

تعیین مدل مناسب در تجزیه و تحلیل خلأ عملکرد برنج (*Oryza sativa L.*) در استان گیلان با

روش آنالیز خط مرزی

نیلوفر آقایی پور^۱، همت اله پیردشتی^{۲*}، محسن زواره^۳، حسین اسدی^۴ و محمدعلی بهمنیار^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۴

آقایی پور، ن.، پیردشتی، ه.، زواره، م.، اسدی، ح.، بهمنیار، م.ع. ۱۳۹۸. تعیین مدل مناسب در تجزیه و تحلیل خلأ عملکرد برنج (*Oryza sativa L.*) در استان گیلان با روش آنالیز خط مرزی. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۱(۱): ۳۲۱-۳۳۴.

چکیده

یکی از روش‌های توانمند در جهت ارزیابی پتانسیل عملکرد و دلایل خلأ عملکرد، آنالیز خط مرزی می‌باشد. پژوهش حاضر به منظور بررسی تعیین عملکرد بهینه و تأثیر احتمالی اجزای وابسته به عملکرد در شالیزارهای برنج (*Oryza sativa L.*) دشت فومنات استان گیلان (رقم طارم هاشمی) اجرا شد. جهت توصیف رابطه بین عملکرد و اجزای عملکرد از مدل‌های دوتکه‌ای، دندان‌مانند و درجه دوم استفاده گردید. برای انتخاب مدل برتر از چهار معیار میانگین قدر مطلق خطا، ضریب تبیین، ضرایب رگرسیون خطی ساده و ضریب تغییرات استفاده و پس از انتخاب مدل برتر، خلأ عملکرد، عملکرد بهینه و مقادیر بهینه اجزای عملکرد با استفاده از روش آنالیز خط مرزی محاسبه شدند. در بین مدل‌های برازش‌یافته، مدل دوتکه‌ای برای دو ویژگی تعداد خوشه در مترمربع و وزن صد دانه دارای کمترین RMSE و ضریب تغییرات بوده و به‌خوبی توانسته به توصیف روند تغییرات بپردازد. علاوه بر این، تابع دندان‌مانند با کمترین RMSE و ضریب تغییرات برای توصیف روند تغییرات ویژگی تعداد دانه پر مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به مدل‌ها، خلأ عملکرد در دشت فومنات برابر با ۳/۶۳ تن در هکتار با میانگین عملکرد بهینه و عملکرد کشاورز به ترتیب برابر با ۸/۴۴ و ۴/۸۱ تن در هکتار برآورد شد. همچنین، مقادیر بهینه اجزای عملکرد شامل تعداد خوشه در متر مربع، تعداد دانه پر در خوشه و وزن صد دانه (گرم) به ترتیب برابر با ۵۶۰، ۸۳/۹-۴۷ و ۲/۱۸ به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: تعداد خوشه، رگرسیون غیرخطی، ضریب تبیین، مدل دندان‌مانند، مدل دو تکه‌ای

مقدمه

تولید است. همچنین، عوامل محدودکننده در مزرعه به‌طور مستقیم و تنها به عملکرد مرتبط نبوده و مستلزم اندازه‌گیری اجزای مختلف عملکرد شامل تعداد خوشه در واحد سطح، تعداد دانه در خوشه و وزن دانه به عنوان اندازه مقصد یا ظرفیت عملکرد در تعداد زیادی از زمین‌های کشاورزان واقع در منطقه مورد نظر می‌باشد (Makowski et al., 2007). تجزیه و تحلیل این اجزا نه تنها به شناخت اجزای محدودکننده عملکرد کمک می‌کند، بلکه راه‌های افزایش عملکرد را نیز نشان می‌دهد (Mustafavi Rad & Tahmasbi Sarvestani, 2003). برای نمونه، وزن دانه به مقدار انتقال مواد فتوسنتزی به دانه وابسته بوده و در منابع به ارتباط معنی‌دار بین سرعت پر شدن و وزن دانه اشاره شده است (Mohandass et al., 1988; Mojtabaie et al., 2007). با اندازه‌گیری این ویژگی‌ها می‌توان به آنالیز

به‌منظور افزایش تولید برنج (*Oryza sativa L.*) می‌توان از شاخص‌های فیزیولوژیک مؤثر در عملکرد و مدیریت مناسب مزرعه بهره جست. هر چند این امر مستلزم شناسایی تکنیک‌های زراعی و شرایط محیطی مسئول تغییرات عملکرد در مزرعه در جهت افزایش

۱ و ۲- دانشجوی دکتری و دانشیار، گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳- دانشیار فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه گیلان
۴- دانشیار فیزیک و فرسایش خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
۵- استاد خاکشناسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

خلاً عملکرد به‌دست آمده در ارتباط با اجزای اصلی عملکرد دست یافت.

خلاً عملکرد در واقع تفاوت بین عملکرد پتانسیل و واقعی می‌باشد و مفهوم خلاً عملکرد در مطالعات مختلف به عنوان شاخصی مهم برای افزایش عملکرد در گیاهان زراعی و مناطق مختلف می‌باشد (Amiri Deh Ahmadi et al., 2015; Hajarpoor et al., 2015; Inusah et al., 2015; Espe et al., 2016).

یکی از روش‌های توانمند در جهت ارزیابی پتانسیل عملکرد و دلایل خلاً عملکرد، آنالیز خط مرزی^۱ با استفاده از تابع $Y_{Max}=f(X; \theta)$ تحت عنوان لایه خط مرزی است (Hajarpoor et al., 2015). در این معادله، Y_{Max} حداکثر عملکرد به‌عنوان تابعی از مقادیر مختلف متغیر X و θ پارامترهای معادله می‌باشد که از طریق اندازه‌گیری‌های متعدد Y و X در مزارع مختلف تخمین زده می‌شوند (Hajarpoor et al., 2016; Soltani et al., 2015). برای مثال، $f(X; \theta)$ ممکن است به‌صورت تابعی از تعداد دانه در مترمربع به تعداد خوشه در متر مربع یا تابع مرتبط با وزن دانه بیشینه به تعداد دانه در متر مربع، نشان داده شود (Doré et al., 1998; Brancourt-Hulmel et al., 1999). این توابع می‌تواند برای شناسایی زمین‌هایی مورد استفاده قرار گیرد که در آن اجزای عملکرد نتوانسته به مقدار بهینه خود برسد و در نتیجه تعیین عوامل محدودکننده در منطقه و دوره‌های زمانی تأثیرگذاری این عوامل، مهم است (Makowski et al., 2007).

در پژوهش‌های قبلی تابع درجه دوم با معادله $Y=-10482.67+7515.772X-1171.242X^2$ نیروژن برگ و عملکرد در کائوچو برازش داده شد (Banneheka et al., 2013). میلن و همکاران (Milne et al., 2006a) همچنین، با فرض توزیع نرمال دو متغیره (تعریف خط مرزی)، از حداکثر احتمال برای برآورد پارامترهای توزیع استفاده گردید. برخلاف بسیاری از روش‌های خط مرزی که تنها از یکسری از نقاط استفاده می‌شود در این روش تمام داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت و بر این اساس دو تابع درجه دوم و خطی برای تجزیه و تحلیل این روش، مناسب دانسته شده‌اند. در پژوهشی دیگر تحت عنوان مدل‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های مختلف برنج نسبت به دما، مدل دو تکه ای در مقایسه با مدل‌های بتا، درجه دوم و منحنی، دندان‌مانند برای رقم هاشمی مناسب‌تر بود (Sabouri et al., 2012).

اینوسا و همکاران (Inusah et al., 2015) در طی سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ خلاً عملکردی برنج را در غنا مورد بررسی قرار دادند و به خلاً ۵۵ درصدی عملکرد در سودان در مقایسه با گینه ساوانا دست یافتند. در مقایسه، افزایش عملکرد واقعی دانه برنج در آفریقای شرقی و جنوبی در حدود ۰/۵ تا ۲/۹ تن در هکتار گزارش شد که

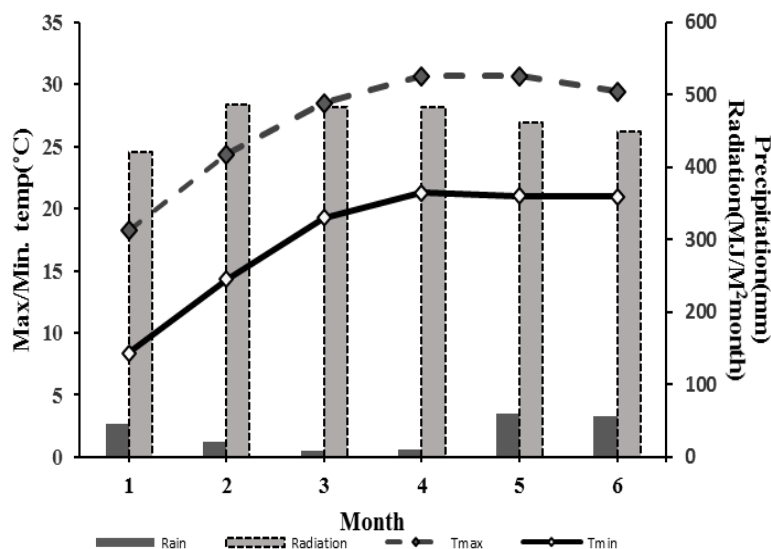
توسط عواملی از قبیل مدیریت علف‌های هرز، کود آلی، ایجاد پشته و مرز، کودهای شیمیایی و شیوه کاشت به‌ترتیب برابر با ۹۱/۶، ۹۰/۴، ۸۶/۷، ۵۱/۹ و ۴۲/۶ درصد کاهش می‌یابد (Nhamo et al., 2014). در آمریکا نیز عملکرد پتانسیل برنج در طی یک دوره ۱۳ تا ۱۵ سال در سیستم‌های تولید برنج با نسخه سه مدل ORYZA برآورد شد. محدوده پتانسیل عملکرد از ۱۱/۵ تا ۱۴/۵ تن در هکتار بوده در حالی که عملکرد واقعی از ۷/۴ تا ۹/۶ تن در هکتار یا ۵۸ تا ۷۶ درصد از پتانسیل عملکرد متغیر بود (Espe et al., 2016). در فراتحلیلی به-منظور کمی‌سازی خلاً عملکرد برنج در چین نیز در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳، تیمارهای مربوط به مدیریت بهینه عناصر غذایی و مقادیر کودی کشاورزان مورد مطالعه قرار گرفت. بر اساس نتایج، خلاً عملکردی برابر با ۰/۶ تن در هکتار مشاهده شد (Xu et al., 2016). در کشور ما نیز پژوهشی به‌منظور ارزیابی روند درازمدت ثبات عملکرد در غلات اصلی کشور با استفاده از برازش داده‌های روند عملکرد با کمک مدل‌های رگرسیون قطعه‌ای خطی، دو و سه قطعه‌ای صورت گرفت. علی‌رغم افزایش عملکرد در گندم و جو، کاهش ثبات عملکرد در این دو گیاه زراعی برعکس روند افزایشی برای ثبات عملکرد در دو گیاه زراعی برنج و ذرت (*Zea mays* L.) گزارش شد (Nassiri & Mahallati & Koocheki, 2014). در همین راستا و نظر به اهمیت برنج در سبد غذایی مردم و لزوم افزایش عملکرد این محصول راهبردی، این پژوهش با هدف، انتخاب یک تابع مناسب برای توصیف رابطه بین عملکرد و اجزای عملکرد برنج اجرا شد. در ادامه پس از انتخاب تابع برتر پارامترهای اجزای عملکرد و عملکرد شلتوک جهت محاسبه خلاً عملکرد در منطقه تخمین زده شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دو سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ در ۵۳ شالیزار (رقم طارم هاشمی) واقع در دشت فومنات (شهرستان‌های فومن و شفت) در غرب استان گیلان اجرا شد. پس از ثبت مختصات جغرافیایی این زمین‌ها توسط GPS نمونه خاک تهیه شد. برای تعیین عملکرد شلتوک در زمان رسیدگی فیزیولوژیک با سخت‌شدن دانه‌های نوک خوشه براساس کلید تشخیص ارایه شده توسط مییر (Meier, 1997)، بوته‌های واقع در یک متر مربع از هر مزرعه برداشت و شلتوک‌ها با رطوبت ۱۰ درصد هوا خشک و سپس با ترازوی دقیق با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم توزین شدند. در مرحله رسیدگی دانه، تعداد خوشه‌های پنج بوته تصادفی از هر کرت شمارش و از میانگین آن در تجزیه‌های آماری استفاده شد. همچنین، از بین خوشه‌های مربوط به هر زمین، ۱۰ خوشه بطور تصادفی انتخاب و تعداد دانه‌های پر آنها شمارش شدند. برای تعیین وزن صد دانه، یک نمونه ۱۰۰ تایی از

میانگین درجه حرارت بیشینه و کمینه در طی رشد به ترتیب برابر با ۲۵/۹ و ۱۶/۷ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی در طی فصل رشد برابر با ۲۳۱/۹ میلی‌متر بود (شکل ۱).

دانه‌های پر مربوط به هر زمین به‌طور تصادفی انتخاب و سپس با ترازوی دقیق با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم توزین شد.



شکل ۱- میانگین ماهانه حداقل (دایره‌های روشن)، حداکثر (دایره‌های تاریک)، بارندگی (ستون‌های روشن) و تابش (ستون‌های تاریک) مربوط به دشت فومنات در شش ماه اول سال (۱۳۹۲ و ۱۳۹۳)

Fig. 1- Mean monthly maximum (dark circles) and minimum (bright circles) temperature, monthly total rainfall (bright columns) and radiation (dark columns) at plains Foumanat in the first six months of the year (2012, 2013)

$$F(x) = (L_c - x) / (L_c - L_{o2}) \quad L_{o2} \leq X < L_c \quad \text{اگر}$$

$$F(x) = 1 \quad L_{o1} \leq X < L_{o2} \quad \text{اگر}$$

$$F(x) = 0 \quad X \leq L_M \text{ or } X \geq L_c \quad \text{اگر}$$

$$F(x) = ax^2 + bx + c \quad \text{معادله (۳)}$$

در این توابع، L_M : مقدار حداقل، L_O : مقدار مطلوب، L_{O1} : مقدار مطلوب تحتانی، L_{O2} : مقدار مطلوب فوقانی، L_C : مقدار حداکثر است. در تابع درجه دوم، Y : برابر با عملکرد دانه و X : هر یک از اجزای عملکرد مورد بررسی بود. تخمین پارامترهای توابع مذکور به کمک رویه PROC NLIN و PROC REG نسخه ۹/۴ نرم‌افزار SAS صورت پذیرفت. انتخاب بهترین برآورد پارامترهای توابع براساس آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) کمتر و خطای معیار (SE) کمتر تجزیه رگرسیون مشخص شد. همچنین؛ هرچه قدر ضریب تبیین (R^2) مدل مورد استفاده بیشتر باشد نشان‌دهنده توجیه بهتر مدل برای صفات مورد نظر می‌باشد. ضرایب a و b به ترتیب نشان-دهنده میزان انحراف خط رگرسیون از مبدا مختصات و میزان اریب

در این بررسی برای محاسبه خط مرزی، در ابتدا به ترسیم نمودار پراکندگی^۱ بین داده‌های عملکرد (به‌عنوان متغیر وابسته) و اجزای عملکرد (به‌عنوان متغیرهای مستقل) پرداخته شد. در ادامه با توجه به اطلاعات دقیق و کافی نسبت به داده‌های جمع‌آوری شده، به حذف داده‌های پرت و خارج از محدوده‌های مشخص شده، اقدام شد. در مرحله نهایی بالاترین عملکردها مشخص شده و توابع دوتکه‌ای^۲ (معادله ۱)، دندان‌مانند^۳ (معادله ۲) و درجه دوم (معادله ۳) برای داده‌های اجزای عملکرد (متغیر مستقل) و عملکرد (متغیر وابسته) برآزش داده شدند (Hajarpoor et al., 2015; Khalili et al., 2015):

$$F(x) = (x - L_m) / (L_o - L_m) \quad L_m < X < L_o \quad \text{اگر} \quad \text{معادله (۱)}$$

$$F(x) = 1 - (x - L_o) / (L_c - L_o) \quad L_o \leq X < L_c \quad \text{اگر}$$

$$F(x) = (x - L_m) / (L_{o1} - L_m) \quad L_m < X < L_{o1} \quad \text{اگر} \quad \text{معادله (۲)}$$

- 1- Scatter plot
- 2- Segmented model
- 3- Dent-like

صد دانه ($r=0/40^{***}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت؛ در حالی‌که بین وزن صد دانه با تعداد خوشه در متر مربع، همبستگی منفی و معنی‌داری مشاهده شد ($r=-0/21^{***}$) (جدول ۱). همبستگی مثبت و معنی‌دار بین تعداد دانه در خوشه و وزن دانه با عملکرد (Selvaraj et al., 2011)، همبستگی مثبت و معنی‌دار تعداد خوشه در بوته و تعداد دانه پر در خوشه با عملکرد دانه (Souroush et al., 2004)، همبستگی مثبت و معنی‌دار بین تعداد دانه در خوشه با وزن صد دانه و عملکرد دانه (در نسل چهارم) و تعداد دانه در خوشه با وزن دانه (در نسل پنجم) توسط راجسوری و ناداراجان (Rajeswari & Nadarajan, 2004) و اثر مستقیم مثبت صفات تعداد دانه در خوشه و تعداد پنجه بر عملکرد برنج توسط کوندو و کوندگرامی (Kundu & Kundagrami, 2015) قبلاً نیز گزارش شده بود. همچنین، در بررسی ارزیابی پارامترهای ژنتیکی صفات زراعی مؤثر در عملکرد، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و تعداد پنجه بارور، تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه مشاهده شد (Beikzadeh et al., 2015). همچنین بومان و همکاران (Bouman et al., 2005) صفات تعداد خوشه در بوته و تعداد دانه پر در خوشه را به‌عنوان مهم‌ترین اجزای عملکرد دانه در ارقام برنج دانسته‌اند، در حالی‌که در مطالعه صفاتی چائی‌کار و همکاران (Safae chaykar et al., 2009) وزن هزار دانه با هیچ یک از صفات همبستگی معنی‌داری نشان نداد که با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت ندارد.

خط رگرسیون از خط ۱:۱ است (Soltani et al., 2006a). مقدار عددی این ضرایب با نرم‌افزار SAS تعیین شد. معنی‌داری ضریب a به این معنی است که عرض از مبدأ خط رگرسیون دارای اریبی از عرض از مبدأ خط ۱:۱ بوده در حالی‌که معنی‌داری ضریب b به این معنا است که خط رگرسیون نسبت به خط ۱:۱ دارای اریبی است (فاصله داشتن شیب خط رگرسیون از شیب خط ۱:۱) (Ahmadi et al., 2010). در واقع، کمتر بودن پراکنش نقاط در اطراف خط یک به یک، نشانه کارایی بالاتر مدل است. سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2006a) بیان نمودند که در طی دو مرحله می‌توان به انتخاب مدل مناسب اقدام نمود: گام اول، انتخاب مدل‌هایی که پیش‌بینی آنها دارای اریبی نباشد یعنی مقادیر a و b برای آنها معنی‌دار نباشد. در مرحله دوم از بین مدل‌های برگزیده مرحله اول، مدل یا مدل‌هایی گزینش می‌شوند که بخش بزرگتری از تغییرات توجیه کنند و دارای ضریب تبیین بالاتر، جذر میانگین مربعات خطای کوچک‌تر و همبستگی بالای بین مقادیر پیش‌بینی و مشاهده شده باشد (Soltani et al., 2006a). در ادامه، نمودارهای حاصله با نسخه ۲۰۱۳ صفحه گستر اکسل رسم شدند.

نتایج و بحث

نتایج همبستگی بین داده‌ها نشان داد که بین عملکرد دانه با تعداد خوشه در متر مربع ($r=0/24^{**}$)، تعداد دانه پر ($r=0/19^{**}$) و وزن

جدول ۱- ضرایب همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد دانه برای برنج (رقم طارم هاشمی)

Table 1- Correlation coefficients between grain yield and yield components of rice (cv. 'Tarom Hashemi')

صفات Traits	تعداد خوشه در مترمربع Panicle number (No.m ⁻²)	تعداد دانه پر Filled grain number (No.panicle ⁻¹)	وزن صد دانه 100-grain weight(g)	عملکرد شلتوک Paddy yield (t.ha ⁻¹)
تعداد خوشه در مترمربع Panicle number (No.m ⁻²)	1			
تعداد دانه پر Filled grain number (No.panicle ⁻¹)	0.029 ^{ns}	1		
وزن صد دانه 100-grain weight (g)	-0.213 ^{**}	0.256 ^{ns}	1	
عملکرد شلتوک Paddy yield (t.ha ⁻¹)	0.243 [*]	0.192 ^{**}	0.40 ^{***}	1

ns، *، ** و *** به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار با احتمال ۵، یک و ۰/۱ درصد

در مدل دوتکه‌ای برای صفت وزن صد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به اینکه ضرایب a و b از لحاظ معنی‌داری در دو مدل دو تکه‌ای و دندان مانند مشابه است به بررسی آماره‌های ضریب تغییرات، ضریب تبیین و RMSE در صفات مورد بررسی پرداخته شد. در صفت تعداد خوشه در متر مربع در هر دو مدل دو تکه‌ای و دندان مانند، بالاترین ضریب تبیین (برابر با ۰/۹۹) مشاهده شد، در حالی‌که

پارامترهای ارزیابی برآزش توابع مختلف به داده‌های عملکرد در مقابل اجزای عملکرد در جدول ۲ آورده شده است. در بررسی معنی‌داری ضرایب a و b، تابع درجه دوم در تمام صفات مورد بررسی، مدل دو تکه‌ای در صفات تعداد خوشه در متر مربع و تعداد دانه پر در خوشه در هر دو ضریب معنی‌دار بودند. ضریب b در مدل دندان‌مانند برای هر سه خصوصیت خوشه در متر مربع، تعداد دانه پر و وزن صد دانه و

کمترین مقدار RMSE (برابر با ۰/۰۸۲۵) و کمترین مقدار ضریب تغییرات (برابر با ۱/۲۶) به مدل دو تکه‌ای اختصاص داشت.

جدول ۲- جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تغییرات (CV)، ضریب تبیین (R²) و ضرایب ساده رگرسیون (a و b) برای مدل‌های مختلف رگرسیونی در اجزای عملکرد برنج

Table 2- Root mean square error (RMSE), coefficient of variation (CV), determination Coefficient (R²) and regression simple coefficients (a & b) for regression different models in rice yield components

مدل Model	اجزای عملکرد Yield components	ضریب رگرسیون a±SE	ضریب رگرسیون b±SE	عرض از مبدا Intercept	ضریب تبیین R ²	میانگین مربعات خطا RMSE	ضریب تغییرات CV
دوتکه‌ای Segmented	تعداد خوشه در متر مربع Panicle number (No.m ⁻²)	0.403±0.119*	0.927±0.017*	-	0.99	0.0825	1.26
	تعداد دانه پر در خوشه Filled grain number (No.panicle ⁻¹)	1.88±0.740*	0.710±0.103*	-	0.85	0.445	6.48
	وزن صد دانه 100-grain weight(g)	0.7759±0.526	0.866±0.074*	-	0.95	0.472	6.39
دندان مانند Dent-like	تعداد خوشه در متر مربع Panicle number (No.m ⁻²)	0.152±0.020	0.996±0.023*	-	0.99	0.100	1.55
	تعداد دانه پر در خوشه Filled grain number (No.panicle ⁻¹)	-0.051±0.906	1.039±0.124*	-	0.93	0.484	6.60
	وزن صد دانه 100-grain weight (g)	-0.455±0.720	0.934±0.106*	-	0.91	0.639	9.81
تابع درجه دوم	تعداد خوشه در متر مربع Panicle number (No.m ⁻²)	-0.00003±0.000005*	0.031±0.004*	0.745±0.799*	0.89	0.581	8.75
	تعداد دانه پر در خوشه Filled grain number (No.panicle ⁻¹)	-0.004±0.0008*	0.564±0.105*	-9.85±2.95*	0.88	0.649	9.42
	وزن صد دانه 100-grain weight (g)	-8.11±1.07*	40.95±5.08*	-43.02±5.88*	0.93	0.561	7.99

*: برای ضریب a نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار آن با صفر است و برای ضریب b اختلاف معنی‌دار را با یک نشان می‌دهد.

* Significant difference (P < 0.05) from 0 for a and significant difference from 1 for b.

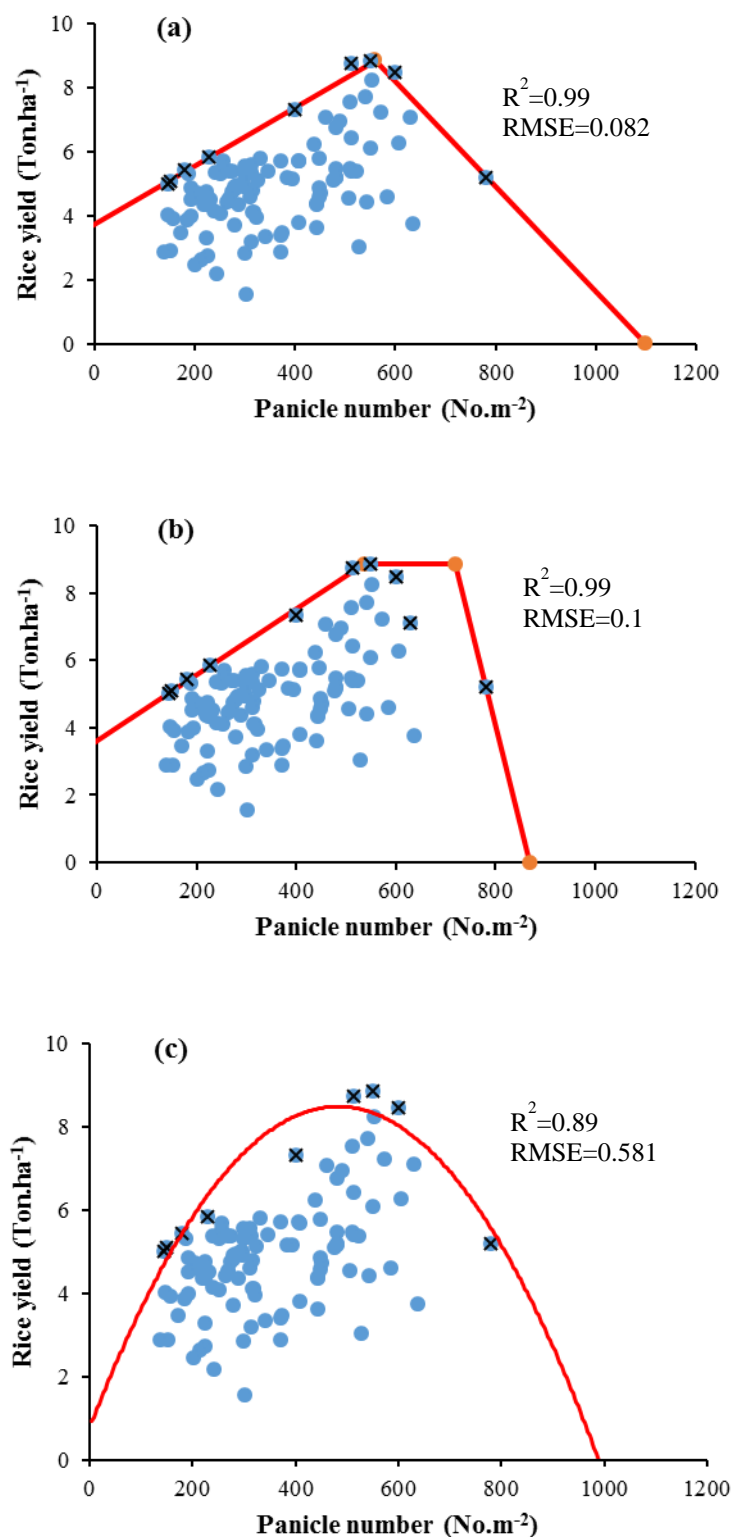
±SE خطای استاندارد را نشان می‌دهد.

±SE indicate the standard error of mean.

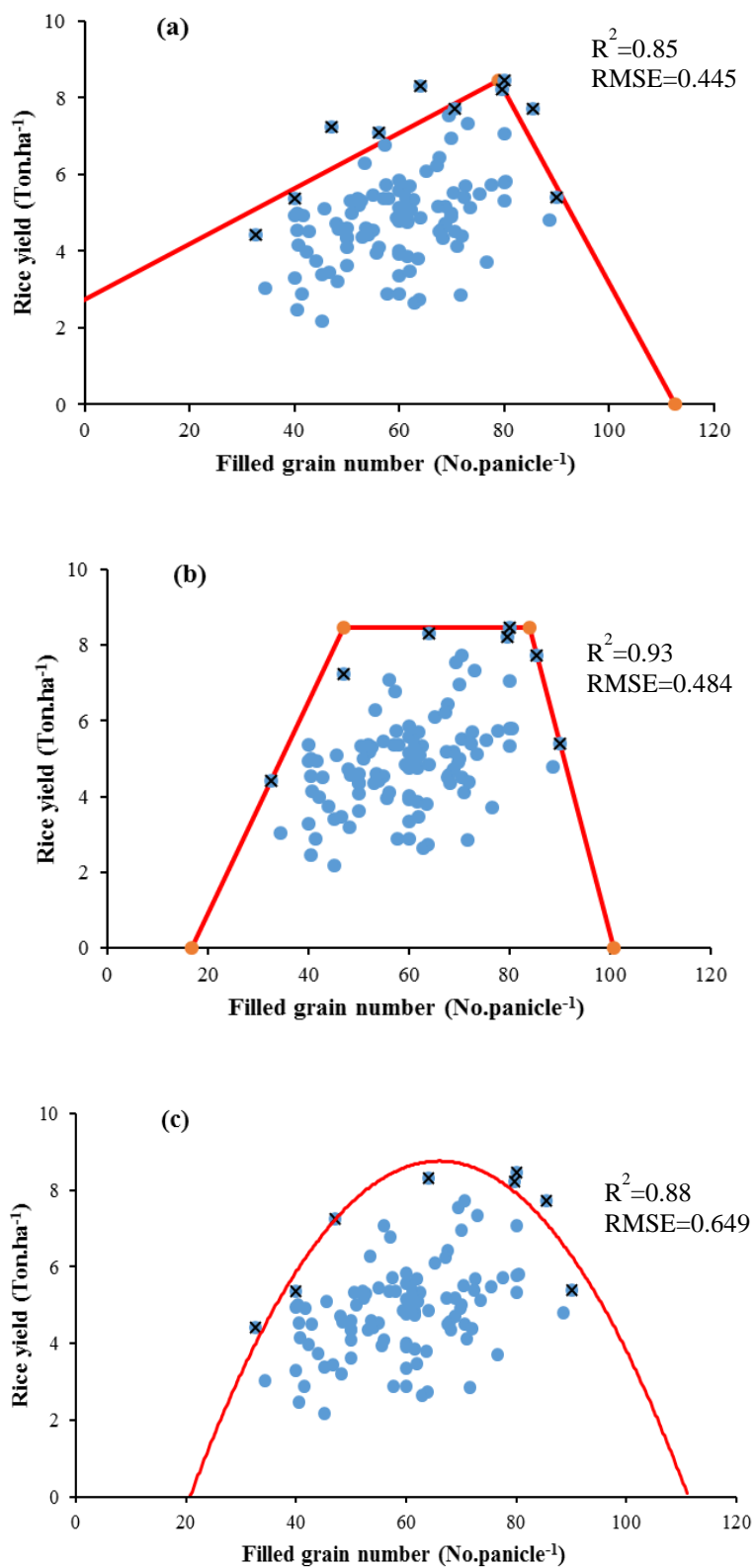
دانه با تعداد خوشه در متر مربع، تعداد خوشه‌چه در متر مربع و درصد دانه‌های پوک از رابطه خطی استفاده نمودند. احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2010) بهترین مدل را برای توصیف رابطه سرعت ساقه‌رفتن رقم تجن گندم را مدل دوتکه‌ای دانسته‌اند. عجم‌نوروزی و همکاران (Ajam Norouzi et al., 2007) در پژوهشی به منظور مدلسازی واکنش سبز شدن باقلا (*Vicia faba* L.) به دما در شرایط مزرعه، مدل دوتکه‌ای را مناسب بیان نموده‌اند. ادیب‌نیا و همکاران (Adibnia et al., 2015) در بررسی به منظور کمی کردن واکنش سبز شدن گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) نسبت به دما، مدل دوتکه‌ای در مقایسه با مدل‌های دندان مانند و بتا دارای ضریب تغییرات پایین‌تر، ضریب تبیین بالاتر و جذر میانگین مربعات خطای کمتر و در نتیجه برازش بهتری بود. صبوری و همکاران (Sabouri

در بررسی صفت تعداد دانه پر بیشترین ضریب تبیین برابر با ۰/۹۳ در مدل دندان‌مانند بوده و کمترین RMSE و ضریب تغییرات به ترتیب برابر با ۰/۴۸۴ و ۶/۶۰ در برازش این مدل مشاهده شد (جدول ۲). مدل دو تکه‌ای در بررسی بین مدل‌های برازش یافته در صفت وزن صد دانه دارای ضریب تبیین برابر با ۰/۹۵ و همچنین دارای کمترین RMSE و ضریب تغییرات به ترتیب برابر با ۰/۴۲۷۲ و ۳/۳۹۴ بود (جدول ۲). در واقع ضرایب تبیین بالای مدل‌های برازش یافته، نشان‌دهنده پراکندگی بیشتر نقاط در اطراف خط ۱:۱ می‌باشد. پارامترهای برآورد شده با تمام مدل‌ها و شکل‌های مربوطه برای مقایسه ارائه شده است (شکل‌های ۲، ۳ و ۴ و جدول ۳). نصیری محلاتی و کوچکی (Nassiri Mahallati & Koocheki, 2014)، مدل خطی را برای ارزیابی ثبات عملکرد در برنج مناسب دانسته‌اند. کاسانوا و همکاران (Casanova, 2002) برای توصیف رابطه عملکرد

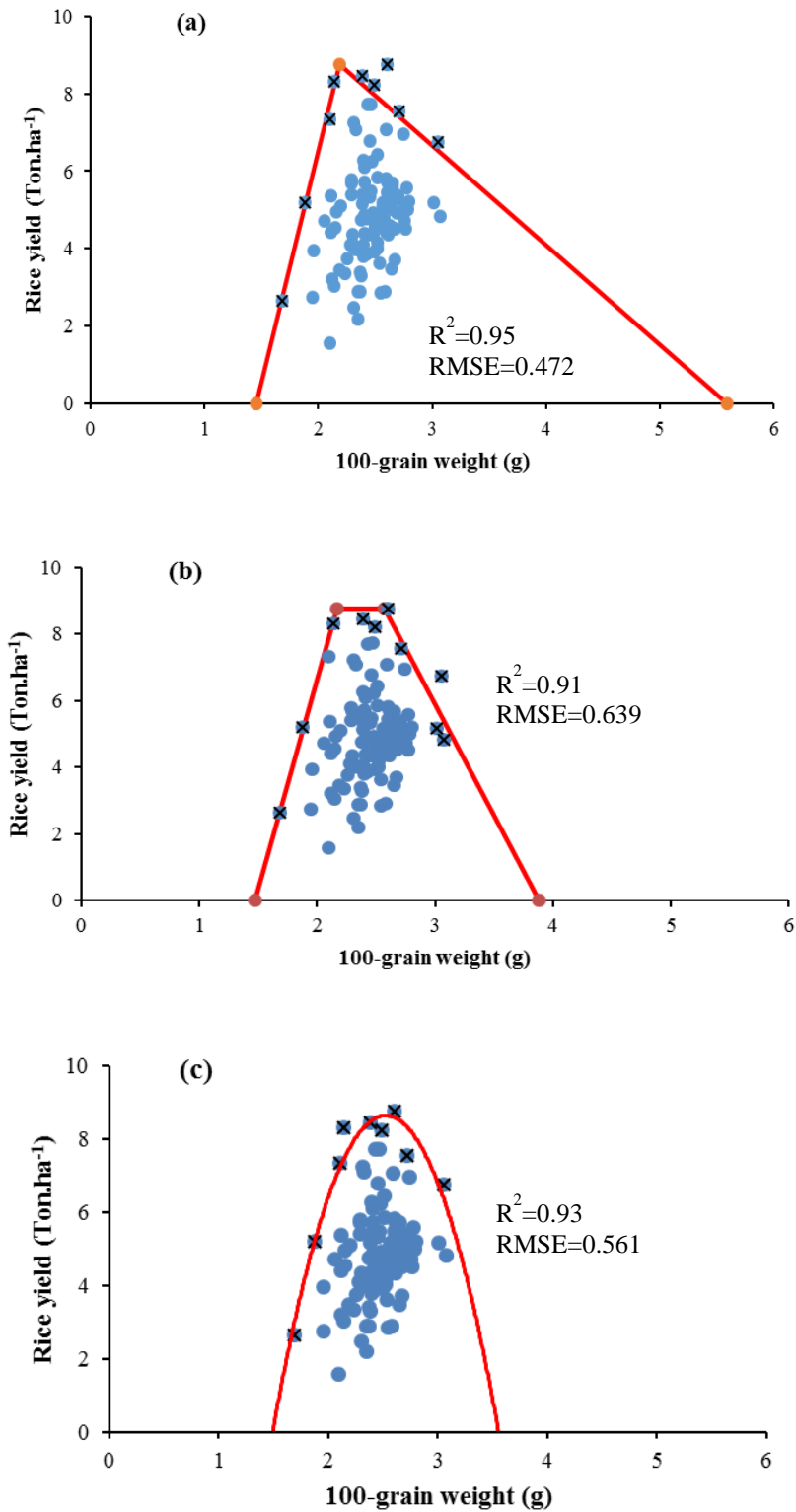
مدل دوتکه‌ای را مدل برتر انتخاب کردند. (et al., 2012) در مدل‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی رقم هاشمی،



شکل ۲- رابطه عملکرد با تعداد خوشه در مترمربع در مدل‌های الف) دوتکه‌ای، ب) مدل دندان‌مانند و ج) درجه دوم
 Fig. 2- Scatter graph of yield vs. panicle number: segmented model (a), dent-like (b) and quadratic function (c)



شکل ۳- رابطه عملکرد با تعداد دانه پر در خوشه در مدل‌های الف) دو تکه‌ای، ب) مدل دندان‌مانند و ج) درجه دوم
 Fig. 3- Scatter graph of yield vs. filled grain number: segmented model (a), dent-like (b) and quadratic function (c)



شکل ۴- رابطه عملکرد با وزن صد دانه در مدل‌های الف) دوتکه‌ای، ب) مدل دندان‌مانند و ج) درجه دوم
 Fig. 4- Scatter graph of yield vs. 100- grain weight: segmented model (a), dent-like (b) and quadratic function (c)

2009) و هوآنگ و همکاران (Huang et al., 2011)، ویژگی تعداد خوشه در بوته دارای بیشترین اثر مستقیم بر عملکرد شلتوک بود. با توجه به اینکه ویژگی اندازه دانه بیشتر تحت تأثیر کنترل ژنتیکی بوده و همچنین رشد دانه با پوست دانه کنترل می‌شود؛ بنابراین، به نظر می‌رسد که تأثیرپذیری تغییرات وزن هزار دانه ارقام مختلف برنج در شرایط محیطی مختلف، زیاد نمی‌باشد (Mustafavi Rad & Hatami et al., 2003). حاتمی و همکاران (Tahmasbi Sarvestani, 2003) در پژوهشی به منظور اثر زمان نشاکاری بر عملکرد شلتوک ارقام طارم صمدی، طارم هاشمی، طارم محلی، شیروودی، کشوری و گوهر، تعداد پنجه مؤثر در متر مربع و تعداد دانه در خوشه را برای رقم طارم هاشمی به ترتیب برابر با ۲۷۳ و ۱۱۷ گزارش کردند. کاظمی پشت مساری و همکاران (Kazemi Poshtmassari et al., 2007)، تعداد پنجه بارور، تعداد دانه در خوشه رقم طارم در تیمارهای مختلف کودی را به ترتیب برابر با ۶۱ و ۱۰۳ گزارش کردند. وزن هزاردانه برای رقم طارم برابر با ۲۴/۱۶ گرم گزارش شد. در پژوهش دیگری تعداد خوشه در واحد سطح (متر مربع) در رقم هاشمی برابر با ۲۵۶/۳ و وزن هزار دانه برابر با ۲۴/۳ گرم گزارش شد (Mahdavi et al., 2006).

در مدل دوتکه‌ای مقادیر حداقل، بهینه و حداکثر محاسبه می‌شود، اما مدل دندان‌مانند به برآورد دامنه مقادیر بهینه (بهینه تحتانی و فوقانی) می‌پردازد. مقدار بهینه برآورد شده توسط مدل دو تکه‌ای برای ویژگی‌های وزن صد دانه، تعداد خوشه در متر مربع و تعداد دانه پر به ترتیب برابر با ۲/۱۸ گرم، ۵۶۰ و ۸۳/۰۶ بود. مقدار بهینه مطلوب تحتانی برآورد شده توسط مدل دندان‌مانند در صفات تعداد خوشه، تعداد دانه پر و وزن صد دانه به ترتیب برابر با ۵۳۵، ۴۷ و ۲/۱۶ (گرم) و مقدار بهینه فوقانی به ترتیب برابر با ۷۱۸، ۸۳/۹۳ و ۲/۵۷ (گرم) بود (جدول ۳).

از طرفی، معادله $Y = ax^2 + bx + c$ بین عملکرد و اجزای عملکرد محاسبه شد که در آن، Y : برابر با عملکرد دانه و X : هر یک از اجزای عملکرد مورد بررسی (ضرایب گزارش شده در جدول ۲) بود. عوامل مختلف مدیریتی از قبیل مصرف کودهای شیمیایی به خصوص نیتروژن و آبیاری در اجزای عملکرد به خصوص تعداد خوشه تأثیر دارد؛ بررسی‌های متعددی در رابطه با تأثیر کود نیتروژن بر افزایش تعداد خوشه در واحد سطح برنج گزارش شده است (Mustafavi Rad & Tahmasbi Sarvestani, 2003; Kazemi Poshtmassari et al., 2007; Shokri et al., 2012; Gharavi Baigi et al., 2014). بر اساس گزارش صفائی چائی‌کار و همکاران (Safae chaykar et al.,)

جدول ۳- برآورد مقادیر حداقل (L_M)، بهینه (L_O)، بهینه تحتانی (L_{O1})، بهینه فوقانی (L_{O2})، حداکثر (L_C) با استفاده از مدل‌های رگرسیونی در برنج
Table 3- Estimated minimum level (L_M), optimum level (L_O), lower optimum level (L_{O1}), upper optimum level (L_{O2}), and ceiling level (L_C) using regression models for rice

مدل Model	اجزای عملکرد	ضرایب مدل‌های برازش شده Coefficients for estimated models				
		L _M	L _O	L _{O1}	L _{O2}	L _C
دوتکه‌ای Segmented	تعداد خوشه در مترمربع Panicle number (no.m ⁻²)	-412±33.2	560±11.3	-	-	1099±36.02
	تعداد دانه پر در خوشه Filled grain number (no.panicle ⁻¹)	-53.9±19.48	83.06±2.39	-	-	102.8±7.22
	وزن صد دانه 100-grain weight (g)	1.456±0.0726	2.18±0.050	-	-	5.58±0.564
دندان‌مانند Dent-like	تعداد خوشه در مترمربع Panicle number (no.m ⁻²)	-367.9±53.96	-	535±24.8	718±3.17	868±0
	تعداد دانه پر در خوشه Filled grain number (no.panicle ⁻¹)	16.84±4.6	-	47±0	83.93±1.68	100.7±5.03
	وزن صد دانه 100-grain weight (g)	1.47±0.09	-	2.16±0.063	2.57±0.1111	3.88±0.314

صفت تعداد خوشه در مترمربع بود. خلأ عملکرد محاسبه شده در تعداد دانه پر در خوشه و وزن صد دانه به ترتیب برابر با ۳/۶۵ و ۳/۳۲ تن در هکتار بود (جدول ۴). مطابق با نتایج پژوهش حاضر، بومان و همکاران (Bouman et al., 2005) نیز دو صفت تعداد خوشه در بوته و تعداد دانه در خوشه را به عنوان مهم‌ترین اجزای عملکرد دانه در

بر اساس یافته‌ها، عملکرد متوسط کشاورزان در منطقه مورد بررسی برابر با ۴/۸۱ تن در هکتار و عملکرد بهینه محاسبه شده برای صفات تعداد خوشه در متر مربع، تعداد دانه پر در خوشه و وزن صد دانه به ترتیب برابر با ۸/۷۵، ۸/۴۶ و ۸/۱۳ تن در هکتار بود (جدول ۴). بیشترین خلأ عملکردی محاسبه شده برابر با ۳/۹۴ تن در هکتار در

مدل‌های شبیه‌سازی رشد از قبیل مدل‌های نقطه‌ای در شبکه‌هایی با وسعت کم در یک مزرعه جهت پیش‌بینی نوسانات عملکرد (Nassiri Mahallati et al., 2016)، استفاده از مدل‌های مختلف از قبیل رگرسیون قطعه‌ای خطی، دو و سه قطعه‌ای در بررسی ثبات عملکرد (Nassiri Mahailati & Koocheki, 2014) و استفاده از مدل‌های خطی در پیش‌بینی عملکرد برنج در ارتباط با اجزای عملکرد (Casanova et al., 2002) را می‌توان نام برد. نصیری محلاتی و کوچکی (Nassiri Mahailati & Koocheki, 2014) در طی مطالعه‌ای به منظور ارزیابی ثبات عملکرد غلات در کشور، مدل خطی را برای داده‌های عملکرد برنج با شیب خط رگرسیونی کمتر از یک بدست آوردند که نشان‌دهنده ثبات بالای عملکرد این گیاه زراعی در مقایسه با سایر غلات بود. این پژوهشگران در واقع نوسان عملکرد برنج را در مواجهه با تغییرات سالانه محیطی در حدود ۱۴ درصد کمتر از میانگین تغییرات عملکرد همه غلات دانستند. در واقع، وجود نوسان در اختلاف عملکرد دانه ارقام در سال‌های مختلف می‌تواند به شرایط آب و هوایی در سال‌های مختلف به ویژه بارش و دمای هوا مربوط باشد (Tarang et al., 2013). بر اساس داده‌های شکل ۱، در طی دو سال مورد بررسی در این پژوهش مقدار بارش سال اول در مقایسه با سال دوم در حدود ۵۶ درصد و مقدار تابش در سال دوم در مقایسه با سال اول در حدود ۸۳ درصد بیشتر بود. همچنین تفاوت‌های ناشی از خاک مکان‌های مختلف هم موجب تفاوت و نوسان در عملکرد می‌شود (Tarang et al., 2013).

ژنوتیپ‌های برنج معرفی که به‌ترتیب بیشترین خلأ عملکرد را ایجاد نمودند. سروش و همکاران (Souroush et al., 2004) نیز در مطالعه روابط بین عملکرد و اجزای عملکرد برنج، به همبستگی مثبت و معنی‌دار دو صفت تعداد خوشه در بوته و تعداد دانه سالم در خوشه با عملکرد دست یافتند. همچنین این محققین بر این باورند که صفات مذکور دارای اثرات مستقیم بالایی بر عملکرد دانه بوده و به‌علاوه موجب افزایش اثرات غیرمستقیم صفات دیگر شده که در نتیجه، می‌توانند به‌عنوان معیار گزینش جهت اصلاح عملکرد دانه مطرح باشند. در پژوهشی به‌منظور پیش‌بینی عملکرد برنج توسط اجزای عملکرد و فاکتورهای محدود کننده عملکرد، برای اندازه‌گیری عملکرد در واحد سطح علاوه بر ویژگی‌های تعداد خوشه و خوشه‌چه، تعداد دانه‌های پوک، شدت آلودگی علف‌های هرز و ناهمگنی مکانی در مزارع را ضروری دانسته‌اند. دقت پیش‌بینی در عملکرد در ویژگی‌های ذکر شده، بالا بوده و دارای ضریب همبستگی برابر با ۰/۹۴ بود. این محققین، فاکتورهای پتاسیم، روی، تعداد گیاهان استقرار یافته در مزرعه و طول دوره رشدی را چهار فاکتور اصلی محدودکننده رشد برنج دانسته‌اند (Casanova et al., 2002). اسپس و همکاران (Espe et al., 2016) در طی یک دوره ۱۳ تا ۱۵ ساله در امریکا، اختلاف بین عملکرد پتانسیل با عملکرد واقعی را در حدود ۴/۹-۴/۱ تن در هکتار بیان نموده‌اند؛ محدوده خلأ عملکرد در پژوهش حاضر برابر با ۳/۹۴-۳/۳۲ تن در هکتار بود. محققین روش‌های مختلفی را برای توصیف نوسانات مکانی-زمانی عملکرد مورد استفاده قرار داده‌اند.

جدول ۴- نتایج تجزیه و تحلیل مرزی، عملکرد بهینه و خلأ عملکرد برنج در دشت فومنات استان گیلان

Table 4- The results of boundary line analysis, best yield and yield gap of rice in Foumanat plain of Guilan Province

	تعداد خوشه در متر مربع Panicle number (No.m ⁻²)	تعداد دانه پر در خوشه Filled grain number (No.panicle ⁻¹)	وزن صد دانه 100-grain weight (g)	میانگین Average
مقادیر بهینه Optimal level	560	47-83.9	2.18	
عملکرد بهینه Best yield	8.75	8.46	8.13	8.44
متوسط عملکرد Average yield (t.ha ⁻¹)	4.81	4.81	4.81	4.81
خلأ عملکرد Yield gap (t.ha ⁻¹)	3.94	3.65	3.32	3.63
درصد خلأ عملکرد Yield gap (%)	45.02	43.14	40.83	43

نتایج همبستگی بین داده‌های عملکرد و اجزای عملکرد، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با تعداد خوشه در متر

نتیجه‌گیری

کاهش می معادل ۴۰ درصد بود. بیشترین سهم در خلأ عملکرد به صفت تعداد خوشه در متر مربع (۴۵/۰۲ درصد) و پس از آن به تعداد دانه پر در خوشه (۴۳/۱۴ درصد) تعلق داشت. مقادیر بهینه برای دو صفت تعداد خوشه در متر مربع و وزن صد دانه (گرم) در مدل دوتکه‌ای برابر با ۵۶۰ و ۲/۱۸ بود؛ در حالی که محدوده مقدار بهینه برای صفت تعداد دانه پر در خوشه در مدل دندان‌مانند برابر با ۸۳/۹-۴۷ بود. بنابراین؛ با شناسایی عوامل تأثیرگذار در عملکرد دانه می‌توان با مدیریت زراعی مناسب در جهت کاهش خلأ عملکرد و افزایش پتانسیل عملکرد در منطقه گام برداشت.

مربع، تعداد دانه پر و وزن صد دانه و همبستگی منفی و معنی‌داری بین وزن صد دانه با تعداد خوشه در متر مربع، نشان داد. همچنین، مدل دوتکه‌ای به عنوان مدل برتر در دو صفت تعداد خوشه در متر مربع و وزن صد دانه بود. در صفت تعداد دانه پر در خوشه، مدل دندان‌مانند دارای بهترین برازش بود. منطقه دشت فومنات واقع در غرب استان گیلان با عملکردهای واقعی پایین، دارای خلأ عملکرد بالا و قابل توجهی بوده؛ بنابراین، پتانسیل زیادی برای افزایش عملکرد فعلی دارد. محاسبه خلأ عملکرد با روش آنالیز خط مرزی، عملکرد بهینه در منطقه را برابر با ۸/۴۴ تن در هکتار نشان داد، در حالی که عملکرد متوسط کشاورزان برابر با ۴/۸۱ تن در هکتار با

منابع

- Adibnia, M., Torabi, B., Rahimi, A., and Azari, A. 2015. Quantifying response of safflower seedling emergence to temperature. *Electronic Journal of Crop Production* 8: 161-177. (In Persian with English Summary)
- Ahmadi, M., Kamkar, B., Soltani, A., and Zeinali, E. 2010. Evaluation of non-linear regression models to predict stem elongation rate of wheat ((Tajan cultivar) in response to temperature and Photoperiod. *Electronic Journal of Crop Production* 2: 39-54. (In Persian with English Summary)
- Ajam Norouzi, H., Soltani, A., Majidi, E., and Homaei, M. 2007. Modelling response of emergence to temperature in faba bean under field condition. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 14: 100-111. (In Persian with English Summary)
- Amiri Deh Ahmadi, S.R., Parsa, M., Bannayan Aval, M., and Nassiri Mahallati, M. 2015. Yield gap analysis of chickpea under semi-arid conditions: A simulation study. *Journal of Agroecology* 7: 84-98. (In Persian with English Summary)
- Banneheka, B.M.S.G., Dhanushika, M.P., Wijesuriya, W., and Herath, K. 2013. A linear programming approach to fitting an upper quadratic boundary line to natural rubber data. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka* 41.
- Bouman, B.A.M., Peng, S., Castaneda, A.R., and Visperas, R.M. 2005. Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems. *Agricultural Water Management* 74: 87-105.
- Brancourt-Hulmel, M., Lecomte, C., and Meynard, J.M. 1999. A diagnosis of yield-limiting factors on Probe genotypes for characterizing environments in winter wheat trials. *Crop Science* 39: 1798-1808.
- Casanova, D., Goudriaan, J., Forner, M.M.C., and Withagen, J.C.M. 2002. Rice yield prediction from yield components and limiting factors. *European Journal of Agronomy* 17: 41-61.
- Doré, T., Meynard, J.M., and Sebillotte, M. 1998. The role of grain number, nitrogen nutrition and stem number in limiting pea crop (*Pisum sativum*) yields under agricultural conditions. *European Journal of Agronomy* 8: 29-37.
- Espe, M.B., Cassman, K.G., Yang, H.W., Guilpart, N., Grassini, P., Van Wart, J., Anders, M., Beighley, D., Harrell, D., Linscombe, S., McKenzie, K., Mutters, R., Wilson, L.T., and Linqvist, B.A. 2016. Yield gap analysis of US rice production systems shows opportunities for improvement. *Field Crops Research* 196: 276-283.
- Gharavi Baigi, M., Pirdashti, H., Abbasian, A., and Aghajaniye Mazandarani, G. 2014. Response of yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L. cv. Tarom Hashemi) in rice, duck and Azolla (*Azolla* sp.) farming. *Journal of Agroecology* 6: 477-487. (In Persian with English Summary)
- Hajarpoor, A., Soltani, A., and Torabi, B. 2015. Using boundary line analysis in yield gap studies: Case study of wheat in Gorgan. *Scientific Journal Management System* 8: 183-201. (In Persian with English Summary)
- Hatami, H., Mohsenabadi, G., Esfahani, M., Amiri Garijani, B., and Aalami, A. 2016. Effect of transplanting time on grain yield and physiological traits in grain filling period in rice cultivars. *Journal of Crops Improvement* 18: 655-671. (In Persian with English Summary)
- Huang, M., Zou, Y.b., Jiang, P., Xia, B., Md, I., and Ao, H.J. 2011. Relationship Between Grain Yield and Yield Components in Super Hybrid Rice. *Agricultural Sciences in China* 10: 1537-1544.
- Inusah, B.I.Y., Dogbe, W., Abdulai, A.L., Yirzagla, J., Mawunya, M., and Issahak, A.S. 2015. Yield gap survey in sudanno-guinea savanna agro-ecological zones of ghana. *Sustainable Agriculture Research* 4: 127-137.

- Kazemi Poshtmassari, H., Pirdashti, H., Bahmanyar, M.A., and Nassiri, M. 2007. Study the effects of nitrogen fertilizer rates and split application on yield and yield components of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. Pajouhesh and Sazandegi 75: 68-77. (In Persian with English Summary)
- Khalili, N., Kamkar, B., and Khodabakhshi, A.H. 2015. Quantifying and analysis of germination responses of annual savory (*Satureja hortensis* L.) to temperature and salinity stress. Environmental Stresses in Crop Sciences 8: 83-92. (In Persian with English Summary)
- Kundu, S., and Kundagrami, S. 2015. Estimation of path coefficient analysis to identify the yield contributing traits in rice (*Oryza sativa* L.) under saline and non-saline coastal regions of West Bengal. Journal of Advances in Biology 8: 1433-1438.
- Mahdavi, F., Esmaeili, M.A., Fallah, A., and Pirdashti, H. 2006. Study of morphological characteristics, physiological indices, grain yield and its components in rice (*Oryza sativa* L.) Landraces and Improved Cultivars 27: 280-297. (In Persian with English Summary)
- Makowski, D., Doré, T., and Monod, H. 2007. A new method to analyse relationships between yield components with boundary lines. Agronomy for Sustainable Development 27: 119-128.
- Meier, U. 1997. Growth stages of mono-and dicotyledonous plants: BBCH-Monograph. Blackwell wissenschaftsverlag, Berlin and Braunschweig.
- Milne, A.E., Ferguson, R.B., and Lark, R.M. 2006a. Estimating a boundary line model for a biological response by maximum likelihood. Annals of Applied Biology 149: 223-234.
- Mohandass, S., Natarajaratnam, N., and Kailasam, C. 1988. A new hybrid model for panicle growth in rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Agronomy and Crop Science 161: 207-209.
- Mojtabaie Zamani, M., Esfahany, M., Honarnejad, R., and Alahgholipour, M. 2007. Relationship between grain filling rate, grain filling duration, yield components and other physiological traits in rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Water and Soil Science 10: 213-225. (In Persian with English Summary)
- Mustafavi Rad, M., and Tahmasbi Sarvestani, Z.A.A. 2003. Evaluation of nitrogen fertilizer effects on yield, yield components and dry matter remobilization of three rice genotype. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 2: 21-31. (In Persian with English Summary)
- Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A.R. 2014. Long term evaluation of yield stability trend for cereal crops in Iran. Agroecology 6: 607-621. (In Persian with English Summary)
- Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Jahani, M. 2016. Estimating Within Field Variability of Wheat Yield Using Spatial Variables: An Approach to Precision Agriculture. Journal of Agroecology 8: 329-345. (In Persian with English Summary)
- Nhamo, N., Rodenburg, J., Zenna, N., Makombe, G., and Luzi-Kihupi, A. 2014. Narrowing the rice yield gap in East and Southern Africa: Using and adapting existing technologies. Agricultural Systems 131: 45-55.
- Rajeshwari, S., and Nadarajan, N. 2004. Correlation between yield and yield components in rice (*Oryza sativa* L.). Agricultural Science Digest 24: 280-282.
- Sabouri, H., Sabouri, A., and Dadras, A.R. 2012. Modeling the response of germination rate of different rice genotypes to temperature. Cereal Research 2: 123-135. (In Persian with English Summary)
- Safae Chaykar, S., Samie zade, H., Esfahani, M., and Rabiei, B. 2009. Correlation of agronomic traits under favorable irrigation and water stress conditions in rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Water and Soil Science 13: 91-105. (In Persian with English Summary)
- Selvaraj, C.I., Nagarajan, P., Thiyagarajan, K., Bharathi, M., and Rabindran, R. 2011. Genetic parameters of variability, correlation and path coefficient studies for grain yield and other yield attributes among rice blast disease resistant genotypes of rice (*Oryza sativa* L.). African Journal of Biotechnology 10: 3322-3334.
- Shokri, S., Siadat, S.A., Fathi, G., Abdali Mashhadi, A.R., Gilani, A.A., and Maadi, B. 2012. Evaluation of nitrogen fertilizer effects on paddy yield, yield components and dry matter remobilization of three rice genotype. Electronic Journal of Crop Production 3: 73-87. (In Persian with English Summary)
- Soltani, A., Hajjarpour, A., and Vadez, V. 2016. Analysis of chickpea yield gap and water-limited potential yield in Iran. Field Crops Research 185: 21-30.
- Soltani, A., Hammer, G.L., Torabi, B., Robertson, M.J., and Zeinali, E. 2006a. Modeling chickpea growth and development: Phenological development. Field Crops Research 99: 1-13.
- Souroush, H.R., Mesbah, M., and Hossian Zadeh, A.H. 2004. A study of relationship between grain yield and yield components in rice. Iranian Journal of Agricultural Sciences 35: 983-993.
- Tarang, A., Hossieni Chaleshtary, M., Tolghilani, A., and Esfahani, M. 2013. Evaluation of grain yield stability of pure lines of rice in Guilan province. Iranian Journal of Crop Sciences 2: 24-34. (In Persian with English Summary)
- Xu, X., He, P., Zhao, S., Qiu, S., Johnstond, A.M., and Zhou, W. 2016. Quantification of yield gap and nutrient use efficiency of irrigated rice in China. Field Crops Research 186: 58-65.



Determination of Appropriate Model for Yield Gap Analysis of Rice in Guilan Province using Boundary Line Analysis Method

N. Aghaeipour¹, H. Pirdashti^{2*}, M. Zavareh³, H. Asadi⁴ and M.A. Bahmanyar⁵

Submitted: 18-08-2017

Accepted: 04-02-2018

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

Introduction

Nowadays, identification of the yield limiting factors in the field particularly the various yield components including number of panicle per unit area, number of seeds per panicle and seed weight) is one of the most important methods to increase the production of rice. The yield gap (YG) analysis can be performed by measuring the yield related characteristics. Yield gap was estimated as the difference between actual and potential yield that has been used in various studies as an important indicator to increase the yield in crops and different areas. One of the most powerful methods to evaluate the reasons of yield potential and yield gap is boundary line analysis. The purpose of this research was to select an appropriate function for describing the relationship between yield and yield components in the Fumann plain of Guilan province. Furthermore, after selecting the superior function, the parameters of the yield and yield components were estimated to calculate the yield gap in the region.

Materials and Methods

The present study was carried out during two cropping seasons: 2012-13 and 2013-14 in Foumanat plain (cv. 'Tarom Hashemi'). We recorded the geographic coordinates of 53 fields. At the end of growing season (harvesting time), paddy yield and yield components (panicle number, filled grain number and 100- grain weight) were calculated in each field. The correlation coefficients between yield components and yield were studied. Segmented, quadratic and dent-like models were applied to describe the relationship between yield and yield components. Root mean square error (RMSE), determination coefficient (R^2), regression simple coefficients (a & b) and coefficient of variation (CV) were used to identify the appropriate model. After selecting a superior model, the boundary line method was used to calculate yield gap and its percentage, optimum yield and optimum amount of yield components for each field.

Results and Discussion

According to the results, a positive and significant correlation was existed between paddy yield with panicle number and filled grain number with 100- grain weight and a negative and significant correlation was existed between 100-grain weights with panicle number. Linear regression simple coefficients for all traits studied in the quadratic function and for two traits of panicles number per square meter and of filled grains number in the panicle in the segmented model were significant. Among the fitted models, segmented model has the lowest RMSE (respectively equal to 0.082 and 0.472) and coefficient of variation (equal to 1.26 and 6.39, respectively) in terms of two characteristics of panicle number and 100- grain weight and was able to describe the trend of the experimental data. In addition, dent-like model with the lowest RMSE (equal to 0.484) and coefficient of variation (equal to 6.60) used to describe the changes of filled grain number. In Foumanat plain, YG was recorded 3.63 t.ha⁻¹ with the average optimum yield and actual yield of 8.44 and 4.81 t.ha⁻¹, respectively (40% reduction in yield). Also, the optimum amount of panicle number, filled grain number and 100- grain weight were 560, 47-83.9, and 2.18 g, respectively.

1 and 2- Ph.D. Student of Agronomy and Associate Professor, Department of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

3- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.

4- Associate Professor, Soil Science Department, Faculty of Agricultural Sciences, University of Tehran, Iran.

5- Professor, Department of Soil Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

(*- Corresponding Author Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir)

DOI:10.22067/jag.v11i1.66914

Conclusion

Although, the area of Foumanat plain in the west of Guilan province has low actual yield, there is a good potential to increase the current yield. In this study, two segmented and dent-like models were identified as superior models. The highest YG in this study was related to the number of panicles per square meter followed by the number of filled grains and the 100- grain weight. Therefore, proper crop management for improving the yield components could be an important step towards reducing the YG and increasing the yield potential in the studied area.

Keywords: coefficient of variation, dent-like model, non linear regression, panicle number, segmented model.