نشریه علوم آب و خاک
سال بیست و هفتم / شماره اول / بهار ۱۴۰۲ / مقاله علمی- پژوهشی: صفحات ۱۸۹ تا ۲۰۱

ارزیابی تغییرات مکانی کیفیت فیزیکی خاک یک مزرعه کلزا (*Brassica napus*) در منطقه بیلوار کرمانشاه

فاطمه مؤمنی و علی‌اشرف امیری‌نژاد[1*]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۱۵)

چکیده

درکشاورزی دقیق، سیستم رتبه‌بندی قابلیت تولید یک ابزار مهم در ارزیابی کمّی کیفیت خاک است. به‌منظور ارزیابی تغییرات مکانی شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک یک مزرعه کلزا (Brassica napus)، مطالعه‌ای در دشت بیلوار کرمانشاه انجام شد. تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک در یک شبکه منظم (ابعاد ۱۰۰ ×۱۰۰ متر) با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار و نرم افزار ArcGIS انجام شد. پنج پارامتر مهم فیزیکی خاک شامل جرم مخصوص ظاهری (BD)، تخلخل غیرموئینگی (NCP)، هدایت هیدرولیکی اشباع (Ks)، رطوبت قابل دسترس (AWC) و کربن آلی (OC) خاک تعیین شدند. شاخص رتبه‌بندی فیزیکی (PRI) در هر نقطه نمونه‌برداری نیز با حاصل‌ضرب ارزش پنج پارامتر مورد بررسی تعیین گردید. نتایج نشان داد که دامنه تأثیر نیم‌تغییرنما (سمی‌واریوگرام) برای پارامترهای Ks و AWC بین ۱۳۷ تا ۱۴۵ متر و برای پارامترهای BD، OM و NCP به نسبت بلند (۱۶۱ تا ۲۰۵ متر) بودند. ساختار مکانی رس و تخلخل غیرموئینگی متوسط (به ترتیب برابر با ۰/۶۸ و ۰/۲۸) و بقیه پارامترها ضعیف به‌دست آمد. همچنین، همبستگی بین PRI و عملکرد بیولوژیکی کلزا به نسبت خوب بود (R^2=۰/۶۸). بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی ویژگی‌های فیزیکی خاک بیانگر افزایش BD و کاهش پارامترهای AWC و NCP، به تناسب تغییر بافت خاک و میزان ماده آلی در بعضی نقاط مزرعه بود. بطور کلی، شاخص PRI یک ابزار مهم در ارزیابی کمّی شرایط فیزیکی خاک است که با توجه به آن و بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی، می‌توان در راستای بهبود کیفیت فیزیکی خاک در مزارع کشاورزی اقدام کرد.

واژه‌های کلیدی: زمین‌آمار، شاخص رتبه‌بندی فیزیکی، عملکرد بیولوژیکی، کلزا

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: aliamirinejad@yahoo.co.uk

مقدمه

خاک، به‌عنوان جزئی از اکوسیستم، دارای تغییرپذیری مکانی در ویژگی‌های مختلف است. تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک به دلیل تأثیر متفاوت عوامل پدولوژیک و زمین‌شناخت در طی فرایند تشکیل و تکامل خاک است (۲۴). در مزارع کشاورزی، به علت اینکه در اثر عوامل مدیریتی مانند شخم‌زدن این تغییرات ممکن است تشدید یابند، اطلاع از تغییرات مکانی خاک جهت اعمال مدیریت مناسب در راستای کشاورزی پایدار حائز اهمیت است (۱).

مدیریت پایدار خاک مستلزم ارزیابی کیفیت سلامت خاک برای یک برنامه‌ریزی استراتژیک مناسب است. در مطالعات ارزیابی کیفیت خاک، تعدادی از ویژگی‌های محدودکننده پتانسیل تولید انتخاب تا شیوه‌ی مدیریت خاک بر عملکرد محصول بررسی شود (۲۱). به‌عنوان مثال، عملکرد گیاهان به‌وسیله مقاومت فیزیکی خاک در برابر رشد ریشه تحت تأثیر قرار می‌گیرد که البته خود متأثر از ویژگی‌هایی مانند جرم مخصوص ظاهری، بافت خاک، ثبات خاکدانه و اندازه منافذ خاک است. انتخاب این ویژگی‌ها برحسب بیشترین همبستگی با کیفیت خاک و سهولت اندازه‌گیری آنها صورت می‌گیرد (۱۸).

گلسر و همکاران (۸) در بررسی تغییرات مکانی خصوصیات فیزیکی خاک یک زمین زراعی اعلام کرده‌اند که الگوی تغییرات مکانی شن، سیلت و رس تابع جهت جغرافیایی نبوده و به عبارتی همسانگرد بودند. همچنین، ساختار مکانی بیشتر ویژگی‌های خاک نظیر هدایت هیدرولیکی و مقادیر رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی قوی بوده است. آنها در ترسیم نیم‌تغییرنمای ویژگی‌های مورد بررسی خاک از مدل کروی استفاده کرده‌اند.

امیری‌نژاد و همکاران (۱) نیز ضمن بررسی تغییرات مکانی ویژگی‌های فیزیکی خاک یک مزرعه تحت کشت متناوب گندم و برنج، شاخص سلامت فیزیکی خاک را با استفاده از ویژگی‌های فیزیکی تعیین کرده‌اند. به عقیده آنها، شاخص سلامت فیزیکی خاک ابزاری مناسب در بررسی کمّی کیفیت خاک بوده و می‌تواند در مدیریت خاک مزرعه مفید باشد. به عبارت دیگر، بررسی تغییرات مکانی ویژگی‌های فیزیکی خاک مزارع تحت کشت برای اصلاح مدیریت زمین مفید و لازم بوده و البته بین خصوصیات فیزیکی خاک و عملکرد محصولات کشاورزی یک همبستگی متوسط تا خوب وجود داشته است (۳).

کلزا (*Brassica napus*) گیاهی روغنی از خانواده شب‌بو (*Brassicaceae*) است که دانه آن ۴۸-۴۰ درصد روغن دارد. روغن کلزا بدلیل ترکیب مناسب اسیدهای چرب غیراشباع و درصد پایین اسیدهای چرب اشباع یکی از با کیفیت‌ترین روغن‌های خوراکی است. همچنین، کنجاله آن ۴۰-۳۵ درصد پروتئین داشته و به‌عنوان یکی از مناسب‌ترین منابع در تغذیه دام و طیور به کار می‌رود (۱۰). میزان تولید کلزا در جهان ۲۸/۲ میلیون تن بوده که جایگاه سوم را در بین دانه‌های روغنی دارا است (۴). در حال حاضر، بیش از ۱۸۳ هزار هکتار از زمین‌های کشور زیر کشت کلزا قرار دارد که از این اراضی حدود ۲۹۵ هزار تن دانه روغنی برداشت می‌شود. استان کرمانشاه به‌عنوان یکی از تولیدکنندگان برتر تولید کلزا در کشور است (۷).

نظر به اهمیت بررسی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک، در دو دهه اخیر و همزمان با ارائه سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، از روش‌های زمین‌آمار برای درون‌یابی و تخمین دقیق خصوصیات خاک استفاده شده است. به عبارت دیگر، با کارگیری سامانه GIS و تلفیق نقشه‌های فضایی مختلف مربوط به یک مکان خاص، اطلاعات جدیدی قابل استخراج است تا بتوان یک راهکار مناسب در جهت بهبود شرایط فیزیکی و قابلیت تولید خاک اتخاذ کرد.

از آنجا که تاکنون مطاالعات جامعی در زمینه بررسی کیفیت فیزیکی خاک مزارع کلزا صورت نگرفته است، این پژوهش با هدف ارزیابی تغییرات مکانی شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک یک مزرعه کلزا (*Brassica napus*) در دشت بیلوار کرمانشاه انجام شد. پهنه‌بندی ویژگی‌های خاک در یک شبکه منظم با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار و نرم افزار ArcGIS-9.2 صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تغییرات مکانی کیفیت فیزیکی خاک، ۶۵ نقطه مشاهداتی در قالب یک شبکه منظم با ابعاد ۱۰۰ ×۱۰۰ متر در یک مزرعه کلزا با مساحت ۴۳ هکتار در منطقه بیلوار کرمانشاه (35° 17′39″ N, 47° 32′04″ E) تعیین شد (شکل ۱). رده خاک منطقه اینسپتی‌سول (Inceptisol) و بافت غالب خاک سطحی لوم‌رسی (Clay loam) بود.

در هر نقطه مطالعاتی، نمونه‌برداری خاک به صورت دست‌خورده و به هم خورده از لایه‌های سطحی (۳۰-۰) و زیرین (cm ۶۰-۳۰) انجام شد. در آزمایشگاه خصوصیات فیزیکی مهم شامل بافت خاک با روش هیدرومتر (۶)، جرم مخصوص ظاهری به روش استوانه (۱۲)، ماده آلی خاک با روش اکسایش با دی کرومات پتاسیم (۲۲) و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با روش بار ثابت (۱۲) تعیین شد. با اندازه‌گیری مقادیر رطوبت خاک در حالت اشباع (θ_{SAT}) با روش ثقل سنجی (۱۲) و نیز ظرفیت زراعی (θ_{FC}) و نقطه پژمردگی دائم (θ_{PWP}) با دستگاه صفحات فشاری تحت پتانسیل ماتریک به ترتیب ۳۳ و ۱۵۰۰ kPa، تخلخل غیرموئینگی (NCP) و رطوبت قابل دسترس (AWC) با استفاده از روابط زیر تعیین شدند:

$$\text{Noncapillary porosity (NCP) (\%)} = \theta_{SAT}(\%v/v) - \theta_{FC}(\%v/v)$$

$$\text{Available water capacity (AWC) (\%)} = \theta_{FC}(\%v/v) - \theta_{PWP}(\%v/v)$$

انتخاب حداقل پارامترهای لازم برای محاسبه شاخص رتبه‌بندی فیزیکی خاک بر اساس نظریه اولیه گوپتا (۹) صورت گرفت. با توجه به این اصل کلی که اصلاح شرایط فیزیکی خاک موجب افزایش تولید محصول می‌شود، رتبه‌بندی پارامترهای فیزیکی خاک توسط این پژوهشگران، بر مبنای سه دهه آزمایش‌های تحقیقاتی در خصوص رابطه بین داده‌های عملکرد محصول و ویژگی‌های فیزیکی خاک صورت گرفته است. در این راستا، به هر ویژگی با بهترین کیفیت ارزش یک و با کمترین کیفیت ارزش ۰/۱ داده می‌شود. از آنجا که در منطقه مطالعاتی شیب زمین کمتر از یک درصد و عمق آب زیرزمینی زیاد بود، بنابراین اثر این دو پارامتر را نادیده گرفته و در تعیین شاخص رتبه‌بندی فیزیکی (PRI) برای محصول کلزا فقط پنج ویژگی جرم مخصوص ظاهری (BD)، تخلخل غیرموئینگی (NCP)، هدایت هیدرولیکی اشباع (Ks)، رطوبت قابل دسترس (AWC) و مقدار کربن آلی (OC) خاک در نظر گرفته شد. رتبه‌بندی پارامترهای فیزیکی خاک برای کشت کلزا در جدول ۱ آمده است. در هر نقطه نمونه‌برداری (مشاهداتی) نیز ابتدا با توجه به مقدار واقعی (اندازه‌گیری‌شده) هر ویژگی، ارزش (رتبه) آن مطابق جدول ۱ تعیین و بعد با حاصل‌ضرب ارزش پنج پارامتر، شاخص رتبه‌بندی فیزیکی (PRI) محاسبه گردید.

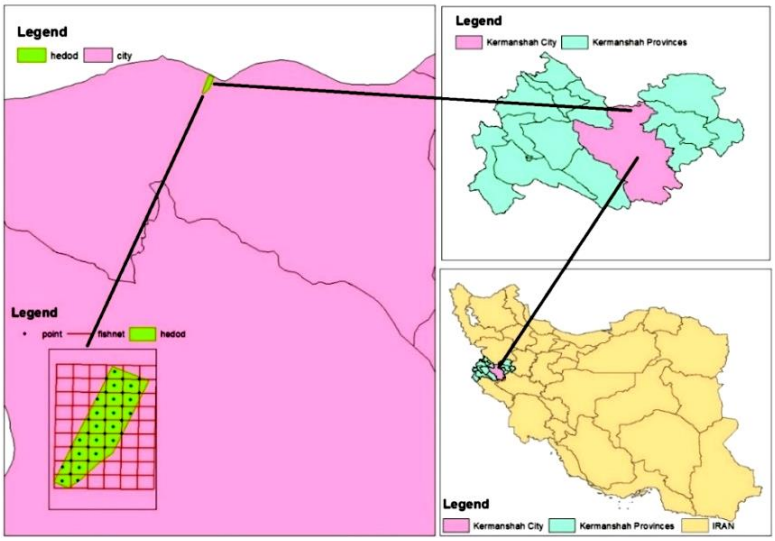
در بررسی تغییرپذیری ویژگی‌های خاک از روش کریجینگ استفاده شد. انتخاب مدل مناسب درون‌یابی بر پایه دو سنجه ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) صورت گرفت. سپس با در نظرگرفتن مدل مناسب نیم‌متغیرنما، نقشه‌های پهنه‌بندی پنج ویژگی فیزیکی خاک و PRI بوسیله نرم افزار ArcGIS-9.2 ترسیم شدند. قبل از استفاده از تخمین‌گر کریجینگ، نرمال‌بودن داده‌ها به وسیله آزمون کولموگروف- اسمیرنوف بررسی شد.

عملیات کاشت کلزا در مزرعه انتخابی با بذرکارهای مخصوص انجام شد. کودهای فسفره و پتاسه مورد نیاز به‌طور یکنواخت قبل از آخرین دیسک در سطح مزرعه پخش شد. در طول مرحله داشت نیز آبیاری به صورت بارانی انجام گرفت. در پایان فصل رشد و با رعایت حاشیه، عملیات برداشت محصول در نقاط مطالعاتی و در کرت‌هایی به مساحت ۴ مترمربع انجام و بر حسب kg/ha محاسبه شد. سپس، همبستگی بین PRI و عملکرد بیولوژیکی کلزا تعیین شد.

نتایج و بحث

آمار توصیفی ویژگی‌های خاک

بر طبق نتایج آمار توصیفی، ضریب تغییرات تمام ویژگی‌های خاک مورد بررسی کمتر از ۱۵ درصد بود (جدول ۲). این موضوع حاکی از تأثیر بیشتر عوامل ذاتی مانند مواد مادری بر این ویژگی‌ها است. به عبارتی، اگر ضریب تغییرات هر ویژگی



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی مزرعه و شبکه نمونه‌برداری خاک در منطقه مورد مطالعه (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۱. رتبه‌بندی پارامترهای فیزیکی خاک برای کشت کلزا

BD (Mgm^{-3})		NCP (%)		Ks ($cm\ h^{-1}$)		AWC (cmm^{-1})		OC (%)	
رتبه	دامنه	رتبه	دامنه	رتبه	دامنه	رتبه	دامنه	رتبه	دامنه
۱	۱/۳۵–۱/۴۵	۰/۹	>۱۵	۱	>۱	۰/۹۵	>۱۵	۱	>۱/۲
۰/۹۵	۱/۴۵–۱/۵	۱	۱۲/۱۵–۵	۰/۹۵	۱–۰/۵	۱	۱۲/۱۵–۵	۰/۹۵	۰/۹–۱/۲
۰/۹	۱/۵–۱/۵۵	۰/۹	۱۰–۱۲/۵	۰/۹	۰/۵–۰/۲	۰/۹	۱۰–۱۲/۵	۰/۹	۰/۶–۰/۹
۰/۸۵	۱/۵۵–۱/۶	۰/۸	۷/۱۰–۵	۰/۸۵	۰/۲–۰/۱	۰/۸۵	۷/۱۰–۵	۰/۸۵	۰/۴۵–۰/۶
۰/۸	۱/۶–۱/۶۵	۰/۷	۷–۵/۵	۰/۸	۰/۱–۰/۰۵	۰/۸	۷–۵/۵	۰/۸	۰/۳–۰/۴۵
۰/۷۵	۱/۶۵–۱/۷	۰/۶۵	<۵	۰/۷۵	۰/۰۵–۰/۰۱	۰/۷۵	<۵	۰/۷۵	۰/۲–۰/۳
۰/۷	۱/۷–۱/۷۵			۰/۷	<۰/۰۱				
۰/۶۵	۱/۷۵–۱/۸								

جدول ۲. آمار توصیفی ویژگی‌های خاک منطقه مورد مطالعه

متغیر	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (٪)
(٪) Sand	۳۲/۵	۴۳	۳۹/۰۷	۳/۰۱	۴/۵۸
(٪) Silt	۲۰	۲۹	۲۴/۰۹	۳/۲۹	۳/۸۴
(٪) Clay	۳۲	۴۳	۳۶/۹۱	۲/۲۶	۶/۰۲
($Mg.m^{-3}$) BD	۱/۲۴	۱/۶۵	۱/۴	۰/۱۳	۵/۱۲
($cm.m^{-1}$) AWC	۹/۱۴	۱۶/۶۳	۱۲/۸۱	۲/۰۹	۴/۳۶
(٪) OC	۰/۷	۱/۲۷	۱/۰۲	۰/۱۵	۱۰/۴۹
(٪) NCP	۱۱/۵	۱۳/۳	۱۲/۹۵	۰/۶۷	۸/۰۵
($cm.h^{-1}$) Ks	۰/۲۷	۰/۳۳	۰/۲۹	۰/۱۵	۴/۶۶

زیاد باشد بیانگر اثر عوامل مدیریتی بر آن است (۵). در بین ذرات معدنی، سیلت دارای کمترین ضریب تغییرات بود که به نظر می رسد به دلیل سرشت مواد مادری خاک منطقه (آبرفت آهکی از ارتفاعات بالادست) باشد. میانگین کربن آلی خاک نیز حدود یک درصد و نسبت به سایر پارامترهای مورد بررسی دارای بالاترین ضریب تغییرات بود. به علت اینکه مقدار ماده آلی خاک بیشتر تحت تأثیر عملیات مدیریتی قرار می‌گیرد، بنابراین دارای تغییرات مکانی بیشتری است. از طرف دیگر، عوامل ساختاری نظیر بافت خاک و اقلیم از فاکتورهای اصلی در تغییرپذیری مکانی کربن آلی خاک هستند (۱۷).

ضریب تغییرات رطوبت قابل دسترس خاک (AWC) نیز کم (۴/۳۶ درصد) بود. مقدار این ویژگی در خاک‌های منطقه تابعی از مقدار رس و درصد ماده آلی و تا حدودی مقدار سیلت بوده و به تناسب افزایش این پارامترها افزایش یافت. به عبارتی، در بخش شمالی مزرعه با بافت لوم‌شنی و درصد کربن آلی حدود ۰/۷ درصد، دارای کمترین مقدار (۹/۱۴) بود.

آنالیز نیم‌تغییرنما ویژگی‌های خاک

اولین قدم در آنالیزهای زمین‌آمار، بررسی وجود ساختار مکانی در بین داده‌ها با آنالیز واریوگرام است. البته در صورت غیرنرمال‌بودن داده‌ها (چولگی و کشیدگی زیاد)، به ساختار واریوگرام و نتایج کریجینگ آسیب وارد می‌شود (۱۳). در این راستا، در مطالعه حاضر جهت نرمال‌سازی داده‌ها از تبدیل‌گرهای ریشه دوم و لگاریتم استفاده شد و سپس با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف، نرمال‌بودن داده‌ها تایید شد.

بعد از محاسبه و ترسیم تغییرنماهای تجربی برای هر یک از ویژگی‌های خاک، با استفاده از پارامترهای مجموع مربعات باقی مانده خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) صحت الگوی مدل برازشی بررسی و مناسب‌ترین مدل نیم‌متغیرنما با کمترین خطای برآورد و بیشترین ضریب تبیین انتخاب شد. براین اساس، برای توصیف تغییرات مکانی ویژگی‌های کربن آلی، تخلخل غیرموئینگی و هدایت هیدرولیکی اشباع از مدل نمایی و برای مقادیر شن، سیلت، رس، جرم مخصوص ظاهری، عملکرد بیولوژیکی و نیز شاخص رتبه‌بندی فیزیکی از مدل کروی استفاده شد (جدول۳). گلسر و همکاران (۸) نیز در گزارش مطالعات خود بیان داشته که صفات شن و رس با مدل کروی و کربن آلی خاک با مدل نمایی بهتر برازش می‌شوند.

همچنین، در مطالعه حاضر دامنه تأثیر جرم مخصوص ظاهری ۱۶۱/۶۱ متر بود. از آنجا که تمامی دامنه تأثیر به‌دست آمده بیشتر از فاصله نمونه‌برداری است، این موضوع نشان می‌دهد که فواصل نمونه‌برداری در نظر گرفته شده به‌خوبی توانسته تغییرات مکانی این ویژگی را در خاک‌های منطقه نشان دهد. اقبال و همکاران (۱۱) نیز دامنه تأثیر جرم مخصوص ظاهری را ۵۰۰ متر و امیری نژاد و همکاران (۱) دامنه تأثیر این متغیر را ۲۷۵/۵ متر گزارش کرده‌اند. علت اختلاف در دامنه تأثیر، تفاوت در مقیاس مطالعه و فاصله نمونه‌برداری است. به عبارت دیگر، بعضی از خصوصیات خاک نظیر سرعت نفوذ، هدایت هیدرولیکی و جرم مخصوص ظاهری دارای تغییرات مکانی وابسته به مقیاس نمونه‌برداری هستند (۲۰).

مقدار اثر قطعه‌ای برای جرم مخصوص ظاهری کوچک (۰/۰۰۳) بود که دلیلی بر کم‌بودن تغییرات تصادفی در بررسی پراکنش مکانی آن است. اثر قطعه‌ای متأثر از فاکتورهایی همچون تغییرات ویژگی مورد بررسی در فواصلی کمتر از کوتاه‌ترین فاصله نمونه‌برداری، خطاهای آزمایشگاهی و یا دیگر تغییرات غیرقابل پیش‌بینی است که هر چه این مقدار نزدیک به صفر باشد بیانگر تغییرات تصادفی کمتر در روند تغییرات ویژگی مورد نظر است (۱۵). امیری نژاد و همکاران (۱) اثر قطعه‌ای برای ویژگی جرم مخصوص ظاهری را ۰/۰۰۲ گزارش کرده‌اند که به نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر نزدیک است. مقدار اثر قطعه‌ای برای تخلخل خاک متوسط (۰/۳۹) بود که مؤید متوسط‌بودن تغییرات تصادفی در بررسی پراکنش مکانی تخلخل است.

در بررسی تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک، نسبت واریانس اثر قطعه‌ای به واریانس کل (حد آستانه) ($C/(C+C_0)$)

جدول ۳. نتایج آنالیز نیم‌تغییرنما ویژگی‌ها و شاخص کیفیت فیزیکی خاک

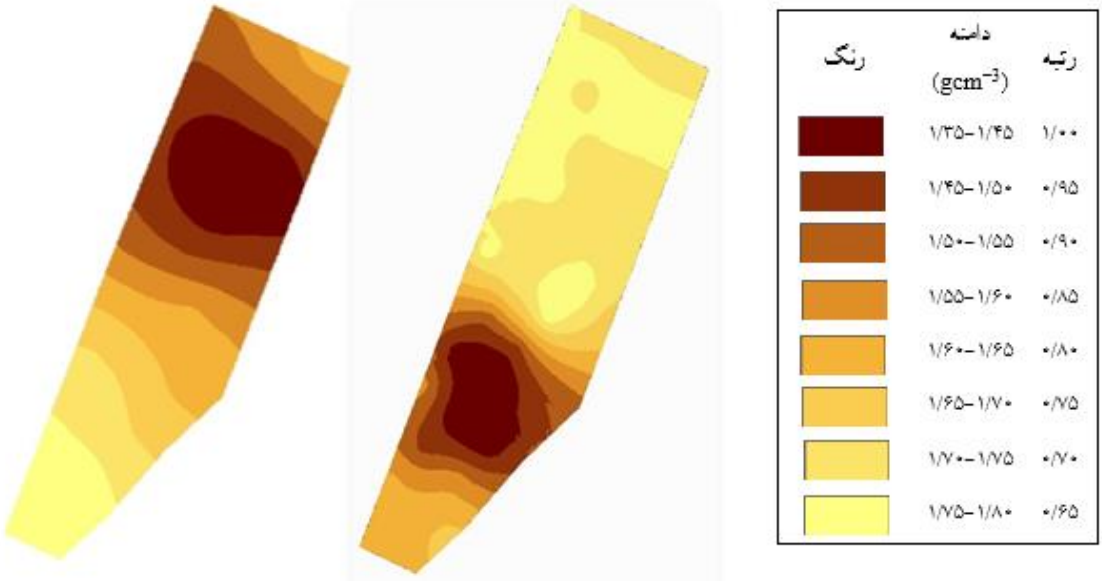
متغیر	مدل	اثر قطعه‌ای (C_0)	حد آستانه ($C+C_0$)	دامنه تأثیر (R)	$C_0/(C+C_0)$	R^2	RMSE
(٪) Sand	کروی	۰/۰۰۱	۸/۲۷۱	۲۶۴/۸۷	۰/۰۰۰۱۲۱	۰/۷۸	۱/۹۳
(٪) Silt	کروی	۰/۲۲	۱/۰۹	۱۹۲/۳۷	۰/۲۰۱۸	۰/۶۴	۲/۳
(٪) Clay	کروی	۰/۶۵	۰/۹۴۷	۳۲۷/۶۶	۰/۶۸۶۳	۰/۸۲	۲/۰۳
(g.cm^{-3}) BD	کروی	۰/۰۰۳	۰/۰۱۳	۱۶۱/۶۱	۰/۲۳۰۷	۰/۹۱	۰/۱۲
(cm.m^{-1}) AWC	Hole effect	۰/۰۹۵	۱/۱۲	۱۴۵/۱	۰/۰۸۴۸	۰/۷۸	۲/۵۴
(٪) OC	نمایی	۰/۰۰۹	۱/۰۵۹	۱۸۴/۷۷	۰/۰۰۸۵	۰/۶۸	۰/۱۳
(٪) NCP	نمایی	۰/۳۲	۱/۱۲	۲۰۴/۵۱	۰/۲۸۵	۰/۵۶	۳/۰۴
(cm.h^{-1}) Ks	نمایی	۰/۰۰۲	۱/۰۴۲	۱۳۷/۴۳	۰/۰۰۱۹	۰/۶۵	۰/۰۱۶
PRI	کروی	۰/۰۹۶	۱/۰۷۵	۲۶۳/۲۸	۰/۰۸۹۳	۰/۷۸	۰/۰۸۴
(Kg.ha^{-1}) BY	کروی	۰/۳۶۱	۰/۳۶۳	۹۱۷/۸۷	۰/۰۰۵۵	۰/۸۳	۱/۴۹

نشان‌دهنده استحکام ساختار مکانی است (۲). اگر نسبت مذکور بیش از ۰/۷۵ باشد ساختار مکانی قوی، بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ ساختار متوسط و نسبت کمتر از ۰/۲۵ بیانگر ساختار ضعیف است. بر طبق نتایج، ساختار مکانی رس و تخلخل غیرموئینگی متوسط (به ترتیب برابر با ۰/۶۸ و ۰/۲۸) و بقیه پارامترها ضعیف به‌دست آمد.

همچنین، در کنترل ناهمسانگردی (Anisotropy) اگر ساختار تغییرات یک متغیر مستقل از جهت جغرافیایی باشد، آن متغیر را همسانگرد و اگر دارای تغییرات مکانی متفاوت باشد، متغیر ناهمسانگرد است (۱۵). نظر به اینکه واریوگرام‌های رسم‌شده برای متغیرها در همه جهات مشابه بوده و پیوستگی مکانی یکسانی داشتند، یعنی متغیرها همسانگرد (Isotropic) بودند. به عبارت دیگر، ویژگی‌های مورد بررسی تحت تأثیر عوامل خارجی قرار نداشته‌اند. صفری و همکاران (۱۹) نیز اعلام کرده‌اند که الگوی تغییرات مکانی شن، سیلت و رس تابع جهت جغرافیایی نبوده و همسانگرد بوده‌اند. همچنین، همسانگردبودن خصوصیات رس، ماده آلی و آب قابل دسترس خاک گزارش شده است (۱۶).

رتبه‌بندی پارامترهای خاک برای کشت کلزا

پس از انتخاب مدل مناسب و یافتن پارامترهای بهینه درون‌یابی، نقشه پهنه‌بندی ویژگی‌های خاک منطقه مورد مطالعه تهیه شد. از آنجا که تمامی داده‌ها از توزیع نرمال برخوردار بودند، نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای خاک برای هر دو لایه سطحی و زیرسطحی به روش کریجینگ معمولی تهیه شد. نقشه رتبه‌بندی جرم مخصوص ظاهری (BD) با استفاده از مدل نیم‌متغیرنما کروی و در قالب یک سری خطوط رنگی تهیه شد (شکل ۲). محدوده پارامتر برای یک رنگ مشخص متناسب با ارزش رتبه اختصاص یافته تعیین شد. همان‌طور که پیش‌تر در در بخش مواد و روش‌ها توضیح داده شد، مقدار رتبه ۱ هر پارامتر برای محدوده ای اختصاص یافت که برای رشد گیاه بهینه بود و با انحراف از محدوده بهینه، مقدار امتیاز اختصاصی کاهش پیدا کرد. از آنجایی که کلاس بافت خاک منطقه، لومی‌رسی تا شنی‌لومی بود، بنابراین، در رابطه با پارامتر BD، دامنه ۱/۴۵–۱/۳ gcm^{-3} دارای رتبه ۱ (محدوده بهینه)، دامنه ۴۵/۵–۱/۱دارای رتبه ۰/۹۵ و به همین ترتیب دامنه ۱/۸۵–۱/۷۵ دارای رتبه ۰/۶۵ شد. به عبارتی، به تناسب افزایش جرم



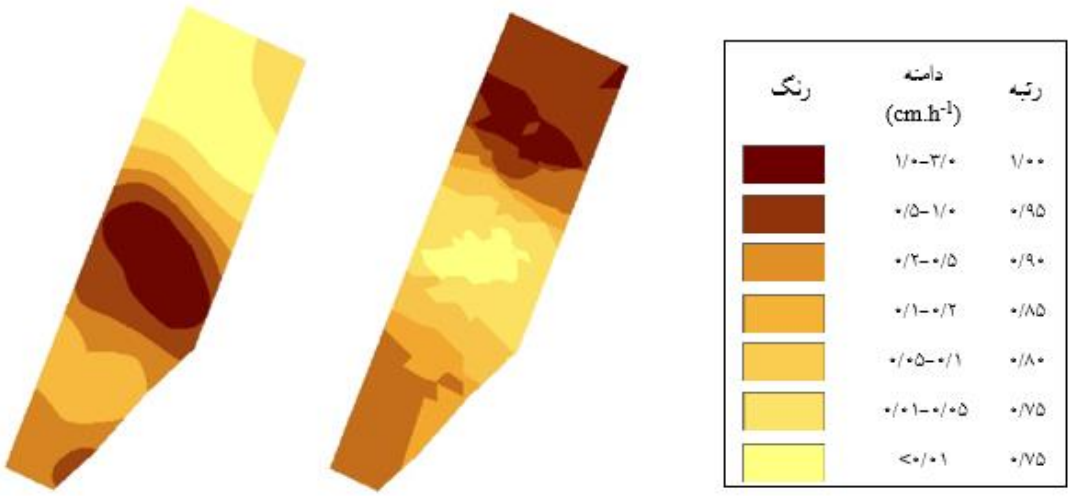
شکل ۲. نقشه پهنه‌بندی جرم مخصوص ظاهری (g.cm-3) لایه‌های ۳۰-۰ (چپ) و ۶۰-۳۰ (راست) سانتی‌متری خاک (رنگی در نسخه الکترونیکی)

مخصوص ظاهری، ارزش یا رتبه مربوطه مطابق جدول ۱ کاهش یافت. مقایسه مساحت تحت محدوده‌های مختلف BD نیز نشان داد که نزدیک به ۶۰ درصد از لایه های زیرسطحی متراکم است ($BD \geq 1.6\ gcm^{-3}$). به عبارت دیگر، نتایج بیانگر این است که تراکم خاک در لایه های زیرسطحی یک محدودیت شدید برای رشد و توسعه ریشه در خاک و تولید موفق محصول کلزا در منطقه مورد مطالعه است.

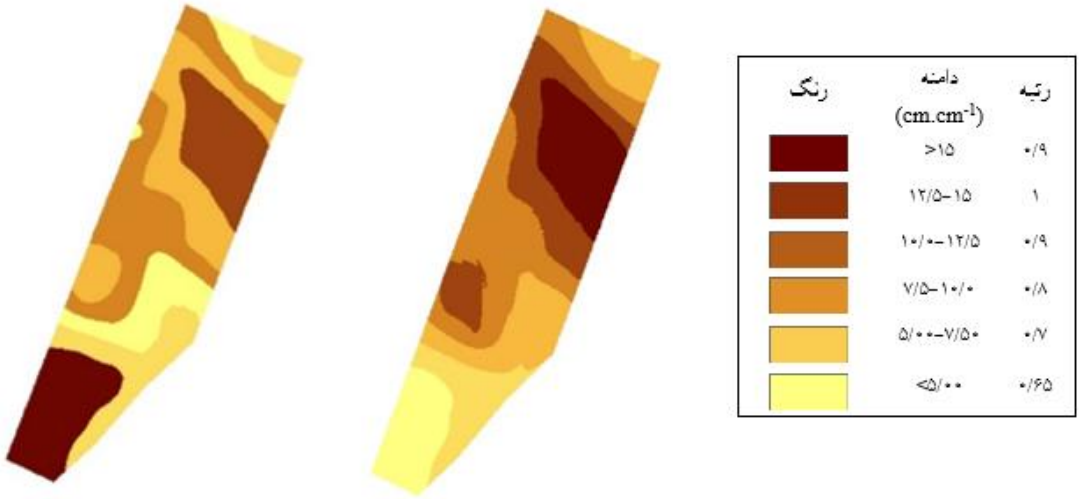
برای تهیه نقشه رتبه‌بندی هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) از مدل نمایی به‌عنوان بهترین مدل برای هر دو لایه سطحی و زیرین استفاده شد (شکل ۳). اقبال و همکاران (۱۱) نیز مدل نمایی را به‌عنوان بهترین مدل توصیف کننده تغییرات مکانی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک گزارش کرده‌اند. درحالی که دامنه تغییرات این پارامتر در خاک‌های منطقه بین ۰/۰۰۵ تا ۳ $cm.h^{-1}$ بود، محدوده بهینه (رتبه ۱) این پارامتر برای کشت کلزا ۳-۱ $cm.h^{-1}$ تعیین شده است. اراضی با K_s کمتر از ۰/۱ $cm.h^{-1}$ دارای رتبه ۰/۸ بوده که تقریباً ۴۰ درصد لایه زیرسطحی منطقه را در بر می‌گرفت. این اراضی در شمال منطقه مورد مطالعه واقع شده‌اند.

مقدار اثر قطعه‌ای هدایت هیدرولیکی اشباع خاک ۰/۰۰۲ (نزدیک به صفر) بود. مقدار اثر قطعه‌ای در شرایط ایده‌آل صفر است و بالارفتن مقدار آن به دلیل تغییرات مشخصه مورد بررسی در فواصل کمتر از فاصله نمونه‌برداری، خطای آزمایش و یا تغییرات تصادفی و غیرقابل کنترل ایجاد می‌شود (۱۱). دامنه تأثیر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک نیز ۱۳۷/۴۳ متر و بیشتر از فاصله نمونه‌برداری بود (جدول ۳). به عبارتی، فواصل نمونه‌برداری درنظر گرفته شده به‌خوبی توانسته است تغییرات مکانی این ویژگی را در خاک‌های منطقه نشان دهد.

تهیه نقشه رتبه‌بندی رطوبت قابل دسترس (AWC) با استفاده از مدل Hole effect برای هر دو لایه سطحی و زیرین تهیه شد (شکل ۴). دامنه تغییرات این پارامتر در خاک‌های منطقه بین ۴ تا ۱۸ $cm.m^{-1}$ و متناسب با تغییرات مقدار رس و جرم مخصوص ظاهری بود. به عبارتی، با افزایش درصد شن و یا کاهش مقدار رس خاک، مقدار رطوبت قابل دسترس کاهش یافت. همانطور که در معیارهای رتبه بندی فیزیکی پیشنهاد شده است (جدول ۱)، مقادیر AWC با ۱۵-۱۲/۵ $cm.m^{-1}$ به‌عنوان محدوده بهینه کشت کلزا در نظر گرفته شد که فقط حدود ۱۰



شکل ۳. نقشه پهنه‌بندی هدایت هیدرولیکی اشباع (cm.h-1) لایه‌های ۳۰-۰ (چپ) و ۶۰-۳۰ (راست) سانتی‌متری خاک (رنگی در نسخه الکترونیکی)

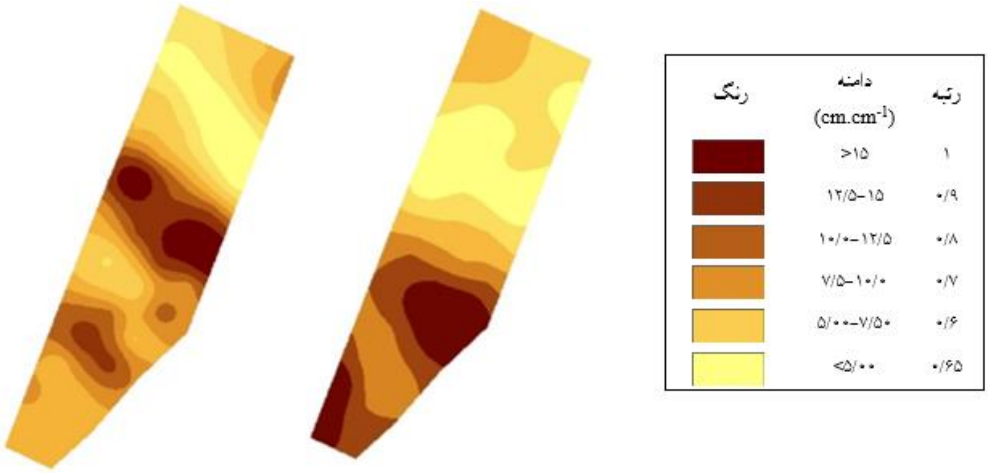


شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی رطوبت قابل دسترس (cm.cm-1) لایه‌های ۳۰-۰ (چپ) و ۶۰-۳۰ (راست) سانتی‌متری خاک (رنگی در نسخه الکترونیکی)

درصد اراضی را شامل شد. مقادیر کمتر از ۵ $cm\ m^{-1}$ دارای رتبه ۰/۶۵ بوده که تقریباً ۲۵ درصد مساحت لایه زیرسطحی را تشکیل می‌دهد. نتیجه اینکه فشردگی لایه زیرین باعث کاهش تخلخل کل و ظرفیت نگه‌داری آب در خاک شده که می‌تواند منجر به کاهش قابل توجه عملکرد محصول کلزا شود.

مقدار اثر قطعه‌ای رطوبت قابل دسترس ۰/۰۹۵ بود. کاویانپور و همکاران (۱۴) مقدار این آماره را ۱/۵ و ژانگ و همکاران (۲۳) مقدار آن را ۰/۰۷ گزارش کرده‌اند. به عبارتی، به دلیل این اختلافات، نمی‌توان از مقادیر مطلق اثر قطعه‌ای برداشت درستی از تغییرات سیستماتیک و تصادفی متغیر داشت (۱۵).

نقشه رتبه‌بندی تخلخل غیرموئینگی (NCP) با روش کریجینگ معمولی و مدل نمایی تهیه شد (شکل ۵). تخلخل غیرموئینگی با دامنه ۱۵-۱۲/۵ درصد بیانگر شرایط ایده‌آل فیزیکی رشد گیاه کلزا بوده و بنابراین به آن رتبه یک تعلق گرفت. نتایج نشان داد که بیش از ۵۰ درصد لایه زیرسطحی دارای محدودیت شدید تا بسیار شدید برای کشت کلزا است.



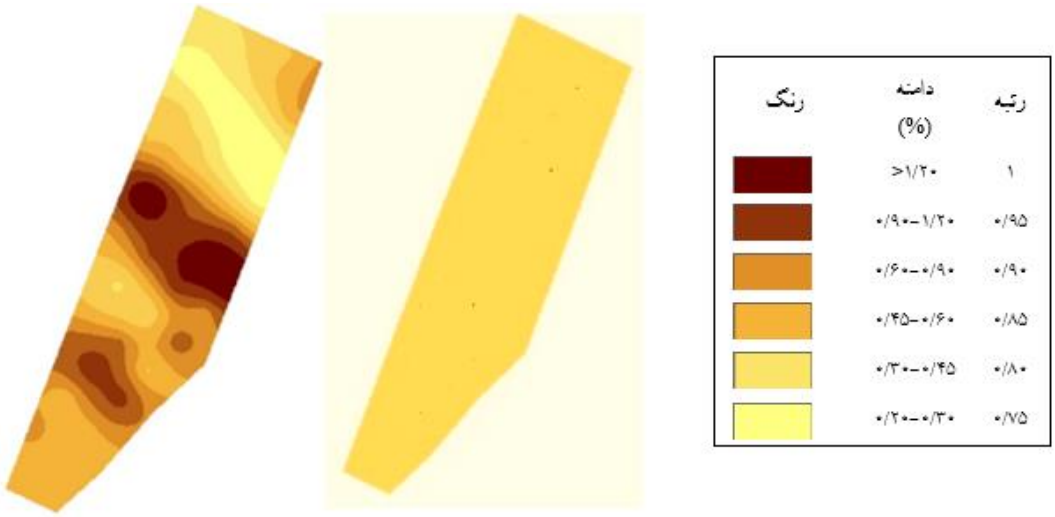
شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی تخلخل غیرموئینگی (٪) لایه‌های ۳۰-۰ (چپ) و ۶۰-۳۰ (راست) سانتی‌متری خاک (رنگی در نسخه الکترونیکی)

این نتایج این‌بار هم تأیید می‌کند که به دلیل تراکم خاک لایه زیرین (افزایش BD یا کاهش تخلخل) در مناطق شمالی و شمال شرقی منطقه، رشد و عملکرد گیاه کلزا کاهش یافته است. برای تهیه نقشه رتبه بندی کربن آلی خاک (OC) هر دو لایه از مدل کروی استفاده شد (شکل ۶). نتیجه مطالعات امیری نژاد و همکاران (۱) نیز حاکی از آن است که مدل کروی بهترین مدل برازش‌یافته بر داده‌های کربن آلی است. دامنه تأثیر کربن آلی در منطقه مطالعاتی ۱۸۴/۸ متر و بیشتر از فاصله نمونه‌برداری بود (جدول ۳).

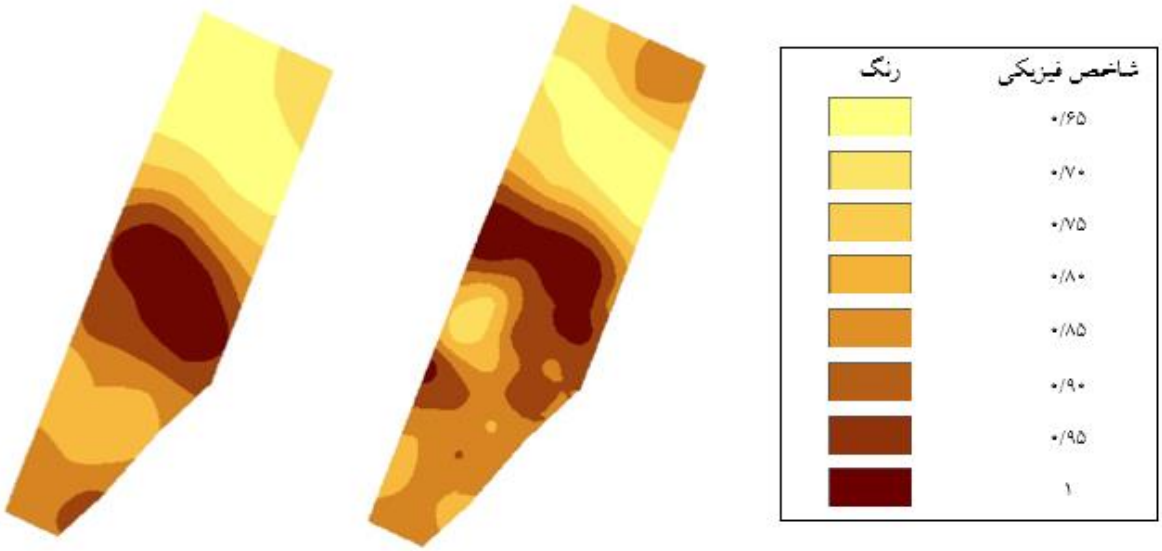
میزان ماده آلی خاک‌های منطقه مورد مطالعه بین ۰/۲ تا ۱/۹ درصد متغیر بود. میزان بهینه کربن آلی (رتبه ۱)، برای مقادیر بیش از ۱/۲ درصد تعیین شد و برای مقادیر کمتر از این حد، رتبه‌های کمتر لحاظ شد. بررسی مساحت محدوده‌های مختلف OC نشان داد که برای لایه سطحی، فقط نزدیک به ۱۰ درصد اراضی دارای رتبه ۱ بوده، در حالی که برای لایه زیرسطحی، تمام مساحت منطقه دارای کربن آلی کمتر از ۰/۳ درصد بود. به عبارتی، کمبود شدید ماده آلی در لایه زیرسطحی می‌تواند به‌عنوان یک محدودیت جدی برای تولید محصول کلزا در این منطقه تلقی شود.

شاخص رتبه‌بندی فیزیکی خاک (PRI)

از آنجا که انحراف مقدار هر پارامتر از محدوده بهینه می تواند عملکرد محصول را پایین آورد، بنابراین مقادیر رتبه‌بندی پارامترها در هم ضرب شد تا شاخص رتبه بندی فیزیکی خاک تعیین شود. همانطور که پیش‌تر در در بخش مواد و روش‌ها توضیح داده شد، در تعیین شاخص رتبه‌بندی فیزیکی (PRI) از ویژگی‌های جرم مخصوص ظاهری، هدایت هیدرولیکی اشباع، رطوبت قابل دسترس، تخلخل غیرموئینگی و ماده آلی خاک استفاده شد. در این راستا، در یک محل نمونه‌برداری، با توجه به مقدار اندازه‌گیری‌شده هر ویژگی، رتبه آن تعیین و بعد با حاصل‌ضرب رتبه پنج ویژگی، شاخص PRI محاسبه شد. سپس نقشه رتبه‌بندی فیزیکی خاک برای هر دو لایه سطحی (۳۰-۰) و زیرسطحی (۶۰-۳۰ cm) با استفاده از کریجینگ معمولی و مدل نیم‌متغیرنمای کروی تهیه شد (شکل ۷). نتایج نشان داد با وجود اینکه در نواحی مرکزی و جنوبی منطقه مورد مطالعه، شرایط برای کشت کلزا مناسب است، در بیش از ۳۰ درصد اراضی (مناطق شمالی)، شرایط فیزیکی در لایه‌های سطحی و زیرین نامناسب بوده و به عبارتی، شاخص فیزیکی خاک پایین و کمتر از ۰/۷ بود. این موضوع نشان‌دهنده پتانسیل تولید ضعیف تا متوسط کشت کلزا در این مناطق است. در این راستا، به‌منظور افزایش بهره‌وری خاک برای تولید پایدار محصول، بایستی به موضوع مدیریت خاک توجه بیشتری کرد و اقداماتی مانند شخم زیرسطحی و افزایش سطح مواد آلی خاک از طریق افزودن یا برگرداندن بقایای گیاهی به خاک



شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی کربن آلی (٪) لایه‌های ۳۰-۰ (چپ) و ۶۰-۳۰ (راست) سانتی‌متری خاک (رنگی در نسخه الکترونیکی)



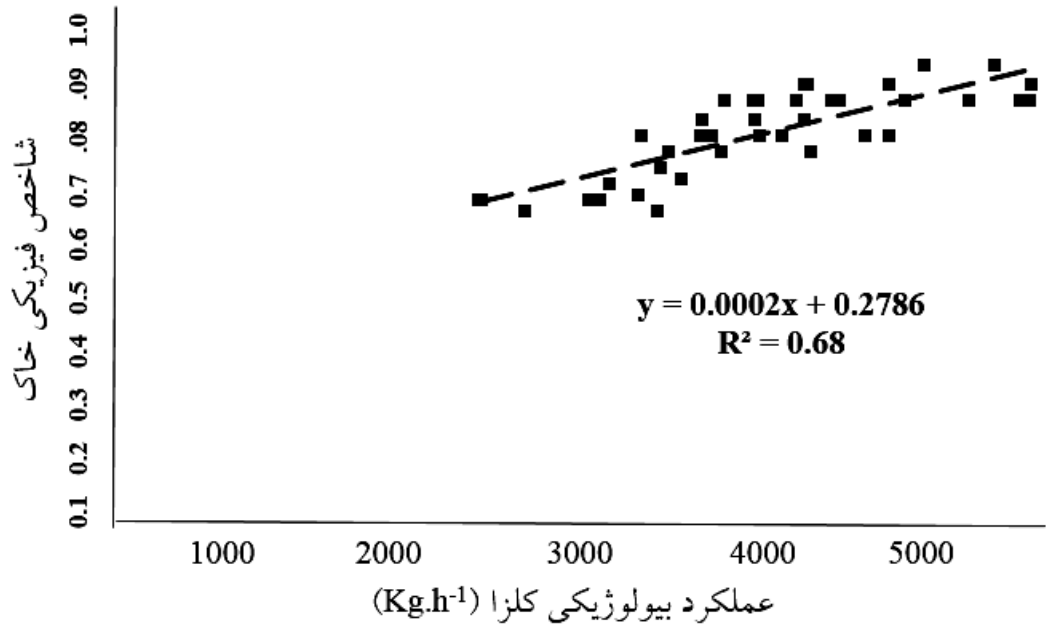
شکل ۷. نقشه پهنه‌بندی شاخص فیزیکی لایه‌های ۳۰-۰ (چپ) و ۶۰-۳۰ (راست) سانتی‌متری خاک (رنگی در نسخه الکترونیکی)

امری ضروری است.

همچنین، نتایج نشان می‌دهد که میزان همبستگی این شاخص با عملکرد بیولوژیکی کلزا در منطقه مورد مطالعه خوب (R^2 =0.68) و قابل قبول بوده است (شکل ۸). مشابه این نتایج، امیری نژاد و همکاران (۱) نیز با تعیین شاخص PRI با استفاده از صفات جرم مخصوص ظاهری، آب قابل دسترس، کربن آلی، تخلخل و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، ضریب همبستگی بین شاخص PRI و عملکرد گندم و برنج را به‌ترتیب به نسبت خوب و خوب گزارش کرده‌اند.

نتیجه‌گیری

بطور کلی، نتایج بیانگر اهمیت استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش‌های زمین‌آمار در ارزیابی تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک است. بررسی تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک جهت شناسایی، برنامه‌ریزی و مدیریت درست زمین‌های کشاورزی در راستای بهره‌برداری اصولی از



شکل ۸. رگرسیون خطی بین عملکرد بیولوژیکی کلزا و میانگین شاخص فیزیکی خاک در منطقه مطالعاتی

خاک ضروری است. با بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی ویژگی‌های فیزیکی خاک و نیز تطابق نقشه شاخص رتبه‌بندی فیزیکی (PRI) با عملکرد محصول، اطلاعاتی در خصوص نقاط با کیفیت فیزیکی نامناسب مزرعه به‌دست می‌آید. به عبارت دیگر، در مطالعه حاضر، با درنظرگرفتن ضریب همبستگی به نسبت خوب (R^2=۰/۶۸) بین PRI و عملکرد بیولوژیکی کلزا و سپس بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی ویژگی‌های فیزیکی خاک مشخص شد که مقدار BD در بعضی نقاط مزرعه بالاتر از دامنه مناسب و در مقابل کاهش پارامترهای AWC و NCP در این نواحی است. مقدار رطوبت قابل دسترس خود تابعی از بافت خاک و میزان ماده آلی بود. به‌طور کلی می‌توان گفت که شاخص رتبه‌بندی فیزیکی یک ابزار مهم در ارزیابی شرایط فیزیکی خاک است که با توجه به آن و بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی، می‌توان در راستای بهبود کیفیت فیزیکی خاک و افزایش عملکرد محصولات کشاورزی اقدام کرد.

منابع مورد استفاده

1. Amirinejad, A. A., K. Kamble, P. Aggarwal, D. Chakraborty, S. Pradhan and R. B. Mittal. 2010. Assessment and mapping of spatial variation of soil physical health in a farm. *Geoderma* 160: 292-303.
2. Cambardella, C.A., T. B. Moorman Parkin, D. L. Karlen, J. M. Novak, R. F. Turco and A. E. Konopka. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society America Journal* 58: 1501-1511.
3. Castellini, M., A. Maria Stellacci, M. Tomaiuolo and E. Barca. 2019. Spatial variability of soil physical and hydraulic properties in a durum wheat field: An assessment by the BEST-procedure. *Water* 11(10): 2185.
4. FAO. 2021. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC.
5. Foroughifar, H., A. A. Jafarzadah, H. Torabi Gelsefidi, N. Aliasgharzadah, N. Toomanian and N. Davatgar 2011. Spatial variations of surface soil physical and chemical properties on different landforms of Tabriz plain. *Water and Soil Science* 21 (3): 1-2 (In Farsi).
6. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle size analysis. PP. 383-411. *In:* Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods. 2nd Agronomy 9(1), Madison Publisher, Wisconsin, USA.
7. Government trading corporation of Iran. PODCAST No. 73.
8. Gulser, C., I. Ekberli and F. Candemir 2016. Spatial variability of soil physical properties in a cultivated field.

Eurasian Journal of Soil Science 5(3):192.
9. Gupta, R. P. 1986. Criteria for physical rating index for soils in relation to crop production. *In:* Proceedings of XIII International Soil Science Society Congress, Hamburg, Germany.
10. Heuzé, V., G. Tran, D. Sauvant, M. Lessire and F. Lebas. 2020. Rapeseed, feedipedia, a program by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. https://www.feedipedia.org/node/52.
11. Iqbal, J., J. A. Thomasson, J. N. Jenkins, P. R. Owens and F. D. Whisler. 2005. Spatial variability analysis of soil physical properties of alluvial soils. *Soil Science Society of American Journal* 69:1338-1350.
12. Jacob, H. and G. Clarke. 2002. Methods of Soil Analysis, Part 4, Physical Method. Soil Science Society of America Inc., Madison, Wisconsin, USA.
13. Jafari, M., H. M. Asgari, M. Moazami and M. Beniaz. 2008. Investigation of spatial distribution of soil properties by use of geostatistical methods. *Pajouhesh and Sazandegi* 80: 177-191 (In Farsi).
14. Kavianpoor, H., A. Esmali Ouri, Z. Jafarian and A. Kavian 2012. Spatial variability of some soil chemical and physical soil properties in Neosho mountainous rangelands. *American Journal of Environmental Engineering* 2: 34-44.
15. Mohamadi, J. 2006. Pedometric, Spatial statistics. Pelk Press, Tehran, Iran (In Farsi).
16. Nayanaka, V.G.D., Vitharana W.A. and Mapa R. 2010. Geostatistical analysis of soil properties to support spatial sampling in a paddy growing Alfisol. *Tropical Agricultural Research* 22: 34-44.
17. Peng-Tao, G., W. Wei, S. Qing-Kai, L. Mao-Fen, L. Hong-Bin and W. Zheng-Yin. 2013. Prediction of soil organic matter using artificial neural network and topographic indicators in hilly area. *Springer Science Business Media Dordrecht* 95: 333-344.
18. Reyes, J., O. Wendroth, C. Matocha and J. Zhu 2019. Delineating site-specific management zones and evaluating soil water temporal dynamics in a farmer's Feld in Kentucky. *Vadose Zone Journal* 18(1):1-19.
19. Safari, Y., I. Esfandiarpour, A. Kamali, M. H Salehi and M. Bagheri 2013. Mapping of the soil texture using geostatistical method. *Journal of Geosciences* 6: 3331-3339.
20. Saglam, M., H. S. Öztürk, S. Ersahin and A. Iözkan 2011. Spatial variation of soil physical properties in adjacent alluvial and colluvial soils under Ustic moisture regime. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 8: 4261-4280.
21. Santos-Francés, F., A. Martínez-Graña, C. Ávila-Zarza, M. Criado and Y. Sánchez-Sánchez. 2022. Soil quality and evaluation of spatial variability in a semi-arid ecosystem in a region of the southeastern Iberian Peninsula (Spain). *Land* 11(1): 5.
22. Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.
23. Zhang, S. W., C.Y. Shen, X.Y. Chen, H.C. Ye, Y. F. Huang and S. Lai. 2013. Spatial interpolation of soil properties using compositional kriging and regression kriging with consideration of the characteristics of compositional data and environment variables. *Journal of Integrative Agriculture* 1: 1673-1683.
24. Zulfikar Khan, M., M. Rafikul Islam, A. Bin Abdus Salam and T. Ray. 2021. Spatial variability and geostatistical analysis of soil properties in the diversified cropping regions of Bangladesh using geographic information system techniques. *Applied and Environmental Soil Science* (7):1-19.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 27, No. 1, Spring 2023, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Assessment of Spatial Variation of Soil Physical Quality in a Rapeseed (*Brassica napus*) Field in Bilavar, Kermanshah

F. Momeni and A. A. Amirinejad[1*]

(Received: June 25-2022 ; Accepted: November 6-2022)

Abstract

In precision agriculture, a productivity rating system is a significant tool to quantitatively assess soil quality. An experiment was conducted in Bilavar, Kermanshah to evaluate the spatial variability of physical indicators of soil quality of a rapeseed (*Brassica napus*) field. Spatial variability analysis of soil physical properties measured on a rectangular grid (100 m×100 m) was carried out using a geostatistical analyst extension of Arc-GIS software. Five physical soil quality indicators including bulk density (BD), non-capillary porosity (NCP), field saturated hydraulic conductivity (Ks), available water retention capacity (AWC), and organic carbon (OC) were determined. The physical rating index (PRI) at each sampling point was determined by multiplying the rating values for all five parameters. Results revealed that major ranges of semivariogram for Ks and AWC varied between 137-145 m and for BD, OC, and NCP they were relatively long (161-205 m). Clay and NCP showed moderate spatial dependence (0.68 and 0.28, respectively) whereas the rest of the parameters showed weak spatial dependence. Also, the correlation between PRI and the biological yield of rapeseed was fairly good (R^2=0.68). Investigation of zoning maps of soil physical properties showed an increase in BD and a decrease in AWC and NCP parameters depending on changes in soil texture and organic matter content in some parts of the field. In general, the PRI index is an important tool in the quantitative assessment of soil physical conditions, and based on it and zoning maps can improve the physical quality of soil in agricultural fields.

Keywords: Geostatistic, Physical rating index, Biological yield, Rapeseed

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran.
*: Corresponding author, Email: aliamirinejad@yahoo.co.uk