Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 52, No 2, Summer 2021 (67-82)
DOI: 10.22059/IJFCS.2020.277054.654585

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۲، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۰ (ص۸۲-۶۷)

شناسایی عوامل محدود کننده تولید ارقام محلی برنج در منطقه ساری

محبوبه یوسفیان[۱]، افشین سلطانی[۲]، سلمان دستان*[۳] و حسین عجم نوروزی[٤]

۱و٤- دانشجو و استادیار، گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان، ۲- استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۳- پژوهشگر، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، کرج.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۲ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۲/۱٦)

چکیده

تخمین خلاء عملکرد برنج برای دانستن امکان رسیدن به عملکرد بالاتر و برنامه‌ریزی‌های مناسب، ضرورت دارد؛ از این رو، این پژوهش با هدف شناسایی عوامل محدود کننده تولید ارقام بومی برنج انجام شد. تمامی عملیات مدیریتی انجام شده از مرحله تهیه بستر بذر تا برداشت، در ۱۰۰ مزرعه ارقام محلی برنج به‌صورت پیمایشی و از طریق مطالعات میدانی در منطقه ساری، طی سال‌های ۱۳۹٤ و ۱۳۹۵ ثبت شد. نتایج نشان داد که در مدل تحلیل مقایسه کارکرد (CPA)، عملکرد واقعی مزرعه و پتانسیل عملکرد محاسبه شده با مدل، به‌ترتیب ٤٤۹۱ و ۵۷۰۳ کیلوگرم در هکتار و میزان خلاء عملکرد، ۱۲۱۲ کیلوگرم در هکتار بود. میزان خلاء عملکرد مربوط به متغیر تعداد دفعات مصرف سرک، ۳۲٤ کیلوگرم در هکتار و معادل ۲۷ درصد از کل خلاء عملکرد برآورد شد. همچنین میزان خلاء عملکرد مربوط به آخرین سال از کاشت بقولات، ۲۱۸ کیلوگرم در هکتار معادل ۱۸ درصد از کل تغییر عملکرد بود. از ۱۰ متغیر وارد شده در مدل CPA، سهم متغیرهای مصرف کود سرک، تعداد دفعات مصرف سرک و محلول‌پاشی، ٤٤٤ کیلوگرم در هکتار، معادل ۳۷ درصد از کل خلاء عملکرد بود که مقدار قابل توجهی داشت و با تغذیه مناسب و رعایت تناوب زراعی صحیح در اراضی شالیزاری می‌توان به پتانسیل عملکرد رسید. طبق یافته‌های تابع خط مرزی (BLF)، میانگین عملکرد بر اساس حد بهینه ۱۲ متغیر مورد بررسی، ۵۳٦۹ کیلوگرم در هکتار با خلاء عملکرد ۸۸۱ کیلوگرم در هکتار بود. میانگین عملکرد نسبی و خلا عملکرد نسبی برای ۱۲ متغیر مورد بررسی، به‌ترتیب ۸۳/٦٤ و ۱٦/۳۵ درصد به‌دست آمد. بر اساس یافته‌ها می‌توان بیان کرد که دقت مدل تولید در هر دو روش مناسب بود و می‌تواند برای برآورد میزان خلاء عملکرد و تعیین سهم هر یک از عوامل محدود کننده عملکرد به کار گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل عملکرد، خلاء نسبی، عملکرد نسبی، عملکرد واقعی، مدیریت زراعی

Identification of production constraining factors of local rice cultivars production in Sari region

Mahboubeh Yousefian[1], Afshin Soltani[2], Salman Dastan*[3], HoseinAjamnorouzi[4]

1,4. Department of Agronomy, Islamic Azad University of Gorgan, Gorgan, Iran. 2. Deptment of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. 3. Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Karaj, Iran.

(Received: March 3, 2019- Accepted: May 5, 2020)

ABSTRACT

Identifying the constraining factors of production and yield gap is very important. Therefore; this research was performed to identify the production constraining factors of local rice cultivars. All management practices from nursery preparation to harvesting stages for 100 paddy fields of local rice cultivars were recorded through field studies, in Sari, from 2015-2016. In the CPA, the actual and calculated potential yield were 4495 and 5703 kg/ha, respectively and the gap was 1221 kg/ha. The yield gap caused by number of top-dressing variables was 324 kg/ha, equal to 27% of the total yield gap. The yield gap related to previous year of legumes cultivation was 218 kg ha^{-1}, equal to 18% of the total yield variation. Among the 10 variables entered in the CPA model, the effects of top-dress fertilizer application and its application frequency and foliar application were remarkable, which could compensate a significant part of the yield gap (444 kg/ha, 37% of total) in the farmers' fields by managing these variables. According to boundary line analysis (BLA) finding, actual yield mean on the basis of optimal limit related to 12 variables under study was 5369 kg/ha, with 881 kg/ha yield gap . Mean relative yield and relative yield gap for 12 variables (transplanting date, seedling age, number of seedlings per hill, planting density, nitrogen and phosphorous per hectare, nitrogen before transplanting, harvesting date, lodging problem, pest problem, diseases problem and weeds problem) were 83.64 and 16.35 kg/ha, respectively. Based on the finding, it can be stated that the model precision is appropriate and can be applied for both estimation of the quantity of yield gap and determining the portion of each restricting yield variables.

Keywords: Actual yield, crop management, potential yield, relative gap, relative yield.

* Corresponding author E-mail: dastan@abrii.ac.ir

مقدمه

در حال حاضر، جمعیت جهان ۷/۶ میلیارد نفر است که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ به حدود نه میلیارد نفر برسد (CIA, 2018). ظرفیت نهایی تولید غذا در جهان از طریق میزان زمین‌های مناسب و منابع آب در دسترس برای تولید محصولات زراعی و همچنین محدودیت‌های بیوفیزیکی رشد گیاهان زراعی محدود می‌شود (van Ittersum *et al.,* 2013). از بین بردن فاصله بین عملکردی که در حال حاضر در مزارع به‌دست می‌آید و عملکردی که می‌تواند با استفاده از بهترین ارقام سازگار با محیط و مناسب‌ترین روش‌های مدیریت آب، خاک و گیاه به‌دست آید، راهکار کلیدی برای غلبه بر چالش تغذیه‌ای جمعیت در حال رشد جهان است (Hochman *et al.,* 2013).

یکی از مشکلات اساسی تولید گیاهان زراعی در کشور ایران، اختلاف زیاد بین عملکرد واقعی کشاورزان و عملکرد دسترسی است. در سال‌های اخیر، به‌علت نگرانی‌های به‌وجود آمده در مورد مباحث امنیت غذایی، مطالعات در این زمینه در سطح جهان (Lobell *et al.,* 2009; van Ittersum *et al.,* 2013; Wang *et al.,* 2015) و ایران (Torabi *et al.,* 2011, 2013; Hajarpour *et al.,* 2015; Soltani *et al.,* 2016; Hajarpour *et al.,* 2017; Nehbandani *et al.,* 2017; Halalkhor *et al.,* 2018) رو به افزایش بوده است و نیاز است تا با روش‌های آماری مناسب، اقدام به برآورد میزان خلاء عملکرد و دلایل آن و یا به‌عبارتی شناسایی عوامل محدود کننده عملکرد پتانسیل کرد (Hajarpour *et al.,* 2015). در این راستا، روش‌های مختلفی جهت آنالیز خلاء عملکرد وجود دارد که شامل اندازه‌گیری پیمایشی و مصاحبه با کشاورز (Fujisaka, 1991)، تجزیه و تحلیل چند متغیره و همبستگی آماری بین عملکرد و متغیرهای مدیریتی (Kalivas & Kollias, 2001)، مدل‌های شبیه‌سازی (Lobel *et al.,* 2009) و رتبه‌بندی و الویت‌بندی عوامل با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی می باشد (Torabi *et al.,* 2013). یکی از این روش‌ها که توانایی برآورد عملکرد پتانسیل و دلایل خلاء عملکرد را دارد، تحلیل مقایسه کارکرد (CPA) و تابع خط مرزی (BLF) است (Soltani *et al.,* 2016). در واقع، آنالیز خلاء عملکرد، یک تخمین کمّی از امکان افزایش ظرفیت تولید را فراهم می‌کند که یک جزء مهم در طراحی راهبردهای تأمین غذا در مقیاس منطقه‌ای، ملی و در سطح جهانی است (van Wart *et al.,* 2013). خلاء عملکرد، اختلاف بین عملکرد پتانسیل با عملکرد واقعی به‌دست آمده از مزرعه تحت شرایط مطلوب مدیریتی را نشان می‌دهد (van Ittersum *et al.,* 2013).

در روش تحلیل مقایسه کارکرد، با استفاده از رگرسیون چندگانه و با روش گام‌به‌گام (Soltani *et al.,* 2016)، محدودیت‌های اصلی عملکرد و توابع کمّی شده برای خلاء عملکرد در مدل تولید تعیین می‌شود (De Bie, 2000). اگرچه روش‌های رگرسیونی، روابط بین متغیرهای مختلف با عملکرد را به خوبی نشان می‌دهند، اما همبستگی بین این متغیرها و تأثیر هم‌زمان و نهایی برهمکنش آن‌ها بر عملکرد، به‌دلیل نشان دادن میانگین پراکندگی داده‌ها، باعث پنهان شدن بخش مهمی از اطلاعات و تخمین پایین‌تر از حد پتانسیل عملکرد خواهد می‌شود (Shatar & Mcbratney, 2004). این در حالی است‌که استفاده از میانگین‌ها برای زمانی مناسب است که مدیریت یکسانی برای به‌دست آمدن عملکردها مورد استفاده قرار گرفته باشد. بنابراین، بهتر است با روش‌های آماری مناسب دیگر نیز اقدام به برآورد پتانسیل عملکرد و شناسایی عوامل محدود کننده آن پرداخت. از این‌رو، تابع خط مرزی، روشی است که به‌نظر می‌رسد در این‌گونه مطالعه‌ها می‌تواند مکملی برای روش‌های رگرسیونی و مدل‌های آماری معمول باشد. در این روش، با استفاده از معادله $Ymax = f(X; \theta)$، بین حداکثر عملکردهای به‌دست آمده و یک متغیر هدف (بدون در نظر گرفتن اثر سایر عوامل مؤثر بر عملکرد)، یک رابطه برقرار می‌کند که در این معادله، Ymax یا حداکثر عملکرد، به‌عنوان تابعی از مقادیر مختلف متغیر و X و θ نیز مؤلفه‌های معادله هستند که از طریق اندازه‌گیری‌های X و Y در مزارع مختلف تخمین زده می‌شوند (Makowski *et al.,* 2007). این روش باعث شناخت پاسخ عملکرد به تنها

یک متغیر از میان داده‌های متعدد جمع‌آوری شده می‌شود؛ در حالی‌که عملکرد به خودی خود تحت تأثیر متغیرهای زیادی قرار دارد و در اصل عملکرد نهایی، میانگینی از پاسخ‌های مختلف به این متغیر است (Shatar & Mcbratney, 2004).

از مهم‌ترین مطالعات انجام شده در زمینه آنالیز خلاء عملکرد برنج در جهان می‌توان به آنالیز خلاء عملکرد با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد (CPA) توسط برخی محققان اشاره کرد (Rajapakse, 2003; Pradhan, 2004; Kayiranga, 2006). از دیگر مطالعات در این زمینه برای گیاه برنج می‌توان به آنالیز خلاء عملکرد برنج در نظام‌های کاشت رایج و ارگانیک در مدیترانه (Delmottea *et al.,* 2011)، تعیین عوامل مؤثر بر تنوع عملکرد برنج غرقابی در Southern-central Benin (Tanaka *et al.,* 2013)، تعیین عوامل رکود یا کاهنده عملکرد عملکرد برنج در نظام‌های کاشت غرقابی در Senegal River Valley (Tanaka *et al.,* 2015)، آنالیز خلاء عملکرد نظام‌های کاشت برنج در آمریکا (Epse *et al.,* 2016a,b)، شبیه‌سازی خلاء عملکرد برنج در دنیا (Mueller *et al.,* 2012)، خلاء عملکرد برنج غرقابی در کشور چین (Xu *et al.,* 2016) و آنالیز خلاء عملکرد برنج با استفاده از مدل‌سازی در فیلیپین (Silva *et al.,* 2017) اشاره کرد. همچنین در مطالعه‌ای دیگر نیز خلاء عملکرد برنج ۱۸۵۵ کیلوگرم در هکتار برآورد شد (Kayiranga, 2006). محقق دیگری نیز نشان داد کود با ۳۳ درصد، کمبود آب با ۲۶ درصد، برداشت دیرهنگام با ۱۸ درصد، وجین دستی در نوبت دوم با ۱۶ درصد و به تعویق افتادن نشاکاری با هفت درصد،به‌ترتیب مهم‌ترین عوامل ایجاد خلاء عملکرد در برنج، به میزان ۲۳۶۵ کیلوگرم در هکتار بودند (Rajapakse, 2003).

از بین بردن فاصله بین عملکردی که در حال حاضر در مزارع کشاورزان به‌دست می‌آید و عملکردی که می‌تواند با استفاده از بهترین ارقام سازگار با محیط و مناسب‌ترین روش‌های مدیریت آب، خاک و گیاه به‌دست آید، راهکار کلیدی برای دستیابی به عملکرد قابل حصول است. انتظار تأمین تقاضای شدید غذایی از طریق افزایش سطح زیر کشت، قابل توجیه نیست، زیرا در ابتدا، زمین‌های مناسب برای کشاورزی کم بوده است و سپس تقاضای زمین برای کاربری‌های غیرکشاورزی افزایش یافته است؛ بنابراین اولین قدم برای کاهش خلاء عملکرد، مشخص کردن متغیرهای مهم محدود کننده عملکرد است. شناخت متغیرهای محدود کننده عملکرد می‌تواند محققان را در تلاش برای کاهش خلاء عملکرد یاری دهد. کاهش خلاء عملکرد، نه تنها به افزایش عملکرد و تولید کمک می‌کند، بلکه کارایی استفاده از زمین و نیروی انسانی را بهبود می‌بخشد که در نتیجه، هزینه تولید را کاهش و پایداری عملکرد را افزایش می‌دهد. از این‌رو، شناسایی عوامل خلاء عملکرد برنج برای دانستن امکان رسیدن به عملکرد بالاتر و برنامه‌ریزی‌های مناسب ضرورت دارد. بنابراین، این پژوهش با هدف برآورد خلاء عملکرد برنج مرتبط با مدیریت زراعی ارقام بومی برنج، به دو روش تحلیل مقایسه کارکرد و تابع خط مرزی در منطقه ساری واقع انجام شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی و اقلیم منطقه

شهرستان ساری در استان مازندران،در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۵ دقیقه شرقی قرار دارد. این شهرستان از شمال به دریای مازندران، از جنوب به سلسله جبال البرز، از مشرق به نکا و از غرب به قائم‌شهر منتهی می‌شود. آب و هوای قسمت جلگه‌ای ساری، مطلوب و معتدل و هوای قسمت کوهستانی آن سردسیری است.

مهم‌ترین داده‌های آب و هوایی در طی دوره نمو و رشد گیاه برنج در منطقه در جدول ۱ آمده است. داده‌های هواشناسی به‌صورت ماهانه، از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک دشت‌ناز با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۷ دقیقه با ارتفاع ۲۹ متر از سطح دریای آزاد جمع‌آوری شد (جدول ۱). برای محاسبه تابش خورشیدی (مگاژول در مترمربع در روز)، از برنامه *Srad_calc* استفاده شد که ضرایب انگسترم برنامه مورد استفاده قرار گرفت (Soltani & Maddah, 2010). این برنامه از داده‌های ساعت آفتابی هر منطقه برای محاسبه تابش خورشیدی

استفاده می‌کند. برای محاسبه طول روز نیز از برنامه *PP_calc* استفاده شد (Soltani & Maddah, 2010) (جدول ۱).

جدول ۱- میانگین داده‌های آب و هوایی در دوره رشد برنج در مقایسه با آمار بلند مدت (۹۵-۱۳۸۰) در منطقه ساری.
Table 1. Mean weather parameters in the rice growing period (2015-2016) and their comparison to long term period data (2001-2016) in Sari region.

Month	Min. temp. (°C)	Max. temp. (°C)	Evaporation (mm)	Total rain (mm)	Relative humidity (%)	Mean sunshine hours	Solar radiation ($MJ/m^2/d$)
Apr.-May	9.5	19.5	71.8	98.7	76	157.7	14.7
May-Jun.	15.8	25.2	115.9	27.0	77	168.8	17.0
Jun.-Jul.	19.2	28.6	154.4	23.7	76	252.2	22.2
Jul.-Aug.	22.2	31.4	169.4	59.4	75	238.0	21.3
Aug.-Sep.	22.6	33.5	193.9	6.7	73	269.5	21.9
Sep.-Oct.	21.2	32.0	156.6	99.3	71	240.5	18.6
Mean 15 years	18.3	25.2	147.6	89.0	73.5	208.8	19.5

جمع‌آوری داده‌ها

تمامی عملیات مدیریتی انجام شده از مرحله شخم اولیه و تهیه خزانه تا برداشت مربوط به ۱۰۰ مزرعه در منطقه ساری واقع در استان مازندران، به‌صورت پیمایشی و از طریق مطالعات میدانی برای برآورد خلاء عملکرد ثبت شد. برای تعیین تعداد مزارع (نمونه)، از فرمول کوکران استفاده شد. تمامی مزارع مورد مطالعه متعلق به ارقام محلی بود که ۵۲ مزرعه متعلق به رقم طارم هاشمی، ۲۴ مزرعه متعلق رقم طارم محلی و ۱۲ مزرعه مربوط به رقم سنگ طارم بود. تنها سه مزرعه مربوط به رقم طارم دیلمانی، دو مزرعه مربوط به رقم طارم طلایی، سه مزرعه زیر کشت طارم اشرفی، یک مزرعه مربوط به رقم گرده و سه مزرعه متعلق به رقم طارم عالم سبز بود. مشخصات ارقام در جدول ۲ ارایه شده است.

جدول ۲- مشخصات ارقام مورد بررسی (Allahgholipour and Mohammad Salehi, 2014).
Table 2. Studied rice cultivar characteristics.

Cultivar	Growth condition	Maturity condition	Paddy yield (kg/ha)	Quality condition	Tolerance to stress	Origin
Tarom Hashemi	Tall plant	Early maturing	4100	High quality	Low sensitive	Guilan
Tarom Mahalli	Tall plant	Early maturing	3600	High quality	Sensitive	Mazandaran
Sang Traom	Tall plant	Early maturing	4100	High quality	Sensitive	Mazandaran
Tarom Deilamani	Tall plant	Early maturing	3850	High quality	Sensitive	Mazandaran
Tarom Talaii	Tall plant	Early maturing	4100	High quality	Sensitive	Mazandaran
Tarom Ashrafi	Tall plant	Early maturing	4200	High quality	Sensitive	Mazandaran
Gardeh	Tall plant	Early maturing	4500	High quality	Relatively sensitive	Mazandaran
Tarom Alam Sabz	Tall plant	Early maturing	4000	High quality	Sensitive	Mazandaran

در این بررسی‌ها، شیوه انجام هر عملیات مدیریتی در هر یک از مراحل کاشت، داشت و برداشت و همچنین نسبتی از کشاورزان که از شیوه‌های مختلف هر یک از این عملیات مدیریتی استفاده کردند، مشخص شد. کلیه اطلاعات مربوط به مدیریت زراعی شامل عملیات تهیه بستر بذر (نوع، تعداد و زمان شخم، دیسک و غیره)، رقم مورد استفاده و محل تهیه بذر، زمان کاشت، کود (نوع کود، میزان کود و زمان مصرف کود)، مبارزه با آفات، بیماری‌ها و علف‌های‌هرز، آبیاری (تعداد و زمان آبیاری)، زمان برداشت و میزان عملکرد جمع‌آوری شد. این اطلاعات در قالب پرسش‌نامه و از طریق مصاحبه رو در رو با کشاورزان جمع‌آوری شد. در پایان فصل رشد، میزان عملکرد واقعی برداشت شده توسط کشاورزان نیز ثبت شد. برای انجام این تحقیق، ابتدا مزارع به‌طور تصادفی شناسایی و انتخاب شدند. شیوه شناسایی مزارع به گونه‌ای بود که کلیه روش‌های عمده تولید در منطقه

ساری را پوشش داده و از لحاظ مدیریتی نیز دارای تنوع بودند. سپس، اطلاعات مربوط به مدیریت مزرعه جمع‌آوری شدند. برای جمع‌آوری اطلاعات مربوط به مدیریت مزرعه، ابتدا تمامی اعمال زراعی تفکیک شدندو پس از آن، با شروع هر عملیات، وبا توجه به نوسانات دمایی، تنوع روش‌های تولید و مقادیر مختلف کاربرد نهاده‌ها (ورودی‌ها) توسط کشاورزان منطقه و به منظور تهیه اطلاعات جامع‌تر، اطلاعات بارز عملیات زراعی از قبیل تاریخ شروع هر عملیات و میزان ورودی‌ها در هر مرحله از اجرا (کاشت تا برداشت) از مزارع جمع‌آوری و ثبت شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تعیین مدل عملکرد (تولید)، رابطه بین تمامی متغیرهای اندازه‌گیری شده (کمی و کیفی؛ متغیرهای کیفی به صورت صفر و یک کدگذاری شدند) و عملکرد، با روش رگرسیون گام به گام (Rezaei & Soltani, 1998) مورد بررسی قرار گرفت. با قرار دادن میانگین مشاهده شده متغیرها (xها) در ۱۰۰ شالیزار مورد بررسی در مدل عملکرد، عملکرد میانگین با مدل محاسبه شد و سپس با قرار دادن میزان مطلوب متغیرها در مدل عملکرد، پتانسیل عملکرد محاسبه شد و اختلاف این دو، برابر خلاء عملکرد در نظر گرفته شد. اختلاف حاصل‌ضرب مقدار متوسط مشاهده شده برای هر متغیر در ضریب آن با حاصل‌ضرب مقدار بهترین مشاهده شده برای همان متغیر در ضریب همان متغیر، نشان‌دهنده مقدار خلاء عملکرد ایجاد شده برای آن متغیر است. نسبت خلاء عملکرد برای هر متغیر به کل خلاء عملکرد، نشان‌دهنده سهم آن در ایجاد خلاء عملکرد است و به‌صورت درصد نشان داده شد. مدل نهایی با استفاده از روش آزمون و خطای کنترل شده تعیین شد که می‌تواند اثر محدودیت‌های عملکرد را کمّی کند (Soltani *et al.*, 2000). از ۱۵۰ متغیر مورد بررسی، تنها پنج متغیر وارد معادله تولید تحلیل مقایسه کارکرد شد (جدول ۳). برای تجزیه و تحلیل از رویه‌های مختلف نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) استفاده شد.

در روش تابع خط مرزی با رسم نمودار پراکنش میزان عملکرد به‌دست آمده در هر منطقه به‌عنوان متغیر وابسته در مقابل متغیرهای مستقل، با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و رویه nlin، یک تابع بر لبه بالایی پراکنش داده‌ها برازش داده شد. بر اساس مرحله پنج و نحوه چیدمان داده‌ها، تابع مناسب (خطی، درجه دو، دو تکه‌ای و یا سه تکه‌ای) انتخاب شد. در واقع، توابع انتخاب شده برازش بهتری از داده‌ها داشتند.

نتایج و بحث

تخمین خلاء عملکرد بر اساس روش تحلیل مقایسه کارکرد

مدل تولید

یافته‌های مربوط به رگرسیون گام به گام برای تعیین مهم‌ترین متغیرهای مدیریتی مؤثر بر عملکرد و مدل عملکرد در جدول ۳ امده است. در این مدل رگرسیونی، عملکرد شلتوک در واحد سطح به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد و سایر متغیرها از قبیل پیش‌کاشت کلزا، آخرین سال از کاشت بقولات، ضدعفونی بذر، تاریخ بذرپاشی در خزانه، سن نشا، مرحله رشدی گیاهچه برای نشاکاری، نشاکاری مکانیزه، مصرف و تعداد دفعات مصرف سرک و محلول‌پاشی، به‌عنوان متغیرهای مستقل لحاظ شدند که نتیجه آن در معادله نهایی ارایه شد. در نهایت، با استفاده از این معادله تولید، میزان عملکرد واقعی، عملکرد قابل‌حصول و سهم هر کدام از متغیرها بر کاهش عملکرد تعیین شد. بنابراین، از حدود ۱۵۰ متغیر مورد بررسی، مدل (معادله رگرسیون نهایی) با ۱۰ متغیر مستقل انتخاب شد (جدول ۳). معادله نهایی عملکرد به‌صورت زیر بود:

$$Y(kg/h) = 4668 - 159X1 - 98X2 + 120X3 - 3X4 - 11X5 + 49X6 - 133X7 + 204X8 + 129X9 + 169X10$$

که در آن، Y: عملکرد شلتوک بر حسب کیلوگرم در هکتار، X_1: پیش‌کاشت کلزا، X_2: آخرین سال از کاشت بقولات، X_3: ضدعفونی بذر، X_4: تاریخ بذرپاشی در خزانه، X_5: سن نشا، X_6: مرحله رشدی گیاهچه زمان نشاکاری، X_7: نشاکاری مکانیزه، X_8: مصرف کود سرک، X_9: تعداد دفعات مصرف سرک، X_{10}: محلول‌پاشی عناصر است که در ادامه به بررسی تک تک عوامل مؤثر بر عملکرد پرداخته شده است.

عوامل محدودکننده عملکرد و تخمین خلاء عملکرد

در جدول ۳ متغیرهای وارد شده در معادله تولید به همراه میانگین، حداقل و حداکثر مقادیر مشاهده شده آن‌ها و نیز بهترین مقداری که می‌تواند در مدل رگرسیونی عملکرد قرار بگیرد، در مزارع آمده است. میزان خلاء عملکرد مربوط به ۱۰ متغیر وارد شده در معادله تولید، ۱۲۱۲ کیلوگرم در هکتار بود. بهترین حالت برای متغیرهای ضدعفونی بذر، مرحله رشدی گیاهچه زمان نشاکاری، مصرف کود سرک و تعداد دفعات مصرف آن و محلول‌پاشی با اثر مثبت، با در نظر گرفتن مقدار حداکثر آن‌ها انتخاب شدند (جدول ۳).

متغیرهای پیش‌کاشت کلزا، آخرین سال از کاشت بقولات، تاریخ بذرپاشی در خزانه، سن نشا و نشاکاری مکانیزه به‌عنوان متغیر منفی بودند و مقادیر اندک آن‌ها انتخاب شد. بنابراین، مقدار بهینه معادل مقدار حداقل این پنج متغیر بود (جدول ۳). میزان افزایش عملکرد ناشی از تفاضل عملکرد حالت بهترین و متوسط دو متغیر پیش‌کاشت کلزا و آخرین سال از بقولات، به‌ترتیب ۵۷ و ۲۱۸ کیلوگرم در هکتار، معادل پنج و ۱۸ درصد بود که نشان می‌دهد پیش‌کاشت کلزا و تأخیر در کاشت بقولات، اثر منفی بر تولید برنج دارد که با رعایت تناوب زراعی با پیش‌کاشت بقولات می‌توان خسارت عملکرد ناشی از این دو متغیر را جبران کرد. همچنین میزان تغییر عملکرد مربوط به دو متغیر تاریخ بذرپاشی در خزانه و سن نشا نیز به‌ترتیب ۱۲۰ و ۱۳۲ کیلوگرم در هکتار؛ معادل ۱۰ و ۱۱ درصد از کل خلاء بود. طبق یافته‌ها، بذرپاشی در زمان مناسب و استفاده از نشاهای جوان برای نشاکاری می‌تواند خسارت عملکرد مربوط به این دو متغیر را جبران کند. علاوه بر چهار متغیر ذکر شده، نشاکاری مکانیزه نیز اثر منفی بر عملکرد داشت که خلاء عملکردی برابر ۶۳ کیلوگرم در هکتار، معادل پنج درصد از کل را نشان داد و به‌نظر می‌رسد که باتلاقی بودن اراضی منطقه و استفاده از نشاهای با سن گیاهچه بالا با تعداد نشای پایین در کپه، منجر به کاهش عملکرد ناشی از نشاکاری مکانیزه شده است (جدول ۳).

میزان افزایش عملکرد مربوط به اثر متغیر ضدعفونی بذر قبل از کاشت، ۴۸ کیلوگرم در هکتار، معادل چهار درصد از کل افزایش عملکرد بود. هرچند ضدعفونی بذر سهم ناچیز در افزایش عملکرد را نشان داد، ولی با ضدعفونی بذر می‌توان به‌طور غیرمستقیم، اثر منفی و خسارت مربوط به سایر متغیرها را نیز جبران کرد. مقدار افزایش عملکرد مربوط به اثر استفاده از مصرف کود سرک و تعداد دفعات آن نیز به‌ترتیب ۴۹ و ۳۲۴ کیلوگرم در هکتار، معادل چهار و ۲۷ درصد از کل تغییر عملکرد بود. در مجموع، مدیریت صحیح تغذیه گیاه در سرک با تعداد دفعات لازم توانست ۳۷۳ کیلوگرم در هکتار، معادل ۳۱ درصد از کل خلاء عملکرد را جبران کند که سهم قابل‌توجهی را به خود اختصاص داد ومدیریت لازم در این زمینه ضروری است. میزان افزایش عملکرد مربوط به اثر متغیر محلول‌پاشی عناصر غذایی، ۷۱ کیلوگرم در هکتار، معادل شش درصد از کل افزایش عملکرد بود که با تغذیه و محلول‌پاشی در مراحل حساس رشدی خسارت عملکرد جبران خواهد شد (جدول ۳). از ۱۰ متغیر وارد شده در مدل، سهم متغیرهای مصرف کود سرک و تعداد دفعات مصرف آن و محلول‌پاشی، قابل توجه بود که ۴۴۴ کیلوگرم در هکتار، معادل ۳۷ درصد از کل خلاء عملکرد را نشان داد. بنابراین، طبق یافته‌ها می‌توان با تغذیه مناسب و رعایت تناوب زراعی صحیح در اراضی شالیزاری به پتانسیل عملکرد رسید.

جدول ۳، کل خلاء عملکرد و سهم هر یک از عوامل محدود کننده عملکرد نسبت به آن را نشان می‌دهد. در مدل عملکرد، متوسط و حداکثر عملکرد به‌ترتیب ۴۴۹۱ و ۵۷۰۳ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد که با متوسط و حداکثر عملکرد مشاهده شده (۴۴۸۵ و ۵۴۳۰ کیلوگرم در هکتار) قابل مقایسه هستند. کل خلاء عملکرد تخمین زده شده ۱۲۱۲ کیلوگرم در هکتار بود. در بابل نیز میزان خلاء عملکرد ارقام محلی برنج به روش CPA برابر ۱۹۷۷ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (Halalkhor *et al.*, 2018). این بدان معنی است که بین عملکرد واقعی کشاورزان منطقه و آن‌چه می‌توانند برداشت کنند، ۱۲۱۲ کیلوگرم در هکتار فاصله وجود

جدول ۳- کمی کردن خلاء عملکرد برنج و سهم هر یک از متغیرهای وارد شده در معادله تولید.

Table 3. Quantifying the rice yield gap and the contribution of each variable entered in the production equation.

Variable	Coefficients	Variable in the paddy field				Predicted yield		Yield gap (kg ha^{-1})	Yield gap (%)
		Min.	Mean*	Max.	Best	Mean	Best		
Intercept	4668	-	-	-	-	4668	4668	-	-
Canola pre-sowing (X_1)	-159	0	0.36	1	0	-57	0	57	5
Previous year of legume cultivation (X_2)	-98	1	3.22	8	1	-316	-98	218	18
Seed disinfection (X_3)	120	0	0.60	1	1	72	120	48	4
Seeding date in nursery (X_4)	-3	-19	21.00	72	-19	-63	57	120	10
Seedling age (X_5)	-11	20	32.00	68	20	-352	-220	132	11
Seedling growth during transplanting (X_6)	49	2	3.33	6	6	163	294	131	11
Mechanized transplanting (X_7)	-133	0	0.47	1	0	-63	0	63	5
Top-dress usage (X_8)	204	0	0.76	1	1	155	204	49	4
No. top-dress (X_9)	129	0	1.49	4	4	192	516	324	27
Foliar application (X_{10})	162	0	0.56	1	1	91	162	71	6
Paddy yield (kg ha^{-1})	-	3100	4485	5430	-	4491	5703	1212	100

*: مقادیر میانگین، مربوط به متوسط مقدار متغیرهای کمی و کیفی در ۱۰۰ مزرعه مورد بررسی هستند.

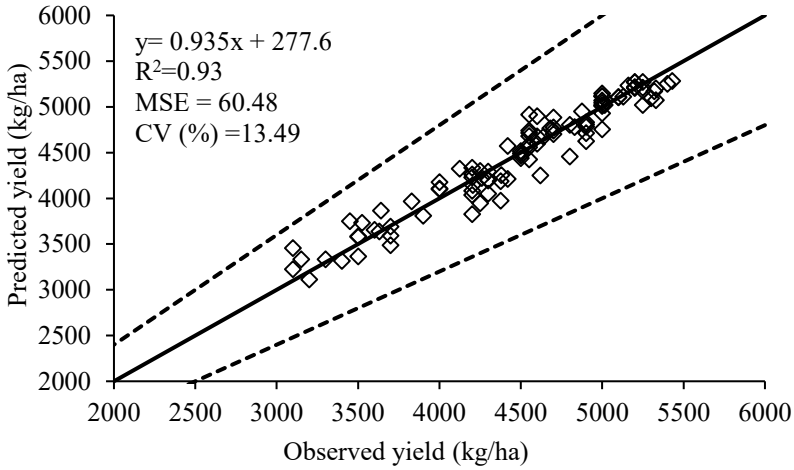
*: Average amounts are related to mean of variables in 100 studied paddy fields.

دارد که با مدیریت مناسب به‌ویژه با تغذیه اصولی و تناوب زراعی صحیح، قابل حذف یا کاهش خواهد بود (جدول ۳). شکل ۱، رابطه بین عملکرد واقعی (مشاهده شده) و عملکرد پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. این آماره نشان می‌دهد که MSE برابر ۶۰/۴۸ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین ضریب تبیین عملکرد مشاهده و پیش‌بینی شده برابر ۰/۹۳ و ضریب تغییرات برابر ۱۳/۴۹ بود. بنابراین، بر اساس برازش رابطه بین عملکرد مشاهده شده و عملکرد پیش‌بینی شده می‌توان بیان کرد که دقت مدل (معادله تولید) مناسب بوده است و می‌تواند برای برآورد میزان خلاء عملکرد و تعیین سهم هر یک از متغیرهای محدودکننده تولید به کار گرفته شود (شکل ۱).

طبق یافته‌های روش تحلیل مقایسه کارکرد، میزان بالای خلاء عملکرد و سهم هر یک از عوامل مؤثر بر آن نشان می‌دهد که با مدیریت مناسب می‌توان بخش قابل توجهی از این خلاء را جبران کرد و به پتانسیل عملکرد رسید. دست‌یابی به پتانسیل عملکرد، به ندرت در محصولات زراعی حاصل می‌شود و در عمل تنها بخشی از آن به‌عنوان محصول واقعی از مزرعه برداشت می‌شود.

تخمین خلاء عملکرد بر اساس روش تابع خط مرزی

با رسم پراکنش داده‌های عملکرد در مقابل مهم‌ترین متغیرهای مدیریتی (عوامل مدیریتی مؤثر بر عملکرد)، بالاترین عملکردها در سطوح مختلف هر نهاده یا مدیریت خاص برای هر متغیر انتخاب شدند. از طریق برازش یک خط به لبه بالایی داده‌ها (بالاترین عملکردهای انتخاب شده در هر دامنه)، پاسخ عملکرد به‌عنوان متغیر وابسته به متغیرهای مستقل (مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر عملکرد) تعیین شد. از طریق برازش یک خط به لبه بالایی داده‌ها مشخص شد که پاسخ عملکرد به‌عنوان متغیر وابسته به متغیرهای مستقل مقدار نیتروژن و فسفر خالص در هکتار، از یک تابع دو تکه‌ای مثبت تبعیت می‌کند (جدول ۴).



شکل ۱- رابطه بین عملکرد مشاهده شده و پیش‌بینی شده. دامنه ۲۰ درصد از اختلاف بین پیش‌بینی شده و مشاهده شده توسط خطوط منقطع نشان داده شده است. خط ممتد، خط ۱:۱ است.

Figure 1. Relationship between observed and predicted yields. 20% of the differences between predicted and observed yields are shown by segmented lines.

متغیر تاریخ نشاکاری و تاریخ برداشت نیز از یک معادله درجه دو تبعیت کرد. طبق یافته‌ها، متغیرهای سن و تعداد نشا در کپه، تراکم کاشت و مصرف نیتروژن قبل از نشا، از یک تابع دو تکه‌ای با شیب منفی تبعیت کردند. یافته‌ها نشان می‌دهد که عملکرد نقاطی که پایین‌تر از خط مرزی بودند، توسط سایر عوامل محدود شده‌اند. علاوه بر این، متغیرهای مشکل خوابیدگی بوته، آفات، بیماری و علف‌های‌هرز، از تابع خطی تبعیت کردند. متوسط عملکرد مزرعه ۴۴۹۵ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج آنالیز خط مرزی , محاسبه پتانسیل عملکرد و خلاء عملکرد برنج.

Table 4. Boundary line analysis and rice potential yield and yield gap estimations.

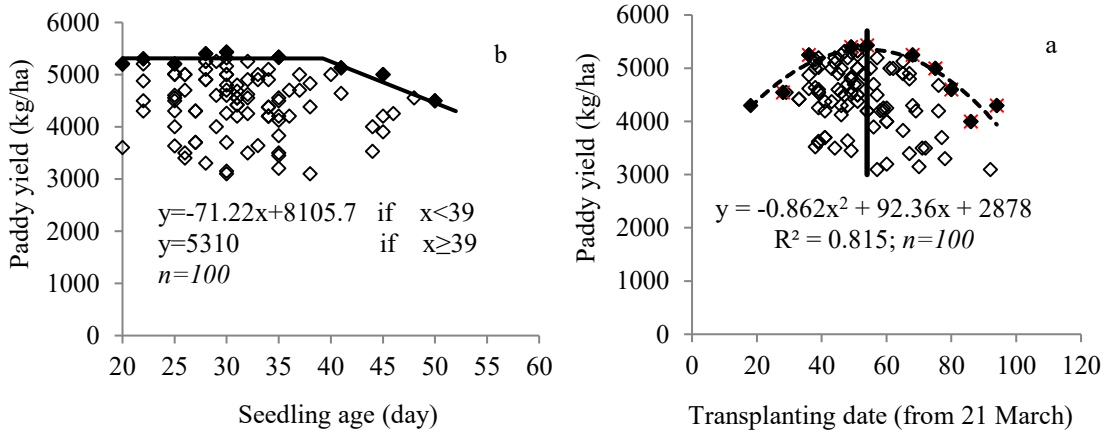
Variable	Unit	Minimum optimal level	Out of optimal (%)	Yield based on optimal level (kg/ha)	Relative yield (%)	Yield gap (kg/ha)	Relative yield gap (%)	Yield gap (%)
Transplanting date	from 21 March	54	95	5430	82.78	935	17.22	8.85
Seedling age	day	39	11	5310	84.65	815	15.35	7.71
Seedling per hill	No.	7	4	5351	84.00	856	16.00	8.10
Planting density	No.	44	4	5247	85.67	752	14.33	7.11
Nitrogen	Kg/ha	25.51	5	5232	85.91	737	14.09	6.97
Phosphorous	Kg/ha	19	4	5289	84.99	794	15.01	7.51
N before transplanting	Kg/ha	84.35	12	5255	85.54	760	14.46	7.19
Harvesting date	from 21 March	149	96	5500	81.73	1005	18.27	9.51
Lodging problem	*	0	63	5493	81.83	998	18.17	9.44
Pests problem	*	0	74	5493	81.83	998	18.17	9.44
Diseases problem	*	0	69	5473	82.13	978	17.87	9.25
Weed problem	*	0	91	5436	82.69	941	17.31	8.90
Mean	-	-	-	5369	83.64	881	16.35	100

*: مشکل خوابیدگی بوته، آفات، بیماری‌ها و علف‌های‌هرز، به‌ترتیب عبارتند از: هیچ (۰)، کم (۱)، متوسط (۲)، زیاد (۳) و خیلی زیاد (۴). متوسط عملکرد مزارع برابر ۴۴۹۵ کیلوگرم در هکتار بود.

* The problem of plant lodging problem, pests, diseases, weeds are: none (0), low (1), medium (2), high (3) and very high (4), respectively. The average yield in 100 paddy fields was 4495 kg/ha.

آنالیز خط مرزی مربوط به متغیر تاریخ نشاکاری نشان داد که ۹۵ درصد از مزارع، خارج از حد بهینه بودند. حداقل حد بهینه مربوط به این متغیر، ۵۴ روز از اول فروردین بود (جدول ۴). عملکرد بر اساس حد بهینه این متغیر، ۵۴۳۰ کیلوگرم در هکتار و با خلاء عملکرد ۹۳۵ کیلوگرم در هکتار (۸/۸۵ درصد از کل) به‌دست آمد. عملکرد نسبی و خلاء نسبی تحت اثر متغیر تاریخ

نشاکاری، به‌ترتیب ۸۲/۷۸ و ۱۷/۲۲ درصد بود (شکل ۲الف).



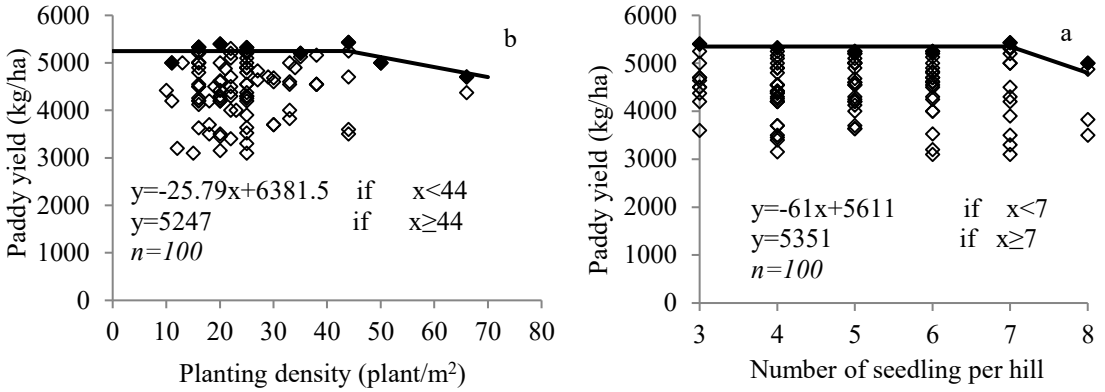
شکل ۲- پراکنش داده‌های عملکرد در مقابل متغیر تاریخ نشاکاری (الف) و سن نشا (ب) به همراه تابع خط مرزی.

Figure2. Scatter plots of paddy yield data Vs transplanting date (a) and seedling age (b) variables with the fitted boundary line.

حداقل حد بهینه برای سن نشا ۳۹ روز بود. این متغیر از تابع دو تکه‌ای منفی تبعیت کرد که نشان می‌دهد سن نشا ۲۰ تا ۳۹ روز، تأثیر منفی بر عملکرد نداشته است و نشای بالاتر از ۳۹ روز، منجر به کاهش عملکرد شد. درصد مزارع خارج از حد بهینه برای این متغیر، ۱۱ درصد بود. عملکرد بر اساس حد بهینه، ۵۳۱۰ کیلوگرم در هکتار با خلاء عملکرد ۸۱۵ کیلوگرم در هکتار، معادل ۷/۷۱ درصد به‌دست آمد (شکل ۲ب). عملکرد نسبی و خلاء نسبی مربوط به متغیر سن نشا نیز به‌ترتیب ۸۴/۶۵ و ۱۵/۳۵ درصد به‌دست آمد (جدول ۴).

یافته‌های مربوط به متغیر تعداد نشا در کپه نشان می‌دهد که چهار درصد از مزارع، خارج از حد بهینه بودند و حداقل حد بهینه، هفت نشا بود. عملکرد بر اساس حد بهینه برای این متغیر، ۵۳۵۱ کیلوگرم در هکتار بود که دارای خلاء عملکردی ۸۵۶ کیلوگرم در هکتار (۸/۱۰ درصد) و عملکرد نسبی ۸۴ درصد و خلاء نسبی ۱۶ درصد بود (شکل ۳الف).

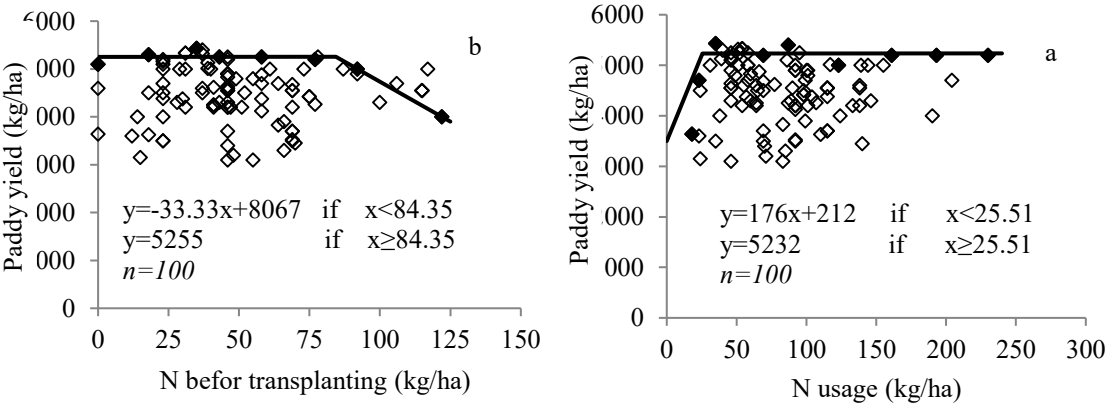
یافته‌های آنالیز خط مرزی متغیر تراکم کاشت نیز نشان می‌دهد که حداقل حد بهینه تراکم کاشت، ۴۴ بوته در متر مربع بود و چهار درصد از مزارع، خارج از حد بهینه بودند (جدول ۴). عملکرد بر اساس حد بهینه نیز تحت اثر این متغیر، ۵۲۴۷ کیلوگرم در هکتار با خلاء عملکرد معادل ۷۵۲ کیلوگرم در هکتار (۷/۱۱ درصد از کل) بود (شکل ۳ب). همچنین، عملکرد نسبی و خلاء نسبی مربوط به متغیر تراکم کاشت، ۸۵/۶۷ و ۱۴/۳۳ درصد بود (جدول ۴).



شکل ۳- پراکنش داده‌های عملکرد در مقابل متغیر تعداد نشا در کپه (الف) و تراکم کاشت (ب) به همراه تابع خط مرزی.

Figure 3. Scatter plots of paddy yield data Vs seedling per hill (a) and planting density (b) variables with the fitted boundary line.

طبق یافته‌های جدول ۴ مشاهده می‌شود که حداقل حد بهینه برای مصرف کود نیتروژن، ۲۵/۵۱ کیلوگرم در هکتار بود و درصد خارج از حد بهینه این متغیر، پنج درصد بود. عملکرد بر اساس حد بهینه و خلاء عملکرد به‌ترتیب ۵۲۳۲ و ۷۳۷ کیلوگرم در هکتار و میزان خلاء عملکرد، ۶/۹۷ درصد بود (شکل ۴الف). عملکرد نسبی و خلاء نسبی برای متغیر مصرف کود نیتروژن، به‌ترتیب ۸۵/۹۱ و ۱۴/۰۹ درصد به‌دست آمد (جدول ۴). تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به کود فسفر نیز نشان می‌دهد که حداقل حد بهینه، ۱۹ کیلوگرم در هکتار و درصد مزارع خارج از حد بهینه، چهار درصد بود. عملکرد بر اساس حد بهینه برای این متغیر، ۵۲۸۹ کیلوگرم در هکتار و خلاء عملکرد ۷۹۴ کیلوگرم در هکتار (۷/۵۱ درصد) بود. برای متغیر کود فسفر، عملکرد نسبی و خلاء نسبی به‌ترتیب ۸۴/۹۹ و ۱۵/۰۱ درصد برآورد شد (جدول ۴). آنالیز خط مرزی برای متغیر مصرف نیتروژن قبل از نشاکاری (پایه) نشان داد که حداقل حد بهینه ۸۴/۳۵ کیلوگرم در هکتار و درصد مزارع خارج از حد بهینه ۱۲ درصد بود. عملکرد بر اساس حد بهینه برای متغیر مصرف نیتروژن در مرحله قبل از نشاکاری ۵۲۵۵ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین، خلاء عملکردی برابر ۷۶۰ کیلوگرم در هکتار، معادل ۷/۱۹ درصد از کل به‌دست آمد (شکل ۴ب). عملکرد نسبی مربوط به متغیر مصرف نیتروژن در مرحله قبل از نشاکاری، ۸۵/۵۴ درصد و خلاء نسبی این متغیر نیز برابر ۱۴/۴۶ درصد بود (جدول ۴).



شکل ۴- پراکنش داده‌های عملکرد در مقابل متغیر مصرف کود نیتروژن در هکتار (الف) و مصرف نیتروژن قبل از نشاکاری (ب).

Figure 4. Scatter plots of paddy yield data Vs applied nitrogen (kg/ha) (a) and applied nitrogen (kg/ha) before transplanting (b) variables with the fitted boundary line.

آنالیز تابع خط مرزی مربوط به متغیر تاریخ برداشت نشان می‌دهد که ۹۶ درصد از مزارع خارج از حد بهینه بودند. حداقل حد بهینه مربوط به این متغیر، ۱۴۹ روز از اول فروردین بود (جدول ۴). عملکرد بر اساس حد بهینه برای این متغیر، ۵۵۰۰ کیلوگرم در هکتار، با خلاء عملکردی ۱۰۰۵ کیلوگرم در هکتار (۹/۵۱ درصد از کل) به‌دست آمد. عملکرد نسبی و خلاء نسبی تحت اثر متغیر تاریخ نشاکاری، به‌ترتیب ۸۱/۷۳ و ۱۸/۲۷ درصد بود (جدول ۴).

نتایج تابع خط مرزی مربوط به چهار متغیر مشکلات خوابیدگی بوته، آفات، بیماری‌های و علف‌های‌هرز به‌صورت هیچ (۰)، کم (۱)، متوسط (۲)، زیاد (۳) و خیلی زیاد (۴) رتبه‌بندی شدند. یافته‌ها نشان داد که حداقل حد بهینه برای این چهار متغیر برابر صفر بود. درصد مزارع خارج از حد بهینه مربوط به چهار متغیر مشکلات خوابیدگی بوته، آفات، بیماری‌های و علف‌های هرز، به‌ترتیب برابر ۶۳، ۷۴، ۶۹ و ۹۱ درصد به‌دست آمد (جدول ۴). عملکرد بر اساس حد بهینه برای این چهار متغیر به‌ترتیب ۵۴۹۳، ۵۴۹۳، ۵۴۷۳ و ۵۴۳۶ کیلوگرم در هکتار و خلاء عملکرد آن‌ها به‌ترتیب ۹۹۸، ۹۹۸، ۹۷۸ و ۹۷۱ کیلوگرم در هکتار معادل ۹/۴۴، ۹/۴۴، ۹/۲۵ و ۸/۹۰ درصد بود. عملکرد نسبی مربوط به متغیرهای مشکلات خوابیدگی بوته، آفات، بیماری‌های و علف‌های‌هرز به‌ترتیب برابر ۸۱/۸۳، ۸۱/۸۳، ۸۲/۱۳ و ۸۲/۶۹ درصد و خلاء نسبی این چهار متغیر نیز به‌ترتیب برابر ۱۸/۱۷، ۱۸/۱۷، ۱۷/۸۷ و ۱۷/۳۱ درصد به‌دست آمد (جدول ۴). طبق یافته‌های تجزیه و تحلیل تابع خط مرزی مشاهده می‌شود که میانگین عملکرد بر اساس حد بهینه مربوط ۱۲ متغیر مورد بررسی برابر ۵۳۶۹ کیلوگرم در هکتار، با خلاء عملکرد ۸۸۱ کیلوگرم در هکتار بود. میانگین عملکرد نسبی و خلاء نسبی ۱۲ متغیر مورد بررسی نیز به‌ترتیب ۸۳/۶۴ و ۱۶/۳۵ درصد برآورد شد (جدول ۴).

هدف بسیاری از محققان نیز افزایش عملکرد تا حد قابل قبول برای نگهداری قیمت مواد غذایی در حدی است که هم برای مصرف‌کننده مطلوب باشد و هم قیمت تمام شده محصول بتواند هزینه‌ها را برای کشاورز پوشش دهد. به‌نظر می‌رسد که عملکردی معادل ۸۰ درصد عملکرد پتانسیل، یک آستانه تقریبی مطلوب از نظر اقتصادی در بیشتر نظام‌های کاشت گیاهان زراعی باشد (Lobell *et al.,* 2009). دست‌یابی به عملکرد بالاتر از ۸۰ درصد پتانسیل عملکرد، اگرچه امکان‌پذیر است، اما شاید با توجه به قیمت ادوات، کود، سم و همچنین هم‌پوشانی فصل کاشت محصولات، از نظر اقتصادی برای کشاورزان منطقه مقرون به صرفه نباشد. علاوه بر این، مشاهدات تجربی نشان می‌دهد که مهم‌ترین مشکل خلاء عملکردهای بالا در گیاهان زراعی در ایران، شیوه‌های مدیریتی ناکارآمد در مزارع کشاورزان است (Torabi *et al.,* 2013). اگرچه هدف از این پژوهش، برآورد میزان خلاء عملکرد برنج بوده است و دلایل به‌وجود آمدن این میزان خلاء عملکرد، نیازمند بررسی و مطالعه بیشتر است، اما محتمل‌ترین راهکار که می‌تواند منجر به افزایش عملکرد و کاهش خلاء عملکرد شود، بهبود مدیریت زراعی در مزارع کشاورزان است.

روش‌های رگرسیونی چند متغیره، اگرچه دارای مزایایی هستند، اما همانند شرایط مزرعه توسط عوامل متعددی محدود می‌شوند که در روش آنالیز خط مرزی این موارد وجود ندارد و تنها اثر یک عامل یا محدودیت مورد بررسی قرار می‌گیرد (Shatar & Mcbratney, 2004). با تمام این تفاسیر می‌توان گفت که خلاء عملکرد محاسبه شده در این پژوهش، به تعریف ارایه شده توسط محققان در مورد خلاء عملکرد قابل بهره‌برداری نزدیک بوده است و اختلاف بین عملکرد واقعی و عملکرد قابل حصول با توجه به شرایط محیطی منطقه را نشان می‌دهد (Connor *et al.,* 2011). یکی از محدودیت‌های این پژوهش، تعداد سال‌های اجرای آن بود، چراکه هرچه تعداد سال انجام یک مطالعه بیشتر باشد، تخمین تأثیر نوسانات اقلیمی و آب و هوایی دقیق‌تر است (Lobell *et al.,* 2009; Egli & Hatfield, 2014 Lobell *et al.,* 2009). برای کاهش خلاء عملکرد، مشخص کردن محدودیت‌های عملکرد در یک ناحیه خاص ضروری است (van Ittersum *et al.,* 2013). آنالیز خط مرزی استفاده شده در این تحقیق، علاوه بر برآورد میزان خلاء عملکرد، دلایل این خلاء و یا محدودیت‌های

عملکرد را نشان می‌دهد. یکی از مزایای این روش آنالیز بر خلاف روش‌های مبتنی بر مدل‌های رگرسیونی چند متغیره این است که نیاز به انجام پروسه اولیه انتخاب متغیر ندارد و علاوه بر این، تفسیر نتایج نیز نسبت به مدل‌های رگرسیونی چند متغیره ساده‌تر است (Shatar & Mcbratney, 2004). با توجه به این‌که پتانسیل عملکرد محاسبه شده در این آنالیز در منطقه، از طریق داده‌های واقعی هر مزرعه به‌دست آمده است، پتانسیل عملکرد به‌دست آمده، وابسته به منطقه است و می‌توان گفت که این پتانسیل عملکرد، قابل دستیابی است. در واقعیت، پژوهش‌های چند منطقه‌ای، اثر تاریخ کاشت و برداشت، اقلیم و شرایط خاکی متفاوت را به گیاه تحمیل می‌کند (van Ittersum *et al.,* 2013)، در صورتی‌که در برآورد پتانسیل عملکرد در یک ایستگاه تحقیقاتی و یا در شبیه‌سازی پتانسیل عملکرد با مدل‌های گیاهی، این‌گونه محدودیت‌ها وجود ندارد. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از آنالیز خط مرزی در مطالعات خلاء عملکرد می‌تواند به خوبی پاسخ‌های عملکرد به‌عوامل مدیریتی را از طریق شناسایی سهم هر متغیر نشان دهد. با استفاده از این پاسخ‌ها می‌توان بهترین مدیریت و برنامه‌ریزی را برای رسیدن به بالاترین عملکرد مشخص کرد. البته استفاده از این روش معایبی نیز داشته است؛ از جمله این‌که برهمکنش متغیرهای تأثیرگذار بر عملکرد را غیر معنی‌دار در نظر گرفته است و تنها به آنالیز تأثیر یک متغیر بر عملکرد می‌پردازد، در حالی‌که در واقعیت، عملکرد، حاصل برهمکنش مجموعه‌ای از عوامل است (Kitchen *et al.,* 2003). توجه به این نکته ضروری است که استفاده از سایر روش‌های برآورد پتانسیل عملکرد مانند استفاده از مدل‌های گیاهی در کنار آنالیز خط مرزی می‌تواند نکات بسیار مهمی از محدودیت‌های تولید در یک منطقه را آشکار نماید.

در یک مطالعه شبیه‌سازی جهانی برای غلات مهم دنیا شامل ذرت، گندم و برنج، سهم خلاء عملکرد برنج در مقیاس جهانی، حدود ۲۹ درصد گزارش شد، درحالی‌که خلاء عملکرد محاسبه شده در این تحقیق، ۱۱/۰۷ الی ۱۴/۷۳ درصد برآورد شد (Mueller *et al.,* 2012). دیگر محققان عنوان کردند که اگرچه برای محاسبه عملکرد قابل حصول در یک منطقه خاص با در نظر گرفتن بهترین ترکیب از ژنوتیپ‌ها، شرایط محیطی و مدیریت (G×E×M) مفید است، اما اطمینان از عدم به‌وجود آمدن هیچ‌گونه تنش زنده و غیرزنده در طول دوره رشد گیاه ممکن نیست (van Ittersum *et al.,* 2013)؛ بنابراین این عملکردها به اندازه کافی تخمین مناسبی از پتانسیل منطقه با توجه به شرایط اقلیمی و خاکی غالب منطقه نیستند. عوامل اقلیمی خاص در منطقه نیز در این‌گونه مطالعه‌ها می‌توانند عاملی جهت محدود کردن عملکردهای حداکثر باشند. به‌عنوان مثال، میزان تابش فصلی در هر منطقه، موجب افزایش یا کاهش پتانسیل عملکرد پتانسیل می‌شود. در مطالعه‌ای با مستندسازی فرآیند تولید ارقام بومی برنج در دو روش کاشت رایج و نیمه‌مکانیزه در مازندران گزارش شد که میانگین عملکرد شلتوک در کاشت رایج و نیمه‌مکانیزه، به‌ترتیب ۴۱۰۰ و ۴۴۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. هم‌چنین، عملکرد شلتوک در کاشت نیمه‌مکانیزه در مقایسه با کاشت رایج، از ثبات بهتری برخوردار بود (Dastan *et al.,* 2017).

محققان با ارزیابی پتانسیل و خلاء عملکرد مرتبط با مدیریت زراعی ارقام اصلاح‌شده برنج در منطقه نکا گزارش کردند که از حدود ۱۵۰ متغیر مورد بررسی، مدل نهایی تحلیل مقایسه کارکرد (CPA) با هشت متغیر مستقل انتخاب شد. در مدل عملکرد، متوسط و حداکثر عملکرد به‌ترتیب ۷۱۹۴ و ۹۲۴۱ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد و کل خلاء عملکرد تخمین زده شده، ۲۰۴۷ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. میزان افزایش عملکرد مربوط به متغیرهای تناوب زراعی و بذر گواهی شده، به‌ترتیب ۱۱۱ و ۱۴۱ کیلوگرم در هکتار بو و. مقدار افزایش عملکرد مربوط به اثر کود سرک و پتاسیم مصرفی نیز به‌ترتیب ۳۲۷ و ۶۷۴ کیلوگرم در هکتار، معادل ۱۶ و ۳۳ درصد از کل تغییر عملکرد بود. همچنین، میزان افزایش عملکرد مربوط به متغیر مصرف نیتروژن بعد از گلدهی و محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها به‌ترتیب ۳۲۴ و ۲۱۴ کیلوگرم در هکتار، معادل ۱۶ و ۱۰ درصد از کل افزایش عملکرد برآورد شد. میزان

خسارت عملکرد ناشی از دو متغیر پیش‌کاشت کلزا و تاریخ بذرپاشی در خزانه، به‌ترتیب برابر دو و یازده از کل افزایش عملکرد از کل افزایش عملکرد (۳۴ و ۲۲۳ کیلوگرم در هکتار) بود (Gorjizad *et al.,* 2018). دیگر محققان با ارزیابی خلا عملکرد ارقام محلی برنج به روش CPA در بابل گزارش کردند که از حدود ۱۵۵ متغیر مورد بررسی، مدل نهایی با شش متغیر مستقل انتخاب شد. کل خلاء عملکرد تخمین زده شده برابر ۱۹۷۷ کیلوگرم در هکتار بود که دو متغیر مصرف نیتروژن قبل از نشاکاری و بعد از گلدهی، به‌ترتیب با ۳۵۵ و ۶۱۹ کیلوگرم در هکتار، معادل ۱۸ و ۳۱ درصد، بیشترین سهم از کل افزایش عملکرد را نشان دادند (Halalkhor *et al.,* 2018).

شناخت پتانسیل‌ها و همچنین میزان و نحوه تأثیر هر یک از عوامل محدود کننده عملکرد به‌صورت جداگانه، نقش مهمی در تعیین راهبردهای مدیریتی جایگزین جهت رسیدن به حداکثر عملکرد دارد. در بررسی عوامل مؤثر در خلاء عملکرد ذرت مشخص شد که خاک دارای بافت سبک، مساحت مزارع، تعداد بذر کاشته شده در هر کپه و عدم انجام عملیات تنک، به ترتیب با ۲۷، ۳۰، ۳۰ و ۱۳ درصد، مهم‌ترین عوامل ایجاد کاهش عملکرد در ذرت بودند (Pradhan, 2004). از میان آنالیزهای انجام گرفته روی گیاهان زراعی از طریق خط مرزی، تنها آنالیز خط مرزی در ایالت چیاپاس (در جنوب مکزیک) برای ذرت، به بررسی عوامل مدیریتی پرداخت (Tasistro, 2012). همچنین، دیگر محققان نیز اثر عوامل مدیریتی را بررسی کرده‌اند، اما هدف از کار آن‌ها، یافتن بهترین مدیریت‌ها نبود. آن‌ها اثر چهار تیمار مدیریتی را بر رابطه بین بارندگی و عملکرد با استفاده از آنالیز خط مرزی بررسی کردند (Huang *et al.,* 2008). در مطالعه‌ای با تعیین حدود بهینه عوامل مدیریتی جهت افزایش عملکرد گندم در استان گلستان مشخص شد که عملکرد پتانسیل گندم در استان گلستان در شرایط آبی، دیم پرمحصول و دیم کم‌محصول، به‌ترتیب ۶۸۱۶، ۵۷۹۱ و ۳۹۲۲ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد که فاصله ۴۲، ۳۱ و ۵۰ درصدی با عملکرد واقعی منطقه را نشان می‌دهد (Hajjarpour *et al.,* 2017a,b). در مطالعه‌ای با تحلیل عوامل محدودکننده عملکرد گندم در شرایط گرگان به روش CPA گزارش شد که خلاء عملکرد، ۲۳۴۸ کیلوگرم در هکتار بود که میزان مصرف پتاسیم، مدیریت تغذیه نیتروژن و تاریخ کاشت، به‌ترتیب با ۲۰، ۶۱ و ۱۹ درصد، مهم‌ترین عوامل موثر در خلاء عملکرد بودند که با بهینه‌سازی آن‌ها می‌توان با مدیریت این عوامل، خلاء عملکرد گندم در گرگان جبران کرد (Torabi *et al.,* 2011). در مطالعه‌ای دیگر در منطقه بندرگز استان گلستان، میزان خلاء عملکرد گندم به روش CPA برابر ۳۴۶۲ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (Nehbandani *et al.,* 2017). استفاده از آنالیز خط مرزی در مطالعات خلاء عملکرد می‌تواند به روشنی پاسخ‌های عملکرد به عوامل مدیریتی را نشان دهد و پتانسیل‌های ممکن را محاسبه کند. تفسیر نتایج این آنالیز، ساده است و توصیه می‌شود که روی یک مجموعه داده با چندین روش آنالیز انجام شود و در کنار آن‌ها نیز آنالیز خط مرزی به‌عنوان یک آنالیز کاربردی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، به‌نظر می‌رسد این آنالیز، نیاز به آزمایش‌های معمول مزرعه‌ای را کاهش داده است و برای طراحی آزمایش‌های مزرعه‌ای جدید، اطلاعات مناسبی را در اختیار محقق قرار می‌دهد. درصورتی‌که این‌گونه مطالعات میدانی به‌صورت گسترده و طی چندین سال برای گیاهان زراعی مهم انجام شود، می‌توان بیشتر از توانایی این‌گونه آنالیزها برای پیدا کردن راه‌های افزایش تولید استفاده کرد.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس یافته‌ها در ۱۰۰ مزرعه مورد مطالعه، از حدود ۱۵۰ متغیر مورد بررسی، مدل نهایی با ۱۰ متغیر مستقل انتخاب شد. در مدل عملکرد CPA، عملکرد واقعی مزرعه و پتانسیل عملکرد محاسبه شده با مدل، به‌ترتیب ۴۴۹۱ و ۵۷۰۳ کیلوگرم در هکتار و میزان خلاء عملکرد، ۱۲۱۲ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. طبق یافته‌های BLF مشاهده شد که میانگین عملکرد بر اساس حد بهینه ۱۲ متغیر مورد بررسی، ۵۳۶۹ کیلوگرم در هکتار با خلاء عملکرد ۸۸۱ کیلوگرم در

هکتار بود. بنابراین و با توجه به یافته‌ها می‌توان بیان داشت که دقت مدل (معادله تولید) در هر دو روش مناسب بوده است و می‌تواند برای برآورد میزان خلاء عملکرد و تعیین سهم هر یک از متغیرهای محدود کننده عملکرد به کار گرفته شود و می‌توان گفت این پتانسیل عملکرد، قابل دستیابی است.

توصیه‌های این پژوهش بر اساس یافته‌ها در سال‌های ذکر شده در منطقه است. بدیهی است که در آینده با تغییر نظام زراعی (مثل گسترش کشاورزی حفاظتی)، مدیریت زراعی و احتمالاً شرایط آب و هوایی، این توصیه‌ها ممکن است تغییر کنند. همچنین، با اصلاح عوامل درجه یک ایجاد کننده خلاء عملکرد که در این مطالعه به آن پرداخته شده است، عوامل درجه دوم خود را نشان خواهند داد. بنابراین، شایسته است، پایش و ارزیابی مدیریت زراعی در مزارع کشاورزان، به‌طور پیوسته صورت گیرد و میزان خلاء عملکرد و عوامل مدیریتی ایجاد کننده آن، شناسایی و برطرف شوند. در این پژوهش، از میان تمامی مدیریت‌های زراعی رایج کشاورزان، مواردی که تأثیر بیشتری در خلاء عملکرد داشتند و در مرحله اول نیاز به تغییر و بهبود دارند، مورد اشاره قرار گرفته‌اند؛ بنابراین، توصیه‌های این پژوهش، مکمل سایر مدیریت‌های توصیه شده و معمول است.

REFERENCES

1. Allahgholipour, M. & Mohammad Salehi, M. S. (2014). *Characteristics of some local rice cultivars*. Ministry of Jihad-e-Agriculture. Agricultural Research, Education and Extension Organization. *Rice Research Institute of Iran*, 26 Pp. (In Persian)
2. Beza, E., Vasco Silva, J., Kooistra, L. & Reidsma, P. (2017). Review of yield gap explaining factors and opportunities for alternative data collection approaches. *European Journal of Agronomy*, 82, 206-222.
3. CIA. (2018). CIA World Factbook. World POP Clock Projection. United State.
4. Connor, D. J., Loomis, R. S. & Cassman, K. G. (2011). *Crop Ecology: Productivity and Management in Agricultural Systems*. Cambridge University Press. 556Pp.
5. 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. *Cereal Research*, 7(4), 485-502. (In Persian)
6. 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 Pp.
7. Delmotte, S., Tittonell, P., Mouret, J.C., Hammond, R. & Lopez-Ridaura, L. (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.
8. Egli, D.B. & Hatfield, J.L. (2014). Yield gaps and yield relationships in central U.S. soybean production systems. *Agronomy Journal*, 106, 560-566.
9. 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. (2016a). Yield gap analysis of US rice production systems shows opportunities for improvement. *Field Crops Research*, 196, 276-283.
10. Espe, M. B., Yang, H., Cassman, K. G., Guilpart, N., Sharifi, H. & Linquist, B. A. (2016b). Estimating yield potential in temperate high-yielding, direct-seeded US rice production systems. *Field Crops Research*, 193, 123-132.
11. Fujisaka, S. (1991). A set of farmer-based diagnostic methods for setting post 'green revolution' rice research priorities. *Agricultural System*s, 36, 191-206.
12. Gorjizad, A., Dastan, S., Soltani, A. & Ajam Norouzi, H. (2019). Evaluation of potential yield and yield gap associated with crop management in improved rice cultivars in Neka region. *Agroecology Journal*, 11(1): DOI: 10.22067/jag.v11i1.67430 . (In Persian)
13. Hajjarpour, A., Soltani, A. & 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)
14. Hajjarpour, A., Soltani, A., Zeinali, E., Kashiri, E. & Aynehband, A. (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)
15. 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). *Agricultural Crop Management*, 20(2), 397-414. (In Persian)
16. Hochman, Z., Gobbett, D., Holzworth, D., McClelland, T., van Rees, H., Marinoni, O., Garcia, J. N. & 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.
17. Huang, X., Wang, L., Yang, L. & Kravchenko, A. N. (2008). Management effects on relationships of crop yields with topography represented by wetness index and precipitation. *Agronomy Journal*, 100, 1463-1471.
18. Kalivas, D. P. & Kollias, V. J. (2001). Effects of soil, climate and cultivation techniques on cotton yield in Central Greece, using different statistical methods. *Agronomy Journal*, 21, 73-90.
19. 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.
20. Kitchen, N. R., Drummond, S. T., Lund, E. D., Sudduth, K. A. & Buchleiter, G. W. (2003). Soil electrical conductivity and topography related to yield for three contrasting soil–crop systems. *Agronomy Journal*, 95, 483-495.
21. Lobell, D. B., Cassman, K. G. & Field, C. B. (2009). Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. *Annual Review of Environment and Resources*, 34, 179-204.
22. Makowski, D., Dore, T. & Monod, H. (2007). A new method to analyze relationships between yield components with boundary lines. *Agronomy for Sustainable Development*, 27, 119-128.
23. Mueller, N. D., Gerber, J. S., Johnston, M., Ray, D. K., Ramankutty, N. & Foley, J. A. (2012). Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature*, 490, 254-257.
24. Nehbandani, A., Soltani, A., Zeinali, E. & Hoseini, F. (2017). Analyzing soybean yield constraints in Gorgan and Aliabad Katul using CPA method. *Journal of Agroecology*, 7(1), 109-123. (In Persian)
25. Pradhan, R. (2004). *The effect of land and management aspects on maize yield*. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede (ITC). The Netherlands. 52 Pp.
26. Rajapakse, D. C. (2003). *Biophysical factors defining rice yield gaps*. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede (ITC). The Netherlands.80 Pp.
27. Reidsma, P. & Jeuffroy, H. (2017). Farming systems analysis and design for sustainable intensification: new methods and assessments. *European Journal of Agronomy*, 82, 203-205.
28. Rezaei, A. & Soltani, A. (1998). *An introduction to Applied Regression Analysis*, 4th ed. Isfahan University of Technology. Esfahan. (In Persian)
29. Shatar, T. M. & Mcbratney, A. B. (2004). Boundary-line analysis of field-scale yield response to soil properties. *Journal of Agricultural Science*, 142, 553-560.
30. 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.
31. Soltani, A. & Maddah, V. (2010). *Simple applications for agriculture education and research*. Agroecology association, University of Shahid Beheshti. 80 Pp. (In Persian)
32. Soltani, A., Galeshi, S. & Zeinali, E. (2000). *Analysis of limitations contained in wheat production in Golestan province (Research Report)*. Management and Planning Organization of Golestan province. (In Persian)
33. Soltani, A., Hajjarpour, A. & Vadez, V. (2016). Analysis of chickpea yield gap and water-limited potential yield in Iran. *Field Crops Research*, 185, 21-30.
34. 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.
35. Tanaka, A., Saito, K., Azoma, K. & Kobayashi, K. (2013). Factors affecting variation in farm yields of irrigated lowland rice in southern-central Benin. *European Journal of Agronomy*, 44, 46-53.
36. Tasistro, A. (2012). Use of boundary lines in field diagnosis and research for Mexican farmers. *Better Crops with Plant Food*, 96, 11-13.
37. Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S. & Soltani, E. (2011). Analyzing wheat yield constraints in Gorgan. *Journal of Plant Production*, 4(4), 1-17. (In Persian)
38. Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S., Zeinali, E. & Kazemi Korgehei, M. (2013). Ranking factors causing the wheat yield gap in Gorgan. *Electronic Journal of Crop Production*, 6(1), 171-189. (In Persian)
39. 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.
40. Van Wart, J., Kersebaum, K. C., Peng, S., Milner, M. & Cassman, K. G. (2013). Estimating crop yield potential at regional to national scales. *Field Crops Research*, 143, 34-43.

Xu, X., He, P., Zhao, S., Qiu, S., Johnstond, A. M. & Zhou, W. (2016). Quantification of yield gap and nutrient use efficiency of irrigated rice in China. *Field Crops Research*, 186, 58-65.