

ایجاد تنوع ژنتیکی برای تحمل به شوری در ارقام محلی برنج با روش پرتوتابی گاما

الهیار فلاح^{۱*}، لیلا باقری^۲، علیرضا نبی‌پور^۱، ابراهیم مقیسه^۲، کیوان مهدوی ماشکی^۱

۱. مؤسسه تحقیقات برنج کشور، معاونت مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، صندوق پستی: ۹۱۹۵۱-۴۶۱۹۱، آمل - ایران

۲. پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، صندوق پستی: ۳۱۴۶۵-۱۴۹۸، کرج - ایران

*Email: a.fallah@areeo.ac.ir

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵ تاریخ بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۳/۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۳/۲۳

چکیده

اصلاح به کمک جهش روشی کارآمد جهت تولید ارقام جدید برای کشت در شرایط طبیعی و تحت تنش از جمله شوری می‌باشد. جمعیتی از لاین‌های موتانت حاصل از پرتوتابی رقم‌های طارم محلی، حسنی و عنبربو توسط اشعه گاما طی ۱۰ سال در شالیزارهای شور مازندران از نظر صفات زراعی ارتفاع بوته، زودرسی، عملکرد و اجزای عملکرد و تحمل نسبی به تنش شوری، بررسی و انتخاب شدند. میزان شوری خاک و آب آبیاری در سال‌ها و مکان‌های مختلف، به ترتیب بین ۴ تا ۱۱ و ۲ تا ۹ دسی‌زیمنس بر متر و شاخص تحمل به تنش شوری موتانت‌ها بین ۳ تا ۵ متغیر بود. ۱۳ موتانت دارای شاخص حساسیت به تنش شوری پایین‌تری نسبت به ارقام والدینی با کد تحمل به تنش ۵ بودند. بیشتر موتانت‌ها تعداد روز تا ۵۰٪ گل‌دهی کمتری نسبت به والدین داشتند. تعداد روز از بذریابی تا ۵۰٪ گل‌دهی در موتانت‌های منتخب (۲۳۱۰، ۲۲۱۲ و ۱۳۳) بین ۸۰ تا ۹۰ روز بود. متوسط ارتفاع بوته در بین موتانت‌های انتخابی (M_5-M_7) در اراضی شور شالیزاری مازندران بین ۱۱۰-۱۳۰ سانتی‌متر بود. همه موتانت‌های انتخابی تعداد خوشه در کپه بیشتری نسبت به شاهد طارم محلی تولید کردند. متوسط عملکرد موتانت‌های برنج در مکان و سال‌های مختلف بین ۳۰۰۰ تا ۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. موتانت‌های ۲۲۱۲ و ۲۳۱۰ بیشترین عملکرد را در مکان‌های بهمنیر و فریدونکنار داشتند که نسبت به شاهد طارم محلی، حداقل ۳۵ درصد افزایش عملکرد نشان دادند. درصد آمیلوز موتانت‌ها بین ۱۸ تا ۲۳ متغیر بود. براساس نتایج، موتانت‌های ۲۲۱۲، ۲۳۱۰ و ۱۳۳ برای اراضی شالیزاری شور یا لب‌شور انتخاب شدند.

کلیدواژه‌ها: آمیلوز، جهش، شوری، عملکرد موتانت برنج

Induction of genetic diversity for salinity tolerance in local varieties of rice using gamma irradiation

A. Fallah^{*1}, L. Bagheri², A.R. Nabipour¹, E. Moghiseh², K. Mahdavi Mashaki¹

1. Rice Research Institute of Iran, Mazandaran Branch, Agricultural Research, Education and Extension Organization, P.O.Box: 91951-46191, Amol - Iran

2. Nuclear Agriculture Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, P.O.Box: 31465-1498, Karaj - Iran

Research Article

Received: 5.3.2024, Revised: 27.5.2024, Accepted: 12.6.2024

Abstract

Mutation breeding has proven to be efficient for developing new cultivars adapted to normal and stress conditions, including salinity. Mutant populations developed through gamma irradiation of Tarom Mahalli, Hassani, and Anbarboo local rice varieties were evaluated and screened for agronomic traits for 10 years in saline paddy fields of Mazandaran. These traits included plant height, early maturity, yield, yield components, and relative tolerance to salinity stress. The salinity levels of both soil and irrigation water varied between 4-11 and 2-9 dS/m, respectively, in different years and locations. The tolerance indices of the mutants were either 3 or 5, with 13 mutants showing lower stress sensitivity indices than their respective parents. Most mutants reached 50% flowering in fewer days than their parents, with selected mutants (2310, 2212, and 133) flowering between 80 and 90 days after sowing. The average plant height of selected mutants (M_5-M_7) in the saline paddy fields of Mazandaran ranged between 110-130 cm. All selected mutants produced a higher number of panicles per hill compared to Tarom Mahalli. The average yield of rice mutants varied between 3000 and 4500 kg/ha in different locations and years, with mutants 2212 and 2310 showing the highest yields in Bahnamir and Fereydoonkenar. These mutants exhibited at least a 35% increase in yield compared to Tarom Mahalli. The amylose percentage of the mutants ranged between 18-23%. Based on these results, mutants 2212, 2310, and 133 were selected for cultivation in paddy fields with saline or brackish water.

Keywords: Amylose, Mutation, Salinity, Rice mutant yield



۱. مقدمه

برنج از جمله محصولات زراعی راهبردی در ایران می‌باشد که سهم قابل توجهی در سبد غذایی مردم و تأمین کالری آنها دارد، به‌طوری که سرانه مصرف سالانه آن حدود ۳۵ کیلوگرم گزارش شده است. تأمین این نیاز، با توجه به محدود بودن سطح شالیزارها، نیازمند افزایش عملکرد در واحد سطح به کمک روش‌های بهزراعی و استفاده از ارقام پرمحصول است. استراتژی مؤسسه تحقیقات برنج کشور در حال حاضر معرفی ارقام جدید با عملکرد و کیفیت بالا همراه با تحمل نسبی به تنش‌های غیرزنده نظیر شوری می‌باشد. برنامه‌های اصلاحی برای توسعه ارقام جدید پرمحصول بیشتر براساس روش شجره‌ای و یا انتخاب توده‌ای (بالک) استوار است، ولی در زمانی که اصلاح پاره‌ای از صفات در یک رقم برتر مطرح باشد، می‌توان از جهش القایی با عوامل جهش‌زای شیمیایی و فیزیکی به‌عنوان یکی از ابزارهای اصلاحی کارآمد بهره گرفت. جهش از طریق ایجاد تنوع ژنتیکی در ژنوم گیاهی و غنی‌سازی ژرم‌پلاسما گیاهی، منجر به تولید لاین‌ها و ارقام برتر نسبت به لاین‌ها و ارقام مادری می‌گردد. مزیت اصلاح به روش جهش‌زایی، توانایی آن در اصلاح یک یا چند صفت بدون تغییر دیگر قسمت‌های ژنوم می‌باشد. جهت نیل به اهداف فوق، یک دهه همکاری بین مؤسسه تحقیقات برنج کشور و پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای کرج به وجود آمده است تا موتانت‌های انتخابی حاصل شود [۱].

فناوری هسته‌ای ابزاری مهم در پژوهش‌ها و عملیات کشاورزی کشور است که از آن در کنترل آفات انباری، افزایش مدت نگهداری محصول و نیز افزایش جهش ژنتیکی استفاده می‌شود. در فناوری هسته‌ای از پرتوهای یونیزه‌کننده الکترومغناطیسی آلفا، بتا، گاما، نوترون و ایکس استفاده می‌شود که در این بین، پرتو گاما به خاطر در دسترس بودن آسان و قدرت نفوذ بهتر نسبت به پرتوهای یونیزه دیگر، مؤثرتر و مقرون به صرفه‌تر می‌باشد. پرتو گاما که به خاطر دارا بودن طول موج کوتاه‌تر دارای انرژی و نفوذپذیری بیشتری است، مستقیماً به ماده ژنتیکی اصابت کرده و سبب جهش‌ژنی یا تغییرات کروموزومی می‌شود. از میان اندام‌های گیاه، بذرها به دلیل پرتودهی آسان و نگهداری راحت‌تر، بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲، ۳].

موتاسیون القایی در گیاهان مختلف مورد استفاده قرار گرفته و بیشترین کاربرد و موفقیت را در اصلاح گیاه برنج داشته است، به‌طوری که تاکنون حدود ۸۵۲ رقم برنج حاصل از موتاسیون در دنیا و ۴ رقم موتانت برنج در ایران معرفی و ثبت شده است [۲، ۴]. از پرتوتابی گاما در توسعه واریته‌های برنج به منظور بهبود تحمل به تنش‌های غیرزیستی [۵، ۶]، کیفیت دانه و

افزایش ارزش غذایی استفاده شده است [۷]. مجد و همکاران [۸] با همکاری مؤسسه تحقیقات برنج کشور و پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای دو رقم برنج پویا و تابش را معرفی کردند که متحمل به بلاست و خوابیدگی ساقه (ورس) هستند. رقم کیان از موتاسیون القایی رقم طارم محلی طی اجرای چند پروژه مشترک با پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای کرج به‌دست آمده است [۹]. این رقم علاوه بر دارا بودن خصوصیات مطلوب ارقام محلی (میزان آمیلوز ۲۱، درجه حرارت ژلاتینی شدن متوسط، عطر خوب، درصد تبدیل ۶۲ درصد و کیفیت پخت مشابه ارقام محلی)، متحمل به تنش خشکی بوده و دارای ارتفاع کوتاه‌تر و عملکرد بالاتر در شرایط تنش خشکی و نرمال نیز هست [۹]. رقم طارم روشن، که یک رقم پرمحصول و معطر می‌باشد، توسط پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری معرفی شد [۱۰]. کاتو و همکاران [۱۱] از پرتوتابی واریته برنج Fukuhibiki با دز ۲۵۰ گری، تعداد ۹۸۰۱ گیاه در نسل M_۲ تولید کردند که از بین آنها ۴۶۴ گیاه وزن خوشه بالاتری داشتند و در نهایت دو لاین FukuhibikiH۶ و FukuhibikiH۸ به عنوان موتانت‌های با عملکرد بالاتر نسبت به والد معرفی شدند.

شوری یکی از مشکلات رو به گسترش در اراضی شالیزاری شمال ایران است که با نزدیک شدن به ساحل شدت آن بیشتر می‌شود. جهت اصلاح برنج برای تحمل به شوری، باید ژرم‌پلاسماهای مورد نظر در شرایط شوری کشت و مورد ارزیابی قرار بگیرند. ارزیابی صفات ارتفاع بوته، تعداد پنجه در کپه و طول خوشه، اولین گام برای ارزیابی مواد ژنتیکی می‌باشد [۱۲]. در آزمایشی که توسط زینگ و شانون [۱۳] اجرا شد، رفتار گیاه برنج در سه سطح شوری ۱، ۳/۹ و ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر با تراکم کاشت ۴۰۰، ۶۰۰ و ۷۲۰ عدد بذر در متر مربع مورد ارزیابی قرار گرفت. آنها گزارش کردند که با افزایش سطح شوری، ارتفاع بوته، تعداد خوشه در کپه و عملکرد دانه کاهش یافت ولی با افزایش تراکم کاشت بذر، عملکرد دانه افزایش نیافت. همچنین بیان داشتند در سطح متوسط شوری، کاهش عملکرد دانه را نمی‌توان با افزایش تراکم کاشت بذر، جبران کرد. هدف پژوهش حاضر تشریح روند اصلاح و انتخاب موتانت‌های متحمل به تنش شوری برنج در اراضی شور و لب‌شور مازندران و ارزیابی صفات زراعی آنها می‌باشد. در این تحقیق، صفات زراعی از جمله ارتفاع بوته، زودرسی، عملکرد و اجزای عملکرد و تحمل نسبی به تنش شوری، در طی ۱۰ سال در لاین‌های موتانت حاصل از پرتوتابی ارقام بومی طارم محلی، حسنی و عنبربو ارزیابی و گزینش لاین‌های برتر انجام شد [۱].



۲. مواد و روش‌ها

۱۰۲ مواد گیاهی و نمودار اصلاحی

در سال ۱۳۸۹ مقدار دو کیلوگرم بذر از هر یک از سه رقم محلی برنج شامل طارم محلی، حسنی و عنبربو به پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای کرج تحویل شد. پیش از پرتوتابی میزان رطوبت بذر را توسط دستگاه رطوبت‌سنج مدل PM۶۰۰ تعیین گردید. بسته به میزان رطوبت اولیه بذر را، مقدار مناسب آب مقطر برای رسیدن به دامنه مطلوب رطوبت (بین ۱۱ تا ۱۳ درصد) محاسبه و به بذر ها اضافه گردید و سپس بذر ها به‌خوبی با هم مخلوط شدند تا به مدت ۲۴ ساعت در شرایط یخچال با دمای چهار درجه نگهداری گردند. پس از این مدت، رطوبت بذر ها مجدداً به‌وسیله دستگاه رطوبت‌سنج تعیین شد تا در صورت تأیید میزان رطوبت، مورد پرتوتابی قرار بگیرند [۱۴]. دستگاه پرتوتابی گاماسل شامل منبع کبالت ۶۰، مدل PX-۳۰ ساخت شرکت TENEX روسیه، با نرخ واپاشی چشمه دز ۱۳۳ گری در ساعت با اکتیویته ۲۲۰ کوری بود. براساس محدوده دز پرتوتابی گیاه برنج جهت القای جهش، بذر های هر سه رقم با دز های ۱۰۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰ و ۳۵۰ گری پرتوتابی شدند. براساس نتایج آزمایش جوانه‌زنی، دز های ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ گری مناسب شناخته شده و بذر های تابش دیده انتخاب شدند [۱۵، ۱۶]. این بذر ها سال بعد در مزرعه در شرایط نرمال کشت شده و ۲۲۰۰۰ بوته به‌صورت جداگانه برداشت شدند. از سال بعد، کشت بوته‌ها در شرایط شوری انجام و گیاهان مورد ارزیابی قرار گرفتند. خلاصه برنامه اصلاحی و نحوه انتخاب لاین‌های موتانت متحمل به تنش شوری به روش اصلاح شجره‌ای در شکل ۱ ارائه شده است. مهم‌ترین نکته در این مسیر، ایجاد جمعیت در حال تفرق ژنتیکی از طریق جهش با کاشت ۲۲۰۰۰ تک‌خوشه و اداره نسل‌های در حال تفکیک تا خلوص کامل بود.

۲۰۲ میزان شوری خاک و آب آبیاری

در هر سال، برای انتخاب مزرعه با شرایط شوری مناسب، از مزارع مورد نظر نمونه مرکب خاک تهیه و به آزمایشگاه خاک‌شناسی معاونت مؤسسه تحقیقات برنج کشور در مازندران پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای کرج منتقل و میزان شوری عصاره اشباع خاک برحسب دسی‌زیمنس بر متر سنجش شد [۱]. [۱۵]. در طول دوره رشد گیاه برنج در مزرعه نیز حداقل سه بار نمونه خاک گرفته و میزان شوری آنها اندازه‌گیری شد (جدول ۱). میزان شوری آب آبیاری با نمونه‌گیری آب داخل کرت به فاصله هر ۱۵ روز تعیین شد. متوسط دامنه تغییرات شوری آب در طول دوره رشد گیاه برنج در مزرعه در جدول ۱ ارائه شده است.

۱۳۸۹: پرتوتابی بذر های ارقام طارم محلی، حسنی و عنبربو با دستگاه گاماسل

۱۳۹۰: کاشت بذر های M_1 ارقام طارم محلی، حسنی و عنبربو از دز های ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ گری و برداشت تک‌خوشه از ۲۲۰۰۰ بوته

۱۳۹۱: کاشت ۲۲۰۰۰ تک‌خوشه (M_2) در خزانه همراه با شاهد ها (طارم محلی، حسنی و عنبربو) و نشاکاری در زمین شور بهمنیر و انتخاب ۴۳۵ بوته

۱۳۹۲: کاشت ۴۳۵ خوشه (M_2) در خزانه و نشاکاری به‌صورت تک‌بوته در مزرعه ۲۰۰۰ متر مربعی در جویبار. ارزیابی براساس تیپ خوشه، زودرسی و پاکوتاهی انجام و براساس کد تحمل به شوری ۲۳۴ بوته انتخاب شد

۱۳۹۳: کاشت ۲۳۴ خوشه (M_3) در خزانه و نشاکاری به صورت تک بوته در مزرعه ۱۰۰۰ متر مربعی در جویبار. ارزیابی براساس تیپ خوشه، زودرسی و پاکوتاهی انجام و براساس کد تحمل به شوری ۱۳۴ بوته انتخاب شد

۱۳۹۴: کاشت ۱۳۴ خوشه (M_4) در خزانه و نشاکاری به‌صورت تک‌بوته در مزرعه ۵۰۰ متر مربعی در زمین شور جویبار. ارزیابی براساس تیپ خوشه، زودرسی و پاکوتاهی انجام و براساس کد تحمل به شوری ۳۴ بوته انتخاب شد

۱۳۹۵ (آزمایش مشاهده‌ای): کاشت ۳۴ خوشه (M_5) در خزانه و نشاکاری به‌صورت تک‌بوته در مزرعه ۵۰۰ متر مربعی در زمین شور فریدونکنار. ارزیابی براساس تیپ خوشه، زودرسی و پاکوتاهی، و میزان عملکرد شلتوک انجام و ۱۰ لاین موتانت خالص انتخاب شد

۱۳۹۶ (آزمایش مقایسه عملکرد مقدماتی): کاشت ۱۰ لاین موتانت خالص (M_6) در خزانه و نشاکاری به‌صورت کپه در مزرعه ۵۰۰ متر مربعی در زمین شور فریدونکنار همراه با شاهد طارم محلی. ارزیابی براساس تیپ خوشه، زودرسی، پاکوتاهی و میزان عملکرد شلتوک انجام و ۸ لاین موتانت برنج انتخاب شد

۱۳۹۷-۱۳۹۹ (آزمایش سازگاری ناحیه‌ای): کاشت ۸ لاین موتانت خالص (M_8-M_{10}) به‌صورت کپه در مزرعه ۵۰۰ متر مربعی در زمین شور فریدونکنار، بهمنیر و شهنه‌کلای دشت‌سر آمل. ارزیابی براساس میزان عملکرد شلتوک و پایداری محصول انجام و ۳ لاین موتانت برنج انتخاب شد

انتخاب لاین‌های موتانت شماره‌های ۲۳۱۰، ۲۳۱۲ و ۱۳۳

شکل ۱. شمای برنامه اصلاح شجره‌ای موتانت‌های محتمل به تنش شوری.



سنجش صفات فوق در آزمایش‌های مشاهده‌ای و مقدماتی (سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶) انجام شد و لاین‌های موتانت که از نظر صفات کمی و کیفی مطلوب بودند انتخاب شدند [۲۰، ۲۱].

۵.۲ ارزیابی کد تحمل به شوری

ارزیابی موتانت‌ها (M_4-M_5) از نظر کد تحمل به شوری براساس سیستم استاندارد ارزیابی برنج (SES) ایری صورت گرفت. کد ۱ یعنی کاملاً متحمل به شوری بدون علائم برگ، کد ۳ یعنی محتمل به شوری با رشد تقریباً نرمال ولی برگ‌ها در نوک سفید شده همراه با لوله‌ای شدن تعداد کمی برگ، کد ۵ یعنی نسبتاً متحمل به شوری همراه با تأخیر در رشد و لوله‌ای شدن برگ‌ها، کد ۷ یعنی حساس و همراه با توقف رشد گیاه و خشکیدگی برگ‌ها و نابودی برخی از بوته‌ها، و کد ۹ یعنی بسیار حساس به شوری و همه گیاهان خشک شدند [۱۷، ۲۲].

۶.۲ ارزیابی شاخص تحمل به شوری

برای اندازه‌گیری شاخص‌های تحمل، با استفاده از داده‌های عملکرد در شرایط نرمال و شرایط شوری، شاخص‌های زیر برای ارزیابی واکنش لاین‌های موتانت نسبت به تنش شوری محاسبه گردیدند:

$$SI = 1 - \frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p}, SSI = \frac{1 - \frac{\bar{Y}_p}{SI}}{SI} \quad (۴) \text{ شاخص حساسیت به تنش (SSI)}$$

$$Tol = Y_p - Y_s \quad (۵) \text{ شاخص تحمل (TOL)}$$

$$MP = \frac{Y_p - Y_s}{2} \quad (۶) \text{ شاخص میانگین حسابی (MP)}$$

$$GMP = \sqrt{Y_p - Y_s} \quad (۷) \text{ میانگین هندسی (GMI)}$$

$$STI = \frac{Y_p}{Y_p} \times \frac{Y_s}{Y_s} \times \frac{Y_s}{Y_p} = \frac{Y_p \times Y_s}{(Y_p)^2} \quad (۸) \text{ شاخص تحمل به تنش (STI)}$$

$$HM = \frac{2 \times Y_p \times Y_s}{Y_p + Y_s} \quad (۹) \text{ میانگین هم‌ساز (HM)}$$

SI = شاخص تنش؛ Y_p = عملکرد ژنوتیپ مورد نظر در محیط بدون تنش؛ Y_s = عملکرد ژنوتیپ مورد نظر در محیط دارای تنش؛ $\bar{Y}_p$ = میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش؛ $\bar{Y}_s$ = میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در محیط دارای تنش.

جدول ۱. میزان تغییرات شوری خاک و آب آبیاری در طول دوره رشد گیاه برنج

سال	مکان آزمایش	میزان تغییرات شوری در طول دوره رشد گیاه برنج (دسی‌زیمنس بر متر)
زراعی		
		آب خاک
۱۳۹۱	روستای قائمیه بابلسر	۴/۷-۴/۱ ۲/۴-۱/۱
۱۳۹۲	روستای میان‌ملک جویبار	۴/۵-۱/۴ ۳/۴-۹/۹
۱۳۹۳	روستای میان‌ملک جویبار	۵/۹-۹/۱ ۴/۵-۸/۴
۱۳۹۴	روستای میان‌ملک جویبار	۶/۱۰-۱/۹ ۵/۹-۱/۱
۱۳۹۵	روستای فیروزآباد فریدونکنار	۵/۸-۱/۸ ۳/۷-۱/۹
۱۳۹۶	روستای فیروزآباد فریدونکنار	۶/۱۱-۲/۱ ۲/۷-۲/۳
۱۳۹۷	روستای فیروزآباد فریدونکنار	۶/۶-۲/۹ ۳/۴-۰/۶
	روستای داراب‌دین بهنمیر	۳/۵-۰/۰ ۳/۶-۵/۴
۱۳۹۸	روستای فیروزآباد فریدونکنار	۵/۵-۶/۹ ۲/۶-۰/۷
	روستای داراب‌دین بهنمیر	۴/۶-۰/۰ ۳/۵-۴/۵
۱۳۹۹	روستای شهنه‌کلای آمل	۵/۵-۰/۵ ۲/۵-۰/۴

منبع: آزمایشگاه خاک‌شناسی معاونت مؤسسه تحقیقات برنج کشور در مازندران و پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای کرج

۳.۲ ارزیابی برخی صفات زراعی و عملکرد

ارزیابی صفات زراعی براساس سیستم استاندارد ارزیابی برنج (SES) ایری صورت گرفت [۱۷]. این صفات شامل تعداد روز از بذریابی تا ۵۰٪ گل‌دهی، ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، تعداد خوشه در کپه، وزن هزار دانه (گرم) و عملکرد در رطوبت ۱۴٪ برحسب کیلوگرم در هکتار در نسل پنجم تا نهم حاصل شد. در آزمایشات مقدماتی و ناحیه‌ای نشاکاری به صورت کپه‌ای، با تراکم کاشت ۲۰×۲۰ سانتی‌متر و اندازه کرت ۳×۳ متر بود. داده‌های حاصل در برنامه اکسل مرتب و با استفاده از نرم‌افزار (SAS V9.4) تجزیه واریانس انجام شد [۱۸، ۱۹].

۴.۲ ارزیابی برخی صفات کمی و کیفی دانه برنج

برای سنجش صفات راندمان تبدیل، درصد برنج سالم، نسبت طویل شدن دانه، درصد آمیلوز و دمای ژلاتینی شدن، ۴۰۰ گرم نمونه شلتوک برای هر لاین، تهیه و تحویل آزمایشگاه کیفیت معاونت مؤسسه تحقیقات برنج کشور در مازندران شد. صفات راندمان تبدیل، درصد برنج سالم و نسبت طویل شدن دانه به‌ترتیب از رابطه ۱، ۲ و ۳ حاصل شد. برای اندازه‌گیری صفات کیفی درصد آمیلوز و دمای ژلاتینی شدن از روش جولیانو استفاده شد [۲۰، ۲۱].

$$(۱) \quad 100 \times \frac{\text{وزن برنج سفید}}{\text{وزن اولیه شلتوک}} = \text{راندمان تبدیل}$$

$$(۲) \quad 100 \times \frac{\text{وزن برنج سالم}}{\text{میزان شلتوک اولیه}} = \text{درصد برنج سالم}$$

$$(۳) \quad \text{نسبت شدن طویل دانه} = \frac{\text{طول دانه برنج بعد از پخت (میلی‌متر)}}{\text{طول دانه برنج قبل از پخت (میلی‌متر)}}$$



۷.۲ تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۴ براساس طرح حجیم شده (آگمنت) بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا و با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و SPAD^۱ تجزیه شد [۱۸، ۱۹]. محاسبه همبستگی صفات با استفاده از نرم‌افزار SPSS 22 صورت گرفت. در طرح آگمنت، مقدار واریانس خطا برای مقایسه میانگین‌های صفات ارزیابی شده در موتانت‌های نسل چهارم (M_4) براساس رابطه $Sd = \sqrt{MSE(2c+1)/c}$ برآورد شد که در آن MSE میانگین مربعات خطای آزمایش برای ارقام شاهد برای هر صفت می‌باشد و C تعداد ارقام شاهد است. مقایسه میانگین‌های تصحیح شده به روش حداقل اختلاف معنی‌دار انجام شد (۱٪، ۵٪ LSD). در آزمایشات مشاهده‌ای، مقدماتی و ناحیه‌ای از طرح بلوک‌های کامل تصادفی استفاده شد و مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام گرفت [۲۳].

۳. نتایج و بحث

۱.۳ تعیین شاخص تحمل به تنش شوری

بوته‌های حساس به شوری در مرحله گل‌دهی علاوه بر عدم تلقیح، دارای برگ‌های کاهی می‌شدند که کاهی شدگی از نوک برگ به سمت غلاف برگ پیش می‌رفت و در مرحله پر شدن دانه، سنبلیچه‌ها دورنگه می‌شدند، یعنی از وسط سنبلیچه به سمت بالا کاهی یا خاکستری می‌شد و نیمه پایینی طبیعی بود، ولی بوته‌های متحمل علائم فوق را نداشتند (شکل ۲) [۱۵]. از نقطه‌نظر گزینش لاین برتر، دو معیار عملکرد در شرایط تنش و شاخص تحمل به شوری می‌تواند مدنظر قرار گیرد که الزاماً هم‌راستا نیستند.

نتایج نشان داد که بین ارقام شاهد (طارم محلی، حسنی و عنبربو) و لاین‌های موتانت اختلافات معنی‌داری از نظر میزان عملکرد و نیز حساسیت به شوری وجود دارد. همه موتانت‌های حاصل از طارم محلی، حسنی و عنبربو به‌طور معنی‌داری عملکرد بالاتری در شرایط تنش شوری در مقایسه با شاهد طارم محلی، حسنی و عنبربو نشان دادند (جدول ۲). بررسی شاخص تنش (SI) نشان داد که موتانت‌های حاصل از دو رقم شاهد عنبربو و حسنی در مقایسه با طارم محلی، کاهش عملکرد کمتری در تنش شوری داشتند (جدول ۲). از لحاظ شاخص حساسیت به تنش (SSI)، که پایین بودن مقدار آن نشان‌دهنده تحمل بیشتر گیاه نسبت به تنش می‌باشد، تعداد شش لاین

موتانت نسبت به رقم طارم محلی به‌طور معنی‌داری میزان شاخص حساسیت به تنش پایین‌تری نشان دادند (جدول ۲). میزان این شاخص در ۱۵ لاین موتانت کمتر از یک بود که نشان‌دهنده تحمل این لاین‌ها نسبت به تنش شوری می‌باشد [۱۷]. مقادیر بالای شاخص تحمل (TOL) بیانگر حساسیت بیشتر به تنش بوده و هر چه مقدار آن کمتر باشد مطلوب‌تر است در نتیجه موتانت‌های ۱۱۱۶ و ۱۳۳ در بین موتانت‌های حاصل از رقم طارم محلی دارای کمترین مقدار شاخص تحمل بودند، ولی مقدار این شاخص در بین موتانت‌های حاصل از رقم حسنی، در لاین شماره ۲۲۱۲ از همه کمتر بود. شاخص تحمل به تنش (STI) شاخص مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌ها جهت دستیابی به عملکرد بیشتر در شرایط تنش می‌باشد و میزان شاخص تحمل به تنش لاین ۲۲۱۲ معادل ۰/۴۶ بود (جدول ۲). ژنوتیپی که میانگین بهره‌وری تولید (MP)، میانگین هندسی قابلیت تولید (GMP)، میانگین هارمونیک (HM) و شاخص تحمل به تنش (STI) بیشتر ولی شاخص حساسیت به تنش (SSI) و شاخص تحمل (TOL) کمتری داشته باشد به عنوان رقم متحمل شناخته می‌شود [۱۵]. صبوری و همکاران [۲۲] گزارش کردند که ارقام طارم محلی، غریب، شاه‌پسند مازندران و اهلمی طارم دارای کد تحمل به شوری کمتری بوده و در نتیجه متحمل‌تر به شوری در مرحله گیاهچه‌ای بودند، در حالی که ارقام خزر و سپیدرود، حساس به شوری بودند.

۲.۳ کد تحمل به شوری

میزان شوری خاک در سال‌ها و مکان‌های مختلف، بین ۴ تا ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر و میزان شوری آب آبیاری در سال و مکان‌های مختلف بین ۲ تا ۹ دسی‌زیمنس بر متر متغیر بود (جدول ۱). حداکثر شوری آب در تیر یا مرداد ماه حادث می‌شد که عمده‌تاً ناشی از افزایش دما و تبخیر و تعرق در سطح مزرعه بود.

براساس میزان تحمل به شوری، هفت موتانت به همراه شاهد متحمل کد ۳ و سه لاین دیگر به همراه شاهد‌های والدینی و شاهد حساس کد ۵ دریافت کردند (جدول ۳). این امر نشان‌دهنده آن است که موتاسیون در القای تحمل به شوری مؤثر بوده است.





(ب)

(الف)

شکل ۲. علائم خسارت تنش شوری در رقم شاهد طارم محلی، (الف) مرحله رسیدن و (ب) مرحله گل‌دهی.

جدول ۲. میانگین شاخص‌های تحمل به شوری و عملکرد لاین‌های موتانت نسل پنجم برنج در شرایط تنش شوری و بدون تنش در سال زراعی ۱۳۹۵

شماره	ژنوتیپ	Yp (Kg/ha)	Ys (Kg/ha)	SI	SSI	TOL (Kg/ha)	MP (Kg/ha)	GMP (Kg/ha)	STI	HM (Kg/ha)
۱	۱۱۲	۴۱۷۳٫۹	۱۷۰۶٫۴	۰٫۵۶	۱٫۰۵	۲۴۶۷٫۵	۱۲۳۳٫۷	۴۹۶۷	۰٫۲۶	۵۱۱۹٫۲
۲	۱۱۴	۶۰۹۸٫۹	۲۳۳۳٫۶	۰٫۵۶	۱٫۰۹	۳۷۶۵٫۳	۱۸۸۲٫۶	۶۱۳۶	۰٫۵۱	۷۰۰۰٫۸
۳	۱۱۷	۴۸۹۵٫۹	۲۷۸۰٫۹	۰٫۵۶	۰٫۷۷	۲۱۱۵٫۰	۱۰۵۷٫۵	۴۵۹۹	۰٫۴۹	۸۳۴۲٫۷
۴	۱۱۱۶	۴۱۴۰٫۳	۲۳۸۷٫۴	۰٫۵۶	۰٫۷۵	۱۷۵۲٫۹	۸۷۶٫۴	۴۱۸۷	۰٫۳۶	۷۱۶۲٫۲
۵	۱۱۱۷	۶۶۳۵٫۹	۲۳۸۷٫۸	۰٫۵۶	۱٫۱۴	۴۲۴۸٫۵	۲۱۲۴٫۲	۶۵۱۸	۰٫۵۷	۷۱۶۲٫۲
۶	۱۲۱	۵۶۹۹٫۹	۲۵۹۲٫۷	۰٫۵۶	۰٫۹۷	۳۱۰۷٫۲	۱۵۵۳٫۶	۵۵۷۴	۰٫۵۳	۷۷۷۸٫۱
۷	۱۲۲	۴۸۵۹٫۴	۲۲۳۸٫۸	۰٫۵۶	۰٫۹۶	۲۶۲۰٫۶	۱۳۱۰٫۳	۵۱۱۹	۰٫۳۹	۶۷۱۶٫۴
۸	۱۲۶	۶۵۶۱٫۷	۲۳۲۴٫۴	۰٫۵۶	۱٫۱۵	۴۲۳۷٫۳	۲۱۱۸٫۶	۶۵۰۹	۰٫۵۵	۶۹۷۳٫۲
۹	۱۲۷	۴۷۱۰٫۴	۲۴۰۵٫۸	۰٫۵۶	۰٫۸۷	۲۳۰۴٫۶	۱۱۵۲٫۳	۴۸۰۱	۰٫۴۱	۷۲۱۷٫۴
۱۰	۱۳۳	۴۲۵۱٫۵	۲۳۷۴٫۰	۰٫۵۶	۰٫۷۸	۱۸۷۷٫۵	۹۳۸٫۷	۴۳۳۳	۰٫۳۶	۷۱۲۲٫۰
۱۱	۱۳۶	۶۱۳۸٫۹	۲۵۲۸٫۶	۰٫۵۶	۱٫۰۴	۳۶۱۰٫۳	۱۸۰۵٫۱	۶۰۰۹	۰٫۵۶	۷۵۸۵٫۸
۱۲	طارم محلی	۵۰۳۷٫۷	۱۵۰۵٫۷	۰٫۵۶	۱٫۲۴	۳۵۳۲٫۰	۱۷۶۶٫۰	۵۹۴۳	۰٫۲۷	۴۵۱۷٫۱
۱۳	۲۱۴	۶۲۲۵٫۵	۱۸۳۰٫۹	۰٫۷۳	۰٫۹۷	۴۳۹۴٫۶	۲۱۹۷٫۳	۶۶۲۹	۰٫۲۶	۵۴۹۲٫۷
۱۴	۲۱۵	۶۵۱۵٫۷۰	۲۰۸۴٫۹	۰٫۷۳	۰٫۹۳	۴۴۳۰٫۸	۲۲۱۵٫۴	۶۶۵۶	۰٫۳۱	۶۲۵۴٫۷
۱۵	۲۱۶	۷۰۰۴٫۹	۱۳۴۷٫۳	۰٫۷۳	۱٫۱۱	۵۶۵۷٫۶	۲۸۲۸٫۸	۷۵۲۲	۰٫۲۱	۴۰۴۱٫۹
۱۶	۲۲۵	۷۰۲۷٫۳	۱۶۸۲٫۷	۰٫۷۳	۱٫۰۴	۵۳۴۴٫۶	۲۶۷۲٫۳	۷۳۱۱	۰٫۲۷	۵۰۴۸٫۱
۱۷	۲۲۷	۶۶۲۱٫۲	۱۱۱۱٫۹	۰٫۷۳	۱٫۱۴	۵۵۰۹٫۳	۲۷۵۴٫۶	۷۴۲۲	۰٫۱۷	۳۳۳۵٫۷
۱۸	۲۲۱۲	۶۶۵۸٫۷	۳۰۴۶٫۸	۰٫۷۳	۰٫۷۴	۳۶۱۱٫۳	۱۸۰۵٫۶	۶۰۰۹	۰٫۴۶	۹۱۴۰٫۴
۱۹	۲۳۲	۷۱۰۰٫۹	۲۰۴۱٫۹	۰٫۷۳	۰٫۹۸	۵۰۵۹٫۰	۲۵۲۹٫۵	۷۱۱۳	۰٫۳۳	۶۱۲۵٫۷
۲۰	۲۳۱۰	۶۹۵۱٫۲	۲۰۷۵٫۵	۰٫۷۳	۰٫۹۶	۴۸۷۵٫۷	۲۴۳۷٫۸	۶۹۸۳	۰٫۳۳	۶۲۲۶٫۵
۲۱	۲۳۱۵	۶۸۱۰٫۲	۱۶۳۴٫۵	۰٫۷۳	۱٫۰۴	۵۱۷۵٫۷	۲۵۸۷٫۸	۷۱۹۴	۰٫۲۵	۴۹۰۳٫۵
۲۲	۲۳۱۸	۷۸۹۱٫۱	۲۳۹۸٫۹	۰٫۷۳	۱٫۰۱	۵۷۹۲٫۲	۲۸۹۶٫۱	۷۶۱۱	۰٫۳۸	۶۲۹۶٫۷
۲۳	شاهد حسنی	۴۲۵۱٫۴	۶۸۱٫۱	۰٫۷۳	۱٫۱۵	۳۵۷۰٫۳	۱۷۸۵٫۱	۵۹۷۵	۰٫۰۷	۲۰۴۳٫۳
۲۴	۳۲۵	۶۱۱۰٫۳	۱۲۹۷٫۰	۰٫۷۸	۱٫۰۲	۴۸۱۳٫۳	۲۴۰۶٫۶	۶۹۳۸	۰٫۱۷	۳۸۹۱٫۰
۲۵	۳۲۶	۶۷۹۹٫۶	۱۶۸۱٫۸	۰٫۷۸	۰٫۹۷	۵۱۱۷٫۸	۲۵۵۸٫۹	۷۱۵۴	۰٫۲۵	۵۰۴۵٫۴
۲۶	۳۲۸	۵۹۹۸٫۱	۱۱۴۹٫۹	۰٫۷۸	۱٫۰۴	۴۸۴۸٫۲۰	۲۴۲۴٫۱	۶۹۶۳	۰٫۱۵	۳۴۴۹٫۷
۲۷	۳۲۱۲	۶۸۷۳٫۹	۱۴۷۱٫۱	۰٫۷۸	۱٫۰۱	۵۴۰۲٫۸	۲۷۰۱٫۴	۷۳۵۰	۰٫۲۲	۴۴۱۳٫۳
۲۸	۳۲۱۳	۶۵۹۱٫۹	۱۶۳۷٫۲	۰٫۷۸	۰٫۹۷	۴۹۵۴٫۷	۲۴۷۷٫۳	۷۰۳۹	۰٫۲۴	۴۹۱۱٫۶
۲۹	۳۲۱۴	۷۰۵۱٫۲	۲۲۹۰٫۷	۰٫۷۸	۰٫۸۷	۴۷۶۰٫۵	۲۳۸۰٫۲	۶۹۰۰	۰٫۳۶	۶۸۷۲٫۱
۳۰	۳۲۱۵	۷۳۵۵٫۵	۲۱۹۱٫۸	۰٫۷۸	۰٫۹۰	۵۱۶۳٫۷	۲۵۸۱٫۸	۷۱۸۶	۰٫۳۶	۶۵۷۵٫۴
۳۱	۳۲۲۸	۷۲۳۶٫۳	۱۶۸۳٫۷	۰٫۷۸	۰٫۹۹	۵۵۵۲٫۶	۲۷۷۶٫۳	۷۴۵۲	۰٫۲۷	۵۰۵۱٫۱
۳۲	۳۲۲۹	۶۸۹۰٫۹	۱۵۴۱٫۶	۰٫۷۸	۱٫۰۰	۵۳۴۹٫۳	۲۶۷۴٫۶	۷۳۱۴	۰٫۲۳	۴۶۲۴٫۸
۳۳	شاهد عنبربو	۶۴۷۳٫۳	۴۹٫۴	۰٫۷۸	۱٫۲۸	۶۴۲۳٫۹	۳۲۱۱٫۹	۸۰۱۵	۰٫۰۱	۱۴۸٫۲

Ys = عملکرد در شرایط تنش؛ Yp = عملکرد در شرایط بدون تنش؛ MP = میانگین حسابی؛ GMP = میانگین هندسی؛ HM = میانگین هارمونیک،
TOL = شاخص تحمل؛ STI = شاخص تحمل به تنش؛ SSI = شاخص حساسیت به تنش



است. انتخاب بوته براساس ارتفاع مناسب، یک روش کلاسیک در اصلاح نباتات است. مصری‌ها با تابانیدن اشعه ایکس و گاما به واریته‌های برنج بومی مصر به ارقام پاکوتاه دست یافتند [۲۶]، [۲۷]. مجد و همکاران [۵] نیز با اصلاح موتاسیونی رقم تابش و پویا را معرفی کردند که دارای ارتفاع بوته کوتاه‌تر نسبت به والد (رقم موسی طارم) و متحمل به خوابیدگی ساقه (ورس) بودند.

۵.۳ تعداد خوشه در کپه

تعداد خوشه در کپه در بین موتانت‌های امیدبخش محتمل به تنش شوری بین ۱۴ تا ۱۷/۶ عدد در کپه متغیر بود و همه موتانت‌ها تعداد خوشه در کپه بیشتری نسبت به شاهد طارم محلی داشتند (جدول ۴). بین تعداد خوشه در واحد سطح و عملکرد دانه همبستگی مثبت وجود داشت [۲۸]. تعداد خوشه در واحد سطح یکی از اجزای مؤثر در تعیین عملکرد رقم یا ژنوتیپ است و داشتن تعداد ۱۰ تا ۱۵ خوشه در کپه برای حصول به محصول مطلوب در اراضی شور و لب‌شور ضروری است و کاهش تعداد خوشه در کپه یا واحد سطح باعث کاهش عملکرد می‌شود. همین ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال بین ۱۵ تا ۲۰ عدد خوشه در کپه داشتند [۱۲، ۲۸]. فلاح و همکاران [۲۹] نتیجه گرفتند آب شور با هدایت الکتریکی بین ۶ تا ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر سبب کاهش رشد سطح برگ، هدایت روزنه‌ای و سرعت فتوسنتزی در مرحله رویشی و گل‌دهی شد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که شوری از طریق کاهش سطح برگ و فتوسنتز، باعث کاهش تعداد پنجه در کپه و در نهایت تعداد خوشه در کپه شد.

۶.۳ وزن هزار دانه

وزن هزار دانه ۱۱ ژنوتیپ برنج در شرایط تنش شوری بین ۱۸ تا ۲۷ گرم متغیر بود. تنش شوری باعث افزایش پوکی و کاهش وزن هزار دانه شد، چون وزن هزار دانه همین ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال بین ۲۲ تا ۳۰ گرم متغیر بود [۱، ۲۹]. دلیل این امر می‌تواند کاهش فتوسنتز و به تبع آن کاهش انتقال مواد فتوسنتزی در زمان پر شدن دانه باشد. بیشترین وزن هزار دانه متعلق به لاین شماره ۲۲۱ و معادل ۲۷/۲ گرم و کمترین آن مربوط به شاهد طارم محلی و برابر با ۱۸/۸ گرم بود. رقم شاهد استاندارد متحمل به شوری (FL۴۷۸) دارای وزن هزار دانه معادل ۲۶/۷۵ گرم بود (شکل ۳).

جدول ۳. کد تحمل به تنش شوری ده موتانت انتخابی و والد‌ها در مرحله

رویشی در سال زراعی ۱۳۹۵

ردیف	ژنوتیپ	والد مادری	کد تحمل به تنش شوری
۱	MT-۱۱۱۶	طارم محلی	۳
۲	MT-۱۱۱۷	طارم محلی	۵
۳	MT-۱۲۶	طارم محلی	۳
۴	MT-۱۳۳	طارم محلی	۳
۵	MH-۲۲۱۲	حسنی	۳
۶	MH-۲۳۱۰	حسنی	۳
۷	MA-۳۲۱۴	عنبربو	۳
۸	MA-۳۲۱۵	عنبربو	۳
۹	MA-۳۲۱۸	عنبربو	۵
۱۰	MA-۳۲۲۶	عنبربو	۵
۱۱	طارم محلی	شاهد	۵
۱۲	حسنی	شاهد	۵
۱۳	عنبربو	شاهد	۵
۱۴	FL۴۷۸	شاهد متحمل	۳
۱۵	Tequing	شاهد حساس	۷

۳.۳ تعداد روز تا ۵۰٪ گل‌دهی

بیشتر موتانت‌ها تعداد روز تا ۵۰٪ گل‌دهی کمتری نسبت به والدین داشتند، که نشان‌دهنده پاسخ ژنتیکی موتانت‌ها نسبت به انتخاب برای زودرسی است. تعداد روز از بذریابی تا ۵۰٪ گل‌دهی در موتانت‌های منتخب (۲۳۱۰، ۲۲۱۲ و ۱۳۳) بین ۸۰ تا ۹۰ روز متغیر بود (جدول ۴). متوسط تعداد روز از بذریابی تا ۵۰٪ گل‌دهی در ارقام شاهد طارم محلی، حسنی و عنبربو به ترتیب معادل ۹۵، ۹۲ و ۱۱۵ روز بود. محققان زیادی در ایران و دنیا بر روی صفت زودرسی ناشی از تأثیر اشعه گاما یا سایر مواد جهش‌زا بر روی گیاهان، به‌ویژه گیاه برنج، گزینش انجام داده و موفق به معرفی رقم زودرس شدند [۲۴-۲۶]. زودرسی مکانیسمی برای فرار گیاه از تنش شوری آخر فصل زراعی است که در اثر افزایش دما و شوری آب آبیاری در اراضی شالیزاری رخ می‌دهد.

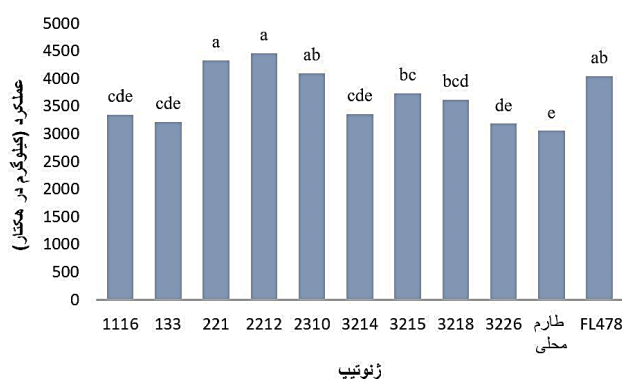
۴.۳ ارتفاع بوته

متوسط ارتفاع بوته در بین موتانت‌های انتخابی (M_5-M_7) در اراضی شالیزاری شور مازندران بین ۱۱۰-۱۳۰ سانتی‌متر متغیر بود (جدول ۴). در همین شرایط، متوسط ارتفاع بوته طارم محلی ۱۵۰، رقم حسنی ۱۳۵ و رقم عنبربو ۱۷۰ سانتی‌متر بود. میزان کاهش ارتفاع بوته موتانت‌های منتخب نسبت به والدین بین ۵ تا ۳۰ درصد متغیر بود [۱] که نشان از موفقیت موتاسیون در القای تنوع ژنتیکی و پاسخ این صفت به گزینش



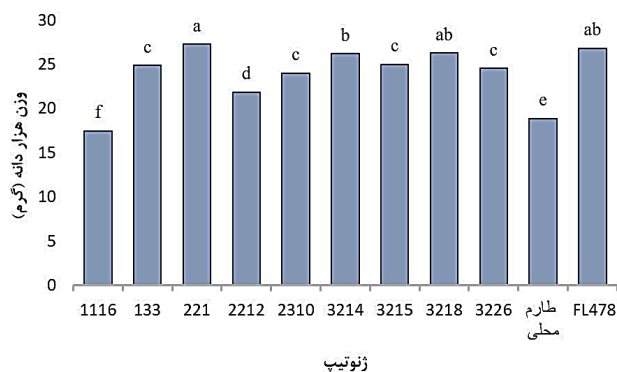
جدول ۴. مقایسه میانگین برخی صفات زراعی موتانت‌های متحمل به شوری با ارقام شاهد طارم محلی و FL۴۷۸ در سال زراعی ۱۳۹۷

ژنوتیپ	تعداد روز از بذریابی تا ۵۰٪ گل‌دهی	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد خوشه در کپه	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
۱۱۱۶	۸۹٫۷ ^f	۱۳۰٫۷۳ ^c	۱۶٫۳۳ ^{bcd}	۱۷۷۵٫۳ ^{ef}
۱۳۳	۸۹٫۳ ^f	۱۱۳٫۱۴ ^f	۱۷٫۰۴ ^{abc}	۲۶۲۰٫۱ ^{bc}
۲۲۱	۹۲٫۷ ^e	۱۲۴٫۹۲ ^{de}	۱۴٫۰۳ ^{ef}	۱۸۱۶٫۷ ^{ef}
۲۲۱۲	۸۷٫۷ ^g	۱۲۳٫۰۳ ^e	۱۷٫۴۶ ^{ab}	۲۳۴۴٫۷ ^{cd}
۲۳۱۰	۸۴٫۳ ^h	۱۱۳٫۸۶ ^f	۱۵٫۷۲ ^{b-e}	۲۸۹۳٫۱ ^b
۳۲۱۴	۱۰۰٫۳ ^d	۹۸٫۶۳ ^g	۱۴٫۹۸ ^{c-f}	۱۶۲۴٫۶ ^f
۳۲۱۵	۱۰۰٫۷ ^d	۱۲۱٫۹۷ ^e	۱۷٫۵۸ ^{ab}	۲۰۹۶٫۸ ^{de}
۳۲۱۸	۱۰۶٫۰ ^b	۱۳۸٫۶۴ ^b	۱۴٫۰۱ ^{ef}	۲۰۶۷٫۸ ^{de}
۳۲۲۶	۱۰۵٫۰ ^c	۱۲۸٫۰۸ ^{cd}	۱۴٫۸۱ ^{def}	۱۹۳۵٫۰ ^{def}
شاهد طارم محلی	۹۳٫۳ ^e	۱۴۹٫۵۱ ^a	۱۲٫۸۳ ^f	۹۲۵٫۰ ^g
شاهد FL۴۷۸	۱۱۴٫۰ ^a	۹۷٫۱۷ ^g	۱۸٫۹۲ ^a	۴۴۸۵٫۹ ^a
LSD ٪۵	۰٫۷۳۲	۴٫۱۷۸	۱٫۹۷۲	۳۹۰٫۳



شکل ۴. میزان عملکرد ژنوتیپ‌های برنج در اراضی شور.

ژنوتیپ‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند تفاوت معنی‌داری در سطح ٪۵ به روش دانکن ندارند.



شکل ۳. مقایسه وزن هزار دانه ژنوتیپ‌های برنج در زمین شور و لب‌شور. (فونت لیل‌ها تغییر کرده است).

۷.۳ عملکرد

متوسط عملکرد موتانت‌های برنج در مکان‌ها و سال‌های مختلف بین ۳۰۰۰ تا ۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. بیشترین متوسط عملکرد مربوط به ژنوتیپ شماره ۲۲۱۲ با عملکرد معادل ۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. همه موتانت‌های انتخابی عملکرد دانه بیشتری از شاهد طارم محلی در آزمایشات مشاهده‌ای، مقدماتی و سازگاری ناحیه‌ای داشتند [۱]. شکل ۴ میزان متوسط عملکرد ژنوتیپ‌های برنج را در آزمایش ناحیه‌ای نشان می‌دهد. موتانت‌های ۲۲۱۲ و ۲۳۱۰ بیشترین عملکرد را در مکان‌های بهنمیر و فریدونکنار داشتند و نسبت به شاهد طارم محلی بسته به سال زراعی بین ۳۵ تا ۵۰ درصد، افزایش عملکرد نشان دادند (شکل ۴) [۱]. برتری عملکرد موتانت‌های برنج نسبت به والدین در مطالعات قبلی هم گزارش شده است. برای مثال، عزیزی و همکاران [۲۸] با بررسی ۱۰۰ موتانت نسل M۹، شش موتانت را شناسایی کردند که عملکرد بیشتری نسبت به والدین خود داشتند.

جهت پایداری زراعت برنج در اراضی شالیزاری متأثر از تنش شوری، موتانت‌هایی که برای این مناطق معرفی می‌شوند باید عملکرد مناسبی در شرایط اراضی شور یا لب‌شور داشته باشند. جذب عناصر غذایی مختلف مانند روی، آهن، مس، نیتروژن، پتاسیم، فسفر و منیزیم تحت شرایط محیطی نامساعد نظیر شوری تغییر می‌کند. برای مثال، در بررسی محتوای عناصر دو رقم متحمل (پوکالی) و حساس (KDML۱۰۵) برنج مشخص گردید که میزان روی، مس و منگنز در رقم پوکالی به مقدار بیشتری نسبت به رقم حساس ذخیره شد، در حالی که جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم و منیزیم در هر دو رقم در شرایط شوری کاهش یافت. همین کاهش جذب، باعث کاهش تولید بیوماس و عملکرد نهایی محصول برنج در زمین شور شد [۳۰]. بنابراین شاید بتوان چنین نتیجه گرفت لاین ۲۲۱۲ به‌خاطر توانایی جذب بیشتر عناصر در زمین شور، دارای عملکرد بالاتری بود.



درصد آمیلوز موتانت‌ها بین ۱۸-۲۳ متغیر بود که بیشترین میزان آمیلوز معادل ۲۳ درصد متعلق به موتانت شماره ۳۲۱۴ بود. موتانت‌های انتخابی (۱۳۳، ۲۲۱۲ و ۲۳۱۰) دارای درصد آمیلوز ۱۹-۲۰ بوده و مشابه والدین بومی بودند. معمولاً میزان آمیلوز متوسط (درصد آمیلوز 20 ± 1) مناسب‌ترین مقدار برای سلیقه مصرف‌کننده ایرانی است.

دامنه تغییرات صفت دمای ژلاتینی شدن در بین موتانت‌ها و شاهد‌ها (به جز رقم حسنی)، بین ۳ تا ۴ متغیر بود (جدول ۵) [۲۰، ۳۱]. مناسب‌ترین میزان صفت دمای ژلاتینی شدن بین ۴-۵ است و چنان‌چه عدد به ۳ برسد برنج پخته کمی سفت می‌شود و چنان‌چه به ۶ یا ۷ برسد کمی شل می‌شود. تغییرات مقدار صفات کمی و کیفی دانه برنج، به نوع رقم، سال زراعی، حاصلخیزی خاک، مدیریت زراعی و تنش‌های محیطی بستگی دارد [۳۱]. تنش شوری هم بر کیفیت دانه برنج اثر می‌گذارد و میزان تأثیر آن به غلظت نمک و ژنوتیپ بستگی دارد. برای مثال، در یک مطالعه با استفاده از ارقام حساس و متحمل برنج در شرایط تنش شوری، گزارش شد که محتوای آمیلوز در شوری $EC = 8 \text{ dS/m}$ و بالاتر کاهش یافت [۱۸]. در مطالعه‌ای دیگر، تیمار شوری با EC بالاتر از 5 dS/m موجب کاهش محتوای نشاسته در ارقام متحمل و حساس برنج شد، اما در رقم Nipponbare کاربرد نمک در غلظت‌های پایین ($2-4 \text{ dS/m}$) در مرحله گیاهچه‌ای و ظهور خوشه موجب افزایش نشاسته شد [۳۲].

شکل ۵ تفاوت صفات زراعی موتانت‌ها و شاهد را در زمین طبیعی و شور نشان می‌دهد. برگ‌ها در زمین طبیعی سبز تیره ولی در زمین شور سبز روشن یا سبز کاهی بودند. در ضمن زودرسی و تفاوت ارتفاع بوته در بین لاین‌ها به‌وضوح قابل مشاهده است.

۸.۳ مقایسه برخی صفات کمی و کیفی دانه برنج

مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) نشان داد که در بین ۱۰ لاین موتانت و ۵ ژنوتیپ شاهد کشت شده در زمین شور فریدونکنار، لاین موتانت ۱۱۱۶ با داشتن راندمان تبدیل ۷۰ درصد، بیشترین و لاین موتانت ۱۱۱۷ با داشتن ۶۶/۵ درصد، کمترین مقدار راندمان تبدیل را دارا بودند. موتانت‌های شماره ۱۲۶، ۳۲۱۴، ۳۲۱۸ و ۱۳۳ بعد از موتانت ۱۱۱۶ دارای بیشترین راندمان تبدیل بودند. بیشترین مقدار درصد برنج سالم در بین موتانت‌ها متعلق به شماره ۱۱۱۶ بود که معادل ۶۷/۵ درصد برنج سالم بود. کمترین مقدار درصد برنج سالم متعلق به موتانت شماره ۱۱۱۷ بود. دامنه درصد برنج سالم در بین موتانت‌ها و شاهد‌ها بین ۶۷-۵۳ درصد متغیر بود. بررسی مقدار نسبت طویل شدن دانه در بین ۱۰ موتانت مورد آزمایش نشان داد که موتانت‌های شماره ۱۱۱۶، ۲۲۱۲ و ۱۳۳ بیشترین مقدار را داشتند. بیشتر موتانت‌ها از نظر صفت نسبت طویل شدن دانه، بهتر از رقم متحمل به شوری بودند.



(ب)



(الف)

شکل ۵. (الف) شرایط طبیعی و (ب) شرایط شور برای لاین‌های موتانت (تفاوت ارتفاع، زمان گل‌دهی و عملکرد مشهود است).



جدول ۵. مقایسه صفات راندمان تبدیل، درصد برنج سالم، نسبت طولیل شدن دانه، درصد آمیلوز و دمای ژلاتینی شدن موتانت‌های برنج همراه با والد و شاهد حساس و متحمل به شوری (فریدونکنار) در سال زراعی ۱۳۹۶

ردیف	شماره موتانت	راندمان تبدیل (%)	درصد برنج سالم (%)	نسبت طولیل شدن دانه	درصد آمیلوز	دمای ژلاتینی شدن
۱	۱۱۱۶	۷۰٫۰ ^a	۶۷٫۳ ^a	۲٫۱۴ ^b	۲۱٫۶ ^b	۳٫۹ ^c
۲	۱۱۱۷	۶۶٫۵ ^g	۶۰٫۵ ^g	۲٫۱۰ ^c	۲۱٫۶ ^b	۳٫۶ ^d
۳	۱۲۶	۶۹٫۹ ^{ab}	۶۷٫۳ ^a	۱٫۹۵ ^g	۲۰٫۵ ^d	۳٫۶ ^d
۴	۱۳۳	۶۸٫۸ ^c	۶۴٫۶ ^{cde}	۲٫۱۴ ^b	۲۰٫۰ ^c	۳٫۶ ^d
۵	CHT	۶۷٫۸ ^f	۶۴٫۶ ^{cde}	۱٫۸۶ ^ن	۱۸٫۹ ^g	۳٫۵ ^d
۶	۲۲۱۲	۶۷٫۱ ^h	۶۶٫۱ ^{ab}	۱٫۹۰ ^h	۱۹٫۸ ^c	۳٫۵ ^d
۷	۲۳۱۰	۶۸٫۲ ^{de}	۶۳٫۲ ^{ef}	۲٫۱۹ ^a	۱۹٫۹ ^c	۴٫۳ ^b
۸	CHH	۶۷٫۰ ^h	۶۳٫۳ ^{ef}	۲٫۰۶ ^d	۱۸٫۸ ^g	۶٫۴ ^a
۹	۳۲۱۴	۶۹٫۸ ^b	۶۴٫۳ ^e	۱٫۸۹ ⁱ	۲۳٫۰ ^a	۳٫۱ ^e
۱۰	۳۲۱۵	۶۷٫۶ ^g	۶۷٫۶ ^{bc}	۱٫۹۶ ^f	۲۱٫۱ ^c	۳٫۱ ^e
۱۱	۳۲۱۸	۶۸٫۶ ^c	۶۶٫۱ ^{abc}	۱٫۸۳ ^k	۲۱٫۶ ^b	۳٫۱ ^e
۱۲	۳۲۲۶	۶۷٫۸ ^f	۶۲٫۵ ^f	۱٫۸۱ ^l	۱۹٫۰ ^g	۳٫۷ ^d
۱۱۳	CHA	۶۸٫۸ ^e	۵۳٫۷ ⁱ	۲٫۱۴ ^b	۱۹٫۴ ^f	۳٫۱ ^e
۱۴	FL۴۷۸	۶۷٫۶ ^g	۵۷٫۲ ^h	۱٫۸۳ ^k	۱۸٫۴ ^g	۳٫۲ ^e
۱۵	Tequing	۶۸٫۴ ^f	۶۴٫۹ ^{bcd}	۱٫۹۸ ^e	۱۸٫۱ ⁱ	۳٫۵ ^d
LSD %۵		۰٫۲	۱٫۵	۰٫۱	۰٫۳	۰٫۲

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری به روش دانکن ندارند.
CHT = شاهد طارم محلی، CHH = شاهد حسنی، CHA = شاهد عنبربو، FL۴۷۸ = شاهد متحمل به شوری، Tequing = شاهد حساس به شوری

۴. نتیجه‌گیری

در این آزمایش با شرایط شوری آب آبیاری و خاک مزرعه آزمایشی، ژنوتیپ‌های زودرس ۲۲۱۲ و ۲۳۱۰ مناسب‌تر از بقیه ارقام و ژنوتیپ‌های مورد بررسی بودند. بیشترین متوسط عملکرد مربوط به لاین‌های انتخابی ۲۲۱۲ و ۲۳۱۰ معادل ۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط شوری شالیزار بود. موتانت ۲۳۱۰ بسته به مدیریت زراعی ۵ روز زودرس‌تر از لاین ۲۲۱۲ می‌باشد. کیفیت دانه لاین‌های منتخب مشابه کیفیت دانه رقم طارم محلی است. متوسط عملکرد رقم شاهد طارم محلی در اراضی شالیزاری شور بسته به سال و مکان آزمایش بین ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. شوری باعث کاهش صفات زراعی و عملکرد همه ژنوتیپ برنج در مقایسه با شرایط رشد گیاه برنج در اراضی طبیعی شالیزاری شد، ولی پایداری عملکرد لاین‌های موتانت ۲۲۱۲ و ۲۳۱۰ بهتر بود چون حداقل ۳۵ درصد عملکرد بیشتری از شاهد طارم محلی داشتند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل همکاری پروژه مشترک بین پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای (کد پروژه مصوب: PRC-A1-۹۶-۰۰۴) و مؤسسه تحقیقات برنج کشور (کد پروژه‌های مصوب: ۳-۰۴-۰۴۵۵-۰۱۰-۹۵۰۰۷۸، ۳-۵۵-۵۵۰۴-۹۰۰۸۰، ۳-۰۴-۰۴۵۵-۰۰۱-۹۶۰۱۸۷، ۰۳-۰۴-۰۴۵۵-۰۴۲-۹۷۰۹۰۱) بوده که نویسندگان مقاله بدین‌وسیله از حمایت مالی، فنی و اجرایی آنها در انجام پروژه قدردانی می‌کنند. از کلیه همکاران دخیل در اجرای پروژه مشترک ده ساله نیز تشکر به‌عمل می‌آید.



مراجع

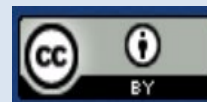
1. Fallah A. Evaluation of adaptability and stability of promising salinity tolerant rice mutant lines in regional yield trials. Publisher: [Rice Research Institute of Iran](#). 2022 [In Persian].
2. Nabipour A, Fallah A, Bagheri L. Application of induced mutation in rice breeding. Publisher: [Rice Research Institute of Iran](#). 2019 [In Persian].
3. Wi S.G, Chung B.Y, Kim J.H, Beak M.H, Lee J.W, Kim Y.S. Effect of gamma irradiation on morphological changes and biological responses in plants. [Micron](#). 2007;38(6):553-564. DOI: 10.1016/j.micron.2006.11.002.
4. Baadu R, Chong K.P, Gansau J.A, Mohamed Zin M.R, Dayou J. A systematic review on physical mutagens in rice breeding in Southeast Asia. [Peer J](#). 2023 Oct 18;11:e15682. DOI: 10.7717/peerj.15682. PMID: 37868055; PMCID: PMC10590103.
5. Hwang S.G, Chapagain S, Lee J.W, Han A.R, Jang C.S. Genomewide transcriptome profiling of genes associated with arsenate toxicity in an arsenic-tolerant rice mutant. [Plant Physiol. Biochem](#). 2017;120:40-51. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28987861>.
6. Song J.Y, Kim D.S, Lee M.C, Lee K.J, Kim J.B, Kim S.H, Ha B.K. Physiological characterization of gamma-ray induced salt tolerant rice mutants. [Aust. J. Crop Sci](#). 2012;6:421-429.
7. Kong X, Kasapis S, Bao J. Viscoelastic properties of starches and flours from two novel rice mutants induced by gamma irradiation. [LWT – Food Sci. Technol](#). 2015;60:578-582. DOI: 10.1016/j.lwt.2014.08.034.
8. Majd F, Rahimi M, Rezazadeh M. Evolving of mutant lines resistant to lodging, blast, and high yield in rice by induce mutation using Gamma ray (physical mutagen). [J. Nucl. Sci. Tech](#). 2000;26:37-43.
9. Ebadi A.A, Hallajiyani M.T. Kian, a new variety of drought tolerant rice. Publisher: [Rice Research Institute of Iran](#). 2022 [In Persian].
10. Nematzadeh G.A, Olaladi M. Growing instruction for Tarom Roshan, a new high yielding aromatic rice cultivar. 2019. www.gabit.sanru.ac.ir.
11. Kato H, Li F, Shimizu A. The selection of gamma-ray irradiated higher yield rice mutants by directed evolution method. [Plants](#). 2020;9(8):1004.
12. Behpouri A, Kheradnam M, Bizhanzadeh E. Evaluation of genetic variation in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes using some agronomic and morphological traits. [J. Agric. Sci](#). 2007;12(4):799-809 [In Persian].
13. Zeng L, Shanon M.C. Effects of Salinity on grain yield and yield components of rice and different seeding densities. [Agron. J](#). 2000;92:423-427.
14. Naserian Khiabani B, Ahari Mostafavi H, Fathollahi H, Vedadi S, Mosavi Shalmani M.A. Suitable gamma ray dose determination in order to induce genetic variation in Kaboli Chickpea (*Cicer Arietinum* L.). [J. Nucl. Sci. Tech](#). 2008;42:19-25.
15. Bagheri L, Fallah A. Producing of tolerant cultivars to salinity stress in rice (*Oryza sativa* L.) using mutation and biotechnology. Publisher: [Rice Research Institute of Iran](#). 2015 [In Persian].
16. Abdelnour-Esquivel A, Perez J, Rojas M, Vargas W, Gatica-Arias A. Use of gamma radiation to induce mutations in rice (*Oryza sativa* L.) and the selection of lines with tolerance to salinity and drought. [In Vitro Cell Dev. Biol. Plant](#). 2020;56:88-97.
17. IRRI. Standard Evaluation System for Rice. [International Rice Research Institute](#). 2013 November.
18. Rathore A, Parsad R, Gupta V.K. Computer aided construction and Analysis of augmented Designs. [J. Indian Soc. Agric. Stat](#). 2004;57:320-344.
19. SAS Institute. The SAS system for Windows. Release 9.4. SAS Inst., Cary, NC. USA. 2013.
20. Fallah A, Bagheri L, Nabipour A, Mogheseh A. Comparison agronomical characteristics, yield and grain quality of rice mutant's tolerance to salinity. [J. Agron. Plant Breed](#). 2018;14(2):79-87.
21. Juliano B.O. A Simplified assay for milled rice amylose. [Cereal Sci. Today](#). 1971;16:334-338, 340, 360.
22. Sabouri H, Rezai A, Moumeni A. Evaluation of Salt Tolerance in Iranian landrace and improved rice cultivars. [Journal of Crop Production and Processing](#). 2008;12(45):47-63. URL: <http://jcopp.iut.ac.ir/article-1-899-fa.html>.
23. Yazdisamadi B, Rezaei A.R, Valizadeh M. Statistical designs in agricultural sciences. Publisher: [Tehran University](#). 2013 [In Persian].
24. Babaei A, Nematzadeh G.H, Hashemi H. An evaluation of genetic differentiation in rice mutants using semi-random markers and morphological characteristics. [Australian Journal of Crop Science](#). 2011;5(13):1715-1722.
25. Esfahani M, Fotookian M.H. Induction of earliness and awnless mutants in rice (*Oryza sativa* L.) Domsiah cultivar. [Iranian Journal of Agricultural Sciences](#). 2002;4(2):95-106 [In Persian].
26. Ahloowalia B.S, Maluszynski M, Nichterlein K. Global impact of mutation-derived varieties. [Euphytica](#). 2004;135:187-204. <https://doi.org/10.1023/B:EUPH.0000014914.85465.4f>.
27. Alizadeh M.A, Eesvand H.R. Rice in Egypt. Publisher: [Ministry of Agriculture](#). 2005 [In Persian].
28. Azizi H, Aalami A, Esfahani M, Ebadi A.A. Evaluation of genetic diversity in some of Iranian and foreign rice genetic resources based on morphological traits. [Applied Research in Field Crops](#). 2018;31(1):1-21. DOI: 10.22092/aj.2018.101495.1018.



29. Fallah A, Farahmanfar E, Moradi F. Effect of salt stress on some morphophysiological characters of two rice cultivars during different growth stages at green- house. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*. 2015;107:175-182. DOI: 10.22092/aj.2015.105720.
30. Saleethong P, Sanitchon J, Kong-Ngern K, Theerakulpisut P. Effects of exogenous spermidine (spd) on yield, yield-related parameters and mineral composition of rice (*Oryza sativa* L. ssp. 'indica') grains under salt stress. *Australian Journal of Crop Science*. 2013;7(9):1293-1301. 20.1001.1.22518517.1387.12.45.5.7.
31. Haghighi Hasanlideh A.R, Allahgholipour M. Rice quality: related properties and effective factors. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 2022;24(3):196-220. URL: <http://agrobreedjournal.ir/article-1-1204-fa.html>. [In Persian].
32. Rao P.S, Mishra B, Gupta S.R. Effects of soil salinity and alkalinity on grain quality of tolerant, semi-tolerant and sensitive rice genotypes. *Rice Science*. 2013;20(4):284-291. [https://doi.org/10.1016/S1672-6308\(13\)60136-5](https://doi.org/10.1016/S1672-6308(13)60136-5).

COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

**استناد به این مقاله**

فلاح، الهیاری، باقری، لیلا، نبی‌پور، علیرضا، مقیسه، ابراهیم، مهدوی ماشکی، کیوان. (۱۴۰۴). ایجاد تنوع ژنتیکی برای تحمل به شوری در ارقام محلی برنج با روش پرتوتایی گاما. *مجله علوم، مهندسی و فناوری هسته‌ای*، ۱۱(۱)، ۱۰۶-۱۱۷. DOI: <https://doi.org/10.24200/nst.2024.1538.2003>

Url: https://jonsat.nstri.ir/article_1658.html

