Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 51, No 4, Winter 2021 (177-191)
DOI: 10.22059/ijfcs.2019.263513.654508

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۱، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۹ (ص۱۹۱-۱۷۷)

ارزیابی تحمل به شوری در گیاهچه‌های لاین‌های نوترکیب برنج ایرانی

سمیه سنچولی[۱]، محمود قربانزاده نقاب[۲]، حسین صبوری*[۳] و محمد زارع مهرجردی[۴]

۱و۲و٤- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار، گروه تولیدات گیاهی، مجتمع آموزش عالی شیروان، ۳- دانشیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، داشنگاه گنبد کاووس.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/٦/۲۵ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۷/۱۳)

چکیده

به‌منظور بررسی تنوع ژنتیکی ۷٤ لاین خالص نوترکیب برنج ایرانی حاصل تلاقی ارقام ندا × اهلمی طارم در مرحله گیاهچه‌ای و تحت تنش شوری،، آزمایشی به‌صورت تجزیه مرکب و در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار، در دو شرایط کشت نرمال و تنش شوری در دانشگاه گنبد کاووس در سال ۱۳۹۵ انجام شد. برای اعمال تنش شوری، گیاهچه‌ها به‌مدت یک هفته تحت تنش شش دسی‌زیمنس بر متر قرار گرفتند و سپس میزان تنش شوری به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر افزایش یافت. محتوای کلروفیل، طول ریشه و ساقه، وزن تر و خشک ریشه و ساقه، سطح برگ، طول و عرض بزرگترین برگ، تعداد ریشه، قطر ریشه، چگالی سطحی ریشه، غلظت سدیم و پتاسیم ریشه و ساقه، نسبت سدیم به پتاسیم ریشه و ساقه، طول، عرض و تعداد روزنه، زیست‌توده تر و خشک و امتیاز ارقام براساس امتیازدهی موسسه بین المللی تحقیقات برنج ثبت شد. معنی‌دار بودن تفاوت بین لاین‌ها برای صفات مورد بررسی، تنوع بین آن‌ها را نشان داد. بالاترین همبستگی‌ها مربوط به صفات قطر ریشه و چگالی سطحی ریشه بود. امتیاز ارقام، همبستگی معنی‌داری با وزن خشک گیاهچه، مساحت برگ و محتوای کلروفیل و طول ریشه داشت. در رگرسیون مرحله‌ای، صفات محتوای کلروفیل و مساحت برگ، بیشترین تغییرات را توجیه کردند. تجزیه خوشه‌ای بر اساس مجموع صفات گیاهچه‌ای، لاین‌ها را به چهار گروه تقسیم کرد و لاین‌های ۱۱، ۱۰۲، ۳۹ و ۸۵ متحمل به تنش شوری تشخیص داده شدند. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش می‌تواند لاین‌های متحمل را برای تلاقی و تهیه جمعیت‌های مناسب برای برنامه‌های اصلاحی شناسایی کند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای، تجزیه علیت، تنش شوری، رگرسیون مرحله‌ای، همبستگی.

Evaluation of salinity tolerance in Iranian rice recycling linseed seedlings

Somayeh Sanchouli[1], Mahmood Ghorbanzade Neghab[1], Hossein Sabouri[*2], Mohamad Zare Mehrjerdi[1]

1. College of Agriculture, Higher Education Complex of Shirvan, 2. Department of Plant Production, Collage of Agriculture Sceince and Natural Resources, Gonbad Kavous University.

(Received: September 16, 2018- Accepted: October 5, 2019)

ABSTRACT

To study the genetic diversity of 74 Iranian recombinant inbred lines of Neda × Ahlami Tarom under salinity stress in seedling stage, an experiment was conducted in completely randomized design with three replications and two conditions of normal culture and salt stress at Gonbad Kavous University in 2015. The seedling was evaluated in 6 dSm^{-1} salinity for a week, and then salt stress was increased to 12 dSm^{-1}. Chlorophyll content, root and shoot lengths, root and shoot dry weights, leaf area, length and width of the biggest leaf, root numbers, root diameter, root density, Na^+ and K^+ concentrations of root and stem, Na^+/K^+ in shoot and root, Length, width and number of stomata and salt tolerance score were recorded. The significant differences between the lines for the studied traits showed the variation between them. The highest correlation was observed between root diameter and root surface density. The correlation coefficients were significant for seedling dry weight, leaf area and chlorophyll content and root length. In the stepwise regression, chlorophyll content and leaf area described the most significant changes. Cluster analysis based on total seedling traits divided lines into four groups andlines 11, 102, 39 and 85 were resistant to salinity stress. The results obtained from this study can identify the lines tolerated for crossing and prepare populations suitable for breeding programs.

Keywords: Cluster analysis, correlation, Path analysis, salinity stress, stepwise regression

* Corresponding author E-mail: hossein.sabouri@gonbad.ac.ir

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) محصول عمده بیشتر کشورهای آسیایی است که زراعت آن در بیش از نیمی از زمین‌های کشاورزی در این قاره رواج دارد. مردم این منطقه، روزانه ۳۰ تا ۸۰ درصد کالری مورد نیاز خود را از این محصول دریافت می‌کنند (Majidimehr & Amiri-Fahliani, 2016). افزایش سریع جمعیت، نیاز به ۸۷ درصد بیشتر از محصولات مانند برنج، گندم، سویا و ذرت را از طریق استفاده از منابع خاک و آب ایجاد کرده است (Kromdijk & Long, 2016).

داده‌های اخیر نشان می‌دهد که به‌طور متوسط، ۲۰۰۰ کیلومتر مربع از زمین‌های آبی از ۷۵ کشور، به‌علت شوری به‌طور مداوم در حال تخریب هستند(Reddy *et al*., 2017). شوری به‌عنوان یک عامل محیطی محدودکننده رشد و نمو و تولید محصول در گیاهان می‌باشد(Rahnama & Ebrahimzadeh, 2004., Molassitotis *et al*., 2006). تنش شوری با کاهش در تقسیم، سرعت طویل شدن و تورژسانس سلولی و همچنین سخت و ضخیم شدن دیواره سلول‌ها، موجب کاهش کلی رشد می‌شود (Deivanai *et al*., 2011).

Zhang *et al* (2010) گزارش کردند که افزایش غلظت یون سدیم در اطراف ریشه و درون گیاه برنج، باعث کاهش فتوسنتز می‌شود و کاهش فتوسنتز، سبب کاهش انرژی و تولید مواد اولیه لازم برای فرایند آنابولیسم خواهد شد. Shannon *et al* (1987) . نشان دادند که با افزایش شوری، وزن خشک ساقه، تراکم بوته و زیست‌توده کاهش می‌یابند. آن‌ها کاهش وزن خشک ساقه در محیط‌های مختلف رشدی (شن و رس) را به افزایش تجمع سدیم در بافت مرتبط دانستند. Lee *et al* (2003) ارقام برنج ایندیکا و ژاپونیکا را از نظر تحمل به شوری با هم مقایسه نمودند و مقدار جذب پتاسیم در ساقه گیاهچه‌هایی که تحت تنش شوری ۱۲ دسی-زیمنس بر متر بودند را اندازه‌گیری کردند. ارقام ایندیکا کاهش بیشتری را از نظر تمام خصوصیات رشد نسبت به ارقام ژاپونیکا نشان دادند و مقدار سدیم را به نحو بهتری دفع نمودند و با جذب پتاسیم بیشتر، نسبت سدیم به پتاسیم را در ساقه‌های خود پایین نگه داشتند. Shiro *et al*. (2002) ارتباط بین توزیع و تجمع سدیم و آسیب وارد شده ناشی از شوری را در برگ‌های گیاهچه‌های برنج بررسی نمودند. این محققان نشان دادند که تجمع سدیم در برگ‌های مسن، بیشتر است. نتایج این مطالعه نشان داد که در مقایسه با غلظت سدیم برگ، ارتباط بین سن برگ با آسیب ناشی از شوری قوی‌تر است.

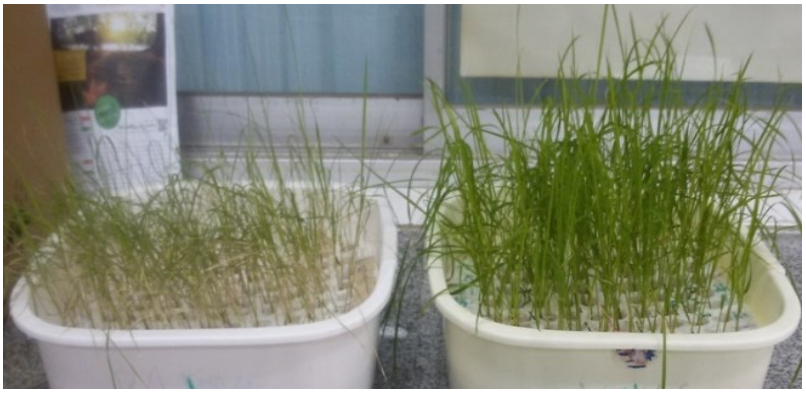
Sabouri *et al* (2008) عنوان کردند که ارقام متحمل، نمک را جذب می‌کنند، اما آن را در واکوئل‌های سلول‌های برگ انباشته می‌کنند و در نتیجه از صدمات نمک اضافی مصون می‌مانند. این امر در نتیجه فعالیت ناقل‌های آنتی‌پورترسدیم- پروتون در سطح تونوپلاست می‌باشد. برگ‌های ضخیم‌تر، دارای بافت پارنشیمی بیشتر و تعداد واکوئل بیشتری هستند و در نتیجه بهتر می‌توانند نمک‌ها را در واکوئل ذخیره کنند. نتایج تحقیق Kibria *et al*. (2017) نشان داد که میزان کلروفیل a و b با افزایش شوری در ۴۰ و ۶۰ ملی‌مولار NaCl کاهش می‌یابد. با این حال، الگوهای کاهش کل کلروفیل برای ارقام مقاوم و حساس به شوری متفاوت بود.

Kibria *et al.* (2017) و Kumar *et al*. (2007) با مطالعه عکس‌العمل ارقام برنج ایندیکا نشان دادند که در تنش شوری، درصد جوانه‌زنی، رشد گیاه و مقدار رنگیزه کلروفیلی کاهش می‌یابد. اثر تنش بر گیاهچه-های برنج در مطالعه Prajuabmon *et al*. (2009) نشان داد که نسبت سدیم به پتاسیم و پرولین کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که واریته متحمل، بالاترین محتوای پرولین و پایین‌ترین نسبت سدیم به پتاسیم را نشان داد. بررسی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های برنج در رابطه با تنش شوری در مرحله گیاهچه‌ای نشان داد که گروه متحمل، دارای درصد سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم کم، وزن خشک ریشه، ساقه، زیست‌توده و طول ریشه و ساقه زیاد بودند. با توجه به این‌که کنترل شوری، یکی از مهم‌ترین عوامل مدیریت کشاورزی و منابع طبیعی است و تنش شوری، منجر به افزایش هزینه تولید و کاهش قابل ملاحظه محصول می‌شود، بنابراین تحقیقات در زمینه معرفی

ارقام متحمل به شوری از اهمیت خاصی برخوردار است، این آزمایش به‌منظور بررسی روابط بین صفات گیاهچه-های برنج تحت تنش شوری و تعیین مهم‌ترین صفات موثر بر رشد و نمو گیاهچه‌های برنج در شرایط تنش شوری حاصل از یون‌های NaCl طراحی شد.

مواد و روش

به منظور بررسی واکنش ۷۴ لاین خالص نوترکیب نسل هشتم برنج حاصل از تلاقی ارقام اهلمی طارم × ندا به تنش شوری، آزمایشی به‌صورت مرکب و در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار، در دو شرایط کشت نرمال و شوری حاصل از NaCl، در آزمایشگاه گیاهشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه گنبد کاووس در سال ۱۳۹۵ اجرا شد. برای کشت، بر اساس دستورالعمل موسسه بین المللی برنج (Gregorio, 1997)، از صفحات یونولیت با ابعاد ۱/۲۵×۳۲×۲۸ و ظروف پلاستیکی هشت لیتری ضدعفونی شده،استفاده شد. ابتدا بذرها به‌مدت چهار روز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در اتاقک رشد مدل 1600 SP (ساخت شرکت WEISS TECHNIK) جوانه‌دار شدند. بذرهای جوانه‌زده در روز پنجم به‌داخل ظروف پلاستیکی حاوی محلول یوشیدا، انتقال داده شدند. سپس سینی‌ها در اتاق کشت آزمایشگاه گیاه‌شناسی با دمای روز و شب ۲۹/۲۱ و رطوبت نسبی ۷۰ درصد و نور طبیعی (۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی) قرار داده شدند. محلول غذایی هر هفت روز تعویض شد و pH محلول، هفته‌ای سه بار کنترل و به‌وسیله HCl و NaOH یک نرمال و با استفاده از pH متر مدل 3010 (JENWAY) روی عدد ۵/۵ ثابت نگه داشته شد. بر اساس روش Grigorio *et al*. (1997) و مطالعات قبلی نگارندگان (Sabouri, 2008; Sabouri *et al*., 2010) ابتدا گیاهچه ها به مدت ۱۴ روز در شرایط نرمال کشت داده شدند. سپس تنش شوری با افزودن NaCl به محلول یوشیدا به میزان شش دسی زیمنس بر متر اعمال شد (شکل ۱).



شکل ۱- گیاهچه‌های لاین‌های برنج در شرایط نرمال (راست) و تحت تنش شوری با $EC=12dS.m^{-1}$ (چپ).

Figure 1. Seedlings of rice lines under normal (right) conditions and salinity stress in $EC=12dS.m^{-1}$ (left).

جهت گزینش بهتر ارقام برای تحمل به تنش شوری، ارقام به مدت هفت روز نیز تحت هدایت الکتریکی ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر قرار گرفتند. بعد از اعمال تنش شوری، واکنش لاین‌ها ارزیابی شد و امتیاز لاین‌ها برای تحمل به شوری بر اساس روش Grigorio *et al*. (1997) برای هر لاین در سه تکرار تعیین شد. با استفاده از دستگاه کلروفیل متر دستی (SPAD 502 Minolta) برای هر برگ و در سه نقطه پهنک برگ، میزان کلروفیل، قبل و بعد از اعمال تنش، اندازه‌گیری شد. درصد سدیم و پتاسیم ساقه و ریشه با استفاده از روش هضم تر (Thomas *et al*., 1967) برای گیاچه‌ها تعیین شد.

جدول ۱- ارزیابی استاندارد تغییر شکل یافته برای تعیین میزان صدمه گیاهچه‌های برنج در مرحله گیاهچه‌ای (Grigorio *et al*., 1975).

Table 1. Modified standard evaluation score (SES) of visual salt injury at seedling stage (Grigorio *et al*., 1997).

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

برای اندازه‌گیری روزنه از روش Miskin *et al*. (1972) استفاده شد. سطح برگ (Yoshida *et al*.,1976) و قطر و چگالی سطح ریشه (Hajabbasi, 2001) با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند:

معادله (۱) قطر ریشه=((وزن تر ریشه×۴)/(π×طول ریشه))$^{۰/۵}$

معادله (۲) چگالی سطح ریشه=(طول ریشه×قطر ریشه×π)

معادله (۳) سطح برگ=طول برگ×عرض برگ×۰/۷۵

صفات یادداشت‌برداری شده به‌طور جداگانه تجزیه واریانس شدند و سپس روی داده‌های کلی، تجزیه مرکب انجام شد. برای تجزیه واریانس و مقایسه میانگین، از نرم‌افزار SAS Ver.9.2 استفاده شد. میانگین‌ها با آزمون توکی (HSD) و در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند. همچنین نرم‌افزار SPSS 23 برای محاسبه همبستگی‌ها و تجزیه کلاستر (روش Ward) به‌کار رفت.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین

تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در مجموع شرایط نرمال و تنش شوری نشان داد که اختلاف بین لاین‌ها برای کلیه صفات معنی‌دار بود (جدول ۲). این نتیجه بیانگر وجود تنوع فنوتیپی برای صفات ارزیابی شده در مرحله گیاهچه‌ای در شرایط تنش شوری و نرمال در لاین‌های مورد بررسی است.

جدول۲- تجزیه واریانس مرکب صفات مورد بررسی در شرایط نرمال و تنش شوری در گیاهچه‌های F_8 حاصل از تلاقی ندا و اهلمی‌طارم.

Table 2. Combined variance analysis of the studied traits in F_8 seedling obtained from the Neda × Ahlami Tarom under normal and salinity stress.

Sources of variation	df	MS								
		Chlorophyll content	Stem length	Root length	Root number	Leaf length	Leaf width	Leaf area	Shoot fresh weight	Root fresh weight
Cultivation conditions	1	5.555**	37.225**	2.930**	54.407**	10.514**	0.387**	43.715**	0.006**	0.00**
Error a	4	0.080**	40.5047**	30.795**	3.457**	26.286**	0.005**	1.330**	0.002**	0.000**
line	73	0.0255**	38.6648**	10.887**	3.670**	19.581**	0.007**	1.507**	0.000**	0.000**
× line Cultivation conditions	73	0.0134**	3.7860**	2.188**	0.826**	2.640*	0.002**	0.280**	0.000**	0.000**
Error b	292	0.0008	1.5359	0.461	0.178	0.664	0.0001	0.040	0.000	0.000
C.V		13.522	7.1884	10.052	8.124	6.593	4.8893	0.277	18.592	20.553

ns، *و**: به‌ترتیب غیر معنی‌دار ومعنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, *,**: Non significant and significant at 0.05 and 0.01 of probability levels, respectively.

ادامه جدول۲- تجزیه واریانس مرکب صفات مورد بررسی در شرایط نرمال و تنش شوری در گیاهچه‌های F_8 حاصل از تلاقی ندا و اهلمی‌طارم.

Table 2. Combined variance analysis of the studied traits in F_8 seedling obtained from the Neda × Ahlami Tarom under normal and salinity stress.

Sources of variation	df	MS								
		Fresh biomass	Shoot dry weight	Root dry weight	Dry biomass	Score (6dS/m)	Score (12dS/m)	Root diameter	Root density	Na^+ content shoot
Cultivation conditions	1	0.006**	0.000**	0.000ns	0.000ns	269.630**	2607.6**	2.981**	577.27**	90181.8**
Error a	4	0.001**	0.000**	0.000**	0.000**	3.846**	2.3**	0.711**	544.42**	1104.8**
line	73	0.001**	0.000**	0.000**	0.000**	3.164**	2.5**	0.349**	371.80**	177.1**
× line Cultivation conditions	73	0.000**	0.000**	0.000**	0.000ns	3.164**	2.5**	.0802**	70.46**	149.4**
Error b	292	0.000	0.000	0.000	0.000	0.230	0.3	0.008	6.41	8.5
C.V		14.134	8.858	22.818	10.298	26.977	17.9	13.95	17.04	15.6

ns، *و**: به‌ترتیب غیر معنی‌دار ومعنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج و یک درصد

.ns, *,**: Non significant and significant at 0.05 and 0.01 of probability levels, respectively

ادامه جدول۲- تجزیه واریانس مرکب صفات مورد بررسی در شرایط نرمال و تنش شوری در گیاهچه‌های F_8 حاصل از تلاقی ندا و اهلمی‌طارم.

Table 2. Combined variance analysis of the studied traits in F_8 seedling obtained from the Neda × Ahlami Tarom under normal and salinity stress.

‘	df	MS							
		Na^+ content root	K^+ content shoot	K^+ content root	Na^+/K^+ shoot	Na^+/K^+ root	Length stomata	Width stomata	Stomata number
Cultivation conditions	1	51253.41**	2521.16**	0.068ns	0.000ns	0.557ns	156.48**	683.68**	9953.98**
Error a	4	817.11**	1762.62**	358.569**	2.398**	18.699**	172.26**	25.72**	1810.87**
line	73	241.11**	120.30**	43.026**	3.014**	13.749**	34.91**	21.20**	2117.69**
× line						0.345ns	18.93**	12.08**	1125.27**
Cultivation conditions	73	193.82**	72.86**	40.416**	0.001ns				
Error b	292	13.11	4.92	3.588	0.054	0.391	8.536	4.194861	528.92
C.V		23.27538	11.98	32.176	12.950	15.550	9.264	10.49	18.14

ns، *و**: به‌ترتیب غیر معنی‌دار ومعنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج و یک درصد

.ns, *,**: Non significant and significant at 0.05 and 0.01 of probability levels, respectively

واکنش متفاوت ژنوتیپ‌های مورد بررسی نسبت به تنش موجب شد که اثر متقابل لاین × شرایط کشت برای اکثر صفات، به‌جز زیست‌توده خشک، نسبت سدیم به پتاسیم ساقه و نسبت سدیم به پتاسیم ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شود. معنی‌دار بودن اثر متقابل، نشان‌دهنده رفتار متفاوت لاین‌ها در شرایط نرمال و تنش شوری از نظر صفات مورد بررسی است و احتمالا مکانسیم‌های متفاوت بین آن‌ها را در واکنش به شرایط مختلف کشت نشان می‌دهد که می‌تواند در انتخاب ارقام مناسب برای هر شرایط کشت، به‌صورت جداگانه (تنش و نرمال) مورد استفاده قرار گیرند. میانگین صفات ارزیابی شده برای پنج درصد لاین‌های برتر در شرایط نرمال (جدول ۳) نشان داد که لاین ۳۲' از نظر صفات طول ساقه، طول بزرگترین برگ، مساحت برگ، زیست‌توده تر، وزن خشک ساقه و زیست‌توده خشک، بیشترین مقادیر را دارا است. در شرایط تنش شوری، لاین‌های ۳۶، ۳۲'، ۳۰ و ۱۱۶ برترین لاین‌ها از نظر زیست‌توده بودند. لاین ۳۶ از نظر وزن تر ریشه، وزن تر و خشک ساقه، زیست‌توده تر و قطر ریشه، جزو گروه-های برتر در بین لاین‌های مورد بررسی بود (جدول ۴). شوری از رشد طولی ساقه و برگ ممانعت می‌کند؛ به همین دلیل اولین علائم شوری، کاهش گسترش برگ‌ها و در نهایت مرگ بافت است (Flowers & Yeo, 1988). محققان با مطالعه بر روی برنج نشان دادند که برگ‌های کاملا توسعه یافته قبل از برگ‌های جوان، تحت تاثیر شوری قرار می‌گیرند و مساحت برگ به عنوان اولین عکس العمل گیاه کاهش می‌یابد (Alam *et al*., 2004).

جدول ۳- میانگین صفات ارزیابی شده برای پنج درصد لاین‌های برتر در شرایط نرمال.

Table 3. Mean evaluated traits of best lines (5%) in normal conditions.

Line	Chlorophyll content	Line	Stem length (cm)	Line	Root length (cm)	Line	Root number	Line	Leaf length (cm)	Line	Root density	Line	Leaf width (cm)	Line	Leaf area (cm^2)	Line	Shoot fresh weight (g)
32	0.68	7'	24.17	107	11.60	19	8.00	28'	16.83	107	43.39	32	0.39	99	4.25	14	0.07
11	0.58	32'	22.15	46	11.45	100	7.75	32'	16.37	46	42.02	85	0.37	'32	4.07	'32	0.7
85	0.55	28'	21.85	5	9.15	116	7.08	116	16.25	36	35.86	99	0.34	32	4.03	7	0.06
99	0.50	102	21.80	36	8.90	55	7.00	99	15.91	7	29.45	110	0.34	116	4.01	116	6.0
HSD	0.19	HSD	5.57	HSD	3.37	HSD	1.96	HSD	3.91	HSD	10.63	HSD	0.05	HSD	1.02	HSD	0.03

ادامه جدول ۳- میانگین صفات ارزیابی شده برای پنج درصد لاین‌های برتر در شرایط نرمال.

Table 3. Mean evaluated traits of five percent of best lines in normal conditions. Continued

Line	Root fresh weight (g)	Line	Fresh biomas (g)	Line	Shoot dry weight (g)	Line	Root dry weight (g)	Line	Dry biomass (g)	Line	Root diameter	Line	Na^+ Stem content (mg/g DT)	Line	Na^+ root content (mg/g DT)
98	0.01	14	0.11	32'	0.016	10	0.006	36	0.018	36	1.30	84	1.28	98	1.19
36	0.01	32'	0.08	14	0.015	2	0.006	32	0.018	107	1.23	32	1.43	23	1.64
101	0.01	101	0.07	116	0.015	36	0.002	46	0.018	26	1.14	100	1.48	50	1.71
26	0.01	116	0.07	99	0.014	34	0.002	30	0.017	46	1.13	5	1.62	79	1.73
HSD	0.07	HSD	0.02	HSD	0.004	HSD	0.001	HSD	0.005	HSD	0.38	HSD	3.74	HSD	11.82

ادامه جدول ۳- میانگین صفات ارزیابی شده برای پنج درصد لاین‌های برتر در شرایط نرمال.

Table 3. Mean evaluated traits of five percent of best lines in normal conditions. Continued

Line	K^+ Stem content (mg/g DT)	Line	K^+ root content (mg/g DT)	Line	Na^+/K^+ shoot	Line	Na^+/K^+ root	Line	Stomata length (µm)	Line	Stomata width (µm)	Line	Number of stomata
43	43.64	109	14.28	101	0.75	91	0.304	117	38.98	36	27.19	7'	21.5
24	40.56	43	13.95	110	0.84	19	0.382	85	38.84	91	25.62	50	19.0
10	40.12	10	12.44	107	0.86	45	0.702	26	38.63	86	24.82	93	18.0
109	33.88	86	12.17	85	0.89	90	1.875	68	38.37	113	24.63	12	18.0
HSD	21.66	HSD	8.80	HSD	1.02	HSD	2.839	HSD	11.03	HSD	7.60	HSD	9.04

با افزایش شوری به ۱۲ دسی‌زیمنس، لاین‌های ۳۲، ۱۱، ۸۵ و ۲۱ جزو برترین لاین‌ها بودند. لاین ۳۲ بیشترین عرض برگ و پتاسیم ساقه نیز دارا بود و کمترین مقدار سدیم ریشه را داشت. لاین ۸۵ نیز از نظر محتوای کلروفیل و عرض برگ، مساحت برگ و نسبت سدیم به پتاسیم ساقه، دارای بیشترین مقدار بود (جدول ۴).

Flowers &Yeo (1984) معتقدند که ارقامی که مقدار کمتری یون سدیم و با غلظت کمتر در اندام هوایی خود انباشته می‌کنند، از ساز و کار رقیق‌سازی نمک و تجمع آن‌ها در واکوئل‌ها برخوردارند و موفق می‌شوند که از اثرات سوء نمک تا حدودی مصون بمانند. یکی از دلایل تحمل بیشتر ارقام پابلند مانند پوکالی نیز همین مکانیسم است. یکی از اثرات ثانویه غلظت بالای Na^+ در محیط ریشه، جلوگیری از جذب مواد غذایی ضروری پتاسیم و کلسیم می‌باشد. اثرات مستقیم شوری در سطوح فعالیت آنزیمی، عمل غشا و در فرایندهای مختلف متابولیکی قابل مشاهده است (Moradi & Abdelbagi, 2007). پتاسیم یکی از عناصری است که در تنش شوری در گیاهان متحمل انباشته می‌شود. (Shiro *et al*., 2002) پژوهش روی برنج و جو، بیانگر نقش مثبت یون پتاسیم در تحمل به تنش شوری و کاهش اثرات منفی یون‌هایی مانند سدیم و کلر است، زیرا یون پتاسیم در شرایط تنش شوری، موجب حفظ پایداری غشای سلولی، حفظ کارایی فتوسنتزی و بهبود وضعیت رطوبتی گیاه تحت شایط تنش می‌شود (Asch *et al*. 2000., Carden *et al*., 2003).

همبستگی و روابط بین صفات

همبستگی صفات در شرایط نرمال نشان داد که زیست‌توده با صفات طول ساقه، تعداد ریشه، مساحت برگ، قطر ریشه و چگالی سطحی ریشه همبستگی بالا و معنی‌داری داشت.

جدول ۴- میانگین صفات ارزیابی شده برای پنج درصد لاین‌های برتر در شرایط تنش.

Table 4. Mean evaluated traits of five percent of best lines in stress conditions.

Line	Stem length (cm)	Line	Root length (cm)	Line	Root number	Line	Leaf length (cm)	Line	Chlorophyll content	Line	Root Density	Line	Leaf width (cm)	Line	Leaf area (cm^2)	Line	Shoot fresh weight (g)
7'	25.00	107	12.19	72	6.79	7'	17.02	85	0.25	107	71.79	85	0.33	99	3.70	116	0.04
30	23.12	71	10.25	30	6.29	99	16.52	60	0.21	116	29.78	32	0.31	32'	3.29	36	0.04
43	22.00	46	10.23	82	6.25	32'	16.50	26	0.21	101	27.34	95	0.30	85	2.94	102	0.04
116	21.89	67	9.36	80	6.16	116	16.05	112	0.20	8	27.17	99	0.29	83	2.89	107	0.04
HSD	4.36	HSD	3.13	HSD	1.25	HSD	3.04	HSD	0.09	HSD	14.82	HSD	0.04	HSD	0.593	HSD	0.01

ادامه جدول ۴- میانگین صفات ارزیابی شده برای پنج درصد لاین‌های برتر در شرایط تنش.

Table 4. Mean evaluated traits of five percent of best lines in stress conditions. Continued

Line	Root fresh weight (g)	Line	Fresh biomas (g)	Line	Shoot dry weight (g)	Line	Root dry weight (g)	Line	Dry biomass (g)	Line	Score (6dS/m)	Line	Score (12dS/m)	Line	Root diameter (mm)
36	0.013	76'	0.07	32'	0.016	84	0.005	36	0.018	71	1.00	32	3.00	107	1.88
10	0.012	36	0.06	30	0.016	100	0.003	32'	0.018	116	1.00	11	3.00	36	1.18
100	0.012	102	0.05	36	0.015	6	0.002	30	0.017	67	1.00	85	3.00	101	1.14
107	0.012	116	0.05	116	0.015	34	0.002	116	0.017	112	1.00	21	3.00	8	1.04
HSD	0.004	HSD	0.02	HSD	0.004	HSD	0.001	HSD	0.005	HSD	2.60	HSD	3.14	HSD	0.054

ادامه جدول ۴- میانگین صفات ارزیابی شده برای پنج درصد لاین‌های برتر در شرایط تنش.

Table 4.Mean evaluated traits of five percent of best lines in stress conditions. Continued

Line	Na^+ Stem content (mg/g DT)	Line	Na^+ root content (mg/g DT)	Line	K^+ Stem content (mg/g DT)	Line	K^+ root content (mg/g DT)	Line	Na^+/K^+ shoot	Line	Na^+/K^+ root	Line	Stoma length (µm)	Line	Stoma width (µm)	Line	Number of stoma
85	12.70	84	7.22	109	25.93	91	34.70	85	0.744	91	0.30	60	36.72	68	25.79	55	21.5
13	15.89	57	8.18	32	25.14	19	20.29	101	0.756	19	0.38	117	36.46	18	51.24	116	20.5
101	16.02	32	9.55	67	24.71	45	16.45	110	0.845	45	0.70	108	36.17	6	86.23	80	20.5
107	16.80	90	12.22	24	24.00	99	14.34	107	0.862	84	0.77	79	35.86	100	21.78	107	20.0
HSD	23.56	HSD	21.05	HSD	15.10	HSD	11.24	HSD	0.02	HSD	2.74	HSD	11.82	HSD	6.92	HSD	9.42

همبستگی صفات در شرایط تنش شوری نشان داد که امتیاز ارقام در شوری شش و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، همبستگی بالا و معنی‌دار با صفات محتوی کلروفیل، طول ساقه و مساحت برگ داشت. از آن‌جا که لاین‌های متحمل (دارای امتیاز ژنوتیپی پایین)، وزن خشک و طول ریشه بالاتر و مساحت برگ و محتوای کلروفیل بیشتری دارند، همبستگی‌های فوق منطقی به نظر می‌رسد. Aslam *et al* (1993) نشان دادند که وزن خشک و تر ساقه و درصد سبز بودن گیاه برنج می‌تواند معیار مناسبی جهت ارزیابی تحمل گیاه به شوری باشد. از جمله صفات مهم برای تشخیص تحمل گیاه به تنش شوری غلظت سدیم و پتاسیم است. بر اساس جدول ۵، همبستگی بین این صفات، پایین و غیر معنی‌دار بود. به‌نظر می‌رسد که در شرایط تنش شوری، جذب سدیم و پتاسیم، مستقل از یکدیگر و از مسیرهای متفاوتی صورت می‌گیرد و از این نظر رقابتی با هم نداشته باشند. یون سدیم طی مکانیسم جریان تعرقی و از مسیر بین سلولی جذب می‌شود، درحالی‌که یون پتاسیم به‌وسیله ناقل‌ها و کانال‌ها جذب می‌شود. ممانعت از جذب سدیم در برنج می‌تواند از طریق خارج سازی نمک و ذخیره سازی یون‌ها در واکوئل انجام گیرد (Yeo & Flowers, 1984). در هر دو شرایط آزمایش، می‌توان همبستگی بالای صفات طول ساقه و مساحت برگ را با صفات مهمی همچون زیست‌توده و امتیاز تحمل تنش مشاهده کرد که نشان دهنده تاثیر بالای این صفات بر تحمل لاین‌ها بود.

جدول ۵- همبستگی صفات ارزیابی شده در شرایط نرمال و شوری (اعداد بالای قطر برای شرایط نرمال و اعداد پایین قطر برای شرایط شوری می‌باشد).

Table 5. Correlation among evaluated traits under normal and saline conditions (The numbers above and below diagonal are for normal saline conditions, respectively).

Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	1	0.091	0.038	0.161	0.419**	0.271*	-	-	0.209	0.136	-0.127	-0.189	-0.065	0.034	-0.062	-0.100	0.082	0.197	-0.202
2	0.154	1	0.072	0.519**	0.714**	0.662**	-	-	0.341**	0.304**	0.032	-0.144-	-0.013	0.142	-0.020	0.146-	-0.278*-	-0.215	0.107
3	0.047	0.118	1	0.033	0.120	0.174	-	-	0.448**	0.754**	0.226	0.082	-0.159	-0.123	-0.130	0.110	-0.184	0.079	0.117
4	0.116	0.286*	-0.043	1	0.369**	0.700**	-	-	0.595**	0.454**	-0.016	-0.159	-0.070	0.179	0.105	-0.100	-0.021	0.104	-0.050
5	0.419**	0.581**	0.101	0.136	1	0.630**	-	-	0.333*	0.287*	-0.021	-0.109	0.045	0.194	-0.118	0.260*	0.092	0.133	0.169
6	0.262**	0.713**	0.176	0.458**	0.430**	1	-	-	0.839**	0.690**	-0.101	-0.008	-0.161	0.126	0.034	0.126	-0.042	0.111	-0.120
7	-0.496**	0.346**	-0.260*	-0.148	-0.463**	-0.279*	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-0.635**	-0.278*	0.130	-0.050	-0.473**	-0.199	0.736**	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	0.214	0.333**	0.505**	0.349**	0.186	0.773**	0.227	-0.095	1	0.905**	-0.151	0.043	-0.191	0.050	0.037	0.024	0.043-	0.235*	-0.081
10	0.125	0.296*	0.498**	0.216	0.175	0.641**	0.247*	-1.00	0.945**	1	-0.163	0.071	0.198	-0.014	-0.024	0.039	-0.130	0.209	0.025
11	-0.389**	0.142	-0.080	0.056	0.148	-0.061	0.198	0.228	-0.194	-0.185	1	0.115	-0.052	0.028	0.399**	-0.029	0.061	0.173	-0.108
12	-0.236*	0.027	0.009	-0.048	-0.184	-0.029	0.230*	0.285*	-0.070	-0.083	0.295*	1	0.191	0.325**	0.047	0. 202	0.243*	0.217	0.143
13	0.031	-0.063	0.055	-0.140	0.190	0.251*	0.021	-0.085	0.253*	-0.174	0.046	-0.139	1	0.493**	-0.446**	-0.074-	-0.581	-0.101	-0.052
14	-0.200	0.071	0.061	-0.030	-0.044	0.091	0.108	0.105	0.058	0.051	-0.047	0.041	0.011	1	-0.094	-0.169	-0.020	0.021	-0.052
15	-0.281*	0.068	0.033	-0.004	0.301**	0.011	0.095	0.211	0.035	0.00	0.516**	0.404**	-0.571**	-0.070	1	-0.062	-0.080	0.208	0.035
16	-0.006	-0.200	0.085	-0.032	-0.181	-0.233	0.008	-0.038	-0.155	-0.096	-0.120	0.295*	-0.242*	0.140	0.219	1	0.151	0.126	0.039
17	0.127	0.017	-0.039	0.086	0.162	0.137	0.005	-0.042	0.134	0.063	-0.101	0.035	0.007	0.045	-0.203	-0.076	1	0.400**	-0.624**
18	0.185	-0.304**	-0.032	0.090	-0.038	0.117	-0.049	-0.194	0.076	0.020	-0.213	0.028	-0.031	-0.003	-0.037	0.025	0.217	1	-0.487**
19	-0.148	0.133	0.155	0.120	-0.151	0.121	0.056	0.228	0.157	0.221	0.236*	0.034	-0.049	-0.026	0.283*	0.013	-0.585**	-0.254*	1

ns، *و**: به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج و یک درصد. ns, * and **:non significant and significantly at 1 and 5% of probability level, respectively.

Chlorophyll content(1), Stem length (2), Root length (3), Number of root (4), Leaf area (5), Dry biomass (6), Score (6dS/m)(7), Score (12 dS/m)(8), Root diameter (9), Root Density , (10) Na^+ shoot content(11) , Na^+ root content (12) ، K^+ Stem content (13)، K^+ root content (14) ، Na^+/K^+ shoot (15) ، Na^+/K^+ root (16) ، Stomata length (17) ، Stomata width (18), Number of stomata (19)

رگرسیون مرحله‌ای

جهت گزینش صفاتی که نقش مهم‌تری در توجیه زیست‌توده خشک و امتیاز ارقام در دو حالت نرمال و تنش شوری دارند، از رگرسیون مرحله‌ای به روش پیش رونده استفاده شد. نتایج رگرسیون پیشرو در شرایط تنش نرمال نشان داد که زمانی که زیست‌توده خشک، به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات، به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شوند، به‌ترتیب قطر ریشه، طول ساقه، طول ریشه وچگالی سطح ریشه، بیشترین تغییرات (۹۲/۱ درصد) را توجیه کردند (جدول۶).

جدول ۶- نتایج رگرسیون مرحله‌ای زیست‌توده خشک به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به‌عنوان متغیر مستقل در جمعیت F_8 حاصل از تلاقی ارقام اهلمی‌طارم × ندا در شرایط نرمال.

Table 6. Results of stepwise regression of dry biomass as dependent variable and other traits as independent variables in F8 population obtained from Ahlami Tarom × Neda cross under normal conditions.

Traits entered in model	Intercept	Coefficients				F	R^2
		b_1	b_2	b_3	b_4		
Root diameter	0.007	0.072**				171.477	0.704
Shoot length	0.054	0.060**	0.003**			226.908	0.865
Root length	0.036	0.068**	0.003**	0.003**		210.126	0.900
Leaf area	0.036	0.067**	0.002**	0.003**	0.008**	201.610	0.921

*و**: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

*,**: significant at 0.05 and 0.01 of probability levels, respectively.

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون، برای دستیابی به لاین‌هایی با زیست‌توده بیشتر، می‌توان انتخاب را بر اساس قطر و طول ریشه، طول ساقه و مساحت برگ انجام داد. زمانی که امتیاز ارقام در شوری شش دسی‌زیمنس بر متر، به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات، به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شوند، به‌ترتیب صفات محتوای کلروفیل، مساحت برگ و طول ریشه، بیشترین تغییرات (۳۷ درصد) را توجیه کردند (جدول ۷).

جدول ۷- نتایج رگرسیون مرحله‌ای تحمل تنش شوری در شش دسی زیمنس بر متر به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به عنوان متغیر مستقل در جمعیت F_8 حاصل از تلاقی ارقام اهلمی‌طارم × ندا.

Table 7. Results of stepwise Regression of salt tolerance score in 6 $dS.m^{-1}$ as dependent variable and other traits as independent variables in F_8 population obtained from Ahlami Tarom × Neda cross.

Traits entered in model	Intercept	Coefficients			R^2	F
		b_1	b_2	b_3		
Chlorophyll content	3.944	-10.75**			23.49**	0.246
Leaf area	5.301	-7.94**	-7.88**		17.08**	0.325
Root length	6.532	-7.91**	-0.73**	-0.18**	13.71**	0.370

*و**: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

*,**: significant at 0.05 and 0.01 of probability levels, respectively.

زمانی‌که امتیاز ارقام در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات، به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند، به‌ترتیب صفات محتوای کلروفیل و مساحت برگ، بیشترین تغییرات (۴۵/۵ درصد) را توجیه کردند (جدول ۸). بر اساس نتایج تجزیه رگرسیون در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، می‌توان انتخاب را بر اساس محتوای کلروفیل و مساحت برگ انجام داد. سایر صفات مورد مطالعه، تاثیر معنی-داری بر مدل نداشتند و به همین دلیل، اختلاف بین لاین‌ها از نظر امتیاز تحمل به تنش شوری را می‌توان به تفاوت در صفات فوق نسبت داد (جدول ۸). در مطالعه Sabouri (2008) صفت امتیاز ارقام به‌عنوان

متغیر وابسته و سایر صفات به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد که صفت طول اندام هوایی، ۰/۵۰۶ درصد از تغییرات توجیه نمود و همبستگی بین صفت امتیاز ارقام و طول اندام هوایی گیاه، برابر با ۰/۴۱۵- گزارش شد. در مطالعه اخیر نیز همبستگی بین صفت امتیاز تحمل و ارتفاع بوته برابر با ۰/۳۷۳- مشاهده شد.

انجام تجزیه رگرسیون گام به گام توسط Farahmandfar *et al.* (2009) جهت انتخاب صفات مرتبط با تحمل به تنش شوری در مرحله گیاهچه‌ای برنج، به‌ترتیب وزن خشک اندام هوایی و ریشه را به عنوان صفات موثر بر زیست‌توده گزارش نمود.

جدول ۸- نتایج رگرسیون مرحله‌ای تحمل تنش شوری در ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بهه‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به‌عنوان متغیر مستقل در جمعیت F_8 حاصل از تلاقی ارقام اهلمی طارم × ندا.

Table .- Results of stepwise Regression of salt tolerance score in 12 $dS.m^{-1}$ as dependent variable and other traits as independent variables in F_8 population obtained from Ahlami Tarom × Neda cross.

Traits entered in model	Intercept	Coefficients		F	R^2
		b_1	b_2		
Chlorophyll content	7.484	-13.93**		48.616**	0.403
Leaf area	8.597	-11.62**	-0.646**	29.619**	0.455

*و**: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

*,**: significant at 0.05 and 0.01 of probability levels, respectively.

تجزیه علیت

به‌منظور ارزیابی میزان اثر هر یک از صفات بر زیست‌توده و کد ژنوتیپی بر گیاهچه‌ها در شرایط نرمال و تنش، از روش تجزیه علیت استفاده شد و همبستگی‌های ژنوتیپی بین صفات زیست‌توده و کد ژنوتیپی با دیگر صفات، به اثرات مستقیم و غیر مستقیم تفکیک شد. برای انجام تجزیه علیت در شرایط نرمال، زیست‌توده به‌عنوان متغیر وابسته (معلول) و صفات موجود در مدل رگرسیونی گام به گام به‌عنوان متغیرهای مستقل (علت) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که بیشترین اثر مستقیم، مربوط به طول ساقه (۰/۳۹۱) بود و طول ریشه، اثر مستقیم منفی بر زیست‌توده داشت. در این مطالعه، قطر ریشه دارای اثر مستقیم و بالا (۰/۳۱۵) و همچنین این صفت از طریق طول ریشه (۰/۰۰۶)، اثر غیر مستقیم منفی بر زیست‌توده داشت (جدول ۹).

جدول ۹- اثرات مستقیم و غیر مستقیم صفات بر زیست‌توده در جمعیت F_8 برنج حاصل از تلاقی ارقام اهلمی‌طارم و ندا در شرایط نرمال.

Table 9. Direct and indirect effects of traits on biomass in the F_8 population of rice obtained from Ahlami Tarom and Neda cultivars crossing under normal condition.

Traits	Direct effect	Indirect effects			
		Root diameter	Shoot length	Root length	Leaf area
Root diameter	0.315	-	0.122	-0.006	0.088
Stem length	0.391	0.107	-	-0.100	0.190
Root length	0.014	0.141	0.281	-	0.320
Leaf area	0.267	0.104	0.281	-0.009	-

برای انجام تجزیه علیت، امتیاز تحمل به شوری شش دسی‌زیمنس بر متر به‌عنوان متغیر وابسته (معلول) و صفات موجود در مدل رگرسیونی گام به گام به‌عنوان متغیرهای مستقل (علت) در نظر گرفته شد. نتاج، نشان دهنده تاثیر مستقیم و منفی محتوای کلروفیل، مساحت برگ و طول ریشه بر امتیاز تحمل شوری بود (جدول ۱۰). تجزیه علیت در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر نشان داد که محتوای کلروفیل، بیشترین تاثیر مستقیم و منفی (۰/۵۳۰-) را بر امتیاز ارقام داشت (جدول ۱۱).

جدول ۱۰- اثرات مستقیم و غیر مستقیم امتیاز ارقام در شوری شش دسی‌زیمنس بر متر در جمعیت F_8 برنج حاصل از تلاقی ارقام اهلمی‌طارم و ندا.

Table 10- Direct and indirect effects of traits on biomass in the F_8 population of rice obtained from Ahlami Tarom and Neda cultivars crossing under 6 $dS.m^{-1}$ condition.

Traits	Direct effect	Indirect effects		
		Chlorophyll content	Leaf area	Root length
Chlorophyll content	-0.364	-	-0.121	-0.010
Leaf area	-0.290	-0.152	-	-0.021
Root length	-0.214	-0.017	-0.029	-

جدول ۱۱- اثرات مستقیم و غیر مستقیم امتیاز ارقام در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در جمعیت F8 برنج حاصل از تلاقی ارقام اهلمی‌طارم و ندا.

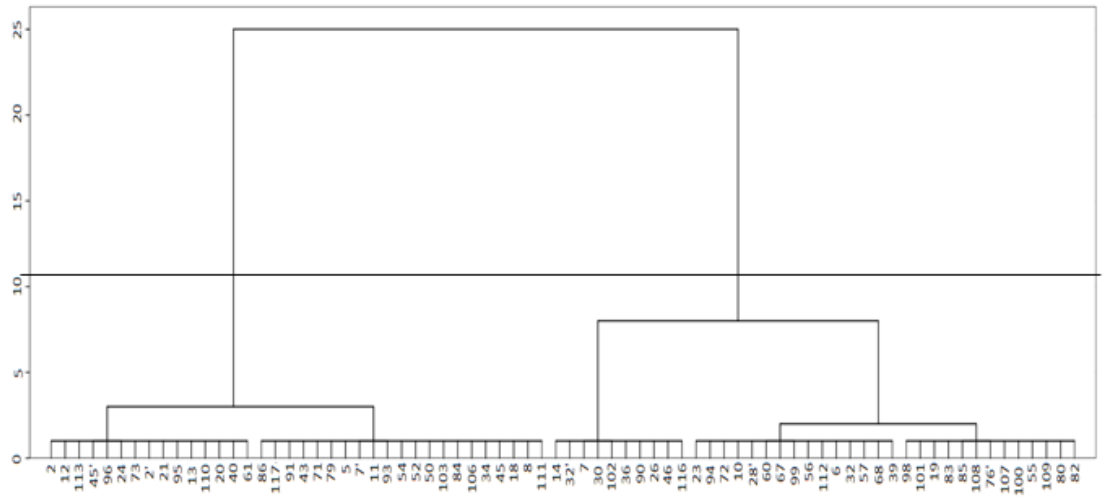
Table 11. Direct and indirect effects of traits on biomass in the F_8 population of rice obtained from Ahlami Tarom and Neda cultivars crossing under 12 $dS.m^{-1}$ conditions.

Traits	Direct effect	Indirect effects	
		Chlorophyll content	Leaf area
Chlorophyll content	-0.530	-	-
Leaf area	-0.251	-0.222	-0.222

تجزیه خوشه‌ای در دو حالت (بر اساس امتیاز ارقام در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و مجموع صفات گیاهچه‌ای) بررسی شد. بر اساس شکل ۲، تجزیه خوشه‌ای در شرایط نرمال و بر اساس مجموع صفات گیاهچه‌ای، لاین‌های مورد بررسی را در دو گروه قرار داد (جدول ۱۲). لاین‌های واقع در گروه اول از نظر صفات غلظت سدیم و پتاسیم ساقه، نسبت سدیم به پتاسیم ریشه، طول روزنه و تعداد روزنه نسبت به گروه دوم، دارای مقادیر بالاتری بودند. در سایر صفات مورد مطالعه، لاین‌های گروه دوم دارای مقادیر بالاتری بودند و از این جهت، به‌عنوان گروه برتر انتخاب شدند. تجزیه خوشه‌ای در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، لاین‌های مورد بررسی را در سه گروه قرار داد (جدول ۱۳). گروه سوم با دارا بودن کمترین میانگین، گروه متحمل و گروه اول با بیشترین امتیاز، گروه حساس در نظر گرفته شد. گروه دوم، حدواسط دو گروه مذکور بودند و واکنش متعادلی را نشان دادند (شکل ۳).

تجزیه خوشه‌ای به روش وارد و بر اساس مجموع صفات گیاهچه‌ای، لاین‌های مورد بررسی را در چهار گروه حساس، نیمه حساس، نیمه متحمل و متحمل قرار داد (جدول ۱۴). گروه سوم از نظر امتیاز ارقام در شوری‌های شش و ۱۲ دسی‌زیمنس، دارای متحمل‌ترین لاین‌ها است. گروه اول با دارا بودن کمترین میانگین، گروه حساس در نظر گرفته شد و گروه دوم با داشتن ویژگی-هایی مثبتی همچون طول ساقه ، طول ریشه و زیست‌توده خشک بالا، گروه نیمه متحمل شناخته شدند.

بر طبق تجزیه خوشه‌ای، لاین‌های ۱۱، ۱۰۲ ،۳۹ و ۸۵ دارای بیشترین تحمل به تنش شوری بودند. این لاین‌ها از نظر امتیاز ارقام، دارای کمترین امتیاز تحمل شوری بودند و از نظر زیست‌توده، جزو لاین‌های گروه برتر قرار گرفتند و از نظر مجموع صفات گیاهچه‌ای، از متحمل-ترین لاین‌ها در پژوهش حاضر بودند (شکل ۳). *et al* Beheshtizadeh (2013) در تحقیقی با عنوان ارزیابی تنوع ژنتیکی در واریته‌های گندم نان با استفاده از روش‌های چند متغیره آماری نشان دادند که واریته‌های گندم نان، با استفاده از تجزیه خوشه‌ای و بر مبنای روش حداقل واریانس وارد، در سه گروه کلاستر بندی شدند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که می‌توان از لاین‌های متحمل و حساس، جهت تلاقی، برنامه‌های اصلاحی و تهیه جمعیت‌های مناسب استفاده نمود.



شکل ۲- تجزیه خوشه‌ای جمعیت F_8 برنج حاصل از تلاقی ندا × اهلمی‌طارم در شرایط نرمال.

Figure 2. Cluster analysis of F_8 rice population obtained from Neda × Ahlami Tarom cross under normal conditions.

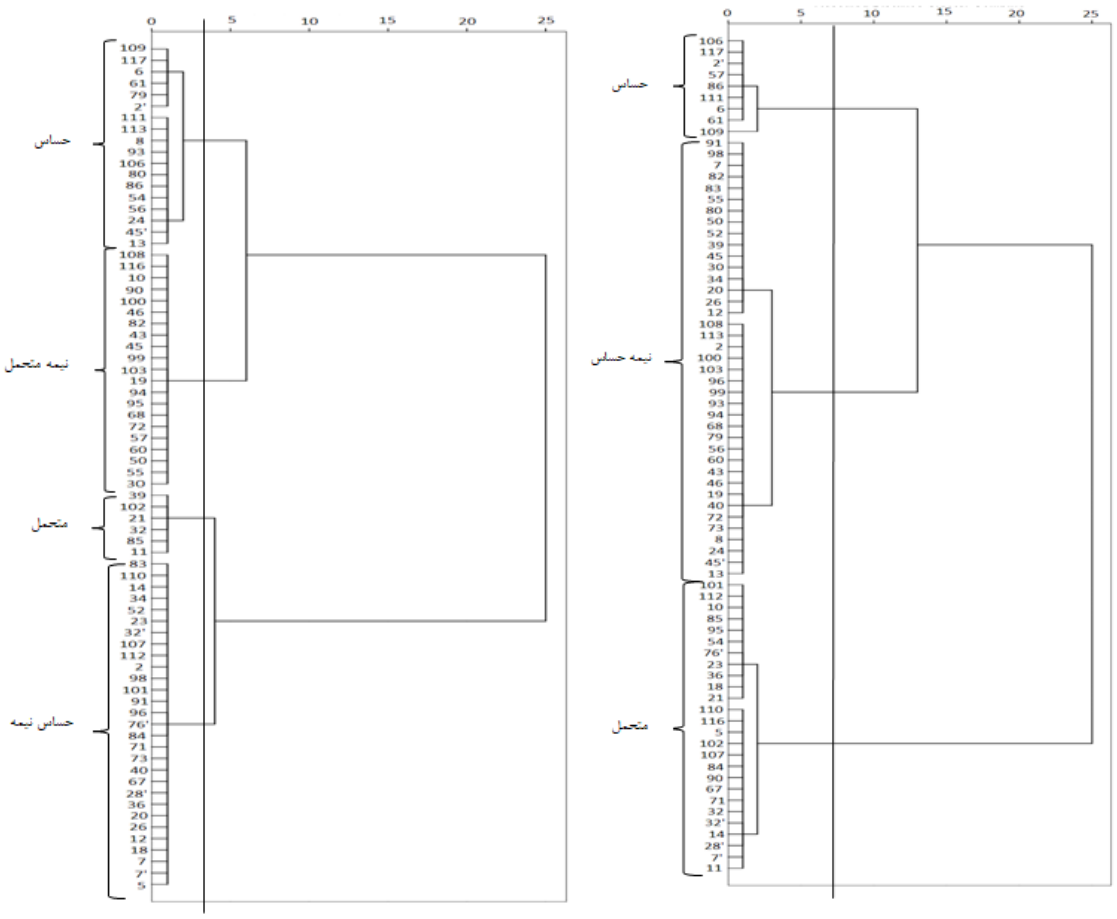
جدول۱۲- میانگین صفات گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای در جمعیت F_8 برنج حاصل از تلاقی اهلمی‌طارم × ندا در شرایط نرمال.

Table 12. Mean traits of cluster analysis groups in F8 population of rice obtained from the intersection of Ahlami Tarom and Neda in normal conditions.

	Group	
Traits	First	Second
Chlorophyll content	0.3423[a]	Second
Stem length (cm)	16.4045[a]	0.4047[b]
Root length (cm)	7.1016[a]	20.0333[b]
Root number	5.2356[a]	7.1947[b]
Leaf area (cm^2)	2.4764[a]	6.3903[b]
Biomass (g)	0.0113[a]	3.2396[b]
Root diameter (mm)	0.6904[a]	0.0157[b]
Root Density	15.9503[a]	1.0041[b]
Na^+ Shoot content (mg/g DT)	5.485[a]	24.3103[b]
Na^+ root content (mg/g DT)	5.768[a]	5.133[b]
K^+ Shoot content (mg/g DT)	27.422[a]	7.017[b]
K^+ root content (mg/g DT)	8.076[a]	25.725[b]
Na^+/K^+ of shoot	0.263[a]	8.430[b]
Na^+/K^+ of root	2.583[a]	0.293[b]
Stomata length (µm)	32.159[a]	1.754[b]
Stomata width (µm)	20.574[a]	32.102[b]
Number of stomata	14.277[a]	20.930[b]

گروه‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Groups with the same letter(s) are not significantly different.



(ب) (الف)

شکل ۳- تجزیه خوشه‌ای جمعیت F_8 برنج حاصل از تلاقی ندا × اهلمی‌طارم بر اساس امتیاز ارقام در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر (الف) و صفات گیاهچه‌ای (ب) در شرایط تنش شوری.

Figure 3. Cluster analysis of F_8 rice population obtained from Neda × Ahlami Tarom cross based on the score of cultivars of 12 $dS.m^{-1}$ salinity (A) and seedling traits (B) under salinity stress conditions.

جدول۱۳- میانگین امتیاز تحمل شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای در جمعیت F_8 برنج حاصل از تلاقی اهلمی‌طارم × ندا.

Table 13. Mean of 12 dS/m salt tolerance score derived from cluster analysis groups in the F8 population of rice obtained from the intersection of Ahlami Tarom × Neda.

Trait	Group		
	First	Second	Third
Salt tolerance score	7.5185[c]	5.8205[b]	4.7692[a]

گروه‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Groups with the same letter(s) are not significantly different

نتیجه گیری کلی

مقایسه میانگین نشان داد که لاین ۳۲ از نظر امتیاز ارقام، متحمل‌ترین لاین به تنش شوری می‌باشد. در بین صفات مورد بررسی، بیشترین همبستگی بین قطر ریشه و چگالی سطحی ریشه (۰/۹۴۵) مشاهده شد. رگرسیون مرحله‌ای نشان داد که در شرایط تنش شوری، صفات قطر ریشه، طول ساقه و چگالی سطحی ریشه، رابطه معنی‌داری با زیست‌توده دارند. همچنین رگرسیون

مرحله‌ای برای امتیاز ارقام در شوری‌های شش و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به‌عنوان متغیر وابسته نشان داد که صفات محتوای کلروفیل و مساحت برگ، رابطه معنی‌داری با امتیاز ارقام داشتند. نتایج تجزیه علیت نشان داد که در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس، محتوای کلروفیل و مساحت برگ، تاثیر منفی بر امتیاز ارقام داشتند. نتایج تجزیه خوشه‌ای نشان داد که لاین‌های ۱۱، ۱۰۲ ،۳۹ و ۸۵ دارای بیشترین تحمل به تنش شوری و امتیاز تحمل شوری و غلظت سدیم پایین‌تری هستند. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، می‌توان از لاین‌های متحمل برای تلاقی و تهیه جمعیت‌های مناسب برای برنامه‌های اصلاحی استفاده نمود.

جدول ۱۴- میانگین صفات گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای در جمعیت F_8 برنج حاصل از تلاقی اهلمی‌طارم × ندادر شرایط تنش شوری.

Table 14. Mean traits derived from cluster analysis groups in F8 population of rice obtained from the interspecific cross-sectionunder salinity stress conditions.

Traits	Group			
	First	Second	Third	Fourth
Chlorophyll content	0.0730[a]	0.1281[b]	0.1990[c]	0.1537[b]
Stem length (cm)	15.5315[a]	18.9750[b]	18.1528[b]	18.1796[b]
Root length (cm)	6.7440[ab]	7.8044[bc]	6.5528[a]	7.9371[c]
Number of root	4.8241[a]	5.4175[a]	4.7500[a]	5.0230[a]
Leaf area (cm^2)	1.7988[a]	2.2398[b]	2.4512[b]	2.3388[b]
Dry biomass (g)	0.0112[a]	0.0158[b]	0.0148[b]	0.0150[b]
Score (6dS/m)	3.9259[c]	2.6190[b]	1.4444[a]	1.8506[a]
Score (12 dS/m)	7.3333[d]	6.0476[c]	3.3333[a]	4.8391[b]
Root diameter (mm)	0.5536[a]	0.8653[b]	0.5792[a]	0.7647[ab]
Root Density	13.0006[a]	22.9031[b]	13.2269[a]	20.5915[ab]
Na^+ Shoot content (mg/g DT)	43.1815[a]	38.8715[a]	36.7704[a]	36.6674[a]
Na^+ root content (mg/g DT)	35.8420[b]	30.7193[ab]	24.5881[a]	30.7055[ab]
K^+ Shoot content (mg/g DT)	18.8821[a]	20.1321[a]	20.4794[a]	21.7232[a]
K^+ root content (mg/g DT)	8.5603[a]	10.1285[a]	5.1725[a]	8.3043[a]
Na^+/K^+ of shoot	2.6669[a]	2.5659[a]	1.8526[a]	1.9958[a]
Na^+/K^+ of root	12.1952[a]	11.1162[a]	16.1643[a]	10.9252[a]
Stomata length (µm)	30.5411[a]	31.2450[a]	32.1467[a]	30.7879[a]
Stomata width (µm)	17.7997[a]	18.2052[a]	19.6658[a]	18.3266[a]
Number of stomata	15.4444[a]	15.5714[b]	13.0833[a]	14.4483[ab]

گروه‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Groups with the same letter(s) are not significantly different.

REFERENCES

1. Alam, M. Z., Stuchbury, T., Naylor, R. E. L. & Rashid, M. A. (2004). Effect of salinity on growth of some modern rice cultivars. *Journal of Agronomy*, 3(1), 1-10.
2. Asch, F., Dingkuhn, M. & Dorffling, K. (2000). Salinity increases CO2 assimilation but reduces growth in field grown, irrigated rice. *Plant Soil*, 218, 1-10.
3. Aslam, M., Qureshi, R. H. & Ahmed, N. (1993). A rapid screening for salt tolerance in rice. *Plant and Soil*, 15, 99-107.
4. Beheshtizadeh, H., Resaaie, A. H., Resaaie, A. M. & Ghandi, A. (2013). Genetic variability assessment in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars using multivariate statistical analysis. *International Journal of Farming Allied Sciences*, 2(16), 520-523.
5. Carden, D. E., Walker D. J., Flowers T. J. & Miller, A. J. (2003). Single-cell measurements of the contributions of cytosolic Na^+ and K^+ to salt tolerance. *Plant Physiology*, 131, 676–683.
6. Deivanai, S., Xavier, R., Vinod, V., Timalata, K. & Lim, O. F. (2011). Role of Exogenous Proline in Ameliorating Salt Stress at Early Stage in TwoRice Cultivars. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 7(4), 157-174.
7. Farahmandfar, A., Poustini, K., Fallah, A., Tavakol Afshari, R. & 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.
8. Flowers, T. J. & Yeo, A. R. (1988). Salinity and rice: A Physiological approach to breeding for resistance. Proc. Inter. Cong. *Plant Physiology*. New Delhi, India.

9. Gregorio, G. B. (1997). *Tagging salinity tolerance genes in rice using Amplified Fragment Length Polymorphism (AFLP)*. Ph.D. thesis. University of Philippines in Los Banos.
10. Hajabbasi, M. A. (2001). Tillage effects on soil compactness and wheat root morphology. *Journal of Agricultural Science Technology*, 3, 67-77.
11. Kibria, M. G., Hossain, M., Murata, Y. and Hoque, M. A. (2017). Antioxidant defense mechanisms of salinity tolerance in rice genotypes. *Rice Science*, 24, 155-162.
12. Kromdijk, J. and Long, S. P. (2016). One crop breeding cycle from starvation? How engineering crop photosynthesis for rising CO2 and temperature could be one important route to alleviation. *Proceedings of the Royal Society of Biological Sciences*, 283, 1-8.
13. Kumar, R., Venuprasad, R. & Atlin, G. N. (2007). Genetic analysis of rainfed lowland rice drought tolerance under naturally-occurring stress in eastern India: Heritability and QTL effects. *Field Crops Research*, 103, 42-52.
14. Lee, S. Y., Ahn,J. K., Lee, S. Y., Ahn, S. Y. & Kwon, J. H. (2003). Evaluation and classification of selected rice varieties for salinity tolerance at seedling stage. *Korean Journal of Weed Science*, 48, 339-344.
15. Majidimehr, A., Amiri-Fahliani, R. (2016). Analysis of salinity effect on chlorophyll rate, florescence indices and grain yield of some rice cultivars. *Journal of Crop Breeding*, 8, 183-190. (In Persian).
16. Miskin, K. E., Rasmusson, D. C. & Moss, D. N. (1972). Inheritance and physiological effects of stomatal frequency in barley. *Crop Science*, 12, 780-783.
17. Molassitotis, A. N., Sotriopoulos, T., tanou, G., kofidis, G., Diamantidis, G. & Therios, I. (2006). Antioxidant and anatomical responses in shoot cultur of the apple root stock MM 106 treated with NaCl, KCl, mannitol or sorbitol. *Biologia Plantarum*, 50 (1), 61-68.
18. Moradi, F. & ABDelbagi, M. I. (2007). Responses of photosynthesis, chlorophyll fluorescence *and* ROS-scavenging systems to salt stress during seedling and reproductive stages in rice. *Annals of Botany*, 1-13.
19. Prajuabmon, A., Theerakulpisut, P., Kijwijan, B. & Muangsan, N. (2009). In vitro investigation on salt tolerant characteristics of rice seedings (*Orzya sativa* L.). *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 5 (4), 423-427.
20. Rahnama, H. & Ebrahimzadeh, H. (2004). The effect of NaCl on proline accumulation in potato seedling and calli. *Acta Physiologiae Plantarum*, 26 (3), 263-270.
21. Reddy, I. N. B. L., Kim, B., Yoon, I., Kim, K. and Kwon, T. (2017). Salt tolerance in rice: focus on mechanisms and approaches. *Rice Science*, 24, 123-144.
22. Sabouri, H. (2008). *Evaluation of genetic variety of iranain rice germplasma plants for tolerance to salinity and location of related QTL*. PhD. thesis. Isfahan University of Technology. (In Persian).
23. Sabouri, H., Rezaei, A. & Momeni, A. (2008). Evaluation of salinity tolerance in indigenous and modified Iranian rice cultivars. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 12 (45), 67-47.
24. Sabouri, H., Rezaei, A., Moemeni, A., Kavousi, M., Shokri, H., Allahgholipour, M. & Jafarian, H. (2010). Evaluation of relationship between some traits of Iranian rice (*Oryza sativa.* L.) seedlings under saline conditions. *Electronics Journal Crop Production*, 2 (4), 1-22. (In Persian).
25. Shannon, M. C., Gronwald, J. W. & Tal, M. (1987). Effect of salinity on growth and accumulation of organic and inorganic ions in cultivated and wild tomato species. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 112, 516-523.
26. Shiro, M., Katsuya, Y., Michio, K., Mitsutaka, T. & Hiroshi, M. (2002). Relationship between the distribution of Na and the damages caused by salinity in the leaves of rice seedling grown under a saline condition. *Plant Production Science,* 5, 269-274.
27. Thomas, R. L., Sheard, R. W. & Moyer, J. R. (1967). Comparison of conventional and automated procedures for nitrogen, phosphorus, and potassium analysis of plant material using a single digestion, *Agronomy Journal*, 59, 240-243.
28. Yeo, A. R. & Flowers, T. J. (1984). Mechanism of salinity resistance in rice and their role as physiological criteria in plant breeding. *Plant Production*, 151-170.
29. Yoshida, S., Forno, D. A., Cock, J. H. & Gomez, K. A. (1976). Laboratory manual for physiological studies of rice IRRI, Los Banos, Philippines.
30. Zhang, Z. H., Liu, Q., Song, H. X., Rong, X. M. & Abdelbagi, M. I. (2010). 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.