

تحقیقات غلات

دوره نهم / شماره چهارم / زمستان ۱۳۹۸ (۳۳۰-۳۱۵)

ارزیابی لاین‌های خویش‌آمیخته نوترکیب برنج (*Oryza sativa* L.) ایرانی به تنش شوری در مرحله رویشی

سیده مینو میرعرب رضی^۱، رضا شیرزادیان خرم‌آباد^{۲*}، حسین صبوری^۳، بابک ربیعی^۴ و حسین حسینی مقدم^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۱۱

چکیده

تنش شوری یکی از عوامل محدود کننده تولید در بسیاری از گیاهان زراعی از جمله برنج است. هدف از اجرای این تحقیق، بررسی واکنش ۸۹ لاین خویش‌آمیخته نوترکیب حاصل از تلاقی دو رقم برنج ایرانی طارم محلی و خزر تحت دو شرایط بدون تنش و تنش شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر در مرحله رویشی بود. آزمایش به‌صورت گلدانی و در شرایط هوای آزاد در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب تحت دو شرایط بدون تنش و تنش شوری نشان داد که اثر لاین و برهمکنش لاین×تنش برای کلیه صفات مورد مطالعه معنی‌دار و نشان‌دهنده واکنش متفاوت لاین‌ها در دو شرایط بود. نتایج تجزیه واریانس ساده نیز نشان داد که اختلاف بین لاین‌ها در هر دو شرایط برای همه صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. ارزیابی ضرایب همبستگی بین صفات نشان داد که تحت هر دو شرایط آزمایشی، بالاترین ضریب همبستگی بین دو صفت زیست‌توده و وزن خشک ساقه وجود داشت. تجزیه رگرسیون گام به گام برای صفت زیست‌توده تحت شرایط بدون تنش نشان داد که به‌ترتیب صفات طول ریشه، نسبت وزن ریشه به اندام هوایی، تعداد پنجه در روز ۱۲۰ و ارتفاع بوته در روز ۱۲۰، مهم‌ترین صفات موثر بر زیست‌توده بودند، در حالی که تحت شرایط تنش شوری، علاوه بر این چهار صفت دو صفت سطح ریشه و حجم ریشه نیز به‌عنوان صفات موثر بر زیست‌توده شناسایی شدند. نتایج تجزیه به‌عامل‌ها نیز نشان داد که تحت شرایط بدون تنش و تنش شوری، به‌ترتیب سه و پنج عامل مستقل و پنهانی، دلیل وجود همبستگی بین زیست‌توده و سایر صفات در لاین‌ها هستند. تجزیه خوشه‌ای به‌روش حداقل واریانس Ward تحت شرایط بدون تنش، لاین‌ها را در چهار گروه قرار داد که گروه چهارم شامل لاین‌های با ارزش بالاتر از میانگین کل برای بیش‌تر صفات بود. تحت شرایط شوری نیز لاین‌ها در سه گروه قرار گرفتند و لاین‌های گروه اول دارای بیش‌ترین مقدار زیست‌توده و کم‌ترین نمره ژنوتیپی و متحمل به شوری بودند. در کل نتایج این تحقیق نشان داد که لاین‌های شماره ۶، ۹، ۱۳، ۱۴، ۱۷، ۱۸، ۲۳، ۲۴، ۳۴، ۳۹، ۴۴، ۴۵، ۶۸، ۷۹ و ۸۰ علاوه بر زیست‌توده بالا، دارای مقادیر بالایی برای بیش‌تر صفات مورد مطالعه نسبت به سایر لاین‌ها بودند و بنابراین می‌توانند به‌عنوان لاین‌های متحمل به شوری در تحقیقات بعدی مورد توجه قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به‌عامل‌ها، تجزیه خوشه‌ای، رگرسیون گام به گام، زیست‌توده

- ۱- دانش‌آموخته دکتری، گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، پردیس دانشگاهی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
- ۲- دانشیار، گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
- ۳- دانشیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد، گنبد کاووس، ایران
- ۴- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
- ۵- استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد، گنبد کاووس، ایران

* نویسنده مسئول: r.shirzadian@guilan.ac.ir

برنج یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی دنیا و غذای ثابت بیش از نیمی از جمعیت جهان است. دانه‌های برنج حاوی ۷۵ تا ۸۰ درصد نشاسته، ۱۲ درصد آب و ۷ درصد پروتئین هستند (Hossain *et al.*, 2015). مواد معدنی نظیر کلسیم، منیزیم و فسفر به همراه آهن، مس، روی و فسفر نیز در برنج وجود دارند و این محصول یک منبع غنی از نیاسین، تیامین و ریبوفلاوین نیز هست (Oko *et al.*, 2012). این محصول در ۱۱۷ کشور و در همه قاره‌ها تولید می‌شود، به طوری که قاره آسیا با ۹۰/۱ درصد تولید جهانی رتبه اول را دارد و پس از آن، قاره آمریکا ۵/۱ درصد، آفریقا ۴/۲ درصد، اروپا ۰/۵ درصد و اقیانوسیه ۰/۱ درصد از تولید جهانی را دارا هستند (FAO, 2014). این موضوع ایجاب می‌کند که تحقیقات گسترده‌ای در تمامی نقاط دنیا روی برنج انجام شود.

افزایش گرمایش جهانی، کاهش نزولات جوی و شور شدن خاک‌های مستعد زراعی در سال‌های اخیر موجب شده است که محققان علوم کشاورزی در سراسر دنیا توجه ویژه‌ای به این عوامل تنش‌زای محیطی و آثار آن‌ها روی گیاهان داشته باشند. شوری، یکی از تنش‌های مهم غیرزیستی است که ضمن کاهش رشد و نمو و تولید محصولات کشاورزی، موجب از دست رفتن زمین‌های زراعی مستعد و ایجاد بیابان در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود (Pons *et al.*, 2011). بر اساس تعریف، خاک شور خاکی است که هدایت الکتریکی عصاره اشباع آن چهار دسی‌زیمنس بر متر باشد. این میزان تقریباً معادل ۴۰ میلی‌مولار NaCl است و فشار اسمزی معادل ۰/۲ مگاپاسکال ایجاد می‌کند و به‌طور معنی‌داری سبب کاهش تولید محصولات زراعی می‌شود (Munns and Tester, 2008). در تحقیقات زیادی مشخص شده است که تحمل به شوری یک صفت پیچیده و چندژنی است که در بر گیرنده فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیک گوناگونی است (Flower and Colmer, 2008). بیش از ۸۰۰ میلیون هکتار از زمین‌های زراعی دنیا تحت تاثیر شوری قرار دارند. این مقدار شامل بیش از شش درصد کل زمین‌های زراعی جهان است و اغلب این زمین‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارند (Munns and Tester, 2008). شوری بیش از حد در برنج موجب بروز آثار مختلف متابولیک مانند خسارت به دیواره سلولی،

پلاسمولیز، زوال سیتوپلاسم، آسیب به غشای آندوپلاسمی، افزایش تجمع سیترات، مالات و اینوزیتول در پهنک برگ، افزایش دو تا چهار برابری پرولین، کاهش فتوسنتز، کاهش میزان جوانه‌زنی و رشد گیاهچه و در نهایت کاهش محصول نهایی می‌شود (Yeo *et al.*, 1985). تبخیر و تعرق زیاد نیز در دوره رشد برنج سبب افزایش خسارت شوری می‌شود (Asch *et al.*, 2000). همچنین کاهش بیش‌تر کلروفیل a نسبت به کلروفیل b پس از مواجه شدن گیاه برنج با تنش شوری گزارش شده است که این عامل هم به دلیل اهمیت بیش‌تر کلروفیل a در فتوسنتز، به علت کم شدن تثبیت CO₂ است (Zhang *et al.*, 2012). برنج به‌عنوان یک گیاه حساس به شوری در نظر گرفته می‌شود، اما حساسیت آن به شوری در مراحل مختلف رشد، متفاوت است، به طوری که مراحل جوانه‌زنی، پنجه‌زنی و بلوغ نسبت به مراحل رشد برگ و باروری کم‌تر تحت تاثیر شوری قرار می‌گیرند (Khatun *et al.*, 1995).

یئو و فلاور (Yeo and Flower, 1984)، طی آزمایشی نشان دادند که در برنج، ژنوتیپ‌هایی که مقدار کم‌تری از یون سدیم را در ساقه‌های خود تجمع می‌کنند و نیز قادرند این یون را درون واکنش سلول‌های خود هدایت کنند، متحمل به شوری هستند. همچنین تجمع بیش از اندازه یون سدیم باعث از بین رفتن گیاهچه‌های ۱۰ تا ۱۴ روزه برنج در شوری ۵۰ تا ۷۰ میلی‌مولار شد. نتایج آزمایش دیگری نشان داد که افزایش شوری، ارتفاع گیاهچه‌های برنج را کاهش داد و باعث کاهش قابلیت پنجه‌زنی گیاه شد (Mehmood *et al.*, 2000). هم‌چنین گزارش شده است که ارتفاع گیاه، تولید ماده خشک و تسهیم ماده خشک در اندام‌های مختلف گیاه برنج تحت تاثیر تنش شوری به‌شدت تغییر می‌یابند و این کاهش ارتفاع و ماده خشک کل و در حقیقت رشد و نمو کم‌تر گیاه، ممکن است به دلیل تنش اسمزی ایجاد شده توسط شوری و یا اثر مستقیم تنش شوری و توقف سیستم فتوسنتزی گیاه برنج باشد (Moradi, 2002). فرهمندفر و همکاران (Farahmandfar *et al.*, 2009) گزارش کردند که ژنوتیپ‌های برنجی که مقاومت بیش‌تری به شوری نشان می‌دهند، می‌تواند به‌علت وجود مقاومت در ژرم‌پلاسم‌های آن‌ها باشد. حکیم و همکاران (Hakim *et al.*, 2010) و محمدی‌نژاد و همکاران (Mohammadi-Nejad *et al.*, 2010) کاهش معنی‌دار جوانه‌زنی و رشد

تحت شرایط بدون تنش و شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر در مرحله گلدهی طی دو سال ارزیابی کردند. نتایج کاهش عملکرد قابل توجهی را در لاین‌های برنج تحت تاثیر تنش شوری نشان داد. همچنین، عملکرد دانه ارتباط مثبت با تعداد خوشه در بوته، طول خوشه و شاخص برداشت و ارتباط منفی با درصد نازایی سنبلچه‌ها تحت شرایط تنش شوری داشت. این محققین با استفاده از هر دو روش تجزیه پایداری، لاین L-171 را که دارای فنوتیپ مشابه والد دوره‌ای خود بود، به‌عنوان لاین با پایداری عملکرد بالا تحت شرایط تنش شوری معرفی کردند.

با توجه به اهمیت برنج به‌عنوان یک محصول استراتژیک و نیز افزایش تنش شوری (آب و خاک) در مناطقی که این گیاه کشت می‌شود، این تحقیق انجام شد که هدف از آن، ارزیابی واکنش لاین‌های خویش‌آمیخته نوترکیب برنج ایرانی تحت شرایط بدون تنش و تنش شوری و گروه‌بندی آن‌ها به‌منظور شناسایی لاین‌های متحمل به شوری بود.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی این پژوهش، ۸۹ لاین F₈ حاصل از تلاقی ارقام طارم محلی × خزر بود که برای صفات مرفولوژیک ریشه و اندام هوایی گیاهچه تحت دو شرایط بدون تنش و شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر مورد مطالعه قرار گرفتند. آزمایش به‌صورت گلدانی و در شرایط هوای آزاد در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در دانشگاه گنبد کاووس در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ انجام شد. برای این منظور، بذر لاین‌های مورد مطالعه ابتدا با محلول دو درصد هیپوکلریت سدیم برای ۱۰ دقیقه ضد عفونی و سپس سه بار با آب مقطر شسته شدند. سپس بذرها هفت روز در دمای ۳۰ درجه سلسیوس در انکوباتور قرار گرفتند تا عمل جوانه‌زنی انجام شود. پس از جوانه‌زنی، گیاهچه‌ها به گلدان‌های سه لیتری منتقل و در داخل هر گلدان چهار گیاهچه کشت شد. برای اعمال تنش شوری از محلول آب نمک (NaCl) با غلظت هشت دسی‌زیمنس بر متر استفاده شد. میزان شوری محلول با دستگاه EC متر (مدل AZAZ86503) تنظیم شد. آبیاری گیاهان تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش تا ۵۰ روز پس از کشت بذرها در گلدان‌ها با آب معمولی انجام شد و سپس تحت شرایط بدون تنش، آبیاری تا پایان دوره رشد با آب معمولی ادامه یافت، اما آبیاری گیاهان تحت شرایط تنش

ارزیابی لاین‌های خویش‌آمیخته نوترکیب برنج به تنش شوری اولیه گیاهچه را در ژنوتیپ‌های مختلف برنج تحت شرایط شوری زیاد مشاهده کردند و شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر جوانه‌زنی ژنوتیپ‌ها را به‌طور کامل متوقف کرد. همچنین ژنوتیپ‌های مختلف برنج، پاسخ متفاوتی به سطوح مختلف شوری نشان دادند. در آزمایش دیگری مشخص شد که در شرایط شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، سدیم کم‌تری در بافت‌های ژنوتیپ‌های متحمل به شوری برنج تجمع یافت و نسبت سدیم به پتاسیم در آن‌ها کم‌تر بود، اما غلظت پتاسیم در ساقه و ریشه ژنوتیپ‌های متحمل بیش‌تر بود (Zhang et al., 2011). گزارش‌های موجود نشان می‌دهند که اثر تنش شوری در برنج در مرحله رویشی ابتدا در قسمت هوایی و جوان‌ترین برگ برنج مشخص می‌شود. اولین نشانه شدید شوری، تغییر رنگ نوک برگ‌های جوان است. بعد از یک هفته از تنش، نوک برگ‌ها پیچ خورده و تغییر رنگ می‌یابد و سپس آسیب ثانویه کم‌کم در برگ‌های پیر افزایش می‌یابد. بعد از سه هفته از تنش، برگ‌های پیر فقط کمی آسیب می‌بینند و برگ‌ها هنوز سبز هستند و فقط قسمت نوک آن‌ها پژمرده شده است (Falah et al., 2015). چانتابوری و همکاران (Chunthaburee et al., 2015) تحمل به شوری ۱۲ ژنوتیپ برنج را در مرحله گیاهچه‌ای تحت تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مول ارزیابی و مشاهده کردند که همه ارقام کاهش آشکار در ویژگی‌های رشدی شامل وزن تر، وزن خشک اندام هوایی و محتوای کلروفیل نشان دادند. همچنین افزایش محتوای پرولین، پراکسید هیدروژن، آنزیم پراکسیداز و آنتوسیانین در همه ارقام مشاهده شد. نسبت پتاسیم به سدیم نیز به‌عنوان شاخص تحمل به شوری در تحقیق آنها معرفی شد. راجش و همکاران (Rajesh et al., 2015) نیز شش ژنوتیپ برنج را در مرحله گیاهچه‌ای تحت شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر قرار دادند و ژنوتیپ‌های FL478 و Dhan48 را که نمره ژنوتیپی پایین، محتوای کلروفیل بالا، بیوماس ریشه و ساقه بالا، محتوای Na⁺ پایین و نسبت Na⁺/K⁺ اندام هوایی پایین‌تری در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها بودند، متحمل به شوری معرفی کردند.

چاتوپادھیای و همکاران (Chattopadhyay et al., 2017) تجزیه پایداری تحمل به شوری را با استفاده از دو روش AMMI و GGE-biplot در ۱۸۲ لاین BC₃F₄ حاصل از تلاقی رقم متحمل به شوری Pokali به‌عنوان والد بخشنده و رقم حساس IR64 به‌عنوان والد دوره‌ای

رتبه ۱ بسیار متحمل تا رتبه ۹ بسیار حساس رتبه‌بندی شدند)، چگالی ریشه (نسبت وزن خشک ریشه بر حجم ریشه)، نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی، طول ریشه (از ناحیه طوقه تا نوک بزرگترین ریشه بر حسب سانتی‌متر) و مساحت ریشه (با استفاده از رابطه $0.5 \times (\text{طول ریشه} \times \pi \times \text{حجم ریشه}) \times 2$ (Alizade, 2006)) بودند. تجزیه آماری داده‌ها شامل تجزیه واریانس ساده و مرکب با نرم‌افزار SAS ver. 9.2 و ضرایب همبستگی ساده صفات، رگرسیون گام به گام برای زیست‌توده و نمره ژنوتیپی به‌طور جداگانه، تجزیه به عامل‌ها (با روش تجزیه به مولفه‌های اصلی و چرخش وریماکس و در نظر گرفتن ضرایب عاملی با قدر مطلق بزرگ‌تر از ۰/۵ به‌عنوان ضرایب معنی‌دار) و تجزیه خوشه‌ای به‌منظور تعیین قرابت ژنتیکی لاین‌های مورد بررسی و گروه‌بندی آن‌ها بر اساس میانگین‌های تمامی صفات به‌روش حداقل واریانس وارد (Ward's minimum variance) با نرم‌افزار SPSS ver. 18 انجام شد.

شوری با آب شور هشت دسی‌زیمنس بر متر انجام شد. سایر عملیات زراعی مورد نیاز شامل کوددهی، حذف علف‌های هرز و مبارزه با آفات و بیماری‌ها در زمان مناسب انجام شدند.

صفات مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته در ۵۰ و ۱۲۰ روز پس از کاشت بر حسب سانتی‌متر، تعداد پنجه در ۵۰ و ۱۲۰ روز پس از کاشت، محتوای کلروفیل برگ (با دستگاه کلروفیل‌متر دستی مدل SPAD502 Minolta)، وزن خشک ریشه (با شستن و خشک کردن ریشه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت)، وزن خشک ساقه (با قرار دادن اندام هوایی در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت)، حجم ریشه (با قرار دادن ریشه درون استوانه مدرج با مقدار آب مشخص و محاسبه اختلاف حجم آب قبل و بعد از قرار گرفتن ریشه‌ها)، زیست‌توده (مجموع وزن خشک ریشه و ساقه)، نمره ژنوتیپی (به‌روش گره‌گوریو و همکاران (Gregorio et al., 1997)) بر اساس جدول ۱ که طبق آن، لاین‌ها از

جدول ۱- اندازه‌گیری نمره ژنوتیپی در برنج تحت شرایط تنش شوری به‌روش گره‌گوریو و همکاران (Gregorio et al., 1997)

Table 1. Measuring genotypic scores in rice under salinity stress conditions by Gregorio et al. (1997) method

| Score | Observation | Plant response |
|-------|---|---------------------|
| 1 | Normal growth, no leaf symptoms | Highly tolerant |
| 3 | Nearly normal growth, but leaf tips or few leaves whitish and rolled | Tolerant |
| 5 | Growth severely retarded; most leaves rolled; only a few are elongating | Moderately tolerant |
| 7 | Complete cessation of growth; most leaves dry; some plants dying | Susceptible |
| 9 | Almost all plants dead or dying | Highly susceptible |

نتایج و بحث

دو شرایط تفکیک شدند و ارزیابی لاین‌ها به‌تفکیک برای هر یک از شرایط بدون تنش و تنش شوری به‌طور جداگانه انجام شد. بررسی نتایج تجزیه واریانس ساده صفات مورد بررسی به‌تفکیک تحت شرایط بدون تنش (جدول ۳) و تنش شوری (جدول ۴) نیز نشان داد که اختلاف بین لاین‌ها در همه صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. به این ترتیب، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تنوع قابل‌توجه و کاملاً معنی‌داری بین ۸۹ لاین F₈ حاصل از تلاقی ارقام طارم محلی و خزر از نظر همه صفات ارزیابی شده تحت هر دو شرایط بدون تنش و تنش شوری در این تحقیق وجود دارد و بنابراین به‌نظر می‌رسد که بتوان لاین‌های مطلوب و مناسب هر یک از این دو شرایط و به‌ویژه لاین‌های متحمل به تنش شوری را انتخاب و معرفی کرد. صبوری و همکاران (Sabouri et al., 2009)، قمی و همکاران (Ghomi et

تجزیه واریانس مرکب و ساده: نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که تفاوت بین دو شرایط بدون تنش و تنش شوری و نیز تفاوت بین لاین‌ها برای کلیه صفات معنی‌دار بود (جدول ۲). وجود تفاوت بین لاین‌ها بیانگر وجود تنوع ژنوتیپی قابل توجه بین لاین‌ها برای صفات ارزیابی شده به‌طور متوسط تحت دو شرایط بدون تنش و تنش شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر در مرحله رویشی بود. برهمکنش لاین \times تنش نیز برای همه صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و نشان داد که واکنش لاین‌ها تحت دو شرایط بدون تنش و تنش یکسان نبود، به‌عبارت دیگر لاین‌های مورد مطالعه پاسخ‌های متفاوتی به دو شرایط بدون تنش و تنش شوری از نظر کلیه صفات ارزیابی شده داشتند. با توجه به پاسخ متفاوت لاین‌ها در دو شرایط آزمایشی، این

همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد پنجه در روز ۵۰ (**۰/۶۶۵) و تعداد پنجه در روز ۱۲۰ (**۰/۷۰۶) داشت. بین وزن خشک ریشه با حجم ریشه (**۰/۶۷۸) و چگالی ریشه (**۰/۶۹۴) نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد. نسبت وزن ریشه به ساقه، همبستگی مثبت و معنی‌داری با وزن خشک ریشه (**۰/۷۰۵) و چگالی ریشه (**۰/۵۴۲) داشت. طول ریشه نیز دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با وزن خشک ریشه (**۰/۱۰۰)، حجم ریشه (**۰/۶۷۸)، چگالی ریشه (**۰/۶۹۴) و نسبت وزن ریشه به ساقه (**۰/۷۰۵) و مساحت ریشه دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با وزن خشک ریشه (**۰/۹۴۱)، حجم ریشه (**۰/۸۸۴)، نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی (**۰/۵۹۴) و طول ریشه (*۰/۹۴۱) بود. بررسی صفت زیست‌توده نیز نشان داد که این صفت با تمامی صفات به‌جز محتوای کلروفیل و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی، همبستگی معنی‌دار و مثبت داشت، به‌طوری‌که بیش‌ترین همبستگی‌ها را به‌ترتیب با وزن خشک ساقه (**۰/۸۹۳)، وزن خشک ریشه و طول ریشه (**۰/۶۴۰)، تعداد پنجه در روز ۱۲۰ (**۰/۵۹۹) و تعداد پنجه در روز ۵۰ (**۰/۵۵۰) داشت. صبوری و همکاران (Sabouri et al., 2009) و قمی و همکاران (Ghomi et al., 2013) نیز در مطالعات خود روی ژنوتیپ‌های برنج که تحت شرایط هیدروپونیک انجام دادند، گزارش کردند که صفت زیست‌توده بالاترین ضریب همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی را با وزن خشک ساقه داشت و پس از آن به‌ترتیب وزن خشک ریشه، وزن تر ساقه و وزن تر ریشه دارای بالاترین ضریب همبستگی با زیست‌توده بودند. در مقابل، نمره ژنوتیپی که در مطالعات این محققین به‌عنوان شاخص تحمل ژنوتیپ‌های برنج به تنش شوری مورد ارزیابی قرار گرفت، دارای همبستگی منفی و معنی‌دار با زیست‌توده بود. در مطالعه دیگری در برنج که تحت شرایط تنش شوری انجام شد، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین زیست‌توده با وزن خشک ساقه، وزن خشک ریشه، ارتفاع بوته، طول ریشه و غلظت Na^+ در ریشه و همبستگی منفی با غلظت K^+ در ساقه و نسبت K^+/Na^+ در ساقه مشاهده شد (Farahmandfar et al., 2009).

(al., 2013) و عزیزی و همکاران (Azizi et al., 2017) نیز با مطالعه روی ارقام و لاین‌های برنج، گزارش کردند که تنوع معنی‌دار و قابل‌توجهی بین ژنوتیپ‌های برنج از نظر کلیه صفات وجود داشت، به‌طوری‌که می‌توان ضمن گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، ارقام و لاین‌های مطلوب را انتخاب و جهت کشت معرفی و یا با تلاقی بین ژنوتیپ‌های با فاصله ژنتیکی بیش‌تر، ارقام و یا هیبریدهای جدید که برتر از جمعیت اولیه باشند را تولید کرد.

همبستگی بین صفات مورد مطالعه: بررسی ضرایب همبستگی بین صفات باعث می‌شود که بتوان در مورد شاخص‌های غیرمستقیم انتخاب و حذف صفات غیرمرتبط با یک صفت وابسته مهم به‌طور بهتری تصمیم‌گیری کرد (Golparvar et al., 2003). بررسی ضرایب همبستگی بین صفات تحت شرایط بدون تنش (جدول ۵) نشان داد که بین ارتفاع بوته در روز ۱۲۰ با ارتفاع بوته در روز ۵۰ (**۰/۷۸۴) و بین تعداد پنجه در روز ۱۲۰ با تعداد پنجه در روز ۵۰ (**۰/۵۵۰) همبستگی مثبت معنی‌داری وجود داشت. وزن خشک ساقه، همبستگی مثبت و معنی‌دار با تعداد پنجه در روز ۵۰ (**۰/۵۹۰) و تعداد پنجه در روز ۱۲۰ (**۰/۵۸۷) و وزن خشک ریشه، همبستگی مثبت و معنی‌دار با تعداد پنجه در روز ۵۰ (**۰/۵۷۵) داشت. بین وزن خشک ریشه با حجم ریشه (**۰/۶۸۰) و چگالی ریشه (**۰/۶۳۵) همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد. نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی نیز همبستگی مثبت با وزن خشک ریشه (**۰/۷۷۵) و چگالی ریشه (**۰/۵۴۵) داشت. طول ریشه نیز دارای همبستگی مثبت با تعداد پنجه در روز ۵۰ (**۰/۵۷۵)، وزن خشک ریشه (**۰/۶۸۰)، مساحت ریشه (**۰/۹۳۷)، چگالی ریشه (**۰/۶۳۵) و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی (**۰/۷۷۵) بود. زیست‌توده نیز دارای همبستگی‌های مثبت بالا و معنی‌داری به‌ترتیب با وزن خشک ساقه (**۰/۸۷۵)، طول ریشه (**۰/۷۹۹)، مساحت ریشه (**۰/۶۴۸)، تعداد پنجه در روز ۵۰ (**۰/۶۹۴) و حجم ریشه (**۰/۵۷۸) بود.

بررسی همبستگی بین صفات تحت شرایط تنش شوری (جدول ۶) نیز نشان داد که ارتفاع بوته در روز ۱۲۰ با ارتفاع بوته در روز ۵۰ (**۰/۷۲۱) و تعداد پنجه در روز ۱۲۰ با تعداد پنجه در روز ۵۰ (**۰/۷۹۴) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. وزن خشک ساقه

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات مورد مطالعه در ۸۹ لاین خویش‌آمیخته نوترکیب برنج تحت شرایط بدون تنش و تنش شوری

Table 2. Combined analysis of variance of the studied traits in 89 rice recombinant inbred lines under non-stress and salinity stress conditions

| Source of variations | df | Mean squares [†] | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----|---------------------------|---------|---------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|----------|---------|-----------|------------|------------|-----------|
| | | PHD50 | NTD50 | CHC | PHD120 | NTD120 | SDW | RDW | RV | RD | R/S | RL | RA | B | GC |
| Salinity stress | 1 | 138.83** | 7.48** | 4.71** | 32811.4** | 10976.89** | 11938.89** | 2629.36** | 84684.3** | 0.0288** | 1.099** | 2082.36** | 58886.07** | 25773.91** | 3613.50** |
| Line | 88 | 578.20** | 31.27** | 20.66** | 1004.14** | 70.57** | 119.69** | 58.40** | 1250.92** | 0.011** | 0.412** | 46.26** | 2620.91** | 236.31** | 5.92** |
| Line×Salinity | 88 | 70.28** | 8.82** | 8.26** | 185.35** | 36.52** | 60.82** | 46.50** | 599.83** | 0.014** | 0.202** | 36.83** | 1540.59** | 151.80** | 5.99** |
| Error | 534 | 35.03 | 1.34 | 2.05 | 68.67 | 3.62 | 7.55 | 3.11 | 83.80 | 0.00070 | 0.010 | 2.46 | 145.73 | 17.37 | 1.72 |
| CV (%) | 534 | 8.09 | 2.78 | 13.76 | 8.97 | 19.78 | 22.10 | 26.87 | 21.24 | 17.32 | 17.86 | 26.87 | 21.83 | 21.93 | 30.2 |

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

[†]: PHD50, plant height at 50th day (cm); NTD50, number of tiller per plant at 50th day; CHC, chlorophyll content; PHD120, plant height at 120th day (cm); NTD120, number of tiller per plant at 120th day; SDW, shoot dry weight (g); RDW, root dry weight (g); RV, root volume; RD, root density; R/S, root to shoot dry weight ratio; RL, root length (cm); RA, root area (cm²); B, biomass (g).

جدول ۳- تجزیه واریانس ساده صفات مورد مطالعه در ۸۹ لاین خویش‌آمیخته نوترکیب برنج تحت شرایط بدون تنش

Table 3. Simple analysis of variance of the studied traits in 89 rice recombinant inbred lines under non-stress conditions

| Source of variations | df | Mean squares [†] | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----|---------------------------|---------|---------|----------|---------|----------|---------|-----------|---------|---------|---------|-----------|----------|--|
| | | PHD50 | NTD50 | CHC | PHD120 | NTD120 | SDW | RDW | RV | RD | R/S | RL | RA | B | |
| Line | 88 | 364.57** | 24.04** | 13.70** | 775.82** | 91.05** | 139.43** | 90.87** | 1517.79** | 0.019** | 0.218** | 71.98** | 3513.17** | 322.14** | |
| Error | 267 | 36.59 | 1.32 | 1.90 | 79.51 | 5.76 | 12.07 | 5.18 | 108.37 | 0.0006 | 0.009 | 4.10 | 220.09 | 28.21 | |
| CV (%) | - | 8.32 | 2.32 | 13.16 | 8.99 | 17.73 | 21.02 | 26.83 | 19.28 | 16.11 | 17.85 | 26.82 | 21.12 | 21.23 | |

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

[†]: PHD50, plant height at 50th day (cm); NTD50, number of tiller per plant at 50th day; CHC, chlorophyll content; PHD120, plant height at 120th day (cm); NTD120, number of tiller per plant at 120th day; SDW, shoot dry weight (g); RDW, root dry weight (g); RV, root volume; RD, root density; R/S, root to shoot dry weight ratio; RL, root length (cm); RA, root area (cm²); B, biomass (g).

جدول ۴- تجزیه واریانس ساده صفات مورد مطالعه در ۸۹ لاین خویش‌آمیخته نوترکیب برنج تحت شرایط تنش شوری

Table 4. Simple analysis of variance of the studied traits in 89 rice recombinant inbred lines under salinity stress conditions

| Source of variations | df | Mean squares [†] | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----|---------------------------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|
| | | PHD50 | NTD50 | CHC | PHD120 | NTD120 | SDW | RDW | RV | RD | R/S | RL | RA | B | GC |
| Line | 88 | 292.91** | 16.04** | 15.21** | 413.67** | 16.04** | 41.08** | 14.03** | 332.96** | 0.0072** | 0.3970** | 11.114** | 648.34** | 65.97** | 11.85** |
| Error | 267 | 33.48 | 1.34 | 2.19 | 57.83 | 1.48 | 3.02 | 1.04 | 59.23 | 0.00074 | 0.0118 | 0.8267 | 71.37 | 6.53 | 2.34 |
| CV (%) | - | 7.86 | 21.26 | 14.35 | 8.89 | 21.36 | 20.87 | 21.93 | 23.91 | 18.61 | 17.80 | 21.98 | 20.93 | 19.68 | 27.81 |

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

[†]: PHD50, plant height at 50th day (cm); NTD50, number of tiller per plant at 50th day; CHC, chlorophyll content; PHD120, plant height at 120th day (cm); NTD120, number of tiller per plant at 120th day; SDW, shoot dry weight (g); RDW, root dry weight (g); RV, root volume; RD, root density; R/S, root to shoot dry weight ratio; RL, root length (cm); RA, root area (cm²); B, biomass (g); GC, genotypic code.

جدول ۵- ضریب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در ۸۹ لاین خویش‌آمیخته نوترکیب برنج تحت شرایط بدون تنش

Table 5. Correlation coefficients among the studied traits in 89 rice recombinant inbred lines under non-stress conditions

| Trait [†] | PHD50 | NTD50 | CHC | PHD120 | NTD120 | SDW | RDW | RV | RD | R/S | RL | RA | B |
|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------|----------------------|---------|---------|---------|---------|---|
| NTD50 | -0.216* | 1 | | | | | | | | | | | |
| CHC | -0.106 ^{ns} | -0.200 ^{ns} | 1 | | | | | | | | | | |
| PHD120 (cm) | 0.784** | -0.177 ^{ns} | -0.09 ^{ns} | 1 | | | | | | | | | |
| NTD120 | 0.004 ^{ns} | 0.550** | -0.019 ^{ns} | -0.208* | 1 | | | | | | | | |
| SDW(g) | 0.271* | 0.590** | 0.018 ^{ns} | 0.278** | 0.587** | 1 | | | | | | | |
| RDW(g) | 0.046 ^{ns} | 0.575** | -0.298** | 0.095 ^{ns} | 0.115 ^{ns} | 0.408** | 1 | | | | | | |
| RV | 0.155 ^{ns} | 0.346** | -0.283** | 0.277** | 0.027 ^{ns} | 0.329** | 0.680** | 1 | | | | | |
| RD | 0.168 ^{ns} | 0.389** | -0.193 ^{ns} | -0.117 ^{ns} | 0.081 ^{ns} | 0.231* | 0.635** | -0.052 ^{ns} | 1 | | | | |
| R/S | -0.202 ^{ns} | 0.172 ^{ns} | -0.316** | -0.040 ^{ns} | 0.235* | -0.160 ^{ns} | 0.775** | 0.490** | 0.545** | 1 | | | |
| RL (cm) | 0.046 ^{ns} | 0.575** | -0.298** | 0.095 ^{ns} | 0.115 ^{ns} | 0.408** | 1.00** | 0.680** | 0.635** | 0.775** | 1 | | |
| RA (cm ²) | 0.045 ^{ns} | 0.516** | -0.307** | 0.185 ^{ns} | 0.094 ^{ns} | 0.411** | 0.937** | 0.890** | 0.363** | 0.711** | 0.937** | 1 | |
| B | 0.154 ^{ns} | 0.694** | -0.147 ^{ns} | 0.233* | 0.447* | 0.875** | 0.779** | 0.578** | 0.489** | 0.306** | 0.799** | 0.768** | 1 |

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

[†]: PHD50, plant height at 50th day (cm); NTD50, number of tiller per plant at 50th day; CHC, chlorophyll content; PHD120, plant height at 120th day (cm); NTD120, number of tiller per plant at 120th day; SDW, shoot dry weight (g); RDW, root dry weight (g); RV, root volume; RD, root density; R/S, root to shoot dry weight ratio; RL, root length (cm); RA, root area (cm²); B, biomass (g).

جدول ۶- ضریب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در ۸۹ لاین خویش‌آمیخته نوترکیب برنج تحت شرایط تنش شوری

Table 6. Correlation coefficients among the studied traits in 89 rice recombinant inbred lines under salinity stress conditions

| Trait [†] | PHD50 | NTD50 | CHC | PHD120 | NTD120 | SDW | RDW | RV | GC | RD | R/S | RL | RA | B |
|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------|---------------------|---------|--------|---|
| NTD50 | -0.020 ^{ns} | 1 | | | | | | | | | | | | |
| CHC | -0.101 ^{ns} | -0.102 ^{ns} | 1 | | | | | | | | | | | |
| PHD120 (cm) | 0.721** | -0.204 ^{ns} | 0.048 ^{ns} | 1 | | | | | | | | | | |
| NTD120 | -0.003 ^{ns} | 0.794** | 0.010 ^{ns} | -0.084 ^{ns} | 1 | | | | | | | | | |
| SDW (g) | 0.309** | 0.665** | 0.145 ^{ns} | 0.232* | 0.706** | 1 | | | | | | | | |
| RDW (g) | 0.214* | 0.064 ^{ns} | -0.048 ^{ns} | 0.312** | 0.092 ^{ns} | 0.226* | 1 | | | | | | | |
| RV | 0.088 ^{ns} | 0.154 ^{ns} | -0.133 ^{ns} | 0.176 ^{ns} | 0.154 ^{ns} | 0.190 ^{ns} | 0.678** | 1 | | | | | | |
| GC | 0.075 ^{ns} | 0.106 ^{ns} | -0.046 ^{ns} | -0.231* | 0.042 ^{ns} | 0.074 ^{ns} | -0.144 ^{ns} | -0.079 ^{ns} | 1 | | | | | |
| RD | 0.212* | 0.016 ^{ns} | 0.127 ^{ns} | 0.281** | 0.083 ^{ns} | 0.217* | 0.694** | -0.004 ^{ns} | -0.136 ^{ns} | 1 | | | | |
| R/S | 0.035 ^{ns} | -0.397** | -0.065 ^{ns} | 0.165 ^{ns} | -0.333** | -0.395** | 0.705** | 0.349** | -0.90 ^{ns} | 0.542** | 1 | | | |
| RL (cm) | 0.24* | 0.064 ^{ns} | -0.048 ^{ns} | 0.312** | 0.092 ^{ns} | 0.226* | 1.00** | 0.678** | -0.144 ^{ns} | 0.694** | 0.705** | 1 | | |
| RA (cm ²) | 0.181 ^{ns} | 0.112 ^{ns} | -0.099 ^{ns} | 0.284** | 0.129 ^{ns} | 0.234* | 0.941** | 0.884** | -0.130 ^{ns} | 0.433** | 0.594** | 0.941* | 1 | |
| B | 0.343** | 0.554** | 0.092 ^{ns} | 0.326** | 0.599** | 0.893** | 0.640** | 0.462** | 0.125 ^{ns} | 0.491** | 0.014 ^{ns} | 0.640** | 0.19** | 1 |

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

[†]: PHD50, plant height at 50th day (cm); NTD50, number of tiller per plant at 50th day; CHC, chlorophyll content; PHD120, plant height at 120th day (cm); NTD120, number of tiller per plant at 120th day; SDW, shoot dry weight (g); RDW, root dry weight (g); RV, root volume; GC, genotypic code; RD, root density; R/S, root to shoot dry weight ratio; RL, root length (cm); RA, root area (cm²); B, biomass (g).

تغییرات تنها صفت موثر بر نمره ژنوتیپی است (جدول ۹). اشرف (Ashraf, 1994) بیان کرد که رشد گیاه تحت شرایط شور، وقتی می‌تواند به‌عنوان یک معیار مناسب برای مقاومت به شوری استفاده شود که به‌صورت نسبتی از رشد تحت شرایط غیرشور در نظر گرفته شود. آن‌ها زیست‌توده را به‌عنوان نمودی از رشد کلی گیاه، یک معیار مهم عنوان کرد. میردار منصوری و همکاران (Mirdar- Mansouri *et al.*, 2011) نیز از رگرسیون برای شناسایی صفات موثر بر نمره ژنوتیپی در برنج تحت شرایط تنش شوری استفاده و گزارش کردند که فقط صفت زیست‌توده، بیش‌ترین نقش را در توجیه تغییرات نمره ژنوتیپی داشت، در حالی‌که در تحقیق حاضر ارتفاع بوته صفت موثر بر نمره ژنوتیپی بود. این محققین، ارتباط میان نمره ژنوتیپی ارقام با زیست‌توده و تحمل به شوری را مطالعه و ارقام دارای زیست‌توده بیش‌تر و نمره ژنوتیپی کم‌تر را متحمل به تنش شوری معرفی کردند.

تجزیه رگرسیون گام به گام: نتایج رگرسیون گام به گام برای صفت زیست‌توده تحت شرایط بدون تنش (جدول ۷)، نشان داد که به‌ترتیب صفات طول ریشه، نسبت وزن ریشه به اندام هوایی، تعداد پنجه در روز ۱۲۰ و ارتفاع بوته در روز ۱۲۰ مهم‌ترین صفات موثر بر زیست‌توده بودند و در مجموع ۹۱ درصد از تغییرات زیست‌توده را توجیه کردند. نتایج این تجزیه تحت شرایط تنش شوری (جدول ۸) نیز صفات طول ریشه، نسبت وزن ریشه به اندام هوایی، تعداد پنجه در روز ۱۲۰، ارتفاع بوته در روز ۱۲۰، مساحت ریشه و حجم ریشه را به‌عنوان مهم‌ترین صفات موثر بر زیست‌توده شناسایی و در مجموع ۸۸ درصد از تغییرات آن را توجیه کردند. از آنجایی که نمره ژنوتیپی به‌نوعی میزان تحمل لاین‌ها را در مقابل تنش شوری نشان می‌دهد، از این‌رو تجزیه رگرسیون برای نمره ژنوتیپی نیز انجام شد تا صفات موثر بر آن شناسایی شوند. نتایج نشان داد که ارتفاع بوته در روز ۱۲۰ با توجیه پنج درصد از

جدول ۷- تجزیه رگرسیون گام به گام برای صفت زیست‌توده (مجموع وزن ریشه و اندام هوایی) تحت شرایط بدون تنش

Table 7. Stepwise regression analysis for biomass (root and shoot total weight) under non-stress conditions

| Entered traits [†] | Constant | Regression coefficients | | | | Coefficient of determination |
|-----------------------------|--------------------|-------------------------|----------|---------|---------|------------------------------|
| | | Step 1 | Step 2 | Step 3 | Step 4 | |
| RL | 12.23** | 1.69** | | | | 0.639 |
| R/S | 18.52** | 2.97** | -30.20** | | | 0.884 |
| NTD120 | 14.27** | 2.75** | 25.65** | 0.265** | | 0.894 |
| PHD120 | 3.66 ^{ns} | 0.265** | -22.64** | 0.376** | 0.088** | 0.914 |

^{ns} and **: Not-significant and significant at 1% probability level, respectively.

[†]: RL, root length (cm); R/S, root to shoot dry weight ratio; NTD120, number of tiller per plant at 120th day; PHD120, plant height at 120th day (cm).

جدول ۸- تجزیه رگرسیون گام به گام برای صفت زیست‌توده (مجموع وزن ریشه و اندام هوایی) تحت شرایط تنش شوری

Table 8. Stepwise regression analysis for biomass (root and shoot total weight) under salinity stress conditions

| Entered traits [†] | Constant | Regression coefficients | | | | | | Coefficient of determination |
|-----------------------------|----------------------|-------------------------|----------|---------|---------|----------|---------------------|------------------------------|
| | | Step 1 | Step 2 | Step 3 | Step 4 | Step 5 | Step 6 | |
| RL | 6.53** | 1.55** | | | | | | 0.409 |
| R/S | 7.202** | 3.053** | -11.21** | | | | | 0.789 |
| NTD50 | 3.980** | 2.59** | -8.28** | 0.582** | | | | 0.845 |
| PHD120 | -0.888 ^{ns} | 2.408** | -7.39** | 0.650** | 0.058** | | | 0.863 |
| RA | 0.700 ^{ns} | 3.32** | -8.46** | 0.632** | 0.054** | -0.113** | | 0.876 |
| RV | 0.598 ^{ns} | 6.47** | -9.220** | 0.589** | 0.058** | -0.748** | 0.407 ^{ns} | 0.884 |

^{ns} and **: Not-significant and significant at 1% probability level, respectively.

[†]: RL, root length (cm); R/S, root to shoot dry weight ratio; NTD120, number of tiller per plant at 120th day; PHD120, plant height at 120th day (cm); RA, root area (cm²); RV, root volume.

جدول ۹- تجزیه رگرسیون گام به گام برای نمره ژنوتیپی تحت شرایط تنش شوری

Table 9. Stepwise regression analysis for genotypic code under salinity stress conditions

| Entered traits [†] | Constant | Regression coefficient | Coefficient of determination |
|-----------------------------|----------|------------------------|------------------------------|
| PHD120 | 8.85** | -0.039* | 0.053 |

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

[†]: PHD120, plant height at 120th day (cm).

تجزیه به عامل‌ها

به‌منظور شناسایی عامل‌های مستقل و پنهانی موثر بر صفات مورد مطالعه از تجزیه به عامل‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که تحت شرایط بدون تنش، سه عامل مستقل و پنهانی ۸۱/۵۴ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کردند (جدول ۱۰). عامل اول که ۴۵/۱۲ درصد از تغییرات را به خود اختصاص داد، شامل صفات وزن خشک، طول، سطح، حجم و چگالی ریشه، نسبت وزن ریشه به ساقه و زیست‌توده بود و از این‌رو تحت عنوان عامل ویژگی‌های ریشه نام‌گذاری شد. عامل دوم، ۱۷/۳۲ درصد از واریانس کل را توجیه کرد و شامل صفات وزن خشک ساقه، تعداد پنجه در روز ۵۰ و ۱۲۰ و زیست‌توده بود و بنابراین عامل ویژگی‌های اندام هوایی و زیست‌توده نام‌گذاری شد. عامل سوم نیز که ۱۵/۹۹ درصد از تغییرات کل داده‌ها را به‌خود اختصاص داد، شامل صفات ارتفاع بوته در روز ۵۰ و روز ۱۲۰ بود و به‌عنوان عامل ارتفاع گیاه نام‌گذاری شد. نتایج تجزیه به عامل‌ها تحت شرایط تنش شوری، پنج عامل مستقل و پنهانی موثر بر صفات مورد مطالعه را شناسایی کرد که در مجموع ۸۷/۹۱ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کردند (جدول ۱۱). عامل اول، ۳۷/۳۹ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توصیف کرد و شامل صفات وزن خشک، طول، سطح، حجم و چگالی ریشه و سپس

زیست‌توده بود و به‌عنوان عامل ویژگی‌های ریشه نام‌گذاری شد. عامل دوم، ۲۱/۹۶ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد و شامل صفات وزن خشک ساقه، تعداد پنجه در روز ۵۰ و ۱۲۰ و زیست‌توده بود و به‌عنوان ویژگی‌های اندام هوایی و زیست‌توده نام‌گذاری شد. عامل سوم که ۱۲/۲۰ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کرد، شامل صفات ارتفاع بوته در روز ۵۰ و ۱۲۰ بود و به‌عنوان عامل قامت گیاه نام‌گذاری شد. عامل چهارم، ۹/۰۳ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد و دارای صفات محتوای کلروفیل و چگالی ریشه با ضرایب عاملی مثبت و حجم ریشه با ضریب عامل منفی و معنی‌دار بود و تحت عنوان عامل کلروفیل برگ و ویژگی‌های ریشه نام‌گذاری شد. عامل پنجم با توجیه ۷/۳۲ درصد از واریانس کل داده‌ها فقط شامل صفت نمره ژنوتیپی بود و به‌عنوان عامل امتیاز ژنوتیپی نامیده شد. قمی و همکاران (Ghomi et al., 2013) در بررسی اثر تنش شوری بر ویژگی‌های گیاهچه برنج، از تجزیه به عامل‌ها استفاده و پنج عامل مستقل و پنهانی را که ۸۴/۷ درصد از کل تغییرات بین ژنوتیپ‌ها را توجیه کردند، شناسایی و آن‌ها را به‌ترتیب تحت عنوان عامل زیست‌توده و اجزای آن، عامل تحمل به شوری، عامل محتوای یونی، عامل پتاسیم اندام هوایی و عامل ارتفاع گیاهچه نام‌گذاری کردند.

جدول ۱۰- تجزیه به عامل‌ها جهت شناسایی عامل‌های موثر بر صفات مورد مطالعه تحت شرایط بدون تنش

Table 10. Factor analysis to identify factors affecting the studied traits under non-stress conditions

| Trait [†] | Factor 1 | Factor 2 | Factor 3 |
|-------------------------|--------------|--------------|--------------|
| PHD50 | -0.046 | 0.057 | <u>0.899</u> |
| NTD50 | 0.373 | <u>0.755</u> | -0.257 |
| CHC | -0.427 | 0.062 | -0.082 |
| PHD120 | 0.141 | -0.033 | <u>0.911</u> |
| NTD120 | -0.159 | <u>0.837</u> | -0.129 |
| SDW | 0.145 | <u>0.893</u> | 0.303 |
| RDW | <u>0.935</u> | 0.320 | -0.041 |
| RV | <u>0.722</u> | 0.171 | 0.345 |
| RD | <u>0.550</u> | 0.230 | -0.363 |
| R/S | <u>0.898</u> | -0.237 | -0.213 |
| RL | <u>0.935</u> | 0.320 | -0.041 |
| RA | <u>0.914</u> | 0.284 | 0.136 |
| B | <u>0.592</u> | <u>0.758</u> | 0.178 |
| Variance (%) | 45.12 | 17.32 | 15.99 |
| Cumulative variance (%) | 45.12 | 62.44 | 78.43 |

[†]: PHD50, plant height at 50th day (cm); NTD50, number of tiller per plant at 50th day; CHC, chlorophyll content; PHD120, plant height at 120th day (cm); NTD120, number of tiller per plant at 120th day; SDW, shoot dry weight (g); RDW, root dry weight (g); RV, root volume; RD, root density; R/S, root to shoot dry weight ratio; RL, root length (cm); RA, root area (cm²); B, biomass (g).

جدول ۱۱- تجزیه به عامل‌ها جهت شناسایی عامل‌های موثر بر صفات مورد مطالعه تحت شرایط تنش شوری

Table 11. Factor analysis to identify factors affecting the studied traits under salinity stress conditions

| Trait [†] | Factor 1 | Factor 2 | Factor 3 | Factor 4 | Factor 5 |
|-------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| PHD50 | 0.082 | 0.087 | <u>0.930</u> | -0.066 | 0.155 |
| NTD50 | -0.005 | <u>0.888</u> | -0.161 | -0.115 | 0.133 |
| CHC | -0.081 | 0.059 | -0.063 | <u>0.706</u> | -0.219 |
| PHD120 | 0.190 | -0.046 | <u>0.887</u> | 0.053 | -0.234 |
| NTD120 | 0.020 | <u>0.890</u> | -0.101 | 0.008 | 0.048 |
| SDW | 0.072 | <u>0.901</u> | 0.292 | 0.137 | -0.110 |
| RDW | <u>0.977</u> | 0.114 | 0.144 | 0.053 | -0.037 |
| RV | <u>0.701</u> | 0.200 | 0.006 | <u>-0.525</u> | -0.239 |
| GC | -0.098 | 0.040 | -0.042 | -0.129 | <u>0.902</u> |
| RD | <u>0.638</u> | 0.068 | 0.201 | <u>0.623</u> | 0.148 |
| R/S | <u>0.795</u> | -0.487 | -0.014 | 0.112 | 0.075 |
| RL | <u>0.977</u> | 0.114 | 0.144 | 0.053 | -0.037 |
| RA | <u>0.934</u> | 0.167 | 0.101 | -0.213 | -0.136 |
| B | <u>0.507</u> | <u>0.764</u> | 0.296 | 0.133 | -0.104 |
| Variance (%) | 39.37 | 21.96 | 12.20 | 9.03 | 7.32 |
| Cumulative variance (%) | 37.39 | 59.35 | 71.55 | 80.59 | 87.91 |

[†]: PHD50, plant height at 50th day (cm); NTD50, number of tiller per plant at 50th day; CHC, chlorophyll content; PHD120, plant height at 120th day (cm); NTD120, number of tiller per plant at 120th day; SDW, shoot dry weight (g); RDW, root dry weight (g); RV, root volume; RD, root density; R/S, root to shoot dry weight ratio; RL, root length (cm); RA, root area (cm²); B, biomass (g).

تجزیه خوشه‌ای

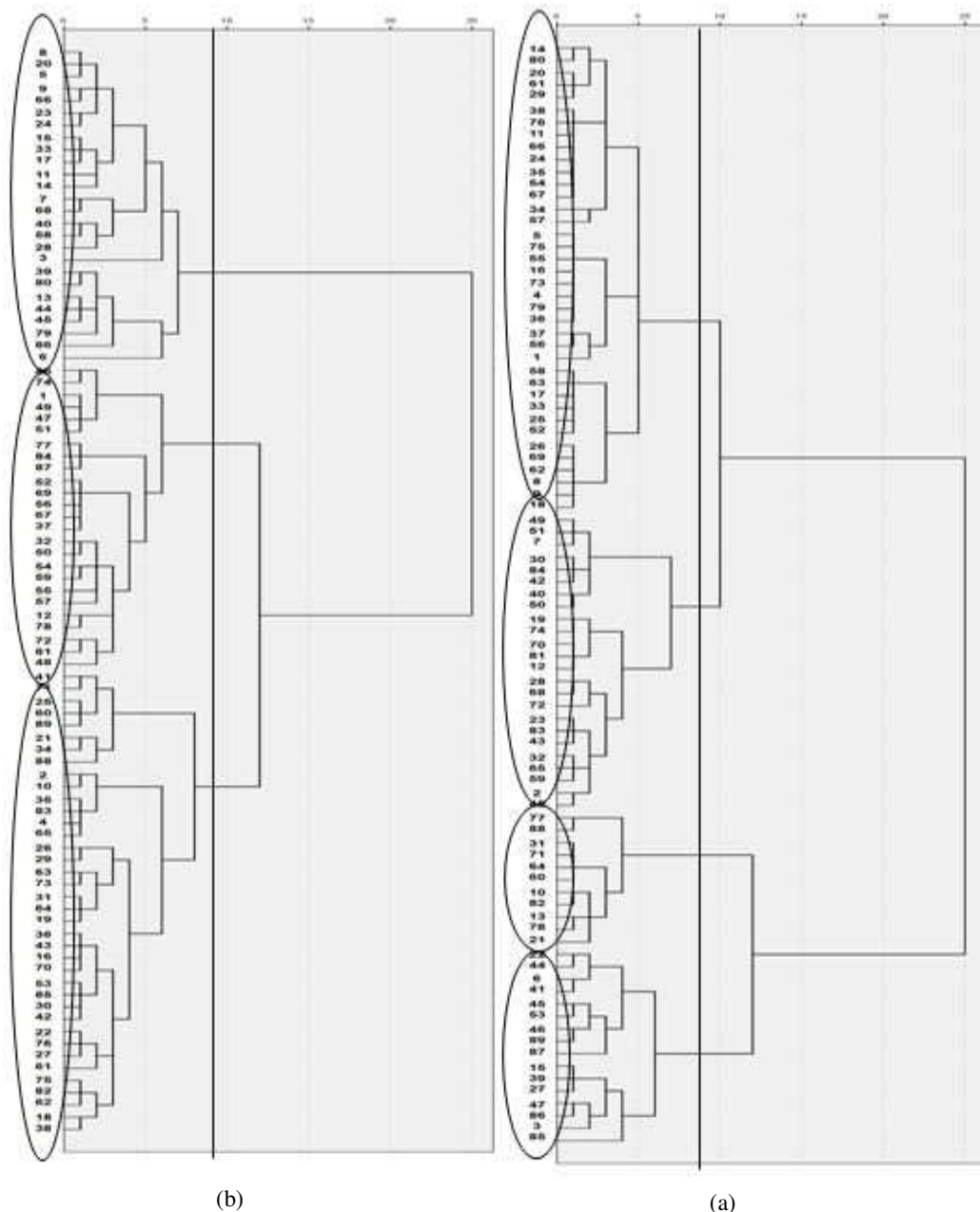
مورفولوژیک و فیزیولوژیک مورد مطالعه قرار دادند و با استفاده از تجزیه خوشه‌ای، ارقام مورد مطالعه را به پنج گروه تفکیک کردند. اسلام و همکاران (Islam et al., 2016) نیز طی آزمایشات خود، ۱۱۳ ژنوتیپ معطر برنج را بر اساس صفات مورفولوژیک و کمی مورد مطالعه قرار دادند و ژنوتیپ‌ها را با استفاده از تجزیه خوشه‌ای بر اساس همه صفات مطالعه شده به ده گروه مجزا تفکیک کردند.

تجزیه خوشه‌ای تحت شرایط تنش شوری، لاین‌های مورد مطالعه را به سه گروه تفکیک کرد (جدول ۱۳ و شکل ۱-b). گروه اول شامل ۲۶ لاین، گروه دوم شامل ۲۵ لاین و گروه سوم شامل ۳۸ لاین بودند. بررسی میانگین صفات مورد مطالعه برای این گروه‌ها نشان داد که گروه اول برای تمامی صفات به غیر از صفت نمره ژنوتیپی دارای ارزش‌های بیشتر از میانگین کل بود، به این معنی که لاین‌های موجود در این گروه، لاین‌های ارزشمندی هستند و این توانایی را دارند که تحت شرایط تنش شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر نیز نه تنها به رشد خود ادامه دهند، بلکه ارزش صفات مختلف خود را نیز در حد بالا و قابل قبولی حفظ کنند. بررسی میانگین لاین‌های این گروه نشان داد که لاین‌های شماره ۹، ۱۴، ۲۳ و ۲۴ از نظر بیش‌تر صفات دارای میانگین‌های بالایی بودند. همچنین لاین‌های شماره ۶، ۱۳، ۱۷، ۱۸، ۳۴، ۳۹، ۴۴، ۴۵، ۶۸،

به‌منظور تعیین قرابت ژنتیکی لاین‌های مورد بررسی و گروه‌بندی آن‌ها، تجزیه خوشه‌ای با استفاده از روش حداقل واریانس Ward بر اساس کلیه صفات انجام شد. در شرایط بدون تنش، لاین‌های مورد بررسی به چهار گروه تفکیک شدند (جدول ۱۲ و شکل ۱-a)، به‌طوری که ۳۸ لاین در گروه اول، ۲۴ لاین در گروه دوم، ۱۱ لاین در گروه سوم و ۱۶ لاین در گروه چهارم قرار گرفتند. گروه چهارم برای تمامی صفات مورد مطالعه به‌جز ارتفاع گیاه در روز ۵۰ و محتوای کلروفیل در روز ۵۰ ارزشی بالاتر از میانگین کل داشت. بررسی لاین‌های موجود در این گروه نشان داد که لاین‌های شماره ۳، ۶، ۱۵، ۲۲، ۲۷، ۳۹، ۴۱، ۴۴، ۴۵، ۴۷، ۸۵، ۸۶، ۸۷ و ۸۹ علاوه بر زیست‌توده بالا، از نظر میانگین سایر صفات نیز مقادیر بالاتری داشتند. چاکراوورتی و همکاران (Chakravorty et al., 2013) در بررسی ۱۸ صفت کمی در ۵۱ رقم برنج، ارقام را بر اساس تنوع جغرافیایی به ده گروه تفکیک کردند. قربانی و همکاران (Ghorbani et al., 2011) نیز در آزمایش خود، ۲۹ ژنوتیپ برنج را با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به روش UPGMA در نه گروه قرار دادند. توهینا خاتون و همکاران (Tuhina-Khatun et al., 2015) نیز تنوع ژنتیکی ۴۳ رقم برنج آپلند را بر اساس ۲۲ صفت

(2015) نیز ۱۲ رقم برنج را بر اساس ۱۳ صف مورفولوژیک تحت شرایط تنش شوری ارزیابی و ارقام را در چهار گروه تقسیم کردند، به طوری که دو گروه یک و دو که نمره ژنوتیپی کمتری داشتند، محتوای پرولین، H_2O_2 ، آنتوسیانین و آنزیمهای کاتالاز و پراکسیداز کمتری نیز داشتند و در مقابل دو گروه سه و چهار که نمره ژنوتیپی بیشتری داشتند، محتوای پرولین، H_2O_2 ، آنتوسیانین و آنزیمهای کاتالاز و پراکسیداز نیز در آنها بیشتر بود.

ارزیابی لاینهای خویش آمیخته نو ترکیب برنج به تنش شوری ۷۹ و ۸۰ نیز علاوه بر زیست توده بالا، مقادیر بالایی برای بیش تر صفات مورد مطالعه نسبت به سایر لاینها داشتند و بنابراین می توانند به عنوان لاینهای متحمل به تنش شوری در برنامه های اصلاحی مورد توجه قرار گیرند. یزدانی و همکاران (Yazdani et al., 2014) در بررسی نوع ۶۵ ژنوتیپ برنج تحت شرایط تنش شوری از تجزیه خوشه ای استفاده و ژنوتیپها را به چهار گروه تفکیک کردند. چانتابوری و همکاران (Chunthaburee et al.,)



شکل ۱- گروه بندی لاین های مورد مطالعه با استفاده از روش Ward تحت شرایط بدون تنش (a) و تنش شوری 8 dS.m^{-1} (b)
 Figure 1. Grouping the studied lines using Ward's method under non-stress (a) and 8 dS.m^{-1} salinity stress (b)

جدول ۱۲- میانگین و انحراف از میانگین کل گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای تحت شرایط بدون تنش

Table 12. Mean and deviation from total mean of the groups from cluster analysis under non-stress conditions

| Trait [†] | Total mean | Mean | | | | Deviation from total mean | | | |
|--------------------|------------|---------|---------|---------|---------|---------------------------|---------|---------|---------|
| | | Group 1 | Group 2 | Group 3 | Group 4 | Group 1 | Group 2 | Group 3 | Group 4 |
| PHD50 | 72.67 | 77.96 | 63.68 | 75.02 | 71.96 | 5.29 | -8.99 | 2.35 | -0.71 |
| NTD50 | 5.66 | 4.25 | 5.28 | 7.88 | 8.09 | -1.41 | -0.38 | 2.22 | 2.43 |
| CHC | 10.48 | 10.52 | 11.22 | 10.7 | 9.14 | 0.04 | 0.74 | 0.22 | -1.34 |
| PHD120 | 99.11 | 106.35 | 85.23 | 100.97 | 101.46 | 7.24 | -13.88 | 1.86 | 2.35 |
| NTD120 | 13.54 | 10.93 | 13.58 | 20.77 | 14.7 | -2.61 | 0.04 | 7.23 | 1.16 |
| SDW | 16.52 | 13.95 | 13.24 | 25.79 | 21.19 | -2.57 | -3.28 | 9.27 | 4.67 |
| RDW | 8.48 | 6.83 | 6.09 | 7.54 | 16.65 | -1.65 | -2.39 | -0.94 | 8.17 |
| RV | 53.99 | 51.63 | 45.84 | 53.29 | 72.28 | -2.36 | -8.15 | -0.7 | 18.29 |
| RD | 0.159 | 0.138 | 0.134 | 0.145 | 0.256 | -0.021 | -0.025 | -0.014 | 0.097 |
| R/S | 0.531 | 0.518 | 0.457 | 0.132 | 0.826 | -0.013 | -0.074 | -0.399 | 0.294 |
| RL | 7.55 | 6.08 | 5.42 | 6.711 | 14.81 | -1.46 | -2.12 | -0.839 | 7.26 |
| RA | 70.23 | 62.1 | 55.39 | 66.61 | 114.28 | -8.13 | -14.84 | -3.62 | 44.05 |
| B | 25.01 | 20.78 | 19.34 | 33.33 | 37.84 | -4.23 | -5.67 | 8.32 | 12.83 |

[†]: PHD50, plant height at 50th day (cm); NTD50, number of tiller per plant at 50th day; CHC, chlorophyll content; PHD120, plant height at 120th day (cm); NTD120, number of tiller per plant at 120th day; SDW, shoot dry weight (g); RDW, root dry weight (g); RV, root volume; RD, root density; R/S, root to shoot dry weight ratio; RL, root length (cm); RA, root area (cm²); B, biomass (g).

جدول ۱۳- میانگین و انحراف از میانگین کل گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای تحت شرایط تنش شوری

Table 13. Mean and deviation from total mean of the groups from cluster analysis under salinity stress condition

| Trait [†] | Total mean | Mean | | | Deviation from total mean | | |
|--------------------|------------|---------|---------|---------|---------------------------|---------|---------|
| | | Group 1 | Group 2 | Group 3 | Group 1 | Group 2 | Group 3 |
| PHD50 | 73.55 | 75.86 | 68.15 | 75.53 | 2.31 | -5.40 | 1.98 |
| NTD50 | 5.46 | 6.17 | 4.73 | 5.46 | 0.71 | -0.73 | 0.00 |
| CHC | 10.32 | 10.57 | 10.81 | 9.83 | 0.25 | 0.49 | -0.49 |
| PHD120 | 85.54 | 88.87 | 78.15 | 88.12 | 3.33 | -7.39 | 2.58 |
| NTD120 | 5.69 | 6.58 | 4.81 | 5.66 | 0.89 | -0.88 | -0.03 |
| SDW | 8.33 | 10.38 | 6.20 | 8.34 | 2.05 | -2.13 | 0.01 |
| RDW | 4.64 | 6.86 | 2.79 | 4.34 | 2.22 | -1.85 | -0.30 |
| RV | 32.17 | 39.92 | 26.03 | 30.92 | 7.75 | -6.14 | -1.25 |
| RD | 0.146 | 0.181 | 0.113 | 0.144 | 0.035 | -0.033 | -0.002 |
| GC | 5.50 | 4 | 6.30 | 5.07 | -0.14 | 0.80 | -0.43 |
| R/S | 0.610 | 0.779 | 0.4943 | 0.570 | 0.169 | -0.115 | -0.039 |
| RL | 4.135 | 6.113 | 2.485 | 3.86 | 1.978 | -1.65 | -0.275 |
| RA | 40.35 | 54.79 | 28.25 | 38.43 | 14.44 | -12.10 | -1.92 |
| B | 12.98 | 17.25 | 8.99 | 12.68 | 4.27 | -3.99 | -0.30 |

[†]: PHD50, plant height at 50th day (cm); NTD50, number of tiller per plant at 50th day; CHC, chlorophyll content; PHD120, plant height at 120th day (cm); NTD120, number of tiller per plant at 120th day; SDW, shoot dry weight (g); RDW, root dry weight (g); RV, root volume; RD, root density; R/S, root to shoot dry weight ratio; RL, root length (cm); RA, root area (cm²); B, biomass (g).

نتیجه‌گیری کلی

شوری نشان داد که صفات ریشه، شامل وزن خشک ریشه، طول ریشه، مساحت ریشه، حجم ریشه، چگالی ریشه و ویژگی‌های اندام هوایی شامل وزن خشک ساقه، تعداد پنجه و ارتفاع بوته به‌همراه زیست‌توده در عامل‌های مشابهی قرار گرفتند، به این معنی که عامل‌های مستقل یکسانی روی این صفات اثر می‌گذارند و باعث ایجاد همبستگی بین آن‌ها می‌شوند. وجود همبستگی معنی‌دار بین زیست‌توده با ویژگی‌های ریشه و نیز با وزن خشک ساقه، تعداد پنجه و ارتفاع بوته در هر دو شرایط آزمایشی نیز این نتیجه را تایید کرد. در رگرسیون گام به گام نیز در

به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که لاین‌های برنج مورد مطالعه واکنش‌های متفاوتی تحت شرایط بدون تنش و تنش شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر داشتند که بررسی این واکنش‌ها و تغییرات آن‌ها از نظر اصلاح نباتات اهمیت ویژه‌ای دارد. صفت زیست‌توده در این تحقیق به‌عنوان مهم‌ترین صفت برای شناسایی لاین‌های متحمل به شوری در نظر گرفته شد و تجزیه‌های آماری مختلفی جهت شناسایی صفات موثر بر زیست‌توده انجام شد. نتایج تجزیه به عامل‌ها تحت هر دو شرایط بدون تنش و تنش

نشان داد که لاین‌های شماره ۶، ۹، ۱۳، ۱۴، ۱۷، ۱۸، ۲۳، ۲۴، ۳۴، ۳۹، ۴۴، ۴۵، ۶۸، ۷۹ و ۸۰ علاوه بر زیست‌توده بالا، دارای مقادیر بالاتری برای بیش‌تر صفات مورد مطالعه نسبت به سایر لاین‌ها بودند و بنابراین می‌توانند به‌عنوان لاین‌های متحمل به شوری مورد توجه قرار گیرند.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از مسئولان دانشکده کشاورزی دانشگاه گنبد کاووس جهت انجام همکاری‌های لازم برای اجرای این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

ارزیابی لاین‌های خویش‌آمیخته نوترکیب برنج به تنش شوری شرایط بدون تنش، صفاتی چون طول ریشه، نسبت وزن ریشه به اندام هوایی، تعداد پنجه در روز ۱۲۰ و ارتفاع بوته در روز ۱۲۰ و در شرایط شوری، علاوه بر این چهار صفت، مساحت ریشه و حجم ریشه به‌عنوان مهم‌ترین صفات موثر بر زیست‌توده شناسایی شدند. برای نمره ژنوتیپی نیز صفت ارتفاع بوته در روز ۱۲۰ به‌عنوان مهم‌ترین صفت موثر بر آن بود. بنابراین این صفات را می‌توان به‌عنوان شاخص‌های تحمل به شوری مورد توجه قرار داد. ارتباط منفی معنی‌داری بین نمره ژنوتیپی و زیست‌توده با ارتفاع بوته مشاهده شد، به این معنی که با افزایش ارتفاع بوته، نمره ژنوتیپی کاهش و میزان تحمل به شوری افزایش یافت. نتایج تجزیه خوشه‌ای تحت شرایط تنش شوری نیز

References

- Alizadeh, A. 2006.** Crop-water relations. Astan Ghods Razavi Publication, Mashhad. 472 p. (In Persian).
- Asch, F., Dingkuhn, M., and Dorffling, K., 2000.** Salinity increased CO₂ accimilation but reduces growth in field grown irrigated rice. **Plant and Soil** 218: 1-10.
- Ashraf, M. 1994.** Breeding for salinity tolerance in plant. **Critical Review Plant Science** 13: 17-42.
- Azizi, H., Aalami, A., Esfahani, M. and Ebadi, A. A. 2017.** The study of correlation and path analysis of grain yield and its related traits in rice (*Oryza sativa* L.) varieties and lines. **Journal of Crop Breeding** 9 (21): 36-43. (In Persian with English Abstract).
- Bramel, P. I., Hinz, P. N., Green, D. E. and Shibles, R. M. 1984.** Use of principal fatctor analysis in the study of three stem termination types of soybean. **Euphytica** 33: 387-400.
- Chakravorty, A., Ghosh, P. D. and Sahu, P. K. 2013.** Multivariate analysis of phenotypic diversity of landraces of rice of west Bengal. **American Journal of Experimental Agriecology** 3 (1): 110-123.
- Chattopadhyay, K., Marndi, B. C., Sarkar, R. K. and Singh, O. N. 2013.** Stability analysis of backcross population for salinity tolerance at reproductive stage in rice. **Indian Journal of Genetics** 77 (1): 51-58.
- Chunthaburee, S., Dongsansuk, A., Sanitchon, J., Pattanagul, W. and Theerakulpisut, P. 2015.** 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.
- Cormack, R. M. 1991.** A review of classification (with discussion). **Journal of Royal Statistical Society** 134 (3): 321- 367.
- Falah, A., Farahmandfar, E. and Moradi, F. 2015.** Effect of salinity at different growth stages on some physiological characteristics of rice varieties in greenhouse. **Juornal of Agriculture** 107: 175-182. (In Persian with English Abstract).
- FAO. 2014.** FAO statistical database. Food and Agriculture Organizations of the United Nations, Rome, Italy.
- Flower, T. J. and Colmer, T. D. 2008.** Salinity tolerance in haplophytes. **New Phytologist** 179: 945-963.
- Farahmandfar, A., Poustini, K., Falah, A., Tavakol Afshari, R. and Moradi, F. 2009.** Effects of salt stress on seed germination and seedling growth of some Iranian rice (*Oryza sativa* L.) genotypes and cultivars. **Iranian Journal of Field Crop Science** 3 (40): 71-94. (In Persian with English Abstract).
- Ghomi, Kh., Rabiei, B., Sabouri, H. and Sabouri, A. 2013.** Evaluation of seedling stage and identification of appropriate criteria in a rice (*Oryza sativa* L.) under salinity stress condition. **Jornal of Crop Breeding** 5 (12): 30-48. (In Persian with English Abstract).

- Ghorbani, H., Samizadeh-Lahiji, H. A., Rabiei, B. and Allahgholipour, M. 2011.** Grouping different rice genotypes using factor and cluster analysis. **Journal of Agricultural Science** 3: 89-104.
- Golparvar, A. R., Ghanadha, M. R. Zali, A. A. and Ahmadi, A. 2003.** Evaluation of some morphological traits as selection criteria in breeding wheat. **Iranian Journal of Crop Sciences** 4 (3): 202-208. (In Persian with English Abstract).
- Gregorio, G. B., Senadhira, D. and Mendoza, R. D. 1997.** Screening rice for salinity tolerance. IRRI 502 Discussion Paper Series No. 22. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.
- Hakim, M. A., Juraimi, S. A., Begum, M., Hanafi, M. M., Ismail, M. R. and Selamat, A. 2010.** Effect of salt stress on germination and early seedling growth of rice. **African Journal of Biotechnology** 9 (13): 1911-1918.
- Hossain, S., Maksudu, H. M. D. and Rahman, J. 2015.** Genetic variability, correlation and path coefficient analysis of morphological traits in some extinct local aman Rice (*Oryza sativa* L.). **Rice Research** 3: 158. doi:10.4172/2375-4338.1000158.
- Islam, M. Z., Khalequzzaman, M., Bashar, M. K., Ivy, N. A., Haque, M. M. and Mian, M. A. K. 2016.** Variability assessment of aromatic and fine rice germplasm in Bangladesh based on quantitative traits. **The Scientific World Journal** 2796720: 1-14.
- Khatun, S., Rizzo, C. A. and Flowers, T. J. 1995.** Genotypic variation in the effect of salinity on fertility in rice. **Plant and Soil** 173: 239-250.
- Mehmood, A. I., Nawaz, S. and Aslam, M. 2000.** Screening of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes against NaCl salinity. **International Journal of Agriculture and Biology** 2 (1-2): 147-150.
- Mirdar-Mansouri, Sh., Babaiyan-Golodar, N. and Bagheri, N. 2011.** Evaluation of salt tolerance of rice genotypes in hydroponic culture based on Tolerance and sensitivity to stress index. **Iranian Journal of Field Crops Research** 9 (4): 694-703. (In Persian with English Abstract).
- Mohammadi-Nejad, G., Singh, R. K., Arzani, A., Rezaie, A. M., Sabouri, H. and Gregori, G. B. 2010.** Evaluation of salinity tolerance in rice genotypes. **International Journal of Plant Production** 4 (3): 199-207.
- Moradi, F. 2002.** Physiological characterization of rice cultivars for salinity tolerance during vegetative and reproductive stages. Ph. D. Dissertation. The University of Philippines, Los Banos, Laguna, Philippines. 190 p.
- Munns, R. and Tester, M. 2008.** Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology** 59: 651-681.
- Oko, A. O., Ubi, B. E., Efiue, A. A. and Dambaba, N. 2012.** Comparative analysis of the chemical nutrient composition of selected local and newly introduced rice varieties grown in Ebonyi State of Nigeria. **Internatinal Journal of Agriculture** 2 (2): 16-23.
- Pons, R., Cornejo, M. J. and Sanz, A. 2011.** Differential salinity-induced variations in the activity of H⁺-pumps and Na⁺/H⁺ antiporters that are involved in cytoplasm ion homeostasis as a function of genotype and tolerance level in rice cell lines. **Plant Physiology and Biochemistry** 49 (12): 1399-1409.
- Rajesh, B., Marjorie, De. O., James, E., Abdelbagi, M. and Satyen, M. 2015.** Phenotyping rice (*Oryza sativa* L.) genotypes for physiological traits associated with tolerance of salinity at seedling stage. **Scientia Agriculturae** 12 (3): 156-162.
- Rezaie, A. M. and Soltani, A. 1998.** Introduction to applied regression analysis. Isfahan University of Technology Publications. 294 p. (In Persian).
- Sabouri, H., Rezaei, A. M., Moemeni, A., Kavousi, M., Shokri, H., Allahgholipour, M. and Jafarian, H. 2009.** Evaluation of relationship between some traits of Iranian rice (*Oryza sativa* L.) seedlings under saline conditions. **Electronic Journal of Crop Production** 2 (4): 1-22. (In Persian with English Abstract).
- Tuhina-Khatun, M., Hanafi, M. M., Yosop, M. R., Wong, M. Y., Salleh, F. M. and Ferdus, J. 2015.** Genetic variation, heritability, and diversity analysis of upland rice (*Oryza sativa* L.) genotypes based on quantitative traits. **Hindawi Publishing Corporation BioMed Research International** 290861: 1-7.
- Yeo, A. R. and Flowers, T. J. 1984.** Mechanism of salinity resistance in rice and their role as physiological criteria in plant breeding. In: Staples, R. C. and Thoenniessen, G. H. (Eds.). Salinity tolerance in plants. Wiley Interscience. New York. pp: 151-170.

- Yeo, A. R., Caporn, S. J. M. and Flower, T. J. 1985.** The effect of salinity upon photosynthesis in rice (*Oryza sativa* L.): Gas exchange by individual leaves in relation to their salt content. **Journal of Experimental Botany** 36 (8): 1240-1248.
- Zhang, Y., Ghaly, A. E. and Li, B. 2012.** Physical properties of rice residues as affected by variety and climatic and cultivation conditions in three continents. **American Journal of Applied Science** 9: 1757-1768.
- Zhang, Z. H., Liu, Q., Song, H. X., Rong, X. M. and Abdelbagi, M. I. 2011.** Responses of contrasting rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to salt stress as affected by nutrient concentrations. **Agriculture Science in China** 10 (2): 195-206.
- Yazdani, M., Kochak, M. and Bagheri, H. 2014.** Segregating rice genotypes by cluster analysis procedure at different salt stress condition. **Advanced Environmental Biology** 8 (10): 383-387.

Assessing Iranian recombinant inbred rice (*Oryza sativa* L.) lines to salinity stress at vegetative stage

Seyedeh Minoos Mirarab Razi¹, Reza Shirzadian-Khorramabad^{2*}, Hossein Sabouri³,
Babak Rabiei⁴ and Hossein Hosseini Moghadam⁵

Received: May 25, 2019

Accepted: March 2, 2019

Abstract

Salinity is one of the limiting factors in many crops including rice production. The objective of this study was to investigate the response of 89 recombinant inbred lines derived from a cross between two Iranian rice cultivars, Taron-Mahalli (*indica*) and Khazar (*indica*), under non-stress and 8 dS.m⁻¹ salinity stress at vegetative stage conditions. The experiment was carried out as pod experiment under open air conditions in a completely randomized design with four replications. The results of combined analysis of variance under non-stress and salinity stress conditions showed that the effect of line and line×stress interaction for all the studied traits was significant, indicating different reaction of the lines under two conditions. The results of simple analysis of variance also showed that the difference between lines in both conditions was significant for all traits at 1% probability level. Correlation coefficients among traits indicated that the highest correlation coefficient was observed between biomass and stem dry weight under both conditions. Stepwise regression analysis for biomass under non-stress conditions showed that root length, root to shoot dry weight ratio, number of tillers per plant at 120th day and plant height at 120th day were the most important traits influencing biomass, respectively, while under salinity stress conditions, root area and root volume in addition to these four traits, were also identified as effective traits on biomass. Factor analysis also showed that three and five independent factors explained the correlation between biomass and the other traits in the studied lines under non-stress and salinity stress conditions, respectively. Cluster analysis using Ward's minimum variance method under non-stress conditions divided the lines into four groups which the fourth group consisted of the lines with higher values than total average for most traits. Under salinity conditions, the lines were divided into three groups and the lines in the first group had the highest biomass and the lowest genotypic score and were tolerant to salinity stress. In total, the results of current study showed that the lines 6, 9, 13, 14, 17, 18, 23, 24, 34, 39, 44, 45, 68, 79 and 80 had the higher values for most of the studied traits than the other lines, in addition to higher biomass, and could therefore be considered as salinity tolerant lines in future researches.

Keywords: Biomass, Cluster analysis, Factor analysis, Stepwise regression

1. Ph. D. Student, Dept. of Agricultural Biotechnology, University Campus, University of Guilan, Rasht, Iran

2. Assoc. Prof., Dept. of Agricultural Biotechnology, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

3. Assoc. Prof., Dept. of Plant Production, Faculty of Agriculture Science and Natural Resources, University of Gonbad, Gonbad Kavous, Iran

4. Prof., Dept. of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

5. Assist. Prof., Dept. of Plant Production, Faculty of Agriculture Science and Natural Resources, University of Gonbad, Gonbad Kavous, Iran

* Corresponding author: r.shirzadian@guilan.ac.ir