

ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های برنج در مرحله گیاهچه‌ای

پرهام نیک‌سیر^۱، سعید نواب‌پور^۲، حسین صبوری^۲، حسن سلطانیلو^۲

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اصلاح نباتات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان؛

۲. دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان؛ ۳. دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه گنبدکاووس.

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۸/۰۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۶/۰۸

چکیده

برنج از مهم‌ترین محصولات کشاورزی ایران و جهان است و خشکی یک عامل محدودکننده مهم در تولید این محصول است. اصلاح برای تحمل به خشکی می‌تواند یک روش مؤثر برای بهبود و پایداری عملکرد در مناطق کم‌آب باشد. به‌منظور بررسی تحمل به خشکی، آزمایشی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی و به‌صورت فاکتوریل با سه تکرار در شرایط کشت هیدروپونیک در آزمایشگاه اصلاح نباتات دانشگاه گنبدکاووس در سال ۱۳۹۱ به اجرا درآمد. ترکیب ۲۲ ژنوتیپ برنج به همراه دو تیمار خشکی (شاهد و ۵-بار) به‌صورت فاکتوریل به‌عنوان تیمارهای موردبررسی در نظر گرفته شدند. خصوصیات مورد مطالعه شامل قطر ریشه، وزن ریشه، تعداد ریشه، طول ریشه، وزن ساقه، طول ساقه، زیست‌توده و کد ژنوتیپی (میزان تحمل نسبی ژنوتیپ‌ها به خشکی) بود. تجزیه واریانس نشان داد تفاوت بسیار معنی‌داری (۰/۰۱) بین ژنوتیپ‌ها از نظر کلیه صفات وجود داشت. وجود اختلاف معنی‌دار میانگین صفات بیانگر وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بود. در تجزیه خوشه‌ای بر اساس صفات گیاهچه‌ای، ژنوتیپ‌هایی که با رقم متحمل Bala در یک گروه قرار گرفتند گروه متحمل و ژنوتیپ‌هایی که با رقم نسبتاً حساس Azucena دسته‌بندی شدند، گروه حساس نامیده شدند. رگرسیون مرحله‌ای با در نظر گرفتن زیست‌توده به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به‌عنوان متغیرهای مستقل نشان داد که در شرایط تنش خشکی صفات وزن ساقه و وزن ریشه ($R^2=0/61$) به ترتیب بیشترین تأثیر را بر صفت زیست‌توده داشتند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با توجه به وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، می‌توان از آن‌ها در جهت افزایش تحمل به خشکی در ارقام برنج محصول استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای، تنوع ژنتیکی، کد ژنوتیپی، کشت هیدروپونیک.

مقدمه

خشکی مشخص می‌شود (Yue and Xiong, 2005). در صورتی که تنش خشکی در قبل یا در حین پنجه‌زنی صورت گیرد موجب کاهش تعداد پنجه‌ها یا خوشه‌ها در هر کپه می‌شود، اما اگر تنش خشکی بعد از پنجه‌زنی حادث شود و در صورتی که اندازه منبع (برگ‌ها و ساقه‌ها) به‌اندازه کافی بزرگ باشد در این صورت ممکن است کاهش تعداد پنجه یا خوشه به‌وسیله افزایش تعداد دانه در هر خوشه یا به‌وسیله افزایش وزن هزار دانه جبران شود (Sharma et al., 1987).

ریشه‌چه قبل از اندام‌های دیگر گیاه از بذر بیرون می‌آید و در نتیجه قبل از اندام‌های دیگر در معرض تنش‌های

برنج (*Oryza sativa* L.) بعد از گندم مهم‌ترین محصول کشاورزی جهان است و نقش مهمی در تغذیه بیش از نیمی از جمعیت جهان دارد. تنش خشکی یک محدودیت مهم در تولید برنج در محیط‌های کم‌آب می‌باشد (Bernier et al., 2008). خشکی، پدیده‌ای پیچیده‌تر از بسیاری تنش‌های دیگر مانند شوری، غرقاب، آفات و بیماری‌هاست. این پیچیدگی‌ها همراه با عدم قطعیت در زمان خشکی، شدت و طول مدت خشکی، چالش عمده‌ای برای دانشمندان کشاورزی مطرح کرده است (Lanng and Buu, 2008). تحمل به خشکی در برنج صفت پیچیده‌ای است و به‌طور عمده توسط مکانیسم‌های اجتناب از خشکی و تحمل به

شناخت صفات مؤثر در تحمل به تنش خشکی را فراهم می‌آورد. (Blum et al., 1980). این مطالعه به‌منظور بررسی روابط صفاتی که در تحمل به خشکی در مرحله گیاهچه‌ای برنج مؤثرند انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های برنج در مرحله گیاهچه‌ای، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط کشت هیدروپونیک در آزمایشگاه اصلاح نباتات دانشگاه گنبدکاووس در سال ۱۳۹۱ انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل ۲۲ ژنوتیپ برنج و دو سطح تیماری عدم خشکی به‌عنوان شاهد و تنش خشکی توسط مانیتول (پتانسیل ۵- بار) بود. صفات مورد مطالعه عبارت از قطر ریشه، وزن ریشه، تعداد ریشه، طول ریشه، وزن ساقه، طول ساقه، زیست‌توده و کد ژنوتیپی بودند. کد ژنوتیپی بر اساس میزان سوختگی برگ در اثر تنش خشکی طبق دستورالعمل مؤسسه بین‌المللی تحقیقات برنج (جدول شماره ۲) تعیین شد.

برای کشت از صفحات یونولیت و ظروف شیشه‌ای با ابعاد ۵/۵×۳۰×۵۰ سانتیمتر استفاده شد. بذور به مدت ده دقیقه با محلول ۵ درصد هیپوکلریت سدیم ضدعفونی و به ظروف پتری حاوی کاغذ صافی منتقل شدند. روی صفحات یونولیت سوراخ‌هایی جهت قرار دادن بذور جوانه‌زده در آن‌ها تعبیه گردید و در زیر سوراخ‌ها شبکه نایلونی (صفحه‌هایی از جنس پلاستیک با سوراخ‌های ریز که ریشه‌چه‌ها از آن عبور داده شدند) قرار داده شد. بذور جوانه‌زده در روز پنجم به درون سوراخ‌های مذکور منتقل گردیدند. در هر سوراخ (واحد آزمایشی) دو بذور جوانه‌زده نشاء گردید. تا سه روز پس از انتقال از آب مقطر استفاده شد (شکل ۱). سپس محلول غذایی یوشیدا (Yoshida et al., 1976) طبق جدول ۳ به درون ظروف شیشه‌ای اضافه گردید. pH محلول هفته‌ای سه بار کنترل گردید و با اضافه نمودن HCl یا NaOH، pH محلول روی ۵/۵ ثابت نگه داشته شد. گیاهچه‌های برنج در شرایط تیمار شاهد به مدت ۲۸ روز در محلول غذایی یوشیدا قرار گرفتند. در شرایط خشکی گیاهچه‌های برنج تا هفت روز در محلول غذایی یوشیدا و سپس به مدت ۲۱ روز تحت تنش خشکی قرار گرفتند. در پایان هفته چهارم رشد گیاهچه‌ها، صفات مورد مطالعه اندازه‌گیری گردید.

محیطی قرار می‌گیرد، بنابراین اندازه طول ریشه‌چه معیار مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی است (Copland and McDonald, 1995). اساساً خصوصیات ریشه مانند طول و قطر ریشه نقش تعیین‌کننده در روند تحمل به تنش خشکی و سازگاری گیاه ایفا می‌کند (Fukai and Cooper, 1995). معمولاً تنش خشکی به علت القاء پیری و در نتیجه کوتاه شدن دوره پر شدن دانه موجب کاهش وزن دانه و همچنین افزایش خوشه‌چه‌های پوک در هر خوشه می‌شود (Palta et al., 1994; Zhang, 1998). افزایش سطح تنش خشکی از ۰/۵- تا ۳- مگاپاسکال بر روی ۲۷ رقم برنج موجب کاهش سطح برگ و وزن تر ساقه در کلیه ژنوتیپ‌ها شد (Cabuslay et al., 2002).

در سطوح مختلف در طول تکامل گیاهان بروز انواع خشکی موجب شده است که مکانیسم‌های مختلف تحمل به خشکی در سطوح مختلف نظام حیاتی از مولکول تا سلول، بافت و بالاتر به وجود آید. مطالعه این مکانیسم‌ها اطلاعات مهمی را در جهت اصلاح گیاهان زراعی به‌منظور افزایش تحمل به تنش خشکی فراهم می‌نماید (Maghsudi Mud, 2008). در مطالعه تنوع ژنتیکی ۱۹ ژنوتیپ برنج، ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در ۵ خوشه^۱ قرار گرفتند و با توجه به اینکه فواصل بین خوشه‌ها بیشتر از فواصل داخل خوشه-ای بود، تنوع ژنتیکی زیادی بین ژنوتیپ‌های خوشه‌های مختلف وجود داشت (Iftekharuddula et al., 2002). در تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام جهت انتخاب صفات مرتبط با تنش شوری در مرحله گیاهچه‌ای برنج به ترتیب وزن خشک ریشه و اندام هوایی به‌عنوان صفات مؤثر بر زیست‌توده وارد مدل شد (Farahmandfar et al., 2009). در تحقیقی دیگر در تجزیه رگرسیون مرحله‌ای جهت انتخاب صفات مرتبط با تنش شوری در مرحله گیاهچه‌ای برنج، صفت زیست‌توده به‌عنوان تنها صفت مؤثر بر کد ژنوتیپی وارد مدل شد و ۵۹/۶ درصد تغییرات را توجیه نمود (MirdarMansuri et al., 2012).

ژنوتیپ‌هایی که در مراحل جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای از تحمل به تنش رطوبتی بالاتری برخوردار باشند، در مراحل بعدی نیز این قابلیت را بروز می‌دهند. واکنش گیاه طی این مراحل در برابر تنش، فرصت مفیدی برای به‌گزینی و درک

^۱. Cluster

جدول ۱. لیست ژنوتیپ‌های برنج

Table 1. List of rice genotypes

شماره No	نام Name	شماره No	نام Name
1	Bala	12	IR81024-B-B-254-1
2	Azucena	13	IR83747-B-B-81-1
3	IR82589-B-B-84-3	14	IR55423-01
4	CT6510-24-1-2	15	IR77298-14-1-2
5	Salari	16	GharibSiahReihani
6	CT6516-24-3-2	17	IR50
7	Dom Zard	18	Line229
8	IR30	19	ChampaBudar
9	B6144F-MR-6-0-0	20	IR60080-48A
10	Hashemi	21	IR82589-B-B-114-3
11	Usen	22	IR344197

از نرم‌افزار SPSS 20.0 برای محاسبه همبستگی صفات و تجزیه خوشه‌ای (روش UPGMA ضریب مربع فاصله) و تجزیه خوشه‌ای (روش UPGMA ضریب مربع فاصله) و همچنین برای تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها از نرم‌افزار (SAS v9.2 (2008) استفاده گردید.

جدول ۲. کدهای ژنوتیپی مربوط به درجه سوختگی برگ برای تحمل به خشکی در مرحله رویشی

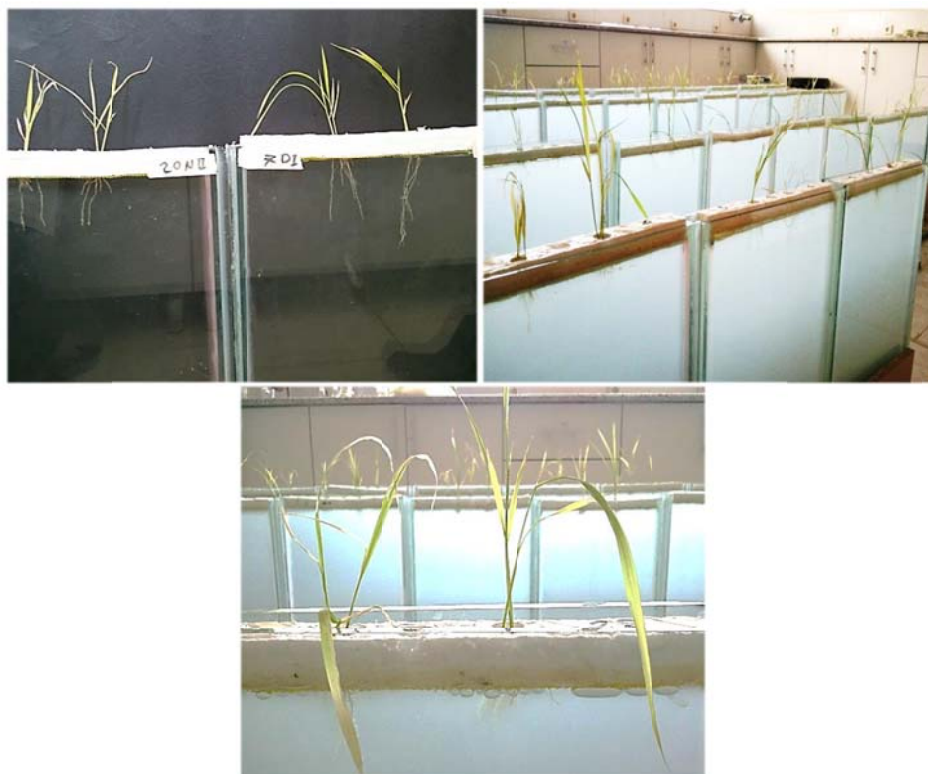
Table 2. Genotypic codes related to the degree of drought tolerance in vegetative leaf blight (IRRI, 1996)

کد ژنوتیپی Genotypic code	واکنش Reaction	سوختگی برگ Leaf blight
1	بسیار متحمل Very tolerant	بدون نشانه تنش Without the Stress
2	متحمل Tolerant	خشک شدن جزئی نوک برگ‌ها Partial drying of leaf tips
4	نسبتاً متحمل Relatively tolerant	خشک شدن نوک برگ‌ها به اندازه یک‌چهارم در سه برگ By expanding the size of a quarter in the three leaf dry leaf tips
6	نسبتاً حساس Relatively sensitive	خشک شدن نصف برگ‌های جوان و تمام برگ‌های پایین Half young dried leaves and lower leaves
8	حساس Sensitive	گسترش یافتن خشکی برگ‌ها به اندازه سه‌چهارم برگ Extend the dry leaves by as much as three-quarters of leaf
9	بسیار حساس Very sensitive	گسترش یافتن خشکی به تمام برگ‌ها Drought spread to all leaves

جدول ۳. محلول غذایی یوشیدا

Table 3. Yoshida nutrient solution

	عنصر Element	ماده Reagent	گرم در چهار لیتر g per 4 Lit
Macro پرمصرف	N	NH ₄ NO ₃	365.6
	P	NaH ₂ PO ₄ .H ₂ O	142.4
	K	K ₂ SO ₄	285.6
	Ca	CaCl ₂ .2H ₂ O	469.4
	Mg	MgSO ₄ .7H ₂ O	1296.0
Micro کم مصرف	Mn	MnCl ₃ .4H ₂ O	6
	Mo	(NH ₄) ₆ MO ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	0.296
	Zn	ZnSO ₄ .7H ₂ O	0.14
	B	H ₃ BO ₃	3.736
	Cu	CuSO ₄ .5H ₂ O	0.124
	Fe	FeCl ₃ .6H ₂ O	30.8
	Citric Acid	C ₆ H ₈ O ₇ .H ₂ O	47.6



شکل ۱. ارزیابی صفات فنوتیپی در کشت هیدروپونیک

Fig. 1. Evaluation of phenotypic traits in hydroponic culture

نتایج و بحث

تجزیه واریانس

تجزیه واریانس داده‌ها اختلاف بسیار معنی‌داری را بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی برای کلیه صفات نشان داد (جدول ۴). این مسئله می‌تواند بیانگر وجود تنوع ژنتیکی برای صفات مورد ارزیابی در مرحله گیاهچه‌ای در شرایط تنش خشکی باشد. واکنش متفاوت ژنوتیپ‌های مورد بررسی تحت دو شرایط موجب معنی‌داری اثر متقابل ژنوتیپ × خشکی، برای صفات قطر ریشه، وزن ریشه، تعداد ریشه، طول ساقه، طول ریشه و کد ژنوتیپی شد. بر این اساس، برش‌دهی ارزیابی ژنوتیپ‌ها در هر یک از شرایط تیمار خشکی و شاهد به‌طور جداگانه نیز انجام شد (جدول ۴). تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در شرایط شاهد نشان داد که اختلاف بین ژنوتیپ‌ها برای صفت وزن ساقه در سطح احتمال پنج درصد و برای سایر صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در شرایط تنش خشکی نشان داد که اختلاف بین ژنوتیپ‌ها فقط از نظر صفت وزن ساقه معنی‌دار نشد و از نظر صفت زیست‌توده در سطح احتمال پنج درصد و سایر صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید.

مقایسه میانگین

با توجه به معنی‌داری اختلاف میانگین کلیه صفات در دو شرایط تنش خشکی و شاهد (نتایج نشان داده نشده است)، مقایسه میانگین صفات در هر یک از شرایط تنش خشکی و شاهد به‌طور جداگانه انجام شد (جدول ۵). مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نشان داد که در شرایط شاهد، ژنوتیپ Bala از نظر صفات قطر ریشه، تعداد ریشه و طول ریشه بیشترین میزان را دارد و پس از Bala، ژنوتیپ Usen بیشترین مقدار قطر ریشه را داشت. از نظر صفت وزن ریشه ژنوتیپ‌های B6144F-MR-6-0-0، IR60080-48A و Bala دارای بیشترین مقدار بودند. بیشترین میزان وزن ساقه متعلق به ژنوتیپ‌های B6144F-MR-6-0-0 و Bala بود. مقایسه میانگین ارقام در شرایط تنش خشکی نشان داد که ژنوتیپ Bala دارای بیشترین میزان قطر ریشه و تعداد ریشه بود که از مشخصات ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی است (Fukai and cooper., 1995). همچنین بیشترین مقدار وزن ریشه پس از ژنوتیپ Usen متعلق به ژنوتیپ Bala بود. از نظر صفت وزن ساقه

ژنوتیپ‌های سالاری، غریب سیاه ریحانی، B6144F-MR-6-0-0 و Bala به ترتیب حائز بیشترین میزان بودند. نتایج نشان داد ژنوتیپ‌هایی که نسبت به تنش خشکی حساسیت بالاتری داشتند دارای کد ژنوتیپی بالاتر و ژنوتیپ‌هایی که تحمل بیشتری به تنش خشکی داشتند دارای کد ژنوتیپی پایین‌تری بودند. پایین‌ترین کد ژنوتیپی متعلق به ژنوتیپ Bala بود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد که در بین ژنوتیپ‌های خارجی، ژنوتیپ‌های Usen و IR60080-48A و در میان ژنوتیپ‌های ایرانی ژنوتیپ غریب سیاه ریحانی نزدیک‌ترین کد ژنوتیپی را به ژنوتیپ Bala داشتند و از این حیث می‌توان ژنوتیپ‌های مذکور را بعد از ژنوتیپ متحمل Bala، جزو ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی به حساب آورد. ژنوتیپ‌های سالاری، چمپابودار، IR77298-14-1-2 و CT6510-24-1-2 نیز جزو ژنوتیپ‌های نیمه متحمل شناسایی شدند.

تجزیه خوشه‌ای

بر اساس تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌های مورد بررسی در دو گروه مجزا قرار گرفتند (شکل‌های ۲ و ۳). ژنوتیپ‌هایی که با ژنوتیپ متحمل Bala در یک گروه قرار گرفتند گروه متحمل و ژنوتیپ‌هایی که در کنار ژنوتیپ حساس Azucena دسته‌بندی شدند، گروه حساس نامیده شدند. ژنوتیپ‌های گروه متحمل در مقایسه با گروه حساس به تنش خشکی دارای قطر ریشه، وزن خشک ریشه و تعداد ریشه بیشتری بودند. به نظر می‌رسد ژنوتیپ‌های مختلف جهت مقابله با تنش خشکی از سازوکارهای متفاوتی استفاده کرده بودند به‌عنوان مثال در تیمار تنش خشکی، ژنوتیپ Usen وزن ریشه بیشتری نسبت به ژنوتیپ متحمل Bala داشت در حالی که در همین شرایط تنش خشکی ژنوتیپ هاشمی نسبت به ژنوتیپ Bala دارای طول ریشه بیشتری بود که نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی بود. ژنوتیپ‌های IR81024-B-B-254، IR82589-B-B-114-3-1، IR55423-01، IR825-B-B-81-1، IR30، 84-3، IR344197، IR83747-B-B-81-1، IR30، 84-3، IR344197، IR83747-B-B-81-1، IR30، 84-3 زرد و Line229 در هر دو سطح شاهد و تنش خشکی با ژنوتیپ حساس Azucena در یک گروه قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های سالاری، غریب سیاه ریحانی، چمپا بودار، IR50، IR77298-14-1-2 نیز در هر دو سطح شاهد و تنش خشکی با ژنوتیپ متحمل Bala در یک گروه قرار

گرفتند. این مطالعه نشان داد تحمل برنج به تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای در میان ژنوتیپ‌های مختلف با زمینه مختلف ژنتیکی، متفاوت بود که می‌توان از این تنوع در برنامه‌های اصلاحی جهت به دست آوردن ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی استفاده نمود.

جدول ۴. تجزیه واریانس صفات موردبررسی

Table 4- Analysis of variance for studied traits.

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات MeanSquares							
		قطر ریشه RD [§]	وزن ریشه RW	تعداد ریشه RN	وزن ساقه SW	طول ساقه SL	طول ریشه RL	کد ژنوتیپی GC	زیست توده B
بلوک Block	2	0.0088**	0.000001 ^{ns}	9.81*	0.000017 ^{ns}	27.76**	4.37*	0.84 ^{ns}	0.000009 ^{ns}
ژنوتیپ Genotype (G)	21	0.036**	0.000002**	19.22**	0.000029**	32.89**	4.61**	6.42**	0.000037**
خشکی Drought (D)	1	2.10**	0.00004**	238.41**	0.0025**	17.91**	391.3**	8.30**	0.0032**
ژنوتیپ*خشکی D*G	21	0.0091**	0.000003**	5.7**	0.000018 ^{ns}	19.07**	3.17**	6.42**	0.000027*
خطا Error	86	0.0014	0.0000005	2.22	0.000011	3.95	1.03	0.36	0.000013
ضریب تغییرات (درصد) C.V.(%)		8.94	27.02	27.90	26.04	21.78	23.60	17.29	23.17
تجزیه واریانس صفات موردبررسی در شرایط شاهد									
بلوک Block	2	0.012**	0.000009 ^{ns}	3.50 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	35.65*	8.39*	0	0.0000057 ^{ns}
ژنوتیپ Genotype (G)	21	0.03**	0.000004**	21.48**	0.00004*	45.30**	5.59**	0	0.0000058**
خشکی Drought (D)	42	0.0019	0.0000009	3.40	0.00002	7.17	1.63	0	0.00002
ضریب تغییرات (درصد) C.V.(%)		8.04	30.19	27.57	25.77	20.90	21.21	0	23.60
تجزیه واریانس صفات موردبررسی در شرایط تنش خشکی									
بلوک Block	2	0.0005 ^{ns}	0.0000004*	6.62**	0.000006 ^{ns}	2.19*	0.008 ^{ns}	1.69 ^{ns}	0.000003 ^{ns}
ژنوتیپ Genotype (G)	21	0.0074**	0.0000014**	3.44**	0.0000061 ^{ns}	6.66**	2.19**	12.84**	0.000006*
خشکی Drought (D)	42	0.0007	0.00000008	1.13	0.0000036	0.44	0.29	0.71	0.000003
ضریب تغییرات (درصد) C.V.(%)		9.52	14.21	26.66	21.70	12.20	20.82	14.03	17.14

ns,*,** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

ns,* and **: not-Significant, Significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

[§]RD, RW, RN, SW, SL, RL, GC and B: Root Diagonal, Root Weight, Root Number, Stem Weight, Stem Length, Root Length, Genotypic Code and Biomass, respectively.

جدول ۵. مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه ژنوتیپ‌ها به طور جداگانه در شرایط تیماری خشکی و شاهد

Table 5. Mean comparison for studied traits of genotypes under drought stress and control conditions, separately.

ژنوتیپ Genotype	زیست توده (B) §		کد ژنوتیپی (GC)		طول ریشه (RL)		طول ساقه (SL)	
	تنش	شاهد	تنش	شاهد	تنش	شاهد	تنش	شاهد
	Sterss	Control	Sterss	Control	Sterss	Control	Sterss	Control
Bala	0.0131 ^{ab}	0.029 ^{ab}	1.00 ^d	1.0 ^a	3.04 ^{cde}	9.12 ^a	6.62 ^{bcd}	18.96 ^{ab}
Azucena	0.0078 ^e	0.0108 ^f	8.33 ^a	1.0 ^a	1.25 ⁱ	4.69 ^{ghij}	2.61 ^j	6.36 ^h
IR30	0.0089 ^{de}	0.017 ^{def}	8.33 ^a	1.0 ^a	2.37 ^{defg}	4.8f ^{ghij}	4.33 ^{ghi}	90.3 ^{fgh}
IR82589-B-B-84-3	0.0101 ^{bcd}	0.018 ^{cdef}	7.66 ^{ab}	1.0 ^a	3.22 ^{bcd}	6.93 ^{bcd}	4.09 ^{hi}	9.33 ^{fgh}
IR55423-01	0.0107 ^{abcde}	0.016 ^{def}	7.33 ^{ab}	1.0 ^a	2.77 ^{def}	7.80 ^{bc}	4.89 ^{fgh}	11.5 ^{defg}
GharibSiahReihani	0.0121 ^{abc}	0.018 ^{cdef}	3.66 ^c	1.0 ^a	1.26 ^{hi}	4.2 ^{ij}	6.72 ^{bcd}	17.83 ^{ab}
IR344197	0.0113 ^{abcd}	0.023 ^{abcd}	8.00 ^{ab}	1.0 ^a	3.7 ^{abc}	6.1 ^{cdefghi}	5.19 ^g	10.33 ^{fgh}
Hashemi	0.0114 ^{abcd}	0.020 ^{cde}	7.33 ^{ab}	1.0 ^a	4.36 ^a	4.7 ^{ghij}	9.16 ^a	11.46 ^{defg}
IR81024-B-B-254-1	0.0098 ^{cde}	0.022 ^{bcd}	8.00 ^{ab}	1.0 ^a	2.29 ^{efg}	6.06 ^{cdefgh}	4.27 ^{ghi}	11.06 ^{efg}
IR83747-B-B-81-1	0.0105 ^{abcde}	0.022 ^{bcd}	7.33 ^{ab}	1.0 ^a	2.73 ^{deg}	6.66 ^{bcd}	4.35 ^{ghi}	10.56 ^{fgh}
CT6510-24-1-2	0.0115 ^{abcd}	0.022 ^{bcd}	4.33 ^c	1.0 ^a	2.47 ^{defg}	6.53 ^{bcd}	4.84 ^{fgh}	13.13 ^{cdef}
IR50	0.0079 ^e	0.025 ^{abc}	5.00 ^c	1.0 ^a	2.32 ^{efg}	7.26 ^{abcd}	5.77 ^{def}	15.43 ^{bcd}
Salari	0.0135 ^a	0.018 ^{cdef}	4.33 ^c	1.0 ^a	1.66 ^{ghi}	6.16 ^{cdefgh}	6.73 ^{bcd}	19.86 ^a
IR77298-14-1-2	0.0106 ^{abcde}	0.024 ^{abcd}	4.33 ^c	1.0 ^a	2.14 ^{fgh}	5.9 ^{cdefgh}	5.17 ^{fgh}	16.86 ^{abc}
IR60080-48A	0.0114 ^{abcd}	0.020 ^{cde}	3.66 ^c	1.0 ^a	1.23i	5.5 ^{defghij}	7.23 ^{bc}	7.26 ^{gh}
Usen	0.0119 ^{abcd}	0.015 ^{ef}	3.66 ^c	1.0 ^a	2.29 ^{efg}	4.43 ^{hij}	6.48 ^{cde}	11.9 ^{def}
Line229	0.0093 ^{cde}	0.018 ^{cdef}	7.00 ^{ab}	1.0 ^a	4.08 ^{ab}	6.13 ^{cdefgh}	4.75 ^{fgh}	8.93 ^{fgh}
IR825-B-B-114-3	0.0119 ^{abcd}	0.018 ^{cdef}	6.66 ^b	1.0 ^a	3.7 ^{abc}	5.03 ^{efghij}	4.89 ^{fgh}	11.8 ^{def}
Dom Zard	0.0108 ^{abcde}	0.020 ^{cde}	7.00 ^{ab}	1.0 ^a	2.44 ^{defg}	5.76 ^{cdefghij}	5.46 ^{ef}	11.1 ^{efg}
ChampaBudar	0.0106 ^{abcde}	0.021 ^{bcd}	4.00 ^c	1.0 ^a	2.37 ^{defg}	3.76 ^j	7.68 ^b	18.16 ^{ab}
CT6516-24-3-2	0.0118 ^{abcd}	0.020 ^{cde}	8.00 ^{ab}	1.0 ^a	2.65 ^{def}	8.33 ^{ab}	3.67 ^{ij}	15.2 ^{bcd}
B6144F-MR-6-0-0	0.0114 ^{abcd}	0.031 ^a	7.33 ^{ab}	1.0 ^a	2.61 ^{def}	6.86 ^{bcd}	4.81 ^{fgh}	15.83 ^{abcd}

Table 5. Continued

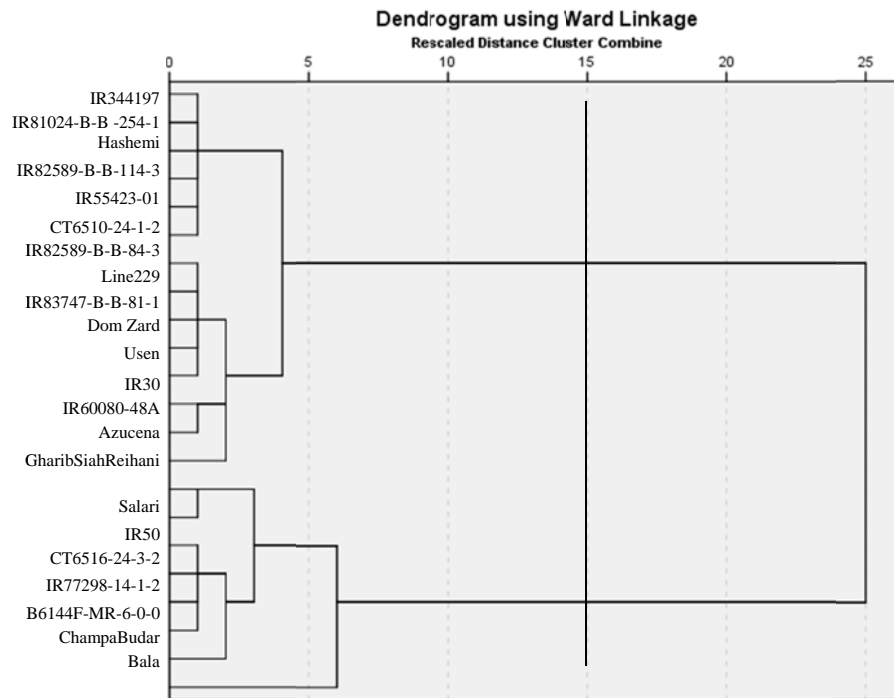
ادامه جدول ۵.

ژنوتیپ Genotype	وزن ساقه (SW) §		تعداد ریشه (RN)		وزن ریشه (RW)		قطر ریشه (RD)	
	تنش	شاهد	تنش	شاهد	تنش	شاهد	تنش	شاهد
	Sterss	Control	Sterss	Control	Sterss	Control	Sterss	Control
Bala	0.009 ^{abc}	0.024 ^{ab}	7.20 ^a	15.2 ^a	0.0032 ^b	0.0047 ^{ab}	0.36 ^a	0.85 ^a
Azucena	0.004 ^d	0.008 ^e	3.44 ^{bcd}	5.13 ^{degh}	0.0027 ^c	0.0029 ^{cdef}	0.27 ^f	0.22 ^g
IR30	0.007 ^{bcd}	0.015 ^{cde}	4.0 ^{bcd}	7.0 ^{cdef}	0.0012 ^{ij}	0.0015 ^f	0.30 ^{bcd}	0.53 ^{defgh}
IR82589-B-B-84-3	0.008 ^{bc}	0.015 ^{cde}	3.33 ^{bcd}	4.0 ^{fgh}	0.0020 ^{cde}	0.0029 ^{cdef}	0.28 ^{ef}	0.56 ^{cdefg}
IR55423-01	0.008 ^{bc}	0.013 ^{de}	4.66 ^{bc}	6.33 ^{cdefg}	0.0022 ^{cd}	0.0030 ^{cdef}	0.26 ^{ef}	0.54 ^{defg}
GharibSiahReihani	0.010 ^{ab}	0.016 ^{cd}	4.66 ^{bc}	4.66 ^{efgh}	0.0013 ^{hij}	0.0021 ^{def}	0.29 ^{cdef}	0.51 ^{fgh}
IR344197	0.009 ^{abc}	0.019 ^{abcd}	4.66 ^{bc}	7.33 ^{bcd}	0.0020 ^{cde}	0.0040 ^{bc}	0.28 ^{def}	0.57 ^{cdef}
Hashemi	0.009 ^{abc}	0.018 ^{abcd}	5.0 ^b	7.66 ^{bcd}	0.0020 ^{cde}	0.0025 ^{cdef}	0.32 ^{abcd}	0.54 ^{defg}
IR81024-B-B-254-1	0.008 ^{bc}	0.018 ^{abcd}	3.66 ^{bcd}	7.66 ^{bcd}	0.0018 ^{defg}	0.0036 ^{bcd}	0.28 ^{def}	0.51 ^{fgh}
IR83747-B-B-81-1	0.008 ^{bc}	0.018 ^{abcd}	4.0 ^{bcd}	4.0 ^{fgh}	0.0019 ^{cdef}	0.0039 ^{bc}	0.33 ^{abc}	0.51 ^{fgh}
CT6510-24-1-2	0.009 ^{abc}	0.019 ^{abcd}	4.66 ^{bc}	7.0 ^{cdef}	0.0023 ^c	0.0025 ^{cdef}	0.35 ^{ab}	0.56 ^{cdefg}
IR50	0.007 ^{cd}	0.022 ^{abc}	3.33 ^{bcd}	6.33 ^{cdefg}	0.0008 ^j	0.0036 ^{bcd}	0.31 ^{bcd}	0.62 ^{bc}
Salari	0.012 ^a	0.015 ^{cde}	4.0 ^{bcd}	5.33 ^{defgh}	0.0015 ^{fghi}	0.0028 ^{cdef}	0.26 ^f	0.46 ^h
IR77298-14-1-2	0.008 ^{bc}	0.021 ^{abc}	4.0 ^{bcd}	8.0 ^{bcd}	0.0023 ^c	0.0022 ^{def}	0.32 ^{abcd}	0.50 ^{gh}
IR60080-48A	0.009 ^{abc}	0.013 ^{de}	4.0 ^{bcd}	7.33 ^{bcd}	0.0016 ^{efgh}	0.0062 ^a	0.30 ^{cdef}	0.57 ^{cdef}
Usen	0.008 ^{bc}	0.013 ^{de}	3.33 ^{bcd}	3.33 ^{gh}	0.0037 ^a	0.0018 ^{ef}	0.32 ^{abcd}	0.66 ^b
Line229	0.007 ^{bcd}	0.015 ^{cde}	2.33 ^{de}	4.66 ^{efgh}	0.0016 ^{efgh}	0.0029 ^{cdef}	0.30 ^{bcd}	0.58 ^{cde}
IR825-B-B-114-3	0.009 ^{abc}	0.015 ^{cde}	4.0 ^{bcd}	6.66 ^{cdef}	0.0019 ^{cdef}	0.0026 ^{cdef}	0.28 ^{def}	0.57 ^{cdef}
Dom Zard	0.009 ^{abc}	0.018 ^{abcd}	3.0 ^{cde}	5.0 ^{efgh}	0.0014 ^{ghij}	0.0025 ^{cdef}	0.29 ^{cdef}	0.52 ^{efgh}
ChampaBudar	0.008 ^{bc}	0.017 ^{bcd}	4.33 ^{bc}	10.33 ^b	0.0021 ^{cde}	0.0039 ^{bc}	0.31 ^{bcd}	0.60 ^{bcd}
CT6516-24-3-2	0.008 ^{bc}	0.017 ^{bcd}	3.33 ^{bcd}	7.0 ^{cdef}	0.0029 ^b	0.0033 ^{bcd}	0.31 ^{bcd}	0.53 ^{defg}
B6144F-MR-6-0-0	0.010 ^{abc}	0.025 ^a	4.66 ^{bc}	9.33 ^{bc}	0.0014 ^{ghij}	0.0058 ^a	0.31 ^{bcd}	0.51 ^{fgh}

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

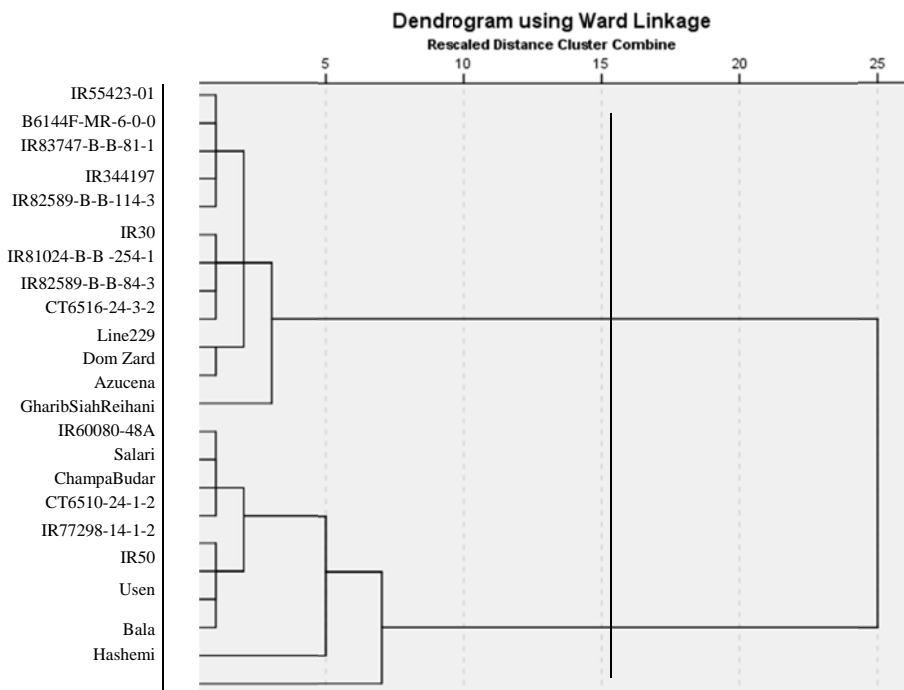
Means with the same letter are not significantly different.

§RD, RW, RN, SW, SL, RL, GC and B are Root Diagonal, Root Weight, Root Number, Stem Weight, Stem Length, Root Length, Genotypic Code and Biomass, respectively. (LSD_{0.05}).



شکل ۲. دندروگرام تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های برنج به روش Ward در شرایط تیمار شاهد

Fig. 2. Cluster analysis using Ward method under control conditions



شکل ۳. دندروگرام تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های برنج به روش Ward در شرایط تنش خشکی

Fig. 3. Cluster analysis using Ward method under drought stress conditions

همبستگی

نتایج حاصل از محاسبه میزان همبستگی بین صفات مختلف مورد مطالعه در شرایط تیماری شاهد و تنش خشکی در ذیل ارائه گردیده است. در تیمار شاهد، طول ریشه با صفات قطر ریشه، وزن ریشه و تعداد ریشه، همبستگی معنی‌داری نداشت. زیست‌توده با وزن ساقه، تعداد ریشه و وزن ریشه در سطح احتمال یک درصد و با قطر ریشه، طول ساقه و طول ریشه نیز در سطح احتمال پنج درصد همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. بیشترین همبستگی متعلق به زیست‌توده با وزن ساقه ($r=0.96^{**}$) و پس‌از آن متعلق به زیست‌توده با تعداد ریشه ($r=0.70^{**}$) بود (جدول ۷). همبستگی بین صفات می‌تواند ناشی از اثر پلیوتروپی ژن، پیوستگی بین ژن‌ها و یا اثر اپیستازی باشد. در شرایط تیمار تنش خشکی، صفات طول ریشه و وزن ریشه با هیچ‌یک از صفات دیگر همبستگی معنی‌داری نداشت (جدول ۸). در مطالعه لوم و همکاران (Lum et al., 2014) در شرایط تنش خشکی، همبستگی میان صفت طول ریشه با طول ساقه در برنج به میزان (0.75^*) گزارش شد. در مطالعه سریویدیا و همکاران (Srividhya et al., 2011) بر روی برنج در شرایط تنش خشکی، بیشترین

ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار بین صفات طول ریشه با طول ساقه (0.67^*) گزارش شد. همچنین آن‌ها همبستگی میان صفت وزن ریشه با صفات طول ساقه، طول ریشه و وزن ساقه را منفی و معنی‌دار اعلام کردند. در این بررسی صفت زیست‌توده با وزن ساقه، بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار (0.63^*) را داشت ولی با قطر ریشه و تعداد ریشه در سطح احتمال پنج درصد همبستگی معنی‌دار نشان داد. همبستگی بین کد ژنوتیپی با صفت طول ساقه منفی و بسیار معنی‌دار (-0.58^{**}) بود. کد ژنوتیپی با صفات تعداد و قطر ریشه نیز در سطح احتمال پنج درصد همبستگی منفی و معنی‌دار نشان داد. از آنجاکه اغلب ژنوتیپ‌های متحمل و نسبتاً متحمل در مرحله گیاهچه‌ای دارای ساقه طویل‌تری بودند، چنین به نظر می‌رسد که می‌توان از آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی تولید ژنوتیپ‌های پاکوتاه و پر محصول و درعین حال متحمل به خشکی استفاده کرد. این نتیجه در مطالعه صبوری و همکاران (Sabouri et al., 2008) در شرایط تنش شوری نیز گزارش شده است.

جدول ۷. همبستگی صفات مورد مطالعه در شرایط تیماری شاهد

Table 7. Correlation coefficients between studied traits under control conditions

	قطر ریشه RD [§]	وزن ریشه RW	تعداد ریشه RN	وزن ساقه SW	طول ساقه SL	طول ریشه RL	زیست‌توده B
قطر ریشه RD	1						
وزن ریشه RW	0.32 ^{ns}	1					
تعداد ریشه RN	0.60 ^{**}	0.51 [*]	1				
وزن ساقه SW	0.53 [*]	0.43 [*]	0.65 ^{**}	1			
طول ساقه SL	0.36 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.50 [*]	0.56 ^{**}	1		
طول ریشه RL	0.37 ^{ns}	0.39 ^{ns}	0.36 ^{ns}	0.46 [*]	0.20 ^{ns}	1	
زیست‌توده B	0.53 [*]	0.64 ^{**}	0.70 ^{**}	0.96 ^{**}	0.51 [*]	0.50 [*]	1

ns,*,** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

ns, * and **: not-Significant, Significant at 5% and 1% levels of probability, respectively

§RD, RW, RN, SW, SL, RL and B: Root Diagonal, Root Weight, Root Number, Stem Weight, Stem Length, Root Length and Biomass, respectively

جدول ۸. همبستگی صفات ارزیابی‌شده در شرایط تنش خشکی

Table 8. Correlation coefficients between studied traits under drought stress conditions

	قطر ریشه RD [§]	وزن ریشه RW	تعداد ریشه RN	وزن ساقه SW	طول ساقه SL	طول ریشه RL	کد ژنوتیپی GC	زیست‌توده B
قطر ریشه RD	1							
وزن ریشه RW	-0.01 ^{ns}	1						
تعداد ریشه RN	0.58 ^{**}	0.12 ^{ns}	1					
وزن ساقه SW	0.48 [*]	-0.23 ^{ns}	0.54 ^{**}	1				
طول ساقه SL	0.44 [*]	-0.07 ^{ns}	0.49 [*]	0.52 [*]	1			
طول ریشه RL	0.33 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.08 ^{ns}	1		
کد ژنوتیپی GC	-0.44 [*]	-0.23 ^{ns}	-0.50 [*]	-0.37 ^{ns}	-0.58 ^{**}	0.32 ^{ns}	1	
زیست‌توده B	0.42 [*]	0.29 ^{ns}	0.49 [*]	0.63 ^{**}	0.35 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	-0.51 [*]	1

ns, **, * به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

ns, * and **: not-Significant, Significant at 5% and 1% levels of probability, respectively

§RD, RW, RN, SW, SL, RL, GC and B: Root Diagonal, Root Weight, Root Number, Stem Weight, Stem Length, Root Length, Genotypic Code and Biomass, respectively.

ژنوتیپ‌های با زیست‌توده بیشتر می‌توان انتخاب را بر اساس صفات وزن ساقه و وزن ریشه انجام داد. سایر صفات مورد مطالعه اثر معنی‌داری بر مدل نداشتند و به نظر می‌رسد دو صفت تأثیرگذار بر مدل می‌تواند به‌عنوان معیار گزینش مناسب برای افزایش زیست‌توده و در نتیجه اصلاح و بهبود تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های برنج مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج رگرسیون پیش‌رونده در شرایط تنش خشکی (جدول ۱۰) جهت گزینش صفاتی که نقش بیشتری بر روی صفت کد ژنوتیپی داشتند، نشان داد زمانی که کد ژنوتیپی به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند، به ترتیب صفات طول ساقه، طول ریشه، قطر ریشه و وزن ریشه بیشترین مقدار (۶۹ درصد) تغییرات کد ژنوتیپی را توجیه کردند. منفی بودن ضرایب رگرسیون طول ساقه، قطر ریشه و وزن ریشه می‌تواند بیانگر این مطلب باشد که ژنوتیپ‌های متحمل (دارای کد ژنوتیپی

تجزیه رگرسیون

جهت گزینش صفاتی که نقش مهم‌تری در توجیه تغییرات در شرایط تنش خشکی داشتند، از رگرسیون مرحله‌ای^۱ به روش پیش‌رونده^۲ استفاده شد. نتایج رگرسیون پیش‌رونده در شرایط تنش خشکی نشان داد زمانی که زیست‌توده به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند به ترتیب صفات وزن ساقه و وزن ریشه وارد مدل شدند و بیشترین مقدار (۶۱ درصد) تغییرات زیست‌توده را توجیه نمودند (جدول ۹). در غلات، واریته‌هایی که قبل از گلدهی بتوانند زیست‌توده بالایی تولید کنند و ذخیره مواد پرورده را در ساقه افزایش دهند جزء واریته‌های متحمل به خشکی محسوب می‌شوند (Winkel, 1989). تولید زیست‌توده کل بیشتر که در نتیجه زیست‌توده بیشتر ریشه حاصل شود، احتمالاً یک صفت مطلوب برای محیط‌های خشک می‌باشد (Boogard et al., 1996). با توجه به نتایج تجزیه رگرسیون، برای دستیابی به

پایین‌تر) دارای وزن ریشه، قطر ریشه و طول ساقه بیشتری بودند. در نهایت چنین به نظر می‌رسد که می‌توان با در نظر گرفتن کلیه صفات مورد بررسی در این مطالعه، ژنوتیپ Usen را به‌عنوان محتمل‌ترین ژنوتیپ به تنش خشکی معرفی کرد.

سپاسگزاری
بدین‌وسیله از حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و مسئولان محترم آزمایشگاه‌های دانشکده کشاورزی دانشگاه گنبدکاووس تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

جدول ۹. رگرسیون پیش‌رونده برای زیست‌توده (متغیر وابسته) و سایر صفات (متغیر مستقل) در شرایط تیمار تنش خشکی
Table 9. Stepwise regression analysis for biomass (dependent variable) and other traits (independent variables) under drought stress conditions

Variables entered	متغیر وارد شده	ضریب رگرسیون Regression coefficient	خطای استاندارد Standard Error	F
Stem weight	وزن ساقه	0.90	0.18	13.62**
Root weight	وزن ریشه	1.23	0.39	14.85**

a = 0.001 R² = 0.61

جدول ۱۰. رگرسیون پیش‌رونده برای کد ژنوتیپی (متغیر وابسته) و سایر صفات (متغیر مستقل) در شرایط تیمار تنش خشکی
Table 10. Stepwise regression analysis for genotypic code (dependent variable) and other traits (independent variables) under drought stress conditions

Variables entered	متغیر وارد شده	ضریب رگرسیون Regression coefficient	خطای استاندارد Standard Error	F
Stem weight	وزن ساقه	-0.65	0.20	10.43**
Root weight	وزن ریشه	1.26	0.34	8.9**
Root diameter	قطر ریشه	-17.11	6.52	9.19**
Root weight	وزن ریشه	-910.46	404.44	9.72**

a = 13.14 R² = 0.69

منابع

- Bernier, J., Kumar, A., Serraj, R., Spaner, D., Atlin, G., 2008. Review: breeding upland rice for drought resistance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 88, 927-939.
- Blum, A., Sinmena, B., Ziv, O., 1980. An evaluation of seed and seedling drought tolerancescreening tests in wheat. *Euphytica*. 29, 727-736.
- Boogard, R., Veneklaas, E., Lambers, H., 1996. The association of biomass allocation with growth and water use efficiency of two *T.aestivum* cultivars. *Australian Journal of Plant Physiology*. 23, 751-761.

- Cebuslay, G.V., Ito, O., Alejar, A., 2002. Physiological evaluation of responses of rice to water deficit. *Plant Science*. 263, 815-827.
- Copland, L.D., McDonald, M.B., 1995. *Seed Science and Technology*. Chapman and Hall. New York.
- Farahmandfar, A., Poustini, K., Fallah, A., TavakolAfshari, 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. [In Persian with English Summary].
- Fukai, S., Cooper, M., 1995. Development of drought-resistant cultivars using physiological traits in rice. *Field Crops Research*. 40(2), 67-87.
- Iftekharruddaula, K.M., Khaleda, A. Hassan, M.S. Fatema, K., Badshad. A., 2002. Genetic divergence, character association and selection criteria in irrigated rice. *Journal of Biological Science*. 2, 243-246.
- Lanng, N.T., Buu, B.C., 2008. Fine mapping for drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). *Omonrice*. 16, 9-15.
- Lum, M.S., Hanafi, M.M., Rafii, Y.M., Akmar, A.S.N., 2014. Effect of drought stress on growth proline and antioxidant enzyme activities of upland rice. *The Journal of Animal and Plant Sciences*. 24(5), 1487-1493.
- Magsudi, Mud, A.A., 2008. *Physiological, Morphological and Anatomical Bases of Resistance to Drought Tolerance in Wheat*. Kerman University Publication. 220p. [In Persian].
- MirdarMansuri, SH., BabaeenJelodar, N., Bagheri, N., 2012. Evaluation of Iranian rice genotypes to salinity stress in hydroponic culture using stress tolerance and susceptibility indices. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 9(4), 694-703. [In Persian with English Summary].
- Palta, J.A., Kobata, T., Turner, N.C., Fillery, I.R., 1994. Remobilization of carbon and nitrogen with as influenced by post-anthesis water deficits. *Crop Science*. 34, 118-124.
- Sabouri, H., Rezai, A.M., Moumeni, A., 2008. Evaluation of salt tolerance in Iranian landrace and improved rice cultivars. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 45: 47-63. [In Persian with English Summary].
- SAS Institute Inc. 2008. *SAS/STAT 9.2 User's Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Sharma, P.K., Dedatta, S.K., Redulla, C.N., 1987. Root growth and yield response of rainfed lowland rice to planting method. *Experimental Agricultura*. 23, 305-313.
- SPSS 20.0 Brief guide. 2007. 233 south Wacker Drive, 11th Floor, Chicago, IL60606-6412 Patent No. 7, 023-453.
- Srividhya, A., Vemireddy, L.R., Ramanarao, P.V., Sridhar, S., Jayaprada, M., Anuradha, G., Srilakshmi, B., Reddy, H.K., Hariprasad, A.S., Siddiq, E.A., 2011. Molecular mapping of QTLs for drought related traits at seedling stage under PEG induced stress conditions in rice. *American Journal of Plant Sciences*. 2, 190-201.
- Standard Evaluation System for rice. 1996. 4th ed., INGER Genetics Resource Center, IRRI. Manila, Philippines.
- Winkel, A., 1989. Breeding for drought tolerance in cereals. *Vertage for pflanzenzuchtung*. 16, 357- 368.
- Yoshida, S., Forno, D.A., Cock, J.H., Gomez, K.A., 1976. *Laboratory manual for physiological studies of rice*. International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Phillipines.
- Yue, B., Xiong, L., Xue, W., Xing, Y., Kuo, L., Xu, C., 2005. Genetic analysis for drought resistance of rice at reproductive stage in field with different types of soil. *Theoretical and Applied Genetics*. 111, 1127-1136.
- Zhang, D., 1998. An improved water use efficiency for winter wheat growth under reduced irrigation. *Field Crops Research*. 59, 91-98.