

Research Paper

Screening of Some 10th Generation of Rice (*Oryza sativa* L.) Mutant Lines Using Agronomic and Biochemical Evaluations in Saline Conditions

Farhad Bagheri¹, Hemmatollah Pirdashti², Gorban Ali Nematzadeh³ and
Yasser Yaghoubian⁴

1- Ph.D. Student of Agrotechnology, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari
Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2- Professor, Department of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari
Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, (Corresponding author: h.pirdashti@sanru.ac.ir)

3- Professor of Molecular Genetics, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari
Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

4- Assistant Professor, Department of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan,
Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Received: 25 September, 2023

Accepted: 21 December, 2023

Extended Abstract

Background: Salinity stress is one of the most important limitations of rice cultivation worldwide. On the other hand, the use of physical and chemical mutagens can be very important not only to the development and combination of new genes or alleles with agricultural importance but also to introduce genotypes more adaptable and stable to adverse weather and soil conditions. For this reason, with the development and progress of rice varieties that are tolerant and adapted to salinity, it is possible to increase the sustainable production of this stable food. Therefore, the present study was conducted with the aim of investigating the response of the tenth generation (M10) of rice mutants to salinity stress in the reproductive stage using agronomic and biochemical characteristics.

Methods: In this research, 13 mutant lines of Seng-e-Tarem, Hashemi and Khazar cultivars using gamma ray irradiation from Cobalt 60 which have been previously identified as tolerant lines in molecular studies were used along with the tolerant cultivars of Nonabukra and Deylamani and sensitive cultivars of IR29 and Sepidrood. The genotypes were exposed to three levels of salinity (0, 4 and 8 dS/m) from the source of sodium chloride. A factorial experiment based a randomized complete block design (RCBD) and a factorial split based a RCBD with three replicates were used to evaluate agronomic traits along with yield and biochemical traits, respectively. The measured parameters were tillers number (TN), the number of filled (NFG) and unfilled grains (NUG), 1000 grains weight (TGW), plant height (PH), Days to 50% of flowering (DTF) and the paddy yield (PY), and for the biochemical traits, the activity of catalase (CAT) and superoxide dismutase (SOD), protein (PN), proline (PR) and malondialdehyde (MDA) contents and electrolyte leakage (EL) percentage.

Results: The results of the variance analysis showed that the effect of salinity and genotype and their interactions were significant for all the measured traits. A wide range of genetic diversity was observed among the genotypes for the agronomic and biochemical traits. Among the traits, PY was identified as the best and the most indicative trait to classify the tolerant genotype under salt stress conditions. Among the investigated mutants at different levels of salinity, the highest PY was recorded in MP6, MP10 and Deylamani genotypes, respectively. PY value in MP10 mutant at the salinity level of 8 dS/m was closed to Deylamani variety (tolerant check). With the increase of salinity from zero to 8 dS/m, the measured traits adversely affected. The cluster analysis diagram of studied genotypes based on agronomic traits and PY at a salinity level of 4 dS/m classified the genotypes into three separate groups. The genotypes MP2, MP3, MP4, MP9, and MP10 were grouped in the second group, in which Deylamani cultivar was also present as a tolerant check. The cluster analysis diagram of agronomic traits and PY at the salinity stress level of 8 dS/m divided the genotypes into four different groups. In the third group, two genotypes of MP9 and MP10 were included with Tarem Deylamani variety (tolerant check). The correlation coefficient between agronomic traits in 8 dS/m of salt conditions showed that PY had a positive and significant correlation with PH ($r=0.51$), the NFG ($r=0.88$) and TGW ($r=0.63$). Also, there is a negative correlation between DTF with PH ($r=-0.70$) and NFG ($r=-0.62$) and a positive and significant correlation with TN ($r=0.60$). Biplot analysis divided the studied lines into four groups based on agronomic traits at a salinity level of 4 dS/m. The first group includes six mutant lines

as very sensitive group, the second group includes two mutant lines as sensitive group, the third group with three genotypes including lines MP9, MP10 and Tarem Deylamani variety (tolerant check) as tolerant group and the fourth group with six genotypes included lines MP11, MP12, MP13 and Nonabukra variety (international tolerant check) as well as Sepidrood and IR29 varieties as high salt tolerant group. Also, biplot analysis based on agronomic traits at a salinity level of 8 dS/m divided the studied lines into four groups. The first group consisted three mutant lines as very sensitive group, the second group included six lines as sensitive group, the third group involved five genotypes including MP11 and MP13 lines and Nonabukra varieties (tolerant check), Sepidrood and IR29 as the tolerant group and the fourth group with three genotypes included MP9 and MP10 lines and Tarem Deylamani variety (native tolerant check) as high salt tolerant group. For biochemical traits at 8 dS/m of salt stress, the highest amount of SOD was recorded in Deylamani cultivar (tolerant check), PN for MP2 mutant, PR for MP3 mutant, and the lowest amount of EL and MDA was recorded for MP2 and MP10 mutants, respectively.

Conclusion: In general, PY of MP10 mutant line in salt stress conditions was closed to Deylamani as a native salt tolerant cultivar, therefore could be introduced as a superior line for further research in saline conditions.

Keywords: Electrolyte leakage, Enzyme, Gamma rays, Mutation, Yield

How to Cite This Article: Bagheri, F., Pirdashti, H., Nematzadeh, G. A., & Yaghoubian, Y. (2024). Screening of Some 10th Generation of Rice (*Oryza sativa* L.) Mutant Lines Using Agronomic and Biochemical Evaluations in Saline Conditions. *J Crop Breed*, 16(1), 153-170. DOI: [10.61186/jcb.16.49.153](https://doi.org/10.61186/jcb.16.49.153)

مقاله پژوهشی

غربالگری برخی لاین‌های موتانت نسل دهم برنج (*Oryza sativa* L.) از طریق ارزیابی زراعی و بیوشیمیایی در شرایط شورفرهاد باقری^۱، همت‌اله پیردشتی^۲، قربانعلی نعمت‌زاده^۳ و یاسر یعقوبیان^۴

۱- دانشجوی دکتری آگروتکنولوژی، پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۲- استاد، گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران،

(نویسنده مسوول: h.pirdashti@sanru.ac.ir)

۳- استاد ژنتیک مولکولی، پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۴- استادیار، گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۷/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۳۰

صفحه: ۱۵۳ تا ۱۷۰

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: تنش شوری یکی از مهمترین محدودیت‌های کشت برنج در سراسر جهان به‌شمار می‌رود. از طرفی استفاده از مواد جهش‌زای فیزیکی و شیمیایی می‌تواند برای توسعه و ترکیب ژن‌های جدید یا آللهایی با اهمیت زراعی، بسیار مهم باشد و باعث سازگاری و پایداری بیشتر ژنوتیپ‌ها به شرایط آب‌وهوایی و خاک شود. به همین جهت، با توسعه و پیشرفت ارقام برنج متحمل و سازگار به شوری می‌توان زمینه افزایش تولید پایدار این محصول را فراهم نمود. لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی واکنش موتانت‌های نسل دهم (M10) برنج به تنش شوری در مرحله زایشی با استفاده از ویژگی‌های زراعی و بیوشیمیایی انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، ۱۳ لاین موتانت حاصل از پروتئابی اشعه گاما از چشمه کبالت ۶۰ از ارقام سنگ طارم، هاشمی و خزر که به‌عنوان لاین‌های متحمل در مطالعات مولکولی شناسایی شده‌اند، به همراه ارقام متحمل نونابوکرا و دیلمانی و حساس به شوری برنج شامل IR29 و سپیدرود در سه سطح شوری (۰، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر) از منبع کلرید سدیم به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی برای صفات زراعی و عملکرد و به‌صورت فاکتوریل کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی برای صفات بیوشیمیایی در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. پارامترهای قابل اندازه‌گیری برای صفات زراعی در شرایط تنش و بدون تنش شوری شامل تعداد پنجه، تعداد دانه پر و پوک، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، روز ۵۰ تا ۵۰ درصد گل‌دهی و عملکرد تک بوته بود و برای صفات بیوشیمیایی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز، محتوای پروتئین، پرولین و مالون‌دی‌آلدهید و درصد نشت الکترولیت محاسبه شدند.

یافته‌ها: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که اثر ساده شوری و ژنوتیپ و برهم‌کنش آنها برای تمام صفات زراعی مورد مطالعه معنی‌دار شد. گستره وسیعی از تنوع ژنتیکی در میان ژنوتیپ‌ها برای صفات زراعی و بیوشیمیایی مورد مطالعه مشاهده شد. در میان صفات، عملکرد شلتوک به‌عنوان بهترین و شاخص‌ترین صفت برای شناسایی ژنوتیپ متحمل در شرایط تنش شوری شناسایی شد. در بین موتانت‌های مورد بررسی در سطوح مختلف شوری بالاترین عملکرد تک بوته در هر سه سطح صفر، چهار و هشت دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب برای ژنوتیپ‌های MP6، MP10 و رقم دیلمانی به‌دست آمد. ژنوتیپ MP10 در سطح شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر عملکرد تک بوته نزدیک به رقم دیلمانی (متحمل به شوری) را نشان داد. با افزایش شوری از صفر تا ۸ دسی‌زیمنس بر متر میزان صفات اندازه‌گیری شده روند کاهشی داشتند که بیانگر تأثیر منفی شوری بر صفات مورد مطالعه بود. نمودار تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه براساس صفات زراعی و عملکرد بوته در سطح شوری چهار دسی‌زیمنس بر متر، ژنوتیپ‌ها را به سه گروه مجزا تفکیک نمود. در گروه دوم که رقم دیلمانی به‌عنوان شاهد متحمل نیز در آن حضور داشت، ژنوتیپ‌های MP2، MP3، MP4، MP9 و MP10 قرار گرفتند. نمودار تجزیه خوشه‌ای صفات زراعی و عملکرد حاصل از گروه‌بندی ژنوتیپ‌های موتانت در سطح تنش شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر ژنوتیپ‌ها را به چهار گروه مختلف تفکیک نمود. در گروه سوم دو ژنوتیپ MP9 و MP10 با رقم طارم دیلمانی (متحمل) قرار گرفتند. ضریب همبستگی بین صفات زراعی و عملکرد برای سطح تنش شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر نشان داد که عملکرد بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری با صفات ارتفاع بوته ($r=0.51$)، تعداد دانه پر ($r=0.88$) و وزن هزار دانه ($r=0.63$) داشت. همچنین، بین تعداد روز تا گلدهی با صفات ارتفاع بوته ($r=-0.70$) و تعداد دانه پر ($r=-0.62$) همبستگی منفی و با صفات تعداد پنجه ($r=0.60$) همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد. تجزیه بای‌پلات براساس صفات زراعی در سطح شوری چهار دسی‌زیمنس بر متر، لاین‌های مورد مطالعه را به چهار گروه تقسیم نمود. گروه اول شامل شش لاین به‌عنوان گروه خیلی حساس، گروه دوم شامل دو لاین به‌عنوان گروه حساس، گروه سوم با سه ژنوتیپ شامل لاین‌های MP9، MP10 و رقم طارم دیلمانی (شاهد متحمل) به‌عنوان گروه متحمل و گروه چهارم با شش ژنوتیپ شامل لاین‌های MP11، MP12، MP13 و رقم نونابوکرا (شاهد متحمل) و همچنین رقم‌های سپیدرود و IR29 با تحمل بالای شوری بود. همچنین تجزیه بای‌پلات براساس صفات زراعی در سطح شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر، لاین‌های مورد مطالعه را به چهار گروه تقسیم نمود. گروه اول تعداد سه لاین به‌عنوان گروه خیلی حساس، گروه دوم شامل شش لاین به‌عنوان گروه حساس، گروه سوم با پنج ژنوتیپ شامل لاین‌های MP11 و MP13 و رقم‌های نونابوکرا (شاهد متحمل)، سپیدرود و IR29 به‌عنوان گروه متحمل و گروه چهارم با سه ژنوتیپ شامل لاین‌های MP9 و MP10 و رقم طارم دیلمانی (شاهد متحمل) با تحمل بالای شوری بود. برای صفات بیوشیمیایی در تنش هشت دسی‌زیمنس بر متر، بیشترین میزان سوپراکسید دیسموتاز در رقم دیلمانی (شاهد متحمل)، پروتئین برای موتانت MP2، پرولین برای موتانت MP3 و کمترین میزان نشت الکترولیت و مالون‌دی‌آلدهید به‌ترتیب برای موتانت‌های MP2 و MP10 ثبت شد.

نتیجه‌گیری: در مجموع و با توجه به اولویت عملکرد در مزارع شور، لاین MP10 با عملکرد شلتوک نزدیک به رقم دیلمانی (متحمل داخلی) و ویژگی‌های مطلوب بیوشیمیایی به‌عنوان لاین برتر برای ادامه تحقیقات در شرایط شور انتخاب و شناسایی شد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم، اشعه گاما، عملکرد، موتاسیون، نشت الکترولیت

مقدمه

می‌نماید (Hosseini et al., 2012). طبق گزارش فائو، مساحت جهانی خاک‌های متأثر از شوری، ۴۲۴ میلیون هکتار خاک سطحی با عمق ۰ الی ۳۰ سانتی‌متر و ۸۳۳ میلیون هکتار خاک با عمق ۳۰ الی ۱۰۰ سانتی‌متر (براساس ۷۳ درصد از زمین‌های نقشه‌برداری شده تاکنون) را در بر می‌گیرد (Fallah et al., 2018). بر اساس آخرین گزارش در دسترس در حدود

تنش‌های غیرزیستی عامل محدودکننده بزرگی در تولید محصول و امنیت غذایی در جهان به‌شمار می‌روند (Fahad et al., 2017). در این میان، شوری یکی از عوامل تنش‌زا است که نه‌تنها رشد و نمو گیاهان را تهدید می‌کند بلکه محدوده توزیع و پراکندگی گیاهان را در بوم‌نظام‌های مختلف تعیین

نیمی از اراضی قابل کشت ایران (۲۷ میلیون هکتار) متأثر از خاک‌های شور و سدیمی است که اثر عمده‌ای در کاهش سطح زیر کشت و عملکرد محصولات زراعی دارد (Heath & Packer, 1968).

برنج با نام علمی (*Oryza sativa* L.) غذای اصلی و مهم نیمی از جمعیت روبه‌رشد جهان است که بیش از ۲۰ درصد کالری مصرفی این جمعیت را تأمین می‌کند. از آنجاکه رشد فزاینده جمعیت جهان و تغییرات آب‌وهوایی غیرقابل انکار است، بنابراین موضوع شوری در کشت برنج به‌عنوان یک موضوع مهم برای استفاده بالقوه از این اراضی از طریق توسعه ارقام مناسب برنج با عملکرد بالا و متحمل به تنش شوری به‌منظور پاسخگویی به این اندازه جمعیت در حال رشد تبدیل شده است (Gupta & Huang, 2014, Rahman et al., 2016). کشت برنج در ایران جایگاه ویژه‌ای دارد. سطح زیرکشت این گیاه در ایران در سال ۱۳۹۹، ۶۳۷۲۰۹ هزار هکتار گزارش شده (Ministry of Jihad Agriculture., 2022) که بیش از ۹۵ درصد از این میزان در استان‌های مازندران، گلستان، گیلان، خوزستان، فارس و مابقی در سایر استان‌های کشور قرار دارد (Jafari Rad et al., 2014). گیاه برنج در مرحله جوانه‌زنی به شوری نسبتاً متحمل و در اوایل دوره گیاهچه‌ای خیلی حساس و در مرحله رشد رویشی مقاوم است. همچنین، در مرحله گرده‌افشانی و لقاح نیز به شوری حساس و در مرحله رسیدن به‌طور فزاینده مقاوم می‌شود. در شرایط تنش شوری، تغییرات فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیک مختلف که در سلول‌های گیاهی تحت تنش شوری رخ می‌دهد، باعث مهار رشد و در نتیجه کاهش شدید عملکرد می‌شود (Gain et al., 2004, Ismail et al., 2013, Sabori et al., 2007, Shereen et al., 2005).

به‌طورکلی، شوری از طریق تنش اسمزی، سمیت یونی، هومئوستازی یونی و تنش اکسیداتیو روی رشد برنج تأثیر منفی می‌گذارد (Gain et al., 2004, Ismail & Horie, 2017). در نتیجه ضروری است با استفاده از روش‌های اصلاحی لاین‌های متحمل به شوری را شناسایی و معرفی نمود. اصلاح بر مبنای موتانت روشی جهت بهبود بسیاری از صفات مهم زراعی مانند تحمل به تنش‌های غیرزنده، مقاومت به بیماری‌ها، کیفیت و بازپسندی است (Negrao et al., 2017). لذا القای جهش یک روش مهم برای افزایش فراوانی جهش به‌شمار می‌رود (Da Luz et al., 2016, Majidi & Amiri, 2016, Fahliani, 2016) و امکان مطالعات ژنومیک کارکردی و توسعه ژنوتیپ‌های جدید را فراهم می‌کند. لذا محصولات زراعی با محدودیت تنوع ژنتیکی، به جهش‌زایی یا القاء جهش به‌منظور ایجاد تنوع مطلوب و وراثت‌پذیر نیاز دارند (Oladi et al., 2020). استفاده از مواد جهش‌زای فیزیکی و شیمیایی می‌تواند برای توسعه و ترکیب ژن‌های جدید یا آللهایی با اهمیت زراعی، بسیار مهم باشد و باعث سازگاری و پایداری بیشتر ژنوتیپ‌ها به شرایط آب‌وهوایی و خاک شود. بیشترین وارته‌های موتاسیون در اصلاح بر مبنای موتانت به‌روش پرتودهی معرفی شده‌اند (Ahloowalia & Maluszynski, 2001). بیش از ۳۴۰۲ وارته موتانت در دنیا معرفی شده که از این بین، ۶۴ درصد آن با پرتو گاما اصلاح

شده‌اند (Musavizadeh et al., 2018). با بهره‌گیری از روش موتاسیون می‌توان به لاین‌های موتانت متحمل به شوری دست یافت (Ando, 1970). القای موتانت می‌تواند برای افزایش تحمل به شوری در برنج نیز مورد استفاده قرار گیرد (Sayed et al., 2007). اولادی و همکاران (Oladi et al., 2014) به‌منظور ارزیابی لاین‌های موتانت برنج حاصل از پرتودهی اشعه گاما تحت تنش شوری، ۴۲ لاین برنج همراه با سنگ طارم، نعمت و هاشمی را در خاکی با شوری هفت دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم به‌صورت تک بوته و بر اساس استاندارد IRRI مورد ارزیابی قرار داده و گزارش نمودند که ۳۵ درصد لاین‌ها در گروه متحمل، ۵۷ درصد در گروه با تحمل متوسط و ۸ درصد در گروه حساس قرار گرفتند. باقری و فلاح (Bagheri & Fallah, 2016) نیز برای دستیابی به لاین‌های مناسب برای اراضی شور، نسل چهارم موتانت حاصل از رقم‌های طارم محلی، حسنی و عنبربو که تحت تیمار پرتو گاما قرار گرفته بودند را در قالب طرح آگمنت در شهرستان آمل در شرایط نرمال آبیاری و در شهرستان جویبار، در شرایط شور کشت و ارزیابی کردند. بر اساس عملکرد و شاخص‌های ارزیابی تحمل به شوری تعداد ۱۴ لاین موتانت برتر نسبت به شاهد (رقم طارم محلی) متحمل به شوری شناخته شده و انتخاب شدند.

شوری سبب ایجاد دو نوع تنش در گیاه می‌شود. الف؛ واکنش‌های عمومی شوری: که شامل اثرات یونی و اسمزی است. اثرات یونی سلامت و فعالیت غشا را به‌خطر انداخته و تعادل مواد محلول داخلی را دچار اختلال می‌سازد. تأثیرات اسمزی نمک‌ها بر گیاهان، ناشی از کاهش پتانسیل آب خاک است که در اثر افزایش غلظت ماده محلول در ناحیه ریشه به‌وجود می‌آید. ب؛ اثرات متقابل محیطی: شوری و اثرات محیطی به‌صورت‌های مختلف روی هم تأثیر گذاشته و مطالعات توارثی تحمل نمک را مبهم می‌سازند (Abd Mishani & Shahnejat-Bushehri, 2015). همچنین شوری از طریق اثرات دیگری همچون کاهش تعادل عنصرهای غذایی، افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و القای تنش اکسیداتیو موجب خسارت به گیاه می‌گردد (Chawla et al., 2013). گونه‌های اکسیژن فعال همچون سوپراکسید، پراکسیدهایروژن و رادیکال هیدروکسیل گونه‌های مخرب اکسیژن هستند که به‌دنبال تنش‌های محیطی از جمله تنش شوری تولید می‌شوند و خود سبب ایجاد تنشی به‌نام تنش اکسیداتیو می‌گردند (Oladi et al., 2020, Waziri et al., 2016). گیاهان به‌منظور افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و پاک‌سازی مقادیر بالای اکسیژن فعال تولید شده، راهبردهای مختلفی را به‌کار می‌گیرند که شامل افزایش آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی مانند فنول‌ها، فلاونوئیدها، آلکالوئیدها، آسکوربات و گلوتاتیون و آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی مانند سوپراکسیددیسموتاز، گایاکول پراکسیداز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز است (Razzaque et al., 2017, Kanawapee et al., 2012). این آنزیم‌ها نقش بسیار مهمی در پاک‌سازی رادیکال‌های فعال اکسیژن داشته و میزان فعالیت آنها بسته به گونه گیاهی و شدت تنش متفاوت است (Ghorbani et al., 2007). بنابراین پژوهش

پرتوتابی اشعه گاما از چشمه کبالت ۶۰ از ارقام سنگ طارم (P1)، هاشمی (P3) و خزر (P18) (Oladi Ghadikolaei, 2020) که به‌عنوان لاین‌های متحمل در مطالعات مولکولی شناسایی شده‌اند (جدول ۱)، به‌همراه دو شاهد حساس بین‌المللی (IR29) و داخلی (سپیدرود) و همچنین شاهد متحمل بین‌المللی (نونابوکرا) و داخلی (دیلمانی) در سه سطح بدون تنش، تنش چهار و هشت دسی‌زیمنس بر متر از منبع کلریدسدیم در نظر گرفته شدند.

حاضر با هدف شناسایی لاین‌های متحمل به شوری و بررسی سازوکارهای تحمل به تنش شوری در لاین‌های موتانت نسل دهم برنج از طریق مطالعات آنزیمی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیک به‌همراه عملکرد شلتوک طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال ۱۴۰۱ اجرا شد. در این پژوهش ۱۷ ژنوتیپ برنج شامل ۱۳ لاین موتانت (نسل M10) حاصل

جدول ۱- فهرست موتانت‌های مورد مطالعه به‌همراه شاهد‌های حساس و متحمل داخلی و بین‌المللی
Table 1. The list of studied mutants along with domestic and international sensitive and tolerant controls

ردیف	کد لاین‌ها	کد لاین خلاصه‌شده	ردیف	کد لاین‌ها	کد لاین خلاصه‌شده
Row	Lines code	Abbreviated line code	Row	Lines code	Abbreviated line code
1	M10-P1-1-1-1-4-1	MP1	10	M10-P3-4-7-1-1-1	MP10
2	M10-P1-4-2-1-2-1	MP2	11	M10-P18-1-4-2-1-1-1	MP11
3	M10-P1-7-1-1-1-1	MP3	12	M10-P18-1-4-3-3-1-1-1	MP12
4	M10-P1-7-1-1-2-1	MP4	13	M10-P18-1-7-3-4-2-1-1	MP13
5	M10-P3-4-4-6-1-1	MP5	14	نونابوکرا	نونابوکرا
6	M10-P3-4-4-7-1-1	MP6	15	سپیدرود	سپیدرود
7	M10-P3-4-4-7-1-2	MP7	16	دیلمانی	دیلمانی
8	M10-P3-4-4-10-11	MP8	17	IR29	IR29
9	M10-P3-4-5-7-1-1	MP9			

M=mutant, P= parent, P1= Sang Tarom, P3= Tarom Hashemi, P18=kharaz

M=موتانت، P= والد، P1= سنگ طارم، P3= طارم هاشمی، P18= خزر

پوک، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، ۵۰ درصد گل‌دهی و عملکرد تک بوته براساس استاندارد ایری (SES, 2013) در شرایط تنش و بدون تنش اندازه‌گیری شد.

جهت ارزیابی برخی صفات بیوشیمیایی در سه سطح شوری (۰، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر) از آزمایش فاکتوریل کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار استفاده شد. نمونه‌گیری در سه بازه زمانی ۲۴، ۴۸، ۷۲ ساعت برای تمامی صفات مذکور انجام شد. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) براساس روش آبی (Aebi, 1984)، آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) براساس روش باوچمپ و فریدوویچ (Beauchamp & Fridovich, 1971)، میزان پروتئین محلول با روش برادفورد (Bradford, 1976)، سنجش پرولین با روش بیتس و همکاران (Bates, et al., 1973)، میزان مالون دی‌آلدهید با روش هس و پاکر (Heath & Packer, 1968)، درصد نشت الکترولیت با روش فاروق و اعظم (Farooq & Azam, 2006) انجام شد. در نهایت، داده‌های به‌دست آمده از آزمایش با نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ تجزیه و تحلیل شده و میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که اثر ساده شوری و ژنوتیپ و برهم‌کنش آنها برای تمام صفات زراعی مورد مطالعه معنی‌دار شد. فلاح و همکاران (Fallah et al., 2018) در ارزیابی موتانت‌های برنج متحمل به شوری نشان دادند که اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از نظر تمام صفات زراعی و عملکرد شلتوک معنی‌دار بود.

جهت انجام آزمایش، ابتدا بذور موردنظر با قارچ‌کش ویتاواکس دو در هزار ضدعفونی و پس از انتقال به دستگاه ژرمیناتور به‌مدت ۴۸ ساعت در شرایط تاریکی و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد جوانه‌دار شده و سپس جهت رشد اولیه در معرض نور قرار گرفتند. بذور جوانه‌دار شده در سینی بذر پر شده با خاک مزرعه کشت شدند. پس از سه الی چهار برگی شدن بوته‌ها، تعداد سه بوته از هر کدام از ژنوتیپ‌ها به گلدان‌هایی با گنجایش هفت کیلوگرم خاک (با قطر دهانه ۲۶ و ارتفاع ۲۴ سانتی‌متر) منتقل و به‌صورت مثلثی و تک بوته نشاکاری و پس از استقرار بوته‌ها (حدود یک هفته بعد از نشاء) تیمارهای شوری اعمال شد. مقدار NaCl مورد نیاز برای اعمال هر یک از سطوح شوری با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (Hashemi et al., 1997).

$$TDS = 0.6 EC$$

(رابطه ۱)
که در این رابطه EC هدایت الکتریکی و TDS کل املاح محلول است.

در طول دوره رشد گیاه، در مرحله زایشی (کدهای ۱۳ و ۶۱ BBCH) پس از اعمال تنش شوری بررسی‌های زراعی و بیوشیمیایی انجام شد. جهت بررسی‌های بیوشیمیایی نمونه برگ از برگ‌های انتهایی گیاه انتخاب و پس از منجمدکردن در نیتروژن مایع، تا زمان اندازه‌گیری در فریزر ۸۰- نگهداری گردید. همچنین، بررسی‌های رشدی گیاه در مرحله زایشی (کد ۶۱ BBCH) و برداشت (کد ۸۹ BBCH) انجام شد. جهت بررسی عملکرد و اجزای عملکرد نیز پس از رسیدگی فیزیولوژیک (کد ۹۹ BBCH) بوته‌ها کفبر شده و اندازه‌گیری‌های موردنظر انجام گرفت. در زمان رسیدگی کامل برخی صفات مهم زراعی شامل تعداد پنجه، تعداد دانه پر و

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات زراعی اندازه‌گیری شده لاین‌های موتانت برنج نسل دهم در شرایط تنش شوری

Table 2. Analysis of variance of measured agronomic traits of M10 generation rice mutant lines under salinity stress

منبع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد پنجه Tiller number	تعداد دانه پوک خوشه Unfilled grain per panicle	تعداد دانه پر خوشه Filled grain per panicle	وزن هزار دانه 1000 grain weight	تعداد روز تا گل‌دهی Number of days until flowering	عملکرد تک بوته Yield per plant
بلوک Block	2	34.47 **	17.48 **	106.60 **	81.22 **	6.34 **	10.14 *	0.20 *
شوری saltiness	2	8499.41 **	709.83 **	4456.07 **	83856.05 **	670.25 **	261.08 **	1309.11 **
ژنوتیپ Genotype	16	2219.62 **	8.59 **	641.50 **	2848.05 **	68.29 **	856.72 **	96.43 **
شوری × ژنوتیپ S×G	32	142.57 **	8.93 **	943.43 **	1351.23 **	47.76 **	39.71 **	42.07 **
اشتباه (شوری × ژنوتیپ) Error (S x G)	100	5.97	2.77	0.75	0.47	1.27	3.03	0.0017
ضریب تغییرات CV		2.49	20.72	2.92	1.26	5.1	1.62	5.8

**, * و ns: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ و عدم معنی‌داری.
**, * and ns: Significant difference at the probability levels of 0.01, 0.05 and non-significant, respectively.

زمینه را برای انتخاب ژنوتیپ‌های موتانت همراه با صفات مهم اقتصادی فراهم می‌کند (Sayed *et al.*, 2007). در تحقیقی خادمیان و همکاران (Khademian *et al.*, 2004) از دو موتاژن فیزیکی (اشعه) و شیمیایی (EMS) برای اعمال تیمارهای موتاژنی در سه رقم برنج ایرانی به نام‌های طارم محلی، طارم دیلمانی و شفق استفاده کردند. نتایج حاکی از کاهش ارتفاع بوته و افزایش میزان عقیمی خوشه بود. همچنین در نسل دوم تعداد پنجه و تعداد دانه در خوشه که از اجزای اصلی عملکرد می‌باشد در اکثر موارد افزایش یافتند. تحقیقات زیادی بیانگر پتانسیل اصلاح به کمک جهش برای وارپته‌های جدید با ویژگی‌های مطلوب زراعی می‌باشد (Jana, 1973., Lee, 2003., Saleem, 2005., Anbarasan, 2013., Muthusamy, 2013).

نتایج مقایسات میانگین ژنوتیپ‌های مورد بررسی در سطح بدون تنش (شاهد) نشان داد که کوتاهترین ارتفاع بوته مربوط به شاهد IR29 و MP13 و بلندترین ارتفاع مربوط به شاهد دیلمانی بوده، همچنین بیشترین و کمترین تعداد پنجه به ترتیب مربوط به دو ژنوتیپ MP2 و MP8، و کمترین تعداد دانه پر مربوط به شاهد سپیدرود و ژنوتیپ MP3 و بیشترین تعداد دانه پر مربوط به ژنوتیپ MP6 و زودرس‌ترین ژنوتیپ MP3 و دیررس‌ترین ژنوتیپ IR29 بوده است (جدول ۳).
برای صفت وزن هزار دانه بیشترین و کمترین مقدار به ترتیب برای دو موتانت MP10 و MP5 به دست آمد. با توجه به نتایج، در بین موتانت‌های مورد بررسی نسبت به رقم‌های شاهد تمایز مشهودی مشاهده شد که می‌تواند نشان‌دهنده تنوع در بین موتانت‌ها باشد و حتی موتانت‌های حاصل از والد مشابه باشد. به نظر می‌رسد موتاسیون با ایجاد جهش و تنوع ژنتیکی فراوان

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات زراعی اندازه‌گیری شده لاین‌های موتانت برنج نسل دهم در سطح شوری شاهد (بدون تنش)
Table 3. Comparison of the average agricultural traits measured in M10 generation rice mutant lines at the control salinity level (normal condition)

ژنوتیپ Genotype	ارتفاع گیاه Plant height	تعداد پنجه Tiller number	تعداد دانه پوک Unfilled grain per panicle	تعداد دانه پر Filled grain per panicle	وزن هزار دانه 1000 grain weight	تعداد روز تا گل‌دهی Number of days until flowering
MP1	129 ^b	12.16 ^e	11.19 ^a	72.35 ^m	24.03 ^h	97.34 ^m
MP2	121.33 ^d	17.83 ^a	6.19 ^o	55.84 ^p	22.94 ^m	98.35 ⁱ
MP3	126 ^c	12.16 ^e	13.18 ^k	50.86 ^q	22.51 ⁿ	93.35 ⁿ
MP4	125 ^c	13.49 ^p	18.20 ^b	69.85 ⁿ	23.00 ^k	98.34 ⁱ
MP5	108 ^h	10.83 ⁱ	17.18 ⁱ	56.34 ^o	20.11 ^r	102.36 ^j
MP6	101 ^j	13.16 ^e	23.19 ^d	134.34 ^b	20.88 ^q	104.35 ⁱ
MP7	105 ^g	12.49 ^d	30.20 ^b	104.86 ^h	24.02 ⁱ	105.36 ^h
MP8	112 ^g	7.83 ^m	32.20 ^a	73.85 ⁱ	26.22 ^e	110.35 ^d
MP9	119 ^e	9.16 ^f	29.19 ^c	121.86 ^d	20.89 ^p	101.35 ^k
MP10	116 ^f	11.83 ^f	21.20 ^f	110.34 ^e	31.28 ^a	106.35 ^g
MP11	110 ^{gh}	6.83 ⁿ	22.27 ^c	100.85 ⁱ	29.28 ^b	108.35 ^f
MP12	103 ^{ij}	10.84 ^h	14.22 ^j	127.86 ^c	24.77 ^f	108.30 ^e
MP13	91 ^k	10.16 ^j	30.23 ^b	117.37 ^f	23.27 ^j	113.35 ^c
نونابوکرا	93 ^k	11.49 ^g	10.19 ^m	119.35 ^e	26.44 ^d	119.37 ^b
سپیدرود	122 ^d	12.16 ^e	14.19 ^j	160.36 ^a	24.51 ^g	105.36 ^h
دیلمانی	133 ^a	9.16 ^f	9.19 ⁿ	75.35 ^k	28.27 ^c	98.35 ⁱ
IR29	83 ^l	9.83 ^k	20.19 ^g	88.84 ^j	22.43 ^o	125.36 ^a

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.
Means in each column followed by similar letter are not significantly different at 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test

تا گل‌دهی در نونابوکرا و MP3 مشاهده شد (جدول ۴). در مطالعه اثر تنش شوری روی ده رقم برنج ایرانی (Ghorbani *et al.*, 2007) و نیز مطالعه روی ۷۵ ژنوتیپ برنج ایرانی (Sabari *et al.*, 2007) نشان داده شد که تنش شوری بر

در مقایسه میانگین موتانت‌های مورد بررسی در سطح شوری چهار دسی‌زیمس بر متر به ترتیب بیشترین و کمترین ارتفاع بوته در ژنوتیپ MP9 (۱۲۳/۳۳ سانتی‌متر) و MP6 (۷۴/۳۳ سانتی‌متر)، تعداد دانه پر در MP9 و MP8 و تعداد روز

مولفه‌های رشد و عملکرد موردنظر به‌طرز معنی‌داری تأثیر دارد. (2013) نیز مشاهده کردند که شوری باعث کاهش ارتفاع بوته میردار منصوری و همکاران (Mirdar mansouri *et al.*) در ژنوتیپ‌های مورد بررسی برنج شد.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات زراعی اندازه‌گیری شده لاین‌های موتانت برنج نسل دهم در سطح شوری چهار دسی‌زیمنس بر متر
Table 4. Comparison of the average agricultural traits measured in M10 generation rice mutant lines at a salinity level of 4 dS.m⁻¹

ژنوتیپ Genotype	ارتفاع گیاه Plant height	تعداد پنجه Tiller number	تعداد دانه پوک Unfilled grain per panicle	تعداد دانه پر Filled grain per panicle	وزن هزار دانه 1000 grain weight	تعداد روز تا گل‌دهی Number of days until flowering
MP1	117.33 ^c	8.07 ^a	18.36 ^j	54.52 ^d	21.82 ^h	94.18 ^g
MP2	117.66 ^c	7.86 ^a	23.37 ^h	70.52 ^d	20.59 ⁱ	92.18 ^{gh}
MP3	110.33 ^d	8.75 ^a	19.38 ⁱ	45.52 ^k	23.91 ^f	88.18 ^h
MP4	110.33 ^d	7.64 ^a	15.36 ^j	56.52 ^b	19.70 ^k	100.19 ^f
MP5	105.33 ^e	10.52 ^a	26.36 ^g	33.53 ^l	21.92 ^h	102.18 ^{ef}
MP6	74.33 ^m	8.98 ^a	16.37 ^k	86.52 ^b	19.22 ⁱ	106.19 ^{de}
MP7	85.33 ^l	8.64 ^a	13.36 ^m	61.52 ^j	22.32 ^g	107.19 ^{cd}
MP8	75.33 ^l	7.31 ^a	28.37 ⁱ	4.51 ^p	21.01 ⁱ	107.68 ^{cd}
MP9	123.33 ^a	7.75 ^a	32.38 ^e	88.53 ^a	45.33 ^a	95.18 ^g
MP10	94.33 ^g	8.47 ^a	16.39 ^k	61.52 ^j	31.33 ^b	105.19 ^{de}
MP11	96.33 ^f	9.30 ^a	72.38 ^b	5.53 ^o	25.32 ^d	121.18 ^b
MP12	79.33 ^k	7.53 ^a	32.38 ^e	56.52 ^b	18.33 ^m	108.19 ^{cd}
MP13	79.33 ^k	9.75 ^a	32.38 ^e	52.53 ⁱ	24.61 ^e	111.19 ^c
نونابوکرا	92.33 ^h	9.86 ^a	64.35 ^c	26.52 ^m	25.81 ^c	136.19 ^a
سپیدرود	91.33 ⁱ	9.42 ^a	63.38 ^d	68.52 ^c	21.82 ^h	106.18 ^{de}
دیلمانی	120.33 ^b	7.3 ^a	10.38 ⁿ	82.56 ^c	23.82 ^f	103.68 ^{def}
IR29	73.33 ⁿ	10.18 ^a	89.38 ^a	7.53 ⁿ	19.82 ^k	122.19 ^b

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.
Means in each column followed by similar letter are not significantly different at 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test

تحقیقات برنج کشور) را به تنش شوری مورد ارزیابی قرار داده و نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری را از نظر میزان تحمل به تنش نشان دادند. در ادامه آزمایش ژنوتیپ‌های بینام، هاشمی، IR67075-2B-5-2 و IR67075-2B-18-2 نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها از تحمل بیشتری برخوردار بودند. در پژوهش سلیم و همکاران (Saleem *et al.*, 2005) هرچند ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به تنش باهم متفاوت بودند ولی در مجموع تنش شوری رشد همه ژنوتیپ‌های برنج مورد آزمون را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. بررسی‌های مندل و همکاران (Mondal *et al.*, 2013) نشان داد که تمامی پارامترهای مورفولوژیک با افزایش سطح شوری در تمامی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه کاهش یافت، اما کاهش در بین ژنوتیپ‌ها مشابه نبود.

در جدول ۵ مقایسه میانگین موتانت‌های مورد بررسی در سطح شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر آورده شد. نتایج نشان داد که ارتفاع گیاه در ژنوتیپ‌های دیلمانی (۱۳۱/۵ سانتی‌متر) و MP13 (۶۰/۵ سانتی‌متر)، تعداد پنجه در نونابوکرا (۵/۸۴ عدد در بوته) و MP8 (۲/۴۸ عدد در بوته)، تعداد دانه پر در MP9 و نونابوکرا و صفت تعداد روز تا گل‌دهی IR29 و MP2، MP3 و MP9 به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار را دارا بودند. محمدی‌نژاد و همکاران (Mohammadi-Nejad *et al.*, 2012) نیز ۳۰ ژنوتیپ برنج را تحت تنش ۶۰ و ۱۰۰ میلی مولار بر لیتر نمک قرار دادند. نتایج نشان داد ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری از نظر میزان تحمل به تنش شوری داشته‌اند. در پژوهش دیگری، مومنی و همکاران (Moumeni *et al.*, 2008) میزان تحمل ۵۶ ژنوتیپ برنج (۴۰ ژنوتیپ از موسسه تحقیقات بین‌المللی برنج و ۱۶ ژنوتیپ منتخب برنج متحمل به شوری از موسسه

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات زراعی اندازه‌گیری شده لاین‌های موتانت برنج نسل دهم در سطح شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر
Table 5. Comparison of the average agricultural traits measured in M10 generation rice mutant lines at a salinity level of 8 dS.m⁻¹

ژنوتیپ Genotype	ارتفاع گیاه Plant height	تعداد پنجه Tiller number	تعداد دانه پوک Unfilled grain per panicle	تعداد دانه پر Filled grain per panicle	وزن هزار دانه 1000 grain weight	تعداد روز تا گل‌دهی Number of days until flowering
MP1	96.5 ^d	3.85 ^d	21.43 ^m	15.97 ⁱ	17.39 ^{bcde}	98.85 ⁱ
MP2	101.5 ^{bc}	3.19 ^f	35.17 ^g	18.09 ^{de}	18.58 ^{bcde}	97.85 ^m
MP3	100.5 ^{bc}	3.50 ^e	49.33 ^d	17.35 ^e	15.47 ^{et}	97.86 ^m
MP4	98.5 ^{cd}	2.85 ^g	24.96 ⁱ	11.17 ^h	16.26 ^{def}	99.85 ^k
MP5	89.16 ^e	2.49 ^h	51.36 ^c	8.34 ^j	19.72 ^{abcd}	104.86 ^j
MP6	69.5 ⁱ	3.5 ^e	47.98 ^g	18.34 ^d	18.78 ^{bcde}	112.86 ^g
MP7	70.5 ⁱ	3.30 ^f	33.42 ⁱ	12.01 ^h	18.56 ^{bcde}	113.86 ^f
MP8	68.5 ⁱ	2.48 ^h	71.26 ^a	6.35 ^k	17.09 ^{cdef}	115.86 ^d
MP9	101.5 ^b	3.23 ^f	45.76 ⁱ	38.35 ^a	17.95 ^{bcde}	99.85 ^k
MP10	80.5 ^g	4.83 ^c	18.73 ^o	33.35 ^b	22.76 ^a	103.85 ^j
MP11	83.5 ^f	5.51 ^a	24.93 ^j	3.35 ^m	17.01 ^{cdef}	123.86 ^c
MP12	75.5 ^h	3.84 ^d	32.61 ^k	20.77 ^c	13.7 ^f	111.85 ^h
MP13	60.5 ^k	4.84 ^c	19.26 ^q	9.36 ^j	20.97 ^{ab}	114.85 ^e
نونابوکرا	73.5 ^h	5.84 ^a	34.77 ^h	2.35 ⁿ	15.22 ^{ef}	125.86 ^b
سپیدرود	88.5 ^e	5.49 ^b	32.96 ^j	14.13 ^g	18.49 ^{bcde}	111.86 ^h
دیلمانی	131.5 ^a	3.48 ^e	51.77 ^b	33.35 ^b	20.22 ^{abc}	103.86 ^j
IR29	63.5 ^j	4.85 ^c	19.34 ⁿ	4.36 ^j	15.98 ^{det}	129.85 ^a

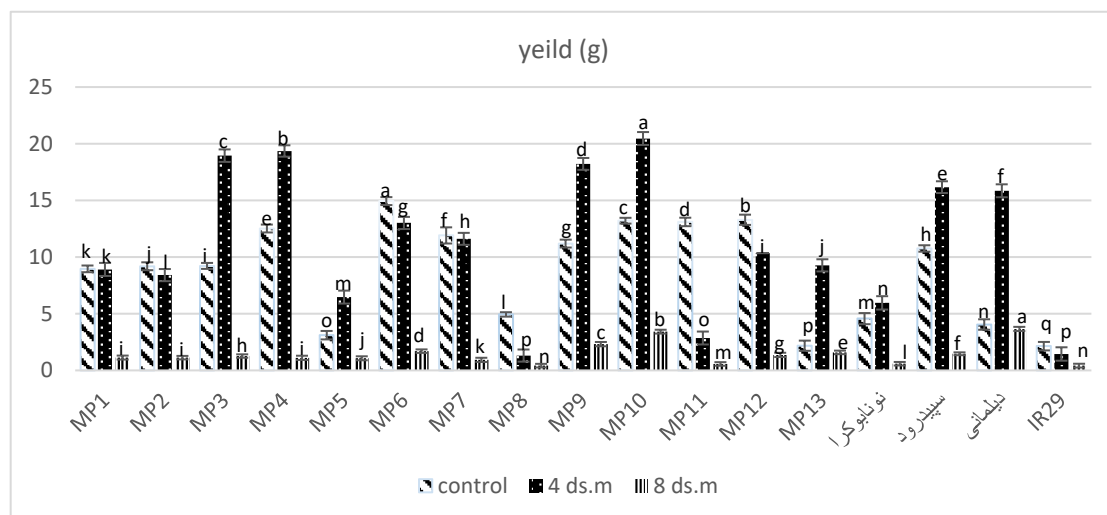
در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.
Means in each column followed by similar letter are not significantly different at 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test

داشتند و در سایر ژنوتیپ‌ها تأثیر چشمگیری نداشت یا حتی باعث افزایش عملکرد بوته شد. با این‌حال شوری هشت

بر اساس یافته‌ها، تنش شوری چهار دسی‌زیمنس بر متر تنها در چهار ژنوتیپ MP6، MP8، MP11 و MP12 اثر منفی

کاهش می‌یابد. با این‌وجود، در سطوح مختلف شوری ارقام مختلف برنج اختلاف معنی‌داری با هم داشته و با افزایش سطح شوری، رشد، اجزای عملکرد و در نهایت عملکرد دانه کاهش می‌یابد. کاهش عملکرد دانه ارقام برنج تحت شرایط شوری توسط سعیدزاده و همکاران (Saeedzadeh *et al.*, 2018)، جعفری‌راد و همکاران (Jafari Rad *et al.*, 2014)، بیابانی و همکاران (Biabani *et al.*, 2012) و گاین و همکاران (Gain *et al.*, 2004) نیز گزارش شده بود. سید و همکاران (Sayed *et al.*, 2007) نیز یک واریته موتانت به نام شو ۹۲ و دو رقم برنج موتانت از طریق اصلاح جهشی از دو واریته استاندارد IR8 و پوکالی به‌دست آوردند و برای دو سال جهت ارزیابی کارایی عملکرد در خاک‌های شور با شوری ۷/۱ تا ۸ دسی‌زیمنس بر متر مورد بررسی قرار دادند. واریته موتانت شو ۹۲ به‌ترتیب ۴۰ و ۴۹ درصد عملکرد بیشتری در خاک شور نسبت به واریته‌های متحمل به شوری نونابوکرا و پوکالی داشت. بر اساس نتایج، عملکرد دانه در مرحله زایشی در شرایط تنش شوری نسبت به شاهد به‌دلیل اثر سمی بالای نمک به‌شدت کم شد (Pundir *et al.*, 2016).

دسی‌زیمنس بر متر عملکرد تمام ژنوتیپ‌های مورد بررسی به‌جز رقم دیلمانی را، که به‌عنوان شاهد متحمل داخلی در نظر گرفته شده بود، کاهش داد. از بین لاین‌های مورد بررسی در آزمایش، رقم دیلمانی کمترین (۹/۶ درصد) و لاین MP11 بیشترین (۹۵ درصد) را نسبت به سطح شوری صفر در سطح شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر نشان دادند. در سطح شاهد بدون تنش شوری بیشترین و کمترین عملکرد تک‌بوته در ژنوتیپ‌های MP6 (۱۴/۹۴ گرم در بوته) و IR29 (۲/۱۴ گرم در بوته)، در سطح شوری چهار دسی‌زیمنس بر متر برای MP10 (۲۰/۴۶ گرم در بوته) و IR29 (۱/۴۵ گرم در بوته) و همچنین برای سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر در طارم دیلمانی (۳/۶۶ گرم در بوته) و IR29 (۰/۴۲ گرم در بوته) و MP8 (۰/۴۲ گرم در بوته) مشاهده شد (شکل ۱). در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی در سطح شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر لاین MP10 از نظر عملکردی نزدیک به رقم طارم دیلمانی، مقاوم به شوری، به‌دست آمد. این نتیجه بیانگر پتانسیل بالای تولید دانه این رقم در شرایط شور می‌باشد. حسام‌زمان و همکاران (Hasamuzzaman *et al.*, 2009) نیز مشاهده نمودند که با افزایش سطح شوری عملکرد ارقام برنج



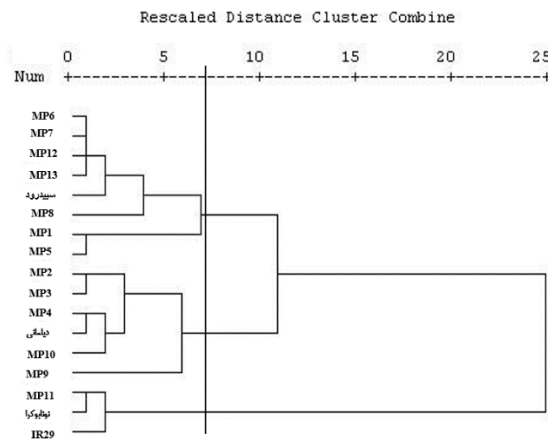
شکل ۱- مقایسه میانگین عملکرد تک بوته اندازه‌گیری شده لاین‌های موتانت برنج نسل M10 در شرایط تنش شوری. در هر سطح شوری، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 1. Comparison of the average yield of a single plant measured in M10 generation rice mutant lines under salt stress conditions. Means in each salinity levels followed by similar letter are not significantly different at 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test

دسی‌زیمنس بر متر (شکل ۲b) ژنوتیپ‌ها را به چهار گروه مختلف تفکیک نمود. در گروه سوم دو ژنوتیپ MP9 و MP10 با رقم طارم دیلمانی (متحمل داخلی) قرار گرفتند. در گروه چهارم نیز دو ژنوتیپ MP13 و MP11 با رقم سپیدرود (حساس داخلی) و رقم‌های نونابوکرا (متحمل خارجی) و IR29 (حساس خارجی) در یک گروه و سایر ژنوتیپ‌ها در گروه‌های اول و دوم جای گرفتند. در مطالعه افخمی و همکاران (Afkhami *et al.*, 2021) نیز ژنوتیپ‌های برنج در سطح شوری چهار دسی‌زیمنس بر متر به سه گروه مجزا تفکیک شدند.

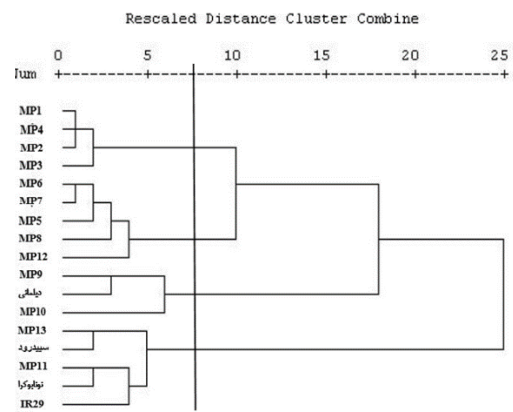
نمودار تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه براساس صفات زراعی و عملکرد بوته در سطح شوری چهار دسی‌زیمنس بر متر، ژنوتیپ‌ها را به سه گروه مجزا تفکیک نمود. در گروه دوم که رقم دیلمانی به‌عنوان شاهد متحمل داخلی نیز در آن حضور داشت، ژنوتیپ‌های MP2، MP3، MP4، MP9 و MP10 قرار گرفتند. نزدیکترین ژنوتیپ به رقم طارم دیلمانی نیز لاین MP4 بود. همچنین ژنوتیپ MP11 با رقم‌های IR29 و نونابوکرا (به‌ترتیب حساس و متحمل خارجی) در گروه سه قرار گرفتند (شکل ۲a).

نمودار تجزیه خوشه‌ای صفات زراعی و عملکرد حاصل از گروهبندی ژنوتیپ‌های موتانت در سطح تنش شوری هشت



شکل ۲ (a)- تجزیه کلاستر صفات زراعی و عملکرد در شرایط تنش شوری چهار دسی‌زیمنس بر متر

Figure 2 a. cluster analysis of agricultural traits and yield under 4 dS.m⁻¹ salinity stress conditions



شکل ۲ (b)- تجزیه کلاستر صفات زراعی و عملکرد در شرایط تنش شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر

Figure 2 b. cluster analysis of agricultural traits and yield under 8 dS.m⁻¹ salinity stress conditions

شوری همبستگی پایینی بین صفات زراعی و عملکرد دانه وجود داشت. این نتیجه توسط برخی از محققان دیگر (Chawla *et al.*, 2013, Shereen *et al.*, 2005, Singh *et al.*, 2013, Chanyalew *et al.*, 2009) نیز گزارش شد. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که همبستگی پایین بین عملکرد و اجزای عملکرد ممکن است به دلیل اثر نامطلوب تنش بر صفات‌های اندازه‌گیری شده در مرحله زایشی باشد.

بررسی ضریب همبستگی بین صفات زراعی و عملکرد برای سطح تنش شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر (جدول ۶) نشان داد که عملکرد بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری با صفات ارتفاع بوته ($r=0.51^*$)، تعداد دانه پر ($r=0.88^{**}$) و وزن هزار دانه ($r=0.63^{**}$) داشت. پاندر و همکاران (Pundir *et al.*, 2016) در بررسی تنش شوری و تنوع ژنتیکی نسل دوم در مرحله زایشی مشاهده کردند که ضریب همبستگی برای صفت عملکرد دانه با ارتفاع بوته مثبت و معنی‌دار بود. همچنین، بین تعداد روز تا گلدهی با صفات ارتفاع بوته ($r=-0.70^{**}$) و تعداد دانه پر ($r=-0.62^{**}$) همبستگی منفی و با صفت تعداد پنجه ($r=0.60^*$) همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد. بین صفات تعداد پنجه و تعداد دانه پوک نیز همبستگی منفی ($r=-0.60^{**}$) وجود داشت. نتایج حاکی از همبستگی مثبت بین ارتفاع بوته با تعداد دانه پر ($r=0.55^*$) بود. پاشا و همکاران (Pasha *et al.*, 2022) نیز در ارزیابی رفتار مورفولوژیک برخی از ژنوتیپ‌های برنج در تنش خشکی مشاهده کردند که تحت تنش خشکی روابط همبستگی بین صفات برخلاف شرایط نرمال بود.

همبستگی بین صفات در به‌نژادی از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد، زیرا این همبستگی‌ها ممکن است به‌نژادگر را در گزینش غیرمستقیم برای صفات مهم از طریق صفات کم اهمیت که اندازه‌گیری آنها آسان‌تر است، کمک نماید (Amooghli-Tabari *et al.*, 2015). ضرایب همبستگی بین صفات زراعی و عملکرد دانه در سطح تنش شوری چهار دسی‌زیمنس بر متر (جدول ۶) نشان داد، عملکرد بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r=0.76^{**}$) با تعداد دانه پر داشت. همچنین نتایج حاکی از وجود همبستگی منفی بین عملکرد بوته با تعداد دانه پوک ($r=-0.53^*$) و تعداد روز تا گلدهی ($r=-0.55^*$) بود. این نتیجه بیانگر این است که ژنوتیپ‌هایی که برای ورود به مرحله گل‌دهی نیاز به تعداد روزهای کمتری دارند عملکرد دانه بالاتری دارند. با این حال ارتباط معنی‌داری بین عملکرد بوته با صفاتی چون ارتفاع بوته و همچنین تعداد پنجه و وزن هزار دانه مشاهده نشد. در بین برخی از سایر صفات مورد بررسی نیز همبستگی معنی‌داری مشاهده شد، به‌عنوان مثال تعداد روز تا گل‌دهی با صفات ارتفاع گیاه ($r=-0.58^*$) و تعداد دانه پر ($r=-0.55^*$) همبستگی منفی و با تعداد دانه پوک ($r=0.70^{**}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. کریشنا مورثی و همکاران (Krishnamurthy *et al.*, 2016) نیز با بررسی تاثیر تنش شوری بر صفات زراعی و مورفولوژیک در مرحله زایشی در برنج همبستگی معنی‌داری بین صفات مورد بررسی گزارش کردند. پاندر و همکاران (Pundir *et al.*, 2016) نیز در بررسی تنش شوری و تنوع ژنتیکی نسل دوم در مرحله زایشی نشان دادند که شرایط تنش

۱۶۲ غربالگری برخی لاین‌های موتانت نسل دهم برنج (*Oryza sativa* L.) از طریق ارزیابی زراعی

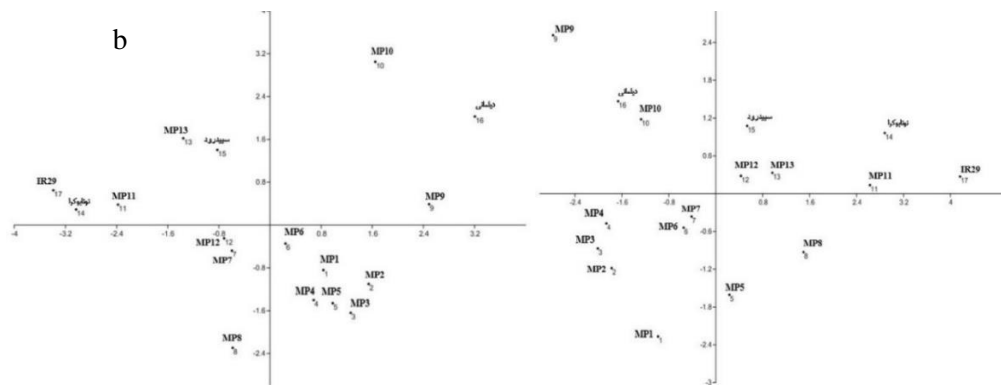
جدول ۶- نتایج ضریب همبستگی صفات زراعی و عملکرد در شرایط تنش شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر
Table 6. The results of the correlation coefficient of agricultural traits and yield in the condition of salinity stress of 4 and 8 dS.m⁻¹

عملکرد تک بوته Yield per plant	تعداد روز تا گل‌دهی Number of days until flowering	وزن هزار دانه 1000 grain weight	تعداد دانه پر Filled grain per panicle	تعداد دانه پوک Unfilled grain per panicle	تعداد پنجه Tiller number	ارتفاع گیاه Plant height
شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر 4 dS.m ⁻¹ of Salinity						
					1	ارتفاع گیاه Plant height
					-0.12	تعداد پنجه Tiller number
				1	0.38	تعداد دانه پوک Unfilled grain per panicle
			1	-0.59*	-0.35	تعداد دانه پر Filled grain per panicle
		1	0.28	-0.02	-0.16	وزن هزار دانه 1000 grain weight
	1	-0.12	-0.55*	0.70**	0.26	تعداد روز تا گل‌دهی Number of days until flowering
1	-0.55*	0.37	0.76**	-0.53*	-0.39	عملکرد تک بوته yield per plant
شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر 8 dS.m ⁻¹ of Salinity						
					1	ارتفاع گیاه Plant height
					-0.33	تعداد پنجه Tiller number
				1	-0.60*	تعداد دانه پوک Unfilled seed per panicle
			1	0.12	-0.24	تعداد دانه پر Filled seed per panicle
		1	0.39	-0.07	-0.02	وزن هزار دانه 1000 grain weight
	1	-0.26	-0.62**	-0.17	0.60*	تعداد روز تا گل‌دهی Number of days until flowering
1	-0.48	0.63**	0.87**	0.02	-0.05	عملکرد تک بوته Yield per plant

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد؛ اعداد بدون علامت نبود معنی‌داری
* and ** significant at 5 and 1%, respectively; all other numbers are not significant

حساس، گروه سوم با پنج ژنوتیپ شامل لاین‌های MP11 و MP13 و رقم‌های نونابوکرا (شاهد متحمل)، سپیدرود و IR29 به‌عنوان گروه متحمل و گروه چهارم با سه ژنوتیپ شامل لاین‌های MP9 و MP10 و رقم طارم دیلمانی (شاهد متحمل) با تحمل بالای شوری بود. در بررسی تنش شوری در برنج توسط میردار منصوری و همکاران (Mirdar mansouri et al., 2013) با استفاده از تجزیه بای‌پلات نشان داد که لاین ۱۰۹ و شصتک محمدی با دارا بودن شاخص تحمل به تنش بالا و قرار گرفتن در ناحیه مطلوب بای‌پلات به‌عنوان پایدارترین ارقام در دو محیط تنش و بدون تنش شناخته شدند و به‌عنوان متحمل‌ترین ارقام به تنش شوری جهت پژوهش‌های اصلاحی معرفی شدند.

تجزیه بای‌پلات (شکل ۳a) براساس صفات زراعی در سطح شوری چهار دسی‌زیمنس بر متر، لاین‌های مورد مطالعه را به چهار گروه تقسیم نمود. گروه اول شامل تعداد شش لاین به‌عنوان گروه خیلی حساس، گروه دوم شامل دو لاین به‌عنوان گروه حساس، گروه سوم با سه ژنوتیپ شامل لاین‌های MP9، MP10 و رقم طارم دیلمانی (شاهد متحمل) به‌عنوان گروه متحمل و گروه چهارم با شش ژنوتیپ شامل لاین‌های MP11، MP12، MP13 و رقم نونابوکرا (شاهد متحمل) و همچنین رقم‌های سپیدرود و IR29 با تحمل بالای شوری بود. همچنین تجزیه بای‌پلات براساس صفات زراعی در سطح شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر (شکل ۳b)، لاین‌های مورد مطالعه را به چهار گروه تقسیم نمود. گروه اول تعداد سه لاین به‌عنوان گروه خیلی حساس، گروه دوم شامل شش لاین به‌عنوان گروه



شکل ۳- نمودار بای‌پلات لاین‌های موتانت مورد مطالعه در سطح شوری چهار (a) و هشت (b) دسی‌زیمنس بر متر براساس صفات زراعی
Figure 3. Biplot diagram of the studied mutant lines at salinity levels of 4 (a) and 8 (b) dS.m⁻¹ based on agronomical traits.

(زمان×شوری×ژنوتیپ) در تمام صفات بیوشیمیایی مورد بررسی معنی‌دار شد. اولادی و همکاران (Oladi Ghadikolaei *et al.*, 2020) نیز در تحقیقی روی برنج نشان دادند که اثرات اصلی و اثرات متقابل تیمارهای زمان در شوری، زمان در ژنوتیپ، شوری در ژنوتیپ و همچنین زمان در شوری در ژنوتیپ برای صفات بیوشیمیایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمایش برای صفات بیوشیمیایی شامل محتوای پروتئین محلول، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، غلظت پرولین، درصد نشت الکترولیت و میزان مالون‌دی‌آلدهید (جدول ۷) نشان داد که اثر ساده زمان، شوری و ژنوتیپ در تمام صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین برهم‌کنش دوگانه بین عوامل مورد بررسی شامل زمان×شوری، زمان×ژنوتیپ، شوری×ژنوتیپ و نیز برهم‌کنش سه‌گانه آنها

جدول ۷- تجزیه واریانس صفات بیوشیمیایی اندازه‌گیری شده لاین‌های موتانت برنج نسل دهم در شرایط تنش شوری
Table 7. Varieties analysis of measured biochemical traits of M10 generation rice mutant lines under salt stress conditions

مالون دی‌آلدهید MDA	فعالیت کاتالاز Catalase	نشت الکترولیت Electrolyte leakage	پرولین Proline	پروتئین Protein	فعالیت سوپراکسید دیسموتاز SOD	درجه آزادی	
0.066**	5.710**	0.079**	159.61**	0.005**	1999.69**	2	بلوک Block
0.070**	1.290**	3030.920**	13694.72**	0.051**	8321.63**	2	زمان (T) Time
0.000005 ^{ns}	0.0085 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	6.077 ^{ns}	70.29**	4	اشتباه (زمان) Error (time)
0.820**	4.230**	3981.690**	387040.32**	0.150**	15228.00**	2	شوری (S) Saltiness
0.013**	0.450**	854.890**	5067.57**	0.011**	4413.97**	16	ژنوتیپ (G) Genotype
0.180**	4.140**	1458.170**	11533.98**	0.300**	9421.58**	4	شوری×زمان S×T
0.023**	0.800**	544.370**	2472.60**	0.012**	2939.81**	32	شوری×ژنوتیپ S×G
0.008**	0.650**	179.640**	2719.19**	0.004**	488.47**	32	زمان×ژنوتیپ T×G
0.012**	0.510**	236.470**	2682.278**	0.005**	617.65**	64	زمان×شوری×ژنوتیپ T×S×G
0.0015	0.040	0.0043	0.15	6.950	12.61	300	اشتباه کل Total error
8.90	26.90	0.08	0.58	1.12	5.42		ضریب تغییرات CV

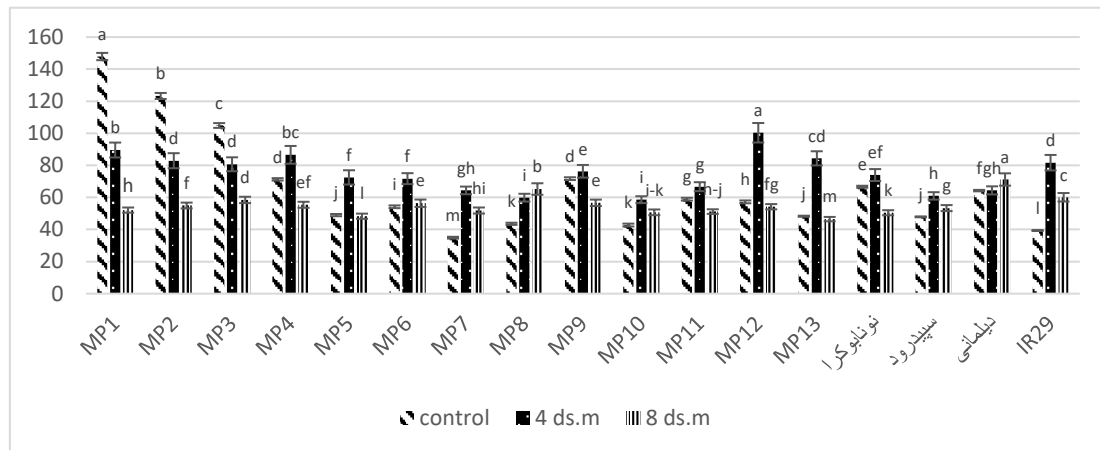
**، * و ^{ns}: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ و عدم معنی‌داری.
**, * and ^{ns}: Significant difference at the probability levels of 0.01, 0.05 and non-significant, respectively.

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به عنوان اولین سد دفاعی در مقابل حمله رادیکال‌های اکسیژن، در مقابل خسارات ناشی از تنش شوری مقاومت می‌نماید. در تحقیقی باقری و خسروی‌نژاد (Bagheri & Khosrovinejad, 2015) نشان دادند که فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز از صفر تا ۲۰۰ میلی‌مولار نمک روند افزایشی و سپس در غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار روند کاهشی نشان داد. افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز در واکنش به تنش شوری پیش‌تر (Chunthaburee

مقایسه میانگین موتانت‌های مورد بررسی در سطوح مختلف شوری برای فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نشان داد که در سطح شاهد (بدون تنش شوری) بیشترین و کمترین میزان فعالیت آنزیم برای ژنوتیپ‌های MP1 و IR29 و در سطح شوری چهار دسی‌زیمنس بر متر برای MP12، MP8 و MP10 و همچنین در سطح شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر برای طارم دیلمانی و MP13 مشاهده شد (شکل ۴). با افزایش میزان شوری، سامانه آنتی‌اکسیدانی گیاه برنج فعال شده و با افزایش

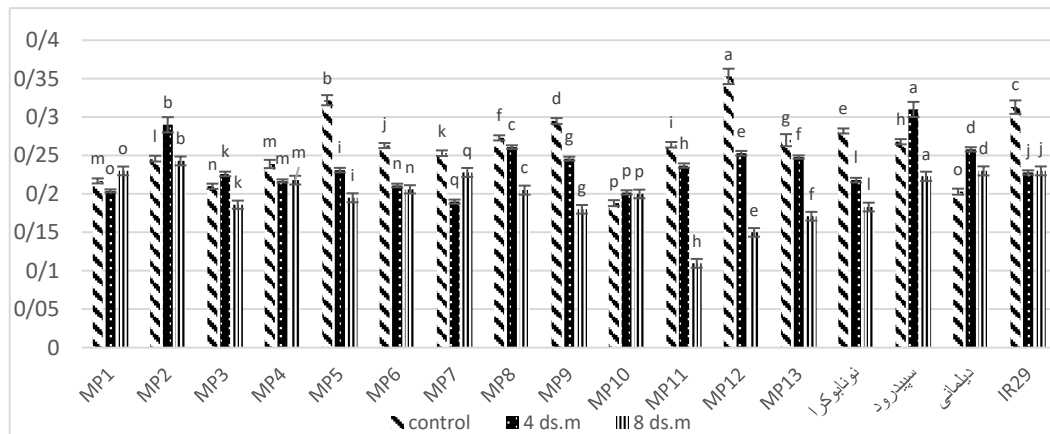
کاهش یابد (Khanna-Chopra and Selote, 2007). نتایج مطالعات یونسی و همکاران (Yonsi *et al.*, 2018) در گیاه آلورپوس، سیبول و همکاران (Sibole *et al.*, 2003) در گیاه یونجه و کاپور و همکاران (Kapoor & Srivastava, 2010) در گیاه ماش سیاه نشان داد که با افزایش میزان تنش شوری، محتوای پروتئین نیز افزایش پیدا می‌کند. در مقایسه، کاهش محتوای پروتئین و افزایش پرولین به دلیل شوری در گونه‌های مختلف گیاهی گزارش شده است (Abdul Qados, 2011, Ahmad *et al.*, 2015, Ghadirnezhad Shiade *et al.*, 2021).

در شکل ۵ مقایسه میانگین موتانت‌های مورد بررسی در سطوح شوری مختلف شوری برای صفت پروتئین در سطح شاهد بدون تنش شوری بیشترین و کمترین میزان برای ژنوتیپ‌های MP10 و MP12 و در سطح شوری چهار دسی‌زیمنس بر متر برای رقم حساس سپیدرود و MP7 و همچنین برای سطح شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر MP2 و MP11 مشاهده شد. برخی محققان نیز معتقدند که سنتز پروتئین‌ها و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در تنش‌های شدید شوری ممکن است



شکل ۴- مقایسه میانگین سوپراکسید دیسموتاز اندازه‌گیری شده لاین‌های موتانت نسل دهم در شرایط تنش شوری. در هر سطح شوری، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 4. Comparison of the average SOD measured in M10 generation rice mutant lines under salt stress conditions. Means in each salinity levels followed by similar letter are not significantly different at 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test



شکل ۵- مقایسه میانگین پروتئین اندازه‌گیری شده لاین‌های موتانت نسل دهم در شرایط تنش شوری. در هر سطح شوری، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

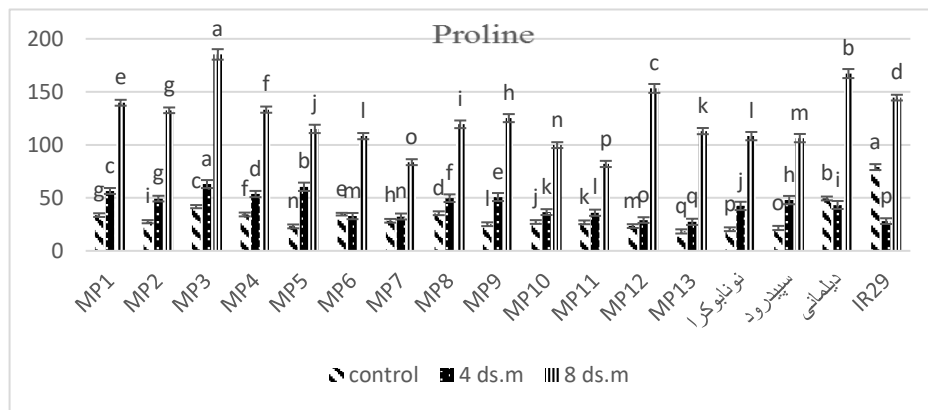
Figure 5. Comparison of the average Protein measured in M10 generation rice mutant lines under salt stress conditions. Means in each salinity levels followed by similar letter are not significantly different at 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test

یافته‌ها، با افزایش سطح تنش شوری میزان پرولین در تمام ژنوتیپ‌ها بیشتر شد (شکل ۶). پرولین نقش عمده‌ای در میزان تحمل به شوری داشته و به‌عنوان یک محافظ در ساختار، پتانسیل و فشار اسمزی بخش‌های مختلف سلول ایفای نقش می‌کند. بر همین اساس، میزان تجمع پرولین در گیاهان تحت

شاهد، بدون تنش شوری، بیشترین و کمترین میزان برای ژنوتیپ‌های IR29 و MP13، در سطح شوری چهار دسی‌زیمنس بر متر برای رقم حساس MP3 و MP13 و همچنین برای سطح شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر در دو ژنوتیپ MP3 و MP11 مشاهده شد (شکل ۶). بر اساس

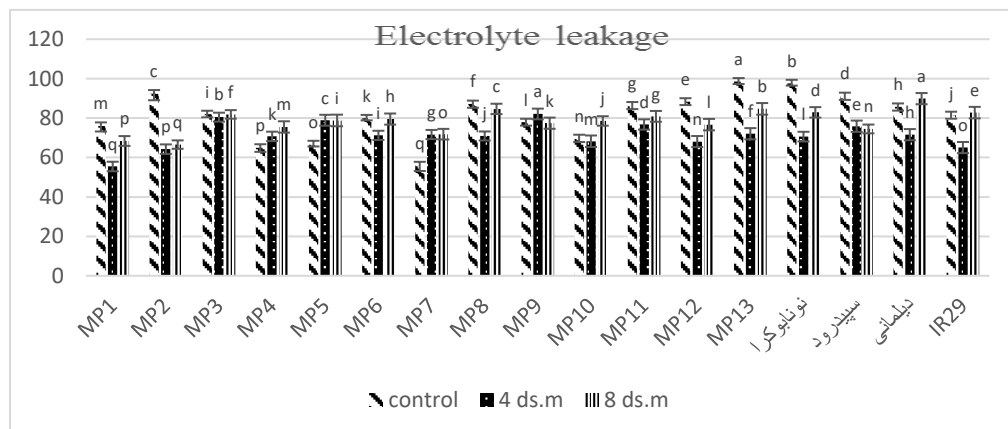
مقایسه میانگین موتانت‌های مورد بررسی در سطوح شوری مختلف شوری برای صفت نشت الکترولیت در شکل ۷ نشان داده شد. در سطح شاهد بیشترین و کمترین میزان به‌ترتیب برای ژنوتیپ‌های MP7 و MP11، در سطح شوری چهار دسی‌زیمنس بر متر برای رقم حساس MP9 و MP1 و همچنین برای سطح شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر در رقم طارم دیلمانی و موتانت MP2 مشاهده شد (شکل ۷). قدیر نژاد و همکاران (Ghadirnezhad Shiade *et al.*, 2021) نیز در بررسی موتانت‌های برنج در تنش شوری مشاهده کردند که در سطح تنش بالا میزان نشت یونی افزایش یافت. برخی از مطالعات گزارش کردند که پراکسیداسیون لیپیدی بالاتر و نشت الکترولیت بالاتر تحت شوری در گونه‌های گیاهی حساس به نمک از جمله برنج، گندم و ذرت (Xie, X *et al.*, 2019, Yong *et al.*, 2020, Mekawy *et al.*, 2018) و همچنین گیاه مقاوم جو (Naghavi & Khalily, 2020) مشاهده شد، در حالی که مقادیر کم MDA با تحمل به نمک مرتبط بود.

شرایط تنش شوری رابطه مستقیم با میزان تحمل به شوری دارد (Wi *et al.*, 2006, Zhang *et al.*, 2012). کاناوایی و همکاران (Kanawapee *et al.*, 2012) تاثیر تنش شوری روی پارامترهای فیزیولوژیک در ۱۰۶ ژنوتیپ برنج را مورد آزمایش قرار دادند و بیان کردند که پرولین به‌عنوان شاخص مناسب جهت شناسایی ارقام حساس از متحمل به شوری به‌کار گرفته می‌شود. نتایج مطالعات زیادی باقری و خسروی‌نژاد (Bagheri & Khosrovinejad, 2015) و احمد و همکاران (Ahmad *et al.*, 2010) نیز نشان داد که با افزایش تنش شوری میزان پرولین بیشتر می‌شود (Ahmad *et al.*, 2010, Bagheri & Khosrovinejad, 2015, Mardani-Nezhad & Vazirpour, 2007, Musavizadeh *et al.*, 2018). در مقایسه، گزارش‌هایی نیز برای برنج موجود است که نشان می‌دهد میزان سدیم و پرولین در ژنوتیپ‌های حساس برنج نسبت به ژنوتیپ‌های متحمل افزایش بیشتری دارد (Wang *et al.*, 2016, Chunthaburee *et al.*, 2016, Negrao *et al.*, 2017, Shereen *et al.*, 2009).



شکل ۶- مقایسه میانگین پرولین اندازه‌گیری شده لاین‌های موتانت برنج نسل دهم در شرایط تنش شوری. در هر سطح شوری، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 6. Comparison of the average Proline measured in M10 generation rice mutant lines under salt stress conditions. Means in each salinity levels followed by similar letter are not significantly different at 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test



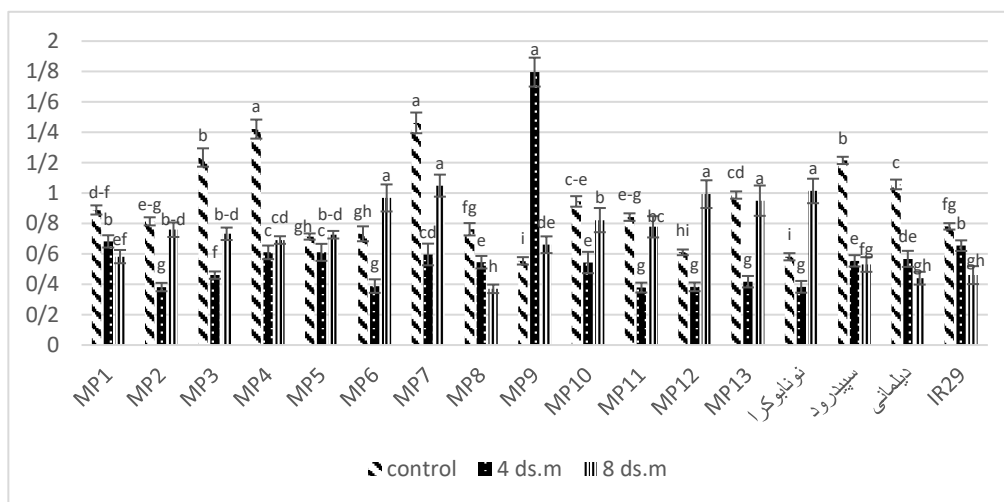
شکل ۷- مقایسه میانگین نشت الکترولیت اندازه‌گیری شده لاین‌های موتانت برنج نسل دهم در شرایط تنش شوری. در هر سطح شوری، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 7. Comparison of the average Electrolyte leakage measured in M10 generation rice mutant lines under salt stress conditions. Means in each salinity levels followed by similar letter are not significantly different at 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test

سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز در لاین‌های متحمل به شوری گزارش شد. هوآنگ و همکاران (Hoang *et al.*, 2016) نیز نشان دادند که رقم متحمل پوکالی فعالیت کاتالازی بیشتری دارد. افزایش سطح شوری می‌تواند فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز را در ارقام حساس به شوری کاهش دهد اما در ارقام متحمل منجر به افزایش مقدار فعالیت کاتالاز می‌گردد (Kibria *et al.*, 2017).

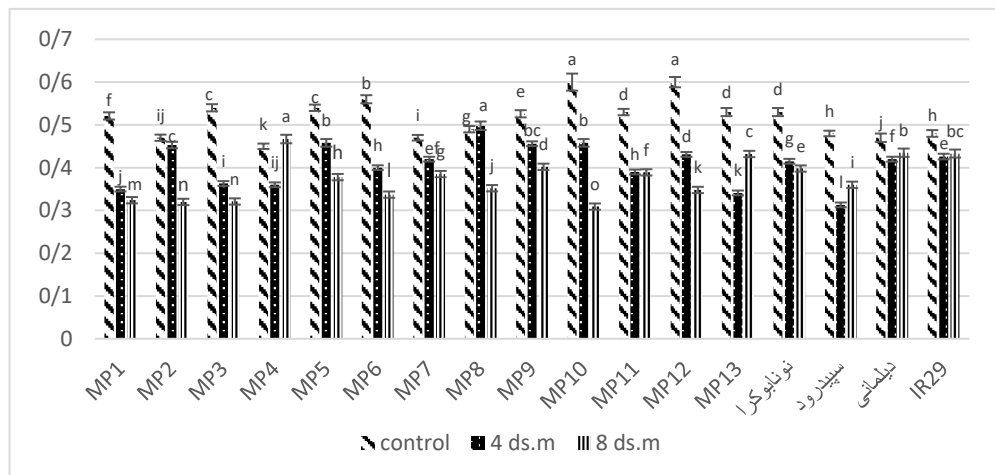
مقایسه میانگین موتانت‌های مورد بررسی در سطوح مختلف شوری برای صفت مالون‌دی‌آلدهید در شکل ۹ نشان داده شده است. در این آزمایش با توجه به اینکه شاهد نونابوکرا در محله رویشی تحمل خوبی دارد و نمونه‌گیری در مرحله زایشی انجام شد از شاهد دیلمانی در تفسیر به‌عنوان شاهد متحمل استفاده گردید. با توجه به شکل ۹ لاین‌های MP13 و MP4 روندی شبیه رقم شاهد دیلمانی که در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر ابتدا کاهش و سپس در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر افزایش را نشان داد. باقری و خسروی‌نژاد (Bagheri & Khosrovinejad, 2015) مشاهده کردند که تاثیر تنش شوری در برنج در غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار، میزان مالون‌دی‌آلدهید را به ۳/۶ برابری نسبت به غلظت صفر میلی‌مولار کلرید سدیم افزایش داد. باتاچارجی و موکارجی (Bhattacharjee & Mukherjee, 2002) نیز گزارش کردند که هرچند تنش شوری سبب افزایش تولید مالون‌دی‌آلدهید در بافت برگ برنج شد اما میزان تولید آن در رقم حساس به شوری بیشتر از رقم متحمل به شوری بود.

بر اساس یافته‌ها، در سطح شاهد بدون تنش شوری بیشترین و کمترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در ژنوتیپ‌های MP4 و MP9 و رقم متحمل نونابوکرا و در سطح شوری چهار دسی‌زیمنس بر متر بیشترین برای لاین MP9 و همچنین برای سطح شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر لاین‌های MP7، MP6، MP12، MP13 و رقم متحمل نونابوکرا دارای بیشترین و کمترین میزان در لاین MP8 مشاهده شد (شکل ۸). در ارقام شاهد به‌جز نونابوکرا با افزایش سطح تنش شوری میزان فعالیت آنزیم کاتالاز کاهش پیدا می‌کند و در ادامه برای موتانت‌های مورد آزمایش در بیشتر سطوح تنش از سطح شوری شاهد تا سطح شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر ابتدا کاهش و سپس بیشتر شد (شکل ۸). یونسی و همکاران (Yonsi *et al.*, 2018) در گیاه آلورپوس مشاهده کردند که فعالیت آنزیم کاتالاز در برگ در هر دو غلظت ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار نمک کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد (بدون تنش شوری) نشان داد. کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تنش‌های غیرزیستی با تنش اکسیداتیو در هالوفیت‌ها نشان داده شده است (Shabala & Mackay, 2011). در برنج، نظرهای متفاوتی در مورد پاسخ‌های گیاه به تنش اکسیداتیو وجود دارد. نوبل و راجرز (Noble & Rogers, 1992) افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز و کاهش فعالیت کاتالاز را در افزایش مواجهه گیاه با سطوح شوری گزارش کردند. در مقایسه، نتایج خطیب و همکاران (Al-Khatib *et al.*, 1993) افزایش فعالیت کاتالاز و کاهش فعالیت



شکل ۸- مقایسه میانگین کاتالاز اندازه‌گیری شده لاین‌های موتانت برنج نسل دهم در شرایط تنش شوری. در هر سطح شوری، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

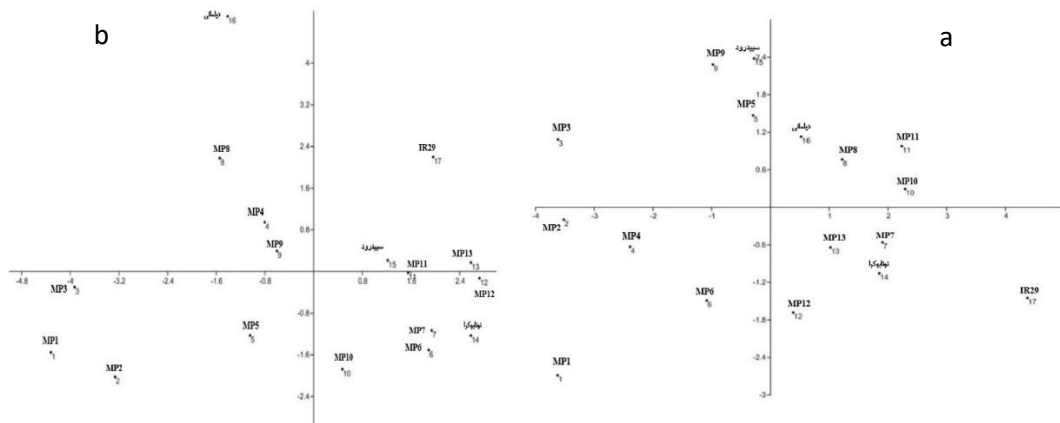
Figure 8. Comparison of the average Catalase measured in M10 generation rice mutant lines under salt stress conditions. Means in each salinity levels followed by similar letter are not significantly different at 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test



شکل ۹- مقایسه میانگین مالون‌دی‌آلدهید اندازه‌گیری شده لاین‌های موتانت برنج نسل دهم در شرایط تنش شوری. در هر سطح شوری، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. Figure 9. Comparison of the average MDA measured in M10 generation rice mutant lines under salt stress conditions. Means in each salinity levels followed by similar letter are not significantly different at 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test

لاین به‌عنوان گروه خیلی حساس قرار گرفتند. گروه دوم شامل پنج لاین از جمله رقم نونابوکرا (شاهد متحمل) به‌عنوان گروه حساس بود. در گروه سوم سه لاین MP9، MP8، MP4 به‌همراه رقم دیلمانی (شاهد متحمل) به‌عنوان گروه متحمل قرار گرفتند. گروه چهارم نیز سه لاین MP13 به‌همراه سپیدرود و IR29 (شاهد حساس) به‌عنوان گروه با تحمل بالا به شوری شناسایی شدند. در پژوهش اولادی و همکاران (Oladi *et al.*, 2020) در تجزیه بای‌پلات نیز لاین‌های موتانت برنج نسل نهم در گروه‌های چهارگانه با تحمل‌های مختلف گروه‌بندی شدند

تجزیه بای‌پلات (شکل ۱۰) لاین‌های مورد مطالعه برای صفات بیوشیمیایی در سطح شوری چهار دسی‌زیمنس بر متر را به چهار گروه تقسیم نمود. در گروه اول سه لاین به‌عنوان گروه خیلی حساس، گروه دوم شامل پنج ژنوتیپ از جمله نونابوکرا (شاهد متحمل) و IR29 (شاهد حساس) به‌عنوان گروه حساس، گروه سوم چهار لاین به‌نام‌های MP3، MP5، MP9 و رقم سپیدرود (شاهد حساس) به‌عنوان گروه متحمل و گروه آخر، چهار لاین MP11، MP10، MP8 و رقم دیلمانی (شاهد متحمل) به‌عنوان تحمل بالای شوری شناسایی شدند. در سطح شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر نیز در گروه اول تعداد چهار



شکل ۱۰- نمودار بای‌پلات لاین‌های موتانت مورد مطالعه در سطح شوری ۴ (a) و ۸ (b) دسی‌زیمنس بر متر براساس صفات بیوشیمیایی Figure 10. Biplot diagram of the studied mutant lines at salinity levels of 4 (a) and 8 (b) dS.m⁻¹ based on biochemical traits

تشکر و قدردانی

به این وسیله از پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان و همچنین همکاران بخش مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده به‌ویژه از آقایان دکتر مرتضی اولادی، دکتر عمار افخمی و مهندس مجتبی آقاجانی برای کمک در اجرای این پژوهش سپاسگزاری می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع و با توجه اولویت عملکرد و همچنین شناخت سازوکارهای بیوشیمیایی لاین‌های مورد مطالعه در مزارع شور، لاین MP10 با عملکرد شل‌توک نزدیک به رقم دیلمانی (متحمل داخلی) و ویژگی‌های مطلوب بیوشیمیایی به‌عنوان لاین برتر برای ادامه تحقیقات در شرایط شور انتخاب و شناسایی گردید.

References

- Abdul Qados, A.M.S. (2011). Effect of salt stress on plant growth and metabolism of bean plant *Vicia faba* (L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 10(1), 7-15.
- Abd Mishani, C., Shahnejat-Bushehri, A. A. 2015. Advanced Plant Breeding. Tehran University Publications. 320p (In Persian).
- Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. *Methods in Enzymology*, 105, 121-126.
- Afkhami Ghadi, A., Habibzadeh, F., Hosseini, S.J. (2021). Evaluation of rice genotypes from crossing based on salinity stress tolerance indices. *Journal of Crop Breeding*, 13(39), 108-121 (In Persian).
- Ahloowalia, Bs., Maluszynski, M. (2001). Induced mutations—A new paradigm in plant breeding. *Euphytica*, 118, 167-173.
- Ahmad, P., Jaleel, C.A., Salem, M.A., Nabi, G., Sharma, S. (2010). Roles of enzymatic and non-enzymatic antioxidants in plants during abiotic stress. *Critical Reviews in Biotechnology*, 30(3), 161–175.
- Ahmad, P., A. Hashem, E.F. Abd-Allah, A.A. Alqarawi, R. John, D. Egamberdieva and S. Gucel. (2015). Role of *Trichoderma harzianum* in mitigating NaCl stress in Indian mustard (*Brassica juncea* L.) through antioxidative defense system. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1-15.
- Al-Khatib, M., McNeilly, T., Collins, J.C. (1993). The potential of selection and breeding for improved salt tolerance in lucerne (*Medicago sativa* L.). *Euphytica*, 65, 43-51.
- Anbarasan, K., Sivalingam, D., Rajendran, R., Anbazhagan, M., Chidambaram, A.A. (2013). Studies on the mutagenic effect of EMS on seed germination and seedling characters of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Var. T MV3. *International Journal of Research in Biological Sciences*, 3, 68-70.
- Ando, A. (1970). Mutant induction in rice by radiation combined with chemical Protestants and mutagens. In rice breeding with induced mutant II. IAEA. Vienna, 1-5.
- Bagheri, L. and A. Fallah. (2016). Producing of tolerant cultivars to salinity stress in rice (*Oryza sativa* L.) using mutation and biotechnology. Agricultural Research, Education and Extension Organization Publications, 50 pp (In Persian).
- Bagheri, A.A., Khosrovinejad, F. (2015). Investigation of biochemical parameters and activity of antioxidant enzymes of rice Under the influence of salinity stress. *Developmental Biology Quarterly*, 8(4), 1-10.
- Bates, L.S., Waldren, R.P., and Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free praline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.
- Biabani, A., Sabouri, H., Nakhzari, A. (2012). Study of yield components of rice cultivars under salinity stress condition. *Journal of Plant Production*, 19(4), 173-186 (In Persian).
- Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. *Annual Review of Biochemistry*, 72, 248-254.
- Beauchamp, C.U., Fridovich, I. (1971). Improved assays for superoxide dismutase and an assay applicable to polyacrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, 44, 276-87.
- Bhattacharjee, S. and A.K. Mukherjee. (2002). Salt stress induced cytosolute accumulation, antioxidant response and membrane deterioration in three rice cultivars during early germination. *Seed Science and Technology*, 30, 279-287.
- Chawla, S., Jain, S., Jain, V. (2013). Salinity induced oxidative stress and antioxidant system in salt-tolerant and salt-sensitive cultivars of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 1, 27-34.
- Chanyalew, S., Tefera, H., Singh, H. (2009). Genetic variability, heritability and trait relationships in recombinant inbred lines of tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter]. *Research Journal of Agriculture & Biological Science*, 5, 474-479.
- Chunthaburee, S., A. Dongsansuk, J. Sanitchon, W. Pattanagul and P. Theerakulpisut. (2016). Physiological and biochemical parameters for evaluation and clustering of rice cultivars differing in salt tolerance at seedling stage. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 23, 467-477.
- Da Luz, V.K., S.F.S. da Silveira, G.M. da Fonseca, E.L. Groli, R.G. Figueiredo, D. Baretta, et al. (2016). Identification of variability for agronomically important traits in rice mutant families. *Bragantia*, 75, 41-50.
- Fahad, S., A.A. Bajwa, U. Nazir, S.A. Anjum, A. Farooq, A. Zohaib, S. Sadia, W. Nasim, S. Adkins, S., Saud, M.Z. Ihsan, H. Alharby, C. Wu, D. Wang and J. Huang. (2017). Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. *Frontier in Plant Science*, 8, 1-8.
- Fallah, A., Bagheri, L., Nabipour, A., Mogheseh, A. (2018). Comparison agronomical characteristics, yield and grain quality of rice mutant's tolerance to salinity. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 14(2), 79-87
- FAO. 2021. Global Map of Salt Affected Soils Version 1.0. <https://www.fao.org/soils-po>.
- Farooq, S.H., Azam, F. (2006). The use of cell membrane stability (CMS) technique to screen for salt tolerant wheat varieties. *Journal of Plant Physiology*, 163, 629-637.
- Ghadirnezhad Shiade, Sr., Esmaili, M., Pirdashti, H., Nematzadeh, Gh. (2021). Physiological and biochemical evaluation of sixth generation of rice (*Oryza sativa* L) mutant lines under salinity stress. *Journal of Plant Process and Function*, 9(35), 57-72 (In Persian)
- Gain, P., M annan, M. A., Pal, P. S., Maheb Hossain, M., Parvin, S. (2004). Effect of salinity on some yield attributes of rice. *Pakistan Journal of Biological Science*, 7(5), 760-762.
- Ghorbani, M., R. Hosseini and M. Zahed. (2007). Effect of NaCl stress on 10 rice genotypes in vegetative stage. *Journal of Agricultural Science and Natural Recourse*, 5, 84-87 (In Persian).
- Gupta, B., Huang, B. (2014). Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. *International Journal of Genomics*, 1-18.
- Hasamuzzaman, M., Fujita, M., Islam, M. N., Ahamed, K. U. and Nahar, K. (2009). Performance of four irrigated rice varieties under different levels of salinity stress. *International Journal of Integrative Biology*, 6(2), 85-90.
- Hashemi et al. (1997). Utilization of saline water in sustainable agriculture. Mashhad University Jahad. Mashhad (In Persian).
- Heath, R. L. & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125, 189-198.

- Oladi Ghadikolaie, M., Nematzadeh Ghara, G.A., Ranjbar, G. A., Hashemi-petroudi, S.H. (2020). Molecular validation of genes responsive to salinity stress and evaluation of their allelic diversity in mutant rice. *Journal of Plant Process and Function*, 9(5), 57-69 (In Persian).
- Pasha, A., Babaeian Jelodar, N., Bagheri, N., Najafi Zarrini, H. (2022). Evaluation of Morphological Behavior of Some Rice Genotypes under Drought Stress. *Journal of Crop Breeding*, 13(40), 142-150 (In Persian).
- Pundir, P., Sharma, P.C., Krishnamurthy, S.L., Devi, A., Warraich, A.S., Sharma, A.K. (2016). Utilization of Salt Stress Indices and Genetic Variability in F2 Population (PS5×CSR10) of Rice for Salinity Tolerance at Reproductive Stag. *Journal of Soil Salinity and Water Quality*, 8(1), 14-24.
- Rahman, M.A., M.J. Thomson, M. Shah-E-Alam, M.D. Ocampo, J. Egdane and A.M. Ismail. (2016). Exploring novel genetic sources of salinity tolerance in rice through molecular and physiological characterization. *Annals of Botany*, 117, 1083-1097.
- Razzaque, S., T. Haque, S.M. Elias, M.Z. Rahman, S. Biswas, S. Schwartz, A.M. Ismail, H. Walia, T.E. Juenger and Z.I. Seraja. (2017). Reproductive stage physiological and transcriptional responses to salinity stress in reciprocal populations derived from tolerant (Horkuch) and susceptible (IR29) rice. *Scientific Reports*, 7, 46138.
- Shabala, S. and Mackay, A. (2011). Ion transport in halophytes. *Advances in Botanical Research*, 57, 151-19.
- Sabori, H., A. Rezai and A. Moumeni. (2007). Evaluation salinity tolerance of traditional and breeding Iranian rice genotypes. *Agricultural Science and Natural Recourse Journal*, 45, 47-63 (In Persian).
- Saeedzadeh, F., Taghizadeh, R., Gurbanov, E. (2018). Investigating the effect of salinity on agronomic and biochemical traits of different rice cultivars under field conditions. *Quarterly Scientific Research Journal of Physiology of Crop Plants*, 9(36), 101-120 (In Persian).
- Saleem MY, Mukhtar Z, Cheema AA, Atta BM. (2005). Induced mutation and in vitro techniques as a method to induce salt tolerance in Basmati rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Environmental Science Technology*, 2, 41-145.
- Sayed, O.E.E., Rizkalla, A.A., Sabri SRS. (2007). In vitro Mutagenesis for genetic improvement of salinity tolerance in wheat. *Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 4, 377-383.
- Shereen, A., Ansari, R., Mumtaz, S., Bughio, Hr., Muftaba, Sm., Shirazi, Mu., Khan, Ma., (2009). Impact of gamma irradiation induced changes on growth and physiological responses of rice under saline conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 41, 2487-2495.
- Shereen A, Mumtaz S, Raza S, Khan, MA and Solangi S. (2005). Salinity effects on seedling growth and yield components of different inbred rice lines. *Pakistan Journal of Botany*, 37, 131-139.
- Sibole, J. V., Cabot, C., Poschenreder, C. and Barcelo, J. (2003). Efficient leaf ion partitioning, an overriding condition for abscisic acid-controlled stomatal and leaf growth responses to NaCl salinization in two legumes. *Journal of Experimental Botany*, 54, 2111-2119.
- Singh YP, Singh Dhananjaya, Sharma SK and Krishnamurthy SL. (2013). Evaluation of rice genotypes for yield, physiological and biological traits in sodic soils. *Journal of Soil Salinity and Water Quality*, 5(1), 40-49.
- Wang, W.S., X. Zhao, M. Li, L. Huang, J. Xu, F. Zhang, Y. Cui, B. Fu and Z. Li. (2016). Complex molecular mechanisms underlying seedling salt tolerance in rice revealed by comparative transcriptome and metabolomic profiling. *Journal of Experimental Botany*, 67(1), 405-419.
- Waziri, A., Kumar, P., Purty, R.S. (2016). Saltol QTL and Their Role in Salinity Tolerance in Rice. *Austin Journal Biotechnology and Bioengineering*, 3(3), 1-5.
- Wi SJ., Kim WT., Park KY. (2006). Overexpression of carnation S-adenosylmethionine decarboxylase gene generates a broad-spectrum tolerance to abiotic stresses in transgenic tobacco plants. *Plant Cell Reports*, 25, 1111-1121.
- Xie, X., Z. He, N. Chen, Z. Tang, Q. Wang and Y. Cai. (2019). The roles of environmental factors in regulation of oxidative stress in plant. *BioMed Research International*, 1-11.
- Yong, M.T., C.A. Solis, B. Rabbi, S. Huda, R. Liu, M. Zhou, L. Shabala, G. Venkataraman, S. Shabala and Z.H. Chen. (2020). Leaf mesophyll K⁺ and Cl⁻ fluxes and reactive oxygen species production predict rice salt tolerance at reproductive stage in greenhouse and field conditions. *Plant Growth Regulation*, 92, 53-64.
- Yonsi Melredi, A., Nematzadeh, Q., A. Pak Din Parisi, A. (2018). Antioxidant responses of different tissues of *Aeluropus littoralis* to salinity stress. *Journal of Plant Process and Function*, 8(32), 433-445 (In Persian).
- Zhang ZH., Liu Q., Song HX., Rong XM., Ismail AM. (2012). Responses of different rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to salt stress and relation to carbohydrate metabolism and chlorophyll content. *African Journal of Agricultural Research*, 7(1), 19-27.

- Hosseini, S.J., Tahmasebi, Z., Pirdashti, H. (2012). Screening of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes for NaCl tolerance at early seedling stage. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 3(8), 274-283 (In Persian).
- Hoang, T., Tran, T., Nguyen, T., Williams, B., Wurm, P., Bellairs, S. and Mundree, S. (2016). Improvement of salinity stress tolerance in rice: challenges and opportunities. *Agronomy*, 6, 54-60.
- Ismail, A.M. and T. Horie. (2017). Genomics, physiology, and molecular breeding approaches for improving salt tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 68, 405-434.
- Ismail, A.M., J.D. Platten and B. Miro. (2013). Physiological bases of tolerance of abiotic stresses in rice and mechanisms of adaptation. *ORYZA-An International Journal on Rice*, 50(2), 91-99.
- Information and Communication Technology Center of the Ministry of Agricultural Jihad. (2022). Report on the level, production and performance of crops in 2020-2021.
- Jafari Rad, S., Zavareh, M., Khaledian, M. M., Rezai, M. (2014). Evaluation of the tolerance of different genotypes of rice to irrigation water salinity. *Journal of Production and Processing of Agricultural and Horticultural Products*, 17(5), 1-12 (In Persian).
- Jana, M.K., Roy, K. (1973). Induced quantitative mutations in rice. *Radiation Botany*, 13, 245-257.
- Khademian R., Babaiean Jelodar N., Kianoosh, Gh. (2004) Study of gamma radiation mutagenesis effects on some Iranian rice cultivars. *Researches on Agricultural Sciences and Natural Resources of Khazar*, 2, 16-26 (In Persian).
- Khalili, M., Naghavi, M. R. (2020). Effect of salinity stress on physiological characteristics and protein profile of tolerant and sensitive barley (*Hordeum vulgare*) cultivars at vegetative growth stage. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 22(1), 32-49 (In Persian).
- Kanawapee, N., Sanitchon, J., Lontom, W., Threerakulpisut, P. (2012). Evaluation of salt tolerance at the seedling stage in rice genotypes by growth performance, ion accumulation, proline and chlorophyll content. *Plant and Soil*, 358, 235-249.
- Kapoor, K. and Srivastava, A. (2010). Assessment of salinity tolerance of Vinga mungo var. Pu-19 using ex vitro and in vitro methods. *Asian Journal of Biotechnology*, 2, 73-85.
- Khanna-Chopra, R. and Selote, D. S. (2007). Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than -susceptible wheat cultivar under field conditions. *Environmental Experimental Botany*, 60, 276-283.
- Kibria, M. G., Hossain, M., Murata, Y. and Hoque, M. A. (2017). Antioxidant Defense Mechanisms of Salinity Tolerance in Rice Genotypes. *Rice Science*, 24(3), 155-162.
- Krishnamurthy, S.L., Gautam, R. K., Sharma, P.C., Sharma, D.K. (2016). Effect of different salt stresses on agromorphological traits and utilisation of salt stress indices for reproductive stage salt tolerance in rice. *Field Crops Research*, 190, 26-33.
- Lee, S.Y., Cheong, J.I., Kim, T.S. (2003). Production of doubled haploids through anther culture of M1 rice plants derived from mutagenized fertilized egg cells. *Plant Cell Report*, 22, 218-223.
- Majidi Mehr, A., Amiri Fahliani, R. (2016). Analysis of the effect of salinity on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence indices and grain yield of some rice cultivars. *Journal of Crop Plant Breeding*, 8(18), 183-190 (In Persian).
- Maluszynski, M., K. Nichterlein, L. Van Zanten and S. Ahloowalia. (2000). Officially released mutant varieties-the FAO/IAEA Database (INIS-XA-291). International Atomic Energy Agency (IAEA): IAEA.
- Mardani-Nezhad, S.H., Vazirpour, M. (2007). The study of seed viability, amount of proline and chlorophyll of local genotypes of rice under salt stress. *Journal of Agroecology*, 3, 69-80 (In Persian).
- Mekawy, A.M.M., M.N. Abdelaziz and A. Ueda. (2018). Apigenin pretreatment enhances growth and salinity tolerance of rice seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 130, 94-104.
- Mirdar mansouri, Sh., Babaiean Jelodar. N., bagheri, N. (2013). The effect of NaCl stress on reproductive growth of Iranian rice based on tolerance and selection indices using biplot method. *Journal of Plant Production Research*, 19(1), 67-84 (In Persian).
- Ministry of Jihad Agriculture. (2022). Report on the level, production and performance of agricultural crops in the agricultural year of 2020-2021. Information and Communication Technology Center. 91 pp (In Persian).
- Mohammadi-Nejad, G., Singh, R. K., Arzani, A., Sabouri, H., Gregorio, G. B., and Rezaie, A. M. (2012). Evaluation of salinity tolerance in rice genotypes. *International Journal of Plant Production*, 4, 199-208 (In Persian).
- Mondal, M.M., Puteh, A. B., Malek, M. A., Rafii, M.Y. (2013). Salinity induced morpho-physiological characters and yield attributes in rice genotypes. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 11(2), 610-614.
- Moumeni, A., Mohammadian, M., Nouri, M.Z. (2008). Field Screening of Rice Genotypes for Salinity Tolerance in Mazandara. *Electronic Journal of Crop Production*, 2(2), 129-144 (In Persian).
- Musavizadeh, Z.S., Najafi-Zarini, H., Hashemi- Petroudi, S. H.R., Kazemitabar, S.K. (2018). Assessment of proline, chlorophyll and malondialdehyde in sensitive and tolerant rice (*Oryza sativa* L.) cultivars under salt stress conditions. *Journal of Crop Breeding*, 10, 28-35 (In Persian).
- Muthusamy A., Jayabalan N. (2013). Variation in seed protein content of cotton mutant lines by in vivo and in vitro mutagenesis. *Journal of Environmental Biology*, 34, 11-16.
- Mutant Variety Database. (2022). International Atomic Energy Agency (IAEA).
- Noble CL, Rogers ME. (1992). Arguments for the use of physiological criteria for improving the salt tolerance in crops. *An International Journal on Plant-Soil Relationships*, 146, 99-107.
- Negrão, S., S.M. Schmöckel and M. Tester. (2017). Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of Botany*, 119, 1-11.
- Oladi, M., Nemat Zadeh, Gh., Gholizadeh, A and Afkhami, A. (2014). Evaluation of rice mutant lines resulting from gamma radiation under salinity stress. 16th National Rice Conference. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Sari (In Persian).
- Oladi Ghadikolaie, M., Nematzadeh Ghara, G.A., Ranjbar, G. A., Hashemi-petroudi, S.H. (2020). Identification of rice mutants tolerant to salt stress via biochemical, quantitative and molecular evaluation. *Journal of Plant Process and Function*, 10(42), 295-312 (In Persian).