Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Crop Production

Print ISSN: 2008- 739x
Online ISSN: 2008- 7403

Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences

Monitoring of production limiting factors, potential and rice yield gap in Ghaemshahr paddy fields

Nastaran Solhi-oskoei[1], Faezeh Zaefarian[2]*, Rahmat Abbasi[3], Benjamin Torabi[4]

1. Ph.D. Graduate of Agronomy, Dept. of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran. E-mail: nastaranoskoi@yahoo.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran. E-mail: fa_zaefarian@yahoo.com
3. Assistant Prof., Dept. of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran. E-mail: rabasi@ut.ac.ir
4. Associate Prof., Dept. of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GUASNR), Gorgan, Iran. E-mail: ben_torabi@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2022-8-15
Accepted: 2022-10-15

Keywords:
Actual yield
crop management
comparative performance analysis
multiple regression
performance model

ABSTRACT

Background and objectives: The continuation of the progressive and growing trend of global population growth and income, will lead to an increase in food demand and consequently more agricultural production. On the other hand, the escalation of climate anomalies also threatens the food security of human society in the future. It is very unlikely that this food need will be met by expanding the area under cultivation, due to the lack of water resources and suitable agricultural lands, and increasing non-agricultural uses due to urban development. Also, in an agricultural production system, there are often huge differences between the yields of a plant and a region. This prompted researchers to assess the reasons for the potential lack of performance and to fill existing gaps and improve performance. Due to the need to increase rice production in the country, the present study was conducted to determine the quantity of potential yield and yield gap in the study area and the constraints that play a role in increating a yield gap and the implementation of best management.

Materials and methods: In this study, three groups of information related to crop management, soil and crop (including 160 variables), during the two agronomic years 2019 and 2020 out of a total of 164 farms including local and high- yield rice cultivars in 36 villages of Ghaemshahr located in Mazandaran province were measured and recorded in the field with continuous monitoring during the growing season and through face-to-face interviews with farmers. Statistical analysis was performed using comparison performance analysis. The relationship between yield and all variables examined with the help of multiple regression. In addition, the scope of changes and the method of performing each management operation and the proportion of farmers who had used different methods of management operations were determined.

Results: From 160 variables studied, the performance model (final production equation) with nine independent variables was selected, which explained 73% of the total performance changes ($P < 0.0001$).

The model estimated the average and maximum yields to be 5163 and 11598 Kg ha^{-1}, respectively, which are comparable to the average and maximum yields observed on the farm (at 5243 and 11052 Kg ha^{-1}). The yield gap in the production equation was 6435 Kg ha^{-1}. There is a gap of 6435 Kg ha^{-1} between the actual yield of farmers on the farm and the achievable yield. It was also found that low yield cultivar, planting date, number of seedlings per hill, square planting arrangement, total amount of urea fertilizer, total amount of ammonium sulfate fertilizer, total amount of potassium sulfate fertilizer, loam clay texture, and previous plant in rotation of legume type, 35, 8, 9, 3, 15, 12, 12, 2 and 4% are involved in creating this gap, respectively.

Conclusion: Comparative performance analysis is one of the statistical methods that by analyzing field data is able to present the effect of various factors on the final amount of product performance. Based on the available results, it can be stated that the accuracy of the performance model (final production equation) is appropriate and by identifying the main causes of production constraints, in estimating the amount of yield gap and determining the effective contribution of each of the performance limiting variables and better giving the relevant which is done with the aim of increasing production per unit area, to provide considerable assistance.

Cite this article: Solhi-oskoei, N., Zaefarian, F., Abbasi, R., Torabi, B. 2023. Monitoring of production limiting factors, potential and rice yield gap in Ghaemshahr paddy fields. *Crop Production Journal*, 16 (4), 1-20.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejcp.2024.20413.2520
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تـولیـد گیـاهـان زراعـی
شـاپـا چـاپـی: ۲۰۰۸-۷۳۹x
شاپا الکترونیکی: ۲۰۰۸-۷٤۰۳
انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

پایش عوامل محدودکننده تولید، پتانسیل و خلاء عملکرد برنج در شالیزارهای قائمشهر

نسترن صلحی اسکوئی[۱]، فائزه زعفریان [۲*]، رحمت عباسی[۳]، بنیامین ترابی[٤]

۱. دانش‌آموخته دکتری زراعت، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، رایانامه: nastaranoskoi@yahoo.com
۲. دانشیار گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، رایانامه: fa_zaefarian@yahoo.com
۳. استادیار گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، رایانامه: rabasi@ut.ac.ir
٤. دانشیار گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، رایانامه: ben_torabi@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۵/۲٤
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۷/۲۳

واژه‌های کلیدی:
عملکرد واقعی
مدیریت زراعی
تحلیل مقایسه کارکرد
رگرسیون چندگانه
مدل عملکرد

چکیده

هدف: ادامه جریان پیش‌رونده و رو به رشد افزایش جهانی جمعیت و درآمد، منجر به افزایش تقاضای غذا و متعاقب آن تولید محصولات کشاورزی بیشتر است. از سوی دیگر تشدید ناهنجاری‌های اقلیمی نیز در آینده امنیت غذایی جامعه‌ی بشری را تهدید می‌کند. بسیار بعید است که این نیاز غذایی با گسترش سطح زیر کشت، به دلیل کمبود منابع آب و زمین‌های زراعی مناسب و افزایش کاربری‌های غیرکشاورزی به دلیل توسعه‌ی شهرسازی، برآورده شود. در یک نظام تولیدی کشاورزی نیز غالباً تفاوت‌های فاحشی بین عملکردهای حاصل از یک گیاه در یک منطقه وجود دارد. این موضوع محققین را بر آن داشت تا دلایل عدم دستیابی به عملکرد پتانسیل را ارزیابی و درصدد پرنمودن شکاف‌های موجود و بهبود عملکرد برآیند. با توجه به ضرورت افزایش تولید برنج در کشور، مطالعه‌ی حاضر نیز با هدف تعیین کمیت عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد در منطقه‌ی مورد مطالعه و محدودیت‌هایی که در ایجاد خلاء عملکرد نقش دارند و اجرای بهترین مدیریت‌ها، انجام شده است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه سه گروه اطلاعات مربوط به مدیریت زراعی، خاک و گیاه زراعی (شامل ۱٦۰ متغیر)، طی دو سال زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ از مجموع ۱٦٤ مزرعه شامل ارقام محلی و پرمحصول برنج، در ۳٦ روستا از توابع شهرستان قائمشهر واقع در استان مازندران به صورت میدانی و با پایش مستمر طی فصل رشد و از طریق مصاحبه‌ی چهره به چهره با کشاورزان اندازه‌گیری و ثبت گردید. تجزیه‌ی آماری نیز به روش تحلیل مقایسه کارکرد انجام شد. رابطه‌ی بین عملکرد و کلیه‌ی متغیرها با کمک رگرسیون چندگانه بررسی شد. ضمناً دامنه تغییرات و شیوه‌ی انجام هر عملیات مدیریتی و همچنین نسبتی از کشاورزان که از شیوه‌های مختلف عملیات مدیریتی استفاده کرده بودند، مشخص شدند.

یافته‌ها: از ۱٦۰ متغیر مورد بررسی، مدل عملکرد (معادله‌ی نهایی تولید) با نه متغیر مستقل انتخاب شد که ۷۳ درصد از کل تغییرات عملکرد را توجیه کرد ($P < ۰/۰۰۰۱$). مدل، متوسط و حداکثر عملکرد را به‌ترتیب معادل ۵۱٦۳ و ۱۱۵۹۸ کیلوگرم در هکتار تخمین زد که با متوسط و

حداکثر عملکردهای مشاهده شده در مزرعه (۵۲۴۳ و ۱۱۰۵۲ کیلوگرم در هکتار) قابل مقایسه‌اند. میزان خلاء عملکرد نیز در معادله‌ی تولید، ٦٤٣٥ کیلوگرم در هکتار به دست آمد؛ یعنی بین عملکرد واقعی کشاورزان در مزرعه و عملکرد قابل حصول، مقدار ٦٤٣٥ کیلوگرم در هکتار شکاف وجود دارد. همچنین مشخص شد که رقم کم‌محصول، تاریخ نشاءکاری، تعداد نشاء در هرکپه، آرایش کاشت مربعی، مقدار کل کود اوره، مقدار کل کود سولفات آمونیوم، مقدار کل کود سولفات پتاسیم، بافت خاک رسی لوم و گیاه قبلی در تناوب از نوع لگوم، به‌ترتیب ۳۵، ۸، ۹، ۳، ۱۵، ۱۲، ۱۲، ۲ و ٤ درصد در ایجاد خلاء نقش دارند.

نتیجه‌گیری: تحلیل مقایسه کارکرد یکی از روش‌های آماری است که با تجزیه‌ی داده‌های میدانی قادر است تأثیر عوامل مختلف را در مقدار نهایی عملکرد محصول به خوبی ارائه دهد. بر اساس نتایج موجود می‌توان بیان نمود که، دقت مدل عملکرد (معادله‌ی نهایی تولید) مناسب بوده و با شناسایی علل اصلی محدودیت تولید، در تخمین میزان خلاء عملکرد و تعیین سهم اثرگذار هر یک از متغیرهای محدودکننده عملکرد و جهت‌دهی بهتر به پژوهش‌های مشابه که با هدف افزایش تولید در واحد سطح انجام می‌شود، کمک قابل ملاحظه‌ای ارائه می‌دهد.

استناد: صلحی اسکوئی، ن.، زعفریان، ف.، عباسی، ر.، ترابی، ب. (۱٤۰۲). پایش عوامل محدودکننده تولید، پتانسیل و خلاء عملکرد برنج در شالیزارهای قائمشهر. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱٦ (٤)، ۲۰-۱.

DOI: 10.22069/ejcp.2024.20413.2520

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

کشاورزی، یکی از سه بخش اصلی اقتصاد (صنعت، خدمات و کشاورزی) است که نقش بسزایی در تأمین غذا، رفاه جامعه، تولید ناخالص ملی و پیشرفت اقتصادی کشورها دارد و با رشد تولیدات خود زمینه را جهت تولید ثروت، ایجاد بازار، ارزآوری و توسعه‌ی سایر بخش‌های اقتصادی فراهم می‌آورد (۱). کشت برنج نیز با تأمین دو سوم از نیاز کشور جایگاه ویژه‌ای در اقتصاد دارد (۲). از طرفی در قرن حاضر چالش سوء تغذیه و مقوله‌ی مهم امنیت غذایی، رسالت زراعت را که نقشی اساسی در تأمین امنیت غذایی جمعیت رو به رشد جهان دارد، دو چندان می‌کند (۱). ازآنجا که برنج مهمترین محصول غذایی منطقه‌ی آسیا و اقیانوسیه است، در اکثر کشورهای آسیایی، خودکفایی و امنیت غذایی تاحد زیادی به خودکفایی و امنیت برنج بستگی دارد (۳). همچنین مشکل حفظ پایداری زراعت برنج که با خود، رقابت برای منابع آبی، کاهش عملکرد و افزایش هزینه تولید (به جهت وابستگی به مصرف نهاده‌های ورودی) را به همراه دارد، رو به افزایش است (٤). با این اوصاف به نظر می‌رسد افزایش بیشتر تولید برنج مسئولیتی بس عظیم است، زیرا به دلیل کاهش تدریجی زمین‌های زیر کشت در نتیجه‌ی انحراف کاربری‌های آن (برای ساخت خانه‌ها، جاده‌ها، صنایع و توسعه‌ی شهرنشینی)، امکان گسترش افقی سطح برنج وجود ندارد. بنابراین افزایش تولید برنج در حال حاضر و همچنین آینده نیاز به بهبود بهره‌وری تولید (عملکرد در واحد سطح) دارد (۳). موفقیت در این امر نیز مستلزم داشتن آگاهی از میزان عملکرد پتانسیل و شناخت عوامل محدودکننده عملکرد در مناطق مختلف تولید برنج است (۵). تفاضل میان عملکرد پتانسیل (در شرایط مدیریت مطلوب) و عملکرد واقعی (میانگین عملکرد حاصل از کشاورزان)، خلاء عملکرد نامیده می‌شود (٦، ۷ و ۸). عملکردهای حاصل از مزارع کشاورزان تحت تأثیر کیفیت خاک، ژنتیک گیاه، شرایط محیطی (دما، نور خورشید و بارندگی) و مدیریت زراعی نظیر کوددهی، آبیاری، کنترل آفات و بیماری‌ها و عوامل کاشت محدود می‌شوند. این عوامل محدودکننده را تحت عنوان عوامل ایجادکننده‌ی خلاء می‌نامند. تجزیه و تحلیل خلاء عملکرد نیز به تعیین این عوامل تأثیرگذار بر کاهش عملکرد و کمی‌سازی آن‌ها می‌پردازد (۹). بنابراین بررسی میزان کمی خلاء عملکرد از طریق آنالیز علل خلاء عملکرد، یکی از راه‌هایی است که در سال‌های اخیر توجه محققان را برای بهینه‌کردن نظام تولید کشاورزی به خود جلب کرده است (۱۰) و جهت نیل به این هدف، تعیین مقادیر عملکرد پتانسیل، خلاء عملکرد و کاهش مقدار خلاء، سه گام اساسی مهم در نظام‌های تولید کشاورزی محسوب می‌شوند (۱۰ و ۱۱). یکی از شیوه‌های آماری به منظور کمی کردن خلاء عملکرد، تحلیل مقایسه کارکرد[1] (CPA) است که در آن با استفاده از رگرسیون چندگانه و به روش گام به گام به جلو (۱۲)، فاکتورهای تعیین کننده در ایجاد و یا رفع خلاء عملکرد و در نهایت معادله‌ی تولید تعیین می‌شوند. سپس با استفاده از مدل تولید و مقادیر مؤلفه‌های آن، سهم هر یک از محدودیت‌ها در ایجاد خلاء عملکرد مشخص می‌گردد (۱۳ و ١٤). در سال‌های اخیر مطالعات متعددی در سطح جهان و ایران در خصوص آنالیز خلاء عملکرد در گیاهان زراعی مختلف و خصوصاً برنج صورت گرفته است که از این میان می‌توان آنالیز خلاء عملکرد و عوامل تعیین کننده‌ی خلاء در محصولات عمده‌ی زراعی (گندم، برنج و نیشکر) در منطقه‌ی شرقی اوتارپرادش (۱۵)، خلاء عملکرد گندم زمستانه در دشت شمال چین (۱۰ و ١٦)، اجرای منطقه‌ای مدل WOFOST

1 . Comparative Performance Analysis (CPA)

برای محاسبه ی خلاء عملکرد گندم کاشته شده در پاییز در سراسر اتحادیه اروپا (۱۰ و ۱۷)، درک پتانسیل و خلاءهای عملکرد تولید فشرده ذرت در چین (۱۰ و ۱۸)، تجزیه و تحلیل پتانسیل و خلاء عملکرد سویای دیم در هند با استفاده از مدل CROP GRO (۵ و ۱۹)، تخمین پتانسیل عملکرد در سیستم‌های تولید کشت مستقیم برنج با عملکرد متوسط پرمحصول در آمریکا (۲۰)، علل رکود عملکرد در سیستم‌های برنج دشت غرقابی در دره‌ی رود سنگال (۲۱)، تبیین عملکرد و خلاء عملکرد برنج در لوزون مرکزی در فیلیپین (۲۲)، عملکرد و خلاء عملکرد برنج در جنوب شرقی آسیا (۱۰ و ۲۳)، تأثیر عوامل زمین و شیوه‌های مدیریت بر عملکرد برنج به روش CPA در روآندا (۲٤ و ۲۵)، عوامل بیوفیزیکی تعیین‌کننده‌ی شکاف عملکرد برنج با روش CPA (۲٤ و ۲٦)، تحلیل عوامل محدودکننده‌ی عملکرد گندم در شرایط گرگان به روش CPA (۱٤)، ارزیابی خلاء عملکرد گندم در استان گلستان به روش CPA (۲٤)، مستندسازی فرآیند تولید و تحلیل عوامل محدودکننده‌ی عملکرد ارقام اصلاح‌شده‌ی برنج به روش CPA در منطقه‌ی نکا (۷)، مستندسازی فرآیند تولید و برآورد خلاء عملکرد مرتبط با مدیریت زراعی ارقام بومی برنج در شهرستان بابل (۲۷) و بررسی خلاء عملکرد ناشی از علف‌های هرز و عوامل مدیریتی بر عملکرد سویا در شهرستان کلاله به روش CPA (۲۸)، را برشمرد. با عنایت به سهم مهم برنج در امنیت غذایی جهان، نیاز به درک خلاء عملکرد در سیستم‌های کشاورزی مبتنی بر برنج وجود دارد و با درک مناسب از میزان خلاء عملکرد محصول برنج و نیز عواملی که موجب آن می‌شوند، امکان هدف‌گذاری بهتر در اولویت‌های تحقیق و توسعه‌ی کشاورزی برای تولید پایدار برنج و بهبود شرایط معیشتی فراهم می‌آید (۲۹). با توجه به جایگاه ویژه‌ی محصول برنج در نظام‌های تولید کشاورزی استان مازندران که بیشترین سطح زیر کشت و تولید کشور را به خود اختصاص داده است، تحقیق حاضر جهت برآورد عملکرد پتانسیل، خلاء عملکرد و عوامل محدودکننده‌ی عملکرد و سهم هر کدام در ایجاد خلاء به شیوه‌ی تحلیل مقایسه کارکرد، در منطقه‌ی قائمشهر انجام شد تا با بهره‌گیری از این روش، امکان دستیابی به عملکردهای بالاتر جهت بهبود تولید برنج در منطقه فراهم آید.

مواد و روش‌ها

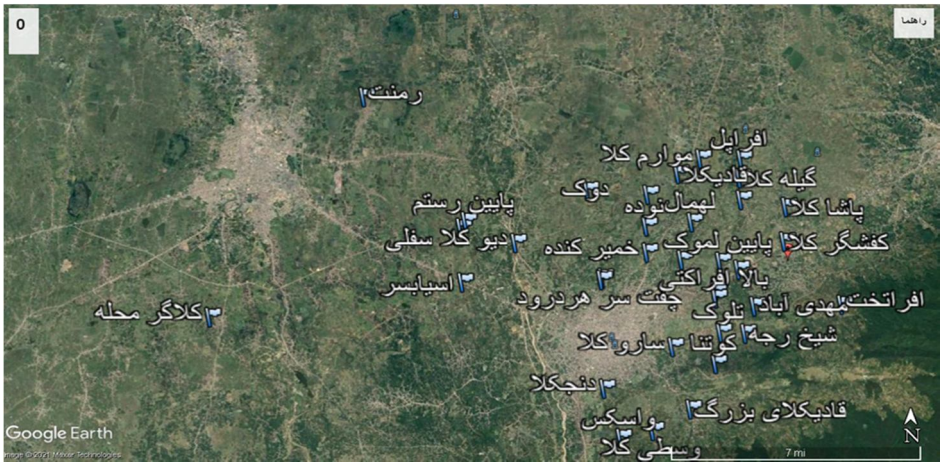
موقعیت جغرافیایی و داده‌های هواشناسی منطقه: شهرستان قائمشهر از شهرهای مرکزی استان مازندران است که در شمال ایران و در **۳۶** درجه و **۲۷** دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و **۴۶** دقیقه طول شرقی و در ارتفاع ۱٤/۷ متر از سطح دریا واقع شده است. میانگین درازمدت بارندگی سالانه این منطقه ٦۸٤/۲ میلی‌متر، دامنه‌ی نوسان دمای سالانه‌ی ۱۰ درجه سانتی‌گراد و میانگین دمای روزانه‌ی سالانه ۱۷/۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. قائمشهر دارای آب و هوای معتدل خزری است و داده‌های هواشناسی در طی دوره رشد برنج نیز از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک قراخیل قائمشهر جمع‌آوری گردیده است (جدول ۱).

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی منطقه قائمشهر طی سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹.

Table 1. Meteorological information of Ghaemshahr region during the years 2019 and 2020.

سال	ماه	دمای کمینه Min.temp	دمای بیشینه Max.temp	متوسط دما Ave.temp	جمع تبخیر Evaporation	جمع بارندگی Rainfall	میانگین رطوبت نسبی Ave.humidity	جمع ساعات آفتابی Sun.hours
Year	Month	درجه سانتی‌گراد (°C)	درجه سانتی‌گراد (°C)	درجه سانتی‌گراد (°C)	میلی‌متر (mm)	میلی‌متر (mm)	درصد (٪)	ساعت (hours)
(2019)1398	فروردین Mar/Apr	10	18.2	14.1	70.6	82.5	83	140.8
	اردیبهشت Apr/May	14.5	25	19.8	108.3	50.2	77	203.9
	خرداد May/Jun	19.6	31.2	25.4	197.9	3	70	276.1
	تیر Jun/Jul	22.8	31.5	27.2	151	58.6	77	191.6
	مرداد Jul/Aug	22.2	31.9	27.1	152.6	19.6	74	192.2
	شهریور Aug/Sep	19.9	28.6	24.3	113	60.5	77	170
(2020) 1399	فروردین Mar/Apr	9.2	18	13.6	62.6	81.6	81	124.6
	اردیبهشت Apr/May	14.1	24.4	19.3	115.2	35.9	78	169.9
	خرداد May/Jun	19.1	30.9	25	183.7	11.4	72	278.6
	تیر Jun/Jul	21.4	32.5	26.9	177.8	41.2	73	270.8
	مرداد Jul/Aug	22.6	30.9	26.8	141.5	47.6	78	131.8
	شهریور Aug/Sep	19.7	29.9	24.8	132.2	35.1	77	237.2

مناطق مورد مطالعه: شهرستان قائمشهر با سطح ۸٦۸۹ هکتار کشت اول برنج، ۱۲۰۵ هکتار کشت مجدد و ٦۰۰ هکتار کشت رتون، جمعاً ۱۰٤۹٤ هکتار، معادل ٤/۵ درصد از کل اراضی شالیزاری استان مازندران را به خود اختصاص داده است. این پژوهش به صورت میدانی طی سال‌های زراعی ۹۸-۹۷ و ۹۹-۹۸ در ۳٦ روستا از توابع شهرستان قائمشهر اجرا شد (شکل ۱). فصل کشت (اول) برنج در این مناطق با آماده‌سازی بستر خزانه از اسفند ماه آغاز و در شهریور ماه با برداشت محصول خاتمه می‌یابد.



شکل ۱- تصویر موقعیت جغرافیایی روستاهای مورد مطالعه در قائمشهر.

Figure 1. Image of the geographical location of the studied villages in Qaemshahr.

جمع‌آوری داده‌ها: در گام نخست نسبت به شناسایی و گزینش تصادفی مزارع اقدام گردید. در سال اول ۸۱ مزرعه و در سال دوم ۸۳ مزرعه و در مجموع ١٦٤ مزرعه به‌ترتیب با مساحت ۵۲/۰٤ و ۵۳/۱۹ هکتار به طور تصادفی انتخاب شدند؛ به طوریکه این مزارع از نظر سطح زیر کشت، نوع عملیات مدیریت زراعی، عملکرد واقعی محصول و روش‌های عمده‌ی تولید برنج، کل منطقه را پوشش داده و از همه‌ی جهات دارای تنوع کافی بودند. تعداد مزارع (نمونه) نیز با کمک فرمول کوکران تعیین شدند. در این تحقیق سه گروه اطلاعات در طول فصل رشد به صورت پیمایشی و در چهارچوب پرسشنامه‌هایی با همکاری خود کشاورزان از محل انجام مصاحبه‌های مستقیم با آنان جمع‌آوری و تکمیل شدند و هدف از انجام پایش این مزارع نیز ثبت کلیه اطلاعات از مرحله‌ی تهیه‌ی بستر کشت تا برداشت محصول بوده است.

اطلاعات مربوط به ویژگی‌های خاک: این اطلاعات خصوصیات فیزیکی (بافت خاک، درصد ذرات رس، سیلت و شن) و ویژگی‌های شیمیایی خاک (هدایت الکتریکی، pH، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب، درصد ماده‌ی آلی، درصد کربن آلی و درصد مواد خنثی شونده) را شامل می‌شود که با انجام آزمون خاک از همه مزارع به دست آمد.

اطلاعات مربوط به مدیریت مزرعه: این اطلاعات شامل مساحت مزرعه، وضعیت زهکش و تسطیح، وضعیت شیب زمین و موقعیت جغرافیایی، تناوب زراعی (نوع محصول قبلی)، مشخصات بذر (منبع تهیه‌ی بذر، مقدار بذر مصرفی، کیفیت بذر و ضدعفونی بذر)، عملیات تهیه‌ی خزانه (نوع و مساحت خزانه، تاریخ آماده‌سازی بستر و بذرپاشی)، عملیات آماده‌سازی زمین اصلی (عمق و نوع ادوات خاکورزی، تاریخ شخم و شیار اولیه، گل‌آب کردن و آب تخت نهایی آماده‌ی نشاء)، عملیات کاشت (روش و تاریخ کاشت، تراکم بوته و آرایش کاشت)، کود و سموم مصرفی (نوع، میزان و زمان مصرف)، عملیات داشت (واکاری، کنترل آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز)، رژیم آبیاری (روش، دفعات، تاریخ آغاز و پایان آبیاری و نوع منابع آبی) و عملیات برداشت (شیوه و تاریخ برداشت) می‌باشد.

اطلاعات مربوط به گیاه زراعی: این اطلاعات مربوط به نام رقم، نوع رقم (کم‌محصول و پرمحصول)، طول دوره‌ی رشد گیاه و اندازه‌گیری عملکرد واقعی محصول پس از برداشت بود.

تجزیه و تحلیل آماری: به منظور سازماندهی و مرتب‌سازی اطلاعات جمع‌آوری شده، در ابتدا متغیرها (صفات، Xها)، مقادیر و واحدهای اندازه‌گیری آنها در قالب جدولی کدگذاری و تعریف شدند. این جدول در طول تجزیه و تحلیل داده‌ها به عنوان یک مرجع مورد استفاده قرار گرفت. همچنین اطلاعات مربوط به کد هر یک از این متغیرها که در مزارع مورد مطالعه اندازه‌گیری و ثبت شده‌اند، در محیط صفحه گستر اکسل وارد شدند. متغیرهای کمی به صورت مقادیر عددی و متغیرهای کیفی به صورت صفر و یک ثبت گردیدند. در این پژوهش، از روش رگرسیون چندگانه، گام به گام به جلو، برای شناسایی عوامل اصلی محدودیت عملکرد (متغیرهای مستقل)، تعیین سهم نسبی آن‌ها در ایجاد خلاء عملکرد دانه (به عنوان متغیر وابسته)، رابطه‌ی بین متغیرهای اندازه‌گیری شده با عملکرد و در نهایت تعیین مدل عملکرد استفاده شده است. مدل نهایی با استفاده از روش آزمون و خطای کنترل شده تعیین شد که می‌تواند اثر محدودیت‌های عملکرد را نیز کمی کند. در این روش (۱۲ و ۱٤) با قرار دادن متوسط مشاهده شده‌ی متغیرها (Xها) (در ۱٦٤ مزرعه‌ی مورد بررسی) در مدل عملکرد، میانگین عملکرد با کمک مدل محاسبه گردید. سپس با قرار دادن بهترین مقدار مشاهده شده‌ی متغیرها در مدل عملکرد، حداکثر عملکرد قابل حصول (پتانسیل) محاسبه شد. اختلاف این دو، برابر خلاء عملکرد خواهد بود. اختلاف حاصلضرب مقدار متوسط مشاهده شده برای هر متغیر در ضریب آن، با حاصلضرب بهترین مقدار مشاهده شده‌ی همان متغیر در ضریب خودش، نشان‌دهنده‌ی مقدار خلاء عملکرد ایجاد شده توسط همان متغیر است. نسبت مقدار خلاء عملکرد هر متغیر به کل خلاء عملکرد، بیانگر سهم آن متغیر در ایجاد خلاء عملکرد می‌باشد و به صورت درصد نشان داده می‌شود (جدول ۲). برای تجزیه‌ی داده‌ها از رویه‌های مختلف نرم‌افزارSAS استفاده شد (۱٤ و ۳۰).

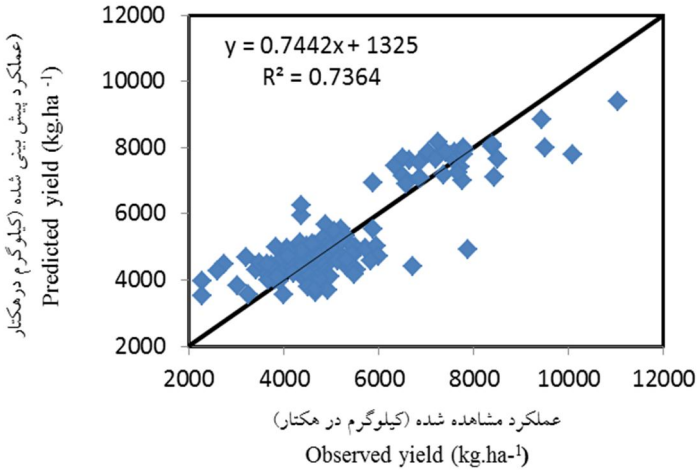
نتایج و بحث

از ۱٦۰ متغیر کمی و کیفی مورد بررسی، مدل تولید (معادله‌ی رگرسیون نهایی) با نه متغیر مستقل انتخاب شد که بیشینه، کمینه، متوسط و بهترین مقدار مشاهده شده‌ی مزرعه‌ای این متغیرها در جدول ۲ آورده شده است. در این مدل رگرسیونی، عملکرد شلتوک در واحد سطح به عنوان متغیر وابسته و سایر عوامل شامل رقم کم‌محصول، تاریخ نشاءکاری، تعداد نشاء در هرکپه، آرایش کاشت مربعی، مقدار کل کودهای اوره، سولفات آمونیوم و سولفات پتاسیم، خاک رسی لوم و گیاه پیش‌کاشت لگوم به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند که نتیجه روابط آن‌ها در معادله‌ی نهایی ارائه شد. متغیرهای تعداد نشاء در هرکپه، آرایش کاشت مربعی، مقدار کل کود اوره، سولفات آمونیوم، سولفات پتاسیم، بافت رسی لومی خاک و گیاه پیش‌کاشت لگوم، با تأثیر مثبت در مدل پدیدار شدند. لذا مقادیر حداکثر آن‌ها به عنوان بهترین حالت انتخاب گردید. دو متغیر رقم کم‌محصول و تاریخ نشاءکاری به عنوان متغیرهای با تأثیر منفی بودند که مقادیر اندک آن‌ها به عنوان بهترین حالت انتخاب شدند. بنابراین، مقدار بهینه‌ی آن دو، همان مقدار حداقل آن متغیرها بود. در نهایت با استفاده از معادله‌ی تولید، میانگین عملکرد، عملکرد بهینه‌ی قابل حصول (پتانسیل) و میزان کمی خلاء عملکرد و سهم هر کدام از متغیرها در کاهش عملکرد تعیین شد. این مدل ۷۳ درصد از کل تغییرات عملکرد را توجیه کرد. مدل عملکرد به صورت زیر بود:

$$Y\ (kg.ha^{-1}) = 9711.5 - 2777.26\ LY - 27.57\ DOYtr + 94.41\ Nsph + 375.52\ SPA + 1.73\ RTU + 3.76\ RTSAF + 3.36\ RTKSF + 269.09\ CL + 338.98\ PPL$$

که در آن Y: عملکرد شلتوک (کیلوگرم در هکتار)، LY: رقم کم محصول، DOYtr: تاریخ نشاءکاری (روز از اول دی ماه)، Nsph : تعداد نشاء در هرکپه، SPA: آرایش کاشت مربعی، RTU: مقدار کل کود اوره (کیلوگرم در هکتار)، RTSAF: مقدارکل کود سولفات آمونیوم (کیلوگرم در هکتار)، RTKSF: مقدار کل کود سولفات پتاسیم (کیلوگرم در هکتار)، CL: بافت خاک رسی لوم و PPL : گیاه پیش‌کاشت لگوم می‌باشند.

شکل (۲) رابطه بین عملکرد واقعی (مشاهده شده) و عملکرد پیش‌بینی شده (بر اساس مدل) با ضریب همبستگی ۰/۷۳ و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تغییرات مدل به ترتیب برابر ۷۵۷/۲ کیلوگرم در هکتار و ۱٤/٦ درصد می‌باشد. خط ممتد نیز خط ۱:۱ است. این اطلاعات آماری نشان می‌دهند که دقت مدل تولید مناسب و قابل قبول بوده و می‌تواند جهت تعیین میزان خلاء عملکرد و سهم هر یک از محدودیت های عملکرد به کار گرفته شود.



شکل ۲- رابطه بین عملکرد مشاهده شده و پیش‌بینی شده.

Figure 2. Relationship between observed and predicted yield.

عوامل محدودکننده عملکرد و تخمین خلاء عملکرد:

در جدول ۲ کل خلاء عملکرد و سهم هر یک از عوامل محدودکننده‌ی عملکرد در خلاء نشان داده شده است. مدل عملکرد، متوسط و حداکثر عملکرد را به‌ترتیب ۵۱٦۳/۰۱ و ۱۱۵۹۸/٦۷ کیلوگرم در هکتار تخمین زد که با متوسط و حداکثر عملکردهای مشاهده شده معادل ۵۲٤۳/۱ و ۱۱۰۵۲ کیلوگرم در هکتار قابل مقایسه‌اند. کل خلاء عملکرد تخمین زده شده ٦٤۳۵/٦٦ کیلوگرم در هکتار بود. بنابراین بین عملکرد واقعی کشاورزان و آن‌چه می‌توانند برداشت کنند، ٦٤۳۵/٦٦ کیلوگرم در هکتار فاصله وجود دارد که با مدیریت صحیح و مناسب می‌توان این فاصله را حذف کرده و یا به حداقل رسانید. در منطقه ساری و بابل نیز میزان خلاء عملکرد ارقام محلی برنج به‌ترتیب ۱۸٤۱ و ۱۹۷۷ کیلوگرم در هکتار (۲۷ و ۳۱) و مقدار خلاء عملکرد ارقام اصلاح شده برنج در نکا نیز به همین روش ۲۰٤۷ کیلوگرم در هکتار برآورد شد (۷). همچنین در ارزیابی انجام شده در سه منطقه‌ی (شرق، مرکز و غرب) استان مازندران میزان خلاء عملکرد ارقام بومی برنج به روش CPA، ۲۱۸٦ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد (۳۲). ژو و همکاران (۲۰۱٦) هم در فراتحلیلی به منظور کمی‌سازی خلاء عملکرد و کارایی مصرف مواد مغذی برنج غرقابی در چین طی سال‌های ۲۰۱۳ -۲۰۰۰، تیمارهای مربوط به مدیریت

بهینه‌ی مواد غذایی و مقادیر کودی کشاورزان را مورد مطالعه قرار دادند و به خلاء عملکردی برابر با ۰/٦ تن در هکتار دست یافتند (۳۳). شیلز و همکاران (۲۰۱۸) که از رهیافت کشور به کشور برای ارزیابی خلاء عملکرد غلات (گندم، جو و ذرت) در سراسر اروپا استفاده کردند، برای تخمین‌های آماری، عملکرد واقعی را با عملکردهای پتانسیل برآورد شده با مدل، در شرایط دیم و آبی، مقایسه نمودند تا خلاءهای عملکرد و امکان افزایش تولید غلات را تعیین کنند. علاوه بر این هدف آن‌ها کمی کردن نیتروژن مورد نیاز بیشتر، برای افزایش تولید و کاهش خلاء عملکرد بود. میانگین خلاء جذب نیتروژن برای حصول به ۸۰ درصد عملکرد پتانسیل گندم، جو و ذرت به ترتیب ۸۷، ۷۷ و ٤۳ کیلوگرم نیتروژن در هر هکتار بود. خلاء عملکرد ذرت (دیم و آبی) بطور مدام کمتر از گندم و جو بود. خلاء عملکرد تلفیقی این سه محصول نیز ۲۳۹ میلیون تن یا ٤۲ درصد عملکرد پتانسیل بود. آن‌ها بر این اساس نتیجه گرفتند که اگر مقدار خلاء عملکرد به ۲۰ درصد عملکرد پتانسیل کاهش یابد، تولید با ۱۲۸ میلیون تن (معادل ۳۹ درصد) افزایش خواهد یافت (۳٤).

از آنجا که کاهش خلاء عملکرد بستگی به میزان سهم هریک از عوامل تأثیرگذار برآن دارد (۳۵)؛ بنابراین علاوه بر شناسایی عوامل اصلی محدودیت عملکرد، تعیین سهم هر کدام از این عوامل جهت کاهش مشکل خلاء عملکرد و افزایش تولید ضرورت دارد. به این منظور جدول ۲ و شکل ۳ سهم هر یک از صفات (عوامل محدودکننده‌ی عملکرد) را در خلاء عملکرد به همراه عملکرد واقعی مزرعه و پتانسیل عملکرد نشان می‌دهند.

جدول ۲- کمی‌سازی خلاء عملکرد برنج در شالیزارهای قائمشهر.

Table 2. Quantification of rice yield gap in Ghaemshahr, Iran.

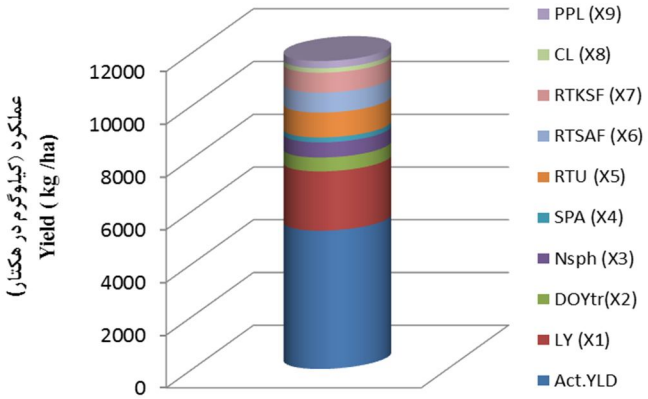
متغیرها Variables	ضریب در مدل Coefficient in model	مقادیر مزرعه‌ای Field rates				عملکرد بر اساس مدل Yield by model		اجزای خلاء عملکرد Yield gap components	
		میانگین Average	بهینه Opt.	حداقل Min.	حداکثر Max.	میانگین (کیلوگرم‌درهکتار) Average ($kg.ha^{-1}$)	بهینه (کیلوگرم‌درهکتار) Opt. ($kg.ha^{-1}$)	خلاء عملکرد کیلوگرم‌درهکتار) Yield gap ($kg.ha^{-1}$)	خلاء عملکرد (درصد) Yield gap (%)
عرض از مبدا Intercept	9711.5	1	1	1	1	9711.5	9711.5		
رقم کم‌محصول (x_1) LY	–2777.26	0.81	0	0	1	–2249.58	0	2249.58	35
تاریخ نشاءکاری (روز از اول‌دی‌ماه) (x_2) DOYtr	–27.57	137.03	118	118	164	–3777.91	–3253.26	524.65	8
تعداد نشاء در هرکپه (عدد) (x_3) Nsph	94.41	5.91	12	3	12	557.96	1132.92	574.95	9
الگوی‌کشت مربعی (x4) SPA	375.52	0.5	1	0	1	187.76	375.52	187.76	3

مقدارکل‌کوداوره (کیلوگرم‌درهکتار) (x_5) RTU	1.73	182.38	727.5	0	727.5	315.51	1258.57	943.05	15
مقدارکل کود سولفات آمونیوم (کیلوگرم‌درهکتار) (x_6) RTSAF	3.76	12.56	214.2	0	214.2	47.22	805.39	758.16	12
مقدارکل کود سولفات پتاسیم(کیلوگرم‌درهکتار) (x_7) RTKSF	3.36	61.48	285.7	0	285.7	206.57	959.95	753.37	12
رسی‌لوم (x_8) CL	269.09	0.37	1	0	1	99.56	269.09	169.52	2
گیاه پیش‌کاشت لگوم (x_9) PPL	338.98	0.19	1	0	1	64.40	338.98	274.57	4
عملکردواقعی (کیلوگرم‌درهکتار) Act.yield		5243.1	11052						
عملکرد تخمینی با مدل (کیلوگرم‌درهکتار) Estimated yield with model						5163.01	11598.66		
خلاء عملکرد تخمینی با مدل (کیلوگرم‌درهکتار) Estimated gap yield with model								6435.65	100

LY (Low Yield): رقم کم‌محصول، DOYtr (Day Of the Year for Transplantation): تاریخ نشاءکاری (روز از اول دی‌ماه)، Nsph (Number of seedling per hill): تعداد نشاء در هرکپه (عدد)، SPA (Square Planthing Arrangement): آرایش کاشت مربعی، RTU (Rate of Total Urea Fertilizer): مقدار کل کود اوره (کیلوگرم در هکتار)، RTSAF (Rate of Total Sulfate Ammonium Fertilizer): مقدار کل کود سولفات آمونیوم (کیلوگرم در هکتار)، RTKSF (Rate of Total Potassium Sulfate Fertilizer): مقدار کل کود سولفات پتاسیم (کیلوگرم در هکتار)، CL (Clay Loam): بافت خاک رسی لوم، PPL (Previous Plant Legumes): گیاه پیش‌کاشت لگوم.

LY (Low Yield): Low yield variety, DOYtr (Day Of the Year for Transplantation) (days after 1 january), Nsph (Number of seedling per hill), SPA (Square Planthing Arrangement), RTU (Rate of Total Urea Fertilizer) ($kg.ha^{-1}$), RTSAF (Rate of Total sulfate Ammonium Fertilizer)($kg.ha^{-1}$), RTKSF (Rate of Total Potassium sulfate Fertilizer) ($kg.ha^{-1}$), CL (Clay Loam) (The texture of clay loam soil), PPL (Previous Plant Legumes).

رقم کم‌محصول (LY): نتایج حاصل از روش CPA نشان داد که رقم کم‌محصول برنج عامل ۳۵ درصد از کل تغییرات خلاء عملکرد برآورد شده در این مطالعه بود که برابر با ۲۲٤۹/۵۸ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. به عبارتی اگر مزرعه‌ای رقم کم‌محصول را جهت کشت انتخاب کند، مقدار عملکرد شلتوک در قیاس با رقم پرمحصول، ۲۲٤۹/۵۸ کیلوگرم در هکتار کاهش خواهد داشت (جدول ۲ و شکل ۳).



شکل ۳- سهم محدودیت‌های اصلی خلاء عملکرد برنج.

Figure 3. The share of the main limitations of rice yield gap.

Act.YLD: عملکردواقعی (کیلوگرم‌درهکتار)، LY: رقم کم‌محصول، DOYtr: تاریخ نشاءکاری (روز از اول دی‌ماه)، Nsph: تعداد نشاء در هرکپه (عدد)، SPA: آرایش کاشت مربعی، RTU: مقدارکل کود اوره (کیلوگرم در هکتار)، RTSAF: مقدار کل کود سولفات آمونیوم (کیلوگرم‌درهکتار)، RTKSF: مقدارکل کود سولفات پتاسیم (کیلوگرم در هکتار)، CL : بافت خاک رسی لوم، PPL: گیاه پیش‌کاشت لگوم.

Act.YLD: Actual Yield, LY: Low yield variety, DOYtr: Day Of the Year for Transplantation, Nsph: Number of seedling per hill, SPA: Square Planthing Arrangement, RTU: Rate of Total Urea Fertilizer, RTSAF: Rate of Total sulfate Ammonium Fertilizer, RTKSF: Rate of Total Potassium sulfate Fertilizer, CL: The texture of clay loam soil, PPL: Previous Plant Legumes.

با توجه به اثر رقم در مدل تولید و میزان سهم ۳۵ درصدی آن در خلاء عملکرد، می‌توان بیان نمود که رقم، اثر قابل‌توجهی در میزان کل تولید محصول برنج در منطقه می‌تواند داشته باشد. اگرچه نتایج حاصل به منزله‌ی برتری مطلق رقم پرمحصول نیست و تعداد مزارع مورد مطالعه‌ی زیرکشت رقم پرمحصول در این تحقیق از نظر فراوانی کمتر بوده است؛ لیکن به مبحث کیفیت، بازارپسندی و قیمت ارقام هم باید توجه ویژه داشت. قطعاً هر رقم نیز ویژگی‌های مثبت و منفی منحصر به فردی دارد. اما نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر این حقیقت است که همچنان فرصت جهت اصلاح، معرفی و تولید ارقام جدید و مطالعات دقیق‌تری در این زمینه وجود دارد و از منظر مقدار تولید در واحد سطح و خودکفایی در تأمین نیازهای غذایی، می‌توان به ارقام پرمحصول امیدوارتر بود. پیش از این نیز در ایالات متحده طی بررسی خلاء عملکرد برنج، انتخاب ارقام هیبرید و مدیریت مطلوب به عنوان عوامل مهم در دستیابی به افزایش تولید گزارش شده‌اند (۳۶). ارقام زراعی مناسب در کنار عواملی نظیر شرایط آب و هوایی، عناصر غذایی، رطوبت، تاریخ کاشت و شرایط اقتصادی- اجتماعی از اهم عوامل محدودیت عملکرد به حساب می‌آیند؛ به طوریکه بخشی از افزایش بازده‌ی تولید از زمان انقلاب سبز به انتخاب ارقام جدید منتسب است (۹) نمونه‌ی دیگر آن، انتخاب ارقام زراعی نامناسب از سوی ٦٦ درصد از کشاورزان می‌باشد که منجر به اختلاف عملکرد ۱۹/۸ درصدی در تولید ذرت در کشور چین شده است (۳۷).

تاریخ نشاءکاری (DOYtr): تاریخ کاشت (نشاءکاری) نیز مسبب ۸ درصد از کل خلاء عملکرد تخمین زده در این پژوهش است که معادل ٥٢٤/٦٦ کیلوگرم در هکتار بوده است. یعنی اگر تاریخ نشاءکاری نسبت به تاریخ کاشت بهینه به تأخیر (تقریباً ۲۰ روزه) بیفتد، مقدار عملکرد معادل ٥٢٤/٦٦

کیلوگرم در هکتار افت خواهد داشت (جدول ۲ و شکل ۳). لازم به ذکر است که دامنه‌ی تاریخ نشاءکاری در مزارع مورد مطالعه از ۱۱۸ تا ١٦٤ روز (از اول دی ماه) متغیر بوده است.

تعداد نشاء در هرکپه (Nsph): با پایش مزارع مورد بررسی مشخص شد که حداقل، حداکثر و میانگین تعداد نشاء در هر کپه به ترتیب ۳ ، ۱۲ و ٦ عدد بوده است. میزان افزایش عملکرد مربوط به اثر مثبت متغیر تعداد نشاء در هرکپه، برابر ٥٧٤/٩٦ کیلوگرم در هکتار، معادل ۹ درصد از کل افزایش عملکرد بود (جدول ۲ و شکل ۳).

آرایش کاشت مربعی (SPA): نتایج CPA نشان داد که این پارامتر در خلاء عملکرد به میزان ۳ درصد و با مقدار ۱۸۷/۷٦ کیلوگرم در هکتار دخیل بوده است (جدول ۲ و شکل۳).

مقدار کود اوره‌ی مصرفی (RTU): بررسی‌ها نشان داد که حداقل، حداکثر و میانگین مقدار مصرف کود اوره در ١٦٤ مزرعه‌ی مورد مطالعه به ترتیب ۰، ۷۲۷/۵ و ۱۸۲/۳ کیلوگرم در هکتار بوده است. این صفت نیز سهم ۱۵ درصدی در کل خلاء عملکرد دارد و مقدار آن برابر با ۹٤۳/۰٦ کیلوگرم در هکتار بوده است (جدول ۲ و شکل ۳). نتایج مطالعه نشان داد که در میان عوامل کودی، متغیر مصرف کود اوره، سهم بیشتری در محدودیت عملکرد داشت. بنابراین، پایین بودن مصرف فعلی نیتروژن عامل خلاء عملکرد است و با مصرف بیشتر نیتروژن می‌توان قسمتی از خلاء عملکرد را کاهش داد. مصرف بیشتر باید طی چند تقسیط صورت گیرد تا آبشویی کم‌تر و نتیجه بهتری حاصل گردد. کودهای نیتروژن برای رفع نیاز نیتروژن گیاه به مقدار زیاد برای محصولات کشاورزی استفاده می‌شوند. نیترات به دلیل حلالیت زیاد در آب به راحتی در معرض آبشویی قرار می‌گیرد. بنابراین توصیه می‌شود مقادیر مناسب کود نیتروژن با توجه به شرایط مزرعه و میزان بارندگی در طی فصل رشد مصرف شود (١٤ و ۳۸). برولسما (۲۰۰۹) و حجارپور و همکاران (۲۰۱۷) عنوان کردند که استفاده از منابع کودی مناسب در مقدار بهینه و در زمان مورد نیاز گیاه، جهت افزایش کارایی کود ضروری است (٢٤ و ۳۹). بنابراین مدیریت کود نیتروژن با تنظیم زمان و مقدار مناسب مصرف آن می‌تواند به عنوان یک راهکار مناسب، به منظور کاهش خلاء عملکرد و افزایش تولید مورد بررسی قرارگیرد. میزان نیتروژن، رشد محصول را از طریق چندین واکنش در گیاه تحت تأثیر قرار می‌دهد. رابطه‌ی نیتروژن با فتوسنتز، توزیع نیتروژن بین برگ‌ها، گسترش و آرایش برگ و در نهایت اثرات بعدی آن بر روی دریافت نور توسط برگ از آن جمله‌اند (١٤ و ٤٠). افزایش کود نیتروژن معمولاً از طریق افزایش شاخص سطح برگ منجر به کاهش نسبت تبخیر به تعرق می‌شود. مصرف نیتروژن ممکن است طول ریشه، عمق ریشه‌دهی و مصرف آب را افزایش دهد (٤١ و ٤٢). بنابراین تأمین نیتروژن در زمان‌های مختلف دوره‌ی رشد و مطابق با نیاز گیاه، از طریق افزایش جذب آن، می‌تواند روی سرعت رشد گیاه و عملکرد تأثیرگذار باشد (١٤ و ٤٠).

مقدار کود سولفات آمونیوم (RTSAF): بر اساس داده‌های موجود، دامنه‌ی مصرف این متغیر در مزارع مورد مطالعه، بین ۰ تا ۲۱٤/۲ کیلوگرم در هکتار بوده است. میزان خلاء عملکرد به دست آمده ناشی از تأثیر متغیر مقدار کود سولفات آمونیوم، برابر با ۷۵۸/۱۷ کیلوگرم در هکتار و معادل ۱۲ درصد از کل تغییر عملکرد بود (جدول ۲ و شکل ۳).

مقدار کود سولفات پتاسیم (RTKSF): مقدار کود سولفات پتاسیم مسئول ۱۲ درصد تغییرات خلاء عملکرد و معادل ۷۵۳/۳۷ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۲ و شکل ۳). با رجوع به داده‌های حاصل از این تحقیق مشخص گردید که مقادیر مصرف این کود

در محدوده‌ی بین ۰ تا ۲۸۵/۷ کیلوگرم در هکتار و با میانگین ٦١/٤٨ کیلوگرم در هکتار بوده است. امروزه، با رشد کشاورزی و رواج یافتن ارقام با عملکرد بالا، ذخیره‌ی پتاسیم خاک‌ها سریعاً تخلیه شده است (١٤ و ٤٣). در ایران نیز رواج کشت ارقام با عملکرد بالا و سیستم‌های فشرده کشاورزی موجب تخلیه‌ی پتاسیم قابل استفاده برای گیاهان شده است. لذا کمبود پتاسیم یکی از محدودیت‌های اصلی در تولید محصول به حساب می‌آید (١٤ و ٤٤). بنابراین توصیه‌های مدیریتی برای پتاسیم باید با دقت بیشتری انجام شود و با نوع محصول و مدیریت آن، شرایط خاک و پتانسیل عملکرد مطابقت داشته باشند (٨، ١٤ و ٤٣). در خاک‌های رسی (از نوع ایلایت) که دارای قدرت تثبیت بالا هستند، برای دستیابی به حداکثر عملکرد، میزان مصرف کودهای پتاسیمی نسبت به حالت عادی افزایش می‌یابد. لذا بنابه توصیه‌ی برخی محققان در خاک‌های با ظرفیت تثبیت پتاسیم خیلی زیاد، تعیین مقدار کود مصرفی سالیانه باید مستقل از مقدار پتاسیم قابل جذب خاک باشد و برای مقابله با قدرت تثبیت بالای پتاسیم، کاربرد سالانه‌ی ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم (K_2O) را امری ضروری دانسته‌اند (١٤ و ٤٤). افزودن کودهای آمونیومی به خاک موجب آزاد شدن یون پتاسیم و افزایش غلظت پتاسیم محلول (قابل جذب) می‌شود. بنابراین، استفاده از کودهای آمونیومی قبل از مصرف کودهای پتاسه باعث می‌شود آمونیوم موجود در کود تثبیت شده و بدین ترتیب کاتیون (K^+) موجود در کودهای پتاسه آزاد شده و با سهولت بیشتری در اختیار گیاه قرار گیرد (١٤، ٣٨، ٤٤، ٤٥ و ٤٦). مصرف پتاسیم با کاهش خوابیدگی بوته و افزایش تحمل گیاه به تنش‌های زنده و غیرزنده محیطی، موجب کاهش خسارت عملکرد می‌شود (٤٧). در همین راستا نتایج تحقیق گرجی‌زاد و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان داد که استفاده کافی از پتاسیم می‌تواند افزایش عملکرد و کاهش خلاء عملکرد محصول را در پی داشته باشد (۷). در بین متغیرهای وارد شده در مدل، اثر سه متغیر کودی شامل اوره، سولفات آمونیوم و سولفات پتاسیم قابل ملاحظه بوده است؛ بنابراین می‌توان بخش قابل توجهی از خلاء عملکرد در مزارع برنج کشاورزان این شهرستان را با مدیریت مناسب مصرف این کودها جبران نمود.

بافت خاک رسی لوم (CL): همچنین مقدار کمی افزایش عملکرد ناشی از تأثیر مثبت بافت خاک از نوع رسی لوم، برابر ١٦٩/٥٢ کیلوگرم در هکتار، معادل ۲ درصد از کل افزایش عملکرد بود (جدول ۲ و شکل ۳).

گیاه پیش‌کاشت لگوم (PPL): متغیر گیاه پیش‌کاشت لگوم که در تناوب با کشت برنج بود، عامل ٤ درصد و معادل ٢٧٤/٥٧ کیلوگرم در هکتار افزایش عملکرد بود (جدول ۲ و شکل ۳).

به نظر می‌رسد تأثیر مثبت این متغیر بواسطه تثبیت زیستی نیتروژن و افزایش ماده آلی خاک می‌باشد. در همین راستا نظام‌زاده و همکاران (۲۰۱۹) طی بررسی عوامل مدیریتی مؤثر بر خلاء عملکرد کلزا در منطقه‌ی نکا در استان مازندران، به تأثیر مثبت لگوم‌ها از جمله سویا به عنوان گیاه پیش‌کاشت کلزا اذعان داشته و آن را موجب افزایش ۱۰ درصدی عملکرد کلزا دانستند (٤٨). همچنین محققین در اروپا افزودن حبوبات دانه‌ای را به تناوب زراعی به منظور کاهش بارهای زیست محیطی به ویژه منابع انرژی فسیلی از دست رفته و تغییر اقلیم، مناسب دانسته و دلایل کاهش مشکلات زیست محیطی را با این روش، عدم مصرف کودهای نیتروژنی در زراعت حبوبات و کاهش مصرف این کودها در زراعت‌های بعدی، فراهمی استفاده از روش‌های کم‌خاک‌ورزی، افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش مصرف سموم شیمیایی عنوان کردند (٤٩). از طرفی گنجاندن حبوبات در تناوب زراعی می‌تواند از تخریب خاک تحت تأثیر تغییر اقلیم

جلوگیری نماید (۵۰). همچنین لگوم‌ها در تناوب به دلیل توانایی تثبیت زیستی نیتروژن، ایجاد تنوع زیستی بیشتر در سیستم‌های زراعی و به دنبال آن کاهش مشکلات آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز و اثرات آن‌ها بر خاک و عملکرد محصول بعدی می‌توانند در بهبود پایداری محیط زیست و بوم‌نظام‌های زراعی نقش مؤثری داشته و به عنوان یک راهکار مناسب جهت سازگاری با پدیده‌ی تغییر اقلیم به کار گرفته شود (۵۱).

توصیه می‌شود به منظور بهره‌مندی از مزایای لگوم‌ها در تناوب با گیاهان زراعی، فرهنگ‌سازی کافی جهت کاشت آن‌ها به عنوان یک گیاه پیش‌کاشت، صورت پذیرد. با این تفاسیر گرچه نمی‌توان کاهش عملکرد ناشی از تأثیر شرایط محیطی را مدیریت نمود (۳۵)، لیکن خلاءهای عملکرد ناشی از عوامل محدودکننده و کاهنده‌ی رشد محصول مانند: آب و مواد غذایی، آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز که به مدیریت زراعی بستگی دارند (۵۲) را می‌توان با اجرای مدیریت‌های زراعی درست نظیر مصرف نهاده‌ها مطابق با نیاز گیاه زراعی و کاربرد فن‌آوری‌های خوب به‌نژادی کاهش داد (۳۵). یافته‌های حاصل از پژوهش محمدی و همکاران (۲۰۲۲) که بر روی عوامل مدیریتی مؤثر بر خلاء عملکرد سویا در استان مازندران و به روش CPA انجام شد، نیز مؤید همین موضوع است. در تحقیق ایشان مدل نهایی تولید با ۱۰ متغیر مستقل ارائه شد و میزان خلاء عملکرد به دست آمده بر اساس مدل ۳۵٦۳ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. همچنین سه عامل مقدار کود گوگرد مصرفی، محصول قبلی باقلا و سیستم آبیاری بارانی متحرک به‌ترتیب با ۱۷، ۲٤ و ۱۵ درصد به عنوان مؤثرترین عوامل مدیریتی در ایجاد خلاء عملکرد سویا معرفی شدند (۵۳). اگرچه انجام اقدامات مدیریتی مناسب در همه‌ی مناطق به دلیل نیازمندی به منابع و سرمایه‌گذاری‌های اقتصادی بیشتر، قابل اجرا نیست و نمی‌توان از این طریق به کاهش خلاء عملکرد دست یافت (۹)، اما در صورتی که شرایط انجام آن فراهم باشد، حصول به ۹۰-۸۰ درصد عملکرد پتانسیل علاوه بر ارتقای بهره‌وری تولید، از نظر اقتصادی نیز برای کشاورزان بسیار مفید و سودآور خواهد بود (۵۲).

نتیجه‌گیری کلی

از میان نه متغیر مستقل وارد شده در مدل نهایی تولید، که به عنوان مهمترین عوامل مدیریتی، خاکی و گیاهی مؤثر بر عملکرد در منطقه بودند، اثر متغیر رقم کم‌محصول با سهم ۳۵ درصدی در میزان خلاء عملکرد، قابل توجه بوده است. همچنین سهم سایر متغیرهای تاریخ نشاءکاری، تعداد نشاء در هرکپه، آرایش کاشت مربعی، مقدار کل کود اوره، سولفات آمونیوم، سولفات پتاسیم، بافت خاک رسی لوم و گیاه پیش‌کاشت لگوم به‌ترتیب برابر با ۸، ۹، ۳، ۱۵، ۱۲، ۱۲، ۲ و ٤ درصد از کل افزایش عملکرد بود. اگر چه در محصولات زراعی دستیابی به حداکثر عملکرد اغلب مواقع به ندرت حاصل شده و فقط قسمتی از عملکرد پتانسیل به صورت محصول واقعی از مزرعه برداشت می‌شود، اما با مدیریت متغیرهای نامبرده، مقدار زیادی از خلاء عملکرد را می‌توان جبران نموده و به عملکرد پتانسیل نزدیک شد. بنابراین شناخت عملکرد پتانسیل و عوامل محدودکننده‌ی آن و مقدار و چگونگی تأثیر هر کدام، نقش بسزایی در تعیین سازوکارهای مدیریتی جهت نیل به حداکثر عملکرد ایفا می‌کند. توصیه‌های ارائه شده در این پژوهش، صرفاً بر اساس نتایج حاصل از سال‌های انجام مطالعه در منطقه (قائمشهر) بوده است. پرواضح است که با تغییر نظام‌های زراعی نظیر توسعه‌ی کشاورزی حفاظتی، تغییر شیوه‌ی مدیریت زراعی و شرایط آب و

هوایی، این توصیه‌ها نیز ممکن است در آینده تغییر کنند. اگرچه در این مطالعه به عوامل اصلی محدودیت عملکرد و راهکارهای اصلاح آن پرداخته شده است، لیکن عوامل فرعی دیگری نیز می‌توانند طی فرآیند تولید برنج، بروز پیدا کنند. بنابراین ضرورت دارد که پایش مزارع به طور مستمر صورت گیرد و عوامل ایجادکننده‌ی خلاء عملکرد مدام شناسایی و مرتفع شوند. به استناد نتایج این مطالعه می‌توان به منظور تخمین میزان خلاء عملکرد و تعیین سهم هر یک ازعوامل محدودکننده‌ی تولید برنج در شرایط آب و هوایی مشابه با منطقه‌ی قائمشهر، مدل تولید ارائه شده را به کار گرفت.

References

1. Zand, E., Jalal-Kamali, M. R. & Nazari, Sh. (2014). Some frontiers of knowledge in crop sciences and their impacts on food security.1st International and 13th Iranian Crop Science Congress and 3rd Iranian Seed Science and Technology Conference, August 24-26, 2014, Karaj, Iran. 23p. [In Persian]
2. Yaghouti, H., Pazira, E. & Amiri, E. (2021). Assessment of WOFOST model for yield prediction of rice in paddy lands of Shaft City using spatial analysis of Geographic Information System (GIS). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(1), 193-207. [In Persian]
3. Chaudhary, R. C. (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.
4. Baghitabar-Firozjaii, S., Abbasi, R. & Mousavi-Toghani, S. Y. (2019). Comparison of irrigation regimes and seedling age effects on yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L. var. Tarom Hashemi). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(2), 67-78. [In Persian]
5. Nasiri-Mahalati, M. & Koochaki, A. R. (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]
6. Van Ittersum, M. K., Cassman, K. G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P. & Hochman, Z. (2013). Yield gap analysis with local to global relevance -a review. *Field Crops Research*, 143, 4-17.
7. Gorjizad, A., Dastan, S., Soltani, A. & Ajam-Norouzi, H. (2019). Evaluation of potential and yield gap associated with crop management in modified cultivars of rice production in Neka region. *Journal of Agroecology*, 11(1), 277-294. [In Persian]
8. Dobermann, A. (2001). Crop potassium nutrition-implications for fertilizer recommendations, In: Proceedings of the 31st. North-Central Extension- Industry Soil Fertility Conference, Potash & Phosphate Institute.
9. Rong, L.B., Gong, K. Y., Duan, F. Y., Li, S. K., Zhao, M., He, J., Zhou, W. B. & Yu, Q. (2021). Yield gap and resource utilization efficiency of three major food crops in the world-a review. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(2), 349-362.
10. Badsar, M., Kamkar, B., Soltani, A. & 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]
11. Kamkar, B., Koochaki, A., Nasiri-Mahalati, M. & Rezvani-Moghaddam, P. (2007). Yield gap analysis of cumin in nine regions of Khorasan province using modeling approach. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 5(2), 333-341. [In Persian]
12. Rezaie, A. & Soltani, A. (2007). An Introduction to Applied Regression

Analysis. Isfahan University of Technology Publication Center. Isfahan, Iran. 294 p. [In Persian]
13. De Bie, C.A.J.M. (2000). Yield gap studies through comparative performance analysis of agro ecosystems. International Institute for Aerospace and Earth Science (ITC), Enschede.The Netherlands. 234 p.
14. Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S. & Zeinali, E. (2011). Analyzing wheat yield constraints in Gorgan. *Journal of Plant Production*, 4(4), 1-17. [In Persian]
15. Pushpa, Y.N. & Srivastava, S.K. (2014). Yield gap analysis and the determinants of yield gap in major crops in eastern region of Uttar Pradesh. *Economic Affairs*, 59(4), 653-662.
16. Li, K., Yang, X., Liu, Z., Zhang, T., Lu S. & Liu, Y. (2014). Low yield gap of winter wheat in the North China Plain. *European Journal of Agronomy*, 50, 1-12.
17. Boogaard, H., Wolf, J., Niemeyer, S. & Van Ittersum, M. K. (2013). A regional implementation of WOFOST for calculating yield gaps of autumn-sown wheat across the European Union. *Field Crops Research*, 143, 120-142.
18. Meng, Q., Hou, P., Wu, L., Chen, X., Cui, Z. & Zhang, F. (2013). Understanding production potentials and yield gaps in intensive maize production in China. *Field Crops Research*, 143, 91-97.
19. Bhatia, V. S., Singh, P., Wani, S. P., Chauhan, G. S., Rao, A. V. R. K., Mishra, A. K. & Srinivas, K. (2008). Analysis of potential yields and yield gaps of rainfed soybean in India using CROPGRO soybean model. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148, 8-9. 1252-1265.
20. Espe, M. B., Yang, H., Cassman, K. G., Guilpart, N., Sharifi, H. & Linquist, B. A. (2016). Estimating yield potential in temperate high-yielding, direct-seeded US rice production systems. *Field Crops Research*, 193, 123-132.
21. Tanaka, A., Diagne, M. & Saito, K. (2015). Causes of yield stagnation in irrigated lowland rice systems in the Senegal River Valley: Application of dichotomous decision tree analysis. *Field Crops Research*, 176, 99-107.
22. Silva, J. V., Reidsma, P., Laborte, A. G. & van Ittersum, M. K. (2017). Explaining rice yields and yield gaps in Central Luzon, Philippines: An application of stochastic frontier analysis and crop modeling. *European Journal of Agronomy*, 82, 223-241.
23. Laborte, A. G., De Bie, C. A. J. M., Smaling, E. M. A., Moya, P. F., Boling, A. A. & Van Ittersum, M. K. (2012). Rice yields and yield gaps in South East Asia: past trends and future outlook. *European Journal of Agronomy*, 36, 9-20.
24. Hajjarpour, A., Soltani, A., Zeinali, E., Kashiri, H., Aynehband A. & Nazari, M. (2017). Evaluation of wheat (*Triticum aestivum* L.) yield gap in Golestan province of Iran using comparative performance analysis method. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 19(2), 86-101. [In Persian]
25. Kayiranga, D. (2006). The effects of land factors and management practices on rice yields. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enscheda (ITC). The Netherlands. 72 p.
26. Rajapakse, D. C. (2003). Biophysical factors defining rice yield gaps. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede (ITC). The Netherlands. 100 p.
27. Halalkhor, S., Dastan, S., Soltani, A. & Ajam-Norouzi, H. (2018). Documenting the process of rice production and yield gap associated with crop management in local cultivars of rice production (case study: Mazandaran province, Babol region). *Journal of Crops Improvement*, 19 (3), 397- 414. [In Persian]
28. Siahmarguee, A., Torabi, B., Sohrabi-Rad, E. M. & Alimagham, S. M. (2018). Effect of weeds and management factors on soybean yield gap in Kalaleh region. *Journal of Crops Improvement*, 20(2), 563-576. [In Persian]
29. M Stuart, A., Pame, A. R. P., Silva, J. V., Dikitanan, R. C., Rutsaert, P., Malabayabas, A. J. B., Lampayan, R. M.,

Radanielson, A. M. & Singleton, G. R. (2016). Yield gaps in rice-based farming systems: Insights from local studies and prospects for future analysis-A review. *Field Crops Research,* 194, 43-56.

30. Soltani, A. (2007). Application of SAS in Statistical Analysis. JDM Press, Mashhad, Iran.182 p. [In Persian]
31. Yousefian, M., Dastan, S., Soltani A. & Ajam-Norouzi, H. (2018). Estimation of yield gap in local rice cultivars by using CPA and BLF Methods (case study: Mazandaran province, Sari region. *Journal of Crop Management,* 10(3), 265-288. [In Persian]
32. Rezvantalab, N., Dastan, S. & 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]
33. Xu, X., He, P., Zhao, S., Qiu, S., M.Johnston, A. M. & Zhou, W. (2016). Quantification of yield gap and nutrient use efficiency of irrigated rice in China. *Field Crops Research,* 186, 58-65.
34. Schils, R., Olesen, J.E., Kersebaum, K. C., Rijk, B., Oberforster, M., Kalyada, V., Khitrykau, M., Gobin, A., Kirchev, H., Manolova, V., Manolov, I., Trnka, M., Hlavinka, P., Palosuo, T., Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Lorgeou, J., Marrou, H., Danalatos, N., Archontoulis, S., Fodor, N., Spink, J., Roggero, P. P., Bassu, S., Pulina, A., Seehusen, T., Uhlen, A. K., Zylowska, K., Nierobca, A., Kozyra, J., Silva, J. V., Macas, B. M., Coutinho, J., Ion, V., Takac, J., Minguez, M. I. E., Ckersten, H., Levy, L., Herrera, J. M., Hiltbrunner, J., Kryvobok, O., Kryvoshein, O., Sylvester-Bradley, R., Kindred, D., Topp, G.F.E., Boogaard, H., De Groot, H., Lesschen, J. P., Bussel, L. V., Wolf, J., Zijlstra, M. P., Vanloon, M. & Van Ittersum, M. K. (2018). Creal yield gaps across Eurpe. *European Journal of Agronomy,* 101, 109-120.
35. Henderson, B., Godde, C., Medina-Hidalgo, D., Van Wijk, M., Silvestri, S., Douxchamps, S., Stephenson, E., Power, B., Rigolot, C., Cacho, O. & Herrero, M. (2016). Closing system-wide yield gaps to increase food production and mitigate GHGs among mixed crop- livestock smallholders in Sub-Saharan Africa. *Agricultural Systems,* 143, 106-11.
36. Espe, M. B., Cassman, K. G., Yang, H., Guilpart, N., Grassini, P., van Wart, J., Anders, M., Beighley, D., Harrell, D., Linscombe, S., McKenzie, K., Mutters, R., Wilson, L. T. & Linquist, B. A.(2016). Yield gap analysis of US rice production systems shows opportunities for improvement. *Field Crops Research,* 196, 276-283.
37. Zhang, W., Cao, G., Li, X., Zhang, H., Wang, C., Liu, Q., Chen, X., Cui, Z., Shen, J., Jiang, R., Mi, G., Miao, Y., Zhang, F. & Dou, Z. (2016). Closing yield gaps in China by empowering smallholder farmers. *Nature,* 537, 671-674.
38. Zeinali, E. (2009). Wheat nitrogen in Gorgan agronomical physiological and environmental aspects. A Thesis submitted for the Degree of Ph.D. in Agronomy, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources. 201 p. [In Persian]
39. Bruulsema, T. (2009). Recommendation development under 4R nutrient stewardship, Proceedings North Central Extension-Industry Soil Fertility Conference.
40. Gastal, F. & Lemaire, G. (2002). N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany,* 53, 789-799.
41. Debaeke, P. & Aboudrare, A. (2004). Adaptation of crop management to water limited environments. *European Journal of Agronomy,* 21, 433-446.
42. Cooper, P. J. M. & Gregory, P. J. (1987). Soil water management in the rain-fed farming systems of the Mediterranean region. *Soil Use and Management,* 3, 57-62.
43. Samal, D. (2007). Potassium uptake efficiency mechanisms and root exudates of different crop species. A Thesis submitted for the Degree of Ph.D in agriculture.In the Faculty of Agriculture Sciences, University Gottingen. 155 p.

44. Talebizadeh, E. (2009). The effect of calcium, ammonium and potassium based phosphorous fertilizers on potassium uptake by rain-fed winter wheat in potassium fixing loess soil with a dominance of weathered mica in clay fraction. Dissertation for M.Sc. degree in Soil Science. Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources. 147 p. [In Persian]
45. Malakuti, M. J. & Homaie, M. (2004). Soils Fertility of Arid and Semi-arid Regions "Problemes and Strategies".Tarbiat Modaress University Press, Tehran, Iran. 518 p. [In Persian]
46. Malakuti, M. J., Shahabi, A. A. & Bazargan, K. (2005). Potassium in Iran Agriculture. Sana Press, 318 p. [In Persian]
47. Dastan, S., Soltani, A. & Alimagham, M. (2017). Documenting the process of local rice cultivars production in two conventional and semi-mechanized planting methods in Mazandaran province. *Journal of Cereal Research*, 7(4), 485-502. [In Persian]
48. Nezamzadeh, S. E., Soltani, A., Dastan, S. & Ajam Norouzi, H. (2019). Evaluation of yield gap associated with crop management in rapeseed production using comparative performance analysis (CPA) and boundary-line analysis (BLA) methods in Neka region. *Applied Field Crops Research (Pajouhesh & Sazandegi)*. 32(2), 76-107. [In Persian]
49. Nemecek, T., von Richthofen, J.S., Dubois, G., Casta, P., Charles, R. & Pahl, H. (2008). Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. *European Journal of Agronomy*, 28(3), 380-393.
50. Ouda, S., Zohry, A.E.H. & Noreldin, T. (2018). Crop Rotation: An Approach to Secure Future Food. Springer. Switzerland. 194 p.
51. De Ron, A.M. (2015). Grain Legumes (Volume 10 of handbook of plant breeding). Springer. New York Heidelberg Dordrecht London, 438 p.
52. Dobermann, A. R., Arkebauer, T. J., Cassman, K. G., Drijber, R. A., Lindquist, J. L., Specht, J. E., Walters, D. T., Yang, H., Miller, D. N., Binder, D. L., Teichmeier, G. J., Ferguson, R. B. & Wortmann, C. S. (2003). Understanding corn yield potential in different environments. Agronomy and Horticulture Faculty Publications, University of Nebraska-Lincoln. 16 p.
53. Mohammadi-Kashka, F., Tahmasebi-Sarvestani, Z. A., Pirdashti, H., Motevalli, A. & Nadi, M. (2022). Evaluation of management factors affecting soybean [*Glycine max* (L.) Merril] yield gap in Mazandaran province using comparative performance analysis (CPA). *Journal of Crop Production*, 15(1), 73-100.