پژوهش‌های بذر ایران/ سال هفتم/ شماره دوم/ ۱۳۹۹/ صفحات: ۱۷۰-۱۵۱

مقاله پژوهشی

اثر تنش آبی بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای تعدادی از ارقام گندم نان (*Triticum aestivum*)

پیمان علیقلی‌زاده مقدم [۱]، غلامعلی رنجبر [۲،*]، حمید نجفی [۲]، حسین شهبازی [۳]

چکیده مبسوط

مقدمه: جوانه‌زنی از مهم‌ترین مراحل رشد گیاه است که دوام، استقرار و عملکرد نهایی گیاهان زراعی را تعیین می‌کند و در مناطقی که استقرار موفق گیاه در اثر وجود شرایط خشکی با مشکل مواجه می‌شود، اصلاح صفات جوانه‌زنی یکی از اهداف اصلاحی مهم بشمار می‌آید. مطالعه حاضر بمنظور تعیین تأثیر سطوح مختلف تنش اسمزی بر خصوصیات جوانه‌زنی و ارتباط این صفات با عملکرد تعدادی از ارقام گندم نان مورد کاشت در مناطق سردسیری طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: آزمایش جوانه‌زنی به روش کاغذ صافی مرطوب و ظروف پتری به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد که در آن فاکتور اول شامل ۲۰ رقم گندم نان (ارقام دیم و ارقام آبی متحمل به تنش خشکی پایان فصل) و فاکتور دوم شامل ۳ سطح تنش اسمزی (بدون تنش و تنش اسمزی ۳- و ۶- بار) بود. در این آزمایش، صفات طول غلاف ساقه‌چه (کولئوپتیل)، طول ساقه‌چه، وزن ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، وزن ریشه‌چه، نسبت طول و وزن ریشه‌چه به ساقه‌چه، زاویه رشد ریشه‌های بذری و سرعت جوانه‌زنی و شاخص تنش جوانه‌زنی مورد ارزیابی قرار گرفتند. در آزمایش مقایسه عملکرد ۲۰ رقم فوق در شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهایی مورد مقایسه قرار گرفتند.

یافته‌ها: نسبت طول و وزن ریشه‌چه به ساقه‌چه و وزن ساقه‌چه بیشترین حساسیت و تعداد ریشه‌چه کمترین حساسیت را به تنش اسمزی داشت. افزیش طول ریشه‌چه همزمان با کاهش وزن ریشه‌چه تحت تنش، نشان داد که در اثر تنش، ریشه‌ها طویل‌تر و باریک‌تر شده‌اند. در شرایط بدون تنش ۱۱ ژنوتیپ شامل ژنوتیپ‌های هشترود، آذر ۲، صائین، CD62-6، CD91-12، میهن، باران، حیدری، هما، کراس آذر ۲ و زارع دارای طول غلاف ساقه‌چه بیشتری بودند. در تنش ۳- بار نیز ۱۱ ژنوتیپ دارای بیشترین طول غلاف ساقه‌چه بودند که بالاترین مقادیر به هشترود، حیدری و صائین اختصاص یافت. در تنش ۶ بار، لاین‌های CD91-12 و CD62-6، هشترود، هما، پیشگام و زارع دارای بیشترین طول غلاف ساقه‌چه بودند. از لحاظ سرعت جوانه‌زنی در تنش ۳- بار کراس آذر ۲ دارای بیشترین سرعت و صائین، CD62-6، گاسکوژن و HD2985 در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. در تنش ۶ بار کراس‌آذر ۲ و HD2985 دارای بیشترین سرعت و گاسگوژن، CD62-6 و صائین در مقام بعدی قرار گرفتند. از لحاظ شاخص تنش جوانه‌زنی (GSI) در هر دو شرایط ۳- و ۶- بار ارقام صائین، کراس‌آذر ۲، CD62-6 وHD2985 دارای برتری بودند. از لحاظ عملکرد دانه در شرایط بدون تنش ارقام آبی گاسگوژن، حیدری، پیشگام، اروم و زرینه دارای بیشترین عملکرد بوده و ارقام باران، HD2985، C-88-4، C-90-11 و کراس آذر ۲ در مقام بعدی قرار گرفتند. در شرایط تنش‌دار ارقام باران، گاسگوژن، HD2985، کراس آذر ۲، حیدری و زرینه دارای بهترین عمکرد بودند. بر اساس شاخص STI ارقام گاسکوژن، حیدری، لاین HD2985 و زرینه متحمل‌ترین ژنوتیپ ها به تنش خشکی بودند. تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ های مورد مطالعه را در ۳ خوشه گروه بندی کرد.

نتیجه گیری: اختلاف معنی دار در تمام صفات مورد بررسی در بین ژنوتیپ‌ها حاکی از وجود تنوع ژنتیکی کافی برای اعمال گزینش در صفات جوانه‌زنی است. ارقام صائین، زارع، پیشگام، صدرا، باران و میهن در مجموع دارای صفات جوانه‌زنی مطلوبی هستند. تحت تنش، از بین صفات گیاهچه ای زاویه ریشه و سرعت جوانه‌زنی قوی‌ترین روابط را با عملکرد دانه نشان داده و به عنوان معیار غیر مستقیم گزینش تحمل به خشکی در گندم پیشنهاد می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: تحمل به خشکی، جوانه‌زنی، گندم مناطق سردسیری

جنبه‌های نوآوری:

۱- ژنوتیپ‌های مورد آزمایش جدیداً نامگذاری شده و یا جزو لاین‌های پیشرفته بوده و از لحاظ صفات جوانه‌زنی برای اولین بار مطالعه می‌شوند.

۲- صفت زاویه رشد ریشه‌های بذری از طریق کاغذ صافی مربوط در مطالعات اندکی مورد توجه قرار گرفته است.

[۱] دانشجوی دکترای اصلاح نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

[۲] دانشیار اصلاح نباتات و ژنتیک مولکولی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

[۳] استادیار اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل

[*] رایانامه نویسنده مسئول: ali.ranjbar@gmail.com

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1399.7.2.6.5

DOI: 10.29252/yujs.7.2.151

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۲)

مقدمه

خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل تنش زای محیطی است که می‌تواند به طور مخرب و زیان باری، اکثر مراحل رشدی گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار داده و از تولید محصول اقتصادی جلوگیری نماید. در کشت دیم بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، کمبود رطوبت یکی از مهمترین عوامل محدود کننده رشد گیاهان بشمار می‌آید.

جوانه‌زنی از مهمترین مراحل رشد گیاه است که دوام، استقرار و عملکرد نهایی گیاهان زراعی را تعیین می‌کند و در مناطقی که استقرار موفق گیاه در اثر وجود شرایط خشکی با مشکل مواجه می‌شود، اصلاح صفات جوانه‌زنی یکی از اهداف اصلاحی مهم بشمار می‌آید (رئوف[1] و همکاران، ۲۰۰۷؛ بایومی[2] و همکاران، ۲۰۰۸). بذرهای با کیفیت و قدرت بالاتر می‌توانند بهتر سبز شده و در مواجهه با تنش‌های محیطی درصد سبز و سرعت جوانه‌زنی بالاتری داشته و در نهایت گیاهچه‌های نیرومندتری تولید کنند (فروزی[3] و همکاران، ۲۰۱۵).

گزینش مستقیم برای عملکرد در شرایط تنش خشکی با توجه به وراثت پذیری پائین، کنترل پلی ژنی، اپیستازی، اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و نیز پیچیده بودن سازوکارهای تحمل به خشکی کارآیی چندانی ندارد. بنابراین، برای بهبود تحمل به خشکی، شناسایی صفات مرتبط با تحمل (خصوصیات و شاخص‌های جوانه‌زنی) و استفاده از نشانگرهای پیوسته با این ژن‌ها می‌تواند علاوه بر تسریع برنامه‌های اصلاحی، کارآیی آن‌ها را نیز در جهت تولید ارقام متحمل پر محصول افزایش دهد (کاتی‌ولی[4]، ۲۰۰۸). روش‌های ارزیابی مقاومت به خشکی در جمعیت‌های بزرگ اصلاحی باید سریع، آسان، ارزان و وراثت پذیر بوده و همبستگی معنی داری با مقاومت به خشکی داشته باشند (روسیارا[5] و همکاران، ۲۰۰۸).

ایجاد تنش خشکی با استفاده از مواد اسمزی همچون پلی‌اتیلن گلیکول، یکی از مهمترین روش‌های مطالعه تنش خشکی تلقی می‌شود (رشیدپور[6] و همکاران، ۲۰۱۴). روابط معنی‌دار متعددی بین داده‌های آزمایشگاهی و مقاومت به خشکی مشاهده شده است. به عنوان مثال طول غلاف ساقه‌چه بخصوص در کشت عمیق (ربتزک[7] و همکاران، ۲۰۰۷)، رشد سریع گیاهچه ها (دهاندا[8] و همکاران، ۲۰۰۴؛ روسیارا و همکاران، ۲۰۰۸)، طول ریشه چه و نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه (دهاندا و همکاران، ۲۰۰۴) و سرعت جوانه‌زنی (محمدی[9] و همکاران، ۲۰۰۳)، به عنوان معیارهای غیر مستقیم گزینش مورد توجه قرار گرفته‌اند. مطالعه حاضر بمنظور تعیین تأثیر سطوح مختلف تنش اسمزی بر خصوصیات جوانه‌زنی و صفات گیاهچه‌ای تعدادی از ارقام گندم نان مورد کاشت در مناطق سردسیری طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق ۲۰ رقم گندم نان مورد کاشت در مناطق سردسیر (جدول ۱) در ۳ آزمایش مجزا در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در دانشگاه آزاد اسلامی اردبیل مورد مقایسه قرار گرفتند.

آزمایش جوانه‌زنی در کاغذ صافی مرطوب[10]:
آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد که در آن فاکتور اول رقم گندم و فاکتور دوم شامل ۳ سطح تنش اسمزی (بدون تنش و تنش اسمزی ۳- و ۶- بار) بود. در این آزمایش که به روش هاکیزیمانا[11] و همکاران (۲۰۰۰) انجام گردید، از هر ژنوتیپ ۵ بذر روی یک خط مستقیم روی کاغذ صافی گذاشته شده و کاغذ صافی دوم روی آنها قرار داده شد و سپس این مجموعه لوله شده و در طشت محلول مربوطه (بدون تنش، ۳- و ۶- بار) بشکل عمودی قرار گرفت. پس از ۱۰ روز، صفات تعداد ریشه‌چه، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، طول غلاف ساقه‌چه، نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه، وزن ریشه‌چه و

[1] Rauf
[2] Bayoumi
[3] Forouzi
[4] Cattivelli
[5] Rosyara
[6] Rashidpour
[7] Rebetzke
[8] Dhanda
[9] Mohammadi
[10] Germination Towel
[11] Hakizimana

ساقه‌چه، نسبت وزن ریشه‌چه به ساقه‌چه اندازه‌گیری شد. زاویه ریشه نسبت به افق به روش پرکونز[1] و همکاران همکاران (۲۰۱۴) اندازه گیری شد. از محلول پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ برای اعمال پتانسیل اسمزی به روش میشل و کافمن[2] (۱۹۷۳) استفاده گردید.

آزمایش سرعت جوانه‌زنی در ظروف پتری: ۲۰ رقم گندم نان مورد اشاره، در ۳ سطح تنش اسمزی مزبور در ظروف پتری بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۳ تکرار آزمایش گردیدند. برای اجرای آزمایش، ۲۵ بذر برای هر ظرف ضدعفونی گردید، سپس بذرها بین دو لایه کاغذ صافی پخش گردیدند و ۷ میلی لیتر محلول (آب مقطر یا PEG) برای هر ظرف پتری اضافه شد. جوانه‌زنی در انکوباتور در درجه حرارت ۲۵ °C انجام شد. سپس با شمارش بذرهای جوانه‌دار شده بطور روزانه و بمدت ۸ روز، ضریب سرعت جوانه‌زنی[3] (CVG) و شاخص تنش جوانه‌زنی[4] به روش روش المدرس[5] (۱۹۹۸) محاسبه شدند:

$$CVG = \frac{\sum N_i}{\sum N_i T_i} \times 100$$

$$GSI(\%) = \left[\frac{PI_s}{PI_n}\right] \times 100$$

Ni = تعداد بذور جوانه زده در هر روز

Ti = تعداد روز از شروع آزمایش

PI = nd2(1)+nd4(0.8)+nd6(o.6)+nd8(0.4)

ndi = درصد بذر جوانه زده در روز i ام

PIs و PIn عبارتند از PI درشرایط تنش و نرمال شدت تنش (SI)[6] با مقایسه میانگین صفات کلیه ارقام در شرایط تنش ($\bar{Y}_s$) و بدون تنش ($\bar{Y}_n$) به روش فیشر و مورر[7] (۱۹۷۸) محاسبه گردید: $SI = 1 - \frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_n}$

آزمایش مقایسه عملکرد ارقام: ارقام گندم فوق در یک طرح اسپلیت پلات (خشکی بعنوان فاکتور اصلی) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار کشت گردیدند. پس از عملیات آماده سازی زمین، هر رقم بر روی ۶ ردیف ۵ متری با تراکم کاشت ۴۰۰ بوته در متر مربع کشت شد. بذرکاری در ۱۹ مهر ۱۳۹۷ انجام شد. به منظور جلوگیری از خسارت پاتوژن‌های خاکزی، بذرها با قارچ‌کش سیدجیل (۱/۵ گرم به ازای هر کیلو بذر) ضدعفونی شدند. کوددهی بر مبنای آزمون خاک انجام گرفته و کود فسفاته به میزان ۵۰ کیلوگرم P_2O_5 از منبع سوپر فسفات تریپل قبل از کاشت و کود نیتروژنه به میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره در مرحله ساقه‌روی اعمال گردید. آبیاری محیط بدون تنش با استفاده از اندازه‌گیری پتانسیل آب خاک توسط تانسیومتر و رسیدن به نقطه ۶۰ درصد رطوبت قابل استفاده انجام گرفت که با توجه به بافت خاک لوم رس، پتانسیل ۱- اتمسفر بود (لی[8] و همکاران، ۱۹۹۴). آبیاری آبیاری در ۵ مرحله ساقه‌دهی، غلاف رفتن، گلدهی، شیری و خمیری شدن دانه صورت گرفت و در هر آبیاری ۸۰ میلی‌متر (معادل ۸۰ لیتر/ متر مربع) آب اعمال گردید. در شرایط تنش خشکی انتهایی، در بهار فقط یک مرحله آبیاری (شروع مرحله ساقه‌روی) انجام شد و به علت بارندگی‌های اول فصل تا مرحله گلدهی تنشی به ارقام وارد نشد. شاخص تحمل تنش خشکی به روش فرناندز[9] (۱۹۹۲) محاسبه گردید ($STI = \frac{(Y_p)(Y_s)}{(\bar{Y}_p)^2}$)، که در آن Yp و Ys بترتیب عبارتند از عملکرد دانه رقم در شرایط بدون تنش و تنش خشکی و $\bar{Y}_p$ عبارتست از میانگین عملکرد دانه کلیه ارقام در شرایط بدون تنش.

تجزیه‌های آماری: پس از آزمون نرمال بودن داده‌ها به روش کولموگروف و اسمیرینوف، تجزیه واریانس داده‌ها انجام گرفته و مقایسه میانگین‌ها به روش توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای بررسی روابط صفات، از ضرایب همبستگی ساده استفاده و تجزیه خوشه‌ای بر اساس فاصله‌های اقلیدسی و به روش وارد[10] (۱۹۶۳) انجام گردید. از نرم افزارهای SAS, SPSS و Excel برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها استفاده شد.

[1] Perkons
[2] Michel and Kauffman
[3] Coefficient of Velocity of Germination
[4] Germination stress Index
[5] Almudaris
[6] Stress Intensity (SI)
[7] Fischer and Maurer
[8] Ley
[9] Fernandez
[10] Ward

جدول ۱. مشخصات سازگاری و شجره ژنوتیپ‌های گندم نان مناطق سردسیر مورد مطالعه (قاسمی، ۲۰۱۴).

Table 1. Adaptability and pedigree of bread wheat genotypes of cold regions under study (Ghasemi, 2014)

ردیف Row	ژنوتیپ/رقم Genotype/Cultivar	سازگاری Adaptability	شجره Pedigree
۱	حیدری(C-85-3)	مناسب شرایط آبیاری با تنش خشکی انتهایی	Ghk"s"/Bow"s"//90Zhong87/3/Shiroodi
۲	باران	سازگار با مناطق سردسیر دیم	Ptzniska/Ut1556-170//Unknown TCI97AP
۳	زارع (C-83-8)	مناسب شرایط آبیاری با تنش خشکی انتهایی	130L1.11/F35.70/Mo73/4Ymh
۴	HD 2985	سازگار با مناطق سردسیر دیم	Pastor/PBW343
۵	صائین	سازگار با مناطق سردسیر دیم	Azar2 /Zhong85
۶	C-88-4	مناسب شرایط آبیاری با تنش خشکی انتهایی	---
۷	گاسگوژن (C-75-10)	مناسب شرایط آبیاری با تنش خشکی انتهایی	TJB-990-8/Marengo
۸	صدرا	سازگار با مناطق سردسیر دیم	Azadi / Azaar // Sardari
۹	کراس آذر ۲	سازگار با مناطق سردسیر دیم	---
۱۰	کراس ام وی ۱۷	سازگار با مناطق سردسیر دیم	MV17/Kauz
۱۱	اروم(C-83-7)	مناسب شرایط آبیاری با تنش خشکی انتهایی	Alvand //NS732/Her
۱۲	C-90-11	مناسب شرایط آبیاری با تنش خشکی انتهایی	Eudiele
۱۳	زرینه(C-91-4)	مناسب شرایط آبیاری با تنش خشکی انتهایی	Omid/4/Bb/Kal//Ald/3/Y50E/Kal*3//Emu"s"/5/Zrn/6/Zrn/Shiroodi
۱۴	آذر ۲	سازگار با مناطق سردسیر دیم	Kvz/ ym71//3/ Maya"S"//Bb/ Inia/4/ Sefid
۱۵	پیشگام	مناسب شرایط آبیاری با تنش خشکی انتهایی	90-zhong87/Barakat
۱۶	هما	سازگار با مناطق سردسیر دیم	Pure line selection from Sardari landrace
۱۷	CD91-12	--	---
۱۸	میهن(C-84-8)	مناسب شرایط آبیاری با تنش خشکی انتهایی	Bkt/90-Zhong87
۱۹	CD 62-6	--	---
۲۰	هشترود	سازگار با مناطق سردسیر دیم	Lov26//Lfn/Sdy(Es84-24)/3/Seri/4/Seri to M374/Sx//2897/Porsuk/3/....

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در تمام صفات در بین ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۲). در تعدادی از تحقیقات انجام شده در ایران تنوع قابل ملاحظه‌ای از لحاظ صفات جوانه‌زنی بین ارقام گندم گزارش شده است (فروزی و همکاران، ۲۰۱۵؛ جاجرمی[1]، ۲۰۱۲؛ عبدی[2] و همکاران، ۲۰۱۵؛ رشیدپور و و همکاران،۲۰۱۴). اثر تنش اسمزی بر روی تمام صفات به جز تعداد ریشه‌چه معنی‌دار بود به طوری که طول و وزن ساقه‌چه، طول غلاف ساقه‌چه و وزن ریشه‌چه را کاهش و طول ریشه‌چه و نسبت وزن و طول ریشه‌چه به ساقه‌چه را افزایش داده است. افزیش طول ریشه‌چه همزمان با کاهش وزن ریشه‌چه با افزایش تنش، حاکی از این واقعیت است که در اثر تنش ریشه‌ها طویل‌تر و باریک‌تر شده‌اند. به نظر می‌رسد که این یک عکس العمل فیزیولوژیکی طبیعی توسط گیاه در برابر تنش باشد که طی آن گیاه برای دستیابی به منابع آب نیاز به افزایش طول ریشه دارد و به دلیل فعالیت بیشتر در زمینه طویل شدن ریشه به ناچار از قطر ریشه کم می‌کند.

[1] Jajarmii
[2] Abdi

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات جوانه‌زنی و عملکرد دانه برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی در سطوح مختلف تنش

Tabl 2. Analysis of variance of germination traits and grain yield for genotypes under stress levels

منابع تغییر S.V.	درجه آزادی D.F.	طول ساقه‌چه Shoot Length	طول کولئوپتیل Coleoptile length	وزن ساقه‌چه Shoot weight	طول ریشه‌چه Root Length	وزن ریشه‌چه Root weight	تعداد ریشه‌چه Root number	زاویه رشد ریشه‌چه Root angle	ریشه‌چه\ ساقه‌چه (وزن) Root/Shoot (weight)	ریشه‌چه\ ساقه‌چه (طول) Root/Shoot (length)	ضریب سرعت جوانه‌زنی Velocity of germination	عملکرد دانه Grain Yield
تکرار (Rep)	2	4.27^{**}	3.69^{ns}	668.1^{*}	0.98^{ns}	895^{**}	1.93^{*}	320^{ns}	0.043^{ns}	0.947^{ns}	3.703^{ns}	3634^{**}
تنش (Stress)	2	485^{**}	615^{**}	56207^{**}	985^{**}	2649^{**}	1.43^{ns}	1644^{**}	10.3^{**}	584^{**}	43945^{**}	243809^{**}
ژنوتیپ (Genotype)	19	1.85^{**}	62.1^{**}	431^{**}	4.8^{**}	430^{**}	1.22^{*}	555^{**}	0.45^{**}	7.45^{**}	178.5^{**}	6890^{**}
ژنوتیپ×تنش (G×S)	38	1.31^{**}	24.5^{*}	1366^{**}	2.9^{**}	105.9^{*}	0.57^{ns}	191.3^{ns}	0.42^{**}	4.45^{**}	64^{**}	6637^{**}
اشتباه (Error)	118	0.679	15.7	202.9	1.34	62.4	0.619	179.8	0.052	3.15	7.314	504
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		22.6	19.2	27.7	16.1	28.5	19.8	25.3	29.6	46.8	4.2	4.7

^{ns}، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪ (در صفت عملکرد درجه آزادی تنش، ژنوتیپ×تنش و اشتباه به ترتیب عبارتند از: ۱، ۱۹ و ۷۸ می‌باشد)

^{ns}, *and ** and: non-significant significant and significant at 5% and 1% probability levels

جدول ۳. میانگین سطوح تنش اسمزی و شدت تنش در صفات جوانه‌زنی ارقام گندم مورد آزمایش

Table3. Mean of stress levels and stress intensity in germination traits of the studied genotypes

تیمار Treatment	طول‌ساقه‌چه Shoot Length (cm)	طول کولئوپتیل Coleoptile length (cm)	وزن‌ساقه‌چه Shoot weight (mg)	طول‌ریشه‌چه Root Length (cm)	وزن‌ریشه‌چه Root weight (mg)	تعداد ریشه‌چه Root number	زاویه ریشه Root angle (degree)	وزن ساقه‌چه/ریشه‌چه Root/Shoot (weight)	طول ساقه‌چه/ ریشه‌چه Root/Shoot (length)	سرعت جوانه‌زنی Velocity of germination
بدون تنش Non stress	6.92A	2.44A	83.2A	2.52C	32.8A	4.13A	51.2B	0.398C	0.37C	95.01
تنش ۳- بار -3bar stress	2.27B	1.89B	48.8B	9.09B	30.2A	3.82 B	49.0B	0.686B	4.52B	54.15
تنش ۶- بار -6bar stress	1.77C	1.87 B	22.1C	9.91A	20.2 B	3.96AB	59.0A	1.22A	6.48A	43.84
شدت تنش (۳- بار) stress intensity (-3bar)	0.67	0.22	0.41	0.73	0.08	0.075	0.043	-0.42	-0.92	0.43
شدت تنش (۶- بار) stress intensity (-6bar)	0.74	0.23	0.73	-0.75	0.38	0.041	-0.13	-0.67	-0.94	0.54

حروف مشترک در هر ستون نمایشگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

Similar letters in each column show non-significance differences.

جاجرمی (۲۰۱۲) بیان می‌کند در پتانسیل پایین‌تر، گیاهچه‌ها دارای ریشه‌چه نازک و طویل‌تر نسبت به شاهد هستند. به همین خاطر علیرغم افزایش طول ریشه‌چه، وزن آنها تحت تنش دچار کاهش شد. افزایش ABA در ریشه‌ها تحت تنش خشکی ملایم افزایش طول ریشه‌های اولیه را تحریک می‌نماید (ژو[1] و همکاران، ۲۰۱۳). یکی از دلایل کاهش طول ساقه‌چه در شرایط تنش، کاهش انتقال مواد غذایی از آندوسپرم به جنین است (تاکل[2]، ۲۰۰۰). در مطالعه عبدی و همکاران

[1] Xu
[2] Takel

(۲۰۱۵) اعمال تنش خشکی اثر معنی‌داری بر کلیه صفات داشت. افزایش نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه با افزایش شدت تنش، با یافته‌های دهاندا و همکاران (۲۰۰۴) همخوانی دارد. بر اساس مقادیر شدت تنش (SI) نتیجه‌گیری شد که طول و وزن ساقه‌چه حساسیت بالایی به تنش دارند، در مقابل طول و وزن ریشه‌چه حساسیت کمتری به تنش داشته و در نتیجه نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه و نسبت وزن ریشه‌چه به ساقه‌چه با حساسیت بالایی افزایش یافته‌اند. تعداد ریشه‌چه، زاویه ریشه‌چه و طول غلاف ساقه‌چه نیز حساسیت کمتری به تنش داشتند (جدول ۳). بدین معنی که عکس العمل ارقام در شرایط تنش بیشتر در جهت توسعه ریشه می‌باشد (ژو و همکاران، ۲۰۱۳). در مطالعه جاجرمی (۲۰۱۲) طول ساقه‌چه بیشترین حساسیت را به تنش اسمزی نشان داد. اثر متقابل ژنوتیپ× تنش در اکثر صفات معنی‌دار گردید بدین معنی که عکس العمل ژنوتیپ‌ها نسبت به تغییرات اسمزی یکسان نیست.

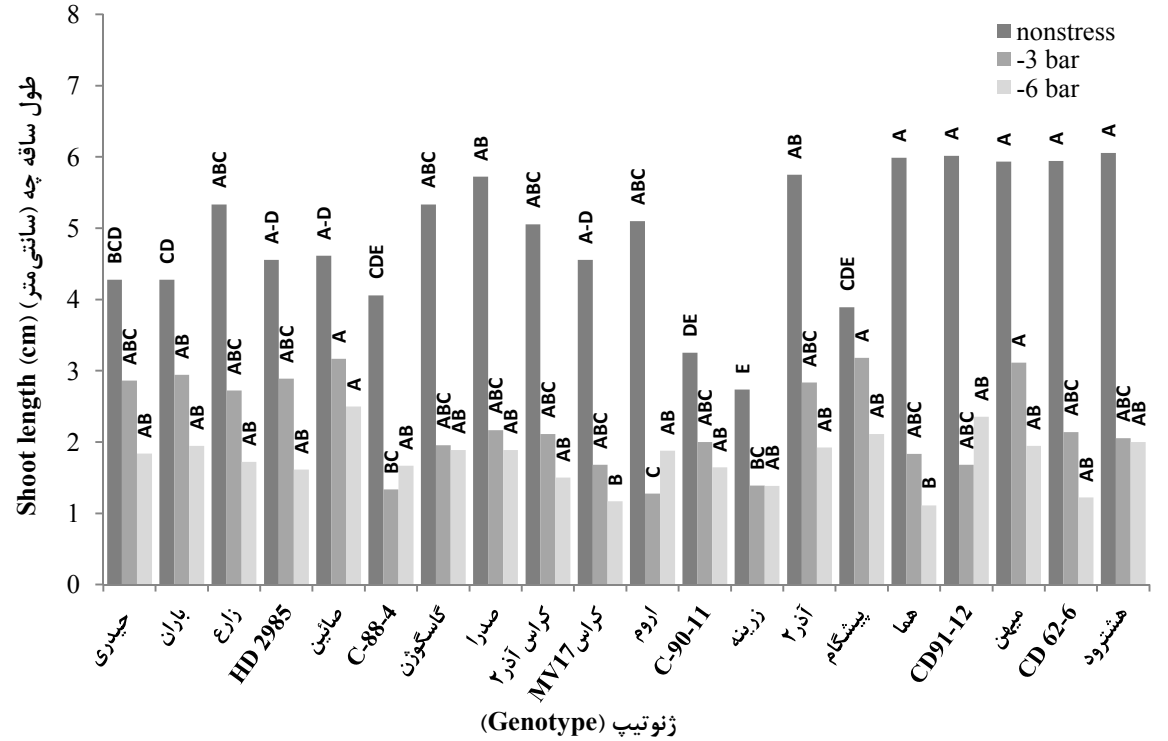
در شرایط بدون تنش، ۱۴ ژنوتیپ دارای طول ساقه‌چه بیشتری بودند که از آنجمله می‌توان به ارقام هشترود، CD91-12، هما، CD 62-6 و میهن اشاره کرد. در تنش ۳- بار، ۱۷ ژنوتیپ دارای طول ساقه‌چه بیشتری بودند که از جمله می‌توان ارقام پیشگام، صائین و میهن را نام برد. در تنش ۶- بار، به‌جز کراس اموی ۱۷ و هما بقیه ژنوتیپ‌ها در گروه اول قرار گرفتند (شکل ۱).

در شرایط بدون تنش ۱۱ ژنوتیپ دارای بیشترین وزن ساقه‌چه بودند که از بین آن‌ها می‌توان به ارقام آذر ۲، باران، هشترود اشاره کرد. در تنش ۳- بار ۱۱ ژنوتیپ دارای بیشترین وزن ساقه‌چه بودند که از جمله می‌توان به ارقام صائین، صدرا و هشترود اشاره کرد. بیشترین مقدار وزن ساقه‌چه در تنش ۶- بار، متعلق به ۱۶ ژنوتیپ بود که بیشترین مقادیر را لاین CD91-12، گاسکوژن و صائین به خود اختصاص دادند (شکل ۲).

در شرایط بدون تنش ۱۱ ژنوتیپ دارای بیشترین طول غلاف ساقه‌چه بودند شامل ژنوتیپ‌های هشترود، آذر ۲، صائین، لاین‌های CD 62-6، CD91-12، میهن، باران، حیدری، هما، کراس آذر ۲ و زارع. در تنش ۳- بار نیز ۱۱ ژنوتیپ دارای بیشترین طول غلاف ساقه‌چه بودند که بالاترین مقادیر به هشترود، حیدری و صائین اختصاص یافت. در تنش ۶- بار، لاین های CD91-12 و CD62-6، هشترود، هما، پیشگام و زارع دارای بیشترین طول غلاف ساقه‌چه بودند (شکل ۳). طول غلاف ساقه‌چه، بخصوص در کشت عمیق به سبز کردن کمک می‌کند (ربتزک و همکاران، ۲۰۰۷). ارقام با طول کلئوپتیل بالاتر می‌توانند با کاشت عمیق‌تر، امکان دسترسی به رطوبت عمق خاک را داشته و بذور آنها از حرارت بالا یا یخبندان سطح خاک در امان می‌مانند. در شرایط بدون تنش به‌جز رقم هشترود بقیه ژنوتیپ ها در گروه برتر قرار گرفتند. در تنش ۳- بار ۱۲ ژنوتیپ دارای بیشترین طول ریشه‌چه بودند که بالاترین مقادیر به کراس آذر ۲، لاین CD 62-6، زارع و صدرا اختصاص یافت. بیشترین طول ریشه‌چه در تنش ۶- بار، متعلق به ۹ ژنوتیپ آذر ۲، لاین CD 62-6، کراس آذر ۲، میهن، لاین CD91-12، گاسگوژن، لاین HD 2985، هما و لاین C-90-11 بود (شکل ۴). عبدی و همکاران (۲۰۱۵) اظهار نمودند که از خصوصیات مهم گیاهان زراعی قابلیت واکنش آنها به تغییرات رطوبتی، از طریق رشد سریع ریشه‌های آنان به طرف منبع رطوبت است. جاجرمی (۲۰۱۲) عقیده دارد که ارقام دارای طول ریشه‌چه بیشتر دارای درصد و سرعت جوانه‌زنی بیشتری هستند که بیانگر آن است که این صفت برای تعیین ارقام مقاوم به خشکی دارای اهمیت می‌باشد.

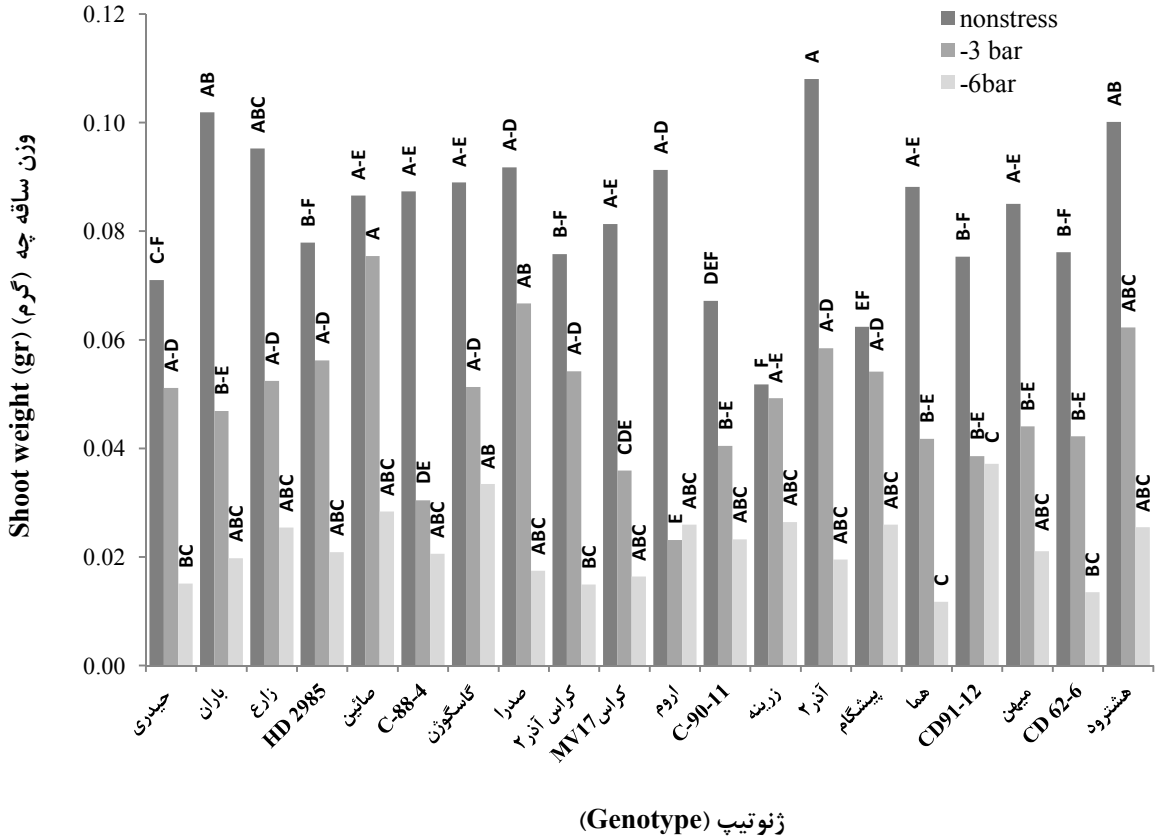
در شرایط بدون تنش ۴ ژنوتیپ باران، زارع، لاین C-88-4 و صائین دارای بیشترین وزن‌تر ریشه‌چه بودند. در تنش ۳- بار نیز ۴ ژنوتیپ زارع، صائین، باران و گاسگوژن در گروه برتر قرار گرفتند. بیشترین وزن ریشه‌چه در تنش ۶- بار، متعلق به ۱۲ ژنوتیپ بود که می‌توان به صائین، لاین C-88-4، صدرا، گاسکوژن و زارع اشاره نمود (شکل ۵). در مطالعه عاشوری[1] و همکاران (۲۰۱۰) لاین C-88-4 در مقایسه با ارقام زرین، اروم، زارع و میهن برتر بود، با توجه به نتایج بالا شاید بتوان دلیل برتری آن را به سیستم ریشه‌ای قوی این لاین نسبت داد. در شرایط بدون تنش ۱۱ ژنوتیپ از جمله پیشگام، لاین C-88-4 و زارع دارای بیشترین

[1] Ashouri



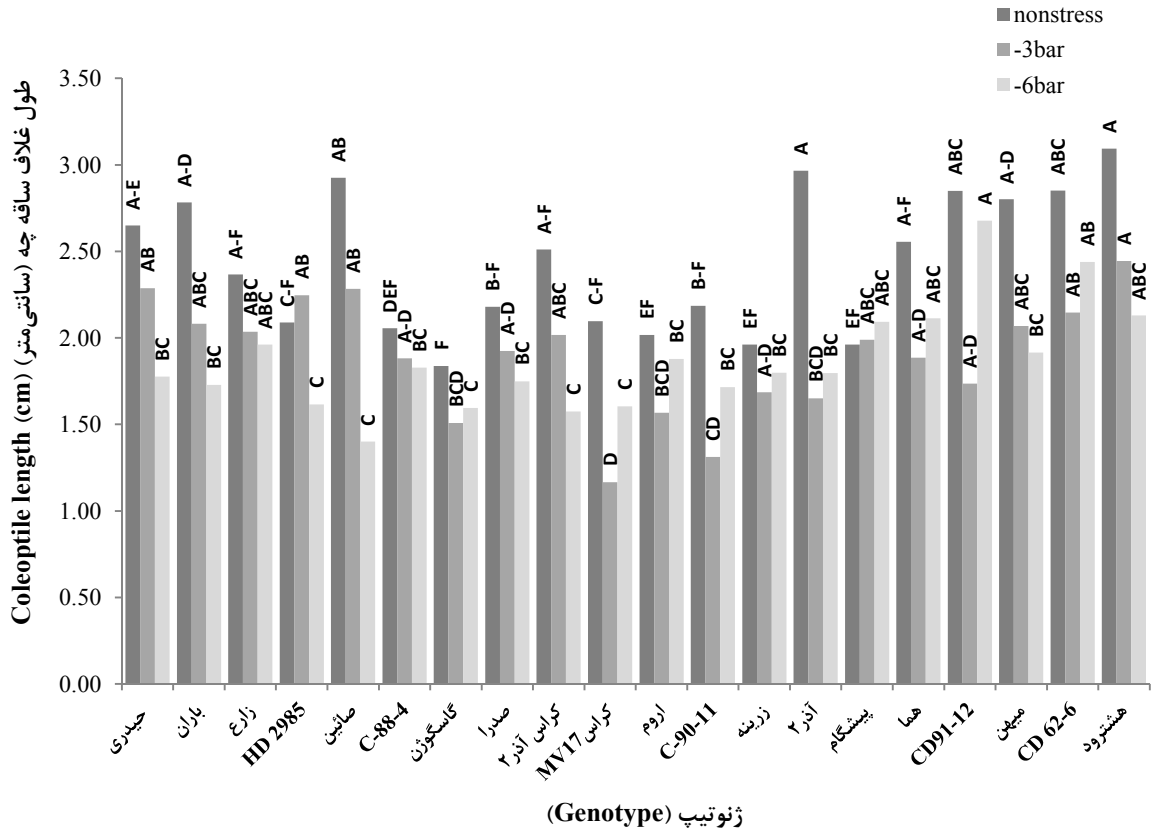
شکل ۱. میانگین طول ساقه‌چه در ژنوپیپ‌های گندم مورد آزمایش در شرایط بدون تنش و تنش اسمزی ۳- بار و ۶- بار

Fig. 1. Shoot length of wheat genotypes under non-stress, -3 bar and -6 bar osmotic stresses



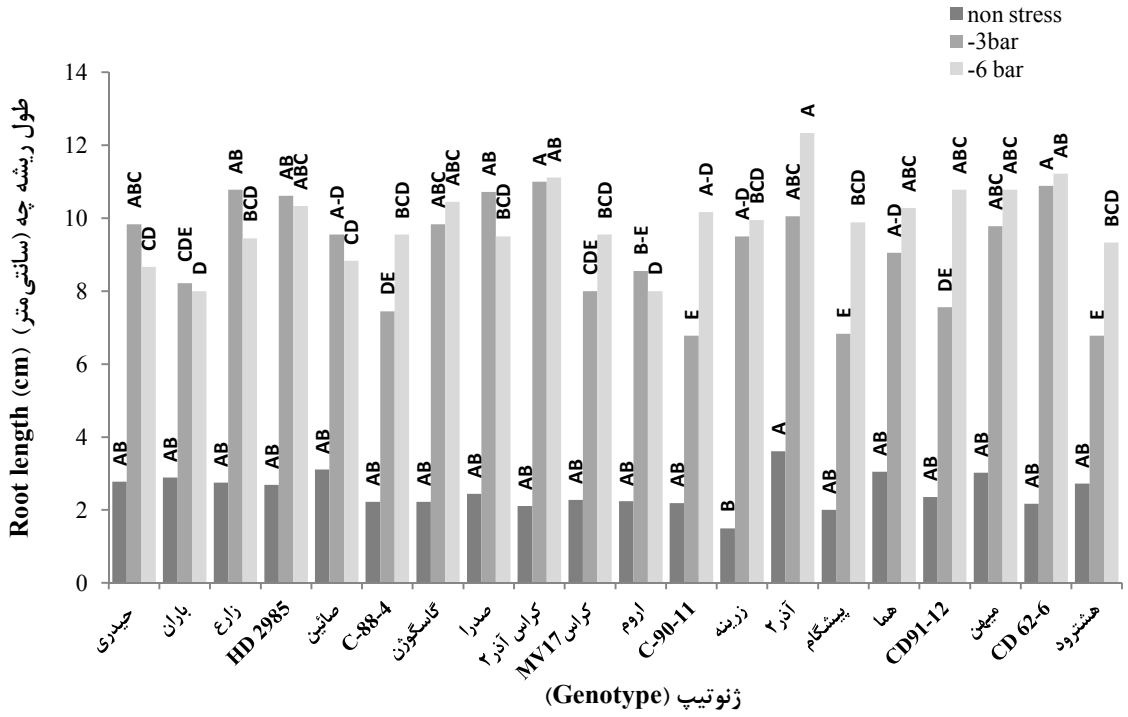
شکل ۲. میانگین وزن ساقه‌چه در ژنوپیپ‌های گندم مورد آزمایش در شرایط بدون تنش و تنش اسمزی ۳- بار و ۶- بار

Fig. 2. Shoot weight of wheat genotypes under non-stress, -3 and -6 bar osmotic stresses



شکل ۳. میانگین طول غلاف ساقه‌چه در ژنوتیپ‌های گندم مورد آزمایش در شرایط بدون تنش و تنش اسمزی ۳- بار و ۶- بار

Fig. 3. Coleoptile length of wheat genotypes under non-stress, -3 and -6 bar osmotic stresses



شکل ۴. میانگین طول ریشه چه در ژنویپ‌های گندم مورد آزمایش در شرایط بدون تنش و تنش اسمزی ۳- بار و ۶- بار

Fig. 4. Root length of wheat genotypes under non-stress, -3 and -6 bar osmotic stresses

نسبت وزن ریشه‌چه به ساقه‌چه بودند. در تنش ۳- بار لاین C-88-4، زارع و باران بیشترین نسبت فوق را دارا بودند. ارقام هما و سپس صائین نیز در تنش ۶- بار دارای بیشترین نسبت فوق بودند (شکل ۶). نسبت وزن ریشه‌چه به ساقه‌چه در مرحله جوانه‌زنی در ارقام متحمل کمتر از ارقام حساس می‌باشد (رئوف و همکاران، ۲۰۰۷).

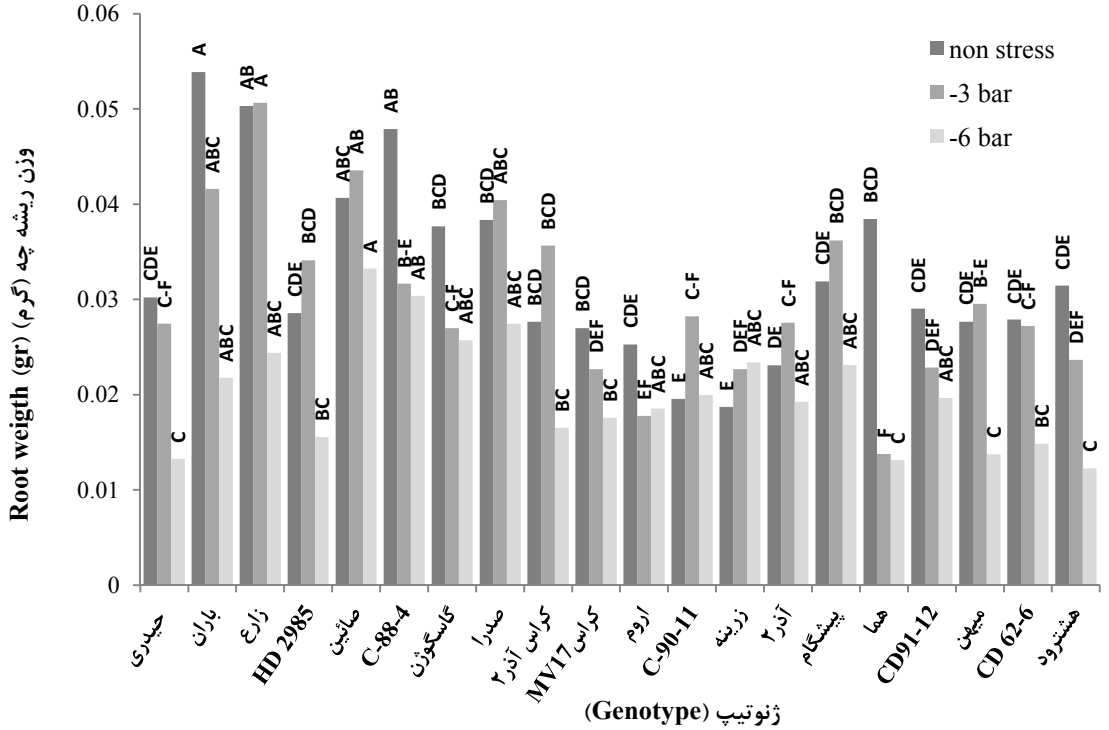
در شرایط بدون تنش ۱۱ ژنوتیپ دارای بیشترین نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه بودند که باران، صائین و آذر ۲ از آن جمله می‌باشند. ارقام اروم، زرینه و کراس ام وی ۱۷ در کنار ۹ ژنوتیپ دیگر در تنش ۳- بار بیشترین نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه را داشتند. بیشترین مقدار این نسبت در تنش ۶- بار متعلق به لاین CD 62-6، هما، کراس ام وی ۱۷، زرینه، کراس آذر ۲، آذر ۲ و لاین C-90-11 بود (شکل ۷).

رقم زارع، لاین‌های C-88-4 و C-90-11، صائین باران به همراه ۸ ژنوتیپ بعدی بیشترین تعداد ریشه‌چه را دارا بودند (شکل ۸). در تحقیق عبدی و همکاران (۲۰۱۵) ارقامی که دارای بیشترین تعداد ریشه‌های جنینی در زمان جوانه‌زنی بودند، بیشترین عملکرد دانه را داشتند و مشخص شد که سیستم ریشه گسترده در مرحله جوانه‌زنی با تحمل به خشکی در مرحله بلوغ ارتباط دارد.

رقم پیشگام، لاین‌های CD62-6 و کراس آذر ۲، رقم هشترود و کراس‌ام وی ۱۷ به همراه ۷ ژنوتیپ بعدی دارای بیشترین زاویه ریشه در مقابل ۸ ژنوتیپ دارای کمترین زاویه رشد ریشه بوده و ریشه‌های سطحی‌تر تولید خواهند کرد که از آن جمله می‌توان به ارقام باران، حیدری، لاین C-88-4 و گاسگوژن اشاره کرد (شکل ۹). در غلات ترکیب زاویه ریشه و طول ریشه منطقه‌ای از خاک را که توسط ریشه مورد استفاده قرار می‌گیرد، تعیین می‌کند. درک فرایندهای تنظیمی و اساس ژنتیکی تنظیم رشد ریشه و در نتیجه معماری ریشه، کلید اساسی برای اصلاح این صفات است. تحت تنش خشکی، گیاهان مقاوم به خشکی ریشه‌های عمیق‌تر تولید کرده و از این طریق به لایه‌های خاک عمیق‌تر که هنوز مرطوبند دست می‌یابند (ریچ و وات[۲۷]، ۲۰۱۳)، بنابراین ریشه دهی عمیق یکی از عوامل کلیدی در اجتناب از خشکی در گیاهان محسوب می‌شود. از لحاظ ضریب سرعت جوانه‌زنی در تنش ۳- بار کراس آذر ۲ دارای بیشترین سرعت و صائین، CD62-6، گاسکوژن و HD2985 در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. در تنش ۶- بار کراس آذر ۲ و HD2985 دارای بیشترین سرعت و گاسگوژن، CD62-6 و صائین در مقام بعدی قرار گرفتند. از لحاظ شاخص تنش جوانه‌زنی (GSI) در هر دو شرایط ۳- و ۶- بار ارقام صائین، کراس‌آذر ۲، CD62-6 و HD2985 دارای برتری بودند.

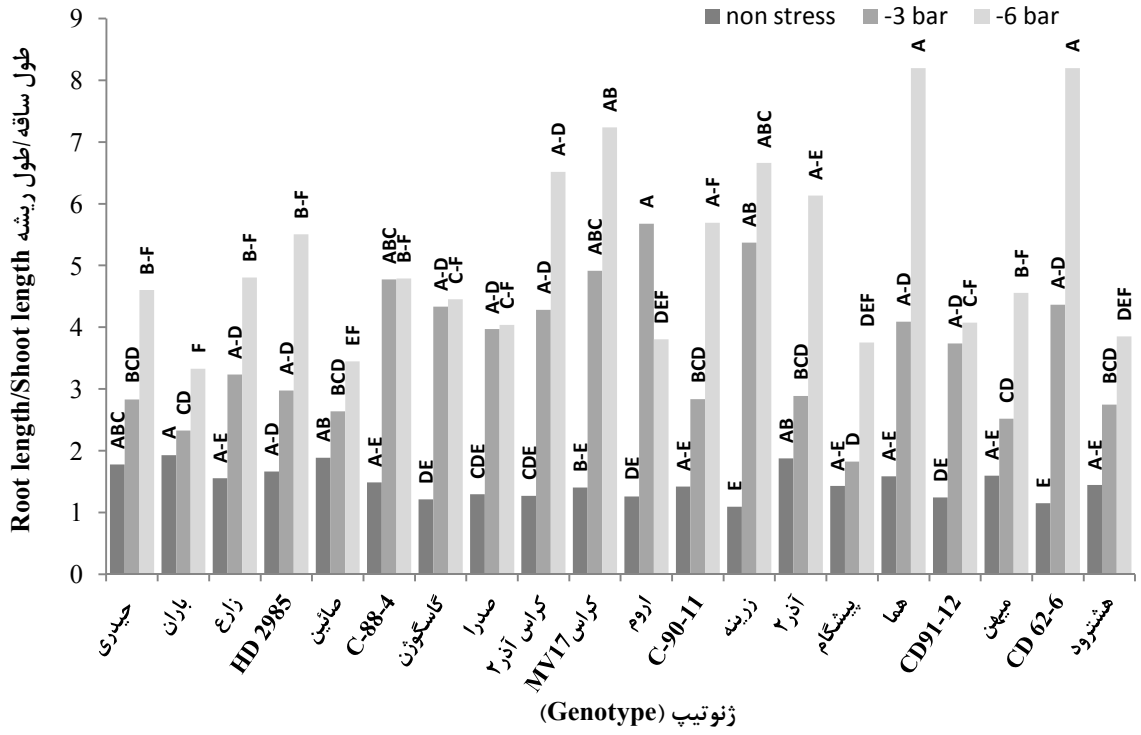
تجزیه واریانس عملکرد دانه در قالب طرح اسپلیت پلات نشان دادکه اشتباه اصلی نسبت به اشتباه فرعی اختلاف معنی‌داری نداشته و تجزیه بصورت فاکتوریل انجام گرفت. از لحاظ عملکرد دانه در شرایط بدون تنش ارقام آبی گاسگوژن، حیدری، پیشگام، اروم و زرینه دارای بیشترین عملکرد بوده و ارقام باران، HD2985، C-88-4، C-90-11 و کراس آذر ۲ در مقام بعدی قرار گرفتند. در شرایط خشکی ارقام باران، گاسگوژن، HD2985، کراس آذر ۲، حیدری و زرینه دارای بهترین عمکرد دانه بودند. بر اساس شاخص STI ارقام گاسکوژن، حیدری، لاین HD2985 و زرینه متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی تشخیص داده شدند (داده‌ها نشان داده نشده‌اند).

[27] Rich and Watt



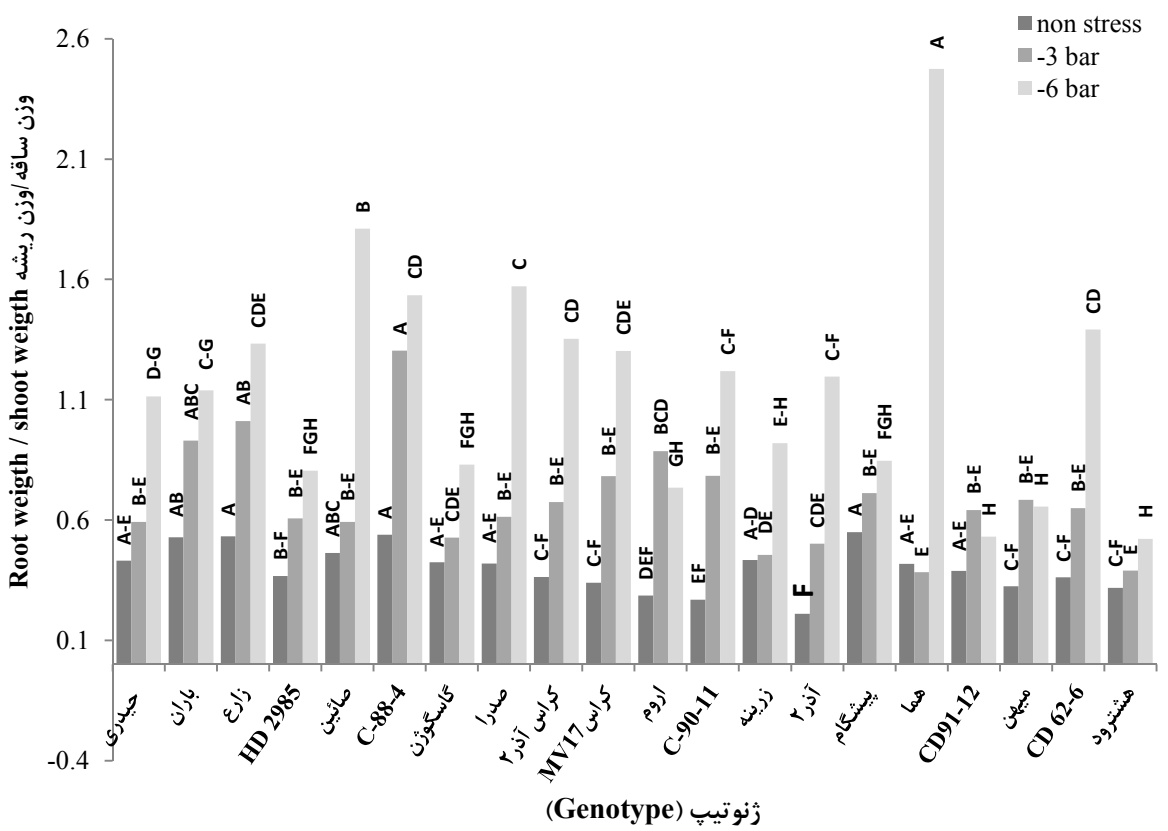
شکل ۵. میانگین وزن ریشه چه در ژنوپیپ‌های گندم مورد آزمایش در شرایط بدون تنش و تنش اسمزی ۳- بار و ۶- بار

Fig. 5. Root weight of wheat genotypes under non-stress, -3 and -6 bar osmotic stresses



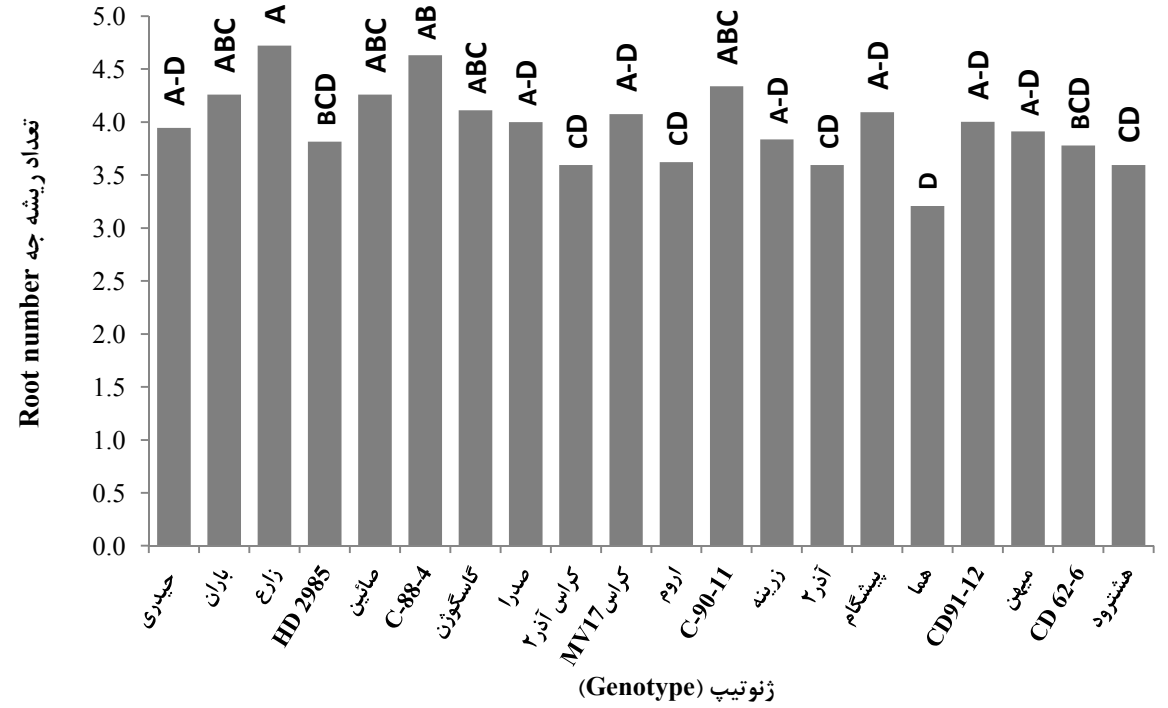
شکل ۶. نسبت طول ریشه به ساقه در ژنوپیپ‌های گندم مورد آزمایش در شرایط بدون تنش و تنش اسمزی ۳- بار و ۶- بار

Fig. 6. Root length/Shoot length of wheat genotypes under non-stress, -3 and -6 bar osmotic stresses



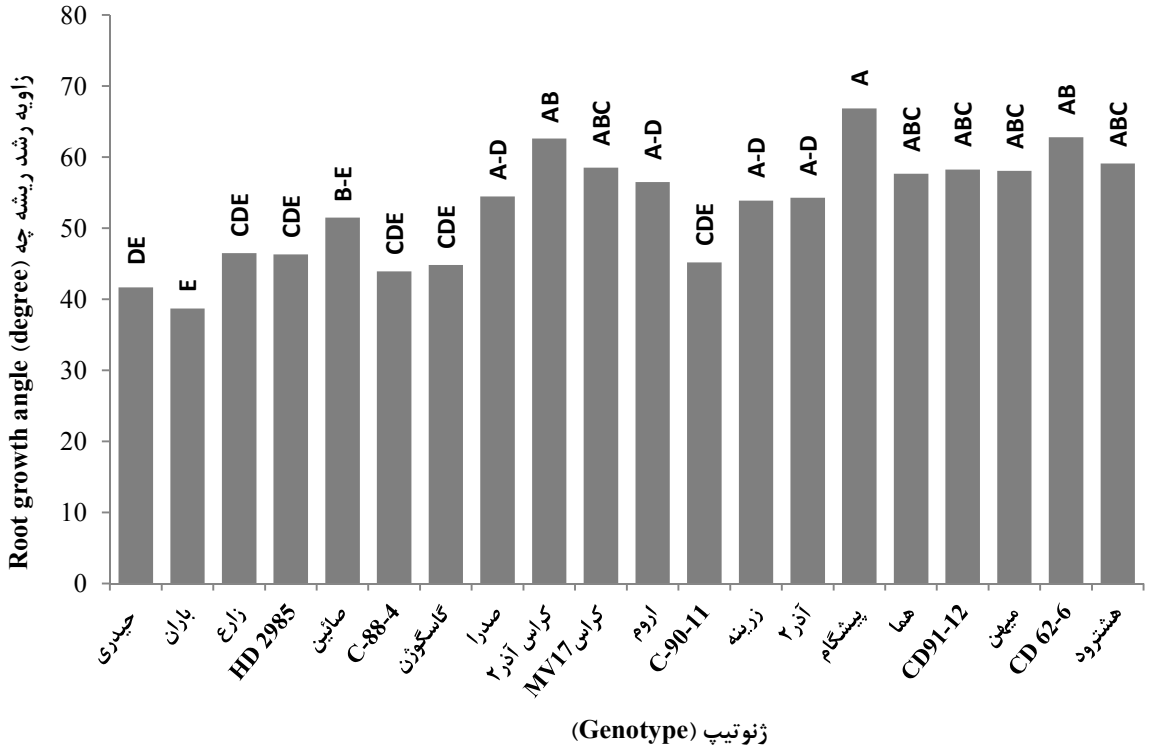
شکل ۷. نسبت وزن ریشه به ساقه در ژنویپ های گندم مورد آزمایش در شرایط بدون تنش و تنش اسمزی ۳- بار و ۶- بار

Fig. 7. Root weight/Shoot weight of wheat genotypes under non-stress, -3 and -6 bar osmotic stresses



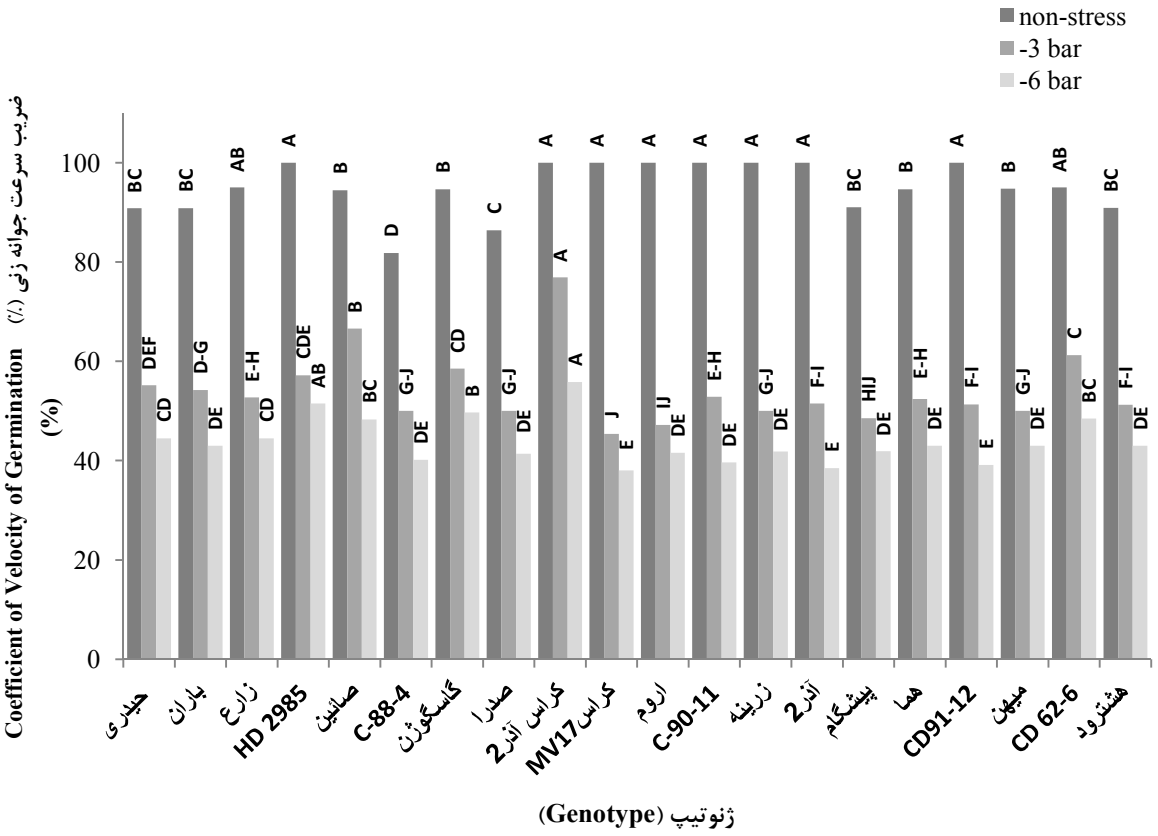
شکل ۸. تعداد ریشه چه در ژنویپ های گندم مورد آزمایش

Fig. 8. Root number of wheat genotypes under study



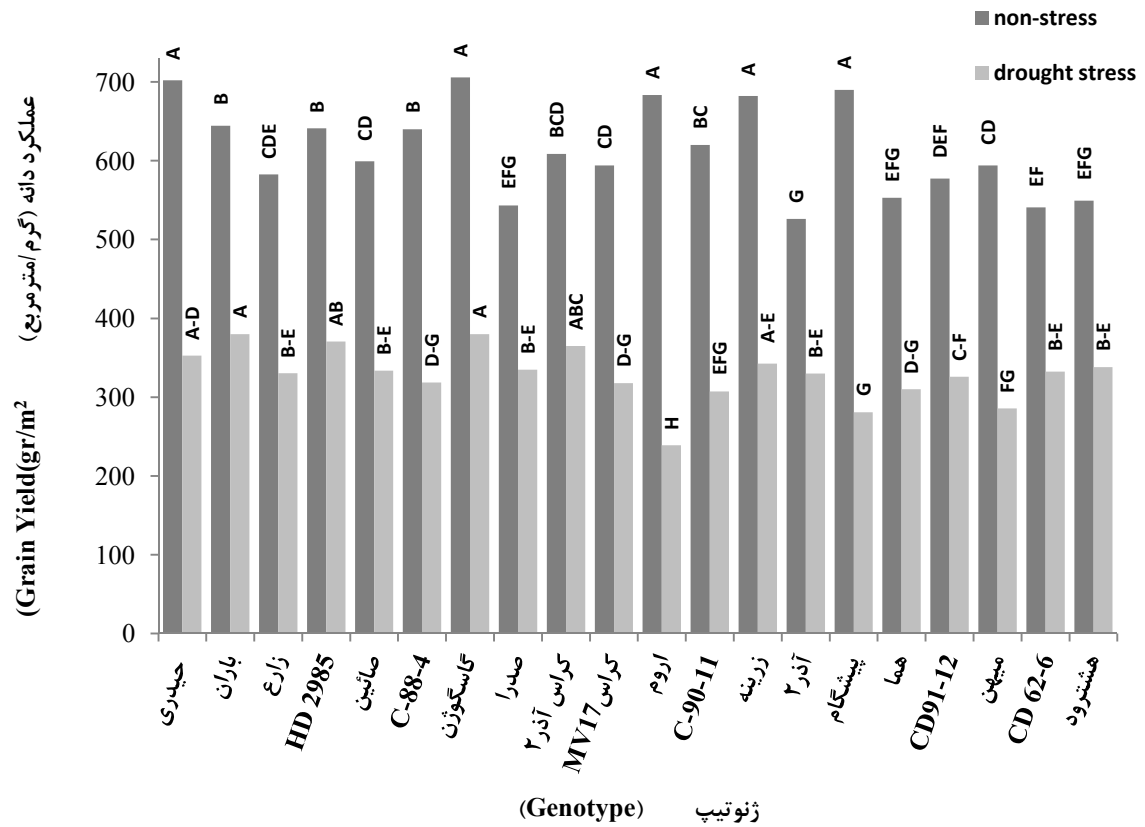
شکل ۹. زاویه رشد ریشه در ژنوپ های گندم مورد آزمایش

Fig. 9. Root growth angle of wheat genotypes under study



شکل ۱۰. ضریب سرعت جوانه‌زنی ژنوپ های گندم مورد آزمایش

Fig. 10. Coefficient of velocity of germination of wheat genotypes under study



شکل ۱۱. عملکرد دانه ژنوپ های گندم مورد آزمایش تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهایی

Fig. 11. Grain yield of wheat genotypes under non-stress and terminal drought stress

همبستگی صفات

ضرایب همبستگی صفات (جدول ۴) نشان دادکه طول ساقه‌چه با طول غلاف ساقه‌چه (شرایط بدون تنش و تنش ۳- بار)، وزن ساقه‌چه، طول ریشه‌چه (شرایط بدون تنش) وزن ریشه‌چه (تنش ۳ بار) همبستگی مثبت معنی‌دار و با نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه (تحت تنش) و عملکرد دانه (شرایط بدون تنش) همبستگی منفی داشت. همبستگی مثبت طول ساقه‌چه و وزن ریشه‌چه نشان دهنده این واقعیت است که رقمی که وزن ریشه‌چه بیشتری تولید کند می‌تواند دارای طول ساقه‌چه بیشتری باشد. این صفت می‌تواند در میزان جوانه‌زنی و خروج گیاهچه از خاک و ایجاد سطح سبز کمک شایان توجهی بنماید. یکی از دلایل این همبستگی مثبت و معنی‌دار می‌تواند به قدرت بهره‌گیری رقم با وزن ریشه‌چه بیشتر از امکانات خاک و احتمال تغذیه بهتر اندام‌های هوایی برای ساخت میزان اسیمیلات بیشتر باشد (عبدی و همکاران، ۲۰۱۵). دلیل دیگر این همبستگی می‌تواند اثرات پلیوتروپی ژن‌های پاکوتاهی بر طول ساقه و تجمع ماده خشک در قسمت‌های رویشی باشد (یوسفیان[1] و همکاران، ۱۹۹۲).

همبستگی مثبت و معنی‌دار بین صفات طول ساقه‌چه و وزن آن بیانگر این حقیقت است که برای داشتن وزن بالاتر اندام‌های هوایی نیاز به ایجاد طول ساقه‌چه بیشتری می‌باشد. این صفت می‌تواند در افزایش میزان بیوماس اندام هوایی و احتمالاً کاهش شاخص برداشت مؤثر باشد (ربتزک و همکاران، ۲۰۰۷). رابطه منفی این صفت با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش در این راستا قابل توجیه است چراکه در چنین شرایطی ارقام پاکوتاه با شاخص برداشت بالا عملکرد بیشتری تولید می‌کنند. عدم وجود رابطه بین طول ساقه‌چه و نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه (در عوض همبستگی قوی طول ریشه‌چه با نسبت فوق) در شرایط بدون تنش، حاکی از این است که در شرایط بدون تنش این نسبت تحت تأثیر اختلاف ژنتیکی طول ریشه‌چه است. در

[1] Youssefian

حالیکه رابطه منفی بین طول ساقه‌چه و نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه و عدم وجود رابطه (یا وجود رابطه ضعیف) با طول ریشه‌چه در شرایط تنش نشان می‌دهد که نسبت فوق بیشتر تحت تأثیر طول ساقه قرار دارد، لذا افزایش این نسبت بعلت حساسیت طول ساقه‌چه به تنش اسمزی وکاهش طول ساقه‌چه در اثر آن بوده است.

نتایج عبدی و همکاران (۲۰۱۵) نیز نشان داد که با افزایش تنش خشکی، رشد ریشه نسبت به رشد قسمت‌های هوایی گیاه کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد به طوری که نسبت کلی ریشه به اندام‌های هوایی افزایش می‌یابد. بنابراین غربالگری با نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه بالاتر در شرایط بدون تنش به نفع ژنوتیپ‌های با ریشه دهی عمیق خواهد بود، در حالیکه در شرایط تنش، ژنوتیپ‌هایی که طول ساقه‌چه (و تا حدی طول غلاف ساقه‌چه) کمتر و توانایی سبز کردن کمتری دارند، انتخاب خواهند شد. روابط فوق بین وزن ساقه‌چه و وزن ریشه‌چه با نسبت وزن ریشه‌چه به ساقه‌چه دقیقاً به همین منوال است. بنابراین هر دو نسبت تاحدی می‌توانند به جای یکدیگر مورد استفاده قرار گیرند، با لحاظ این امر که حساسیت نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه به تنش بیشتر است (جدول ۳).

همبستگی منفی نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه با تحمل به خشکی گندم در تعدادی از مطالعات (خان[1] و همکاران، ۲۰۰۳؛ رئوف و همکاران، ۲۰۰۷؛ شهبازی[2] و همکاران، ۲۰۱۱) می‌تواند در همین راستا توجیه شود. با این حال در مطالعه حاضر روابط این نسبت‌ها با عملکرد دانه معنی‌دار نبود. همبستگی مثبت بین طول غلاف ساقه‌چه و طول ساقه‌چه می‌تواند به اثر همزمان ژن‌های پاکوتاهی *Rht1* و *Rht2* روی طویل شدن سلول‌های ساقه و برگ نسبت داده شود (کیس[3]، ۱۹۸۹).

همبستگی منفی طول غلاف ساقه‌چه با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش ناشی از عملکرد بالای ژنوتیپ‌های آبی پاکوتاه (با طول غلاف ساقه‌چه پایین) می‌باشد. همبستگی منفی عملکرد دانه در شرایط بدون تنش با وزن ساقه‌چه و طول ریشه‌چه و همبستگی مثبت آن با صفات فوق در شرایط تنش دار نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های پابلند با ریشه‌های عمیق در شرایط تنش دار دارای برتری می‌باشند و در شرایط بدون تنش ژنوتیپ‌های پاکوتاه برتر می‌باشند. تعداد ریشه‌چه با وزن ریشه‌چه همبستگی مثبت نشان داد. درحالیکه بین طول ریشه‌چه و وزن ریشه‌چه همبستگی وجود ندارد، پس وزن ریشه‌چه بیشتر تحت تأثیر تعداد آن است. تعداد ریشه‌چه (در شرایط تنش) با زاویه رشد ریشه همبستگی منفی نشان داد بنابراین چنین به نظر می‌رسد که ژنوتیپ‌های گندم یا تعداد ریشه زیاد و سطحی یا تعداد ریشه کم و عمقی تولید می‌نمایند. همبستگی منفی زاویه ریشه با عملکرد در شرایط تنش دار، اهمیت بالای ریشه‌های عمیق را در استخراج آب از عمق خاک در شرایط کمبود آب را گوشزد می‌کند. سرعت جوانه‌زنی در شرایط تنش با عملکرد دانه مثبت بود بنابراین ژنوتیپ‌هایی که سرعت سبز کردن بیشتری داشته باشند، می‌توانند با پوشش سریعتر سطح خاک از تبخیر رطوبت خاک جلوگیری و باعث ذخیره رطوبت خاک برای مراحل بعدی رشد می‌شوند.

[1] Khan
[2] -Shahbazi
[3] Keyes

جدول ۴. ضرایب همبستگی ساده صفات در شرایط بدون تنش و تنش اسمزی ۳ و ۶ بار

Table 4. Correlation coefficients among traits under non-stress, -3 and -6 bar osmotic stresses

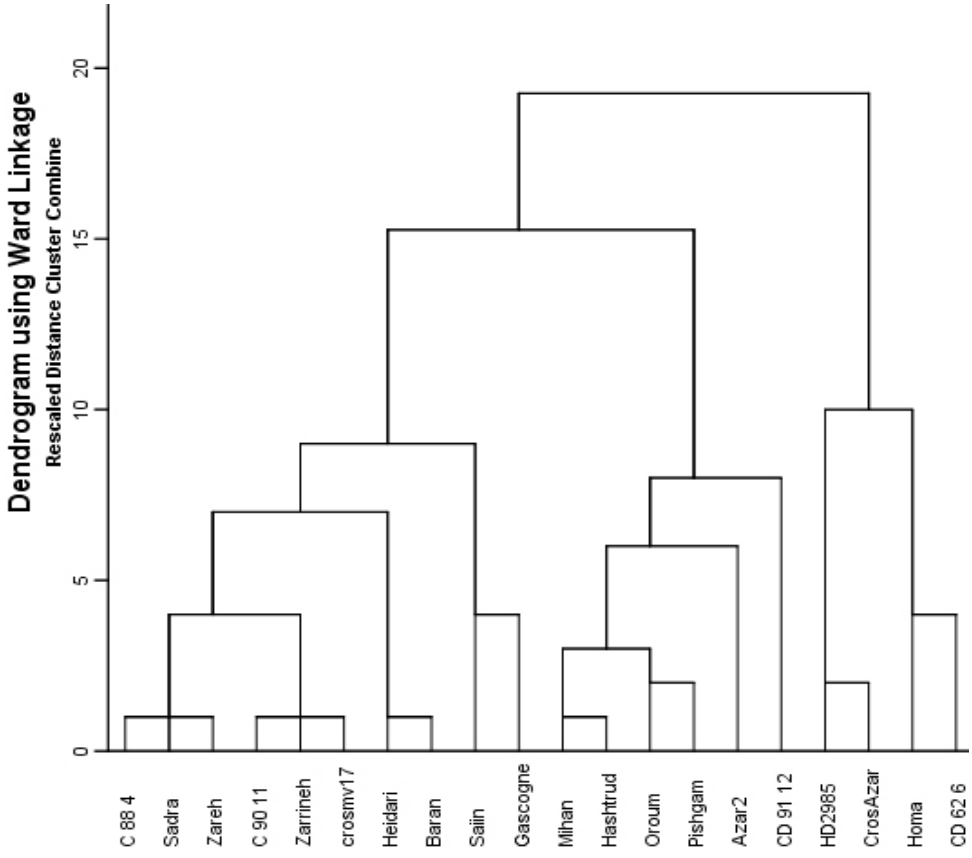
	تنش Stress	طول ساقه‌چه Shoot Length	طول‌کولئوپتیل Coleoptile length	وزن ساقه‌چه Shoot weight	طول ریشه‌چه Root Length	وزن‌ریشه‌چه Root weight	ساقه/ریشه (طول) Root/Shoot (length)	ساقه/ریشه (وزن) Root/Shoot (weight)	تعداد ریشه‌چه Root number	زاویه ریشه Root angle	سرعت جوانه‌زنی Velocity of germination
طول کولئوپتیل Coleoptile length	0bar	0.538*	1								
	-3bar	0.543*	1								
	-6bar	0.019	1								
وزن ساقه‌چه Shoot weight	0bar	0.610**	0.413	1							
	-3bar	0.612**	0.529*	1							
	-6bar	0.668**	0.508*	1							
طول ریشه‌چه Root Length	0bar	0.502*	0.653**	0.716**	1						
	-3bar	0.251	.259	0.347	1						
	-6bar	0.358	.254	-0.088	1						
وزن ریشه‌چه Root weight	0bar	0.132	.068	0.508*	0.285	1					
	-3bar	0.610**	.394	0.546*	0.309	1					
	-6bar	0.403	-.354	0.423	-0.243	1					
ساقه/ ریشه (طول) Root/Shoot(length)	0bar	-0.009	.456*	0.469*	0.829**	0.394	1				
	-3bar	-0.871**	-.495*	-0.535*	0.155	-0.476*	1				
	-6bar	-0.877**	.117	-0.589**	0.545*	-0.416	1				
ساقه/ ریشه (وزن) Root/Shoot(weight	0bar	-0.299	-.245	-0.142	-0.202	0.749**	0.107	1			
	-3bar	-0.123	-.156	-0.496*	-0.203	0.391	0.125	1			
	-6bar	-0.366	-.155	-0.514*	-0.009	0.162	0.444*	1			
تعداد ریشه‌چه Root number	0bar	0.194	-.043	0.219	0.047	0.686**	0.117	0.608**	1		
	-3bar	0.336	.122	0.237	-0.011	0.695**	-0.362	0.437*	1		
	-6bar	0.222	-.265	0.421	-0.142	0.695**	-0.273	-0.205	1		
زاویه رشد ریشه Root angle	0bar	0.320	.120	-0.213	-0.222	-0.091	-0.384	0.159	.158	1	
	-3bar	-0.343	-.184	-0.118	-0.112	-0.449*	0.276	-0.398	-.516*	1	
	-6bar	-0.068	.179	-0.182	0.385	-0.196	0.240	.012	-.464*	1	
سرعت جوانه‌زنی Velocity of germination	0bar	-0.031	-.004	-0.242	-0.069	-0.662**	-0.181	-.608**	-.453*	-.012	1
	-3bar	0.231	.375	0.425*	0.499*	0.331	-0.076	-.163	-.115	.088	1
	-6bar	-0.079	-.294	-0.124	0.131	-0.074	0.102	.068	-.210	-.046	1
عملکرد دانه Grain Yield	0bar	-0.658*	-.617*	-0.463*	-0.471*	-0.019	-0.093	.360	.007	-.383	-.029
	-3bar	0.199	.282	0.480*	0.377	0.333	-0.150	-.215	.148	-.367	.515*
	-6bar	-0.055	-.291	-0.055	0.118	0.073	0.057	.011	.138	-.552*	.509*

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪.

ns, *and ** and: non-significant significant and significant at 5% and 1% probability levels

گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها

تجزیه خوشه‌ای فقط در شرایط تنش اسمزی ۶- بار توانست ژنوتیپ‌ها را از هم تفکیک کند. ژنوتیپ‌ها در ۳ خوشه گروه‌بندی گردیدند (شکل ۱۲). خوشه اول شامل ۱۰ ژنوتیپ زرینه، حیدری، باران، گاسکوژن، صائین، صدرا، زارع، C-90-11، کراس MV17 و C-88-4، خوشه دوم شامل ۴ ژنوتیپ دیم هما، کراس آذر ۲، HD2985 و CD62-6، خوشه سوم شامل ۶ ژنوتیپ میهن، پیشگام، اروم، هشترود، آذر ۲ و CD91-12 بود. از لحاظ تمام صفات بین خوشه‌ها اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. ژنوتیپ‌های خوشه ۱ و ۲ از لحاظ عملکرد برتر از خوشه سوم بودند. از جمله صفات خوشه ۲ می‌توان به داشتن بیشترین طول ریشه‌چه در عین داشتن کمترین وزن ریشه‌چه، ریشه‌های کمتر ولی با زاویه رشد عمودی‌تر، نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه و سرعت جوانه‌زنی بیشتر اشاره کرد. در حالیکه ژنوتیپ های خوشه ۱ دارای ریشه‌های بیشتر و کوتاه‌تر با زاویه رشد افقی‌تر بودند (جدول ۵).



شکل ۱۲. دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های گندم به روش Ward

Fig. 12. Dendrogram of cluster analysis of wheat genotypes using Ward's method

جدول ۵. میانگین خوشه‌های به دست آمده از تجزیه کلاستر

Table 5. Mean of clusters resulted from cluster analysis

میانگین Mean	طول ساقه‌چه Shoot Length	طول کولئوپتیل Coleoptile Length	وزن ساقه‌چه Shoot weight	طول ریشه‌چه Root Length	وزن ریشه‌چه Root weight	تعداد ریشه‌چه Root number	زاویه ریشه Root angle	ساقه/ریشه (وزن) Root/Shoot (weight)	ساقه/ریشه (طول) Root/Shoot (length)	سرعت جوانه‌زنی Velocity of	عملکرد دانه
خوشه۱ (Cluster1)	1.76A	1.71 B	22.6A	9.41B	23.6A	4.40A	51.7 B	1.30A	6.13B	43.1B	339.7A
خوشه۲ (Cluster2)	1.36B	1.93A	15.3B	10.74A	15.0B	3.32B	62.8 A	1.68A	8.88A	49.7A	344.5A
خوشه۳ (Cluster3)	2.04A	2.08A	25.8A	10.12A	17.8B	3.67B	68.5 A	0.75B	5.45B	41.2B	299.8B
مقدار F (F value)	6.36**	4.0*	4.3*	2.93*	5.6*	12.2**	7.6**	4.1*	6.8**	4.0*	6.8**

نتیجه‌گیری

جوانه‌زنی و استقرار ناکافی از معضل‌هایی است که گیاهان زراعی در مناطق کم آب با آن مواجه هستند. بذرهای با قدرت جوانه‌زنی بالاتر می‌توانند بهتر سبز شده و در مواجهه با تنش‌های محیطی گیاهچه‌های نیرومندتری تولید کنند و لذا در شرایط کمبود رطوبت ابتدای فصل در کاشت پاییزه در مناطق دیم موفق‌تر خواهند بود. بنابراین ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌هایی که شاخص‌های جوانه‌زنی مناسبی دارند، احتمالاً سبب تسهیل در به گزینی ارقام متحمل به تنش خشکی در گندم خواهد شد. از آنجاکه توانایی بذور در جوانه‌زنی در پتانسیل‌های پایین تا حد زیادی با میزان توانایی آن‌ها

در جذب آب در ارتباط است، آزمون جوانه‌زنی می‌تواند به عنوان یک روش سریع، آسان و ارزان برای اندازه گیری غیر مستقیم تنظیم اسمزی نیز بشمار می‌رود. با توجه به این حقیقت که وجود تنوع پایه و اساس انجام گزینش ارقام برتر و مطلوب است، ارزیابی و جستجوی ژنوتیپ‌های جدید و بخصوص لاین‌های امید بخش، می‌تواند تنوع مورد نظر را برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر تأمین کند. وجود اختلاف معنی دار در تمام صفات مورد بررسی در بین ژنوتیپ‌ها حاکی از وجود تنوع ژنتیکی کافی برای اعمال گزینش در صفات جوانه‌زنی است. مقایسه میانگین نشان داد که در بین ژنوتیپ های مورد بررسی ارقام صائین، زارع، پیشگام، صدرا، باران و میهن در مجموع دارای صفات جوانه‌زنی مطلوبی بودند. در شرایط تنش ارقام باران، گاسگوژن، HD2985، کراس آذر ۲، حیدری و زرینه دارای بهترین عمکرد دانه بودند و به عنوان ارقام متحمل به خشکی شناخته شدند. بررسی روابط بین صفات نشان دادکه نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه در شرایط بدون تنش با طول ریشه‌چه همبستگی مثبت داشته و گزینش برای مقادیر بالای این صفت ژنوتیپ‌های با ریشه‌دهی عمیق و برعکس در شرایط تحت تنش ژنوتیپ‌هایی با طول ساقه‌چه و طول غلاف ساقه‌چه کمتر را انتخاب خواهد کرد. تحت تنش، از بین صفات گیاهچه‌ای زاویه ریشه و سرعت جوانه‌زنی قوی‌ترین روابط را با عملکرد دانه نشان دادند. تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های حساس و مقاوم را تا حدودی از هم تفکیک کرد. بدیهی است تلاقی بین ژنوتیپ‌هایی که فاصله ژنتیکی زیادی با هم دارند، نتایج مطلوبتری خواهد داشت. بدین ترتیب امکان تجمع ژن‌های بیشتر و مطلوبتر در نتایج افزایش می‌یابد. این روش به خصوص در مواردی که با تعداد زیادی ژرم پلاسم سروکار داریم بسیار مفید است زیرا به جای صرف انرژی زیاد برای انجام تلاقی‌های تصادفی می‌توان از برترین افراد هر کلاستر در تلاقی‌ها استفاده نمود.

سپاسگزاری

از ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل بخاطر تهیه بذر ارقام سپاسگزاری می‌شود.

منابع

Abdi, H., Bihamta, M.R., Azizov, E. and Chogan, R. 2015. Investigation effect of drought stress level of PEG 6000 on seed germination principle and its relation with drought tolerance index in promising Lines and cultivars of bread wheat (*Triticum. aestivum* L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 12(4): 582-596. [In Persian with English Summary].

AL-Mudaris, M.A. 1998. Notes on various parameters recording the speed of seed germination. Der Tropenlandwirt, 99: 147-154.

Ashouri, S., Rezaii, M., Emami, A. and Khalilzadeh, G. 2010. Evaluation and yield comparison of advanced lines of winter and facultative wheat on farm of west Azarbaijan province for production high yielding cultivars. 2nd national conference on climate changes and its effect on agriculture and environment, west Azarbaijan agricultural research center, Urmieah, Iran. [In Persian with English Summary].

Bayoumi, T.Y., Eid, M.H. and Metwali, E.M. 2008. Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. African Journal of Biotechnology, 7: 2341-2352.

Cattivelli, L., Reza, F., Badeck, F.W., Mazzucotelli, A.M., Masterangelo, E., Francia C. and Stanca, T.A. 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. Field Crop Research, 105(1-2): 1-14. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.07.004

Dhanda, S.S., Sethi G.S. and Behl, R.K. 2004. Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth. Journal of Agronomy and Crop Science, 190(1): 6-12. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2004.00592.x

Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Crop

Science, 28: 13-16.

Fischer, R.A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research, 29(5): 897-912. https://doi.org/10.1071/AR9780897

Forouzi, M., Ehteshami, S.M.R. Esfahani, M. and Rabiee, M. 2015. Effect of seed size on emergence rate, germination indices, seedling growth and yield of four bread wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). Cereal Research, 5(1): 67-82. [In Persian with English Summary].

Ghasemi,M. 2014. Wheat cultivars tolerance to drought stress of final season in Ardabil region. Agricultural research, education and extension organization of Ardabil, Extension manual, Number 15: 1-13.

Hakizimana, F., Haley, S.D. and Turnipseed, E.B. 2000. Repeatability and genotype × environment interaction of coleoptile length measurements in winter wheat. Crop Science, 40(5): 1233-1237. https://doi.org/10.2135/cropsci2000.4051233x

Jajarmii, V. 2012. Effect of drought stress on germination indices in seven wheat cultivars (*T. aestivum* L.). Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding, 8(4): 183-192. [In Persian with English Summary].

Keyes, G.J., Paolillo, D.J. and Sorrells, M.E. 1989. The effects of dwarfing genes Rhtl and Rht2 on cellular dimensions and rate of leaf elongation in wheat. Annals of Botany, 64: 683-690. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087894

Khan, A., Qureshi, M.S. Ashraf, M.Y. and Hussain, M. 2003. Assessment of genetic variability for drought tolerance in wheat. Pakistan Journal of Agricultural Science, 40: 33-36.

Ley, T.W., Stevens, R.G., Topielec, R.R. and Neibling, W.H. 1994. Soil water monitoring and measurement. A pacific northwest publication-Washington. Oregon. Idaho. 1-35.

Michel, B.E. and Kaufman, M.R. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiology, 51(5): 914. https://doi.org/10.1104/pp.51.5.914

Mohammadi, R., Farshadfar, E., Aghaee-Sarbarzeh, M. and Shutka, J. 2003. Locating QTLs controlling drought tolerance criteria in rye using disomic addition lines. Cereal Research Communications, 31(3): 257-264. https://doi.org/10.1007/BF03543352

Perkons, U. Kautz, T., Uteau, D., Peth, S., Geier, V., Thomas, K., Holz, K.L., Athmann, M., Pude, R., Köpke, U. 2014. Root-length densities of various annual crops following crops with contrasting root systems. Soil Tillage Research, 137: 50-57. https://doi.org/10.1016/j.still.2013.11.005

Rashidpour, M., Fallahi, H.A. and Ezzatahmadi, M. 2014. Evaluation of germination and seedling traits under drought condition of polyethylene glycol in wheat. Journal of Plant Production Science, 5(1): 24-27. [In Persian with English Summary].

Rauf, M., Munir, M. Ul-Hassan, M. Ahmed, M. and Afzai, M. 2007. Performance of wheat genotypes under osmotic stress at germination and early seedling growth stage. African Journal of Biotechnology, 6(8): 971-975.

Rebetzke, G.J., Richards, R.A., Fettell, N.A. Long, M., Condon, A.G., Forrester, R.I. and Botwright, T.L. 2007. Genotypic increases in coleoptile length improves stand establishment, vigour and grain yield of deep-sown wheat. Field Crops Research, 100(1): 10-23. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.05.001

Rich, S.M. and Watt, M. 2013. Soil conditions and cereal root system architecture: review and considerations for linking Darwin and Weaver. Journal of Experimental Botany, 64(5): 1193-1208. https://doi.org/10.1093/jxb/ert043

Rosyara, U.R., Ghimire, A.A. and Sharma, R.C. 2008. Variation in south Asian wheat germplasm

for seedling drought tolerance traits. Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization, 1-6. https://doi.org/10.1017/S1479262108994247

Shahbazi, H., Bihamta, M.R., Taeb, M. and Darvish, F. 2011. Inheritance of seed germination related traits for drought tolerance in bread wheat cultivars. Iranian Journal of Crop Science, 12(2): 199-212. [In Persian with English Summary].

Takel, A. 2000. Seedling emergence and growth of sorghum genotypes under variable soil moisture deficit. Agronomy Journal, 48: 95-102. https://doi.org/10.1556/AAgr.48.2000.1.10

Ward, J.H.J. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. Journal of the American Statistical Association, 58: 236-244. https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845

Xu, W., Jia, L., Shi, W., Liang, J., Zhou, F., Li, Q. 2013. Abscisic acid accumulation modulates auxin transport in the root tip to enhance proton secretion for maintaining root growth under moderate water stress. New Phytologist, 197(1):139-150. https://doi.org/10.1111/nph.12004

Youssefian, S., Kirby, E.J.M. and Gale, M.D. 1992. Pleiotropic effects of the GA-insensitive Rht dwarfing genes in wheat. 2. Effects on leaf, stem, ear and floret growth. Field Crops Research, 28(3): 191-210. https://doi.org/10.1016/0378-4290(92)90040-G ; https://doi.org/10.1016/0378-4290(92)90039-C

Iranian Journal of Seed Research, 2021, 7(2): 151-170

Research Article

Effect of Water Stress on Germination and Seedling Characteristics of Some bread Wheat Cultivars (*Triticum aestivum*)

Peyman Aliqolizadeh Moghadam [1], Gholam Ali Ranjbar [2, *], Hamid Najafi [2], Hossein Shahbazi [3]

Extended Abstract

Introduction: Germination is one of the most important stages of plant growth that determines the durability, establishment and final yield of crops and in regions that due to drought conditions the growth of plant encounters with problem, improving germination traits count as one of the important breeding strategies. The present study was designed to determine the effect of different levels of osmotic stress on germination and seedling traits of some bread wheat cultivars cultivated in cold regions of Iran.

Materials and Methods: In order to investigate the effect of different levels of osmotic stress on germination characteristics of bread wheat cultivars cultivated in cold regions of Iran, a factorial experiment was conducted based on a completely randomized design with 3 replications in which, the first factor consisted of 20 bread wheat cultivars (including rain fed cultivars as well as end-of-season water stress tolerant varieties) and the second factor consisted of 3 levels of osmotic stress (non-stress, -3 and -6 bar stress). Seedling traits such as coleoptile length, shoot length, shoot weight, root length, root weight, root / shoot ratio, root growth angle, germination speed and the germination stress index (GSI) were evaluated. For the experiment concerning the yield comparison, 20 cultivars mentioned above were compared under non-stress and terminal drought stress conditions.

Results: The results showed that the ratio of root/shoot length and weight and shoot weight had the highest sensitivity and the lowest number of roots to osmotic stress. Increasing root length as root weight decreased with increasing stress showed that roots became longer and thinner due to stress. Among the genotypes, Saein, Zare, Pishgam, Sadra, Baran and Mihan had desirable traits and CrossMV17, Homa, Orum and Cross Azar2 had no desirable germination traits. In non-stress conditions, 11 genotypes had high coleoptile length including Hashtrood, Azar 2, Saein, CD62-6, CD91-12, Mihan, Baran, Heydari, Homa, Cross Azar 2 and Zare genotypes. At 3 bar stress, 11 genotypes had the highest coleoptile length, with the highest values being assigned to Hashtrood, Heidari and Saein. At 6 bar stress, CD91-12 and CD62-6 lines, Hashtrood, Homa, Pishgam, and Zare had the highest coleoptile length. At 3 bar stress cross Azar 2, Saein, CD62-6, Gascogen and HD2985 demonstrated the highest germination rate. Furthermore, Cross Azar2, HD2985, Gascogen, CD62-6 and Saein led to the best results, respectively. However, in both 3 and 6 bar stress conditions Saein, Cross Azar2, CD62-6 and HD2985 were superior for germination stress index (GSI). For grain yield under normal conditions, Gascogen, Heidari, Pishgam, Orum and Zarrineh had the highest yield and Baran, HD2985, C-88-4, C-9011 and Cross Azar2 were placed next. Under stress conditions Baran, Gascogen, HD2985, Cross Azar2, Heidari and Zarrineh consisted the highest performance. According to STI index Gascogen, Heidari, HD2985 and Zarrineh were the most tolerant genotypes to drought stress. Cluster analysis grouped the studied genotypes into 2 clusters, the first cluster comprising 13 genotypes Heidari, Mihan, HD2985, Baran, Pishgam, Hashtrood, Cross Azar 2, CD62-6, Gascogen, Azar 2, Saein, Sadra and Zare. The second cluster consisted of 7 genotypes C-88-4, Zarineh, C-90-11, Orum, CD91-12, CrossMV17 and Homa. Genotypes of cluster 1 were superior in terms of germination traits such as shoot length, coleoptile length, root length and root weight and reduced root/shoot ratio.

Conclusion: Significant differences in all studied traits among genotypes indicated sufficient genetic variation for selection in germination traits. Results showed that Saein, Zare, Pishgam, Sadra, Baran and Mihan cultivars had desirable germination traits and were superior to other genotypes.

Keywords: Drought tolerance, Germination, Cold wheat

Highlights:

1- The tested genotypes are either newly named or advanced lines and have not been studied for germination traits.

2-The growth angle trait of seed roots through filter paper has received little attention in studies.

[1] Ph.D. Student in Plant Breeding, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

[2] Associate Professor of Plant Breeding and Molecular Genetics, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

[3] Assistant Professor of Plant Breeding, Islamic Azad University, Ardabil Branch, Ardabil, Iran

* Corresponding author, E-mail: ali.ranjbar@gmail.com

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1399.7.2.6.5

DOI: 10.29252/yujs.7.2.151

(Received: 19.03.2020; Accepted: 13.10.2020)