

مقاله علمی-پژوهشی

مطالعه ارتباط مکانی رشد و عملکرد گندم زمستانه با علف‌های هرز با استفاده از روش‌های زمین آماری و سنجش از دور

مژده مرادی کل بلندی^۱ - حسن مکاریان^{۲*} - مهدی برادران فیروز آبادی^۳ - حمیدرضا اصغری^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۱۷

چکیده

به منظور بررسی همبستگی توزیع مکانی رشد و عملکرد گندم زمستانه با علف‌های هرز با استفاده از روش‌های زمین آماری و سنجش از دور، آزمایشی در سطح یک مزرعه گندم واقع در دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. بدین منظور عملکرد بیولوژیک و دانه گندم منطبق بر محل اندازه‌گیری تراکم و زیست توده علف‌های هرز در ۱۱۰ نقطه در سطح مزرعه در محل تقاطع سیستم شبکه‌ای ۸ × ۸ متر اندازه‌گیری و ثبت شد. به منظور بررسی عملکرد بیولوژیک و دانه گندم با استفاده از سنجش از دور نیز عکس هوایی با کوادکوپتر از ارتفاع ۱۲۰ متری از سطح مزرعه تهیه شد و سپس ارزش عددی پیکسل‌های تصویر هوایی استخراج و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد جمعیت و زیست توده علف‌های هرز با عملکرد بیولوژیک گندم همبستگی مکانی منفی ۷۵/۸۹ و ۶۲/۵۰ درصدی و با عملکرد دانه گندم همبستگی مکانی منفی ۹۱/۹ و ۵۶/۲۵ درصدی نشان داد. داده‌های حاصل از عکس هوایی نیز همبستگی مکانی قوی ۸۸/۲۳ و ۷۸/۱۲ درصدی به ترتیب با عملکرد بیولوژیک و دانه گندم نشان داد. براساس نتایج این پژوهش روش‌های زمین آماری و داده‌های تصویر هوایی به خوبی نشان داد که توزیع ناهمگون تراکم و زیست توده علف‌های هرز در سطح مزرعه می‌تواند سبب توزیع مکانی ناهمگون عملکرد بیولوژیک و دانه گندم گردد.

واژه‌های کلیدی: تصویر هوایی، توزیع مکانی، ناهمگونی رشد، نقشه عملکرد

مقدمه

عملکرد محصولات زراعی حائز اهمیت بوده و چنان‌چه دلایل این تغییرات نیز مشخص شود می‌توان برنامه‌های مدیریتی برای افزایش عملکرد و کاهش صدمات زیست محیطی را در قالب مدیریت وابسته به مکان یا به عبارت دیگر کشاورزی دقیق طراحی کرد (۱۶). علف‌های هرز به عنوان یکی از عوامل ناهمگونی عملکرد محصولات کشاورزی در سطح مزارع مطرح هستند. در این راستا، نصیری محلاتی و همکاران (۲۲) با مطالعه نوسانات درون مزرعه‌ای عملکرد گندم و رابطه آن با توزیع مکانی تراکم علف‌های هرز و میزان نیتروژن خاک با استفاده از روش‌های زمین آمار گزارش کردند که نوسانات مکانی عملکرد گندم بین ۴/۹-۱/۵ با میانگین ۳/۳ تن در هکتار بود. در همین پژوهش تراکم علف‌های هرز و نیتروژن خاک بدون در نظر گرفتن توزیع مکانی آن‌ها، حدود ۸۰ درصد از نوسانات عملکرد گندم را توصیف می‌کرد. در پژوهش دیگری توزیع علف‌های هرز در مزارع زعفران نیز ارتباط مکانی بالایی با توزیع عملکرد گل، زیست توده و عملکرد کلالة زعفران نشان داد (۱۹). تنوع، توزیع و تراکم علف‌های هرز متأثر از فاکتورهای زنده و غیر زنده متعددی است. توزیع ناهمگون و طبیعت لکه‌ای جمعیت علف‌های هرز به دلیل

گندم (*Triticum aestivum* L.) از نظر تولید و سطح زیر کشت مهم‌ترین محصول کشاورزی ایران است به طوری که حدود ۶۰-۷۰ درصد اراضی زیر کشت محصولات زراعی در کشور به گندم اختصاص دارد (۲۷). بنابراین، مدیریت بهینه این محصول استراتژیک و حصول حداکثر عملکرد با رعایت اصول اکولوژیک از راهبردهای اصلی محققین می‌باشد. تجزیه و تحلیل تغییرپذیری مکانی رشد و عملکرد، فرایند مهمی برای دستیابی به فاکتورهای بیولوژیکی و مدیریتی موثر در رشد گیاه می‌باشد (۱۱). عملکرد در هر نقطه‌ای از یک مزرعه تابعی از تراکم گیاهی، ریزاقلیم، مدیریت و مجموعه‌ای از تنش‌های زنده و غیر زنده محیطی می‌باشد که گیاه در طی فصل رشد با آن مواجه می‌شود (۴). بنابراین شناخت الگوی نوسانات مکانی

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیاران گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود

(Email: h.makarian@yahoo.com

*) نویسنده مسئول:

زمین آماری و یا سنجش از دور امکان قابل برآورد است، در پیش‌بینی لکه‌های با تراکم بالای علف‌هرز و دارای عملکرد کم مزرعه دارای اهمیت می‌باشد. بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی توزیع مکانی علف‌های هرز و تاثیر آن بر زیست توده و عملکرد گندم با روش‌های زمین آمار و سنجش از دور بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در یک مزرعه گندم به وسعت یک هکتار واقع در دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شد. شاهرود با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و عرض ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی دارای اقلیم خشک و سرد و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۶۷ متر می‌باشد. براساس اطلاعات ثبت شده در ایستگاه هواشناسی شاهرود میانگین سالانه دما در این منطقه ۱۴/۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی دراز مدت سالیانه ۱۶۰ میلی‌متر گزارش شده است. رقم گندم روشن در دیماه سال ۹۶ در این مزرعه کشت شد. بافت خاک مزرعه محل آزمایش از نوع لومی بود. مقدار ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره طبق عرف محل در دو مرحله پنجه‌زنی و خوشه‌دهی در سطح مزرعه پخش شد. در این مزرعه هیچ عملیات مدیریتی برای کنترل علف‌های هرز انجام نشد. نمونه برداری‌ها از کل سطح مزرعه به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ متر (۱۰۰ متر عرض در جهت شرقی - غربی و ۱۰۰ متر طول در جهت شمالی - جنوبی) بر روی یک شبکه علامت‌گذاری شده مربعی^۱ به ابعاد ۸×۸ متر انجام و در مجموع از ۱۱۰ نقطه نمونه‌برداری صورت گرفت (شکل ۱). در محل نقاط نمونه‌برداری شاخه‌های چوبی قرار گرفت و تا پایان فصل رشد محل نقاط ثابت بود. محل نقاط نمونه‌برداری از صفات مختلف گندم بر نقاط نمونه‌برداری از علف‌های هرز منطبق بود.

برای محاسبه عملکرد بیولوژیک و دانه گندم نیز در پایان فصل رشد (مرحله رسیدن فیزیولوژیکی) از کادراهایی به ابعاد ۵/۵×۰/۵ متر در محل تقاطع خطوط شبکه گرید استفاده شد و پس از برداشت بوته های گندم درون کادر در هر نقطه، وزن آن اندازه‌گیری شد و نقشه عملکرد بیولوژیک گندم بر اساس کیلوگرم در هکتار ترسیم گردید. برای محاسبه عملکرد دانه گندم نیز دانه‌های بوته‌های برداشت شده از هر نقطه جداسازی و توزین گردید و نقشه توزیع عملکرد دانه گندم بر اساس کیلوگرم در هکتار ترسیم شد.

نمونه‌برداری از جمعیت علف‌های هرز در مرحله پنجه‌زنی گندم در طی یک نوبت در مزرعه انجام شد و علف‌های هرز به تفکیک گونه شناسایی و ثبت شدند. نمونه‌برداری از زیست توده هوایی علف‌های هرز نیز با استفاده از کادراهایی به ابعاد ۵/۵×۰/۵ متر در محل تقاطع

اثرات متقابل بیولوژی علف هرز، شرایط موضعی میکروکلیم و عملیات مدیریتی می‌باشد (۳). احمد و همکاران (۱) گزارش کردند که عملیات مدیریتی از قبیل کاربرد کودها، آبیاری و کاربرد علف‌کش‌ها می‌تواند توزیع جمعیت علف‌های هرز را تحت تاثیر قرار دهد. علف‌های هرز با تخلیه بیشتر منابع مورد نیاز گیاه زراعی در محل لکه‌ها می‌توانند سبب توزیع ناهمگون رشد و عملکرد گیاه زراعی شوند (۲۲). زمین آمار یک ابزار قدرتمند برای مطالعه تنوع مکانی و زمانی جمعیت علف‌های هرز و تغییرات عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد. روابط بین تک بوته‌ها و اجتماعی از گیاهان را می‌توان با استفاده از واریوگرام و نقشه‌های ایجاد شده توسط کریجینگ مورد بررسی قرار داد (۱۲). در روش ژئواستاتستیک با استفاده از آمار مکانی سمی واریوگرام‌هایی را که ساختار مکانی جمعیت‌ها را تشریح می‌کند، برازش داده می‌شود. سپس با استفاده از کریجینگ نقشه‌های توزیع علف‌های هرز ترسیم می‌شود تا جهت درون‌یابی در نقاطی که نمونه برداری انجام نشده مورد استفاده قرار گیرد (۸). آنالیز کراس سمی واریوگرام آمار مکانی نیز یکی از راه‌های تشخیص همبستگی مکانی یا زمانی بین دو متغیری است که به وسیله شرایط محیطی یا فرایندهای مکانی مشابه تحت تاثیر قرار می‌گیرند (۸). برای مثال کراس سمی واریوگرام، برای بررسی تطابق بین توزیع علف‌های هرز و زیست توده گیاه زراعی و جفت متغیرهای دیگر که تحت تاثیر شرایط یکسان محیطی قرار می‌گیرند، به کار گرفته می‌شوند (۱۸). مکاریان و حسینی (۱۸) با استفاده از روش‌های زمین آماری ارتباط نزدیکی بین نقاط با تراکم بالای علف هرز و عملکرد بیولوژیک اندک گندم زمستانه مشاهده کردند. کلی و همکاران (۷)، با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ، میزان کاهش عملکرد را در نقاط نمونه‌برداری نشده تخمین زده و نقشه‌های کاهش عملکرد را برای چندین سال متوالی تهیه کردند.

امروزه می‌توان از کاربردهای متعدد سنجش از دور به عنوان ابزاری مناسب در مشاهده، ارزیابی، کنترل، نظارت و مدیریت منابع خاک، آب، پوشش گیاهی، محیط زیست و اکوسیستم و بلایای طبیعی، استفاده نمود (۳۲). مطالعات اخیر در بخش کشاورزی مبتنی بر شاخص‌های پوشش گیاهی به دست آمده از تصاویر پهباد نشان می‌دهد که این تکنولوژی کاربردهای متعددی مانند تهیه نقشه پوشش برگ در غلات (۱۳ و ۳۲)، محتوای کلروفیل در غلات (۲)، آلودگی‌های علف هرز (۳۱) و اثرات محصول در کنترل علف‌هرز (۲۴ و ۲۹) دارد. در همین راستا لو و همکاران (۱۷) با استفاده از تصاویر تهیه شده بوسیله پهباد نیاز گیاه برنج به نیتروژن را مورد بررسی قرار دادند. به هرحال، شناخت و توصیف الگوهای توزیع مکانی رشد و عملکرد گندم و ارتباط آن با حضور علف‌های هرز در مزرعه اطلاعات مهمی را در خصوص مدیریت بهینه مزرعه بر اساس اصول اکولوژیک در اختیار مدیران قرار می‌دهد. این یافته‌ها که اغلب با روش‌های

مزرعه بدست آمد. شدت روشنایی تصویر بین صفر و ۲۵۵ متغیر بود بطوری که مقدار صفر نشان دهنده رنگ تیره (سیاه) و مقدار ۲۵۵ نشان دهنده رنگ روشن (سفید) بود. سپس برای مقایسه بهتر با نقشه های گیاه، نقشه توزیع مکانی ارزش پیکسل‌های کل مزرعه ترسیم شد و در مرحله بعد همبستگی آن با عملکرد و صفات مختلف گندم با کراس سمی واریوگرام محاسبه گردید.

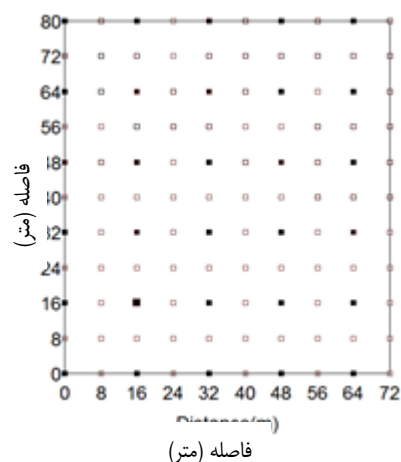
روش آنالیز داده‌ها

برای توصیف وابستگی مکانی بین نمونه‌ها از مدل ریاضی سمی واریوگرام یا نیم‌تغییرنما (معادله ۱) استفاده شد (۲۰).

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

که در آن $N(h)$: زوج نمونه ای است که به فاصله h از یکدیگر واقع شده‌اند. $Z(X_i)$: مقدار متغیر در موقعیت X_i ، $Z(X_i+h)$: مقدار متغیر مورد مطالعه در موقعیت X_i+h و $Y(h)$ نیز سمی واریوگرام می‌باشد. از نقطه نظر تئوریک، واریوگرام عبارت از نصف واریانس تفاوت بین مقادیر متغیر مورد نظر که در فاصله h از یکدیگر قرار گرفته‌اند. از آنجایی که در عمل تنها تعداد محدودی نمونه در دسترس است لذا می‌بایستی واریوگرام تجربی محاسبه شود. نمایش معمول واریوگرام از طریق ترسیم نمودار واریانس توزیع اختلاف‌ها برحسب فاصله صورت می‌گیرد. بدین ترتیب براساس نمونه‌های موجود مقدار تجربی این معادله بدست آمده و سپس مدل برحسب این مقادیر تجربی برازش داده می‌شود (۱۰). از پارامترهای مدل جهت تخمین تراکم علف‌های هرز، زیست توده علف‌های هرز، زیست توده و عملکرد گندم و سایر صفات اندازه‌گیری شده گندم در نقاط نمونه برداری نشده در کریجینگ استفاده شد. این پارامترها عبارت بودند از: حدآستانه $(C_0 + C)$ یا (مجاناب^۱: A)، با افزایش یافتن فاصله h مقدار واریوگرام‌ها به تدریج تا فاصله معینی زیاد شده و از آن به بعد به حد ثابتی می‌رسد و در چنین شرایطی تابع مورد نظر، فاقد هرگونه صعود و یا نزول مشخصی است که نشانگر حدآستانه است و برای پیش‌بینی دامنه تأثیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. دامنه تأثیر A_0^2 ، فاصله‌ای است که در آن واریوگرام به حداکثر مقدار خود رسیده و ثابت می‌شود. وقتی واریوگرام ثابت می‌شود نشان دهنده این است که داده‌ها در ورای این فاصله دیگر با هم همبستگی ندارند و از یکدیگر مستقل می‌شوند، خصوصیت مورد نظر در آن فاصله دارای همبستگی است. عرض از مبدأ^۳ (I) یا اثر قطعه‌ای (Co)، مقداری است که در اثر تغییرات غیر قابل پیش‌بینی یا خطاهای ذاتی نمونه‌برداری حادث می

خطوط شبکه گردید 8×8 متر به طور مماس با محل نمونه‌برداری جمعیت گونه‌های مختلف علف‌های هرز در اوایل خرداد ماه انجام شد (شکل ۱). برای این کار کلیه زیست توده هوایی علف‌های هرز از داخل کادر مذکور جمع آوری و در پاکت‌های مقوایی با برچسب تعیین کننده مختصات هر نقطه قرار داده شد. سپس نمونه‌های مذکور در آزمایشگاه زراعت به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده و با ترازوی دیجیتال توزین و نقشه بیوماس هوایی علف‌های هرز نیز براساس کیلوگرم در هکتار ترسیم شد.



شکل ۱- نمایی از محل نقاط نمونه‌برداری برای صفات مختلف گندم و علف‌های هرز در مزرعه مورد مطالعه
Figure 1- View of sampling points for different wheat and weed traits in the field under study

تهیه تصویر هوایی مزرعه و آنالیزهای سنجش از دور

تصویر هوایی مزرعه گندم از ارتفاع ۱۲۰ متری توسط کوادکوپتر فانتوم ۴ ساخت کمپانی DJI چین تهیه شد که به دوربین ۱۲/۴ مگاپیکسل و سنسور CMOS 1/2.3 مجهز بود. رزولوشن تصویر نیز 4096×2160 پیکسل بود. لازم به ذکر است تصویر مورد استفاده بصورت رنگی بود و در دامنه امواج مرئی طیف الکترومغناطیس خورشید تهیه شد و بدون اعمال هیچ گونه تبدیلی روی آن به درون نرم‌افزار فراخوان شد و مورد بررسی قرار گرفت. تصویر در تاریخ ۲۵ اردیبهشت ماه زمانی که گندم در مرحله شروع ساقه‌دهی بود، تهیه شد و تصویر مذکور توسط نرم‌افزار Envi نسخه ۵ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. به طوری که در نقاطی منطبق بر نقاط نمونه‌برداری برای خصوصیات مختلف گندم روی شبکه ایجاد شده، ارزش عددی پیکسل‌های تصویر توسط نرم‌افزار استخراج شد و در هر نقطه میانگین حداقل ۸ پیکسل به‌عنوان ارزش عددی نقطه نمونه‌برداری ثبت گردید. بدین ترتیب ۱۱۰ عدد مربوط به ارزش نقاط در تصویر

1- Asymptote
2- Range
3- Intercept

ابتدا داده‌ها به کمک نرم‌افزار Excel نرمال شد. بطوری که پس از افزودن یک به تمامی داده‌ها از آنها لگاریتم طبیعی گرفته شد. رسم کراس سمی واریوگرام‌ها، برازش دادن مدل (۳) با استفاده از نرم‌افزار Variowin (نسخه ۲/۴) انجام شد.

نتایج و بحث

توزیع مکانی تراکم و زیست توده علف‌های هرز در سطح مزرعه

نتایج نشان داد که گونه‌های متعددی از علف‌های هرز پهن برگ از قبیل هفت بند (*Polygonum aviculare* L.)، سلمه تره (*Salsola komarovi* L.)، علف شور (*Chenopodium album* L.)، سینه‌کفتری (*Goldbachia laevigata* L.)، خردل آبی‌فام (*Corispora tenella* L.)، گریگ‌زبان (*Anchusa italica* L.)، خاک‌شیر (*Descurainia sophia* L.)، آلاله (*Ranunculus arvensis* L.)، درشتوک (*Malcolmia africana* L.)، گل زرد (*Rapistrum rugosum* L.)، شاه‌تره (*Fumaria afficinallis* L.) و همچنین تراکم بسیار اندکی از چاودار (*Secale cereal* L.) در مزرعه حضور داشتند. در این پژوهش مهم‌ترین گونه‌های هرز موجود در مزرعه علف‌های هرز سلمه تره و هفت‌بند بودند که جمعیت غالب را تشکیل می‌دادند، در حالی که سایر گونه‌ها از تراکم بسیار اندکی در مزرعه برخوردار بودند (جدول ۱). همانطور که مشاهده می‌شود حدود ۱۰ درصد نقاط نمونه‌برداری شده عاری از هرگونه علف هرز بود، اما در مراحل پایانی فصل رشد درصد نقاطی که هیچ زیست‌توده علف هرزی در آن وجود نداشت حدود ۳۱ درصد بود (جدول ۱). بطور مشابه با نتایج این پژوهش گزارش شده است که ۳۷/۱۹ درصد از نقاط نمونه‌برداری شده در سطح مزرعه گندم فاقد هر گونه علف‌هرزی بود (۱۸). تراکم و زیست توده علف‌های هرز در هر مزرعه بسته به گونه علف هرز و سوابق مدیریتی مزرعه تغییر می‌کند، اما درصد نقاط فاقد علف هرز می‌تواند پتانسیل کاربرد مدیریت متناسب با مکان را در هر مزرعه مشخص نماید (۱۹).

برازش مدل‌های سمی‌واریوگرام نشان داد که جمعیت و زیست توده کل علف‌های هرز در سطح مزرعه دارای الگوی توزیع لکه‌ای بود، به‌طوری‌که همبستگی مکانی قوی ۷۷/۰۷ و متوسط ۵۱/۴۹ درصد بترتیب برای الگوهای پراکنش جمعیت و زیست توده مجموع علف‌های هرز در سطح مزرعه بدست آمد (جدول ۲). همچنین دامنه تاثیر ۱۷۶ متر نشان دهنده تغییرات گسترده زیست توده علف‌های هرز در سطح مزرعه در این آزمایش می‌باشد. نوردمیر (۲۳)، دامنه تاثیر ۸۳ تا ۲۷۲/۴ متر را برای علف‌های هرز پهن برگ موجود در غلات زمستانه در آلمان بدست آورد. جودی و همکاران (۹)، دامنه تاثیر ۱۱/۵ تا ۶۱/۵ متر را برای علف‌های هرز متداول در یک مزرعه

شود. به این معنا که مشاهدات جدا شده به وسیله فواصل بی‌نهایت کوچک مشابه نیستند. هرچه عرض از مبدأ به سمت صفر میل کند از تصادفی بودن توزیع متغیر مورد نظر کاسته شده و همبستگی مکانی قوی تری پدیدار می‌شود. زمانی که مقدار اثر قطعه‌ای از صفر افزایش پیدا می‌کند، نشان دهنده این است که عوامل تصادفی غیر قابل پیش بینی وجود دارند. در واقع تفاوت بین حد آستانه و عرض از مبدأ نشان دهنده مقدار واریانسی است که بوسیله فواصل بین نقاط نمونه‌برداری شده توصیف می‌شود. این مقدار هنگامی که به عنوان درصدی از حدآستانه بیان شود نشان‌دهنده درصد همبستگی مکانی است. برای محاسبه درصد همبستگی مکانی از معادله زیر استفاده شد (۶).

$$\text{Autocorrelation (\%)} = \left[\frac{\text{Asymptote} - \text{Intercept}}{\text{Asymptote}} \right] \times 100 \quad (۲)$$

که در آن Autocorrelation (%) یا درصد همبستگی مکانی، Asymptote یا مجانب و Intercept یا عرض از مبدأ می‌باشد. مقادیر همبستگی مکانی بین صفر (نشان دهنده عدم وجود همبستگی مکانی یا پراکنش کاملاً تصادفی) تا ۱۰۰ درصد (همبستگی مکانی قوی) تغییر می‌کند. مقادیر کوچکتر یا مساوی ۲۵ درصد بیانگر همبستگی مکانی ضعیف، از ۲۵ تا ۷۵ درصد همبستگی مکانی متوسط و بیشتر از ۷۵ درصد همبستگی مکانی قوی محسوب می‌شود (۱۲).

در این بررسی برآورد آماری برای بلوک‌های دارای ابعاد ۸×۸ صورت گرفت. بخش عمده ویژگی‌های آماری، نرمال کردن داده‌ها، تبدیل برگشت (پس از برآورد آماری، نتایج از حالت لگاریتمی به حالت اولیه برگشت داده شد و سپس نقشه‌ها ترسیم شدند)، رسم واریوگرام‌های تجربی، برازش مدل (معادله ۱)، برآورد کریجینگ و رسم نقشه‌ها برای صفات مختلف از قبیل جمعیت و زیست توده علف‌های هرز و عملکرد بیولوژیک و دانه گندم با استفاده از نرم‌افزار GS+ نسخه ۵/۱ انجام شد. جهت توصیف همبستگی مکانی بین دو متغیر (مانند جمعیت کل علف‌های هرز و عملکرد گندم و همچنین همبستگی بین داده‌های حاصل از سنجش از دور و صفات گندم) از سمی واریوگرام متقاطع (کراس سمی واریوگرام) (رابطه ۳) استفاده شد (۸).

$$\gamma_{AB}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [ZA(X_i) - ZA(X_i + h)] \times [ZB(X_i) - ZB(X_i + h)] \quad (۳)$$

که در آن AB(h) : کراس سمی واریوگرام برای مکان‌های نمونه برداری است که به فاصله h از یکدیگر واقع شده است. ZA(Xi) و ZB(Xi) به ترتیب مقدار دو متغیر (مثلاً تراکم جمعیت علف هرز و عملکرد گندم) در نقاط X و X+h می‌باشد. بدین ترتیب براساس نمونه‌های موجود مقدار تجربی این معادله بدست آمده و سپس مدلی را با این مقادیر تجربی وفق دادیم.

جهت برازش دادن مدل‌ها و ترسیم کراس سمی واریوگرام‌ها،

بنابراین هر عاملی که بر توزیع جمعیت علف‌های هرز تاثیر بگذارد، دامنه تاثیر را نیز تغییر خواهد داد.

ذرت بدون شخم در کانادا گزارش کردند. دامنه تاثیر زیاد نشانگر پراکنش گسترده علف‌های هرز به وسیله اندام‌های تولید مثل است که توسط عملیات مدیریتی تحت تاثیر قرار می‌گیرند و در واقع نشان دهنده الگوهای پراکنش علف‌های هرز در سطح مزارع می‌باشد (۹).

جدول ۱- خلاصه آماری داده‌های جمعیت و زیست توده علف‌های هرز موجود در مزرعه
Table 1- Statistical summary of population and biomass data of weeds in the field

گونه علف هرز Weed species	حداقل مقادیر Minimum values	حداکثر مقادیر Maximum values	میانگین Mean	انحراف معیار Standard deviation	خطای استاندارد Standard Error (± SE)	درصد نقاط عاری از علف هرز Weed free points (%)
تراکم سلمه تره <i>Chenopodium album</i> density	0	16.00	2.47	3.08	0.29	40.90
تراکم هفت بند <i>Polygonum aviculare</i> density	0	52.00	8.01	9.49	0.90	18.18
تراکم کل علف‌های هرز Total weeds density	0	60.00	11.80	11.22	1.07	10.90
زیست توده کل علف‌های هرز Total weeds biomass	0	89.16	13.52	20.12	1.91	30.90

لکه‌ای شدن علف‌های هرز دارند (۹).

همبستگی مکانی تراکم و زیست توده علف‌های هرز با عملکرد بیولوژیک و دانه گندم

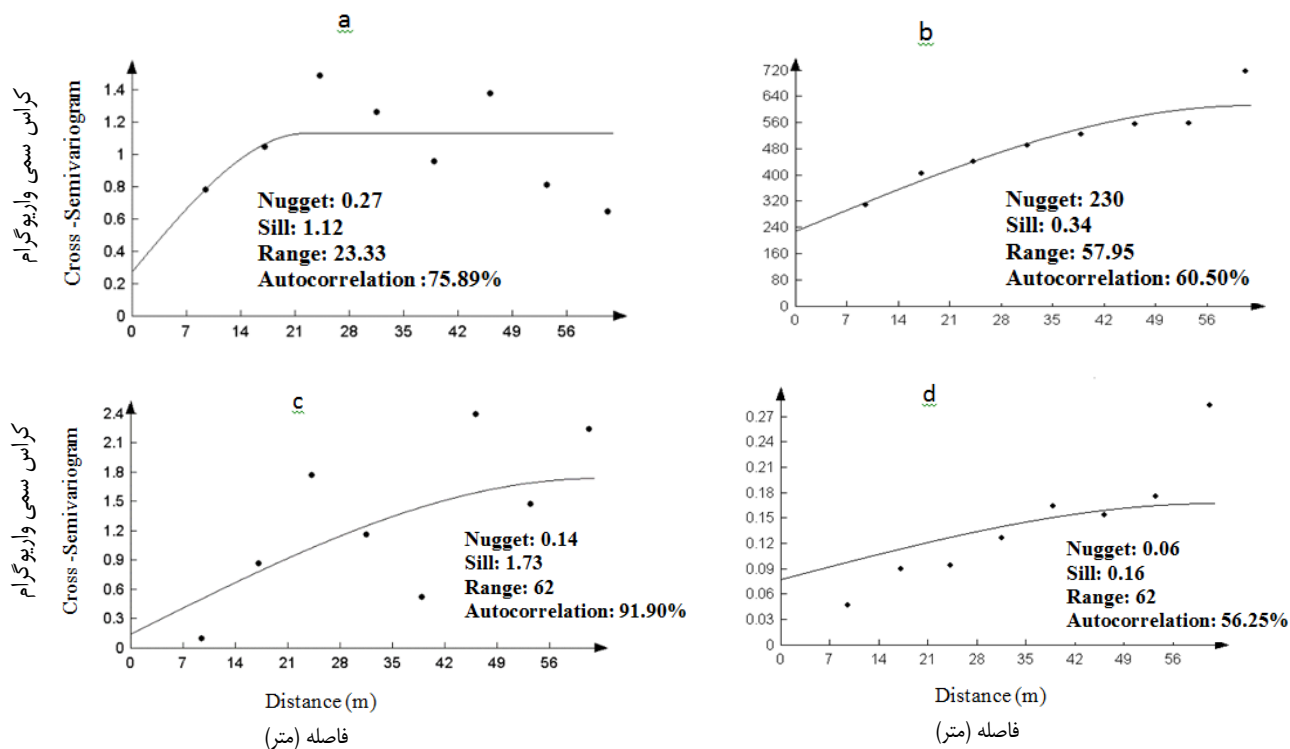
مدل‌های برازش داده شده بر کراس سمی واریوگرام‌ها بین تراکم کل گونه‌های علف‌هرز و عکس وزن عملکرد بیولوژیک گندم (شکل ۲) و نیز نقشه‌های ترسیم شده، نشان داد (شکل ۳) که الگوهای توزیع جمعیت کل علف‌های هرز به مقدار قابل توجهی بر الگوهای تغییر عملکرد بیولوژیک گندم منطبق بودند، به طوری که تطابق مکانی بین این دو متغیر ۷۵/۸۹ درصد بود (شکل ۲a). همچنین بین زیست توده علف‌های هرز و عکس عملکرد بیولوژیک گندم همبستگی مکانی ۶۰/۵ درصد مشاهده گردید (شکل ۲b). سایر پژوهشگران نیز همبستگی منفی معنی‌دار ۶۲ درصدی بین کل ماده خشک علف‌های هرز و عملکرد دانه گندم گزارش نموده‌اند (۲۸). مکاریان و حسینی (۱۸) با برازش مدل‌های کراس‌سمی واریوگرام بین جمعیت کل علف‌های هرز و عکس عملکرد بیولوژیک گندم همبستگی مکانی قوی ۸۹ درصد بین دو متغیر مذکور مشاهده نمودند و آنها بیان کردند که تراکم ناهمگون علف‌های هرز در سطح مزرعه می‌تواند منجر به توزیع ناهمگون عملکرد گندم گردد. بنابراین نادیده گرفتن این توزیع ناهمگون، می‌تواند تخمین عملکرد و محاسبات عملیات کنترل سراسری علف‌های هرز را با خطا مواجه سازد و منجر به استفاده بیش از حد نیاز علف‌کش‌ها در سطح مزرعه گردد.

گونه‌های هفت بند و سلمه تره که گونه‌های غالب بودند نیز الگوی توزیع لکه‌ای قوی نشان دادند. در این راستا گزارش شده است که ویژگی‌های بیولوژیکی گونه علف‌هرز، عوامل مربوط به بانک بذر خاک و سابقه عملیات مدیریتی می‌تواند سبب توزیع لکه‌ای علف‌های هرز یکساله‌ای مانند هفت بند و جوموشی شود (۱۹). نقشه پراکنش علف‌های هرز نشان داد (شکل ۳) که بخش زیادی از مزرعه دارای تراکم اندکی از علف‌های هرز بود در حالی که لکه‌های کوچک و بزرگی از علف‌های هرز در سطح و خصوصا حواشی مزرعه به چشم می‌خورد. حواشی مزرعه به دلیل ورود بذر از خارج به داخل مزرعه، اثرات حاشیه‌ای، کارایی کمتر علف‌کش‌ها در این نواحی (سمپاشی ناصحیح)، سطوح کمتر استقرار گیاه زراعی، برخورداری بهتر از تشعشع و رقابت کمتر گیاهان زراعی با علف‌های هرز مکان‌های مناسب‌تری برای حضور علف‌های هرز می‌باشند (۹). همچنین عواملی از قبیل تنوع و تداخل گونه‌های گیاه زراعی و علف‌هرز، غیر یکنواختی مکانی بوته‌های والد، اندازه و شکل بذر، وجود بذر برای پراکنش، بانک بذر پایدار، پراکنش غیر تصادفی بذر (یا اندام‌های تولیدمثل رویشی)، میزان فعالیت و کارایی عوامل انتشار، جهت و سرعت باد، جوانه زنی و مرگ و میر گیاهچه‌ها در پراکنش مکانی علف‌های هرز دخالت دارند و عموماً باعث پراکنش غیر یکنواخت علف‌های هرز در مزرعه می‌شوند. علاوه بر این عوامل دیگری نیز مانند تنوع شرایط محیطی، تاریخچه مدیریت مزرعه، شرایط میکروکلیمایی (دما و رطوبت خاک، تنوع شرایط خاک، شرایط فیزیکی، توپوگرافی، بافت و ساختار خاک) و حاصل خیزی خاک نقش مهمی در پراکنش غیر یکنواخت و در نتیجه

جدول ۲- ضرایب مدل‌های برازش داده شده بر سمی واریوگرام‌های تجربی برای داده‌های تراکم و زیست توده خشک علف‌های هرز

Table 2- Spherical and exponential model parameters of semivariogram for weeds density and dry biomass

گونه علف هرز Weed species	مدل سمی واریوگرام Semi- variogram Model	عرض از مبدا Nugget	مجاناب Sill + Nugget	دامنه تأثیر (متر) Range (m)	درصد همبستگی Autocorrelatio n (%)	کلاس مکانی Spatial class
تراکم هفت بند <i>Polygonum aviculare</i> density	کروی Spherical	0.1570	0.6930	8.00	77.34	قوی Strong
تراکم سلمه تره <i>Chenopodium album</i> density	کروی Spherical	0.1280	1.930	17.50	88.28	قوی Strong
تراکم کل علف‌های هرز Total weeds density	نمایی Exponential	0.243	1.060	7.40	77.07	قوی Strong
زیست توده کل علف‌های هرز Total weeds biomass	کروی Spherical	1.634	3.369	176.07	51.49	متوسط Moderate



شکل ۲- برازش مدل‌های کروی واریوگرام بین داده‌های: a: عکس عملکرد بیولوژیک با تراکم علف‌های هرز، b: عکس عملکرد بیولوژیک با زیست توده علف‌های هرز، c: عکس عملکرد دانه با تراکم علف‌های هرز، d: عکس عملکرد دانه با زیست توده علف‌های هرز

Figure 2- Empirical cross-semivariograms between a: wheat biological yield and weed density, b: wheat biological yield and weed biomass, c: wheat grain yield and weed density, d: wheat grain yield and weed biomass

رابطه معکوس وجود دارد. همچنین نتایج نشان داد که همبستگی مکانی ۵۶/۲۵ درصد تا دامنه تأثیر ۶۲ متر بین زیست توده علف‌های هرز با عکس عملکرد دانه گندم وجود داشت (شکل ۲د). محمدی

نتایج نشان داد که تراکم علف‌های هرز با عکس عملکرد گندم دارای همبستگی ۹۱/۹۰ درصد بود (شکل ۲c). این بدان معنی است که بین تراکم علف‌هرز و عملکرد گیاه زراعی در سطح مزرعه یک

ها تا دامنه تاثیر ۵۸ متر مشاهده شد (شکل ۵). توزیع عملکرد گندم نیز با ارزش عددی پیکسل‌ها در تصویر هوایی دارای همبستگی قوی ۷۸/۱۲ درصدی بود. نقشه‌های ترسیم شده با داده‌های درون‌یابی شده بوسیله کریجینگ نیز نشان داد (شکل ۳) بخش شرقی مزرعه که ارزش عددی پیکسل‌ها در آن کم بود با نقاط دارای عملکرد بیولوژیک و دانه کم مطابقت داشت. با توجه به تشابه مکانی بالا بین عملکرد بیولوژیک و دانه گندم در سطح مزرعه با خصوصیات عکس هوایی (ارزش عددی پیکسل‌های تصویر)، می‌توان گفت تصاویر هوایی مزرعه می‌تواند به‌عنوان معیار مناسبی در مطالعه وضعیت پوشش گیاهی و عملکرد مزرعه مورد استفاده قرار گیرد. زوو و همکاران (۳۴) همبستگی قوی ($r = 0.71$) بین عملکرد محصول و شاخص پوشش گیاهی بدست آمده از تصاویر هوایی گزارش نمودند و اشاره کردند که این همبستگی مشابه همبستگی بدست آمده بین عملکرد و شاخص سطح برگ حاصل از سنسورها در سطح زمین بود. به هر حال، زوو و همکاران (۳۴) معتقدند که تصاویر تهیه شده از بالای مزرعه توسط سنسورها و دوربین‌ها می‌تواند به خوبی در مقیاس کم تغییرات عملکرد محصول را نشان دهد.

به‌صورت تجاری نیز بعضی از صفات مهم گیاهی نظیر شاخص سطح برگ، کلروفیل برگ و عملکرد با استفاده از ادواتی که در سطح زمین حرکت می‌کنند یا بوسیله سنسورها اندازه گیری می‌شوند، برای اهداف مدیریتی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند (۲۵ و ۳۰). لو و همکاران (۱۷) نیز به بررسی انواع شاخص‌های پوشش گیاهی استخراج شده از پهبادها در مراحل مختلف رشد و نموی برنج جهت تخمین محتوای نیتروژن پرداختند. هم‌چنین ساواساوا (۲۶) طی تحقیقی در هندوستان میزان عملکرد برنج را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سنجش از دور و تعدادی از فاکتورهای محیطی تخمین زد. نتایج پژوهش دیگری روی عملکرد برنج با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که بین عملکرد مشاهده شده و عملکرد واقعی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (۳۳).

همبستگی مکانی بین داده‌های سنجش از دور با تراکم و

زیست توده علف‌های هرز

نتایج برآزش مدل‌های کروی کراس‌سمی واریوگرام نشان داد که بترتیب همبستگی مکانی ۹۵ و ۹۰/۹ درصد بین الگوهای توزیع تراکم و زیست توده علف‌های هرز با داده‌های حاصل از سنجش از دور وجود داشت (شکل ۶). هم‌چنین نتایج نشان داد که همبستگی بین الگوهای توزیع جمعیت و زیست توده با داده‌های سنجش از دور بترتیب تا دامنه تاثیر ۵۷/۶ و ۶۰/۷ متر ادامه داشت. این دامنه تاثیر نشان دهنده این است که لکه‌های نسبتاً طولی از جفت متغیرهای مذکور در سطح مزرعه وجود داشتند که در این محدوده لکه‌ها بر هم منطبق بودند (شکل ۳). از آنجا که زیست توده علف‌های هرز در

(۲۰) همبستگی منفی (-0.31) بین الگوهای توزیع علف‌هرز و عملکرد دانه گندم بدست آورد. سینگ (۲۰۱۲) نیز همبستگی منفی معنی‌دار ۵۱ درصدی بین عملکرد دانه گندم زمستانه با علف‌های هرز گزارش نمود. وجود نقاط با تراکم بالای علف هرز در سطح مزرعه سبب شد تا در محل لکه‌ها، علف‌های هرز با جذب آب، عناصر غذایی و نور به رقابت با گیاه زراعی پرداخته و در نتیجه موجبات کاهش رشد و عملکرد زیست توده گندم و در نهایت عملکرد گیاه زراعی را به صورت موضعی در سطح مزرعه فراهم کنند (شکل ۳). گرچه احتمال می‌رود تا تخلیه لکه‌ای مواد غذایی خاک توسط جمعیت علف‌های هرز در سال‌های قبل باعث ایجاد بخشی از این غیریکنواختی در عملکرد زیست توده شده باشد. آمار مختلف نشان می‌دهد که درجه رقابت و به تبع آن میزان خسارت ناشی از علف‌های هرز به شدت متأثر از عوامل مدیریتی و شرایط اکولوژیکی هر منطقه است (۲۱). کلی و همکاران (۷) با استفاده از روش‌های زمین آماری، میزان کاهش عملکرد ذرت در اثر رقابت با علف‌های هرز باریک برگ یکساله را تخمین زده و نشان دادند که بعضی نقاط به دلیل اینکه کاهش عملکرد آن از حد آستانه مورد نظر کم‌تر بود نیاز به کاربرد علف‌کش نداشت.

توزیع مکانی داده‌های حاصل از سنجش از دور

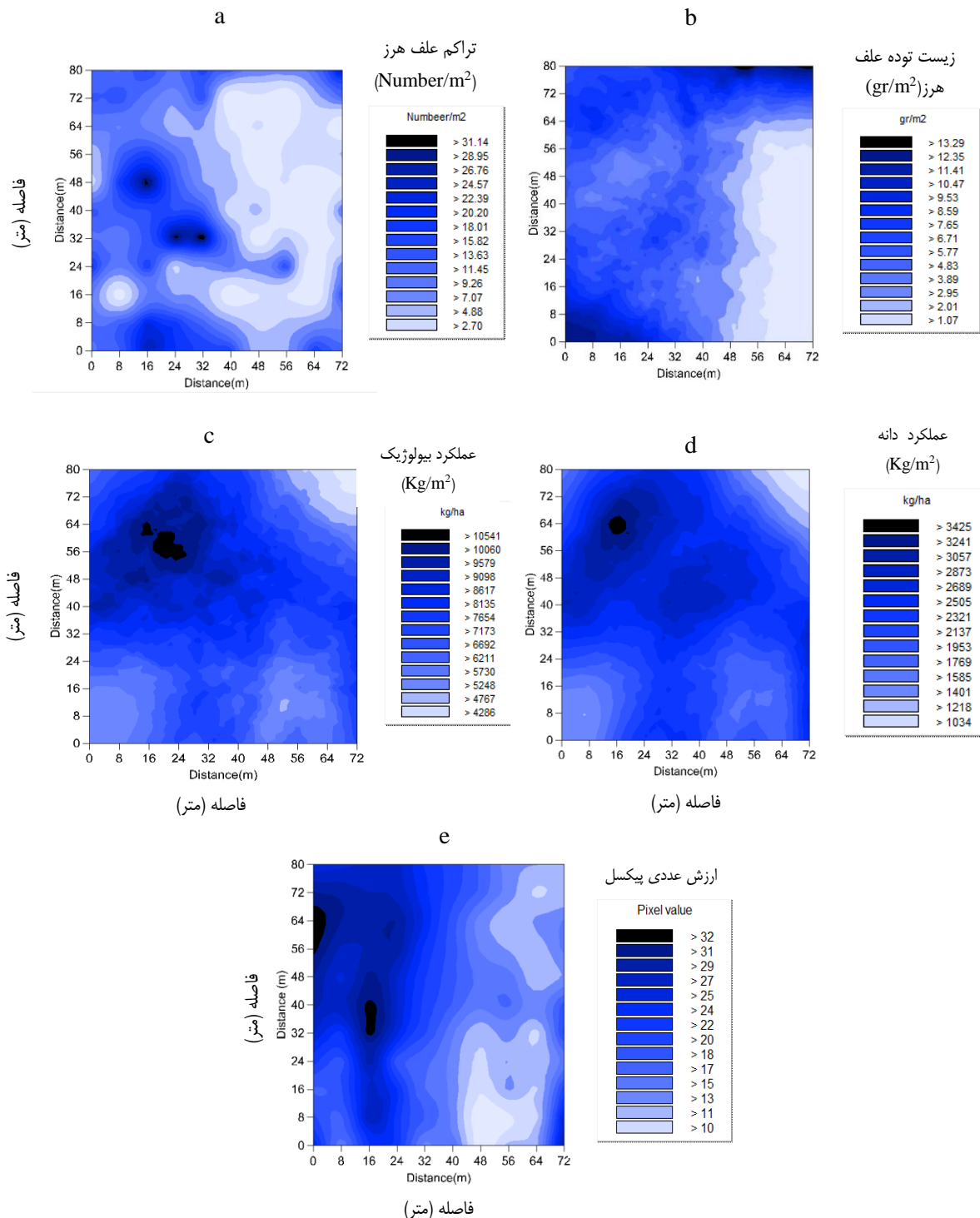
نتایج نشان داد که داده‌های حاصل از عکس هوایی که مقادیر ارزش پیکسل‌های تصویر بودند با استفاده از برآزش مدل سمی واریوگرام توزیع مکانی قوی نشان دادند (شکل ۴) به‌طوری‌که همبستگی مکانی قوی ۹۱/۹ درصدی بین ارزش عددی پیکسل‌ها در نقاط مختلف تصویر مشاهده شد. دامنه تاثیر بدست آمده نیز ۷۶/۹ متر بود که گویای وجود لکه‌های بزرگی از پوشش گیاهی در تصویر بود که دارای تراکم کم یا زیاد بودند. نقشه توزیع ارزش پیکسل‌ها نیز گویای نقاط با مقادیر ارزش بالا در قسمت شمال غربی مزرعه و بخش‌های وسیعی از نیمه غربی مزرعه بود، درحالی‌که در بخش شرقی مزرعه ارزش پیکسل‌ها کمتر بود یا به عبارتی تصویر بدلیل پوشش گیاهی کمتر، روشن‌تر بود (شکل ۳e). با توجه به اینکه تصویر هوایی حاصل انعکاس نور از سطح برگ گندم و پوشش گیاهی مزرعه می‌باشد که بوسیله دوربین عکس‌برداری در مرحله شروع ساقه‌دهی ثبت شده است، بنابراین توزیع مکانی غیر یکنواخت آن مشابه با عملکرد بیولوژیک منطقی به نظر می‌رسد.

همبستگی مکانی داده‌های حاصل از سنجش از دور با

عملکرد بیولوژیک و دانه گندم

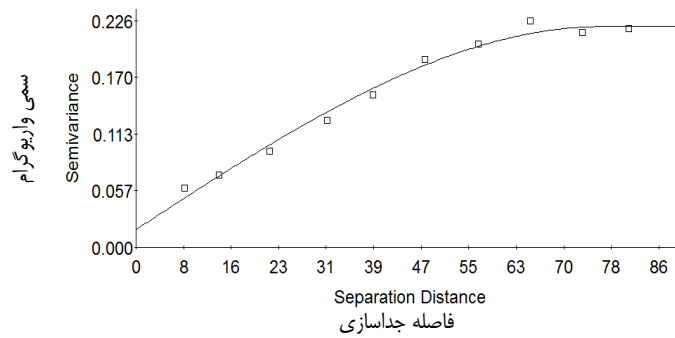
بررسی همبستگی مکانی بین عملکرد بیولوژیک گندم و ارزش عددی پیکسل‌های عکس هوایی نشان داد که تشابه مکانی بالایی بین دو متغیر وجود داشت یا به عبارتی همبستگی مکانی ۸۸/۲۳ درصد بین الگوهای توزیع عملکرد بیولوژیک و ارزش عددی پیکسل

شکل‌گیری ارزش عددی پیکسل‌های تصویر هوایی مزرعه بطور مستقیم نقش دارند، بنابراین الگوهای توزیع تراکم و زیست توده علف‌های هرز بخشی از نقاط تیره در تصویر هستند که گویای پوشش گیاهی بیشتر می‌باشد.



شکل ۳- نقشه‌های توزیع تراکم (a)، زیست توده علف هرز (b)، عملکرد بیولوژیک گندم (c)، عملکرد دانه گندم (d) و ارزش عددی پیکسل‌های تصویر هوایی (e)

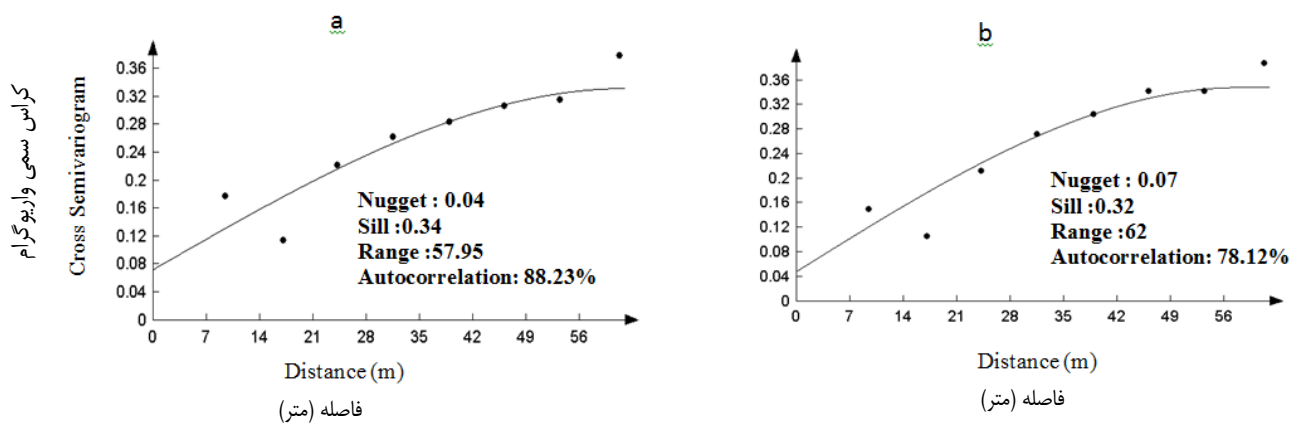
Figure 3- Kriged maps of weed density (a), biomass (b), wheat biological yield (c), wheat grain yield (d), and pixel value (e)



Spherical model ($C_0 = 0.0178$; $C_0 + C = 0.2206$; $A_0 = 76.90$; $r_2 = 0.987$;

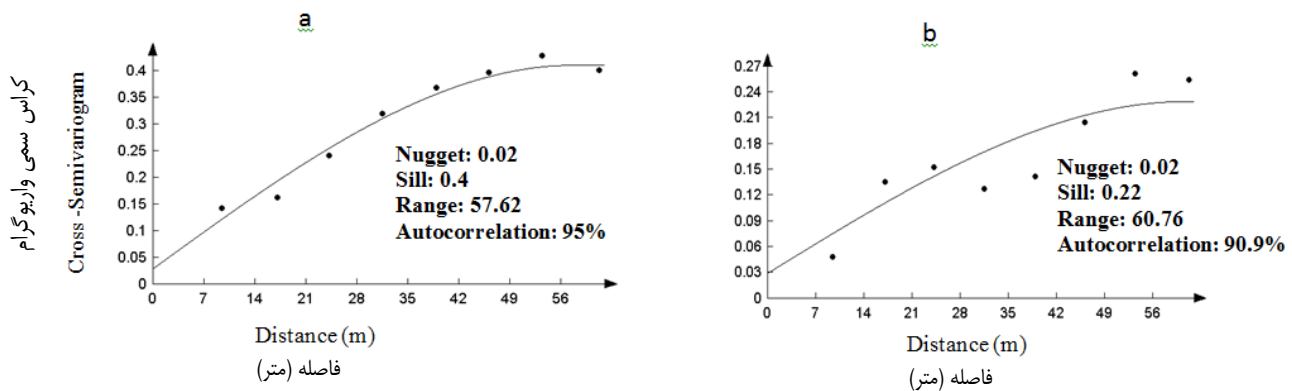
شکل ۴- برازش مدل کروی سمی واریوگرام بر داده‌های ارزش عددی پیکسل‌های مستخرج از تصویر هوایی (ارزش عددی پیکسل‌ها)

Figure 4- Empirical semivariogram for numerical value data of pixels derived from aerial image



شکل ۵- برازش مدل‌های کروی کراس سمی واریوگرام بین داده‌های عملکرد بیولوژیک (a) و عملکرد دانه گندم (b) با ارزش عددی پیکسل‌های تصویر هوایی

Figure 5- Cross-semivariograms models between biological (a) and grain yield of wheat with numerical value data of pixels derived from aerial image



شکل ۶- برازش مدل‌های کروی کراس سمی واریوگرام بین تراکم (a) و زیست‌توده (b) مجموع علف‌های هرز با مقادیر ارزش عددی پیکسل‌های حاصل از تصویر هوایی

Figure 6- Cross-semivariograms models between density (a) and biomass of total weeds with numerical value data of pixels derived from aerial image

نتایج نشان داد که تراکم و زیست توده علف‌های هرز در سطح مزرعه دارای الگوی توزیع لکه‌ای بودند، بنابراین محدودیت بیشتر منابع در محل لکه‌ها به دلیل رقابت شدیدتر، می‌تواند ساختار ناهمگونی را برای رشد و عملکرد گندم رقم بزند. همچنین مشخص شد که با استفاده از اطلاعات تصویر هوایی می‌توان با دقت قابل قبولی عملکرد بیولوژیک و دانه گندم و حتی تراکم و زیست توده علف‌های هرز را در سطح مزرعه پایش نمود. بطور کلی ناهمگونی مکانی عملکرد گندم و تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز بوسیله روش‌های آنالیز ژئواستاتستیک قابل بررسی بوده و روش سنجش از دور از طریق تهیه تصاویر هوایی نیز پتانسیل خوبی در مطالعه تغییرات مکانی رشد و عملکرد گیاهان دارد. بدون شک، یکی از راه‌های عملی کردن مدیریت متناسب با مکان گیاهان زراعی و نیل به سوی کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی و دستیابی به کشاورزی پایدار استفاده از روش‌های نوین گردآوری و آنالیز داده‌ها به منظور کسب اطلاعات مزرعه می‌باشد که از طریق روش‌های زمین آمار و سنجش از دور قابل دسترس خواهد بود.

تحقیقات زیادی در خصوص سنجش علف‌های هرز بوسیله عکس‌های هواپرد و دوربین‌های دیجیتالی نصب شده روی سکوها می‌زینی (مانند تراکتور، روبات، یا دکل) تاکنون انجام شده است. بعنوان مثال لاس و همکاران (۱۵)، تصاویر دیجیتالی را با استفاده از دوربین‌هایی تهیه کردند که با خطای کمتر از ۲۰ درصد قادر به دسته بندی آلودگی‌های علف‌هرز گل گندم، و گل راعی از سایر گیاهان مرتع شدند. همچنین لامب و همکاران (۱۴) با استفاده از سیستم عکس‌برداری دیجیتالی از یک سکوی هوایی علف‌هرز ارزن وحشی را در میان کاه و کلش کلزا مورد بررسی قرار دادند. عقیده براین است که پیکسل‌های علف‌های هرز مهاجم بطور طبیعی با یکدیگر در یک یا دو رده گروه‌بندی می‌شوند، بطوری که کامپیوتر تمامی بازتابش‌های دارای الگوی مشابه را گروه‌بندی می‌کند و بدین طریق آلودگی‌های مشخص علف‌های هرز روی زمین از سایر موضوعات قابل تفکیک می‌گردند (۵).

نتیجه گیری

منابع

- Ahmad Z., Khan S. M., Abd_Allah E.F., Alqarawi A.A., and Hashem A. 2016. Weed species composition and distribution pattern in the maize crop under the influence of edaphic factors and farming practices: A case study from Mardan, Pakistan. *Saudi Journal of Biological Sciences* 23(6): 741-748.
- Berni J.A., Zarco-Tejada P.A., Suarez L., and Fereres E. 2009. Thermal and narrowband aerial vehicle. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 47(3): 722-738.
- Bigwood D.B., and Inouye D.W. 1988. Spatial pattern analysis of seed banks: an improved method and optimized sampling. *Ecology* 69: 497-507.
- Calvino P., and Sadras V. 2002. On-farm assessment of constraints to wheat yield in the south-eastern Pampas. *Field Crop Research* 74: 1-11.
- Cambell J.B. 2002. *Introduction to Remote Sensing*. 3rd ed. New York. Guilford. 622.
- Cardina J., Sparrow D. H., and McCoy E.L. 1996. Spatial relationships between seed bank and seedling populations of common lambsquarters (*Chenopodium album*) and annual grasses. *Weed Science* 44: 298-308.
- Clay S. A., Kreutner B., Clay D. E., Reese C., Kleinjan J., and Forcella F. 2006. Spatial distribution, temporal stability, and yield loss estimates for annual grasses and common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) in a corn /soybean production field over nine years. *Weed Science* 54: 380-390.
- Colbach N., Forcella F., and Jonson G.A. 2000. Spatial and temporal stability of weed factors on the weed flora in crops in the Gadyvir. *Valley* 30: 375-382.
- Goudy H.J., Bennett K.A., Brown R.B., and Tardif F.J. 2001. Evaluation of site-specific weed management using a direct- injection sprayer. *Weed Science* 49: 359-366.
- Isaaks E.H., and Srivastava R.M. 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press. New York. 561p.
- Jiang P., and Telen K.D. 2004. Effect of soil and topographic properties on crop yield in a north- central corn soybean cropping system. *Agronomy Journal* 96: 252-258.
- Jurado-Exposito M., Lopez-Granados F., Garcia-Torres L., Garcia-Ferrer A. Sanches de La Orden M., and Atenciano S. 2003. Multi-species weed spatial variability and site-specific management maps in cultivated sunflower. *Weed Science* 51: 319 -328.
- Kipp S., Mistele R., Baresel P., and Schmidhalter U. 2014. High-throughput phenotyping early plant vigor of winter wheat. *European Journal of Agronomy* 52: 271-278.
- Lamb D.W., Weedon D., and Rew L.J. 1999. Evaluating the accuracy of mapping weeds in seedling crops using airborne digital imaging: *Avena spp.* in seedling triticale. *Weed Research* 39: 481-492.

- 15- Lass L. W., Carson H. W., and Callihan R.H. 1996. Detection of Yellow Starthistle (*Centaurea solstitialis*) and Common St. Johnswort (*Hypericum perforatum*) with Multispectral Digital Imagery. *Weed Technology* 10(3): 466-474.
- 16- Lowenberg DeBoer J., and Erickson K. 2000. Precision Farming Profitability Purdue. University, Ag Communications, West Lafayette in USA 132.
- 17- Lu J., Miao Y., Huang Y., Shi W., Hu X., Wang X., and Wan J. 2015. Evaluating an unmanned aerial vehicle-based remote sensing system for estimation of rice nitrogen status. 4th International Conference on Agro-Geoinformatics, Istanbul, 20-24 July 2015, 198-203.
- 18- Makarian H., and Hosseini R. S. 2011. Spatial distribution of weed and its effect on wheat (*Triticum aestivum* L.) biomass. *Journal of Agriculture Science* 3(4): 31-47. (In Persian with English abstract)
- 19- Makarian H. 2008. Investigation of spatial and temporal dynamic of weed seed bank and seedling populations and its effect on saffron (*Crocus sativus* L.) leaf dry weight under different weed management conditions. Ph.D. Thesis in weed science. Ferdowsi University of Mashhad: 193pp.
- 20- Mohammadi J. 2002. Spatial variability of soil fertility, wheat yield and weed density in a one-hectare field in Shahre Kord. *Journal of Agricultural Science and Technology* 4: 83-92.
- 21- Montazeri M., Zand A., and Baghestani M.A. 2004. Weeds and Control Them in Iran Wheat Fields. Agriculture Education Press. 85 pp. (In Persian with English abstract)
- 22- Nassiri Mahallati M., Koocheki A., and Jahani M. 2016. Estimating Within Field Variability of Wheat Yield Using Spatial Variables: An Approach to Precision Agriculture. *Journal of Agroecology* 3: 329-345. (In Persian with English abstract)
- 23- Nordmeyer H. 2006. Patchy weed distribution and site-specific weed control in winter cereals. *Precision Agriculture* 7: 219-231.
- 24- Rasmussen J., Nielsen J., Garcia-Ruiz F., Christensen S., and Streibig J. 2013. Potential uses of small unmanned aircraft system (UAS) in weed research. *Weed Research* 53: 242-248.
- 25- Sankaran S., Khot L.R., Espinoza C.Z., Jarolmasjed S., Sathuvalli V.R., Vandemark G.J. 2015. Low-altitude, high-resolution aerial imaging systems for row and field crop phenotyping: A review. *European Journal of Agronomy* 70: 112-123.
- 26- Sawasawa H.L.A. 2003. Crop yield estimation: integration RS, GIS and management factors. ITC, International Institute for Geo-information science and earth observation Enschede, The Netherlands.
- 27- Shahbaziyan N., Dadi A., and Irannejad H. 2007. Response of winter wheat yield to rotation with wheat, fallow, soybean and alfalfa and application of manure in Qazvin province in Iran. *Journal of Agriculture Science* 13: 125-135. (In Persian with English abstract)
- 28- Singh R. 2012. Weed management in irrigated wheat (*Triticum aestivum*) with special reference to buttercup weed (*Ranunculus* spp.) in north-west Himalayas. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 82: 706-710.
- 29- Stribig J. C., Rasmussen J., Andujar D., Anderson C., Berge T. W. 2014. Sensor- based assessment of herbicide effects. *Weed Research* 54(3): 223-233.
- 30- Taugourdeau S., Le Maire G., Avelino J., Jones J.R., Ramirez L.G., Jara Quesada M., and Roupsard O. 2014. Leaf area index as an indicator of ecosystem services and management practices: An application for coffee agroforestry. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 192: 19-37.
- 31- Torres-Sánchez J., López-Granados F., De Castro and A.I., Penã-Barragán J.M. 2013. Configuration and specifications of an unmanned aerial vehicle (UAV) for early site specific weed management. *PLoS One* 8(3), Published: March 6 2013.
- 32- Torres-Sánchez J., Pena J.M., de Castro A.I., and López-Granados F. 2014. Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. *Computer and Electronic in Agriculture* 103: 104-113.
- 33- Wang L., Chen F., Zhang F., and Mi G. 2010. Two strategies for achieving higher yield under phosphorus deficiency in winter wheat grown in field conditions. *Field Crops Research* 118: 36-42.
- 34- Zhou X., Zhng H., Xu X., and He J. 2017. Predicting grain yield in rice using multi-temporal vegetation indices from UAV- based multispectral and digital imagery. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 130: 246-255.

Spatial Dependence of Growth and Yield of Winter Wheat and Weeds Using Geostatistical and Remote Sensing Methods

M. Moradi Kalbolandi¹– H. Makarian^{2*}– M. Baradaran Firouz Abadi³– H.R. Asghari⁴

Received: 01-02-2020

Accepted: 06-05-2020

Introduction: Understanding the spatial relationship of weed populations and crop growth and yield within fields is increasingly important as methods are being developed for the site-specific management of weeds. Knowledge of spatial variability helps to improve weeds and crop management efficiency. It is well known that weed populations have a patchy distribution and a weed patch is considered stable if is consistent with density and location over time. Most of the spatial variability studies about weed populations have provided very precise information for site-specific recommendations and they are referred to as density data. The knowledge of spatial patterns within a field is critical not only to farmers for potential variable rate applications, but also to select homogenous zones within the field to run crop models with site-specific input to better understand and predict the impact of weeds, soil and landscape characteristics on spatial and temporal patterns of crop yields to enhance resource use efficiency at field level. Remote sensing and geostatistic methods have been widely explored as a tool for detection and mapping of weeds distribution in agricultural crops. Remote sensing is the science and art of obtaining information about an object, area, or phenomenon through the analysis of data acquired by a device that is not in contact with the object, area, or phenomenon under investigation. Thus, on the basis of different types of platforms carrying specific sensors, agricultural remote sensing could generally be categorized into satellite, aerial, and handheld or tractor mounted remote sensing. The cross-semivariogram analysis is one of geostatistical methods to describe the joint spatial dependence, or continuity between two variables such as crop yield and density of weeds and other pairs of variables that are influenced by the same local conditions or spatial processes. The objective of this study was to describe the spatial relationship between winter wheat and weeds using geostatistic and remote sensing.

Material and Methods: Geostatistic and remote sensing techniques were used to describe spatial relationship between weeds distribution and wheat biological and grain yield on a winter wheat fields located in Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology in growing season 2017-2018. Wheat traits such as biological and grain yield, weed density, and biomass were measured at 110 points of field based on an 8×8 m grid. Also, in order to investigation of biological and grain yield of wheat using remote sensing, an aerial image was taken by a quadcopter from the height of 120 m and then numerical values of aerial image pixels extracted and analyzed using geostatistics methods. Before subjecting data to spatial statistical analysis, they were log-transformed and detrended by a median polishing procedure as described previously. To describe the co-continuity of two variables (wheat yield and weeds populations) cross-semivariance was used. Semivariograms and cross-semivariograms were calculated both using GS+ and Variowin (Software for spatial data analysis in 2D, Spring Verlag, New York, USA) softwares, respectively.

Results and Discussion: Semivariogram analysis showed that total weed density and biomass had patchy patterns on the field. Cross-semivariograms showed weed density and biomass had negative spatial correlation of 75.89 to 62.50% with wheat biological yield and negative spatial correlation of 91.9 and 56.25 with grain yield of wheat, respectively. Remote sensing data showed a strong correlation of 88.23 and 78.12% with biological and grain yield of wheat, respectively. High spatial dependence was observed between the maps of biological and grain yield of wheat. Also, weed density and biomass patterns on the maps of weeds were similar to patterns of wheat biological and grain yield on the maps. Competition for resources among plants has long been considered to generate stress for plants and to be important for determining the distribution of species, as well as their evolution. Weeds reduce crop yields primarily by competing with the crop for limited resources (light, water, nutrients, etc.). Knowledge of the distribution of weeds across the field creates an opportunity for site-specific weed management. One potential way to utilize this information is through variable-rate herbicide application (VRA). While mapping weeds via field scouting or remote sensing for precisely varying application can be expensive, photographs taken from an airplane at times when weed-crop discrimination is good may be a more affordable method of roughly mapping weed patches to allow for some reduction in herbicide use.

1, 2, 3 and 4- M.Sc. Student and Associate Professors, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology. Shahrood, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: h.makarian@yahoo.com)

Conclusion: Base on this experiment results, weed density and biomass had a patchy distribution and so they can, depending on their impact degree, affect the growth and yield patterns of wheat in a non-uniform manner. Also geostatistical and remote sensing data has great potential for study of plant distribution and their relationships on the fields.

Keywords: Aerial image, Growth heterogeneity, Spatial distribution, Yield map