مجله پژوهش‌های به زراعی
جلد ۱۷ ، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴

مجله پژوهش‌های به زراعی

مستندسازی فرآیند تولید و برآورد خلاء عملکرد برنج با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد (CPA) در منطقه ساری

روژین شیخی[1]، هرمز فلاح[1*]، یوسف نیک‌نژاد[1]، سلمان دستان[2]، داوود براری تاری[1]

۱- گروه زراعت، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران
۲- پژوهشگر، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، کرج

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۳/۲۲

چکیده

مستندسازی فرآیند تولید در کشاورزی شامل تهیه کلیه اطلاعات و فعالیت‌هایی است که سیر تولید یک محصول زراعی را از مرحله تهیه بستر بذر تا برداشت نشان می‌دهد. اولین قدم برای کاهش خلاء عملکرد، مشخص کردن متغیرهای مهم محدودکننده عملکرد است. لذا هدف از مطالعه حاضر مستندسازی فرآیند تولید و برآورد خلاء عملکرد ارقام محلی برنج با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد (CPA) بود. در این پژوهش کلیه عملیات مدیریتی انجام شده از مرحله تهیه بستر بذر تا برداشت برای ارقام محلی برنج از طریق مطالعات میدانی در منطقه ساری در ۱۰۰ مزرعه شالیزاری واقع در استان مازندران طی سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ با استفاده از پرسشنامه ثبت شد. جهت تعیین مدل عملکرد (تولید)، رابطه بین تمامی متغیرها و عملکرد شلتوک از طریق رگرسیون گام به گام بررسی شد. خلاء عملکرد نیز از تفاضل عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی به‌دست آمد. نتایج نشان داد که از حدود ۱۵۵ متغیر مورد بررسی، مدل نهایی با هشت متغیر مستقل انتخاب شد. متوسط عملکرد واقعی ثبت شده برابر ۴۲۲۱ کیلوگرم در هکتار بود. در معادله تولید، متوسط و حداکثر عملکرد به‌ترتیب ۴۴۳۷ و ۶۶۹۰ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد که کل خلاء عملکرد تخمین زده شده برابر ۲۲۵۳ کیلوگرم در هکتار بود. سهم متغیرهای سن گیاهچه، تاریخ نشاکاری، تعداد نشا در کپه و برداشت توسط کمباین به ترتیب برابر ۱۰۴، ۲۲۴، ۵۳۴ و ۲۴ کیلوگرم در هکتار سهمی، معادل ۵، ۱۰، ۲۴ و ۱ درصد از کل خلاء عملکرد را شامل شدند. همچنین، متغیرهای تناوب زراعی، مصرف کود پتاسیم و کود نیتروژن بعد از گلدهی و تعداد دفعات استفاده از کود به صورت سرک به ترتیب با ۲۶۲، ۴۰۸، ۴۰۵ و ۲۹۲ کیلوگرم در هکتار خلاء عملکرد سهمی معادل ۱۲، ۱۸، ۱۸ و ۱۳ درصد از کل را نشان دادند. بنابراین، بر اساس برازش رابطه بین عملکرد مشاهده شده و عملکرد پیش‌بینی شده می‌توان بیان کرد که دقت مدل رگرسیونی گام به گام (R^2=61) مناسب بوده و می‌تواند برای برآورد میزان خلاء عملکرد و تعیین سهم هر یک از متغیرهای محدود کننده عملکرد به‌کار گرفته شود. اگرچه هدف از این پژوهش برآورد میزان خلاء عملکرد برنج در منطقه ساری 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.

واژه‌های کلیدی: برنج، پتانسیل عملکرد، رگرسیون گام به گام، عملکرد واقعی، مدیریت مزرعه

* نگارنده مسئول (hormoz.fallah@iau.ac.ir)

مقدمه

برنج از قدیمی‌ترین گیاهانی است که پس از گندم بیشترین سطح زیر کشت اراضی کشاورزی را در جهان به خود اختصاص داده است و به‌عنوان غذای اصلی میلیون‌ها نفر در جهان بوده و نقش بارزی در تغذیه، درآمد و اشتغال‌زایی مردم جهان از جمله ایران دارد (FAO, 2016). کشور ایران نیز با حدود ۵۵۰ هزار هکتار سطح زیر کشت و تولید دو میلیون تن برنج سفید سهمی معادل ۰/۴ درصد از سطح زیر کشت و تولید برنج دنیا را به خود اختصاص می‌دهد که حدود ۷۵ درصد در استان‌های گیلان، مازندران و گلستان و نزدیک به ۲۵ درصد از اراضی شالیزاری باقی‌مانده در ۱۳ استان دیگر با شرایط آب و هوایی متفاوت قرار دارد (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۵). یکی از مشکلات اساسی تولید گیاهان زراعی در کشور ایران، اختلاف زیاد بین عملکرد واقعی کشاورزان و عملکرد قابل‌حصول است. آنالیز خلاء عملکرد یک تخمین کمی 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 تعریف می‌شود (Lobell *et al.*, 2009; Van Ittersum *et al.*, 2013). تحلیل مقایسه کارکرد*(CPA) یکی از روش‌هایی است که برای کمی کردن خلاء عملکرد استفاده می‌شود. با استفاده از این روش محدودیت‌های اصلی عملکرد و توابع کمی‌شده برای خلاء عملکرد تعیین می‌شود. در روش CPA با استفاده از رگرسیون چندگانه و با روش گام‌به‌گام (Soltani *et al.*, 2016)، 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). در سال‌های اخیر، آنالیز خلاء عملکرد گیاهان زراعی به صورت گسترده‌ای در جهان مورد بررسی قرار گرفته که از نظر وسعت می‌توان آن‌ها را در سطوح جهانی (Van Ittersum *et al.*, 2013)، ملی (Hochman

*Comparative Performance Analysis

(Liu *et al.*, 2013) و منطقه‌ای (Tanaka *et al.*, 2015)، آنالیز خلاء عملکرد نظام‌های کاشت برنج در آمریکا با استفاده از مدل ORYZA (Espe *et al.*, 2016a, b)، شبیه‌سازی خلاء عملکرد برنج در دنیا به روش مقیاس جهانی (Mueller *et al.*, 2012)؛ تعیین خلاء عملکرد برنج غرقابی در کشور چین به روش تجزیه همبستگی پیرسون (Xu *et al.*, 2016) و آنالیز خلاء عملکرد برنج با استفاده از مدل‌سازی در فیلیپین به روش آنالیز مرز تصادفی و مدل گیاهی (Silva *et al.*, 2017) اشاره کرد. کاییرانگا (Kayiranga, 2006) در مطالعه دیگر نیز خلاء عملکرد برنج را در هلند برابر ۱۸۵۵ کیلوگرم در هکتار برآورد کرد. در ایران آنالیز خلاء عملکرد به‌صورت پراکنده و برای گیاهان زراعی محدود انجام شد. حلالخور و همکاران (۱۳۹۷) با بررسی ۱۱۰ مزرعه ارقام محلی برنج در منطقه بابل گزارش دادند میزان پتانسیل عملکرد برابر با ۶۴۸۹ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد که خلاء عملکرد برنج نیز برابر با ۱۹۷۷ کیلوگرم در هکتار بود. گرجی‌زاد و همکاران (۱۳۹۸) نیز با مطالعه ۱۰۰ مزرعه ارقام اصلاح‌شده برنج در منطقه نکا گزارش دادند که متوسط و حداکثر عملکرد محاسبه شده با مدل به‌ترتیب ۷۱۹۴ و ۹۲۴۱ کیلوگرم در هکتار و کل خلاء عملکرد تخمین زده شده بر اساس روش CPA برابر ۲۰۴۷ کیلوگرم در هکتار بود مطالعات انجام شده نشان می‌دهد اولین قدم

Reidsma & Jeuffroy, 2017). از دیگر مطالعات در این زمینه برای گیاه برنج می‌توان به آنالیز خلاء عملکرد برنج در نظام‌های کاشت رایج و ارگانیک در مدیترانه به روش رگرسیون چندگانه (Delmotte *et al.*, 2011)؛ تعیین عوامل مؤثر بر تنوع عملکرد برنج غرقابی در Southern-central Benin به روش رگرسیون چندگانه (Tanaka *et al.*, 2013)، تعیین عوامل رکود عملکرد برنج در نظام‌های کاشت غرقابی در Senegal River Valley به روش رگرسیون چندگانه (Tanaka *et al.*, 2015)، آنالیز خلاء عملکرد نظام‌های کاشت برنج در آمریکا با استفاده از مدل ORYZA (Espe *et al.*, 2016a, b)، شبیه‌سازی خلاء عملکرد برنج در دنیا به روش مقیاس جهانی

برای کاهش خلاء عملکرد، مشخص کردن متغیرهای مهم محدودکننده عملکرد است. شناخت صفات محدودکننده 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 کارآیی استفاده از زمین و نیروی انسانی را بهبود می‌بخشد که در نتیجه هزینه تولید را کاهش و پایداری عملکرد را افزایش می‌دهد. لذا، با توجه به اینکه استان مازندران بیش‌ترین سطح زیر کشت و تولید برنج در کشور را دارا است، مستندسازی فرآیند تولید و برآورد خلاء عملکرد مرتبط با مدیریت زراعی برنج در این استان در منطقه ساری انجام شد تا امکان بهبود فرآیندهای تولید برنج ارزیابی شود.

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 که 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 معتدل و هوای قسمت کوهستانی آن سردسیری است.

جمع‌آوری داده‌ها

مستندسازی فرآیند تولید در کشاورزی شامل تهیه کلیه اطلاعات و فعالیت‌هایی است که سیر تولید یک محصول از مرحله تهیه بستر بذر تا برداشت را نشان می‌دهد. به این منظور در این پژوهش کلیه عملیات‌های مدیریتی از مرحله شخم اولیه و تهیه خزانه تا برداشت مربوط به ۱۰۰ مزرعه جمعا به مساحت ۱۲۲ هکتار 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 شده است. تمامی مزارع مورد مطالعه متعلق به ارقام محلی مثل طارم هاشمی، سنگ طارم، طارم دیلمانی و طارم لنگرودی بود. هر سال، ۵۰ مزرعه در منطقه مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام این تحقیق ابتدا مزارع به‌طور تصادفی شناسایی و انتخاب شدند. شیوه شناسایی مزارع

به شکلی بود که کلیه روش‌های عمده تولید را در منطقه پوشش داده و از لحاظ مدیریتی نیز دارای تنوع باشد که اطلاعات کلی پرسشنامه در جدول ۱ ارائه شده است. سپس، برای جمع‌آوری اطلاعات مربوط به مدیریت مزرعه، ابتدا کلیه اعمال زراعی تفکیک شدند. با شروع هر عملیات، با توجه به نوسانات دمایی، تنوع روش‌های تولید و مقادیر مختلف کاربرد نهاده‌ها (ورودی‌ها) توسط کشاورزان منطقه و به‌منظور 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. 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 آن، زمان کاشت، کود (نوع کود، میزان کود و زمان مصرف)، مبارزه با آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، آبیاری (تعداد و زمان آبیاری) و مسایل مربوط به برداشت (زمان برداشت و میزان عملکرد) جمع‌آوری شد. این اطلاعات در قالب پرسش‌نامه با ۱۰۰ کشاورز جمع‌آوری و تکمیل شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تعیین مدل عملکرد (تولید)، رابطه بین تمام متغیرهای اندازه‌گیری شده (کمی و کیفی؛ متغیرهای کیفی به صورت صفر و یک کدگذاری شد) و عملکرد از طریق روش رگرسیون گام به گام مورد بررسی قرار گرفت. مدل نهایی با استفاده از روش آزمون و خطای کنترل شده تعیین شد که می‌تواند اثر محدودیت‌های عملکرد را کمی کند. با قرار دادن متوسط مشاهده شده متغیرها (X ها) در مزارع مورد بررسی در مدل عملکرد، عملکرد متوسط با مدل محاسبه شد. سپس، با قرار دادن بهترین مقدار مشاهده شده متغیرها در مدل عملکرد، حداکثر عملکرد قابل‌حصول محاسبه گردید. اختلاف این دو، برابر خلاء عملکرد بود. 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 نشان دهنده 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 بوده و به صورت درصد نشان داده شد. برای تجزیه و تحلیل از رویه‌های مختلف نرم‌افزار SAS استفاده شد.

جدول ۱- عوامل مدیریت زراعی (متغیر) ثبت شده در مزارع مورد بررسی

نام و نوع متغیر
۱- متغیرهای مرتبط با مشخصات کشاورز: نام، سن، جنسیت، سابقه تولید و تحصیلات.
۲- متغیرهای مرتبط با اطلاعات کلی مزرعه: نام روستا، موقعیت جغرافیایی، مساحت مزرعه، محصول قبلی، نام بقوله قبلی، آخرین سال از بقوله قبلی، موقعیت مزرعه، جهت شیب مزرعه، مشکل زه‌کشی مزرعه، مشکل آب‌گرفتگی مزرعه، وضعیت تسطیح، تاریخ تسطیح و ...
۳- متغیرهای مرتبط با عملیات تهیه بستر بذر: نام و نوع ادوات و ماشین‌آلات، تاریخ و تعداد دفعات کاربرد ماشین‌آلات، شیوه خاک‌ورزی، وضعیت بستر در زمان کاشت، رطوبت بستر در زمان کاشت، مشکل سله و ...
۴- متغیرهای مرتبط با تغذیه گیاه: نام کود، مصرف پایه و سرک، تاریخ مصرف، مرحله رشدی گیاه در زمان مصرف، مقدار مصرف، شیوه مصرف، تعداد دفعات سرک، نوع کود دامی، مقدار کود دامی و غیره
۵- متغیرهای مرتبط با عملیات کاشت: میزان بذر، وضعیت ضدعفونی بذر، ماده ضدعفونی بذر، نام رقم، نوع رقم، منبع تهیه بذر، درجه رضایت از بذر، تراکم بوته، روش کاشت، تاریخ کاشت و غیره
۶- متغیرهای مرتبط با حفاظت گیاه: نام و نوع سموم مصرفی، تاریخ و مرحله رشدی گیاه در زمان مصرف هر سم، مقدار و واحد مصرف سموم، شیوه مصرف سموم، تعداد دفعات مصرف علف‌کش، حشره‌کش، قارچ‌کش و غیره
۷- متغیرهای مرتبط با وجین و سایر عملیات زراعی: نام عملیات زراعی، تاریخ انجام، وسیله مورد استفاده و غیره
۸- متغیرهای مرتبط با برداشت: تراکم بوته در زمان برداشت، تاریخ برداشت، نام ادوات و ماشین‌آلات برداشت، میزان عملکرد بذر، متوسط عملکرد سال‌های قبل، شیوه مدیریت بقایای محصول، مشکل خوابیدگی بوته، مشکل آفات، مشکل بیماری‌ها، مشکل علف‌های هرز، مشکل برداشت، نوع کمباین برداشت، آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز مهم و خسارت‌زای سال جاری و سال‌های قبل و غیره

نتایج و بحث

مستندسازی فرآیند تولید

ارزیابی داده‌های مزرعه‌ای در زمینه سابقه تولید کشاورز نشان داد که بین یک الی ۵۵ سال سابقه تولید داشتند که میانگین سابقه تولید برابر ۲۶ سال بود. طبق یافته‌ها بذر مصرفی در دامنه ۲۷ الی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۴۸ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۲). در منطقه نکا میزان بذر مصرفی در ۱۰۰ مزرعه مورد مطالعه ارقام اصلاح شده برنج بین ۳۰ تا ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شد که در ۲۹ درصد از مزارع مصرف بذر کمتر از ۵۰ کیلوگرم در

هکتار و ۲۴ درصد از کشاورزان مصرف بذر بین ۵۰ الی ۶۰ کیلوگرم در هکتار داشتند (گرجی‌زاد و همکاران، ۱۳۹۸). دیگر محققان گزارش کردند که مصرف بذر توسط کشاورزان منطقه بابل بین ۳۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود که حد ایده‌ال مصرف بذر ۵۰-۴۰ کیلوگرم در هکتار است (حلالخور و همکاران، ۱۳۹۷). کشاورزان در کاشت رایج به‌طور معمول نشاهای مسن و بالغ گیاه برنج را با تراکم‌های بالا، به‌صورت دسته‌ای و با تعداد بسیار زیاد گیاهچه در کپه نشاکاری می‌کنند که باعث افزایش مصرف بذر و کاهش پتانسیل رشد اندام هوایی و ریشه گیاه برنج در اثر افزایش رقابت درون بوته‌ای می‌شود (دستان و همکاران، ۱۳۹۴).

جدول ۲- میانگین، حداقل، حداکثر، اشتباه استاندارد و ضریب تغییرات متغیرهای مورد بررسی در ۱۰۰ مزرعه برنج

متغیر	میانگین	حداقل	حداکثر	اشتباه معیار	ضریب تغییرات (٪)
سابقه تولید (سال)	۲۵/۸۴	۱	۵۵	۱/۲	۴۶/۶۸
میزان بذر مصرفی (کیلوگرم در هکتار)	۴۸/۴۹	۲۷	۱۰۰	۱/۳۹	۲۸/۸۱
تاریخ نشاکاری (روز از ۱ فروردین)	۴۴/۰۴	۲۸	۷۰	۰/۸۸	۲۰/۰۶
سن گیاهچه (روز)	۳۸/۰۱	۲۵	۵۷	۰/۶۶	۱۷/۲۸
تعداد گیاهچه در کپه	۵	۲	۸	۰/۱۱	۲۱/۲۷
تراکم کاشت (در متر مربع)	۲۰/۱۸	۹	۴۰	۰/۶۹	۳۴/۳۵
فسفر (کیلوگرم در هکتار)	۴۳/۸۷	۰	۱۴۴	۳/۰۲	۶۸/۸۳
پتاسیم (کیلوگرم در هکتار)	۳۵/۱	۰	۱۳۶/۸	۳/۱۸	۹۰/۷۳
نیتروژن قبل از نشا (کیلوگرم در هکتار)	۳۱	۰	۱۱۵	۳/۱۶	۱۰/۱۸
نیتروژن مرحله رویشی (کیلوگرم در هکتار)	۳۵/۶۷	۰	۱۱۵	۳/۲۲	۹۰/۳۲
نیتروژن بعد از گلدهی (کیلوگرم در هکتار)	۱۰/۰۲	۴۶	۰	۰/۹۵	۹۴/۶۱
مصرف روی در هکتار (کیلوگرم در هکتار)	۰/۹۲	۱۷/۰۴	۰	۰/۲۶	۲۸/۱۵
مصرف گوگرد در هکتار (کیلوگرم در هکتار)	۰/۷۳	۴۰	۰	۰/۴۴	۵/۹۴
دفعات مصرف حشره کش	۱/۲	۳	۰	۰/۰۷	۵۴/۲۸
دفعات مصرف علف کش	۱/۸۶	۳	۰	۰/۰۵	۲۵/۳۷
دفعات مصرف قارچ کش	۰/۶۲	۲	۰	۰/۰۶	۱۰/۴۵
تاریخ برداشت (روز از ۱ فروردین)	۱۳۵	۱۶۰	۱۲۱	۰/۷	۵/۲
عملکرد شلتوک (کیلگرم در هکتار)	۴۷۲۱	۵۹۵۰	۳۳۵۰	۶۳/۴۶	۱۳/۴۴

تاریخ نشاکاری در منطقه از نیمه دوم فروردین شروع شده و تا نیمه اول خرداد ماه ادامه داشت (جدول ۲)، که نتایج مشابهی توسط دیگر محققان برای تاریخ نشاکاری برنج در منطقه نکا و بابل گزارش شد (حلالخور و همکاران، ۱۳۹۷؛ گرجی‌زاد و همکاران، ۱۳۹۸). سن گیاهچه نیز

در دامنه ۲۵ الی ۵۷ روز بود که میانگین سن گیاهچه در ۱۰۰ مزرعه برابر ۳۸ روز ثبت شد. نتایج مشابهی توسط دیگر محققان از نظر تعداد نشا در کپه برای نشاکاری برنج در منطقه نکا و بابل گزارش شد (حلالخور و همکاران، ۱۳۹۷؛ گرجی‌زاد و همکاران، ۱۳۹۸).

از نظر تراکم کاشت نیز مزارع مورد بررسی در منطقه دارای تراکم ۹ الی ۴۰ بوته در متر مربع با میانگین ۲۰ بوته در متر مربع بودند. مزارع مورد بررسی از نظر تعداد نشا در کپه نیز بین دو الی هشت نشا با میانگین پنج نشا در کپه نشاکاری شدند (جدول ۲). بر اساس یافته‌ها تراکم کاشت در ۱۰۰ مزرعه مورد بررسی ارقام پرمحصول برنج در منطقه نکا بین ۱۶ الی ۴۰ بوته در متر مربع بود (گرجی‌زاد و همکاران، ۱۳۹۸). علاوه بر این، تراکم کاشت در ۱۱۰ مزرعه مورد بررسی ارقام محلی برنج در منطقه بابل بین ۱۷ الی ۴۰ بوته در متر مربع حاصل شد (حلالخور و همکاران، ۱۳۹۷).

تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به متغیر نیتروژن مصرفی در ۱۰۰ مزرعه واقع منطقه آمل نشان داد که از نیتروژن مصرفی قبل از نشاکاری در دامنه صفر الی ۱۱۵ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۳۱ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. بر اساس میانگین کل نیتروژن مصرفی در مرحله رویشی مشاهده می‌شود که دامنه تغییرات مصرف نیتروژن بین صفر الی ۱۱۵ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۳۶ کیلوگرم در هکتار گزارش شد. همچنین، بر اساس میانگین نیتروژن مصرفی در مرحله بعد از گلدهی، دامنه مصرف بین صفر الی ۴۶ کیلوگرم با میانگین ۱۰ کیلوگرم در هکتار ثبت شد. دامنه تغییرات فسفر مصرفی بین صفر الی ۱۴۴ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۴۴ کیلوگرم بود. از نظر مصرف پتاسیم نیز دامنه تغییرات بین صفر الی ۱۳۶/۸ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۳۵ کیلوگرم حاصل شد. با توجه به یافته‌های جدول ۲ مشاهده می‌شود که مصرف کود روی و گوگرد در منطقه پایین بوده که میانگین مصرف کود روی برابر ۰/۹۲ کیلوگرم در هکتار و میانگین مصرف گوگرد برابر ۰/۷۳ کیلوگرم در هکتار بود که سهم ناچیز را در ۱۰۰ مزرعه نشان می‌دهد (جدول ۲).

معمولاً مصرف کود سرک توسط کشاورزان در دو الی سه مرحله انجام می‌شود که بیش‌تر

کشاورزان در مراحل شروع پنجه‌دهی و ظهور خوشه آغازین انجام می‌دهند و برخی از کشاورزان نیز در مرحله خوشه‌دهی کامل کود سرک مصرف می‌کنند. کشت و کار رایج منطقه به‌علّت عدم درک صحیح از نیازمندی‌های گیاه برنج، با مشکلات زیادی روبه‌رو است. به‌طوری‌که مصرف بی‌رویه آب، کودها و سموم شیمیایی نه تنها به افزایش هزینه تولید منجر شده، بلکه موجب کاهش عملکرد شده و باعث تخریب منابع و محیط زیست در دراز مدت می‌گردد (حق‌شناس و همکاران، ۱۳۹۷). یافته‌های ۱۰۰ مزرعه مورد بررسی ارقام اصلاح شده برنج در منطقه نکا نشان داد که میزان کل کود نیتروژن مصرفی در منطقه بین ۱۰/۸ الی ۲۳۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود (گرجی‌زاد و همکاران، ۱۳۹۸). در منطقه بابل میزان کل کود نیتروژن مصرفی در ۱۰۰ مزرعه برای ارقام محلی برنج بین صفر الی ۱۸۴ کیلوگرم در هکتار متغیر بود که حدود ۱۹ درصد از کشاورزان کمتر از ۵۰ کیلوگرم و حدود ۵۰ درصد از کشاورزان نیز بین ۵۰ الی ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار مصرف کردند (حلالخور و همکاران، ۱۳۹۷). مصرف کود فسفر و پتاسیم در دو منطقه بابل و نکا برای ارقام اصلاح شده و محلی حدود صفر الی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (جدول ۱). به‌طور کلی ارزیابی اراضی شالیزاری در شمال ایران نشان می‌دهد که مصرف کود روی در منطقه ناچیز است. طبق یافته‌ها در منطقه نکا با بررسی ۱۰۰ مزرعه گزارش شد که در ۸۸ درصد از مزارع مصرف روی گزارش نشد و تنها در هشت درصد از مزارع مصرف روی بین دو الی ۱۵ کیلوگرم در هکتار بود (گرجی‌زاد و همکاران، ۱۳۹۸).

تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که برداشت محصول در منطقه ساری از ۱۲۱ الی ۱۶۰ بعد از اول فروردین انجام شده بود که میانگین آن برابر ۱۳۵ روز بود (جدول ۲). نتایج مشابهی توسط دیگر محققان با بررسی تاریخ برداشت ارقام محلی و اصلاح شده برنج در منطقه نکا و بابل گزارش شد (حلالخور و همکاران، ۱۳۹۷؛ گرجی‌زاد و همکاران، ۱۳۹۸). با توجه به یافته‌های جدول ۱ مشاهده می‌شود که دامنه تغییرات عملکرد شلتوک در ۱۰۰ مزرعه مورد بررسی بین ۳۳۵۰ الی ۵۹۵۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. میانگین عملکرد در ۱۰۰ مزرعه منطقه برابر ۴۷۲۱ کیلوگرم در هکتار به دست

آمد. دیگر محققان با بررسی عملکرد ۱۱۰ مزرعه از رقام محلی برنج در منطقه بابل گزارش کردند که دامنه تغییرات عملکرد شلتوک در ۱۱۰ مزرعه بین ۳۲۰۰ الی ۶۱۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. طبق یافته‌های آن‌ها، عملکرد حدود ۲۰ درصد از مزارع بین ۳۸۰۰ الی ۴۲۲۵ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. همچنین، در ۳۰ درصد از مزارع مورد بررسی عملکرد بین ۴۲۲۵ الی ۴۶۹۰ کیلوگرم در هکتار و حدود ۳۰ درصد از مزارع عملکرد بین ۴۶۹۰ الی ۵۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (حلالخور و همکاران، ۱۳۹۷).

تخمین خلاء عملکرد بر اساس روش CPA

مدل تولید

یافته‌های مربوط به رگرسیون گام به گام برای تعیین مهم‌ترین متغیرهای مدیریتی مؤثر بر عملکرد و مدل عملکرد در جدول ۳ ارایه شده است. در این مدل رگرسیونی در منطقه ساری عملکرد شلتوک در واحد سطح به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد و سایر متغیرها از قبیل سن گیاهچه، تناوب زراعی (پیش‌کاشت گیاهانی مثل کلزا، گندم، شبدر برسیم، باقلا و غیره)، تاریخ نشاکاری، تعداد گیاهچه در کپه، مصرف پتاسیم، نیتروژن بعد از گلدهی، دفعات مصرف سرک و برداشت با کمباین 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 ۱۵۵ متغیر مورد بررسی، مدل (معادله رگرسیون نهایی) با هشت متغیر مستقل انتخاب شد (جدول ۳). انتخاب هشت متغیر از طریق رگرسیون گام‌به‌گام با استفاده از نرم‌افزار SAS بود. معادله نهایی عملکرد به‌صورت زیر بود:

$$Y\ (kg\ h^{-1}) = 4885 - 8\ X_1 + 654\ X_2 - 14\ X_3 - 178\ X_4 + 4\ X_5 + 27\ X_6 + 292\ X_7 - 29\ X_8$$

که در آن Y: عملکرد شلتوک بر حسب کیلوگرم در هکتار، X_1: سن گیاهچه، X_2: تناوب زراعی، X_3: تاریخ نشاکاری، X_4: تعداد نشا در کپه، X_5: مصرف پتاسیم، X_6: نیتروژن بعد از گلدهی، X_7: دفعات مصرف سرک و X_8: برداشت محصول

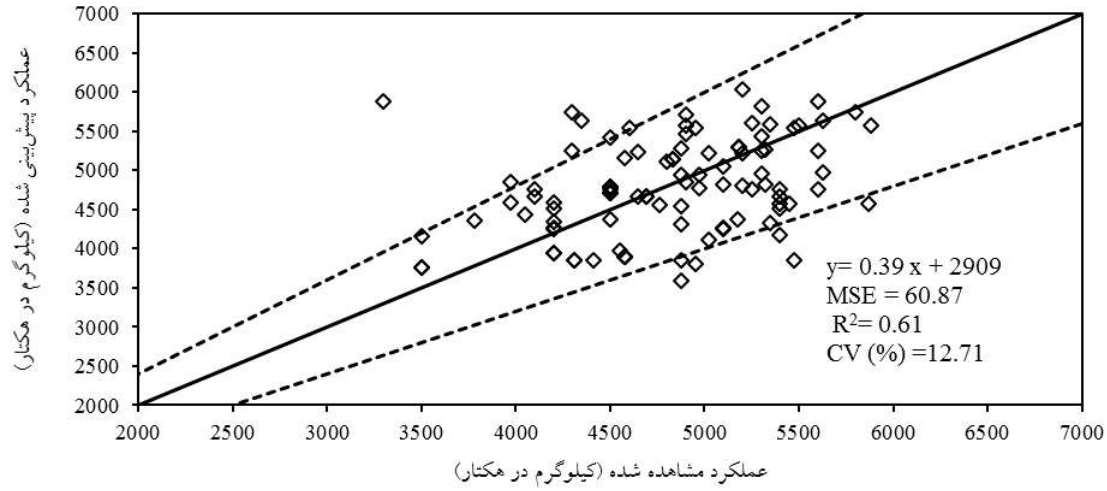
توسط کمباین است، که در ادامه به بررسی تک تک عوامل مؤثر بر عملکرد پرداخته شده است.

در جدول ۳ متغیرهای وارد شده در معادله تولید به همراه میانگین، حداقل و حداکثر مقادیر مشاهده شده آن‌ها در مزارع ارایه شده است. مشخصات متغیرهای وارد شده در مدل به‌صورت مقادیر متوسط، حداقل، حداکثر و بهترین مقداری که می‌تواند در مدل رگرسیونی عملکرد قرار بگیرد در جدول ۳ ارایه شد. میزان خلاء عملکرد مربوط به هفت متغیر وارد شده در معادله تولید برابر ۲۲۵۳ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. بهترین حالت برای متغیرهای تناوب زراعی، مصرف پتاسیم، مصرف نیتروژن بعد از گلدهی و دفعات مصرف سرک با اثر مثبت، مقدار حداکثر آن‌ها انتخاب شد. متغیرهای سن گیاهچه، تاریخ نشاکاری، تعداد گیاهچه در کپه و برداشت با کمباین به‌عنوان متغیر منفی بوده و مقادیر اندک آن‌ها انتخاب شد. بنابراین، مقدار بهینه معادل مقدار حداقل این سه متغیر بود (جدول ۳). میزان افزایش عملکرد ناشی از تفاضل عملکرد حالت بهترین و متوسط سه متغیر سن نشا، تاریخ نشاکاری، تعداد نشا در کپه و برداشت با کمباین به‌ترتیب برابر ۱۰۴، ۲۲۴، ۵۳۴ و ۲۴ کیلوگرم در هکتار معادل ۵، ۱۰، ۲۴ و ۱ درصد بود. میزان افزایش عملکرد مربوط به اثر متغیر تناوب زراعی برابر ۲۶۲ کیلوگرم در هکتار معادل ۱۲ درصد از کل افزایش عملکرد بود که ضریب آن در مدل برابر ۶۵۴ و ضریب تبیین برابر ۰/۶۱ بود. مقدار افزایش عملکرد مربوط به اثر مصرف پتاسیم، نیتروژن بعد از گلدهی و دفعات مصرف سرک نیز به‌ترتیب برابر ۴۰۸، ۴۰۵ و ۲۹۲ کیلوگرم در هکتار معادل ۱۸، ۱۸ و ۱۳ درصد از کل تغییر عملکرد بود (جدول ۳). در بین هشت متغیر وارد شده در مدل اثر متغیرهای تاریخ نشاکاری، تعداد گیاهچه در کپه و مصرف پتاسیم قابل توجه بوده که می‌توان بخش قابل توجهی از خلاء عملکردی در مزارع کشاورزان را با مدیریت این سه متغیر جبران کرد. 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 (پتانسیل عملکرد) به‌ترتیب ۴۴۳۷ و ۶۶۹۰ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد که با متوسط و حداکثر عملکرد مشاهده شده (۴۷۲۱ و ۵۹۵۰ کیلوگرم در هکتار) قابل مقایسه هستند (جدول ۳). کل

خلاء عملکرد تخمین زده شده برابر ۲۲۵۳ کیلوگرم در هکتار بود که دیگر محققان در منطقه بابل نیز میزان خلاء عملکرد ارقام محلی برنج به روش CPA را برابر ۱۹۷۷ کیلوگرم در هکتار گزارش کردند (حلالخور و همکاران، ۱۳۹۷). این بدان معنی است که بین عملکرد واقعی کشاورزان و آنچه می‌توانند برداشت کنند ۱۷۰۷ کیلوگرم در هکتار فاصله وجود دارد که با مدیریت مناسب‌تر قابل حذف یا کاهش خواهد بود (جدول ۳). شکل ۲الف سهم هر یک از صفات در خلاء عملکرد را به همراه عملکرد واقعی مزرعه و پتانسیل عملکرد را نشان می‌دهد. بنابراین، عملکرد واقعی مزرعه و پتانسیل عملکرد محاسبه شده با مدل به‌ترتیب برابر ۴۴۳۷ و ۶۶۹۰ کیلوگرم در هکتار و میزان خلاء عملکرد ۲۲۵۳ کیلوگرم در هکتار برآورد شد که این نتیجه نشان می‌دهد که این خلاء عملکرد قابل جبران می‌باشد (شکل ۱).

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

متغیرها	ضریب در مدل	شکل متغیر در مدل				عملکرد محاسبه شده با مدل		خلاء عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	درصد خلاء عملکرد
		حداقل	متوسط	حداکثر	بهترین	متوسط	بهترین		
عرض از مبدأ	۴۸۸۵	۲۵	-	-	-	۴۸۸۵	۴۸۸۵	-	-
سن گیاهچه (X1)	-۸	۰	۳۸	۵۷	۲۵	-۳۰۴	-۲۰۰	۱۰۴	۵
تناوب زراعی (X2)	۶۵۴	۲۸	۰/۶	۱	۱	۳۹۲	۶۵۴	۲۶۲	۱۲
تاریخ نشاکاری (X3)	-۱۴	۲	۴۴	۷۰	۲۸	-۶۱۶	-۳۹۲	۲۲۴	۱۰
تعداد گیاهچه در کپه (X4)	-۱۷۸	۰	۵	۸	۲	-۸۹۰	-۳۵۶	۵۳۴	۲۴
مصرف پتاسیم (X5)	۴	۰	۳۵	۱۳۷	۱۳۷	۱۴۰	۵۴۸	۴۰۸	۱۸
نیتروژن بعد از گلدهی (X6)	۲۷	۰	۱۰	۲۵	۲۵	۲۷۰	۶۷۵	۴۰۵	۱۸
دفعات مصرف سرک (X7)	۲۹۲	۰	۲	۳	۳	۵۸۴	۸۷۶	۲۹۲	۱۳
برداشت با کمباین (X8)	-۲۹	۰	۰/۸۳	۱	۰	-۲۴	۰	۲۴	۱
عملکرد شلتوک ($kg\ ha^{-1}$)	-	۴۷۲۱	۴۲۲۱	۵۹۵۰	-	۴۴۳۷	۶۶۹۰	۲۲۵۳	۱۰۰



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

تجزیه علیت

برای تعیین سهم اثرات مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای وارد شده در مدل رگرسیون گام به گام از تجزیه علیت استفاده شده است (جدول ۴). بنابراین، از ضریب همبستگی متغیرها برای برآورد اثرات مستقیم و غیرمستقیم متغیرها بر عملکرد شلتوک استفاده شد. بیشترین اثر مستقیم مثبت بر عملکرد شلتوک مربوط به تعداد دفعات مصرف سرک، نیتروژن پس از گلدهی و مصرف پتاسیم بود. مجموع اثرات مستقیم و غیرمستقیم این متغیرها بر عملکرد شلتوک (همبستگی با عملکرد شلتوک) به‌ترتیب برابر ۰/۲۱، ۰/۱۶ و ۰/۱۲ بود. اثرات غیرمستقیم این سه متغیراز طریق تناوب زراعی به ترتیب برابر ۰/۰۱۱، ۰/۰۲۸ و ۰/۰۰۴ بود (جدول ۴).

جدول ۴- میزان اثر مستقیم و غیرمستقیم صفات وارد شده در معادله تولید در ارقام برنج بر اساس همبستگی ژنتیکی

صفات	اثر مستقیم	اثر غیرمستقیم ناشی از صفات مستقل							همبستگی با صفت وابسته
		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	
سن گیاهچه (X1)	۰/۰۲۵		۰/۰۰۳	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۳	۰	-۰/۰۱
تناوب زراعی (X2)	-۰/۱۰۵	-۰/۰۱۳		۰/۰۲۹	-۰/۰۰۷	-۰/۰۱	-۰/۰۱۹	-۰/۰۰۴	-۰/۰۱۲	-۰/۰۶
تاریخ نشاکاری (X3)	۰/۰۴۷	-۰/۰۰۸	-۰/۰۱۴		-۰/۰۱۵	-۰/۰۰۶	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۰/۰۸
تعداد گیاهچه در کپه (X4)	۰	۰	۰	-۰/۰۰۱		-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۸
مصرف پتاسیم (X5)	۰/۱۲۹	۰	۰/۰۱۱	-۰/۰۱۵	-۰/۰۰۶		-۰/۰۰۶	۰/۰۰۹	۰	۰/۱۲
نیتروژن بعد از گلدهی (X6)	۰/۱۵۵	-۰/۰۰۵	۰/۰۲۸	-۰/۰۰۲	-۰/۰۱۸	-۰/۰۰۷		۰/۰۲۳	۰	۰/۱۶
دفعات مصرف سرک (X7)	۰/۱۵۷	-۰/۰۱۳	۰/۰۰۴	۰/۰۱۷	-۰/۰۲۳	۰/۰۱۱	۰/۰۲۳		۰/۰۸	۰/۲۱*
برداشت با کمباین (X8)	۰/۰۹۵	۰	۰/۰۱	۰/۰۰۵	-۰/۰۱۸	۰	۰/۰۰۵	۰/۰۲		۰/۱۳
اثرات باقیمانده										۰/۹۵۲

طبق یافته‌های این پژوهش، 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. 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 عملکردی معادل ۸۰ درصد عملکرد پتانسیل یک آستانه تقریبی مطلوب از نظر

اقتصادی در بیشتر نظام‌های کاشت گیاهان زراعی باشد (Lobell *et al.*, 2009).

شناخت پتانسیل‌ها و همچنین میزان و نحوه تأثیر هر یک از عوامل محدودکننده عملکرد به‌صورت جداگانه، نقش مهمی در تعیین راهبردهای مدیریتی جایگزین برای رسیدن به حداکثر عملکرد دارد. دست‌یابی به عملکرد بالاتر از ۸۰ درصد عملکرد پتانسیل اگرچه امکان‌پذیر است، اما شاید با توجه به قیمت ادوات، کود، سم و همچنین هم‌پوشانی فصل کاشت، از نظر اقتصادی برای کشاورزان منطقه مقرون به صرفه نباشد. علاوه بر این، مشاهده‌های تجربی نشان می‌دهد که مهم‌ترین مشکل خلاء عملکردهای بالا در گیاهان زراعی در ایران شیوه‌های مدیریتی ناکارآمد در مزارع کشاورزان است (ترابی و همکاران، ۱۳۹۲). اگرچه هدف از این پژوهش برآورد میزان خلاء عملکرد برنج بوده و عوامل 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. 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.

نتیجه‌گیری

طبق یافته‌ها، خلاء عملکرد تخمین زده شده در معادله تولید برابر ۲۲۵۳ کیلوگرم در هکتار بود. سهم متغیرهای سن گیاهچه، تاریخ نشاکاری، تعداد گیاهچه در کپه و برداشت توسط کمباین به‌ترتیب برابر ۱۰۴، ۲۲۴، ۵۳۴ و ۲۴ کیلوگرم در هکتار سهمی معادل معادل ۵، ۱۰، ۲۴ و یک درصد از کل خلاء عملکرد را شامل شدند. همچنین، متغیرهای تناوب زراعی، مصرف پتاسیم، نیتروژن بعد از گلدهی و تعداد دفعات مصرف کود سرک به‌ترتیب با ۲۶۲، ۴۰۸، ۴۰۵ و ۲۹۲ کیلوگرم در هکتار خلاء عملکرد سهمی معادل ۱۲، ۱۸، ۱۸ و ۱۳ درصد از کل را نشان دادند. اگرچه هدف از این پژوهش برآورد میزان خلاء عملکرد برنج در منطقه ساری 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.

منابع

آمارنامه کشاورزی. ۱۳۹۵. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. جلد اول: محصولات زراعی، ۱۶۳ صفحه.

ترابی، ب.، ا. سلطانی، س. گالشی، ا. زینلی، و م. کاظمی‌کرگهی. ۱۳۹۲. اولویت‌بندی عوامل ایجاد کننده خلاء عملکرد گندم در منطقه گرگان. مجله تولید گیاهان زراعی، ۶ (۱): ۱۷۱-۱۸۹.

حق‌شناس، ح.، ا. سلطانی، ع. قنبری، ح. عجم نوروزی، و س. دستان. ۱۳۹۷. **شناسایی صفات زراعی مؤثر بر عملکرد ارقام بومی برنج با استفاده از مدل‌های رگرسیون چندگانه.** مجله کشاورزی بوم‌شناختی، ۸ (۲): ۱۳-۲۸.

حلالخور، س.، س. دستان، ا. سلطانی، و ح. عجم نوروزی. ۱۳۹۷. مستندسازی فرآیند تولید و برآورد خلأ عملکرد مرتبط با مدیریت زراعی ارقام بومی برنج (مطالعه موردی: استان مازندران- منطقه بابل). مجله به‌زراعی کشاورزی، ۲۰ (۲): ۴۱۴-۳۹۷.

گرجی‌زاد، ا.، س. دستان، ا. سلطانی، و ح. عجم نوروزی. ۱۳۹۸. مستندسازی فرآیند تولید و تحلیل عوامل محدودکننده عملکرد ارقام اصلاح‌شده برنج (*Oryza sativa* L.) به روش CPA در منطقه نکا. مجله بوم شناسی کشاورزی، ۱۱ (۱): ۲۹۴-۲۷۷.

Beza, E., J. Vasco Silva, L. Kooistra, and P. Reidsma. 2017. Review of yield gap explaining factors and opportunities for alternative data collection approaches. Eur. J. Agron, 82: 206-222.

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.

A case study of wheat in Australia. Field Crops Res, 143: 65-75.

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.

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.

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: 1-18.

Mueller, N.D., J.S. Gerber, M. Johnston, D.K. Ray, N. Ramankutty, and J.A. Foley. 2012. Closing yield gaps through nutrient and water management. Nature, 490: 254-257.

Reidsma, P., and H. Jeuffroy. 2017. Farming systems analysis and design for sustainable intensification: new methods and assessments. Eur. J. Agron, 82: 203-205.

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

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.

FAO. 2016. Faostat-Trade/Crops and livestock products, available in http://faostat3.fao.org/browse/T/TP/E [15 April 2016].

Hochman, Z., D. Gobbett, D. Holzworth, T. McClelland, H. Van Rees, O. Marinoni, K.N. Garcia, and H. Horan. 2013. Reprint of Quantifying yield gaps in rain-fed cropping systems:

dichotomous decision tree analysis. Field Crops Res, 176: 99-107.

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.

Van Wart, J., K.C. Kersebaum, S. Peng, M. Milner, and K.G. Cassman. 2013. Estimating crop yield potential at regional to national scales. Field Crops Res, 143: 34-43.

Xu, X., P. He, S. Zhaoa, 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.

Silva, J.V., P. Reidsma, A.G. Laborte, and M.K. Van Ittersum. 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.

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

Tanaka, A., M. Diagne, and K. Saito. 2015. Causes of yield stagnation in irrigated lowland rice systems in the Senegal River Valley: Application of

Documenting production process and estimating the yield gap of Rice by comparative performance analysis (CPA) in Sari region

Rozhin Sheykhei[1], Hormoz Fallah[1*], Yousof Niknejad[1], Salman Dastan[2], Davood Barari Tari[1]

1. Department of Agronomy, Am.C., Islamic Azad University, Amol, Iran

2. Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Karaj, Iran

Received: 2025.4.10 Accepted: 2025.6.12

Abstract

Documenting the production process in agriculture includes providing all information and activities that show the course of production from the seedbed preparation stage to the harvest stage. Research indicates that the initial stage in decreasing the yield gap is to recognize the significant factors that restrict yield. Therefore, the purpose of this study was to document the production process and estimate the yield gap of local rice cultivars using the Comparative Performance Analysis (CPA) method. In this research, all management operations performed from seedbed preparation stage to harvest stage for local cultivars in 100 paddy fields were recorded. Research was done in 100 paddy fields in the Sari region of Mazandaran province in 2016 and 2017. In order to determine the yield model (production), the relationship between all variables and paddy yield was investigated through step-by-step regression. Yield gap was also obtained from the difference between potential yield and actual yield. The results revealed that of the 155 variables under study, the final model with eight independent variables was chosen. In the yield model, an average and maximum yield were 4437 and 6690 kg ha^{-1}, respectively, and the estimated yield gap was 2253 kg ha^{-1}. The amount of increased yield has been related to seedling age, transplanting date, seedling number per hill, and harvesting by combining variables equals 104, 224, 534, and 24 kg ha^{-1} includes 5, 10, 24, and 1% of the total yield increase. Moreover, the yield increases related to the effects of crop rotation, potassium usage, nitrogen after flowering, and top-dressing frequency was 262, 408, 405 and 292 kg ha-1 equals 12, 18, 18, and 13%. According to the finding, it is expressed that the model precision is appropriate and can be applied for both estimation of the quantity of the yield gap and determining the portion of each constraint's yield variables. Furthermore, regarding the fact that calculated yield potential is reached through actual data in each paddy field, it has been stated that this yield potential is attainable. While the primary objective of this study was to assess the extent of the rice yield gap in the Sari region, it is important to conduct further investigations and research to understand the underlying causes of this yield gap. However, the most plausible solution for increasing yield and minimizing the yield gap appears to be enhancing crop management practices in farmers' fields.

Keywords: Actual yield, Field management, Potential yield, Rice, Stepwise regression

* Corresponding author (hormoz.fallah@iau.ac.ir)