



دانشگاه گیلان، مرکز تحقیقات کشاورزی

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و دوم، شماره دوم، ۱۳۹۴
<http://jopp.gau.ac.ir>

تحلیل وضعیت عملکرد و رابطه آن با سطح برگ در مزارع گندم بر اساس روش‌های درون‌یابی (مطالعه موردی: مزرعه نمونه ارتش استان گلستان)

*اسماعیل محمدی احمد محمودی^۱، بهنام کامکار^۲ و امید عبدی^۳

^۱دانش‌آموخته سابق کارشناسی ارشد آگرواکولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
^۲دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۳کارشناس ارشد اداره منابع طبیعی استان گلستان
تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۵/۲۹

چکیده

سابقه و هدف: در علوم مانند بوم‌شناسی که در آن مقدار اندازه‌گیری شده یک کمیت در یک محدوده معین پردازش می‌شود، تخمین مقادیر متغیرها در مکان و زمان خاص با استفاده از داده‌های موجود از همان متغیر و یا بکار بردن اطلاعات متغیرهای دیگر متداول می‌باشد. در مطالعات جغرافیایی برداشت اطلاعات اغلب به صورت نقطه‌ای است. معمولاً ضرورت دارد اطلاعات حاصل به کل نقاط تعمیم داده شود که این امر به وسیله روش‌های درون‌یابی انجام می‌گیرد. در این پژوهش با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی زمین‌آماري و برخی روش‌های درون‌یابی قطعی، تغییرات مکانی مقادیر شاخص سطح برگ در اواخر مرحله پنجه‌زنی و مرحله تورم غلاف برگ پرچم و همچنین مقادیر عملکرد گیاه گندم در سطح مزارع گندم مزرعه ارتش استان گلستان مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: به این منظور تعداد ۱۰۱ نمونه گیاهی در سال زراعی ۱۳۹۰-۹۱ از مزارع تهیه شد و متغیرهای ذکر شده اندازه‌گیری شدند. معیارهای ارزیابی در این پژوهش، میانگین مطلق خطا، میانگین انحراف خطا و ریشه دوم میانگین مربعات خطا بودند که بر اساس روش اعتبارسنجی تقاطعی محاسبه شدند.

*مسئول مکاتبه: esmaeil.mohammadi68@yahoo.com

یافته‌ها: تجزیه و تحلیل نیم‌تغییرنماها نشان داد که مدل‌های کروی، دایره‌ای و نمایی بهترین برازش را از متغیرهای گیاهی داشتند. نتایج به‌دست آمده بر اساس مدل‌های درونیابی منتخب نشان داد که علی‌رغم انتظار، عملکرد گیاه گندم در مزرعه نمونه ارتش نوسان قابل‌توجهی دارد، به‌نحوی که عملکرد این مزارع از ۲/۸۷۶ تا ۶/۴۵۳ تن در هکتار و شاخص سطح برگ در اواخر مرحله پنجه‌زنی و در مرحله تورم غلاف برگ پرچم به‌ترتیب از ۰/۳۰۴ تا ۲/۳۱۷ و ۲/۶۶ تا ۶/۰۴۹ مترمربع در مترمربع نوسان دارند. توجه به داده‌های عملکرد و ضرایب همبستگی بین عملکرد و شاخص سطح برگ مبین آن است که اختلاف قابل‌توجه مقدار سطح برگ تولید شده در این مزارع، دلیل مهمی برای نوسان شدید عملکرد در بخش‌های مختلف مزرعه است، به‌نحوی که اختلاف سطح برگ برآورد شده برای مزرعه A در اواخر مرحله پنجه‌زنی و مرحله تورم غلاف برگ پرچم به‌ترتیب معادل ۱/۷۲۹ و ۲/۳۶۳ و در مزرعه B معادل ۲/۰۱۳ و ۳/۴۳ است.

نتیجه‌گیری: نتایج بررسی همبستگی بین داده‌های عملکرد و شاخص سطح برگ نشان داد مسائلی نظیر عدم انطباق ظرفیت ماشین‌آلات با سطح مزرعه و در نتیجه اختلاف قابل‌توجه در تاریخ کاشت بخش‌های مختلف، عدم یکنواختی وضعیت EC خاک و استفاده از ارقام مختلف با پتانسیل‌های متفاوت می‌توانند مهم‌ترین دلایل این نوسانات باشند.

واژه‌های کلیدی: شاخص سطح برگ، کریجینگ، نیم‌تغییرنما، اختلاف عملکرد

مقدمه

سامانه اطلاعات جغرافیایی^۱ به ابزاری قدرتمند برای تحقیقات کشاورزی و مدیریت منابع طبیعی تبدیل شده است. این سامانه ابزاری برای گردآوری، ویرایش، بایگانی، به‌روزرسانی، پردازش و نمایش داده‌های جغرافیایی است. این سامانه، روش‌های انعطاف‌پذیری را برای کشف ارتباط بین داده‌های جغرافیایی فراهم می‌آورد و به متخصصان این امکان را می‌دهد معلوماتشان را برای حل مسائل پیچیده در کنار یکدیگر قرار دهند (۳).

در روش‌های مبتنی بر درون‌یابی^۲، ارزش عددی مکان‌هایی که دارای ارزش ناشناخته‌اند، به‌وسیله داده‌های شناخته شده مکان‌های مجاور شناخته می‌شوند (۱). در علمی همچون خاک‌شناسی، بوم‌شناسی، زمین‌شناسی و نظایر آن که در آن‌ها مقدار اندازه‌گیری شده یک کمیت در یک محدوده معین پردازش می‌شود، تخمین مقادیر متغیرها در مکان و زمان خاص با استفاده از داده‌های موجود از همان متغیر و یا به‌کار بردن اطلاعات متغیرهای دیگر معمول می‌باشد (۲). در مطالعات جغرافیایی برداشت اطلاعات اغلب به‌صورت نقطه‌ای است. معمولاً ضرورت دارد اطلاعات حاصل به کل نقاط تعمیم داده شود که این امر به‌وسیله روش‌های درون‌یابی انجام می‌گیرد. در این میان درون‌یابی متفاوتی وجود دارد، اما روش درون‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW^۳) و کریجینگ^۴ روش‌های معمول استفاده شده برای ایجاد نقشه پیوسته عملکرد هستند (۱۹).

پژوهش‌های زیادی در مورد بررسی توزیع مکانی داده‌های پوشش گیاهی با کمک روش درون‌یابی کریجینگ صورت نگرفته است و اغلب این‌گونه مطالعات بر روی بررسی توزیع مکانی ویژگی‌های خاک صورت گرفته است. با این حال در بیشتر پژوهش‌ها، محققان به‌علت مناسب بودن روش درون‌یابی کریجینگ این روش را جهت تهیه نقشه پوشش گیاهی با کمک نقاط زمینی مورد استفاده قرار داده‌اند.

کاسا و کاستریگونانو (۲۰۰۸) ارتباط مکانی متغیرهای خاک و عملکرد را در مزارع گندم مورد بررسی قرار دادند و جهت انجام این پژوهش از روش‌های زمین‌آمار و به‌ویژه روش کریجینگ استفاده نمودند. نتایج نشان داد که استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ در تعیین میزان تأثیر متغیرهای مختلف

- 1- Geographical Information System
- 2- Interpolation
- 3- Inverse Distance Weighting
- 4- Kriging

خاک در ارتباط با عملکرد محصول زراعی توانایی خوبی دارد (۸). داهایا و همکاران (۲۰۰۴) در پژوهشی به تهیه نقشه عملکرد و ویژگی‌های خاک با کمک روش زمین‌آماری کریجینگ پرداختند. به‌منظور بررسی قابلیت این روش درون‌یابی، ۱۰ روش دیگر با روش درون‌یابی کریجینگ مقایسه گردید. نتیجه بررسی نقشه‌های خروجی از تمام روش‌ها بیانگر برتری روش کریجینگ بود (۹). هاوتون و همکاران (۲۰۰۱) توزیع مکانی زیست‌توده جنگلی را در جنگل‌های آمازون برزیل بررسی کردند. به این جهت ۷ روش مختلف را مورد ارزیابی قرار دادند که در این میان روش درون‌یابی کریجینگ به‌طور چشم‌گیری نسبت به سایر روش‌ها برتری داشت (۱۴).

الدیری و گارسیا (۲۰۱۲) جهت مدیریت شوری خاک و عملکرد گیاه زراعی تحقیقی را با هدف مقایسه سه روش کریجینگ انفصالی^۱ و شاخص^۲ و احتمالاتی^۳ در برآورد پتانسیل عملکرد گیاه یونجه و ذرت تحت آستانه‌های شوری مختلف انجام دادند. نتایج حاکی از آن بود که هر سه روش مورد بررسی در برآورد پتانسیل عملکرد توانایی خوبی دارند و از بین این سه روش، روش کریجینگ انفصالی از بقیه روش‌ها مناسب‌تر می‌باشد (۱۰). سالس و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیقی با عنوان بهبود برآورد توزیع مکانی زیست‌توده جنگلی با روش زمین‌آمار در برزیل، جهت تهیه نقشه زیست‌توده جنگل از روش درون‌یابی کریجینگ استفاده کردند. نتایج نشان داد روش زمین‌آمار مورد استفاده در این پژوهش قابلیت تخمین زیست‌توده جنگلی را دارد (۲۰). متکان و همکاران (۲۰۰۸) به‌منظور بررسی توزیع مکانی کادمیوم و تعیین پوشش گیاهی در معرض خطر در منطقه مرکزی ایران از روش درون‌یابی کریجینگ استفاده کردند (۱۷).

وو و همکاران (۲۰۰۶) جهت کمی‌سازی توان تولید گندم در دشت‌های شمالی چین از روش IDW استفاده نمودند (۲۴). کومی‌بواتنگ و یاکوبو (۲۰۱۰) با تلفیق GIS و داده‌های GPS به پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی پرداختند و جهت تهیه نقشه توزیع عملکرد و سایر عوامل مکانی از روش درون‌یابی IDW استفاده کردند (۱۶).

با توجه به مطالعات قبلی می‌توان از روش‌های زمین‌آمار و قطعی به‌عنوان روش‌های مناسب جهت تهیه نقشه متغیرهای گیاهی استفاده نمود. این مطالعه به‌منظور آزمون روش‌ها و مدل‌های مربوط به

1- Disjunctive Kriging

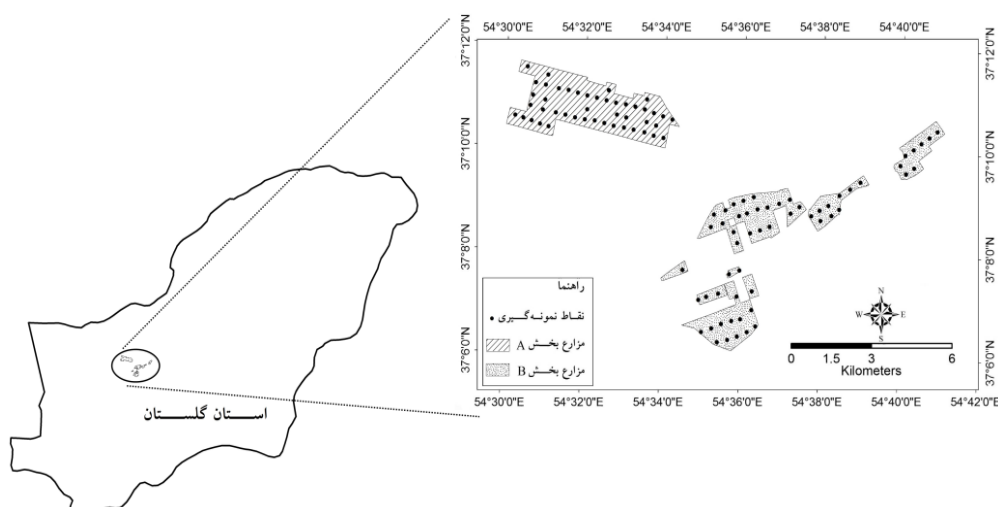
2- Indicator Kriging

3- Probability Kriging

روش درون‌یابی کریجینگ و روش‌های قطعی و استفاده از نقشه‌های تولید شده جهت بررسی رابطه سطح برگ و عملکرد گیاه گندم در مزرعه نمونه ارتش انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی و نوع داده‌ها: این پژوهش در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه نمونه ارتش گرگان واقع در شهرستان آق‌قلای استان گلستان در عرض جغرافیایی $37^{\circ}08'$ درجه شمالی و طول جغرافیایی $54^{\circ}34'$ درجه شرقی انجام شد. وسعت اراضی این مزرعه حدود ۴ هزار هکتار می‌باشد که حدود ۲۵۰۰ هکتار از این اراضی در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ به کشت گندم اختصاص داده شده بود (شکل ۱). رقم‌های گندم کشت شده در این مزارع شامل رقم‌های مروارید، کوه‌دشت، لاین ۱۷ و N-۸۰-۱۹ می‌باشد. لازم به یادآوری است که کشت گندم در این مزارع از ۲۳ آبان آغاز شد و تا ۵ دی‌ماه با کمک کمبینات و بذکارهای سانتریفیوژی ادامه یافت.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مزرعه مورد مطالعه در شمال استان گلستان و ایران (مزارع نمونه ارتش) و توزیع مکانی ۱۰۱ نقطه مورد استفاده جهت نمونه‌گیری از مزارع تفکیک شده A و B.

Figure 1. Geographical position of studied field in north of Golestan province and spatial distribution of 101 samples taken from A and B separated fields

جهت انجام این پژوهش ابتدا محدوده مزارع مورد مطالعه به وسیله دستگاه GPS^۱ تعیین گردید. سپس ۱۰۱ نقطه به صورت تصادفی در سطح مزرعه تعیین شد و به دلیل فاصله زیاد بین دو قسمت از اراضی، این مزارع به دو بخش A و B تفکیک گردید (شکل ۱).

طی فصل رشد گیاه گندم و در دو مرحله فنولوژیکی رشد گندم (اواخر مرحله پنجه‌زنی و مرحله تورم غلاف برگ پرچم) (۲۵) که در تاریخ‌های ۲۵ اسفندماه و ۲۲ فروردین بود، در نقاطی که از قبل تعیین شده بودند، تعداد چهار بوته به منظور برآورد شاخص سطح برگ از محصول گندم به عنوان نمونه برداشت شد. هم زمان جهت به دست آوردن تراکم بوته در مترمربع، تعداد بوته در ۰/۲۵ مترمربع شمارش گردید و در ادامه تراکم در مترمربع محاسبه شد. در زمان برداشت محصول نیز جهت تعیین عملکرد در نقاط مذکور به مزرعه مراجعه شد و با انتخاب و برداشت ۴ بوته در هر نقطه اقدام به جمع‌آوری اطلاعات عملکرد از سطح مزرعه شد. سپس نمونه‌های گیاهی به آزمایشگاه منتقل شدند و مقدار شاخص سطح برگ در هر نقطه در طی هریک از مراحل با کمک دستگاه سطح برگ‌سنج^۲ به دست آمد و با ضرب در تراکم شمارش شده در همان مرحله، مقدار سطح برگ در مترمربع به دست آمد. مقدار عملکرد نیز پس از جداسازی دانه گندم از غلاف و با توزین دانه به دست و ضرب آن در تراکم مربوطه محاسبه شد.

روش‌های درون‌یابی: داده‌های جمع‌آوری شده در محیط نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۹/۳ فراخوانی شدند و به منظور تهیه نقشه رستری صفات اندازه‌گیری شده، اقدام به درون‌یابی شد. از بین انواع روش درون‌یابی، روش‌های درون‌یابی کریجینگ معمولی^۳ و عام^۴ و انحصالی و همچنین روش‌های درون‌یابی قطعی وزن‌دهی معکوس فاصله و روش توابع پایه شعاعی^۵ مورد استفاده گرفت.

روش توابع پایه شعاعی: روش توابع پایه شعاعی از جمله روش‌های درون‌یابی قطعی است که در آن سطح تخمین از مقادیر مشاهده‌ای عبور می‌کند. از خصوصیات این روش این است که مقادیر بیشتر از حداکثر مشاهده‌ای و یا کمتر از حداقل مشاهده‌ای در سطح تخمین وجود دارد (۷).

1- Global Positioning System (Garmin 550)

2- DELTA-T

3- Ordinary Kriging

4- Universal Kriging

5- Radial Basis Function

روش وزن‌دهی معکوس فاصله: در روش درون‌یابی IDW که از روش‌های قطعی است ارزش یک متغیر بر اساس میانگین همسایه‌ها در محدوده معین محاسبه می‌شود، در این روش از رابطه (۱) استفاده می‌شود:

$$Z(X_0) = \frac{\sum_{i=1}^n z(x_i) \cdot d_{ij}^{-r}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}^{-r}} \quad (1)$$

در این معادله X_0 مکان برآورد و X_i شامل نقاط حاوی اطلاعات هستند که در ناحیه مؤثر قرار دارند. d_{ij} فاصله بین نقطه برآورد و نقاط حاوی اطلاعات است (۱۹).

روش کریجینگ معمولی: در روش کریجینگ معمولی جهت بیان تغییرات فضایی از نیم‌تغیرنا استفاده می‌شود و خطای مقادیر پیش‌بینی شده را با توجه به توزیع فضایی داده‌های پیش‌بینی شده کمینه می‌کند (۱). در این روش از رابطه (۲) جهت برآورد سایر نقاط استفاده می‌گردد:

$$Z(X) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (2)$$

در این رابطه Z مقدار متغیر در محل x و مکان برآورد و x_i شامل نقاط حاوی اطلاعات هستند و λ_i وزن یا اهمیت آماری اختصاص داده شده به متغیر اندازه‌گیری شده می‌باشد (۱۵).

روش کریجینگ عام: روش کریجینگ عام تلفیق روش کریجینگ معمولی و روند محلی می‌باشد. در روش کریجینگ معمولی فرض بر روند ثابت در کل ناحیه است در حالی که در کریجینگ عمومی فرض بر این است که یک روند در داده‌ها وجود دارد، ولی تابع روند به‌طور کامل مشخص نیست. این مسئله بر اساس فرضیات نظریه تغییرپذیری ناحیه‌ای است. در این نظریه تغییرات فضایی حاصل جمع مولفه ساختاری (روند ثابت در فضا) و متغیر ناحیه‌ای می‌باشد (۱).

کریجینگ انفصالی: کریجینگ انفصالی یک مدل زمین‌آمار غیرخطی بوده که برآوردهای نارایی از احتمالات مشروط دارد، به این معنی که مقدار صحیح ویژگی موردنظر از یک آستانه تعریف شده تجاوز نمی‌کند. کریجینگ انفصالی نوعی کریجینگ معمولی است (۱۱). این روش متداول نیست و فقط در مواردی که مقایسه‌ای بین روش‌ها لازم باشد استفاده می‌شود.

شرط استفاده از روش‌های درون‌یابی کریجینگ، نرمال بودن توزیع فراوانی داده‌هاست، در صورتی که متغیر مورد نظر توزیع نرمال نداشته باشد باید از انواع کریجینگ غیرخطی استفاده کرد یا با استفاده از روش‌های تبدیل داده‌ها، توزیع داده‌های مورد نظر را نرمال کرد (۱۳). به این منظور توزیع فراوانی داده‌ها با کمک ویژگی‌های آن شامل میانگین، حداقل، حداکثر، انحراف معیار، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی توسط نرم‌افزار آماری SAS و رویه تک متغیری^۱ (۱۲) مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی آزمون نرمال بودن توزیع متغیرها، از آزمون کولموگروف-اسمیرونوف استفاده شد. به این منظور داده‌های هر دو بخش A و B به دو بخش نقاط تست^۲ و نقاط آموزشی^۳ تقسیم شدند. در گام بعدی آزمون‌های متداول نرمال بودن داده‌ها برای تهیه نقشه درون‌یابی با کمک نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ بر روی داده‌ها صورت گرفت.

به منظور بررسی ساختار مکانی داده‌ها باید نیم‌تغییرنما^۴ مورد بررسی قرار گیرد. نمودار نیم‌تغییرنما قلب زمین‌آمار است که ساختار ارتباط مکانی بین نمونه‌ها را نشان می‌دهد (۲۳). متغیر نیم‌تغییرنما شامل اثر قطعه‌ای^۵، دامنه یا شعاع تأثیر^۶ و آستانه یا سقف^۷ می‌باشند (۲۲). برای بررسی ساختار مکانی داده‌های مورد استفاده نسبت اثر قطعه‌ای به سقف در هر نیم‌تغییرنما بررسی گردید. جهت محاسبه نیم‌تغییرنما از رابطه (۳) استفاده شد.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (3)$$

که در آن $Z(x_i)$ و $Z(x_i + h)$ مقادیر متغیر به ترتیب در نقاط x_i و $x_i + h$ و $N(h)$ تعداد جفت نمونه‌های به کار رفته به ازای هر فاصله (h) می‌باشد.

پس از تأیید نرمال بودن داده‌ها و همچنین بررسی وضعیت ساختار مکانی داده‌ها برای هر دو قسمت تفکیک شده مزرعه، انواع روش‌های معمولی، عام و انفصالی درون‌یابی کریجینگ اعمال گردید

-
- 1- Proc univariate
 - 2- Test Points
 - 3- Training Points
 - 4- Semivariogram
 - 5- Nugget effect
 - 6- Range
 - 7- Sill

تا روش مناسب برای تهیه نقشه مناسب برای خصوصیات گیاهی تعیین گردد. از میان انواع مدل‌های موجود در روش درونیابی کریجینگ مدل‌های دایره‌ای، کروی، نمایی، گوسی^۱، ثابت^۲ و k-Bessel مورد ارزیابی قرار گرفتند و برای هر متغیر میزان خطای موجود در تخمین نقاط مجهول مورد بررسی قرار گرفت.

معیارهای ارزیابی خطا: جهت تشخیص مناسب‌ترین روش از روش اعتبارسنجی تقاطعی^۳ استفاده گردید. در این روش مقادیر مشاهده شده به صورت موقت از مجموعه داده‌های نمونه حذف شده و با استفاده از سایر نقاط نمونه برای آن مقادیر جدیدی برآورد می‌شود. همچنین از مجموعه‌ای از مقادیر مشاهده شده و برآورد شده جهت ارزیابی میزان اعتبار روش‌های درونیابی استفاده می‌گردد (۱). به این منظور، میزان میانگین مطلق خطا (MAE)^۴، میانگین اربب خطا (MBE)^۵ و ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)^۶ در هر روش محاسبه و ارزیابی شدند (روابط ۴، ۵ و ۶) (۱۵).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z(x * i) - z(xi))^2}{n}} \quad (۴)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |z(x * i) - z(xi)|}{n} \quad (۵)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (z(x * i) - z(xi))}{n} \quad (۶)$$

صحت مدل با MAE تعیین می‌شود که مقدار صفر آن نشان دهنده صحت ۱۰۰ درصد است و هر قدر مقدار آن از صفر فاصله داشته باشد حاکی از کم شدن صحت مدل است. معیار ارزیابی MBE نیز بیانگر میانگین انحراف است. این معیار علاوه بر دارا بودن علامت مثبت (بیش برآوردی مدل) و یا منفی (کم برآوردی مدل) مقدار انحراف از مقادیر مشاهده شده را نیز نشان می‌دهد. به‌طور معمول هر قدر مقدار این دو معیار و همچنین ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) کمتر باشد صحت روش

-
- 1- Gaussian
 - 2- Stable
 - 3- Cross Validation
 - 4- Mean Absolute Error
 - 5- Mean Bias Error
 - 6- Root Mean Square Error

بیشتر است. از نظر تئوری هرگاه این دو معیار برابر صفر شوند نمایان‌گر این است که مقدار تخمین زده شده یک کمیت، دقیقاً برابر مقدار واقعی آن است (۱۵). با مقایسه روش‌های درون‌یابی بهترین روش و مدل جهت تهیه نقشه متغیرهای گیاهی انتخاب و ارائه گردید.

در گام بعد جهت بررسی وضعیت عملکرد در سطح مزارع (نقشه عملکرد) با استفاده از نقشه‌های سطح برگ، شبکه‌ای متراکم‌تر از نقاط که به فاصله ۲۰۰ متر از یکدیگر قرار داشتند و این شبکه ۶۸۰ نقطه در کل مزارع را در بر می‌گرفت و به‌نحوی بیانگر نقشه‌های تهیه شده بود، استخراج شد و ارتباط عملکرد و سطح برگ در ۳۲۶ و ۳۵۴ نقطه به‌ترتیب در بخش‌های A و B مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. در این پژوهش از نرم‌افزارهای ArcGIS نسخه ۹/۳ و نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ استفاده گردید.

نتایج و بحث

بررسی‌های آماری و مکانی داده‌ها: نتیجه بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نشان داد که داده‌ها از توزیع نرمال برخوردارند. در جدول ۱ آماره‌های توصیفی داده‌های مورد مطالعه آورده شده است.

جدول ۱- آماره‌های توصیفی متغیرهای مورد بررسی در اواخر مرحله پنجه‌زنی (مرحله اول)، مرحله تورم غلاف برگ پرچم (مرحله دوم) و برداشت عملکرد.

Table 1. Descriptive statistics of studied variables in tillering and booting stages (as the first and second stages), and yield harvest

متغیر Variable	بخش Part	واحد Unit	میانگین Average	کمینه Minimum	بیشینه Maximum	چولگی Skewness	کشیدگی Kurtosis	ضریب تغییرات (CV)	انحراف معیار (SD)
LAI (مرحله اول)	A	m ² .m ⁻²	1.43	0.20	2.65	-0.08	-0.75	0.44	0.63
LAI (first stage)	B	m ² .m ⁻²	1.16	0.08	2.98	0.58	-0.26	0.60	0.7
LAI (مرحله دوم)	A	m ² .m ⁻²	4.16	2.07	5.77	-0.18	0.16	0.19	0.81
LAI (second stage)	B	m ² .m ⁻²	4.64	1.56	6.65	-0.87	1.9	0.20	0.95
عملکرد	A	t.ha ⁻¹	4.93	2.56	6.77	-0.31	-0.35	0.19	0.97
(yield)	B	t.ha ⁻¹	5.10	1.74	6.63	-1.11	1.68	0.20	1.06

به منظور بررسی ساختار مکانی داده‌های مورد استفاده، ابتدا مناسب‌ترین مدل به داده‌ها برازش داده شد و سپس نسبت بین اثر قطعه‌ای به سقف مورد بررسی قرار گرفت. وقتی این نسبت کمتر از ۲۵ درصد باشد متغیر مورد نظر ساختار مکانی قوی دارد، اگر بین ۲۵ تا ۷۵ درصد باشد داده‌ها ساختار مکانی متوسط دارند و هنگامی که بیشتر از ۷۵ درصد باشد ساختار مکانی ضعیف دارند (۶). نسبت اثر قطعه‌ای به سقف در کل متغیرهای مورد بررسی بیانگر همبستگی مکانی متوسط و مناسب برای این متغیرها بود (جدول ۲).

جدول ۲- خصوصیات نیم‌تغییر نماهای مورد استفاده برای بررسی ساختار مکانی داده‌ها در اواخر مرحله پنجه‌زنی (مرحله اول)، مرحله تورم غلاف برگ پرچم (مرحله دوم) و برداشت عملکرد.

Table 2. Semivariogram's parameters used to study spatial structure of data related to tillering and booting (as the first to third stages) and yield harvest

اثر قطعه‌ای به سقف Nugget/sill	دامنه تأثیر (متر) Effective range (m)	سقف Sill	اثر قطعه‌ای Nugget	مدل برازش یافته Fitted model	بخش Part	متغیر Variable
0.33	882	0.451	0.150	دایره‌ای (Circular)	A	LAI (مرحله اول)
0.33	3133	0.6758	0.2258	کروی (Spherical)	B	LAI (first stage)
0.33	537	0.667	0.222	کروی (Spherical)	A	LAI (مرحله دوم)
0.36	599	1.141	0.415	دایره‌ای (Circular)	B	LAI (second stage)
0.32	847	0.88	0.283	نمایی (Exponential)	A	عملکرد
0.33	599	1.224	0.408	کروی (Spherical)	B	(yield)

ارزیابی روش‌های درون‌یابی در مراحل مختلف: نتایج نشان داد که انواع روش‌های مختلف جهت درون‌یابی شاخص سطح برگ گندم در اواخر مرحله پنجه‌زنی در بخش A تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. با این حال روش کریجینگ معمولی با مدل دایره‌ای به دلیل RMSE (۰/۴۶۳) و MAE کمتر (۰/۴۰۲) نسبت به سایر روش‌ها مناسب‌تر به نظر می‌رسد و همچنین روش RBF با توجه به RMSE بالا (۰/۵۲۰) ضعیف‌ترین مدل می‌باشد. همچنین میزان میانگین اریب خطا (MBE) نشان داد که برای این متغیر با این روش میزان برآورد کم‌تر (۴ درصد نسبت به مقدار میانگین) از مقدار واقعی می‌باشد. همچنین نتایج به دست آمده در مزارع بخش B نشان داد که روش کریجینگ انحصالی به طور کلی نسبت به سایر روش‌ها دقت بالاتری دارد و از این بین مدل کروی با کمترین RMSE (۰/۳۶۴) و MAE (۰/۳۰۶) مناسب‌ترین تخمین را داشته است. همچنین روش RBF با RMSE برابر با ۰/۵۰۴ کمترین دقت را دارد. در این روش میزان برآورد با توجه به مقدار مثبت میانگین اریب خطا بیش‌تر (۹ درصد نسبت به مقدار متوسط این متغیر) از مقدار واقعی می‌باشد (جدول ۳).

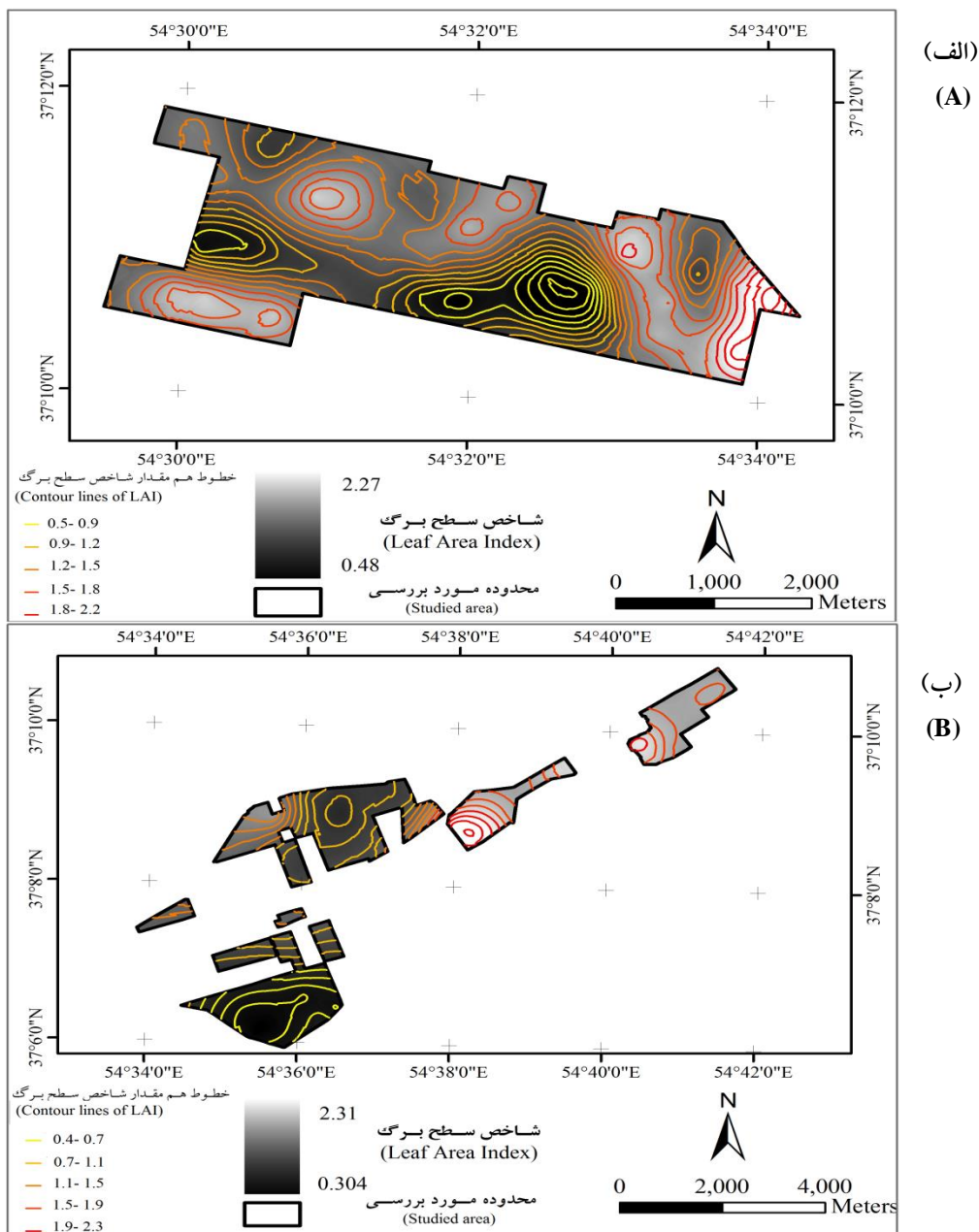
جدول ۳- نتایج ارزیابی روش‌های درونیابی مختلف روی LAI در اواخر مرحله پنجه‌زنی در بخش A و بخش B مزارع گندم مزرعه نمونه استان گلستان.

Table 3. Evaluation results for different interpolation methods to interpolate wheat LAI in tillering stage in the two field sectors (A&B) in Golestan province.

بخش B				بخش A				کریجینگ Kriging
RMSE	MBE	MAE	مدل Model	RMSE	MBE	MAE	مدل Model	
0.416	0.093	0.350	Circular (دایره‌ای)	0.463	-0.063	0.402	Circular (دایره‌ای)	معمولی Ordinary
0.397	0.108	0.335	spherical (کروی)	0.477	-0.063	0.420	spherical (کروی)	
0.389	0.114	0.326	Exponential (نمایی)	0.491	-0.098	0.443	Exponential (نمایی)	
0.452	0.124	0.356	Gaussian (گوسی)	0.479	-0.089	0.430	Gaussian (گوسی)	
0.396	0.090	0.344	k-Bessel (کا بیسیل)	0.493	-0.095	0.437	k-Bessel (کا بیسیل)	
0.403	0.077	0.351	Stable (ثابت)	0.515	-0.139	0.463	Stable (ثابت)	
0.399	0.107	0.334	Circular (دایره‌ای)	0.486	-0.065	0.427	Circular (دایره‌ای)	جهانی Universal
0.392	0.108	0.328	spherical (کروی)	0.481	-0.064	0.419	spherical (کروی)	
0.385	0.112	0.320	Exponential (نمایی)	0.473	-0.061	0.396	Exponential (نمایی)	
0.390	0.089	0.336	Gaussian (گوسی)	0.479	-0.089	0.430	Gaussian (گوسی)	
0.390	0.092	0.336	k-Bessel (کا بیسیل)	0.493	-0.095	0.437	k-Bessel (کا بیسیل)	
0.401	0.077	0.347	Stable (ثابت)	0.515	-0.139	0.463	Stable (ثابت)	
0.377	0.115	0.313	Circular (دایره‌ای)	0.473	-0.018	0.411	Circular (دایره‌ای)	انفصالی Disjunctive
0.364	0.115	0.306	spherical (کروی)	0.467	-0.021	0.401	spherical (کروی)	
0.374	0.132	0.313	Exponential (نمایی)	0.472	-0.011	0.370	Exponential (نمایی)	
0.378	0.094	0.327	Gaussian (گوسی)	0.465	0.028	0.356	Gaussian (گوسی)	
0.370	0.099	0.315	k-Bessel (کا بیسیل)	0.465	-0.007	0.365	k-Bessel (کا بیسیل)	
0.368	0.096	0.314	Stable (ثابت)	0.465	-0.002	0.368	Stable (ثابت)	
0.418	0.051	0.343	IDW	0.473	-0.090	0.409	IDW	
0.504	0.156	0.416	RBF	0.520	-0.108	0.465	RBF	

واحد اعداد جدول بر حسب مترمربع سطح برگ در مترمربع سطح زمین می‌باشند.

Unit of the table data is $m^2.m^{-2}$



شکل ۲- نقشه شاخص سطح برگ در اواخر مرحله پنجه‌زنی با کمک روش زمین‌آمار در بخش A (الف) و بخش B (ب) مزرعه (ب).

Figure 2. Leaf Area Index map in tillering stage using geostatistic method in two field sectors (A&B).

در زیر بهترین نقشه به دست آمده با کمک روش زمین‌آمار برای شاخص سطح برگ در اواخر مرحله پنجه‌زنی در سطح مزارع مورد بررسی در شکل ۲ ارائه شده است.

جدول ۴- نتایج ارزیابی روش‌های درونیابی مختلف روی LAI در مرحله تورم غلاف برگ پرچم در بخش A و بخش B مزارع گندم مزرعه نمونه ارتش استان گلستان.

Table 4- Evaluation results for different interpolation methods to interpolate wheat LAI in booting stage in the two field sectors (A&B) in Goloestan province.

بخش B				بخش A				کریجینگ Kriging
RMSE	MBE	MAE	مدل Model	RMSE	MBE	MAE	مدل Model	
0.594	0.102	0.457	Circular (دایره‌ای)	0.904	0.235	0.747	Circular (دایره‌ای)	معمولی Ordinary
0.598	0.101	0.471	spherical (کروی)	0.916	0.248	0.753	spherical (کروی)	
0.613	0.098	0.484	Exponential (نمایی)	0.918	0.232	0.752	Exponential (نمایی)	
0.598	0.095	0.455	Gaussian (گوسی)	0.909	0.238	0.749	Gaussian (گوسی)	
0.620	0.105	0.503	k-Bessel (کا بیسیل)	0.915	0.207	0.726	k-Bessel (کا بیسیل)	
0.617	0.107	0.502	Stable (ثابت)	0.914	0.208	0.727	Stable (ثابت)	
0.593	0.102	0.456	Circular (دایره‌ای)	0.906	0.210	0.718	Circular (دایره‌ای)	جهانی Universal
0.598	0.101	0.471	spherical (کروی)	0.888	0.210	0.705	spherical (کروی)	
0.650	0.078	0.506	Exponential (نمایی)	0.922	0.212	0.727	Exponential (نمایی)	
0.628	0.077	0.473	Gaussian (گوسی)	0.914	0.214	0.722	Gaussian (گوسی)	
0.640	0.119	0.510	k-Bessel (کا بیسیل)	0.909	0.204	0.723	k-Bessel (کا بیسیل)	
0.638	0.121	0.510	Stable (ثابت)	0.956	0.196	0.768	Stable (ثابت)	
0.710	0.151	0.614	Circular (دایره‌ای)	0.950	0.171	0.766	Circular (دایره‌ای)	انفصالی Disjunctive
0.717	0.162	0.621	spherical (کروی)	0.949	0.172	0.756	spherical (کروی)	
0.730	0.157	0.630	Exponential (نمایی)	0.940	0.169	0.759	Exponential (نمایی)	
0.715	0.147	0.618	Gaussian (گوسی)	0.946	0.175	0.764	Gaussian (گوسی)	
0.741	0.164	0.637	k-Bessel (کا بیسیل)	0.937	0.170	0.757	k-Bessel (کا بیسیل)	
0.741	0.172	0.640	Stable (ثابت)	0.938	0.171	0.758	Stable (ثابت)	
1.110	0.394	0.938	IDW	0.968	0.197	0.767	IDW	
1.112	0.405	0.951	RBF	0.991	0.221	0.719	RBF	

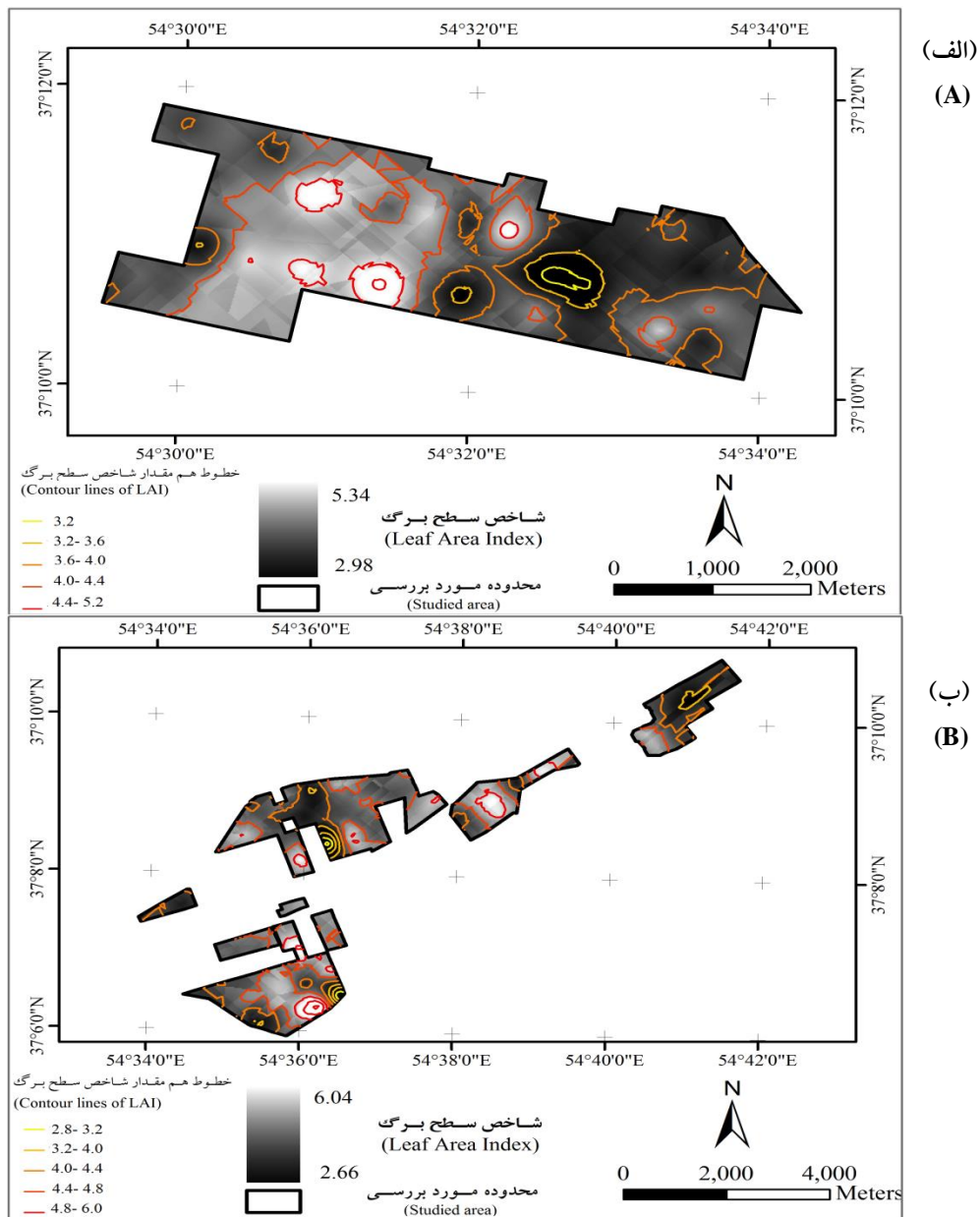
واحد اعداد جدول بر حسب مترمربع سطح برگ در مترمربع سطح زمین می‌باشند.

Unit of the table data is $m^2 \cdot m^{-2}$

نتایج به دست آمده (جدول ۴) نشان داد که روش کریجینگ عام با مدل کروی به دلیل RMSE (۰/۸۸۸) و MAE کمتر (۰/۷۰۵) جهت درون‌یابی شاخص سطح برگ گندم در مرحله تورم غلاف برگ پرچم در مزارع بخش A مزرعه نمونه استان گلستان نسبت به سایر روش‌ها از دقت بالاتری برخوردار بوده و هم‌چنین روش RBF با توجه به RMSE بالا (۰/۹۹۱) ضعیف‌ترین مدل می‌باشد. میزان میانگین اریب خطا نشان داد میزان برآورد به میزان ۵ درصد بیش‌تر از مقدار واقعی می‌باشد. از سوی دیگر در مزارع بخش B مدل دایره‌ای در روش کریجینگ عام با RMSE (۰/۵۹۳) و هم‌چنین MAE کمتر (نسبت به سایر روش‌ها) مناسب‌تر می‌باشد و روش RBF نیز با توجه به RMSE بالا (۱/۱۱۲) روش ضعیف می‌باشد. میزان میانگین اریب خطا نشان داد که برای این متغیر میزان برآورد نسبت به مقدار میانگین به میزان ۲ درصد بیش‌تر از مقدار واقعی می‌باشد. در ضمن در بین روش‌های مورد ارزیابی روش‌های قطعی به‌طور کلی ضعیف‌ترین روش‌ها برای درون‌یابی نقاط مجهول نسبت به سایر روش‌ها بوده و روش‌های معمولی و عام تقریباً فرق چندانی ندارند.

با توجه به ارزیابی‌های انجام شده، مناسب‌ترین نقشه شاخص سطح برگ در مرحله تورم غلاف برگ پرچم در هر دو بخش مزارع بر اساس مدل‌های کروی و دایره‌ای به دست آمد (شکل ۳).

بر اساس اطلاعات مندرج در جدول ۵، نتایج نشان داد که مدل نمایی در روش‌های عام و معمولی جهت درون‌یابی عملکرد گندم در بخش A نسبت به دیگر روش‌ها برتر هستند، زیرا نسبت به سایر مدل‌ها کم‌ترین خطا را با میزان RMSE برابر با ۱/۱۷۷ و میزان MAE برابر با ۰/۸۸۳ داشتند و در مقابل روش IDW خطای بیش‌تری (RMSE برابر با ۱/۲۴۹) داشت. نکته قابل‌توجه، عدم تفاوت روش‌های معمولی و عام با یکدیگر بود که به‌نظر می‌رسد به‌دلیل عدم وجود روند در داده‌ها بوده است. با بررسی میانگین اریب خطا نیز مشاهده شد که مقادیر متناظر به دست آمده به میزان ۱۰ درصد بیش‌تر از مقدار واقعی بودند. در مزارع بخش B نیز دقت روش‌های مورد بررسی مقایسه شد و نتایج بیانگر دقت بیش‌تر مدل کروی در هر دو روش معمولی و عام به‌دلیل داشتن کم‌ترین میزان RMSE (۰/۷۶۲) و MAE (۰/۶۰۲) بود و روش RBF نیز بالاترین RMSE (۰/۹۷۰) و کم‌ترین دقت را داشت. میانگین اریب خطا نشان داد که برآورد این متغیر کم‌تر از مقدار واقعی (۰/۷ درصد) است.



شکل ۳- نقشه شاخص سطح برگ در مرحله تورم غلاف برگ پرچم با کمک روش زمین‌آمار در بخش A (الف) و بخش B مزرعه (ب).

Figure 3. Leaf Area Index map in booting stage using geostatistic method in the two field sectors (A&B).

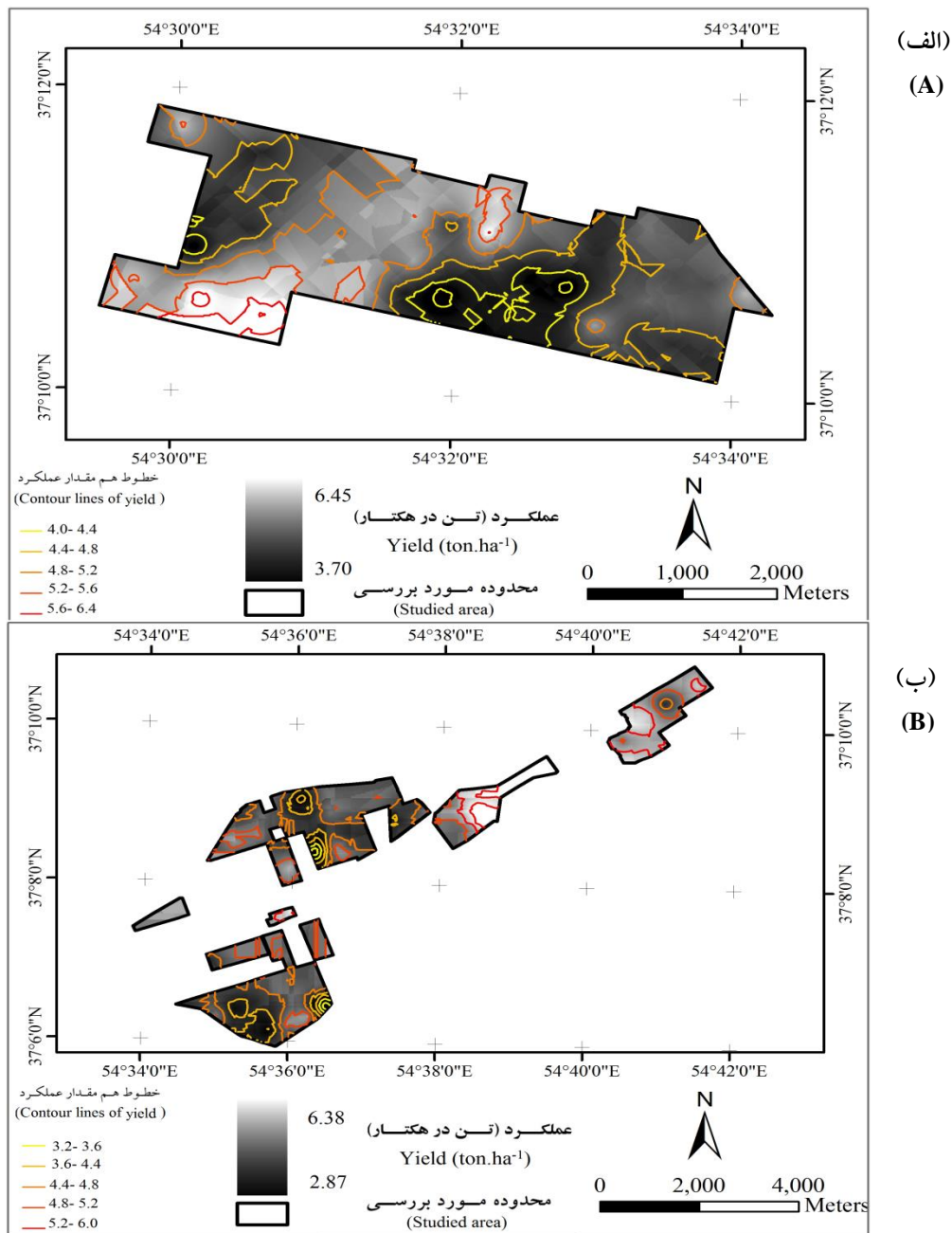
جدول ۵- نتایج ارزیابی روش‌های درون‌یابی مختلف روی عملکرد در بخش A و بخش B مزارع گندم مزرعه نمونه استان گلستان.

Table 4- Evaluation of different interpolation methods to interpolate wheat yield in the two field sectors (A&B) in Golestan province.

بخش B				بخش A				کریجینگ Kriging
RMSE	MBE	MAE	مدل Model	RMSE	MBE	MAE	مدل Model	
0.896	-0.133	0.663	Circular (دایره‌ای)	1.196	0.510	0.882	Circular (دایره‌ای)	معمولی Ordinary
0.762	-0.040	0.602	spherical (کروی)	1.183	0.516	0.960	spherical (کروی)	
0.791	-0.038	0.611	Exponential (نمایی)	1.177	0.498	0.873	Exponential I (نمایی)	
0.789	-0.032	0.600	Gaussian (گوسی)	1.204	0.518	0.891	Gaussian (گوسی)	
0.794	-0.052	0.612	k-Bessel (کا بیسیل)	1.177	0.507	0.882	k-Bessel (کا بیسیل)	
0.794	-0.054	0.611	Stable (ثابت)	1.177	0.508	0.882	Stable (ثابت)	
0.896	-0.133	0.663	Circular (دایره‌ای)	1.196	0.510	0.882	Circular (دایره‌ای)	جهانی Universal
0.762	-0.040	0.602	spherical (کروی)	1.183	0.516	0.960	spherical (کروی)	
0.791	-0.038	0.611	Exponential (نمایی)	1.177	0.498	0.873	Exponential I (نمایی)	
0.789	-0.032	0.600	Gaussian (گوسی)	1.204	0.518	0.891	Gaussian (گوسی)	
0.794	-0.052	0.612	k-Bessel (کا بیسیل)	1.177	0.507	0.882	k-Bessel (کا بیسیل)	
0.794	-0.054	0.611	Stable (ثابت)	1.177	0.508	0.882	Stable (ثابت)	
0.959	-0.102	0.717	Circular (دایره‌ای)	1.197	0.612	0.992	Circular (دایره‌ای)	انفصالی Disjunctive
0.953	-0.109	0.710	spherical (کروی)	1.204	0.614	0.995	spherical (کروی)	
0.909	-0.132	0.657	Exponential (نمایی)	1.203	0.604	0.989	Exponential I (نمایی)	
0.925	-0.103	0.679	Gaussian (گوسی)	1.195	0.606	0.989	Gaussian (گوسی)	
0.894	-0.135	0.654	k-Bessel (کا بیسیل)	1.205	0.604	0.990	k-Bessel (کا بیسیل)	
0.900	-0.127	0.656	Stable (ثابت)	1.201	0.600	0.986	Stable (ثابت)	
0.965	-0.143	0.698	IDW	1.249	0.582	0.963	IDW	
0.970	-0.187	0.700	RBF	1.193	0.555	0.955	RBF	

واحد اعداد جدول بر حسب تن در هکتار گندم می‌باشند.

Unit of the table data is ton.ha⁻¹



شکل ۴- نقشه عملکرد با کمک روش زمین‌آمار در بخش A (الف) و بخش B مزرعه (ب).

Figure 4. Provided yield map using geostatistic method in the two field sectors (A&B).

نقشه عملکرد حاصله از بهترین مدل در مزارع مورد بررسی با توجه به ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در شکل ۴ ارائه شده است. با ارزیابی انواع مدل‌ها در متغیرهای مورد بررسی مشخص شد که مدل‌های نمایی، کروی و دایره‌ای مدل‌های برتر در ۶ مورد درونیابی بودند که با یافته‌های سایر محققان هم‌سویی داشته است. در این ارتباط بیرل و همکاران (۱۹۹۵) مدل‌های نمایی و کروی را جهت درونیابی بهتر داده‌های عملکرد گیاه گندم استفاده نمودند (۴). نتایج پژوهش بورنان و همکاران (۲۰۰۴) مدل کروی را مدل مناسب جهت درونیابی عملکرد معرفتی کرد (۵). استوارت و همکاران (۲۰۰۲) نیز مدل کروی را برای تهیه نقشه عملکرد گندم دوروم به‌عنوان مدل مناسب برگزیدند (۲۱). پرینگل و براتنی (۲۰۰۴) نیز مدل نمایی را مدل مناسب جهت درونیابی متغیر گیاهی مطرح نمودند (۱۸). زارع ایبانه (۲۰۱۲) نیز مدل‌های دایره‌ای و نمایی را مدل‌های مناسب جهت تهیه نقشه عملکرد گیاه گندم معرفتی کرد (۲۶).

وضعیت عملکرد و ارتباط آن با شاخص سطح برگ: نتایج نشان داد که علی‌رغم انتظار، عملکرد گندم در مزرعه نمونه ارتش از نوسان قابل توجهی برخوردار است، به‌نحوی که میزان عملکرد در بخش A مزرعه حدود ۳/۴ و در بخش B مزرعه حدود ۳/۵ تن نوسان دارد. نگاهی به داده‌های عملکرد و ضرایب همبستگی بین عملکرد و شاخص سطح برگ (جدول ۶) مبین آن است که اختلاف قابل توجه مقدار سطح برگ تولید شده در این مزارع، دلیل مهمی برای نوسان شدید عملکرد در بخش‌های مختلف مزرعه است، به‌نحوی که اختلاف سطح برگ برآورد شده برای مزرعه A در اواخر مرحله پنجه‌زنی و مرحله تورم غلاف برگ پرچم به‌ترتیب معادل ۱/۷۲۹ و ۲/۳۶۳ و در مزرعه B معادل ۲/۰۱۳ و ۳/۴۳ است. بررسی رابطه شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شده در دو مرحله اواخر پنجه‌زنی و تورم غلاف برگ پرچم با عملکرد در دو بخش A و B مزرعه (شکل ۵) نیز نشان می‌دهد که به کارگیری مدیریت‌های زراعی به نحوی که بتوان به حداکثر شاخص سطح برگ و همزمانی انطباق حداکثر شاخص سطح برگ با بهترین شرایط محیطی دست یافت و نوسان مشاهده شده را به حداقل رساند می‌تواند تأثیر به‌سزایی در افزایش عملکرد این مزارع داشته باشد. از جمله این مدیریت‌ها می‌توان به تاریخ کاشت و انتخاب رقم مطلوب اشاره کرد. اختلاف تاریخ کاشت گندم در این مزارع به‌دلیل وسیع بودن مزارع و نوسان در تاریخ کاشت گندم در قطعات مختلف یکی از نکات در خور توجه است که در این زمینه باید مدنظر قرار گیرد.

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین مقادیر استخراج شده شاخص سطح برگ در مراحل مختلف رشد و عملکرد از نقشه‌های تهیه شده با کمک روش کریجینگ.

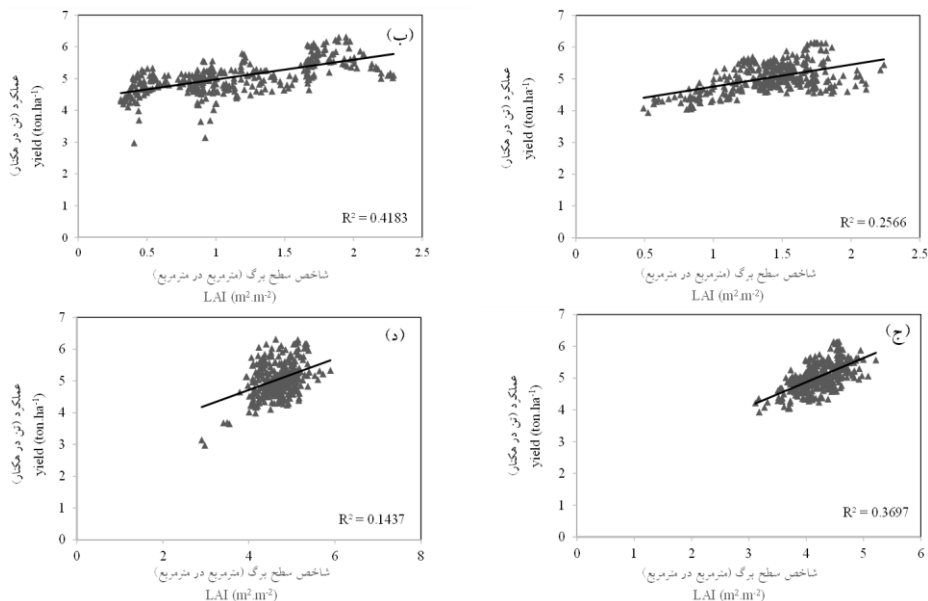
Table 6. Correlation coefficients between extracted values of LAI in different stages and the yield from provided maps using Geostatistic method

تعداد نقاط	ضریب همبستگی	بخش	متغیر (Variable)
Number of points	correlation coefficient	Sector	
326	0.50**	A	LAI (اواخر پنجه‌زنی)
354	0.64**	B	LAI (tillering stage)
326	0.61**	A	LAI (مرحله تورم غلاف برگ پرچم)
354	0.38**	B	LAI (booting sage)

** : Significant in 1% of probability

** : ارتباط معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

مسائلی نظیر عدم انطباق ظرفیت ماشین‌آلات با سطح مزرعه و در نتیجه اختلاف قابل توجه در تاریخ کاشت بخش‌های مختلف، عدم یکنواختی وضعیت EC خاک و استفاده از ارقام مختلف با پتانسیل‌های متفاوت می‌توانند مهم‌ترین دلایل این نوسانات باشند. نقشه‌های تولید شده عملکرد و سطح برگ به‌خوبی نشان دادند که کشت گندم در مزرعه مورد مطالعه از مدیریت واحد و منظم برخوردار نیست و لازم است یک بازبینی کلی در طراحی الگوهای کاشت این مزرعه صورت گیرد.



شکل ۵- رابطه بین عملکرد و شاخص سطح برگ، در اواخر مرحله پنجه‌زنی در بخش A (الف)، بخش B مزرعه (ب)، مرحله تورم غلاف برگ پرچم در بخش A (ج) و بخش B مزرعه (د).

Figure 5. Relationship between the yield and leaf area index in tillering and booting stages in the two field sectors (A&B).

نتیجه گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که در بین انواع مدل‌های نیم‌تغییرنما جهت درون‌یابی متغیرهای گیاهی، مدل‌های کروی، نمایی و دایره‌ای می‌توانند دقت بیشتری در تهیه نقشه این متغیرها به همراه داشته باشند. از بین انواع کریجینگ هر کدام از روش‌ها در هر جایی نتیجه متفاوتی داشته و مختص به مکان و متغیر خاصی هستند و با توجه به نتایج این پژوهش نمی‌توان با قطعیت از بین انواع کریجینگ، روشی را به عنوان روش برتر در تهیه نقشه پوشش گیاهی گزارش کرد اما در کل موارد و متغیرهای مورد بررسی روش‌های قطعی نتایج چندان مطلوبی نداشتند و نمی‌توان این روش‌ها را توصیه نمود. با توجه به این نکات استفاده از مدل‌های معرفی شده و ارزیابی آن‌ها جهت درون‌یابی و تهیه نقشه متغیر به منظور دست‌یابی به نقشه مطلوب جهت بررسی و تحلیل پوشش گیاهی ضروری می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که استفاده از روش‌های مبتنی بر مختصات مکانی و دارای ساختار مکانی می‌توانند به خوبی در آسیب‌شناسی نظام‌های تولید به کار گرفته شوند. این نتایج به خوبی نشان داد که مزارع نمونه ارتش گلستان از مدیریت واحد و یکنواختی برخوردار نیستند، اگرچه لازم است تحقیقات تکمیلی در راستای یافتن دلایل این نوسانات صورت پذیرد. در این راستا پیشنهاد می‌شود رابطه عملکرد در نقاط نمونه‌گیری از طریق روش‌های داده‌کاوی اطلاعات با متغیرهای مرتبط با خاک و گزینه‌های مدیریتی مورد بررسی قرار گیرد و وزن هر کدام از عوامل در ایجاد نوسان مکانی تولید تعیین شوند تا در گام بعد اقدام به کاهش این نوسانات نمود. اختلاف قابل توجه بین عملکرد بخش‌های مختلف مزارع مورد مطالعه از یک سو و هم‌خوانی آن با نوسانات سطح برگ از سوی دیگر در کنار همبستگی بالای بین سطح برگ در اواخر مرحله پنجه‌زنی و مرحله تورم غلاف برگ پرچم و عملکرد در مزارع A و B (به ترتیب $0/50^{**}$ ، $0/76^{**}$ ، $0/61^{**}$ و $0/38^{**}$) نشان از آن دارد که در وهله اول باید در این مزرعه به دنبال راهکارهایی بود که به یکنواخت‌سازی شاخص سطح برگ در کل مزرعه و حداکثرسازی آن اختصاص دارند.

منابع

1. Aliakbari, M., Saadatfar, A., and Shojaee, H. 2011. Examining different methods of positioning for providing soil magnesium map in Bardsir plain soil region. J. Appl. RS GIS Techniq. Natur. Res. 1: 49-59. (In Persian)

2. Amini, M., Khademi, H., and Fathian poor, N. 2002. A comparison of Kriging and Cokriging techniques in estimating Cl⁻ concentration in soil. Iranian, J. Agric. Sci. 33(4): 741-748. (In Persian)
3. Bernherdson, T. 1992. Geographic Information System. Viak IT. Arendal. Norway. 423p.
4. Birrell, S.J., Sudduth, K.A., and Borgelt, S.C. 1996. Comparison of sensors and techniques for crop yield mapping. Comput Electron Agr. 14: 215-233.
5. Bourennane, H., Nicoullaud, B., Couturier, A., and King, D. 2004. Exploring the spatial relationships between some soil properties and wheat yields in two soil types. Prec. Agri. 5: 521-536.
6. Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Novak, J.M., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F., and Koropaka, A.E. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 1501-1511.
7. Carlson, R.E., and Foley, T.A. 1991. The parameter R² in multiquadric interpolation. Comput. Math. App. 21: 29-42.
8. Casa, R., and Castrignano, A. 2008. Analysis of spatial relationships between soil and crop variables in a durum wheat field using a multivariate geostatistical approach. Eur J Agron. 28: 331-342.
9. Dahiya, I.S., Anlauf, R., and Schoen, H.G. 2004. Improved mapping of crop yield and soil properties with the help of geostatistical techniques: 1. Kriging. Eurosoil. 1. September 4-12. Freiburg, Germany.
10. Eldeiry, A.A., and Garcia, L.A. 2012. Management of soil salinity and crop yield using conditional probability maps. 32rd annual American geophysical Union hydrology days days. 25 – 27 March. Colorado State University.
11. Eldeiry, A.A., and Garcia, L.A. 2012. Using disjunctive kriging as a quantitative approach to manage soil salinity and crop yield. J. Irrig. Drain Eng. 138(3): 211-224.
12. Fazeli Rostam Poor, M. 2010. Statistical analysis using SAS. Sepehr Publication. 333p. (In Persian)
13. Hasani-Pak, A.A. 2007. Geostatistic. Tehran University. 314p. (In Persian)
14. Houghton, R.A., Lawrence. K.T., Hackler. J.L., and Brown. S. 2001. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates. Global Change Biol. 7: 731-746.
15. Kazemi, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Kamkar, B., Shataei, Sh., and Sadeghi, S. 2012. Evaluation of geostatistical methods for estimating and zoning of macronutrients in agricultural lands of Golestan province. Water Soil Sci. 22(1): 201-218. (In Persian)
16. Kumi-Boateng, B., and Yakubu, I. 2010. Predicting the yield of crops using Gis/Gps integration- A case study at Benso oil palm plantation limited. Eur. J. Sci. Res. 42(2): 314- 325.

17. Matkan, A.A., Kazemi, A., Gilly, M.R., and Ashourloo, D. 2009. Using RS and GIS for considering cadmium distribution and polluted vegetation in Esfahan province. *Environ. Sci.* 2: 65-76. (In Persian)
18. Pringle, M.J., McBratney, A.B., and Cook, S.E. 2004. Field-scale experiments for site-specific crop management. Part II. A geostatistical analysis. *Prec. Agri.* 5: 625–645.
19. Robinson, T.P., and Metternicht, G. 2005. Comparing the performance of techniques to improve the quality of yield maps. *Agri. Syst.* 85: 19- 41.
20. Sales, M.H., Souza Jr, C.M., Kyriakidis, P.C., Roberts, D.A., and Vidal, E. 2007. Improving spatial distribution estimation of forest biomass with geostatistics: A case study for Rondonia, Brazil. *Ecol Modell.* 205: 221–230.
21. Stewart, C.M., McBratney, A.B., and Skerritt, J.H. 2002. Site-specific durum wheat quality and its relationship to soil properties in a single field in northern new south Wales. *Prec. Agri.* 3: 155–168.
22. Utset, A., Lopez, T., and Diaz, M. 2000. A comparison of soil maps, kriging and a combined method for spatially prediction bulk density and field capacity of Ferralsols in the Havana-Matanaz plain. *Geoderma.* 96: 199-213.
23. Webster, R., and Oliver, M. 2001. *Geostatistics for environmental scientists.* John Wiley and Sons, Ltd. Chichester. 271p.
24. Wu, D., Yu, Q., Lu, Ch., and Hengsdijk, H. 2006. Quantifying production potentials of winter wheat in the North China Plain. *Eur J Agron.* 24: 226- 235.
25. Zadoks, J.C., Chang, T.T., and Kanzak, C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14: 415-421.
26. Zare abyaneh, H. 2012. Evaluation of artificial neural network and geostatistical methods in estimating the spatial distribution irrigated and dry wheat yield (case study: Khorasan Razavi). *Phys. Geograph. Res. Quart.* 4: 23-42. (In Persian)

