نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد هشتم، شماره چهارم، زمستان ۹٤
۱۸۳-۲۰۱
http://ejcp.gau.ac.ir

استفاده از آنالیز خط مرزی در مطالعات خلاء عملکرد: مطالعه موردی گندم در گرگان

*امیر حجارپور[۱]، افشین سلطانی[۲] و بنیامین ترابی[۳]
[۱،۲،۳] دانشجوی دکتری، استاد و استادیار گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۹٤/۲/۲٦ ؛ تاریخ پذیرش: ۹٤/۸/۱۳

چکیده

سابقه و هدف: نظر به افزایش پیش رو در جمعیت جهان و نگرانی فزآینده از امنیت غذایی آینده، خلاء عملکرد و رفع آن به‌عنوان یکی از زمینه‌های داغ تحقیقاتی در علوم زراعی در آمده است. تخمین میزان خلاء عملکرد و تعیین عوامل به‌وجود آورنده‌ی آن مستلزم به کارگیری روش‌های مناسب می‌باشد. آنالیز خط مرزی یک روش آماری است که به کمک آن می‌توان واکنش عملکرد به یک عامل محیطی یا مدیریتی را در شرایطی که سایر عوامل نیز متغیر هستند و ثابت نشده‌اند، کمی نمود. در واقع روش آنالیز خط مرزی پاسخ عملکرد به عامل مورد نظر را در شرایطی که سایر عوامل مناسب باشند، مشخص می‌کند. اهداف تحقیق حاضر معرفی آنالیز خط مرزی به‌عنوان یک آنالیز کاربردی در مباحث خلاء عملکرد گیاهان زراعی و استفاده از این روش جهت تعیین همزمان بهترین مدیریت‌ها و برآورد پتانسیل‌ها و خلاء عملکرد گندم در گرگان بوده است.

مواد و روش‌ها: با نمونه‌برداری از مزارع کشاورزان و کمک این روش می‌توان عملکرد پتانسیل و نیز دلایل خلاء عملکرد و اهمیت هر عامل در خلاء را مشخص ساخت. در این مقاله با به‌کارگیری داده‌های حاصل از ۹۵ مزرعه گندم طی سال‌های زراعی ۸۷-۱۳۸٦ و ۸۸-۱۳۸۷ در منطقه گرگان، نحوه به کارگیری این روش توضیح داده شده است. در تحقیق حاضر بدون در نظر گرفتن اطلاعات مربوط به خاک مزارع و همچنین اطلاعات گیاهی، تنها به بررسی تأثیر عوامل مدیریتی پرداخته شد. عوامل مدیریتی مورد بررسی شامل میزان کود نیتروژن (N) مصرفی (به صورت پایه و سرک)، مقدار کود فسفر (P_2O_5)، مقدار کود پتاس (K_2O)، تعداد دفعات آبیاری، تراکم بوته و تاریخ کاشت بودند.

* مسئول مکاتبه: ahajarpoor@gau.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

یافته‌ها: با رسم پراکنش داده‌های عملکرد در مقابل متغیرهای مختلف مدیریتی، بالاترین عملکردها در سطوح مختلف هر نهاده یا مدیریت خاص انتخاب شد. نتیجه حاصله این بود که درحالی که متوسط عملکرد کشاورزان ٤٧٠٠ کیلوگرم است، آن‌ها می‌توانند با بهبود مدیریت زراعی به عملکرد ٦٢٠٠ کیلوگرم در هکتار دست یابند و برای این منظور اقدامات زیر مد نظر قرار گیرد: ١) مصرف حداقل ٩٦ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار که ٧٣ کیلوگرم آن به‌صورت سرک باید داده شود، ٢) مصرف حداقل ٣١ کیلوگرم کود فسفر به‌صورت P_2O_5 و ٤٠ کیلوگرم کود پتاس به‌صورت K_2O در هنگام کاشت، ٣) حداقل دو نوبت آبیاری، ٤) تراکم بوته بین ١٨٢ تا ٤٤٧ در مترمربع و ٥) کشت در اوایل آذر ماه و یا قبل از آن.

نتیجه‌گیری: استفاده آنالیز خط مرزی در مطالعات خلاء عملکرد می‌تواند به روشنی پاسخ‌های عملکرد به عوامل مدیریتی را نشان داده و پتانسیل‌های ممکن را محاسبه کند. تفسیر نتایج این آنالیز بسیار ساده و روشن است. همچنین به نظر می‌رسد این آنالیز نیاز به آزمایشات معمول مزرعه‌ای را کاهش داده و برای طراحی آزمایشات مزرعه‌ای جدید سرنخ‌های خوبی را در اختیار بگذارد. در صورتی که این‌گونه مطالعات میدانی به‌صورت گسترده و طی چندین سال برای گیاهان زراعی مهم صورت بگیرد می‌توان بیشتر از توانایی اینگونه آنالیزها جهت پیدا کردن راه‌های افزایش تولید استفاده کرد. توصیه می‌شود آنالیز خط مرزی به‌عنوان یک آنالیز کاربردی در مطالعات خلاء عملکرد گیاهان زراعی مورد استفاده قرار بگیرد.

واژه‌های کلیدی: امنیت غذایی، عوامل محیطی، عوامل مدیریتی، دلایل خلاءء عملکرد، روش‌های آماری مناسب، عملکرد پتانسیل

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

خلاءء عملکرد اختلاف بین عملکردهای واقعی در مقابل عملکرد بـه‌دسـت آمـده تحـت شـرایط مطلوب مدیریتی تعریف می‌شود (۱). به عبارت بهتر، در یک منطقه مشخص خلاءء عملکرد عبارت از اختلاف بین عملکرد پتانسیل[1] با عمکرد واقعی بدست آمده در مزارع کشاورزان آن منطقه می‌باشد (۲). آنالیز خلاء عملکرد[2] یک تخمین کمی از امکان افزایش در ظرفیت تولید غذا برای یک ناحیه مشخص را فراهم می‌آورد که یک جزء مهم در طراحی راهبردهای تأمین غـذا در مقیـاس منطقـه‌ای، ملـی و در سطح جهانی است (۳).

استراتژی‌های زیادی جهت فایق آمدن بر نیاز روز افزون بشر به مواد غذایی جهان ارایـه شـده‌انـد (٤)؛ در تمامی این استراتژی‌ها، یک موضوع مورد تأکید قرار گرفتـه اسـت و آن افـزایش عملکـرد در واحد سطح است (۵) و در این میان کاهش خلاء عملکرد به نظر گزینه امیدوار کننده‌تری است (۲)،به ویژه در کشورهای در حال توسعه (٦) که از خلاءء بزرگ‌تری رنج می‌برند. در سال‌های اخیر به علت نگرانی‌های به وجود آمده در مورد مباحث امنیت غذایی، مطالعات نیز در این زمینه در سطح جهان (۱، ۲ و ۷) و ایران (۸) رو به افزایش است و نیاز است تا با روش‌های آماری مناسب اقدام به برآورد میزان خلاء عملکرد و دلایل آن و یا به عبارتی شناسایی عوامل محدود کننده‌ی عملکـرد پتانسـیل نمـود. در این راستا روش‌های مختلفی جهت آنالیز خلاء عملکرد وجود دارد؛ یکی از این روش‌هـا کـه توانـایی برآورد عملکرد پتانسیل و دلایل خلاء عملکرد را دارد، آنالیز خط مرزی[3] است.

محققان بسیاری با استفاده از روش‌های آماری مختلف از میان ۵ تا ۱۰ درصـد از کشـاورزانی کـه بیشترین عملکرد را در مطالعات میدانی یا ملاقات چهره به چهره با کشاورزان کسـب کـرده‌انـد،جهت تخمین عملکرد پتانسیلاستفاده کرده‌اند (۹ و ۱۰). در این گونه مطالعات اگر منابع تولید گیاهی (شـامل خصوصیات خاک) و سطوح مختلف ورودی‌ها هم جمع‌آوری شود، می‌توان با اسـتفاده از روش‌هـای آماری نظیر آنالیز خط مرزی، بالاترین عملکردها را در پاسخ بـه سـطح معینـی از دسترسـی بـه منـابع مشخص کرد (۲). اگرچه روش‌های رگرسیونی می‌توانند به وضوح روابط بین متغیرهـای مختلـف بـا عملکرد را نشان دهند اما همبستگی بین این متغیرها و تأثیر همزمان و نهایی برهمکنش آنها بر عملکرد

1. Potential yield
2. Yield gap analysis
3. Boundary-line analysis

Archive of SID

www.SID.ir

باعث پنهان شدن جنبه‌های مهمی از اطلاعات و تخمین پایین‌تر از حد عملکرد پتانسیل خواهد شد. دلیل این امر این است که مدل‌های رگرسیونی، میانگینی از پراکندگی داده‌ها را نشان می‌دهند(١١)، درحالی که استفاده از میانگین‌ها برای زمانی مناسب است که مدیریت یکسانی برای بدست آمدن عملکردها مورد استفاده قرار گرفته باشد. بنابراین شاید نیاز باشد تا با روش‌های آماری مناسب اقدام به برآورد عملکرد پتانسیل و شناسایی عوامل محدود کننده آن نمود.

آنالیز خط مرزی روشی است که به‌نظر می‌رسد در این گونه مطالعات می‌تواند مکملی برای روش‌های رگرسیونی و مدل‌های آماری معمول باشد. در این روش که اولین بار توسط وب (١٩٧٢) ارایه شده است با استفاده از یک معادله $Ymax = f(X; \theta)$ بین حداکثر عملکردهای بدست آمده و یک متغیر هدف (بدون در نظر گرفتن اثر سایر عوامل موثر بر عملکرد) یک رابطه برقرار می‌کند که در این معادله $Ymax$ حداکثر عملکرد، به عنوان تابعی از مقادیر مختلف متغیر X و θ نیز پارامترهای معادله می‌باشد که از طریق اندازه گیری‌های متعدد Y و X در مزارع مختلف تخمین زده می‌شوند (١٢). این روش باعث شناخت پاسخ عملکرد به تنها یک متغیر از میان داده‌های متعدد جمع‌آوری شده، می‌شود؛ در حالی که عملکرد به خودی خود تحت تأثیر متغیرهای زیادی بوده و در اصل عملکرد نهایی، میانگینی از پاسخ‌های مختلف به این متغیرها می‌باشد (١١). در این دیدگاه، به جای اینکه از وسط پراکندگی داده‌ها خطوط رگرسیونی برازش داده شود، مرز بالایی پراکندگی داده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. این مرز نشان‌دهنده بالاترین عملکردهای بدست آمده (پتانسیل عملکرد) و یا بهترین عملکرد تحت تأثیر سطوح مختلف یک عامل یا نهاده‌ی خاص می‌باشد. در این روش فرض بر این است (با مجموعه داده زیاد) که این عملکردها بالاترین عملکرد ممکن در غیاب هرگونه عامل محدودکننده‌ی دیگر هستند و تمامی نقاطی که پایین‌تر قرار می‌گیرند به وسیله سایر عوامل محدود شده‌اند. تأکید بر مرز بالایی داده‌ها در میان یک ابر داده[1] باعث می‌شود تا بیننده کمتر دچار سردرگمی شده و درک رابطه بین عملکرد و متغیر مستقل راحت‌تر باشد (١٣ و ١٤).

آنالیز خط مرزی تا به حال در ایران جهت ارزیابی خلاء عملکرد مورد استفاده قرار نگرفته است؛ در سطح جهان نیز این آنالیز بیشتر در ارتباط بین عوامل خاکی (شامل غلظت مواد غذایی، مواد آلی، اسیدیته و غیره) و عملکرد استفاده شده است (١١، ١٤، ١٥ و ٢٧). اگرچه بررسی ارتباط عملکرد با

1. Data cloud

Archive of SID

www.SID.ir

بارندگی، تبخیر–تعرق، نیتروژن مصرفی، آفات و بیماری‌ها و تراکم گیاهی نیز در مطالعات جداگانه‌ای پرداخته شده است (۱٦، ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۸)، اما جهت برآورد عملکرد پتانسیل و تعیین حداقل نهاده ورودی جهت دست‌یابی به آن کمتر مورد استفاده قرار گرفته است.

شناخت پتانسیل‌ها و همچنین میزان و نحوه تأثیر هر یک از عوامل محدود کننده‌ی عملکرد به صورت جداگانه، نقش مهمی در تعیین راهبردهای مدیریتی جایگزین جهت رسیدن به حداکثر عملکرد دارد؛ اخیراً ونگ و همکاران (۲۰۱۵) در یک مطالعه پیمایشی با بررسی ۲٥٤ مزرعه قهوه در اوگاندا و استفاده از آنالیز خط مرزی به ارزیابی میزان اهمیت عوامل دخیل در محدودسازی تولید قهوه و کمی‌سازی میزان خلاء عملکرد مربوطه در آن پرداختند (۷). اهداف تحقیق حاضر نیز در ابتدا معرفی آنالیز خط مرزی به عنوان یک آنالیز کاربردی در مباحث خلاء عملکرد گیاهان زراعی و سپس استفاده از این روش جهت تعیین همزمان بهترین مدیریت‌ها و درصد مزارع دچار مشکل و همچنین برآورد پتانسیل‌ها و خلاء عملکرد گندم در گرگان بوده است.

مواد و روش‌ها

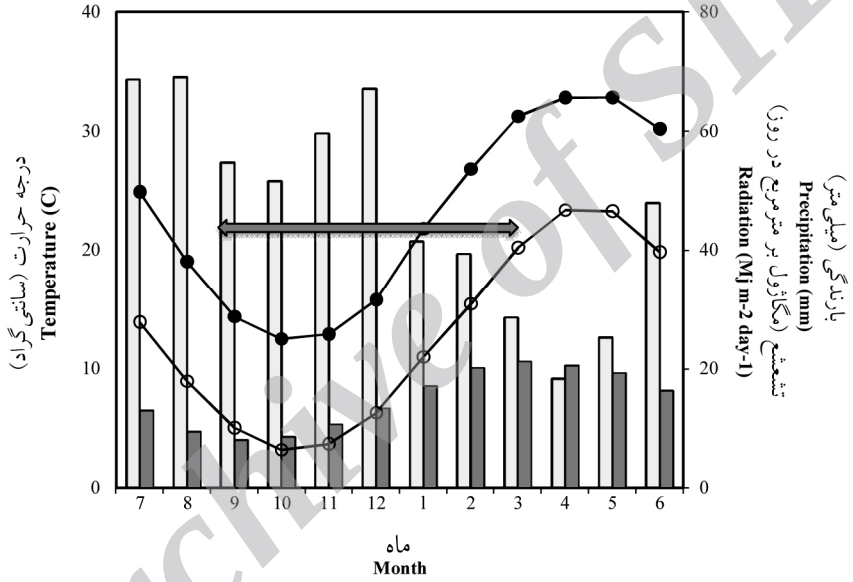
داده‌ها و اطلاعات زراعی: برای استفاده از آنالیز خط مرزی از داده‌های تحقیق انجام شده توسط ترابی (۲۰۱۱) استفاده گردید (۲۰). ایشان در مطالعه خود ابتدا به جمع‌آوری اطلاعات مربوط به خاک مزارع، اطلاعات مربوط به مدیریت‌های انجام شده و اطلاعات گیاهی مانند مراحل فنولوژی، میزان نیتروژن دانه و کلروفیل برگ و غیره پرداختند. این تحقیق در دو سال زراعی ۸۷–۱۳۸٦ و ۸۸–۱۳۸۷ انجام شد که در سال اول ۵۰ مزرعه و در سال دوم ٤٥ مزرعه به صورت پیمایشی مورد بررسی قرار گرفتند. اساس انتخاب مزارع تنوع عملکردی سال‌های گذشته آنها بود. همچنین تمامی مزارع تحت پوشش ناظرین سازمان جهاد کشاورزی قرار داشتند. در تحقیق حاضر بدون در نظر گرفتن اطلاعات مربوط به خاک مزارع و همچنین اطلاعات گیاهی، تنها به بررسی تأثیر عوامل مدیریتی پرداخته شد. عوامل مدیریتی مورد بررسی شامل میزان کود نیتروژن (N) مصرفی (به صورت پایه و سرک)، مقدار کود فسفر (P_2O_5)، مقدار کود پتاس (K_2O)، تعداد دفعات آبیاری، تراکم بوته و تاریخ کاشت بودند.

اطلاعات اقلیمی: شهرستان گرگان با میانگین درازمدت بارندگی سالانه ۵۷۱ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۸ درجه سانتی‌گراد، دارای اقلیم معتدل نیمه مرطوب است. ارتفاع این شهرستان از سطح دریا ۱۳ متر بوده و بین ۵۳ درجه و ۵۱ دقیقه تا ٥٦ درجه و ١٤ دقیقه طول شرقی و ۳٦ درجه و ٤٤ دقیقه

Archive of SID

www.SID.ir

تا ۳۸ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی در استان گلستان واقع گردیده است. گرگان دارای زمستان‌های ملایم بوده و گندم به‌صورت کشت پاییزه و معمولاً در آذرماه کشت می‌شود. میانگین دمای حداکثر و حداقل و بارندگی در طی فصل رشد گندم (آذرماه تا خردادماه) به‌ترتیب برابر با ۱۹ و ۹ درجه سانتی‌گراد و ۳٤۰ میلی‌متر است. محصول گندم معمولاً در خردادماه برداشت شده که بلافاصله بعد از آن گیاه سویا به‌عنوان گیاه دوم در سیستم دوکشتی مورد کشت قرار می‌گیرد. بنابراین می‌توان گفت که طول فصل رشد در این سیستم کشت فشرده، محدود است. میانگین تابش خورشیدی در گرگان نیز در حدود ۱۳/۵ مگاژول بر مترمربع در روز در طی فصل رشد گندم می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- میانگین ماهانه حداقل (دایره‌های روشن) و حداکثر دما (دایره‌های تاریک)، بارندگی (ستون‌های روشن) و تابش خورشیدی (ستون‌های تاریک) شهرستان گرگان بر اساس دوره‌ی زمانی ٤۰ ساله. علامت پیکان نشان‌دهنده دوره رشد گندم در این منطقه است.

Figure 1. Mean monthly maximum and minimum temperature, monthly total rainfall and Radiation at Gorgan base on the 40 years climate dara. Arrow indicates the growing season of wheat at the locations.

Archive of SID

www.SID.ir

آنالیز خط مرزی: اگرچه می‌توان گفت که پروتکل توافق شده‌ای برای آنالیز خط مرزی وجود ندارد و در مواردی محققین به‌صورت کاملاً اختیاری یک خط مرزی به داده‌ها برازش می‌دهند (۱۲)، اما می‌توان پنج مرحله کلی را برای آنالیز خط مرزی متصور شد (۱۱، ۱۲و ۱٦) که عبارتند از:

۱- بررسی نمودار پراکنش داده‌ها: در ابتدا باید میان عملکرد به عنوان متغیر وابسته و یک متغیر مستقل هدف که در اینجا یک مدیریت خاص زراعی خواهد بود، یک نمودار پراکندگی (به نمودار XY یا اسکتر[1] نیز معروف است) رسم کرد. این مرحله از کار به ما کمک می‌کند تا با دید کلی‌تری روابط بین دو دسته داده را شناسایی کنیم که به حدس زدن تابع مناسب برای خط مرزی در مراحل بعدی می‌تواند بسیار مؤثر باشد.

۲- دسته‌بندی و گروه بندی نقطه داده‌ها[2]: در این مرحله با توجه به پراکنش نقاط و همچنین با کمک گرفتن از متخصصین (در اینجا زراعت) و اطلاعات قبلی، متغیر مستقل را به گروه‌هایی با فواصل[3] منظم و یا غیر منظم (بسته به نظر متخصص و کیفیت داده‌ها) تقسیم می‌کنیم. در برخی موارد داده‌ها به طور طبیعی در گروه‌های مجزا قرار دارند مانند تعداد دفعات آبیاری به‌عنوان یک متغیر مدیریتی. اگرچه توافقی بر روی بهترین روش گروه‌بندی یا تعداد گروه‌ها (۱۲) وجود ندارد اما در مطالعات مختلف تقسیم محور X به ۸ تا ۱۰ قسمت پیشنهاد شده است (۲۱).

۳- حذف داده‌های پرت و خارج از محدوده‌های مشخص شده: تأثیر وجود یک داده‌ی پرت در آنالیز خط مرزی به دلیل کم بودن تعداد داده‌های انتخاب شده (مرحله ٤) به مراتب شدیدتر از آنالیز رگرسیونی است که به کل داده‌ها و با روش کمترین توان‌های دوم[4] برازش داده می‌شود (۱۱و ۲۲). در این مرحله محقق باید علم کافی و اطلاعات قبلی مناسبی نسبت به داده‌های جمع‌آوری شده داشته باشد تا به اشتباه داده مهمی را کنار نگذارد.

٤- تشخیص بالاترین عملکردها در هر زیرگروه[5]: این مرحله در مطالعات مختلف متفاوت بوده است. به عنوان مثال در برخی مطالعات مرز بالایی داده‌ها در هر گروه یا کلاس انتخاب می‌شوند و عملکردهایی که بالاتر از ۹۵ درصد در هر گروه هستند را در نظر می‌گیرند (١٤ و ۲۳). این روش

1. Scatter plot
2. Data points
3. Interval
4. Least-square
5. Maximum-yield subset

Archive of SID

www.SID.ir

انتخاب باعث می‌شود که در برخی کلاس‌ها تعداد داده‌ها کم و در برخی کلاس‌ها تعداد داده زیادی انتخاب شود. تاسیسترو (۲۰۱۲) از داده‌هایی که عملکرد آنها بالاتر از ۹۹ درصد در هر گروه بود میانگین گرفته و آن را به‌عنوان نقطه مؤثر در خط مرزی انتخاب کرد (۱۸). در مطالعات دیگر مانند وب (۱۹۷۲) و اشناگ و همکاران (۱۹۹٦) تنها بالاترین عملکرد در هر گروه به عنوان پاسخ عملکرد به آن متغیر انتخاب شده است. در گروهی دیگر از مطالعات برای هر گروه تعداد مشخصی داده انتخاب شدند به عنوان مثال هیونگ و همکاران (۲۰۰۸) در هر گروه چهار داده که بالاترین عملکرد را داشتند انتخاب کردند (۱۹). در مطالعه حاضر بالاترین عملکردها انتخاب شدند و بعضاً از گروه‌هایی که حاوی داده‌هایی با مقادیر غیر قابل قبول از لحاظ علم زراعت بودند صرف نظر شده است.

۵- آخرین مرحله از کار، برازش یک تابع مناسب به داده‌های به دست آمده در مرحله چهارم است که با توجه به نحوه چیدمان داده‌ها انجام می‌شود. این مرحله در نهایت ختم به یک مدل برای واکنش حداکثر عملکردها به متغیر مستقل می‌شود و در واقع یافتن مقدار عددی ضرایب و پارامترهای مدل است. برای تعیین ضرایب مدل با توجه به تابع واکنش می‌توان از نرم‌افزارهای آماری مختلف استفاده کرد.

در این تحقیق با رسم نمودار پراکنش میزان عملکرد بدست آمده در هر مزرعه به عنوان متغیر وابسته در مقابل متغیرهای مستقل (مدیریت‌های زراعی)، با استفاده از نرم‌افزار SAS و رویه nline (۲۲)، یک تابع بر لبه‌ی بالایی پراکنش داده‌ها برازش داده شد. بر اساس مرحله ۵ و نحوه چیدمان داده‌ها تابع مناسب (دو تکه‌ای و یا سه تکه‌ای) انتخاب شد. انتخاب توابع دیگر مانند تابع درجه دو نیز در برخی موارد وجود داشت اما توابع انتخاب شده برازش بهتری از داده‌ها داشتند. برای مدیریت تاریخ کاشت با توجه به اینکه روند داده‌ها از یک تابع خطی درجه یک پیروی می‌کرد برای بدست آوردن یک تاریخ کاشت بهینه متوسط عملکردهای پتانسیل بدست آمده در بین مزارع مورد بررسی از سایر عوامل مدیریتی به‌عنوان عملکرد پتانسیل در نظر گرفته شد.

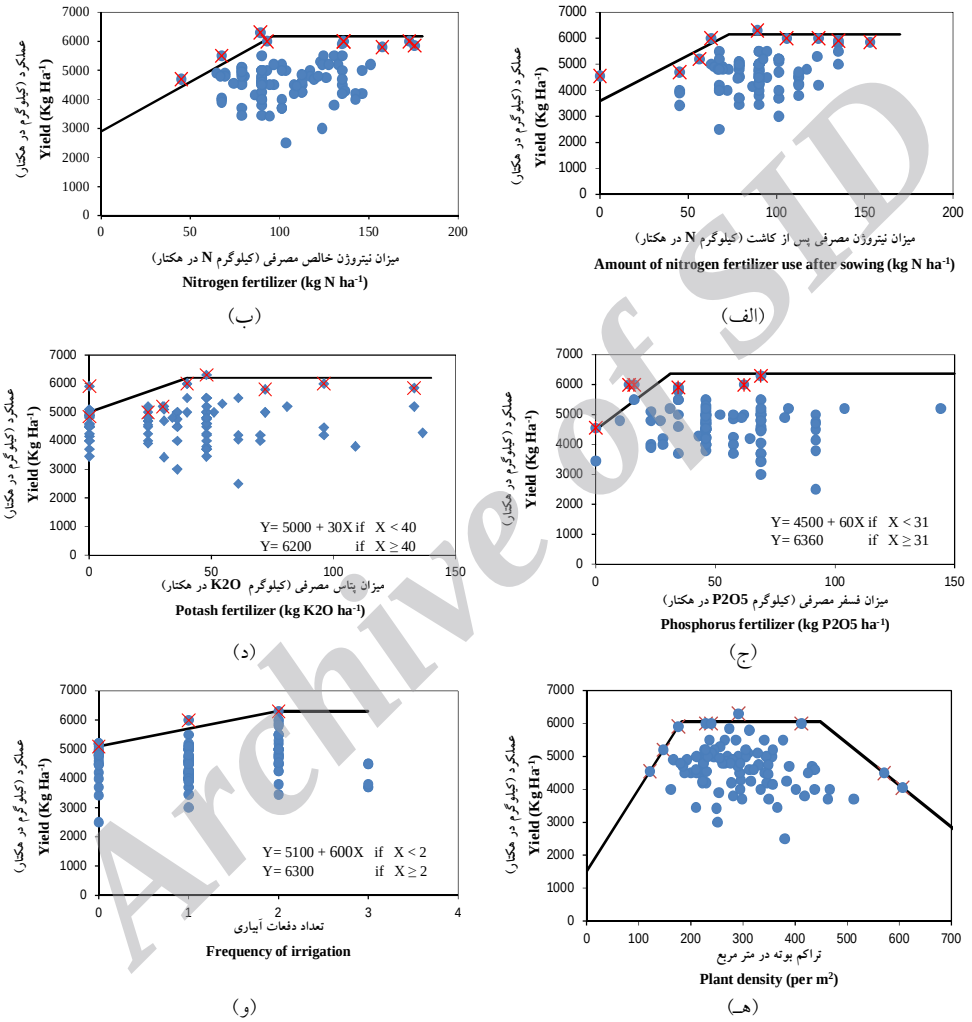
نتایج

با رسم پراکنش داده‌های عملکرد در مقابل متغیرهای مختلف مدیریتی، بالاترین عملکردها در سطوح مختلف هر نهاده یا مدیریت خاص انتخاب شد. با برازش یک خط بر لبه‌ی بالایی داده‌ها (بالاترین عملکردهای انتخاب شده تحت هر مدیریت) مشخص شد که پاسخ عملکرد به‌عنوان متغیر وابسته به متغیرهای مستقل مقدار مصرف کود نیتروژن، میزان نیتروژن مصرفی بعد از کاشت، مقدار

Archive of SID

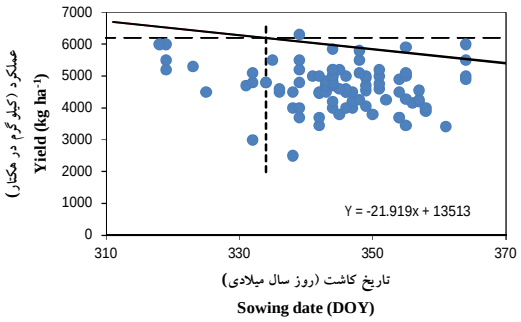
www.SID.ir

کود فسفر (P_2O_5)، مقدار کود پتاس (K_2O) و تعداد دفعات آبیاری، از یک تابع دو تکه‌ای تبعیت می‌کند (شکل ۲). در این نمودارها عملکرد نقاطی که پایین‌تر از خط مرزی هستند به وسیله سایر عوامل محدود شده‌اند.



Archive of SID

www.SID.ir



(ز)

شکل ٢- نمودار پراکنش داده‌های عملکرد در مقابل میزان کود نیتروژن (N) مصرفی (الف)، میزان کود نیتروژن مصرفی پس از کاشت (ب)، میزان کود فسفر (P2O5) مصرفی (ج)، میزان کود پتاس (K2O) مصرفی (د)، تعداد دفعات آبیاری (هـ)، تراکم بوته (و) و تاریخ کاشت (ز) به همراه برازش تابع خط مرزی

Figure 2. Scatter graph of yield to the amount of nitrogen (N) fertilizer (a), amount of N after sowing (b), phosphorus (c), potash (d), irrigation (e), plant density (f) and planting date (g) as well as fitted boundary line.

عملکرد پتانسیل نیتروژن محدود ٦١٦٤ کیلوگرم در هکتار بوده که با مصرف حداقل ٩٦ کیلوگرم نیتروژن خالص حاصل شد (شکل ٢الف). از میان مزارع مورد بررسی ٤٨ درصد از مزارع کمتر از این حداقل مطلوب، کود نیتروژن مصرف کرده‌اند (جدول ١). همچنین با مصرف حداقل ٧٣ کیلوگرم نیتروژن پس از کاشت (کود سرک) می‌توان به عملکرد ٦١٥٥ کیلوگرم در هکتار دست یافت (شکل ٢ب). از میان مزارع مورد بررسی ٢٣ درصد از مزارع کمتر از این مقدار کود نیتروژن پس از کاشت به صورت سرک داده‌اند (جدول ١). عملکرد پتانسیل ناشی از مصرف کود فسفر ٦٣٦٠ کیلوگرم در هکتار و کود پتاس ٦٢٠٠ کیلوگرم در هکتار بوده که به‌ترتیب با مصرف حداقل ٣١ کیلوگرم P_2O_5 و حداقل ٤٠ کیلوگرم K_2O حاصل می‌شود (شکل ٢ ج و د). در میان مزارع مورد بررسی به‌ترتیب ١٤ و ٥١ درصد از کشاورزان از حداقل مطلوب کودهای فسفر و پتاس کمتر کود مصرف کرده‌اند (جدول ١). تعداد دفعات آبیاری حداقل ٢ مورد می‌تواند به پتانسیل عملکرد در حدود ٦٣٠٠ کیلوگرم در هکتار منجر شود (شکل ٢هـ). ٦١ درصد از کشاورزان یا آبیاری نکرده و یا تنها یک نوبت آبیاری انجام داده‌اند و در این بین تنها ٣٤ درصد مزارع دو نوبت آبیاری انجام داده‌اند (جدول ١).

Archive of SID

www.SID.ir

با توجه به نمودار پراکندگی داده‌های تراکم بوته در مقابل عملکرد (شکل ۲و)، بهترین خطی که می‌توان بر لبه بالایی داده‌ها رسم کرد یک تابع سه تکه‌ای می‌باشد. به این ترتیب تراکمی که در آن بیشترین عملکرد حاصل خواهد شد، یک بازه بوده که از ۱۸۲ بوته تا ٤٤٧ بوته در مترمربع می‌باشد. با این تراکم بوته می‌توان به عملکردی در حدود ٦۰٦۰ کیلوگرم در هکتار دست یافت. در این میان ۷ درصد از مزارع کمتر از حد بهینه و ۵ درصد از مزارع نیز تراکم بوته بیشتر از حد بهینه داشته‌اند. ۸۸ درصد از مزارع مورد بررسی نیز از تراکم بوته‌ای استفاده کرده‌اند که در آن امکان رسیدن به حداکثر عملکرد وجود داشته است (جدول ۱).

با برازش یک رگرسیون ساده خطی به حداکثر عملکردهای بدست آمده در تاریخ کاشت‌های مختلف متوجه می‌شویم که تاریخ کاشت‌های دیرهنگام از عملکرد کمتری برخوردارند (Y = -21.919X + 13513)؛ بنابراین برای بدست آوردن یک تاریخ کاشت بهینه متوسط عملکردهای پتانسیل به‌دست آمده در بین مزارع مورد بررسی از سایر عوامل به‌عنوان عملکرد پتانسیل در نظر گرفته شد که برابر با ٦۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. از تلاقی این دو خط (قرار دادن ٦۲۰۰ به جای Y در معادله و حل معادله) می‌توان نتیجه گرفت که برای حصول عملکرد ٦۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، تاریخ کاشت بایدزودتر از روز ۳۳٤ام سال میلادی (۱۰ آذر) باشد (شکل ۲ز). از میان مزارع مورد بررسی۸۷ درصد از مزارع پس از این تاریخ اقدام به کشت کرده‌اند (جدول ۱).

جدول ۱ خلاءصه نتایج مربوط به آنالیز خط مرزی به همراه میانگین عملکرد پتانسیل برآورد شده و خلاء عملکرد را نشان می‌دهد. عملکرد پتانسیل محاسبه شده برابر با ٦۲۰٦ کیلوگرم در هکتار و خلاء عملکرد برابر با ۱۵٤۱ کیلوگرم در هکتار برآورد شدند. متوسط عملکرد مزارع مورد بررسی نیز به عنوان عملکرد واقعی منطقه و برابر با ٤٦٦۵ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ١- نتایج آنالیز خط مرزی به همراه محاسبه پتانسیل و خلاء عملکرد گندم در گرگان

Table 1. The results of boundary line analysis as well as estimated potential and yield gap of wheat in Gorgan

	میزان نیتروژن مصرفی (کیلوگرم در هکتار) N fertilizer (kg N/ha)	میزان نیتروژن پس از کاشت (کیلوگرم در هکتار) N fertilizer after sowing (kg N/ha)	میزان فسفر مصرفی (کیلوگرم در هکتار) Phosphorus fertilizer (kg P_2O_5/ha)	میزان پتاس مصرفی (کیلوگرم در هکتار) Potash Fertilizer (kg K_2O/ha)	تعداد دفعات آبیاری Irrigation	تراکم (بوته در مترمربع) Density (Plant / m^2)	تاریخ کاشت (روز سال میلادی) Sowing date (DOY)	میانگین Average
حداقل حد بهینه Minimum optimal level	96	73	31	40	2	182-447	335	-
درصد مزارع خارج از حد بهینه Farmers out of optimal (%)	48	23	14	51	61	12	87	-
عملکرد بر اساس حد بهینه Yield at optimal (kg ha^{-1})	6164	6155	6360	6200	6300	6060	6200	6206
متوسط عملکرد(کیلوگرم در هکتار) Average Yield (kg ha^{-1})	4665	4665	4665	4665	4665	4665	4665	4665
خلاء عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield gap (kg ha^{-1})	1499	1490	1695	1535	1635	1395	1535	1541
درصد خلاء عملکرد Yield gap (%)	24	24	27	25	26	23	25	25

بحث

در این تحقیق با بررسی چند عامل مهم مدیریتی در زراعت گندم حداقل‌های مطلوب لازم از هر عامل برای دست یافتن به بالاترین عملکردها به وسیله آنالیز خط مرزی مشخص شدند؛ علاوه بر این به صورت همزمان درصد مزارع دچار مشکل، پتانسیل‌ها و خلاء عملکرد گندم در گرگان نیز مشخص شدند.

از مجموع نتایج بدست آمده در مراحل مختلف این تحقیق می‌توان عملکرد قابل حصول منطقه را برابر با ٦٢٠٦ کیلوگرم در هکتار برآورد کرد. متوسط عملکرد مزارع مورد بررسی یا عملکرد واقعی نیز برابر با ٤٦٦٥ کیلوگرم در هکتار بود که بیشتر از متوسط منطقه بوده و دلیل آن هم انتخاب مزارع تحت نظارت ناظرین سازمان جهاد کشاورزی بوده است. اگرچه مولر و همکاران (٢٠١٢) در یک مطالعه شبیه‌سازی که به‌صورت جهانی و برای غلات مهم دنیا شامل ذرت، گندم و برنج انجام دادند، خلاء عملکرد گندم در ایران را حدود ٤٠ درصد عنوان کردند (٢٤). اما خلاء محاسبه شده در این تحقیق حدود ٢٥ درصد عملکرد پتانسیل (برابر با ١٥٤١ کیلوگرم در هکتار) است. دو دلیل برای پایین بودن

Archive of SID

www.SID.ir

این خلاء وجود دارد یکی بالاتر بودن عملکرد واقعی این تحقیق از متوسط عملکرد در منطقه و ایـران (به‌دلیل انتخاب مزارع تحت نظارت) و دیگری تخمین کمتر از حد پتانسیل عملکرد منطقه است. شکی در این وجود ندارد که عملکرد پتانسیل محاسبه شده در این تحقیق کمتر از عملکردی است که توسط مدل‌های گیاهی و یا مزارع تحقیقاتی برآورد می‌شود، به‌عنوان مثـال ترابـی (۲۰۱۱) عملکـرد پتانسـیل شبیه‌سازی شده گندم در گرگان در طی سال‌های ۱۹۸۱–۲۰۰۸ با استفاده از مـدل CropSyst را ٦٣٥٠ کیلوگرم در هکتار و عملکرد پتانسیل حاصل از مراکـز تحقیقـاتی در طـی سـال‌هـای ۱۹۹٤–۲۰۰۸ را ٦٦٠٠ کیلوگرم در هکتار تخمین زدند (۲۰). دلیل این امر این است کـه خیلـی غیرمحتمـل اسـت کـه تمامی کشاورزان یک منطقه از بهترین روش‌های مدیریتی استفاده کنند و یا اینکه بتوانند کلیه تنش‌ها را مدیریت بکنند (۱۰). تخمین پایین‌تر از حد عملکرد پتانسیل در اینگونه مطالعات میدانی به علت عـدم دسترسی به نهاده‌ها، نبود ضمانت کافی برای فروش محصول و همچنـین ضـعف اطلاعـات یـا عـدم دسترسی به اطلاعات کافی از سوی کشاورزان نیز اتفاق می‌افتد (۲). ون‌ایترسـام و همکـاران (۲۰۱۳) عنوان کردند که این‌گونه مطالعات اگرچه برای محاسبه عملکردهای قابل حصول در یک منطقه خاص با در نظر گرفتن بهترین ترکیب از ژنوتیپ‌ها، شرایط محیطی و مدیریت‌ها (G×E×M) مفید اسـت امـا اطمینان از عدم بوجود آمدن هیچگونه تنش زنده و غیره زنده در طول دوره رشد گیـاه ممکـن نیسـت (۲)؛ بنابراین این عملکردها به اندازه کافی تخمین مناسبی از پتانسیل منطقه با توجه به شرایط اقلیمی و خاکی غالب منطقه نیستند. عوامل اقلیمی خاص در منطقه نیز در اینگونه مطالعـات مـی‌تواننـد عـاملی جهت محدود کردن عملکردهای حداکثر باشند. به‌عنوان مثال پایین بـودن تشعشـع فصـلی در گرگـان امکان افزایش بیشتر عملکردهای پتانسیل را محدود می‌سازد (شکل ۱).

با تمام این تفاسیر می‌توان گفت که خلاء محاسبه شده در این تحقیق به تعریف ارایه شده توسط کانر و همکاران (۲۰۱۱) در مورد خلاء عملکرد قابل بهـره‌بـرداری[1] بسـیار نزدیـک بـوده و اخـتلاف بـین عملکردهای واقعی و عملکردهای قابل حصول با توجه به شرایط محیطی منطقه را نشان می‌دهد (۲۵). یکی دیگر از محدودیت‌های این تحقیق تعداد سال‌های اجرای آن است؛ هر چه تعداد سال انجام یـک مطالعه میدانی بیشتر باشدجهت فایق آمدن بر نوسانات اقلیمی و آب و هوایی بهتر است (۱ و ۱۰). برای کاهش خلاءعملکرد مشخص کردن محدودیت‌های عملکرد در یک ناحیه خاص ضروری می‌باشد (۲)؛

1. Exploitable yield gap

Archive of SID

www.SID.ir

آنالیز خط مرزی استفاده شده در این تحقیق علاوه بر برآورد میزان خلاء عملکرد، دلایل این خلاء و یا محدودیت‌های عملکرد را نیز به‌صورت روشن نشان می‌دهد، به‌عنوان مثال با یک نگاه به شکل ٢-الف به راحتی می‌توان فهمید که مصرف حداقل ٩٦ کیلوگرم کود نیتروژن جهت رسیدن به عملکردی در حدود ٦١٦٤ کیلوگرم در هکتار نیاز است. همچنین با توجه به شکل ٢ب و به‌دست آمدن مقدار بهینه ٧٣ کیلوگرم کود نیتروژن بعد از کاشت (سرک) می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت و توصیه کرد که کشاورزان ٢٣ کیلوگرم از مقدار کل نیتروژن را بهتر است به‌صورت پایه و در زمان کاشت مصرف کنند.

نتایج دیگر این تحقیق در بحث مدیریت کودها مربوط به کودهای فسفاته و پتاسه بود و عبارت از مصرف حداقل ٣١ کیلوگرم کود فسفر به‌صورت P_2O_5 که می‌تواند به عملکردی در حدود ٦٣٦٠ کیلوگرم در هکتار منجر بشود (شکل ٢ج) و همچنین مصرف حداقل ٤٠ کیلوگرم کود پتاس به صورت K_2O می‌تواند به عملکردی در حدود ٦٢٠٠ کیلوگرم در هکتار منجر بشود (شکل ٢د). در این شکل‌ها بالاترین عملکرد در هر بخش از نمودار به معنی حداقل مقدار لازم از آن نهاده جهت دستیابی به آن عملکرد است و تمامی نقاطی که زیر خط قرار گرفته‌اند شرایطی را داشته‌اند که سایر عوامل باعث محدودیت پاسخ عملکرد به میزان متغیر مستقل شده‌اند (١٤).

براساس سایر نتایج این تحقیق تراکم بوته‌ای به مقدار ١٨٢ تا ٤٤٧ بوته در مترمربع می‌تواند رسیدن به عملکردی در حدود ٦٠٦٠ کیلوگرم در هکتار را فراهم سازد. دلیل این امر، سیستم انطباق گیاه گندم با منابع محیطی می‌باشد که به وسیله پنجه‌زنی کم و یا زیاد تراکم را جبران می‌کند (٢٥). انتخاب میزان بذر مصرفی توسط کشاورزان با توجه به شرایط بستر بذر، درصد استقرار و نوع رقم مورد استفاده باید به نحوی باشد که این تراکم بهینه حاصل شود. همچنین تعداد آبیاری حداقل ٢ نوبت بسته به میزان بارندگی و خشکی هوا جهت رسیدن به حداکثر عملکرد (٦٣٠٠ کیلوگرم در هکتار) توصیه می‌شود. در نگاه اول به نمودار پراکنش داده‌ها در شکل ٢هـ این موضوع به ذهن می‌آید که آبیاری بیش از دو نوبت به عملکرد پایین‌تری منجر خواهد شد اما دلیل کاهش عملکرد در نمودار نمی‌تواند تأثیر آبیاری بیشتر باشد بلکه با توجه به اینکه در منطقه تعداد مزارع کمی در طی فصل رشد گندم اقدام به سه نوبت آبیاری می‌کنند بنابراین می‌توان گفت به طبع آن در مطالعه میدانی صورت گرفته نیز تعداد کمی مزارع با سه نوبت آبیاری وجود داشته است (تنها ٥ درصد)، و در میان آنها مزرعه‌ای برای نشان دادن حداکثر عملکرد وجود نداشته و عملکرد در سه نوبت آبیاری به وسیله عوامل دیگر محدود شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

کاشت در اوایل آذر ماه (زودتر از ۱۰ آذر) جهت رسیدن به عملکردی در حدود ٦٢٠٠ کیلوگرم در هکتار مؤثر خواهد بود و با هر روز تأخیر در کاشت مطابق با شکل (۲ز) و معادله آورده شده، در حدود ۲۲ کیلوگرم عملکرد کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه تاریخ کاشت ۸۷ درصد از مزارع پس از این تاریخ است (جدول ۱)، توصیه می‌شود در صورتی که آب و هوا اجازه بدهد کشاورزان این منطقه تا قبل از این تاریخ جهت رسیدن به عملکردهای بالاتر اقدام به کشت گندم بکنند. کاشت زود هنگام باعث تطبیق بهتر دوره‌ی رشدی گیاه با فصل رشد می‌شود (٢٦).

یکی از مزیت‌های آنالیز مورد استفاده در این تحقیق بر خلاءف روش‌های مبتنی بر مدل‌های رگرسیونی چند متغیره، این بود که در این آنالیز نیاز به انجام یک پروسه اولیه جهت انتخاب متغییر وجود نداشت. علاوه بر این تفسیر نتایج نیز نسبت به مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره ساده‌تر بود (۱۱). با توجه به اینکه عملکرد پتانسیل محاسبه شده در این آنالیز در مقایسه با مدل‌ها و مزارع تحقیقاتی، از طریق داده‌های واقعی خود منطقه حاصل شده است، عملکرد پتانسیل حاصل شده وابسته به منطقه بوده و می‌توان گفت که این عملکرد پتانسیل، قابل حصول می‌باشد. در واقعیت، یک گیاه جزیی از یک سیستماست به عنوان مثال تناوب زراعی، تاریخ کاشت و برداشت را به گیاه تحمیل می‌کند؛ همچنین تاریخ کاشت به عوامل دیگری نظیر نیروی کارگری، ماشین و غیره هم مربوط می‌شود (۲)، در صورتی که در پتانسیل‌های بدست آمده از ایستگاه‌های تحقیقاتی و یا در شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل با مدل‌های گیاهی اینگونه محدودیت‌ها وجود ندارد. همچنین در هر مزرعه ممکن است یکی از عوامل، محدود کننده‌ی عملکرد باشد اما با توجه به اینکه در این آنالیز عملکرد پتانسیل برای هر عامل از بالاترین عملکردها بدست آمده است این مورد نیز کم‌رنگ شده است.روش‌های رگرسیونی چند متغیره اگرچه دارای مزایایی می‌باشند اما همانند شرایط مزرعه توسط فاکتورهای متعددی محدود می‌شوند که در روش آنالیز خط مرزی این موارد وجود ندارند و تنها اثر یک عامل یا محدودیت مورد بررسی قرار می‌گیرد (۱۱).

به‌طور کل نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از آنالیز خط مرزی در مطالعات خلاء عملکرد می‌تواند به خوبی پاسخ‌های عملکرد به عوامل مدیریتی را نشان دهد. با استفاده از این پاسخ‌ها می‌توان بهترین مدیریت‌ها را جهت رسیدن به بالاترین عملکرد مشخص کرد. البته استفاده از این روش معایبی نیز داشته است از جمله اینکه برهمکنش متغیرهای تأثیرگذار بر عملکرد را غیرمعنی‌دار در نظر گرفته و تنها به آنالیز تأثیر یک متغیر بر عملکرد می‌پردازد، در حالی که در واقعیت، عملکرد حاصل برهمکنش

Archive of SID

www.SID.ir

مجموعه‌ای از عوامل است (١٤). نکته دیگر اینکه در شرایطی که در منطقه مورد مطالعه سیستم‌های کشت تحت مدیریت فشرده وجود نداشته باشد، حداکثر عملکرد نیز نمی‌تواند بیانگر عملکرد پتانسیل باشد. وجود سال‌های غیر معمول از لحاظ آب و هوایی در طی مطالعه و یا در صورت وجود یک کشاورز استثنایی در جامعه آماری نیز سبب ایجاد خطا در محاسبات خواهد شد (١ و ٢). توجه به این نکته ضروری است که استفاده از سایر روش‌های برآورد عملکرد پتانسیل مانند استفاده از مدل‌های گیاهی در کنار آنالیز خط مرزی می‌تواند نکات بسیار مهمی از محدودیت‌های تولید در یک منطقه را آشکار کند. به عنوان مثال ممکن است یک محدودیت خاص مدیریتی و یا محیطی در منطقه وجود داشته باشد که تمامی مزارع به آن دچار هستند و این نکته در آنالیز خط مرزی پنهان می‌ماند.

از میان آنالیزهای انجام گرفته بر روی گیاهان زراعی به وسیله خط مرزی، تنها آنالیز خط مرزی صورت گرفته توسط تاسیسترو (٢٠١٢) در ایالت چیاپاس (در جنوب کشور مکزیک) برای ذرت به بررسی عوامل مدیریتی پرداخته است (١٨). اگرچه هدف از مطالعه ایشان بدست آوردن پتانسیل‌ها و بررسی خلاء عملکرد نبود اما ایشان نشان داد که کل نیتروژن مورد نیاز این گیاه جهت رسیدن به حداکثر عملکرد ٢٢٦ کیلوگرم در هکتار است. علاوه بر این، ایشان ارتباط بین تراکم گیاهی و عملکرد را نشان داده و به بررسی ارتباط عوامل خاکی نظیر ماده آلی خاک و همچنین اثر ورس و غرقاب بر عملکرد پرداختند. هانگ و همکاران (٢٠٠٨) نیز اثر عوامل مدیریتی را بررسی کرده‌اند اما هدف از کار آنها یافتن بهترین مدیریت‌ها نبود (١٩). ایشان اثر ٤ تیمار مدیریتی را بر رابطه‌ی بین بارندگی و عملکرد با استفاده از آنالیز خط مرزی بررسی کردند

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نمونه‌برداری از ٩٥ مزرعه طی سال‌های زراعی ٨٧-١٣٨٦ و ٨٨-١٣٨٧ متوسط عملکرد گندم در گرگان در حدود ٤٧٠٠ کیلوگرم در هکتار بود؛ عملکرد قابل حصول منطقه نیز در حدود ٦٢٠٠ کیلوگرم برآورد شد که نشان از خلاء عملکردی در حدود ١٥٠٠ کیلوگرم در هکتار دارد. با استفاده از آنالیز خط مرزی حد بهینه عوامل مدیریتی جهت دستیابی به این عملکرد شناسایی شدند. بر اساس این نتایج توصیه‌هایی که می‌توان جهت افزایش عملکرد و رفع خلاء انجام داد عبارتند از: ١) مصرف حداقل ٩٦ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار که ٧٣ کیلوگرم آن به صورت سرک باید داده شود، ٢) مصرف حداقل ٣١ کیلوگرم کود فسفر به صورت P_2O_5 در هنگام کاشت، ٣) مصرف حداقل ٤٠

Archive of SID

www.SID.ir

کیلوگرم کود پتاس به صورت K_2O در هنگام کاشت، ٤) حداقل دو نوبت آبیاری بسته به میزان بارندگی و خشکی هوا، ٥) انتخاب میزانی از بذر مصرفی که بتواند تراکمی بین ١٨٢ تا ٤٤٧ بوته در مترمربع را فراهم سازد و در نهایت ٦) در صورتی که آب و هوا اجازه بدهد کشاورزان این منطقه باید در اوایل آذر ماه و یا قبل از آن جهت رسیدن به عملکردهای بالاتر اقدام به کشت گندم بکنند.

استفاده آنالیز خط مرزی در مطالعات خلاء عملکرد می‌تواند به روشنی پاسخ‌های عملکرد به عوامل مدیریتی را نشان داده و پتانسیل‌های ممکن را محاسبه کند. تفسیر نتایج این آنالیز بسیار ساده بوده و توصیه می‌شود بر روی یک مجموعه داده با چندین روش مختلف آنالیز انجام شود و در کنار آنها نیز آنالیز خط مرزی به عنوان یک آنالیز کاربردی مورد استفاده قرار بگیرد. همچنین به نظر می‌رسد این آنالیز نیاز به آزمایشات معمول مزرعه‌ای را کاهش داده و برای طراحی آزمایشات مزرعه‌ای جدید سرنخ‌های خوبی را در اختیار بگذارد. در صورتی که اینگونه مطالعات میدانی به صورت گسترده و طی چندین سال برای گیاهان زراعی مهم صورت بگیرد می‌توان بیشتر از توانایی اینگونه آنالیزها جهت پیدا کردن راه‌های افزایش تولید استفاده کرد.

منابع

1. Lobell, D.B., Cassman, K.G., and Field, C.B. 2009. Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes. Annu. Rev. Environ. Resour. 34:179-204.
2. van Ittersum, M.K., Cassman, K.G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., and Hochman, Z. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance—A review. Field Crop. Res. 143:4-17.
3. van Wart, J., Kersebaum, K.C., Peng, S., Milner, M., and Cassman, K.G. 2013. Estimating crop yield potential at regional to national scales. Field Crop. Res. 143: 34-43.
4. Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., Gerber, J.S., Johnston, M., Mueller, N.D., O'Connell, C., Ray, D.K., West, P.C., Balzer, C., Bennett, E.M., Carpenter, S. R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockstrom, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D., and Zaks, D.P.M. 2011. Solutions for a cultivated planet. Nature. 478:337-342.
5. Cunningham, S.A., Attwood, S.J., Bawa, K.S., Benton, T.G., Broadhurst, L.M., Didham, R.K., McIntyre, S., Perfecto, I., Samways, M.J., Tscharntke, T., Vandermeer, J., Villard, M.-A., Young, A. G., and Lindenmayer, D.B. 2013. To close the yield-gap while saving biodiversity will require multiple locally relevant strategies. Agric. Ecosyst. Environ. 173:20-27.
6. Cassman, K.G. 2012. What do we need to know about global food security? Glob. Food Secur. 1:81-82.

Archive of SID

www.SID.ir

7. Wang, N., Jassogne, L., van Asten, P.J.A., Mukasa, D., Wanyama, I., Kagezi, G., and Giller, K.E. 2015. Evaluating coffee yield gaps and important biotic, abiotic, and management factors limiting coffee production in Uganda. Eur. J. Agron. 63:1-11.
8. Soltani, A., Hajjarpoor, A., and Vadez, V. 2016. Analysis of chickpea yield gap and water-limited potential yield in Iran. Field Crops. Res. 185:21-30.
9. Affholder, F., Poeydebat, C., Corbeels, M., Scopel, E., and Tittonell, P. 2013. The yield gap of major food crops in family agriculture in the tropics: Assessment and analysis through field surveys and modelling. Field Crop. Res. 143:106-118.
10. Egli, D.B., and Hatfield, J.L. 2014. Yield gaps and yield relationships in central U.S. soybean production systems. Agron. J. 106:560.
11. Shatar, T.M., and Mcbratney, A.B. 2004. Boundary-line analysis of field-scale yield response to soil properties. JAS. 142: 553-560.
12. Makowski, D., Doré, T., and Monod, H. 2007. A new method to analyse relationships between yield components with boundary lines. Agron. Sustain. Develop. 27:119-128.
13. Schmidt, U., Thöni, H., and Kaupenjohann, M. 2000. Using a boundary line approach to analyze N_2O flux data from agricultural soils. Nutr. Cycl. Agroecosys. 57:119-129.
14. Kitchen, N.R., Drummond, S.T., Lund, E.D., Sudduth, K.A., and Buchleiter, G.W. 2003. Soil electrical conductivity and topography related to yield for three contrasting soil–crop systems. Agron. J. 95:483-495.
15. Casanova, D., Goudriaan, J., Bouma, J., and Epema, G. 1999. Yield gap analysis in relation to soil properties in direct-seeded flooded rice. Geoderma. 91:191-216.
16. Patrignani, A., Lollato, R.P., Ochsner, T.E., Godsey, C.B., and Edwards, J.T. 2014. Yield gap and production gap of rainfed winter wheat in the southern great plains. Agron. J. 106: 1329.
17. Grassini, P., Hall, A.J., and Mercau, J.L. 2009. Benchmarking sunflower water productivity in semiarid environments. Field Crop. Res. 110:251-262.
18. Tasistro, A. 2012. Use of boundary lines in field diagnosis and research for Mexican farmers. Better Crops with Plant Food. 96:11-13.
19. Huang, X., Wang, L., Yang, L., and Kravchenko, A.N. 2008. Management effects on relationships of crop yields with topography represented by wetness index and precipitation. Agron. J. 100:1463.
20. Torabi, B., (A Thesis Submitted for the Degree of Ph.D. in Agronomy) 2011. Analysis of the yield limitations in Gorgan using simulation model and hierarchical process (AHP). Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, 223pp. (In Persian).

Archive of SID

www.SID.ir

21. Banneheka, B., Dhanushika, M., Wijesuriya, W., and Herath, K. 2013. A linear programming approach to fitting an upper quadratic boundary line to natural rubber data. J. Natl. Sci. Found SriLanka. 41:13-20.
22. Soltani, A., and Torabi, B. 2014. Design and analysis of Agricultural experiments. JDM Press. 430 p.
23. Riffel, J.D. 2012. Yield response and economic impact of variable-rate nitrogen applications in grain sorghum. Kansas State University.
24. Mueller, N.D., Gerber, J.S., Johnston, M., Ray, D.K., Ramankutty, N., and Foley, J.A. 2012. Closing yield gaps through nutrient and water management. Nature. 490:254-257.
25. Connor, D.J., Loomis, R.S., and Cassman, K.G. 2011. Crop Ecology: Productivity and Management in Agricultural Systems. Cambridge University Press. 556 p.
26. Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S., and Zeinali, E. 2012. Analyzing Wheat Yield Constraints in Gorgan. Electron. J. Crop Prod. 4:1-17. (In persian)
27. Tittonell, P., Shepherd, K., Vanlauwe, B., and Giller, K. 2008. Unravelling the effects of soil and crop management on maize productivity in smallholder agricultural systems of western Kenya—An application of classification and regression tree analysis. Agric. Ecosyst. Environ. 123:137-150.
28. Tittonell, P., and Giller, K.E. 2013. When yield gaps are poverty traps: The paradigm of ecological intensification in African smallholder agriculture. Field Crop. Res. 143:76-90.

Archive of SID

www.SID.ir