ارزیابی تأثیر تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ بر شاخص‌های جوانه‌زنی لاین‌های جو (*Hordeum vulgare* L.)

صفورا علی احمد[۱]، نفیسه مهدی‌نژاد[۲*]، براتعلی فاخری[۳]، هژیر بهشتی‌زاده[۴]

[۱]کارشناس‌ارشد، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران.
[۲]استادیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران.
[۳]استاد، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران.
[۴]دکتری، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۲/۰۹ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۵/۲۱

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی ناشی از پلی اتیلن گلایکول بر شاخص‌های جوانه‌زنی لاین‌های جو، آزمایشی بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۶ در آزمایشگاه پژوهش و زیست فناوری (بیوسنتر) دانشگاه زابل انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل تنش خشکی در سه سطح (صفر (شاهد)، ۲۵ و ۵۰ درصد) که با استفاده از محلول پلی اتیلن گلایکول (PEG) ۶۰۰۰ اعمال شده بود و ۱۰ لاین هاپلوئید مضاعف جو حاصل از دو واریته Nure و Tremois بود. شاخص‌های درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه، شاخص طولی و شاخص وزنی قدرت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس بیانگر اثر معنی‌دار سطوح تنش خشکی و لاین‌ها و برهم‌کنش آنها بر تمامی مؤلفه‌های جوانه‌زنی (درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و شاخص طولی و وزنی قدرت) بود. نتایج نشان داد درصد و سرعت جوانه‌زنی با افزایش غلظت پلی‌اتیلن گلایکول به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و بیشترین درصد (۱۰۰ درصد) و سرعت جوانه‌زنی (۳۲/۳۸ جوانه در روز) به‌ترتیب از لاین شماره دو و عدم تنش خشکی حاصل گردید. همچنین به منظور گروه‌بندی لاین‌ها براساس شاخص‌های جوانه‌زنی، از تجزیه خوشه‌ای به روش Ward's استفاده گردید که لاین‌ها در ۲ گروه مجزا قرار گرفتند. به‌طور کلی لاین شماره ۲ با داشتن بالاترین درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و شاخص طولی قدرت نسبت به سایر لاین‌های مورد بررسی متحمل‌ترین لاین بود.

واژه‌های کلیدی: پلی‌اتیلن گلایکول، تجزیه خوشه‌ای، جو، درصد جوانه‌زنی، شاخص وزنی و طولی قدرت

مقدمه

پیش‌بینی افزایش جمعیت جهان به حدود ۸ میلیارد تا سال ۲۰۳۰، چالش‌های عمده‌ای را برای بخش کشاورزی در تأمین امنیت غذایی ایجاد می‌نماید (Smol, 2012). جو (*Hordeum vulgare* L.) گیاه علفی خوشه‌ای یکساله یا چندساله است که به خانوادهٔ گندمیان (Poaceae) تعلق دارد (Bothmer and Jacobsen, 1985). ازنظر مقدار تولید پنجمین غله در جهان است، ولی ازنظر اهمیت، پس از گندم، ذرت و برنج، چهارمین غلهٔ مهم دنیا به‌شمار می‌رود. این گیاه از نظر کشت و کار در شرایط متنوع آب و هوایی مقام اول را دارا است (FAO, 2013). جو با داشتن ۸ تا ۱۲

*نویسنده مسؤل: nmahdinezhad52@gmail.com

درصد پروتئین و حدود ٦٤ درصد نشاسته و امتیازاتی نظیر آسانی پخت، کیفیت مالت مطلوب و همچنین قیمت به نسبت کم، یک منبع انرژی مناسب برای انسان و دام به‌شمار می‌رود (Wolfe et al., 2008).

امروزه یکی از چالش‌های مهم برای رشد جو در کل جهان کمبود آب است که منجر به کاهش عملکرد آن در بیش از ۷۰ درصد از زمین‌های زراعی گردیده است. در آینده‌ای نزدیک که فعالیت‌های کشاورزی به مناطق با حاصلخیزی کمتر برای پاسخ به نیازهای فزاینده‌ی غذایی بشر گسترش می‌یابند محدودیت آب اهمیت بیشتری خواهد یافت (Flexas et al., 2013; Foley et al., 2011). تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده محیطی است که موجب کاهش عملکرد گیاهان زراعی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان می‌شود (Khezrie-afravi et al., 2010). کشور ایران به لحاظ قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه خشک جهان از نظر میزان و پراکنش نامناسب نزولات آسمانی دچار محدودیت آبی است، که با برنامه‌ریزی و استفاده اصولی از امکانات می‌توان تا حدودی از کاهش تولید محصولات کشاورزی جلوگیری کرد (Naseri et al., 2016). گیاهان در مقابل تنش خشکی از طریق تغییرات موفولوژیکی، فیزیولوژیکی و متابولیکی در تمام اندام‌های خود پاسخ می‌دهند (Bagheri Kamal, 1996). به‌طور کلی گیاهچه‌های جوان به خشکی حساس‌ترند و تفاوت‌های ژنتیکی در مقابله با خشکی ممکن است در گیاهچه آشکار شود و همین امر فرصت مفیدی برای به‌گزینی و انتخاب است (Taiz and Zeiger, 2006).

استفاده از ارقام دارای قدرت جوانه‌زنی بالا در نواحی با تنش خشکی مواجه هستند، امری ضروری است. به‌طوری‌که امروزه قدرت جوانه‌زنی بالا یکی از صفاتی است که در ایجاد و توسعه ارقام اصلاح شده مورد توجه قرار می‌گیرد (Sabouri et al., 2008). جوانه‌زنی شامل انتقال مواد ذخیره‌ای به محور رویان 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 (Almasouri et al., 2011). در حال حاضر تنش آبی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زنده محدود کننده تولید گیاهان به‌شمار می‌رود. بروز تنش آبی در زمان جوانه‌زنی می‌تواند تا حد زیادی درصد سبز شدن و در نهایت استقرار گیاه را کاهش و یا حتی در برخی از موارد نیز به‌طور کامل مانع سبز شدن و استقرار گیاه شود (Yan, 2015). جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه حساسیت زیادی به تنش خشکی دارد، لذا از نظر تعداد گیاه سبز شده در واحد سطح در نواحی خشک و نیمه‌خشک اهمیت زیادی دارد (Badeleh et al., 2014). به‌منظور ایجاد محیط‌های مصنوعی کنترل قابلیت آب و ارزیابی تحمل خشکی در محیط کنترل شده، معمولاً از موادی با جرم مولکولی بالا مانند پلی‌اتیلن گلایکول استفاده شده است. این مواد بدلیل ایجاد محلول اسمزی با شرایط مشابه طبیعی، اغلب برای تهیه قابلیت‌های مختلف آب و بررسی واکنش گیاهان به تنش خشکی در مطالعات جوانه‌زنی مورد ارزیابی قرار گرفتند (Yavari et al., 2001; Eemmerich and Hhardegree, 1991). پلی‌اتیلن گلایکول ماده‌ای غیر سمی است که در بافت‌های گیاه نفوذ کرده و در نتیجه بر عکس موادی همانند کلرید سدیم، مانیتول و ساکارز باعث صدمه به گیاه نشده است. گزارش‌های مختلف حاکی از آن است که تنش خشکی باعث کاهش خصوصیات جوانه‌زنی، ویژگی‌های رشد و فیزیولوژیکی گیاه گلرنگ می‌شود (Esmaili Mokazeh et al., 2012; Meerajipour et al., 2012). همچنین گزارش شده است که تنش خشکی ناشی از پلی اتیلن گلیکول موجب کاهش قابل‌توجه درصد جوانه‌زنی، شاخص سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ژنوتیپ‌های گلرنگ شد (Zabarjedi et al., 2012). تنش ناشی از کمبود آب در گیاه باعث کاهش درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه می‌شود که این موضوع توسط محققان در گندم (Gholamin and Khayatnezhad, 2010) و در گلرنگ (Mostafavi, 2011) گزارش شد. محققین ژنوتیپ‌های جو را در مرحله جوانه‌زنی و نیز بلوغ از نظر تحمل

به خشکی بررسی کرده و نتیجه گرفتند که این گیاه در مرحله جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه به خشکی حساس است به‌طوری که با کاهش پتانسیل آب، کلیه صفات مربوط به جوانه‌زنی به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافتند (Veisi MalAmiri et al., 2010).

هدف از این آزمایش، جهت تشخیص میزان مقاومت لاین‌های جو در سطوح تنش خشکی مورد اعمال شده با استفاده از پلی اتیلن گلایکول در مرحله جوانه‌زنی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۶ در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه پژوهش و زیست‌فناوری (بیوسنتر) دانشگاه زابل انجام شد. به‌منظور ارزیابی جوانه‌زنی جو تحت تنش خشکی، ابتدا بذور ۱۰ لاین هاپلوئید مضاعف جو حاصل از دو واریته Nure و Tremois به همراه دو والد با دقت ضدعفونی شد. برای این منظور ابتدا بذرها به‌مدت ۱۰ ثانیه در الکل ۹۶ درصد و سپس به‌مدت ۵۰ ثانیه در محلول هیپوکلریت سدیم ۱۵ درصد، قرار گرفت و پس از آن چندین بار با آب مقطر استریل شست و شو داده شد. سپس ۵۰ بذر در پتری دیش‌های ۱۵ سانتی‌متری با محتوای کاغذ واتمن شماره ۱ کشت داده شد سپس به هر پتری دیش ۷ میلی‌لیتر آب مقطر برای تیمار شاهد و ۷ میلی‌لیتر محلول پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ (۰/۸- مگاپاسگال) افزوده شد. از روز دوم به مدت ۱۰ روز هر ۴۸ ساعت یک‌بار بذرهای جوانه‌زده (در این تحقیق بذری جوانه‌زده محسوب گردید که طول ریشه‌چه آن ۲ میلی‌متر بود) شمارش شد (Bukhtiar and Shaykra, 1990). در پایان دوره آزمایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه ۱۰ گیاهچه اندازه‌گیری و تعداد گیاهچه‌های نرمال ارزیابی و ثبت شد. به منظور تعیین تعداد گیاهچه نرمال، گیاهچه‌هایی که دارای طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و نیز نسبت مناسب بین این دو اندام بودند (Vendrame et al., 2007)، به‌عنوان نرمال در نظر گرفته شدند. صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه، شاخص طولی قدرت و شاخص وزنی قدرت به روش‌های زیر اندازه‌گیری گردیدند.

درصد جوانه‌زنی: به‌منظور محاسبه درصد جوانه‌زنی به روش معادله زیر انجام شد (Agrawai, 1991).

$$GP'\!. = \frac{\text{تعداد بذر جوانه زده تا روز ام } \boldsymbol{i}}{\text{تعداد کل بذر}} \times 100 \qquad \text{(معادله ۱)}$$

سرعت جوانه‌زنی: برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی به روش ماگویر (Maguire, 1962) انجام گردید.

$$\mathrm{Rs} = \sum_{i=1}^{n} \frac{S_i}{D_i} \qquad \text{(معادله ۲)}$$

در این رابطه Rs میانگین سرعت جوانه‌زنی، Si تعداد بذور جوانه‌زده در هر روز، Di تعداد روز تا شمارش nام و n تعداد روزهای شمارش است.

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه: برای محاسبه طول ریشه‌چه و ساقه‌چه پس از پایان آزمایش (که ۸ روز به طول انجامید) از خط‌کش میلی‌متری استفاده گردید.

وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه: جهت برآورد وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه، ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند پس از آن توزین با استفاده از ترازوی دجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ صورت گرفت.

شاخص طولی و وزنی قدرت: شاخص طولی و وزنی قدرت بذر نیز طبق معادلات زیر محاسبه شد (Abdul-Baki and Anderson, 1973).

(معادله ۳) شاخص طولی قدرت = (درصد جوانه‌زنی × طول گیاهچه) /۱۰۰

(معادله ٤) شاخص وزنی قدرت = (درصد جوانه‌زنی × وزن گیاهچه) /۱۰۰

آنالیز داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (Ver 9.2) انجام گرفت. همچنین برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی: اثر تنش خشکی، لاین و برهم‌کنش آنها بر درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). با توجه به جدول مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی باعث کاهش درصد جوانه‌زنی شد به‌طوری که بیشترین درصد جوانه‌زنی از لاین شماره ۲ با میانگین ۱۰۰ درصد در عدم تنش خشکی (شاهد) بدست آمد (جدول ۲). کمترین مقدار درصد جوانه‌زنی (٧٦ درصد) از لاین شماره ۱۰ و پتانسیل ۵۰ درصد حاصل گردید (جدول ۲). معنی‌دار شدن اثر متقابل لاین و تنش برای درصد جوانه‌زنی نشان می‌دهد که واکنش لاین در هر سطح تنش ممکن است متفاوت باشد.

عکس‌العمل متفاوت درصد جوانه‌زنی ارقام به تنش خشکی را می‌توان به عوامل مختلف ازجمله کاهش بیشتر جذب آب در ارقام حساس و همچنین تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌ها نسبت داد. اندازه بذر هم با توجه به اینکه می‌تواند از طریق سطح مخصوص اثر مستقیم بر جذب آب داشته باشد در این عامل دخیل می‌باشد (Marjani, 2006). پاسخ متفاوت لاین‌های مختلف به تنش خشکی می‌تواند به دلیل عوامل مختلفی از جمله اندازه بذرها و احتمالاً ویژگی‌های پوشش سطحی بذر مورد نظر باشد. کاهش ورود آب به بذر در اثر افزایش تنش خشکی باعث کاهش هدایت هیدرولیکی گردیده و در نتیجه فرایندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی جوانه‌زنی تحت تأثیر قرار گرفته و میزان و یا سرعت انجام آن‌ها کاهش می‌یابد (Kiani et al., 1998). در مطالعه‌ای روی گندم گزارش شد رقم دارای بذر بزرگ‌تر به علت دارا بودن وزن ذخیره قابل انتقال[1] بذر و درصد تخلیه ذخیره بذر[2] بیشتر نسبت به رقم دارای اندازه کوچک‌تر، مقاومت بیشتری نسبت به سطوح تنش داشته است (Soltani et al., 2006). اگر جذب آب توسط بذر دچار اختلال گردد و یا جذب به آرامی صورت گیرد فعالیت‌های فیزیولوژیکی و متابولیکی جوانه‌زنی در داخل بذر به آرامی انجام خواهند شد و در نتیجه مدت زمان لازم برای خروج ریشه‌چه از بذر افزایش یافته و سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (Hadas and Russo, 1974).

سرعت جوانه‌زنی: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین سطوح خشکی و لاین‌ها ازنظر سرعت جوانه‌زنی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۱). اثر متقابل تنش خشکی در لاین‌ها نشان داد که در بین لاین‌ها، لاین شماره ۲ در سطح شاهد (عدم تنش) بیشترین مقدار سرعت جوانه‌زنی (۳۲/۳۸ جوانه در روز) رو به

1. Weight of mobilized seed reserve (WMSR)
2. Seed reserve depletion percentage (SRDP)

خود اختصاص داد این در حالی است کمترین سرعت جوانه‌زنی (۱۸/۴۳ جوانه در روز) متعلق به لاین شماره ۱۰ و تنش ۵۰ درصد بود (جدول ۲).

سرعت جوانه‌زنی یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی تحمل به شوری و خشکی در مرحله جوانه‌زنی است، زیرا هر چه سرعت جوانه‌زنی بیشتر باشد، شانس سبز شدن تحت شرایط تنش بیشتر خواهد بود (Fernandez and Johnston, 1995). در ارتباط با درجه حساسیت متفاوت خصوصیات فیزیولوژیکی و سرعت جوانه‌زنی به قابلیت‌های اسمزی متفاوت، عبدالبکی و آندرسن (Abdul-Baki and Anderson, 1970) نشان دادند که سرعت جوانه‌زنی بیش از درصد جوانه‌زنی به تنش آبی حساس بوده و در قابلیت‌های اسمزی بالاتر با شدت بیشتری نسبت به درصد جوانه‌زنی کاهش یافت. در آزمایشی که در مرحله جوانه‌زنی روی کلزا و در سطوح مختلف قابلیتی انجام شد مشخص گردید، با افزایش تنش خشکی صفات اندازه‌گیری شده (طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی) اندازه‌گیری شده کاهش معنی‌داری یافتند (Andalibi et al., 2005).

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که لاین‌ها و سطوح خشکی اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر طول ریشه‌چه و ساقه‌چه داشتند (جدول ۱). با بررسی جدول مقایسه میانگین مشخص گردید با افزایش تنش، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش یافت. به‌طوری که بیشترین طول ریشه‌چه (۶/۶۰ سانتی‌متر) و ساقه‌چه (۱۱/۲۳ سانتی‌متر) از عدم تنش و به ترتیب از لاین شماره ۳ و ۶ حاصل گردید (جدول ۲). به نظر می‌رسد در مراحل اولیه تنش، سرعت رشد ریشه‌چه به دلیل حساسیت کمتر به تنش خشکی و به منظور جذب بیشتر آب بالاتر بود اما با کاهش پتانسیل آب به دلیل کاهش جذب آب توسط بذر و کاهش رشد هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها اختلال در رشد گیاهچه (ریشه‌چه و ساقه‌چه) به وجود آمد. ریشه‌ها قبل از اینکه اندام‌های دیگر گیاه از بذر بیرون آیند، سبز می‌شود، در نتیجه قبل از اندام‌های دیگر در معرض تنش‌های محیطی قرار می‌گیرند. بنابراین، صفت طول ریشه‌چه معیار مناسبی برای گزینش ارقام متحمل به خشکی می‌باشد (Abiri et al., 2016).

وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه: بین لاین‌های جو و سطوح تنش خشکی برای وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه اختلاف بسیار معنی‌دار وجود داشت. اثر متقابل تنش در لاین برای وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۱). بیشترین وزن خشک ریشه‌چه (۲۶/۰۰ میلی‌گرم) از لاین شماره ۹ و عدم تنش و بیشترین وزن خشک ساقه‌چه (۳۸/۶۷ میلی‌گرم) از لاین شماره ۶ و سطح اول تنش (عدم تنش) حاصل گردید (جدول ۲).

شاید مهم‌ترین اثر مستقیمی که تنش خشکی بر گیاهان وارد می‌کند، تأثیر بر رشد و تولید گیاهان باشد که به‌صورت عینی قابل مشاهده و مقایسه می‌باشد. جذب کمتر آب، موجب کاهش عمل فتوسنتز شده و در ادامه آن تولید به سرعت کاهش خواهد یافت. توانایی گیاهان در تنش خشکی، متفاوت و درجات خشکی به نسبت‌هایی نامعین تولید را دست‌خوش تغییر قرار می‌دهند. کاهش رشد گیاهچه می‌تواند ناشی از تأثیر مستقیم تجزیه کندتر مواد آندوسپرم لپه‌ها با انتقال کندتر مواد تجزیه شده به گیاهچه باشد (Weisz et al., 1985). در واقع عکس‌العمل‌های متفاوت ژنوتیپ‌های مورد آزمایش از نظر وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه تحت تأثیر قابلیت‌های مختلف خصوصیات ژنتیکی بذرها است و با افزایش تنش خشکی قدرت جذب آب توسط بذرها کاهش یافته و آغاز فرایندهای جوانه‌زنی را علاوه بر اینکه به تأخیر می‌اندازد می‌تواند اختلال در آن ایجاد کند.

شاخص طولی و وزنی قدرت: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر لاین، سطوح تنش و اثر متقابل آنها بر شاخص طولی و وزنی قدرت معنی‌دار بود (جدول ۱). با توجه به مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش و لاین، با افزایش تنش

خشکی شاخص طولی و وزنی قدرت کاهش یافت و بیشترین شاخص طولی از لاین شماره ۲ و عدم تنش بدست آمد این در حالی است که بیشترین شاخص وزنی قدرت از لاین شماره ۱ و عدم تنش حاصل گردید (جدول ۲).

جدول ۱: نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه لاین‌های مختلف جو تحت تنش خشکی

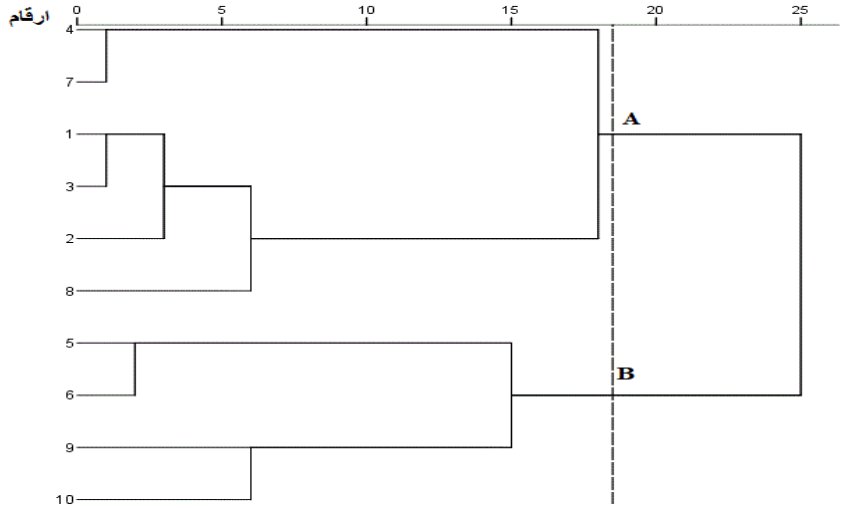
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه	شاخص طولی قدرت	شاخص وزنی قدرت
تنش خشکی	۲	۲۰۷/۰۵**	۳٤/۱۳**	۱۱/٦٤**	۱۱/۰٤**	۷۹/۸٦**	۷۸/۲۱**	۲۹/۱۲**	۲٤۹/٥٦**
رقم	۹	۱٤۱/٦٤**	۲٤/۹۰**	٤/۷٤**	۲/۸٤**	۱۰۹/۱۰**	۷۱/۹۹**	٦/۰۳**	۲۱۳/٥۰**
تنش*رقم	۱۸	٦٦/۲۷**	۱٤/۳٦**	۲/٥۰**	۲/٤۳**	۱۷۱/۲۰**	۹۲/٥۷**	٤/٦۰**	۳٦۲/۰۸**
خطای آزمایشی	٦۰	۰/۰۷	۰/۹٦	۰/۲۰	۰/۰٦	۲/۲۱	۰/۲۹	۰/۱۲	۳/۱۸
ضریب تغییرات (٪)		۰/۲۸	٤/۳٥	٤/۸۲	٥/۱۱	۷/۳٦	۳/٦٤	۲/۷۳	٥/٥۹

* و ** به‌ترتیب بیانگر معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد

جدول ۲: مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی در رقم بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه جو

تنش خشکی (درصد)	لاین	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی (جوانه در ساعت)	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر)	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر)	وزن خشک ساقه‌چه (میلی‌گرم)	وزن خشک ریشه‌چه (میلی‌گرم)	شاخص طولی قدرت	شاخص وزنی قدرت
۰	۱	۹۸/۷	۲٤/۸۰	۸/۸۷	٥/۷۱	۳۰/۳۳	۱۱/۰۰	۱٤/۳۷	۲٥/۳۲
	۲	۱۰۰/۰	۳۲/۳۸	۹/٥۰	٥/۷۸	۲٦/۳۳	۱۹/۰۰	۱٥/٥۰	٤۱/۰۰
	۳	۹٦/۷	۲۲/۹۲	۹/٤۰	٦/٦۰	۲٦/۰۰	۱٦/۳۳	۱۳/۲٤	۳٥/۱۲
	٤	۹۷/۳	۲۱/۹٦	۸/۸۰	٦/۲۰	۱۲/۳٤	۱۱/۳۳	۱۳/۰۳	۲٤/۰۱
	٥	۹۰/۰	۲۱/۸٦	۹/۱۳	٤/۸۹	۱٦/۰۰	۲۰/۰۰	۱۲/۰۸	۳۸/۱۰
	٦	۸۰/۷	۱۹/٦٦	۱۱/۲۳	٤/۳۸	۳۸/٦۷	۱۰/۳۳	۱۱/۲۳	۱۸/۰۱
	۷	۹٥/۳	۲۳/٦٦	۹/٥۰	۳/۸۰	۱۲/۰۰	۱۲/۰۰	۱۳/۰٥	۲٤/٤۷
	۸	۹۳/۳	۲۳/٤۸	۱۰/۰۰	٤/٥۳	۱٦/۰۰	۲۱/۰۰	۱٤/۸۰	٤۰/۷٦
	۹	۹۱/۳	۲۳/٤۲	۷/٦۷	٥/۱۱	۲۸/۰۰	۲٦/۰۰	۱۳/٦۰	٥۰/۸٤
	۱۰	۸۹/۳	۲۱/۸٦	۹/۰۰	٥/۸٤	۱٤/٦۷	۲۰/۳۳	۱۳/۲۲	٤۱/۰۹
۲٥	۱	۹۰/۷	۲۱/۸٦	۱۰/۱۷	۲/۸٥	۲۰/۰۰	۹/٦۷	۱۳/٤۱	۲۷/۳۰
	۲	۹٦/۷	۲۲/۹۲	۱۱/۱۷	۳/۰۹	۹/٦۷	۱۰/٦۷	۱٤/۳٦	۱۹/۱۱
	۳	۹٥/۳	۲۲/٥۰	۹/۱۷	۳/۹۳	۱۰/۳۳	۱٥/۳۳	۱٤/٤۰	۲۳/۱۰
	٤	۹۲/۰	۲۳/۱٦	۱۰/۲۳	۳/۰۰	۱۷/۰۰	۱۱/۰۰	۱٤/۱۰	۲٦/۳۲
	٥	۸۸/۷	۲۱/٤٦	۹/٤۰	۳/۲۷	۲٤/۰۰	۱۱/٦۷	۱۱/٥۰	۲۹/۲٥
	٦	۸٥/۳	۲۰/۱٤	۹/۳۷	٤/۲۲	۲۷/۰۰	۱٦/۰۰	۱۳/٤۲	۳٦/۹۸
	۷	۹۰/۷	۲۲/۸٤	۸/۸۷	٤/۳۸	۲٥/۰۰	۱۹/۰۰	۱۲/۰٦	۳۹/۹۰
	۸	۸٤/۰	۱۹/۸۲	۱۰/٦۳	٥/۰۰	۱۸/۰۰	۹/٦۷	۱۳/٤۷	۲٥/٦۳
	۹	۹٤/۷	۲۳/٤٤	۹/۰۰	٦/٤۰	۱۷/۳۳	۲۱/۳۳	۱۰/۷۳	۳۲/٤۸
	۱۰	۹۸/۷	۲٤/۸۰	۹/٥۳	٤/٦۰	۲۱/۰۰	۱۳/۰۰	۱۱/۲۸	۲٥/۸٤
٥۰	۱	۹۲/۰	۲۳/۱٦	۹/٤۳	٤/٤۰	۱٤/٦۷	۲٦/۰۰	۱۱/۱۳	٥۱/۰۸
	۲	۹٤/۰	۲۳/۷٤	۸/٤۷	٤/۳۳	۲۲/۰۰	۲۱/۰۰	۱۱/۱۷	٤٥/۷٦
	۳	۹۰/۰	۲۲/٤٤	۸/۷۷	٤/٥۳	۲۰/۰۰	۲۱/۳۳	۱۲/۱۱	٤٥/۱۳
	٤	۹٤/۰	۲۳/۷۰	۷/٦۰	۳/۱٥	۱۳/۳٤	۷/۰۰	۹/۷٥	۱۷/۷۹

٢٤/٢٤	١١/١٧	١١/٣٣	٢٢/٣٤	٤/٠٢	٩/٣٣	١٩/٣٦	٨٢/٠	٥	
٤٤/٠٨	١١/٥١	١٣/٠٠	١٢/٠٠	٤/٥٦	٩/٢٧	٢١/٠٤	٨٦/٠	٦	
١٧/٥٣	١١/٢٢	٧/٣٣	١٣/٦٧	٤/٨٢	٨/٠٠	٢٢/٣٤	٩٠/٧	٧	
٢٢/٩٦	١٣/٠٢	١١/٣٣	٢٢/٦٧	٥/٢٢	١٠/٥٠	٢٢/٠٢	٩٢/٧	٨	
٣٨/١٨	١٤/٠١	١٢/٣٤	٢٩/٦٧	٥/٨٩	٨/٤٠	١٨/٦٤	٨٤/٠	٩	
٢٥/٦٥	٩/٩٣	١١/٣٣	٢٥/٦٦	٥/٢٦	٥/٤٧	١٨/٤٣	٧٦/٠	١٠	
٢/٩١	٠/٥٦	٠/٨٨	٢/٤٢	٠/٣٨	٠/٧٢	١/٥٩	٠/٤٢		LSD 0.05
٣/٨٧	٠/٧٤	١/١٧	٣/٢٢	٠/٥١	٠/٩٦	٢/١٢	٠/٥٦		LSD 0.01



شکل ۱: دندروگرام تجزیه خوشه‌ای لاین‌های مختلف جو بر اساس شاخص‌های جوانه‌زنی

گروه‌بندی و تعیین فواصل ژنتیکی، دوری یا نزدیکی و خویشاوندی یا عدم خویشاوندی مجموعه‌ای از افراد از روش دسته‌بندی خوشه‌ای استفاده می‌گردد. هر چه فاصله ژنتیکی بین دو دسته از افراد بیشتر باشد، آن دودسته از هم دورترند و درنتیجه تلاقی بین ژنوتیپ‌های این دودسته نتایج مطلوب‌تری خواهد داشت. بدین ترتیب امکان جمع‌آوری ژن‌های بیشتر و مطلوب‌تر در نتایج افزایش می‌یابد. این روش به‌خصوص در مواردی که با تعداد زیادی ژرم‌پلاسم سروکار داریم بسیار مفید است زیرا به‌جای صرف وقت و انرژی زیاد برای انجام تلاقی‌های تصادفی می‌توان از برترین افراد هر کلاستر در تلاقی‌ها استفاده نمود. در خصوص بررسی تنوع و میزان نزدیکی و دوری ارقام مطالعه زیادی انجام شده و تجزیه خوشه‌ای از جمله روش‌هایی است که در بررسی‌های تنوع ژنتیکی و جغرافیایی و انتخاب افراد مناسب و بررسی اثرات متقابل و ارقام نقش اساسی دارد. یکی از کاربردهای تجزیه کلاستر تعیین فاصله ژنتیکی میان گروه‌ها است (Farshadfar, 2002). به‌منظور بررسی تنوع ژنتیکی و گروه‌بندی اکوتیپ‌ها، از تجزیه خوشه‌ای (به روش ward's) استفاده و تعداد کلاسترهای حاصل در فاصله ۱۸ واحد و برابر ۲ عدد تعیین شد (شکل ۱). همانطوری که مشاهده می‌شود کلاستر اول شامل لاین‌های ۱، ۲، ۳، ٤، ۷ و ۸ و کلاستر دوم شامل لاین‌های ۵، ٦، ۹ و ۱۰ بود. در این آزمایش بیشترین فاصله ژنتیکی میان لاین‌های ٤ و ۱۰ بدست آمد (شکل ۱)، که با توجه به داشتن حداکثر فاصله ژنتیکی از همدیگر انتظار می‌رود با انجام تلاقی بین این دو لاین حداکثر تنوع ژنتیکی ایجاد شده و از نتایج آن به‌عنوان مواد اولیه خام برای اصلاح ارقام استفاده نمود (Farshadfar, 2002).

نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش سطوح تنش خشکی و لاین‌ها و برهم‌کنش آنها بر تمامی مؤلفه‌های جوانه‌زنی معنی‌دار بود. بذرهای تولید شده در شرایط تنش خشکی دارای درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول گیاهچه، وزن خشک گیاهچه، شاخص طولی و وزنی قدرت کمتر نسبت به شرایط آبیاری نرمال (شاهد) بودند. به‌طور کلی با افزایش تنش خشکی، همه صفات روند کاهشی داشته و از این نظر تفاوت معنی‌داری بین سطوح تنش وجود داشت. درصد و سرعت جوانه‌زنی در لاین‌های مختلف متفاوت بود در بین لاین‌های مورد بررسی در برابر تنش خشکی لاین شماره ۲ نسبت به دیگر لاین‌ها متحمل بود. نمودار درختی حاصل از تجزیه خوشه‌ای نیز تنوع قابل توجهی را بین لاین‌ها نشان داد. در مجموع بر اساس نتایج این پژوهش لاین شماره ۲ به عنوان متحمل‌ترین لاین نسبت به خشکی شناسایی شد.

References

Abdul-Baki, A.A. and Anderson, J.D. 1970. Viability and leaching of sugars from germinating barley. Crop Science, 10: 31-34.

Abiri, R., Zabarjeni, A.R., Ghibadi, M. and Kafashi, A.K. 2016. Investigation of drought tolerance of barley genotypes during seedling stage using polyethylene glycol. Journal of Plant Researches, 29(2): 395-406. (In Persian).

Agrawai, H.A.S. and Moussa, M.E. 1996. Mapping QTLs in breeding for drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). Euphytica, 91: 89-97.

Almasouri, M., Kinet, J.M. and Lutts, S. 2011. Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). Plant and Soil, 231: 243-254.

Andabili, B., Zangani, S. and Haghnazari, A. 2005. Effects of drought stress on germination indices of 6 rapeseed cultivars. Iranian Journal of Agriculture Science, 36(2): 458-463. (In Persian).

Badeleh, K., Aghighi Shahverdi, M. and Omidi, H. 2014. Effect of Seed Priming on *Cucurbita pepo* Germination under Drought Stress. Iranian Journal of Seed Research, 1(2): 125-135. (In Persian).

Bagheri Kamal, M. 1996. Study of effective physiological traits for evaluating of wheat Species that are resistant to drought stress, MSC thesis of agriculture faculty, Azadi Eslami university of Karaj. (In Persian).

Bothmer, R. Von, and Jacobsen, N. 1985. Origin, taxonomy and related Species. In Rasmussen, D.C. (ed). Barley. American Society of Agronomy, Madison, 19-56.

Bouslama, M. and Schapaugh, W.T. 1984. Stress tolerance in soybean. I: Evaluation of three Screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science, 24: 933-937.

Eemmerich, W.E. and Hhardegree, S.P. 1991. Seed germination in polyethylene glycol solution. Effect of filter paper exclusion and water vapor loss. Crop Sci., 31: 454- 458.

Esmaili Mokazeh, A., Omidi, H. and Bostsni, A.A. 2012. Effect of drought stress on grain yield, proline changes, photosynthetic pigments, and leaf relative water content of the new genotypes of Safflower, 26(2): 187-196. (In Persian).

FAO. 2013. FAOSTAT, http://faostat.fao.org/site.

Farshadfar, A.S. 2002. Application of Quantitative Genetics in Plant Breeding, Tagh Bostan Publications, Vol. I, 528 pp. (In Persian).

Fernandez, G. and Johnston, M. 1995. Seed vigor testing in lentil, bean, and chickpea. Seed Science and Technology, 23(3): 617-627.

Flexas, J., Niinemets, U., Galle, A., Barbour, M.M. and Centritto, M. 2013. Diffusional conductances to CO as a target for increasing photosynthesis and photosynthetic water-use efficiency. Photosynthesis Research, 117: 1- 3.

Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., Gerber, J.S., Johnston, M. and Mueller, N.D. 2011. Solutions for a cultivated planet. Nature, 478: 337-342.

Gholamin, R. and Khayatnezhad, M. 2010. Effects of polyethylene glycol and NaCl stress on two cultivars of wheat (*Triticum durum* L.) at germination and early seeding stages. American Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science, 9: 86-90.

Hadas, A. and Russo, D. 1974. Water uptake by seeds as effected by water stress, capillary conductivity, and seed soil water contact. I. Experimental Study. Agronomy Journal, 66: 643-647.

Hummel, I., Pantin, F., Sulpice, R., Piques, M., Rolland, G., Dauzat, M., Christophe, A., Pervent, M., Bouteille, M. and Stitt, M. et al. 2010. Arabidopsis plants acclimate to water deficit at low cost through changes of carbon usage: an integrated perspective using growth, metabolite, enzyme, and gene expression analysis. Plant Physiol., 154: 357-372.

Khezrie-afravi, M., Hoseinzadeh, A., Mohammadi, V. and Ahmadi A. 2010. Assessment of drought resistance in Iran durum wheat landraces under water stress conditions and natural irrigation. Journal of Crop Science, 41(4): 741-753. (In Persian).

Kiani, M., Bagheri, A.S. and Nezami, A. 1998. Response of lentil genotypes to drought stress induced by polyethylene glycol 6000 at germination stage. Journal of Agricultural Science and Technology, 12(1): 55-42. (In Persian).

Maguire, J.D. 1962. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Science, 2: 176-177.

Marjani, A., Farsi, M. and Rahimizadeh, M.S. 2006. Evaluation of drought tolerance of 10 pea genotypes at germination stage using polyethylene glycol 6000. Journal of Agricultural Sciences, 12(1): 29-17. (In Persian).

Meerajipour, M., Movahhedi Dehnavi, M., Dehdari, A., Farajee, H. and Meerajipour, M. 2012. Effect of drought stress on some physiological characteristics of four spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars in Yasouj, 5: 125-134. (In Persian).

Mostafavi, K.H. 2011. An evaluation of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.) seed germination and seedling characters in salt stress conditions. African Journal of Agriculture Research, 6: 1667-1672.

Naseri, R., Barary, M., Zarea, M.J., Khavazi, K. and Tahmasebi, Z. 2016. Studying root morphological characteristics of seminal roots systems of durum and bread wheat cultivars. Journal of Crop Ecophysiology, 10(2): 477-492. (In Persian).

Sabouri, H., Biabani, A., Gharavi, A.Gh., Dadras, A.R. and Katouzi, M. 2008. Mapping of germination traits in rice using of microsatellite markers under osmotic stress caused by sorbitol. First Iranian Science and seed Technology Symposium. Gorgan University of Agriculture Science and Natural Resource. Gorgan. Iran. 12-13 Nov. (In Persian).

Smol, J.P. 2012. Climate Change: A planet in flux. Nature, 483: 12-15.

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

Taiz, L. and Zeiger, E. 2006. Plant physiology. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc.

Veisi MalAmiri, E., Haghparast, R., Aghaii Sarbozeh, M., Farshadfar, E. and Rajabi, R. 2010. Evaluation of drought tolerance of Barley genotypes using physiological and drought tolerance indices. Journal of Seed Seedling Breeding, 26: 43-60. (In Persian).

Weisz, P.R., Denison, R.F. and Sinclair, T.R. 1985. Response to drought stress of nitrogen fixation (acetylene reduction) rates by field-grown soybeans. Plant Physiology, 78(3):525-530.

Wolfe, M.S., Baresel, J.P., Desclaux, D., Goldringer, I., Hoad, S., Kovacs, G., Loschenberger, F., Miedaner, H., stergard, E. and Lammerts, T. 2008. Developments in breeding cereals for organic agriculture. Euphytica, 163: 323-346.

Yan, M. 2015. Seed priming stimulate germination and early seedling growth of Chinese cabbage under drought stress. South African Journal Botany, 99: 88-92.

Yavari, N., Sadeghian, S.Y. and Mesbah, M. 2001. Utilization of mannitol as drought stress agent in sugar beet seed germination and early growth stages in vitro. Journal of Suagr Beet, 17(1): 37-43. (In Persian).

Zabarjedi, A.R., Soheylikhah, Zh., Ghasempoor, H.R. and Veysipoor, A. 2012. Effect of drought stress applied by PEG6000 on physiological and morphological characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius*) germination for selection of drought tolerant genotypes. Iranian Journal of Biology, 25(2): 252-263. (In Persian).