد. توزیع نرمال داده ها در این آزمون ها 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 می توان استنباط کرد که داده های مربوط به مادهی آلی خاک از چنین ویژگی برخوردار هستند. گرچه ضریب آزمون به دست آمده برای آزمون های Shapiro-Wilk و Kolmogorov-Smirnov که به ترتیب برابر با ۰/۱۵۸ و ۰/۲۰۰ می باشد، نشان می دهد که فاصله داده ها از توزیع نرمال کم می باشد.

جدول ۲- نتایج تجزیهی آماری مقادیر مادهی آلی نمونه های خاک

میانگین	خطای استاندارد میانگین	میانه	بیشینه	کمینه	واریانس	انحراف معیار	خطای استاندارد چولگی	چولگی	دامنهی تغییرات
۰/۸۲	۰/۰۳	۰/۸۰	۱/۱۸	۰/٥٤	۰/۰۳	۰/۱۷	۰/۳٦	۰/٤۱	۰/٦٤

جدول ۳- نتایج آزمون نرمال بودن مقادیر مادهی آلی نمونه های خاک با استفاده از روش های Shapiro-Wilk و Kolmogorov-Smirnov

روش آزمون	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
عامل	ضریب چولگی	ضریب آزمون	درجهی آزادی	ضریب چولگی	ضریب آزمون	درجهی آزادی
مادهی آلی خاک	۰/٤۱۲	۰/۲۰۰	٤۲	۰/٤۱۲	۰/۱٥۸	٤۲



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

جدول ٤- نتایج ارزیابی روش های مختلف میانیابی برای ماده‌ی آلی خاک، درصد ذرات شن، رس و سیلت

کمیت مورد بررسی	روش ارزیابی	روش میانیابی								
		کریجینگ			فاصله‌ی معکوس			حداقل انحناء	تابع شعاعی مبنا با مدل TPS	متحرک وزن دار
		نیم تغییرنگار خطی	نیم تغییرنگار نمایی	نیم تغییرنگار گوسی	توان ۱	توان ۲	توان ۳			
ماده‌ی آلی	MAE	0.11	0.14	0.14	0.13	0.12	0.81	0.04	0.12	0.13
	MBE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.81	0.00	0.00	0.00
شن	MAE	3.92	5.93	5.93	5.12	4.44	4.13	1.60	4.00	5.63
	MBE	0.06	0.00	0.00	0.05	0.08	0.08	0.04	0.09	0.04
سیلت	MAE	2.66	3.96	3.96	3.40	2.92	2.68	1.18	2.83	3.73
	MBE	-0.09	0.00	0.00	-0.16	-0.23	-0.23	-0.12	-0.11	-0.17
رس	MAE	1.85	2.76	2.76	2.49	2.26	2.14	0.59	1.84	2.61
	MBE	0.03	0.00	0.00	0.11	0.15	0.15	0.10	0.02	0.13

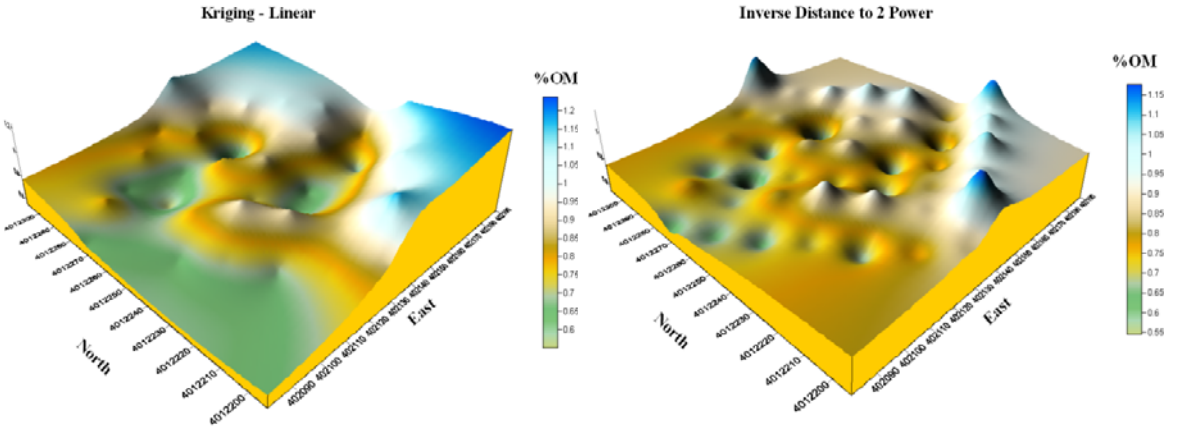
۳-۲- ارزیابی روش های میانیابی در برآورد داده های ماده‌ی آلی و بافت خاک

جدول ٤ نتایج ارزیابی روش های مختلف میانیابی برای ماده‌ی آلی خاک، درصد ذرات شن، رس و سیلت را با استفاده از پارامترهای آماری MAE و MBE نمایش می دهد. با توجه به جدول فوق ملاحظه می گردد که روش حداقل انحناء با خطای ۱/۳۱ نسبت به سایر روش های میانیابی کمترین خطا را در برآورد میزان ماده‌ی آلی خاک داشته است. میزان انحراف تمام روش ها غیر از روش فاصله‌ی معکوس توانی با توان ۳ برابر با صفر است. بنابراین

روش حداقل انحناء به عنوان بهترین روش برای برآورد درصد ماده‌ی آلی خاک انتخاب شد. در مورد درصد ذرات شن، سیلت و رس مقادیر خطا در روش حداقل انحناء به ترتیب برابر با ۱/٦۰، ۱/۱۸ و ۰/۵۹ است که در مقایسه با سایر روش ها کمترین خطا را دارا می باشد. 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 حداقل انحناء، (اختلاف به میزان ۰/۰٤) در مقایسه با تفاوت میزان خطا (اختلاف به میزان ٤/۳۳) بسیار کمتر است، لذا روش حداقل انحناء به عنوان بهترین روش در برآورد درصد شن انتخاب می شود. در مورد درصد ذرات سیلت و رس نیز این اختلاف به ترتیب برابر با ۰/۱۲- و ۰/۱۰ می باشد که در مقایسه با اختلاف مقادیر خطا ناچیز محسوب می شود. لذا در انتخاب روش مناسب برای برآورد درصد سیلت و رس نیز روش حداقل انحناء بهترین نتیجه را در پی داشت.

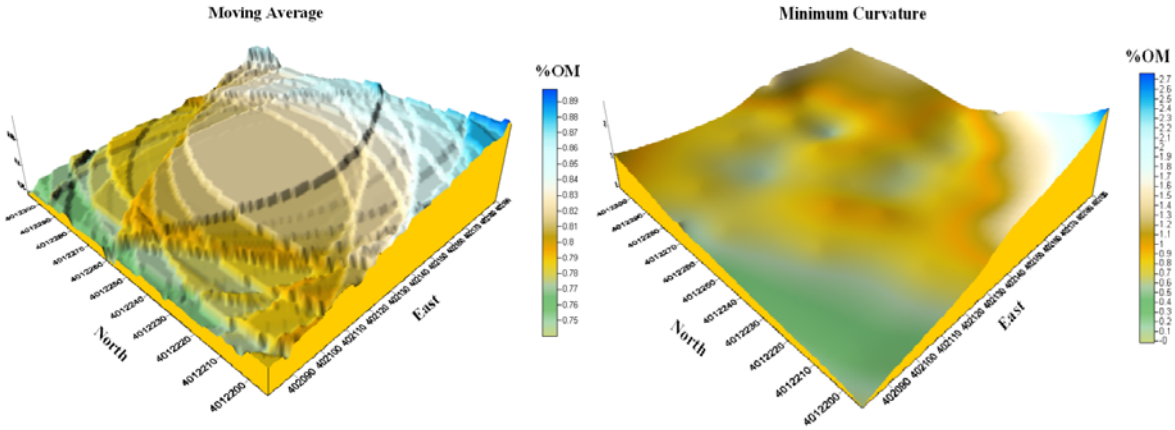
با توجه به مطالب فوق می توان نتیجه گرفت که روش میانیابی حداقل انحناء بهترین روش برای برآورد درصد ماده‌ی آلی و بافت خاک در نقاط نمونه برداری نشده می باشد.

شکل های ۳ تا ۷ نقشه های سه بعدی درصد ماده‌ی آلی خاک را با استفاده از پنج روش میانیابی به کار رفته در این تحقیق در سطح مزرعه نشان می دهد. به منظور مشاهده‌ی نواحی رنگی مشخص شده در این نقشه ها باید از نسخه رقومی یا چاپ رنگی مقاله استفاده شود.



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

شکل ٤- نقشهی توزیع مادهی آلی خاک با شبکه بندی به روش کریجینگ با نیم تغییر نگار خطی

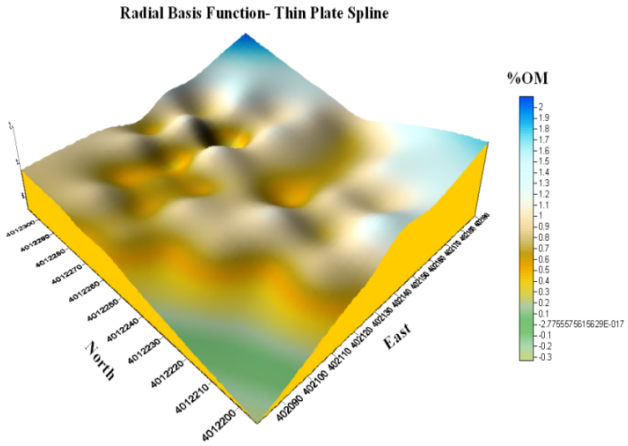


شکل ٥- نقشهی توزیع مادهی آلی خاک با شبکه بندی به روش حداقل انحناء

روش متحرک وزن دار

شکل ٤-۳- نقشهی توزیع مادهی آلی خاک با شبکه بندی به روش فاصلهی معکوس توانی با توان ۲ شکل ٤-٥- نقشهی توزیع مادهی آلی خاک با شبکه بندی به روش کریجینگ با نیم تغییر نگار خطی

شکل ٤-۸- نقشهی توزیع مادهی آلی خاک با شبکه بندی به روش حداقل انحناء شکل ٤-۹- نقشهی توزیع مادهی آلی خاک با شبکه بندی به روش متحرک وزن دار

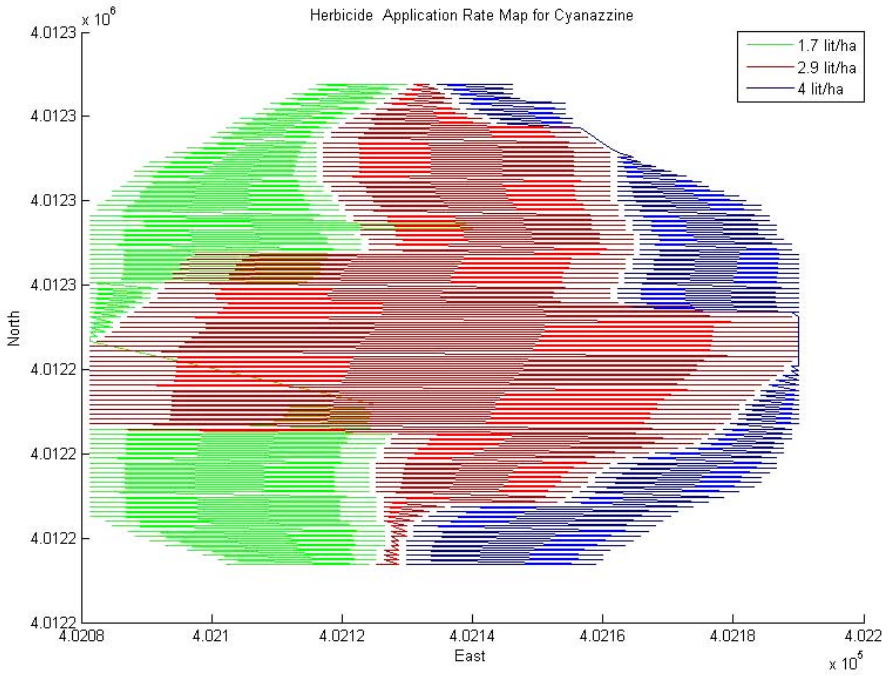


شکل۷- نقشه‌ی توزیع ماده‌ی آلی خاک با شبکه بندی به روش تابع شعاعی مبنا با مدل منحنی صفحه ای نازک (TPS)

با توجه به فضای محدود در متن مقاله، از ارائه‌ی نقشه های مربوط به بافت خاک (درصد ذرات شن، سیلت و رس) خودداری می شود.

۳-۳- ترسیم نقشه‌ی مدیریتی اعمال علف کش سیانازین بر اساس روش میانیابی حداقل انحناء

بر اساس انتخاب بهترین روش شبکه بندی (روش حداقل انحناء)، نقشه‌ی مدیریتی اعمال علف کش سیانازین بر اساس شکل ۸ توسط نرم افزار MATLAB ترسیم شد. داده های این نقشه که متشکل از ۸۰٥٤ داده برای اعمال علف کش 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 می گردد. سپس میزان علف کش مورد نیاز هر بخش از مزرعه به عملگر (تزریق کننده) ارسال می گردد. همانگونه که از شکل ۸ مشخص است نقشه‌ی مدیریتی مزرعه در اعمال علف کش به صورت میزان متغیر شامل سه ناحیه‌ی مدیریتی است که این نواحی دارای میزان اعمال ۱/۷، ۲/۹ و ٤ لیتر ماده‌ی مؤثر علف کش در هکتار است.



شکل ۸- نقشه‌ی مدیریتی اعمال علف کش سیانازین (نواحی با رنگ سبز ۱/۷ لیتر در هکتار، با رنگ قرمز ۲/۹ لیتر در هکتار و آبی ٤ لیتر در هکتار ماده‌ی مؤثر سیانازین نیاز دارند)

جدول ۵ میزان افزایش و یا کاهش مصرف علف کش را با در نظر گرفتن میزان کاربرد یکنواخت و میزان متغیر علف کش برای کل مزرعه در سه مقدار ۱/۷، ۲/۹ و ٤ لیتر ماده مؤثر در هکتار به صورت درصد نشان می دهد. در صورت استفاده از این نقشه در اعمال علف کش، کل مزرعه (با سطح ۰/٦۵ هکتار) به میزان ۱/۸ لیتر ماده‌ی مؤثر علف کش نیاز خواهد داشت. این مقدار از حاصلضرب مقدار علف کش مورد نیاز هر ناحیه‌ی مدیریتی در مساحت همان ناحیه به دست آمده است. بدین صورت که سطوح نواحی مدیریتی ۱، ۲ و۳ که به ترتیب دارای مساحت ۰/۱۸، ۰/۳۵ و ۰/۱۲ هکتار می باشند را در میزان علف کش مورد نیاز هر ناحیه یعنی به ترتیب در مقادیر ۱/۷، ۲/۹ و ٤ لیتر در هکتار ضرب کرده و بدین ترتیب حاصلجمع کل مقادیر را که مساوی با ۱/۸ لیتر است به دست می آوریم. 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 ٤ لیتر ماده‌ی مؤثر در هکتار، مصرف علف کش در مقایسه با میزان ۱/۸ لیتر به ترتیب به میزان ۳۹ درصد کاهش، ٤ و ۵۰ درصد افزایش می یابد. 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 علف کش صرفه جویی خواهد شد. به همین ترتیب در صورت اعمال یکنواخت ۲/۹ و ٤

جدول ۵- مقایسه‌ی میزان کاربرد علف کش به صورت یکنواخت(URA) و میزان متغیر (VRA)

ناحیه مدیریتی	سطح (ha)	میزان سطح از کل سطح مزرعه (٪)	میزان کاربرد علف کش (L/ha)	میزان علف کش مورد نیاز (L)	A*	B**	C***
۱	۰/۱۸	۲۸	۱/۷	۰/۳۱	۱/۱	۰/۷	۳۹ کاهش
۲	۰/۳۵	۵۴	۲/۹	۱/۰۱	۱/۸۸	-۰/۰۸	۴ افزایش
۳	۰/۱۲	۱۸	۴	۰/۴۸	۲/۶	-۰/۸	۵۰ افزایش

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

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

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

لیتر ماده‌ی مؤثر در هکتار در مقایسه با مقدار ۱/۸ لیتر به ترتیب به میزان ٤ و ۵۰ درصد مصرف علف کش افزایش خواهد یافت.

همانگونه که ملاحظه شد تنها در صورتی که سطح مزرعه به میزان یکنواخت ۱/۷ l/ha سمپاشی شود در مصرف علف کش صرفه جویی خواهد شد ولی در صورت استفاده از مقادیر ۲/۹ و ٤ l/ha نه تنها مصرف علف کش در مقایسه با میزان متغیر ۱/۸ l/ha صرفه جویی نخواهد شد بلکه با افزایش مصرف علف کش مواجه خواهیم شد. البته این موضوع با اهداف کشاورزی موضعی منافات ندارد چرا که هدف اصلی اعمال میزان متغیر نهاده ها کاهش مصرف آنها نیست بلکه مصرف بهینه‌ی آنها در اولویت قرار دارد که در برخی موارد ممکن است لازم باشد سطح مزرعه میزان نهاده های بیشتری در مقایسه با اعمال یکنواخت نهاده ها نیاز داشته باشد.

۴- نتیجه گیری

شرط پذیرش فناوری میزان متغیر (VRT) در کاربرد نهاده های کشاورزی، وجود تغییرات معنی دار در عوامل مؤثر بر کاربرد این نهاده ها در مزرعه می باشد. بر این اساس، کاربرد میزان متغیر علف کش های پیش رویشی در مزارع، به ویژه در شرایطی که مقادیر متنابهی از اینگونه عناصر شیمیایی به کار می رود در صورتی قابل قبول است که دو پارامتر درصد کربن آلی و بافت خاک که بر میزان تأثیرگذاری آن دخالت دارد، تغییرات مکانی قابل ملاحظه ای را دارا باشند. با توجه به وجود محدودیت در انجام عملیات نمونه برداری در نقاط مختلف مزرعه به دلیل هزینه-ی بالا، استفاده از روش های زمین آماری نظیر میانیاب ها می تواند در برآورد مقادیر مورد نظر در سایر نقاط مفید واقع گردد. نتایج تحلیل داده های این تحقیق نشان داد که از میان پنج روش میانیابی فاصله‌ی معکوس توانی، کریجینگ، تابع شعاعی مبناء، حداقل انحناء و متحرک وزن دار، روش حداقل انحناء بهترین 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 علف کش پیش رویشی سیانازین تهیه شد.

با توجه به تغییرات بسیار اندک ماده آلی خاک و نیز بافت خاک با گذشت زمان، نقشهی تهیه شده در این تحقیق حدوداً به مدت ۱۰ سال در فناوری میزان متغیر در عملیات مبارزه شیمیایی با علف های هرز قابل استفاده خواهد بود.

علیرغم آمار موجود در سازمان های مرتبط با تجزیه و تحلیل اطلاعات مربوط به خاکهای زراعی، مطالعات بیشتر در زمینه بررسی تغییرات واقعی خصوصیات فیزیکی مهم خاک همگام با تعیین موقعیت نقاط مزرعه که در کاربرد نهاده های زراعی به صورت میزان متغیر تأثیرگذار می باشند، به منظور تهیه نقشه های مدیریتی ضروری است. با انجام این کار می توان یکی از ابزارهای مفید در مورد انتخاب و یا عدم انتخاب فناوری میزان متغیر(VRT) را در اختیار متخصصین و کشاورزان قرار داد که گام مهمی برای تصمیم گیری درباره به کارگیری کشاورزی دقیق خواهد بود.

۵- مراجع

1- 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.
2- Brochure of X20 GPS Integrated L_1 GPS. 2006. Hauce Company. China.
3- Cugati, S. A. 2006. Dynamic Modeling, Control and Verification for Citrus Variable-Rate Technology (VRT) Fertilization. Ph.D Thesis. University of Florida.
4- Loghavi, M. 2004. The Precision Farming Guide for Agriculturists. Rendition. Agricultural Research and Education Organization. Iran. (in Farsi)
5- Qiu, W. Watkins, G. A. Sobolik, C. J. Shearer, S. A. 1998. A Feasibility Study Of Direct Injection Variable-Rate Herbicide Application. Transactions of the ASAE. Vol. 41(2):291-299.
6- Sokooti Oskooei, R. Mahdian, M.H, Mahmoodi, S. Ghahremani, A. 2008. Comparing the applicability of some geostatistic method to predict the variability of soil salinity, a case study of Uromieh plain. Pajuhesh & Sazandegi No 74 pp:90-98.
7- 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.

Generation Digital Management Map for Herbicide Application in VRA Spraying Using GPS

Abstract

This paper presents a method for generation of a management digital map for application of Cyanazine preemergence herbicide. The main objective is to develop a precision method for generation of the management maps as variable rate application of herbicide that eventuate to save herbicide application and to reduce adverse impact on the environment. First, Local and UTM coordinates of the field were determined using Total Station and four static GPS receivers. Data processing was performed by a PC using a Compass software. Then a 14.8 m grid was created using Land software and lay out on the field. Utilizing grid point sampling, a sample was taken at the center of each cell 20 cm depth which was sent to the laboratory. The laboratory results showed that range, maximum and minimum of soil organic matter content (OMC) is 0.82, 1.25 and 0.43 respectively. OMC has a normal distribution with an average of 0.86% and standard deviation is equal to 0.18%. Also soil texture varies between Loam, Sandy Loam and Loamy Sand. Using Kriging interpolation method, unknown amounts were determined at other points. By considering manufacture recommendations of herbicide application based on OMC and soil texture, four zones were determined for herbicide application rate as 1.4, 1.7, 2.9 and 3.5 l/ha and then a digital map was generated. Using this map, total required herbicide was determined to be 1.61 l. By considering this map it was determined that herbicide application can be decreased up to 13% if herbicide application rate is 1.6 l instead of 2.9 l/ha that it includes 67.9% of field area. This map can be utilized as desired input in an electronic controller of a VRA boom sprayer.

Keyword: Digital Soil Map, Global Positioning System (GPS), Soil Texture, Organic Matter Content (OMC), Preemengence Herbicide.