

ارزیابی تحمل به تنش خشکی در برخی از ژنوتیپ‌های گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)

خدیدجه علی‌زاده^۱ و قدرت‌اله سعیدی^{۲*}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۷/۸)

چکیده

به منظور بررسی تحمل به تنش خشکی در برخی از ژنوتیپ‌های گلرنگ، تعداد ۱۸ لاین اصلاحی انتخاب شده از توده‌های بومی همراه با دو رقم خارجی و یک توده بومی (در مجموع ۲۱ ژنوتیپ) در دو آزمایش جداگانه در دو شرایط آبیاری معمول (غیرتنش) و کم‌آبایی (تنش) و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار در دو سال زراعی (۱۳۹۵ و ۱۳۹۶) در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان ارزیابی شدند. شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی بر اساس عملکرد دانه محاسبه شد. نتایج نشان داد که از نظر عملکرد دانه بین ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌دار وجود دارد. بیشترین و کمترین مقدار عملکرد دانه در واحد سطح در شرایط آبیاری معمول به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های M۴۲۰ (۴۷۰۳ کیلوگرم در هکتار) و C۱۱۶ (۲۷۲۳ کیلوگرم در هکتار) بود و در شرایط کم‌آبایی به ترتیب به ژنوتیپ‌های A۲ (۲۹۰۶ کیلوگرم در هکتار) و اراک ۲۸۱۱ (۱۳۷۳ کیلوگرم در هکتار) تعلق داشت. بر اساس همبستگی بین شاخص‌ها و عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در دو تیمار آبیاری، شاخص‌های MP، GMP، STI، M_pSTI و M_sSTI به عنوان بهترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل در گلرنگ شناخته شدند. نمایش گرافیکی بای‌پلات و تجزیه خوشه‌ای نیز مشخص کرد که ژنوتیپ‌های M۴۲۰، S۱۴۹، K۲۱، K۱۲، A۲ و AC-Stirling، E۲۴۱۷، E۲۴۲۸ به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل تر به تنش رطوبتی بودند.

واژه‌های کلیدی: تنش رطوبتی، شاخص‌های تحمل، عملکرد دانه و گلرنگ

۱ و ۲. به ترتیب دانشجوی دکتری و استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

* مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: gsaedi@cc.iut.ac.ir

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) یک گیاه دانه روغنی و از خانواده آستره است که در سال‌های اخیر به دلیل سازگاری آن به اقلیم‌های گوناگون و تحمل به نسبت زیاد آن به تنش خشکی به عنوان یکی از گیاهان دانه روغنی مهم در نواحی خشک و نیمه خشک دنیا از جمله ایران مورد توجه قرار گرفته است. این گونه گیاهی به دلیل کاربردهای مختلف آن شامل تولید روغن از دانه، تهیه رنگ از گل‌ها، مصارف دارویی و خوراک دام و پرندگان مورد توجه پژوهشگران است. روغن دانه گلرنگ دارای بیش از ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع ضروری به خصوص لینولئیک و اولئیک است و به عنوان یک روغن با کیفیت بالا محسوب می‌شود (۳۶).

خشکی یکی از تنش‌های محیطی است که به عنوان مهم‌ترین عامل محدود کننده رشد و تولید گیاهان زراعی در اکثر نقاط جهان شناخته شده است (۲۴) و کشورهایی از جمله ایران که در ناحیه خشک و نیمه خشک دنیا قرار دارند و یا از کمبود آب رنج می‌برند، می‌بایست راهبردهای خاصی را در جهت استفاده صحیح و مطلوب از منابع آب به عمل آورند، که از مهم‌ترین آنها تولید ارقام متحمل به کم آبی و با عملکرد بالا است.

مطالعات نشان داده است که تنش خشکی به طور معنی‌داری بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گلرنگ تأثیرگذار بوده و در نهایت موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه می‌شود (۱، ۱۵، ۲۳ و ۳۱). برای اصلاح ارقام متحمل به تنش خشکی، برخی از پژوهشگران انتخاب ژنوتیپ در شرایط غیرتنش (۴) و (۲۷)، برخی نیز انتخاب در شرایط تنش (۵ و ۶) و اکثراً نیز انتخاب ژنوتیپ‌ها را بر اساس ارزیابی در هر دو شرایط تنش و غیرتنش پیشنهاد کرده‌اند (۷ و ۱۲). برای ارزیابی و انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل، شاخص‌های مختلفی پیشنهاد شده است که بر اساس عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و غیرتنش محاسبه می‌شوند (۱۳ و ۲۶) و انتخاب بر این اساس می‌تواند منجر به تجمع آل‌های مطلوب شده و ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالاتر برای هر دو محیط انتخاب شوند (۲۸).

شاخص میانگین تولید (MP) (معادله ۱) نشان‌دهنده متوسط عملکرد دانه ژنوتیپ در دو محیط است (۲۹). شاخص‌های تحمل به تنش (STI) (معادله ۲) و میانگین هندسی تولید (GMP) (معادله ۳) در شرایط تنش و غیرتنش به عنوان معیارهای مناسب برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی پیشنهاد شده‌اند (۱۲).

شاخص‌های دیگری مانند شاخص مقاومت به خشکی (DI) (معادله ۴) (۱۸) و شاخص تغییر یافته تحمل به خشکی (MSTI) (معادله‌های ۵ و ۶) که فرم تصحیح شده‌ای از شاخص تحمل به خشکی است (۹) و همچنین برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی که در هر دو شرایط تنش و غیرتنش عملکرد مطلوب دارند، معرفی شده‌اند.

شاخص میزان محصول در محیط تنش و غیرتنش (SNPI) (معادله ۷) (۲۲)، توانایی تشخیص ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار را در هر دو شرایط تنش و غیرتنش دارد. همچنین، شاخص حساسیت به خشکی (SDI) (معادله ۸) (۱۰)، برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل پیشنهاد شده است.

این مطالعه به منظور ارزیابی عملکرد دانه و تحمل به تنش خشکی برخی از ژنوتیپ‌های گلرنگ، شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل تر و تعیین بهترین شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق ۲۱ ژنوتیپ شامل ۱۸ لاین اصلاحی انتخاب شده از توده‌های بومی گلرنگ شامل لاین‌های اراک ۲۸۱۱ (از توده اراک)؛ A۱ و A۲ (از توده آذربایجان غربی)؛ C۱۱۱، C۱۱۶، C۱۲۱، C۱۲۸ و C۴۱۱۰ (از توده بومی کوسه اصفهان)؛ E۲۴۱۷، E۲۴۲۷ و E۲۴۲۸ (از توده اصفهان)؛ H۲۷ (از توده همدان)؛ K۱۲ و K۲۱ (از توده کردستان)؛ M۴۲۰ (از توده استان مرکزی) و S۱۲۲، S۱۴۹ و S۳۱۱۰ (از توده خراسان) به همراه دو رقم خارجی (Ac-Sunset و Ac-Stirling) (از کشورکانادا) و یک توده بومی گلرنگ اصفهان (کوسه) استفاده

(سانتی‌متر) و B چگالی ظاهری خاک هستند.

برای تعیین میزان آب مورد نیاز هر واحد آزمایشی، ابتدا عمق آبیاری از معادله ۳ محاسبه شد:

$$I = (\theta_{FC} - \theta_{irri}) \times B \times D \quad (3)$$

در معادله فوق B چگالی ظاهری خاک، D عمق توسعه ریشه (سانتی‌متر)، θ_{FC} رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی و θ_{irri} متوسط رطوبت وزنی در عمق توسعه ریشه مربوط به زمان آبیاری در تیمار غیرتنش ($MAD = 0.50$) بود که از معادله ۴ به دست آمد:

$$\theta_{irri} = \theta_{FC} - [(\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \times MAD] \quad (4)$$

برای اندازه‌گیری میزان آب ورودی به واحدهای آزمایشی نیز از کنتور آب استفاده شد.

در پایان آزمایش و پس از رسیدگی فیزیولوژیک، کل بوته‌های هر واحد آزمایشی بعد از حذف حاشیه برداشت و سپس خرمن‌کوبی و بوجاری شد و عملکرد دانه در واحد سطح (کیلوگرم در هکتار) برای هر واحد آزمایشی محاسبه شد.

با استفاده از عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط کم‌آبیاری (Y_s) و آبیاری معمول (Y_p)، شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به تنش خشکی طبق معادلات زیر محاسبه شد:

$$MP = \frac{Y_s + Y_p}{2} \quad (1)$$

$$STI = \frac{Y_s \times Y_p}{\bar{Y}_p^2} \quad (2)$$

$$GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s} \quad (3)$$

$$DI = \frac{[Y_s \times (\frac{Y_s}{Y_p})]}{\bar{Y}_s} \quad (4)$$

$$M_pSTI = \frac{(Y_p)^2}{(\bar{Y}_p)^2} \times STI \quad (5)$$

$$M_sSTI = \frac{(Y_s)^2}{(\bar{Y}_s)^2} \times STI \quad (6)$$

شد. این ژنوتیپ‌ها به‌طور جداگانه در دو شرایط آبیاری معمول (غیرتنش) و کم‌آبیاری (تنش) بر اساس ۵۰ و ۸۵ درصد تخلیه رطوبت از خاک، طی دو سال زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ و با استفاده از طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در لورک نجف‌آباد در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان ارزیابی شدند. بافت خاک منطقه لومی‌رسی با جرم مخصوص ظاهری ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب، اسیدیته ۷/۵ و هدایت الکتریکی ۱/۶ دسی‌زیمنس بر متر بود. هر واحد آزمایشی در این مطالعه شامل ۳ ردیف کاشت ۲ متری با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته در ردیف برابر ۱۰ سانتی‌متر بود.

اعمال تیمار آبیاری از مرحله تکمه‌دهی گیاه آغاز شد، ولی تا این مرحله از رشد گیاه، آبیاری برای دو آزمایش در شرایط تنش و غیرتنش یکسان انجام شد. در شرایط غیرتنش و تنش، به‌ترتیب بر اساس ۵۰ و ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک، آبیاری صورت گرفت. برای پیش‌بینی مقدار تخلیه رطوبتی خاک، تبخیر- تعرق روزانه گیاه (ET_i) با استفاده از داده‌های هواشناسی و رابطه پنمن-مانتیت ($Penman-Monteith$) (معادله ۱) به‌شرح زیر محاسبه شد (۲):

$$ET_i = ET_0 \times K_c \quad (1)$$

در معادله فوق ET_0 تبخیر- تعرق پتانسیل یا مرجع (بر اساس داده‌های هواشناسی به‌صورت روزانه)، K_c ضریب گیاهی گلرنگ و ET_i تبخیر و تعرق روزانه هستند. در ضمن زمانی که مقدار تبخیر- تعرق تجمعی در طی رشد ($ET_c = \sum ET_i$) پس از هر آبیاری به عمق مجاز تخلیه رطوبتی نزدیک می‌شد، آبیاری انجام می‌گرفت و عمق مجاز تخلیه رطوبتی نیز با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد:

$$RAW = (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \times MAD \times D \times B \quad (2)$$

در معادله فوق θ_{FC} درصد رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت زراعی، θ_{PWP} درصد رطوبت حجمی خاک در حد پژمردگی دائم، MAD ضریب مدیریت مزرعه (۵۰ و ۸۵ درصد به‌ترتیب در تیمار غیرتنش و تنش رطوبتی)، D عمق توسعه ریشه

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه در دو شرایط آبیاری معمول و کم آبیاری طی دو سال زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
سال	۱	۲۵۷۳۷۷**
شرایط آبیاری	۱	۱۲۱۶۵۵۷۲۶**
سال × شرایط آبیاری	۱	۷۸۸ ^{ns}
تکرار / سال × شرایط آبیاری	۴	۹۸۰۸۶
ژنوتیپ	۲۰	۱۱۱۳۰۷۷**
ژنوتیپ × سال	۲۰	۳۵۷۹۲۷**
ژنوتیپ × شرایط آبیاری	۲۰	۶۰۹۰۴۵ ^{ns}
ژنوتیپ × سال × شرایط آبیاری	۲۰	۱۱۵۳۰۰۱**
اشتباه آزمایشی	۸۰	۵۶۱۹۴

** و * و ns: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و غیرمعنی دار

باشد. مجیدی و همکاران (۱۹)، مجیدی و زادهوش (۲۰)، زارعی و همکاران (۳۵) و بهرامی و همکاران (۳) نیز تفاوت معنی داری را بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه خود برای عملکرد دانه گزارش کردند. اثر تیمار آبیاری بر عملکرد دانه معنی دار بود (جدول ۱) و کاهش عملکرد دانه در محیط تنش مشاهده شد. کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی قبلاً نیز توسط سایر پژوهشگران در گلرنگ گزارش شده است (۱۵، ۲۳ و ۳۱). همچنین اثر سال و اثر متقابل بین سال و ژنوتیپ برای کلیه صفات معنی دار بود (جدول ۱) که نشان‌دهنده این است که واکنش ژنوتیپ‌ها از لحاظ عملکرد دانه در دو سال ارزیابی متفاوت بوده است. تأثیر معنی دار محیط، تفاوت‌های ژنتیکی از لحاظ عملکرد دانه و معنی دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ با محیط نیز توسط ابراهیمی و همکاران (۸) در گلرنگ گزارش شده است.

میانگین دو ساله عملکرد دانه در شرایط آبیاری معمول و کم آبیاری و شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی در جدول ۲ آورده شده است. بیشترین و کمترین مقدار عملکرد دانه در شرایط آبیاری معمول به ترتیب به ژنوتیپ‌های M۴۲۰ و C۱۱۶ تعلق داشت. از نظر عملکرد دانه در شرایط کم آبیاری نیز بیشترین و کمترین مقدار عملکرد دانه را به ترتیب ژنوتیپ‌های A۲ و اراک ۲۸۱۱ به خود اختصاص دادند (جدول ۲).

$$SNPI = \sqrt[3]{(Yp + Ys) / (Yp - Ys)} \times \sqrt[3]{Yp \times Ys \times Ys} \quad (7)$$

$$SDI = \frac{Yp - Ys}{\bar{Yp}} \quad (8)$$

\bar{Yp} : میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط آبیاری معمول
 \bar{Ys} : میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط کم آبیاری
 تجزیه واریانس مرکب با استفاده از داده‌های دو سال ارزیابی و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) برای مقایسه میانگین‌ها به کار برده شد. برای تعیین بهترین شاخص، همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط تنش و غیرتنش با هر کدام از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی با استفاده از نرم‌افزار SAS محاسبه شد. همچنین به منظور ارزیابی دقیق‌تر ارقام متحمل به خشکی، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای با استفاده از نرم‌افزار Stat graphis انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر عملکرد دانه تفاوت معنی دار داشتند (جدول ۱) که بیانگر تفاوت ژنتیکی زیاد بین آنها از لحاظ عملکرد دانه است و این نوع می‌تواند در جهت بهبود آنها توسط روش‌های انتخاب مؤثر

جدول ۲. میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری معمول (Y_p) و کم آبیاری (Y_s) در دو سال آزمایش و شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی

ژنوتیپ	Y_p	Y_s	STI	MP	GMP	DI	SNPI	SDI	M_pSTI	M_sSTI
اراک ۲۸۱۱	۳۴۷۰	۱۳۷۳	۰/۳۵	۲۴۲۱	۲۱۸۱	۰/۲۸	۲۲۸۹	۰/۶۰	۰/۳۰	۰/۱۷
کوسه	۳۹۳۴	۱۶۷۲	۰/۴۶	۲۸۰۳	۲۴۹۸	۰/۴۶	۲۹۴۳	۰/۵۴	۰/۵۰	۰/۴۴
A1	۳۶۷۶	۱۹۲۹	۰/۵۱	۲۸۰۲	۲۶۵۲	۰/۵۲	۳۳۱۰	۰/۴۷	۰/۵۱	۰/۵۰
A2	۳۷۸۵	۲۹۰۶	۰/۷۹	۳۳۴۵	۳۲۸۹	۱/۱۸	۱۳۰۶۹	۰/۲۰	۰/۹۱	۱/۷۳
C111	۲۹۹۸	۲۱۲۷	۰/۴۷	۲۵۶۳	۲۵۱۸	۰/۷۹	۴۲۰۷	۰/۲۷	۰/۳۵	۰/۵۶
C116	۲۷۲۳	۱۴۷۵	۰/۳۰	۲۰۹۹	۱۹۹۹	۰/۴۱	۲۵۳۷	۰/۴۵	۰/۱۹	۰/۱۸
C121	۳۰۲۸	۲۰۲۸	۰/۴۴	۲۵۲۸	۲۴۶۱	۰/۷۵	۴۷۷۱	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۴۶
C128	۳۵۶۷	۲۰۸۱	۰/۵۲	۲۸۲۴	۲۶۷۵	۰/۷۴	۴۱۹۶	۰/۳۷	۰/۴۸	۰/۶۶
C411۰	۴۱۰۶	۱۶۳۷	۰/۴۸	۲۸۷۱	۲۵۷۰	۰/۳۵	۲۷۶۲	۰/۵۹	۰/۶۵	۰/۳۳
E2417	۴۶۰۹	۱۹۹۰	۰/۶۶	۳۳۰۰	۳۰۲۳	۰/۴۴	۳۳۱۳	۰/۵۷	۱/۰۳	۰/۶۹
E2427	۲۹۱۵	۲۱۲۵	۰/۴۵	۲۵۲۰	۲۴۷۶	۰/۷۹	۴۴۲۰	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۵۸
E2428	۴۱۷۹	۲۳۶۰	۰/۶۷	۳۲۷۰	۳۰۲۱	۰/۸۳	۵۶۰۵	۰/۴۰	۰/۸۱	۱/۱۹
H27	۳۵۵۸	۱۶۳۰	۰/۴۲	۲۵۹۴	۲۴۰۲	۰/۳۸	۲۷۳۱	۰/۵۴	۰/۴۲	۰/۳۰
K12	۴۰۲۹	۲۲۱۲	۰/۶۴	۳۱۲۰	۲۹۶۸	۰/۶۲	۳۸۵۶	۰/۴۵	۰/۷۶	۰/۸۵
K21	۳۸۸۲	۲۳۰۱	۰/۶۴	۳۰۹۱	۲۹۶۷	۰/۷۶	۴۴۸۰	۰/۳۸	۰/۷۳	۰/۹۱
M42۰	۴۷۰۳	۲۴۲۰	۰/۸۲	۳۵۶۱	۳۳۶۸	۰/۶۵	۴۰۸۲	۰/۴۸	۱/۳۷	۱/۲۴
S122	۳۵۳۵	۲۲۱۱	۰/۵۶	۲۸۷۳	۲۷۷۶	۰/۷۳	۴۰۵۸	۰/۳۶	۰/۵۲	۰/۷۲
S149	۴۲۴۶	۲۲۹۷	۰/۷۰	۳۲۷۱	۳۱۰۳	۰/۶۸	۴۰۰۹	۰/۴۴	۰/۹۲	۱/۰۰
S311۰	۳۲۲۵	۱۸۸۷	۰/۴۱	۲۵۵۶	۲۳۷۵	۰/۶۹	۷۸۹۲	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۳۹
AC-Stirling	۴۲۹۲	۱۹۱۶	۰/۵۹	۳۱۰۴	۲۸۳۴	۰/۵۰	۳۳۰۱	۰/۵۳	۰/۷۷	۰/۶۳
AC-Suncet	۳۴۹۸	۱۶۳۷	۰/۴۱	۲۵۶۷	۲۳۸۱	۰/۴۱	۲۷۸۱	۰/۵۱	۰/۴۱	۰/۲۸

STI: شاخص تحمل به تنش، MP: میانگین تولید، GMP: میانگین هندسی تولید، DI: شاخص مقاومت به خشکی، SNPI: شاخص میزان محصول محیط غیرتنش و تنش، SDI: شاخص حساسیت به خشکی، M_pSTI و M_sSTI : شاخص تحمل به تنش تغییر یافته در شرایط غیرتنش و تنش

ژنوتیپ‌های $M420$ ، A2 و S149 به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل‌تر به تنش خشکی شناسایی شدند.

شاخص‌های MP و GMP به‌ترتیب بر اساس میانگین حسابی و هندسی عملکرد ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش و غیرتنش رطوبتی محاسبه می‌شوند و انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی بر اساس مقادیر بالای این دو شاخص صورت می‌گیرد. بر اساس این شاخص‌ها، ژنوتیپ‌های $M420$

شاخص STI نشان‌دهنده تحمل نسبی به تنش و پتانسیل عملکرد بیشتر است و در شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار مؤثر است (۱۲). بنابراین، بر مبنای این شاخص ژنوتیپ‌هایی با تحمل بیشتر به تنش و پتانسیل عملکرد بیشتر انتخاب می‌شوند. مقادیر بالاتر STI در ژنوتیپ‌های $M420$ ، A2 و S149 و پایین‌تر آن در ژنوتیپ‌های C116، اراک ۲۸۱۱ و S311۰ مشاهده شد (جدول ۲). بنابراین بر مبنای این شاخص

دارند، استفاده کرده‌اند (۱۷، ۳۰ و ۳۴). ضرایب همبستگی نشان داد که شاخص‌های STI، MP، GMP، MpSTI و MsSTI همبستگی مثبت و معنی‌داری با یکدیگر و همچنین با عملکرد دانه در هر دو شرایط آبیاری معمول (Yp) و کم‌آبیاری (Ys) داشتند (جدول ۳). صفوی و همکاران (۳۰) نیز در ارزیابی ارقام گلرنگ، همبستگی بالا و مثبتی بین شاخص‌های GMP و STI با عملکرد دانه در شرایط تنش و غیرتنش گزارش کردند. همچنین، یاری و همکاران (۳۳) مشاهده کردند که شاخص‌های STI، SNPI، GMP و MP در شرایط تنش خشکی در مرحله گلدهی و شاخص‌های MP، GMP و STI در شرایط تنش در مرحله دانه‌بندی برای شناسایی ارقام گلرنگ با عملکرد بالا مناسب بودند. کارایی شاخص‌های MpSTI و MsSTI برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و غیرتنش خشکی نیز توسط سایر پژوهشگران در گیاهان مختلف مانند اکوتیپ‌های *Aegilops triuncialis* (۳۲)، آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) (۱۴) و گندم دوروم (۲۵) گزارش شده است.

شاخص‌های DI و SNPI با عملکرد دانه در شرایط تنش (Ys) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشتند و با عملکرد دانه در شرایط غیرتنش (Yp) همبستگی معنی‌دار نشان ندادند، درحالی که شاخص SDI با عملکرد دانه در شرایط غیرتنش (Yp) همبستگی مثبت و معنی‌دار و با عملکرد دانه در شرایط تنش (Ys) همبستگی منفی و معنی‌دار نشان داد (جدول ۳). بنابراین انتخاب بر اساس شاخص‌های DI و SNPI منجر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی می‌شود که دارای عملکرد بالا در شرایط تنش هستند و انتخاب بر اساس شاخص SDI، ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط غیرتنش و عملکرد پایین در شرایط تنش را شناسایی می‌کند.

به‌طور کلی شاخصی مناسب است که در هر دو شرایط غیرتنش و تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد داشته باشد (۱۱ و ۲۱). بنابراین شاخص‌های STI، MP، GMP، MsSTI و MpSTI به‌دلیل دارا بودن همبستگی مثبت و معنی‌دار

و A2 و ژنوتیپ‌های C116 و اراک ۲۸۱۱ به‌ترتیب به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل‌تر و حساس‌تر شناسایی شدند (جدول ۲). بر اساس شاخص‌های DI و SNPI ژنوتیپ‌های A2 و اراک ۲۸۱۱ به‌ترتیب به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل‌تر و حساس‌تر شناسایی شدند (جدول ۲).

مقدار بالای شاخص SDI، نشانه حساسیت ژنوتیپ به تنش بوده و انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس مقادیر کم SDI مطلوب و موجب بهبود ژنتیکی تحمل به تنش می‌شود. بنابراین بر اساس این شاخص ژنوتیپ‌های اراک ۲۸۱۱، C4110 و E2417 و ژنوتیپ‌های A2، C111 و E2427 به‌ترتیب به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس‌تر و متحمل‌تر تعیین شدند (جدول ۲).

شاخص‌های MpSTI و MsSTI همانند شاخص STI بوده و ژنوتیپ‌های با مقادیر بالای این شاخص‌ها، برای هر دو شرایط تنش و غیرتنش رطوبتی مناسب هستند. ژنوتیپ M420 که در دو شرایط تنش و غیرتنش رطوبتی عملکرد بالایی داشته است، مقدار بالای هر دو شاخص MpSTI و MsSTI را نشان داد و به‌عنوان ژنوتیپ متحمل به خشکی شناخته شد (جدول ۲).

انتخاب بر اساس شاخص‌های MP و GMP باعث گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو محیط تنش و غیرتنش می‌شود. سایر پژوهشگران نیز بیان کرده‌اند که شاخص‌های MP و GMP برای تشخیص ارقام متحمل به تنش خشکی و گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط غیرتنش و تنش خشکی، شاخص‌های مناسبی هستند (۱۶ و ۳۴). از نظر اکثر پژوهشگران بهترین شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌ها، شاخص STI است، چون قادر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو محیط تنش و غیرتنش است (۱۱، ۲۹ و ۳۰). در این مطالعه نیز ژنوتیپ‌هایی با STI بالا دارای عملکرد بالاتر در هر دو شرایط تنش و غیرتنش بودند.

پژوهشگران از همبستگی بین شاخص‌ها و عملکرد دانه در شرایط تنش و غیرتنش نیز برای انتخاب بهترین شاخص‌ها که توانایی غربالگری ژنوتیپ‌های متحمل و با پتانسیل تولید بالا را

جدول ۳. ضرایب همبستگی عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی طی دو سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶

صفات	Y_p	Y_s	STI	MP	GMP	DI	SNPI	SDI	M_pSTI	M_sSTI
Y_p	۱									
Y_s	۰/۳۲ ^{ns}	۱								
STI	۰/۷۶**	۰/۸۵**	۱							
MP	۰/۸۹**	۰/۷۲**	۰/۹۷**	۱						
GMP	۰/۷۷**	۰/۸۴**	۰/۹۹**	۰/۹۷**	۱					
DI	-۰/۰۹ ^{ns}	۰/۹۰**	۰/۵۴*	۰/۳۷ ^{ns}	۰/۵۳*	۱				
SNPI	-۰/۰۳ ^{ns}	۰/۷۱**	۰/۴۴*	۰/۴۳ ^{ns}	۰/۳۳ ^{ns}	۰/۸۲**	۱			
SDI	۰/۴۷*	-۰/۰۶۷**	-۰/۱۷ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	-۰/۱۷ ^{ns}	-۰/۹۱**	-۰/۷۰**	۱		
M_pSTI	۰/۹۱**	۰/۶۱**	۰/۹۳**	۰/۹۶**	۰/۹۲**	۰/۲۲ ^{ns}	۰/۲۱ ^{ns}	۰/۱۵ ^{ns}	۱	
M_sSTI	۰/۵۰*	۰/۹۴**	۰/۹۲**	۰/۸۳**	۰/۹۱**	۰/۷۷**	۰/۶۹**	-۰/۴۶*	۰/۷۵**	۱

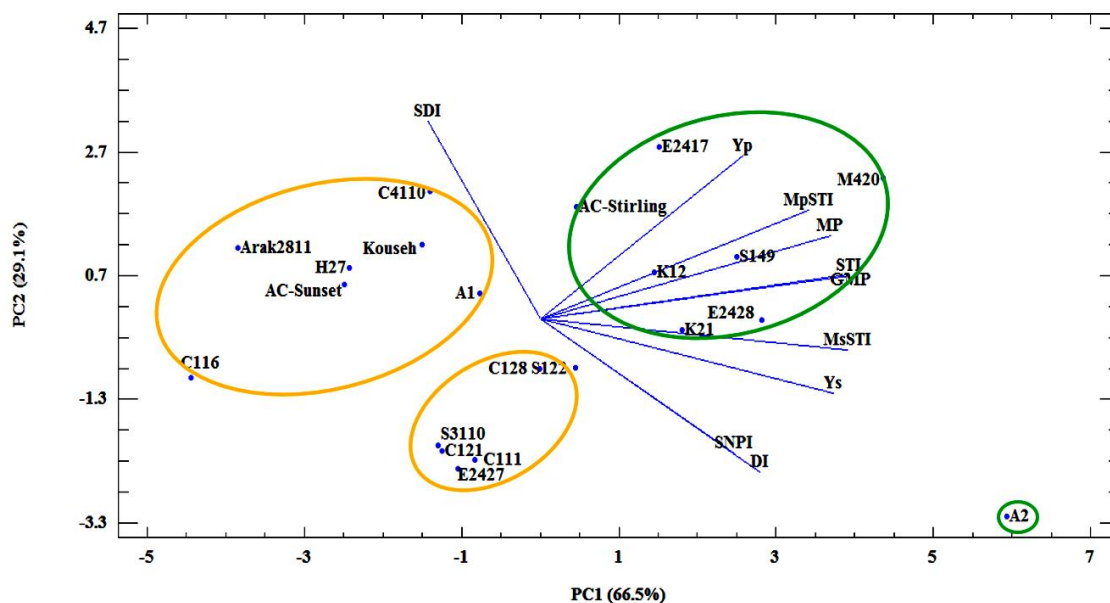
Y_p : عملکرد دانه در شرایط غیرتنش، Y_s : عملکرد دانه در شرایط تنش، STI: شاخص تحمل به تنش، MP: میانگین تولید، GMP: میانگین هندسی تولید، DI: شاخص مقاومت به خشکی، SNPI: شاخص میزان محصول محیط غیرتنش و تنش، SDI: شاخص حساسیت به خشکی، M_pSTI و M_sSTI : شاخص تحمل به تنش تغییر یافته در شرایط غیرتنش و تنش

Y_p و شاخص SDI و همبستگی منفی با شاخص‌های SNPI و DI داشت (جدول ۴). بنابراین انتخاب بر اساس مقادیر بیشتر این مؤلفه منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط غیرتنش می‌شود.

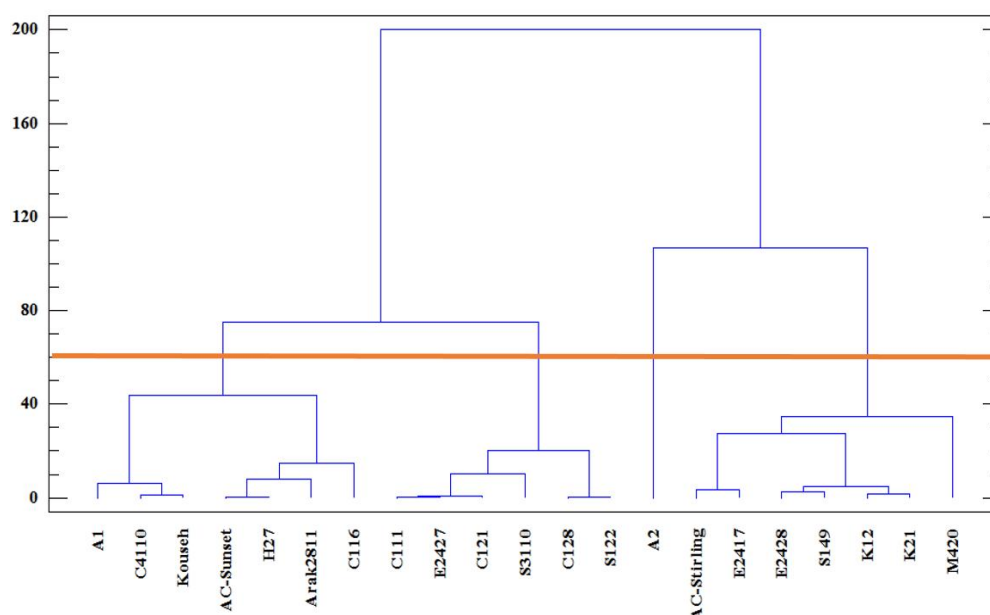
بر اساس بای‌پلات ترسیم شده و بر مبنای مؤلفه‌های اصلی اول و دوم (شکل ۱) ژنوتیپ‌ها به چهار گروه تفکیک شدند: گروه اول شامل ژنوتیپ A۲ بود که بیشترین عملکرد در شرایط تنش و شاخص‌های M_sSTI ، SNPI و DI و کمترین شاخص SDI را داشت. گروه دوم نیز مقادیر بالای شاخص‌های MP، GMP، STI، M_pSTI و M_sSTI و همچنین عملکرد دانه بالا در هر دو شرایط تنش و غیرتنش را داشتند و این گروه شامل ژنوتیپ‌های M_{420} ، K_{21} ، K_{12} ، S_{149} ، E_{2428} ، E_{2417} و AC-Stirling بودند. بنابراین، این دو گروه به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه در دو تیمار آبیاری شناخته شدند و برای هر دو محیط تنش و غیرتنش پیشنهاد می‌شوند. ژنوتیپ‌های S_{122} ، C_{128} ، S_{3110} ، C_{121} ، E_{2427} و C_{111} گروه سوم را تشکیل دادند که مقدار بالای شاخص‌های SNPI و DI و مقدار پایین شاخص SDI را به‌خود اختصاص دادند.

با عملکرد دانه در هر دو شرایط غیرتنش و تنش (جدول ۳) به‌عنوان بهترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل‌تر و با عملکرد دانه بیشتر برای هر دو تیمار آبیاری در گلرنگ شناخته شدند.

به‌منظور درک بیشتر ارتباط بین شاخص‌ها و عملکرد دانه و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و ترسیم گرافیکی بای‌پلات و تجزیه خوشه‌ای به‌روش Ward استفاده شد (شکل‌های ۱ و ۲). دو مؤلفه اصلی اول جمعاً ۹۵/۶ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کردند. بنابراین بر اساس دو مؤلفه اول بای‌پلات ترسیم شد. اولین مؤلفه ۶۶/۵ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و با Y_p ، Y_s و شاخص‌های MP، GMP، STI، M_pSTI ، M_sSTI و SNPI همبستگی مثبت و بالایی داشت (جدول ۴). بنابراین، این مؤلفه را می‌توان مؤلفه پایداری عملکرد و تحمل به خشکی نامگذاری کرد. انتخاب بر اساس مقادیر بالاتر این مؤلفه، ژنوتیپ‌هایی را گزینش می‌کند که تحمل بیشتری به تنش خشکی داشته و عملکرد بالایی در هر دو شرایط تنش و غیرتنش دارند. دومین مؤلفه مقدار ۲۹/۱ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و همبستگی مثبت با



شکل ۱. نمایش بای پلات شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی و عملکرد دانه در دو شرایط آبیاری معمول و کم آبیاری در ۲۱ ژنوتیپ گلرنگ بر اساس میانگین داده‌های دو سال (Yp: عملکرد دانه در شرایط غیرتنش، Ys: عملکرد دانه در شرایط تنش، STI: شاخص تحمل به تنش، MP: میانگین تولید، GMP: میانگین هندسی تولید، DI: شاخص مقاومت به خشکی، SNPI: شاخص میزان محصول محیط غیرتنش و تنش، SDI: شاخص حساسیت به خشکی، MpSTI و MsSTI: شاخص تحمل به تنش تغییر یافته در شرایط غیرتنش و تنش)



شکل ۲. نمودار درختی تجزیه خوشه‌ای بر اساس شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی و عملکرد دانه در دو شرایط آبیاری معمول و کم آبیاری طی دو سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶

لذا این ژنوتیپ‌ها برای محیط دارای تنش رطوبتی پیشنهاد می‌شوند. گروه چهارم دارای عملکرد کمتر و شاخص‌های تحمل پایین‌تر بودند و ژنوتیپ‌های این گروه شامل C116، H27، اراک ۲۸۱۱، C4110، AC-Sunset، A1 و کوسه بود که جزء حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها و دارای پتانسیل عملکرد پایین در هر دو محیط تنش و غیرتنش هستند.

جدول ۴. درصد تنوع هر مؤلفه و ضرایب عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی

مؤلفه‌ها	درصد تنوع	Y_p	Y_s	STI	MP	GMP	DI	SNPI	SDI	M_pSTI	M_sSTI
مؤلفه اول	۶۶/۵	۰/۶۴	۰/۹۳	۰/۹۸	۰/۹۲	۰/۹۷	۰/۶۹	۰/۶۱	-۰/۳۶	۰/۸۵	۰/۹۷
مؤلفه دوم	۲۹/۱	۰/۷۵	-۰/۳۵	۰/۲۰	۰/۳۸	۰/۲۱	-۰/۷۱	-۰/۶۲	۰/۹۱	۰/۵۰	-۰/۱۴

Y_p : عملکرد دانه در شرایط غیرتنش، Y_s : عملکرد دانه در شرایط تنش، STI: شاخص تحمل به تنش، MP: میانگین تولید، GMP: میانگین هندسی تولید،

DI: شاخص مقاومت به خشکی، SNPI: شاخص میزان محصول محیط غیرتنش و تنش، SDI: شاخص حساسیت به خشکی،

M_pSTI و M_sSTI : شاخص تحمل به تنش تغییر یافته در شرایط غیرتنش و تنش

STI، MP، GMP، M_pSTI و M_sSTI برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر برای هر دو تیمار آبیاری مناسب‌تر شناخته شدند. بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های M_{420} ، S149، K21، K12، E2428، E2417، A2 و AC-Atirling به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل‌تر و با پتانسیل عملکرد مطلوب برای هر دو شرایط تنش و غیرتنش تعیین شدند و از این ژنوتیپ‌ها می‌توان در برنامه‌های اصلاحی گلرنگ استفاده کرد.

نمودار درختی حاصل از تجزیه خوشه‌ای در شکل ۲ ارائه شده است که ژنوتیپ‌ها به چهار خوشه تقسیم شدند. نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای مشابه نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بودند و تأیید کننده آن نتایج هستند. در مجموع نتایج این مطالعه نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، تفاوت معنی‌دار از نظر عملکرد دانه وجود داشت که از این تنوع می‌توان در برنامه‌های انتخاب برای تولید ارقام اصلاح شده با عملکرد بالا استفاده کرد. در ضمن شاخص‌های

منابع مورد استفاده

1. Abd El-Lattife, E. A. 2013. Safflower yields and water use efficiency as effected by irrigation at different soil moisture depletion levels and plant population density under arid conditions. *Archives of Agronomy and Soil Science* 59: 1545-1557.
2. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements. In: FAO Irrigation and Drainage Paper. No. 56. FAO, Rome.
3. Bahrami, F., A. Arzani and V. Karimi. 2014. Evaluation of yield-based drought tolerance indices for screening safflower genotypes. *Agronomy, Soils & Environmental Quality* 106: 1219-1224.
4. Betran, F. J., D. Beck, M. Banziger and G. O. Edmeades. 2003. Genetic analysis of inbred and hybrid grain yield under stress and non-stress environments in tropical maize. *Crop Science* 43: 807-817.
5. Blum, A. 1996. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. *Plant Growth Regulation* 20: 135-148.
6. Ceccarelli, S. and S. Grando. 1991. Selection environment and environmental sensitivity in barley. *Euphytica* 57: 157-167.
7. Clarke, J. M., R. M. De-Pauw and T. M. Townley-Smith. 1992. Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. *Crop Science* 32: 728-732.
8. Ebrahimi, F., M. M. Majidi, A. Arzani and Gh. Mohammadi-negad. 2016. Oil and seed yield stability in a worldwide collection of safflower under arid environments of Iran. *Euphytica* 212: 131-144.
9. Farshadfar, E. and J. Sutka. 2002. Screening drought tolerance criteria in maize. *Acta Agronomica Hungarica* 50: 411-416.
10. Farshadfar, E. and J. Javadinia. 2011. Evaluation of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes for drought tolerance. *Seed and Plant Improvement Journal* 27: 517-537.
11. Farshadfar, E., M. Saeidi and S. J. Honarmand. 2012. Evaluation of drought tolerance screening techniques among some landraces of bread wheat genotypes. *European Journal of Experimental Biology* 2: 1585-1592.
12. Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops to Temperature and Water Stress. AVRDC, Shanhu, Taiwan 13-18 Aug, 1992.
13. Fischer, R. A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Part 1: grain yield response.

- Australian Journal of Agriculture Research* 29: 897-912.
14. Gholinezhad, E., R. Darvishzadeh and I. Bernousi. 2014. Evaluation of drought tolerance indices for selection of confectionery sunflower (*Helianthus annuus* L.) landraces under various environmental conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 42: 187-201.
 15. Janmohammadi, M., N. Mohammadi, F. Shekari, A. Abbasi and M. Esmailpour. 2017. The effects of silicon and titanium on safflower (*Carthamus tinctorius* L.) growth under moisture deficit condition. *Acta Agriculturae Slovenica* 109: 443-455.
 16. Khalili, M., A. Pour-Aboughadereh, M. R. Naghavi and E. Mohammad-Amini. 2014. Evaluation of drought tolerance in safflower genotypes based on drought tolerance indices. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 42: 214-218.
 17. Khalili, M., A. Pour-Aboughadereh and M. R. Naghavi. 2016. Assessment of drought tolerance in barley: integrated selection criterion and drought tolerance indices. *Environmental and Experimental Biology* 14: 33-41.
 18. Lan, J. 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crop. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica* 7:85-87.
 19. Majidi, M. M., V. Tavakoli, A. Mirlohi and M. R. Sabzalian. 2011. Wild safflower species (*Carthamus oxyacanthus* Bieb.): a possible source of drought tolerance for arid environments. *Australian Journal of Crop Science* 5: 1055-1063.
 20. Majidi, M. M. and S. Zadhoush. 2014. Molecular and morphological variation in a worldwide collection of safflower under arid environments of Iran. *Crop Science* 54: 2109-2119.
 21. Mitra, J. 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. *Current Science* 80: 758-763.
 22. Moosavi, S. S., B. Yazdi Samadi, M. R. Naghavi, A. A. Zali, H. Dashti and A. Pourshahbazi. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. *Desert* 12: 165-178.
 23. Movahhedy-Dehnavy, M., S. A. M. Modarres-Sanavy and A. Mokhtassi-Bidgoli. 2009. Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress. *Industrial Crops and Products* 30: 82-92.
 24. Nooripoor, J. and P. Ehsanzadeh. 2012. Interrelations of some antioxidants, physiological characteristics and grain yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) under different irrigation regimes. *Iranian Journal of Field Crop Science* 1: 81-91. (In Farsi).
 25. Patel, J. M., A. S. Patel, C. R. Patel, H. M. Mamrutha, Sh. Pradeep and K. P. Pachchigar. 2019. Evaluation of selection indices in screening durum wheat genotypes combining drought tolerance and high yield potential. *International Journal of Current Microbiology and Applied sciences* 8: 1165-1178.
 26. Pireivatlou, A. S., B. D. Masjedlou and R. T. Aliyev. 2010. Evaluation of yield potential and stress adaptive trait in wheat genotypes under post anthesis drought stress conditions. *African Journal of Agricultural Research* 5: 2829-2836.
 27. Rajaram S. and M. Van Ginkle. 2001. Mexico, 50 years of international wheat breeding. pp. 579-604. In: Bonjean, A. P. and W. J. Angus (Eds.), the World Wheat Book: A History of Wheat Breeding. Lavoisier Publishing, Paris, France.
 28. Richarde, R. A. 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought. *Plant Growth Regulation* 20: 157-166.
 29. Rosiele, A. A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspect of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science* 21: 943-946.
 30. Safavi, S. M., S. S. Pourdad and S. A. Safavi. 2013. Evaluation of drought tolerance in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under non stress and drought stress conditions. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research* 1: 1086-1093.
 31. Shahrokhnia, M. H. and A. R. Sepaskhah. 2017. Physiologic and agronomic traits in safflower under various irrigation strategies, planting methods and nitrogen fertilization. *Industrial Crops and Products* 95: 126-139.
 32. Taghipour, Z., R. Asghari Zakaria, N. Zare and P. Shaikhzadeh Mosadegh. 2013. The application of stress tolerance indices for evaluation of *Aegilops triuncialis* ecotypes to terminal drought tolerance. *Journal of Crop Production* 7: 79-93. (In Farsi)
 33. Yari, P., A. H. Keshtkar and H. Mazaheri Laghab. 2016. Evaluation of water stress in spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars using tolerance indices in Hamadan region. *Journal of Crop Breeding* 8: 88-96. (In Farsi).
 34. Zaheri, A. and S. Bahraminejad. 2012. Assessment of drought tolerance in oat (*Avena sativa*) genotypes. *Annals of Biological Research* 3: 2194-2201.
 35. Zareie, S., Gh. Mohammadinejad and S. Sardouie-Nassab. 2013. Screening of Iranian safflower genotypes under water deficit and normal conditions using tolerance indices. *Australian Journal of Crop Science* 7: 1032-1033.
 36. Zeinali, E. 1999. Safflower (Characteristic, production & utilization). Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Gorgan. (In Farsi).

Evaluation of Drought Tolerance in Some Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Genotypes

Kh. Alizadeh Yeloojeh¹ and Gh. Saeidi^{2*}

(Received: December 26-2018; Accepted: September 30-2019)

Abstract

In order to evaluate drought tolerance of some safflower genotypes, an experiment was conducted at the Research Farm of Isfahan University of Technology in 2016 and 2017. In this study, 18 safflower genotypes selected from different local populations along with 2 exotic cultivars and one local population (21 genotypes) were separately evaluated at two normal (non-stress) and water deficit (stress) irrigation regimes, using a randomized complete block design with two replications. Drought tolerance and susceptible indices were calculated based on the seed yield. The results showed that there was significant differences among genotypes for seed yield. The genotypes M420 (4703 Kg/ha) and C116 (2723 Kg/ha) had the highest and lowest seed yield, respectively in normal irrigation condition, however, genotypes of A2 (2906 Kg/ha) and Arak2811 (1373 Kg/ha) had the highest and lowest seed yield, respectively in water deficit condition. Based on the correlation coefficients between indices and seed yield under both irrigation regimes, the indices of MP, GMP, STI, M_pSTI and M_sSTI were recognized as the best ones for identification of drought tolerant genotypes in safflower. The graphic biplot and cluster analysis indicated that genotypes M420, S149, K21, K12, E2428, E2417, AC-Stirling and A2 were more tolerant genotypes to water stress.

Keywords: Safflower, Seed Yield, Tolerance Indices, Water Stress

1, 2. Ph.D. Student and Professor, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: gsaeidi@cc.iut.ac.ir