مطالعه شاخصهای جوانهزنی بذر و رشد اولیه گیاهچه‌های گلرنگ با وزن هزار دانه متفاوت تحت تنش خشکی

حمید باقری*[1]، یوسف قاضی خانلوثانی[1]، بابک عندلیبی[2]، محمدرضا عظیمی مقدم[2]، اسماعیل زنگانی[1] و سلیمان جمشیدی[3]

چکیده

بذرهایی که بتوانند از تحمل به خشکی بالایی برخوردار باشند در استقرار یکنواخت بوتهها در مزرعه و افزایش عملکرد نقش قابل توجهی خواهند داشت. به منظور مطالعهٔ شاخصهای جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه گلرنگ رقم سینا با وزن‌های هزار دانه مختلف (۲۳، ۲۳/۸۳، ۲۵/۱۳ و ۲۷/۲۷ گرم) تحت شدتهای مختلف تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در آزمایشگاه فیزیولوژی دانشگاه زنجان انجام شد. سطوح مختلف تنش خشکی شامل صفر (شاهد)، ۴- و ۸- بار با کاربرد پلی اتیلن گلیگول ۶۰۰۰ بدست آمد. با افزایش شدت تنش خشکی، درصد جوانهزنی به طور معنیداری کاهش یافت و از ۸۱/۸٪ در شاهد به ۵۷/۸٪ در تنش خشکی ۸- بار رسید. هم‌چنین، بذور با وزن هزار دانه بیشتر، درصد جوانهزنی، سرعت جوانهزنی و ضریب سرعت جوانهزنی بالاتری داشتند. تحت شرایط تنش، بذور با وزن هزار دانه ۲۷/۲۷ گرم ساقهچه و ریشهچه طویلتری نسبت به سایرین تولید نمودند. هم چنین، تحت شرایط تنش، بذور با وزن هزار دانه بالا شاخص بنیه، وزن خشک و وزن تر گیاهچه بیشتری نسبت به سایر بذور داشتند. بنابراین، در این بررسی بذور با وزن هزار دانه بیشتر، علاوه بر این که دارای شاخصهای جوانهزنی بالاتری بودند، نسبت به تنش خشکی نیز مقاومت خوبی نشان دادند.

واژههای کلیدی: گلرنگ، استقرار گیاهچه، تنش خشکی، پلیاتیلن گلیگول.

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۱/۸/۱۱

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت دانشگاه زنجان

۲- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه زنجان

۳- عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه

* نویسنده مسئول: mjhamid62@yahoo.com

مقدمه

جوانهزنی مطلوب بذر، دوام، استقرار و عملکرد نهایی گیاهان را تضمین میکند و سبز شدن به اندازه کافی از عوامل مهم در زراعت گلرنگ محسوب میشود که در اکثر مناطق کشور به صورت دیم کشت میشود (Naseri,1998). بذرهایی که بتوانند در شرایط تنش، از مقاومت به خشکی بالایی برخوردار باشند، در استقرار یکنواخت بوتهها در مزرعه و افزایش عملکرد نقش قابل توجهی خواهند داشت. به طور کلی موفقیت در زراعت با بذر ضعیف امکانپذیر نیست. بذرهای ریز، آسیبدیده و با ذخیره غذایی نامتعادل، گیاهچههای ضعیف در مزرعه تولید میکنند که به تنشهای محیطی حساس بوده، تلفات بالا و عملکرد پایینی دارند (Khajepoor, 1986). استفاده از بذرهای مرغوب با درصد سبز شدن و سرعت رشد بالا موجب افزایش عملکرد گیاهان زراعی میگردد (Ghasemi-Golazani *et al.*, 1997). اختلاف بین وزن هزار دانه، که حاکی از مقدار مواد ذخیرهای موجود در بذر است از دلایل مهم تفاوت قدرت جوانهزنی این بذور است (Mirmahmoudi, 2001; Lotfifar *et al.*, 2008). دوی و همکاران (Devi *et al.*, 2003) دریافتند که اندازه بذر خردل وحشی بر بنیه بذر آن تأثیرگذار است و بذرهای دارای وزن بیشتر، قوه نامیه بالاتری داشته و نشت الکترولیت کمتری داشتند. هم چنین ارقام کلزا با وزن کمتر از قدرت جوانهزنی پایینی برخوردارند (Lotfifar *et al.*, 2008). اندازه بذر علاوه بر تأثیر بر استقرار گیاهچه و تجمع وزن خشک، بر عملکرد نهایی گیاه نیز تأثیرگذار میباشد. پژوهشها نشان میدهند که بذرهای کوچکتر یک توده گندم، ۱۹ درصد از بذرهای درشتتر همان توده بذر، عملکرد کمتری دارند (Tekrony and Elgi, 1991).

خشکی از تنشهای بسیار مهم در کاهش رشد و تولید گلرنگ میباشد و بسیاری از جنبههای متابولیسم و رشدی گیاه را تحت تأثیر قرار میدهد. تنش خشکی، سرعت و درصد جوانهزنی را کاهش داده و در نهایت استقرار گیاهچه را به تأخیر میاندازد (Prisco *et al.*, 1992). نوسانات جوانهزنی که تحت تأثیر عوامل محیطی قرار میگیرد از نظر اکولوژیکی و از دیدگاه مدیریت زراعی از اهمیت خاصی برخوردار است. اثرات متقابل بین عوامل محیطی و سازوکارهای درونی یک بذر، جوانهزنی آن را تحت شرایط خاص تعیین میکند (Bradford *et al.*, 1992). تنشهای آبی میتوانند سرعت و درصد جوانهزنی را کاهش دهند و واکنش بذور گیاهان و حتی گونههای مربوط به یک گیاه به این نوع تنشها میتواند دامنه وسیعی را در برگیرد. دی و کار (De and Kar, 1995) نتیجه گرفتند که کلیه شاخصهای جوانهزنی ماش در اثر تنش خشکی کاهش مییابد. یزدانی بیوکی (Yazdani Bioki, 2010) در آزمایش تنش خشکی بر گندم نتیجه گرفتند که حداقل تنش لازم برای کاهش معنیدار درصد جوانهزنی ٤- بار میباشد. دیومن (Duman, 2006) گزارش کرد که تنش خشکی درصد جوانهزنی و طول ریشهچه و ساقهچه کاهو را کاهش میدهد. رحیمی و همکاران (Rahimi *et al.*, 2006) گزارش کردهاند که در شرایط تنش خشکی درصد جوانهزنی، طول ساقهچه و ریشهچه بارهنگ به طور معنیداری کاهش مییابد . کاهش سرعت جوانهزنی، وزن خشک و تر و هم چنین طول گیاهچه گلرنگ تحت شرایط تنش خشکی توسط معافی پاشاکلایی (Moafi Pashakalai, 2010) نیز گزارش شده است.

با توجه به اهمیت جوانهزنی در گلرنگ جهت ایجاد تراکم مطلوب در مزرعه و تأثیر تنش خشکی بر جوانهزنی بذور گلرنگ، این آزمایش برای بررسی اثر وزن هزار دانه بر درصد جوانهزنی و رشد گیاهچه گلرنگ تحت شرایط تنش خشکی انجام گرفت. بدیهی است بذرهایی که بتوانند در شرایط تنش از مقاومت بالایی برخوردار باشند، در استقرار یکنواخت بوتهها در مزرعه و افزایش عملکرد نقش قابل توجهی خواهند داشت.

مواد و روشها

این آزمایش در سال ۱۳۹۰ در آزمایشگاه فیزیولوژی دانشگاه زنجان به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد که در آن بذور با وزن هزار دانه متفاوت (۲۳، ۲۳/۸۳، ۲۵/۱۳ و ۲۷/۲۷ گرم) تحت سطوح مختلف تنش خشکی حاصل از پلیاتیلن گلیگول شامل صفر (آب مقطر به عنوان شاهد)، ٤- و ۸- بار قرار گرفتند. بذور با وزنهای متفاوت با محلولپاشی ماده ضد تعرق آترازین بر رقم سینا به دست آمدند (Bagheri, 2012). مقادیر لازم از پلیاتیلن گلیکول با وزن مولکولی ٦۰۰۰ برای ایجاد هر یک از پتانسیلهای اسمزی مختلف با استفاده از فرمول کافمن و اکارد (Kaufman

and Eckard, 1971) محاسبه گردید و برای تیمار شاهد از آب مقطر استفاده شد.

پنجاه عدد بذر از هر یک از تیمارهای وزنی انتخاب و بعد از ضدعفونی با قارچکش بنومیل ۲ در هزار در داخل پتری دیش شیشه‌ای سترون با قطر دهانه ۱۵ سانتیمتری روی کاغذ صافی سترون قرار داده شد و محلول پلیاتیلن گلیکول با پتانسیل اسمزی معین روی آن‌ها اضافه شد و سپس کاغذ صافی آغشته به محلول پلیاتیلن گلیکول دیگری با همان ابعاد و همان پتانسیل اسمزی روی بذرها قرار گرفت. شمارش بذرهای جوانهزده به صورت روزانه در یک ساعت معین انجام گرفت. هنگام شمارش، بذرهای جوانهزده تلقی میشدند که طول ریشهچه آن‌ها حداقل ۲ میلیمتر بود. شمارش تا زمانی ادامه یافت که برای مدت سه روز متوالی تعداد بذرهای جوانه زده در هر نمونه ثابت بماند. طول ریشهچه و ساقهچه با خط کش اندازهگیری‌شد و وزن تر و خشک گیاهچه (۴۸ ساعت در آون ۷۲ درجه سلسیوس) با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند. درصد جوانهزنی از نسبت تعداد بذور جوانهزده پس از ۱۴ روز به تعداد کل بذور به دست آمد. جهت محاسبه سرعت و میانگین زمان جوانهزنی به ترتیب از روابط زیر استفاده گردید (Salehzade *et al.*, 2009):

$$Rs = \sum_{i=1}^{n} \frac{Si}{Di}$$

که در آن ، RS سرعت جوانهزنی ، Si تعداد بذرهای جوانهزده در هر شمارش، Di تعداد روز تا شمارش nام و n دفعات شمارش میباشند.

$$MGT = \frac{\sum Dn}{\sum n}$$

MTG= میانگین زمان جوانهزنی، n= تعداد بذوری که در روز D جوانه زدهاند وD= تعداد روزهای پس از شروع جوانه زنی میباشند .

ضریب سرعت جوانهزنی (CVG) که مشخصه سرعت و شتاب جوانهزنی بذرها است از رابطه زیر محاسبه شد:

$$CVG = \frac{G1 + G2 + \cdots + Gn}{(1 \times G1) + (2 \times G2) + \cdots + (n \times Gn)}$$

که در آن G1 تا Gn تعداد بذرهای جوانهزده از روز اول تا آخر آزمون است (Scotte *et al.*, 1984).

متوسط جوانهزنی روزانه (MDG) که شاخصی از سرعت جوانهزنی روزانه است به صورت زیر تعیین شد:

$$MDG = \frac{FGP}{D}$$

FGP، درصد جوانهزنی نهایی[1] (Hamidi *et al.*, 2009) و D، تعداد روز تا رسیدن به حداکثر جوانهزنی نهایی (طول دوره اجرای آزمون) است (Hunter *et al.*, 1984).

هم‌چنین شاخص بنیه گیاهچه (SVI[2]) با استفاده از رابطه زیر تعیین شد (Hamidi *et al.*, 2009):

قابلیت جوانهزنی× وزن خشک گیاه‌چه= شاخص بنیه گیاهچه

برای تجزیه واریانس و مقایسه میانگین با آزمون دانکن در سطح ۵٪ از نرم‌افزار MSTATC و برای محاسبه همبستگی صفات از توسط نرمافزار SPSS (ver. 17) استفاده شد.

نتایج و بحث

درصد جوانهزنی

اثر متقابل وزن بذر و سطح تنش بر درصد جوانهزنی در سطح احتمال ۱ درصد معنیدار بود (جدول ۱). وزن هزار دانه ۲۵/۱۳ گرم در سطح شاهد بیشترین درصد جوانهزنی را با ۹۶/۲ درصد نشان داد و وزن هزار دانه ۲۳ گرم در سطح تنش ۸- بار کمترین درصد جوانهزنی را با ۲۸/۶۷ درصد داشت (جدول ٤). تأثیر تنش خشکی بر درصد جوانهزنی توسط سیدشریفی و سیدشریفی (Seyyed-Sharifi and Seyyed-Sharifi, 2009) نیز گزارش شده است.

با افزایش سطح خشکی، درصد جوانهزنی به طور معنی‌داری کاهش یافت، ولی با افزایش وزن دانه این کاهش از لحاظ آماری معنیدار نبود. به جز وزن هزاردانه ۲۳ گرم، بین وزن دانهها در تمامی غلظتها اختلافی از لحاظ آماری مشاهده نشد (جدول ٤). این نشان میدهد که وزن هزاردانه ۲۳ گرم، که دارای وزن کمتری نسبت به دیگر وزنها است دارای حساسیت بیشتری نسبت به سطوح تنش بوده و با اعمال تنش، درصد جوانهزنی کاهش معنیداری مییابد. به عبارتی دیگر با افزایش وزن بذر (جدول ٤) تحمل به تنش خشکی افزایش یافت. عدم اختلاف بین دانه‌های با وزن هزاردانه ۲۳/۸۳ و ۲۵/۱۳ گرم نیز نشان داد که آماده بودن تمام شرایط مناسب برای جوانهزنی

[1] Final germination percentage
[2] Seedling vigor index

نمیتواند اختلاف بین توان رویشی بذور را در شرایط سخت مزرعه نشان دهد، زیرا بذرها بدون صرف انرژی برای گذر از شرایط سخت (مانند آنچه که در مزرعه وجود دارد)، قادر به جوانهزنی هستند. رشد بذرهای با وزن هزاردانه ۲۳ گرم، نشان داد که بذرهایی که پس از خارج‌سازی از شرایط تنش و انتقال به شرایط مطلوب، کاهش شدید جوانهزنی داشته باشند، از قدرت پایینی برخوردار بوده و در مزرعه نیز درصد سبز خوبی نخواهند داشت (El-Kassaby and Edwards, 1998). توماس و همکاران (Tomas *et al.*, 1988) و مشتطی (Moshtati, 2007) گزارش کردهاند که اندازه و وزن بذر بر درصد جوانهزنی بذرهای تنش دیده تأثیر دارد. بذرهای بزرگتر و سنگینتر توان بالاتری در تحمل تنش داشته و بعد از اتمام مدت تنش و انتقال آن به محیط جوانهزنی استاندارد، جوانهزنی بهتری دارند. بسیاری از مطالعات، افزایش توان جوانهزنی بذور دارای وزن بالاتر در شرایط تنش را گزارش نمودهاند (Sawan *et al.*, 1999; Akbari *et al.*, 2005).

متوسط زمان جوانهزنی

اثر متقابل وزن بذر و سطح تنش بر متوسط زمان جوانهزنی درسطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۱)، این امر نشانگر آن است که بذرها و سطوح تنش دارای متوسط زمان جوانهزنی متفاوتی هستند، به طوری که در دانه‌های با وزن هزاردانه ۲۵/۱۳ گرم، متوسط زمان جوانهزنی کمتر از دانه‌های با سایر وزن‌ها در همه سطوح تنش بود. با افزایش سطح تنش، در تمامی وزن بذرها متوسط زمان جوانهزنی افزایش یافت (جدول ٤). سطح تنش موجب افزایش زمان لازم برای جوانه‌زنی شد، ولی با افزایش وزن بذر، اثر تنش خشکی تقلیل یافت، به طوری که در بذرهای با وزن هزاردانه ۲۵/۱۳ و ۲۷/۲۷ گرم هرچند متوسط زمان جوانهزنی با افزایش تنش خشکی، افزایش یافت، ولی این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ٤). وزن بذر ۲۵/۱۳ گرم در سطح شاهد و وزن بذر ۲۳ گرم در سطح تنش ۸- بار به ترتیب کمترین و بیشترین متوسط زمان جوانه‌زنی را داشتند. جدول ٤ نشان داد که وزن بذر ۲۵/۱۳ گرم، دارای متوسط زمان جوانهزنی کمتری نسبت به وزن بذر ۲۷/۲۷ گرم بود. اگرچه بذر درشتتر در برخی منابع به علت دارا بودن منابع ذخیرهای ترجیح داده شده است، ولی این موضوع نیز باید لحاظ گردد که بذور برای جوانهزنی نیاز به جذب آب دارند و در بذور درشتتر این نیاز بیشتر نیز می‌باشد. لذا بذرهای با وزن هزاردانه ۲۵/۱۳ گرم به دلیل جذب مقدار آب مورد نیاز برای جوانهزنی نسبت به بذرهای با وزن هزاردانه ۲۷/۲۷ گرم دارای متوسط زمان جوانه‌زنی کمتری بود. بین درصد جوانهزنی و متوسط زمان جوانهزنی همبستگی منفی و بالایی مشاهده گردید. چنین به نظر میرسد که بذرهایی که به زمان کمی برای جوانهزنی نیاز دارند دارای درصد جوانهزنی بالاتری می‌باشند (جدول ۵).

متوسط جوانهزنی روزانه

بذرهای با وزنهای متفاوت در سطوح تنش دارای متوسط جوانهزنی متفاوتی در سطح احتمال ۱ درصد بودند (جدول ۱). با افزایش وزن دانه، متوسط جوانهزنی روزانه در تمامی سطوح تنش افزایش یافت، ولی کاهش محسوسی با افزایش وزن دانه از ۲۵/۱۳ گرم به ۲۷/۲۷ گرم مشاهده شد (جدول ٤). به نظر میرسد با توجه به این که متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی وزن بذر ۲۷/۲۷ گرم، بیشتر از وزن بذر ۲۳/۸۳ بود (جدول ٤)، لذا متوسط جوانهزنی روزانه نیز کمتر بوده است. هم‌چنین هر چند بذور درشتتر دارای مواد ذخیرهای بیشتری هستند، ولی به مقدار آب بیشتری نیز برای گذر از فاز اول جوانهزنی (آبنوشی) نیاز دارند. بنابراین با منفیتر شدن پتانسیل آب، آب قابل دسترس برای جوانهزنی کمتر شده و لذا این بذور مدت زمان بیشتری نسبت به وزن بذر ۲۵/۱۳ گرم نیاز دارند تا موفق به جوانهزنی شوند. بررسی همبستگی صفات نشان داد که هر چه بذور دارای متوسط جوانهزنی روزانه بالاتری باشند، دارای درصد جوانهزنی بالاتری نیز خواهند بود (جدول ۵).

ضریب سرعت جوانهزنی روزانه

اثر متقابل وزن بذر و سطح تنش بر ضریب سرعت جوانه‌زنی روزانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد (جدول ۱)، به طوری که در وزن هزاردانه ۲۳/۸۳ گرم، ضریب سرعت جوانه‌زنی روزانه بیشتر از سایر وزن‌های مورد بررسی در تمامی سطوح تنش بود. هرچند بین وزن بذر ۲۳/۸۳ گرم با وزن بذرهای ۲۵/۱۳ و ۲۷/۲۷ گرم، اختلافی از لحاظ آماری مشاهده نشد. با افزایش سطح تنش، ضریب سرعت جوانهزنی روزانه در تمامی وزن بذرها کاهش یافت (جدول ٤). با توجه به این که بذور درشت دارای اندوخته بیشتری هستند، با شتاب بیشتری جوانهزنی می‌زنند. این بذور آب را که لازمه جوانهزنی است، جذب کرده و با اندخته غذایی خود با شتاب جوانه

می‌زنند. چنین به نظر میرسد که با افزایش وزن بذر، پتانسیل ماتریک که در فاز اول جوانهزنی تنها عامل جذب آب می‌باشد (Shekari *et al*., 2007) نیز بیشتر شده و در نتیجه هر چند با اعمال تنش خشکی پتانسیل آب منفی میشود، ولی پتانسیل ماتریک درون بذر منفیتر بوده و لذا آب را جذب می‌نماید. با این حال، بذور ریز به علت منفیتر بودن محیط بیرون نسبت به پتانسیل ماتریک درون بذر در شرایط تنش، قادر به جذب آب کمی میباشند که این عامل در کنار اندوخته کم غذایی بذور ریز، توأمان موجب عدم جوانهزنی با شتاب و شدت مناسب میگردد. در این تحقیق نیز بذور ریز در تمامی سطوح تنش دارای ضریب سرعت جوانهزنی روزانه کمتری نسبت به بذور درشت بودند (جدول ٤). هر چند با افزایش شدت تنش خشکی بذور درشت نیز تحت تأثیر قرار گرفته و از ضریب سرعت جوانهزنی روزانه آن‌ها کاسته شد.

سرعت جوانهزنی

بذور با وزن متفاوت سرعت جوانهزنی متفاوتی در سطوح تنش نشان دادند (جدول ۱). بیشترین سرعت جوانهزنی را وزن بذر ۲۵/۱۳ گرم در سطح شاهد با ۱۱۲/۹ و کمترین سرعت جوانهزنی را وزن بذر ۲۳ گرم در سطح تنش ۸- بار داشتند. با افزایش وزن بذر در تمامی سطوح تنش، سرعت جوانهزنی افزایش یافت (جدول ٤) که با نتایج گزارش شده توسط حمیدی و همکاران (Hamidi *et al*., 2009) و قاسمیگلعذانی و همکاران (Ghasemi golazani *et al*., 1997) در مورد بذر گیاهان زراعی مطابقت دارد. بنا به اظهار برخی پژوهشگران، بالا بودن سرعت جوانهزنی بذور سنگینتر در آزمایشهایی که در آنها تنش اعمال میشود، میتواند ناشی از بیشتر بودن ذخیره مواد غذایی آن‌ها باشد که علاوه بر صرف مواد غذایی گذراندن دوره تنش، از ذخیره کافی جهت جوانهزدن نیز برخوردار هستند (Durant and Loads, 1990; Tekrony and Elgi, 1991).

با افزایش سطح تنش، سرعت جوانهزنی در تمامی تیمارها، کاهش یافت، ولی بذور با وزن بالا، دارای قدرت تحمل بیشتری به تنش بودند (جدول ٤)، بنابراین این بذور دارای سرعت جوانهزنی بالایی نسبت به بذور ریز و سبکتر حتی در شرایط تنش بودند که با نتایج لطفی‌فر و همکاران (Lotfifar *et al*., 2008) مطابقت داشت.

همبستگی منفی و بالایی بین سرعت جوانهزنی و متوسط زمان جوانهزنی مشاهده شد (جدول ٥). چنین به نظر میرسد که افزایش متوسط زمان جوانهزنی در بذور با وزن هزاردانه ۲۳ و ۲۳/۸۳ گرم، به دلیل کاهش سرعت جوانهزنی بوده که در نهایت موجب کاهش درصد بذور جوانهزده شده است.

شاخص بنیه گیاهچه

وزن بذر و سطح تنش اثرات متفاوتی بر شاخص بنیه گیاهچه داشتند، به طوری که اثرات در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). بذور درشتتر و با وزن بیشتر شاخص بنیه گیاهچه بیشتری داشتند، به طوری که وزن بذر ۲۳ گرم و ۲۳/۸۳ گرم شاخص بنیه کمتری نسبت به وزن بذر ۲۵/۱۳ و ۲۷/۲۷ گرم داشتند (جدول ٤). با افزایش سطح تنش، از شاخص بنیه گیاهچه کاسته شد، به طوری که در تمامی وزن بذور، این کاهش از لحاظ آماری نیز معنیدار بود، ولی بذور با وزن هزار دانه بالا دارای شاخص بنیه گیاهچه بیشتری در تمامی سطوح تنش بودند. هرچند وزن بذر ۲۷/۲۷ گرم کاهش در این شاخص را نشان داد، ولی از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ٤). چنین به نظر میرسد که علت افزایش شاخص بنیه گیاهچه در بذرهای با وزن ۲۵/۱۳ و ۲۷/۲۷ گرم به دلیل بیشتر بودن درصد جوانهزنی بوده است که موجب افزایش تعداد کل بذرهای جوانهزده (گیاهچههای تولید شده) گردیده که نتیجه آن افزایش شاخص بنیه گیاهچه بود (جدول ٥).

طول ریشهچه

اثر تنش خشکی بر طول ریشه در سطح احتمال ۱ درصد معنیدار بود (جدول ۱) که نشان دهنده این است که طول ریشهچه تحت تأثیر تنش خشکی قرار میگیرد. با افزایش شدت تنش خشکی از طول ریشه به طور معنیداری کاسته شد. بیشترین طول ریشهچه را شاهد با ۱/٦٦ سانتیمتر و کمترین طول ریشهچه را سطح تنش ۸- بار با ۰/۷٦ سانتیمتر داشتند (جدول ۲). اثر تنش خشکی بر طول ریشهچه بذور گلرنگ را سیدشریفی و سید شریفی (Seyyed-Sharifi and Seyyed-Sharifi, 2009) نیز گزارش کردهاند.

هم‌چنین بذور با وزن هزار دانه متفاوت دارای طول ریشهچه یکسانی نبودند (جدول ۱). به طوری که وزن بذر ۲۵/۱۳ گرم دارای طول ریشهچه بیشتری بود، هرچند با وزن بذر ۲۷/۲۷ گرم تفاوتی از لحاظ آماری از نظر این صفت نشان نداد

(جدول ۳). با افزایش وزن بذر طول ریشهچه نیز افزایش یافت. ساوان و همکاران (Sawan *et al.*, 1999) گزارش کردند که بذور با وزن بیشتر طول ریشهچه بیشتری را نیز ایجاد میکنند. پژوهشهای سایر پژوهشگران نیز نشان میدهد که وزن بذر بر طول اجزای گیاهچه اثر دارد، به طوری که بذرهای با وزن بیشتر، ریشهچههای بلندتری را نیز ایجاد میکنند (Moshtati, 2007). با توجه به پژوهشهای آبا و لوواتو (Abba and Lovato, 1998) طول اجزای گیاهچه و به خصوص ریشهچه میتواند یک شاخص مهم جهت پیشبینی ظهور گیاهچه در مزرعه و تفاوت موجود بین تودههای بذر باشد. هم‌چنین طول ریشهچه به عنوان شاخص اولیه رشد و نمو و بنیه گیاهچه محسوب میشود و تغییرات آن به عنوان شاخصی از بنیه گیاهچه مورد تجزیه تحلیل قرار میگیرد.

طول ساقهچه

اثر متقابل وزن بذر و سطح تنش بر طول ساقهچه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱)، به طوری که وزن دانه ۲۷/۲۷ گرم در تمامی سطوح تنش، طول ساقهچه بیشتری نسبت به سایر وزنها داشت، ولی بین بذرهای با وزن هزاردانه ۲۵/۱۳ و ۲۷/۲۷ گرم، اختلافی از لحاظ آماری در هیچ یک از سطوح تنش مشاهده نشد (جدول ٤).

با افزایش وزن بذر بر طول ساقهچه در تمامی سطوح افزوده شد، ولی در تمامی وزن بذرها، تنش خشکی موجب کاهش طول ساقهچه شد، به طوری که این کاهش در بذرهای با وزن ۲۳ و ۲۳/۸۳ گرم شدت بیشتری نشان داد. یکی از دلایل کاهش طول ساقه چه در شرایط تنش خشکی، کاهش یا عدم انتقال مواد غذایی از بافتهای ذخیرهای‌بذر به جنین است (Trautwein *et al.*, 1997). بنابراین تنش آب از عوامل مهم در کاهش قابلیت جوانه زنی بذر در مزرعه می باشد و با کاهش پتانسیل اسمزی و پتانسیل ماتریک در شرایط تنش خشکی، دسترسی بذر به آب برای وقوع جوانه‌زنی کاهش می یابد (Prisco *et al.*, 1992). مطالعه همبستگی صفات نشان داد که بین طول ساقهچه و متوسط زمان جوانهزنی رابطه منفی بالایی وجود دارد. چنین به نظر میرسد که هر چه مدت زمان لازم برای جوانهزنی افزایش یابد، بذور ذخیره غذایی بیشتری را در شرایط تنش صرف جوانهزنی کرده و در نتیجه اندوخته کمتری برای افزایش طول ساقهچه دارند که نتیجه آن کاهش در طول ساقهچه در بذور با وزن ۲۳ و ۲۳/۸۳ گرم نسبت به بذور دیگر بوده است (جدول ۵).

وزن تر و خشک گیاهچه

بذور با وزنهای متفاوت، وزن تر گیاهچه متفاوتی را در سطوح تنش نشان دادند (جدول ۱). با افزایش سطح تنش، وزن تر گیاهچه کاهش نشان داد، به طوری که این کاهش در تمام وزنهای بذور مورد مطالعه مشهود بود. بیشترین کاهش در وزن تر گیاهچه در بذرهای با وزن هزاردانه ۲۳ و ۲۳/۸۳ گرم در تمامی سطوح تنش مشاهده شد. بین وزن بذرهای ۲۵/۱۳ و ۲۷/۲۷ گرم در هیچ یک از سطوح تنش اختلافی از لحاظ آماری مشاهده نشد (جدول ٤).

اثر متقابل وزن بذر و سطح تنش بر وزن خشک گیاهچه نیز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). شبیه به وزن تر گیاهچه، سطوح تنش موجب کاهش وزن خشک گیاهچه در تمامی وزنها گردید. با افزایش وزن بذر، وزن خشک گیاهچه در تمام سطوح تنش افزایش یافت، ولی بین بذرهای با وزن هزاردانه ۲۵/۱۳ و ۲۷/۲۷ گرم اختلافی در هیچ یک از سطوح تنش مشاهده نشد (جدول ٤). چنین به‌نظر می‌رسد که علت افزایش در وزن‌تر و خشک گیاهچه در بذور سنگینتر میتواند ناشی از بیشتر بودن ذخیره مواد غذایی باشد که در طی جوانهزنی از حالت ذخیرهای‌به‌صورت ساختارهای مختلف در گیاهچه نمود پیدا کرده است (Durant and Loads, 1990). کاهش وزن تر و خشک در بذور سبک را میتوان به این علت دانست که بذور ریز در طی تنش مواد ذخیرهای خود را صرف گذر از تنش کرده و در نتیجه با رو به اتمام شدن این مواد ذخیرهای، گیاه به صورت گیاهچه با وزن کم نمود پیدا میکند.

بین وزن‌تر و خشک گیاهچه با طول ریشهچه و ساقهچه همبستگی مثبت و بالایی مشاهده شد. به نظر میرسد بذور با وزن بیشتر به دلیل دارا بودن طول ساقهچه و ریشهچه بالا، وزن تر و خشک بالاتری داشتند (جدول ۵).

نتایج این بررسی در مجموع نشان داد که تنش خشکی اثر بازدارندگی بر جوانهزنی و شاخصهای مرتبط با آن دارد و با افزایش تنش خشکی این بازدارندگی نیز بیشتر میگردد.

جدول ۱- تجزیه واریانس شاخص‌های جوانه زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه گلرنگ تحت تأثیر وزن هزار دانه بذر و تنش خشکی

Table 1- Analysis of variance for safflower seed germination indices and initial seedling growth affected by thousand kernel weight and drought stress

S.O.V.	D.F.	Germination percentage	Mean germination time	Daily germination mean	Coefficient of germination rate	Germination rate	Seedling vigor index	Radicle length	Plumule length	Seedling fresh weight	Seedling dry weight
Thousand Kernel Weight (TKW)	3	3844.296**	3.464**	17.717**	0.003193**	5952.4**	2307.402**	3.079**	0.913**	5.970**	0.259**
Drought level (D)	2	1953.000**	2.239**	6.677**	0.001947**	7628.8**	737.138**	2.440**	15.482**	0.509^{ns}	0.029^{ns}
TKW×D	6	379.519**	0.883**	2.651**	0.0008181**	440.3**	769.730**	0.136^{ns}	0.228**	9.623**	0.243**
Error	22	21.001	0.048	0.083	0.00005367	33.136	47.181	0.101	0.043	0.356	0.024
CV		6.34%	3.95%	6.84%	4.01%	8.36%	5.43%	5.65%	9.66%	4.63%	3.09%

**: P<0.01, *: P<0.05, ns: insignificant.

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ درصد و غیرمعنی‌دار

جدول ۲- مقایسه میانگین شاخص‌های جوانه زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه گلرنگ تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی

Table 2- Mean comparison of safflower seed germination indices and initial seedling growth affected by different levels of drought stress

Drought stress (bar)	Germination percentage	Mean germination time	Daily germination mean	Coefficient of germination rate	Germination rate	Seedling vigour index	Radicle length (cm)	Plumule length (cm)	Seedling fresh weight (g)	Seedling dry weight (g)
0	81.833^{a}	5.192^{c}	4.693^{a}	0.1941^{a}	93.516^{a}	68.175^{a}	1.663^{a}	2.425^{a}	4.088^{a}	1.17^{a}
-4	77.33^{b}	5.431^{b}	4.589^{a}	0.1867^{b}	69.814^{b}	59.841^{b}	1.294^{b}	1.102^{b}	4.280^{a}	1.15^{a}
-8	57.83^{c}	6.030^{a}	3.352^{b}	0.1693^{c}	43.118^{c}	35.541^{c}	0.766^{c}	0.550^{c}	4.012^{a}	1.25^{a}

جدول ۳- مقایسه میانگین شاخص‌های جوانه زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه گلرنگ تحت تأثیر وزن‌های متفاوت هزار دانه

Table 3- Mean comparison of safflower seed germination indices and seedling initial growth affected by different thousand kernel weights

Thousand kernel weight (g)	Germination percentage	Mean germination time	Daily germination mean	Coefficient of germination rate	Germination rate	Seedling vigour index	Radicle length (cm)	Plumule length (cm)	Seedling fresh weight (g)	Seedling dry weight (g)
23	43.33^{d}	6.40^{c}	2.27^{d}	0.1572^{c}	31.88^{c}	51.24^{c}	1.103^{c}	1.27^{c}	3.094^{c}	0.98^{c}
23.83	60.09^{c}	5.58^{b}	4.21^{c}	0.1734^{b}	60.63^{b}	66.57^{b}	1.112^{c}	1.54^{b}	4.051^{b}	1.12^{b}
25.13	89.21^{a}	5.14^{a}	5.53^{a}	0.2007^{a}	86.65^{a}	97.58^{a}	1.248^{b}	1.97^{a}	4.082^{b}	1.32^{a}
27.27	80.39^{b}	5.22^{a}	4.82^{b}	0.1922^{a}	86.09^{a}	101.68^{a}	1.366^{a}	2.07^{a}	5.088^{a}	1.34^{a}

Means in each column followed by the same letters are not significantly different at 5% of probability level (P<0.05).

میانگین‌های با حروف یکسان در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

جدول ٤- مقایسه میانگین شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه گلرنگ تحت تأثیر تنش خشکی و وزن هزار دانه متفاوت

Table 4- Mean comparison of seed germination indices and initial growth of safflower affected by drought stress and different thousand kernel weights

Treatment	Germination percentage	Mean germination time	Daily germination mean	Coefficient of germination rate	Germination rate	Coefficient of germination rate	Seedling vigour index	Radicle length (cm)	Plumule length (cm)	Seedling fresh weight (g)
a_1b_1	56.01^{d}	5.717^{c}	3.111^{e}	0.1749^{e}	47.23^{d}	0.1749^{e}	61.60^{d}	2.411^{c}	4.223^{bc}	1.10^{cde}
a_1b_2	89.02^{ab}	4.700^{g}	5.583^{a}b	0.2128^{a}	103.3^{a}	0.2128^{a}	112.76^{bc}	2.444^{c}	4.823^{b}	1.267^{cd}
a_1b_3	96.00^{a}	4.869^{fg}	5.778^{a}	0.2060^{ab}	112.9^{a}	0.2060^{ab}	163.20^{a}	3.156^{b}	6.060^{a}	1.700^{a}
a_1b_4	86.10^{bc}	5.481^{cd}	5.500^{ab}	0.2028^{abc}	100.6^{a}	0.2028^{abc}	157.60^{a}	3.656^{a}	6.477^{a}	1.600^{ab}
a_2b_1	45.33^{e}	6.567^{b}	2.267^{f}	0.1528^{f}	32.92^{e}	0.1528^{f}	43.82^{de}	1.01^{de}	3.183^{cd}	0.966^{e}
a_2b_2	87.33^{b}	5.290^{de}	5.051^{bc}	0.1893^{cd}	83.21^{b}	0.1893^{cd}	95.7^{c}	1.322^{d}	4.333^{b}	1.10^{cde}
a_2b_3	88.06^{ab}	4.957^{efg}	5.542^{ab}	0.201^{abc}	80.77^{b}	0.201^{abc}	120.29^{b}	2.388^{c}	4.773^{b}	1.367^{bc}
a_2b_4	85.57^{bc}	5.570^{cd}	4.685^{cd}	0.1909^{cd}	82.36^{b}	0.1909^{cd}	114.06^{b}	2.78^{bc}	4.790^{b}	1.333^{bc}
a_3b_1	28.67^{f}	6.953^{a}	1.433^{g}	0.1438^{f}	15.50^{f}	0.1438^{f}	25.80^{e}	0.577^{e}	1.877^{e}	0.900^{e}
a_3b_2	40.33^{e}	6.770^{ab}	2.000^{f}	0.1480^{f}	25.35^{e}	0.1480^{f}	40.01^{de}	0.355^{e}	3.087^{d}	1.001^{de}
a_3b_3	78.00^{c}	5.144^{def}	4.285^{d}	0.194^{bcd}	66.34^{c}	0.194^{bcd}	70.20^{d}	1.01^{de}	3.320^{cd}	0.901^{e}
a_3b_4	57.33^{d}	5.856^{c}	3.200^{e}	0.1827^{de}	65.28^{c}	0.1827^{de}	62.70^{d}	1.300^{d}	4.001^{bcd}	1.100^{cde}

Means in each column followed by the same letters are not significantly different at 5% of probability level.

میانگین‌های با حروف یکسان در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

a_1, a_2 and a_3: 0 (control), -4 and -8 bar; b1, b2, b3 and b4: 23, 23.83, 25.13 and 27.27 g thousand kernel weights.

جدول ۵- همبستگی شاخص‌های مختلف جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه گلرنگ سینا تحت تأثیر تنش خشکی و وزن هزار دانه

Table 5- Correlation between seed germination indices and seedling initial growth in safflower (cv. Sina) affected by drought stress and thousand kernel weight

	Germination percentage	Mean germination time	Daily germination mean	Coefficient of germination rate	Germination rate	Seedling vigour index	Plumule length	Radicle length	Seedling fresh weight
Mean germination time	-0.929**								
Daily germination mean	0.977**	-0.963**							
Coefficient of germination rate	0.913**	-0.994**	0.960**						
Germination rate	0.930**	-0.848**	0.866**	0.839**					
Seedling vigour index	0.828**	-0.799**	0.840**	0.790**	0.717**				
Plumule length	0.243	-0.305	0.248	0.297	0.255	0.160			
Radicle length	0.362*	-0.415*	0.300	0.414*	0.595**	0.183	0.349*		
Seedling fresh weight	0.343*	-0.397*	0.357*	0.381*	0.601**	0.659**	0.638**	0.721**	
Seedling dry weight	0.415*	-0.443**	0.454**	0.438**	0.395*	0.844**	0.701**	0.694**	0.763**

**: P<0.01 and *: P<0.05

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

با افزایش میزان خشکی، درصد جوانهزنی به طور معنیداری کاهش یافت به‌طوری که از ۸۱/۸٪ در شاهد به ۵۷/۸٪ در تنش خشکی ۸- بار رسید. در این بررسی بذور با وزن هزاردانه بالاتر، علاوه بر این که دارای شاخصهای جوانهزنی بالاتری بودند، نسبت به تنش خشکی نیز مقاومت خوبی نشان دادند. در این بررسی بذرهای با وزن هزاردانه بیشتر علاوه بر این که دارای شاخص‌های جوانه‌زنی بالاتری بودند، نسبت به خشکی نیز مقاومت خوبی نشان دادند. بنابراین این بذور قادرند تأخیر در کاشت را با بهرهگیری از سرعت بالای جوانهزنی و سبز شدن و به دنبال آن سرعت رشد بالاتر خود و هم چنین تحمل به شرایط تنش و جوانهزنی بیشتر نسبت به بذور ریز در شرایط تنش خشکی جبران نمایند. در مجموع به‌نظر می‌رسد با جداسازی بذور توسط دستگاههای بوجاری براساس وزن بذر و انتخاب بذور سنگینتر گلرنگ برای کشت در مزرعه می‌توان تحمل به تنش‌های محیطی از جمله خشکی را بالا برد.

References

Abba EJ, Lovato F (1998) Effect of seed storage temperature and relative humidity on maize seed viability and vigor. Journal of Seed Science and Technology 27: 101-114.

Akbari KhA, Ghasemipirbalouti AA, Najafabadi Farahani M, Shahverdi M (2005) The effect of different harvest times of soybean seed germination. Journal of Agricultural Science 6: 9-18 [In Persian with English Abstract].

Bagheri H (2012) Effects of foliar application of atrazin as a antitranspirate at different growth stages on yield and oil production of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in rainfed condition. M. Sc. Thesis. University of Zanjan. Agriculture Faculty 134 pp. [In Persian with English Abstract].

Balbaki RZ, Copeland L (1997) Seed size, density and protein content effects on field performance of wheat. Journal of Seed Science and Technology 25: 511-521.

Bradford KJ, Dahal P, Ni BR (1992) Quantitative models describing germination responses to temperature. Water Potential and Growth Regulators. Fourth International Workshop on Seed. Basic and Applied Aspects. UNE 23-24, India.

De R, Kar RK (1995) Seed germination and seedling growth of mange bean (*Vigna radiata*) under water stress induced by P.E.G 6000. Journal of Seed Science and Technology 23: 301-308.

Devi L, Chitra-Kant K, Dahlani M (2003) Effect of size grading on sinapine leakage, electrical conductivity and germination percentage in the seed of mustard (*Brassica juncea* L.). Journal of Seed Science and Technology 31: 505-509.

Duman I (2006) Effects of seed priming with PEG or K3PO4 on germination and seedling growth in lettuce. Pakistan Journal of Biological Science 3: 923-928.

Durant MJ, Loads AH (1990) Some changes in sugar beet seed during maturation and after density grading. Journal of Seed Science and Technology 18: 11-21.

El-Kassaby YA, Edwards DGW (1998) Genetic control of germination and the effects of accelerated aging in mountain hemlock seeds and its relevance to gene conservation. Journal of Forest Ecology and Management 112: 203-211.

Emmerich WE, Hardgree SP (1990) Polyethylene glycol solution contact affects seed germination. Journal of Agronomy 82: 1103-1107.

Ghasemi Golazani K, Salehian H, Rahimzade Khoi F, Moghad'dam M (1997) The effects of seed vigor on emergence and yield of wheat. Journal of Agriculture and Natural Resources Science 3: 48-54. [In Persian with English Abstract].

Hamidi A, Rudi D, Asgari V, Hajilui, S (2009) Study on applicability of controlled deterioration vigour test for evaluation of seed vigour and field performance of three oil-seed rape (*Brassica napus* L.) cultivars. Journal of Plant and Seed 24: 677-706. [In Persian with English Abstract]

Hunter EA, Glasbey CA, Naylor REL (1984) The analysis of data from germination tests. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 102: 207-213.

Ibrahim M, Zeid N, El-Semary A (2001) Response of two differentially drought tolerant varieties of maize to drought stress. Pakistan Journal of Biological Science 4: 779-784.

Kaufman MR, Eckard AN (1971) Evaluation of stress control by polyethylene glycols by analysis of gulation. Journal of Plant Physiology 47: 453- 456.

Khajepour MR (1986) Fundamentals of agriculture. Jahad Daneshghahi of Esfahan Industrial University Press, Isfahan, 325 pp. [In Persian with English Abstract].

Lotfifar O, Akbari, GA, Shiranirad AH, Sadat-Nori SA, Mottaghi S, Nikniaee AB (2008) The effect of seed weight of spring rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.) on viability and emergence ability. Journal of Agriculture Research: Water, Soil and Plant in Agriculture 3: 199-213. [In Persian with English Abstract]

Mc Pherson MA, Good AG, Topinka AKC, Hall LM (2004) Theoretical hybridization potential of transgenic safflower (*Carthamus tinctorius* L.) with weedy relatives in the new world. Canadian Journal of Plant Science 48: 923-934.

Mirmahmoudi T (2001) Quality changes of wheat seeds on plant in different stages of performance and maturing. M.Sc. Thesis, Tabriz University. [In Persian with English Abstract].

Moafi Pashakalai R (2010) Evaluation of resistance to drought stress of safflower varieties in germination stage. Second National Congress of New Findings in Oilseed Crop production. Islamic Azad University, Bojnourd Branch. 51-60. [In Persian with English Abstract]

Moshtati A (2007) The effect of weight insulator parameters on some qualitative and quantitative characteristic of wheat seeds cv. Sina. M.Sc. Thesis, Tehran University. [In Persian with English Abstract].

Naseri F (1998) Oil seeds. Astan Ghods Razavi press. 585 pp. [In Persian with English Abstract].

Prisco JT, Baptista CR, Pinheiro EJL (1992) Hydration, dehydration seed pretreatment and its effects on seed germination under water stress condition. Revista Brasil Botany 15: 31-35.

Rade D, Kar RK (1995) Seed germination and seedling growth of mange bean (*vigna radiata*) under water stress induced by PEG 6000. Journal of Seed Science and Technology 23: 301-308.

Rahimi A, Jahansoz MR, Rahimian Mashhadi HR, Postini K, Sharifzade F (2006) Effect of iso-osmotic salt and water stress on germination and seedling growth of two plantago species. Pakistan Journal of Biological Sciences 9: 2812-2817.

Salehzade H, Izadkhah Shishvan M, Chiyasi M (2009) Effect of seed priming on germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Biological Sciences 4(5): 629-631.

Sawan ZM, Greeg BR, Yosef SE (1999) Effect of phosphorus, chelated zinc and calcium on cotton seed yield, viability and seedling vigor. Journal of Seed Science and Technology 27: 329-337.

Scott SJ, Jones RA, Williams WA (1984) Review of data analysis methods for seed germination. Journal of Crop Science 24: 1192-1199.

Seyyed-Sharifi R, Seyyed-Sharifi, R (2009) The effects of polyethyleneglycol on germination and seedling growth of carthamus cultivars. Iranian Journal of Biology 21(3): 400-410. [In Persian with English Abstract].

Shekari F, Masiha, S, Esmaeilpour, B (2007) Physiology of vegetable crops (Translated). University of Zanjan Publications, Zanjan. 395 pp. [In Persian with English Abstract].

Tekrony DM, Elgi DB (1991) Relationship of seed vigor and crop yield, a review. Journal of Crop Science 31: 816-822.

Tomas LJ, Tekrony DM, Elgi DB (1988) Factors influencing the tray accelerated aging test for soybean. Journal of Seed Science and Technology 12: 37-53.

Trautwein EA, Rrickhoff D, Erbershobler HF (1997) The cholesterol-lowering effect of psylliumas as a source of dietary fiber. Journal of Ernaehrung Umschau 44: 214-216.

Yazdan Bioki R, Rezvani Moghad'dam P, Kouchaki A, Behzad Amiri M, Falahi J, Deyhim Fard R (2010) Effects of different nutrition of wheat (cv. Sayonez) on its germination indices and seedling growth under drought stress and biological muck. Journal of Agroecology 2(2): 266-276.