



ارزیابی ژنوتیپ‌های گلرنگ بهاره با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش گرمای آخر فصل

هنا عبوده^۱، محمدرضا مرادی تلاوت^{۲*}، علی مشتقی^۳، سید هاشم موسوی^۴

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۲. دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۳. استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۴. کارشناس دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۱/۱۲

چکیده

به‌منظور مقایسه ارقام بهاره گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش گرمای آخر فصل در اهواز، آزمایشی در مزرعه پژوهشی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ به‌صورت کرت‌های یک‌بار خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل چهار تاریخ کاشت (۲۰ آبان، ۱۱ آذر، ۱۵ دی و ۱۴ بهمن) در کرت‌های اصلی و پنج رقم گلرنگ (سینا، گلدشت، صفه، محلی اصفهان (کوسه) و فرامان) بود. نتایج نشان داد که ارقام مورد مقایسه از نظر صفت عملکرد دانه از لحاظ شاخص‌های حساسیت به تنش، شاخص تحمل، میانگین بهره‌وری، میانگین هارمونیک، شاخص پایداری عملکرد، میانگین هندسی، شاخص تحمل تنش، شاخص خسارت تنش، شاخص تحمل تنش تعدیل‌شده برای شرایط مناسب، شاخص تحمل تنش تعدیل‌شده برای شرایط نامناسب و شاخص درصد کاهش عملکرد تفاوت معنی‌داری داشتند. با این حال اختلاف ارقام مورد بررسی از نظر شاخص رتبه‌بندی و شاخص عملکرد معنی‌دار نبود. در شاخص تحمل تنش، رقم گلدشت (۰/۳۳۵) بیشترین تحمل (کمترین حساسیت) و رقم محلی اصفهان (کوسه) با میانگین (۰/۱۵۷) کمترین تحمل (بیشترین حساسیت) نسبت به تنش گرمای آخر فصل خوزستان را داشتند. به‌طور کلی شاخص تحمل تنش نسبت به سایر شاخص‌های مورد بررسی، جهت شناسایی ارقام متحمل و حساس گلرنگ نسبت به تنش گرمای آخر فصل در خوزستان مناسب است.

واژه‌های کلیدی: تاریخ کاشت، دانه‌های روغنی، رقم، عملکرد دانه

مقدمه

کشت می‌شود (Omidi, 2011). دانه گلرنگ حدود ۲۵ تا ۴۵ درصد روغن، ۱۵ تا ۲۵ درصد پروتئین و ۳۶ تا ۶۰ درصد پوسته دارد (Dajue and Mundel, 1996). سطح زیر کشت گلرنگ در کشور حدود ۶۵۰۰ هکتار، با تولید تقریباً ۵۴۰۰ تن و عملکرد حدود ۸۴۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (MAJ, 2017). سطح زیر کشت گلرنگ در دنیا حدود ۱/۱۴ میلیون هکتار، با تولید تقریباً ۹۵۰ هزار تن و عملکرد حدود ۸۳۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (FAO, 2018).

گیاهان دانه روغنی، از نظر تأمین انرژی مورد نیاز انسان و دام در بین محصولات زراعی جایگاه ویژه‌ای داشته و از باارزش‌ترین محصولات کشاورزی به شمار می‌روند (Nasseri, 1991). از بین دانه‌های روغنی، گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L) گیاهی یک‌ساله، از تیره مرکبه (Asteraceae)، با ریشه اصلی عمیق و اکثراً دارای برگ‌های خاردار که این ویژگی توانایی تحمل خشکی و گرما را در آن ایجاد نموده است. گلرنگ در مناطق گرم و خشک جهت تولید روغن، دانه پرندگان، تهیه رنگ از گل‌ها و یا مصارف دارویی

فرناندز (Fernandez, 1992) ژنوتیپ‌ها را بر اساس واکنش عملکرد نسبت به شرایط تنش به چهار گروه ژنوتیپ-های با عملکرد بالا در هر دو شرایط طبیعی و تنش (A)، ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا تحت شرایط طبیعی (B)، ژنوتیپ-های با عملکرد بالا تحت شرایط تنش (C) و ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین در هر دو شرایط (D) تقسیم کرد. ایشان همچنین بیان کرد که گزینش بر اساس شاخص TOL عمدتاً منجر به شناسایی ژنوتیپ‌های گروه C می‌گردد و شاخص MP قابلیت شناسایی ژنوتیپ‌های گروه B را دارد ولی در تفکیک گروه A از گروه B کارایی ندارد. همچنین هنگامی که اختلاف نسبی زیادی بین عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط عادی و تنش باشد، شاخص MP اریبی به سمت عملکرد در شرایط عادی دارد؛ بنابراین ایشان برای رفع این مشکل شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP) و شاخص تحمل تنش (STI) را معرفی کرد. شاخص STI بر اساس GMP بنا نهاده شده است و با آن همبستگی نزدیک و مثبتی دارد. ابوالحسنی و سعیدی (Abolhasani and Seaidi, 2006) و پورداد و همکاران (Pourdad et al., 2008) شاخص STI را مناسب‌ترین شاخص برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل گلرنگ گزارش کردند. در تحقیقات امید (Omidi, 2011) و یاری و همکاران (Yari et al., 2016) در گلرنگ و کاکایی (Kakaei, 2009) و زرغامی و همکاران (Zarghami et al., 2012) در کلزا، شاخص‌های STI، MP و GMP همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد دانه گلرنگ در شرایط تنش و عدم تنش داشته و به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی شدند. در مطالعات مشتطی و همکاران (Moshatati et al., 2013) روی ارقام گندم نان بهاره در اهواز ارقام اروند و ویریناک هم در شرایط مناسب و هم در شرایط تنش گرمایی محصول قابل قبولی تولید کردند (گروه A)، ارقام چمران، بیات، دز، کویر، هیرمند، پیشتاز، S-8018، چناب، فلات و هامون مناسب شرایط مطلوب بودند (گروه B)، ارقام مارون و اترک مناسب تنش گرمای آخر فصل بودند (گروه C) و ارقام بولانی، داراب ۲، استار، اینیا ۶۶، شعله و روشن در هر دو محیط عملکرد پایینی داشتند (گروه D). در آزمایش ارشد و همکاران (Arshad et al., 2016) روی توده‌های گندم نان، نمونه ژنتیکی ۱۶ بیشترین مقدار عددی شاخص‌های STI (۳۶/۱)، MP (۶۸/۶)، GMP (۱۷/۶) و HM (۷/۵) و نمونه ژنتیکی ۲۴ کمترین مقدار عددی شاخص‌های TOL (۳۴/۰)

همه‌ی گیاهان برای رشد و نمو بهینه به شرایط مطلوبی نیاز دارند که انحراف از این شرایط سبب اختلال در رشد و نمو آن‌ها می‌شود. به هر عامل محیطی که باعث کاهش پتانسیل رشد می‌شود، تنش محیطی اطلاق می‌شود (Bidinger et al., 1987). برای اصلاح گیاهان زراعی در جهت تحمل گرما، شناخت پاسخ‌های فیزیولوژیک گیاه به دمای بالا، سازوکارهای تحمل گرما و راهبردهای ممکن برای بهبود تحمل گرما در گیاه ضروری است (Wahid et al., 2007). گیاهان زراعی در محیط رشد خود اغلب با شرایط تنش‌زا (زنده و غیرزنده) که بر رشد و عملکرد آن‌ها تأثیرگذار است روبه‌رو هستند. از مجموع پتانسیل کاهش عملکرد گیاهان زراعی توسط تنش‌های غیرزنده، ۱۷ درصد مربوط به خشکی، ۲۰ درصد مربوط به شوری، ۴۰ درصد دمای بالا (گرما)، ۱۵ درصد دمای پایین و ۸ درصد مربوط به سایر عوامل است (Ashraf and Harrice, 2005). تنش گرما از طریق اختلال در فعالیت‌های متابولیک گیاه نظیر فتوسنتز، تنفس، تعرق و گرده‌افشانی موجب کاهش رشد و عملکرد می‌گردد (Radmehr, 1997).

برای تمایز ژنوتیپ‌های متحمل به تنش چندین شاخص بر پایه عملکرد محیط‌های تنش (Ys) و طبیعی (Yp) گزارش شده که ممکن است برای غربال تحمل گرما کاربرد بیشتری داشته باشد (Huang, 2000; Porch, 2006). شاخص SSI اولین بار توسط فیشر و مائور (Fisher and Maurer, 1978) معرفی شد. مقادیر پایین‌تر SSI نشان‌دهنده تحمل بالاتر آن ژنوتیپ به تنش است؛ به عبارت دیگر، هر چه مقادیر Ys به Yp نزدیک‌تر باشد، تحمل آن ژنوتیپ به تنش بیشتر است و در نتیجه SSI آن کوچک‌تر خواهد بود. شاخص حساسیت به تنش کوچک‌تر از یک نشان‌دهنده تحمل بیشتر آن ژنوتیپ نسبت به تنش است.

روزیل و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981) اعتقاد دارند که پایداری عملکرد یک ژنوتیپ از طریق ارزیابی تغییرات آن در محیط‌های غیر یکسان بررسی می‌شود. آن‌ها شاخص TOL را پیشنهاد کردند. این شاخص عبارت از اختلاف عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط عادی و تنش است. مقادیر بالای TOL بیانگر حساسیت به تنش است و بنابراین مقادیر پایین آن مطلوب هستند. آن‌ها همچنین شاخص MP را معرفی کردند که عبارت از میانگین عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط مطلوب و تنش است.

اصفهان است که با استفاده از گزینش لاین‌های خالص و تأکید بر یکنواختی رنگ قرمز گلچه‌ها، تعداد و اندازه غوزه، عدم وجود خار، زودرسی، درشتی کلاپرک، جمع بودن شاخه‌ها و ارتفاع مناسب بوته جهت برداشت مکانیزه تولید شده است. محلی اصفهان که در سال ۱۳۶۸ معرفی شده بدون خار، دیررس، با گل‌های قرمز، رشد رویشی خوب و عملکرد دانه بالا است. رقم فرامان رقمی بدون خار، با گل‌های قرمز و وزن هزار دانه ۴۸ گرم است.

عدم فواصل یکسان در بین تاریخ‌های کاشت، ناشی از شرایط نامساعد آب و هوایی در زمان‌های موردنظر در محل اجرای آزمایش بود. هر کرت فرعی سه متر طول و عرض و شش خط کاشت با فاصله ۵۰ سانتی‌متر داشت. کود فسفره از منبع سوپر فسفات تریپل به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت به وسیله دیسک با خاک مخلوط شد. کود نیتروژن از منبع اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در ۲ مرحله به صورت سرک استفاده شد، به طوری که یک‌دوم کود دیگر در مرحله ساقه رفتن و قبل از غنچه‌دهی با آب آبیاری وارد خاک شد (Yari et al., 2016). عملیات برداشت در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک دانه هر تاریخ کاشت در محدوده زمانی ۱۹ اردیبهشت تا اوایل خردادماه انجام شد. بعد از جدا نمودن دانه‌ها از طبق در بوته‌های برداشتی از سطح یک مترمربع در هر کرت، عملکرد دانه با رطوبت ۹ درصد محاسبه شد.

در این مطالعه شاخص‌های حساسیت به تنش (SSI) (Fisher and Maurer, 1978)، شاخص تحمل (TOL)، میانگین بهره‌وری (MP) و میانگین هارمونیک (HM) (Rosielle and Humbelin, 1981)، شاخص پایداری عملکرد (YSI) (Bousslama and Schapaugh, 1984)، شاخص رتبه‌بندی (RI) (Nassar and Huhn, 1987)، میانگین بهره‌وری هندسی (GMP) و شاخص تحمل تنش (STI) (Fernandez, 1992)، شاخص خسارت تنش (SDI)، شاخص عملکرد (YI) (Gavuzzi et al., 1997)، شاخص تحمل تنش تعدیل‌شده برای شرایط مطلوب (MSTI1) و شاخص تحمل تنش تعدیل‌شده برای شرایط نامطلوب (MSTI2) (Naderi et al., 1999) و شاخص کاهش عملکرد (YRI) (Chogan et al., 2006) برای عملکرد دانه با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند:

و SSI (۲۰/۰) را داشت. وی نمونه ژنتیکی ۱۶ را به‌عنوان متحمل‌ترین نمونه ژنتیکی نسبت به تنش گرما معرفی کرد. شاخص‌های پیشنهادی دیگر شامل شاخص پایداری عملکرد (YSI) بوسلاما و چاپوق (Bousslama and Schapaugh, 1984) و شاخص عملکرد (YI) گاووزی و همکاران (Gavuzzi et al., 1997) است که به ترتیب جهت ارزیابی و غربال ژنوتیپ‌های متحمل به گرما و خشکی در غلات زمستانه و سویا استفاده شده‌اند.

با توجه به اهمیت کشت و توسعه گیاهان روغنی از جمله گلرنگ، وجود تنش گرمای آخر فصل در خوزستان و سایر مناطق گرم کشور و همچنین مطالعات اندک ارزیابی تحمل ارقام گلرنگ با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت نسبت به تنش گرمای آخر فصل در منطقه، این تحقیق با هدف شناسایی ارقام گلرنگ متحمل به گرما توسط شاخص‌های مقایسه تحمل و حساسیت ارقام نسبت به تنش‌های محیطی طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌منظور مقایسه ارقام گلرنگ بهاره با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش گرمای آخر فصل در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان در ۳۵ کیلومتری شمال شرقی اهواز و در حاشیه شرقی رودخانه کارون با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۴ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۲ دقیقه با ارتفاع ۳۴ متر از سطح دریا اجرا شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های یک‌بار خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. عوامل آزمایشی شامل چهار تاریخ کاشت (۲۰ آبان، ۱۱ آذر، ۱۵ دی و ۱۴ بهمن) به‌عنوان فاکتور اصلی در کرت‌های اصلی و پنج رقم گلرنگ بهاره (سینا، گلدشت، صفه، محلی اصفهان (کوسه) و فرامان) به‌عنوان فاکتور فرعی در کرت‌های فرعی بودند. رقم سینا در سال ۱۳۸۶ جهت کشت پاییزه در شرایط دیم مناطق معتدل سرد و کشت بهاره در مناطق سرد معرفی شد. رقم سینا؛ زودرس، با تیپ رشد بینابین، متحمل به تنش خشکی، خاردار، با گل‌های به رنگ زرد تا نارنجی و وزن هزار دانه ۳۴/۷ گرم است. رقم گلدشت که در سال ۱۳۸۷ معرفی شده نسبتاً زودرس با گل‌های قرمز، بدون خار، با کلاپرک‌های درشت و وزن هزار دانه ۴۰ تا ۴۵ گرم است. رقم صفه که در سال ۱۳۸۸ معرفی شده حاصل انتخاب تک بوته از توده محلی گلرنگ

مرتبه از یک صفت و ترکیب آن در قالب یک فرمول است که سبب تکرار خطاها در فرمول گشته و ارزش این دو شاخص را کم کرده است. در صورتی که شاخص‌هایی که ضریب تغییرات کمتر از ۳۰ دارند ($CV \leq 30$)، از نظر دقت برای تشخیص ارقام متحمل به تنش گرما مناسب هستند؛ بنابراین در انتخاب رقم برای منطقه، می‌توان از این شاخص‌ها استفاده کرد.

شاخص حساسیت به تنش (SSI)

مقایسه میانگین ارقام (جدول ۳) نشان داد که رقم فرامان (۱/۰۹) بیشترین حساسیت (کمترین تحمل) و رقم محلی اصفهان (۰/۷۶) کمترین حساسیت (بیشترین تحمل) را داشت؛ به عبارت دیگر رقم فرامان نسبت به سایر ارقام، در شرایط تنش در مقایسه با شرایط مطلوب حساسیت بالاتر و یا تحمل به تنش کمتری دارد.

شاخص تحمل (TOL)

بر اساس جدول (۳) بیشترین میزان شاخص تحمل (۳۱۳۴/۵) متعلق به رقم گلدشت و کمترین آن توسط رقم محلی اصفهان (کوسه) با میانگین (۹۷۲/۹) به دست آمد. از آنجایی که هر چه این شاخص کمتر باشد، آن رقم تحمل بالایی دارد، بنابراین رقم محلی اصفهان (کوسه)، متحمل‌ترین رقم بود. در پژوهش ملکی نژاد و مجیدی (Maleki Nejad and Majidi, 2013) بر روی ژرم‌پلاسما داخلی و خارجی گلرنگ با استفاده از شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش ژنوتیپ PI 387821 از تایلند، CART55 از هلند، CART 49 از اسپانیا و کوسه اصفهان با کمترین افت عملکرد در شرایط تنش به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ بر اساس شاخص TOL مشخص گردیدند. شاخص TOL به نوعی بیانگر تغییر حاصل از اعمال تنش است، به عبارتی ارقامی که شاخص TOL کمتری دارند، در محیط تنش تغییر کمتری از خود نشان می‌دهند. باین‌حال تنها پایین بودن مقادیر شاخص TOL برای یک ژنوتیپ به‌منزله مناسب بودن آن جهت کشت در شرایط تنش نیست، زیرا ممکن است ژنوتیپ‌هایی یافت شوند که حساسیت پایینی به تنش دارند ولی در هر دو شرایط مطلوب و تنش عملکرد پایینی داشته باشند (Rosielle and Hamblin, 1981).

- 1) $SSI = [1 - (YS/YP)] / [1 - (Y'S - Y'P)]$
- 2) $TOL = YP - YS$
- 3) $MP = (YP + YS) / 2$
- 4) $HM = (2YP \cdot YS) / (YP + YS)$
- 5) $YSI = YS / YP$
- 6) $RI = \sum Rn$
- 7) $GMP = (YP \cdot YS) / 2$
- 8) $STI = (YS \cdot YP) / Yp^2$
- 9) $SDI = [(YS \cdot YP) / Y'P] / 2$
- 10) $YI = YS / Y'S$
- 11) $MSTI1 = (YP^2 / YP^2) \cdot STI$
- 12) $MSTI2 = (YS^2 / Y'S^2) \cdot STI$
- 13) $YRI = [(YP - YS) / YP] \cdot 100$

در روابط فوق Rn ، $\bar{Y}s$ ، $\bar{Y}p$ ، Ys ، Yp به ترتیب نشان‌دهنده میانگین عملکرد دانه هر رقم تحت شرایط مناسب (تاریخ کاشت اول)، میانگین عملکرد دانه هر رقم تحت شرایط تنش گرمای آخر فصل (تاریخ کشت آخر)، میانگین عملکرد تمام ارقام تحت شرایط مناسب (تاریخ کاشت اول)، میانگین عملکرد تمام ارقام تحت شرایط تنش گرمای آخر فصل (تاریخ کاشت آخر) و میانگین رتبه رقم موردنظر در تاریخ‌های کاشت مختلف است. تجزیه واریانس در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و مقایسه میانگین به روش LSD در سطح احتمال خطای ۵ درصد توسط نرم‌افزار SAS9.4 انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس نشان داد که در تمام تاریخ‌های کاشت، اثر رقم بر صفت عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ۱). همچنین ارقام مورد مقایسه از نظر تمامی شاخص‌های محاسبه‌شده به‌جز شاخص‌های RI و YI اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۲). ضریب تغییرات محاسبه‌شده برای شاخص‌ها نشان داد که شاخص‌های SSI و GPM با ضریب تغییرات به ترتیب ۱۶/۴۶ و ۱۲/۰۲ درصد دقیق‌ترین شاخص‌ها بوده در صورتی که MSTI2 و MSTI1 با ضریب تغییرات به ترتیب ۷۷/۴۳ و ۷۱/۵۰ درصد، نسبت به سایر شاخص‌ها دقت کمتری داشتند. دلیل آن احتمالاً به علت استفاده چندین

Table 1. Analysis of variance of grain yield.

S. O. V	منبع تغییر	درجه آزادی df	۲۰ آبان 11 Nov.	۱۱ آذر 2 Dec.	۱۵ دی 5 Jan.	۱۴ بهمن 3 Feb.
Block	بلوک	3	2058972.2 ^{ns}	44748.2 ^{ns}	20543.9 ^{ns}	22945.7 ^{ns}
Cultivar	رقم	4	11517380.1 ^{**}	798819.0 ^{**}	660498.3 ^{**}	23545.1 [*]
Error	خطای آزمایشی	12	6369024.3	212770.2	81417.1	132206.1
CV (%)	ضریب تغییرات (%)		28.7	8.8	4.9	18.6

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و یک درصد

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

جدول ۲. تجزیه واریانس شاخص‌های مقایسه ارقام گلرنگ از نظر تحمل و حساسیت به تنش گرمای آخر فصل

Table 2. Analysis of variance of comparison indices of safflower cultivars in terms of tolerance and susceptibility to terminal heat stress

S. O. V	منبع تغییر	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)						
			Yp	Ys	SSI	TI	MP	HM	YSI
Block	بلوک	3	2058972.2 ^{ns}	13791.0 ^{ns}	0.01 ^{ns}	2075771.0 ^{ns}	517438.8 ^{ns}	36713.3 ^{ns}	0.008 ^{ns}
Cultivar	رقم	4	11517380 ^{**}	192154.3 ^{ns}	0.28 ^{**}	1297733.2 [*]	2705333.8 ^{**}	355500.0 [*]	0.17 ^{**}
Error	خطای آزمایش	12	6369024.3	253294.8	0.15	7279513.8	1491281.1	428872.7	0.09
CV (%)	ضریب تغییرات		28.7	26.9	12.0	39.1	22.9	22.1	35.6

Table 2. Continued

جدول ۲. ادامه

S. O. V	منبع تغییر	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)							
			RI	GMP	STI	SDI	YI	MSTI1	MSTI2	YRI
Block	بلوک	3	37.8 ^{ns}	95541.2 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.29 ^{ns}	0.04 ^{ns}	1762.3 ^{ns}
Cultivar	رقم	4	36.0 ^{ns}	640061.1 [*]	0.09 ^{**}	0.09 [*]	0.66 ^{ns}	1.15 ^{**}	0.37 [*]	1762.3 ^{**}
Error	خطای آزمایش	12	79.2	412265.0	0.04	0.06	0.87	0.51	0.44	970.0
CV (%)	ضریب تغییرات		20.5	16.6	30.8	16.4	26.9	71.5	77.4	12.0

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و یک درصد.

Yp: میانگین عملکرد دانه هر رقم تحت شرایط مناسب (تاریخ کاشت اول)، Ys: میانگین عملکرد دانه هر رقم تحت شرایط تنش گرمای آخر فصل (تاریخ کشت آخر)، SSI: حساسیت به تنش، TI: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، HM: میانگین هارمونیک، YSI: شاخص پایداری عملکرد، RI: شاخص رتبه‌بندی، GMP: میانگین هندسی، STI: شاخص تحمل تنش، SDI: شاخص خسارت تنش، YI: شاخص عملکرد، MSTI1: شاخص تحمل تنش تعدیل شده در شرایط مناسب، MSTI2: شاخص تحمل تنش تعدیل شده در شرایط نامناسب، YRI: شاخص کاهش عملکرد.

ns, * and **: non-significant and significant at 5% and 1% level, respectively.

Yp: The mean seed yield of each cultivar under appropriate conditions (first planting date), Ys: The mean seed yield of each cultivar under terminal heat stress (last planting date) SSI: Stress susceptibility index, TI: Tolerance index, MP: Productivity mean, HM: Harmonic mean, YSI: Yield stability index, RI: Ranking index, GMP: Geometric productivity mean, STI: Stress tolerance index, YI: Yield index, MSTI1: Modified stress tolerance index in normal condition, MSTI2: Modified stress tolerance index in non-normal condition, YRI: Yield reduction index

شاخص پایداری عملکرد (YSI)

بیشترین شاخص پایداری عملکرد با میانگین (۰/۳۶) به رقم محلی اصفهان (کوسه) متعلق بود. درحالی‌که رقم فرامان با داشتن میانگین (۰/۱۳) کمترین مقدار شاخص پایداری در بین ارقام را داشت. با توجه به اینکه رقم محلی اصفهان در

میانگین هارمونیک (HM)

با توجه به این شاخص، بیشترین مقدار میانگین هارمونیک مربوط به رقم گلدشت (۹۹۸/۴) و کمترین آن در رقم فرامان با میانگین (۶۱۸) مشاهده شد. نتایج به‌دست‌آمده در این شاخص نسبت به شاخص میانگین بهره‌وری متفاوت بود.

شاخص تحمل تنش (STI)

مقادیر بالای STI بیانگر تحمل یک ژنوتیپ به تنش است؛ بنابراین هر چه رقمی عملکرد بالاتری داشته باشد، مقدار عددی بیشتری داشته و لذا متحمل‌تر است. مقایسه میانگین نشان داد که رقم گلدشت با میانگین (۰/۳۳۵) بیشترین تحمل (کمترین حساسیت) و رقم محلی اصفهان (کوسه) با میانگین (۰/۱۵۷) کمترین تحمل (بیشترین حساسیت) نسبت به تنش گرمای آخر فصل را داشتند (جدول ۳).

تاریخ کاشت آخر نسبت به تاریخ کاشت مناسب‌ترین عملکرد دانه را داشت، لذا این رقم نسبت به سایر ارقام موردبررسی بالاترین شاخص پایداری عملکرد و بیشترین تحمل نسبی در شرایط تنش گرمای آخر فصل را داشت.

میانگین بهره‌وری هندسی (GMP)

این شاخص میانگین هندسی ارقام مختلف در شرایط مناسب و غیر مناسب را محاسبه می‌کند. در این شاخص رقم گلدشت با میانگین (۱۴۵۲/۶) بیشترین و رقم محلی اصفهان با میانگین (۹۸۰/۹) کمترین میزان را داشت.

جدول ۳. مقایسه میانگین ارقام گلرنگ از نظر شاخص‌های مقایسه تحمل و حساسیت نسبت به تنش گرمای آخر فصل

Table 3. Mean comparison of Safflower cultivars in terms of comparison indices of tolerance and sensitivity to terminal heat stress.

Cultivars	رقم	Yp	SSI	TI	MP	HM	YSI
Sina	سینا	2343.5 ^{bc}	0.92 ^{abc}	1731.9 ^{bc}	1477.5 ^{bc}	955.8 ^a	0.26 ^{abc}
Goldasht	گلدشت	3722.2 ^a	1.06 ^{ab}	3134.5 ^a	2155 ^a	998.4 ^a	0.16 ^{bc}
Soffeh	صفه	1987.7 ^{bc}	0.89 ^{bc}	1453.9 ^c	1260.7 ^{bc}	816.9 ^{ab}	0.29 ^{ab}
Isfahan Local	محلی اصفهان	1583.5 ^c	0.76 ^a	972.9 ^c	1097.1 ^c	877.9 ^{ab}	0.39 ^a
Faraman	فرامان	3013 ^{ab}	1.09 ^a	2661.8 ^{ab}	1682.1 ^{ab}	618 ^b	0.13 ^c

Table 3. Continued

جدول ۳. ادامه

Cultivars	رقم	GMP	STI	SDI	MSTI1	MSTI2	YRI
Sina	سینا	1184.2 ^{ab}	0.21 ^b	0.46 ^{ab}	0.19 ^b	0.30 ^{ab}	73.04 ^{abc}
Goldasht	گلدشت	1452.6 ^a	0.33 ^a	0.57 ^a	0.73 ^a	0.47 ^a	83.63 ^{ab}
Soffeh	صفه	1004.6 ^b	0.16 ^b	0.39 ^b	0.11 ^b	0.16 ^b	70.43 ^{bc}
Isfahan Local	محلی اصفهان	980.9 ^b	0.16 ^b	0.38 ^b	0.07 ^b	0.23 ^{ab}	60.30 ^c
Faraman	فرامان	1006.8 ^b	0.16 ^b	0.39 ^b	0.33 ^b	0.06 ^b	86.28 ^a

در هر ستون میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند، در سطح پنج درصد اختلاف آماری معنی‌دار ندارند
Yp: میانگین عملکرد دانه هر رقم تحت شرایط مناسب (تاریخ کاشت اول)، Ys: میانگین عملکرد دانه هر رقم تحت شرایط تنش گرمای آخر فصل (تاریخ کشت آخر)، SSI: حساسیت به تنش، TI: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، HM: میانگین هارمونیک، YSI: شاخص پایداری عملکرد، GMP: میانگین هندسی، STI: شاخص تحمل تنش، SDI: شاخص خسارت تنش، YI: شاخص عملکرد، MSTI1: شاخص تحمل تنش تعدیل شده در شرایط مناسب، MSTI2: شاخص تحمل تنش تعدیل شده در شرایط نامناسب، YRI: شاخص کاهش عملکرد.

Means in each column, followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% level.

Yp: The mean seed yield of each cultivar under appropriate conditions (first planting date), Ys: The mean seed yield of each cultivar under terminal heat stress (last planting date) SSI: Stress susceptibility index, TI: Tolerance index, MP: Productivity mean, HM: Harmonic mean, YSI: Yield stability index, GMP: Geometric productivity mean, STI: Stress tolerance index, YI: Yield index, MSTI1: Modified stress tolerance index in normal condition, MSTI2: Modified stress tolerance index in non-normal condition, YRI: Yield reduction index

الف) گروه A: در این گروه که در هر دو شرایط مناسب و نامناسب تنش گرمای آخر فصل عملکرد مطلوبی دارند، رقم گلدشت قرار گرفت؛ (ب) گروه B: در این گروه که در شرایط مناسب عملکرد مطلوب و در شرایط تنش گرمای آخر فصل

در این رابطه توزیع دوطرفه ارقام برحسب عملکرد در شرایط مطلوب و نامطلوب (شکل ۱)، ارقام موردبررسی را به چهار گروه زیر تفکیک کرد:

شاخص تحمل تنش تعدیل‌شده برای شرایط مطلوب (MST11)

از نظر این شاخص، رقم گلدشت (۰/۷۳) بیشترین تحمل و رقم محلی اصفهان (کوسه) (۰/۰۷۷) کمترین تحمل نسبت به شرایط تنش گرمای آخر فصل را داشتند.

شاخص تنش تعدیل‌شده برای شرایط نامطلوب (MST12)

طبق شاخص تنش تعدیل‌شده برای شرایط نامطلوب، رقم گلدشت با میانگین (۰/۴۷) حداکثر تحمل نسبت به تنش و رقم فرامان با میانگین (۰/۰۶) حداقل تحمل را داشت.

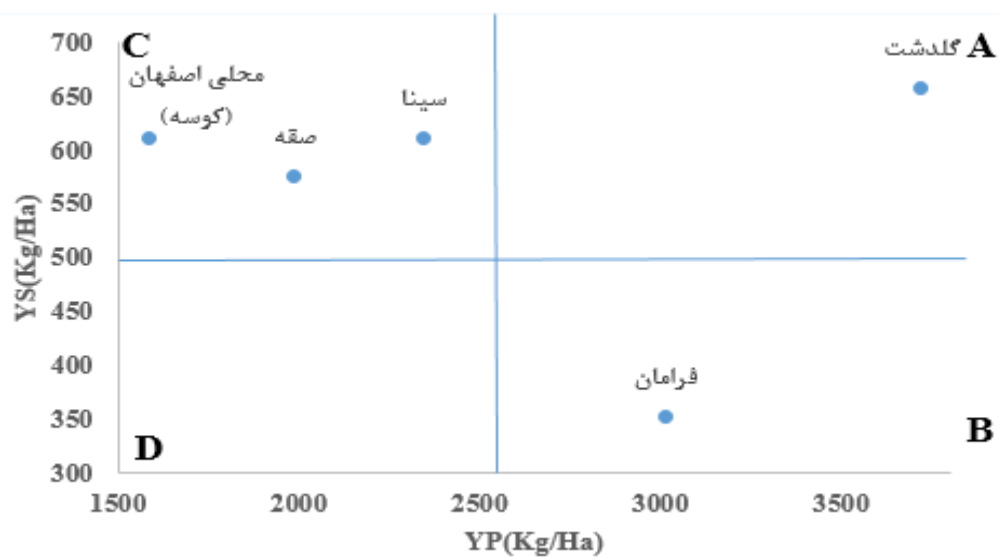
شاخص کاهش عملکرد (YRI)

بر اساس شاخص کاهش عملکرد، رقم فرامان با میانگین ۸۶/۲۸ درصد حساس‌ترین رقم و رقم محلی اصفهان (کوسه) با ۶۰/۳۶ درصد متحمل‌ترین رقم بود؛ بنابراین رقم محلی اصفهان (کوسه) نسبت به سایر ارقام آزمایش حاضر در تاریخ کاشت آخر توانسته عملکرد دانه نسبی بالاتری تولید کند و نسبت به تنش گرمای آخر فصل این منطقه متحمل‌تر بود.

عملکرد نامطلوب دارند، رقم فرامان قرار گرفت؛ (ج) گروه C: در این گروه که در شرایط مناسب عملکرد نامطلوب و در شرایط تنش گرمای آخر فصل عملکرد مطلوب دارند، ارقام صفه، محلی اصفهان (کوسه) و سینا قرار گرفتند. احتمالاً این ارقام نسبت به سایر ارقام، در شرایط مطلوب کارایی بالایی در استفاده از شرایط رشدی ندارند ولی به دلیل سازگاری به شرایط نامناسب، به‌طور نسبی قادر به استفاده از شرایط رشدی موجود هستند؛ (د) گروه D: در این گروه که در دو شرایط مناسب و شرایط نامناسب تنش گرمای آخر فصل عملکرد نامطلوبی دارند، هیچ‌یک از ارقام آزمایش حاضر قرار نگرفتند.

شاخص خسارت تنش (SDI)

با محاسبه ریشه دوم مقادیر شاخص تحمل تنش، به دست آوردن درصد خسارت تنش و مقایسه میانگین آن‌ها، مشاهده شد که در شرایط تنش، خسارت گرما در ارقام بین ۳۸/۸ تا ۵۷/۴ درصد متغیر بود. بر اساس این شاخص، بیشترین خسارت (۵۷/۴ درصد) در رقم گلدشت و کمترین خسارت نسبت به تنش گرمای ناشی از کاشت دیرهنگام توسط رقم محلی اصفهان (۳۸/۷ درصد) حاصل شد.



شکل ۱. توزیع دوطرفه ارقام برحسب عملکرد در شرایط مناسب و نامناسب

Fig. 1. Two-way distribution of cultivars in terms of grain yield in appropriate and non-appropriate conditions

همبستگی بین عملکرد دانه و شاخص‌های حساسیت و تحمل ارقام

بررسی ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و شاخص‌های حساسیت و تحمل ارقام به تنش گرمای آخر فصل نشان داد که عملکرد دانه در شرایط مناسب بیشترین همبستگی را با شاخص‌های حساسیت به تنش (SSI) ($r=0/93^{**}$)، میانگین بهره‌وری (PM) ($r=0/90^{**}$) و شاخص تحمل تنش در شرایط مطلوب (MSTI1) ($r=0/90^{**}$) داشت؛ به عبارت دیگر هر چه رقمی در شرایط مطلوب عملکرد دانه بالاتری داشته باشد، SSI بالاتری داشته و به شرایط نامساعد محیطی حساس‌تر است. صادق زاده اهری (Sadeghzadeh, 2006) گزارش کرده که بهترین شاخص برای غربال ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شاخصی است که همبستگی بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط مطلوب و تنش داشته باشد لذا بر این اساس، SSI برای شناسایی ارقام حساس و

متحمل مناسب‌تر است. البته بررسی ژنوتیپ‌ها بر اساس SSI فقط ژنوتیپ‌ها را بر مبنای حساسیت به تنش تقسیم‌بندی می‌کند و در این شاخص ژنوتیپ‌ها بدون توجه به پتانسیل عملکرد آن‌ها در شرایط مطلوب و تنش شناسایی می‌شوند (Fernandez, 1992). لذا از این نظر، شاخص حساسیت به تنش مناسب نیست. در مناطق در معرض تنش، ارقامی مطلوب‌تر هستند که در صورت کاشت در زمان مناسب عملکرد دانه بالایی تولید کنند و در صورت مواجه شدن با تنش، عملکرد دانه آن‌ها کاهش زیادی پیدا نکند (ارقام گروه A در تقسیم‌بندی فرناندز). با توجه به اینکه شاخص تحمل تنش فرناندز (STI) توانایی تشخیص این ارقام را دارد، لذا در شرایط آب و هوایی این مناطق، می‌توان از این شاخص برای شناسایی ارقام متحمل و حساس استفاده کرد. این نتایج با یافته‌های امید (Omid, 2011)، مشتقی و همکاران (Yari et al., 2013) و موشاتاتی (Moshatati et al., 2013) و یاری و همکاران (Yari et al., 2016) مطابقت دارد.

جدول ۴. همبستگی بین میانگین‌های عملکرد دانه و شاخص‌های مقایسه تحمل و حساسیت ارقام نسبت به تنش گرمای آخر فصل

Table 4. Correlation between grain yield and indices of tolerance and sensitivity of cultivars compared to the last season heat stress

	Yp	SSI	TI	PM	HM	YSI	GPM	STI	SDI	MSTI1	MSTI2	YRI
Yp	1											
SSI	0.93**	1										
Tol	0.16 ^{ns}	0.51 ^{ns}	1									
PM	-0.90**	-0.74*	0.11 ^{ns}	1								
HM	0.16*	0.85**	0.88**	-0.34 ^{ns}	1							
YSI	0.59*	0.83**	0.87**	-0.30 ^{ns}	0.98**	1						
GMP	0.61*	0.85**	0.88**	-0.34 ^{ns}	1**	0.98**	1					
STI	0.77**	0.90**	0.62*	-0.49 ^{ns}	0.87**	0.91**	0.87**	1				
SDI	0.35 ^{ns}	0.64**	0.92**	-0.04 ^{ns}	0.91**	0.94**	0.91**	0.80**	1			
MSTI1	0.90**	0.74**	-0.11 ^{ns}	-1**	0.34 ^{ns}	0.30 ^{ns}	0.34 ^{ns}	0.49 ^{ns}	0.04 ^{ns}	1		
MSTI2	0.42 ^{ns}	0.47 ^{ns}	0.32 ^{ns}	-0.45 ^{ns}	0.47 ^{ns}	0.50 ^{ns}	0.47 ^{ns}	0.54 ^{ns}	0.44 ^{ns}	0.45 ^{ns}	1	
YRI	0.52 ^{ns}	0.56*	0.30 ^{ns}	-0.51 ^{ns}	0.50 ^{ns}	0.49 ^{ns}	0.50 ^{ns}	0.50 ^{ns}	0.41*	0.51 ^{ns}	0.84**	1

^{ns}, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

^{ns}, * and ** are non-significant and significant at level of 5% and 1%, respectively

Yp: میانگین عملکرد دانه هر رقم تحت شرایط مناسب (تاریخ کاشت اول)، SSI: حساسیت به تنش، TI: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، HM: میانگین هارمونیک، YSI: شاخص پایداری عملکرد، GMP: میانگین هندسی، STI: شاخص تحمل تنش، SDI: شاخص خسارت تنش، YI: شاخص عملکرد، MSTI1: شاخص تحمل تنش تعدیل شده در شرایط مناسب، MSTI2: شاخص تحمل تنش تعدیل شده در شرایط نامناسب، YRI: شاخص کاهش عملکرد.

Means in each column, followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% level.

Yp: The mean seed yield of each cultivar under appropriate conditions (first planting date), Ys: The mean seed yield of each cultivar under terminal heat stress (last planting date) SSI: Stress susceptibility index, TI: Tolerance index, MP: Productivity mean, HM: Harmonic mean, YSI: Yield stability index, RI: Ranking index, GMP: Geometric productivity mean, STI: Stress tolerance index, YI: Yield index, MSTI1: Modified stress tolerance index in normal condition, MSTI2: Modified stress tolerance index in non-normal condition, YRI: Yield reduction index

نتیجه‌گیری کلی

محیطی، تفاوت معنی‌داری داشتند. همچنین در بین شاخص‌های مختلف، شاخص تحمل تنش (STI)، در شناسایی ارقام متحمل و حساس به تنش گرمای آخر فصل کارایی بیشتری داشت. لذا در شرایط آب و هوایی این مناطق، می‌توان از این شاخص برای شناسایی ارقام متحمل و حساس استفاده کرد. بر اساس این شاخص، رقم گلدشت (۰/۳۳۵) بیشترین تحمل (کمترین حساسیت) و در نتیجه بیشترین پایداری عملکرد و رقم محلی اصفهان (کوسه) با میانگین (۰/۱۵۷) کمترین تحمل (بیشترین حساسیت) و در نتیجه کمترین پایداری عملکرد نسبت به تنش گرمای آخر فصل خوزستان را داشتند.

با توجه به اهمیت تولید دانه‌های روغنی و روغن در کشور و استان خوزستان، کمیت و کیفیت عملکرد دانه و روغن مناسب گلرنگ و وجود شرایط آب و هوایی مناسب در فصل پاییز و تنش گرمای آخر فصل در بهار در خوزستان در کشت پاییزه این گیاه و اثر بر رشد و عملکرد دانه، شناسایی ارقام متحمل و حساس گیاهان زراعی از جمله گلرنگ جهت انتخاب ارقام متحمل و سازگار با شرایط اقلیمی برای کشت در هر منطقه مهم است. به‌طور کلی ارقام مورد بررسی از نظر شاخص‌های مختلف حساسیت و تحمل نسبت به تنش‌های

منابع

- Abolhasani, K., Saeidi, G., 2006. Evaluation of drought tolerance in safflower lines based on water stress tolerance and susceptibility indices. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 3, 407-418. [In Persian with English Summary].
- Arshad, Y., Zahrawi, M., Abadou, Gh.R., 2016. Relationship between agronomic traits with tolerance to heat stress in bread wheat bulk. *Journal of Research*. 8(2), 104-90.
- Ashraf, M., Harrice, P.J.C., 2005. *Abiotic Stresses: Plant Resistance through Breeding and Molecular Approaches*. The Haworth Press. New York. 725 p.
- Bidinger, F.R., Mahalakshami, V., Rao, G.D.P., 1987. Assessment of drought resistance in pearl millet [*Pennisetum americanum* (L.) Leeke]. II. Estimation of genotype response to stress. *Australian Journal of Agricultural Research*. 38, 49-59.
- Bousslama, M., Schapaugh, W.T., 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*. 24, 933-937.
- Chogan, R., Taher-Khani, T., Ghannadha, M.R., Khodrahmi, M., 2006. Drought tolerance analysis in corn-based inbred lines using drought stress tolerance indexes. *Iranian Crop Sciences*. 8(1), 79-89.
- Dajue, L., Mundel, H.H., 1996. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.): Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 7. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben / International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, pp142_145.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2018. FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Fernandez, G.C.J., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C.G. (ed.), *Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetable and other Food Crops to Temperature and Water Stress*. Taiwan, pp: 257-270.
- Fisher, R.A., Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*. 29, 897-912.
- Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campalino, R. G., Ricciardi, G.L., Borghi, B., 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*. 77, 523-531.
- Huang, B., 2000. Role of root morphological and physiological characteristics in drought resistance of plants. In: Wilkinson, R.E. (ed.), *Plant Environment Interactions*. Marcel Dekker Inc., New York, pp. 39-64.
- Kakaei, M., 2009. Effects of genotype and drought stress on physiological, morphological, phenological and biochemical traits of winter rape (*Brassica napus* L.). M.Sc. Thesis, Faculty

- of Agriculture, Islamic Azad University, Branch of Kermansha, Iran. [In Persian with English Summary].
- Maleki-Nejad, R., Majidi, M.M., 2013. Screening for endodonic dryness in internal and external germplasm of safflower based on sensitivity and tolerance indices. *Journal of Production and Processing of Crop and Gardening*. 15, 69-81.
- MAJ (Ministry of Agriculture Jihad). 2017. *Agriculture Statistical Year Book, First volume, crops. 2015-2016*. <http://www.maj.ir>
- Moshatati, A., Sayyidat, S.A., Alami Saeid, Kh., Bakhshandeh, A.M., Jalal Kamali, M.R., 2013. Comparison of wheat cultivars using endurance indices and endurance heat stress in Ahvaz. *Journal of Plant Production*. 36(2), 73-62. [In Persian with English Summary].
- Naderi, A., Majidi Harawan, I., Hashemi Dezfuli, A.H., Rezaei, A.L., Nourmohammadi, Gh., 1999. Tolerance of indicators of evaluation of crop tolerance to environmental stresses and the introduction of a new indicator. *Journal of Seedlings and Seeds*. 15(4), 402-390. [In Persian with English Summary].
- Nassar, R., Huhn, M., 1987. Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures on phenotypic stability. *Biometrics*. 43, 45-53.
- Nasseri, F., 1991. *Oil Seeds Publication*. Astan Quds Razavi, Mashhad. 823 p. [In Persian].
- Omidi, A.H., 2011. Effect of irrigation withhold at different growth stages on grain yield and stress tolerance indices in three safflower cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 13, 116-130. [In Persian with English Summary].
- Porch, T. G., 2006. Application of stress indices for heat tolerance screening of common bean. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 192, 390-394.
- Pourdard, S.S., Alizadeh, K., Azizinegad, R., Shariati, A., Eskandari, M., Khiavi, M., Nabatee, E., 2008. Study on drought resistance in safflower (*Carthamus tinctorius*) in different locations. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 12, 403-416. [In Persian with English Summary].
- Radmehr, M., 1997. *Effect of Heat Sress on Physiology of Growth and Development of Wheat*. Ferdowsi University of Mashhad Publication. 201p. [In Persian].
- Rosielle, A.A., Hamblin, J., 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*. 21, 943-946.
- Sadeghzadeh-Ahari, D., 2006. Evaluation for tolerance to drought stress in dry land promising durum wheat genotype. *Iranian Crop Sciences*. 8, 30-45.
- Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., Mohammadi, V., 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research*. 98, 222-229.
- Wahid, A.S., Ashraf, M., Foolad, M.R., 2007. Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany*. 61, 199-223.
- Yari, P., Keshtkar, A.H., Mazahery Laghab, H.A., 2016. Evaluation of water stress in spring Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivar using tolerance indices in Hamadan region. *Journal of Crop Breeding*. 18, 88-96.
- Zarghami, R., Zahravi, M., Aslanzadeh, A., Abassali, M., 2012. Evaluation of autumn sown genotypes of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) for tolerance to drought stress. *Seed and Plant Improvement Journal*. 3, 339-355.