"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و یکم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸

مقاله پژوهشی

شناسایی عوامل محدود کننده تولید و پایش خلاء عملکرد دانه ارقام بومی برنج (*Oryza sativa* L.) در استان مازندران

Identification of production constraints and yield gap monitoring of local rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in Mazandaran province

نصیبه رضوان طلب[۱]، سلمان دستان[۲] و افشین سلطانی[۳]

چکیده

رضوان طلب، ن.، س. دستان و ا. سلطانی. ۱۳۹۸. شناسایی عوامل محدود کننده تولید و پایش خلاء عملکرد دانه ارقام بومی برنج (*Oryza sativa* L.) در استان مازندران. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۱(۲): ۱۷۲-۱۵۵.**

یکی از مشکلات اساسی تولید برنج، تفاوت زیاد بین عملکرد واقعی کشاورزان و عملکرد قابل حصول است، بنابراین شناسایی عوامل ایجاد محدودیت تولید و خلاء عملکرد در برنج بسیار حایز اهمیت است. در این پژوهش کلیه عملیات مدیریتی از مرحله تهیه بستر تا برداشت محصول در ۲۲۸ مزرعه مربوط به ارقام بومی برنج در سه منطقه شرق، مرکز و غرب استان مازندران به‌صورت پیمایشی و مطالعات میدانی در سال‌های ۱۳۹٤ و ۱۳۹۵ مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از روش تحلیل مقایسه کارکرد (CPA) نشان داد که متغیرهای بذر گواهی شده، سن گیاهچه، مصرف پتاسیم، مصرف نیتروژن (بعد از گلدهی)، زمان برداشت و وجود آفات عوامل اصلی محدودکننده عملکرد برنج در منطقه بودند. عملکرد واقعی و پتانسیل عملکرد محاسبه شده با مدل CPA به‌ترتیب ٤٤٥٦ و ٦٦٤٢ کیلوگرم در هکتار و میزان خلاء عملکرد ۲۱۸٦ کیلوگرم در هکتار برآورد شدند. نتایج آنالیز خط مرزی (BLA) با برازش یک خط بر لبه بالایی داده‌ها نشان داد که پاسخ عملکرد به عنوان متغیر وابسته به متغیرهای مستقل میزان بذر، زمان نشاکاری، تراکم بوته و مصرف نیتروژن قبل از نشاکاری، در طول دوره رشد رویشی و بعد از گلدهی، از تابع دو تکه‌ای مثبت تبعیت کرده، ولی متغیرهای سن گیاهچه و تعداد گیاهچه در کپه تابع دو تکه‌ای منفی داشتند. متغیرهای خوابیدگی بوته (ورس) و آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز از تابع خطی تبعیت کردند. نتایج حاصل از آنالیز خط مرزی نشان داد که میانگین عملکرد (بر اساس حد بهینه) ۵۷۵۵ کیلوگرم در هکتار، با خلاء عملکرد ۱۲۰۷ کیلوگرم در هکتار بود. میانگین عملکرد نسبی و خلاء نسبی نیز به‌ترتیب ۸/۷۹ و ۹/۲۰ درصد برآورد شدند. با توجه به اینکه پتانسیل عملکرد محاسبه شده، از داده‌های واقعی مزارع کشاورزان حاصل شده بود، به نظر می‌رسد که پتانسیل عملکرد به‌دست آمده وابسته به منطقه بوده و این پتانسیل عملکرد برای ارقام برنج بومی، قابل حصول است.

واژه‌های کلیدی: آنالیز خط مرزی، برنج، تحلیل مقایسه کارکرد، پتانسیل عملکرد و خلاء عملکرد.

تاریخ دریافت:۱۳۹۷/۱۰/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۱۸ این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی مصوب سازمان جهاد کشاورزی استان مازندران به شماره ۷۲۳۸۴ / الف می‌باشد.

۱- دانش آموخته دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲- پژوهشگر پسا دکتری پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، کرج (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: dastan@abrii.ac.ir)
۳- استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-10]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.2.5.7]
[DOI: 10.29252/abj.21.2.155]

مقدمه

پیش بینی شده است که تولیدات کشاورزی جهان طی سه تا چهار دهه آینده به‌علت افزایش جمعیت و تغییر عادت غذایی باید تا سه برابر افزایش یابد (۷۰ درصد افزایش تا سال ۲۰۵۰) تا تقاضای فزاینده مورد نیاز تأمین شود (Bruinsma, 2009). یکی از روش‌های افزایش تولید غذا در جهان مربوط به گسترش سطح زیر کشت بوده و بقیه آن از طریق بهبود تولید در واحد سطح حاصل شده است. به نظر می‌رسد که افزایش بیشتر سطح زیر کشت در آینده راه حل مطلوبی نخواهد بود. یکی از مشکلات اساسی تولید محصولات زراعی در کشور ایران و بسیاری از کشورهای جهان، اختلاف بین عملکرد واقعی کشاورزان و عملکرد قابل حصول (خلاء عملکرد) است (Torabi *et al.*, 2013).

تحلیل مقایسه کارکرد (Comparative Performance Analysis; CPA) یکی از روش‌هایی است برای کمی کردن خلاء عملکرد گیاهان زراعی استفاده می‌شود. با استفاده از این روش محدودیت‌های اصلی عملکرد و توابع کمی شده برای خلاء عملکرد تعیین می‌شود. در روش CPA با استفاده از رگرسیون چندگانه و با روش گام‌به‌گام (Soltani *et al.*, 2000)، محدودیت‌های عملکرد و مدل تولید تعیین می‌شود. با استفاده از معادله تولید و مقادیر مؤلفه‌های مدل، سهم هر یک از محدودیت‌ها در ایجاد خلاء عملکرد مشخص می‌شود (De Bie, 2000). اگرچه با استفاده از روش‌های رگرسیونی می‌توان به وضوح روابط بین متغیرهای مختلف با عملکرد را نشان داد، اما همبستگی بین این متغیرها و تأثیر هم‌زمان و نهایی برهمکنش آن‌ها بر عملکرد باعث پنهان شدن جنبه‌های مهمی از اطلاعات و تخمین پایین‌تر از حد پتانسیل عملکرد خواهد شد. دلیل این موضوع این است که مدل‌های رگرسیونی، میانگینی از پراکندگی داده‌ها را نشان می‌دهند (Shatar and Mcbratney, 2004)، در حالی‌که استفاده از میانگین‌ها برای زمانی مناسب است که مدیریت یکسانی برای به‌دست آوردن عملکردها مورد استفاده قرار گرفته باشد، بنابراین لازم است تا با روش‌های آماری مناسب اقدام به برآورد پتانسیل عملکرد و شناسایی عوامل محدود کننده آن شود.

آنالیز خط مرزی (Boundary-line Analysis; BLA) یک روش تکمیلی برای روش‌های رگرسیونی و مدل‌های آماری معمول است که می‌تواند در این‌گونه ارزیابی‌ها مورد استفاده قرار گیرد. در این روش، با استفاده از یک 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 می‌شود که در این معادله Ymax حداکثر عملکرد، به‌عنوان تابعی از مقادیر مختلف متغیر X و θ نیز مؤلفه‌های معادله است که از طریق اندازه‌گیری X و Y در مزارع مختلف تخمین زده می‌شود (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 داشته و در اصل عملکرد نهایی، میانگینی از پاسخ‌های مختلف به این متغیر است (Shatar and Mcbratney, 2004). در سال‌های اخیر، آنالیز خلاء عملکرد گیاهان زراعی به‌صورت گسترده‌ای در جهان مورد بررسی قرار گرفته که از نظر وسعت می‌توان آن‌ها را در سطوح جهانی (van Ittersum *et al.*, 2013)؛ ملی (Hochman *et al.*, 2013)؛ و منطقه‌ای (Liu *et al.*, 2016) قرار داد و بیشتر پژوهش‌ها روی سه غله اصلی گندم، برنج و ذرت متمرکز بوده است (Hajjarpour *et al.*, 2017, Hajjarpour *et al.*, 2018).

در یک آزمایش با ارزیابی خلاء عملکرد ارقام محلی برنج به روش CPA در منطقه بابل، پتانسیل عملکرد ۶۴۸۹ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد و

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-10]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.2.5.7]
[DOI: 10.29252/abj.21.2.155]

خلاء عملکرد نیز ۱۹۷۷ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. گزارش شد که بیش‌ترین مقدار خلاء عملکرد برای دو متغیر مصرف نیتروژن قبل از نشاکاری و بعد از گلدهی؛ به‌ترتیب ۳۵۵ و ۶۱۹ کیلوگرم در هکتار (معادل ۱۸ و ۳۱ درصد) بود (Halalkhor *et al.*, 2018). در یک آزمایش دیگر با تخمین خلاء عملکرد ارقام محلی برنج به روش CPA در منطقه ساری گزارش شد که عملکرد واقعی مزرعه و پتانسیل عملکرد محاسبه شده به‌ترتیب ۴۴۹۵ و ۶۳۳۷ کیلوگرم در هکتار و میزان خلاء عملکرد ۱۸۴۱ کیلوگرم در هکتار بوده است (Yousefian *et al.*, 2018). در آزمایش دیگری با برآورد خلاء عملکرد ارقام اصلاح‌شده برنج به روش CPA در منطقه نکا، پتانسیل عملکرد ۹۲۴۱ کیلوگرم در هکتار و خلاء عملکرد ۲۰۴۷ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (Gorjizad *et al.*, 2019). سایر محققان با آنالیز خلأ عملکرد برنج در فیلیپین طی سال‌های ۲۰۱۲-۱۹۷۹ گزارش کردند که خلاء عملکرد در فصول مرطوب و خشک به‌ترتیب ۲/۳ و ۸/۴ تن در هکتار بود (Silva *et al.*, 2017). نتایج برآورد خلاء عملکرد برنج غرقابی در کشور چین نشان داد که عملکرد قابل‌حصول در شرایط بهینه مدیریتی ۵/۸ تن در هکتار و میزان خلاء عملکرد ۶/۰ تن در هکتار بود (Xu *et al.*, 2016). آنالیز خلاء عملکرد نظام‌های کاشت برنج در آمریکا در یک دوره ۱۵-۱۳ ساله نشان داد که خلاء عملکرد در دامنه ۱/۱ الی ۵/۳ تن در هکتار قرار داشت (Espe *et al.*, 2016a,b).

تاکنون گزارش‌های اندکی در زمینه آنالیز خلاء عملکرد برنج به دو روش CPA و BLA در ایران گزارش شده است (Gorjizad *et al.*, 2019; Halalkhor *et al.*, 2018). آزمایش حاضر با هدف برآورد عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد در ارقام برنج محلی و تعیین سهم هر یک از عوامل در ایجاد خلاء عملکرد به دو روش تحلیل مقایسه کارکرد و آنالیز خط مرزی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در استان مازندران اجرا شد. استان مازندران در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی قرار دارد. این استان بر اساس ویژگی‌های دما، بارش و توپوگرافی منطقه به دو نوع آب و هوای معتدل خزری و آب و هوای کوهستانی تقسیم می‌شود. میانگین بارندگی سالیانه در نوار ساحلی استان ۹۷۷ میلی‌متر است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن نواحی غربی مازندران بسیار مرطوب، نواحی مرکزی مازندران مرطوب و نواحی شرقی مازندران مدیترانه‌ای و نواحی کوهستانی مازندران نیمه‌مرطوب است(Atlas of Gates, 2013).

مستندسازی فرآیند تولید شامل تهیه کلیه اطلاعات و فعالیت‌هایی است که سیر تولید یک محصول از مرحله تهیه بستر بذر تا برداشت را نشان می‌دهد (Dastan *et al.*, 2017; Torabi *et al.*, 2013). در این پژوهش کلیه عملیات مدیریتی انجام شده از تهیه بستر بذر تا برداشت برنج در مزارع مورد مطالعه در استان از طریق مطالعات میدانی برای سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ ثبت شد. برای برآورد خلاء عملکرد کلیه عملیات مدیریتی انجام شده از تهیه بستر بذر تا برداشت برنج در ۲۲۸ مزرعه در استان مازندران به‌صورت پیمایشی و از طریق مطالعات میدانی ثبت شد. در این بررسی‌ها شیوه انجام هر نوع عملیات مدیریتی در هر یک از مراحل کاشت، داشت برداشت و همچنین نسبتی از کشاورزان که از شیوه‌های مختلف هر یک از عملیات مدیریتی استفاده کردند، مشخص شد. کلیه اطلاعات مربوط به مدیریت زراعی شامل عملیات تهیه بستر بذر (نوع، تعداد و زمان شخم و دیسک و ...)، رقم برنج مورد استفاده و محل تهیه بذر، زمان کاشت، کود (نوع کود، میزان کود و زمان مصرف کود)، مبارزه با آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، آبیاری (تعداد و زمان

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-10]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.2.5.7]
[DOI: 10.29252/abj.21.2.155]

آبیاری) و اطلاعات مربوط به برداشت (زمان برداشت و میزان عملکرد) ثبت شد. مهم‌ترین آفات مزارع برنج در منطقه پروانه کرم سبز برگ‌خوار، کرم ساقه‌خوار، شب‌پره تک نقطه‌ای، سرخرطومی و مگس خزانه بودند. از بیماری‌های مهم برنج در منطقه نیز بلاست، سوختگی غلاف، لکه قهوه‌ای و پوسیدگی ساقه بودند. نمره‌دهی به خسارت آفات و بیماری‌ها بر اساس میزان خسارت وارد شده به محصول و تراکم جمعیت آفات و شدت بیماری‌ها از یک تا پنج در نظر گرفته شد که کمترین میزان شیوع با نمره یک و بیشترین میزان شیوع با نمره پنج در نظر گرفته شدند (Gomez and Gomez, 1984). این اطلاعات در قالب پرسش‌نامه و با پایش مزارع کشاورز جمع‌آوری و تکمیل و در پایان فصل رشد میزان عملکرد واقعی هر مزرعه ثبت شد.

تحلیل مقایسه کارکرد (CPA)

برای تعیین مدل عملکرد، رابطه بین کلیه متغیرهای کمی و کیفی اندازه‌گیری شده (متغیرهای کیفی به‌صورت صفر و یک کدگذاری شدند) و عملکرد با روش رگرسیون گام‌به‌گام مورد ارزیابی قرار گرفت. با قرار دادن میانگین مشاهده شده متغیرها (xها) در ۲۲۸ شالیزار مورد بررسی در مدل عملکرد، عملکرد میانگین با مدل محاسبه شد. سپس با قرار دادن میزان مطلوب متغیرها در مدل عملکرد، پتانسیل عملکرد محاسبه شد. اختلاف این دو، معادل 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 که به‌صورت درصد نشان داده شد. مدل نهایی با استفاده از روش آزمون و خطای کنترل شده تعیین شد که می‌تواند اثر محدودیت‌های عملکرد را کمی کند (Soltani *et al.*, 2000). برای تجزیه و تحلیل از رویه‌های مختلف نرم‌افزار SAS (نسخه ۱/۹) استفاده شد.

آنالیز خط مرزی (BLA)

پروتکل توافق شده‌ای برای آنالیز خط مرزی وجود ندارد و محققان به‌صورت اختیاری یک خط مرزی به داده‌ها برازش می‌دهند (Makowski *et al.*, 2007)، بنابراین در این تحقیق، آنالیز خط مرزی بر اساس پنج مرحله زیر انجام شد (Makowski *et al.*, 2007):

۱- بررسی نمودار پراکنش داده‌ها: در ابتدا میان عملکرد، به‌عنوان تغیر وابسته و یک متغیر مستقل هدف، یک نمودار پراکندگی (که به نمودار XY یا اسکتر Scatter plot نیز معروف است) رسم شد.

۲- دسته‌بندی و گروه‌بندی نقطه داده‌ها: در این مرحله با توجه به پراکنش نقاط، موضوعات به‌زراعی و اطلاعات قبلی، متغیر مستقل به گروه‌هایی با فواصل منظم و غیرمنظم تقسیم شدند (Banneheka *et al.*, 2013).

۳- حذف داده‌های پرت و خارج از محدوده‌های مشخص: اثر یک داده پرت در آنالیز خط مرزی به‌علت کم بودن تعداد داده‌های انتخاب شده (مرحله چهارم) به مراتب شدیدتر از آنالیز رگرسیونی است که به کل داده‌ها و با روش کمترین توان‌های دوم برازش داده می‌شود (Shatar and Mcbratney, 2004).

۴- تشخیص بالاترین عملکردها در هر زیر گروه: این مرحله در آزمایش‌های مختلف متفاوت است (Kitchen *et al.*, 2003; Makowski *et al.*, 2007). در این تحقیق، بالاترین عملکردها انتخاب شده و از گروه‌هایی که حاوی داده‌هایی با مقادیر غیرقابل قبول بودند، صرف‌نظر شد.

۵- آخرین مرحله، برازش یک تابع مناسب به داده‌های به‌دست آمده از مرحله چهارم است که بر اساس چیدمان داده‌ها انجام می‌شود. این مرحله منجر به یک مدل برای پراکنش حداکثر عملکردها به متغیر

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-10]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.2.5.7]
[DOI: 10.29252/abj.21.2.155]

مستقل می‌شود و در واقع شناسایی ضرایب و مؤلفه‌های مدل است. برای تعیین ضرایب مدل با توجه به تابع واک نش می‌توان از نرم افزارهای آماری استفاده کرد که در این تحقیق از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و رویه nlin استفاده شد. بر اساس نحوه چیدمان داده‌ها، تابع مناسب بر لبه بالایی پراکنش داده‌ها (خطی، درجه دو، دو تکه‌ای و یا سه تکه‌ای) برازش داده شد.

میانگین عملکرد با اندازه‌گیری چهار مترمربع از ده نقطه در هر مزرعه با استفاده از کوادرات ۲×۲ متر محاسبه شد. عملکرد بر اساس حد بهینه (پتانسیل عملکرد) بر اساس برازش داده‌ها با تابع مناسب (خطی، درجه دو، دو تکه‌ای و یا سه تکه‌ای) بدست آمد. تفاوت بین عملکرد بر اساس حد بهینه و میانگین عملکرد مزرعه، به‌عنوان خلاء عملکرد در نظر گرفته شد. عملکرد نسبی نیز از نسبت میانگین عملکرد به عملکرد بهینه محاسبه و به‌صورت درصد بیان شد. خلاء عملکرد نسبی نیز از نسبت خلاء عملکرد به عملکرد بهینه تعیین و به‌صورت درصد بیان شد (Soltani *et al.*, 2016).

نتایج و بحث

برآورد خلاء عملکرد بر اساس مدل تحلیل مقایسه کارکرد (CPA)

نتایج مربوط به رگرسیون گام به گام برای تعیین مهم‌ترین متغیرهای مدیریتی مؤثر بر عملکرد و مدل عملکرد در جدول ۱ ارائه شده است. در تجزیه اولیه مدل رگرسیونی در روش CPA تعداد ۱۵۵ متغیر مستقل وارد مدل شده بود که پس از ارزیابی نهایی، ۷۶ متغیر برای انتخاب بهترین مدل رگرسیونی باقی ماند. در این مدل رگرسیونی عملکرد در واحد سطح به‌عنوان متغیر وابسته و سایر متغیرها از قبیل استفاده از بذر گواهی شده، سن گیاهچه، میزان کود پتاسیم مصرف شده، میزان کود نیتروژن مصرف شده بعد از گلدهی (مرحله گرده‌افشانی)، زمان برداشت و مشکل آفات به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند که نتیجه آن در رابطه ۱ ارائه شده است. با استفاده از معادله تولید، میزان عملکرد واقعی، عملکرد قابل حصول و سهم هر کدام از متغیرها بر کاهش عملکرد تعیین شدند (جدول ۱).

$$Y(kg/ha) = 6437.73 + 348.75X1 - 11.23X2 + 4.56X3 + 4.63X4 - 11.42X5 - 121.84X6 \quad \text{(رابطه ۱)}$$

Y: عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)، X_1: استفاده از بذر گواهی شده (صفر= عدم استفاده و ۱= استفاده از بذر گواهی شده)، X_2: سن گیاهچه (روز از بذرپاشی در خزانه در دامنه ۲۰ تا ۶۰ روز)، X_3: میزان کود پتاسیم (صفر تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار)، X_4: مصرف کود نیتروژن بعد از گلدهی (صفر تا ۶۹ کیلوگرم در هکتار)، X_5: زمان برداشت (روز از اول فروردین) و X_6: مشکل آفات (بر اساس میزان شیوع از صفر تا پنج) هستند.

مشخصات متغیرهای وارد شده در مدل به‌صورت مقادیر متوسط، حداقل، حداکثر و بهترین مقداری که می‌تواند در مدل رگرسیونی عملکرد قرار بگیرد، در جدول ۱ ارائه شده است. بهترین حالت برای متغیرهای بذر گواهی شده، میزان کود پتاسیم مصرف شده و مصرف کود نیتروژن مصرف شده بعد از گلدهی، مقدار حداکثر آن‌ها بود که در معادله دارای رابطه مثبت بودند (جدول ۱).

متغیرهای سن گیاهچه، زمان برداشت و مشکل آفات، به‌عنوان متغیر منفی بوده و مقادیر اندک آنها مطلوب است، بنابراین مقدار بهینه آنها، معادل مقدار حداقل در نظر گرفته شد (جدول ۱). میزان تغییر عملکرد ناشی از تفاضل عملکرد حالت بهترین میزان عملکرد پیش‌بینی شده و متوسط عملکرد پیش‌بینی شده متغیر بذر گواهی شده ۲۷۵ کیلوگرم در هکتار (معادل ۱۳ درصد از عملکرد قابل دستیابی) بود. مقدار تغییر

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-10]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.2.5.7]
[DOI: 10.29252/abj.21.2.155]

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.2.5.7]

[DOI: 10.29252/abj.21.2.155]

جدول ۱- کمی سازی میزان خلاء عملکرد برنج و سهم هر یک از متغیرهای وارد شده در معادله تولید

Table 1. Quantifying the yield gap of rice and the contribution of each variable entered in the production equation

متغیر Variable		ضریب در مدل Coefficient in model	دامنه متغیر مشاهده شده در مزرعه Observed variable range in the field				عملکرد پیش‌بینی شده Predicted yield		خلاء عملکرد Yield gap (kg ha^{-1})	خلاء عملکرد Yield gap (%)
			حداقل Minimum	متوسط Average	حداکثر Maximum	بهینه Optimum	متوسط Average	بهینه Optimum		
Intercept	عرض از مبدأ	6438	1	1	1	1	6438	6438	0	0
Certified seed	*بذر گواهی شده	345	0	0.21	1	1	74	349	275	13
Seedling age	**سن گیاهچه	-11.23	20	35.20	60	20	-395	-225	171	8
K fertilizer application (kg.ha^{-1})	مصرف کود پتاسیم	4.56	0	30.68	200	200	138	900	762	34
N fertilizer application after flowering (kg.ha^{-1})	مصرف کود نیتروژن بعد از گلدهی	7.63	0	6.48	69	69	49	524	475	22
(Harvest time)	***زمان برداشت	-11.42	118	148	206	118	-1687	-1345	342	16
(Pests problem)	****مشکل آفات	-121.84	0	1.32	5	0	-161	0	161	7
Grain yield (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه	-	2100	4454.52	5700	-	4456	6642	2186	100

*: Certified seed (0= not use; 1= use of certified seed)

**: Seedling age (days since seeding in nursery to transplanting in the field)

***: Harvest time (days from March 21)

****: Pests problem (Damage density: dead heart and white heads; 0 – 5)

*: بذر گواهی شده (صفر= عدم استفاده و یک = استفاده از بذر گواهی شده)

**: سن گیاهچه (روز از بذرپاشی در خزانه تا زمان نشاکاری در مزرعه)

***: زمان برداشت (روز از اول فروردین)

****: نمره‌دهی مشکل آفات (شدت و میزان شیوع- قلب مردگی، خوشه سفیدی، از صفر تا پنج)

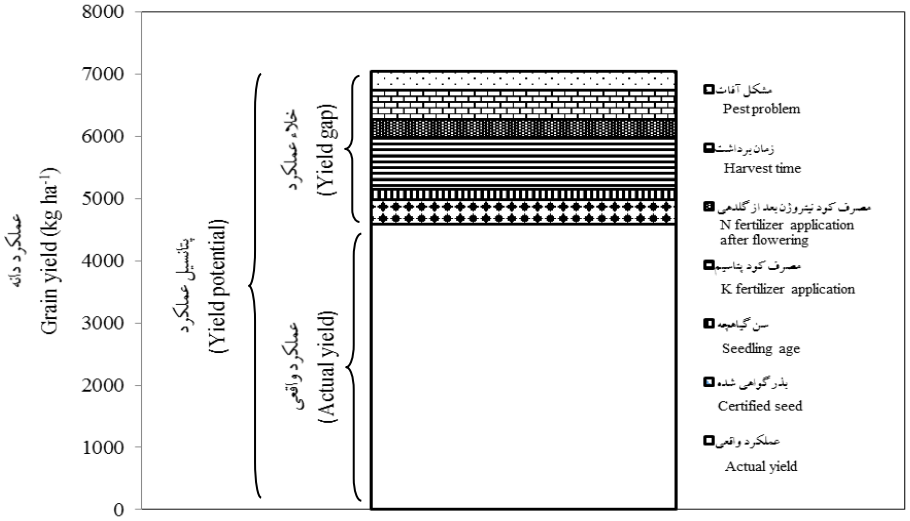
عملکرد برای دو متغیر کود پتاسیم و کود نیتروژن بعد از گلدهی به‌ترتیب ۷۶۲ و ۴۷۵ کیلوگرم در هکتار (معادل ۳۴ و ۲۲ درصد از کل افزایش عملکرد) بود. مقدار کل کود نیتروژن مصرفی توسط کشاورزان در دامنه صفر تا ۱۵۵ (کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار با میانگین ۵/۷۴ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار بود که در زمان قبل از نشاکاری به‌صورت پایه و در مراحل شروع پنجه‌زنی، اواخر پنجه‌زنی؛ مصادف با ظهور خوشه آغازین) و مرحله خوشه‌دهی کامل به‌صورت سرک مصرف شده بود. حدود ۵/۷ درصد از کشاورزان مقدار کود نیتروژن کمتر از حد بهینه مصرف کردند. با مصرف بهینه کود نیتروژن طی مراحل مختلف رشد می‌توان شرایط رشد بهینه را برای گیاه فراهم کرد تا از حداکثر ظرفیت تولید گیاه استفاده شود. دامنه تغییرات مصرف کود پتاسیم نیز از صفر تا ۹۵ کیلوگرم در هکتار (با میانگین ۶/۲۵ کیلوگرم در هکتار) بود که در زمان قبل از نشاکاری به‌صورت پایه و در مرحله خوشه‌دهی کامل به‌صورت سرک مصرف شده بود. مصرف کود پتاسیم حدود ۷/۶۷ درصد از مزارع منطقه کمتر از حد بهینه بود که نشان می‌دهد کشاورزان منطقه آگاهی لازم برای استفاده از کود پتاسیم را ندارند و نیاز به فرهنگ‌سازی در این زمینه دارد. در واقع، مصرف پتاسیم با کاهش خوابیدگی بوته و افزایش تحمل گیاه به تنش‌های زنده و غیرزنده محیطی منجر به کاهش خسارت عملکرد می‌شود (Dastan *et al.*, 2017).

سهم متغیر سن گیاهچه با اثر منفی در خلاء عملکرد ۱۷۱ کیلوگرم در هکتار (معادل هشت درصد از عملکرد قابل دستیابی) بود، بنابراین استفاده از گیاهچه‌های جوان‌تر روش مناسبی برای بهره‌برداری از قدرت جوانی گیاه بوده که با فراهم شدن فضای مناسب برای رشد آنها باعث کاهش طول دوره رشد می‌شود (Dastan *et al.*, 2014). تأخیر در گلدهی در اثر نشاکاری و تغییرپذیری آن، تابعی از سن گیاهچه در زمان نشاکاری است. استفاده از گیاهچه‌های مسن و یا بالغ، به‌صورت دسته‌ای و با تعداد زیاد گیاهچه در کپه باعث افزایش مصرف بذر و کاهش پتانسیل رشد اندام هوایی و ریشه در اثر افزایش رقابت درون بوته‌ای می‌شود (Dastan *et al.*, 2016). برای دو متغیر زمان برداشت و مشکل آفات نیز با توجه به ضریب رگرسیونی منفی آن‌ها در معادله تولید که به‌ترتیب ۴۲/۱۱- و ۸۴/۱۲۱- بودند، مقدار کاهش عملکرد ۳۴۲ و ۱۶۱ کیلوگرم در هکتار (معادل ۱۶ و هفت درصد از عملکرد قابل دستیابی) برآورد شد (جدول ۱). در میان آفات‌ی که به مزارع برنج آسیب می‌رسانند، کرم ساقه‌خوار بیشترین سهم را دارد (Majidi and Padasht, 2010). علی‌رغم اینکه مصرف سموم شیمیایی در بین شالیکارانی که از شیوه کنترل زیستی استفاده می‌کنند به‌طور کامل حذف نشده، اما کاهش چشم‌گیری در مصرف سموم در مقایسه با عدم استفاده از کنترل زیستی مشاهده شد. با توجه به این‌که طرح کاهش سموم شیمیایی و استفاده از روش‌های مبارزه زیستی، به‌ویژه زنبور تریکوگراما، نسبتاً موفقیت‌آمیز بوده (Majidi and Padasht, 2010) و کاهش مصرف سموم شیمیایی را در برداشت، به‌نظر می‌رسد که حمایت بیشتر در این زمینه مؤثر باشد (Dastan *et al.*, 2017). نتایج نشان داد که تأخیر در برداشت محصول برنج باعث کاهش عملکرد شد که این متغیر به‌طور غیرمستقیم متأثر از زمان نشاکاری دیرهنگام و مواجه شدن با شیوع نسل دوم و سوم آفت کرم ساقه‌خوار و مواجه شدن با شرایط نامساعد آب و هوایی (بارندگی و دمای بالا) و همچنین شیوع بیماری بلاست خوشه بوده که باعث وارد شدن خسارت و کاهش عملکرد می‌شود. انتخاب زمان بهینه نشاکاری می‌تواند این مشکل را بر طرف کند.

در شکل ۱ سهم هر یک از متغیرها در خلاء عملکرد همراه با عملکرد واقعی مزرعه و پتانسیل عملکرد نشان داده شده است. عملکرد واقعی مزرعه و

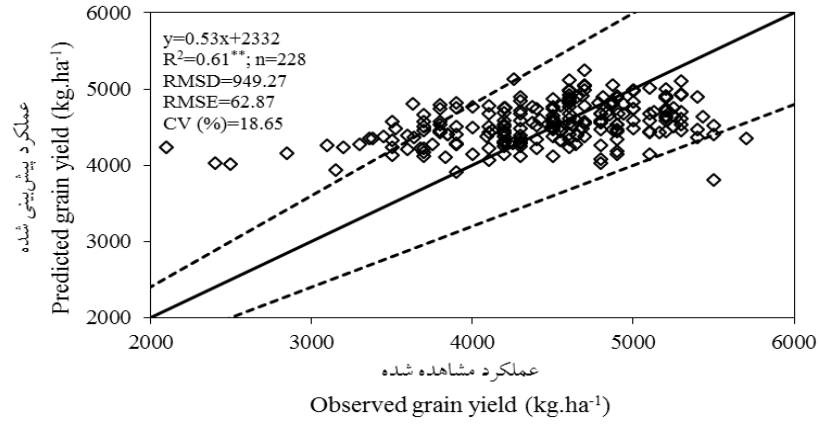
[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-10]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.2.5.7]
[DOI: 10.29252/abj.21.2.155]

پتانسیل عملکرد محاسبه شده با مدل به‌ترتیب ۴۴۵۶ و ۶۶۴۲ کیلوگرم در هکتار و میزان خلاء عملکرد ۲۱۸۶ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. این مقدار خلاء عملکرد با یافته‌های تحقیق حاضر قابل جبران است (شکل ۱). در شکل ۲ رابطه بین عملکرد واقعی (مشاهده شده) و عملکرد پیش‌بینی شده نشان داده شده است. RMSD برای عملکرد ۹۴۹/۲ کیلوگرم در هکتار و RMSE برابر ۶۲/۸ کیلوگرم در هکتار بود. ضریب تبیین عملکرد مشاهده شده و پیش‌بینی شده نیز ۰/۶۱ بود، بنابراین بر اساس برازش رابطه بین عملکرد مشاهده شده و عملکرد پیش‌بینی شده می‌توان اظهار داشت که دقت مدل (معادله تولید) مناسب بوده و می‌توان از آن برای برآورد میزان خلاء عملکرد و تعیین سهم هر یک از متغیرهای محدودکننده تولید استفاده کرد (شکل ۲).



شکل ۱- میزان تغییر عملکرد دانه برنج ناشی از متغیرهای وارد شده در معادله تولید

Fig. 1. Variation in grain yield of rice due to the variables entered in the production equation



شکل ۲- رابطه بین عملکرد مشاهده شده و عملکرد پیش‌بینی شده در برنج

دامنه ۲۰ درصد از اختلاف بین پیش‌بینی شده و مشاهده شده با خطوط منقطع نشان داده شده است. خط ممتد خط ۱:۱ است

Fig. 2. Relationship between observed and predicted yield of rice 20% of the differences between predicted and observed yields are shown by dashed lines

در این پژوهش، بالا بودن میزان خلاء عملکرد و سهم هر یک از عوامل مؤثر بر آن نشان می‌دهد که با

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-10]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.2.5.7]
[DOI: 10.29252/abj.21.2.155]

مدیریت مناسب می‌توان بخش قابل توجهی از این خلاء را جبران کرده و به پتانسیل عملکرد رسید. دست‌یابی به پتانسیل عملکرد در گیاهان زراعی به ندرت حاصل می‌شود و در عمل تنها بخشی از آن به‌عنوان محصول واقعی از مزرعه برداشت می‌شود. هدف بسیاری از محققان نیز افزایش عملکرد تا حد قابل قبولی 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 عملکردهای بالاتر از ۸۰ درصد عملکرد پتانسیل اگرچه امکان‌پذیر است، اما شاید با توجه به قیمت ادوات، کود، سم و همچنین هم‌پوشانی فصل کاشت محصولات، از نظر اقتصادی برای کشاورزان مقرون به صرفه نباشد. علاوه بر این، نتایج گزارش شده توسط سایر محققان نشان می‌دهد که مهم‌ترین مشکل خلاء عملکردهای بالای گیاهان زراعی در ایران شیوه‌های مدیریتی ناکارآمد در مزارع کشاورزان از قبیل عدم رعایت تناوب زراعی صحیح، عدم مصرف بهینه نهاده‌ها، عدم انتخاب زمان کاشت مناسب و همچنین عدم رعایت الگوهای مناسب کشاورزی پایدار است (Torabi *et al.*, 2013). اگرچه هدف از این پژوهش برآورد میزان خلاء عملکرد برنج در استان مازندران بوده و دلایل به‌وجود آمدن این میزان خلاء عملکرد نیاز به بررسی و مطالعه بیشتر دارد، اما به نظر می‌رسد که محتمل‌ترین راهکار که می‌تواند باعث افزایش عملکرد و کاهش خلاء عملکرد شود، بهبود مدیریت زراعی در مزرعه‌های کشاورزان است.

عوامل زیادی در تغییرات میزان عملکرد مزرعه در طول زمان دخالت دارند. اهمیت هر عامل در هر منطقه و با نوع گیاه زراعی تغییر می‌کند. محققان محدودیت‌های عملکرد مزرعه برنج را در چین مورد بررسی قرار داده و گزارش دادند که اکثر محدودیت‌ها مربوط به رژیم نامناسب آبیاری، مدیریت زراعی نادرست و همچنین مصرف بیش از حد آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی بود (Peng *et al.*, 2009). پتانسیل عملکرد گیاه برنج با توجه به نوع رقم و شرایط محیطی، متفاوت گزارش شده است. بعنوان مثال، پتانسیل عملکرد برنج در تحقیق اپسه و همکاران (Epse *et al.*, 2016a) برای کشت مستقیم بذر در آمریکا بسیار کمتر از پتانسیل عملکرد برنج (۱/۲۰ تن در هکتار) گزارش شده توسط شی‌هی و میشل (Sheehy and Mitchell, 2015) برای ارقام نیمه‌پاکوتاه در منطقه نیمه‌حاره‌ای با فصل رشد ۱۶۸ روز بود. ولی، تخمین پتانسیل عملکرد در مطالعه اپسه و همکاران (Espe *et al.*, 2016a,b). بالاتر از پتانسیل عملکرد محاسبه شده بر اساس حداکثر میانگین عملکرد برنج در اقلیم مشابه بود (e.g., Foley *et al.*, 2011). بر خلاف تحقیقات فولی و همکاران (Foley *et al.*, 2011)، در تحقیق اپسه و همکاران (Espe *et al.*, 2016b) با آنالیز عملکرد برنج در آمریکا گزارش شد که امکان دستیابی به ۱۰۰ درصد عملکرد قابل حصول (پتانسیل عملکرد) وجود ندارد. علاوه بر این، خلاء عملکرد در مناطق و سال‌های مختلف با توجه به تنوع آفات و پدیده‌های اقلیمی متفاوت است (Lobell *et al.*, 2009). سایر محققان سهم استفاده از ارقام بهبودیافته برنج، مدیریت حاصلخیزی خاک، مدیریت علف‌های هرز و آبیاری را در افزایش عملکرد قابل‌حصول در چین در دهه گذشته چشمگیر گزارش کرده‌اند (Zhang, 2007). بنابراین، آنالیز خلاء عملکرد برای تعیین عملکرد دست‌یافتنی ناشی از بهبود فناوری‌ها ضروری است.

برآورد خلاء عملکرد با استفاده از آنالیز خط مرزی

با برازش یک خط بر لبه بالایی داده‌ها مشخص شد که پاسخ عملکرد به‌عنوان متغیر وابسته به متغیرهای مستقل میزان بذر مصرفی، زمان نشاکاری، تراکم بوته، مصرف کود نیتروژن، مصرف کود نیتروژن قبل از

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-10]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.2.5.7]
[DOI: 10.29252/abj.21.2.155]

نشاکاری، رشد رویشی و بعد از گلدهی، از یک تابع دو تکه‌ای مثبت و متغیرهای سن گیاهچه، تعداد گیاهچه در کپه، مصرف کودهای فسفر و پتاسیم از یک تابع دو تکه‌ای منفی تبعیت می‌کند، ولی متغیرهای مشکل خوابیدگی بوته (ورس) و مشکل آفات، بیماری و علف‌های هرز از تابع خطی تبعیت کردند. نتایج نشان داد که عملکرد نقاطی که پایین‌تر از خط مرزی هستند توسط سایر عوامل محدود می‌شوند.

متوسط عملکرد مزرعه ۴۵۸۸ کیلوگرم در هکتار بود. پتانسیل عملکرد تحت اثر متغیر میزان بذر مصرفی ۵۷۷۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که با حداقل حد بهینه ۴۵ کیلوگرم بذر مصرفی در هکتار، حاصل شد (جدول ۲). این نتایج نشان می‌دهد که با مصرف ۴۵ کیلوگرم بذر، عملکرد بهینه حاصل شده و مصرف بذر بالاتر، باعث افزایش عملکرد نشد. عملکرد نسبی مربوط به متغیر میزان بذر ۷۹/۴ درصد و خلاء عملکرد ۱۲۲۷ کیلوگرم در هکتار (۷/۶ درصد از عملکرد قابل دستیابی) بوده و خلاء نسبی ۲/۲۱ درصد بود (جدول ۲).

آنالیز خط مرزی مربوط به زمان نشاکاری نشان داد که حداقل حد بهینه مربوط به این متغیر در محدوده ۲۳ روز از اول فروردین بود (جدول ۲). خلاء عملکرد ۱۲۱۹ کیلوگرم در هکتار (۷/۶ درصد از عملکرد قابل دستیابی) به‌دست آمد. عملکرد نسبی و خلاء نسبی تحت اثر متغیر زمان نشاکاری به‌ترتیب ۵/۷۹ و ۱/۲۱ درصد بود (جدول ۲). حداقل حد بهینه برای سن گیاهچه ۴۷ روز به‌دست آمد. این متغیر از تابع دو تکه‌ای منفی تبعیت کرد که نشان می‌دهد گیاهچه تا سن ۴۷ روز تاثیر منفی بر عملکرد نداشته و استفاده از گیاهچه بالاتر از ۴۷ روز باعث کاهش عملکرد شد (جدول ۲). عملکرد بر اساس حد بهینه ۵۵۶۷ کیلوگرم در هکتار با خلاء عملکرد ۱۰۱۹ کیلوگرم در هکتار (معادل ۶۳/۵ درصد) به‌دست آمد. عملکرد نسبی و خلاء نسبی مربوط به متغیر سن گیاهچه نیز به‌ترتیب ۱/۸۲ و ۳/۱۸ درصد حاصل شد (جدول ۲). یافته‌های مربوط به متغیر تعداد گیاهچه در کپه نشان داد که حداقل حد بهینه برابر شش گیاهچه در کپه بود. عملکرد بر اساس حد بهینه برای این متغیر ۵۸۱۸ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که دارای خلاء عملکرد ۱۲۷۰ کیلوگرم در هکتار (۰۲/۷ درصد) و عملکرد نسبی ۸/۷۸ درصد بود (شکل 3b). خلاء نسبی برای متغیر تعداد گیاهچه در کپه نیز ۸/۲۱ درصد به‌دست آمد (جدول ۲). حداقل حد بهینه تراکم بوته ۴/۱۶ گیاهچه در مترمربع بود (جدول ۲). عملکرد بر اساس حد بهینه نیز تحت اثر این متغیر ۵۸۰۰ کیلوگرم در هکتار با خلاء عملکرد ۱۲۵۲ کیلوگرم در هکتار (۹/۶ درصد از عملکرد قابل دستیابی) بود. همچنین، عملکرد نسبی و خلاء نسبی مربوط به متغیر تراکم کاشت به‌ترتیب ۱/۷۹ و ۵/۲۱ درصد بدست آمدند (جدول ۲).

بر اساس اطلاعات جدول ۲، حداقل حد بهینه برای مصرف کود نیتروژن ۴/۳۰ کیلوگرم در هکتار بود. عملکرد بر اساس حد بهینه و خلاء عملکرد به‌ترتیب ۵۷۲۵ و ۱۱۷۷ کیلوگرم در هکتار برآورد شد که میزان خلاء عملکرد معادل ۵/۶ درصد بود. عملکرد نسبی و خلاء نسبی برای متغیر مصرف کود نیتروژن به‌ترتیب ۱/۸۰ و ۵/۲۰ درصد به‌دست آمد (جدول ۲). تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به کود فسفر نیز نشان داد که حداقل حد بهینه ۷۵ کیلوگرم در هکتار بود. عملکرد بر اساس حد بهینه برای این متغیر ۵۸۶۶ کیلوگرم در هکتار و خلاء عملکرد ۱۳۱۸ کیلوگرم در هکتار (۲/۷ درصد) بود. برای متغیر کود فسفر عملکرد نسبی و خلاء نسبی به‌ترتیب ۲/۷۸ و ۴/۲۲ کیلوگرم در هکتار برآورد شدند (جدول ۲). حداقل حد بهینه برای کود پتاسیم ۸/۴۴ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. عملکرد بر اساس حد بهینه برای کود پتاسیم ۵۹۰۰ کیلوگرم در هکتار و خلاء عملکرد این متغیر ۱۳۵۲ کیلوگرم در

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-10]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.2.5.7]
[DOI: 10.29252/abj.21.2.155]

جدول۲- نتایج آنالیز خط مرزی همراه با محاسبه پتانسیل عملکرد و خلاء عملکرد برنج

Table 2. Results of borderline analysis along with yield potential and yield gap of rice

متغیرها Variables		واحد Unit	حداقل حد بهینه Minimum limit optimal	عملکرد بر اساس حد بهینه Yield based on optimal limit	عملکرد نسبی Relative yield (%)	خلاء عملکرد Yield gap (kg ha^{-1})	خلاء نسبی Relative gap (%)	خلاء عملکرد Yield gap (%)
Seed rate	میزان بذر	kg.ha^{-1}	45	5775	79.44	1227	21.25	6.78
Transplanting time	زمان نشاکاری	from March 21	23	5767	79.56	1219	21.14	6.73
Seedling age	سن گیاهچه	Day	47	5567	82.41	1019	18.30	5.63
No. of seedling per hill	تعداد گیاهچه در کپه	No.	6	5818	78.88	1270	21.83	7.02
Plant density	تراکم بوته	No.	16.46	5800	79.10	1252	21.59	6.92
N fertilizer	کود نیتروژن	kg.ha^{-1}	30.43	5725	80.14	1177	20.56	6.50
P fertilizer	کود فسفر	kg.ha^{-1}	75	5866	78.21	1318	22.47	7.28
K fertilizer	کود پتاسیم	kg.ha^{-1}	44.89	5900	77.76	1352	22.92	7.47
N fertilizer before transplanting	مصرف نیتروژن قبل از نشاکاری	kg.ha^{-1}	30	5903	77.72	1355	22.95	7.49
N fertilizer at vegetative stage	مصرف نیتروژن در مرحله رویشی	kg.ha^{-1}	34	5900	77.76	1352	22.92	7.47
N fertilizer after flowering	مصرف نیتروژن بعد از گلدهی	kg.ha^{-1}	12	5245	87.47	697	13.29	3.85
Lodging	خوابیدگی بوته	*	0	5784	79.32	1236	21.37	6.83
Pest problem	مشکل آفات	*	0	5581	82.21	1033	18.51	5.71
Disease problem	مشکل بیماری‌ها	*	0	5886	77.95	1338	22.73	7.39
Weed problem	مشکل علف‌های هرز	*	0	5804	79.05	1256	21.64	6.94
Average	میانگین		-	5755	79.80	1207	20.90	100

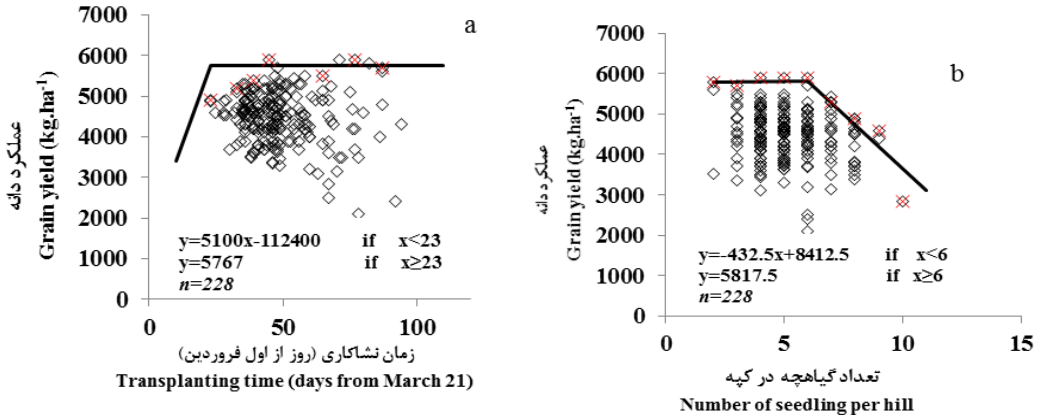
*: خوابیدگی بوته، آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز به‌ترتیب عبارتند از: هیچ (۰)، کم (۱)، متوسط (۲)، زیاد (۳) و خیلی زیاد (۴)

*: The problem of lodging, pests, diseases, weeds are: none (0), low (1), medium (2), high (3) and very high (4), respectively

*: متوسط عملکرد دانه ثبت شده در ۲۲۸ مزرعه ۴۵۸۸ کیلوگرم در هکتار بود

*: The average grain yield in 100 paddy fields was 4588 kg.ha^{-1}

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-10]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.2.5.7]
[DOI: 10.29252/abj.21.2.155]



شکل ۳- پراکنش داده‌های عملکرد دانه برنج در مقابل متغیر زمان نشاکاری (a) و تعداد گیاهچه در کپه (b) همراه با تابع خط مرزی

Fig. 3. Scatter plots of grain yield of rice data vs transplanting time (a) and number of seedling per hill (b) variables along with the fitted boundary line

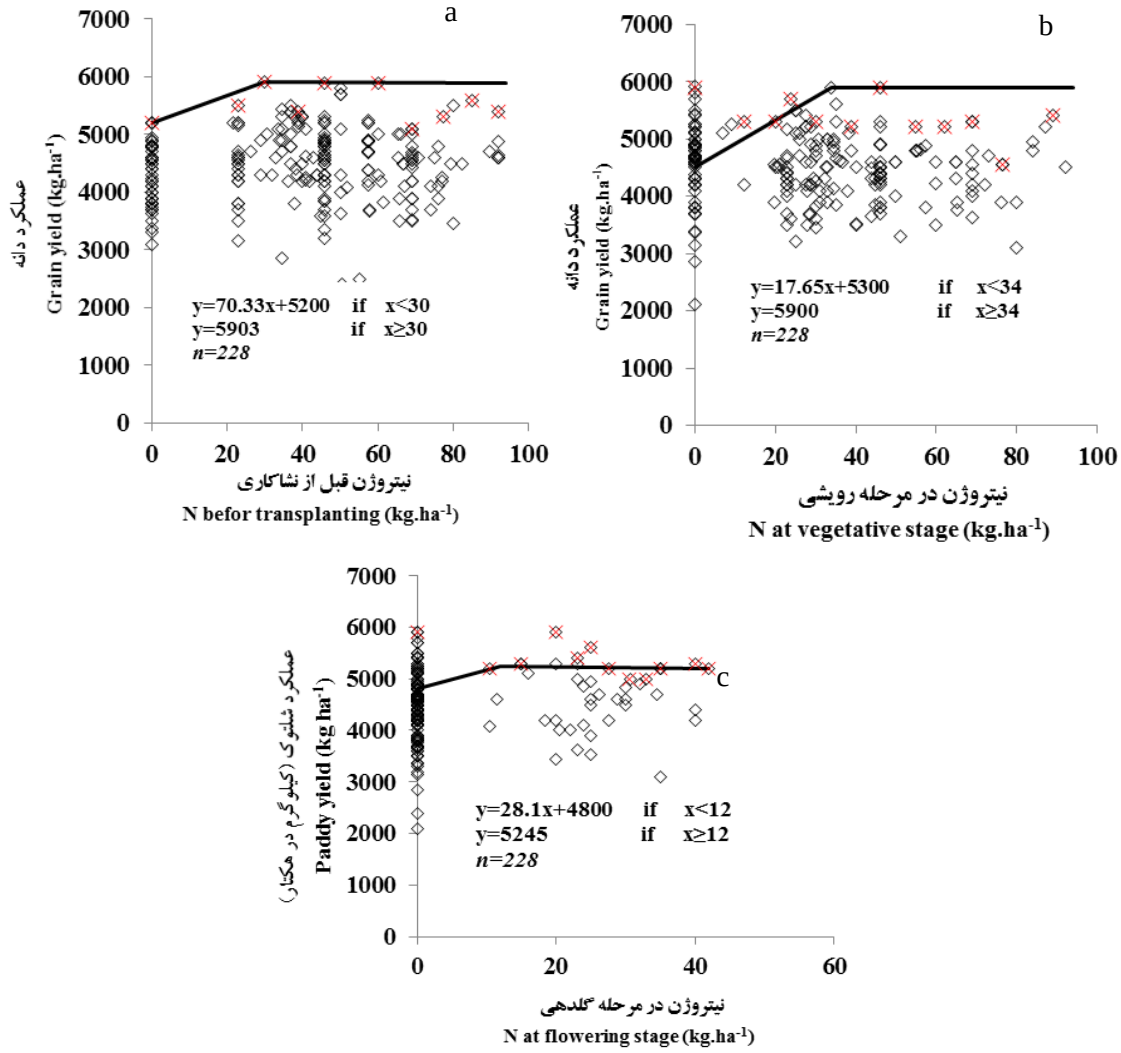
هکتار (معادل ۴۷/۷ درصد) برآورد شد. عملکرد نسبی و خلاء نسبی مربوط به این متغیر به‌ترتیب ۷/۷۷ و ۹/۲۲ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۲).

آنالیز خط مرزی برای متغیر مصرف نیتروژن قبل از نشاکاری (پایه) نشان داد که حداقل حد بهینه ۳۰ کیلوگرم در هکتار بود. حداقل حد بهینه مربوط به متغیر مصرف نیتروژن در مرحله رشد رویشی ۳۴ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۲). حداقل حد بهینه برای مصرف نیتروژن بعد از مرحله گلدهی ۱۲ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۲). عملکرد بر اساس حد بهینه برای سه متغیر مصرف نیتروژن در مراحل قبل از نشاکاری، دوره رشد رویشی و بعد از گلدهی به‌ترتیب ۵۹۰۳، ۵۹۰۰ و ۵۲۴۵ کیلوگرم در هکتار بود. خلاء عملکرد این سه متغیر نیز به ترتیب ۱۳۵۵، ۱۳۵۲ و ۶۹۷ کیلوگرم در هکتار (معادل ۴۹/۷، ۴۷/۷ و ۸۵/۳ درصد از کل) به‌دست آمد (شکل ۴ a,b,c).

عملکرد نسبی مربوط به سه متغیر مصرف نیتروژن در مراحل قبل از نشاکاری، دوره رشد رویشی و بعد از گلدهی به‌ترتیب ۷/۷۷، ۷/۷۷ و ۴/۸۷ درصد و خلاء نسبی این سه متغیر نیز به‌ترتیب ۹/۲۲، ۹/۲۲ و ۲/۱۳ درصد بود (جدول ۲). نتایج آنالیز خط مرزی مربوط به چهار متغیر خوابیدگی بوته، آفات، بیماری‌های و علف‌های هرز به‌صورت هیچ (۱)، کم (۲)، متوسط (۳)، زیاد (۴) و خیلی زیاد (۵) رتبه‌بندی شد. نتایج نشان داد که حداقل حد بهینه برای این چهار متغیر صفر بود (جدول ۲). عملکرد بر اساس حد بهینه برای این چهار متغیر به‌ترتیب ۵۷۸۴، ۵۵۸۱، ۵۸۸۶ و ۵۸۰۴ کیلوگرم در هکتار و خلاء عملکرد آن‌ها به‌ترتیب ۱۲۳۶، ۱۰۳۳، ۱۳۳۸ و ۱۲۵۶ کیلوگرم در هکتار (معادل ۶/۶، ۷/۵، ۹/۷ و ۹/۶ درصد) بود. عملکرد نسبی مربوط به متغیرهای خوابیدگی بوته، آفات، بیماری‌های و علف‌های هرز به‌ترتیب برابر ۳/۷۹، ۲/۸۲، ۹/۷۷ و ۰/۷۹ درصد و خلاء نسبی این چهار متغیر نیز به‌ترتیب ۳/۲۱، ۵/۱۸، ۷/۲۲ و ۶/۲۱ درصد بود (جدول ۲).

بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل خط مرزی مشاهده می‌شود که میانگین عملکرد بر اساس حد بهینه مربوط به ۱۵ متغیر مورد بررسی ۵۷۵۵ کیلوگرم در هکتار با خلاء عملکرد ۱۲۰۷ کیلوگرم در هکتار بود. میانگین عملکرد نسبی و خلاء نسبی مربوط به ۱۵ متغیر مورد بررسی نیز به‌ترتیب ۸/۷۹ و ۹/۲۰ درصد برآورد شد (جدول ۲).

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-10]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.2.5.7]
[DOI: 10.29252/abj.21.2.155]



شکل ۴- پراکنش داده‌های عملکرد در مقابل متغیر مصرف کود نیتروژن قبل از نشاکاری (a)، در مرحله رشد رویشی (b) و در مرحله بعد از گلدهی (c)

Fig. 4. Scatter plots of grain yield of rice data vs nitrogen fertilizer application before transplantation (kg.ha^{-1}) (a), at vegetative stage (b) and at flowering stage variables along with the fitted boundary line

با نتایج به‌دست آمده می‌توان اظهار داشت که خلاء عملکرد محاسبه شده در این پژوهش به تعریف ارائه شده توسط کونور و همکاران (Connor *et al.*, 2011) در مورد خلاء عملکرد قابل بهره‌برداری نزدیک بوده و اختلاف بین عملکرد واقعی و عملکرد قابل حصول با توجه به شرایط محیطی منطقه را نشان می‌دهد. یکی از محدودیت‌های این پژوهش تعداد سال‌های اجرای آن بوده است. هرچه تعداد سال‌های اجرای تحقیق بیشتر باشد، تخمین تأثیر نوسانات اقلیمی و آب و هوایی دقیق‌تر خواهد بود (Lobell *et al.*, 2009). برای کاهش میزان 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 نیز مشخص می‌کند. در آزمایشی با برآورد خلاء عملکرد

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-10]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.2.5.7]
[DOI: 10.29252/abj.21.2.155]

مرتبط با مدیریت زراعی ارقام بومی برنج در منطقه بابل مشاهده شد که از حدود ۱۵۵ متغیر مورد بررسی، مدل نهایی با شش متغیر مستقل انتخاب شد. در مدل عملکرد، متوسط و حداکثر عملکرد به‌ترتیب ۴۵۷۲ و ۶۴۸۹ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد که با متوسط و حداکثر عملکرد مشاهده شده (۴۵۱۲ و ۶۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) قابل مقایسه هستند. کل خلاء عملکرد تخمین زده شده ۱۹۷۷ کیلوگرم در هکتار بود (Halalkhor *et al.*, 2018). در تحقیق مشابهی در منطقه نکا عملکرد متوسط و حداکثر به‌ترتیب ۷۱۹۴ و ۹۲۴۱ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شدند. متوسط و حداکثر عملکرد مشاهده شده در مزرعه نیز ۷۱۷۸ و ۸۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بودند. کل خلاء عملکرد تخمین زده شده ۲۰۴۷ کیلوگرم در هکتار بود. بر اساس نتایج این تحقیق استفاده کافی از کود پتاسیم می‌تواند افزایش عملکرد و کاهش خلاء عملکرد دانه را در پی داشته باشد (Gorjizad *et al.*, 2019).

نتایج این پژوهش نشان داد که با استفاده از آنالیز خط مرزی در مطالعات خلاء عملکرد می‌توان پاسخ‌های عملکرد به‌عوامل مدیریتی را از طریق شناسایی سهم هر متغیر به خوبی نشان داد. با استفاده از این پاسخ‌ها می‌توان بهترین مدیریت و برنامه‌ریزی را برای دستیابی به بالاترین عملکرد مشخص کرد. البته این روش معایبی نیز دارد؛ از جمله اینکه برهمکنش متغیرهای تأثیرگذار بر عملکرد را غیر معنی‌دار در نظر گرفته 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 مهمی از محدودیت‌های تولید در یک منطقه را آشکار نماید. بنابراین، 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.

نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های این پژوهش، عملکرد واقعی مزرعه و پتانسیل عملکرد محاسبه شده برنج با استفاده از مدل CPA به‌ترتیب ۴۴۵۶ و ۶۶۴۲ کیلوگرم در هکتار و میزان خلاء عملکرد ۲۱۸۶ کیلوگرم در هکتار بود. بر اساس آنالیز خط مرزی نیز میانگین عملکرد دانه بر اساس حد بهینه، ۵۷۵۵ کیلوگرم در هکتار و خلاء عملکرد ۱۲۰۷ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. میانگین عملکرد نسبی و خلاء نسبی نیز به‌ترتیب ۸/۷۹ و ۹/۲۰ درصد برآورد شد. با توجه به اینکه پتانسیل عملکرد محاسبه شده از داده‌های واقعی مزارع کشاورزان حاصل شده، به نظر می‌رسد که پتانسیل عملکرد به‌دست آمده وابسته به منطقه بوده و این پتانسیل عملکرد برای ارقام برنج بومی، قابل حصول است.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی مصوب سازمان جهاد کشاورزی استان مازندران به شماره ۷۲۳۸۴ / الف مورخه ۱۳۹۵/۰۲/۲۳ است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

References

Atlas of Gates. 2013. Complete World Today Guide. Institute of Geography and Cartography of Gates. Centre of Research and Compilation of Gate. pp 112.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.2.5.7]
[DOI: 10.29252/abj.21.2.155]

Banneheka, B., M. Dhanushika, W. Wijesuriya and K. Herath. 2013. A linear programming approach to fitting an upper quadratic boundary line to natural rubber data. J. Natur. Sci. Found. 41: 13-20.

Bruinsma, J. 2009. The resource outlook to 2050: By how much do land, water and crop yields need to increase by 2050? FAO Expert Meeting on How to Feed the World in 2050. Rome, Italy.

Connor, D. J., R. S. Loomis and K. G. Cassman. 2011. Crop Ecology: Productivity and Management in Agricultural Systems. Cambridge University Press. 556 p.

Dastan, S., G. Noormohammadi and H. Madani. 2014. Comparison of agronomical traits of four rice genotypes in cropping systems at Neka region. Agric Crop Manage. 16(2): 231-246. (In Persian with English abstract)

Dastan, S., G. Noormohammadi, H. Madani, M. Ebrahimi and E. Yassari. 2016. Investigation of growth and phenology of main crop and ratoon of rice cultivars in different cropping systems. Plant Prod Technol. 16(1): 81-101. (In Persian with English abstract)

Dastan, S., A. Soltani, and M. Alimagham. 2017. Documenting the process of local rice varieties production in two conventional and semi-mechanized planting methods in Mazandaran province. Cereal Res. 7(4): 485-502. (In Persian with English abstract)

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.

Espe, M. B., H. Yang, K. G. Cassman, N. Guilpart, H. Sharifi and B. A. Linquist. 2016a. Estimating yield potential in temperate high-yielding, direct-seeded US rice production systems. Field Crops Res. 193: 123-132

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

Foley, J. A., N. Ramankutty, K. A. Brauman, E. S. Cassidy, J. S. Gerber, M. Johnston, N. D. Mueller, C. O'Connell, D. K. Ray, P. C. West, C. Balzer, E. M. Bennett, S. R. Carpenter, J. Hill, C. Monfreda, S. Polasky, J. Rockstrom, J. Sheehan, S. Siebert, D. Tilman and D. P. M. Zaks. 2011. Solutions for a cultivated planet. Nature. 478(7639): 337-342.

Gomez, K. A. and A. A. Gomez. 1984. Crop loss assessment in rice. Manila (Philippines): International Rice Research Institute.P.55-65. *In:* Walker, P. T. (Ed.) Statistical Procedures for Agricultural Research. Wiley, London and New York. pp 680.

Gorjizad, A., S. Dastan, A. Soltani and H. Ajam Norouzi. 2019. Evaluation of potential and yield gap associated with crop management in modified cultivars of rice production in Neka region. Agroecol J. 11(1): DOI: https://doi.org/10.22067. (In Persian with English abstract).

Hajjarpour, A., A. Soltani, E. Zeinali, H. Kashiri and A. Aynehband. 2017. Evaluation of wheat (*Triticum aestivum* L.) yield gap in Golestan province of Iran using comparative performance analysis method. Iranian J Crop Sci, 19(2): 86-101. (In Persian with English abstract)

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.2.5.7]

[DOI: 10.29252/abj.21.2.155]

Hajjarpour, A., A. Soltani, E. Zeinali, E. Kashiri, A. Aynehband and M. Nazari. 2018. Determination of the optimum managements ranges in order to increasing wheat yield in Golestan province. J. Crop Improv. 19(3): 577-590. (In Persian with English abstract).

Halalkhor, S., S. Dastan, A. Soltani and H. Ajam Norouzi. 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). J. Agric. Crops Prod. 20(2): 397-418. (In Persian with English abstract).

Hochman, Z., D. Gobbett, D. Holzworth, T. McClelland, H. van Rees, O. Marinoni, J. N. Garcia and H. Horan. 2013. Reprint of quantifying yield gaps in rainfed cropping systems: A case study of wheat in Australia. Field Crops Res. 143: 65-75.

Kitchen, N. R., S. T. Drummond, E. D. Lund, K. A. Sudduth and G. W. Buchleiter. 2003. Soil electrical conductivity and topography related to yield for three contrasting soil-crop systems. Agron. J. 95: 483-495.

Liu, Z., X. Yang, X. Lin, K. G. Hubbard. S. Lv and J. Wang. 2016. Narrowing the agronomic yield gaps of maize by improved soil, cultivar, and agricultural management practices in different climate zones of northeast China. Earth Interact. 20(12): 1-18.

Lobell, D. B., K. G. Cassman and C. B. Field. 2009. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. Annu. Rev. Environ. Resour. 34: 179-204.

Majidi, F. and F. Padasht. 2010. Rice guide (Pests and Diseases). Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). Staff Training Office (STO), Agricultural Education Press. pp 150. (In Persian).

Makowski, D., T. Doré and H. Monod. 2007. A new method to analyze relationships between yield components with boundary lines. Agron. Sustain. Dev. 27: 119-128.

Peng, S., Q. Tang and Y. Zou. 2009. Current status and challenges of rice production in China. Plant Prod. Sci. 12: 3-8.

Shatar, T. M. and A. B. Mcbratney. 2004. Boundary-line analysis of field-scale yield response to soil properties. J. Agric. Sci. 142: 553-560.

Sheehy, J. E. and P. I. Mitchell. 2015. Calculating maximum theoretical yield in rice. Field Crops Res. 182: 68-75.

Silva, J. V., P. Reidsma, A. G. Laborte and M. K. van Ittersum, M. K. 2017. Explaining rice yields and yield gaps in Central Luzon, Philippines: An application of stochastic frontier analysis and crop modeling. Eur. J. Agron. 82: 223-241.

Soltani, A., A. Hajjarpoor and V. Vadez. 2016. Analysis of chickpea yield gap and water-limited potential yield in Iran. Field Crops Res. 185: 21-30.

Soltani, A., S. Galeshi and E. Zeinali. 2000. Analysis of limitations contained in wheat production in Golestan province (Research report). Management and Planning Organization of Golestan province. (In Persian with English abstract).

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.2.5.7]

[DOI: 10.29252/abj.21.2.155]

Torabi, B., A. Soltani, S. Galeshi, E. Zeinali and M. Kazemi Korgehei. 2013. Ranking factors causing the wheat yield gap in Gorgan. Electronic J. Crop Prod. 6(1): 171-189. (In Persian with English abstract).

van Ittersum, M. K., K. G. Cassman, P. Grassini, J. Wolf, P. Tittonell and Z. Hochman. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance-A review. Field Crops Res. 143: 4-17.

Xu, X., P. He, S. Zhao, S. Qiua, A. M. Johnstond and W. Zhou. 2016. Quantification of yield gap and nutrient use efficiency of irrigated rice in China. Field Crops Res. 186: 58-65.

Yousefian, M., S. Dastan, A. Soltani and H. Ajam Norouzi. 2018. Estimation of yield gap in local rice cultivars by using CPA and BLF methods (case study: Mazandaran province, Sari region). J. Crop Manage. 10(3): 265-288. (In Persian with English abstract).

Zhang, Q. F. 2007. Strategies for developing green super rice. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 104: 16402-16409.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.2.5.7]

[DOI: 10.29252/abj.21.2.155]

Identification of production constraints and yield gap monitoring of local rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in Mazandaran province

Rezvantalab, N.[1], S. Dastan[2] and A. Soltani[3]

ABSTRACT

Rezvantalab, N., S. Dastan, A. Soltani. 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).**

One of the main problems for rice production is the large difference between farmers' actual yields and attainable yields. Therefore, it is important to identify the limiting factors on yield and yield gap. In this research, all performed management practices from seedbed preparation to harvesting in 228 paddy fields of local rice cultivars in the east, central and west parts of Mazandaran province, Iran were surveyed through field monitoring in 2015 and 2016. The results showed that the variables of certified seed, seedling age, and potassium application, nitrogen application after flowering, harvest time and pest problem were introduced into the comparative performance analysis (CPA) equation. The actual yield of the field and the calculated yield potential were estimated 4456 and 6642 kg.ha^{-1}, respectively, hence the yield gap was estimated 2186 kg.ha^{-1}. In the boundary line analysis (BLA), by fitting one line on the upper edge of the data, it was determined that the response function as a dependent variable to independent variables on seed rate, transplanting date, planting density, nitrogen application. Moreover, basal nitrogen application, nitrogen application in vegetative and after flowering stages had a positive piecewise function. The seedling age variable, phosphorus and potassium application and the number of seedling per hill followed a negative piecewise function. However,, four variables including the lodging, pests, diseases and weeds problems followed a linear function. According to BLA, the average yield was 5755 kg.ha^{-1} with a yield gap of 1207 kg.ha^{-1}. An average relative yield and relative yield gap were estimated 79.8% and 20.90%, respectively. Given that the calculated yield potential in this analysis in three regions was obtained from the actual data of each field, it can be concluded that the yield potential is dependent on the region and is attainable.

Key word: Boundary line analysis, Comparative performance analysis, Rice, Yield potential and Yield gap.

Received: January, 2019 Accepted: May, 2019

1. PhD Graduate, Gorgan University of Agricultural and Natural Resources Sciences, Gorgan, Iran
2. Postdoctoral Research Fellow, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Karaj, Iran (Corresponding author) (Email: dastan@abrii.ac.ir)
3. Professor, Gorgan University of Agricultural and Natural Resources Sciences, Gorgan, Iran

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.2.5.7]
[DOI: 10.29252/abj.21.2.155]