

ارزیابی تحمل خشکی در لاین‌های امیدبخش جو در شرایط کنترل شده و مزرعه

Evaluation of Drought Tolerance in Promising Barley Lines under Controlled and Field Conditions

زهرا دهقانی^۱، حمیدرضا نیکخواه^۲ و پیمان فروزش^۳

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران.
- ۲- استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
- ۳- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۱۹

چکیده

دهقانی، ز.، نیکخواه، ح. ر. و فروزش، پ. ۱۳۹۹. ارزیابی تحمل خشکی در لاین‌های امیدبخش جو در شرایط کنترل شده و مزرعه. *مجله نهال و بذر* ۳۶: ۱۸۲ - ۱۶۱.

به منظور ارزیابی واکنش لاین‌های امیدبخش جو به تنش خشکی، دو آزمایش به صورت مجزا در شرایط کنترل شده و مزرعه انجام شد. در شرایط کنترل شده، ۲۵ لاین و رقم جو در دو سطح تنش اسمزی، صفر (شاهد) و ۵- مگاپاسکال با استفاده از نمک پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ژنوتیپ، پتانسیل اسمزی و اثر متقابل ژنوتیپ × پتانسیل اسمزی بر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول کلئوپتیل، وزن ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر معنی‌دار بود. با افزایش سطح تنش اسمزی کلیه صفات مورد مطالعه به طور معنی‌دار کاهش نشان دادند. در شرایط مزرعه، ۲۰ لاین جو با استفاده از طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دو شرایط تنش خشکی آخر فصل (قطع آبیاری در ۵۰٪ سنبله‌دهی) و بدون تنش در دو سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ مورد ارزیابی قرار گرفتند. تجزیه واریانس مرکب داده‌ها برای عملکرد دانه نشان داد که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش اثر سال و اثر متقابل ژنوتیپ × سال معنی‌دار بود. مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال نشان داد که بیشترین عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ ۱۶ و در شرایط تنش خشکی نیز بیشترین عملکرد مربوط به ژنوتیپ ۱۶ بود. در این آزمایش با استفاده از به عملکرد دانه در دو شرایط تنش و بدون تنش، شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به خشکی محاسبه شدند. بر اساس همبستگی بین شاخص‌های مختلف با عملکرد دانه در دو شرایط، شاخص‌های میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی (GMP)، شاخص تحمل به خشکی (STI) و شاخص هارمونیک (HM) به عنوان بهترین شاخص‌ها تعیین شدند. بر اساس این شاخص‌ها ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۱ و ۴ به عنوان ژنوتیپ‌های برتر در هر دو شرایط شناخته شدند. تجزیه همبستگی بین صفات در مرحله جوانه‌زنی با شاخص‌های تحمل به تنش نشان داد که تنها وزن ریشه‌چه با شاخص‌های MP، GMP، HM و STI همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت.

واژه‌های کلیدی: جو، تنش خشکی، جوانه‌زنی، عملکرد دانه، شاخص‌های تحمل به خشکی.

مقدمه

بررسی قرار گیرد (Soltani *et al.*, 2006, Patade *et al.*, 2009; Cavusiglu and Kabar, 2010; Jafar *et al.*, 2011)

جوانه‌زنی مرحله مهمی از چرخه زندگی گیاهان در محیط‌های خشک است، زیرا نقش جوانه‌زنی از نظر استقرار تعداد گیاه سبز در واحد سطح برای تولید محصول تعیین کننده است (Chaghakaboodi *et al.*, 2012). جوانه‌زنی شامل انتقال مواد ذخیره‌ای به محور جنین و شروع فعالیت‌های متابولیک و رشد آن است. این مرحله از زندگی گیاهان زراعی نقش تعیین کننده‌ای در استقرار مناسب گیاه و عملکرد نهایی آن دارد (Almansouri *et al.*, 2011). مطالعه بر روی جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی به وسیله پلی اتیلن گلیکول (Poly Ethylene Glycol) نشان دهنده کاهش درصد جوانه‌زنی و میزان رشد گیاهچه‌ها در اثر کمبود آب می‌باشد (Lima *et al.*, 2016).

در مناطق خشک و نیمه خشک، وقوع تنش خشکی در دوره پرشدن روی گیاه مادری اجتناب ناپذیر است. تنش خشکی سبب زوال بذر شده و با کاهش اندوخته بذر، می‌تواند باعث کاهش سرعت جوانه‌زنی شود و چنین بذرهایی در شرایط مزرعه از جوانه‌زنی کندتر و بنیه ضعیف تری برخوردار خواهند بود (Ozdemir and Sada, 2015). گراوندی و همکاران (Geravandi *et al.*, 2010) کاهش درصد جوانه‌زنی را با کاهش پتانسیل اسمزی توسط پلی اتیلن گلیکول گزارش نمودند. آنها

تنش خشکی مهم ترین تهدید جهانی برای تامین غذا به حساب می‌آید و میزان تولید را محدود می‌کند و گرم شدن کره زمین و تغییرات آب و هوایی به یک نگرانی مهم در سراسر جهان تبدیل شده است (Tardieu, 2012). کاهش عملکرد ناشی از تنش خشکی به مرحله زمانی و شدت تنش بستگی دارد (Daryanto *et al.*, 2016). ایران همواره یکی از کشورهای بوده که با شدیدترین خشکی‌های جهان روبرو بوده است و پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که در سال‌های آینده نیز ایران هم‌چنان خشکسالی‌های شدیدی را تجربه خواهد کرد (Mesgaran *et al.*, 2016).

جو (*Hordeum vulgare L.*) چهارمین غله مهم دنیا بعد از گندم، ذرت و برنج و دومین محصول زراعی مهم ایران از نظر سطح تولید بعد از گندم است. در دنیا سالانه بیش از ۱۲۳ میلیون تن جو از حدود ۴۸ میلیون هکتار زمین کشاورزی برداشت می‌شود. در ایران نیز سطح زیر کشت جو حدود ۱/۴۷۳ میلیون هکتار است (سطح زیر کشت جو آبی حدود ۶۳۲ هکتار و جو دیم حدود ۸۴۱ هزار هکتار می‌باشد) که از این سطح حدود سه میلیون تن دانه برداشت می‌شود (FAO, 2019). جو به عنوان یکی از مهم ترین غلات در سراسر جهان، با سازگاری خوب برای مقابله با تنش است و می‌تواند به عنوان یک مدل ژنتیکی برای نشان دادن مقاومت به خشکی مورد

و می‌توانند برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و پرمحصول برای هر دو شرایط محیطی به کار روند. نظری و پاک‌نیت (Nazari and Pakniyat, 2010) در مطالعه‌ای که برای ارزیابی تحمل ۲۲ ژنوتیپ و رقم جو به تنش خشکی انجام دادند نشان دادند که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین پتانسیل عملکرد دانه (Yp) و عملکرد تحت تنش (Ys) با شاخص‌های STI، GMP و MP وجود داشت.

بنابراین هدف این پژوهش: بررسی اثر تنش اسمزی بر روی صفات در مرحله جوانه‌زنی، بررسی اثر تنش خشکی بر روی عملکرد دانه در لاین‌های امید بخش جو، شناسایی لاین(های) متحمل به خشکی و بررسی ارتباط بین صفات اندازه‌گیری شده در مرحله جوانه‌زنی با شاخص‌های متحمل به خشکی در مزرعه بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت دو آزمایش مجزا در شرایط آزمایشگاه فیزیولوژی بخش تحقیقات غلات موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج و در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی یزد انجام شد. اسامی ژنوتیپ‌های مورد آزمایش و آمار هواشناسی ایستگاه یزد در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است.

در شرایط آزمایشگاه، آزمایش به صورت

همچنین گزارش کردند که با کاهش پتانسیل اسمزی برخلاف کاهش کند درصد و سرعت جوانه‌زنی، بنیه جوانه‌زنی با سرعت و شیب بیشتری در ژنوتیپ‌های مختلف شروع به کاهش کرد.

فرناندز (Fernandez, 1992) ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط تنش و بدون تنش را از نظر پتانسیل عملکرد و تحمل به تنش به چهار گروه تقسیم کرد. گروه A شامل ژنوتیپ‌هایی است که در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی دارند. گروه‌های B و C ژنوتیپ‌هایی هستند که به ترتیب فقط در شرایط محیطی بدون تنش و شرایط تنش عملکرد بالایی دارند، ولی گروه D شامل ژنوتیپ‌هایی است که در هر دو محیط تنش و غیر تنش عملکرد پایینی دارند. بنابراین شاخصی مناسب است که بتواند گروه A را از بقیه گروه‌ها جدا کند.

زبرجادی و همکاران (Zebarjadi *et al.*, 2013) در بررسی ۲۰ ژنوتیپ پیشرفته گندم دوروم گزارش نمودند که شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص میانگین بهره‌وری (MP) و شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی مناسب هستند. شفازاده و همکاران (Shafazade *et al.*, 2005) گزارش کردند که شاخص‌های STI، GMP و MP در هر دو شرایط تنش و بدون تنش همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه گندم داشتند

جدول ۱- نام، شجره و منشاء ژنوتیپ‌های جو مورد بررسی در آزمایشگاه و مزرعه

Table 1. Name, pedigree and origin of barley genotypes examined in laboratory and field conditions

شماره ژنوتیپ Genotype no.	نام / شجره Name/Pedigree	منشاء Origin
1	Yousef (Check)	Iran
2	Cr115/Por//Bc/3/Api/CM67/4/Giza120/5/H272/Bgs/3/Mzq/Gva//Alanda-01/6/Nik	Iran
3	Nosrat/5/Ciru/3/Agave/Sumbard400//Marco/4/Petunia1	Iran
4	Bgs/Dajia//L.1242/3/L.B.IRAN/Una8271//Gloria'S'/3/Alm/Una80/4/ Nik	Iran
5	Dasht//EBC(a)/Badia/3/Sahra	Iran
6	Comino/Yousef	Iran
7	Puebla/Cardo//Tocte/5/Nosrat/4/Rhodes'S'//Tb/Chzo/3/Gloria'S'	Iran
8	Karoon/Kavir ² //Sadik-10	Iran
9	L.131/Cerbel//Alger-Ceres/3/Gloria"S"/Copal"S"/4/Sahra/5/ Nik/6/Goharan	Iran
10	LB.Iran/Una 8271//Gloria"S"/Come"s"-11M/3/Kavir/4/ Sadik-10	Iran
11	Nosrat/Goharan	Iran
12	Zarza'S'/Agave'S'//Cardo/3/79W40762/Puebleda/4/ Nik	Iran
13	CM67/IPA265//Gustoe/IPA7/3/ Goharan	Iran
14	L.131/Cerbel//Alger-Ceres/3/Gloria"S"/Copal"S"/4/Rhn-03 /5/ Deir Alla 106//Hem/Bc/3/Rihane"S"/4/Nik	Iran
15	Nosrat ² /Sadik-10	Iran
16	Nosrat /6/Sadik-10/5/Rihane//Aths/Bc/4/ L.131/Cerbel//Alger-Ceres/3/Gloria"S"/Copal"S"	Iran
17	L.131/Cerbel//Alger-Ceres/3/Gloria"S"/Copal"S"/4/Sahra/5/ Nik/6/Goharan	Iran
18	Nosrat 2 [*] /3/Gloria'S'/Copal'S'//As46/Aths	Iran
19	26216/4/Arar/3/Mari/Aths*2/M-Att-73-337-1/5/Barjouj	ICARDA
20	MB-93-16 (SLB44-56/Lignee131)	ICARDA
21	Goharan	Iran
22	Rihane03	ICARDA
23	Nosrat	Iran
24	Armaghan	Iran
25	Ataco/Comino//Aleli/3/Bichy2000/4/Arupo/K8755//Mora	ICARDA

کلید ژنوتیپ‌ها (۲۵ ژنوتیپ) در ارزیابی آزمایشگاهی بررسی شدند ولی در ارزیابی مزرعه ای فقط ژنوتیپ‌های ۱ تا ۲۰ بررسی شدند
All 25 genotypes were tested in laboratory, but only genotypes 1-20 test in the field.

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی ایستگاه تحقیقات کشاورزی یزد در سال‌های زراعی ۱۳۹۵-۹۶ و ۹۷-۱۳۹۶

Table 2. Meteorological information of agricultural research station of Yazd during 2016-17 and 2017-18 cropping seasons

Parameter	پارامتر	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.
2016-17										
Min. RH (%)	حداقل رطوبت نسبی (%)	10	13	21	26	25	18	16	14	5
Max. RH (%)	حداکثر رطوبت نسبی (%)	25	33	51	63	70	59	47	45	13
Rainfall (mm)	بارندگی (میلی متر)	0.0	0.0	1.9	1.5	9	1.3	1.7	11.6	0
Min. temp. (°C)	درجه حرارت حداقل (سانتی گراد)	16.7	10.7	3.6	2.2	2.8	6.6	13.5	18.8	24.0
Max. temp. (°C)	درجه حرارت حداکثر (سانتی گراد)	31.0	25.3	16.1	15.9	15.1	19.8	27.1	32.2	39.1
Evaporation (mm)	تبخیر (میلی متر)	257.7	167.2	90.0	55.4	0.0	110.3	259.7	335.0	480.9
2017-18										
Min. RH (%)	حداقل رطوبت نسبی (%)	9.0	11.0	17.0	14.0	22.0	17.0	16.0	19.0	9.0
Max. RH (%)	حداکثر رطوبت نسبی (%)	26.0	28.0	40.0	41.0	57.0	51.0	46.0	58.0	26.0
Rainfall (mm)	بارندگی (میلی متر)	0.0	0.0	0.4	1.2	7.4	1.3	11.1	14.5	0.2
Min. temp. (°C)	درجه حرارت حداقل (سانتی گراد)	15.6	10.6	3.3	3.7	4.9	9.6	13.4	16.1	24.2
Max. temp. (°C)	درجه حرارت حداکثر (سانتی گراد)	30.7	25.4	16.9	17.9	17.1	22.5	27.1	28.4	37.4
Evaporation (mm)	تبخیر (میلی متر)	262.0	160.8	65.9	0.0	0.0	130.7	246.5	283.0	416.0

۱۰- مگاپاسکال این سطح از آزمایش حذف شد). پتانسیل‌های مورد نظر با استفاده از نمک پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ طبق دستورالعمل میچل و کافمن (Michel and Kaufman, 1973) و برای پتانسیل صفر (شاهد) از آب مقطر استفاده شد. میزان پلی اتیلن گلیکول مورد نیاز از رابطه ۱ به دست آمد.

فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. در این آزمایش فاکتور اول شامل ۲۵ ژنوتیپ و فاکتور دوم پتانسیل اسمزی شامل سه سطح صفر (شاهد)، ۵- و ۱۰- مگاپاسکال در نظر گرفته شد (با توجه به عدم قابلیت یادداشت‌برداری صفات طول کلئوپتیل و وزن ریشه چه در سطح

$$\psi_s = (1.18 \times 10^{-2}) C - (1.18 \times 10^{-4}) C^2 + (2.67 \times 10^{-4}) CT + (8.39 \times 10^{-7}) C^2T \quad \text{رابطه ۱:}$$

دستگاه تنظیم گردید.

از زمان قرارداد پتری دیش‌ها در ژرمیناتور، ثبت جوانه‌زنی به صورت دو روز یک بار از روز دوم شروع شد و تا روز دهم ادامه داشت. خروج ریشه‌چه دو میلی‌متری از پوست بذر، به عنوان زمان جوانه‌زنی در نظر گرفته شد (Soltani *et al.*, 2002). در انتهای آزمایش (پایان روز دهم) پنج گیاهچه از داخل هر پتری دیش بصورت تصادفی انتخاب و وزن ریشه‌چه با ترازو حساس و طول کلئوپتیل با خط کش بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری و ثبت شد. ریشه‌چه‌ها در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد در داخل آون به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت و سپس وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد.

برای بدست آوردن درصد جوانه‌زنی از رابطه ۲ استفاده شد (Scott *et al.*, 1984). سپس با استفاده از روابط ارائه شده توسط بوسلاما و شاپوک (Bousslama and Schapaugh, 1984) سرعت جوانه‌زنی (PI)

در این رابطه (۱) ψ_s پتانسیل اسمزی بر حسب بار، C غلظت پلی اتیلن گلیکول بر حسب گرم در لیتر و T درجه حرارت بر حسب درجه سانتی‌گراد بود.

در این آزمایش، ۲۵ عدد بذر از هر ژنوتیپ انتخاب و از هر ژنوتیپ بزرگترین بذرهای هم‌اندازه انتخاب شدند. ابتدا بذرهای به مدت ۱۰ ثانیه در الکل ۹۶ درصد و سپس به مدت ۵۰ ثانیه در محلول هیپوکلرید سدیم ۱۵ درصد ضد عفونی و سپس با آب مقطر شسته شدند. پتری دیش‌ها و کاغذ صافی و محلول‌های تهیه شده نیز اتوکلاو شدند. در داخل هر پتری دیش یک عدد کاغذ صافی واتمن قرار داده و بر روی آن ۲۵ عدد بذر گذاشته شد. سپس ۱۰ میلی‌لیتر از محلول‌های آماده شده بر روی آن‌ها ریخته شد. در مرحله بعد پتری دیش‌ها به داخل ژرمیناتور با دمای ۱۸+ درجه سانتی‌گراد منتقل گردیدند. برای جلوگیری از تبخیر محلول داخل پتری، درب ظرف را بسته و رطوبت نسبی

از رابطه ۳ و شاخص بنیه بذر با استفاده از رابطه ۴ (Agrawal, 2003) محاسبه گردیدند.

$$\text{رابطه ۲: } \left(\frac{\text{تعداد بذرهای جوانه زده تا روز ۱ام}}{\text{تعداد کل بذور جوانه زده}} \right) \times 100 = \text{درصد جوانه زنی}$$

$$\text{رابطه ۳: } \text{PI} = \text{nd}2(1/0) + \text{nd}4(0/8) + \text{nd}6(0/6) + \text{nd}8(0/4) + \text{nd}10(0/2)$$

در رابطه ۳، nd2، nd4، nd6، nd8 و nd10 به ترتیب تعداد بذور جوانه زده در روزهای دوم، چهارم، ششم، هشتم و دهم است.

$$\text{رابطه ۴: } \text{طول گیاه چه} \times \text{درصد جوانه زنی نهائی} = \text{شاخص بنیه بذر}$$

شش خط کاشت به طول شش متر و فاصله ۲۰ سانتی متر روی دو پشته کشت گردید. مساحت کاشت هر کرت ۷/۲ مترمربع و پس از حذف ۰/۵ متر از بالا و پایین هر کرت، مساحت برداشت از هر کرت شش متر مربع انجام بود.

میزان کودهای مصرفی پتاس، فسفات و کود اوره (در دو نوبت یکی در مرحله پنجه زنی و در مرحله ظهور سنبله) براساس آزمون خاک، استفاده شد. میزان بذر بر اساس ۳۵۰ دانه در هر مترمربع، و توزین بذر لازم برای کاشت در هر کرت با توجه به وزن هزار دانه ژنوتیپها انجام گردید. برای جلوگیری از خسارت علفهای هرز پهن برگ از علف کش گرانستار و علفهای هرز نازک برگ از علف کش پوماکسترا استفاده شد. در طول فصل زراعی از صفات مختلف در دو شرایط یادداشت برداری به عمل آمد. در پایان هر فصل بعد از رسیدگی

در شرایط مزرعه مقایسه عملکرد دانه ۱۸ لاین امیدبخش جو انتخابی از آزمایش لاینهای پیشرفته سال قبل (۹۵-۱۳۹۴) همراه دو ژنوتیپ شاهد، رقم یوسف و لاین MB-93-16 (جمعاً ۲۰ ژنوتیپ)، در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی آخر فصل در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی (۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶) انجام شد. در شرایط تنش، قطع آبیاری در ۵۰ درصد سنبله دهی (زمانی که ۵۰ درصد سنبله ها در کرت های آزمایشی به سنبله رفته بودند) اعمال گردید و در شرایط بدون تنش، آبیاری کامل تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی انجام شد.

عملیات تهیه زمین بر اساس عرف آزمایشهای غلات در ایستگاه مربوطه انجام شد. تاریخ کاشت در محدوده زمانی معمول در منطقه در اواسط آبان انجام شد. در هر کرت

برای انجام تجزیه واریانس مرکب آزمون همگنی واریانس اشتباه‌های آزمایشی با استفاده از آزمون بارتلت انجام گرفت. نتایج حاکی از همگن بودن واریانس اشتباهات آزمایشی و قابل انجام بودن تجزیه واریانس مرکب بود.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌های آزمایش مرحله جوانه‌زنی در شرایط آزمایشگاه نشان داد که اثر ژنوتیپ، پتانسیل اسمزی و اثر متقابل ژنوتیپ × پتانسیل اسمزی بر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول کلئوپتیل، وزن ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری بود (جدول ۳). با توجه به عدم قابلیت یادداشت‌برداری صفات طول کلئوپتیل و وزن ریشه‌چه در سطح ۱۰- مگاپاسکال این سطح از آزمایش حذف گردید و تجزیه واریانس داده‌ها با دو سطح صفر (شاهد) و ۵- مگاپاسکال انجام شد. معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ‌ها بر صفات مختلف نشان‌دهنده تفاوت ژنتیکی در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی بود.

وجود تنوع ژنتیکی مؤثر در صفات مورد بررسی برای انتخاب لاین‌هایی با خصوصیات مختلف در جو می‌تواند مفید باشد. در واقع واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ‌های مورد آزمایش از نظر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول کلئوپتیل، وزن ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر تحت تأثیر پتانسیل اسمزی مختلف، از خصوصیات ژنتیکی آنها بود. با افزایش

کامل کرت‌های جو برداشت و عملکرد دانه هر کدام از لاین‌ها توزین و یادداشت شد.

برای برآورد شاخص‌های حساسیت و یا تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های مورد بررسی، از پارامترهای پیشنهادی توسط فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978)، فرناندز (Fernandez, 1992) روزیلی و هامبلین (Rosielle and Hamblin 1981) استفاده شد. شاخص‌ها عبارت بودند از: SSI (شاخص حساسیت به خشکی)، TOL (شاخص تحمل)، MP (شاخص بهره‌وری متوسط)، GMP (شاخص میانگین هندسی بهره‌وری)، STI (شاخص تحمل به تنش)، YI (شاخص عملکرد)، YSI (شاخص پایداری عملکرد)، HM (میانگین هارمونیک) و RSI (شاخص نسبی خشکی)، که با استفاده از برنامه iPASTIC (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2019) محاسبه شده و رتبه بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس تحمل به خشکی در هر شاخص انجام شد.

با استفاده از رتبه‌های محاسبه شده برای هر یک از شاخص‌ها، میانگین و انحراف معیار رتبه تحمل به تنش برای کلیه ژنوتیپ‌ها تعیین شد. برای انجام محاسبات آماری (تجزیه واریانس و مقایسه‌های میانگین) از نرم افزارهای Excel و SAS و برای محاسبه شاخص‌ها و رسم پلات‌ها از برنامه iPASTIC (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2019) استفاده گردید.

جدول ۳- تجزیه واریانس برای صفات مختلف ژنوتیپ‌های جو در شرایط آزمایشگاه
Table 3. Analysis of variance for different traits of barley genotypes under laboratory conditions

S.O.V.	منبع تغییر	df	میانگین مربعات صفات (MS)				
			درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول کلئوپتیل Coleoptile length	وزن ریشه‌چه Radicle weight	شاخص بنیه بذر Seed vigor index
Block	بلوک	2	1210.3**	423.50**	2.612**	0.551**	60865.6**
Genotype (G)	ژنوتیپ	24	343.1*	51.04**	0.666**	0.034**	5558.3**
Osmotic potential (P)	پتانسیل اسمزی	1	10888.5**	1282.40**	19.98**	0.0773**	515879.5**
G × P	ژنوتیپ × پتانسیل اسمزی	24	458.5**	13.75*	0.407**	0.025**	9224.1**
Error	اشتباه	98	210.3	8.38	0.065	0.008	2530.4
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات		17.28	18.62	7.397	27.74	17.13

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

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

صفر به ۵- مگاپاسکال کلیه صفات اندازه‌گیری شده کاهش یافتند و از این نظر تفاوت معنی‌داری بین سطوح تنش وجود داشت (جدول ۴).

کاهش سرعت و درصد جوانی زنی به دلیل آن است که تنش باعث افزایش فشار اسمزی در محیط اطراف بذر می‌شود که در این صورت جذب آب توسط بذر با اشکال مواجه می‌گردد. هر چه بذرهاژنوتیپ‌ها بتوانند در مدت زمان کمتر، درصد جوانه زنی بیشتری داشته باشند از سرعت جوانه‌زنی بالاتری برخوردار هستند. کاهش شاخص‌های جوانه زنی را می‌توان با کاهش سرعت جذب اولیه آب مرتبط دانست. تنش اسمزی با محدود کردن جذب آب توسط بذر، تأثیر بر حرکت انتقال ذخایر بذر و با تأثیر مستقیم بر ساختمان آن بیشتر پروتئین در جنین جوانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

تنش خشکی قدرت جذب آب توسط بذرها کاهش می‌یابد و شروع فرآیندهای جوانه‌زنی را علاوه بر اینکه به تأخیر می‌اندازد می‌تواند اختلال در آن ایجاد کند.

با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × پتانسیل اسمزی می‌توان استنباط کرد که صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌ها در سطوح مختلف پتانسیل اسمزی تغییرات نشان دادند و تحت تأثیر پتانسیل اسمزی قرار گرفتند و تأثیر پتانسیل اسمزی بر ژنوتیپ‌ها یکسان نبود. بنابراین بنظر میرسد آن دسته از ژنوتیپ‌ها که قادرند در پتانسیل اسمزی پائین‌تر، آب جذب نموده و به رشد خود ادامه دهند در مراحل بعدی نیز قادر خواهند بود تا تنش را بهتر تحمل کنند.

مقایسه میانگین‌های درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول کلئوپتیل، وزن ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر در دو سطح پتانسیل اسمزی نشان داد که با افزایش شدت تنش اسمزی از

جدول ۴- میانگین صفات مختلف مربوط به جوانه زنی ژنوتیپ‌های جو در دو سطح پتانسیل اسمزی در شرایط آزمایشگاه

Table 4. Mean of different germination related traits of barley genotypes at two osmotic potential levels under laboratory conditions

پتانسیل اسمزی (مگا پاسکال) Osmotic potential (MPa)	درصد جوانه‌زنی Germination (%)	سرعت جوانه‌زنی (روز) Germination Rate (day)	طول کلئوپتیل (سانتیمتر) Coleoptile length (cm)	وزن ریشه‌چه (گرم) Radicle weight (g)	شاخص بینه بذر Seed vigor index
0	92.40	18.47	3.83	0.285	352.10
-5	75.36	12.61	3.10	0.239	234.80
LSD 5%	4.67	0.94	0.08	0.030	16.30
LSD 1%	6.22	1.24	0.11	0.039	21.58

داشتند و همچنین ژنوتیپ‌های شماره ۱۶، ۲۵، ۲۴، ۳ و ۲۰ به ترتیب بیشترین و شماره‌های ۱۲، ۱۹، ۱۷، ۵ و ۸ به ترتیب کمترین وزن ریشه‌چه را دارا بودند. مقایسه میانگین شاخص بینه بذر نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۲۱، ۱۰، ۱۶ و ۲۵ به ترتیب بیشترین و ژنوتیپ‌های شماره ۲۰، ۱۹، ۷، ۱۴ و ۲۳ به ترتیب کمترین بینه بذری را دارا بودند (جدول ۵).

از آنجایی که اثر متقابل ژنوتیپ × پتانسیل اسمزی بر کلیه صفات معنی‌دار بود، بنابراین مقایسه میانگین‌ها برای کلیه صفات ژنوتیپ‌ها در سطوح مختلف پتانسیل اسمزی انجام شد (جدول ۶). در سطح پتانسیل اسمزی ۵- مگا پاسکال بیشترین درصد جوانه‌زنی به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های شماره ۷، ۲۵، ۱۶، ۴ و ۲۴ و کمترین آن به ترتیب مربوط به شماره‌های ۱۴، ۵، ۱۹، ۱ و ۸ بود. ژنوتیپ‌های شماره ۲۵، ۲۴، ۷، ۱۱ و ۹ به ترتیب بالاترین و ژنوتیپ‌های ۱۹، ۱۴، ۸، ۲۲ و ۵ به ترتیب کمترین سرعت جوانه‌زنی را داشتند.

مقایسه میانگین‌های اثر تنش پتانسیل اسمزی بر ژنوتیپ‌ها و مقایسه ژنوتیپ‌ها هنگام وقوع تنش، نشان داد که ژنوتیپ‌ها نسبت به سطوح مختلف پتانسیل اسمزی واکنش متفاوتی داشته‌اند. میانگین اثر سطوح مختلف پتانسیل اسمزی بر صفات مورد سنجش در ژنوتیپ‌های جو مورد بررسی در جدول ۵ ارائه شده است. همان‌طوری که نتایج نشان می‌دهند، از نظر درصد جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های شماره ۲۵، ۷، ۲۴، ۱۸ و ۱۶ به ترتیب بالاترین درصد (بالای ۹۰ درصد) و ژنوتیپ‌های ۵، ۱۹، ۴، ۱۴ و ۲۳ به ترتیب کمترین میانگین درصد جوانه‌زنی را داشتند. همچنین ژنوتیپ‌های شماره ۲۵، ۲۴، ۷، ۹ و ۱۸ به ترتیب بالاترین و ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۱۹، ۵، ۱۴ و ۱۲ به ترتیب کمترین مقدار سرعت جوانه‌زنی را نشان دادند (جدول ۵).

از نظر طول کلئوپتیل ژنوتیپ‌های ۳، ۸، ۴، ۲۱ و ۶ به ترتیب بیشترین و ژنوتیپ‌های ۲۰، ۷، ۱۹، ۱ و ۱۱ به ترتیب کمترین طول کلئوپتیل را

جدول ۵- میانگین صفات مختلف مربوط به جوانه زنی در ژنوتیپ های جو در شرایط آزمایشگاه

Table 5. Mean of different germination related traits in barley genotypes under laboratory conditions

شماره ژنوتیپ Genotype no.	درصد جوانه زنی Germination (%)	سرعت جوانه زنی (روز) Germination rate (day)	طول کلئوپتیل (سانتیمتر) Coleoptile length (cm)	وزن ریشه چه (گرم) Radicle weight (g)	شاخص بنیه بذر Seed vigor index
1	82	17.28	3.141	0.252	272.4
2	87	15.11	3.248	0.223	284.2
3	87	15.12	4.173	0.307	361.9
4	73	12.08	3.811	0.272	277.0
5	71	12.23	3.705	0.194	271.3
6	80	14.49	3.758	0.258	303.4
7	96	18.71	2.748	0.260	261.6
8	80	13.22	3.830	0.204	307.9
9	82	18.02	3.395	0.280	286.9
10	87	16.42	3.711	0.262	329.8
11	91	17.43	3.151	0.231	294.9
12	82	13.15	3.571	0.144	292.3
13	85	14.87	3.621	0.239	309.7
14	73	12.68	3.548	0.222	266.4
15	81	14.09	3.650	0.286	300.3
16	92	16.05	3.583	0.526	328.4
17	82	16.11	3.423	0.166	281.2
18	93	17.86	3.368	0.273	315.8
19	72	10.90	3.013	0.154	223.6
20	83	15.78	2.881	0.303	248.5
21	88	17.42	3.811	0.251	339.4
22	83	13.22	3.430	0.275	286.3
23	75	12.58	3.565	0.266	267.4
24	94	19.71	3.116	0.345	304.1
25	98	23.99	3.271	0.358	321.8
LSD 5%	16.62	3.32	0.293	0.104	57.6
LSD 1%	21.99	4.39	0.388	0.133	76.3

شماره ۴، ۳، ۱۲، ۱۶ و ۲۵ به ترتیب بیشترین و ژنوتیپ های ۱، ۱۹، ۱۴، ۵ و ۲۰ به ترتیب کمترین بنیه بذری را داشتند (جدول ۶). در آزمایشات تاثیر تنش خشکی در مرحله جوانه زنی که توسط عییری و همکاران (Abiri et al., 2016)، گراوندی و همکاران (Geravandi et al., 2010) و فرخی و همکاران (Farokhi et al., 2004) به ترتیب

ژنوتیپ های شماره ۳، ۱۲، ۸، ۴ و ۲۱ به ترتیب بیشترین و ژنوتیپ های ۱۱، ۲۴، ۱، ۲۰ و ۷ به ترتیب کمترین طول کلئوپتیل را داشتند (جدول ۶). ژنوتیپ های ۳، ۴، ۲۵، ۲۱ و ۱۶ به ترتیب بیشترین و ژنوتیپ های ۸، ۱۹، ۲۳، ۱۱ و ۱۴ به ترتیب کمترین وزن ریشه چه را دارا بودند. مقایسه میانگین شاخص بنیه بذر در سطح پتانسیل اسمزی ۵- بار نشان داد که ژنوتیپ های

جدول ۶- میانگین اثر متقابل پتانسیل اسمزی × ژنوتیپ بر صفات مختلف مربوط به جوانی زنی ژنوتیپ‌های جو در شرایط آزمایشگاه

Table 6. Mean of osmotic potential × genotype interaction effect on different germination related traits of barley genotypes under laboratory conditions

ژنوتیپ Genotype	درصد جوانه‌زنی Germination (%)	سرعت جوانه‌زنی (روز) Germination rate (day)	طول کلئوپتیل (سانتیمتر) Coleoptile length (cm)	وزن ریشه‌چه (گرم) Radicle weight (g)	شاخص بنیه بذر Seed vigor index
		Osmotic potential	(0 MPa)	(صفر مگاپاسکال)	پتانسیل اسمزی
G1	100	22.17	4.02	0.303	402.0
G2	94	19.37	3.58	0.222	333.4
G3	92	17.26	4.51	0.301	409.5
G4	56	11.11	4.05	0.242	230.0
G5	92	14.47	4.11	0.182	378.5
G6	88	17.97	4.25	0.251	370.2
G7	94	20.16	2.89	0.249	270.4
G8	96	17.50	3.95	0.237	377.4
G9	92	21.34	4.11	0.324	377.9
G10	100	20.54	3.99	0.292	399.0
G11	96	18.19	4.15	0.274	396.5
G12	84	14.39	3.40	0.038	284.7
G13	92	16.84	3.89	0.248	354.6
G14	100	18.90	3.80	0.244	381.0
G15	86	16.09	4.00	0.310	341.6
G16	94	19.20	3.82	0.773	357.4
G17	92	19.30	3.65	0.105	332.2
G18	100	21.17	3.78	0.323	377.0
G19	94	15.64	3.17	0.132	297.2
G20	92	19.26	3.37	0.360	310.1
G21	100	20.67	4.16	0.222	415.0
G22	96	16.94	3.71	0.291	355.2
G23	80	14.54	3.84	0.347	303.4
G24	100	21.46	3.99	0.442	400.0
G25	100	27.21	3.48	0.424	349.0
		Osmotic potential	(-5 MPa)	(-۵ مگاپاسکال)	پتانسیل اسمزی
G1	64	12.41	2.26	0.203	142.9
G2	80	10.86	2.92	0.224	235.2
G3	82	12.98	3.83	0.315	314.4
G4	90	13.06	3.57	0.304	324.0
G5	50	10.00	3.30	0.207	164.1
G6	72	11.03	3.27	0.265	236.6
G7	98	17.27	2.61	0.273	252.8
G8	64	8.87	3.71	0.172	238.5
G9	72	14.72	2.68	0.238	196.0
G10	74	12.31	3.43	0.234	260.6
G11	86	16.69	2.16	0.190	193.3
G12	80	11.91	3.74	0.251	299.9
G13	78	12.90	3.35	0.232	264.8
G14	46	6.46	3.30	0.201	151.8
G15	76	12.10	3.30	0.264	259.0
G16	90	12.91	3.35	0.280	299.5
G17	72	12.94	3.19	0.228	230.2
G18	86	14.55	2.95	0.225	254.7
G19	50	6.16	2.86	0.178	150.2
G20	74	12.31	2.40	0.246	187.0
G21	76	14.18	3.47	0.281	263.8
G22	70	9.51	3.15	0.260	217.4
G23	70	10.62	3.29	0.187	231.4
G24	88	17.97	2.25	0.249	208.2
G25	96	20.78	3.07	0.294	294.6
LSD%5	23.444	4.68	0.41	0.145	81.3
LSD%1	31.022	6.19	0.54	0.191	107.6

می شود.
 مطالعه همبستگی بین صفات مختلف در آزمایش جوانه زنی نشان داد که بنیه بذر با درصد جوانه زنی ($r = 0.710^{**}$)، طول کلئوپتیل ($r = 0.601^{**}$) و وزن ریشه چه ($r = 0.740^{**}$) دارای همبستگی قوی و مثبت بود (جدول ۷). درصد جوانه زنی ژنوتیپ ها با سرعت جوانه زنی ($r = 0.828^{**}$) و وزن ریشه چه ($r = 0.640^{**}$) همبستگی مثبت معنی دار داشت. سرعت جوانه زنی با وزن ریشه چه ($r = 0.487^*$) نیز همبستگی مثبت و معنی دار نشان داد (جدول ۷).

بر روی ژنوتیپ های جو، گندم و سویا انجام شد با افزایش تنش خشکی صفات اندازه گیری شده (درصد جوانه زنی، سرعت جوانه زنی، وزن ریشه چه و شاخص بنیه بذر) کاهش معنی داری یافتند که با نتایج این تحقیق هم خوانی دارد. افزایش شدت تنش خشکی، باعث کاهش در میزان آب قابل دسترس بذر برای جوانه زنی شده و در نتیجه سرعت فرایندهای متابولیکی کاهش پیدا کرده و منجر به کاهش درصد جوانه زنی، سرعت جوانه زنی، طول کلئوپتیل، وزن ریشه چه و شاخص بنیه بذر

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین صفات مرتبط با جوانه زنی ژنوتیپ های جو در شرایط آزمایشگاه

Table 7. Correlation coefficients between germination related traits of barley genotype under laboratory conditions

	درصد جوانه زنی Germination	سرعت جوانه زنی Germination rate	طول کلئوپتیل Coleoptile length	وزن ریشه چه Radicle weight
Germination rate	سرعت جوانه زنی 0.828**			
Length of coleoptile	طول کلئوپتیل -0.118	-0.372		
Radicle weight	وزن ریشه چه 0.640**	0.487*	0.278	
Seed vigor index	شاخص بنیه بذر 0.710**	0.390	0.601**	0.740**

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

**و * به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

(Geravandi *et al.*, 2010) نیز در ژنوتیپ های گندم گزارش کردند بین درصد جوانه زنی با سرعت جوانه زنی و بنیه بذر همبستگی مثبت معنی دار وجود داشت که با نتایج حاصل از این آزمایش مطابقت دارد. بنابراین می توان با انتخاب برای این صفات نسبت به انتخاب ژنوتیپ های متحمل تر در مرحله جوانه زنی و استقرار گیاه اقدام نمود. درصد جوانه زنی با وزن

عگیری و همکاران (Abiri *et al.*, 2016) در بررسی تحمل تنش خشکی ژنوتیپ های جو در مرحله جوانه زنی با استفاده از پلی اتیلن گلیکول به این نتیجه رسیدند که سرعت جوانه زنی بیشترین همبستگی را با درصد جوانه زنی داشت و بنیه بذر با طول ساقه چه، وزن ریشه چه و درصد جوانه زنی دارای همبستگی بالایی بود. گراوندی و همکاران

نتایج در شرایط مزرعه:

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها برای عملکرد دانه با فرض تصادفی بودن سال و ثابت بودن ژنوتیپ‌ها در شرایط بهینه و خشکی نشان داد که برای هر دو شرایط اثر سال و اثر متقابل ژنوتیپ × سال بر روی عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۸).

ریشه‌چه مرتبط بود. ریشه‌چه قبل از این که اندام‌های دیگر گیاه از بذر بیرون آیند، ظاهر می‌شوند، در نتیجه قبل از اندام‌های دیگر در معرض تنش‌های محیطی قرار می‌گیرند. بنابراین، وزن ریشه‌چه می‌تواند معیار مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی باشد.

جدول ۸- تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در شرایط بدون تنش و تنش خشکی در مزرعه

Table 8. Combined analysis of variance for grain yield of barley genotypes under non-stress and stress under field conditions

S.O.V.	منبع تغییر	درجه آزادی d.f	عملکرد دانه در شرایط بدون تنش Grain yield under non-stress conditions	عملکرد دانه در شرایط تنش Grain yield under stress conditions
Year (Y)	سال	1	34.40**	32.62**
Error1	اشتباه ۱	4	0.428	0.012
Genotype (G)	ژنوتیپ	19	0.897	1.193
Y × G	سال × ژنوتیپ	19	0.643**	0.826**
Error2	اشتباه ۲	76	0.043	0.017
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات		5.74	5.49

** : Significant at the 1% probability level.

** : معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

۳/۱۶۵ تن در هکتار و کمترین عملکرد دانه به ترتیب به ژنوتیپ‌های ۹ و ۶ با میانگین ۱/۶۳۴ و ۱/۷۳۴ تن در هکتار مربوط بود (جدول ۹).

برای تعیین تحمل ژنوتیپ‌های تحت بررسی به تنش خشکی از میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط تنش (Ys) و میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش (Yp) استفاده شد و شاخص‌های تحمل به خشکی بر این اساس محاسبه شدند (جدول ۹).

مقایسه میانگین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش نشان داد که بیشترین عملکرد دانه به ترتیب به ژنوتیپ‌های ۱۶ و ۲۰ با میانگین ۴/۴۷۹ و ۴/۰۴۱ تن در هکتار و کمترین عملکرد دانه مربوط به ترتیب به ژنوتیپ‌های ۱ و ۱۳ با میانگین ۲/۷۷۸ و ۳/۱۷۰ تن در هکتار تعلق داشت (جدول ۹). مقایسه میانگین عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی نشان داد که بیشترین عملکرد دانه به ترتیب به ژنوتیپ‌های ۱۶ و ۱۱ با میانگین ۳/۴۶۶ و

جدول ۹- میانگین عملکرد دانه، شاخص‌های تحمل به خشکی، رتبه، مجموع رتبه، میانگین رتبه و انحراف معیار رتبه مربوط به هر شاخص برای ژنوتیپ‌های جو در شرایط بدون تنش و تنش خشکی در شرایط مزرعه

Table9. Mean grain yield, drought tolerant indices, rank, sum of rank, mean of rank and standard deviation of rank for each indices for barley genotypes in non-stress and stress under field conditions

ژنوتیپ Genotype	Yp	Ys	TOL	SSI	MP	GMP	STI	YI	YSI	HM	RSI	SR	AR	SDR
1	2.778(20)	2.262(12)	0.515(1)	0.557(1)	2.520(20)	2.507(18)	0.478(18)	0.936(12)	0.814(1)	2.494(18)	1.222(1)	122	11.091	8.432
2	3.944(5)	2.115(16)	1.829(19)	1.392(18)	3.029(10)	2.888(12)	0.634(12)	0.875(16)	0.536(18)	2.753(12)	0.805(18)	156	14.182	4.355
3	3.805(7)	2.582(5)	1.223(12)	0.965(10)	3.193(5)	3.134(5)	0.747(5)	1.068(5)	0.679(10)	3.076(5)	1.018(10)	79	7.182	2.750
4	4.018(4)	3.082(3)	0.936(6)	0.699(4)	3.550(3)	3.519(3)	0.942(3)	1.275(3)	0.767(4)	3.488(3)	1.151(4)	40	3.636	0.924
5	3.566(12)	2.663(4)	0.902(4)	0.760(5)	3.115(6)	3.082(6)	0.722(6)	1.102(4)	0.747(5)	3.049(6)	1.121(5)	63	5.727	2.240
6	3.565(13)	1.735(19)	1.831(20)	1.542(19)	2.650(17)	2.487(19)	0.470(19)	0.718(19)	0.487(19)	2.334(19)	0.730(19)	202	18.364	1.912
7	3.411(16)	2.453(9)	0.958(7)	0.843(8)	2.932(12)	2.892(11)	0.636(11)	1.015(9)	0.719(8)	2.853(10)	1.079(8)	109	9.909	2.548
8	3.212(17)	2.227(14)	0.985(8)	0.921(9)	2.720(16)	2.675(16)	0.544(16)	0.921(14)	0.693(9)	2.63(16)	1.040(9)	144	13.091	3.562
9	3.442(15)	1.634(20)	1.807(18)	1.577(20)	2.538(19)	2.372(20)	0.428(20)	0.676(20)	0.475(20)	2.216(20)	0.712(20)	212	19.273	1.555
10	3.579(11)	2.088(17)	1.490(15)	1.251(16)	2.833(14)	2.734(15)	0.568(15)	0.864(17)	0.584(16)	2.637(15)	0.875(16)	167	15.182	1.662
11	4.036(3)	3.165(2)	0.871(3)	0.648(2)	3.601(2)	3.574(2)	0.972(2)	1.310(2)	0.784(2)	3.548(2)	1.177(2)	24	2.182	0.405
12	3.190(18)	2.349(11)	0.841(2)	0.792(7)	2.769(15)	2.737(14)	0.570(14)	0.972(11)	0.736(7)	2.705(14)	1.105(7)	120	10.909	4.700
13	3.170(19)	2.080(18)	1.090(10)	1.032(13)	2.625(18)	2.568(17)	0.501(17)	0.861(18)	0.656(13)	2.512(17)	0.985(13)	173	15.727	2.936
14	3.598(10)	2.193(15)	1.405(14)	1.173(15)	2.895(13)	2.809(13)	0.600(13)	0.907(15)	0.610(15)	2.725(13)	0.915(15)	151	13.727	1.555
15	3.885(6)	2.253(13)	1.632(17)	1.262(17)	3.069(8)	2.958(10)	0.666(10)	0.932(13)	0.580(17)	2.852(11)	0.870(17)	139	12.636	3.982
16	4.479(1)	3.466(1)	1.012(9)	0.679(3)	3.972(1)	3.940(1)	1.181(1)	1.434(1)	0.774(3)	3.908(1)	1.161(3)	25	2.273	2.412
17	3.449(14)	2.546(6)	0.902(4)	0.786(6)	2.997(11)	2.963(9)	0.668(9)	1.053(6)	0.738(6)	2.929(8)	1.108(6)	85	7.727	2.867
18	3.628(9)	2.453(9)	1.175(11)	0.973(11)	3.040(9)	2.983(8)	0.677(8)	1.015(9)	0.676(11)	2.927(9)	1.015(11)	105	9.545	1.214
19	3.730(8)	2.465(8)	1.266(13)	1.019(12)	3.098(7)	3.032(7)	0.699(7)	1.020(8)	0.661(12)	2.968(7)	0.992(12)	101	9.182	2.483
20	4.041(2)	2.521(7)	1.520(16)	1.130(14)	3.281(4)	3.192(4)	0.775(4)	1.043(7)	0.624(14)	3.105(4)	0.936(14)	90	8.182	5.231
LSD 5%	0.969	1.099												
LSD 1%	1.325	1.502												

Mean again yield under stress conditions (Ys)	میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ در محیط تنش	Mean grain yield under non-stress conditions (Yp)	میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ در محیط بدون تنش
Tolerance Index (TOL)	شاخص تحمل	Stress Susceptibility Index (SSI)	شاخص‌های حساسیت به خشکی
Geometric Mean Productivity (GMP)	میانگین هندسی	Mean Productivity (MP)	میانگین بهره وری
Harmonic Mean (HM)	میانگین هارمونیک	Stress Tolerance Index (STI)	شاخص تحمل به خشکی
Yield Stability Index (YSI)	شاخص پایداری عملکرد	Yield Index (YI)	شاخص عملکرد
Sum of Rank (SR)	مجموع رتبه هر ژنوتیپ در کل شاخص‌ها	Relative Drought Index (RSI)	و شاخص نسبی خشکی
Standard Deviation of Rank (SDR)	و انحراف معیار رتبه هر ژنوتیپ در کل شاخص‌ها	Average of Rank (AR)	میانگین رتبه هر ژنوتیپ در کل شاخص‌ها

*Numbers in pranteses represents rank of genotypes.

* توضیح: اعداد داخل پرانتز رتبه ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهند.

تنش (Y_s) و بدون تنش (Y_p) و شاخص‌های تحمل به خشکی مختلف نشان داد که همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط تنش (Y_s) و بدون تنش (Y_p) مثبت و معنی‌دار ($r = 0.599^{**}$) بود (جدول ۱۰). عملکرد دانه در شرایط بدون تنش با شاخص‌های MP ، GMP ، STI ، HM و YI همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار نشان داد و با شاخص‌های TOL ، SSI ، YSI و RSI هیچ ارتباطی نداشت. عملکرد دانه در شرایط تنش با شاخص‌های MP ، GMP ، STI ، HM ، YI ، YSI و RSI همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار و با شاخص‌های TOL و SSI همبستگی منفی و معنی‌دار داشت (جدول ۱۰).

به طور کلی شاخص‌هایی که دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش بودند به عنوان شاخص‌های مطلوب معرفی می‌شوند. با توجه به جدول ۱۰ ملاحظه می‌شود که شاخص‌های MP ، GMP ، STI و HM همبستگی‌های معنی‌دار و بالایی با عملکرد دانه در هر دو محیط داشتند و شاخص‌های مطلوبی می‌باشند. گل‌آبادی و همکاران (Golabadi *et al.*, 2006) شاخص‌های MP ، STI و GMP را برای گندم دوروم به عنوان شاخص‌های مطلوب برای دستیابی به ارقام پر محصول در شرایط تنش و غیرتنش معرفی کردند. نتایج حاصل از مطالعات سایر محققان (Abou-Elwafa, 2016; Mrizova *et al.*, 2016; Ahmed, 2016) نیز نشان داد که شاخص‌های MP ، STI و GMP

بر اساس دو شاخص SSI و TOL که مقادیر عددی پایین آنها نشان دهنده حساسیت کمتر ژنوتیپ نسبت به تنش می‌باشد، با در نظر گرفتن شاخص SSI ژنوتیپ‌های ۱، ۱۱، ۱۶ و ۴ بر اساس شاخص TOL ژنوتیپ‌های ۱، ۱۲، ۱۱ و ۵ در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها به عنوان ژنوتیپ‌هایی با حساسیت کمتر نسبت به خشکی آخر فصل شناسایی شدند. از طرفی بر اساس شاخص‌های MP ، GMP ، HM ، STI ، YI ، YSI که مقادیر بالای آن‌ها دلالت بر تحمل بالاتر ژنوتیپ تحت بررسی دارد، ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۱، ۴ و ۲۰ برای اغلب شاخص‌ها به عنوان ژنوتیپ‌های با تحمل به خشکی و عملکرد بالا در هر دو شرایط شناسایی شدند.

مقادیر بالای شاخص‌های MP ، GMP ، HM ، STI ، YI ، YSI برای یک ژنوتیپ حاکی از آن است که آن ژنوتیپ تحمل به تنش بالاتر و پتانسیل عملکرد بیشتری دارد. بر اساس نتایج مربوط به رتبه ژنوتیپ‌های جو برای هر یک از شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی (رتبه مربوط به هر ژنوتیپ از نظر شاخص مورد نظر داخل پرانتز در جدول ۹ ارائه شده است) آماره‌های مجموع رتبه، میانگین رتبه و انحراف معیار رتبه ژنوتیپ‌های جو برای کلیه شاخص‌های مورد استفاده محاسبه و نتایج نشان داد که ژنوتیپ ۱۱ مطلوب‌ترین ژنوتیپ بود و بعد از آن ژنوتیپ‌های ۱۶ و ۴ به عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناخته شدند (جدول ۹).

مطالعه همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط

جدول ۱۰- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی بر اساس میانگین‌های دو سال

Table 10. Correlation coefficients between drought tolerance indices using two-years' averages

	YP	YS	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI
YS	0.599**									
TOL	0.321	-0.566**								
MP	0.878**	0.909**	-0.172							
GMP	0.821**	0.949**	-0.277	0.994**						
HM	0.764**	0.973**	-0.365	0.979**	0.996**					
SSI	0.055	-0.763**	0.960**	-0.428	-0.523*	-0.599**				
STI	0.820**	0.946**	-0.276	0.992**	0.997**	0.991**	-0.518*			
YI	0.598**	1.000**	-0.567**	0.909**	0.948**	0.973**	-0.764**	0.946**		
YSI	-0.054	0.764**	-0.960**	0.428	0.524*	0.600**	-1.000**	0.518*	0.764**	
RSI	-0.055	0.763**	-0.960**	0.427	0.523*	0.599**	-1.000**	0.517*	0.764**	1.000**

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

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

Mean grain yield under stress conditions (Ys)	میانگین عملکرد دانه زونوتیب در محیط تنش	Mean grain yield under non-stress conditions (Yp)	میانگین عملکرد دانه زونوتیب در محیط بدون تنش
Tolerance Index (TOL)	شاخص تحمل	Stress Susceptibility Index (SSI)	شاخص‌های حساسیت به خشکی
Geometric Mean Productivity (GMP)	میانگین هندسی	Mean Productivity (MP)	میانگین بهره وری
Harmonic Mean (HM)	میانگین هارمونیک	Stress Tolerance Index (STI)	شاخص تحمل به خشکی
Yield Stability Index (YSI)	شاخص پایداری عملکرد	Yield Index (YI)	شاخص عملکرد
		Relative Drought Index (RSI)	شاخص نسبی خشکی

در این بررسی اولین مؤلفه ۷۲/۸۷ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توضیح داد و همبستگی مثبت و خیلی معنی دار با عملکرد دانه در شرایط تنش (Y_S)، بدون تنش (Y_P)، شاخص‌های MP، GMP، STI، HM، YI، YSI و RSI و همبستگی منفی معنی‌داری با TOL و SSI داشت. از این رو می‌تواند به‌عنوان مؤلفه پتانسیل و تحمل به‌خشکی نام‌گذاری شود. این مؤلفه قادر است ژنوتیپ‌های دارای پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به خشکی را از ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین و حساس به تنش جدا کند.

دومین مؤلفه حدود ۲۷ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توضیح داد و دارای همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Y_P) و شاخص‌های TOL و SSI و همبستگی منفی معنی‌داری با شاخص RSI داشت. بنابراین مؤلفه دوم را می‌توان به‌عنوان مؤلفه حساسیت به تنش که ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه پایین در شرایط تنش و مقادیر بالای TOL و SSI را جدا می‌کند، نام نهاد.

همان‌طور که از شکل ۱ پیداست، با توجه به زوایای خطوطی که شاخص‌ها نمایش می‌دهند، ملاحظه می‌شود که شاخص‌های SSI و TOL همبستگی منفی و بالایی با عملکرد دانه در شرایط تنش (Y_S) و همبستگی مثبت با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Y_P) دارند. همین‌طور شاخص‌های MP، GMP، STI، HM، YI، YSI و RSI با هر دو عملکرد تنش و

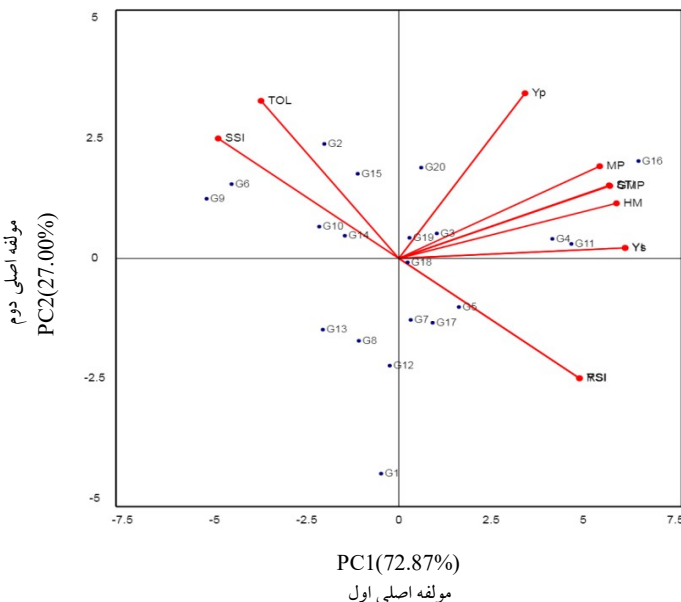
بالاترین همبستگی را با عملکرد دانه در شرایط تنش و عدم تنش دارا بودند که با نتایج مطالعه حاضر تطابق دارد.

مطالعه همبستگی بین صفات در مرحله جوانه‌زنی با شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی نشان داد که در مرحله جوانه‌زنی فقط وزن ریشه‌چه با شاخص‌های MP، GMP، STI و HM همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار بود (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). این نتایج با یافته‌های فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978) و پن و همکاران (Pan et al., 2002) مبنی بر این که همبستگی بین صفات جوانه‌زنی با شاخص‌های STI، MP و GMP در شرایط بدون تنش و تنش خشکی می‌تواند در جداسازی ژنوتیپ‌های موثر واقع شود هم‌خوانی داشت. اطلاعات مربوط به ژنوتیپ شماره ۱۶ در جدول ۶ و ۹ نیز نشان می‌دهد که این ژنوتیپ بیشترین وزن ریشه‌چه و عملکرد دانه را در دو شرایط داشت.

برای مطالعه روابط بین بیش از سه متغیر، یک نمودار حاصل از نمایش چند متغیره مانند نمایش بای‌پلات مفید می‌باشد. بدین منظور، ماتریسی که از داده‌های شامل ژنوتیپ‌ها و عملکرد بدون تنش، عملکرد تحت تنش و شاخص‌های مختلف حساسیت و تحمل به تنش تشکیل شده بود، از طریق تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به شش مؤلفه تقسیم شد. بیشترین تغییرات مورد نظر بین متغیرها توسط دو مؤلفه اول توضیح داده شد (۹۹/۸۷ درصد).

خشکی دارند و ژنوتیپ‌های ۱۵، ۲، ۱۴، ۱۰، ۶، ۹، که در قسمت بالای نمودار سمت چپ نمودار قرار دارند دارای عملکرد پایین و حساسیت زیاد به خشکی هستند (شکل ۱).

بدون تنش همبستگی مثبت دارند. ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۱ و ۴ که در ناحیه بالای سمت راست نمودار بای پلات هستند دارای پتانسیل بالای عملکرد می باشند و حساسیت کمتری نسبت به



شکل ۱- بای پلات ۲۰ ژنوتیپ جو با استفاده از هشت شاخص تحمل به خشکی و عملکرد دانه تحت شرایط تنش و بدون تنش خشکی در مزرعه بر اساس اولین و دومین مؤلفه اصلی

Fig. 1. Biplot of 20 barley genotypes using eight drought tolerance indices and grain yield in non-stress and stress under field conditions based on first and second main components

شرایط تنش و بدون تنش خشکی در مزرعه نشان داد که شاخص‌های STI، GMP، MP و HM بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه در دو شرایط داشتند. بنابراین به عنوان شاخص‌های مطلوب شناخته شدند. ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های

نتایج این پژوهش نشان داد که در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی در هر دو آزمایش در شرایط آزمایشگاه و مزرعه از نظر اغلب صفات مورد بررسی تفاوت معنی داری وجود داشت که این امر نشان دهنده تنوع ژنتیکی در میان ژنوتیپ‌ها می باشد. ارزیابی ژنوتیپ‌ها در دو

سپاسگزاری

نگارندگان از مدیریت و کارکنان مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی منابع طبیعی استان یزد که در اجرای آزمایشات مزرعه ای صمیمانه همکاری کردند تشکر می‌کنند. هم چنین از مدیریت بخش تحقیقات غلات موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر که امکان اجرای قسمتی از پژوهش در آزمایشگاه فیزیولوژی آن بخش را فراهم آورد سپاسگزاری می‌کنند.

تحمل و حساسیت به خشکی نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۱ و ۴ ژنوتیپ‌های برتر برای دو شرایط تنش و بدون تنش می‌باشند. از میان صفات اندازه گیری شده در مرحله جوانه زنی در آزمایشگاه تنها وزن ریشه چه همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص‌های STI، GMP، MP و HM نشان داد. بنابراین این صفت می‌تواند به عنوان یک شاخص در مرحله جوانه زنی برای غربال کردن ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مدنظر قرار گیرد.

References

- Abiri R., Zebarjadi A. R., Ghobadi M., and Kafashi, A. K. 2016.** Investigation of drought tolerance of barley genotypes during germination stage using polyethylene glycol. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* 29 (2): 395-406 (in Persian).
- Abou-Elwafa, S. F. 2016.** Association mapping for yield and yield-contributing traits in barley under drought conditions with genome-based SSR markers. *Comptes Rendus Biologies* 339 (5):153-162.
- Ahmed, I. M., Nadira, U. A., Zang, G., and Wu, F. 2016.** Exploration, Identification and utilization of drought-tolerant barley germplasm. pp. 115-152. In: Zang, G., and Li, C. (eds.) exploration, identification and utilization of barley germplasm. Zhejiang University Press Co. Ltd. Published by Elsevier Inc.
- Agrawal, R. L. 2003.** Seed technology. Oxford and IBH Publishing Co. Pvt. Ltd., New Delhi., India. 848 pp.
- Almansouri, M., Kinet, J. M., and Lutts, S. 2001.** Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plant and Soil* 231: 243-254.
- Bouslama, M., and Schapaugh, W. T. 1984.** Stress tolerance in soybeans. I. evaluation of three screening technique for heat and drought tolerance. *Crop Science* 24: 933-937.

- Cavusoglu, K., and Kabar, K. 2010.** Effects of hydrogen peroxide on the germination and early seedling growth of barley under NaCl and high temperature stresses. *EurAsian Journal of BioSciences* 4: 70-79.
- Chaghakaboodi, Z., Zebarjadi, A. R., and Kahrizi, D. 2012.** Evaluation of drought tolerance of rapeseed (*Brassica napus L.*) genotypes in laboratory and field conditions. *Seed and Plant Improvement Journal* 28 (1): 17-38 (in Persian).
- Daryanto, S., Wang, L., and Jacinthe, P. A. 2016.** Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. *PLoS ONE* 11: e0156362. doi: 10.1371/journal.pone.0156362.
- FAO 2016.** FAOSTAT database collections. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available online at: <http://faostat3.fao.org/> (Accessed February 18, 2016).
- Farokhi, A., Galeshi, S. A., Zeinali, E., and Abdoulzadeh, A. 2004.** Evaluation of drought tolerance genotypes of soybean (*Glycine Max. L Merril*) in germination stage. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resource* 11 (2): 137-150 (in Persian).
- Fernandez, G. C. J. 1992.** Effective selection criteria for assessing stress tolerance. pp. 257-270. In: Kuo, C. G. (ed.) proceedings of the international symposium on adaptation of vegetables and other food crops in temperature and water Stress. AVRDC Publication, Taiwan.
- Fischer, R., and Maurer, R. 1987.** Drought resistant in spring wheat cultivars. I: grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research* 29: 895-97.
- Fischer, R. A., and Wood, T. 1979.** Drought resistance in spring wheat cultivars III. yield association with morphological traits. *Australian Journal of Agricultural Research* 30: 1001-1020.
- Geravandi, M., Farshadfar, E., and Kahrizi, D. 2010.** Evaluation of drought tolerance in bread wheat advanced genotypes in field and laboratory conditions. *Seed and Plant Improvement Journal*. 26 (2): 233-252 (in Persian).
- Golabadi, M., Arzani A., and Mirmohammadi Maibody, S. M. 2006.** Assessment of drought tolerance in segregation population in durum wheat. *African Journal of Agricultural Research* 1: 162-171.

- Jafar, M. Z., Farooq, M. Cheema, M. A., Afzal, I., Basra, S. M. A., Wahid, M. A. Aziz, T., and Shahid, M. 2011.** Improving the performance of wheat by seed priming under saline conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science* 14: 1-8.
- Lima G. S. D., Gheyi, H. R., Nobre, R. G., Xavier, D. A., and Soares, L. A. D. 2016.** Castor bean production and chemical attributes of soil irrigated with water with various cationic composition. *Revista Caatinga* 29 (1): 54-65.
- Mesgaran, M., Madani, K., Hashemi, H., and Azadi, P. 2016.** Evaluation of land and precipitation for agriculture in Iran. Working Paper 2, Stanford Iran 2040 Project. Stanford University, December 2016. 28 pp.
- Michel, B. E., and Kaufman, M. R. 1973.** The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology* 5: 914-916.
- Mrizova, K., Holaskova, E., Oz, M. T., Jiskrova, E., Frebort, I., and Galuszka, P. 2016.** Transgenic barley: a prospective tool for biotechnology and agriculture. *Biotechnology Advances* 32: 137-157.
- Nazari, L., and H. Pakniyat. 2010.** Assessment of drought tolerance in barley genotypes. *Journal of Applied Science* 10: 151- 156.
- Özdemir, E., and Sade, B. 2015.** Alternative approach for drought tolerance: seed priming and physiology. pp.: 73-78. In: proceedings of international conference on chemical, agricultural and biological sciences. Istanbul, Turkey.
- Patade, V. Y., Bhargava, S., and Suprasanna, P. 2009.** Halopriming imparts tolerance to salt and PEG induced drought stress in sugarcane. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 134: 24-28.
- Pour-Aboughadareh, A., Yousefian, M., Moradkhani, H., Moghaddam Vahed, M., Poczai, P., and Siddique, K. H. M. 2019.** iPASTIC: an online toolkit to estimate plant abiotic stress indices. *Applications in Plant Sciences* 7 (7): e11278. doi:10.1002/aps3.11278.
- Rosielle, A. A., and Hamblin, J. 1981.** Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science* 21: 943-946.
- Pan, X. Y., Wang, Y. F., Wang, G. X., Cao, Q. D., and Wang, J. 2002.** Relationship

- between growth redundancy and size inequality in spring wheat populations mulched with clear plastic film. *Acta Phytocology Sinica* 26: 177-184.
- Scott, S. J., Jones, R. A., and Willams, W. A. 1984.** Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Science* 24: 1192-1199.
- Shafazade, M., Yazdanehpas, A., Amini, A., and Ganadha, M. R. 2005.** Evaluation of drought tolerance in promising winter and facultative wheat genotypes using stress susceptibility and tolerance indices. *Seed and Plant Juarnal* 20 (1): 57- 71 (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 Science and Technology* 30: 51– 60.
- Soltani, A., Gholipoor, M., and Zeinali, M. E. 2006.** Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. *Environmental and Experimental Botany* 55: 195-200.
- Tardieu, F. 2012.** Any trait or trait-related allele can confer drought tolerance: just design the right drought scenario. *Journal of Experimental Botany* 63 (1): 25-31.
- Zebarjadi, A. R., TavakoliShadpey, S., Etminan, A. R., and Mohammadi, R. 2013.** Evaluation of drought stress tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. *Seed and Plant Improvement Journal*. 29 (1): 1-12. (in Persian).