بررسی اثرات تنش اسمزی بر برخی از خصوصیات رشد گیاهچه‌ای در مرحله جوانه‌زنی برنج

صدیقه رمضانی شهرستانی[۱]، پیمان شریفی[۲*] و علی اکبر عبادی[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

[۲]دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

[۳]استادیار، موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۰۴

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال ۱۳۹۵ در مؤسسه تحقیقات برنج کشور در رشت انجام گرفت. عامل‌های مورد مطالعه شامل تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ (۰، ۵- و ۱۵- بار) و سه رقم برنج هاشمی، طارم و خزر و ۱۴ لاین موتانت حاصل از آنها بودند. صفات اندازه‌گیری شده شامل طول و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه بود. نتایج نشان داد که اثر تنش خشکی، ژنوتیپ و اثر متقابل تنش در ژنوتیپ بر تمام صفات معنی‌دار بود. با افزایش تنش، میانگین کلیه صفات کاهش یافت. درصد کاهش طول ریشه‌چه (به‌ترتیب ۴۵ و ۲۵ درصد) و طول ساقه‌چه (به‌ترتیب ۳۶ و ۲۱ درصد) تحت هر دو شرایط تنش ۵- و ۱۵- بار، نسبت به سایر صفات بیشتر بود، که نشان می‌دهد از آنها می‌توان به‌عنوان معیارهایی برای ارزیابی تحمل به خشکی استفاده کرد. در شرایط عدم تنش و تنش (۵- و ۱۵- بار)، ژنوتیپ ۵ (TM6-B-7-1) با مقادیر ۱۵/۱۳، ۱۴/۰۰ و ۱۲/۳۸ سانتی‌متر دارای بیشترین طول ساقه‌چه بود. بیشترین میزان وزن خشک ریشه‌چه (به‌ترتیب برابر با ۰/۰۱۱۹، ۰/۰۱۰۷ و ۰/۰۰۸۹ گرم) در شاهد و سطوح تنش ۵- و ۱۵- بار مربوط به ژنوتیپ ۱۲ (HM5-300-3-1) بود. از نظر شاخص تنش نیز ژنوتیپ‌های ۵ و ۶ (TM6-B-19-2) متحمل به خشکی بودند. در مجموع، لاین‌های موتانت ۵ و ۱۲ (HM5-300-3-1) متحمل به خشکی و ارقام خزر، هاشمی و طارم حساس به آن بودند. بنابراین لاین‌های موتانت ۵ و ۱۲، ژنوتیپ‌هایی مناسب برای معرفی به‌عنوان رقم متحمل و یا برای استفاده در تحقیقات تحمل به خشکی بودند.

واژه‌های کلیدی: پلی‌اتیلن گلیکول، شاخص تنش خشکی، لاین‌های موتانت، همبستگی.

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) یکی از مهمترین غلات در جهان می‌باشد و غذای بیش از ۵۰ درصد مردم دنیا را تشکیل می‌دهد (FAO, 2015). شوری، خشکی و دمای زیاد از مهمترین موانعی هستند که سبب محدودیت تولید جهانی برنج می‌شوند و به تنهایی منجر به کاهش ۵۰ درصدی عملکرد دانه در زراعت برنج می‌شوند (Sudharani et al., 2012). میزان تحمل به تنش‌های محیطی در مراحل مختلف رشد برنج از جوانه‌زنی تا رسیدن کامل متفاوت است، به‌طوری که مشخص شده است مرحله گیاهچه‌ای از مراحل حساس به تنش خشکی است و داشتن کلئوپتیل طویل سبب بهبود

*نویسنده مسئول: peyman.sharifi@gmail.com

وضعیت استقرار گیاهچه‌ها می‌شود که از عوامل اصلی در تولید نهایی گیاه محسوب می‌شود (Balouchi, 2010). از آنجا که ایجاد و حفظ پتانسیل آب لازم در محیط خاک، جهت بررسی واکنش گیاهان به تنش خشکی مشکل است، شبیه‌سازی شرایط تنش با استفاده از مواد اسموتیک نظیر پلی‌اتیلن گلیکول[1] (PEG) برای ایجاد پتانسیل‌های اسمزی مطالعه تأثیر تنش بر خصوصیات گیاهچه‌ها بسیار متداول است (Afiukwa et al., 2016). پلی‌اتیلن گلیکول یک اسملیت است و گیاه آن را جذب نمی‌کند و از طریق تغییر در تعادل اسمزی، جذب آب را کاهش می‌دهد. درصد جوانه‌زنی بذرها در محلول پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ با درصد جوانه‌زنی در خاک با همان پتانسیل آب تقریباً برابر است (Akte et al., 2016).

تنوع گیاهان ابزار اولیه مورد نیاز برای اصلاح نباتات می‌باشد که می‌توان از آن برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش‌های محیطی از جمله خشکی استفاده کرد (Leung and An, 2004). اما گاهی این تنوع به دلیل شدت فعالیت‌های اصلاحی و به دنبال آن فرسایش شدید منابع ژنتیکی به سطح پایینی می‌رسد و یا یک صفت خاص در گیاهان وجود ندارد، که در این صورت، تنها راه ممکن برای دستیابی به تنوع جدید و بالا بردن ذخایر ژنتیکی استفاده از موتاسیون یا جهش است (Yilmaz and Boydak, 2006).

در ارتباط با ارزیابی ژنوتیپ‌های برنج در مرحله جوانه‌زنی مطالعات متعددی با استفاده از غلظت‌های مختلف پلی‌اتیلن گلیکول انجام شده است. حسینی و همکاران (Hossaini e al., 2014) کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه را تحت تأثیر تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول نشان داد. اسماعیلی و اسلامی (Esmaili and Eslami, 2010) نشان دادند که تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول، وزن تر و طول ریشه‌چه و ساقه‌چه را در رقم سازندگی برنج به‌طور معنی‌داری کاهش داد و خصوصیات جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه برنج را نسبت به سوروف بیشتر تحت تأثیر قرار داد. پناه‌آبادی و همکاران (Panahabadi et al., 2016) با مطالعه نشان دادند که لاین موتانت MT149 نسبت به رقم والدی ندا تحمل بیشتری به تنش خشکی (۶- بار) ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول داشت. عبدی و همکاران (Abdi et al., 2015) کاهش معنی‌دار طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، درصد جوانه‌زنی و وزن خشک ریشه‌چه را در ۴۰ ژنوتیپ گندم نان تحت تنش خشکی حاصل از پلی‌اتیلن گلیکول نشان دادند. خافاگی و همکاران (Khafagy et al., 214) نشان دادند که پلی‌اتیلن گلیکول با کاهش درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و وزن تر و خشک گیاهچه در دو رقم برنج، منجر به بازدارندگی فرآیند جوانه‌زنی می‌شود. اعلم و همکاران (Alam et al., 2014)، اثر بازدارنده پلی‌اتیلن گلیکول بر فرآیندهای جوانه‌زنی شامل درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه را نشان دادند. همچنین آکته و همکاران (Akte et al., 2016) نشان دادند که غلظت‌های بالای پلی‌اتیلن گلیکول اثرات منفی بر روی جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه‌ها داشت. پیردشتی و همکاران (Pirdashti et l., 2013) نشان دادند که از میزان درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه با افزایش شدت تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول کاسته شد. با توجه به همبستگی بالای تحمل به تنش‌های محیطی در مراحل مختلف رشد در واریته‌های مختلف برنج، امکان ارزیابی ارقام در مراحل اولیه رشد (با توجه به هزینه کمتر این نوع آزمایش‌ها) و استفاده از ارقام متحمل در مراحل پیشرفته‌تر رشدی وجود دارد (Ye et al., 2008).

1. Poly Ethylene Glycol (PEG 6000)

هدف از این پژوهش، ارزیابی تعدادی از ارقام برنج و لاین‌های موتانت حاصل از آنها با استفاده از شاخص‌های مربوط به رشد گیاهچه‌ها از نظر میزان تحمل به تنش خشکی ناشی از غلظت‌های مختلف پلی‌اتیلن گلیکول و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی و همچنین نشان دادن متحمل بودن لاین‌های موتانت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۵ در مؤسسه تحقیقات برنج کشور در رشت به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. طبقات مختلف ژرمیناتور (ایران خودساز، مدل 1KH RH، ۸۵ لیتری با قابلیت کنترل دما، نور و رطوبت) بلوک‌های آزمایش بودند. عامل‌های آزمایش شامل ۱۷ ژنوتیپ برنج (۱٤ لاین موتانت و سه ژنوتیپ والدینی، جدول ۱) و سطوح مختلف تنش خشکی (صفر، ۵- و ۱۵- بار) بودند. موتانت‌های حاضر با استفاده از اشعه گاما با دز ۲۵۰ گری در پژوهشکده انرژی اتمی کرج تولید شدند و با خود لقاحی به نسل M5 رسانده شدند. پتانسیل‌های اسمزی تنش خشکی به وسیله محلول پلی‌اتیلن گلیکول (PEG 6000) با استفاده از روش میشل و کوفمن (Michel and Kaufman, 1973) تهیه شد (رابطه ۱):

$$\psi_s = -\left(1/18\times10^{-2}\right)C - \left(1/18\times10^{-4}\right)C^2 + \left(2/67\times10^{-4}\right)CT + \left(8/39\times10^{-7}\right)C^2T$$ رابطه ۱

در این فرمول: ψ_S = پتانسیل بر حسب بار، C = غلظت برحسب گرم در لیتر در آب و T = دما بر حسب درجه سانتی‌گراد.

تعداد ۳۰ بذر (با توجه به داشتن تعداد کم بذر و همچنین اندازه پتری‌دیش‌ها) از هر ژنوتیپ انتخاب و بعد از ضدعفونی با هیپوکلریت سدیم ۲/۵ درصد، با آب مقطر شستشو و داخل پتری‌دیش با قطر ۹ سانتی‌متر قرار داده شدند، به‌طوری‌که در کف هر پتری‌دیش دو لایه کاغذ صافی واتمن قرار داشت که برای جلوگیری از بهم زدن غلظت پلی‌اتیلن گلیکول هر دو روز عوض می‌شدند (Rehman et al., 1996) و سپس ۷ میلی‌لیتر از محلول پلی‌اتیلن گلیکول با پتانسیل مورد نظر به آنها اضافه و در ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. معیار جوانه‌زنی بذرها، خروج ریشه‌چه‌ها به اندازه ۲ میلی‌متر بود (Soltani et al., 2006). بعد از گذشت ۸ روز، ۱۰ گیاهچه به صورت تصادفی از داخل هر پتری‌دیش انتخاب و طول ریشه‌چه و ساقه‌چه با خط کش و بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری و ثبت شد. به منظور تعیین وزن خشک اندام‌های فوق، ساقه‌چه و ریشه‌چه در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲٤ ساعت خشک و سپس توزین شدند.

برای ارزیابی تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های فوق و رده‌بندی آنها از نظر تحمل به خشکی علاوه بر صفات فوق، از شاخص تنش[1] نیز استفاده شد که بر پایه ترکیب مقادیر صفات با فرمول زیر محاسبه گردید (Fischer and Maurer, 1978):

$$\text{شاخص تنش} = 1 - Y_{drought}/Y_{control}$$

که در آن، $Y_{drought}$ مجموع مقادیر تمام صفات تحت شرایط تنش خشکی و $Y_{control}$ مجموع مقادیر تمام صفات تحت شرایط عدم تنش می‌باشد. این شاخص برای شدت تنش ۵- و ۱۵- بار محاسبه گردید.

1. Stress index (SI)

پس از جمع‌آوری اطلاعات، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) به وسیله نرم‌افزار SAS صورت گرفت. برای تعیین همبستگی ساده صفات نیز از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

جدول ۱: شجره لاین‌های موتانت مورد بررسی در این تحقیق

شماره ژنوتیپ	کد لاین	والد
۱	TM6-230-VE-7-5-1	طارم
۲	TM6-230-VE-8-4-1	طارم
۳	TM6-250-10-7-1	طارم
٤	TM6-B-2-1-E	طارم
٥	TM6-B-7-1	طارم
٦	TM6-B-19-2	طارم
۷	HM5-250-E-1-1	هاشمی
۸	HM5-250-E-3-2	هاشمی
۹	HM5-250-7-1	هاشمی
۱۰	HM5-250-7-6	هاشمی
۱۱	HM5-300-E-1	هاشمی
۱۲	HM5-300-3-1	هاشمی
۱۳	HM5-300-5-1	هاشمی
۱٤	KM5-200-4-2-E	خزر
۱٥	خزر	
۱٦	هاشمی	
۱۷	طارم	

نتایج و بحث

طول ریشه‌چه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی، ژنوتیپ و اثر متقابل دو عامل بر طول ریشه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به معنی‌دار بودن اثرمتقابل، اقدام به مقایسه میانگین‌های عامل‌ها در هر سطح عامل دیگر گردید. مقایسه میانگین‌های صفت طول ریشه‌چه در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در هر سطح تنش خشکی نشان داد که بیشترین و کمترین میزان طول ریشه‌چه در شرایط عدم تنش خشکی مربوط به ژنوتیپ شماره ۱۲ (۱۲/۱۵ سانتی‌متر) و ٦ (٦/۲٥ سانتی‌متر) بود. در سطوح تنش خشکی ٥- و ۱٥- بار نیز بیشترین میزان طول ریشه‌چه مربوط به ژنوتیپ شماره ۱۲ (به‌ترتیب با مقادیر ۱۰/۰٥ و ۸/۰۰ سانتی‌متر) و کمترین میزان آن مربوط به ژنوتیپ شماره ۱۷ (به‌ترتیب برابر با ۳/۰۸ و ۱/۹۰ سانتی‌متر) بود (جدول ۳). از آنجا که طول ریشه‌چه در شرایط تنش می‌تواند به‌عنوان یک معیار تحمل به خشکی در نظر گرفته شود، ژنوتیپ شماره ۱۲ با توجه به بیشترین طول ریشه‌چه در شرایط تنش خشکی، می‌تواند به‌عنوان یک ژنوتیپ متحمل باشد، هرچند برخورداری این ژنوتیپ از بیشترین طول ریشه‌چه در شرایط عدم تنش، نشانگر پتانسیل ژنتیکی این ژنوتیپ در ایجاد ریشه‌های طویل است.

مقایسه سطوح تنش خشکی در هر سطح ژنوتیپ نشان داد که در تمام آنها با افزایش تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول، از میزان طول ریشه‌چه کاسته شد. این مقایسه‌ها نشان دادند که در تمام ژنوتیپ‌ها به جزء ژنوتیپ‌های ۲، ۳، ٥ و ٦، بین سطوح مختلف تنش خشکی اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۳). این شاخص

نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های ۲، ۳، ۵ و ٦ پتانسیل ریشه‌دهی خود را با افزایش تنش خشکی حفظ نموده‌اند و می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی قلمداد گردند.

جدول ۲: تجزیه واریانس صفات طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	وزن خشک ریشه	وزن خشک ساقه	نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه
تکرار	۳	۰/۱۹^{ns}	۰/۵۵^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۰۰۲۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۰۲۲^{ns}	۰/۰۰۳۳^{ns}
تنش	۲	۲۵۹/۷۱**	۲۹٦/٦۷**	۰/۰۰۰۱۷۳۷٦**	۰/۰۰۰۱۷٤۲۷**	۰/۱٤٥٥**
ژنوتیپ	۱٦	۳۳/۸۱**	٦۸/٦٦**	۰/۰۰۰۰۳۳۱۷**	۰/۰۰۰۰۳٤۸٤**	۰/۷۱۰۷**
تنش × ژنوتیپ	۳۲	۱/۸٦**	٤/٦۰**	۰/۰۰۰۰۰۱۹۲**	۰/۰۰۰۰۰۲۹**	۰/۰۳۲۱**
خطا	۱٥۰	۰/۳٤	۰/۲٦	۰/۰۰۰۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰٤۷
ضریب تغییرات	-	۸/٥٦	٥/۳۳	۳/۸۰	۳/۹٦	۹/۲٦

ns ، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

درصد کاهش صفات تحت تأثیر تنش، از مقایسه صفات در شرایط تنش و غیر تنش محاسبه می‌شود و هرچقدر درصد کاهش صفتی تحت تنش کمتر باشد، نشان‌دهنده متحمل بودن آن ژنوتیپ است (Reyniers et al., 1982). با عنایت به این شاخص، در تنش خشکی ۵- بار، بیشترین میزان کاهش طول ریشه‌چه در ژنوتیپ ۱۷ (٥٤ درصد) و در پی آن در ژنوتیپ‌های ۱٦ و ۱٥ (به‌ترتیب ٤۰ و ۳٦ درصد) مشاهده شد. برای این سطح تنش خشکی، کمترین میزان کاهش طول ریشه‌چه مربوط به ژنوتیپ ٦ (٤ درصد) و در پی آن ژنوتیپ ٥ (۷ درصد) بود. مقایسه بین شاهد و تنش خشکی ۱٥- بار نیز نشان داد که بیشترین میزان کاهش طول ریشه‌چه در ژنوتیپ ۱٦ (۷۲ درصد) و در پی آن ژنوتیپ‌های ۱۷ (۷۱ درصد) و ۱٥ (٦۸ درصد) مشاهده شد، درحالی‌که کمترین میزان کاهش طول ریشه‌چه مربوط به ژنوتیپ ٥ (۱۷ درصد) بود. این نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های ٥ و ٦ از نظر صفت طول ریشه‌چه جزء ژنوتیپ‌های متحمل و ارقام ۱٥، ۱٦ و ۱۷ حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. در تطابق با نتیجه تحقیق حاضر حسینی و همکاران (Hossaini et al., 2014) کاهش طول ریشه‌چه رقم برنج هاشمی را تحت تأثیر تنش خشکی ناشی از سطوح پلی‌اتیلن گلیکول نشان دادند. همچنین در تطابق با نتیجه تحقیق حاضر، محققین دیگری (Khafagy et al., 2014; Alam et al., 2002; Esmaili and Eslami, 2010) نیز کاهش صفت طول ریشه‌چه را در نتیجه تنش ناشی از سطوح پلی‌اتیلن گلیکول گزارش نمودند. از مکانیزم‌های مهم اولیه در مواجه با تنش خشکی، کاهش رشد طولی ساقه‌چه و افزایش رشد طولی ریشه‌چه است و ژنوتیپ‌هایی که رشد ریشه‌چه بیشتری داشته باشند، می‌توانند بر روی قابلیت تأمین آب برای فعالیت گیاهی تحت شرایط تنش خشکی تأثیر گذاشته و گیاه را از اثرات مخرب تنش خشکی مصون دارند (Balouchi, 2010).

جدول ۳: مقایسه میانگین‌های طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) در ژنوتیپ‌های برنج در شرایط تنش خشکی

ژنوتیپ	خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول (بار)			LSD (5%)
	۰	-۵	-۱۵	
۱	۷/۱۰	۵/۰۵	۳/۷۵	۱/۲۲
۲	٦/۵۳	٤/۵۰	۳/۳۰	۰/۸۲
۳	۸/۸۸	٦/۸۸	۵/۱۳	۱/٦۱
٤	٦/٤۰	٤/۷۵	۳/٦۰	۰/۵۷
۵	۸/۸۸	۸/۲۵	۷/۳۸	۱/۵٤
٦	٦/۲۵	٦/۰۰	٤/۰۰	۱/۱۲
۷	۹/۷۵	۷/۲۵	۵/۵۰	۱/۷۵
۸	۱۰/۲۵	۸/۳۳	٦/۹۸	۱/۰۲
۹	۸/۸۸	۷/۱۰	۵/۳۸	۰/۹۲
۱۰	۹/۷۳	۷/۸۳	٦/٤۳	۱/۱۸
۱۱	۱۰/۱۸	۷/۹۵	٦/۰۸	۱/۰۳
۱۲	۱۲/۱۵	۱۰/۰۵	۸/۰۰	۰/۵۱
۱۳	۱۰/۹۵	۸/۳۳	٦/۳۵	۰/۷۸
۱٤	۹/۹۰	۷/۱۸	۵/۳۰	۰/۷۵
۱۵	۹/۸۵	٦/۲۸	۳/۱۵	۰/٦۲
۱٦	۸/٦۳	۵/۱۵	۲/٤۰	۰/۷۹
۱۷	٦/٦۳	۳/۰۸	۱/۹۰	۰/۵۰
LSD (5%)	۰/۹٤	۰/۷۱	۰/۵۷	
میانگین±خطای معیار	٤/۹۸±۰/٤۳	٦/۷۰±۰/٤۳	۸/۸۸±۰/٤۲	

LSD (5%): حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

طول ساقه‌چه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی، ژنوتیپ و اثرمتقابل دو عامل بر طول ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین طول ساقه‌چه در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در هر سطح تنش خشکی نشان داد که در تمام سطوح تنش خشکی شامل شاهد، ۵- و ۱۵- بار، ژنوتیپ شماره ۵ به‌ترتیب با مقادیر ۱۵/۱۳، ۱٤/۰۰ و ۱۲/۳۸ سانتی‌متر دارای بیشترین میزان طول ساقه‌چه بود. این نتایج همچنین نشان داد که در شرایط عدم تنش و تنش خشکی ۵- بار، کمترین طول ساقه‌چه در ژنوتیپ شماره ۱۵ (به‌ترتیب با مقادیر ۷/۳۰ و ۵/۱۰ سانتی‌متر) و در تنش خشکی ۱۵- بار نیز کمترین میزان آن (۲/۹۸ سانتی‌متر) مربوط به ژنوتیپ ۱۷ بود (جدول ٤). بنابراین از نظر طول ساقه‌چه، ژنوتیپ ۵ متحمل به تنش خشکی و ژنوتیپ‌های ۱۵ و ۱۷ حساس به آن بودند.

مقایسه سطوح تنش خشکی در هر سطح ژنوتیپ نیز نشان داد که در تمام ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به جزء ژنوتیپ‌های ۳ و ۵، بین سطوح مختلف پلی‌اتیلن گلیکول از نظر متوسط طول ساقه‌چه، اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ٤). این امر بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین سطوح مختلف تنش برای دو ژنوتیپ فوق بود که نشان‌دهنده حفظ پتانسیل ایجاد طول ساقه‌چه در شرایط تنش برای آنها و به‌عبارتی تحمل به خشکی در این ژنوتیپ‌ها است.

جدول ٤: مقایسه میانگین‌های طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) در ژنوتیپ‌های برنج در شرایط تنش خشکی

ژنوتیپ	خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول (بار)			LSD (5%)
	۰	-۵	-۱۵	
۱	۱۳/۰۰	۱۱/۳۸	۱۰/۰۰	۰/۹۰
۲	۱۲/۵۰	۱۱/۰۰	۹/۷۵	۰/٦٤
۳	۱۵/۱۳	۱۳/۰۰	۱۱/۱۳	۱/۵۹
٤	۱۳/۰۸	۱۱/۵۰	۱۰/۲۵	۰/٦٤
۵	۱۵/۱۳	۱٤/۰۰	۱۲/۳۸	۱/٤۲
٦	۱۳/۳۸	۱۱/۷۵	۱۰/۳۸	۱/۵۷
۷	۱۲/۰۰	۹/۰۰	٦/۲۵	۰/۹۵
۸	۱۱/۵۵	۱۰/۱۸	۸/۹۳	۰/۷۳
۹	۱۱/۸۵	۸/۹۰	٦/٤۸	۰/۷۸
۱۰	۱۰/۳۸	۹/۳۰	۷/۷۸	۰/٤۱
۱۱	۱۱/٦۰	۸/۸۰	۷/۱۰	۰/٦۷
۱۲	۱۲/۳۸	۱۰/٦۵	۹/٤۰	۰/۵۰
۱۳	۱۱/۱۵	۸/٤۰	٦/٤۸	۰/٤۹
۱٤	۷/۷۸	٦/۳۸	٤/۹۸	۰/٤۲
۱۵	۷/۳۰	۵/۱۰	۳/۹۵	۰/۳۷
۱٦	۱۱/٤۸	۵/۱۵	۳/۰۳	۰/٤۵
۱۷	۱۲/۲۳	٦/۰۳	۲/۹۸	۰/۵۷
LSD (5%)	۰/۷۷	۰/۷٤	۰/٦٤	
میانگین± خطای معیار	۱۱/۸۸±۰/۵	۹/٤٤±۰/٦٤	۷/۷۲±۰/۷	

LSD (5%): حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

با توجه به درصد کاهش طول ساقه‌چه در شرایط تنش ۵- بار، بیشترین میزان کاهش طول ساقه‌چه در ژنوتیپ‌های ۱٦، ۱۵ و ۱۷ (به‌ترتیب برابر با ٤۵، ۳۵ و ۲۹ درصد) و کمترین میزان آن در ژنوتیپ شماره ۵ (٦ درصد) مشاهده شد. بیشترین میزان کاهش طول ساقه‌چه در شرایط تنش ۱۵- بار مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۷ (٦۹ درصد) و ۱٦ (۷۳ درصد) و کمترین میزان آن مربوط به ژنوتیپ‌های ۵، ۱۳ و ۱۲ (به‌ترتیب برابر با ۱۷، ۲۱ و ۲۵ درصد) بود. علت کاهش رشد طولی ساقه‌چه و ریشه‌چه در اثر تنش خشکی می‌تواند ناشی از تحت تأثیر قرار گرفتن سلول‌های مریستمی ریشه‌چه و ساقه‌چه و اختلال در فرایند تقسیم و طویل شدن سلول باشد. زیرا شرایط کم‌آبی و پتانسیل منفی بر روی جذب آب سلول‌ها تأثیر می‌گذارد و فشار تورژسانس لازم جهت بزرگ شدن سلول‌ها کاهش می‌یابد که سبب توقف و کند شدن رشد می‌شود (Chiatante et al., 1995). همچنین تجمع ماده خشک در بافت‌های ذخیره‌ای ریشه‌چه می‌تواند از دیگر علل کاهش رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه باشد (Gupta et al., 1991). در تطابق با نتیجه تحقیق حاضر، پیردشتی و همکاران (Pirdashti et al., 2003)، جیشا و پوتور (Jisha and Puthur, 2016) و حسینی و همکاران (Hossaini et al., 2014) نشان دادند که در نتیجه تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول، از میزان طول ساقه‌چه بطور معنی‌داری کاسته شد.

نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی، ژنوتیپ و اثر متقابل تنش خشکی×ژنوتیپ بر نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در شرایط عدم

تنش، بیشترین و کمترین میزان نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه به‌ترتیب مربوط بـه ژنوتیـپ‌هـای ۱۵ (۱/۳۵) و ٦ (۰/٤۷) بود. در شرایط تنش خشکی ۵- و ۱۵- بار، کمترین میزان نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه مربوط به ژنوتیپ ۲ (به‌ترتیـب برابر با ۰/٤۱ و ۰/۳٤) و بیشترین میزان آن مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۵ (۱/۲۳) و ١٤ (۱/۰۷) بود (جدول ۵).

جدول ۵: مقایسه میانگین‌های نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه در ژنوتیپ‌های برنج در شرایط تنش خشکی

ژنوتیپ	خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول (بار)			LSD (5%)
	۰	-۵	-۱۵	
۱	۰/۵۵	۰/٤٤	۰/۳۷	۰/۱۱
۲	۰/۵۲	۰/٤۱	۰/۳٤	۰/۰۹
۳	۰/۵۹	۰/۵۳	۰/٤٦	۰/۱٦
٤	۰/٤۹	۰/٤۱	۰/۳۵	۰/۰٦
۵	۰/٦۱	۰/۵۷	۰/٦۰	۰/۱۳
٦	۰/٤۷	۰/۵۱	۰/۳۸	۰/۱۲
۷	۰/۸۲	۰/۸۰	۰/۸۹	۰/۲۲
۸	۰/۸۹	۰/۸۲	۰/۷۸	۰/۰۹
۹	۰/۷۵	۰/۸۰	۰/۸۳	۰/۰۹
۱۰	۰/۹٤	۰/۸٤	۰/۸۳	۰/۱٤
۱۱	۰/۸۸	۰/۹۰	۰/۸٦	۰/۱۳
۱۲	۰/۹۸	۰/۹٤	۰/۸۵	۰/۰٦
۱۳	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۱۵
۱٤	۱/۲۷	۱/۱۳	۱/۰۷	۰/۰۸
۱۵	۱/۳۵	۱/۲۳	۰/۸۰	۰/۱۳
۱٦	۰/۷۵	۱/۰۰	۰/۷۹	۰/۰۹
۱۷	۰/۵٤	۰/۵۱	۰/٦۵	۰/۱۲
LSD (5%)	۰/۰۹۷	۰/۰۸۲	۰/۰۹۹	
میانگین±خطای معیار	۰/۷۹±۰/۰٦٤	۰/۷٦±۰/۰٦۳	۰/۷۰±۰/۰۵۷	

LSD (5%): حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

در اثر تنش خشکی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش می‌یابند، ولی نسبت کـاهش طـول سـاقه‌چـه بیشـتر از طـول ریشه‌چه می‌باشد و از آنجا که در شرایط تنش خشکی، ارقام متحمل به خشکی در مراحل اولیه تنش از سـرعت رشـد ریشه بالاتری برخوردارند، در نتیجه نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه در آنهـا افـزایش مـی‌یابـد (Demir Kaya et al., 2006). به‌عبارتی‌دیگر، در شرایط تنش خشکی، میزان رشد ریشه به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از رشد ساقه است و در این شرایط تعرق کاهش می‌یابد و سیستم ریشه گیاه، آب مورد نیاز خود را از حجـم زیـاد خـاک دریافـت مـی‌کنـد کـه نشان‌دهنده تحمل بیشتر به تنش می‌باشد. بنابراین نسبت زیاد ریشه به اندام‌های هوایی یکـی از روش‌هـای بسـیار مـوثر سازگاری گیاهان به خشکی است (Abdi et al., 2015). با عنایت به توضیحات فوق، ژنوتیپ‌های ۵، ٦، ۷، ۹، ۱۱ و ۱۳ که نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه در آنها در شرایط تنش خشکی در مقایسه با شرایط عدم تنش بیشـتر بـوده اسـت، می‌توانند به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در نظر گرفته شوند. در این راستا، شارپ (Sharp, 1997) با بررسـی رشد طولی ریشه و اندام‌های هوایی ذرت در پتانسیل‌های پایین آب ملاحظه نمود که در پتانسیل آبی که باعـث توقـف کامل رشد ساقه‌چه می‌شود، رشد ریشه‌چه‌های ذرت همچنان ادامه یافت. ایشان دلیل این امر را چنـین توجیـه نمودنـد

که افزایش اسید آبسیزیک در پتانسیل‌های پایین آب اثرات متفاوتی بـر رشـد طـولی انـدام‌هـای هـوایی و ریشـه دارد، به‌طوری‌که رشد اندام‌های هوایی را متوقف می‌سازد، ولی ریشه به رشد خود ادامه می‌دهد.

وزن خشک ریشه‌چه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشـکی، ژنوتیـپ و اثـر متقابـل دو عامـل بـر وزن خشک ریشه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنـی‌دار بـود (جـدول ۲). مقایسـه میـانگین وزن خشـک ریشـه‌چـه در ژنوتیپ‌های مختلف برنج در هر سطح تنش خشکی نشان داد که بیشـترین میـزان وزن خشـک ریشـه‌چـه در سـطوح شاهد، ۵- و ۱۵- بار تنش خشکی، مربوط به ژنوتیپ شماره ۱۲ (به‌ترتیب با مقادیر ۰/۰۱۱۹، ۰/۰۱۰۷ و ۰/۰۰۸۹ گرم) بود. در شرایط عدم تنش خشکی، ژنوتیپ‌های ١٤ و ١٥ با مقدار ۰/۰۰۷۰ گرم کمترین میزان وزن خشک ریشـه‌چـه را دارا بودند. در تنش‌های ۵- و ۱۵- بار نیز به‌ترتیب ژنوتیپ‌های ۱۵ و ۱۷ با مقـادیر ۰/۰۰٤٦ و ۰/۰۰۲۲ گـرم کمتـرین میزان وزن خشک ریشه‌چه را داشتند. این مقایسه‌ها حاکی از مقاوم بودن ژنوتیپ ۱۲ به تنش خشکی و حساس بـودن ژنوتیپ‌های ۱۵ و ۱۷ به آن است. مقایسه میانگین وزن خشک ریشه‌چه در سطوح مختلف تنش خشکی در هر سـطح ژنوتیپ نشان داد که با افزایش تنش خشکی از میزان این صفت بطور معنی‌داری در تمام ژنوتیپ‌ها بـه جـزء ژنوتیـپ شماره ٤ کاسته شد (جدول ٦).

جدول ٦: مقایسه میانگین‌های وزن خشک ریشه‌چه (گرم) در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در شرایط تنش خشکی

ژنوتیپ	خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول (بار)			LSD (5%)
	۰	-۵	-۱۵	
۱	۰/۰۰۸۳	۰/۰۰٦٦	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۰۹
۲	۰/۰۰۸۰	۰/۰۰٦۱	۰/۰۰۵٤	۰/۰۰۰۳
۳	۰/۰۰۹۱	۰/۰۰۷۵	۰/۰۰٦۸	۰/۰۰۰۵
٤	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۷۰	۰/۰۰٦۰	۰/۰۰۰۳
۵	۰/۰۰۹۰	۰/۰۰۸۳	۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۰۳
٦	۰/۰۰۹٦	۰/۰۰۷۸	۰/۰۰٦۵	۰/۰۰۰٤
۷	۰/۰۱۱۰	۰/۰۰۹٦	۰/۰۰۷٦	۰/۰۰۱۰
۸	۰/۰۱۱۷	۰/۰۰۹۹	۰/۰۰۷۷	۰/۰۰۰۲
۹	۰/۰۰۹۹	۰/۰۰۸۹	۰/۰۰٦٦	۰/۰۰۰٤
۱۰	۰/۰۱۰٤	۰/۰۰۹۳	۰/۰۰۷۲	۰/۰۰۰۷
۱۱	۰/۰۰٦۹	۰/۰۰۹۰	۰/۰۰٦۹	۰/۰۰۰۷
۱۲	۰/۰۰۸۹	۰/۰۱۰۷	۰/۰۰۸۹	۰/۰۰۰۵
۱۳	۰/۰۰۷۱	۰/۰۰۸٤	۰/۰۰۷۱	۰/۰۰۰۳
۱٤	۰/۰۰٤۸	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰٤۸	۰/۰۰۰۲
۱۵	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰٤٦	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۰۳
۱٦	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰٤۹	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲
۱۷	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۰۵
LSD (5%)	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰٤	۰/۰۰۰۳	
میانگین±خطای معیار	۰/۰۰۹۲±۰/۰۰۰٤	۰/۰۰۷٦±۰/۰۰۰۵	۰/۰۰٦۰±۰/۰۰۰۳	

LSD (5%): حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

در ارتباط با وزن خشک ریشه‌چه ملاحظه گردید که ژنوتیپ‌های ۵ و ۱۳ کمترین (به‌ترتیب با مقادیر برابر با ۸ و ۹ درصد) و ژنوتیپ‌های شماره ۱٦، ۱۵ و ۱۷ (به‌ترتیب با مقادیر برابر با ٤٦، ۳٤ و ۳۰ درصد) بیشترین میزان کاهش وزن خشک ریشه‌چه را تحت تأثیر تنش خشکی ۵- بار داشتند. همچنین در ارتباط با کاهش این صفت تحت تنش ۱۵- بار ملاحظه شد که ژنوتیپ‌های ۱٦، ۱۷ و ۱۵ (به‌ترتیب با مقادیر برابر با ۷۵، ۷۱ و ۵۳ درصد) بیشترین میزان کاهش وزن خشک ریشه‌چه و ژنوتیپ شماره ۵ (۱۷ درصد)، کمترین میزان کاهش را نشان داد. بنابراین ژنوتیپ‌ها از نظر وزن خشک ریشه‌چه تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر داشتند، به‌طوری‌که ژنوتیپ‌های ٤، ۵، ۹ و ۱۲ متحمل به تنش خشکی و ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱٦ و ۱۷ حساس به آن بودند. علت تفاوت بین ژنوتیپ‌ها از نظر وزن خشک ریشه‌چه به قدرت جذب آب توسط ریشه‌چه در پتانسیل‌های آبی کم برمی‌گردد که یک پدیده ژنتیکی بوده و ارتباط مستقیم با تحمل گیاه دارد (Michel and Kaufman, 1974). در ارتباط با اثر تنش خشکی بر رشد ریشه، زارعی و همکاران (Zarei et al., 2007) اظهار داشتند که توسعه ریشه تحت تأثیر پتانسیل آب خاک قرار می‌گیرد و با افزایش تنش خشکی سرعت رشد ریشه‌ها کاهش می‌یابد، البته رشد ریشه نسبت به رشد قسمت‌های هوایی گیاه کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد به‌طوری‌که نسبت کلی اندام‌های هوایی به ریشه در شرایط تنش کاهش می‌یابد.

وزن خشک ساقه‌چه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی، ژنوتیپ و اثرمتقابل دو عامل بر وزن خشک ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در شرایط عدم تنش، کمترین میزان وزن خشک ساقه‌چه در ژنوتیپ‌های شماره ۱٤ و ۱۵ (۰/۰۰۷۲ گرم) و بیشترین میزان آن در ژنوتیپ شماره ۳ (۰/۰۱۲٤ گرم) مشاهده شد. در شرایط تنش خشکی ۵- و ۱۵- بار، بیشترین میزان وزن خشک ساقه‌چه مربوط به ژنوتیپ شماره ۵ با مقادیر برابر با ۰/۰۰۹۸ و ۰/۰۰۸۹ گرم بود، درحالی‌که در شرایط تنش خشکی ۵- بار، کمترین میزان وزن خشک ساقه‌چه (۰/۰۰٤۳ گرم) مربوط به ژنوتیپ‌های شماره ۱۵ و ۱۷ بود. همچنین کمترین میزان وزن خشک ساقه‌چه در شرایط تنش خشکی ۵- بار مربوط به ژنوتیپ شماره ۱٦ و در پی آن ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۱۵ بود. بنابراین از نظر شاخص وزن خشک ساقه‌چه ژنوتیپ شماره ۵ متحمل و ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱٦ و ۱۷ حساس به تنش خشکی بودند. مقایسه میانگین وزن خشک ساقه‌چه در سطوح مختلف تنش خشکی در هر سطح ژنوتیپ نشان داد که در ژنوتیپ‌های مختلف به جز ژنوتیپ شماره ۳، بین سطوح مختلف تنش اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۷).

ژنوتیپ‌های ۸، ٤ و ۱۱ (به‌ترتیب با مقادیر برابر با ۹، ۱۰ و ۱۰ درصد) کمترین میزان کاهش وزن خشک ساقه‌چه را تحت تنش ۵- بار داشتند. در این شرایط، بیشترین کاهش صفت فوق مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۷، ۱٦ و ۱۵ (به‌ترتیب با مقادیر برابر با ۵۱، ٤۵ و ٤۰ درصد) بود. در شرایط تنش ۱۵- بار نیز بیشترین میزان کاهش وزن خشک ساقه‌چه مربوط به ژنوتیپ‌های ۱٦، ۱۷ و ۱۵ (به‌ترتیب با مقادیر برابر با ۸۰، ۷۷ و ٥٤ درصد) بود، حال آنکه کمترین میزان کاهش صفات فوق از آن ژنوتیپ ۸ (۱۷ درصد) بود. بنابراین از این منظر نیز ژنوتیپ‌های ٤ و ۸ متحمل به تنش خشکی شناسایی شدند. در تطابق با نتیجه تحقیق حاضر، مبنی بر تأثیر کاهنده و معنی‌دار تنش خشکی ناشی از PEG بر وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه، عنوان شده است که تنش اسمزی ناشی از PEG، رشد گیاهچه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به‌طوری که با افزایش غلظت پلی‌اتیلن گلیکول، از وزن تر و خشک گیاهچه‌ها کاسته می‌شود و از آنجا که واکنش ژنوتیپ‌ها از نظر میزان کاهش متفاوت است، می‌توان از این صفات برای غربال ژنوتیپ‌ها و شناسایی ژنوتیپ‌های حساس و مقاوم به خشکی استفاده کرد (Panda and Khan, 2004).

جدول ۷: مقایسه میانگین‌های وزن خشک ساقه‌چه (گرم) در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در شرایط تنش خشکی

ژنوتیپ	خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول (بار)			LSD (5%)
	۰	-۵	-۱۵	
۱	۰/۰۱۰۷	۰/۰۰۸۸	۰/۰۰۷۷	۰/۰۰۰۹
۲	۰/۰۰۹۵	۰/۰۰۸۵	۰/۰۰۷۶	۰/۰۰۰۵
۳	۰/۰۱۲٤	۰/۰۰۹۲	۰/۰۰۸۳	۰/۰۰۰۹
٤	۰/۰۰۹۷	۰/۰۰۸۷	۰/۰۰۷۸	۰/۰۰۰٤
٥	۰/۰۱۱۸	۰/۰۰۹۸	۰/۰۰۸۹	۰/۰۰۰٤
٦	۰/۰۱۱۳	۰/۰۰۹۳	۰/۰۰۷۲	۰/۰۰۰٤
۷	۰/۰۰۹٦	۰/۰۰۸٤	۰/۰۰۷٥	۰/۰۰۰٦
۸	۰/۰۰۹٤	۰/۰۰۸٦	۰/۰۰۷۸	۰/۰۰۰٥
۹	۰/۰۰۹٦	۰/۰۰۷۷	۰/۰۰۷۰	۰/۰۰۰۳
۱۰	۰/۰۰۹۱	۰/۰۰۷۹	۰/۰۰۷۳	۰/۰۰۰۳
۱۱	۰/۰۰۹٦	۰/۰۰۸٦	۰/۰۰۷۷	۰/۰۰۰۳
۱۲	۰/۰۱۱٤	۰/۰۰۹۲	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۰٤
۱۳	۰/۰۰۹٤	۰/۰۰۷۷	۰/۰۰٦۸	۰/۰۰۰۳
۱٤	۰/۰۰۷۲	۰/۰۰٦۰	۰/۰۰٤۷	۰/۰۰۰٥
۱٥	۰/۰۰۷۲	۰/۰۰٤۳	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۰٦
۱٦	۰/۰۰۸۸	۰/۰۰٤۸	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۰۲
۱۷	۰/۰۰۸۸	۰/۰۰٤۳	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۰٤
LSD (5%)	۰/۰۰۰٦	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	
میانگین±خطای معیار	۰/۰۰۹۷±۰/۰۰۰٥	۰/۰۰۷۷±۰/۰۰۰٤	۰/۰۰٦٥±۰/۰۰۰۳	

LSD (5%): حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

در ارتباط با چگونگی توارث تحمل به تنش خشکی در برنج، ربیعی و همکاران (Rabiei et al., 2014) هفده QTL کنترل‌کننده صفات سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، طول کلئوپتیل و شاخص‌های تحمل به خشکی و شوری را در مرحله جوانه‌زنی روی کروموزوم شماره یک شناسایی نمودند و اظهار داشتند که موقعیت بیشتر QTLهای تحمل به شوری بسیار نزدیک به QTLهای مرتبط با تحمل به خشکی بود که می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که تحمل به خشکی و شوری در برنج به وسیله ژن‌های با اثر پلیوتروپیک یا ژن‌های پیوسته کنترل می‌شود و در نتیجه ممکن است بتوان با اصلاح برنج برای تحمل به یکی از این تنش‌ها، نسبت به تنش دیگر نیز موفق بود.

در توجیه تأثیر افت پتانسیل آب بر صفات رشدی گیاهچه‌ها در مرحله جوانه‌زنی عنوان شده است که افت پتانسیل آب سبب کاهش قدرت استفاده جنین از اندام ذخیره‌ای می‌شود و در نتیجه سبب کاهش قدرت جوانه‌زنی می‌گردد. در فرآیند جوانه‌زنی، پس از جذب آب و آماس، ترشح هورمون جیبرلین به وسیله‌ی جنین و سنتز آنزیم‌های هیدرولیتیکی صورت می‌گیرد که با فعالیت آنزیم‌های آمیلاز، لیپاز و پروتئاز، مواد ذخیره‌ای به مواد قابل انتقال (ساکارز و گلوکز) تبدیل و به جنین انتقال می‌یابند، که عامل رشد جنین تلقی می‌شوند (Naghdabadi et al., 2006). بنابراین دلیل تأثیر منفی تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول بر صفات رشدی در مرحله جوانه‌زنی این است که با کاهش میزان

رطوبت، از انتقال ترکیبات محلول و حلالیت آن‌ها در آب کاسته می‌شود و انتقال آن‌ها به جنین با محدودیت مواجه می‌شود و در نتیجه میزان صفات وابسته به جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. همچنین فاروق و همکاران (Farooq et al., 2009) بیان داشتند که خشکی در برنج سبب چروکیدگی سلول و متعاقب آن کاهش حجم سلول خواهد شد. این عمل، برهم‌کنش پروتئین-پروتئین را افزایش داده و سبب تجمع و تغییر ماهیت آن‌ها می‌شود. غلظت زیاد مواد محلول باعث سمّیت سلول شده و از این طریق عملکرد بسیاری از آنزیم‌های درگیر در سیستم فتوسنتزی تحت تأثیر واقع می‌شود.

شاخص تنش: اثرات تنش خشکی، بر روی تمام صفات، در قالب شاخص تنش (SI) برای هر ژنوتیپ محاسبه شد و از مقادیر آنها برای رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به خشکی در مرحله جوانه‌زنی استفاده شد. هرچقدر مقادیر این شاخص به ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده اثر بیشتر تنش بر ژنوتیپ مورد مطالعه می‌باشد، در حالی‌که مقادیر نزدیک به صفر بیانگر تحمل بیشتر آن ژنوتیپ به تنش خشکی است (Fischer and Maurer, 1978). در شدت تنش ۵- بار، کمترین مقدار شاخص تنش (SI) مربوط به ژنوتیپ ۵ و در پی آن ژنوتیپ‌های ٦، ٨، ١٠، ١٢، ٣، ٤، ١ و ٢ بود. بنابراین، ژنوتیپ‌های اخیر جزء ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی بودند. همچنین بیشترین مقادیر این شاخص به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های ١٧ (طارم)، ١٦ (هاشمی) و ١٥ (خزر) بود، که در گروه ژنوتیپ‌های حساس جای گرفتند. در شرایط تنش شدید (١٥- بار) نیز با توجه به شاخص فوق، ژنوتیپ ٥ (TM6-B-7-1) متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های ١٧، ١٦ و ١٥ حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ١٠).

جدول ۱۰: شاخص تنش تحت تنش خشکی ۵- و ۱۵- بار

نام ژنوتیپ	خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول (بار)	
	-۵	-۱۵
TM6-230-VE-7-5-1	۰/۱۸	۰/۳۲
TM6-230-VE-8-4-1	۰/۱۸	۰/۳۱
TM6-250-10-7-1	۰/۱۷	۰/۳۲
TM6-B-2-1-E	۰/۱۷	۰/۲۹
TM6-B-7-1	۰/۰۷	۰/۱۸
TM6-B-19-2	۰/۱۰	۰/۲۷
HM5-250-E-1-1	۰/۲۵	۰/٤٦
HM5-250-E-3-2	۰/۱۵	۰/۲۷
HM5-250-6-6	۰/۲۳	۰/٤۳
HM5-250-7-6	۰/۱۵	۰/۲۹
HM5-250-12-1	۰/۲۳	۰/۳۹
HM5-300-3-1	۰/۱٦	۰/۲۹
HM5-300-5-1	۰/۲۳	۰/٤۲
KM5-200-4-2-E	۰/۲۳	۰/٤۲
خزر	۰/۳٤	۰/۵۹
هاشمی	۰/٤۹	۰/۷۳
طارم	۰/۵۲	۰/۷٤

در تطابق با نتیجه تحقیق حاضر، آفیوکوا و همکاران (Afiukwa et al., 2016) نیز با استفاده از این شاخص اقدام به شناسایی ژنوتیپ‌های حساس و مقاوم به خشکی در برنج نمودند. از دیگر نکاتی که در تحقیق حاضر ملاحظه شد این بود که از نظر شاخص تنش و سایر صفات مرتبط با جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه‌ها ارقام والدی هاشمی، خزر و طارم حساس‌ترین و لاین‌های موتانت حاصل از آنها (به‌خصوص ژنوتیپ‌های ۲، ۳، ٤، ۵ و ٦ از منشأ طارم محلی)، متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. این نتیجه در تطابق با تحقیق پناه‌آبادی و همکاران (Panahabadi et al., 2016) است که نشان دادند لاین موتانت MT149 نسبت به رقم والدی خود (ندا) از نظر تمام صفات مورد مطالعه تحت شرایط تنش خشکی (٦- بار) در مرحله گیاهچه‌ای برتری داشت. ژنوتیپ‌های فوق در شرایط مزرعه هم مورد بررسی قرار گرفتند و نتایج حاکی از آن بود که ارقام والدی ۱۷، ١٦ و ۱۵ در زمره ژنوتیپ‌های حساس به خشکی و لاین‌های موتانت ۱، ۲، ۳، ٤، ۵ و ٦، متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی بودند (Sharifi et al., 2017; Sharifi et al., 2018; Aminpanah et al., 2018). این نتیجه‌گیری مؤید نظر یه و همکاران (Ye et al., 2008) است که اظهار داشتند، با توجه به همبستگی بالای تحمل به تنش‌های محیطی در مراحل مختلف رشد در واریته‌های مختلف برنج، امکان ارزیابی ارقام در مراحل اولیه رشد (با توجه به هزینه کمتر این نوع آزمایش‌ها) و استفاده از ارقام مقاوم در مراحل پیشرفته‌تر رشدی وجود دارد.

همبستگی: روابط بین صفات مورد مطالعه در شرایط عدم تنش و تنش با استفاده از ضرایب همبستگی مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۹). این نتایج نشان داد که در شرایط عدم تنش دو صفت طول ساقه‌چه و ریشه‌چه با هم همبستگی منفی (۰/۳۷۵-) داشتند، حال آنکه در هر دو سطح تنش، همبستگی مثبت بین این دو صفت (به‌ترتیب برابر با ۰/۲۲۷ و ۰/٤۳۷) ملاحظه گردید.

جدول ۹: ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه تحت شرایط عدم تنش (بالای قطر) و تنش خشکی ۵- بار (ردیف اول پایین قطر) و ۱۵- بار(ردیف دوم پایین قطر).

صفات	خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول (بار)	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه	نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه
طول ریشه‌چه		۱	-۰/۳۷۵	۰/۵۱۱*	-۰/۱۱۱	۰/۷٦۷**
طول ساقه‌چه	-۵	۰/۲۲۷	۱	۰/۲۷۸	۰/۹۰۸**	-۰/۸۵٦**
	-۱۵	۰/٤۳۷				
وزن خشک ریشه‌چه	-۱۵	۰/۷۱۹**	۰/۸٦۵**	۱	۰/٤۱۸	-۰/۰۰۸
	-۵	۰/۷۷٦**	۰/٤۸۱			
	-۱۵	۰/۸۷۷**	۰/٦۸٤**			
وزن خشک ساقه‌چه	-۵	۰/٤۳۹	۰/۹۲٦**	۰/۷۰۳**	۱	-۰/٦۲۹**
	-۱۵	۰/٦۷۸**	۰/۸۸۰**	۰/۹۱۰**		
نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه	-۵	۰/۵۰٤*	-۰/٦۸۷**	۰/۰۱٦	-۰/٤۹۹	۱
	-۱۵	۰/٤۲۹	-۰/٦۱۰**	۰/۰۷٤	-۰/۲۸۱	

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

همبستگی مثبت بین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در شرایط تنش خشکی که در تحقیق حاضر مشاهده شد، مؤید این نکته است که تجمع ماده خشک بیشتر در ریشه‌چه باعث افزایش جذب آب و املاح مفید موجود در آب می‌شود و

رشد طولی ساقه‌چه افزایش می‌یابد (Greenway and Munns, 1990). از دیگر روابط مهم در این تجزیه همبستگی، رابطه مثبت بین وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه در هر سه شرایط (به‌ترتیب با مقادیر برابر با ۰/٤۱۸، ۰/۷۰۳و ۰/۹۱۰) بود. البته با افزایش شدت تنش به میزان همبستگی بین وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه افزوده شد.

نتیجه‌گیری نهایی

برای طبقه‌بندی و غربال ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به خشکی بهتر است از معیارهای متعدد استفاده نمود و نباید شناسایی ژنوتیپ‌های حساس و متحمل به خشکی را منوط به یک صفت نمود. در این تحقیق، با افزایش شدت تنش، صفات به طور معنی‌داری کاهش یافتند. متوسط درصد کاهش صفات طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه تحت هر دو سطح تنش خشکی نسبت به سایر صفات بیشتر بود، که نشان‌دهنده حساسیت بیشتر این صفت در قبال تنش خشکی می‌باشد. بنابراین می‌توان از این دو صفت به‌عنوان معیاری برای تحمل به خشکی استفاده کرد. بر اساس شاخص تنش، ژنوتیپ‌های ۵ و ٦ متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های ۱۷، ۱٦ و ۱۵ حساس‌ترین بودند. در مجموع، با توجه به شاخص‌های مورد بررسی، ژنوتیپ ۵، از نظر تمام شاخص‌های مورد بررسی، متحمل و ژنوتیپ‌های ۱۵ (رقم خزر)، ۱٦ (هاشمی) و ۱۷ (طارم) حساس به خشکی بودند. همچنین ژنوتیپ‌های ۲، ۳، ٤ و ٦ نیز از نظر برخی از صفات متحمل به خشکی بودند. تمام ژنوتیپ‌های مقاوم ۲، ۳، ٤، ۵ و ٦ از منشأ طارم محلی بودند. بنابراین می‌توان لاین‌های موتانت فوق را به عنوان ژنوتیپ‌های مناسب برای معرفی به‌عنوان ارقام مقاوم و یا استفاده در تحقیقات مربوط به تحمل به تنش خشکی استفاده نمود.

Reference

Abdi, H., Bihamta, M.R., Azizov, E. and Chogan, R. 2015. Investigation effects of drought stress ievel PEG 6000 on seed germination principle and its relation with drought tolerance index in promising lines and cultivars of breed wheat (*Triticum aestivum* L.). Iranian J. Field Crops Res. 12(4): 582-596. (In Persian).

Akte, J. Yasmin, S., Bhuiyan, M.J.H., Khatun, F., Roy, J. and Goswami, K. 2016. In vitro screening of rice genotypes using polyethylene glycol under drought stress. Prog. Agri. 27 (2): 128-135.

Alam, M.Z., Naylor, R.E.L. and Stuchbury, T. 2002. Effect of NaCl and PEG induced osmotic potentials on germination and early seedling growth of rice cultivars differing in salt tolerance. Pakistan J. Biol. Sci. 5(11): 1207-1210.

Aminpanah, H., Sharifi, P. and Ebadi, A.A. 2018. Evaluation of Drought response in Some Rice Mutant Lines Using Stress Tolerance Indices. Iranian Journal Field Crops Research. 16(1): 191-202. (In Persian).

Azizinia, S., Ghannadha, M.R., Zali, A.A., Yazdi-Samadi, B. and Ahmadi, A. 2005. An evaluation of quantitative traits related to drought resistance in synthetic wheat genotypes in stress and non-stress conditions. Iranian Journal of Agriculture. Sci. 36: 281-293. (In Persian).

Balouchi, H.R. 2010. Screening wheat parents of mapping population for heat and drought tolerance, Selection of wheat genetic variation. Inter. J. Biol. Life Sci. 6: 56-66.

Afiukwa, C.A., Faluyi, J.O., Atkinson, C.J., Ubi, B.E., Igwe, D.O. and Akinwale, R.O. 2016. Screening of some rice varieties and landraces cultivated in Nigeria for drought tolerance based on phenotypic traits and their association with SSR polymorphisms. Journal of Agriculture Research. 11(29): 2599-2615.

Chiatante, D., Maiuro, L. and Scippa, G.S. 1995. Tolerance of meristematic root cells to water stress and quantitative variations of proteins at different subcellular level. In: Bryant, J.A., Chiatante, D. (Eds.), Plant Cell Proliferation and its Regulation in Growth and Development. Wiley. P119-134.

Demir Kaya, M., Okcu, M., Atak, G., Cikili, Y. and Kolsarici, O. 2006. Seed treatment to overcome Salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Europ. Journal of Agronomy. 24: 291- 295.

Emmerich, W.E. and Hardegree, S.P. 1990. Polyethylene glycol solution contact effects on seed germination. Journal of Agronomy. 82: 1103-1107.

Esmaili, A. and Eslami, S.V. 2010. Comparative evaluation of the effects of salinity and drought on germination and seedling growth of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.) and rice (*Oryza sativa* L.) and its relationship with their competition under stress conditions. Weed Research Journal. 2(1): 29-41. (In Persian).

FAO. 2015. FAO annual statistics reports. Available from: http://faostat.fao.org/site/567.

Farooq, M., Wahid, A., Lee, D.J., Ito, O. and Siddique, K.H.M. 2009. Advances in drought resistance of rice. Crit. Rev. Plant Sci. 28: 199-217.

Fischer, R.A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivar: I- Grain yield response. Australian Journal of Agriculture Research. 29: 897-912.

Greenway, H., and Munns, R. 1990. Mechanisms of Salt Tolerance in Nonhalophytes Annual. Rev. Plant Phys. 31:141-190.

Gupta, N., Singh, J. and Kaur, N.R. 1991. Effect of PEG-induce water deficit on germination of chick pea cultivars differing in drought tolerance. Journal of Agronomy. 107: 177-182.

Khafagy, M.A; Darowish, M.M., Salama, S.M. and El-Shimaa A.M. 2014. Effect of water priming duration on rice (*Oryza sativa* L.) germination and seedling growth under iso-osmotic solutions of NaCl and PEG. J. Plant Prod. 5(12): 2141 -2157.

Jisha, K.C. and Puthur, J.T. 2016. Seed priming with beta-amino butyric acid improves abiotic stress tolerance in rice seedlings. Rice Sci. 23(5): 242–254.

Leung, H. and A.n., G. 2004. Rice functional genomics: large scale gene discovery and applications for crop improvement. Agronomy. 82: 55-111.

Michel, E.B. and Kaufman, M.K. 1974. The osmotic potential of polyethylen glycol 6000. Plant Phys. 51:914-916.

Naghdabadi, H., Omidi., H., Shams., H., Kian., I., Dehqan Meshkani, M. and Saif Sahandi, M. 2006. Inhibitory effects of aqueous extract of Peganum harmala (*Peganum harmala* L.) on germination and seedling growth of purslane (*Portulaca oleracea* L.) and Chenopodium (*Chenopodium album* L.). Journal of Medicin. Herb. 33: 116-127. (In Persian).

Panahabadi, R., Ahmadikhah, A. and Askari, H. 2016. The effects of drought stress on morpho-physiological characters and expression of *OsCat A* in rice seedling. Journal of Agriculture. Biotec. 8(2):1-16. (In Persian).

Panda, S.K. and Khan, M.H. 2004. Changes in growth and superoxide dismutase activity in *Hydrilla verticillata* L. under abiotic stress. Braz. J. Plant Phys. 16:115-118.

Pirdashti, H., Sarvestani Tahmasebi, Z., Nematzadeh, G.H. and Ismail, A. 2003. Effect of water stress on seed germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. Pakistan Journal of Agronomy. 2: 217-222.

Rabiei, B., Mardani, Z., Ghomi, K., Sabori, H. and Sabori, A. 2015. The effect of rice chromosome 1 on traits associated with drought and salinity tolerance at germination and seedling stages. Seed Plant Improvment Journal. 30: 1-16. (In Persian).

Rehman, S., Harris, P.J.C., Bourne, W.F. and Wilkin, J. 1996. The effect of sodium chloride on germination and the potassium and calcium content of Acacies seeds. Seed Sci. Technol. 25:45-57.

Reyniers, F.N., Truong, B., Jacquinot, L. and Nicou, R. 1982. Breeding for drought resistance in dryland rice, In: Drought Resistance in Crops with Emphasis on Rice. IRRI, Los Baños, Philippines. P 273-292.

Hossaini, S.V., Ganjeali, A., Lahouti, M. and Beyk Khormizi, A. 2014. Effect of drought stress on seed germination and some morphopysiological and biochemical traits of *Oryza sativa* L. cv. Hashemi seedlings. Agronomy Journal. 104: 182-188. (In Persian).

Sharp, R.E. 2002. Interaction with ethylene: changing views on therole of abscisic acid in root and shoot growth responses to water stress. Plant, Cell and Environment. 25: 211-222.

Sharifi, P, Aminpanah, H. and Ebadi, A.A. 2018. Evaluation of some agronomic traits and their association with grain yield in mutant rice lines under normal and post-anthesis drought stress conditions. J. Crop Breed. 10(27): 180-195. (In Persian).

Sharifi, P, Aminpanah, H. and Ebadi, A.A. 2017. Classification of mutant rice (*Oryza sativa* L.) genotypes under drought stress conditions. Iranian Agrobreed Journal. 19 (2): 148- 164. (In Persian).

Soltani, A., Galeshi, S., Zeinali, E. and Latifi, N. 2002. Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. Seed Sci. Tech. 30:51-60. (In Persian).

Soltani, A., Gholipoor, M. and Zeinali, E. 2006. Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. Env. Exp. Bot. 55: 195- 200.

Sudharani, M., Reddy, P.R. and Jayalakshmi, V. 2012. A comprehensive review on genetic components of salinity tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). Inter. Journal Applied. Biology. Phar. Tech. 3: 312-322.

Ye, C., Fukai, S., Godwin, I., Reinker, R., Snell, P., Schiller, J. and Basnayake, J. 2009. Cold tolerance in rice varieties at different growth stages. Crop Pas. Sci. 60: 328-338.

Yilmaz, A. and Boydak, E. 2006. The effect of cobalt-60 application yield components of cotton (*Gossypium barbadense* L.). Pakistan Journal Biology Sci. 9(15): 2761-2769.

Zarei, L., Farshadfar, E., Haghparast, R., Rajabi, R. and Mohammadi SarabBadieh, M. 2007. Evaluation of some indirect traits and indexes to identify drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Asian Journal Plant Sci. 6: 1204-1210.