نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۳ شماره ۳ / پاییز ۱۴۰۲/ صفحات ۲۰۲-۱۸۵

Evaluation and Quantification of Rice Yield Gap Using Border Line Analysis Method in Ghaemshahr

Nastaran Solhi-oskoei[1], Faezeh Zaefarian[2], Rahmat Abbasi[2], Benjamin Torabi[3]

Received: 27 July 2022 Accepted: 24 September 2022
[1]Ph.D. Student of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
[2]Assoc. Prof., and Assist. Prof., Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
3-Assoc. Prof., of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
[*]Corresponding Author Email: fa_zaefarian@yahoo.com

Abstract

Background and Objectives: Ensuring the food security of the society and the increasing human need for food is a global challenge. The most key solution is to increase the yield of agricultural products per unit area by eliminating or reducing the yield gap. Therefore, this research has estimated the performance potential and the performance gap and identified the limiting factors of production with the aim of increasing productivity.

Materials & Methods: In order to quantify the production and estimate the rice yield gap in Ghaemshahr region, the data collected from 164 paddy fields (local and high yielding cultivars) of this city during 2019 and 2020 were used. Information on important managerial, soil and plant factors were recorded during the growing season through continuous field visits and face-to-face interviews with farmers. In this study, using the boundary line analysis method, the yield gap, potential performance and optimal values of yield gap parameters were calculated and the best managements were determined simultaneously.

Results: In the present study, the quadratic function was able to describe the trend of performance changes in relation to different traits. The required optimal minimum values of each factor were determined to achieve the highest performance. The average optimal yield (achievable) and the average actual yield were 9229 and 5160 kg.ha^{-1}, respectively, and the yield gap was 4069 kg.ha^{-1}, equivalent to 43.8% of the potential yield. Also, the number of seedlings in each pile, the amount of triple superphosphate fertilizer, the length of the growth period, and the harvest date, each of them with 48.8% of the potential yield and the yield gap equal to 4920 kg.ha^{-1}, had the biggest contribution in creating the gap.

Conclusion: By analyzing the boundary line, the optimal values of the studied parameters were identified to achieve the highest performance. Based on this, the following practical recommendations can be given to the operators of the region to increase the yield and eliminate the vacuum: 1) the most suitable time for preparing the treasury, 5th of April, 2) carrying out transplanting with the number of 7 seedlings per hill, 3) 306 kg.ha^{-1} of urea fertilizer consumption, 4) Urea fertilizer application in 3 installments, 5) 100 kg.ha^{-1} triple super phosphate consumption, 6) 150 kg.ha^{-1} potassium sulfate consumption, 7) 67 kg.ha^{-1} potassium chloride consumption, 8) consumption of 2 liters per hectare of micro liquid fertilizer, 9) application of 3.33 kg.ha^{-1} of zinc sulfate, 10) consumption of 3 liters of liquid pesticide per hectare, 11) the most suitable date for starting periodic irrigation is June 26, 12) the most suitable length of the irrigation period of the growth of the plant is 105 days and 13) the most suitable harvest date is August 6.

Keywords: Actual Yield, Potential Yield, Optimal Minimums, Optimal Values

CC BY NC

DOI: 10.22034/saps.2022.52762.2903

ارزیابی و کمی‌سازی خلاء عملکرد برنج با بهره‌گیری از روش آنالیز خط مرزی در قائمشهر

نسترن صلحی اسکوئی[۱]، فائزه زعفریان[۲*]، رحمت عباسی[۲]، بنیامین ترابی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۲
۱- دانشجوی دوره دکتری زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- دانشیار و استادیار گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳- دانشیار گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
*مسئول مکاتبه: Email: fa_zaefarian@yahoo.com

چکیده

اهداف: تأمین امنیت غذائی جامعه و نیاز روز افزون بشر به مواد غذائی، یک چالش جهانی است. کلیدی‌ترین راه حل، افزایش عملکرد محصولات کشاورزی در واحد سطح از طریق حذف یا کاهش خلاء عملکرد می‌باشد. لذا این تحقیق به برآورد عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد و شناسایی عوامل محدودکننده‌ی تولید با هدف افزایش بهره‌وری پرداخته است.

مواد و روش‌ها: به منظور کمی‌سازی تولید و برآورد خلاء عملکرد برنج در شالیزارهای قائمشهر، از داده‌های جمع‌آوری شده ۱۶۴ مزرعه شالیزار (ارقام محلی و پرمحصول) طی سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ استفاده شد. اطلاعات مربوط به عوامل مهم مدیریتی، خاکی و گیاهی، در طول دوره‌ی رشد، از طریق بازدیدهای مزرعه‌ای مستمر و انجام مصاحبه‌ی رو در رو با کشاورزان ثبت گردید. سپس با استفاده از روش آنالیز خط مرزی به محاسبه‌ی خلاء عملکرد، عملکرد پتانسیل و مقادیر بهینه‌ی پارامترهای خلاء عملکرد و تعیین همزمان بهترین مدیریت‌ها پرداخته شد.

یافته‌ها: در تحقیق حاضر تابع درجه‌ی دوم به خوبی توانست روند تغییرات عملکرد را در ارتباط با صفات مختلف توصیف نماید. مقادیر حداقل‌های مطلوب لازم از هر عامل، برای حصول به بالاترین عملکردها مشخص شدند. مقدار میانگین عملکرد بهینه و میانگین عملکرد واقعی کشاورز به ترتیب ۹۲۲۹ و ۵۱۶۰ کیلوگرم در هکتار و مقدار میانگین خلاء عملکرد ۴۰۶۹ کیلوگرم در هکتار معادل ۴۳/۸ درصد عملکرد پتانسیل برآورد شد. همچنین تعداد نشاء در هر کپه، مقدار کود سوپرفسفات تریپل، طول دوره‌ی رشد و تاریخ برداشت هر کدام با ۴۸/۸ درصد عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد معادل ۴۹۲۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین سهم را در ایجاد خلاء به خود اختصاص دادند.

نتیجه‌گیری: با آنالیزخط مرزی مقادیر بهینه‌ی پارامترهای مورد بررسی جهت دستیابی به بالاترین عملکردها شناسایی شد. .بر این اساس می توان توصیه‌های کاربردی ذیل را به بهره برداران منطقه جهت افزایش میزان عملکرد و رفع خلاء ارائه نمود: ۱) مناسب‌ترین زمان آماده سازی خزانه، ۵ فروردین ماه، ۲) انجام نشاءکاری با تعداد ۷ گیاهچه در هر کپه، ۳) مصرف کود اوره به مقدار ۳۰۶ کیلوگرم در هکتار، ۴) کاربرد کود اوره طی ۳ تقسیط، ۵) مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل، ۶) مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم، ۷) مصرف ۶۷ کیلوگرم در هکتار کلرور پتاسیم، ۸) مصرف ۲ لیتر در هکتار کود مایع میکرو، ۹) کاربرد ۳۳/۳ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، ۱۰) مصرف آفت‌کش مایع ۳ لیتر در هکتار، ۱۱) مناسب ترین تاریخ شروع آبیاری تناوبی ۲۶ خرداد ماه، ۱۲) مطلوبترین طول دوره‌ی رشد گیاه ۱۰۵ روز و ۱۳) مناسب ترین تاریخ برداشت ۶ مرداد ماه.

واژه های کلیدی: عملکرد واقعی، عملکرد پتانسیل، حداقل های مطلوب، مقادیر بهینه

مقدمه

برنج پس از گندم مهم‌ترین و قدیمی‌ترین محصول زراعی و عمده‌ترین ماده غذایی در کشورهای در حال توسعه به شمار می‌رود (نصیری و نیک‌نژاد ۲۰۱۱). انتظار می‌رود در اکثر کشورها رشد تقاضای مصرف برنج، سریع‌تر از رشد تولید آن باشد (چوداری ۲۰۰۰). رشد جمعیت و افزایش مصرف رژیم‌های غذایی پرکالری و گوشتی تقریباً تا سال ۲۰۵۰ تقاضای غذایی انسان را دو برابر می‌کند (مولر و همکاران ۲۰۱۲). پیش‌بینی می‌شود که شدت افزایش تقاضای غلات در آینده، با فشرده‌سازی بیشتر کشاورزی به جای گسترش مساحت کشاورزی محقق گردد (نویمان و همکاران ۲۰۱۰). در تمامی استراتژی‌های ارائه شده به منظور حل چالش مهم و جهانی تقاضای غذا، افزایش عملکرد در واحد سطح مورد تأکید قرار گرفته است (کانینگهام و همکاران ۲۰۱۳). با توجه به قیمت کنونی غلات و نگرانی در خصوص امنیت جهانی غذا طی سال‌های اخیر، تحقیقات در مورد افزایش عملکرد از طریق کاهش خلاء عملکرد، که امیدوارکننده‌ترین گزینه به نظر می‌رسد، به سرعت در حال افزایش است (ون ایترسوم و همکاران ۲۰۱۳؛ بادسار و همکاران ۲۰۱۷). نخستین قدم در کاهش خلاء عملکرد به منظور افزایش قابلیت تولید، تعیین محدودیت‌های عملکرد در یک ناحیه‌ی خاص می باشد. محدودیت‌های اصلی نیز از یک مکان به مکان دیگر تغییر می کنند (دوایری و همکاران ۲۰۰۰). امروزه تلاش‌های محققین به ویژه در کشورهای در حال توسعه که با خلاء بزرگتری درگیرند (کاسمن ۲۰۱۲) بر ارزیابی عوامل ایجادکننده‌ی خلاء عملکرد و ارائه راهکارهایی جهت بهبود عملکرد تمرکز یافته است (نصیری محلاتی و کوچکی ۲۰۱۰؛ فیشر و همکاران ۲۰۰۰؛ بوت و تولنار ۱۹۹۴).

آنالیز خلاء عملکرد[1] که تجزیه و تحلیل مقدار فاصله‌ی ایجاد شده بین عملکرد قابل دستیابی در مزرعه و میانگین عملکرد واقعی مزارع در یک منطقه است (ون ایترسوم و همکاران ۲۰۱۳؛ نه‌بندانی و همکاران ۲۰۱۷)؛ راهکار مناسبی را برای اولویت‌بندی مطالعات و سیاست‌های تولید در بخش کشاورزی فراهم می‌آورد (امیری ده احمدی و همکاران ۲۰۱۵). مفهوم خلاء عملکرد بر تعریف و اندازه‌گیری عملکرد پتانسیل استوار است (لوبل و همکاران ۲۰۰۹) و وجود خلاء عملکرد بزرگ به این مفهوم است که پتانسیل بیشتری برای بهبود عملکرد وجود دارد (اگلی و هاتفیلد ۲۰۱۴). تولید پتانسیل محصول زراعی از پارامترهایی است که با محاسبه‌ی آن می‌توان خلاء عملکرد را به دست آورد (ون ایترسوم و همکاران ۲۰۱۳)؛ پس عملکرد پتانسیل در قیاس با عملکرد واقعی، نشان‌دهنده‌ی بازده‌ی تولید کشاورزی منطقه است (نصیری محلاتی و کوچکی ۲۰۱۰). گفته می‌شود که میزان عملکرد واقعی (محصول مزرعه) بر حسب میانگین کشورهای مختلف بین ۵ تا ۶۰ درصد عملکرد پتانسیل متغیر است (اورکه و همکاران ۱۹۹۴؛ نصیری محلاتی و کوچکی ۲۰۱۰) و بیشتر منابع بر این باورند که بین ۷۰ تا ۸۵ ٪ پتانسیل عملکرد، قابل دستیابی است (لوبل و همکاران ۲۰۰۹؛ فیشر و همکاران ۲۰۱۵). لذا در مطالعات مختلف، مفهوم خلاء عملکرد (تفاوت بین عملکرد پتانسیل و واقعی)، به عنوان شاخصی مهم برای افزایش عملکرد گیاهان زراعی در مناطق مختلف به شمار می‌رود (آقائی‌پور و همکاران ۲۰۱۸؛ امیری ده احمدی و همکاران ۲۰۱۵؛ حجارپور و همکاران ۲۰۱۵؛ اینوسا و همکاران ۲۰۱۵؛ اسپه و همکاران b ۲۰۱۶). اما تولید گیاهان زراعی در سطح عملکرد پتانسیل (بالقوه) و در شرایط مزرعه امکان‌پذیر نیست؛ زیرا مجموعه‌ای از عوامل محدودکننده موجب تقلیل مقدار عملکرد واقعی به سطحی پایین‌تر از عملکرد پتانسیل می شوند (کراپف و همکاران ۱۹۹۴). قدر مسلم است که برای دستیابی به حداکثر عملکرد، شناخت بهتر خصوصیات مورفولوژیکی گیاه و اجزای تشکیل‌دهنده‌ی عملکرد و سطوح مطلوب تمامی عوامل محیطی ضروری است (هاشمی دزفولی و همکاران ۱۹۹۶). برای پرداختن به امنیت غذایی در درازمدت،

[1] - Yield gap analysis

شناسایی هویت خلاء عملکرد بسیار مهم است (اسپه و همکاران a ۲۰۱۶). مطالعات آنالیز خلاء عملکرد انجام شده طی سال‌های اخیر، عوامل مختلف محدودیت و تنوع عملکرد را ارائه کرده است. نویمان و همکاران (۲۰۱۰) مدیریت ناکارآمد اراضی کشاورزی را موجب انحراف واقعی از عملکرد پتانسیل محصول دانستند. کوچکی و همکاران (۲۰۱۷) نیز بیان نمودند که در اکثر موارد عملکرد واقعی به دلیل ضعف‌های مدیریتی و فناوری، کمتر از عملکرد پتانسیل می‌باشد.

حجارپور و همکاران (۲۰۱۵)، وجود خلاء عملکرد را به طور مستقیم با عدم مدیریت صحیح مزارع مرتبط دانستند. برخی نیز در اغلب گیاهان زراعی، پایین بودن ثبات عملکرد را یکی از عوامل اصلی ایجاد خلاء دانسته‌اند (تولنار و لی ۲۰۰۲؛ کاتیولی ۲۰۱۰؛ نصیری محلاتی و کوچکی ۲۰۱۴). مطالعات متعددی تاکنون در خصوص خلاء عملکرد محصولات زراعی در جهان صورت گرفته است که می‌توان تحلیل خلاء عملکرد سیستم‌های تولید برنج در ایالات متحده (اسپه و همکاران b ۲۰۱۶)، بستن شکاف‌های عملکرد از طریق مدیریت مواد غذائی و آب (مولر و همکاران ۲۰۱۲)، عوامل مؤثر بر تنوع عملکرد برنج دشت غرقابی در جنوب مرکزی بنین (تاناکا و همکاران ۲۰۱۳)، ارزیابی تنوع و خلاء عملکرد در سیستم‌های کشت ارگانیک و رایج برنج در اقلیم مدیترانه (دلموتی و همکاران ۲۰۱۱)، تجزیه و تحلیل خلاء عملکرد گندم در دره ابرو مدیترانه با کمک مدل شبیه‌سازی (آبلدو و همکاران ۲۰۰۸)، تولید محصول پتانسیل، آب محدود و واقعی در مناطق روستائی درون جوامع اروپائی (کونینگ و دی ون دیپن ۱۹۹۲)، کمی‌کردن خلاءهای عملکرد گندم در سیستم‌های کشت دیم در استرالیا (هوچمن و همکاران ۲۰۱۲؛ هوچمن و همکاران ۲۰۱۳)، خلاء عملکرد و بهره‌وری برنج در سیستم‌های تولید غرقابی در منطقه جنگلی ساحل عاج (بکر و جانسون ۱۹۹۹)، کمی‌سازی خلاء عملکرد و کارائی مصرف مواد مغذی برنج غرقابی در چین (ژو و همکاران ۲۰۱۶)، کمی‌کردن الگوی فضائی خلاء عملکرد گندم در مزرعه‌ای در مناطق کم بارش مدیترانه‌ای (اولیور و رابرتسون ۲۰۱۳)، محدودیت تولید گندم در هند (آگاروال ۱۹۹۴)، تجزیه و تحلیل مکانی برای بررسی خلاء عملکرد تولید جهانی دانه (گندم، ذرت و برنج) (نیومان و همکاران ۲۰۱۰) را برشمرد.

آنالیز خط مرزی یکی از روش‌های آنالیز خلاء عملکرد است که به برآورد عملکرد پتانسیل و علل خلاء عملکرد می‌پردازد. در این راستا می‌توان به برخی مطالعات داخلی (آقائی‌پور و همکاران ۲۰۱۸؛ آقائی‌پور و همکاران ۲۰۱۹؛ حجارپور و همکاران ۲۰۱۵؛ نه‌بندانی و همکاران ۲۰۱۷؛ رضوان‌طلب و همکاران ۲۰۱۹؛ سیاهمرگوئی و همکاران ۲۰۱۸) و خارجی (آبلدو و همکاران ۲۰۰۸؛ کیچن و همکاران ۲۰۰۳؛ تاسیسترو ۲۰۱۲؛ تیتونل و گیلر ۲۰۱۳؛ وانگ و همکاران ۲۰۱۵) اشاره کرد. آنالیز خط مرزی برای اولین بار از سوی وب (۱۹۷۲) مطرح گردیده است. با استفاده از تابع $Y_{max} = f(X; \theta)$، بین حداکثر عملکردهای بدست آمده و یک متغیر هدف (بدون در نظر گرفتن اثر سایر عوامل مؤثر بر عملکرد) رابطه‌ای برقرار می‌کنند. در این تابع، Y_{max} (حداکثر عملکرد)، به عنوان تابعی از مقادیر مختلف متغیر X، وθ نیز پارامترهای معادله می‌باشد که از طریق اندازه‌گیری‌های متعدد X و Y در مزارع مختلف برآورد می‌شود (ماکووسکی و همکاران ۲۰۰۷؛ حجارپور و همکاران ۲۰۱۵). با این روش می‌توان واکنش عملکرد (متغیر وابسته) را تنها به یک متغیر مستقل از میان داده‌های متعدد جمع‌آوری شده، شناسایی کرد و به جای اینکه از وسط پراکندگی داده‌ها خطوط رگرسیونی برازش داده شود، مرز بالایی پراکندگی داده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. این مرز نشان‌دهنده‌ی بالاترین عملکردهای بدست آمده (پتانسیل عملکرد) و یا بهترین عملکرد تحت تأثیر سطوح مختلف یک عامل هدف یا متغیر خاص می‌باشد. همچنین (با وجود مجموعه‌ی داده‌های زیاد) فرض بر این است که این عملکردها، بالاترین عملکرد ممکن در غیاب هرگونه عامل محدودکننده‌ی دیگر بوده و تمامی نقاطی که پایین‌تر از این مرز قرار می‌گیرند، تحت تأثیر سایر عوامل محدود شده‌اند تأکید بر مرز بالایی داده‌ها در میان کل مجموعه‌ی داده‌های زیاد، باعث می‌شود تا مخاطب کمتر گمراه و سردرگم شده و درک بهتر و راحت‌تری از رابطه‌ی میان عملکرد و متغیر مستقل داشته باشد (کیچن و همکاران ۲۰۰۳؛ حجارپور و همکاران ۲۰۱۵). این پژوهش با هدف

دستیابی به افزایش تولید برنج در منطقه به بررسی پتانسیل و خلاء عملکرد دانه، ارتباط عوامل محدودکننده با عملکرد و تعیین همزمان بهترین مدیریت‌ها به روش آنالیز خط مرزی، انجام شد.

مواد و روش‌ها

اطلاعات اقلیمی: شهرستان قائمشهر از شهرهای مرکزی استان مازندران است. نواحی جلگه‌ای آن آب و هوای معتدل مرطوب و ارتفاعات آن، آب و هوای کوهستانی نیمه مرطوب دارند. محصول برنج در آن به صورت زراعت بهاره کشت می‌شود. عملیات استقرار خزانه‌های برنج در اسفند ماه آغاز و فرآیند برداشت کشت اول برنج، حداکثر تا اواخر شهریور ماه خاتمه می‌یابد. داده‌های آب و هوایی ایستگاه هواشناسی قراخیل قائمشهر در جدول ۱ ارائه گردیده است.

مناطق مورد مطالعه: این مطالعه در دو سال زراعی پیاپی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹، به صورت میدانی انجام شد. ۱۶۴ مزرعه‌ی شالیزار انتخابی که از لحاظ سطح زیرکشت، نحوه‌ی مدیریت زراعی و میزان عملکرد دارای تنوع بودند، از ۳۶ روستای تابعه‌ی این شهرستان و بر اساس اطلاعات موجود در مراکز جهاد کشاورزی برگزیده و همگی دارای نتایج آزمون خاک بودند.

جدول ۱- آمار هواشناسی قائمشهر در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ و میانگین بلندمدت چهل ساله (۹۹-۱۳۵۹)

سال	ماه	دما (°C)			جمع بارندگی (mm)		رطوبت نسبی (٪)	
		دمای کمینه	دمای بیشینه	متوسط دمای ماهانه	میانگین بلندمدت	بارندگی	میانگین بلندمدت	میانگین رطوبت نسبی
۱۳۹۸	فروردین	۱۰	۱۸/۲	۱۴/۱	۱۳/۸	۸۲/۵	۴۷/۱	۸۳	۷۹
	اردیبهشت	۱۴/۵	۲۵	۱۹/۸	۱۸/۸	۵۰/۲	۳۳/۱	۷۷	۷۸
	خرداد	۱۹/۶	۳۱/۲	۲۵/۴	۲۳/۵	۳	۲۳/۱	۷۰	۷۵
	تیر	۲۲/۸	۳۱/۵	۲۷/۲	۲۵/۹	۵۸/۶	۳۶	۷۷	۷۷
	مرداد	۲۲/۲	۳۱/۹	۲۷/۱	۲۶/۹	۱۹/۶	۳۳/۶	۷۴	۷۶
	شهریور	۱۹/۹	۲۸/۶	۲۴/۳	۲۵	۶۰/۵	۶۸/۴	۷۷	۷۸
۱۳۹۹	فروردین	۹/۲	۱۸	۱۳/۶	۱۳/۸	۸۱/۶	۴۷/۱	۸۱	۷۹
	اردیبهشت	۱۴/۱	۲۴/۴	۱۹/۳	۱۸/۸	۳۵/۹	۳۳/۱	۷۸	۷۸
	خرداد	۱۹/۱	۳۰/۹	۲۵	۲۳/۵	۱۱/۴	۲۳/۱	۷۲	۷۵
	تیر	۲۱/۴	۳۲/۵	۲۶/۹	۲۵/۹	۴۱/۲	۳۶	۷۳	۷۷
	مرداد	۲۲/۶	۳۰/۹	۲۶/۸	۲۶/۹	۴۷/۶	۳۳/۶	۷۸	۷۶
	شهریور	۱۹/۷	۲۹/۹	۲۴/۸	۲۵	۳۵/۱	۶۸/۴	۷۷	۷۸

جمع‌آوری داده‌های زراعی: اطلاعات مربوط به عوامل مدیریتی، خاکی و گیاهی در کل دوره‌ی رشد، با انجام پرسش از کشاورزان به صورت گفتگوی فرد به فرد با آنان در پرسشنامه درج و مورد ارزیابی قرار گرفتند. در پایان فصل رشد نیز، مقدار عملکرد واقعی محصول

شلتوک در واحد سطح، از طریق پرسش از کشاورزان ثبت گردید.

تجزیه و تحلیل آماری: برای محاسبه‌ی خط مرزی (که هیچ قاعده و قانون توافق شده‌ای برای آن وجود ندارد و محققین به صورت اختیاری یک خط مرزی را به داده‌ها برازش می‌دهند) (ماکووسکی و همکاران ۲۰۰۷ ؛ حجارپور و همکاران ۲۰۱۵ ؛ نه‌بندانی و همکاران ۲۰۱۷)، ابتدا بین عملکرد به عنوان متغیر وابسته و یک متغیر مستقل هدف، با استفاده از نرم‌افزار SAS و رویه Nline (سلطانی ۲۰۰۷؛ حجارپور و همکاران ۲۰۱۵؛ نه‌بندانی و همکاران ۲۰۱۷)، نمودار پراکندگی (نمودار XY یا اسکتر) ترسیم شد. سپس با اطلاعات دقیق از داده‌های جمع‌آوری شده، به حذف داده‌های پرت خارج از محدوده، اقدام گردید. به دلیل کم بودن تعداد داده‌های انتخابی، باید حذف داده‌های پرت با دقت صورت گیرد تا داده‌ی مهمی کنار گذاشته نشود (حجارپور و همکاران ۲۰۱۵). در مرحله‌ی بعد بالاترین عملکردها تحت تأثیر سطوح مختلف هر متغیر و نیز مقادیر حداقل‌های مطلوب لازم از هر متغیر، برای رسیدن به حداکثر عملکردها مشخص شدند و توابع مناسب (درجه دو) بر لبه بالایی پراکنش داده‌ها، برازش داده شدند. بنابراین عملکرد آن دسته از نقاطی که زیر خط مرزی هستند به وسیله سایر عوامل غیر از متغیر مستقل مورد بررسی، محدود شده‌اند. تفاوت بین عملکرد بر اساس حد بهینه و میانگین عملکرد مزرعه، به عنوان خلاء عملکرد در نظر گرفته شد. میزان درصد خلاء عملکرد نیز از نسبت خلاء عملکرد به عملکرد بهینه محاسبه و به صورت درصد بیان شد (آقائی‌پور و همکاران ۲۰۱۹؛ خلیلی و همکاران ۲۰۱۵).

نتایج و بحث

پس از ترسیم نمودار پراکنش داده‌های عملکرد شلتوک در مقابل متغیرهای مختلف، با برازش یک خط بر لبه‌ی بالایی داده‌ها، بالاترین عملکردها تحت تأثیر سطوح مختلف هر متغیر و مقادیر حداقل‌های مطلوب لازم از هر متغیر، مشخص شدند. پاسخ عملکرد شلتوک به عنوان یک متغیر وابسته به سایر متغیرهای مستقل شامل: تاریخ آماده‌سازی خزانه، تعداد نشاء در هر کپه، مقدار کود اوره، دفعات تقسیط کود اوره، مقدار کود سوپر فسفات تریپل، مقدار کود پتاسیم، مقدار کود سولفات پتاسیم، مقدار کود کلرور پتاسیم، مقدار کود میکرو مایع، مقدار کود سولفات روی، مقدار آفت‌کش مایع، مقدار اسیدیته‌ی خاک، درصد کربن آلی خاک، درصد نیتروژن کل خاک، درصد ذرات رس خاک، تاریخ شروع آبیاری دوره‌ای (تناوبی)، طول دوره‌ی رشد و تاریخ برداشت از تابع درجه دو و شکل (۱) تبعیت کرد. در جدول (۲) نیز نتایج آنالیز خط مرزی، مقادیر حداقل حد بهینه، عملکرد بهینه، مقدار خلاء عملکرد و درصد خلاء عملکرد ناشی از تأثیر هر متغیر ارائه گردیده است.

پاسخ عملکرد به تعداد نشاء (گیاهچه) در هر کپه: با پایش مزارع مشخص شد که حداقل، حداکثر و میانگین تعداد نشاء در هر کپه به ترتیب ۳، ۱۲ و ۶ عدد بوده است (شکل ۱- الف). پاسخ بالاترین عملکردها نسبت به این پارامتر، نشان داد که داده‌ها از یک تابع درجه‌ی دوم تبعیت می‌کنند (شکل ۱- الف) و با افزایش تعداد نشاء (گیاهچه برنج) تا ۷ عدد در هر کپه، عملکرد شلتوک افزایش یافته و پس از آن افزایش تعداد نشاء در هر کپه تأثیر منفی (معکوس) بر عملکرد دانه می‌گذارد (شکل ۱- الف). پتانسیل عملکرد با تعداد نشاء در هر کپه به صورت محدود، ۱۰۰۸۰ کیلوگرم در هکتار بود که با تعداد ۷ نشاء در هر کپه حاصل شد (جدول ۲). از آنجا که میانگین عملکرد ۵۱۶۰ کیلوگرم در هکتار بود، بنابراین میزان خلاء عملکرد ۴۹۲۰ کیلوگرم در هکتار یا ۴۸/۸ درصد از عملکرد قابل دستیابی برآورد شد. همچنین در میان مزارع مورد بررسی ۶۷ درصد کشاورزان، کمتر از حداقل مطلوب (۷ نشاء در هر کپه)، در حین نشاءکاری استفاده کردند (جدول ۲). رضوان‌طلب و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش خود روی خلاء عملکرد ارقام بومی برنج دراستان مازندران دریافتند که حداقل حد بهینه، برابر ۶ گیاهچه در کپه بود. عملکرد بر اساس حد بهینه نیز برای این متغیر ۵۸۱۸ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که دارای خلاء عملکرد ۱۲۷۰ کیلوگرم در هکتار (۷/۰۲ درصد) بود. اگر چه کشاورزان تعداد ۵ نشاء یا بیشتر را در هر کپه نشاء می‌کنند اما برای کاهش از بین رفتن نشاءها، بهتر است ۳ تا ۴ نشاء در هر کپه به منظور ریشه‌دهی بهتر، نشاءکاری نمود. اگر تعداد نشاءهای کاشته شده در هر

کپه زیاد باشد، منجر به ضعف، کاهش و توقف رشد خواهد شد (سلیمانی و امیری لاریجانی ۲۰۰۴).
در تراکم زیاد به دلیل به وجود آمدن رقابت بین بوته‌ها جهت دریافت نور، جذب آب، مواد غذایی و فضا برای ریشه دوانی و پنجه‌زنی، شاهد رشد نشاءهای ضعیف خواهیم بود.

پاسخ عملکرد به مقدار کود اوره: حداقل، حداکثر و میانگین مصرف کود اوره در ۱۶۲ مزرعه‌ای که از آن استفاده کردند به ترتیب ۵، ۷۲۷/۵ و ۱۸۵ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۱- ب). روند تغییرات عملکرد در برابر کود اوره با معادله‌ی درجه‌ی دوم توصیف شد. با افزایش مقدار مصرف اوره تا ۳۰۶ کیلوگرم در هکتار، عملکرد دانه افزایش یافت و پس از آن عملکرد رو به کاهش بود (شکل ۱- ب). از بین مزارعی که اوره مصرف کردند ۸۷ درصد معادل ۱۴۱ مزرعه، کمتر از این حداقل مطلوب، اوره استفاده کردند. با توجه به تابع حاصل، میزان عملکرد بهینه بر اساس حد بهینه، ۸۴۳۰ کیلوگرم در هکتار و متوسط عملکرد در حدود ۵۱۶۰ کیلوگرم در هکتار بود. بنابراین خلاء عملکرد حدود ۳۲۷۰ کیلوگرم در هکتار، معادل ۳۸/۸ درصد از عملکرد قابل دستیابی بود (جدول ۲). لذا آن دسته از عملکردهایی که در مقادیر مختلف مصرف اوره و زیر خط مرزی (پایین‌تر از حداکثر عملکرد بودند)، تحت تأثیر منفی عواملی غیر از مصرف کود اوره محدود شدند. در پژوهشی مشابه که توسط رضوان‌طلب و همکاران (۲۰۱۹) بر روی ارقام بومی برنج صورت گرفت، حداقل حد بهینه برای مصرف کود نیتروژن ۳۰/۴ کیلوگرم در هکتار به دست آمد؛ .عملکرد بر اساس حد بهینه و خلاء عملکرد به ترتیب ۵۷۲۵ و ۱۱۷۷ کیلوگرم در هکتار برآورد شد.

تغذیه گیاهی، به ویژه نیتروژن، نقش مهمی در تولید انواع محصولات زراعی و بالاخص برنج دارد. کشاورزان در کشت برنج برای بدست آوردن عملکرد بالا، به مقدارکافی کود در زمان مناسب نیازدارند. اوره منبع غالب نیتروژن در مزارع برنج است؛ اما تنها ۳۰ درصد از کل نیتروژنی که از طریق کود اوره در اختیار گیاه برنج قرار می‌گیرد صرف رشد و نمو شده و ۷۰ درصد مابقی نیتروژن از طریق تصعید، آبشویی یا فروشویی، هدر می‌رود و هوا، منابع آب و محیط زیست را آلوده نموده و سلامت انسان را به مخاطره می‌اندازد. استفاده از کلروفیل‌متر و شاخص رنگ برگ با هدف بهبود تناسب بین ذخیره‌ی نیتروژن با نیاز محصول و صرفه‌جویی در مصرف کود، کاربرد روش‌های مناسب قرارگیری نیتروژن، استفاده از کود اوره با مواد پوششی، انجام آزمون خاک، کشت واریته‌های برنج با مصرف کارآمد مواد مغذی، خاکورزی دوره‌ای عمیق (با کمک زیرشکن عمقی[۲]) برای بهره‌برداری از ذخیره‌ی نیتروژن (نیترات خاک انباشته شده) در لایه‌های زیرزمینی قبل از کشت برنج و استفاده از کودهای زیستی، همگی از ابزارهای مناسب بهینه‌سازی مصرف نیتروژن می‌باشند (چوداری ۲۰۰۰).

در کشورهای در حال توسعه، کمبود نیتروژن یکی از مهمترین عوامل محدودکننده‌ی عملکرد می‌باشد. همچنین واکنش گیاهان زراعی به نیتروژن مصرفی به فراهمی آب نیز بستگی دارد و به موازات افزایش فراهمی رطوبت، واکنش گیاهان به نیتروژن به کار رفته به صورت یک تابع درجه‌ی دوم افزایش می‌یابد (نه‌بندانی و همکاران ۲۰۱۷).

مصرف متعادل نیتروژن در برنج نیز، سطح برگ و فتوسنتز در واحد سطح را افزایش داده و باعث ازدیاد ذخیره‌ی کربوهیدرات‌ها در برگ می‌شود اما مصرف بیش از اندازه‌ی نیتروژن موجب افزایش بیش از حد رشد ساقه و برگ و سایه‌اندازی شده، ضریب جذب نور کاهش می‌یابد. با افزایش بیش از حد سطح برگ، تنفس زیاد شده و تعادل بین فتوسنتز و تنفس بهم خورده و مواد قابل دسترس برای رشد و نمو کاهش خواهند یافت.

با مصرف زیاد نیتروژن در برنج نیز، سنتز بافت‌های پارانشیم افزایش و مقدار بافت‌های اسکلرانشیم کاهش می‌یابد که این امر موجب ورس (خوابیدگی) گیاه شده و مقاومت گیاه در مقابل قارچ‌ها، باکتری‌ها و آفات کاهش می یابد. با ازدیاد مصرف و جذب نیتروژن در برنج، فاز زایشی نیز به تأخیر افتاده و دوره‌ی رشد رویشی طولانی‌تر می‌شود. مقدار نیتروژن زیاد در فاصله‌ی زمانی کوتاه (نیتروژن هضم نشده) موجب می‌شود گیاه به ناچار نیتروژن را به شکل نیترات جذب کرده به

[2] - Deep Subsoiler

اندام‌های هوائی بفرستد و کم کم در اثر دنیتریفیکاسیون آن را به نیتریت و سپس آمونیوم و بعد اسید آمینه تبدیل کند. این فرآیند انرژی زیادی مصرف می‌کند و میزان زیادی از کربوهیدرات ساخته شده در این فرآیند مصرف می‌شود و ریشه با کمبود کربوهیدرات مواجه شده و به دنبال آن به علت عدم رشد و توسعه‌ی ریشه، جذب سایر عناصر غذایی به حد کفایت انجام نمی‌شود. با افت کربوهیدرات، دانه‌ها پوک، لاغر و نیمه‌پر خواهند شد (سلیمانی و امیری لاریجانی ۲۰۰۴).

پاسخ عملکرد به دفعات تقسیط کود اوره: ضمن ارزیابی‌ها مشخص گردید که حداقل، حداکثر و میانگین دفعات تقسیط کود اوره در ۱۶۲ مزرعه‌ای که از این کود استفاده کردند به ترتیب ۱، ۶ و ۳ دفعه (مرحله) بود (شکل ۱- ج).

با افزایش تعداد دفعات تقسیط کود اوره تا ۳ بار، عملکرد افزایش نشان داده و سپس از میزان عملکرد محصول کاسته خواهد شد (شکل ۱- ج). با توجه به تابع درجه‌ی دوم، میزان عملکرد پتانسیل (بهینه) بدست آمده تحت شرایط محدودیت دفعات تقسیط کود اوره، ۹۵۲۰ کیلوگرم در هکتار بود که با مصرف حداقل ۳ بار کود اوره تقسیطی حاصل شد (جدول ۲). از میان کشاورزانی که از کود اوره به صورت تقسیطی در مزارع خود استفاده کردند، حدود ۴۶ درصد آنها (۷۴ کشاورز)، کمتر از ۳ بار تقسیط کود اوره داشتند. ضمناً با توجه به مقدار میانگین عملکرد محصول (۵۱۶۰ کیلوگرم در هکتار)، میزان خلاء ناشی از تأثیر سایر متغیرهای مستقل، ۴۳۶۰ کیلوگرم در هکتار، معادل با ۴۵/۸ درصد بود (جدول ۲).

تقسیط کودهای نیتروژنی موجب افزایش کارآیی کود در طول دوره‌ی رشد گیاه می‌شود. استفاده یک مرحله‌ای از کود نیتروژن باعث هدرروی آن در خاک به صورت آبشویی می‌گردد. لذا جهت جلوگیری از اتلاف نیتروژن، کود را باید به میزان کافی و در چندین مرحله و با توجه به میزان آب خاک و بارندگی مصرف کرد. با تقسیط کود اوره طول دوره‌ی رشد رویشی افزایش می‌یابد. تغذیه‌ی نامناسب نیتروژن می‌تواند باعث تسریع نمو و کوتاه‌تر شدن طول دوره‌ی رشد گردد. لذا، جهت داشتن طول دوره‌ی رشد رویشی مناسب، تاریخ کاشت زود هنگام و مصرف مقدار مناسب نیتروژن در چندین نوبت، ضروری به نظر می‌رسد. افزایش فراهمی کود نیتروژن برای گیاه از طریق مصرف مرحله‌ای، باعث تحریک رشد و افزایش LAI (شاخص سطح برگ) می‌شود. افزایش LAI و بسته شدن سریع کانوپی، تشعشع دریافتی و فتوسنتز را افزایش داده وموجب افزایش میزان عملکرد می‌گردد. تقسیط کود نیتروژن با برنامه زمان‌بندی صحیح آبیاری از عوامل مهم در کاهش آبشویی نیترات می باشند (ترابی و همکاران ۲۰۱۱).

پاسخ عملکرد به مقدار کود سوپرفسفات تریپل: مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین مصرف سوپرفسفات تریپل در ۱۰۹ مزرعه که این کود به کار رفت (از مجموع ۱۶۴ مزرعه‌ی مورد مطالعه، ۵۵ مزرعه سوپرفسفات تریپل استفاده نکردند)، به ترتیب ۱/۵، ۲۸۲/۵ و ۱۰۸/۸ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۱- د). برازش خط بر لبه‌ی بالایی عملکرد در رابطه با این متغیر، با یک تابع درجه‌ی دوم توصیف گردید. معادله‌ی مربوط و ضرایب آن نیز در (شکل ۱- د) ارائه گردیده است. میزان عملکرد بهینه معادل ۱۰۰۸۰ کیلوگرم در هکتار بود که با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل اتفاق افتاد. اگرچه کمبود فسفر یکی از عوامل محدودکننده‌ی پنجه‌دهی برنج است؛ ولی مصرف زیاد و مداوم آن، باعث مسمومیت خاک و کاهش جذب بعضی عناصر غذایی خصوصاً روی می‌شود (سلیمانی و امیری لاریجانی ۲۰۰۴). لذا، در این پژوهش نیز به دنبال مصرف مقادیر بالاتر این کود، پاسخ عملکرد منفی بود. در این مطالعه تنها حدود ۴۰/۴ درصد از کشاورزان (تعداد ۴۴ نفر)، کمتر از حداقل مطلوب (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، از این کود استفاده کردند (جدول ۲). کلیه‌ی عملکردهای زیر خط تابع مرزی، تحت تأثیر عواملی غیر از مصرف کود سوپر فسفات تریپل قرار گرفته و محدود شدند (شکل ۱- د). بین عملکرد پتانسیل بر اساس حد بهینه (۱۰۰۸۰ کیلوگرم در هکتار) و میانگین عملکرد واقعی کشاورز (۵۱۶۰ کیلوگرم در هکتار) شکافی برابر با ۴۹۲۰ کیلوگرم در هکتار، معادل ۴۸/۸ درصد وجود داشت (جدول ۲). از میان کشاورزان شالیکار در این پژوهش، تعداد ۵۵ نفرآن‌ها به دلیل عدم دسترسی، فقدان اعتبارات، گرانی قیمت نهاده (کود سوپرفسفات تریپل)، عدم آگاهی نسبت به مصرف سایر منابع جایگزین کود فسفات مانند

سوپرفسفات ساده و دی‌آمونیوم فسفات و نیز با استناد به نتایج آزمون خاک مزارع خود، از مصرف کود سوپرفسفات تریپل امتناع کردند.

ژو و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی مشابه در فراتحلیل، پاسخ عملکرد برنج به مصرف کود فسفر را در حدود ۹۰۰ کیلوگرم در هکتار ارزیابی کردند و مقدار خلاء عملکرد را بین مدیریت بهینه‌ی مواد غذایی و شیوه‌های کاربرد کود در حدود ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار تخمین زدند. رضوان‌طلب و همکاران (۲۰۱۹) نیز، پس از تحلیل داده‌های حاصل از متغیر کود فسفر در ارقام محلی، مقدار حداقل حد بهینه ۷۵ کیلوگرم در هکتار، عملکرد براساس حد بهینه ۵۸۶۶ کیلوگرم در هکتار و خلاء عملکرد ۱۳۱۸ کیلوگرم در هکتار را تخمین زدند. تثبیت عنصر فسفر توسط یون‌های معدنی خاک در قیاس با سایر عناصر غذایی، با ظرفیت بالایی رخ داده و سرعت آزاد شدن کمتری در خاک دارد؛ لذا، فسفر می‌تواند یکی از اصلی‌ترین و مهمترین عوامل محدودکننده‌ی رشد و نمو و عملکرد گیاهان زراعی در بسیاری از نقاط جهان باشد و مدیریت صحیح مصرف آن می‌تواند موجب دستیابی به عملکردهای بهتر در گیاهان زراعی گردد (نه‌بندانی و همکاران ۲۰۱۷). اسید فسفوگلیسیریک اولین ماده تولیدی حاصل از فرآیند فتوسنتز است. پس کمبود فسفر محدودکننده‌ی فرآیند فتوسنتز است. فسفر در ساختن قند، نشاسته، سلولز، انتقال کربوهیدرات‌ها، ساخت پروتئین‌ها، اسید نوکلئیک، تسریع در لقاح، تکامل در رسیدن دانه، رشد و گسترش ریشه (بالاخص ریشه‌های فرعی موئین)، ازدیاد پنجه، ارتقاء قوه‌ی نامیه‌ی بذر، مقاومت ساقه به ورس، افزایش نسبت دانه به کاه، انتقال وراثت و نگهداری و انتقال انرژی (آدنوزین دی و تری فسفات) نقش دارد (سلیمانی و امیری لاریجانی ۲۰۰۴).

پاسخ عملکرد به مقدار کود سولفات پتاسیم: بر اساس داده‌ها، مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین مصرف کود سولفات پتاسیم در ۸۹ مزرعه‌ای که از آن استفاده کردند به ترتیب ۳۰، ۲۸۶ و۱۱۳ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۱- ه). تغییرات عملکرد در پاسخ به مصرف مقادیر مختلف این کود، با یک معادله‌ی درجه دوم تشریح شد (شکل ۱- ه). با افزایش کاربرد سولفات پتاسیم تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد روند صعودی داشته و با افزایش مقدار مصرف، کاهش میزان عملکرد محصول مشاهده شد. همچنین میزان عملکرد بر اساس حداقل مطلوب (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و تحت شرایط محدودیت مصرف این متغیر، ۸۵۰۰ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۲). از بین مصرف‌کنندگان این کود، تعداد ۶۴ کشاورز (۷۲ درصد آنها)، کمتر از حد مطلوب سولفات پتاسیم استفاده کردند. با داشتن مقدار متوسط عملکرد (۵۱۶۰ کیلوگرم در هکتار)، میزان کمی خلاء عملکرد ناشی از تأثیر سایر متغیرها، ۳۳۴۰ کیلوگرم در هکتار، معادل با ۳۹/۳ درصد برآورد شد (جدول ۲). پس عملکردهای حاصل از مصرف مقادیر مختلف سولفات پتاسیم که در زیرخط مرزی (پایین تر از عملکرد بهینه قرارگرفته‌اند)، تحت تأثیر سوء عواملی غیر از پارامتر مدنظر، محدود شده‌اند. ژو و همکاران (۲۰۱۶) پاسخ عملکرد برنج به مصرف پتاسیم را در حدود یک تن در هکتار برآورد کردند. همچنین اوفوری و همکاران (۲۰۱۰) نیز به منظور ارزیابی کاربرد عناصر ضروری رشد و نمو برنج از جمله پتاسیم، به میزان خلاء عملکرد ۴۷ درصدی دست یافتند. رضوان‌طلب و همکاران (۲۰۱۹) نیز، حداقل حد بهینه برای کود پتاسیم را در ارقام محلی برنج، ۴۴/۸ کیلوگرم در هکتار و عملکرد بر اساس حد بهینه را ۵۹۰۰ کیلوگرم در هکتار و خلاء عملکرد را ۱۳۵۲ کیلوگرم در هکتار (معادل ۷/۴۷ درصد) برآورد کردند.

پتاسیم به عنوان یکی از عناصر اصلی پرنیاز گیاه برنج، نه تنها نسبت به دیگر عناصر به مقدار زیاد مصرف می‌شود بلکه، نقش پلیس ترافیک شیمیائی را ایفاء کرده و تنظیم سایر عناصر غذائی را در سیستم گیاه مدیریت می‌کند. پتاسیم را به تقویت‌کننده‌ی ریشه، استحکام‌بخش ساقه، سازنده‌ی غذا، فعال‌کننده‌ی آنزیم، تنظیم‌کننده‌ی تنفس، ناقل نشاسته، سازنده‌ی پروتئین، مانع امراض و کاهش‌دهنده‌ی پژمردگی می‌شناسند. مصرف بیش از نیاز پتاسیم، باعث آبدارشدن (هیدراته شدن) بیشتر سلول‌ها و در نتیجه تشدید بیماری‌ها (بلاست) وآفات (ساقه‌خوار و برگ‌خوار) می‌گردد (سلیمانی و امیری لاریجانی ۲۰۰۴).

پاسخ عملکرد به مقدار کود سولفات روی: مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین مصرف سولفات روی به ترتیب ۱/۵، ۹۱ و ۳۱ کیلوگرم در هکتار بود و از میان کشاورزان

تنها ۵۰ نفر (۳۰/۴۸ درصد) به مصرف کود سولفات روی مبادرت نمودند. جریان تغییرات عملکرد در رابطه با مصرف سولفات روی، معادله و ضرایب مربوط به آن، بر اساس (شکل ۱- و)، به‌صورت تابع درجه دوم بیان گردید. نقطه حداقل مطلوب مصرف این کود ۳۳/۳ کیلوگرم در هکتار و مقدار حداکثر عملکرد بهینه در شرایط محدودیت این کود برابر با ۸۴۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. پس با افزایش مقدار مصرف تا ۳۳/۳ کیلوگرم در هکتار، مقدار عملکرد به صورت صعودی بوده و پس از آن عملکرد رو به کاهش می‌رود (شکل ۱- و). همچنین ۳۴ نفر از کشاورزان (۶۸ درصد مزارع) کمتر از مقدار حد مطلوب از این کود استفاده کرده‌اند؛ با توجه به مقدار عملکرد پتانسیل که معادل ۸۴۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد و نیز مقدار متوسط عملکرد ۵۱۶۰ کیلوگرم در هکتار، خلاء عملکرد ۳۲۴۰ کیلوگرم در هکتار یا ۳۸/۶ درصد برآورد شد (جدول ۲).

روی پس از فسفر، نیتروژن و پتاسیم، مهمترین عنصری است که باعث محدودیت عملکرد در برنج می‌گردد. روی در بسیاری از سیستم‌های آنزیمی گیاه نقش کاتالیزوری، فعال‌کننده و یا ساختمانی دارد. در ساخت و تجزیه‌ی پروتئین‌ها و تشکیل کلروفیل دخیل است. کمبود آن در اراضی باتلاقی، ماندابی، قلیائی، بافت خاک سبک و اراضی که کود فسفاته‌ی زیاد مصرف شده باشد، مشاهده می‌شود. سطح وسیعی از شالیزارها خصوصاً در غرب استان، فریدونکنار، اراضی زیر آبندان‌ها و اراضی زهدار دارای کمبود روی می‌باشند. در این صورت پنجه‌زنی کاهش یافته و زمان رسیدن به تعویق می‌افتد. در کمبود شدید، در مراحل اولیه، نشاء از بین می‌رود (سلیمانی و امیری لاریجانی ۲۰۰۴). خیرآباد و همکاران (۲۰۱۳) بیان نمودند که در خاک‌های آهکی با pH بالا، از میزان تحرک و پویایی عنصر روی کاسته شده و احتمال کمبود آن افزایش خواهد یافت (آقائی‌پور و همکاران ۲۰۱۸).

پاسخ عملکرد به مقدار اسیدیته خاک: اسیدیته خاک در فعالیت بیولوژیکی خاک و دسترسی گیاهان به نیتروژن معدنی نقش بسزائی داشته و منعکس کننده‌ی یک شاخص ترکیبی از حاصلخیزی شیمیایی خاک است. اسیدیته خاک می‌تواند در کارایی رشد گیاه، فراهمی زیستی مواد غذایی و فعالیت میکروارگانیسم‌ها مؤثر باشد. مقدار بهینه‌ی اسیدیته خاک برای برنج بین ۸-۵ می‌باشد (آقائی‌پور و همکاران ۲۰۱۸). در پژوهش حاضر نمودار پاسخ عملکرد محصول در برابر تغییرات اسیدیته خاک از مدل تابع درجه دوم تبعیت نمود و با افزایش اسیدیته‌ی خاک تا مقدار ۷/۶۵، عملکرد برنج افزایش یافت و پس از آن، روند نزولی شد (شکل ۱- ز). بر اساس تابع حاصل، مقدار حداقل مطلوب اسیدیته برای مزارع برنج مورد مطالعه ۷/۶۵، با عملکرد بهینه برابر با ۹۵۲۰ کیلوگرم در هکتار و خلاء عملکردی این پارامتر ۴۳۶۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد.

بر اساس نتایج آزمون خاک، دامنه‌ی تنوع اسیدیته خاک در مزارع مورد مطالعه از ۷/۱۳ تا ۸/۱۱ می‌باشد و مقدار حداقل، حداکثر و میانگین اسیدیته‌ی خاک بر اساس داده‌های ثبت شده ۷/۱۳، ۸/۱۱ و ۷/۶۸ بوده است (شکل ۱- ز). حدود ۳۷ درصد مزارع نیز، دارای اسیدیته‌ی کمتر از ۷/۶۵ بوده و سهم ۴۵/۸ درصدی در خلاء عملکرد داشتند (جدول ۲).

دی بای (۲۰۰۰) به بررسی عوامل مختلف مؤثر بر عملکرد برنج شامل ارقام برنج، الگوی کشت، اسیدیته و بافت خاک، آماده‌سازی زمین، نشاءکاری، علف‌های هرز و بیماری‌ها در شمال تایلند پرداخته و خلاء عملکردی برابر با ۲/۶ تن در هکتار (۹۰ درصد اختلاف عملکرد) بین متوسط عملکرد و عملکرد بهینه‌ی کشاورزان گزارش نمود. سهم بافت و اسیدیته خاک (۳۶/۵ درصد اراضی مورد مطالعه دارای اسیدیته‌ی برابر با ۶ تا ۶/۵) در میزان خلاء گزارش شده در حدود ۸ درصد بود. هوشیکاوا (۱۹۸۹) نیز به این مهم دست یافت که برای تولید نشاء برنج در بستر خزانه و زمین اصلی، نیاز به اسیدیته خاک برابر با ۶ می‌باشد. درودیان و همکاران (۲۰۱۰) کاهش اسیدیته خاک را در مواجهه با کمبود فسفر و ریزمغذی‌های خاک یک راهکار مؤثر دانسته‌اند. دواتگر و همکاران (۲۰۱۵) پایین بودن اسیدیته‌ی خاک را موجب افزایش حلالیت آهن و منگنز و ایجاد سمیت این عناصر و مشکلات متعددی در گیاه برنج دانسته و اشاره کردند که در گیلان نیز بارندگی سالیانه زیاد (افزایش آبشویی و انتقال کاتیون‌های بازی به افق‌های زیرین خاک) موجب کاهش اسیدیته و ایجاد مشکلات مسمومیتی می‌گردد.

پاسخ عملکرد به میزان نیتروژن کل خاک: با توجه به داده‌ها، مقدار نیتروژن کل خاک در بازه‌ی بین ۰/۶ – ۰/۰۵ و میانگین آن هم ۰/۱۵ درصد متغیر بود(شکل ۱- ح). تابع درجه‌ی دو بین داده‌های نیتروژن کل خاک و عملکرد برازش داده شد (شکل ۱- ح). بر اساس تابع، مقدار عملکرد بهینه در نقطه‌ی حداقل مطلوب با ۰/۱۷ درصد نیتروژن کل خاک، ۹۵۲۰ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. روند تغییرات عملکرد تا حداقل مطلوب نیتروژن خاک، به صورت افزایشی و بعد از آن با کاهش مواجه بود (شکل ۱- ح). در میان مزارع، تعداد ۱۰۶ مزرعه (۶۴/۶ درصد)، نیتروژن خاک کمتر از حد مطلوب داشتند. مقدار خلاء عملکرد ۴۳۶۰ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد که معادل ۴۵/۸ درصد از عملکرد قابل دسترس بود (جدول ۲). دوبرمن و فرهرست (۲۰۰۰) نیز در تحقیق خود مقدار ۰/۲ درصد نیتروژن کل خاک را به عنوان حد بحرانی نیتروژن گزارش کردند (آقائی‌پور و همکاران ۲۰۱۸). دواتگر و همکاران (۲۰۱۵) نیز، در پژوهش خویش اذعان داشتند که ۵۲ درصد از شالیزارهای استان گیلان دارای نیتروژن کل کمتر از ۲ درصد بوده و با مصرف کود نیتروژن می‌توان عملکرد گیاه را افزایش داد (دارای پاسخ زیاد به مصرف کود نیتروژن) و در ۴۲ درصد از مزارع، نیتروژن کل بین ۰/۳– ۰/۲ درصد (دارای پاسخ نسبی به کود نیتروژن) بود (آقائی‌پور و همکاران ۲۰۱۸). آقائی‌پور و همکاران (۲۰۱۸) نیز میزان حد بهینه‌ی نیتروژن خاک را ۰/۲۶۶ درصد بیان کردند.

پاسخ عملکرد به طول دوره‌ی رشد گیاه: طبق مشاهدات، طول دوره‌ی رشد گیاه در بازه‌ی بین ۱۳۸- ۷۱ روز و به‌طور متوسط ۹۳ روز، برحسب نوع رقم، متغیر بود (شکل ۱- ط). جهت ارزیابی روند تغییرات عملکرد در رابطه با متغیر مزبور، بر لبه بالایی عملکردها برازش انجام شد که با یک تابع درجه‌ی دو قابل توصیف است (شکل ۱- ط). در نقطه حداقل مطلوب طول دوره‌ی رشد گیاه (۱۰۵ روز)، پتانسیل عملکرد محصول به مقدار ۱۰۰۸۰ کیلوگرم در هکتار بود. این بدین معناست که با افزایش طول دوره‌ی رشدی گیاه تا روز ۱۰۵ عملکرد محصول دارای رشد افزایشی و پس از آن افزایش عملکرد محقق نخواهد شد (شکل ۱- ط). از اختلاف بین میانگین عملکرد محصول (۵۱۶۰ کیلوگرم در هکتار) با عملکرد بر اساس حد بهینه (۱۰۰۸۰ کیلوگرم در هکتار)، مقدار شکاف عملکرد برابر با ۴۹۲۰ کیلوگرم در هکتار محاسبه می‌شود. همچنین درصد خلاء عملکرد که حاصل نسبت خلاء عملکرد به عملکرد بهینه است، ۴۸/۸ درصد برآورد شد (جدول ۲). با رجوع به داده‌ها مشخص گردید که ۱۴۴ مزرعه (حدود ۸۸ درصد)، طول دوره‌ی رشدی کمتر از ۱۰۵ روز داشتند. طول دوره‌ی رویشی توسط تاریخ کاشت کنترل می‌شود. چنانچه تاریخ کاشت زود و به موقع صورت گیرد، طول دوره‌ی رشد رویشی طولانی خواهد بود و در نتیجه خلاء ناشی از آن مرتفع خواهد شد. همچنین طول دوره‌ی رشد رویشی می‌تواند تحت تأثیر رقم قرار گیرد، بنابراین ارقامی که دارای طول دوره‌ی رشد رویشی کمتری باشند، می‌توانند در ایجاد خلاء عملکرد نقش داشته باشند (ترابی و همکاران ۲۰۱۱).

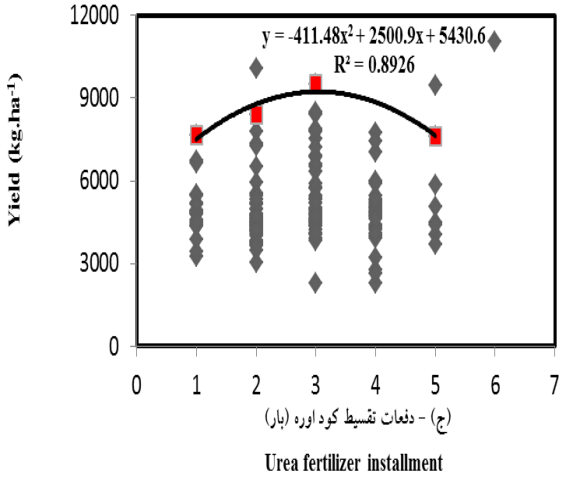
پاسخ عملکرد به تاریخ برداشت محصول (شلتوک): دامنه‌ی تغییرات تاریخ برداشت محصول بین ۲۱۰ تا ۲۷۳ روز (از اول دی ماه) و میانگین تاریخ برداشت حدوداً ۲۳۰ روز (ز اول دی ماه) مصادف با ۱۷ مرداد بود (شکل ۱- ی). نه‌بندانی و همکاران (۲۰۱۷) اشاره کردند که تاریخ برداشت تابعی از سایر عوامل بالاخص تاریخ کاشت (تاریخ نشاءکاری) و گروه رسیدگی رقم است؛ بنابراین، تغییرات عملکرد در تاریخ‌های مختلف برداشت صرفاً ناشی از خود تاریخ برداشت نیست. یکی دیگر از عوامل مؤثر در تاریخ برداشت، وجود شرایط جوی پایدار و ایده‌آل جهت انجام عملیات برداشت است. پراکنش داده‌های عملکرد در مقابل تاریخ برداشت نشان داد بهترین خط مرزی قابل برازش بر لبه بالایی عملکردها یک تابع درجه دوم بود. بر این اساس، بالاترین عملکرد به مقدار ۱۰۰۸۰ کیلوگرم در هکتار و در تاریخ برداشت ۲۳۹ روز پس از اول دی ماه (۶ مرداد ماه) به عنوان نقطه حداقل مطلوب حاصل شد (شکل ۱- ی). با افزایش هر روز به تاریخ برداشت تا روز ۲۳۹ (از اول دی ماه) یا همان ۶ مرداد (حداقل مطلوب)، روند تغییرات عملکرد افزایشی بوده و پس از آن افزایش عملکرد مشاهده نشد (شکل۱- ی). نقطه‌ی حداقل مطلوب برای برداشت محصول، مربوط به تاریخ کاشت مطلوب می‌باشد به عبارت دیگر کشاورزانی که در محدوده‌ی زمانی مطلوب

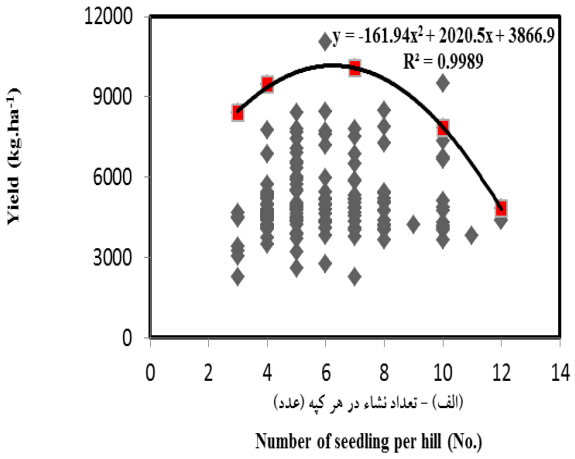
کشت برنج را انجام داده‌اند، با توجه به شرایط آب و هوایی در محدوده‌ی زمانی مطلوب هم شالی را برداشت می‌کنند. بررسی‌ها نشان دادند که از کل مزارع، تعداد ۱۳۲ مزرعه (حدود ۸۱ درصد)، تاریخ برداشت زودتر از ۲۳۹ روز از اول دی ماه (همان ۶ مرداد) داشتند. مقدار کمی خلاء عملکرد هم ۴۹۲۰ کیلوگرم در هکتار برآورد شد که سهم ۴۸/۸ درصدی از کل عملکرد بهینه را دارد. متوسط عملکرد مزارع مورد بررسی نیز به عنوان عملکرد واقعی منطقه و برابر با ۵۱۶۰ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۲).

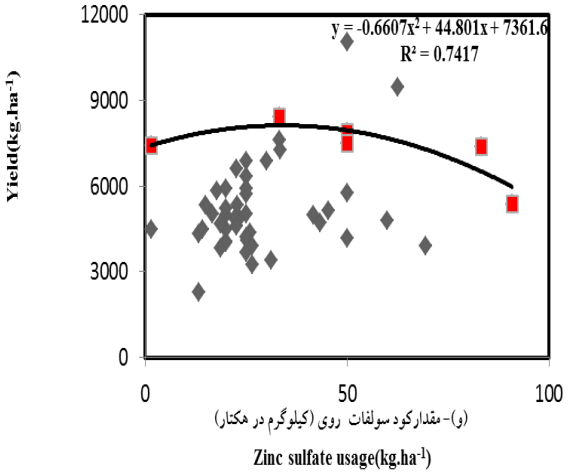
جدول ۲- نتایج آنالیز خط مرزی، عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد برنج در منطقه‌ی قائمشهر

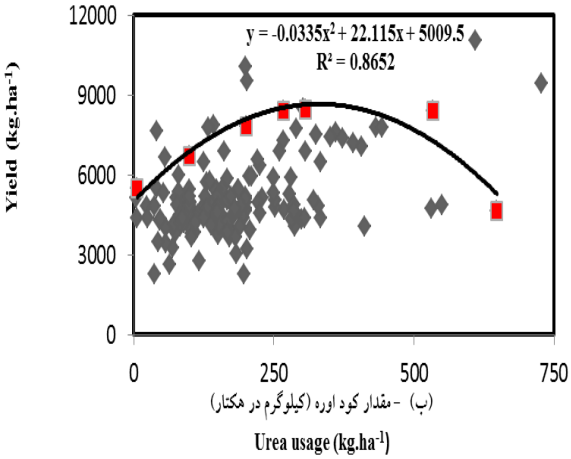
واحد	عملکرد نسبی (%)	خلاء عملکرد (%)	خلاء عملکرد ($kg.ha^{-1}$)	میانگین عملکرد ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بهینه ($kg.ha^{-1}$)	حداقل حد بهینه	متغیرها
*روز سال شمسی	۵۴/۲	۴۵/۸	۴۳۶۰	۵۱۶۰	۹۵۲۰	۹۴	تاریخ آماده‌سازی خزانه
عدد	۵۱/۲	۴۸/۸	۴۹۲۰	۵۱۶۰	۱۰۰۸۰	۷	تعداد نشاء در هر کپه
کیلوگرم در هکتار	۶۱/۲	۳۸/۸	۳۲۷۰	۵۱۶۰	۸۴۳۰	۳۰۶	مقدار کود اوره
بار	۵۴/۲	۴۵/۸	۴۳۶۰	۵۱۶۰	۹۵۲۰	۳	دفعات تقسیط کود اوره
کیلوگرم در هکتار	۵۱/۲	۴۸/۸	۴۹۲۰	۵۱۶۰	۱۰۰۸۰	۱۰۰	مقدار سوپرفسفات تریپل
کیلوگرم در هکتار	۶۰/۷	۳۹/۳	۳۳۴۰	۵۱۶۰	۸۵۰۰	۱۵۰	مقدارکل انواع کود پتاسیم
کیلوگرم در هکتار	۶۰/۷	۳۹/۳	۳۳۴۰	۵۱۶۰	۸۵۰۰	۱۵۰	مقدار سولفات پتاسیم
کیلوگرم در هکتار	۶۱/۴	۳۸/۶	۳۲۴۰	۵۱۶۰	۸۴۰۰	۶۷	مقدار کود کلرور پتاسیم
لیتر در هکتار	۶۱/۲	۳۸/۸	۳۲۷۰	۵۱۶۰	۸۴۳۰	۲	مقدار کود میکروی مایع
کیلوگرم در هکتار	۶۱/۴	۳۸/۶	۳۲۴۰	۵۱۶۰	۸۴۰۰	۳۳/۳	مقدار سولفات روی
لیتر در هکتار	۶۰/۷	۳۹/۳	۳۳۴۰	۵۱۶۰	۸۵۰۰	۳	مقدارآفت‌کش مایع
	۵۴/۲	۴۵/۸	۴۳۶۰	۵۱۶۰	۹۵۲۰	۷/۶۵	اسیدیته (pH)
درصد (٪)	۵۴/۲	۴۵/۸	۴۳۶۰	۵۱۶۰	۹۵۲۰	۲/۰۱	کربن آلی خاک
درصد (٪)	۵۴/۲	۴۵/۸	۴۳۶۰	۵۱۶۰	۹۵۲۰	۰/۱۷	نیتروژن کل خاک
درصد (٪)	۵۴/۲	۴۵/۸	۴۳۶۰	۵۱۶۰	۹۵۲۰	۴۰	ذرات رس خاک
روز سال شمسی	۵۴/۲	۴۵/۸	۴۳۶۰	۵۱۶۰	۹۵۲۰	۱۷۷	تاریخ شروع آبیاری دوره ای
روز	۵۱/۲	۴۸/۸	۴۹۲۰	۵۱۶۰	۱۰۰۸۰	۱۰۵	طول دوره رشد
روز سال شمسی	۵۱/۲	۴۸/۸	۴۹۲۰	۵۱۶۰	۱۰۰۸۰	۲۳۹	تاریخ برداشت
	۵۶/۲	۴۳/۸	۴۰۶۹	۵۱۶۰	۹۲۲۹	_	میانگین

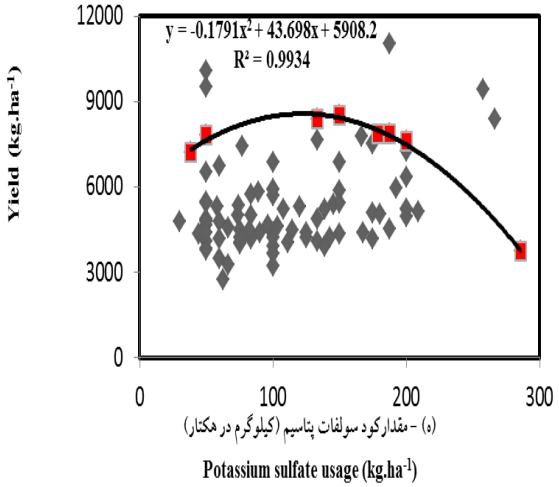
* روز از اول دی ماه محاسبه می‌شود.

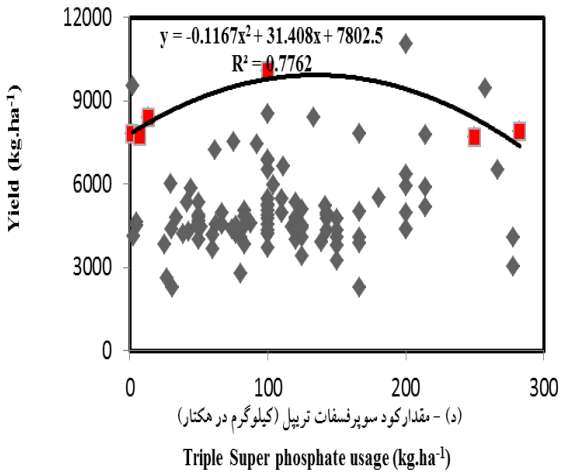

y = -411.48x² + 2500.9x + 5430.6
R² = 0.8926
Yield (kg.ha⁻¹)
(ج) - دفعات تقسیط کود اوره (بار)
Urea fertilizer installment

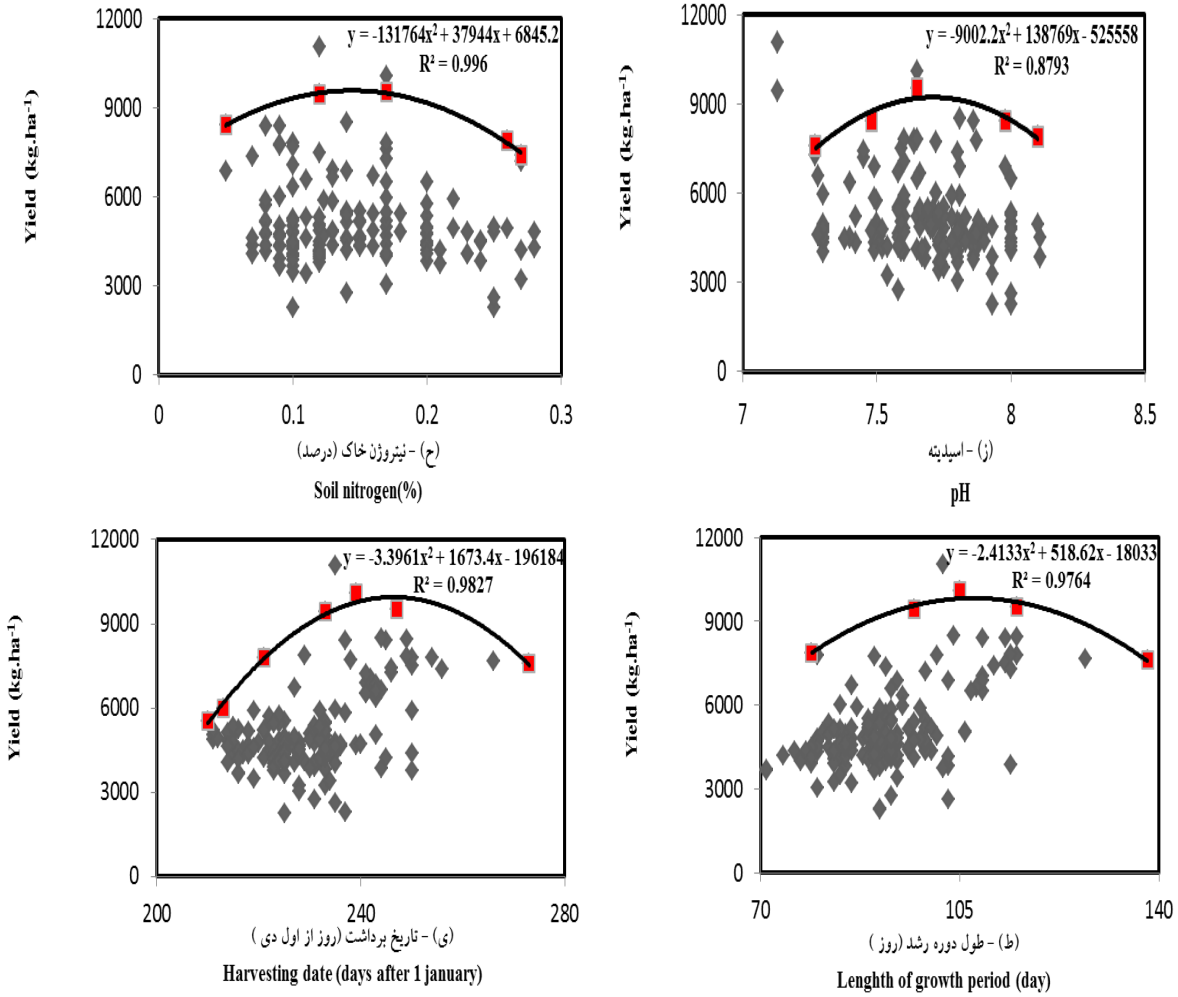

y = -161.94x² + 2020.5x + 3866.9
R² = 0.9989
Yield (kg.ha⁻¹)
(الف) - تعداد نشاء در هر کپه (عدد)
Number of seedling per hill (No.)


y = -0.6607x² + 44.801x + 7361.6
R² = 0.7417
Yield(kg.ha⁻¹)
(و)- مقدارکود سولفات روی (کیلوگرم در هکتار)
Zinc sulfate usage(kg.ha⁻¹)


y = -0.0335x² + 22.115x + 5009.5
R² = 0.8652
Yield (kg.ha⁻¹)
(ب) - مقدار کود اوره (کیلوگرم در هکتار)
Urea usage (kg.ha⁻¹)


y = -0.1791x² + 43.698x + 5908.2
R² = 0.9934
Yield (kg.ha⁻¹)
(ه) - مقدارکود سولفات پتاسیم (کیلوگرم در هکتار)
Potassium sulfate usage (kg.ha⁻¹)


y = -0.1167x² + 31.408x + 7802.5
R² = 0.7762
Yield (kg.ha⁻¹)
(د) - مقدارکود سوپرفسفات تریپل (کیلوگرم در هکتار)
Triple Super phosphate usage (kg.ha⁻¹)



شکل ۱- نمودار پراکنش داده های عملکرد در مقابل: مقدار کود اوره

(الف)، کود سوپرفسفات تریپل (ب) و کود سولفات پتاسیم (ج)، تعداد نشاء در هر کپه (د)، دفعات تقسیط کود اوره (ه)، اسیدیته خاک (و)، طول دوره‌ی رشد (ز)، تاریخ برداشت (ح)، مقدار کود سولفات روی (ط) ومقدارنیتروژن خاک(ی) به همراه برازش خط مرزی

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق رابطه‌ی میان عوامل مورد بررسی (مدیریتی، خاکی و گیاهی) و عملکرد در زراعت برنج ارزیابی شد و عوامل اصلی محدودیت عملکرد و سهم هر کدام در ایجاد خلاء و نیز مقادیر حداقل مطلوب و بهینه‌ی آن‌ها با آنالیز خط مرزی تعیین گردید. از آنجا که عملکرد پتانسیل در این پژوهش عیناً از داده‌های واقعی مزارع کشاورزان حاصل شد، لذا این عملکرد بهینه، وابسته به منطقه‌ی مورد مطالعه بوده و قابل دستیابی است. بدین منظور لازم است تا یافته‌ها و توصیه‌های مدیریتی ذیل را جهت اجرای مدیریت به‌زراعی به منظور حذف خلاء عملکرد یا به عبارتی افزایش عملکردی معادل ۴۰۶۹ کیلوگرم در هکتار به تولیدکنندگان منطقه ارائه نمود:

۱) ایده‌آل‌ترین زمان جهت آماده‌سازی خزانه، تاریخ ۵ فروردین ماه، ۲) انجام نشاءکاری با تعداد ۷ گیاهچه در هر کپه، ۳) کاربرد کود اوره به مقدار ۳۰۶ کیلوگرم در هکتار، ۴) مصرف کود اوره به‌صورت ۳ تقسیط، ۵) مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل، ۶) مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم، ۷) مصرف ۶۷ کیلوگرم در هکتار کلرور پتاسیم، ۸) مصرف مقدار ۲ لیتر در هکتار کود مایع میکرو، ۹) کاربرد ۳۳/۳ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، ۱۰) مصرف آفت‌کش

مایع ۳ لیتر در هکتار، ۱۱) مناسب‌ترین تاریخ شروع آبیاری تناوبی مصادف با ۲۶ خرداد ماه، ۱۲) مطلوب‌ترین طول دوره‌ی رشد گیاه ۱۰۵ روز و ۱۳) مناسب‌ترین تاریخ برداشت روز ۶ مرداد ماه .

این توصیه‌ها می‌توانند در تکمیل یافته‌های حاصل از پژوهش‌های قبلی، در بهره‌وری تولید برنج، دستیابی به تولید پایدار، نیل به خودکفایی، تأمین امنیت غذایی و ارتقاء معیشت خانوار روستائی تأثیر بسزایی داشته باشند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از همکاری معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به‌خاطر حمایت‌های مالی پژوهش حاضر کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

منابع مورد استفاده

Abeledo LG, Savin R and Slafer GA. 2008. Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley:

Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. Europian. Journal of Agronomy, 28: 541- 550.

Aggarval PK. 1994. Constraints in wheat productivity in India. In: Aggarval, P.K., Kalra, N. (Eds.). Simulating the effect of climatic factors, genotype and management on productivity of wheat in India. Agricultural Research Institute, New Delhi, India. pp: 1-11.

Aghaeipour N, Pirdashti H, Zavareh M, Asadi H and Bahmanyar MA. 2018. Yield gap analysis of rice in relation to soil properties in Foumanat plain. Journal of Crop Production, 10 (4): 159-172.

Aghaeipour N, Pirdashti H, Zavareh M, Asadi H and Bahmanyar MA. 2019. Determination of appropriate model for yield gap analysis of rice in Guilan province using boundary line analysis method. Journal of Agroecology, 11(1): 321-334.

Amiri-Deh- Ahmadi SR, Parsa M, Bannayan Aval M and Nassiri Mahallati. 2015. Yield gap analysis of chickpea under semi-arid conditions: A simulation study. Journal of Agroecology, 7: 84-98. (In Persian).

Badsar M, Kamkar B, Soltani A and Abdi O. 2017. Yield gap estimation in wheat-grown fields using GIS and RS approach and SSM model (A case study: Qaresso basin, Gorgan, Iran). Journal of Cereal Research, 7(2): 195-215. (In Persian).

Becker M and Johnson DE. 1999. Rice yield and productivity gaps in irrigated systems of the forest zone of CoÃte d'Ivoire. Field Crops Research 60: 201-208.

Boote KJ and Tollenaar M. 1994. Modeling yield potential. In: Boote, K.J., Bennett, J.M., Sinclair, T.R., Paulsen, G.M. (Eds.), Physiology and Determination of Crop Yield. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, pp. 553-565.

Cassman KG. 2012. What do we need to know about global food security? Global Food Security, 1:81-82.

Cattivelli L. 2010. Genetic improvement effects on yield stability in durum wheat genotypes grown in Italy. Field Crops Research, 119: 68-77.

Chaudhary RC. 2000. Strategies for bridging the yield gap in rice: A regional perespective. In Papademetriou, M.K., Dent, F.J., Herath, E.M. (Eds.) Bridging the rice yield gap in the Asia Pacific region. Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for Asia and the Pacific Bangkok, Thailand. pp: 201-214.

Cunningham SA, Attwood SJ, Bawa KS, Benton TG, Broadhurst LM, Didham RK, McIntyre S, Perfecto I, Samways MJ, Tscharntke T, Vandermeer J, Villard MA, Young AG and Lindenmayer DB. 2013. To close the yield gap while saving biodiversity will require multiple locally relevant strategies. Agriculture, Ecosystems and Environment, 173:20-27.

Davatgar N, Zare A, Shakouri-Katigari M, Rezaei L, Kavoosi M, Sheikh-Eslam H, and Ajili Lahiji A . 2015. Fertility Status of Paddy Soils in Guilan Province. Land Management Journal, 3(1): 1-13. (In Persian .)

De Bie C. 2000. Comparative performance analysis of agro ecosystems. Ph.D. Thesis, Wageningen University and Research Centre, the Netherlands. 232p

Delmotte S, Tittonell P, Moureta JC, Hammonda R and Lopez-Ridaura S. 2011. On farm assessment of rice yield variability and productivity gaps between organic and conventional cropping systems under Mediterranean climate. European Journal of Agronomy, 35: 223-236.

Douroudian HR, Besharati-Kalayeh H, Falah-Nosratabad AR, Heydari-Sharifabad H, Darvish F and Alahverdi A. 2010. The possible modification of absorbable phosphorus solubles in calcareus soils and its effects on yield production in corn. Agroecology Journal (New Agricultural Science Journal). 6(18): 27-35. (In Persian).

Duwayri M, Tran DV, Nguyen VN. 2000. Reflections on yield gaps in rice production: how to narrow the gaps. In: Papademetriou, M.K., Dent, F.J., Herath, E.M. (Eds.), bridging the rice yield gap in the Asia-Pacific region. Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for Asia and the Pacific Bangkok, Thailand, Pp: 25-46.

Egli DB and Hatfield JL. 2014. Yield gaps and yield relationships in central U.S. soybean production systems. Agronomy Journal, 106: 560.

Espe MB, Yang H, Cassman KG, Guilpart N, Sharifi H and Linquist BA. 2016a. Estimating yield potential in temperate high-yielding, direct-seeded US rice production systems. Field Crops Research, 193: 123-132.

Espe MB, Cassman KG, Yang H, Guilpart N, Grassini P, Van Wart J, Anders M, Beighley D, Harrell D, Linscombe S, McKenzie K, Mutters R,Wilson LT and Linquist BA. 2016b. Yield gap analysis of US rice production systems shows opportunities for improvement Matthew. Field Crops Research, 196: 276-283.

Fischer GH, Velthuizen Van and Nachtergaele F. 2000. Global Agro-ecological zones assessment Methodology and results .Interim Report IR-00-064. IIASA, Vienna and FAO, Rome. Fischer RA. 2015. Definitions and determination of crop yield, yield gaps, and ofrates of change. Field Crops Research, 182: 9-18.

Hajarpoor A, Soltani A and Torabi B. 2015. Using boundary line analysis in yield gap studies: Case study of wheat in Gorgan. Electronic Journal of Crop Production, 8(4):183-201. (In Persian).

Hashemi-Dezfoli A, Koocheki A and Banayan M. 1996. Maximing Crop Yields. Mashhad Univ, Mashhad, Iran. 287p. (in Persian).

Hochman Z, Gobbett D, Holzworth D, McClelland T, Rees HV, Marinoni O, Garcia JN and Horan

H. 2012. Quantifying yield gaps in rainfed cropping systems: A case study of wheat in Australia. Field Crops Research, 136: 85-96.

Hochman Z, Gobbett D, Holzworth D, McClelland T,vanRees H, Marinoni O, Garcia KN and Horan H. 2013. Reprint of quantifying yield gaps in rain-fed cropping systems: A case study of wheat in Australia. Field Crops Research, 143: 65-75.

Hoshikawa K. 1989. The Growing Rice Plant: an Anatomical Monograph: Japanese. 310p. Inusah BIY, Dogbe W, Abdulai AL, Yirzagla J, Mawunya M and Issahak AS. 2015. Yield gap survey in sudanno-guinea savanna agro-ecological zones of Ghana. Sustainable Agriculture Research, 4: 127-137.

Khalili N, Kamkar B and Khodabakhshi AH. 2015. Quantifying and analysis of germination responses of annual savory (*Satureja hortensis* L.) to temperature and salinity stress. Environ. Stresses. Crop Science, 8(1): 83-92. (In Persian).

Kitchen NR, Drummond ST, Lund ED, Sudduth KA and Buchleiter GW. 2003. Soil electrical conductivity and topography related to yield for three contrasting soil–crop systems.Agronomy Journal, 95: 483-495.

Koning GHJ and de van Diepen CA. 1992. Crop production potential of rural areas within the European Communities. IV: Potential, water limited and actual crop production.Working Document 68.

Netherlands Scientific Council for Government Policy, The Hague. Koocheki A, Nassiri-Mahallati M, Mansoori H and Moradi R. 2017. Effect of climate and management factors on potential and gap of wheat yield in Iran with using WOFOST model. Iranian Journal of Field Crops Research, 15(2): 244-256.

Kropff MJ, Cassman KG, Peng S, Matthews RB and Setter TL. 1994. Quantitative understanding of yield potential. In: Cassman, K.G. (Ed.), Breaking the Yield Barrier. Proceedings of a Workshop on Rice Yield Potential in Favourable Environments. International Rice Research Institute, Los Ban os, Philippines, pp. 21-38.

Lobell DB, Cassman KG and Field CB. 2009. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. Annual Review of Environment and Resources, 34: 179-204.

Makowski D, Doré T and Monod H. 2007. A new method to analyse relationships between yield components with boundary lines. Agronomy for Sustainable Development, 27: 119-128.

Mueller ND, Gerber JS, Johnston M, Ray DK, Ramankutty N and Foley JA. 2012. Closing yield gaps through nutrient and water management. Nature, 490: 254-257.

Nasiri-Mahalati M and Koochaki AR. 2010. Agroecological zone wheat in Khorasan provinces: Estimation of potantial and yield gap. Iranian Journal of Field Crops Research, 7(2): 695-709. (In Persian).

Nasiri-Mahalati M and Koochaki AR. 2014. Evaluate the long-term trend of yield stability in the main crops of the country. Journal of Agroecology, 6(3): 607- 621.

Nasiri M and Nicknejad Y. 2011. Agents of Damage in Rice Field with Technical Recommendation. Varesh Va, Amol, Press. 96 p. (In Persian)

Nehbandani AR, Soltani A, Zeinali E, Hoseini F, Shah-hoseini A and Mehmandoei M. 2017. Soybean yield gap analysis using boundary line method in Gorgan and Aliabad Katul. Journal of Agronomy, 9 (3): 760-776.

Neumann K, Verburg PH, Stehfest E and Müller C. 2010. The yield gap of global grain production: A spatial analysis. Agricultural Systems, 103: 316-326.

Oerke EC, Dehne HW, Schonbeck F and Weber A. 1994. Crop production and crop protection estimated losses in major food and cash crops. Elsevier, Amsterdam, the Netherlands.

Ofori E, Kyei-Baffour N, Mensah E and Agyare WA. 2010. Yield gap analysis in rice production from stakeholders' perspective at annum valley bottom irrigation project at nobewam in Ghana. Journal of Agriculture and Biological Sciences, 5(6): 50-7.

Oliver YM and Robertson MJ. 2013. Quantifying the spatial pattern of the yield gap within a farm in a low rainfall Mediterranean climate. Field Crops Research, 150: 29-41.

Rezvantalab N, Dastan S and Soltani A. 2019. Identification of production constraints and yield gap monitoring of local rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in Mazandaran province. Iranian Journal of Crop Sciences, 21(2): 155-172. (In Persian).

Siahmarguee A, Torabi B, Sohrabi-Rad EM and Alimagham SM. 2018. Effect of weeds and management factors on soybean yield gap in Kalaleh region. Crops Improvement, 20(2): 563-576.

Soleymani A and Amiri-Larijani B. 2004. Principles of Rice Crop Improvement. Arvig Publisher 303 pp. (In Persian).

Soltani A. 2007. Application of SAS in Statistical Analysis. JDM Press, Mashhad, Iran.182p. (In Persian).

Tanaka A, Saito K, Azoma K and Kobayashi K. 2013. Factors affecting variation in farm yields of irrigated lowland rice in southern-central Benin. European Journal of Agronomy, 44: 46-53.

Tasistro A. 2012. Use of boundary lines in field diagnosis and research for Mexican farmers. Better Crops with Plant Food, 96: 11-13.

Tollenaar M and Lee EA. 2002. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. Field Crops Research, 75: 161-169.

Torabi B, Soltani A, Galeshi S and Zeinali E. 2011. Analyzing wheat yield constraints in Gorgan. Journal of Plant Production, 4(4): 1-17. (In Persian).

Tittonell P and Giller KE. 2013. When yield gaps are poverty traps: The paradigm of ecological intensification in African smallholder agriculture. Field Crop Research, 143:76-90.

Van Ittersum MK, Cassman KG, Grassini P, Wolf J, Tittonell P and Hochman Z. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance -A review. Field Crops Research, 143: 4-17.

Wang N, Jassogne L, van Asten PJA, Mukasa D, Wanyama I, Kagezi G and Giller KE. 2015. Evaluating coffee yield gaps and important biotic, abiotic, and management factors limiting coffee production in Uganda. European Journal of Agronomy, 63:1-11.

Xu X, He P, Zhao S, Qiu S, Johnstond, AM and Zhou W. 2016. Quantification of yield gap and nutrient use efficiency of irrigated ricein China. Field Crops Research, 186: 58-65.