نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد سیزدهم، شماره چهارم، زمستان ۹۹
۱-۱٤
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI:10.22069/ejcp.2021.16991.2257

بررسی و تعیین سهم کودهای شیمیایی ماکرو و خصوصیات خاک بر خلأ عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) دیم در شهرستان کلاله با استفاده از روش آنالیز خط مرزی

محمدشریف نوبتیانی[۱]، علی راحمی کاریزکی[۲]*، عباس بیابانی[۳]، علی منصوری‌راد[۲]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران
[۲]استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران
[۳]دانشیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۳

چکیده

سابقه و هدف: یکی از مشکلات اصلی تولید گندم، به خصوص در استان گلستان، خلأ عملکرد می‌باشد که خود ناشی از تفاوت معنی‌دار بین عملکرد واقعی کشاورزان و عملکرد قابل حصول است. بنابراین، هدف از این مطالعه بررسی و تعیین سهم کودهای شیمیایی ماکرو و خصوصیات خاک در عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) مزارع دیم با استفاده از آنالیز خط مرزی بود.

مواد و روش‌ها: این تحقیق در ٦۰ مزرعه دیم شهرستان کلاله بر اساس آنالیز خط مرزی در سال ۹۷-۱۳۹٦ انجام شد. در این مطالعه، به منظور آنالیز و اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک، بعد از برداشت محصولات پاییزه از مزارع انتخابی نمونه خاک تهیه و در آزمایشگاه خاکشناسی هدایت الکتریکی، اسیدیته، درصد کربن آلی، درصد ازت کل، فسفر قابل جذب، پتاسیم قابل جذب، درصد رس، سیلت، ماسه و همچنین، کلاس بافت خاک اندازه‌گیری شد. مقدار دانه تحویلی به مراکز خرید گندم بعد از تعیین مقدار افت به‌عنوان عملکرد نهایی مزرعه ثبت شد. تمام اطلاعات در مورد نحوه استفاده کود پایه و ویژگی‌های خاک ثبت و اندازه‌گیری شد و با استفاده از روش تجزیه و تحلیل مرزی، رابطه بین عملکرد و متغیرهای اندازه‌گیری شده و در نهایت، خلأ عملکرد گندم و سهم هر یک از عوامل در ایجاد خلأ عملکرد مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: در مزارع مورد بررسی، حداقل، حداکثر و میانگین مقدار مصرف کود نیتروژن به ترتیب ۳٤/۵، ۱٤۲/۵ و ۸۵/٤ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین حداقل، حداکثر و میانگین عملکرد دانه گندم در این مزارع به ترتیب ۱۹۵۰، ٤۸۹۰ و ۳۲۲۷ کیلوگرم در هکتار بود. واکنش بیش‌ترین عملکردهای گندم در مزارع مورد بررسی از نظر مقدار مصرف کود نیتروژن نشان داد که نقاط از یک تابع دو تکه‌ای تبعیت می‌کنند. بدین‌ترتیب که با افزایش مقدار مصرف کود نیتروژن تا ۵۸/۳ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه گندم افزایش یافت و پس از آن افزایش مقدار مصرف کود نیتروژن تأثیری بر عملکرد دانه گندم نداشت و روند ثابتی داشت. عملکرد پتانسیل نیتروژن محدود ٤۸٤۸ کیلوگرم در هکتار بود که با مصرف حداقل ۵۸/۳ کیلوگرم نیتروژن خالص به دست آمده بود و در ۲۰ درصد مزارع مورد مطالعه مقدار نیتروژن مصرفی خارج از حد بهینه بود و خلأ عملکرد حاصل از عدم مصرف بهینه کود نیتروژن در مزارع مورد بررسی ۳٤/٤ درصد (۱٦۷۱/٦ کیلوگرم در هکتار) بود. به عبارتی با مصرف بهینه کود نیتروژن امکان افزایش عملکرد گندم به مقدار ۱٦۷۱/٦ کیلوگرم در هکتار وجود دارد. نتایج نشان داد که بین عملکرد قابل حصول (۷۲٤۸ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد واقعی (۳٤۱۷/٤ کیلوگرم در هکتار) اختلاف ٤۰۷۱/۷ کیلوگرم در هکتار (۵٦ درصد) وجود دارد.

*مسئول مکاتبه: alirahemi@yahoo.com

مقدار ناکافی فسفر قابل جذب در خاک، مقدار پتاسیم قابل جذب در خاک و میزان مصرف نیتروژن باعث کاهش عملکرد گندم در منطقه مورد مطالعه شده بود که به‌ترتیب ١٤/٩، ١٤/٣، ١١/٧ و ١٠/٣ درصد بودند.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی در این مطالعه، کاربرد آنالیز خط مرزی به عنوان یک روش مناسب، به نحو مطلوبی تاثیر عوامل مختلف در خلأ عملکرد گندم را نشان داد و به نظر می‌رسد که با اصلاح این عوامل محدود کننده، می‌توان اختلاف بین عملکرد قابل حصول و عملکرد واقعی را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، فسفر قابل جذب در خاک، عملکرد قابل حصول، عملکرد واقعی

مقدمه

با توجه به رشد جمعیت جهان، تولید جهانی محصولات کشاورزی برای پاسخ‌گویی به تقاضای غذا تا سال ٢٠٥٠ باید تا ٧٠ درصد افزایش یابد (١٣). پیش‌بینی روند رو به رشد عدم تعادل بین عرضه و تقاضا، اهمیت افزایش بهره‌وری از اراضی زراعی موجود را برای جمعیت رو به رشد افزایش می‌دهد (٢). یکی از روش‌های افزایش بهره‌وری از اراضی موجود، شناسایی عوامل محدود کننده عملکرد و تلاش برای رفع موانع تولید و به تبع آن کاهش خلاء عملکرد می‌باشد. شناخت عوامل ایجاد کننده خلأ عملکرد و تعیین سهم هریک از آن‌ها می‌تواند ما را در تلاش برای کاهش خلأ عملکرد کمک نماید (١٨). تجزیه و تحلیل خلأ عملکرد، مبنایی برای شناسایی مهم‌ترین محصول و عوامل مدیریتی و خاکی محدود کننده عملکرد فعلی کشاورزان و نیز بهبود وضعیت فعلی جهت کاهش خلأ عملکرد می‌باشد (١٩). از بین گیاهان زراعی، گندم مهم‌ترین گیاه از خانواده غلات است که در شهرستان کلاله کشت می‌شود به طوری که در سال زراعی ٩٧-١٣٩٦ سطح کشت این محصول به ٥١١٣٢ هکتار رسیده است که ٧٥ درصد از سطح اراضی زراعی شهرستان را شامل شده (١) و نشان‌دهنده جایگاه ویژه این شهرستان در تولید گندم می‌باشد.

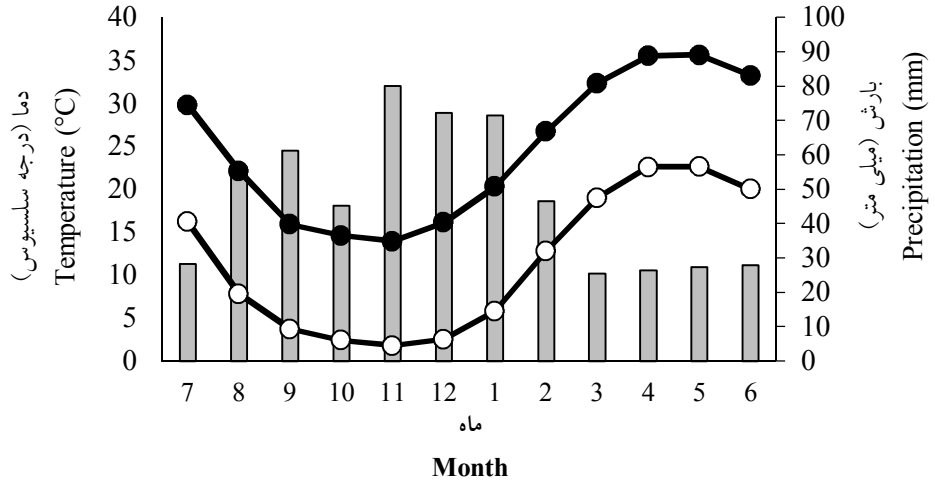
خلاء عملکرد از طریق اختلاف بین عملکرد پتانسیل و متوسط عملکرد کشاورزان مورد سنجش قرار می‌گیرد (٩). به دلیل وجود تنوعی که در زمان و مکان در یک ناحیه جغرافیایی مشخص وجود دارد متوسط عملکرد به‌صورت میانگین عملکردهای (در مکان و زمان) به‌دست آمده توسط کشاورزان در منطقه، تحت شیوه‌های مدیریتی مختلف (تاریخ کاشت، رسیدگی رقم و تراکم گیاهی، مدیریت مواد غذایی و حفاظت از محصول) تعیین می‌شود. وجود خلأ عملکرد بزرگ به این مفهوم است که پتانسیل بیش‌تری برای بهبود عملکرد وجود دارد (٤). عملکرد پتانسیل، عملکرد پتانسیل آب محدود، عملکرد واقعی و خلأ عملکرد باید برای یک منطقه مشخص و در یک دوره زمانی معین تخمین زده شود. آن‌ها می‌توانند برای یک مزرعه در یک سال مشخص و یا برای منطقه وسیع‌تر و دوره زمانی طولانی‌تر، با در نظر گرفتن تغییرات زمانی و مکانی و با استفاده از روش‌های مناسب تعیین شوند (١٤).

یکی از روش‌هایی که توانایی تخمین عملکرد پتانسیل، میزان خلأ عملکرد و همچنین توانایی تعیین حدود بهینه هر عامل مدیریتی را دارد آنالیز خط مرزی است (٧). این روش، در ابتدا توسط وب در آزمایش بیولوژی به کار گرفته شد (٢٢). وی با استفاده از داده‌های محققین دیگر از روش تابع خط مرزی جهت تعیین ارتباط بین وزن توت فرنگی به کل

فندقه‌ها در مترمربع، ارتباط بین عملکرد سیب با قطر ساقه درخت و همچنین، درجه باز بودن روزنه‌های برگ‌های نیشکر در ساعات مختلف روز در چندین روز استفاده نمود و بر بالاترین نقاط خط مرزی را ترسیم و به بررسی روابط بین متغیرها پرداخت. بعد از آن توسط دیگر محققین جهت تعیین سطح بحرانی و محدوده مطلوب عناصر غذایی در گیاهان مختلف استفاده شده است و ابزار مفیدی برای تفسیر و توضیح تغییرات داده‌های عملکرد در برابر متغیرهای مختلف مدیریتی و محیطی در یک مکان خاص است (۲۱) 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، کمّی نمود. در واقع روش آنالیز خط مرزی پاسخ عملکرد به عامل مورد نظر را در شرایطی که سایر عوامل مناسب باشند، مشخص می‌کند (۲۰). شناسائی پتانسیل‌ها و نیز میزان و نحوه تأثیر هر عامل محدود کننده عملکرد به‌صورت تکی، نقش مهمی در مدیریت برای نیل به حداکثر عملکرد دارد. تحقیق حاضر با استفاده از روش آنالیز خط مرزی برای تعیین هم‌زمان بهترین عملیات مدیریتی و برآورد پتانسیل و خلأ عملکرد گندم در شهرستان کلاله استان گلستان انجام شد.

مواد و روش‌ها

شرایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه. شهرستان کلاله با مساحت ۱۷۲۸ کیلومترمربع بین ۵۵ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی در شرق استان گلستان واقع شده است. ارتفاع آن از سطح دریا ٤٥ متر و بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، شهرستان کلاله دارای اقلیم نیمه‌خشک می‌باشد و میانگین بارندگی بلندمدت سالیانه (آمار ١٦ ساله) در این منطقه ۵۸۲ میلی‌متر و میانگین دمای آن ٢٤ درجه سلسیوس است. اما آنچه که از نظر بارندگی در این منطقه حائز اهمیت است توزیع نامناسب بارندگی‌ها در ماه‌های مختلف سال است (شکل ۱).



شکل ۱- میانگین بلندمدت ماهانه حداکثر (دایره‌های تاریک) و حداقل دما (دایره‌های روشن)، بارندگی (ستون روشن) در منطقه کلاله.

Figure 1- Average monthly minimum (°C) (bright circles) and maximum temperature (°C) (dark circles), precipitation (bright columns) in Kalaleh based on a long-term period.

جمع‌آوری اطلاعات

اطلاعات مورد نیاز برای کمی‌سازی تولید و برآورد خلأ عملکرد گندم در سال زراعی ٩٧-١٣٩٦ به‌صورت میدانی، جمع‌آوری شد و همچنین، مصاحبه شخصی (چهره به چهره) با کشاورزان صورت گرفت. بدین منظور ٦٠ مزرعه گندم واقع در ١٠ روستا در مناطق دیم شهرستان کلاله انتخاب شدند. به گونه‌ای که مساحت این زمین‌ها، از یک هکتار تا ١٥ هکتار متغیر بوده و میانگین این مزارع، در حدود هشت هکتار بود. همچنین، برای تعیین تعداد مزارع (نمونه) از فرمول کوکران استفاده شد (٥). عملیات پایش طی فصل رشد محصول و به‌صورت هفته‌ای انجام شد. مزارع انتخابی جهت پایش به گونه‌ای انتخاب شدند که دارای تنوع کافی در کلیه عملیات مدیریت زراعی مربوط به عملیات کاشت، داشت و برداشت در هر مزرعه از طریق مشاهده، ملاقات چهره به چهره با کشاورزان و یا اندازه‌گیری، تکمیل گردیدند. جهت آنالیز و اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک، بعد از برداشت محصولات پائیزه از مزارع انتخابی نمونه خاک تهیه و در آزمایشگاه خاک‌شناسی هدایت الکتریکی، اسیدیته، درصد کربن آلی، درصد ازت کل، فسفر قابل جذب، پتاسیم قابل جذب، درصد رس، سیلت، ماسه و همچنین کلاس بافت خاک اندازه‌گیری شد. مقدار دانه تحویلی به مراکز خرید گندم بعد از تعیین مقدار افت به‌عنوان عملکرد نهایی مزرعه ثبت شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از توزیع فراوانی تجمعی یا نسبی استفاده شد. در این بررسی‌ها دامنه تغییرات و شیوه انجام هر عملیات مدیریتی انجام شده در مزارع گندم و همچنین، نسبتی از کشاورزان که از شیوه های مختلف هر یک از این عملیات مدیریتی استفاده کرده بودند، مشخص شدند. با استفاده از آنالیز خط مرزی ارتباط عوامل مورد مطالعه با عملکرد، با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (٥). هر چند جهت آنالیز خط مرزی، پروتکل توافق شده‌ای وجود ندارد و در مواردی محققین به صورت کاملاً اختیاری خط مرزی را به داده‌ها برازش می‌دهند (١٠). ولی در مجموع به منظور استفاده از آنالیز خط مرزی می‌توان پنج مرحله کلی را در نظر گرفت (١٢). در مرحله اول، بررسی نمودار پراکنش داده‌ها انجام شد. برای این کار، در ابتدا باید بین عملکرد (متغیر وابسته) و یک مدیریت خاص زراعی (متغیر مستقل هدف) یک نمودار پراکندگی (نمودار XY یا اسکتر) رسم نمود. این نمودار پراکندگی، قادر خواهد ساخت تا با دید کلی‌تری روابط بین دو دسته داده شناسایی شود که به حدس زدن تابع مناسب برای خط مرزی در مراحل بعدی می‌تواند؛ بسیار مؤثر باشد. در مرحله دوم، دسته‌بندی و گروه‌بندی نقطه داده‌ها انجام می‌شود. در این مرحله با توجه به پراکنش نقاط و همچنین، با کمک گرفتن از متخصصین ذیربط (در اینجا زراعت) و اطلاعات قبلی، متغیر مستقل (مدیریت خاص زراعی) به گروه‌هایی با فواصل منظم و یا غیر منظم (بسته به نظر متخصص و کیفیت داده‌ها) تقسیم می‌شود. در برخی موارد مانند تعداد دفعات آبیاری به عنوان یک متغیر مدیریتی، داده‌ها به طور طبیعی در گروه‌های مجزا قرار دارند. در مرحله سوم، حذف داده‌های پرت و خارج از محدوده‌های مشخص شده انجام می‌شود. در این مرحله محقق باید علم کافی و اطلاعات قبلی مناسبی نسبت به داده‌های جمع‌آوری شده داشته باشد تا به اشتباه داده‌ی مهمی را کنار نگذارد، برای شناسایی این داده‌ها باقی‌مانده‌های استاندارد محاسبه شده و بررسی می گردد، حدود ٦٨ درصد باقی‌مانده‌های استاندارد شده بین ١±، حدود ٩٥ درصد آن مابین ٢± و همه

باید بین ۳± باشند هر نقطه که دارای باقی‌مانده استاندارد شده بزرگ‌تر از ۳ یا ٤ باشد به طور بالقوه یک نقطه پرت محسوب می‌شود. در مرحله چهارم، تشخیص بالاترین عملکردها در هر زیرگروه انجام می‌شود. این مرحله در مطالعات مختلف متفاوت بوده است. تاسیسترو (۱۷) از داده‌هایی که عملکرد آن‌ها بالاتر از ۹۹ درصد در هر گروه بود میانگین گرفته و آن را به عنوان نقطه مؤثر در خط مرزی انتخاب کرد. 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 (۸). در مطالعات دیگر تنها بالاترین عملکرد در هر گروه به عنوان پاسخ عملکرد به آن متغیر انتخاب شده است (۱۵). 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. مرحله پنجم، برازش یک تابع مناسب است. بر داده‌های به دست آمده در مرحله چهارم یک تابع مناسب برازش داده می‌شود که با توجه به نحوه چیدمان داده‌ها انجام می‌شود. برای تعیین ضرایب مدل با توجه به تابع واکنش می توان از نرم افزارهای آماری مختلف استفاده کرد. در این مطالعه با رسم نمودار پراکنش میزان عملکرد به دست آمده در هر مزرعه به عنوان متغیر وابسته در مقابل مدیریت‌های زراعی (متغیرهای مستقل)، بالاترین عملکردها در سطوح مختلف هر نهاده مصرفی یا مدیریت خاص، انتخاب و در ادامه یک تابع بر لبه‌ی بالایی پراکنش داده‌ها برازش داده شد. پارامترهای این توابع با استفاده از نرم افزار SAS و رویه nline به دست آمدند (۵).

نتایج و بحث

واکنش عملکرد دانه به میزان مصرف نیتروژن

کودی در کشت گندم: در مزارع مورد بررسی حداقل، حداکثر و میانگین مقدار مصرف کود نیتروژن به‌ترتیب ۳٤/۵، ۱٤۲/۵ و ۸۵/٤ کیلوگرم در هکتار بود. حداقل، حداکثر و میانگین عملکرد دانه گندم در این مزارع به‌ترتیب ۱۹۵۰، ٤۸۹۰ و ۳۲۲۷ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۱). واکنش بیش‌ترین عملکردهای گندم در مزارع مورد بررسی از نظر مقدار مصرف کود نیتروژن نشان داد که نقاط از یک تابع دو تکه‌ای تبعیت می‌کنند (شکل ۲). بدین‌ترتیب که با افزایش مقدار مصرف کود نیتروژن تا ۵۸/۳ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه گندم افزایش یافت و پس از آن افزایش مقدار مصرف کود نیتروژن تأثیری بر عملکرد دانه گندم نداشت و روند ثابتی داشت (شکل ۲). عملکرد پتانسیل نیتروژن محدود ٤۸٤۸ کیلوگرم در هکتار بود که با مصرف حداقل ۵۸/۳ کیلوگرم نیتروژن خالص به دست آمده بود و در ۲۰ درصد مزارع مورد مطالعه مقدار نیتروژن مصرفی خارج از حد بهینه بود و خلأ عملکرد حاصل از عدم مصرف بهینه کود نیتروژن در مزارع مورد بررسی ۳٤/٤ درصد (۱٦۷۱/٦ کیلوگرم در هکتار) بود. به عبارتی، با مصرف بهینه کود نیتروژن امکان افزایش عملکرد گندم به مقدار ۱٦۷۱/٦ کیلوگرم در هکتار وجود دارد. نتایج یک مطالعه که با استفاده از آنالیز خط مرزی، پتانسیل عملکرد گندم و حدود بهینه عوامل مدیریتی در شهرستان گرگان ارزیابی شد، نشان داد که عملکرد پتانسیل گندم در منطقه دیم پرباران با مصرف حداقل ۹۳/۳ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل می‌شود (٦). در مطالعه آن‌ها متوسط عملکرد کشاورزان ٤۷۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده بود و بیان داشتند که کشاورزان می‌توانند با بهبود مدیریت زراعی به عملکرد پتانسیل ٦۲۰۰ کیلوگرم در هکتار دست یابند (٦).

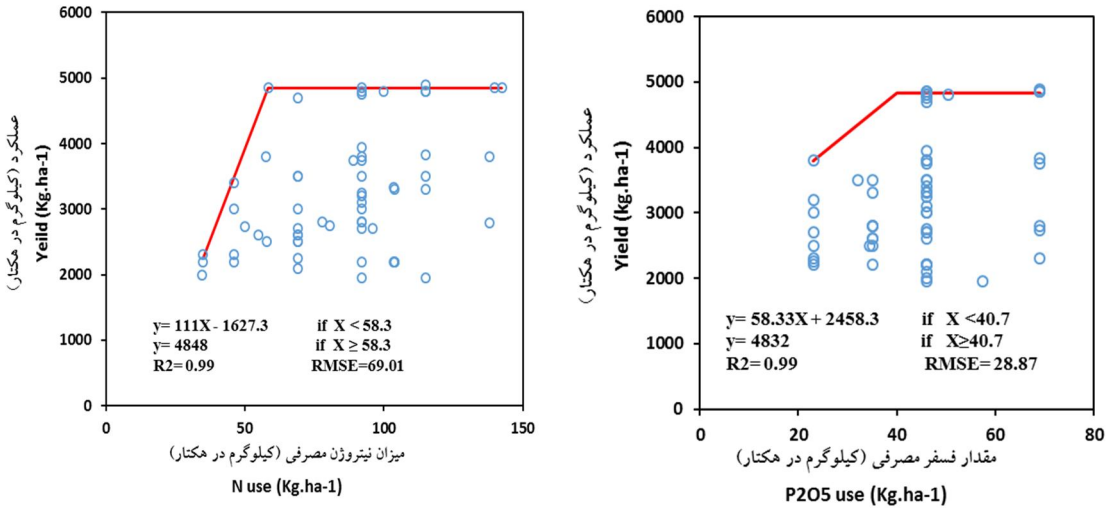
جدول ١- نتایج آنالیز خط مرزی به همراه محاسبه پتانسیل و خلأ عملکرد گندم در شهرستان کلاله.

Table 1- The results of the Boundary Line Analysis with the calculation of soybean potential yield and yield gap in Kalaleh.

مدیریت/نهاده Input management	حداقل Min.	حداکثر Max.	حداقل (بازه) مطلوب Optimal limit minimum	درصد مزارع خارج از حد بهینه Percent of farms outside of optimal limit	عملکرد پتانسیل (کیلوگرم در هکتار) Potential yield (kg.ha^{-1})	متوسط عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Average yield (kg.ha^{-1})	خلأ عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield gap (kg.ha^{-1})	درصد خلأ عملکرد Percent of yield gap
تجربه کشاورز (سال) Farmer experience (year)	1	65	≥9.9	33.3	4819	3176.4	1642.6	34
مقدار بذر مصرفی (کیلوگرم در هکتار) Seeding rate (kg.ha^{-1})	160	250	≤215	40	4858	3176.4	1681.6	34.6
تاریخ کاشت (روز از اول فروردین) Planting date (days from 19th March)	230	271	≤255	45	4916	3176.4	1739.6	35.4
تراکم (بوته در مترمربع) Density (plant.m^{2})	340	440	≤398	31.7	4831	3176.4	1654.6	34.2
مقدار نیتروژن مصرفی (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen fertilizer (kg.ha^{-1})	34.5	142.5	≥58.3	20	4848	3176.4	1671.6	34.4
مقدار فسفرمصرفی (کیلوگرم P_2O_5 در هکتار) P_2O_5 (kg.ha^{-1})	23	69	≥40.7	35	4832	3176.4	1655.6	34.2
اسیدیته pH	7.48	7.83	≤7.65	31.7	4864	3176.4	1687.6	34.7
مواد آلی خاک (درصد) Organic matter (%)	0.35	1.15	≥0.54	33.3	4768	3176.4	1591.6	33.4
مقدار فسفر قابل جذب (پی‌پی‌ام) Absorbable phosphorus (ppm)	1.2	17	≥10.8	68.3	4850	3176.4	1573.6	34.5
مقدار پتاسیم قابل تبادل (پی‌پی‌ام) Exchangeable potassium (ppm)	58	378	≥153	33.3	4828	3176.4	1651.6	34.2
مقدار شن در خاک (درصد) Sand (%)	8	13	≥9.9	30	4851	3176.4	1674.6	34.5
مقدار سیلت در خاک (درصد) Silt (%)	60	66	≤62.6	40	4863	3176.4	1686.6	34.7
مقدار رس در خاک (درصد) Clay (%)	25	29	≤26.9	16.7	4850	3176.4	1673.6	34.5

واکنش عملکرد دانه به میزان مصرف فسفر کودی در کشت گندم: حداقل، حداکثر و میانگین مقدار فسفر در مزارع مورد بررسی به‌ترتیب ٢٣، ٦٩ و ٤٤ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ١). نمودار پراکنش داده‌های عملکرد در مقابل مقدار کود فسفر مصرفی نشان می‌دهد که نقاط از یک تابع دو تکه‌ای پیروی می‌کند به طوری که با افزایش مقدار کود فسفر تا ٤٠/٧ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه گندم افزایش یافت و بعد از آن مصرف کود فسفر تأثیری بر عملکرد دانه گندم نداشت و روند ثابت و یکنواختی را داشت. عملکرد پتانسیل گندم در شرایط مصرف بهینه کود فسفر، ٤٨٣٢ کیلوگرم در هکتار بود که با مصرف حداقل ٤٠/٧ کیلوگرم فسفر (P_2O_5) حاصل شد (شکل ٢). نتایج نشان داد که در ٣٥ درصد مزارع، کشاورزان کم‌تر از حد بهینه کود فسفر مصرف کرده بودند و خلأ عملکرد ناشی از مقدار مصرف کود

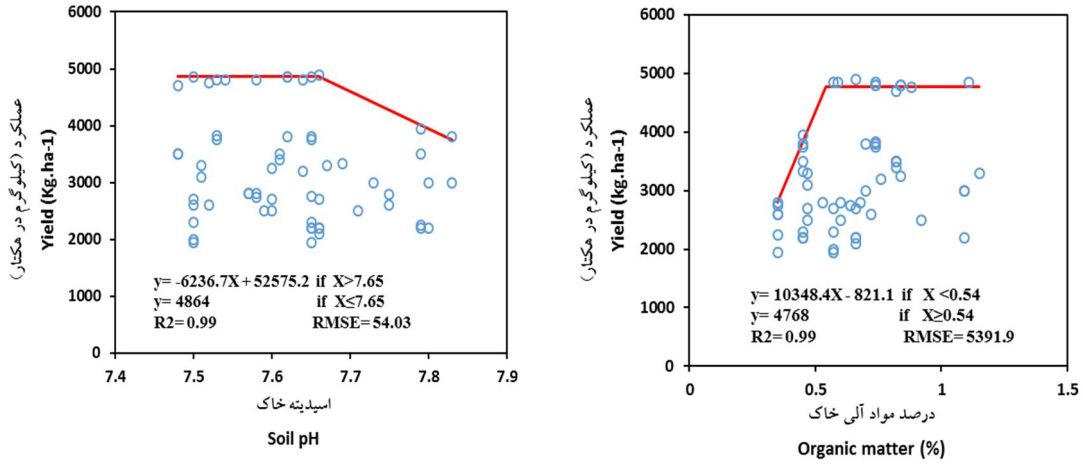
فسفر ۱۶۵۵/۶ کیلوگرم در هکتار (۳٤/۲ درصد) بود (جدول ۱). نتایج یک مطالعه (٦) نشان داد که عملکرد پتانسیل گندم در منطقه دیم پرباران با مصرف حداقل ۳۱ کیلوگرم کود فسفر به‌صورت P_2O_5 در هنگام کاشت مصرف حاصل می‌شود.



شکل ۲- پراکنش داده‌های عملکرد در مقابل مقدار کود نیتروژن خالص (N) و کود فسفر (P_2O_5) مصرفی به همراه برازش تابع خط مرزی.

Figure 2- Distribution of yield values versus nitrogen fertilizer rate (N) and phosphorus fertilizer (P_2O_5) with fitting function Boundary-line.

واکنش عملکرد دانه به اسیدیته خاک: نتایج نشان داد که اسیدیته خاک در مزارع مورد بررسی از حداقل ۷/٤۸ تا حداکثر ۷/۸۳ متغیر بود و میانگین اسیدیته خاک در این مزارع ۷/٦ بود (جدول ۱). همچنین حداقل، حداکثر و میانگین عملکرد دانه گندم در این مزارع به ترتیب ۱۹۵۰، ٤۸۹۰ و ۳۲۲۷ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۱). نمودار پراکنش داده‌های عملکرد گندم به اسیدیته خاک در مزارع مورد مطالعه نشان داد که نقاط از یک تابع دو تکه‌ای پیروی می‌کند (شکل ۲) به‌طوری که تا اسیدیته ۷/٦۵ بالاترین عملکردهای گندم مشاهده می‌شود و پس از آن با افزایش اسیدیته خاک عملکرد دانه گندم روند کاهشی را نشان می‌دهد. به عبارتی اسیدیته کمتر از ۷/٦۵ محدوده‌ی مطلوب اسیدیته خاک در مزارع مورد بررسی برای تولید گندم است و در ۳۱/۷ درصد مزارع مورد مطالعه اسیدیته خاک خارج از محدوده‌ی بهینه (کمتر از ۷/٦۵) می‌باشد (جدول ۱). عملکرد پتانسیل حاصل از اسیدیته خاک در مزارع مورد بررسی ٤۸٦٤ کیلوگرم در هکتار بود که با اسیدیته حداکثر ۷/٦۵ به دست آمد (شکل ۳). میزان خلأ عملکرد ناشی از اسیدیته خاک در مزارع مورد مطالعه ۳٤/۷ درصد (۱٦۸۷/٦ کیلوگرم در هکتار) بود. شاتار و مک‌برتنی (۲۰۰٤) ارتباط خصوصیات خاک از قبیل مواد آلی، مقدار اسیدیته، پتاسیم و آهن را با عملکرد سورگوم در استرالیا با استفاده از روش خط مرزی بررسی نمودند (۱٦). نتایج آن‌ها نشان داد که قوی‌ترین پاسخ عملکرد زمانی اتفاق افتاده است که مقدار پتاسیم خاک کم‌تر از ٦ میلی‌مول بر کیلوگرم بوده است و عملکرد سورگوم بین اسیدیته تقریباً ۷/۳ و ۷/۵ حداکثر بود و در خارج از این محدوده عملکرد سورگوم پاسخ شدیدی به تغییرات اسیدیته خاک نشان داده بود (۱٦).



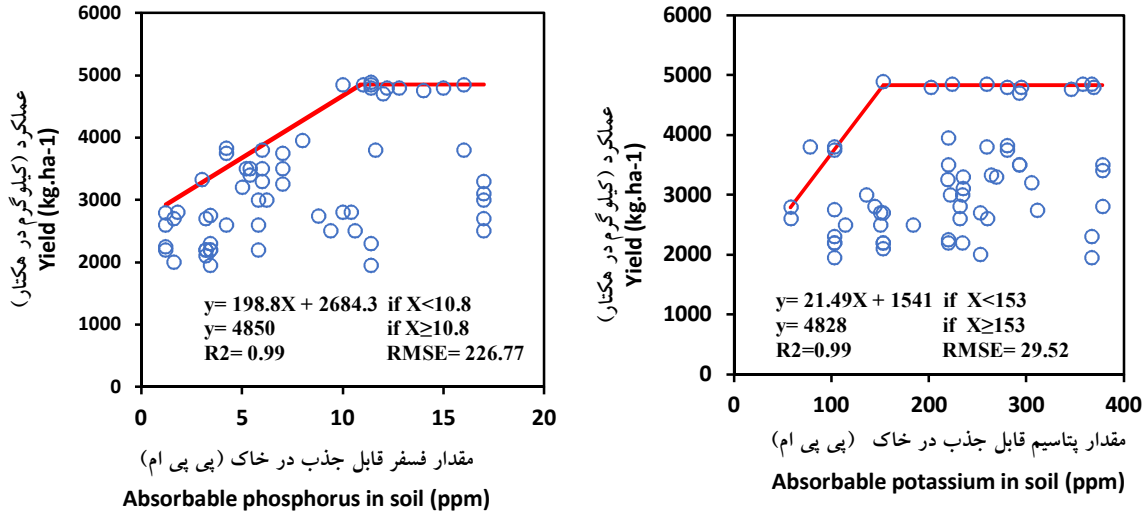
شکل ٣- نمودار پراکنش داده‌های عملکرد در مقابل درصد مواد آلی و اسیدیته خاک به همراه برازش تابع خط مرزی.

Figure 3-Distribution of yield values versus organic matter percent and soil pH with fitting function Boundary-line.

واکنش عملکرد دانه به درصد مواد آلی خاک: دامنه درصد مواد آلی خاک در مزارع مورد بررسی از حداقل ٠/٣٥ درصد تا حداکثر ١/١٥ درصد متغیر بود و میانگین مواد آلی خاک در ناحیه مورد مطالعه ٠/٦٥ درصد بود (جدول ١). همچنین حداقل، حداکثر و میانگین عملکرد دانه گندم در این مزارع به ترتیب ١٩٥٠، ٤٨٩٠ و ٣٢٢٧ کیلوگرم در هکتار بود. نمودار پراکنش داده‌های عملکرد گندم در مزارع مورد بررسی از نظر درصد مواد آلی خاک نشان داد که نقاط از یک تابع دو تکه‌ای تبعیت می‌کند (شکل ٤). به‌طوری‌که با افزایش مواد آلی خاک تا ٠/٥٤ درصد، عملکرد دانه گندم افزایش یافت و پس از آن افزایش مواد آلی خاک تأثیری بر افزایش عملکرد دانه گندم نداشت و عملکرد روند ثابت و یکنواختی داشت. نتایج نشان داد که عملکرد پتانسیل حاصل از مواد آلی خاک ٤٧٦٨ کیلوگرم در هکتار بود که با حداقل ٠/٥٤ درصد مواد آلی خاک حاصل شد و در این میان مواد آلی خاک در ٣٣/٤ درصد مزارع مورد بررسی خارج از حد بهینه (٠/٥٤< درصد) بود. همچنین خلأ عملکرد حاصل از مواد آلی خاک ١٥٩١/٦ کیلوگرم در هکتار (٣٣/٤ درصد) بود که برای حذف خلأ عملکرد ناشی از مواد آلی می‌بایست مواد آلی خاک حداقل ٠/٥٤ درصد باشد (جدول ١). آستانه مواد آلی خاک برای حفظ کیفیت خاک به‌طور گسترده‌ای در حدود ٢ درصد پیشنهاد شده است که کم‌تر از آن ممکن است باعث کاهش باروری خاک شود و لذا استفاده از کود دامی پوسیده یکی از راهکارهای مهم برای افزایش درصد مواد آلی خاک است و هزینه آن در بلندمدت با افزایش عملکرد قابل جبران خواهد بود. در بعضی از خاک‌ها با میزان کربن آلی خاک پایین‌تر از ٠/٥ درصد منجر به پاسخ مصرف کود می‌شود و خاک‌هایی با بالاتر از ٢ درصد کربن آلی به مقادیر کم نیتروژن پاسخ می‌دهند (١١).

واکنش عملکرد دانه به مقدار فسفر قابل جذب در خاک: حداقل، حداکثر و میانگین مقدار فسفر قابل جذب در خاک در مزارع مورد بررسی به‌ترتیب ١/٢، ١٧ و ٧/٨ پی‌پی‌ام بود (جدول ١). نمودار پراکنش داده‌های عملکرد گندم در مزارع مورد بررسی از نظر مقدار فسفر قابل جذب در خاک نشان داد که نقاط از یک تابع دو تکه‌ای تبعیت می‌کنند (شکل ٤). بدین ترتیب که با افزایش مقدار فسفر قابل جذب در خاک از ١/٢ تا حداکثر ١٠/٨ پی‌پی‌ام عملکرد دانه گندم افزایش یافته بود و پس از آن تأثیری بر عملکرد گندم نداشت و روند ثابت و یکنواختی داشت. نتایج نشان

داد که عملکرد پتانسیل حاصل از مقدار فسفر قابل جذب در خاک ۴۸۵۰ کیلوگرم در هکتار بود که با حداقل ۱۰/۸ پی‌پی‌ام فسفر قابل جذب در خاک به دست آمد و در این میان فسفر قابل جذب در خاک در ۶۸/۳ درصد مزارع مورد مطالعه خارج از حد بهینه (۱۰/۸ < پی‌پی‌ام) بود. خلأ عملکرد ناشی از مقدار فسفر قابل جذب در خاک ۳۴/۵ درصد (۱۶۷۳/۶ کیلوگرم در هکتار) بود که برای حذف آن می‌بایست مقدار فسفر قابل جذب در خاک حداقل ۱۰/۸ پی‌پی‌ام باشد. در یک مطالعه، آستانه زراعی فسفر قابل دسترس برای خاک‌های نواحی بیابانی زینجیانگ در چین را برای سه محصول پنبه، گندم و ذرت به‌ترتیب ۲۵/۴، ۱۴/۸ و ۱۳/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش نمودند (۲۰).



شکل ٤- نمودار پراکنش داده‌های عملکرد در مقابل مقدار فسفر و پتاسیم قابل جذب در خاک (پی پی ام) به همراه برازش تابع خط مرزی.

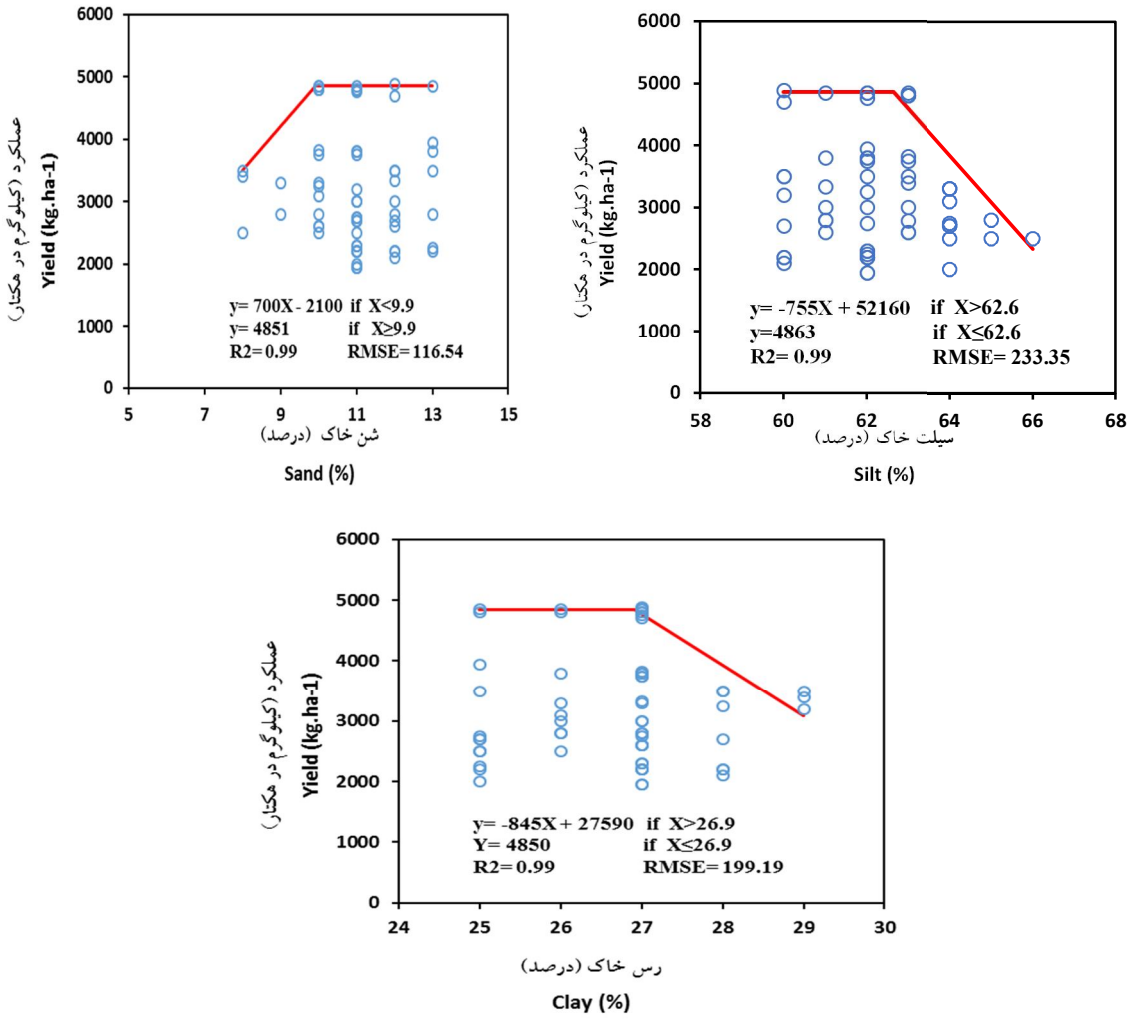
Figure 4- Distribution of yield values versus absorbable phosphorus and potassium in soil (ppm) with fitting function Boundary-line.

واکنش عملکرد دانه به مقدار پتاسیم قابل جذب در خاک: مقدار پتاسیم قابل تبادل در خاک مزارع مورد بررسی از حداقل ۵۸ تا حداکثر ۳۷۸ پی‌پی‌ام متغیر بود. میانگین پتاسیم قابل تبادل در خاک این مزارع ۲۲۴/۳ پی‌پی‌ام بود (جدول ۱). نمودار پراکنش داده‌های عملکرد گندم از نظر مقدار پتاسیم قابل تبادل در مزارع مورد مطالعه نشان داد که نقاط از یک تابع دو تکه‌ای پیروی می‌کنند. به طوری که با افزایش مقدار پتاسیم قابل تبادل در خاک مزارع از ۵۸ پی‌پی‌ام تا حداکثر ۱۵۳ پی‌پی‌ام عملکرد دانه گندم نیز افزایش یافته بود. که با افزایش هر واحد پی‌پی‌ام پتاسیم قابل تبادل در خاک تا ۱۵۳ پی‌پی‌ام عملکرد گندم ۲۱/۵ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت و پس از آن افزایش مقدار پتاسیم قابل تبادل در خاک (بیش از ۱۵۳ پی‌پی‌ام) هیچ تأثیری بر عملکرد سویا نشان نداد (شکل ٤). نتایج نشان داد که عملکرد پتانسیل حاصل از مقدار پتاسیم قابل تبادل در خاک ۴۸۲۸ کیلوگرم در هکتار بود که با حداقل ۱۵۳ پی‌پی‌ام پتاسیم قابل تبادل در خاک به دست آمد و در این میان درصد پتاسیم قابل تبادل در خاک در ۳۳/۳ درصد مزارع مورد مطالعه خارج از حد مطلوب (۱۵۳< پی‌پی‌ام) بود. خلأ عملکرد حاصل از مقدار پتاسیم قابل تبادل در خاک ۳۴/۲ درصد (۱۶۵۱/۶ کیلوگرم در هکتار) بود که برای حذف آن مقدار پتاسیم قابل تبادل در خاک

می‌بایست حداقل ۱۵۳ پی‌پی‌ام باشد (جدول ۱). برخی محدودیت‌ها در استفاده از روش آنالیز خط مرزی وجود دارد. این روش، اثر متقابل متغیرهای تأثیرگذار در تعیین عملکرد محصول را در نظر نمی‌گیرد. در واقع، این روش تنها شامل یک متغیر است، علی رغم اینکه عملکرد محصول تعامل مجموعه‌ای از متغیرها است (۷). تاسیسترو (۲۰۱۲) ارتباط بین برخی از خصوصیات خاک از قبیل درصد ماده آلی، شوری، مقدار سدیم، مقدار آلومنیوم و پتاسیم قابل تبادل و همچنین عوامل مدیریتی مانند تراکم و مقدار نیتروژن مصرف شده، با عملکرد ذرت را بررسی نمود (۱۷). نتایج ایشان نشان داد زمانی که غلظت آلومنیوم قابل تبادل از ۱ سانتی مول در کیلوگرم فراتر رود و یا بیش‌تر از ۲۰ تا ۳۰ درصد محل‌های تبادل کاتیون را اشغال کند، عملکرد ذرت ۵۰ درصد کاهش یافته است و همچنین، عنوان کرد که سدیم، شوری و درصد مواد آلی خاک و تراکم بوته عوامل محدودکننده عملکرد ذرت هستند که از بین این عوامل سدیم خاک مهم‌ترین عامل محدود کننده عملکرد ذرت است (۱۷).

واکنش عملکرد دانه به درصد اجزای تشکیل‌دهنده بافت خاک: نتایج نشان داد که حداقل، حداکثر و میانگین درصد شن خاک مزارع مورد بررسی به ترتیب ۸، ۱۳ و ۱۱ درصد بود. این مقادیر برای درصد سیلت خاک مزارع مورد مطالعه به‌ترتیب ٦٠، ٦٦ و ٦٢ درصد و برای درصد رس خاک مزارع به‌ترتیب ۲۵، ۲۹ و ٢٦ درصد بود (جدول ۱). واکنش بیش‌ترین عملکردهای گندم در مزارع مورد مطالعه از نظر درصد شن، سیلت و رس خاک نشان داد که نقاط از یک تابع دو تکه‌ای پیروی می‌کنند (شکل ۵). نتایج نشان داد که عملکرد پتانسیل ناشی از مقدار شن در خاک ٤٨٥١ کیلوگرم در هکتار بود که با حداقل ۹/۹ درصد شن در خاک مزارع مورد بررسی حاصل شد. عملکرد پتانسیل حاصل از درصد سیلت در خاک ٤٨٦٣ کیلوگرم در هکتار بود که با حداکثر ٦٢/٦ درصد مقادیر سیلت در خاک مزارع مورد مطالعه حاصل شد و به ازای هر درصد افزایش در مقدار سیلت خاک از ٦٥ درصد به بالا عملکرد دانه گندم ۷۵۵ کیلوگرم در هکتار کاهش داشت. عملکرد پتانسیل حاصل از درصد رس خاک ٤٨٥٠ کیلوگرم در هکتار بود که با حداکثر ٢٦/٩ درصد مقادیر رس در خاک به‌دست آمد. خلأ عملکرد حاصل از درصد شن، سیلت و رس در خاک به ترتیب ١٦٧٤/٦، ١٦٨٦/٦ و ١٦٧٣/٦ کیلوگرم در هکتار بود که برای حذف آن درصد سیلت و رس خاک می‌بایست به ترتیب حداکثر ٦٢/٦ و ٢٦/٩ درصد و برای درصد شن خاک، حداقل ۹/۹ درصد باشد و لذا، در صورتی که در آزمون خاک مشخص گردد که اجزای بافت خاک مزرعه موردنظر، مغایر با درصدهای فوق الذکر باشد، کشاورز بایستی با اقداماتی (از جمله افزودن کود دامی)، درصد اجزای بافت خاک را اصلاح نماید. البته شایان ذکر است که تغییر درصد شن، سیلت و رس خاک برای کشاورز در بیشتر موارد هزینه بالایی دارد و ممکن است این تغییر برای کشاورز قابل اجرا نباشد. بنابراین، نویسندگان پیشنهاد می‌دهند که تغییر بافت خاک به صورت تدریجی باشد و به عبارت دیگر، ابتدا باید در نظر گرفته شود که کدام جزء از بافت خاک (شن، سیلت و رس) تاثیر بیشتری بر عملکرد دانه دارند و سپس اقدامات لازم در جهت بهبود بافت خاک، به‌صورت بلندمدت انجام شود که به نظر می‌رسد این تغییر تدریجی چندساله، تاثیر بهتری نسبت به تغییر ناگهانی در یک سال زراعی باشد. کاسانوا و همکاران (۱۹۹۹) برای شناسایی و اندازه‌گیری خصوصیات خاک که رشد برنج را در شرایط کشت مستقیم محدود می‌کند مطالعه‌ای را در اسپانیا انجام دادند و با استفاده از روش آنالیز خط

مرزی رابطه بین خصوصیات خاک و عملکرد برنج را مورد بررسی قرار دادند (۳). نتایج آن‌ها نشان داد که خلأ عملکرد ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بواسطه خصوصیات خاک در برنج وجود دارد (۳).



شکل ۵- نمودار پراکنش داده‌های عملکرد در اجزای تشکیل دهنده بافت خاک به همراه برازش تابع خط مرزی.

Figure 5- Distribution of yield values versus soil texture components with fitting function Boundary-line.

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه بین عملکرد قابل حصول (۷۲٤۸/۱ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد واقعی (۳۱۷٦/٤ کیلوگرم در هکتار) اختلافی به میزان ٤۰۷۱/۷ کیلوگرم وجود داشت. از بین متغیرهای مورد بررسی، مقدار فسفر قابل جذب در خاک، درصد مواد آلی خاک، مقدار پتاسیم قابل جذب در خاک و مقدار نیتروژن مصرفی سبب ایجاد خلأ عملکرد گندم در منطقه مورد مطالعه شده بودند که به ترتیب ۱٤/۹، ۱۲/۷، ۱۱/۷ و ۱۰/۳ درصد سهم هر متغیر در ایجاد فاصله از عملکرد قابل حصول بود. بنابراین، به نظر می‌رسد که با اصلاح این عوامل محدودکننده عملکرد گندم با استفاده از راهکارهای ذیل می‌توان اختلاف بین عملکرد قابل حصول و عملکرد واقعی را کاهش داد. ۱- افزایش سطح معلومات و دانش کشاورزی بهره‌برداران از طریق برگزاری کارگاه‌های آموزشی و

انتقال یافته‌های نوین تحقیقاتی، ٢- استفاده از کودهای پایه بر مبنای نتایج آنالیز آزمون خاک مزارع؛ ٣- افزایش مواد آلی خاک با استفاده از حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک و توسعه خاکورزی حفاظتی؛ ٤- خلأ عملکرد حاصل از مقدار نیتروژن مصرفی ٣٤/٤ درصد بود که برای حذف خلأ عملکرد ناشی از مقدار نیتروژن مصرفی بایستی حداقل ٥٨/٣ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص مصرف شود؛ ٥- مقدار مصرف نامناسب کود فسفر سبب ٣٤/٢ درصد خلأ عملکرد شده بود که برای حذف آن بایستی حداقل ٤٠/٧ کیلوگرم فسفر (P_2O_5) در هکتار مصرف شود؛ ٦- اسیدیته خاک سبب ٣٤/٧ درصد خلأ عملکرد شده بود که برای حذف خلأ عملکرد حاصل از اسیدیته خاک، بایستی اسیدیته خاک کم‌تر از ٧/٦٥ باشد؛ ٧- خلأ عملکرد حاصل از کافی نبودن مواد آلی خاک ٣٣/٤ درصد بود که برای حذف خلأ عملکرد ناشی از آن، می‌بایست مواد آلی خاک حداقل ٠/٥٤ درصد باشد؛ ٨- میزان خلأ عملکرد ناشی از مقدار فسفر قابل جذب در خاک ٣٤/٥ درصد بود که برای حذف خلأ عملکرد ناشی از آن، می‌بایست حداقل فسفر قابل جذب در خاک ١٠/٨ پی‌پی‌ام باشد؛ ٩- میزان خلأ عملکرد حاصل از مقدار پتاسیم قابل تبادل در خاک ٣٤/٢ درصد بود که برای حذف خلأ عملکرد حاصل از آن، مقدار پتاسیم قابل تبادل در خاک باید حداقل ١٥٣ پی‌پی‌ام باشد؛ ١٠- مقدار شن، سیلت و رس در خاک به‌ترتیب سبب ٣٤/٥، ٣٤/٧ و ٣٤/٥ درصد خلأ عملکرد شده بود که برای حذف خلأ عملکرد حاصل از آن‌ها، می‌بایست مقدار درصد سیلت و رس خاک به‌ترتیب حداکثر ٦٢/٦ و ٢٦/٩ درصد و برای درصد شن خاک، حداقل ٩/٩ درصد باشد.

References

1. Anonymous, 2018. Deputy director of plant improvement. Golestan Agricultural Jihad Organization, Ministry of Agriculture. Iran. (In Persian).
2. Begum, M.A., Islam, M.A., Ahmed, Q.M., Islam, M.A., and Rahman, M.M. 2015. Effect of nitrogen and phosphorus on the growth and yield performance of soybean. Res. Agri. Live Stock Fish. 2. 35-42.
3. 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.
4. Egli, D.B., and Hatfield, J.L. 2014. Yield gaps and yield relationships in central US soybean production systems. Agro. J. 106. 560-566.
5. Hajjarpoor, A., Soltani, A., and Torabi, B. 2015. Using boundary line analysis in yield gap studies: Case study of wheat in Gorgan. J. Crop Prod. 8: 4. 183-201. (In Persian).
6. Hajjarpoor, A., Soltani, A., Zeinali, E., Kashiri, H., Aineband, A., and Nazeri, M. 2017. Determination of the optimum managements ranges in order to increasing wheat yield in Golestan province. J. Crops Improv. 19: 3. 577-590. (In Persian).
7. Hajjarpoor, A., Soltani, A., Zeinali, E., Kashiri, H., Aynehband, A., and Vadez, V. 2018. Using boundary line analysis to assess the on-farm crop yield gap of wheat. Field Crop Res. 225. 64-73.
8. 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.
9. Lobell, D.B., Cassman, K.G., and Field, C.B. 2009. Crop yield gaps: Their importance, magnitudes, and causes. Ann. Rev. Environ. Resource. 34. 179-204.
10. Makowski, D., Doré, T., and Monod, H. 2007. A new method to analyze relationships between yield components with boundary lines. Agron. Sustain. Dev. 27. 119-128.
11. Patrick, M., Tenywa, J.S., Ebanyat, P., Tenywa, M.M., and Mubiru, D.N. 2013.

Soil Organic Carbon Thresholds and Nitrogen Management in Tropical Agroecosystems: Concepts and Prospects. J. Sustain. Dev. 16. 31-41.
12. Patrignani, A., Lollato, R.P., Ochsner, T.E., Godsey, C. B., and Edwards, J.T. 2014. Yield gap and production gap of rain-fed winter wheat in the Southern Great Plains. Agron. J. 106. 1329-1339.
13. Rosolem, C.A., and Merlin, A. 2014. Soil phosphorus availability and soybean response to phosphorus starter fertilizer. Res. Brazilian Agric. 38. 1487-1495.
14. Ruffo, M.L., Gentry, L.F., Henninger, A.S., Seebauer, J.R., and Below, F.E. 2015. Evaluating management factor contributions to reduce corn yield gaps. Agron. J. 107. 495-505.
15. Schnug, E., Heym, J., and Achwan, F. 1996. Establishing critical values for soil and plant analysis by means of the boundary line development system (bolides). Commun. Soil Sci. Plant Anal. 27. 2739-2748.
16. Shatar, T.M., and Mcbratney, A.B. 2004. Boundary-line analysis of field-scale yield response to soil properties. J. Agric. Sci. 142. 553-560.
17. Tasistro, A. 2012. Use of boundary lines in field diagnosis and research for Mexican farmers. Better Crops. 96. 11-13.
18. Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S., and Zeinali, A. 2012. Analyzing wheat yield constraints in Gorgan. J. Crop Prod. 4: 4. 1-17. (In Persian).
19. Van Ittersum, M.K., and Rabbinge, R. 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input–output combinations. Field Crop Res. 52. 197-208
20. Wang, B., Liu, H., Hao, X.Y., Wang, X.H., Sun, J.S., Li, J.M., and Ma, Y.B. 2016. Agronomic threshold of soil available phosphorus in grey desert soils in Xinjiang, China. Earth Environ. Sci. 41. 120-131.
21. 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.
22. Webb, R.A. 1972. Use of the boundary line in the analysis of biological data. J. Hort. Sci. 47. 309-319.