اثر تنش خشکی آخر فصل بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و رنگیزه‌های فتوسنتزی ژنوتیپ‌های پایه مادری گلرنگ (*Carthamus tinctrorius* L.)

فرشته آزادبخت*[۱]، خدیجه احمدی[۲] و حشمت امیدی[۳]

۱) دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و تکنولوزی بذر، دانشگاه شاهد تهران، تهران، ایران.
۲) دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شاهد تهران، تهران، ایران.
۳) استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شاهد تهران، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول: **Azadbakhtfereshteh@gmail.com**

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۰۷ **تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۵/۰۳**

چکیده

تنش خشکی از تنش‌های بسیار مهم در کاهش جوانه‌زنی گیاهان می‌باشد. به‌منظور ارزیابی تأثیر تنش خشکی بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر و رنگیزه‌های فتوسنتزی ژنوتیپ‌های پایه مادری گلرنگ، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشگاه شاهد در سال ۱۳۹۴ انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل بذرهای تولید شده در دو سطح شامل آبیاری مطلوب و اعمال تنش خشکی بعد از مرحله‌ی گل‌دهی بر گیاه مادری و چهار ژنوتیپ گلرنگ شامل صفه‌ی اصفهان، گلدشت، مکزیک ۱۲ و لاین ۴۱۱ بود. نتایج نشان داد ژنوتیپ و تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر صفات مورد بررسی داشت. افزون بر این، نتایج نشان داد که تنش خشکی صفات میانگین مدت زمان جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، محتوای کلروفیلb و محتوای کارتنوئید را افزایش و دیگر صفات مورد ارزیابی را کاهش داد. بذرهای تولید شده در شرایط تنش خشکی بر پایه مادری ژنوتیپ مکزیک۱۲ دارای بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی (۹۴/۵۹ درصد)، شاخص طولی بنیه گیاهچه (۲۰۲/۴۴)، شاخص وزنی بنیه گیاهچه (۸/۵۱) و میزان کلروفیل b (۰/۴۲ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) بود. به طور کلی، اعمال تنش خشکی آخر فصل بر گیاه مادری ژنوتیپ-های بررسی شده سبب کاهش خصوصیات جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه ژنوتیپ‌های گلرنگ گردید. در مجموع بذر آن دسته از ارقامی که پایه مادری آن‌ها با تنش خشکی مواجه شده‌اند جهت کاشت در مناطقی با محدودیت آبیاری و یا احتمال خشکسالی در این مناطق وجود دارد، مناسب نمی‌باشند.

واژه‌های کلیدی: بنیه بذر، درصد جوانه‌زنی و کلروفیل.

مقدمه

دانه‌های روغنی پس از غلات، دومین ذخایر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند و نقش مهمی در حفظ سلامت جامعه دارند (Omidi *et al*., 2010). نتایج حاصل از مطالعات و بررسی‌های مؤسسه تغذیه ایران حاکی از آن است که ۲۱ درصد از انرژی روزانه مردم ایران از طریق مصرف روغن تأمین می‌شود. از طرفی، تولید دانه‌های روغنی به حداقل رسیده، به‌طوری که بیش از سه میلیون تن در سال دانه روغنی، روغن خام و کنجاله وارد و بیش از ۲/۵ میلیارد دلار ارز از ایران خارج می-شود (IVOI, 2011). گلرنگ امروزه برای استفاده از شاخ و برگ، گل و دانه (استحصال روغن و غذای پرندگان) مورد کشت قرار می‌گیرد. خواص و ویژگی‌های بیولوژیکی گلرنگ از آن یک محصول چند منظوره مفید ساخته است (Bowles *et al*., 2010). 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 به عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زنده محدود کننده تولید گیاهان به شمار 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 به طور 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 (بادله و همکاران، ۱۳۹۳). گزارش‌های مختلف حاکی از آن است که تنش خشکی باعث کاهش خصوصیات جوانه‌زنی، ویژگی‌های رشد و فیزیولوژیکی گیاه گلرنگ می‌شود (اسماعیلی منزه و همکان، ۱۳۹۱؛ معراجی‌پور و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین گزارش شده است که تنش خشکی ناشی از پلی اتیلن گلایکول موجب کاهش قابل توجه درصد جوانه‌زنی، شاخص سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ژنوتیپ‌های گلرنگ شد (زبرجدی و همکاران، ۱۳۹۱). تنش ناشی از کمبود آب در گیاه باعث کاهش درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه می‌شود که این موضوع توسط Gholamin و Khayatnezhad (۲۰۱۰) در گندم، Mostafavi (۲۰۱۱) در گلرنگ و هم‌چنین Farsiani و Ghobadi (۲۰۰۹) در ذرت گزارش شد. همچنین در تحقیقاتی مشاهده شد که تنش خشکی باعث کاهش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و وزن تر گیاهچه گلرنگ شد (سیدی و همکاران، ۱۳۹۱). یکی از صدمات اکسیداتیو مهمی که در شرایط کمبود آب ایجاد می‌شود تخریب مولکول کلروفیل است. نتایج بررسی اسماعیلی منزه و همکاران (۱۳۹۱) نشان داد که ژنوتیپ‌های گلرنگ در سطوح مختلف خشکی از نظر محتوای کلروفیل a، کلروفیلb، کلروفیل کل و کاروتنوئید در سه گروه مجزا قرار گرفتند و نکته قابل توجه این است‌که رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش شدید (پتانسیل رطوبتی خاک ۶/۵- اتمسفر) دارای بیش‌ترین و در سطح تنش ملایم (پتانسیل رطوبتی خاک ۰/۵- اتمسفر) دارای کم‌ترین مقدار محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل

کل و کاروتنوئید بودند. با توجه به اهمیت گیاهان روغنی و هم‌چنین کاهش اثرات سوء تنش بر این گیاهان، هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر تنش خشکی انتهای فصل بر خصوصیات جوانه‌زنی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و محتوای نسبی آب ارقام پایه مادری گیاه گلرنگ بود.

مواد و روش ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشگاه شاهد در سال ۱۳۹۴ انجام گرفت. فاکتورهای آزمایش شامل بذرهای تولید شده در دو سطح (آبیاری نرمال (۰/۵- اتمسفر) و اعمال تنش خشکی در مرحله‌ی گلدهی (۳/۵- اتمسفر) بر گیاه مادری) و ژنوتیپ‌های گلرنگ شامل چهار سطح (صفه‌ی اصفهان، گلدشت، مکزیک ۱۲ و لاین ۴۱۱) بود. بذرهای پایه مادری ژنوتیپ‌های گلرنگ به‌کار گرفته در این آزمایش، حاصل پژوهشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شاهد به طول جغرافیائی ۵۱ درجه و ۸ دقیقه شمالی و عرض جغرافیائی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه شرقی، ارتفاع از سطح دریا ۱۱۹۰ متر و میانگین بارندگی ۲۱۶ میلی‌متر در سال ۱۳۹۰ می‌باشد. با توجه به کشت همزمان ژنوتیپ‌های گلرنگ در مزرعه، آبیاری تا قبل از اعمال تنش برای همه یکسان بود، شروع اعمال تنش‌ها در مرحله‌ی گل‌دهی در شرایط نرمال ۰/۵- اتمسفر و تنش ۳/۵- اتمسفر بود (اعمال تنش خشکی بر اساس دستگاه اکوتانسیومتر صورت پذیرفت. بدین منظور دستگاه در مزرعه پژوهشی و در عمق ریشه (۳۰سانتی‌متری) قرار داده شد. روش کار به این صورت بود که پس از نصب دستگاه خاک به‌طور کامل اشباع شده و روند تغییرات مکش خاک (و محتوای رطوبت خاک) به مدت ۳۰ روز و با فاصله زمانی یک ساعت رصد شد. پس از طی مدت مذکور داده‌ها از حسگرهای دستگاه به رایانه منتقل و ضمن تجزیه و تحلیل اطلاعات، رسم نمودار صورت گرفت. آبیاری در فاصله‌ی زمانی ۳ و ۷ روز به ترتیب برای پتانسیل‌های ۰/۵- و ۳/۵- اتمسفر بر روی گیاه مادری انجام گرفت).

در هر تکرار از هر تیمار ۲۵ بذر در پتری‌هایی که قبلا ضدعفونی شده بودند قرار داده شد و آب مقطر اضافه گردید و پتری‌ها به ژرمیناتور با دمای ۱±۲۵ درجه سلسیوس انتقال یافتند. شمارش بذرهای جوانه‌زده از روز دوم به صورت روزانه در ساعتی معین انجام گردید. به هنگام شمارش، بذرهای جوانه‌زده تلقی می‌شدند که طول ریشه‌چه آن از دو میلی‌متر بیش‌تر بود. تعداد بذرهای جوانه‌زده روزانه شمارش و یادداشت گردید و سپس شاخص‌های جوانه‌زنی محاسبه گردید (ISTA, 2009). بعد از ثابت شدن جوانه‌زنی (۷ روز) طول ریشه‌چه و ساقه‌چه نیز اندازه‌گیری شد. در این آزمایش، وزن خشک گیاهچه با قرار دادن نمونه‌ها در درون آون با دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت تعیین گردید (Parmoon *et al*., 2013). شاخص‌های بنیه گیاهچه (SVI1: شاخص طولی بنیه گیاهچه، SVI2: شاخص وزنی بنیه گیاهچه) از روابط زیر به‌دست آمدند (ISTA, 2009).

رابطه ۱: SVI (1) = (میانگین طول ریشه‌چه + میانگین طول ساقه‌چه) × جوانه‌زنی نهایی

رابطه ۲: SVI (2) = (درصد جوانه‌زنی نهایی × وزن خشک گیاهچه)

با شمارش روزانه بذرهای جوانه‌زده، درصد جوانه‌زنی[1] (GP)، میانگین مدت زمان جوانه‌زنی[2](MGT) و سرعت جوانه‌زنی[3](GR) طبق روابط ۱، ۲ و ۳ تعیین گردیدند. متوسط مدت زمان جوانه‌زنی مرتبط با مدت زمانی (روز) است که ریشه‌چه خارج می‌شود، هرچه مقدار عددی آن کوچک‌تر باشد نشان از جوانه‌زنی سریع‌تر است) که شاخصی از سرعت و شتاب جوانه‌زنی محسوب می‌گردد (Bajji *et al*., 2002).

رابطه ۳: $GP=\frac{S}{T}\times 100$

رابطه ۴: $MGT=\frac{\sum Ti\ Ni}{\sum Ni}$

رابطه ۵: $GR=\Sigma Ni/Ti$

در این معادله، S: تعداد بذرهای جوانه‌زده، T: تعداد کل بذرها، Ti: تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر روز، Ni: تعداد روزها از ابتدای جوانه‌زنی و ∑Ni: نیز کل تعداد بذرهای جوانه‌زده است.

برای تعیین میزان کلروفیل‌های a، b، کل، a+b و کارتنوئید (در مرحله ۴-۲ برگی گیاهچه‌های حاصل از پتری دیش) بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ، ۰/۵ گرم از برگ تازه به همراه ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد. پس از ۱۵ دقیقه سانترفیوژ در دور ۱۳۰۰۰ در دقیقه و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده و جذب عصاره حاصل در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید (Arnon, 1949; Gu *et al*, 2008).

غلظت کلروفیل‌های a , b از فرمول‌های زیر به دست می‌آید:

رابطه ۶: $C_a=12.7\ (A663)-2.69\ (A645) \times V/1000$

رابطه ۷: $C_b=22.9\ (A645)-2.69\ (A663) \times V/1000W$

رابطه ۸: $C_T=20.2\ (A645) + 8.02\ (A663) \times V/1000$

C میزان غلظت،Vحجم عصاره ، W وزن نمونه است.

رابطه ۹: Carotenoides = 100 (A470) - 3.27 (mg chl. a) – 104 (mg chl. b) / 22

[1] Germination percentage
[2] Mean germination time
[3] Germination coefficient

درصد محتوی آب نسبی برگ (RWC)[4] (در مرحله ۴-۲ برگی گیاهچه‌های حاصل از پتری‌دیش) با استفاده از رابطه‌ی زیر بدست آمد:

رابطه ۱۰: $$RWC=\left(\frac{FW-DW}{TW-DW}\right)\times 100$$

در این رابطه، FW وزن‌تر برگ‌ها، DW وزن خشک برگ‌ها، TW وزن آماس برگ‌ها محاسبه شد (Levitt, 1980). تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌های صفات مورد ارزیابی با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت و شکل‌ها با نرم افزار Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

درصد، سرعت و میانگین مدت زمان جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ژنوتیپ، تنش خشکی و برهمکنش آن‌ها اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر درصد جوانه‌زنی داشت و همچنین اثر اصلی ژنوتیپ و تنش خشکی بر سرعت و میانگین مدت زمان جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بذور ارقام گلرنگ در شرایط تنش خشکی با کاهش سرعت جوانه‌زنی روبرو شدند. میانگین مدت زمان جوانه‌زنی بذر صفت بسیار مهمی در استقرار گیاهچه و استفاده مفید و مؤثر از شرایط محیطی می‌باشد، نتایج این آزمایش حاکی از این مسأله است که بذرهای تولید شده در شرایط تنش ۳/۵- اتمسفر میانگین مدت زمان جوانه‌زنی به ۳/۶۲ روز نسبت به آبیاری نرمال افزایش پیدا کرد (جدول ۲). در بین ارقام گلرنگ، لاین ۴۱۱ بیش‌ترین میزان سرعت جوانه‌زنی را داشت، ولی از لحاظ آماری با رقم صفه تفاوتی نشان نداد. با توجه به مشاهدات رقم صفه دارای سرعت جوانه‌زنی بالایی می‌باشد، که به دنبال آن از میانگین مدت زمان جوانه‌زنی کم‌تری برخوردار بود (جدول ۳). زبرجدی و همکاران (۱۳۹۱) در ژنوتیپ‌های گلرنگ گزارش کرد که با افزایش تنش خشکی ناشی از پلی اتیلن گلایکول، کاهش معنی‌داری بر درصد و شاخص سرعت جوانه‌زنی ژنوتیپ‌ها حاصل شد. هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل این پژوهش نشان داد که، رقم مکزیک۱۲ در هر دو شرایط آبیاری، آبیاری نرمال با ۹۹/۲ درصد و تنش ملایم با ۹۴/۵۹ درصد دارای بالاترین درصد جوانه‌زنی بود و رقم گلدشت در شرایط تنش خشکی با ۶۶/۶۹ درصد کم‌ترین درصد جوانه‌زنی مشاهده شد. با توجه به مشاهدات لاین ۴۱۱ نیز با کاهش جزئی درصد جوانه‌زنی مواجه شد (شکل ۱). به هرحال به‌دلیل تغییر یا عدم کفایت پارامترهای مورد نیاز جوانه‌زنی مانند کمبود آب یا اکسیژن، فعالیت آنزیم‌ها کاهش و سایر فعالیت‌های متابولیکی را با مشکل مواجه می‌سازد، بنابراین در خشکی بالاتر، رطوبت قابل دسترس بذر کاهش یافته و سبب

[4] Relative Water Content

اختلال در فعل و انفعالات متابولیکی قبل از فرآیند جوانه‌زنی شده و جوانه‌زنی کاهش یافته‌است (Metwally *et al.*, 2003).

شکل ۱: بر همکنش ژنوتیپ و تنش خشکی بر درصد جوانه‌زنی

طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ژنوتیپ و تنش خشکی بر صفات طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه گلرنگ اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت، و اثر بر همکنش ژنوتیپ و خشکی بر صفات طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری شد (جدول ۱). طبق نتایج مقایسه میانگین تنش خشکی اثر منفی بر صفت طول گیاهچه داشت، کم‌ترین طول گیاهچه در شرایط تنش ملایم نسبت به آبیاری نرمال مشاهده شد (جدول ۲). در بین ارقام گلرنگ، رقم مکزیک۱۲ و لاین ۴۱۱ با ۷/۴۵ سانتی‌متر دارای بیش‌ترین طول گیاهچه بودند، و رقم گلدشت نسبت به رقم صفه از طول گیاهچه کم‌تری برخوردار بود (جدول ۳). بذرهای تولید شده ارقام مورد مطالعه در شرایط تنش خشکی دارای طول ریشه‌چه بیش‌تری نسبت به شرایط عدم تنش بودند. ژنوتیپ‌های دارای طول ریشه‌چه بیش‌تر دارای درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی بیش‌تری هستند و این نشان‌دهنده آن است که این صفت برای تعیین ارقام متحمل به خشکی دارای اهمیت زیادی می‌باشد. رقم مکزیک۱۲ با ۴/۲۲ سانتی‌متر در پتانسیل رطوبت ۳/۵- اتمسفر دارای بیش‌ترین و رقم صفه‌ی اصفهان با ۱/۷۵ سانتی‌متر در شرایط شاهد دارای کم‌ترین طول ریشه‌چه را داشت. لاین ۴۱۱ در هر دو شرایط آبیاری تغییرات کم‌تری را نسبت به دیگر ارقام نشان داد و رقم مکزیک ۱۲ در هر دو شرایط از طول ریشه‌چه بلندتری برخوردار بود (شکل ۲). تحقیقات نشان می‌دهد رشد اندام‌های هوایی بیش‌تر از ریشه تحت خشکی قرار می‌گیرد و خشکی باعث کاهش نسبت ریشه به شاخ و برگ می‌گردد (Omidi, 2010). نتایج مقایسهٔ میانگین اثر متقابل ژنوتیپ و تنش خشکی نشان داد، که ارقام لاین۴۱۱ با ۵/۰۳ سانتی‌متر و مکزیک ۱۲ با ۳ سانتی‌متر به ترتیب در شرایط تنش خشکی دارای بیش‌ترین و کم‌ترین طول ساقه‌چه بودند. در هر دو شرایط آبیاری لاین۴۱۱ دارای بالاترین مقدار طول ساقه‌چه بود.

جدول ۱: تجزیه واریانس صفات جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه ژنوتیپ‌های گلرنگ در شرایط تنش خشک

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات														
		درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	میانگین مدت زمان جوانه‌زنی	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	طول گیاهچه	وزن تر گیاخچه	وزن خشک گیاهچه	شاخص وزنی بنیه گیاهچه	شاخص طولی بنیه گیاهچه	محتوای کلروفیل a	محتوای کلروفیل b	محتوای کلروفیل کل	محتوای مجموع کلروفیل a+b	محتوای کارتنوئید	محتوای نسبی آب
ژنوتیپ	۳	۷۴۶/۹۴**	۵/۱۰**	۵/۱۳**	۴/۵۸**	۳/۶۹**	۲/۴۶**	۰/۴۰**	۰/۰۰۶**	۴۲/۴۴**	۸۸۹۸/۵۷**	۰/۱۵**	۰/۰۴**	۰/۵۵**	۰/۳۶**	۳۸۰۲/۶۶**	۱۵۴۸/۳۵**
خشکی	۱	۷۳۱/۵۳**	۴۱/۱۳**	۸/۵۲**	۳/۴۲**	۸/۷۰**	۱/۲۰**	۰/۰۴**	۰/۰۱۳**	۱۶۱/۲۰**	۲۲۹۵/۵۳**	۱/۱۴**	۰/۲۸**	۰/۱۹**	۰/۲۹**	۸۶۴/۹۳**	۶۰۴۷/۵۲**
ژنوتیپ× خشکی	۸	۷۳/۷۴**	۰/۶۶^{ns}	۰/۱۸^{ns}	۰/۳۶**	۰/۵۸**	۰/۰۵^{ns}	۰/۷۳**	۰/۰۰۰۴*	۶/۰۹**	۱۶۲۸/۲۱**	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۲**	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۲۴/۷۱^{ns}	۲۰۰۹/۲۲**
خطا	۲۴	۳/۳۲	۰/۴۱	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۰۹	۰/۷۹	۴۵/۹۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۸	۴۱/۶۰	۳۰/۵۱
ضریب تغییرات (درصد)		۲/۱۳	۸/۲۲	۱۰/۰۹	۸/۲۳	۳/۵۶	۳/۶۸	۳/۶۲	۹/۶۰	۱۰/۳۹	۳/۷۸	۱۶/۲۷	۱۷/۲۴	۹/۶۹	۱۲/۷۴	۴/۷۰	۶/۴۲

ns و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

جدول ۲: مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در شرایط تنش خشکی

تنش خشکی (اتمسفر)	سرعت جوانه‌زنی (تعداد بذر در روز)	میانگین مدت زمان جوانه‌زنی (روز)	طول گیاهچه (سانتی‌متر)	محتوای کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر)	محتوای کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر)	محتوای کلروفیل a+b (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر)	محتوای کارتنوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر)
-۰/۵	۸/۹۵a	۲/۵۹b	۷/۱۷a	۰/۶۱a	۰/۸۸a	۰/۸۱a	۱۳۱/۹۰b
-۳/۵	۶/۶۸b	۳/۶۲a	۶/۷۸b	۰/۲۴b	۰/۷۳b	۰/۶۳b	۱۴۲/۳۰a

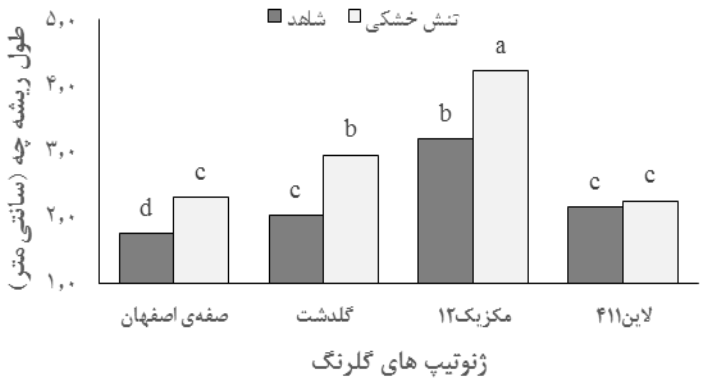
میانگین‌های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

همچنین رقم صفه در شرایط نرمال و تنش خشکی دارای طول ساقه‌چه بیش‌تری نسبت به ارقام گلدشت و مکزیک ۱۲ بود (شکل ۳).

جدول ۳: مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه ژنوتیپ‌های گلرنگ

ژنوتیپ	سرعت جوانه‌زنی (تعداد بذر در روز)	میانگین مدت زمان جوانه‌زنی (روز)	طول گیاهچه (سانتی‌متر)	محتوای کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر)	محتوای کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر)	محتوای کلروفیل a+b (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر)	محتوای کارتنوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر)
صفه‌ی اصفهان	۸/۲۶a	۲/۵۰c	۶/۵۶b	۰/۲۸c	۰/۶۹c	۰/۵۱d	۱۲۳/۵۰c
گلدشت	۶/۸۸b	۲/۵۴c	۶/۴۳b	۰/۳۴c	۰/۵۳d	۰/۶۱c	۱۱۵/۸۷d
مکزیک۱۲	۷/۴۶b	۴/۲۱a	۷/۴۵a	۰/۵۹a	۱/۱۵a	۰/۹۹a	۱۶۴/۰۹a
لاین۴۱۱	۸/۶۶a	۳/۱۸b	۷/۴۵a	۰/۴۸b	۰/۸۴b	۰/۸۰b	۱۴۴/۹۶b

میانگین‌های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.



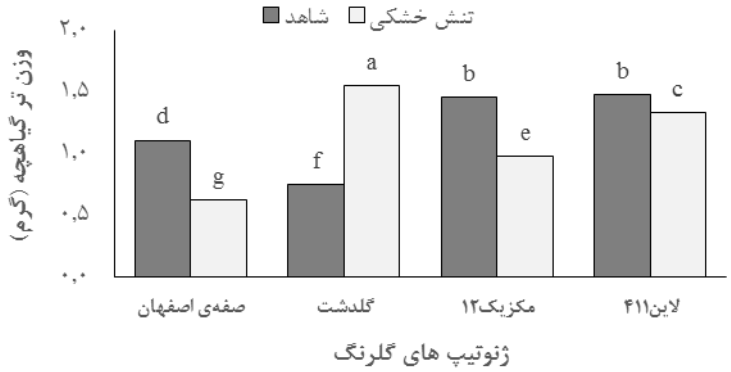
شکل ۲: بر همکنش ژنوتیپ و تنش خشکی بر طول ریشه‌چه

کاهش رشد گیاهچه (ریشه‌چه و ساقه‌چه) در شرایط تنش خشکی و شوری بر بذرهای عدس (Turk *et al*., 2004) و نخودفرنگی (Okcu *et al*., 2005) گزارش شده‌است. این فرآیند، رشد و توسعه اندام‌های گیاهچه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. طول گیاهچه معیاری از بنیه گیاهچه محسوب می‌شود و در بسیاری از گونه‌های گیاهان، همبستگی بین طول گیاهچه و بنیه آن مشخص شده و بنابراین از آن به عنوان معیاری برای ارزیابی رشد گیاهچه و بنیه آن استفاده می‌شود.

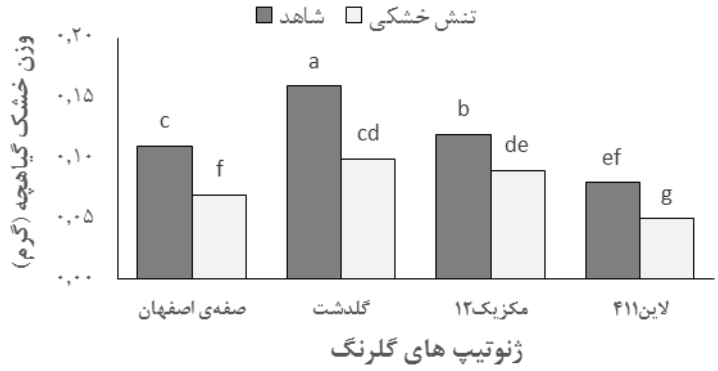
شکل ۳: بر همکنش ژنوتیپ و تنش خشکی بر طول ساقه‌چه

وزن‌تر و خشک گیاهچه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که، اثر ژنوتیپ، تنش خشکی و بر همکنش آن‌ها بر صفات وزن تر و خشک گیاهچه اثر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشت (جدول ۱). در فرآیند جوانه‌زنی با کاهش وزن خشک لپه‌ها، وزن خشک محور زیر لپه (ریشه‌چه) و بالای لپه (ساقه‌چه) زیاد می‌شود. تنش خشکی، ضمن کاهش انتقال مواد به طرف ریشه‌چه و ساقه‌چه، تعادل موجود بین این دو نیز دستخوش تغییر می‌گردد که در ژنوتیپ‌های مختلف، یکسان نخواهد بود. تنش خشکی در مورد ژنوتیپ‌های گلرنگ نتایج متفاوتی را به دنبال داشت، در برخی ارقام، از جمله رقم گلدشت (با ۱/۵۵ گرم) با فاصله گرفتن از شرایط مطلوب، وزن‌تر گیاهچه با افزایش همراه بود ولی ارقام صفه، مکزیک ۱۲ و لاین ۴۱۱ در شرایط تنش خشکی کاهش وزن‌تر ساقه‌چه را به دنبال داشت. با توجه به مقایساتی که انجام گرفت در شرایط تنش خشکی رقم صفه‌ی اصفهان با (۰/۶۲ گرم) کم‌تری را داشت و ارقام لاین۴۱۱ و مکزیک۱۲ در شرایط نرمال دارای وزن‌تر گیاهچه بالاتری نسبت به دیگر ارقام بودند (شکل ۴). طبق مشاهدات نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل، وزن خشک گیاهچه در ارقام مورد مطالعه با کاهش روبرو شد به‌طوری که ژنوتیپ گلدشت در شرایط نرمال دارای وزن خشک بالاتری بود و لاین۴۱۱ در تنش خشکی کم‌ترین مقدار را داشت. ژنوتیپ مکزیک ۱۲ کم‌ترین تغییرات را نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها نشان داد (شکل ۵). بذرهای تولید شده در شرایط تنش خشکی ارقام گلرنگ با کاهش وزن خشک گیاهچه مواجه شدند و رقم گلدشت در شرایط تنش خشکی با ۰/۱ گرم و آبیاری عادی با ۰/۱۶ گرم دارای وزن خشک گیاهچه بالاتری بود. سیدی و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه‌ی خود روی گیاه گلرنگ اعلام کرد که تنش خشکی باعث کاهش رشد، وزن‌تر و بیومس گیاهچه شد. همچنین نتایج زبرجدی و همکاران (۱۳۹۱) نشان داد که تنش ناشی از پلی اتیلن گلایکول باعث کاهش وزن تر و خشک گیاهچه ژنوتیپ‌های گلرنگ شد.



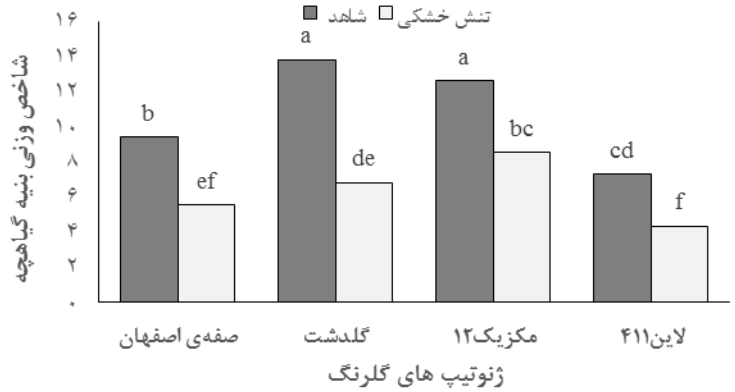
شکل ۴: بر همکنش ژنوتیپ و تنش خشکی بر وزن‌تر گیاهچه



شکل ۵: بر همکنش ژنوتیپ و تنش خشکی بر وزن خشک گیاهچه

شاخص وزنی و طولی بنیه گیاهچه

نتایج تجزیه واریانس این پژوهش نشان داد که اثر ژنوتیپ، تنش خشکی و بر همکنش آن‌ها بر شاخص وزنی و طولی بنیه گیاهچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که رقم گلدشت بالاترین میزان شاخص وزنی بنیه گیاهچه را در شرایط عدم تنش به خود اختصاص داد و ارقام مکزیک۱۲ با ۸/۵۶ و لاین۴۱۱ با ۴/۳۴ به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین شاخص وزنی بنیه گیاهچه را در شرایط تنش خشکی داشت (شکل ۶). رقم مکزیک ۱۲ در شرایط نرمال و تنش دارای بیش‌ترین شاخص طولی بنیه گیاهچه بود. رقم صفه در شرایط تنش خشکی با کاهش شاخص وزنی بنیه گیاهچه همراه بود. به نظر می‌رسد ویژگی‌های ژنتیکی گیاه در حصول این نتایج دخیل است و تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها باعث پاسخ‌های متفاوت آن‌ها به تنش خشکی شده است (شکل ۷). هم‌چنین نتایج این تحقیق با گزارش‌های گراوندی (۱۳۸۹) بر ژنوتیپ‌های گندم، Almasouri و همکاران (۲۰۱۱) بر گیاه گندم نان و Shekari و همکاران (۲۰۰۰) بر گیاه کلزا مطابقت داشت. با توجه به نتایج پژوهش بادله و همکاران (۱۳۹۳)، تنش خشکی باعث کاهش شاخص بنیه بذر کدوسبز شد و بیش‌ترین شاخص بنیه بذر در عدم تنش بدست آمد.



شکل ۶: بر همکنش ژنوتیپ و تنش خشکی بر شاخص وزنی بنیه گیاهچه

شکل ۷: برهمکنش ژنوتیپ و تنش خشکی بر شاخص طولی بنیه گیاهچه

نتایج حاصل از بررسی جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ژنوتیپ و تنش خشکی بر محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر بر همکنش آن‌ها بر محتوای کلروفیل b بافت برگ اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تنش خشکی میزان محتوای کلروفیل a، مجموع کلروفیل a+b و کلروفیل کل را کاهش و محتوای کارتنوئید بافت برگ را افزایش داد (جدول ۲). در بین ارقام، رقم مکزیک ۱۲ از محتوای کلروفیل و کارتنوئید بالاتری برخوردار بود (جدول ۳). آنچه در شکل ۸ مشاهده می‌شود حاکی از افزایش محتوای کلروفیل b در همه‌ی ارقام می‌باشد. بیش‌ترین افزایش در رقم صفه نسبت به آبیاری نرمال مشاهده شد. همچنین در هر دو شرایط کم‌ترین تغییرات در رقم مکزیک ۱۲ رخ داد، رقم مکزیک۱۲ (با ۰/۴۲ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) شرایط تنش در بیش‌ترین میزان کلروفیل b را نشان داد البته از لحاظ آماری با دیگر ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۸). تنش خشکی ملایم سبب کاهش غلظت میزان کلروفیل a، b و کل برگ گلرنگ شد اما در تنش شدید خشکی غلظت کلروفیل برگ افزایش یافت (اسماعیلی منزه و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین نتایج معراجی پور و همکاران (۱۳۹۱) نیز حاکی از اثر معنی‌دار تنش خشکی بر محتوای کلروفیل برگ ژنونتیپ‌های گلرنگ

بود، به‌طوری که ژنوتیپ گلدشت با کاهش سطح تعرق کننده جهت جلوگیری از اتلاف آب توانسته میزان کلروفیل a را در واحد سطح افزایش دهد.

محتوای کلروفیل (a، b، کل و مجموع کلروفیل a+b) بافت برگ

نتایج حاصل از بررسی جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ژنوتیپ و تنش خشکی بر محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر بر همکنش آن‌ها بر محتوای کلروفیل b بافت برگ اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۱).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تنش خشکی میزان محتوای کلروفیل a، مجموع کلروفیل a+b و کلروفیل کل را کاهش و محتوای کارتنوئید بافت برگ را افزایش داد (جدول ۲). در بین ارقام، رقم مکزیک ۱۲ از محتوای کلروفیل و کارتنوئید بالاتری برخوردار بود (جدول ۳). آنچه در شکل (۸) مشاهده می‌شود حاکی از افزایش محتوای کلروفیل b در همه‌ی ارقام می‌باشد. بیش‌ترین افزایش در رقم صفه نسبت به آبیاری نرمال مشاهده شد. همچنین در هر دو شرایط کم-ترین تغییرات در رقم مکزیک ۱۲ رخ داد، رقم مکزیک۱۲ (با ۰/۴۲ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) شرایط تنش در بیش‌ترین میزان کلروفیل bرا نشان داد البته از لحاظ آماری با دیگر ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۸).

تنش خشکی ملایم سبب کاهش غلظت میزان کلروفیل a، b و کل برگ گلرنگ شد اما در تنش شدید خشکی غلظت کلروفیل برگ افزایش یافت (اسماعیلی منزه و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین نتایج معراجی پور و همکاران (۱۳۹۱) نیز حاکی از تأثیر معنی‌دار تنش خشکی بر محتوای کلروفیل برگ ژنونتیپ‌های گلرنگ بود، به‌طوری که ژنوتیپ گلدشت با کاهش سطح تعرق کننده جهت جلوگیری از اتلاف آب توانسته میزان کلروفیل a را در واحد سطح افزایش دهد.

شکل ۸: برهمکنش ژنوتیپ و تنش خشکی بر محتوای کلروفیل b

محتوای کارتنوئید بافت برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان دهنده اثر معنی‌دار ژنوتیپ و تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد بر صفت محتوای کارتنوئید برگ بود (جدول ۱). با توجه به نتایج مقایسه میانگین محتوای کارتنوئید گیاهچه‌های حاصل از بذرهای تولید شده در شرایط تنش ملایم از میانگین کم‌تری بر خوردار بودند و میزان آن در شرایط تنش خشکی ۳/۵- اتمسفر بیشتر شد (جدول ۲). بیش‌ترین و کم‌ترین میزان کارتنوئید به‌ترتیب در ژنوتیپ مکزیک۱۲ با (۱۶۴/۰۹ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) و گلدشت با (۱۱۵/۸۷ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) مشاهده شد (جدول ۳). با توجه به یافته‌های اسماعیلی منزه و همکاران (۱۳۹۱) اعمال تنش خشکی (تنش نسبتاً شدید) در مرحله‌ی گلدهی بر ژنوتیپ‌های گلرنگ باعث افزایش میزان کلروفیل و کارتنوئید شد.

محتوای نسبی آب برگ

طی بررسی نتایج جدول تجزیه واریانس اثر ژنوتیپ، تنش خشکی و برهمکنش آن‌ها بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). پاسخ ژنوتیپ‌ها در مواجه به تنش خشکی متفاوت بود به‌طوری که رقم گلدشت نسبت به دیگر ارقام افزایش جزئی نشان داد. رقم مکزیک ۱۲ در شرایط نرمال از درصد محتوای نسبی آب برگ بالاتری برخوردار بود، به نظر می‌رسد در شرایط تنش این رقم با کاهش بیش‌تری مواجه شد. همان‌طور که در تحقیقات صورت گرفته مشاهده شد، در شرایط پتانسیل رطوبت ۳/۵- اتمسفر رقم گلدشت دارای درصد محتوای نسبی آب بالاتری بود، البته از لحاظ آماری با لاین ۴۱۱ تفاوتی ندارد و رقم صفه با پایین‌ترین درصد محتوای نسبی آب روبرو بود (شکل ۹). معراجی پور و همکاران (۱۳۹۱) نیز کاهش محتوی نسبی آب برگ ارقام گلرنگ بهاره را تحت تنش خشکی گزارش داد. همچنین اسماعیلی منزه و همکاران (۱۳۹۱) نیز به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ ژنوتیپ-های گلرنگ را کاهش داد و با نتیجه این آزمایش هم‌خوانی داشت.

شکل ۹: بر همکنش ژنوتیپ و تنش خشکی بر محتوای نسبی آب

نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش بذرهای تولید شده در شرایط تنش خشکی دارای درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول گیاهچه، وزن‌تر و خشک گیاهچه، بنیه گیاهچه، محتوای کلروفیل و محتوای آب نسبی کمتری نسبت به شرایط آبیاری نرمال (شاهد) بودند. بذرهای تولید شده پایه مادری ژنوتیپ مکزیک۱۲ در شرایط تنش بالاترین درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه گیاهچه را نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها داشت. همچنین محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاهچه ژنوتیپ مکزیک۱۲ در شرایط تنش خشکی دارای بیش‌ترین میزان بود. ژنوتیپی که در پارامترهای اندازه‌گیری شده در هر دو محیط تنش و عدم تنش از نوسان کم‌تری برخوردار باشد، پایداری بیش‌تری نشان می‌دهد، در حالی که آن دسته از ژنوتیپ‌های که دارای نوسان بسیاری هستند، به تنش خشکی حساس‌تر می‌باشند.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از مسئولین دانشکده کشاورزی و آزمایشگاه‌های زراعت و تکنولوژی بذر دانشگاه شاهد به خاطر فراهم کردن امکانات لازم برای انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

اسماعیلی منزه، ع.، امیدی، ح. و بستانی، ع.ا. ۱۳۹۱. تأثیر تنش خشکی بر عملکرد واجزای عملکرد، پرولین، رنگدانه‌های فتوسنتزی و آب نسبی برگ چند ژنوتیپ گلرنگ. مجله پژوهش‌های آب در کشاورزی، جلد۲ شماره۶۲، ص ۱۸۷-۱۹۶.

بادله، ک.، عقیقی شاهوردی، م. و امیدی، ح. ۱۳۹۳. تأثیر پرایمینگ بذر بر شاخص‌های جوانه‌زنی کدوسبز (*Cucurbita pepo* L.) تحت تنش خشکی. مجله پژوهش‌های بذر ایران، جلد ۱شماره ۲، ص ۱۳۵-۱۲۵.

زبرجدی، ع.ر.، سهیلی‌خواه، ژ.، قاسمپور، ح.ر. و ویسی پور، ا. ۱۳۹۱. تأثیر تنش خشکی اعمال شده توسط PEG6000 بر خصوصیات فیزیولوژیک و مورفولوژیک جوانه‌زنی بذور گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) به منظور گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی. مجله زیست شناسی، جلد ۲۵ شماره ۲، ۲۶۳-۲۵۲.

سیدی، م.، حمزه ئی، ج.، بوربور، ا.، دادرسی، و. و صادقی، ف. ۱۳۹۱. تأثیر هیدروپرایمینگ بر ویژگی‌های جوانه-زنی و رشد گیاهچه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تحت تنش خشکی. مجله دانش، جلد ۵ شماره ۸، :ص ۷۶-۶۳.

گراوندی، م.، فرشادفر، ع. و کهریزی، د. ۱۳۸۹. ارزیابی تحمل خشکی در ژنوتیپ‌های پیشرفته‌ی گندم نان در شرایط مزرعه و آزمایشگاه. مجله به‌نژادی نهال و بذر، جلد ۲۶ شماره ۲، ص ۲۵۵-۲۳۳.

معراجی پور، م.، موحدی دهنوی، م.، دهداری، ا.، فرجی، ه. و معراجی پور، م. ۱۳۹۱. تأثیر تنش خشکی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی چهار رقم گلرنگ بهاره در منطقه یاسوج. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، جلد ۵ شماره ۲، ص ۱۳۴-۱۲۵.

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.

Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Poly phenol oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology, 24:1 -150.

Bajji, M., Kinet., J. M. and Lutts, S. 2002. Osmotic and ionic effects of NaCl on germination, early seedling growth, and ion content of Saltbush (*Atriplex halimus* L.) (Chenopodiaceae). Canadian Journal of Botany, 80: 297-304.

Bowles, V. G., Mayerhofer, R., Davis, C., Good, A.G. and Hall, J. C. 2010. A phylogenetic investigation of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) combining sequence and microsatellite data. Plant Systematics and Evolution, 287: 85-97.

Farsiani, A. and Ghobadi, M. E. 2009. Effects of PEG and NaCl stress on two cultivars of corn (*Zea mays* L.) at germination and early seedling stages. World Academy of Science Engineering and Technology, 57: 382-385.

Gholamin, R. and M. Khayatnezhad. 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.

Gu, Z., Chen, D., Han, Y., Chen, Z. and Gu, F. 2008. Optimization of carotenoids extraction from Rhodobacter sphaeroides. Learning With Technologies, 41: 1082–1088.

Iranian Vegetable Oil Industry Association (IVOI). 2011. Available at Web site http://dpea.moc.gov.ir/shownews.asp. (Verified 10 June 2012).

ISTA (International Seed Testing Association). 2009. International Rules for Seed Testing International Seed Testing Association. Bassersdorf, Switzerland.

Levitt, J. 1980. Response of plants to environmental stresses: water, radiation, salt and other stresses. Academic press. New York, pp.: 187-211.

Metwally, A., Finkemeier, I., Georgi, M. and Dietz, K. J. 2003. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. Plant Physiology, 132: 272–281.

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.

Okcu, G., Kaya, M. D. and Atak, M. 2005. Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). Turkian Journal Agricultural For, 29: 237-242.

Omidi, H. 2010. Changes of Proline Content and Activity of Antioxidative Enzymes in Two Canola Genotype under Drought Stress. American Journal of Plant Physiology, 5: 338-349.

Omidi, H., Tahmasebi, Z., Naghdi Badi, H.A., Torabi, H. and Miransari, M. 2010. Fatty acid composition of canola (*Brassica napus* L.), as affected by agronomical, genotypic and environmental parameters. Comptes Rendus Biologies, 333: 248-254.

Parmoon, Gh. Ebadi, A., Jahanbakhsh Godahkahriz, S. and Davari, M. 2013. Effect of seed priming by salicylic acid on the physiological and biochemical traits of aging milk thistle (*Silybum marianum*) seeds. European Journal of Cancer Pre, 7: 223-234.

Shekari, F.R., Khoie, A., Javanshir, H., Alyari, H. and Shkiba, M. R. 2000. Effect of Sodium chloride salinity on germination of rapeseed cultivars. Turkish Journal of Field Crops, 5: 21-28.

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