پژوهش‌های علوم کشاورزی پایدار/جلد ۲/شماره ٤/زمستان ١٤٠١/ ص ٥٤-٣٤

https://www.sarj.iauk.ac.ir

ارزیابی پراکنش عناصر غذایی پرمصرف، به‌منظور بهینه سازی مصرف کود در گندم

علی باقرزاده[1*]، مهدی عباس زاده[2]، احسان افشار[2]

۱- دانشیار گروه مهندسی کشاورزی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

۲-گروه مهندسی کشاورزی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: abagherzadeh@mshdiau.ac.ir

(تاریخ دریافت :١٤٠١/١٠/١٧- تاریخ پذیرش: ١٤٠١/١٢/٢٩)

چکیده

در این پژوهش با استفاده از روش زمین آمار پراکنش مقادیر کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل استفاده در اراضی زراعی منطقه جلگه رخ از توابع شهرستان تربت حیدریه واقع در استان خراسان رضوی مورد ارزیابی قرار گرفت. به این منظور تعداد بالغ بر ۱۰۰ نمونه خاک در سال ١٤٠٠ از مزارع منطقه تهیه شد. مقادیر پارامترهای مذکور برای هر نمونه در آزمایشگاه خاکشناسی اندازه‌گیری گردید. معیارهای ارزیابی در این مطالعه، میانگین خطا مطلق و ریشه دوم میانگین مربعات خطا باقیمانده با استفاده از روش اعتبارسنجی ارزیابی متقابل بودند. تغییر نما برای کلیه عناصر ترسیم شد. پس از تعیین مدل نیم تغییر نما، اعتبار سنجی الگوی برازش داده شده بوسیله خطای تخمین بررسی گردید. پس از تأیید صحت واریوگرام، روش درون‌یابی کریجینگ انتخاب و نقشه پراکنش عناصر غذایی تولید شد. نتایج نشان دادکه عناصر دارای پراکنش مکانی متفاوت می باشند. بطوریکه در ۹۰ درصد اراضی میزان کربن آلی خاک کمتر از نیاز گندم، پتاسیم و فسفر قابل جذب به ترتیب در ۳۲/۲ و ٤٦ درصد اراضی بیش از حد بحرانی برای گندم بود. در مجموع تهیه نقشه پراکنش عناصر غذایی می‌تواند نشان دهنده کمبود و یا بیش بود عناصر غذایی در خاک و از آن در بهینه‌سازی مصرف کودها استفاده گردد.

واژه‌های کلیدی: کریجینگ، گندم، جلگه رخ، سیستم اطلاعات جغرافیایی، زمین آمار

مقدمه

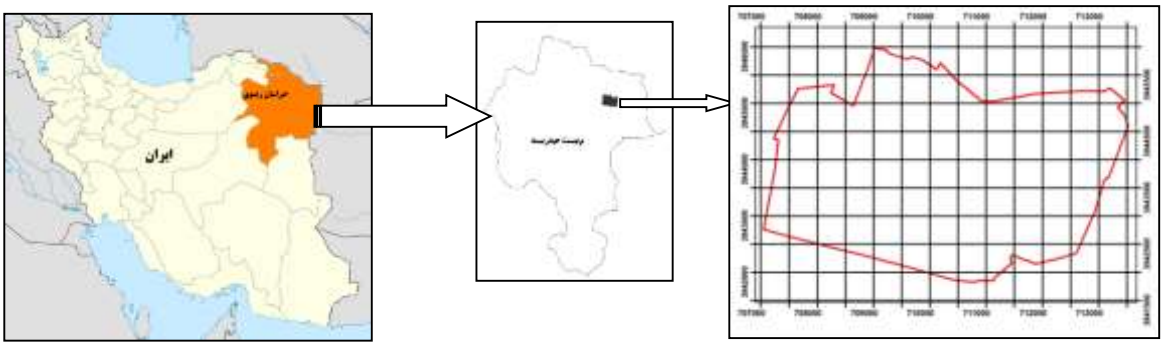
عموماً کشاورزان به دلیل عدم آگاهی از پراکنش عناصر غذایی در خاک با کاربرد یکنواخت کودها در تمام قطعات کشت، آلودگی بوم نظام‌های زراعی را تشدید می‌کنند. بنابراین با به کارگیری فناوری سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و ایجاد بانک اطلاعات مکان‌دار می توان با جمع‌آوری و طبقه‌بندی، نتایج تجزیه خاک در هر منطقه نسبت به تغییرپذیری ویژگی‌های خاک در مزرعه اقدام نمود. گندم یکی از محصولات غذایی پرمصرف جهانی است که نقش مهمی در تضمین امنیت غذایی و ثبات اجتماعی اقتصادی دارد (Jiang *et al.*, 2012, Wang *et al.*, 2019). در بسیاری از کشورها مقادیر زیادی از منابع آب و کود برای تولید گندم برای تامین مواد غذایی استفاده شده است، اما یک سری مشکلات نامطلوب از جمله کمبود آب، کم بودن راندمان مصرف آب و کود و همچنین آلودگی محیط زیست را به همراه داشته است. ناشی از از دست دادن آب و کود (Liang *et al.*, 2017, Li *et al.*, 2019). نظر به اینکه روشهای اندازه‌گیری این متغیرها برای یک منطقه وسیع خیلی گران است، لازم است تا توزیع مکـانی ایـن عناصر را از طریق درون‌یابی تخمین زد (Sun *et al.*, 2003). روش‌های زمین آمار برای شناسایی ساختار مکانی متغیرهای خاک به عنوان یک راهکار کاربردی برای تشخیص و توصیه میزان مصرف بهینه کودها در تولید محصولات کشاورزی، کاربرد دارد (Luo *et al.*, 2007). روش‌های آماری مختلفی برای بررسی تعیین پراکنش عناصر غذایی در خاک ارائه شده است، از این رو زمین آمار به دلیل در نظر گرفتن پیوستگی مکانی داده ها نسبت به دیگر روش های آماری کاربرد بیشتری در علوم خاک دارد. برای دستیابی به وضعیت پدیده یا مقادیر کمی متغیر مورد مطالعه در نقاطی که نمونه برداری صورت نگرفته است، اقدام به تخمین با استفاده از داده های در دسترس و مدل آماری بدست آمده نمود (Mahmmadi, 2001). این تکنیک با استفاده از اطلاعات حاصل از نقاط نمونه برداری شده، قادر به ارائه مجموعه وسیعی از تخمین گرهای آماری به منظور برآورد ویژگی مورد نظر در نقاط نمونه برداری نشده می باشد. تخمین مقادیر متغیر ها در مکان و زمان با استفاده از داده های همان متغیر (متغیر اصلی) را کریجینگ می نامند (Ahmah auli *et al.*, 2008). مطالعات زیادی در جهت مقایسه روش های مختلف درون یابی برای استخراج نقشه پهنه بندی متغیرهای خاک انجام گرفته است. بنابراین می توان به برخی مطالعات ذیل اشاره نمود. برای برآورد ویژگی های خاک در زمین آمار، ابتدا الگوی تغییرات مکانی آن طراحی و سپس با استفاده توابع آماری مکانی از جمله رایج ترین روش های درون یابی در خاکشناسی، روش وزن دهی عکس فاصله و کریجینگ ویژگی مورد نظر برآورد گردید (Baoa *et al.*, 2014). برای بررسی توزیع مکانی کربن آلی، فسفر، پتاسیم و گوگرد خاک از روش‌های درون‌یابی کریجینگ استفاده شد، نیم تغییر نما هریک از عناصر نشان داد وابستگی فضایی مناسبی بین ویژگی های خاک وجود دارد. با استفاده از این تجزیه و تحلیل‌ها، می‌توان برنامه‌های مناسب مدیریت

خاک، از جمله بهینه‌سازی مصرف کود شیمیایی برای تولید محصولات کشاورزی و حفاظت از محیط زیست را برنامه‌ریزی نمود. (Bhunia *et al.*, 2016). در نتایج مشابهی نیز برای کربن آلی خاک، روش کریجینگ از صحت و دقت بیشتری برخودار بود (Kumar & Lal,. 2011). به منظور بررسی وضعیت توزیع زمانی و مکانی پراکنش شوری خاک، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی مشخص شد میزان شوری خاک در مناطق مختلف دارای تغییر ات مکانی متفاوتی بودند. در این مطالعه در مقایسه روش درون یابی روش کریجینگ، از دقت و صحت بیشتری برخوداربود (Zewdu *et al.*, 2017). زمین آمار و سامانه اطلاعات جغرافیایی این امکان را فراهم می آورند که با داشتن اطلاعات تعداد کمی از نمونه های خاک، بتوان توزیع مکانی ویژگی هایی از خاک را که وابستگی مکانی دارند، تعیین نمود (Yong *et al.*, 2005). در پهنه بندی غلظت فلزات سنگین با استفاده ازGIS نتایج نشان داد فعالیت های کشاورزی خصوصا مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی می تواند، باعث افزایش بیشتر این عناصر در خاک شوند(Khodakarami *et al.*, 2011). در برآورد مقدار نیتروژن کل خاک، روش کریجینگ گزینه مناسبی برای تهیه نقشه نیتروژن انتخاب شد (Ayoubi *et al.*, 2007). پراکنش عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در باغی در مالزی با استفاده از روش های زمین آماری و با کمک نرم افزار GS^+ بررسی شد نقشه‌های بدست آمده از درون‌یابی نشان داد بخش زیادی از این باغ با کمبود نیتروژن روبه‌رو است در حالی که مقادیر فسفر و پتاسیم کمبود در حد کافی بود و با استفاده از نقشه های پهنه‌بندی از آنها برای مدیریت بهینه مصرف کودها استفاده کردند (Isimail & Junusi, 2009). در پژوهشی با استفاده از روشهای مختلف زمین آمار مانند کریجینگ، وزن دهی فاصله معکوس، توابع پایه شعاعی، چندربعی معکوس و چندجمله ای موضعی، تغییرات مکانی مقادیر نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده در اراضی کشاورزی استان گلستان مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد روش کریجینگ، بهترین الگو برای تخمین نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده در این منطقه می‌باشد زیرا بالاترین صحت و کمترین خطا را دارا بود (Kazemi Poshtmasari *et al.*, 2012). با توجه به اهمیت گندم بعنوان محصول استراتژیک و اینکه نزدیک به ۳۷ درصد مصرف کودهای شیمیایی یارانه دار در استان خراسان رضوی به این محصول اختصاص می یابد(آمار نامه سال ۹۹ جهاد کشاورزی خراسان رضوی). محصول گندم برای این پژوهش انتخاب گردید. در خراسان رضوی، دشت جلگه رخ با کشت سالانه گندم آبی حدود ۹۰۰۰ هکتار بعنوان قطب تولید این محصول در استان مطرح است. هر چند در تعیین پراکنش عناصر غذایی در سطح کشور اقدامات سودمندی انجام گرفته است ولی الگوی مناسبی که برطبق آن بتوان نیاز کودی زراعت گندم را برآورد نمود، گزارش نشده است. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی پراکنش عناصر غذایی موثر در حاصلخیزی خاک شامل عناصر پرمصرف کربن آلی خاک، فسفر و پتاسیم و به دنبال آن انتخاب الگوی مناسبی برای برآورد و مدیریت مصرف کود درزراعت گندم در منطقه جلگه رخ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در دشت جلگه رخ شهرستان تربت حیدریه(خراسان رضوی) و در سطح ۲۵۰۰ هکتار به انجام رسید(شکل ۱). این منطقه در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و۲۳ دقیقه الی ۵۹ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۹ دقیقه الی ۳۵ درجه و ٦۳ دقیقه شمالی واقع گردیده است. میانگین ارتفاع این منطقه از سطح دریا ۱٦۸۲ متر است. مطابق با نقشه رژیم رطوبتی و حرارتی خاک های ایران، رژیم رطوبتی محدوده مورد مطالعه Aridic هم مرز Xeric و رژیم حرارتی Mesic می باشد (Banai, 1998). طبق مطالعات خاکشناسی نیمه تفصیلی(۱۳۸٤). خاک‌های مورد مطالعه در رده اریدی‌سولز Aridisols جزء گروه بزرگ خاک Haplocambids و سری Zarindasht و فامیل، Coarse mesic mixed (calcareous), loamy نام‌گذاری شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در جلگه رخ- تربت حیدریه و نمایی از شبکه نمونه برداری

نمونه برداری و آماده سازی نمونه‌ها

ابتدا با استفاده از نقشه های پایه، شامل نقشه توپوگرافی به مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ و نقشه زمین شناسی به مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره ای و پیمایش میدانی محدوده مورد مطالعه مشخص گردید. با هدف تهیه نقشه های پراکنش ویژگی‌های مورد مطالعه روش شبکه‌بندی منظم انتخاب شد. نقاط مطالعاتی بر روی محدوده بدست آمده با استفاده از نرم افزارهای Arc GIS، شبکه بندی در ابعاد ۵۰۰ × ۵۰۰ متر بر روی نقشه توپوگرافی محدوده مورد بررسی برطبق مقیاس مطالعات نیمه تفصیلی در سال ۱٤۰۰ انجام شد. این نقاط دارای مختصات جغرافیایی است که با مراجعه به محل تعیین شده به کمک دستگاه GPSmap76CSx نمونه برداری خاک انجام گردید. بدین منظور از هر ۲۵ هکتار یک نمونه مرکب از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری تهیه شد. عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری عمق موثر زراعی می‌باشد (Mahmmodi & Hakimian, 2001). تعداد ۱۰۰ نمونه در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ها جهت تجزیه متغیرهای موثر در حاصلخیزی و مدیریت مصرف کود برای زراعت گندم شامل کربن آلی به روش والکی و بلاک (Walkley *et al.*, 1982) بعنوان نماینده ازت کل، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Oelsen *et al.*, 1980)، پتاسیم قابل

جذب به روش استات آمونیوم (Jones, 2001)، بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee & Dani, 1996)، هدایت الکتریکی، pH در گل اشباع (Gupta, 2004) و آهک به روش کلسیمتر فشاری (Loeppert & Suarez, 1996) در آزمایشگاه خاکشناسی انجام شد.

تجزیه های آماری و زمین آماری

در این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار SPSS10 پارامترهای اولیه آماری نمونه‌ها، شامل توزیع فراوانی داده ها، میانگین، انحراف معیار، کشیدگی و چولگی محاسبه گردید. در آمار کلاسیک فرض بر این است که تغییرپذیری یک متغیر تصادفی است در صورتی که در زمین آمار بخش مهمی از آن مربوط به ساختار و تابع فاصله، جهت و سایر عوامل است. برای تعیین اثر متقابل نمونه ها بر یکدیگر تا یک شعاع تأثیر معین، در زمین آمار از نیم تغییر نما استفاده می شود به این معنا که نمونه های مجاور تا فاصله معینی به هم وابستگی دارند و چنین فرض می شود که این وابستگی بین نمونه ها را می توان به صورت مدل ریاضی تحت عنوان تغییر نما ارائه نمود. تابع نیم تغییر نما بیشترین کاربرد را در زمین آمار دارد. که از رابطه زیر محاسبه می گردد (Yong *et al.*, 2005).

(۱)

$$\gamma(h)=\frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}[z(x+h)-Z(x)]^2$$

که در آن، $\gamma(h)$: مقدار نیم تغییر نما 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) مقدار مشاهده ای متغیرx در موقعیت i و x اشاره به موقعیت مکانی نمونه ها دارد. تغییر نما ابزار اساسی جهت تخمین به وسیله انواع از جمله کریجینگ و بررسی داده‌های زمین شناختی است.

بنابراین انتخاب مدل مناسب و تعیین پارامترهای دقیق آن از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار است (Voltz *et al.*, 1997). هر تغییر نما با پارامترهای آن یعنی اثر قطعه‌ای، دامنه تأثیر و سقف مشخص می شود. مقدار تغییر نما به ازای h =۰ را اثرقطعه‌ای می‌گویند که معمولا ناشی از وجود مؤلفه‌های تصادفی در توزیع متغیر است. با افزایش h مقدار تغییر نما تا فاصله معینی اضافه شده سپس به حد ثابتی می‌رسد که این فاصله را شعاع تأثیر و مقدار تغییر نما که ثابت شده است را حد آستانه می‌گویند (Hassani Pak, 2006). کنترل اعتبار تغییر نما در واقع تخمین هر نقطه نمونه برداری شده در ناحیه با استفاده از مقادیر نمونه‌های همسایه (بدون در نظر گرفتن مقدار خود آن نمونه) با روش کریجینگ می باشد. سپس به منظور درک این نکته که مدل فرضی و پارامترهای آن در تخمین کریجینگ، به درستی تغییرات فاصله‌ای مقادیر اندازه‌گیری شده را لحاظ می‌کند، مقادیر تخمینی با مقادیر واقعی مقایسه می‌شوند (Juang *et al.*, 1998). و بهترین الگوی تغییر نما برای هر یک ازعناصر مورد مطالعه بوسیله نرم افزار$^{+9}$ Gs تهیه گردید. سایر خصوصیات ناهمسانگردی و همبستگی مکانی داده‌ها بررسی و از آماره‌های میانگین قدر مطلق خطا، ریشه میانگین مربعات خطا در انتخاب تخمین‌گر مناسب جهت برآورد متغیر مورد نظر در نقاط نمونه‌برداری نشده استفاده شد. به این ترتیب که تخمین‌گری که میانگین خطا و ریشه میانگین مربعات خطا نزدیک به صفر، واریانس تعدیل شده نزدیک به یک را داشت، به عنوان بهترین تخمین‌گر انتخاب شد. برای تجزیه و

تحلیل داده ها و اعتبارسنجی نیم تغیر نما از نرم‌افزارهای Variowin, Sufer.v10 استفاده گردید.

ارزیابی و اعتبارسنجی روش های درون‌یابی

در این تحقیق برای انتخاب روش مناسب از تکنیک ارزیابی متقابل استفاده شده است. در این روش، در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از سایر نقاط مشاهده‌ای، آن نقطه برآورد می‌شود. این کار برای کلیه نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود، به گونه‌ای که در آخر به تعداد نقاط مشاهده ای، برآورد وجود خواهد داشت (Hasani Pak, 2006). معیارهای مختلفی نیز برای ارزیابی کارآیی روش‌های میان‌یابی وجود دارد که می‌توان به میانگین خطای مطلق (MAE)، ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE) و ضریب تعیین مقادیر مشاهده ای و برآوردی اشاره کرد (Webster & Oliver, 2001). مقدار این معیارها با استفاده از روابط ۲ و ۳ محاسبه شد.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}[Z^*(x_i)-Z(x_i)]}{n} \qquad (۲)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}[Z^*(x_i)-Z(x_i)]^2}{n}} \qquad (۳)$$

که در آن ها:

n: تعداد نقاط مشاهده ای.

$Z^*(x_i)$: مقدار برآوردی بر نقطه i ام.

$Z(x_i)$: مقدار مشاهده‌ای برای نقطه i ام.

صحت مدل با MAE تعیین می‌شود که مقدار میانگین خطای تخمین برابر صفر نشان از صحت و هر چه از صفر فاصله بگیرد نشان از کم شدن صحت مدل است و ریشه دوم میانگین مربع خطا با مقدار عددی کمتر حاکی از صحت مدل است. بنابراین به هر مقدار این دو معیار کوچک‌تر باشند، نشان از دقت بالای روش مورد استفاده برای تخمین می‌باشد (Mahhmadi, 2006). برای انتخاب مناسب ترین مدل توصیف کننده ساختار پراکنش عناصر مورد مطالعه، مدل‌های گوسی، کروی و نمایی بر تغییر نمای تجربی بدست آمده برازش داده شد. معیارهای اعتبارسنجی موصوف برای همه مدل ها محاسبه گردید. هر یک از مدل‌ها که مقدار MAE و RMSE کمتری را داشت به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شد و با استفاده از مناسب‌ترین مدل، برای هر سه ویژگی مورد مطالعه از روش کریجینگ و نرم افزار ARC GIS 10.7 برای تهیه نقشه های پهنه‌بندی استفاده شد.

روش درون‌یابی کریجینگ

روش کریجینگ یکی از روش های برآورد دقیق در زمین آمار کاربرد دارد که اصول آن مبتنی بر میانگین متحرک وزن‌دار استوار است. این روش بهترین برآورد کننده خطی ناریب می‌باشد (Mahhmadi, 2006). در دیگر روش ها از جمله روش چند جمله‌ای و وزن‌دهی عکس فاصله نیز شرط ناریب بودن اعمال می‌گردد. ولی ویژگی کریجینگ آن است که همراه هر تخمین، مقدار خطای آن را نیز می‌دهد که با این ویژگی منحصر به فرد آن می‌توان قسمت‌های واجد خطای زیاد برای کاهش خطا به داده های بیشتری نیازدارند را تعیین نمود. کریجینگ تخمین‌زنی است که مقادیر یک متغیر را در نقاط نمونه‌برداری نشده، به‌صورت ترکیب خطی از مقادیر همان متغیر در نقاط اطراف آن در نظر می‌گیرد. تئوری این روش به شرح ذیل است. فرض کنید مقادیر متغیر z در n نقطه اندازه گیری شده است (Hasani Pak, 2006).

$$Z(Xn) = (z(x1), z(x2), \dots z \qquad (٤)$$

تخمین م قدار Z درنق طه x_0 توســـط تخمین زن کریجینگ با معادله زیر بیان می‌شود.

$$Z^*(x_0)=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i z(xi) \qquad (۵)$$

که در این رابطه: $Z^*(x_0)$ = مقدار تخمین کمیت در نقطه مجهول X0؛ λi = وزن یا اهمیت نمونه iام ؛ $Z(x\,i)$= مقدار کمیت در نمونه iام .

روش‌های درون‌یابی در زمین آمار بسیار متنوع بوده که می توان از جمله آنها، روش وزن‌دهی عکس فاصله، اسپلاین، کریجینگ و کوکریجینگ اشاره کرد. هر یک از روش‌ها یاد شده، بسته به الگوی همبستگی مکانی متغیر، مورد مطالعه می‌توانند، پراکنش مکانی آن متغیر را بهتر برآورد کند (Ayobi *et al*., 2007). بیشتر پژوهشگران گزارش نمودند که در مقیاس‌های مکانی کوچک تغییرات مکانی متغیرهای خاک دارای ناهمسانگردی بوده و در جهت شیب، تغییرات بیشتری دارد. بنابراین در این شرایط روش کریجینگ به عنوان یک روش مطلوب برای بررسی تغییرات مکانی خاک معرفی نمودند (Wang *et al*., 2008; Kilic *et al*., 2012). در ارزیابی روش‌های زمین آماری جهت پهنه بندی عناصر غذایی پرمصرف نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم روش کریجینگ در مقایسه با روش‌های تابع پایه شعاعی، چند جمله‌ای موضعی و وزن‌دهی عکس فاصله، نشان داد که میانگین قدر مطلق خطا در تخمین فسفر قابل جذب خاک به ترتیب ۹۹۰/۸۷۰، ۹/۷، ۱٦/۹۱۹ و ۸/٥۰٤ و همچنین مقدار ریشه میانگین مربعات خطا برای تخمین فسفر به ترتیب ۸۹۰/۰۰٦، ۱۳/۱۱، ٤٦؟۱۹٥، ۱۲/۰٦۲ بود و درمورد دیگر عناصر نیز از همین روند پیروی می‌کند بنابراین روش کریجینگ با بالاترین دقت بعنوان بهترین الگوی تعیین گردید (Kazami Jalali *et al*., 2013; *et al*., 2012) در این مطالعه نیز در مقایسه روش های درون یابی، روش کریجینگ به دلیل کمترین خطا و صحت بالا روش مورد استفاده قرار گرفت. در تحقیقی دیگر برای بررسی تغییرات مکانی عناصر نیتروژن، فسفر وپتاسیم خاک، در مقایسه روشهای کریجینگ، کوکریجینگ، میانگین متحرک وزن دار پرداخته و به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ با ضریب همبستگی ۰/۹۹ و نیم تغییر نمای مدل گوسی از دقت بالایی برخوردار بوده و براساس این روش نقشه‌های پراکنش مکانی این عناصر تهیه کردند (Sokouti Oskooei *et al*., 2010). در نهایت با بهره‌گیری از روش کریجینگ پراکنش عناصر غذایی پرمصرف شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم در منطقه با نرم افزار Arc GIS 9.3 تهیه شد. برای ارزیابی صحت و دقت نقشه‌های خروجی با روش ماتریس خطا برآورد ها انجام شد. نمونه برداری ها از هر محدوده کلاس بندی شده به گونه‌ای انجام شده که حداقل درصد مساحت آن محدوده را پوشش دهد و بر اساس نقشه های تهیه شده وضعیت حاصلخیزی خاک ارزیابی و نیاز کودی در گندم با استفاده از مدل توصیه کودی موسسه تحقیقات خاک و آب کشور انجام شد Khademi *et al*., 2000).

کلاس بندی و تعیین طبقات در نقشه کریجینگ

کلاس بندی هر متغیر به گروه‌های تفکیلی متفاوت با توجه به مساحت و هدف هر مطالعه می تواند متفاوت باشد(Roshani *et al*., 2014). در اکثر پژوهش‌ها مبنای کلاس بندی هر متغیر بر اساس آنچه که از ویزارد نرم افزار استخراج شده استوار است و نقشه پهنه‌بندی هر متغیر بصورت کلی تغییرات

مکانی آن متغیر را نشان می‌دهد. به لحاظ اینکه در این مطالعه هدف از پهنه‌بندی هر عنصر رسیدن به نقشه‌ای است که بتواند طیفی از طبقه بندی که بیشترین نزدیکی را با هم دارند را به روش‌های مختلف، از جمله روش خوشه‌بندی تحلیل و آزمون صحت گروه بندی انجام شود که نتیجه حاصله گویای دامنه‌ای موثر بر میزان توصیه کودی واحدی باشد. با هدف دستیابی از نقشه پراکنش عناصر غذایی به نقشه مدیریت مصرف کود بدین منظور متغیر مقدار توصیه کودی بعنوان معلول کمبود یا بیشبود عنصر در یک دامنه، بعنوان متغیر وابسته و تغییرات پراکنش عناصر غذایی در مزرعه بعنوان متغیر مستقل مد نظر قرار گرفت و هر یک از متغییرهای مستقل در محیط GIS هم پوشانی شد و بر پایه آن کلاس های مختلف هر یک از متغیر های وابسته بدست آمد. این تحلیل مجموعه از مشاهدات یا متغییرها را بر مبنای ترکیب درونی بر دو یا چند خوشه نامعین گروه بندی می نماید(Naseri *et al.*, 2009). در حقیقت با استفاده از تحلیل خوشه‌ای می توان تقسیم بندی ذاتی بین نمونه‌ها را شناسایی نمود که این عمل شناسایی الگو نامیده می‌شود (Wichern, & Johenson 1988). در پهنه‌هایی که مساحت کمتری دارند، مشابه منطقه مورد مطالعه کلاس‌بندی هر متغیر به نحوی انجام شد که ضمن نشان دادن تفاوت ها بصورت محسوس، برای هر محدوده تفکیلی، فرمول کودی خاصی نیز بتوان اعمال کرد. متداول‌ترین روش برای ارزیابی صحت کلاس بندی انتخاب تعدادی پیکسل از پیکس‌های نمونه مشاهده شده و مقایسه کلاس آنها با نتایج کلاس‌بندی است. بمنظور ارزیابی دقت کلاس بندی از نمونه های برازش داده شده که در روند کلاس بندی دخالت داده نشده اند، استفاده شد، نمونه برداری‌ها از هر محدوده کلاس بندی شده به گونه‌ای انجام شده که حداقل درصد مساحت آن محدوده را پوشش دهد در این مطالعه از شاخص صحت کلی برای صحت سنجی کلاس بندی انجام شده استفاده شد. شاخص Overrall accuracy در ماتریس خطاها مشاهده می‌شود و عبارت است از تعداد کل پیکسل‌های صحیح تقسیم بر تعداد کل پیکسل های ماتریس.

نتایج و بحث

بررسی زمین آمار

ویژگی‌های آماری هر یک از متغیرها فسفر، پتاسیم و کربن آلی خاک محاسبه و در جدول شماره (۱) آورده شده است. سپس برای شناخت کلی داده‌های مکانی و مدل‌سازی ساختار فضایی داده‌ها، تجزیه و تحلیل‌های زمین آماری لازم انجام گرفت.

جدول ۱- ویژگی های آماری عناصر پر مصرف خاک فسفر، پتاسیم و کربن آلی

خصوصیات خاک	میانگین	دامنه	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	حداقل	حداکثر
فسفر(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱۱/٦۷	٦/٤	۲/٦۲	۰/۰۳	۱/٤	۸/۱	۱٥/۳
پتاسیم(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲۸۱/۱	۷۱	۱۹/٦۷	۰/٦٤	۲/۲۸	۲۳٥	۳۰٦
کربن آلی (درصد)	۰/٦۱۳	۰/۲۹	۰/۰۷۲	-۰/۸	۲/٤۱	۰/٤۳	۰/۷۲

برای نرمال کردن پارامترهای مورد مطالعه از روش های مختلف از جمله تبدیل داده ها به روش لگاریتم طبیعی و ریشه دوم استفاده شد. با مقایسه واریوگرام های ترسیم شده در دو حالت لگاریتمی و داده های اصلی، نشان داد که ساختار مکانی واریوگرام، همسانگردی فضایی داده ها در حالتی که از داده اصلی استفاده شده بهتر است. با توجه به نزدیک بودن مقادیر میانگین در کلیه متغیر ها و مقادیر پائین چولگی و کشیدگی نمایانگر توزیع نسبتا نرمال داده ها و نشان دهنده انحراف کم این متغیرها از توزیع نرمال است. بنابراین با توجه به همسانگردی مکانی و واریوگرام های مناسب بدست آمده برای کلیه عناصر، تجزیه و تحلیل های زمین آماری بر حسب داده های اصلی انجام گرفت. نتایج حاصل این مطالعه با سایر پژوهش های انجام شده مطابقت داشت، در شرایطی که تفاوت معنی داری بین واریوگرام‌های نرمال شده و واریوگرام داده های اصلی مشاهده نگردد، بهتر است از داده‌های اصلی استفاده گردد. Cambardella *et al*., 2003; Enayatzamir *et al*., 2004; Afshar *et al*., 2009). پس از تعیین مدل واریوگرام اعتبار سنجی الگوی برازش داده شده بوسیله خطای تخمین بررسی گردید. پس از تأیید درستی واریوگرام ترسیم شده، روش درون‌یابی کریجینگ انجام شد. در مطالعه حاضر با استفاده از تست Cross Valdatoin مناسب ترین الگوی تغییر نما تعیین گردید. سپس از معیارهای متداول برای مقایسه مقادیر مشاهده شده ای و برآورد شده از جمله میانگین قدر مطلق خطا MAE و دقت از رابطه ریشه دوم میانگین مربع خطا RMSE محاسبه و بهترین الگو برای کریجینگ نقطه ای انتخاب گردید.

آنالیز همبستگی مکانی

برای بررسی ناهمسانگردی داده ها، واریوگرام مربوط به هر یک از عناصر غذایی خاک ترسیم شد. در این تحقیق برای تعیین ناهمسانگردی از تغییر نما های جهت‌دار استفاده شد. شکل‌های ٤، ٥ و ٦ نشان می دهد داده های پتاسیم، کربن آلی و فسفر در جهت های مختلف تغییرات چندانی نداشته و از نوع همسانگرد محسوب می‌شوند. بنابراین بهترین مدل برای برآورد مقادیر هر یک از متغیر ها انتخاب گردید که بیشترین همبستگی را داشتند. جدول ۲ پارامترهای تغییر نما داده‌ها در مدل‌های انتخابی را نشان می‌دهد. در صورتی که تغییرات متغیری نسبت به فاصله در همه جهات یکسان باشد، آن متغیر همسانگرد است. طبق واریوگرام‌های ترسیم شده ناهمسانگردی مشخصی مشاهده نگردید و کلیه

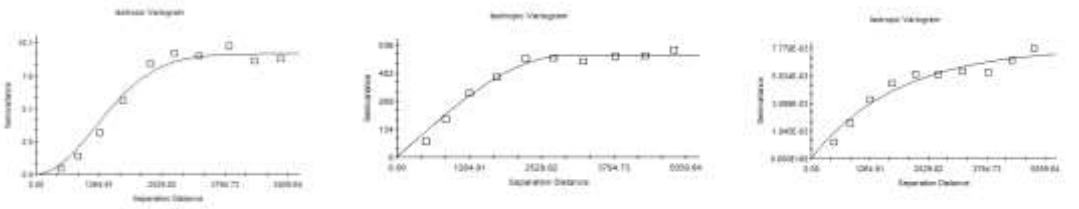
عناصر همسانگرد بودند. از میان متغیرهای اندازه گیری شده خاک، شاخص فسفر از مدل گوسی برای پتاسیم و کربن آلی به ترتیب از مدل کروی و نمایی پیروی می کنند. مدل های ذکر شده از پرکاربردترین مدل ها برای مطالعه و بررسی پراکنش عناصر غذایی در مطالعات خاکشناسی و تهیه نقشه حاصلخیزی خاک می‌باشد Miller *et al*.,1988; Vieira *et al*., (2003). مقدار واریوگرام در اصل نمادی از اختلاف مقادیر در دو نقطه است. با افزایش فاصله بین زوج نقاط مقدار واریوگرام نیز افزایش می یابد. فاصله‌ای که در آن واریوگرام به حد ثابتی می‌رسد و به حالت افقی نزدیک می شود، دامنه تأثیر فاصله‌ای می‌گویند. این دامنه محدوده‌ای را مشخص می‌کند که می‌توان از داده‌های موجود در آن برای تخمین مقدار متغیر مجهول استفاده کرد (Hassani Pak, 2006). واریوگرام هر یک از عناصر خاک با تعیین بهترین مدل برای برآورد مقادیر عناصر پرمصرف خاک محاسبه گردید. جدول ۳ نشان دهنده مقادیر کنترل اعتبار برای تخمین کریجینگ عناصر پرمصرف مورد مطالعه می‌باشد. شکل ۱ نشان دهنده واریوگرام‌های ترسیمی عناصر در مدل های گزینش شده می‌باشد.

جدول ۲- پارامترهای تغییر نمای عناصر مورد مطالعه خاک در مدل های انتخابی

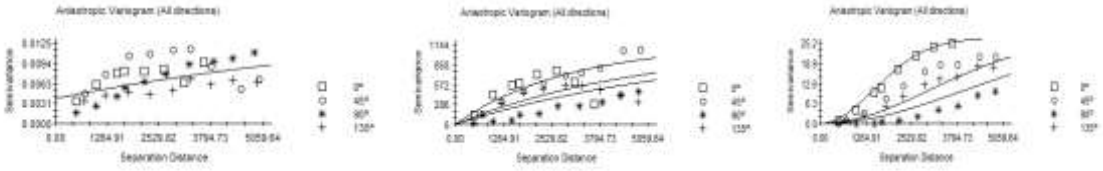
عناصر	مدل	اثر قطعه‌ای (Nugget Effect)	آستانه (Sill)	دامنه تأثیر (Range)	ضریب تعیین (r^2)
فسفر	گوسی	۰/۰۱	۹/۲۸	۱۶۹۰	۰/۹٤
پتاسیم	کروی	۱	٤۸۳	۲۹٦۰	۰/۹٦
کربن آلی	نمایی	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰٦۵	۲۷٤۸	۰/۹۷

جدول ۳- مقادیر کنترل اعتبار برای تخمین روش کریجینگ عناصر مورد مطالعه

عناصر	مدل	نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه	ساختار مکانی	MAE	RMSE
فسفر	گوسنی	۰/۰۰۱	قوی	۰/۰۲۸	۰/۵۱۲
پتاسیم	کروی	۰/۰۰۲	قوی	۰/۰۰۵	۰/٤۲٦
کربن آلی	نمایی	۰/۰۱۵	قوی	۰/۰۰۱	۰/۵۲۱



الف) واریوم‌گرام داده‌های کربن آلی، پتاسیم و فسفر خاک



ب) واریوم‌گرام داده‌های کربن آلی، پتاسیم و فسفر خاک در چهار جهت

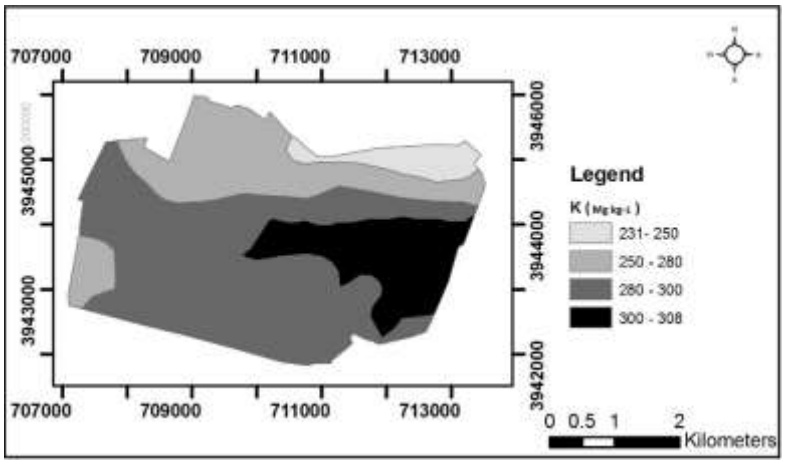
شکل ۱- واریوگرام داده‌های کربن آلی، پتاسیم و فسفر خاک در خاک های منطقه مورد مطالعه

مقادیر معیارهای ذکر شده هر چه به صفر نزدیک باشد نشان از خطا کمتر و دقت بالا مدل انتخاب شده است. جدول ۳ نشان دهنده مقادیر کنترل اعتبار برای تخمین کریجینگ عناصر مورد مطالعه در تحقیق حاضر است.

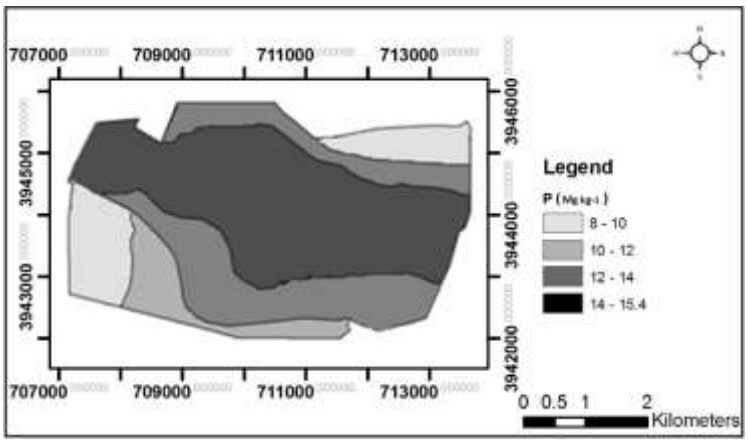
نتایج بررسی مقادیر اثر قطعه‌ای نشان داد کمترین مقدار آن به درصد کربن آلی خاک و بیشترین آن به پتاسیم در روش کریجینگ تعلق دارد و نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه در تمامی عناصر مورد مطالعه نشان می دهد، که ساختار مکانی داده ها بدست آمده از ساختار مکانی قوی برخوردارند. وقتی این نسبت کمتر از ۰/۲۵ باشد متغیر مورد نظر دارای ساختار قوی است (Robinson & Metternicht, 2006). دامنه تأثیر در عناصر اندازه‌گیری شده در این مطالعه بین ۲٦۹۰ متر برای فسفر و حداکثر ۳۹٦۰ متر برای پتاسیم بدست آمد. دامنه تأثیر بزرگتر دلالت بر پیوستگی مکانی دارد و این امکان را می دهد، که نقاط مجهول را در نقاط دورتر نیز با دقت برآورد نمود. این مقادیر خصوصاً در عنصر پتاسیم بیشتر است که نشان می دهد، می توان نمونه برداری از خاک را در شعاع بیشتر و گسترده تر نیز انجام داد. نتایج بدست آمده نشان داد که روش درون یابی کریجینگ با ضریب تعیین بیشتر از ۰/۹۵ برای کلیه عناصر از دقت بالایی برای برآورد مقادیر عناصر غذایی در نقاط فاقد اطلاعات برخوردار است. بسیاری از محققین تأیید کردند که روش کریجینگ می تواند توزیع مکانی ویژگی‌های خاک را با دقت بیشتری برآورد نماید Shao *et al*., 2006; Jiachun

Shi *et al.*, 2007; Xiaopeng & Lingqing, (2008). در نتیجه مشابهی، براساس نقشه پهنه بندی عناصر فسفر، پتاسیم و نیترورن، مصرف کودهای پرمصرف مورد نیاز را توصیه نمودند (Wang *et al.*, 2006). نتیجه این پژوهش نیز با یافته های محققین مطابق داشت.

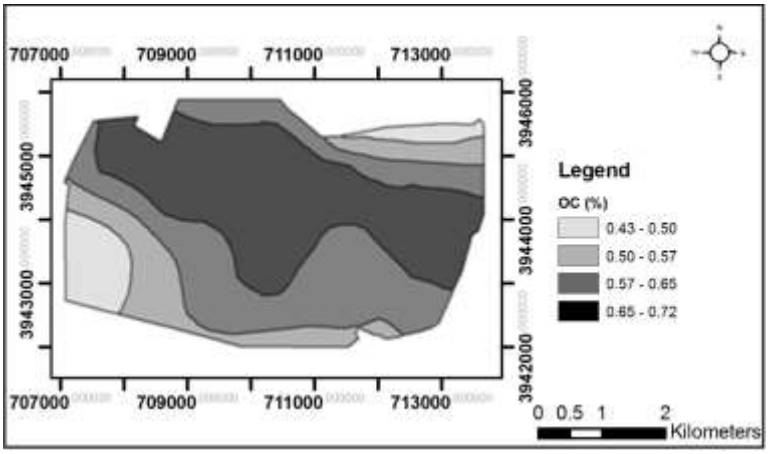
شکل۲، ۳ و ٤ نشان دهنده، نقشه پراکنش هر یک از عناصر غذایی می باشد. برای نشان دادن وضوع بهتر نقشه ها بعد از ارائه نقشه توسط مدل، عمل کلاس‌بندی و تبدیل لایه رستری به لایه وکتور در محیط ArcMap انجام گرفت. کلاس بندی هر متغیر به گروه های تفکیلی متفاوت با توجه به مساحت و هدف هر مطالعه می تواند متفاوت باشد(Roshani *et al.*, 2014). در پهنه‌هایی که مساحت کمتری دارند، مشابه منطقه مورد مطالعه کلاس بندی هر متغیر به نحوی انجام شد که ضمن نشان دادن تفاوت ها به‌صورت محسوس، برای هر محدوده تفکیلی، فرمول کودی خاصی نیز بتوان اعمال کرد.



شکل ۲- نقشه پراکنش پتاسیم قابل جذب خاک در خاک های منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش درون یابی کریجینگ



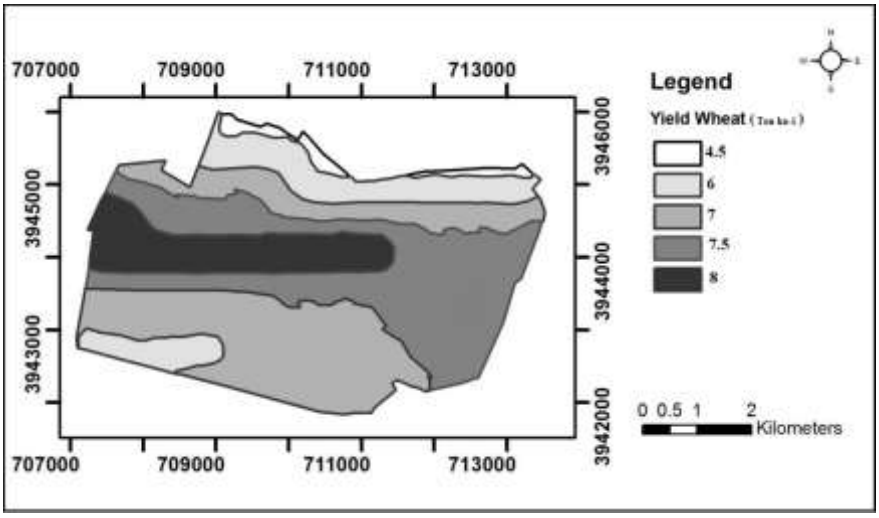
شکل ۳- نقشه پراکنش فسفر قابل جذب خاک در خاک های منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش درون یابی کریجینگ



شکل ٤- نقشه پراکنش کربن آلی خاک در خاک‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ

مدیریت مصرف کود در گندم

بمنظور برآورد کود مورد نیاز گندم با استفاده از مدل کامپیوتری توصیه کودی موسسه تحقیقات خاک و آب کشور ابتدا با ورود داده‌های استخراج شده از منطقه مورد مطالعه شامل مقدار هر یک از عناصر غذایی پر مصرف، نوع اقلیم، دفعات آبیاری (برای که محدوده مورد مطالعه ۸ نوبت آبیاری محاسبه گردید) و عملکرد قابل انتظار برای گندم آبی بر اساس میانگین سه سال اخیر محصول برداشت شده را در هر یک از قطعات کشت مطابق با برنامه نرم‌افزاری فوق تهیه شد (Khademi *et al*., 2000) و نقشه پهنه‌بندی کریجینگ عملکرد گندم طبق شکل ۵ تهیه گردید.

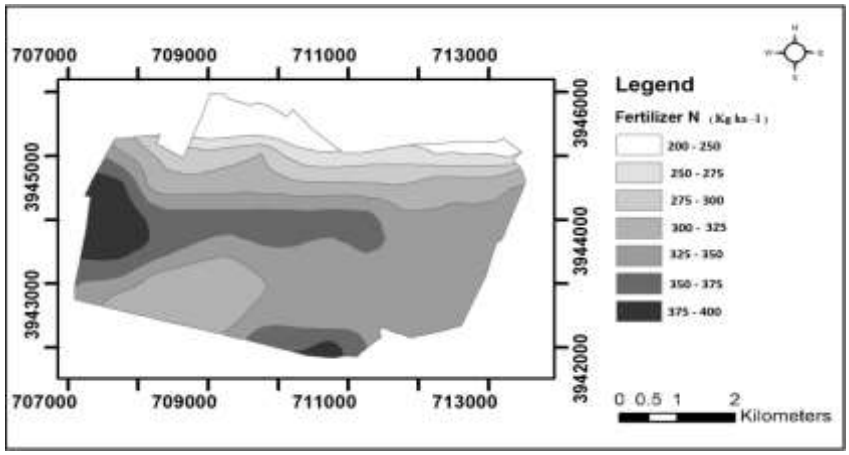


شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی پتانسیل عملکرد گندم در خاک‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ

نقشه کریجینگ پهنه‌بندی هریک از عناصر پرمصرف طبق شکل های ٦ تا ۸ و مقدار توصیه کودی حاصل از مدل رایانه‌ای توصیه کودی گندم، نقشه پهنه‌بندی مدیریت مصرف کودهای شیمیایی، برای کود اوره طبق شکل ٦، کود سوپرفسفات تریپل طبق شکل ۷ و کود سولفات پتا سیم طبق شکل ۸ برای گندم در

منطقه مورد مطالعه تهیه و مبنای برآورد کود مورد نیاز و توصیه کودی برای هر یک از قطعات کشت قرار گرفت. نتایج نشان داد که با استفاده از روش کریجینگ می توان پراکنش هر یک از عناصر غذایی را تعیین و پهنه‌بندی محدوده کلاس‌بندی را مشخص و از طریق تلفیق لایه‌های رقومی به نقشه مدیریت مقدار مصرف کود دست یافت. در اراضی منطقه مورد مطالعه،عموما مصرف کود بصورت یکنواخت صورت می گیرد. برای کود ازته ۳۵۰ کیلو گرم، کودفسفاته ۱۵۰ کیلو گرم و کود پتاسیم ۱۰۰ کیلو گرم در هکتار برای محصول گندم می باشد. این درحالیست که نتایج این مطالعه نشان داد، مصرف کودها در هر یک از قطعات کشت متفاوت بود. بطوریکه مقدار مصرف کود ازته از مقدار ۱۵۰ تا ٤۰۰ کیلو گرم و کود فسفاته از ۰ تا ۱۷۵ کیلو گرم و کود پتاسه از مقدار ۰ تا ۱۰۰ کیلو گرم متغیر است. نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج بدست آمده مطالعات سایر محققان نیز هم‌خوانی دارد. در همین ارتباط (Sokouti *et al.*, 2011) در بررسی خود اعلام داشتند استفاده از نقشه حاصلخیزی برای برنامه ریزی و مدیریت مصرف کودها مطابق نیاز واقعی از کاربرد یکنواخت کودها در قطعات کشت جلوگیری خواهد نمود. (Aishah *et al.*, 2010). با استفاده از روش کریجینگ، نشان دادند که بخش وسیعی از اراضی منطقه مورد مطالعه در سلانگور مالزی دارای نیتروژن اضافی است (Karczmarczyk & Renman, 2011). برای دستیابی به الگوی تجمع فسفر در اراضی از روش کریجینگ استفاده کردند. منابع کود توصیه شده در این مطالعه براساس کودهای موجود و رایج در کشور شامل کود ازته (اوره) کود فسفاته (سوپرفسفات تریپل) و کود پتاسه از منبع کود سولفات پتاسیم بود.

مطابق با شکل ٦ و با توجه به جدول ٤ مساحت هر یک از محدوده هایی که تفاوت معنی‌داری در مصرف کود اوره در حد ۵۰ کیلو گرم دارند محاسبه، مقادیر مصرف کود براساس مدل بدست آمده (نقشه پهنه‌بندی کریجینگ) با میزان مصرف کود توسط کشاورز مقایسه گردید. نتایج نشان می دهد که در هریک از محدوده ها بایستی کود را به میزان نیاز مصرف نمود و عموماً مصرف کشاورز بیشتر از مقدار نیاز واقعی می‌باشد. در مجموع در کل منطقه مورد مطالعه ۱٦۲۷۵ کیلو گرم کود اوره بیشتر از نیاز مصرف می شود.

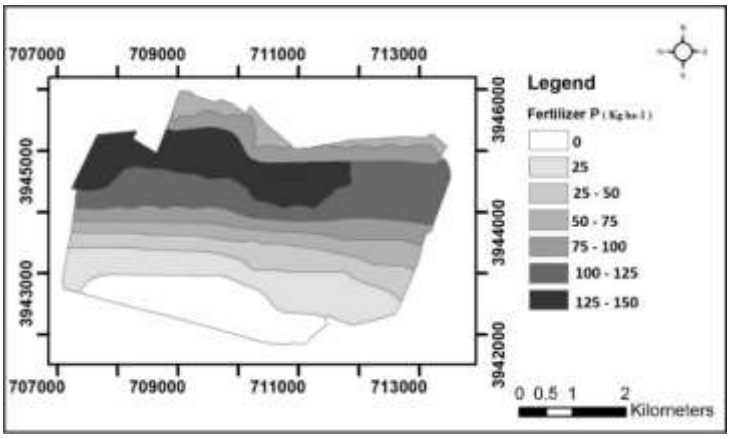


شکل ٦- نقشه مدیریت مصرف کود اوره در گندم در خاک‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ

جدول ٤- مقایسه مصرف کود اوره براساس مدل (نقشه پهنه‌بندی کریجینگ)

تفاوت مصرف کل کود (kg)	تفاوت مصرف در هکتار (kg/ha)	میانگین مقدار مصرف زارعین (kg/ha)	مقدار مصرف مدل (kg/ha)	مساحت (ha)
۷٦٥۰	+٥۰	۳۰۰	۲٥۰	۱٥۳
۱۰۸۷٥	+۷٥	۳٥۰	۲۷٥	۱٤٥
٥٥٥۰	+۲٥	۳۲٥	۳۰۰	۲۲۲
۰	۰	۳۲٥	۳۲٥	٤۹۲
۰	۰	۳٥۰	۳٥۰	۹٥۲
۰	۰	۳۷٥	۳۷٥	۳۸۰
-۷۸۰۰	-٥۰	۳٥۰	٤۰۰	۱٥٦

شکل ۷ و جدول ٥ نشان می‌دهند در هر یک از محدوده هایی که تفاوت معنی‌داری در مصرف کودفسفاته در حد ۲٥ کیلو گرم دارند، مقادیر مصرف کود توسط زارعین خیلی بیشتر از نیاز واقعی می‌باشد و مقدار آن در مورد کود فسفاته در مقایسه کود ازته و پتاسه خیلی زیاد است. با توجه به آلایندگی این کود و از طرفی قیمت بالای آن نتایج از دیدگاه اقتصادی و زیست‌محیطی از اهمیت زیادی برخوردار است. در مجموع در کل منطقه مورد مطالعه ۹٤٥۰۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل بیشتر از نیاز مصرف می‌شود.

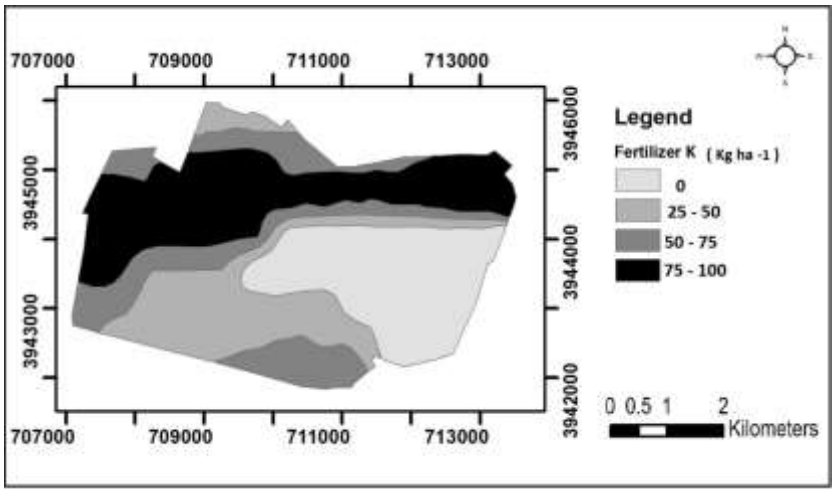


شکل ۷- نقشه مدیریت مصرف کود سوپرفسفات تریپل در گندم در خاک‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ

جدول ٥- مقایسه مصرف کود سوپرفسفات تریپل براساس مدل (نقشه پهنه‌بندی کریجینگ)

میانگین مصرف زارعین (kg/ha)	تفاوت مصرف کل کود (kg)	تفاوت مصرف در هکتار (kg/ha)	مقدار مصرف مدل (kg/ha)	مساحت (ha)
۱۰۰	٤۸۷٥۰	+۱۰۰	۰	۳۲٥
۱۲٥	٤۸۷٥۰	+۱۰۰	۲٥	۳۹۰
۱۰۰	۲٥۳۰۰	+٥۰	٥۰	۲٥۳
۱۲٥	۱۹۸۷٥	+٥۰	۷٥	۲٦٥
۱۰۰	۱۹۲۰۰	۰	۱۰۰	۳۸٤
۱٥۰	۱۳۷٥۰	+۲٥	۱۲٥	٥٥۰
۱۰۰	۰	-٥۰	۱٥۰	۳۳۳

مصرف کود پتاسه توسط کشاورزان در محدوده مورد مطالعه در مقایسه با کود ازته و فسفره کمتر است دلیل آن کمبود شدید این کود در بازار و وارداتی بودن آن می‌باشد. شکل ۸ و جدول ٦ نشان می‌دهند، بخش عمده‌ای از خاک‌های منطقه نیاز به مصرف کود پتاسه ندارند. بنابراین مصرف نامتعادل آن موجب ضرر اقتصادی برای کشاورزان خواهد شد. در مجموع در کل منطقه مورد مطالعه ٤٧٦٢٥ کیلو گرم کودسولفات پتاسیم بیشتر از نیاز مصرف می‌شود.



شکل ۸- نقشه مدیریت مصرف کود سولفات پتاسیم درگندم در خاک‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ

جدول شماره ٦- مقایسه مصرف کود سولفات پتاسیم براساس مدل (نقشه پهنه بندی کریجینگ)

تفاوت مصرف کل کود (kg)	تفاوت مصرف در هکتار (kg/ha)	میانگین مصرف زارعین (kg/ha)	مقدار مصرف مدل (kg/ha)	مساحت (ha)
۳۱۰۰۰	+۵۰	۵۰	۰	٦۲۰
۲۹۷۵۰	+۵۰	۱۰۰	۵۰	۵۹۵
۱۳۱۲۵	-۲۵	۱۰۰	۷۵	۵۲۵
۰	۰	۷۵	۱۰۰	۷٦۰

عناصر مورد مطالعه

فسفر: میزان فسفر قابل جذب در ۳۵/۲ درصد از اراضی تحت مطالعه در محدوده کم، ۳۱/٦ درصد در محدوده متوسط و ۳۳/۲ درصد از خاک‌ها در محدوده حد کفایت برای محصول گندم می‌باشد. با توجه به اینکه بیش از ۳۳ درصد از اراضی فسفر قابل جذب در حد کفایت بود به نظر می‌رسد، کاربرد کود فسفاته در این اراضی بر اساس نیاز واقعی نبوده و مصرف یکنواخت این کود توسط زارعین در اراضی صورت می گیرد.در صورت ادامه این روند افزایش تجمع بیشتر فسفر در اراضی زراعی را به دنبال خواهد داشت که ضمن آلودگی های زیست محیطی، باعث کاهش جذب سایر عناصر ریزمغذی از جمله روی و آهن می گردد. حد کفایت عناصر در خاک برای فسفر و پتاسیم به ترتیب ۱۵ و ۳۰۰ میلی گرم بر کیلو گرم و برای کربن آلی خاک ۱/۵ درصد می‌باشد (Malakouti *et al.*, 2007).

پتاسیم: پتاسیم قابل جذب در ۹/۳ درصد از اراضی در محدوده کم، ۷٤/٤ درصد از اراضی در حد نسبتا کافی و ۱٦/۳ درصد از اراضی میزان پتاسیم بیشتر از حد کفایت بود. نتایج نشان می دهد خاکهای منطقه از نظر عنصر پتاسیم وضعیت حاصلخیزی مطلوبی دارند. بنابراین در ٤٦ درصد از اراضی پتاسیم بیشتر از ۳۰۰ میلی گرم بر کیلو گرم است، نیازی به کود پتاسیم ندارند و در سایر اراضی مصرف ۵۰ تا ۱۰۰ کیلو گرم کود سولفات پتاسیم برای محصول گندم در منطقه کفایت می نماید.

کربن آلی: نقشه پراکنش کربن آلی نشان می دهد در بیش از ۹۰ درصد از اراضی مقدار کربن آلی کم است و با توجه به نقش ماده آلی در حاصلخیزی و باروری خاک کمبود آن از مشکلات اساسی کشاورزی منطقه مورد مطالعه می باشد. بنابراین پیشنهاد می گردد، در جهت بهبود و افزایش ماده آلی خاک اقدام موثری از طریق برگرداندن بقایای گیاهی، کود سبز وکودهای آلی به خاک توسط زارعین صورت گیرد. طبق این پژوهش تمامی خاک ها نیاز به کود ازته دارند به بعنوان عنصر کلیدی در افزایش تولید گندم مصرف آن از مقدار ۲۰۰ تا ٤۰۰ کیلوگرم در پهنه مورد مطالعه برای محصول گندم مورد نیاز است.

نتیجه‌گیری

ارزیابی پراکنش عناصر غذایی و تهیه نقشه حاصلخیزی خاک بعنوان اطلاعات پایه منابع اراضی برای بهینه سازی مصرف کود مطرح است. با کمک گرفتن از روش های نوین زمین آمار و GIS می‌توان با هزینه کمتر و با دقت بالا پهنه بندی عناصر خاک را مشخص نمود. نتایج نشان داد، استفاده از زمین آمار و روش کریجینگ برای ارزیابی تغییرات مکانی در خاک مناسب است. بنابراین پیشنهاد می‌شود برای تهیه پراکنش عناصر غذایی و نقشه حاصلخیزی خاک از این روش در مزارع و دشت های مهم زراعی استفاده گردد.

در اکثر پژوهش‌ها عموماً به مبانی و اصول، تغییرپذیری خاک و پراکنش مکانی عناصر غذایی تأکید شده است. به نکات کاربردی آن در تهیه نقشه پهنه‌بندی مدیریت مصرف کود در محصولات زراعی پرداخته نشده است. در حالیکه این پژوهش توانسته است علاوه بر تاکید بر یافته های قبلی از دیدگاه دیگر، نقشه پهنه‌بندی و مقدار مصرف کود را بصورت نمونه در محصول گندم، به‌صورت پژوهشی کاربردی برای کلیه پژوهشگران، کارشناسان و بهره‌برداران بخش کشاورزی ارائه نماید. این روش می‌تواند بعنوان الگویی برای تهیه نقشه پهنه‌بندی مدیریت مصرف کود برای سایر محصولات زراعی کاربرد داشته باشد. در کل محدوده مورد مطالعه مجموعا ۱۵۸٤۰۰ کیلو گرم انواع کود، بیش از نیاز به مصرف می‌رسید. بنابراین اینگونه پژوهش‌ها می‌تواند با تعیین مقدار نیاز واقعی کود مصرفی در مزرعه ضمن مصرف متعادل کودها، از آلودگی زیست محیطی، تخریب خاک و ضرر اقتصادی به دولت و کشاورزان جلوگیری کند.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از معاون محترم پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد در حمایت از این پژوهش و از معاون تولیدات گیاهی سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی و رئیس مرکز خدمات جهاد کشاورزی جلگه رخ که در انجام این طرح پژوهشی همکاری کرده‌اند، تشکر و قدردانی می شود.

REFRENCES

Afshar, H., Salehi, M. H., Mohammadi, J. and Mehnatkesh, A. 2009. Spatial Variability of Soil Properties and Irrigated Wheat Yield in aQuantitative Suitability Map, A Case Study: Shahr-e-Kian Area, Chaharmahalva-Bakhtiari Province. *Water and Soil*. 23:1, 161-172 (In Farsi).

Ahmah auli, K. H., Nikmahr, C. and Liaghat, A. 2008. Kriging and co-kriging estimation methods to evaluate the depth of soil salinity and acidity A Case Study: Bukan land area. *Iranian Journal of Water*. 2:3, 55-64 (In Farsi).

Aishah, A. W., Zauyah, S., Anuar, A. R. and Fauziah, C. I. 2010. Spatial variability of selected chemical characteristics of paddy soils in Sawash Sempadon, Selangor, Malaysia. *Malaysian Journal of Soil Science*. 14: 27-39.

Annual Statistics, 2016. Agricultural Organization of Khorasan Razavi.

Ayoubil, Sh., Mohammad Zamani, S. and Khormali, F. 2007. Prediction total N by organic matter content using some geostatistic approaches in part of farm land of Sorkhankalateh, GolestanProvince. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*. 14(4), 78-87 (In Farsi).

Banai, M. H. 1998. Map of soil moisture regimes heat Iran, soil and water research institute. Detailed studies of soil detailed and Lands classification agricultural research station, Rokh Plain, Torbate-e-Heydaryeh, Khorasan-Razavi Province, *Technical Bulletin* No.996, Soil and Water Research Institute Iran.

Baoa, Z., Wu., W., Liu, H., Yin, S. and Chen, H. 2014. Geostatistical analyses of spatial distribution and origin of soil nutrients in long-term wastewater-irrigated area in Beijing, China. ActaAgriculturaeScandinavica, Section B – *Soil and Plant Science*. 64: 235–243.

Bhunia, S. G., Kumar Shit, P. and Mait, R. 2016. Comparison of GIS-based interpolation methods for spatial distribution of soil organic carbon (SOC), *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 15(1), 1-13.

Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Turco, R.F. and Konopka, A. E. 1994. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils, *Soil Sci. Soc. Am. J*. 58: 1501-1511.

Enayat zamir, Kh. Gh. 2004. Spatial variation of Pb Farm Soils College of Agriculture, *Soil Master's thesis, Department of Agriculture*. Tehran University.121p.

Gee, W. G., and Dani, O. 1996. Particle size analysis, p475-490. In G.S. Campbell, et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis.Part4, Physical methods by *Soil Sci. Soc. Of Am. Inc*. adison, Wisconsin, USA.

Gupta, P. K. 2004. Soil, Plant, Water and Fertilizer Analysis. *Agrobios* (India), 350pp.

Hasani Pak, A. 2006. Geostatistic. University Tehran Press. 314p. (In Farsi).

Isimail, M. H. and Junusi, R. 2009. Determining and mapping soil nutrient content using geostatistical technique in a Durian orchard in Malaysia. *Journal of Agricultural Sceince.* 1(1): 86-91.

Jalali, V. R., Khashei Siouki, A. and M. Homaee. 2013. Comparing geostatistics techniques and nonparametric k-nearestneighbor technique for predicting soil saturated hydraulic conductivity. *J. of Water and Soil Conservation*. 20(5),147- 162.

Johenson, R. A. and Wichern, D. W. 1988. Applied Multivariate Statistical Analysis. Prentice Hall، 605 p.

Jones, J. B. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC press, 384pp.

Jiachun. Sh., Haizhen, W., Jianming, X., Jianjun, W., Xingmei, L. and Haiping, Z. 2007. Spatial distribution of heavy metals in soils: a case study of changxing, china. *Environ Geol*. 52:1-10.

Jiang, J., Huo, Z., Feng, Sh., Zhang, Ch.2012. Effect of irrigation amount and water salinity on water consumption and water productivity of spring wheat in Northwest China, *Field Crops Research*. 137:78-88, doi: https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.08.019.

Juang, K. W. 1998. A comparison of three kriging methods using auxiliary variables in heavy metal contaminated soils. *J. Environ. Qual.* 27, 355-363.

Khademi, Z. P., Mohajermilani, M. R., Balani, M. S., Dorodi, K., Shahbazi, M. and Malakouti, M.J. 2002. Comprehensive Computer Model for Fertilizer Recommendation Towards Sustainable Agriculture, Ministry of Jihad-Agriculture.

Karczmarczyk, G. and Renman, A. 2011. Phosphorus accumulation pattern in a subsurface constructed wetland treating residential wastewater. *Water*. 3: 146-156.

Kazemi Poshtmasari, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Kamkar, B., Shataei, sh. and Sadeghi, S. 2012. Evaluation of Geostatistical Methods for Estimating and Zoning ofMacronutrients in Agricultural Lands of Golestan Province, *Journal of Water and Soil Science*. 22(1):201 – 218.

Hodakarami, L., Soffianian, A. R., Mohamadi Towfigh, E. and Mirghafari, N. A. 2011. Study of heavy metals concentration Copper, Zinc and Arsenic soil using GIS and RS techniques (Case study: Kaboudarahang, Razan and Khonjin- Talkhab catchment inHamedan province). *Journal of Applied RS & GIS Techniques in Natural Resource Science*. 2:1. 79-89. (In Farsi)

Li, T., Xie, Y., Gao, Z. 2019. Year-round film mulching system with monitored fertilization management improve grain yield and water and nitrogen use efficiencies of winter wheat in the dryland of the Loess Plateau, China. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 26, 9524–9535. doi: https://doi.org/10.1007/s11356-019-04337-5.

Liang, W., Zhang, Zh., Wen, x., Liao, Y., Liu, Y. 2017. Effect of non-structural carbohydrate accumulation in the stem pre-anthesis on grain filling of wheat inferior grain, *Field Crops Research*. 211: 66-76, doi: https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.06.016.

Loeppert, R. H. and Suarez, D. L. 1996. Carbonate and Gypsum, p 437-490. In D. Nelson, et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical methods. Pub. by: *Soil Sci. Soc. of Am., Inc*. Madison, Wisconsin, USA.

Luo, W., Wang, T., Lu, Y., Giesy, J. P., Shi, Y., Zheng, Y., Xing, Y. and Wu, G. 2007. Landscape ecology of the Guanting Reservoir, Beijing, China: Multivariate and geostatistical analyses of metals in soils. *Environmental Pollution*. 146: 567-576.

Mahammadi, J. 2001. Review Fundamentals of Geostatistics and its Application to Soil Science. *Journal of Soil Science and Water*.15:1.99-119.

Mahmmodi, Sh. And Hakimian, M. 2006. Fundamentals of Soil Science, TehranUniversity Press.

Malakouti, M. J., Moshiri, F. and Gheibi, M. N. 2007. The optimal concentration of nutrients in the soil and some crops, *Technical Journal*. 405. Institute of Soil and Water Research.

Miller, M. P., Singer, M. J. and Nielson, D. R. 1988. Spatial variability of wheat yield and soil properties oncomplex hills. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:1133-1141.

Olsen, S. R. and Khasawneh, F. E. 1980. Use and limitation of physical-chemical criteria for assessing the state of phosphorus in soils. P 361-404, In: *The Role of Phosphorus in Agriculture* . (eds.), Khasawneh, F.E., Sample, E.C., and Kamprath, E.J. 361-404.

Robinson, T. P. and Metternicht, G. 2006. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties, *Computer and Electronics in Agriculture.* 50:97-108.

Sokouti Oskooei, R. and Mahdian, M. H. 2011. Spatial variability of macronutrient for soil fertilization management: A case study on Urmia plain. *International Journal of Soil Science.* 6: 49-59. (In Farsi).

Sun, B. S., Zhou, L. and Zhao, Q. G. 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. *Geoderma*. 115(1): 85-99.

Vieira, S. R. and Paz Gonzalez. A. 2003. Analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots. Bragantia, *Campinas* 62:127-138.

Voltz, M., Lagacherie, P., Louchart, X. 1997. Predicting soil properties over a region using sample information from a mapped reference area. Eur. *J. of soil science*. 48, 19-30.

Walkley, A. and Black, I. A. 1982. Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Sci*. 37: 29-38.

Wang, H., Jin, J. Y. and Wang, B. 2006. Improvement of soil nutrient management via information technology. *Journal of Better Crops*. 90(3), 30-32.

Wang, Y., Zhang, X., Chen, J., Chen, A., Wang, L., Guo, X., Niu, Y., Liu, Sh., Mi, G., Gao, Q. 2019. Reducing basal nitrogen rate to improve maize seedling growth, water and nitrogen use efficiencies under drought stress by optimizing root morphology and distribution, *Agricultural Water Management*. 212: 328-337, doi: https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.010.

Webster, R. and Oliver, M. A. 2001. Geo statistics for environmental science. *John Wiley and sons*. LTD. Toronto, Canada. PP: 271.

Xiaopeng, Y. and Lingqing, W. 2008. Spatial Analysis and Hazard Assessment of Mercury in Soil around the Coal-Fired Power Plant: A Case Study from the City of Baoji, China. *Environ Geol*. 53: 1381- 1388.

Yong, J. L., Wenju, W. and Yuge, Z. 2005. Spatial heterogeneity of DTPA-extractable zinc in cultivated soils indused by city pollution and land use. *Journal of Science in China Ser. C life Sciences*.48: 82- 91.

Zewdu, Sh., Suryabhagavan, k. V., and Balakrishnan, M. 2017. Geo-spatial approach for soil salinity mapping in Sego Irrigation Farm, South Ethiopia, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 16:16 – 24.

Sustainable Agricultural Science Research /Vol. 2/No. 4/Winter 2023/P: 34-54

https://www.sarj.iauk.ac.ir

Evaluation of Nutrient Elements Distribution in Soil to Optimize Fertilizer's Consumption by Wheat Cultivation

Ali Bagherzadeh[1*], Mahdi Abbaszadeh[2], Ehsan Afshar[2]

[1] Associate professor, Department of Agriculture, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

[2]Department of Agriculture, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

* Corresponding Author's Email: abagherzadeh@mshdiau.ac.ir

(Received: January. 7, 2023 – Accepted: March. 20, 2023)

ABSTRACT

In this research, the spatial distribution of nitrogen, phosphorus and potassium on agricultural lands in Jolge Rokh, Torbat-e-Heydarieh county, Khorasan-e-Razavi province was evaluated using the Geo-statistics. Thus, over 100 soil samples were collected from fields. The values of these parameters were measured for each sample in the soil lab. Evaluation criteria in this study were the mean absolute error and the second root mean square of the residual error using the mutual evaluation validation method. variogram the draw for all elements. After estimating semi variogram model, the validation of the fitted pattern was done by estimating the error. After approving the Variogram, the Kriging interpolation function was applied to map the distribution of the nutrient elements in the study area. Our results revealed that the nutrient elements had different spatial distribution in the plain. The percent of soil organic carbon in 90% of the study area was lower than the critical limits of nitrogen and the values of available Phosphorous and potassium were respectively in 32.2% and 46% of the lands were higher than the critical limits of nitrogen. In general, mapping nutrient elements distribution by Geo-statistical procedures is known as applicable tool in demonstrating the deficiency or excess of the nutrient elements in soil and optimizing fertilizers consumption in plants nutrition.

Keywords: Kriging, Wheat, Jolge Rokh, GIS, Geo-statistics.