



The Effect of Seed Density on the Growth and Yield of Rice Genotypes in Wet-Direct Seeding

Farzin Pouramir^{1✉} | Bijan Yaghoubi²

1. Corresponding Author, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran. Email: f.pouramir@areeo.ac.ir
 2. Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran. Email: b.yaghoubi@areeo.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: October 29, 2024

Received in revised form:

February 18, 2025

Accepted: March 03, 2025

Published online: September 23, 2025

Keywords:

Anam, biomass, optimum density, transplanting, yield components.

Extended Abstract

Introduction. Traditional and monoculture rice transplanting has a historical background in the northern provinces of Iran. Preparing rice seedlings in the seedbed and transferring them to the main field, as well as manual weeding, are the most important problems of the traditional rice transplanting system, which is not very attractive to the new generation of rice farmers. Today, the direct seeding system has become a suitable alternative to the transplanting system in the world due to advantages such as early maturity, less required labor, elimination of seedbed preparing and growing seedling on it, elimination of transplanting operations, prevention of transplanting shock (due to cutting the roots when transferring the seedlings from the seedbed to the main field), and also reduction of irrigation water. However, few studies have been conducted on the direct seeding system of rice in Iran. Therefore, in this study, an attempt was made to evaluate the effect of seeding density on the growth and yield of rice cultivars in this cultivation system.

Materials and Methods. This experiment aimed to evaluate the growth and yield of rice cultivars (Anam, Hashemi, and Kian) at different seeding densities (65, 80, 95, 110, and 125 kg of seeds per hectare) in wet-direct seeding in 2019 and 2020 at the Rice Research Institute of Iran (RRII). The experiment was conducted as a split plot experiment in a randomized complete block design with three replications. In this experiment, cultivars were placed in the main plots and seeding densities in the subplots. Land preparation included the first plowing in the early April, the second plowing in early May, and the puddling seven days before sowing. The seeds were pre-germinated before sowing. For pre-germination, the seeds were first soaked in water for two days and then placed in warm and humid conditions for two days to germinate. The germinated seeds were broadcasted in each plot by hand.

Results and Discussion. The results showed that increasing the seed rate to 95 kg ha⁻¹ increased the number of panicles per square meters, while the number of fill grains per panicle and grain weight decreased. Paddy yield was not significantly correlated with harvest index. However, it had a high positive correlation with biomass ($r=0.93^{**}$). With increasing seed density, yield increased up to about 100 kg ha⁻¹ and decreased at higher densities, although the response of cultivars to seeding density was different. The grain yield of the local cultivar Hashemi had a different response than the improved cultivars Anam and Kian. The yield of Hashemi cultivar was statistically similar at seeding densities from 80 kg ha⁻¹ to 125 kg ha⁻¹. The maximum grain yield for Anam, Hashemi and Kian cultivars was obtained at seeding densities of 95, 102, and 95 kg ha⁻¹, respectively.

Conclusions. The results of this study showed that the local Hashemi variety can better control the fluctuations caused by seeding density and maintain its maximum paddy yield in a wider range of seed density. Although the Hashemi variety had the highest paddy yield at a density of 102 kg/ha, there was no significant difference in this respect with the density of 80 kg of seeds per hectare. In order to reduce the costs related to seed purchase, a seed density of 80 kg for Hashemi and 95 kg for Anam and Kian varieties can be suggested to achieve maximum yield in this cultivation method. In addition, it is recommended that farmers with little knowledge in the field of rice wet-direct seeding use the local Hashemi variety, whose grain yield is less sensitive to planting density.

Cite this article: Pouramir, F., & Yaghoubi, B. (2025). The effect of seed density on the growth and yield of rice genotypes in wet-direct seeding. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 56(3), 53-65. DOI: 10.22059/ijfcs.2025.384506.655107.



© The Authors.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: [10.22059/ijfcs.2025.384506.655107](https://doi.org/10.22059/ijfcs.2025.384506.655107)



انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

Homepage: <https://ijfcs.ut.ac.ir/>

اثر تراکم بذر بر رشد و عملکرد ارقام برنج در کشت مستقیم بر بستر مرطوب

*فرزین پورامیر^۱ | بیژن یعقوبی^۲

۱. نویسنده مسئول، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، رشت، ایران. رایانامه: f.pouramir@areeo.ac.ir
۲. مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، رشت، ایران. رایانامه: b.yaghoubi@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	سامانه کشت مستقیم بذر برنج به دلیل نیاز کمتر به آب و نیروی کار به جایگزین مناسبی برای سامانه نشاکاری در جهان تبدیل شده است. از این رو، این تحقیق با هدف ارزیابی رشد و عملکرد ارقام برنج (آنم، هاشمی و کیان) در تراکم‌های مختلف بذر (۶۵، ۸۰، ۹۵، ۱۱۰ و ۱۲۵ کیلوگرم بذر در هکتار) در کشت مستقیم بر بستر مرطوب در سالهای ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در مؤسسه تحقیقات برنج کشور انجام شد. نتایج نشان داد افزایش مقدار بذر به ۹۵ کیلوگرم در هکتار منجر به افزایش تعداد خوشه در متر مربع شد، درحالی که تعداد دانه‌های پر در خوشه و وزن دانه کاهش یافت. عملکرد شلتوک همبستگی معنی‌داری با شاخص برداشت نداشت. این در حالی بود که با زیست‌توده همبستگی مثبت بالایی ($r=0.93^{**}$) داشت. بیشترین عملکرد دانه رقم هاشمی در تراکم ۱۰۲ کیلوگرم و ارقام کیان و آنم در تراکم ۹۵ کیلوگرم بذر در هکتار به‌دست آمد. اگرچه رقم هاشمی در تراکم ۱۰۲ کیلوگرم بیشترین عملکرد شلتوک را دارا بود ولی چون از این نظر اختلاف معنی‌داری با تراکم ۸۰ کیلوگرم نداشت می‌توان به‌منظور کاهش هزینه‌های مربوط به خرید بذر، تراکم بذر ۸۰ کیلوگرم را برای هاشمی و ۹۵ کیلوگرم را برای حصول حداکثر عملکرد در ارقام آنم و کیان پیشنهاد داد. همچنین توصیه می‌شود که کشاورزان با دانش کم در زمینه کشت مستقیم برنج بر بستر مرطوب از رقم محلی هاشمی که عملکرد دانه آن حساسیت کمتری به تراکم کشت دارد استفاده کنند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۸	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۳۰	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۳	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱	
کلیدواژه‌ها:	
اجزای عملکرد، آنم، تراکم مطلوب، زیست‌توده، نشاکاری.	

استناد: پورامیر، ف. و یعقوبی، ب. (۱۴۰۴). اثر تراکم بذر بر رشد و عملکرد ارقام برنج در کشت مستقیم بر بستر مرطوب. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۳-۶۵ (۳)، ۵۳-۶۵. DOI: 10.22059/ijfcs.2025.384506.655107



© نویسندگان

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

پس از گندم، برنج مهمترین غله کشور است؛ این محصول با سطح زیر کشت معادل ۷۹۲ هزار هکتار و مقدار عملکردی معادل ۳/۶ میلیون تن (MAJ, 2022) نقش بسزایی در تامین نیازهای غذایی مردم دارد. برنج نه تنها در تغذیه بلکه در اقتصاد و ایجاد اشتغال برای حدود نیم میلیون خانوار در شمال ایران نقش اصلی را ایفا می کند (Yaghoubi *et al.*, 2022). حدود ۷۰ درصد از کل سطح زیر کشت برنج در ایران در دو استان شمالی گیلان و مازندران قرار دارد (MAJ, 2022). نشاکاری سنتی و تک محصولی برنج در این منطقه سابقه تاریخی دارد. تهیه نشاء برنج در خزانه و انتقال آن به مزرعه اصلی و نیز وجین دستی از جمله مشکلات سامانه سنتی کشت و کار برنج است که برای نسل جدید برنج کاران جذابیت زیادی ندارد.

سامانه کشت مستقیم نسبت به کشت نشایی مزایای زیادی دارد که از جمله آنها می توان به زودرسی، نیاز به نیروی کار کمتر، حذف مراحل احداث خزانه و پرورش نشاء در خزانه، حذف عملیات نشاکاری، جلوگیری از شوک نشایی (در اثر قطع ریشه ها در هنگام انتقال نشاء از خزانه به زمین اصلی) و همچنین کاهش آب آبیاری اشاره کرد (Farooq *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2015). تحقیقات نشان داده است که کشت مستقیم برنج با توجه به فصل، مکان و نوع سامانه کشت در مقایسه با کشت نشایی می تواند نیاز به نیروی کار را ۱۱ تا ۷۵ درصد کاهش دهد (Dawe, 2005; Rashid *et al.*, 2009). مشخص شد که کشت مستقیم در مقایسه با کشت نشایی دستی برنج منجر به کاهش ۸۶ درصدی نیروی کار و کاهش ۸۷ درصدی هزینه ها می شود (Kumar & Ladha, 2011).

تحقیقات نشان داده است که کارایی مصرف آب در کشت مستقیم در مقایسه با کشت نشایی بالاتر است (Bhuiyan *et al.*, 1995; Dawe, 2005). در یک تحقیق مزرعه ای، میزان عملکرد شلتوک و مصرف آب آبیاری در سامانه کشت مستقیم بر بستر مرطوب، به ترتیب سه تا ۱۷ درصد بیشتر و ۱۱ تا ۱۸ درصد کمتر از کشت نشایی سنتی با آبیاری دائماً غرقاب در طی دوره رشد گیاه بود که منجر به افزایش ۲۵ تا ۴۸ درصدی بهره وری آب مصرفی در این شیوه کشت شد (Tabbal *et al.*, 2002). به گزارش آنها دلایل کاهش مصرف آب در این سامانه کشت عبارت بودند از: ۱- عدم آبیاری در ۱۰ تا ۱۵ روز پس از بذریاشی، ۲- پایین بودن سطح آب آبیاری در مراحل اولیه رشد که منجر به کاهش جریان های نفوذ عمقی و جانبی می شود و ۳- کاهش حدوداً ۱۰ روزه طول دوره رشد گیاه. در خصوص عملکرد برنج در دو روش کشت، گزارش های متفاوتی ارائه شده است؛ به عنوان مثال، در کشورهای هند و پاکستان، عملکرد برنج در کشت مستقیم، کمتر (۹/۲ تا ۲۸/۵ درصد)، در بنگلادش و فیلیپین، بیشتر (۸/۶ تا ۱۸/۵ درصد) و در نپال، کامبوج و تایلند مشابه کشت نشایی بود (Kumar & Ladha, 2011). در یک تحقیق هفت ساله مشاهده شد که تفاوت معنی داری بین عملکرد برنج در دو سامانه کشت نشایی و مستقیم وجود نداشت (Huang *et al.*, 2011). در مقابل، در تحقیقی دیگر گزارش شده است که عملکرد برنج در سامانه کشت مستقیم برابر یا بیشتر از کشت نشایی بود (Zhou *et al.*, 2021).

تراکم کاشت نقش بسیار مهمی در عملکرد گیاهان زراعی دارد. اگرچه برنج همانند اکثر غلات در دامنه وسیعی از تراکم کاشت قادر به تنظیم تراکم و در نتیجه حفظ عملکرد دانه می باشد (Zhao *et al.*, 2007)؛ ولی تراکم های خیلی کم و یا زیاد از طریق استفاده کمتر از منابع محیطی و یا رقابت بیش از اندازه منجر به کاهش عملکرد خواهند شد (Uzun *et al.*, 2004). گزارش شده است که افزایش تراکم گیاه و همچنین اجتناب از شوک نشاکاری منجر به تولید ماده خشک بالاتر در کشت مستقیم بذر در مقایسه با نشاکاری گیاهچه برنج می شود (Dingkuhn *et al.*, 1990). بیان شده است که تعداد خوشه وابستگی بالایی به پنجه های اولیه در مقایسه با پنجه های ثانویه و سوم داشته و با افزایش تراکم بذر تعداد پنجه ها نیز کاهش می یابد (Huan *et al.*, 1999). بنابراین تعیین تراکم در سامانه کاشت مستقیم باید به گونه ای باشد که رقابت بین گیاهی به حداقل برسد و بیشتر خوشه ها از پنجه های اولیه تولید شوند. مزیت افزایش تعداد خوشه در نتیجه مقدار بذر بیشتر ممکن است با کاهش طول خوشه و همچنین کاهش وزن دانه در خوشه تقلیل یابد (Bhattacharjee, 1978). تحقیقات نشان داده است که بسته به روش و شرایط کشت، میزان بذر مصرفی در سامانه کشت مستقیم ممکن است از ۲۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر باشد (Kumar & Ladha, 2011). مقدار بذر بیشتر اغلب در مزارعی که کنترل علف های هرز با تراکم گیاه زراعی انجام شود و یا بذریاشی در شرایط غرقاب باشد، مورد استفاده قرار

می‌گیرد (Moody, 1977). همچنین در مواقعی که شرایط جوانه‌زنی به دلیل آسیب‌های ناشی از تنش‌های زیستی و غیر زیستی مناسب نباشد، از میزان بذر بالا استفاده می‌شود. مشاهده شد که افزایش مقدار بذر در کشت مستقیم برنج از ۱۰۰ به ۳۰۰ بذر در متر مربع منجر به کاهش تعداد و زیست‌توده علف‌های هرز و در نتیجه افزایش عملکرد برنج شد (Zhao et al., 2007). آنها همچنین بیان کردند که افزایش تراکم به ۵۰۰ بذر در متر مربع منجر به کاهش قابل توجهی در زیست‌توده علف‌های هرز و در نتیجه افزایش عملکرد برنج نشد. گزارش شده است که مقدار ۷۵ کیلوگرم بذر در هکتار به دلیل تولید خوشه بیشتر در واحد سطح منجر به عملکرد بالاتر در مقایسه با سایر تراکم‌ها در سامانه کشت مستقیم برنج می‌شود (Qashqaei, 2014). در تحقیقی که روی برنج رقم هاشمی انجام گرفت، مشاهده شد که بیشترین عملکرد در سامانه کشت مستقیم بر بستر مرطوب با تراکم بذر ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (Gholami Rezvani et al., 2014). این در حالی بود که برای به‌دست‌آوردن حداکثر عملکرد در ژنوتیپ خزر در این سامانه کشت به ۸۰ کیلوگرم بذر نیاز بود (Kaabi Rahnema, 2011).

با وجود مزایای فراوان کشت مستقیم، این سامانه کشت هنوز در ایران بخصوص در شرایط اقلیمی شمال کشور گسترش پیدا نکرده است. در این مناطق به دلیل بارندگی زیاد در مرحله آماده‌سازی زمین (فروردین و اردیبهشت) و وجود خاک‌های رسی با ظرفیت نگهداری آب بالا، روش کشت مستقیم خشک (خشکه‌کاری) چندان مناسب نمی‌باشد. بنابراین با توجه به شرایط اقلیمی، کشت مستقیم بر بستر گل‌خراب‌شده و مرطوب بهترین روش کشت مستقیم در این مناطق می‌باشد. تاکنون تحقیقات جامعی در مورد مقایسه و ارزیابی واکنش ارقام محلی و اصلاح‌شده برنج به کشت مستقیم بر بستر مرطوب و توصیه‌های زراعی مناسب برای این سامانه کشت در کشور انجام نشده است. از این رو در این تحقیق سعی شد تا تاثیر مقدار بذر مصرفی بر رشد و عملکرد ارقام برنج مورد بررسی قرار گرفته و بهترین تراکم بذر به منظور حصول بیشترین عملکرد برای هر رقم در این سامانه کشت برای معرفی به کشاورزان برنج‌کار شمال کشور ارائه شود.

۲. روش‌شناسی پژوهش

این آزمایش در طی سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در مزرعه پژوهشی موسسه تحقیقات برنج کشور- رشت اجرا شد. محل آزمایش در طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی، با ارتفاع هفت متر پایین‌تر از سطح آب‌های آزاد قرار دارد. اطلاعات هواشناسی محل آزمایش در طی فصل کشت از ایستگاه هواشناسی کشاورزی مجاور مزرعه آزمایشی دریافت و در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. داده‌های هواشناسی مربوط به فصل کشت در طی سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹. این داده‌ها از ایستگاه هواشناسی کشاورزی در مجاورت مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات برنج کشور تهیه شده است.

Month	Temperature (degree centigrade)				Precipitation (mm)		Sunshine hours	
	Minimum		Maximum		2019	2020	2019	2020
	2019	2020	2019	2020				
April	9.9	8.6	16.8	16.1	131	158	101	102
May	13.8	13.4	24.6	22.8	65	58	223	178
June	18.8	18.7	30.5	30.4	10	1	306	301
July	21.4	21.0	31.0	31.7	171	27	253	254
August	20.4	21.1	31.4	29.6	25	80	227	144
Total	-	-	-	-	401	324	1110	978
Mean	16.9	16.6	26.9	26.1	-	-	-	-

آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. رقم (آنام، هاشمی و کیان) در کرت اصلی و تراکم بذر (۶۵، ۸۰، ۹۵، ۱۱۰ و ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. برخی از ویژگی‌های مهم ارقام مورد مطالعه در این تحقیق در جدول ۲ بیان شده است. ابعاد کرت‌های اصلی ۵ × ۱۷ متر و ابعاد کرت‌های فرعی ۵ × ۳ متر در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌ها نیم متر و فاصله بین بلوک‌ها یک متر بود.

آماده سازی زمین شامل انجام شخم اول در نیمه اول فروردین، شخم دوم در اواسط اردیبهشت و شخم سوم (گل خرابی) هفت روز قبل از بذرپاشی بود. بذور قبل از کاشت پیش جوانه دار شدند. برای پیش جوانه دار کردن ابتدا بذور به مدت دو روز در آب خیسانده شده و سپس به مدت دو روز در داخل گونی های کنفی مرطوب در شرایط آزمایشگاه قرار داده شدند تا جوانه زنی بذور انجام شود. کشت بذورهای جوانه دار شده در هر کرت به صورت دست پاش انجام شد. تاریخ بذرپاشی در سال های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ به ترتیب ۲/۱۸ و ۲/۲۴ بود. تاریخ برداشت در سال ۱۳۹۸ برای رقم کیان، ۵/۱۹ و برای ارقام آنام و هاشمی ۵/۲۲ ثبت شد. تاریخ برداشت در سال ۱۳۹۹ برای رقم کیان، ۶/۶ و برای ارقام آنام و هاشمی ۶/۸ بود. روش آبیاری در ابتدا به صورت تر و خشک کردن بود و همزمان با افزایش ارتفاع گیاهچه ها ارتفاع آب داخل کرت ها نیز به حدود پنج تا هفت سانتی متر افزایش یافت. دو هفته قبل از برداشت، آبیاری به طور کامل قطع شد.

جدول ۲. برخی از ویژگی های ارقام برنج مورد استفاده در این پژوهش (داده ها مربوط به میانگین دو ساله در کشت نشایی می باشند).

Genotype	Growth period (day)	Paddy yield (ton/ha)	Tiller number	Panicle length (cm)	Thousand seeds weight (g)	Released year	Description
Hashemi	111	4.4	14	27	25	-	Native genotype
Anam	109	4.9	22	22	24	1397	Improved genotype (Saleh × Hashemi)
Kian	106	5.4	16	24	27	1399	Mutant from Tarom native cultivar

به منظور مبارزه با علف های هرز، هفت روز قبل از بذرپاشی از علف کش های پرتیلاکلر (ریفیت، ۱/۷۵ لیتر در هکتار) + بن سولفورون متیل (لونداکس، ۵۰ گرم در هکتار) به صورت خاک پاش در سطح کرت های غرقاب استفاده شد. در مرحله دو تا چهار برگگی علف های هرز نیز سمپاشی با استفاده از علف کش کلین وید (بیس پایریباک سدیم ۴۰ درصد به مقدار ۱۰۰ میلی لیتر در هکتار) به صورت برگ پاش انجام شد.

به منظور تعیین میزان کودهای مصرفی، ابتدا نمونه های خاک از مزرعه آزمایشی مورد نظر تهیه شده و پس از تعیین میزان عناصر غذایی موجود در آن اقدام به کوددهی شد. اطلاعات مربوط به آنالیز نمونه خاک محل آزمایش در جدول ۳ آمده است. کودهای فسفره، پتاسه و نیتروژنه از منابع کودی شامل سوپرفسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، سولفات پتاسیم (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و اوره (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) تامین شدند. تمامی کودهای فسفات و نیمی از کود پتاسه در مرحله آماده سازی زمین در کرت های مورد نظر مصرف شدند. کود نیتروژنه در چهار مرحله (۳۰ درصد ۲۰ روز پس از کاشت، ۳۰ درصد در مرحله پنجه زنی، ۲۰ درصد در مرحله ساقه رفتن، و ۲۰ درصد در مرحله ظهور خوشه) به صورت سرک مصرف شد. ۵۰ درصد باقیمانده کود پتاسه نیز در مرحله پنجه زنی به همراه دومین مرحله کود سرک نیتروژنه مصرف شد. به منظور مبارزه با کرم ساقه خوار برنج نیز گرانول پاشی حشره کش دیازینون ۱۰ درصد به مقدار ۱۵ کیلوگرم در هکتار طی دو نوبت و هفت روز پس از اوج پرواز شب پره کرم ساقه خوار برنج طبق توصیه کارشناسان مربوطه انجام شد.

جدول ۳. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی.

Soil texture	Absorbable Potassium (mg/kg)	Absorbable phosphorus (mg/kg)	Total nitrogen (%)	Organic carbon (%)	pH	Electrical conductivity (dSm ⁻¹)
Silty- clay	191	6.7	0.2	2.11	7.49	0.92

در مرحله گلدهی با استفاده از کادرهای ۰/۵ × ۰/۵ متر نمونه گیری هایی به منظور محاسبه شاخص سطح برگ انجام شد. برای این کار، تمامی نمونه های داخل هر کادر از سطح خاک برداشت شده و پس از انتقال به آزمایشگاه تمامی برگ ها از ساقه ها جدا شده و با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج (LI-COR- 3100) شاخص سطح برگ محاسبه شد. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، نمونه گیری با کادرهای یک متر مربعی صورت گرفت و نمونه های مورد نظر پس از ۲۴ ساعت آفتاب خشک کردن در مزرعه به

آزمایشگاه منتقل شده و صفاتی از قبیل تعداد پنجه، تعداد خوشه، تعداد دانه در خوشه، تعداد دانه پر و پوک در خوشه، وزن هزاردانه، زیست توده و شاخص برداشت محاسبه شد. برآورد عملکرد دانه نیز پس از حذف اثر حاشیه، از مساحت پنج متر مربع از قسمت مرکزی کرت‌های آزمایشی که در طول فصل زراعی دست‌نخورده باقی مانده بودند، انجام شد. عملکرد شلتوک براساس رطوبت ۱۴ درصد محاسبه شد. برای آزمون یکنواختی واریانس بین دو سال آزمایش از آزمون یکنواختی واریانس بارتلت استفاده شد. تجزیه مرکب داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS Ver. 9.2 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD انجام شد. برای محاسبه همبستگی بین صفات نیز از روش پیرسون استفاده شد.

در این تحقیق رابطه بین تراکم کشت ارقام برنج و صفات سطح برگ، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه با استفاده از تجزیه رگرسیون بررسی شد. برای این منظور پس از برازش مدل‌های رگرسیونی مختلف، از معادله چهار پارامتره گوسین (معادله ۱) استفاده شد. این مدل به دلیل بیان خوب روند تغییرات، معنی‌داری تجزیه رگرسیون، معنی‌داری پارامترهای مدل و نیز R^2 بالا انتخاب شد.

$$f = y_0 + a \cdot \exp(-0.5 \cdot ((x - x_0)/b)^2) \quad (\text{معادله ۱})$$

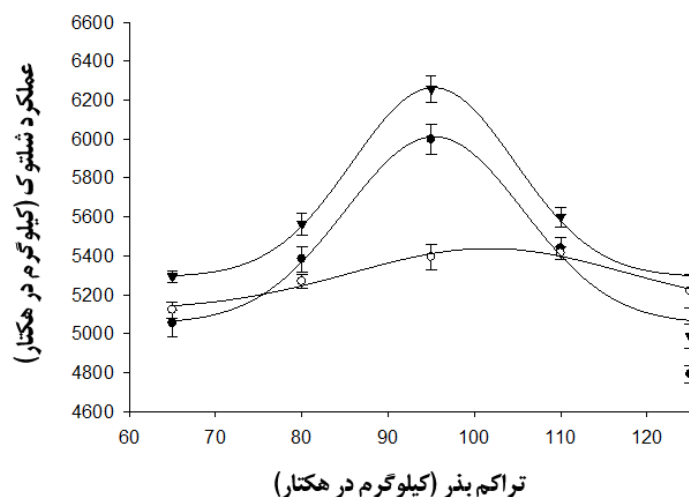
در این مدل f مقدار تابع در نقطه خاصی از x است. y_0 صفت مورد بررسی در کمترین تراکم کشت یا تراکم حداقل است. پارامتر a بیانگر اثر تغییرات تراکم بذر بر افزایش یا کاهش صفت مورد بررسی است و تفاوت بین مقدار پایه (y_0) و حداکثر صفت مورد بررسی را نشان می‌دهد. X تراکم کشت و X_0 تراکم بهینه است که در آن حداکثر مقدار صفت مورد نظر حاصل می‌شود. شیب مدل (b) بیانگر حساسیت صفت مورد بررسی به تغییرات تراکم کشت است. اگر b کوچک باشد، نشان می‌دهد که صفت مورد بررسی تنها در محدوده باریکی از تراکم‌های کشت بالا است و تغییرات کوچک در تراکم کشت می‌تواند تأثیر بزرگی بر صفت مورد بررسی داشته باشد. اگر b بزرگ باشد، نشان‌دهنده این است که صفت مورد نظر در یک بازه وسیع‌تری از تراکم‌ها نزدیک به حداکثر باقی می‌ماند. ضریب همبستگی (R^2) نشان می‌دهد چه درصدی از تغییرات متغیر وابسته توسط متغیرهای مستقل توضیح داده می‌شود و بالاتر بودن آن به معنی ارتباط قوی بین متغیرها است و مقدار پایین این متغیر ممکن است بیانگر این باشد که عوامل دیگری غیر از متغیر مستقل (تراکم کشت) نقش مهمی در تعیین صفت مورد بررسی دارد. مقدار بالای R^2 به‌تنهایی برای ارزیابی کیفیت مدل کافی نیست و باید به عوامل دیگری مانند سطح معنی‌داری، خطاهای مدل و معنی‌داری پارامترهای مدل نیز توجه کرد تا اطمینان حاصل شود که رابطه واقعی و معنی‌داری بین متغیرها وجود دارد.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

رابطه بین تراکم بذر و عملکرد شلتوک در شکل ۱ نشان داده شده است. روند تغییرات عملکرد دانه با برازش مدل گوسین چهارپارامتره قابل بیان بود ($R^2 \geq 88\%$). مطابق مدل برازش‌شده با افزایش تراکم کشت، عملکرد تا تراکم حدود ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش و در تراکم‌های بالاتر دارای روند کاهشی بود، اگرچه واکنش ارقام به تراکم کشت متفاوت بود. عملکرد دانه رقم محلی هاشمی دارای واکنش متفاوتی نسبت به ارقام اصلاح‌شده آنام و کیان بود و عملکرد این رقم در تراکم کشت بالاتر از ۸۰ کیلوگرم در هکتار تا ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار از نظر آماری مشابه بود. حداکثر عملکرد دانه برای ارقام آنام، هاشمی و کیان به‌ترتیب در تراکم کشت ۹۵، ۱۰۲ و ۹۵ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. افزایش میزان بذر از تراکم بهینه با کاهش عملکرد همراه بود که میزان این کاهش برای رقم محلی هاشمی حدود پنج درصد و برای ارقام اصلاح‌شده آنام و کیان به‌ترتیب ۱۲ و ۲۰ درصد بود. بدیهی است افزایش تراکم کشت و کاهش عملکرد دانه به‌دلیل تشدید رقابت درون‌گونه‌ای است که به دلیل کمبود نور و مواد غذایی اتفاق می‌افتد. واکنش متفاوت ارقام به تراکم مشابه می‌تواند ناشی از اختلاف آنها در میزان توسعه ریشه، پنجه، زیست‌توده، آرایش برگ و سایر قابلیت‌ها در شرایط رقابتی باشد.

پارامترهای تجزیه رگرسیون داده‌های عملکرد نیز به خوبی اختلاف ارقام را نشان می‌دهند (جدول ۴). پارامتر a نشان می‌دهد که این ضریب در ارقام مختلف متفاوت و در ارقام اصلاح‌شده آنام و کیان حدود سه برابر رقم محلی هاشمی است و دارای اختلاف معنی‌داری هستند. این مقادیر بیانگر آن است که تغییرات میزان بذر بر عملکرد ارقام اصلاح‌شده دارای تأثیر بیشتری نسبت به رقم محلی هاشمی است. پارامتر b نیز بیان مشابهی از تأثیر تراکم کشت بر عملکرد ارقام برنج دارد و نشان می‌دهد که مقدار آن در رقم

هاشمی به طور معنی داری بزرگتر از ارقام اصلاح شده است. این نتایج بیانگر آن است که رقم محلی هاشمی بهتر می تواند نوسانات ناشی از تراکم کشت را کنترل کرده و حداکثر عملکرد شلتوک خود را در دامنه گسترده تری از تراکم بذر حفظ کند. این در حالی بود که عملکرد شلتوک در دو رقم اصلاح شده آنام و کیان حساسیت بیشتری به تراکم بذر داشت و قادر به تنظیم اجزای عملکرد خود برای حفظ حداکثر عملکرد در تراکم های مختلف نبودند. علاوه بر این، افزایش تراکم کاشت اثر منفی بیشتری بر دو رقم اصلاح شده آنام و کیان داشت؛ به طوری که این دو رقم کمترین عملکرد شلتوک را در تراکم ۱۲۵ کیلوگرم بذر در هکتار داشتند؛ در حالی که رقم محلی هاشمی در تراکم بذر ۶۵ کیلوگرم کمترین مقدار را داشت.



شکل ۱. روند تغییرات عملکرد شلتوک ارقام برنج (● آنام، ○ هاشمی، ▼ کیان) در تراکم های مختلف بذر در سامانه کشت مستقیم بر بستر مرطوب. نقاط روی منحنی میانگین سه تکرار هستند.

جدول ۴. پارامترهای تجزیه رگرسیون روند تغییرات عملکرد شلتوک در تراکم های مختلف بذر در سامانه کشت مستقیم بر بستر مرطوب.

Genotype	y0 (se)	a (se)	X0 (se)	b (se)	R ²
Anam	5052 (257)	959 (97)	95 (2.9)	10.2 (2.2)	0.90
Hashemi	5120 (315)	317 (26)	101 (1.5)	15.9 (1.6)	0.97
Kian	5292 (415)	971 (85)	95 (3.4)	9.4 (2.2)	0.88

y0 is the yield of rice at the lowest planting density; a is the trend of rice yield changes with changes in seed density, x0 is the planting density at which maximum yield is obtained, b is the slope of the model, R² is the coefficient of determination, and se is the standard error.

نتایج آزمون بارملت نشان داد که اختلاف معنی داری بین واریانس دو سال وجود ندارد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سال، رقم، تراکم بذر و اثر متقابل رقم × تراکم بذر بر تعداد پنجه در واحد سطح معنی دار بود (جدول ۵). در بین اثرات متقابل رقم و تراکم بذر، تراکم ۱۱۰ کیلوگرم در رقم آنام با ۷۲۷ پنجه در متر مربع بیشترین و تراکم ۸۰ کیلوگرم در رقم کیان با ۴۸۹ پنجه در متر مربع کمترین مقدار را دارا بودند (جدول ۶). دامنه تغییرات تعداد خوشه از ۴۶۸ خوشه برای رقم کیان در تراکم ۸۵ کیلوگرم بذر در هکتار تا ۶۸۴ خوشه در متر مربع برای رقم آنام در تراکم ۱۱۰ کیلوگرم بذر در هکتار متغیر بود. در بین ارقام مورد مطالعه، رقم هاشمی بیشترین طول خوشه (۲۴ سانتی متر) را داشت، در حالی که طول خوشه دو رقم آنام و کیان (۲۱ سانتی متر) مشابه بود (جدول ۵). در تحقیق حاضر تراکم های ۹۵ تا ۱۱۰ کیلوگرم بذر در هکتار منجر به تولید بیشترین تعداد خوشه در واحد سطح شدند، این در حالی بود که تراکم های کمتر و بیشتر از این مقدار از این نظر مطلوب نبودند. اگرچه برنج در دامنه وسیعی از تراکم کاشت همانند اکثر غلات قادر به تنظیم تراکم و در نتیجه حفظ عملکرد دانه می باشد (Zhao et al., 2007)؛ ولی تراکم های خیلی کمتر و یا بیشتر از طریق استفاده کمتر از منابع محیطی و یا رقابت بیش از اندازه منجر به کاهش عملکرد خواهند شد. احتمالاً در مراحل اولیه رشد، تراکم های خیلی بالا با افزایش تعداد پنجه در واحد سطح و در نتیجه افزایش سطح برگ، استفاده بهتری از تشعشع و منابع محیطی داشتند و منجر به افزایش سریع تر زیست توده برنج در مقایسه با تراکم های کمتر شدند. این در حالی است که تراکم های خیلی بالا

در مرحله گلدهی و پس از آن از طریق افزایش بیش از اندازه رقابت بین بوته‌های منجر به کاهش تعداد دانه‌های پر در خوشه و در نتیجه، کاهش عملکرد شدند. این امر برای تراکم‌های خیلی پایین برعکس بوده و کانویی برنج در این تراکم‌ها قادر به پوشش زودهنگام زمین نبوده و در استفاده از تشعشع و منابع محیطی عقب مانده و در نتیجه تعداد پنجه و خوشه در این تراکم‌ها کمتر از تراکم‌های بالاتر بود که افزایش بیشتر دانه در خوشه در این شرایط نیز نتوانست کاهش عملکرد ناشی از تعداد خوشه کمتر را جبران کند. در نتیجه تراکم‌های ۹۵ تا ۱۱۰ کیلوگرم بذر در هکتار با ایجاد شرایط مناسب‌تر برای تولید پنجه و خوشه و در نتیجه حفظ آنها تا مراحل پایانی رشد و همچنین تولید دانه‌های پر در هر خوشه منجر به حصول حداکثر عملکرد دانه شدند. گزارش شده است که عملکرد بیشتر برنج در کشت مستقیم در مقایسه با کشت نشایی با تعداد بیشتر خوشه در واحد سطح در این روش کاشت مرتبط است (Pouramir et al., 2020; Naklang et al., 1996).

دامنه تعداد دانه پر در خوشه برای هر رقم در تراکم‌های مختلف متفاوت بود؛ به‌طوری‌که، مقدار آن برای ارقام آنام، هاشمی و کیان به‌ترتیب ۲۱، ۲۳ و ۲۰ درصد بود. بیشترین تعداد دانه پر در خوشه ارقام آنام، هاشمی و کیان به‌ترتیب در تراکم‌های ۹۵، ۶۵ و ۶۵ کیلوگرم بذر در هکتار و کمترین تعداد دانه پر در خوشه نیز به‌ترتیب در تراکم‌های ۱۲۵، ۹۵ و ۱۱۰ کیلوگرم بذر در هکتار ثبت شد (جدول ۶). دامنه تغییرات تعداد دانه پوک در خوشه رقم آنام در تراکم‌های مختلف گسترده‌تر از دو رقم هاشمی و کیان بود؛ به‌طوری‌که تعداد دانه پوک در این رقم از هفت دانه (تراکم ۱۱۰ کیلوگرم بذر) تا ۱۵ دانه (تراکم ۹۵ کیلوگرم بذر) متغیر بود ولی برای دو رقم دیگر این دامنه از حداقل پنج تا حداکثر هفت دانه در بین تراکم‌های مختلف متغیر بود (جدول ۶). در بین اثرات متقابل رقم و تراکم، بیشترین وزن هزار دانه ارقام آنام، هاشمی و کیان به‌ترتیب در تراکم‌های ۸۰، ۶۵ و ۱۲۵ کیلوگرم بذر در هکتار و کمترین مقدار آن نیز به‌ترتیب در تراکم‌های ۹۵، ۱۲۵ و ۹۵ کیلوگرم بذر در هکتار به ثبت رسید (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که دامنه تغییرات شاخص برداشت برنج در بین تراکم‌های مختلف از ۴۵/۸ درصد برای تراکم کاشت ۱۲۵ کیلوگرم بذر تا ۴۹/۱ درصد برای تراکم کاشت ۸۰ کیلوگرم بذر متغیر بود. اگرچه، بین تراکم‌های ۶۵، ۸۰، ۹۵ و ۱۱۰ کیلوگرم اختلاف معنی‌داری از این نظر مشاهده نشد (جدول ۵).

در مطالعه حاضر رقم کیان با وجود تعداد خوشه کمتر در واحد سطح در مقایسه با دو رقم دیگر، عملکرد بیشتری داشت. در واقع کیان از طریق افزایش تعداد دانه پر در خوشه و همچنین وزن دانه توانست کمبود تعداد خوشه در واحد سطح را جبران کرده و از این طریق عملکرد خود را افزایش دهد. این امر نشان‌دهنده این است که در رقم کیان، نقش تعداد دانه پر در خوشه و همچنین وزن هزار دانه و در دو رقم آنام و هاشمی نقش تعداد پنجه و خوشه در عملکرد شلتوک بیشتر از سایر اجزای عملکرد می‌باشد. نتایج نشان داد که بین تعداد خوشه با تعداد دانه پر در خوشه و وزن دانه همبستگی منفی وجود دارد که این نتایج با نتایج سایر محققان (Naklang et al., 1996; Zhi-peng et al., 2017) منطبق بود.

ضرایب همبستگی نشان داد که عملکرد شلتوک با زیست‌توده گیاه همبستگی مثبت معنی‌داری ($r=0.93^{**}$) دارد (جدول ۷). این درحالی بود که تعداد خوشه در واحد سطح همبستگی مثبت معنی‌داری با صفات تعداد پنجه و شاخص سطح برگ (به‌ترتیب $r=0.99^{**}$ و $r=55^{**}$) و همبستگی منفی معنی‌داری با صفات تعداد دانه پر در خوشه و وزن هزارانه (به‌ترتیب $r=-0.55^{*}$ و $r=-0.67^{**}$) داشت. وزن هزار دانه برنج با دانه‌های پر در خوشه همبستگی مثبت معنی‌دار ($r=0.57^{*}$) و با دانه‌های پوک همبستگی منفی معنی‌دار ($r=-0.56^{*}$) داشت. در واقع با افزایش تعداد خوشه در واحد سطح از تعداد دانه پر در خوشه و همچنین وزن دانه کاسته شد. دلیل احتمالی این امر می‌تواند محدودیت منبع در تامین مواد فتوسنتزی برای پر کردن دانه‌ها باشد. به‌عبارت دیگر، با افزایش تعداد خوشه در واحد سطح، ظرفیت مخازن برنج افزایش می‌یابد، این در حالی است که محدودیت سطح برگ و همچنین تشعشع فعال فتوسنتزی موجود در مرحله پر شدن دانه نمی‌تواند مواد فتوسنتزی لازم برای پر کردن سنبلیچه‌های تولیدشده را فراهم کنند. از این‌رو، تعداد و وزن دانه‌های پر شده کاهش خواهد یافت. محققان دیگر نیز نشان داده‌اند که با افزایش تراکم کاشت بر تعداد خوشه برنج در واحد سطح افزوده می‌شود، ولی تعداد دانه در هر خوشه کاهش می‌یابد (Kaur & Singh, 2016; Huang et al., 2011).

جدول ۵. اثر سال، رقم و تراکم بذر بر اجزای عملکرد ارقام برنج در سامانه کشت مستقیم بر بستر مرطوب.

Treatments		Tiller (No.m ⁻²)	Panicle (No. m ⁻²)	Panicle length (cm)	Filled seed (No./panicle)	Hollow seed (No./panicle)	1000 seeds weight (g)	HI (%)
Year	2019	621 ^a	591 ^a	22 ^a	40 ^a	6 ^b	25.3 ^a	48.3 ^a
	2020	580 ^b	553 ^b	22 ^a	42 ^a	8 ^a	24.8 ^a	46.8 ^a
Genotype	Anam	625 ^a	591 ^a	21 ^b	39 ^b	10 ^a	23.8 ^b	47.8 ^a
	Hashemi	641 ^a	617 ^a	24 ^a	40 ^b	6 ^b	24.1 ^b	47.0 ^a
	Kian	537 ^b	508 ^b	21 ^b	46 ^a	5 ^b	27.2 ^a	47.9 ^a
Seed rate	65	567 ^b	540 ^c	23 ^a	46 ^a	8 ^b	25.3 ^{ab}	47.6 ^a
	80	561 ^b	539 ^c	22 ^a	40 ^b	6 ^c	26.1 ^a	49.1 ^a
	95	638 ^a	606 ^a	22 ^a	41 ^b	9 ^a	24.6 ^c	47.5 ^{ab}
	110	637 ^a	603 ^{ab}	22 ^a	40 ^b	6 ^c	25.1 ^b	47.7 ^a
	125	599 ^{ab}	572 ^{b^c}	22 ^a	40 ^b	6 ^c	24.1 ^c	45.8 ^b
ANOVA	Year (Y)	*	*	ns	ns	**	ns	NS
	Genotype (G)	**	**	**	**	**	**	NS
	Seed rate (D)	**	**	ns	**	**	**	*
	Y × G	ns	ns	ns	ns	ns	ns	NS
	Y × D	ns	ns	ns	ns	ns	ns	NS
	G × D	**	**	ns	**	**	**	NS
	Y × G × D	ns	ns	ns	ns	ns	ns	NS
	C.V.	9.1	8.7	6.6	11	11.6	5.6	5.4

Based on the LSD test ($p \leq 0.05$), means in each column with the same letter for year, genotype and seed rate are not significantly different.

جدول ۶. اثر متقابل رقم و تراکم بذر بر اجزای عملکرد برنج در سامانه کشت مستقیم بر بستر مرطوب.

Genotype × Seed rate		Tiller (No./m ²)	Panicle (No./m ²)	Panicle length (cm)	Filled seed (No./panicle)	Hollow seed (No./panicle)	1000 seeds weight (g)	HI (%)
Anam	65	552 ^{e-h}	522 ^{def}	21 ^a	39 ^{cde}	14 ^a	23.6 ^{efg}	48 ^a
	80	569 ^{efg}	541 ^{de}	22 ^a	38 ^{def}	10 ^b	26.1 ^{bcd}	51 ^a
	95	621 ^{b-e}	584 ^{cd}	20 ^a	42 ^{bcd}	15 ^a	21.9 ^g	47 ^a
	110	727 ^a	684 ^a	22 ^a	40 ^{cde}	7 ^{de}	24.1 ^{def}	47 ^a
	125	655 ^{bcd}	625 ^{abc}	21 ^a	33 ^f	8 ^c	23.4 ^{efg}	46 ^a
Hashemi	65	592 ^{def}	571 ^{cd}	25 ^a	47 ^{ab}	6 ^{def}	24.8 ^{de}	47 ^a
	80	627 ^{b-e}	610 ^{bc}	24 ^a	38 ^{cde}	5 ^g	24.5 ^{de}	48 ^a
	95	683 ^{ab}	659 ^{ab}	24 ^{ab}	36 ^{ef}	6 ^{def}	24.7 ^{de}	47 ^a
	110	664 ^{abc}	632 ^{abc}	24 ^a	38 ^{c-f}	7 ^{cd}	24.3 ^{de}	47 ^a
	125	641 ^{bcd}	614 ^{bc}	25 ^a	38 ^{c-f}	6 ^{gf}	22.5 ^{gf}	46 ^a
Kian	65	559 ^{e-h}	528 ^{def}	23 ^a	51 ^a	6 ^{def}	27.4 ^{ab}	48 ^a
	80	489 ^h	468 ^f	20 ^a	43 ^{bcd}	5 ^g	27.9 ^a	49 ^a
	95	612 ^{cde}	576 ^{cd}	22 ^a	44 ^{bc}	7 ^{de}	25.8 ^{cd}	49 ^a
	110	521 ^{fgh}	491 ^{ef}	20 ^a	41 ^{cde}	6 ^{ef}	26.8 ^{abc}	49 ^a
	125	502 ^{gh}	477 ^{ef}	21 ^a	50 ^a	5 ^g	28.0 ^a	46 ^a

Based on the LSD test ($p \leq 0.05$), means in each column with the same letter are not significantly different.

جدول ۷. ضریب همبستگی بین عملکرد، اجزای عملکرد، زیست توده و شاخص سطح برگ برنج.

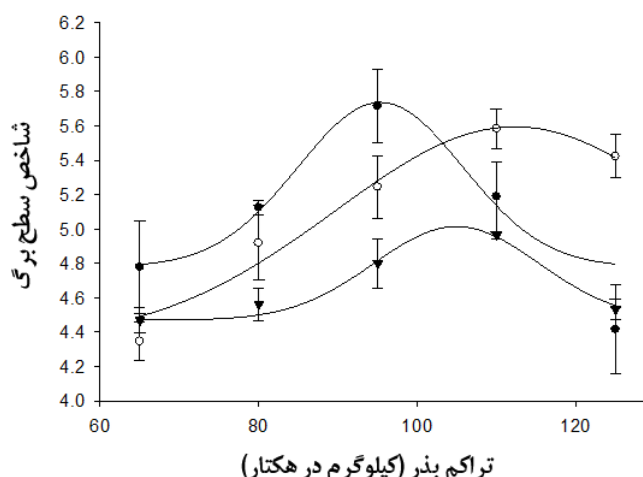
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
Yield (X1)	1									
Tillers (X2)	0.12	1								
Panicles (X3)	0.09	0.99 ^{**}	1							
Panicle length (X4)	-0.16	0.42	0.48	1						
Filled seed (X5)	0.19	-0.53 [*]	-0.55 [*]	0.05	1					
Empty seed (X6)	0.17	0.07	0.02	-0.42	-0.22	1				
1000 seed weight (X7)	-0.08	-0.68 [*]	-0.67 ^{**}	-0.21	0.57 [*]	-0.56 [*]	1			
HI (X8)	0.20	-0.34	-0.35	-0.23	0.03	0.13	0.35	1		
Biomass (X9)	0.93 ^{**}	0.26	0.23	-0.06	0.17	0.13	-0.22	-0.16	1	
LAI (X10)	0.18	0.57 [*]	0.55 [*]	0.26	-0.31	0.11	-0.39	-0.17	0.27	1

^{*} and ^{**}: significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

۳-۱. شاخص سطح برگ

رابطه بین سطح برگ و تراکم کشت ارقام برنج در شکل ۲ نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که ارقام برنج در تراکم‌های مشابه دارای سطح برگ متفاوتی بودند. با افزایش تراکم کشت، سطح برگ همه ارقام ابتدا افزایش و سپس کاهش پیدا کرد، اگرچه کاهش سطح برگ رقم هاشمی معنی‌دار نبود. کاهش شدید سطح برگ آنام و کاهش نسبی سطح برگ کیان و عدم کاهش سطح برگ هاشمی با افزایش تراکم، بسیار حائز اهمیت بوده و بیانگر ضرورت توجه به تراکم بهینه کشت در زراعت ارقام مختلف است.

پارامتر x_0 در مدل برازش شده بیانگر تراکمی از کشت است که در آن حداکثر سطح برگ به دست می‌آید (جدول ۸). بذر مورد نیاز برای دست‌یابی به حداکثر سطح برگ در رقم آنام به‌طور معنی‌داری کمتر از هاشمی و کیان است. دو پارامتر مدل یعنی a و b نیز به‌خوبی بیانگر اختلافات بین ارقام هستند. پارامتر a رقم هاشمی به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو رقم دیگر است و بدان معنی است که تفاوت بین حداقل سطح برگ تا حداکثر سطح برگ بیشتر است. هم‌ین‌طور پارامتر b در رقم هاشمی به‌طور معنی‌داری بیشتر از دیگر ارقام بود و نشان داد که حداکثر سطح برگ در بازه بیشتری از تراکم کشت در حداکثر باقی می‌ماند که بیانگر سازگاری بیشتر این رقم با شرایط کشت است.



شکل ۲. روند تغییرات شاخص سطح برگ ارقام برنج (● آنام، ○ هاشمی، ▼ کیان) در تراکم‌های مختلف بذر در کشت مستقیم بر بستر مرطوب در زمان ظهور خوشه. نقاط روی منحنی میانگین سه تکرار هستند.

جدول ۸. پارامترهای تجزیه رگرسیون بررسی روند تغییرات شاخص سطح برگ برنج در تراکم‌های مختلف بذر در کشت مستقیم برنج بر بستر مرطوب.

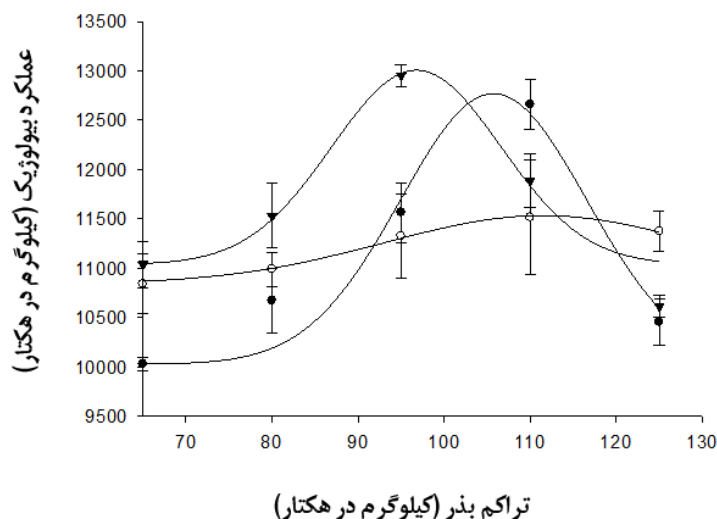
Genotype	y_0 (se)	a (se)	X_0 (se)	b (se)	R^2
Anam	4.7 (0.1)	0.95 (0.2)	95 (4.1)	10.4 (2.3)	0.84
Hashemi	4.3 (0.2)	1.24 (0.1)	112 (3.4)	22.7 (3.7)	0.96
Kian	4.4 (0.1)	0.54 (0.6)	104 (1.1)	10.4 (1.4)	0.97

y_0 is the rice leaf area index at the lowest planting density; a is the trend of rice leaf area index changes with changes in seed density, x_0 is the planting density at which maximum leaf area index is obtained, b is the slope of the model, R^2 is the coefficient of determination, and se is the standard error.

۳-۲. زیست‌توده

عملکرد بیولوژیک ارقام برنج در تراکم‌های مختلف کشت متفاوت بود (شکل ۳). در حداقل تراکم کشت (۶۵ کیلوگرم بذر در هکتار) رقم آنام دارای کمترین و دو رقم هاشمی و کیان دارای زیست‌توده بیشتر و تقریباً مشابه بودند. با افزایش تراکم کشت عملکرد بیولوژیک همه ارقام ابتدا دارای روند افزایشی و پس از رسیدن به حداکثر و در تراکم‌های بالاتر از حدود ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش شدند. عملکرد بیولوژیک رقم هاشمی دارای کمترین تغییرات در تراکم‌های مختلف کشت بود. تجزیه رگرسیون و پارامتر b حاصل از برازش مدل گوسین نشان می‌دهد که این رقم دارای اختلاف معنی‌داری با دیگر ارقام است (جدول ۹). کاهش عملکرد

هاشمی در بالاترین تراکم مورد بررسی فاقد اختلاف معنی‌دار با تراکم بهینه بود. کاهش شدید عملکرد بیولوژیک ارقام اصلاح‌شده حائز اهمیت فراوان است و بیانگر ضرورت رعایت تراکم بهینه جهت دستیابی به عملکرد مطلوب در معرفی این رقم جدید به کشاورزان است.



شکل ۳. بررسی روند تغییرات عملکرد بیولوژیکی ارقام برنج (● آنام، ○ هاشمی، ▼ کیان) با افزایش تراکم بذر در کشت مستقیم برنج بر بستر مرطوب. نقاط روی منحنی میانگین سه تکرار هستند.

جدول ۹. پارامترهای تجزیه رگرسیون بررسی روند تغییرات عملکرد بیولوژیک در تراکم‌های مختلف بذر در کشت مستقیم برنج بر بستر مرطوب.

Genotype	y0 (se)	a (se)	X0 (se)	b (se)	R ²
Anam	10025 (128)	2742 (420)	106 (1.87)	10.8 (1.9)	0.94
Hashemi	10842 (159)	693 (25)	111 (0.9)	18.3 (1.1)	0.99
Kian	11039 (201)	1968 (337)	96 (2.3)	9.8 (1.8)	0.93

y0 is the rice biological yield at the lowest planting density; a is the trend of rice biological yield changes with changes in seed density, x0 is the planting density at which maximum biological yield is obtained, b is the slope of the model, R² is the coefficient of determination, and se is the standard error.

۴. نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که رقم محلی هاشمی حساسیت کمتری در مقایسه با دو رقم اصلاح‌شده آنام و کیان به تراکم کاشت داشت. عملکرد این رقم در تراکم کشت بالاتر از ۸۰ کیلوگرم در هکتار تا ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار از نظر آماری مشابه بود. حداکثر عملکرد دانه برای ارقام آنام، هاشمی و کیان به ترتیب در تراکم کشت ۹۵، ۱۰۲ و ۹۵ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. افزایش تراکم بذر بیشتر از تراکم بهینه با کاهش عملکرد همراه بود که مقدار آن برای رقم محلی هاشمی حدود پنج درصد و برای ارقام اصلاح‌شده آنام و کیان به ترتیب ۱۲ و ۲۰ درصد بود. این نتایج بیانگر آن است که رقم محلی هاشمی بهتر می‌تواند نوسانات ناشی از تراکم کشت را کنترل کرده و حداکثر عملکرد شلتوک خود را در دامنه گسترده‌تری از تراکم بذر حفظ کند. این در حالی بود که عملکرد شلتوک در دو رقم اصلاح‌شده آنام و کیان حساسیت بیشتری به تراکم بذر داشت و قادر به تنظیم اجزای عملکرد خود برای حفظ حداکثر عملکرد در تراکم‌های مختلف نبودند. نتایج این تحقیق نشان داد اگرچه رقم هاشمی در تراکم ۱۰۲ کیلوگرم بیشترین عملکرد شلتوک را دارا بود ولی چون از این نظر اختلاف معنی‌داری با تراکم ۸۰ کیلوگرم بذر در هکتار نداشت می‌توان به‌منظور کاهش هزینه‌های مربوط به خرید بذر، تراکم بذر ۸۰ کیلوگرم را برای هاشمی و ۹۵ کیلوگرم را برای ارقام آنام و کیان به‌منظور حصول حداکثر عملکرد در این روش کشت پیشنهاد کرد. همچنین توصیه می‌شود که کشاورزان با دانش کم در زمینه کشت مستقیم برنج از رقم محلی هاشمی که عملکرد دانه آن حساسیت کمتری به تراکم کاشت دارد استفاده کنند.

۵. منابع

Bhattacharjee, I.R. (1978). Note on the seed rate as cultural method of weed control for direct seeding short duration paddy (Pusa 2-21). *Scientific Culture*, 44, 504-505.

- Bhuiyan, S.I., Sattar, M.A., & Khan, M. (1995). Improving water use efficiency in rice irrigation through wet seeding. *Irrigation Science*, 16, 1-8.
- Dawe, D. (2005). Increasing water productivity in rice-based systems in Asia past trends, current problems, and future prospects. *Plant Production Science*, 8(3), 221-230.
- Dingkuhn, M., Schnier, H.F., De Datta, S.K., Wijangco, E., & Doeffling, K. (1990). Diurnal and developmental changes in canopy gas exchange in relation to growth in transplanted and direct seeded flooded rice. *Australian Journal of Plant Physiology*, 17(2), 119-134.
- Farooq, M., Kadambot, H.M.S., Rehman, H., Aziz, T., Dong-Jin, L., & Wahid, A. (2011). Rice direct seeding: Experiences, challenges and opportunities. *Soil and Tillage Research*, 111(2), 87-98.
- Gholami Rezvani, N., Esfahani, M., Kaabi Rahnama, S., Aalami, A., & Nahvi, M. (2014). Effect of seed rate on grain yield and yield components of rice (cv. Hashemi) in direct seeding methods. *Seed Plant Production*, 31(1), 37-56. (In Persian).
- Huan, T.T.N., Tan, P.S., & Hiraoka, H. (1999). Path-coefficient analysis of direct seeded rice yield and yield components as affected by seeding rates. *Omonrice*, 7, 104-111.
- Huang, M., Zou, Y., Jiang, P., Xia, B., Feng, Y., Cheng, Z., & Mo, Y. (2011). Yield component differences between direct-seeded and transplanted super hybrid rice. *Plant Production Science*, 14(4), 331-338.
- Kaabi Rahnama, S. (2011). *The effect of seed rate on yield, yield components, and water efficiency index of rice (cv. Khazar) in different direct seeding cultivation methods*. PhD Thesis. Faculty of Agriculture, University of Gilan, Iran. (In Persian).
- Kaur, S., & Singh, S. (2016). Influence of plant densities on growth and yield of direct seeded rice (*Oryza sativa* L.). *Agricultural Research*, 53(4), 594-596.
- Kumar, V., & Ladha, J.K. (2011). Direct seeding of rice: Recent developments and future research needs. *Advances in Agronomy*, 111, 297-413.
- Liu, H., Hussain, S., Zheng, M., Peng, S., Huang, J., Cui, K., & Nie, L. (2015). Dry direct-seeded rice as an alternative to transplanted-flooded rice in Central China. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 285-294.
- MAJ (Ministry of Agriculture-Jahad). (2022). Crop Statistics. Available at: <https://agrodl.ir/statistics/>. (In Persian).
- Moody, K. (1977). Weed control in multiple cropping. "Cropping Systems Research and Development for the Asian Rice Farmer", pp. 281-293. International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines.
- Naklang, K., Fukai, S., & Nathabut, K. (1996). Growth of rice cultivars by direct seeding and transplanting under upland and lowland conditions. *Field Crops Research*, 48(2), 115-123.
- Pouramir, F., Yaghoubi, B., & Shahbazi, H. (2020). Comparison of yield and yield components of native and improved rice cultivars in transplanting and direct seeding cultivation methods. *Journal of Crop Production*, 13(2), 131-145. (In Persian).
- Qashqaei, M. (2014). *Determining the correlation and path analysis between yield and yield components in different tillage and plant density management in rice dry direct seeing cultivation*. Master's Thesis. Faculty of Agriculture, Islamic Azad University Ahvaz Branch, Iran. (In Persian).
- Rashid, M.H., Alam, M.M., Khan, M.A.H., & Ladha, J.K. (2009). Productivity and resource use of direct-(drum)-seeded and transplanted rice in puddled soils in rice-rice and rice-wheat ecosystem. *Field Crops Research*, 113(3), 274-281.
- Tabbal, D.F., Bouman, B.A.M., Bhuiyan, S.I., Sibayan, E.B., & Sattar, M.A. (2002). On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice: Case studies in the Philippines. *Agricultural Water Management*, 56(2), 93-112.
- Uzun, A., Bilgili, U., Sincik, M., & Açıkgöz, E. (2004). Effects of seeding rates on yield and yield components of hungarian vetch (*Vicia pannonica* Crantz.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 28, 179-182.
- Yaghoubi, B., Aminpanah, H., & Chauhan, B.S. (2022). Performance of different herbicides on pondweed (*Potamogeton nodosus*) in rice. *Weed Technology*, 36(2), 270-275.
- Zandstra, H.G. (1977). Cropping Systems Research and Development for the Asian Rice Farmer. In: K. Moody (Ed), *Weed control in multiple cropping*. (pp. 281-293). International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines.
- Zhao, D.L., Bastiaans, L., Atlin, G.N., & Spiertz, J.H.J. (2007). Interaction of genotype $\times$ management on vegetative growth and weed suppression of aerobic rice. *Field Crops Research*, 100(2-3), 327-340.
- Zhi-peng, X., Ya-jie, H., Hai-jun, Q., Wei-wei, C., Bao-wei, G., Hai-yan, W., Ke, X., Zhong-yang, H., Gui-sheng, Z., Qi-gen, D., & Hong-cheng, Z. (2017). Comparison of yield traits in rice among three mechanized planting methods in a rice-wheat rotation system. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(7), 1451-1466.
- Zhou, N.B., Zhang, J., Fang, S.L., Wei, H.Y., & Zhang, H.C. (2021). Effects of temperature and solar radiation on yield of good eating quality rice in the lower reaches of the Huai River Basin, China. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(7), 1762-1774.