نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال هفتم / شماره سوم / پاییز ۱۳۹۶

# پتانسیل تولید و تحمل به خشکی تعدادی از ژنوتیپ‌های داخلی و خارجی گلرنگ در سه منطقه ایران

فاطمه ابراهیمی[۱]، محمد مهدی مجیدی[۲*]، احمد ارزانی[۲]، قاسم محمدی‌نژاد[۳] و رسول دهقان کوهستانی[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۶/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۸/۲۶)
DOI: 10.29252/jcpp.7.3.1

## چکیده

**اگرچه گلرنگ پراکنش خوبی در ایران دارد، لیکن مرکز تنوع آن در بسیاری از کشورهای آسیایی و اروپایی به‌خصوص مناطق خشک جهان نیز گزارش شده است. در این پژوهش به‌منظور ارزیابی واکنش ۱۵ ژنوتیپ داخلی و ۴۲ ژنوتیپ خارجی گلرنگ به تنش خشکی در سه منطقه نجف‌آباد (اصفهان)، جیرفت و جوپار (کرمان)، ژنوتیپ‌ها به‌صورت طرح لاتیس تحت شرایط رطوبتی معمول و تنش خشکی مورد بررسی قرار گرفتند. اعمال تنش خشکی در مرحله تکمه‌دهی و بعد از آن در ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی از خاک انجام شد. نتایج نشان داد تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار بیشتر صفات از جمله عملکرد دانه (۳۰/۲۰ درصد)، عملکرد روغن (۳۲/۲۸ درصد)، محتوای روغن دانه (۳/۵۴ درصد)، تعداد طبق در بوته (۱۶/۷۷ درصد)، تعداد دانه در طبق (۱۶/۰۴ درصد) و ارتفاع بوته (۴/۴۳ درصد) شد. تنش خشکی در مناطق نجف‌آباد و جوپار روی صفت تعداد دانه در طبق تأثیر معنی‌دار نداشت اما در منطقه جیرفت باعث کاهش معنی‌دار این صفت شد. به‌طوری‌که عملکرد دانه نیز در جیرفت کمتر از دو منطقه دیگر بود. براساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های مختلف حساسیت و تحمل به تنش خشکی، ژنوتیپ شماره ۲۹ (PI- 657800) از مصر در هر سه منطقه جزء متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی محسوب شد. همچنین متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی در منطقه نجف‌آباد، جیرفت و جوپار به‌ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۳۷ (PI- 657820) از اردن، ۳۱ (CART 64) از اسلواکی و ۴ (PI- 239707) از ترکیه بودند. اغلب ژنوتیپ‌های ایرانی دارای محتوای روغن دانه بالا (بیش از ۳۰ درصد) بودند. وجود ژنوتیپ‌های متحمل و با عملکرد بالا در بین ارقام خارجی در ژرم‌پلاسم مورد مطالعه می‌تواند منبع ژنی مفید را برای اصلاح ارقام داخلی با ویژگی‌های مطلوب از جمله محتوای روغن دانه بالا فراهم کند. همچنین امکان یافتن ژنوتیپ‌های پایدار در این کلکسیون جهانی نیز وجود دارد.**

**واژه‌های کلیدی: گلرنگ، خشکی، کلکسیون جهانی**

۱. دانشجوی دکتری اصلاح نباتات دانشگاه صنعتی اصفهان و مربی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد جیرفت
۲ و ۴. به‌ترتیب استادان و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۳. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
*. مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: majidi@cc.iut.ac.ir

## مقدمه

دانه‌های روغنی پس از غلات، دومین ذخیره غذایی جهان را تشکیل می‌دهد. بیش از ۹۰ درصد روغن مورد نیاز کشور از طریق واردات روغن یا واردات غیر مستقیم دانه‌های روغنی جهت استحصال روغن تأمین می‌گردد (۱۴). از بین دانه‌های روغنی سازگار با شرایط کشور، گلرنگ از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. خصوصیات مطلوب و خاص این گیاه نظیر قدرت سازگاری بالا، تحمل به سرما و مقاومت نسبی به خشکی به‌دلیل داشتن ریشه عمیق، همچنین مقاومت به شوری، کیفیت بالای روغن دانه و موارد مصرف متعدد از جمله استفاده‌های طبی، صنعتی و غذایی از گلبرگ‌ها آن را به‌عنوان گیاه روغنی با ارزشی مطرح نموده است (۲۳ و ۳۰). ایران یکی از مناطق غنی از لحاظ ذخایر ژنتیکی گلرنگ به‌شمار می‌رود (۲۴). گلرنگ به‌عنوان یک گیاه دانه روغنی با کیفیت روغن بالا می‌تواند نقش مهمی در گسترش سطح زیر کشت گیاهان روغنی در کشور داشته باشد.

خشکی به‌عنوان شایع‌ترین تنش غیر زنده، محدود کننده تولید گیاهان زراعی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان شناخته می‌شود. متوسط بارندگی سالانه در ایران ۲۴۰ میلی متر(حدوداً ۳۰٪ متوسط جهانی) است. تقریبا دو سوم زمین‌های زیر کشت ایران در حوزه مناطق نیمه‌خشک یا دیم قرار دارد (۱۴ و ۲۰). آزمایشات انجام شده نشان داده است که برای حصول عملکرد مناسب در گلرنگ ۴۰۰ میلی‌متر آب و برای حداکثر عملکرد ۶۰۰ میلی‌متر آب مورد نیاز است (۱۸). نتایج مطالعات حاکی از آن است که گلرنگ در مراحل مختلف رشد از جمله مرحله جوانه‌زنی، رویشی، گل‌دهی و پر شدن دانه به تنش کم‌آبی حساس است و تنش خشکی بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گلرنگ تأثیر گذاشته و عملکرد دانه و روغن را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد (۲۱). ابوالحسنی و سعیدی (۳) با انجام تحقیقی بر روی لاین‌های گلرنگ در دو محیط تنش و بدون تنش خشکی در منطقه اصفهان به اثر متقابل معنی‌داری بین ژنوتیپ و رژیم‌های رطوبتی دست یافتند و گزارش کردند تنش خشکی عملکرد ژنوتیپ‌ها را به‌طور معنی‌داری کاهش داد.

یکی از مسائل مهم در ارزیابی ژنوتیپ‌ها برای تحمل به خشکی، اندازه‌گیری کمی معیارهای تحمل به خشکی است. سیمان و همکاران (۳۶) با بررسی ژنوتیپ‌های گندم دوروم نشان دادند که در مناطق نیمه‌خشک که پراکنش بارندگی مناسب نیست، عملکرد بالا در شرایط تنش بهترین معیار مقاومت به خشکی محسوب نمی‌شود، بلکه پایداری عملکرد (مقایسه میزان عملکرد در شرایط عادی و تنش) به‌عنوان شاخص مناسب‌تری برای مطالعه واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش رطوبتی می‌باشد. روزیل و هامبلین (۳۳) شاخص تحمل (TOL = Tolerance Index) و شاخص متوسط بهره‌وری (MP = Mean Productivity)، فیشر و مورر (۱۷) شاخص حساسیت به تنش (SSI = Stress Susceptibility Index)، فرناندز (۱۶) شاخص تحمل تنش (STI = Stress Tolerance Index) و میانگین هندسی عملکرد (GMP = Geometric Mean Productivity)، گاووزی و همکاران (۱۹) شاخص عملکرد (YI = Yield Index)، بوسلاما و شاپاگ (۱۱) شاخص پایداری عملکرد (YSI = Yield Stability Index) و عبدالشاهی و همکاران (۱) نیز نمره تحمل به تنش (STS = Stress Tolerance Score) را معرفی نمودند. بهرامی و همکاران (۸) در مطالعه بر روی تحمل به تنش خشکی ۶۴ ژنوتیپ گلرنگ در منطقه اصفهان، تفاوت معنی‌داری را بین ژنوتیپ‌ها برای عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل به تنش گزارش نمودند و شاخص‌های GMP و STI را به‌عنوان شاخص‌های مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و پایدار در گلرنگ معرفی کردند.

مطالعه تحمل نسبی به تنش کمبود آب در گیاهان زراعی در راستای اصلاح برای تحمل به تنش خشکی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. دسترسی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی می‌تواند توسعه کشت این گیاه را در شرایط اقلیمی خشک فراهم سازد. همچنین مطالعات قبلی نشان داده است در ژرم پلاسم

داخلی کشور برای برخی صفات مانند پاکوتاهی، زودرسی و تحمل به خشکی بالا تنوع ژنتیکی کافی وجود ندارد. ضمن اینکه برخی از مراکز تنوع گلرنگ در دنیا دارای شرایط آب و هوایی خشک‌تر از ایران می‌باشند. بنابراین لازم است که کلکسیون‌های ژرم‌پلاسم سایر نقاط دنیا نیز مورد بررسی قرار گیرد. در این راستا این پژوهش با هدف ارزیابی اثر تنش خشکی بر عملکرد، اجزاء عملکرد و صفات مورفولوژیک کلکسیونی از نمونه‌های گلرنگ در سه منطقه در ایران انجام شد.

## مواد و روش‌ها

در این مطالعه ۵۷ ژنوتیپ گلرنگ شامل ۴۲ ژنوتیپ خارجی و ۱۵ ژنوتیپ داخلی مورد ارزیابی قرار گرفتند (جدول ۱). ژنوتیپ‌های خارجی از بانک‌های ژن گیاهی آلمان (IPK) و آمریکا (USDA) و ژنوتیپ‌های داخلی نیز با جمع‌آوری از مناطق مختلف کشور و یا لاین‌های اصلاحی موجود داخلی تهیه گردیدند. ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به‌صورت طرح لاتیس ساده با دو تکرار در دو شرایط رطوبتی عدم تنش و تنش خشکی در سه منطقه شامل مزرعه تحقیقاتی لورک در نجف‌آباد (اصفهان) در اواسط اسفند ماه سال ۱۳۹۰ (طول جغرافیایی ۲۲ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و دارای اقلیم نیمه‌خشک با تابستان‌های گرم و خشک)، مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی جیرفت در اواسط آبان ماه سال ۱۳۹۱ (طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۴۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی و دارای اقلیم گرم و مرطوب) و مزرعه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی جوپار در اواسط فروردین ماه سال ۱۳۹۲ (طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۷ دقیقه شرقی و ۳۰ درجه و ۳ دقیقه شمالی و دارای اقلیم خشک و معتدل) به‌صورت مسطح کشت گردیدند. هر پلات شامل سه ردیف به طول ۲/۶ متر با فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر بود. کنترل علف‌های هرز در طول فصل رشد با دست انجام گرفت. کوددهی قبل از کشت و در زمان گل‌دهی براساس آزمایش خاک در هر منطقه انجام شد.

اعمال تنش در زمان ۱۰ درصد تکمه‌دهی انجام گرفت و تا این زمان همه تیمارها به‌طور یکسان آبیاری شدند. در تیمار بدون تنش و تنش رطوبتی زمانی که به‌ترتیب ۵۰ و ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک (از طریق اندازه‌گیری رطوبت خاک) انجام شد، آبیاری صورت گرفت. برای پیش‌بینی مقدار تخلیه رطوبتی خاک، تبخیر- تعرق روزانه گیاه ($ET_i$) با استفاده از داده‌های هواشناسی و رابطه پنمن- مانتیث (Penman- Monteith) (۴) به شرح زیر محاسبه شد:

$$ET_i = ET_0 \times K_c \qquad (۱)$$

در معادله فوق $ET_0$ تبخیر- تعرق پتانسیل یا مرجع (براساس داده‌های هواشناسی به‌صورت روزانه)، $K_c$ ضریب گیاهی گلرنگ (۱/۲) و $ET_i$ تبخیر و تعرق روزانه هستند.

زمانی که مقدار تبخیر- تعرق تجمعی در طی دوره رشد ($ET_C = \sum ET_i$) پس از هر بار آبیاری به عمق مجاز تخلیه رطوبتی نزدیک می شد رطوبت خاک به‌طور روزانه اندازه‌گیری و پس از رسیدن به حد مورد نظر، آبیاری انجام گرفت. عمق مجاز تخلیه رطوبتی با استفاده از فرمول $D = (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \times MAD \times D$ محاسبه گردید. در معادله فوق $\theta_{FC}$ درصد رطوبت حجمی خاک در حد طرفیت زراعی، $\theta_{PWP}$ درصد رطوبت حجمی خاک در حد پژمردگی دائم، MAD ضریب مدیریت مزرعه (۵۰ و ۸۵ درصد به‌ترتیب در تیمار بدون تنش و تنش رطوبتی).

برای کنترل دقیق آب خاک از روش نمونه‌گیری و تعیین درصد رطوبت وزنی خاک استفاده گردید. درصد رطوبت وزنی خاک در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری، ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری و ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک با روش نمونه‌گیری از خاک تعیین شد.

در این مطالعه صفات زراعی شامل عملکرد دانه در هکتار ($Kg\ ha^{-1}$)، ارتفاع بوته (cm)، تعداد طبق در بوته، تعداد انشعاب اصلی در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، محتوای روغن دانه و عملکرد روغن ($Kg\ ha^{-1}$) اندازه‌گیری شد. در هر کرت ۱۰ بوته به‌طور تصادفی و با رعایت اثر حاشیه انتخاب شد و

**جدول ۱. ژنوتیپ‌های گلرنگ مورد مطالعه و منشاء آنها دربررسی پتانسیل تولید و تحمل به خشکی**

| شماره | کد نمونه | منشاء | شماره | کد نمونه | منشاء |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | PI- 198844 | France | ۳۴ | CART 126 | Belgian |
| ۲ | PI- 209286 | Romania | ۳۵ | CART 55 | Poland |
| ۳ | PI- 209299 | Kenya | ۳۶ | CART 49 | Spain |
| ۴ | PI- 239707 | Turkey | ۳۷ | PI- 657820 | Jordan |
| ۵ | PI- 253520 | Austria | ۳۸ | CART 132 | Germany |
| ۶ | PI- 253521 | Italy | ۳۹ | PI- 209287 | Romania |
| ۷ | PI- 253541 | Hungary | ۴۰ | PI- 532619 | Cyprus |
| ۸ | PI- 253548 | Denmark | ۴۱ | CART 79 | Japan |
| ۹ | PI- 253560 | Morocco | ۴۲ | اراک ۲۸۱۱ | اراک |
| ۱۰ | PI- 253561 | Switzerland | ۴۳ | AC-Sunset | Canada |
| ۱۱ | PI- 253762 | Iraq | ۴۴ | کوسه | اصفهان |
| ۱۲ | PI- 254976 | Greece | ۴۵ | کردستان | کردستان |
| ۱۳ | PI- 262424 | Australia | ۴۶ | کاشان | کاشان |
| ۱۴ | PI- 286199 | Kuwait | ۴۷ | شیراز | شیراز |
| ۱۵ | PI- 286385 | Eritrea | ۴۸ | کرمان | کرمان |
| ۱۶ | PI- 367833 | Argentina | ۴۹ | M113 | مرکزی |
| ۱۷ | PI- 305527 | Sudan | ۵۰ | M115 | مرکزی |
| ۱۸ | PI- 369843 | Uzbekistan | ۵۱ | S149 | اصفهان |
| ۱۹ | PI- 369853 | Uzbekistan | ۵۲ | S144 | اصفهان |
| ۲۰ | PI- 369845 | Tajikestan | ۵۳ | C4110 | اصفهان |
| ۲۱ | PI- 369848 | Ukraine | ۵۴ | داراب۲ | داراب |
| ۲۲ | PI- 386173 | Syria | ۵۵ | خراسان۳۳۰ | خراسان |
| ۲۳ | PI- 387821 | Thailand | ۵۶ | محلی مرند | مرند |
| ۲۴ | PI- 470942 | Bangladesh | ۵۷ | همدان۲۱ | همدان |
| ۲۵ | PI- 426188 | Afghanistan | | | |
| ۲۶ | PI- 572426 | United States | | | |
| ۲۷ | PI- 657787 | India | | | |
| ۲۸ | PI- 657817 | China | | | |
| ۲۹ | PI- 657800 | Egypt | | | |
| ۳۰ | PI- 657823 | Palestinian Territory | | | |
| ۳۱ | CART 64 | Slovakia | | | |
| ۳۲ | CART 87 | Romania | | | |
| ۳۳ | CART 131 | Paraguay | | | |

صفات ارتفاع و اجزاء عملکرد در آنها اندازه‌گیری شد. محتوای روغن دانه با استفاده از دستگاه NIR اندازه‌گیری شد. عملکرد روغن از حاصل ضرب محتوای روغن دانه در عملکرد دانه به‌دست آمد. صفات فنولوژیک شامل روز تا تکمه‌دهی، روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی و روز تا رسیدگی در طول دوره رشد به صورت مشاهده‌ای برای هر واحد آزمایشی یادداشت‌برداری شدند.

جهت ارزیابی ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به خشکی، از شاخص تحمل به تنش (۱۶) $STI = (YP \times YS)/(\overline{YP})^2$، شاخص تحمل (۳۳) $TOL = YP - YS$، میانگین هندسی عملکرد (۱۵) $GMP = \sqrt{YP \times YS}$، متوسط بهره‌وری (۳۳) $MP = (YP + YS)/2$، شاخص حساسیت تنش (۱۷) $SSI = \frac{1-YS/YP}{1-\overline{YS}/\overline{YP}}$، شاخص عملکرد (۱۹) $YI = \frac{YS}{\overline{YS}}$، شاخص پایداری عملکرد (۱۱) $YSI = \frac{YS}{YP}$، نمره تحمل به تنش (۱) $STS = MP + STI + GMP + YI + YSI - SSI - TOL - \beta$ استفاده شد. در معادلات فوق YP و YS به‌ترتیب عملکرد دانه در شرایط عدم تنش و تنش، $\overline{YP}$ و $\overline{YS}$ به‌ترتیب میانگین عملکرد در شرایط عدم تنش و تنش خشکی هستند. همچنین در معادله نمره تحمل به تنش، β ضریب رگرسیون خطی عملکرد ژنوتیپ‌ها روی شاخص محیطی می‌باشد. به شاخص‌هایی که با مقاومت به خشکی همبستگی مثبت دارند علامت مثبت و شاخص‌هایی که با مقاومت به خشکی همبستگی منفی دارند علامت منفی داده شد و مقادیر استاندارد شده این شاخص‌ها در معادله فوق قرار داده شد.

به‌منظور تجزیه و تحلیل‌های آماری ابتدا مقادیر صفات اندازه گیری شده برای هر محیط رطوبتی به‌صورت جداگانه در قالب طرح لاتیس ساده مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند. مزیت نسبی طرح لاتیس ساده نسبت به طرح بلوک کامل تصادفی برای همه صفات نشان داد که تجزیه واریانس به‌صورت طرح بلوک کامل تصادفی نیز امکان‌پذیر می‌باشد (نتایج نشان داده نشده است). بنابراین جهت بررسی اثر تنش، تجزیه واریانس مرکب در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با نرم‌افزار SAS انجام شد. همچنین تجزیه واریانس شاخص‌های تحمل به خشکی نیز جهت ارزیابی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی انجام شد. به‌منظور ارزیابی بهتر روابط بین شاخص‌ها با عملکرد از تجزیه مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های مختلف و روش ترسیم بای‌پلات به کمک نرم‌افزارSPSS وEXCEl استفاده گردید.

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب صفات مختلف در محیط‌های متفاوت (شش محیط ترکیبی از سه منطقه و دو شرایط رطوبتی) نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از لحاظ کلیه صفات اختلاف بسیار معنی‌داری با یکدیگر دارند (جدول ۲). این امر بیانگر وجود تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای از لحاظ صفات مورد بررسی و امکان گزینش برای این صفات در میان ژنوتیپ‌های مورد مطالعه و استفاده از آنها در برنامه‌های اصلاحی می‌باشد. نتایج نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در همه صفات به جزء تعداد انشعاب اصلی در بوته بسیار معنی‌دار بود که نشان‌دهنده واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها از یک محیط به محیط دیگر می‌باشد (جدول ۲). همچنین اثر محیط در کلیه صفات به جزء وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۲).

تنش خشکی بیشترین تأثیر را بر عملکرد روغن و دانه داشت. به‌طوری‌که عملکرد روغن و دانه در اثر تنش خشکی به‌ترتیب ۳۲/۲۹ و ۳۰/۲۰ درصد کاهش پیدا کرد. میانگین عملکرد دانه و روغن ژنوتیپ‌ها در شرایط عدم تنش به‌ترتیب ۲۸۰۴ و ۸۲۱ کیلوگرم در هکتار و در شرایط تنش خشکی به‌ترتیب ۱۹۵۷ و ۵۵۵ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۳). نتایج در هر منطقه به‌طور مجزا نیز کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و روغن در شرایط تنش خشکی را نشان داد (جدول ۳). بیشترین عملکرد را ژنوتیپ شماره ۱۱ (PI- 253762) از عراق با میانگین عملکرد دانه و روغن به‌ترتیب ۴۵۴۵ و ۱۲۹۶ کیلوگرم در هکتار در شرایط عدم تنش داشت (نتایج نشان داده نشده است). گزارشات متعدد مبنی بر کاهش عملکرد دانه و روغن در

**جدول ۲. تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) برخی صفات مورفولوژیک و زراعی ژنوتیپ‌های گلرنگ در سه منطقه مختلف تحت دو شرایط رطوبتی عدم تنش و تنش خشکی**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مجموع مربعات | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | عملکرد دانه | عملکرد روغن | محتوای روغن دانه | تعداد قوزه در بوته | تعداد دانه در قوزه | وزن هزار دانه | تعداد انشعاب اصلی در بوته | ارتفاع بوته | روز تا تکمه‌دهی | روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی | روز تا رسیدگی |
| محیط | ۵ | ۲۲۲۲۰۹۹۵۶/۰۰$^{**}$ | ۱۷۷۴۱۱۱۳/۸۴$^{**}$ | ۱۶۴/۸۵$^{**}$ | ۱۱۶۴/۳۷$^{**}$ | ۷۰۱/۳۹$^{*}$ | ۱۱۶/۰۱$^{ns}$ | ۴۶۴/۵۶$^{**}$ | ۲۰۶۵۷/۲۶$^{**}$ | ۷۷۰۹۶/۹۱$^{**}$ | ۹۴۹۰۴/۰۲$^{**}$ | ۱۰۲۸۸۹/۱۴$^{**}$ |
| تکرار (محیط) | ۶ | ۶۷۸۱۵۹۷/۰۰ | ۵۱۷۵۱۵/۵۸ | ۰/۲۹ | ۵۵/۲۶ | ۱۱۹/۴۰ | ۴۷/۴۳ | ۴۸/۲۵ | ۳۳۰/۷۹ | ۱۴/۳۸ | ۱۲/۵۳ | ۳۴/۶۱ |
| ژنوتیپ | ۵۶ | ۵۹۵۷۴۴۹/۰۰$^{**}$ | ۵۳۲۶۷۱/۷۵$^{**}$ | ۱۹/۹۹$^{**}$ | ۵۹/۲۵$^{**}$ | ۳۶۳/۵۰$^{**}$ | ۴۰۱/۵۳$^{**}$ | ۵/۶۹$^{**}$ | ۱۲۹۵/۵۴$^{**}$ | ۱۰۰/۶۷$^{**}$ | ۶۰/۶۷$^{**}$ | ۱۱۸/۶۸$^{**}$ |
| ژنوتیپ × محیط | ۲۸۰ | ۲۴۱۵۹۳۴/۰۰$^{**}$ | ۲۱۱۹۰۸/۲۲$^{**}$ | ۳/۵۳$^{**}$ | ۲۸/۵۷$^{**}$ | ۸۴/۶۱$^{**}$ | ۲۹/۶۸$^{**}$ | ۲/۵۵$^{ns}$ | ۱۲۴/۳۷$^{**}$ | ۴۳/۵۲$^{**}$ | ۱۲/۹۷$^{**}$ | ۱۳/۳۵$^{**}$ |
| خطا | ۳۳۶ | ۷۵۶۴۳۲/۰۰ | ۶۳۹۱۹/۵۰ | ۱/۳۱ | ۱۴/۷۰ | ۲۱/۶۲ | ۹/۲۸ | ۲/۴۲ | ۳۲/۵۷ | ۱۰/۵۰ | ۳/۴۲ | ۱۰/۰۶ |

ns ، * و **: به‌ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

**جدول ۳. مقایسه میانگین صفات مختلف ژنوتیپ‌های گلرنگ در دو شرایط رطوبتی و سه منطقه به‌طور مجزا به تفکیک شرایط رطوبتی عدم تنش و تنش خشکی**

| صفت | | منطقه | | | میانگین | میانگین درصد کاهش در اثر تنش خشکی |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | اصفهان | جیرفت | جوپار | | |
| عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) | عدم تنش | ۳۹۵۷/۳۳ | ۲۰۳۱/۲۶ | ۲۴۲۳/۶۴ | ۲۸۰۴/۰۸ | ۳۰/۲۰ |
| | تنش | ۲۸۱۱/۰۶ | ۱۳۱۷/۹۷ | ۱۷۴۲/۵۵ | ۱۹۵۷/۱۸ | |
| | LSD | ۱۱۳۳/۶۸ | ۶۳۷/۰۰ | ۶۶۷/۳۱ | ۳۲۴/۸۶ | |
| عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار) | عدم تنش | ۱۱۲۶/۰۰ | ۵۸۶/۶۵ | ۷۵۰/۵۶ | ۸۲۱/۰۷ | ۳۲/۲۸ |
| | تنش | ۷۸۲/۹۴ | ۳۷۱/۰۲ | ۵۱۳/۹۰ | ۵۵۵/۹۵ | |
| | LSD | ۳۳۴/۸۲ | ۱۹۱/۴۰ | ۷۲/۰۸ | ۸۹/۷۴ | |
| محتوای روغن دانه (درصد) | عدم تنش | ۲۸/۳۴ | ۲۸/۹۱ | ۳۱/۰۱ | ۲۹/۴۲ | ۳/۵۴ |
| | تنش | ۲۷/۷۱ | ۲۸/۰۱ | ۲۹/۴۱ | ۲۸/۳۸ | |
| | LSD | ۰/۲۲ | ۰/۴۸ | ۰/۰۸ | ۰/۱۰ | |
| تعداد طبق در بوته | عدم تنش | ۲۲/۷۰ | ۱۶/۲۹ | ۱۶/۰۸ | ۱۸/۳۶ | ۱۶/۷۷ |
| | تنش | ۱۷/۲۳ | ۱۳/۱ | ۱۵/۵۱ | ۱۵/۲۸ | |
| | LSD | ۵/۱۴ | ۲/۲۴ | ۰/۵۳ | ۱/۳۹ | |
| تعداد دانه در طبق | عدم تنش | ۲۲/۳۷ | ۲۴/۱۸ | ۲۰/۵۴ | ۲۲/۳۶ | ۱۶/۰۴ |
| | تنش | ۲۲/۱۹ | ۱۸/۹۶ | ۱۷/۴۰ | ۱۹/۵۱ | |
| | LSD | ۵/۹۳ | ۴/۸۰ | ۷/۶۱ | ۲/۰۴ | |
| وزن هزار دانه (گرم) | عدم تنش | ۳۶/۳۹ | ۳۷/۱۷ | ۳۸/۲۶ | ۳۷/۲۷ | ۳/۳۰ |
| | تنش | ۳۵/۳۹ | ۳۶/۸۲ | ۳۵/۹۲ | ۳۶/۰۴ | |
| | LSD | ۱/۷۹ | ۴/۵۴ | ۴/۷۲ | ۱/۲۸ | |
| تعداد انشعاب اصلی در بوته | عدم تنش | ۹/۲۹ | ۴/۷۲ | ۷/۰۳ | ۶/۷۸ | ۰/۵۸ |
| | تنش | ۸/۷۷ | ۴/۴۲ | ۶/۳۳ | ۶/۷۴ | |
| | LSD | ۰/۵۲ | ۵/۰۱ | ۴/۶۴ | ۱/۲۹ | |
| ارتفاع بوته (سانتی‌متر) | عدم تنش | ۱۰۱/۸۴ | ۹۵/۷۷ | ۷۲/۲۴ | ۸۹/۹۵ | ۴/۴۳ |
| | تنش | ۱۰۰/۲۱ | ۸۵/۳۶ | ۷۲/۲۰ | ۸۵/۹۴ | |
| | LSD | ۰/۴۵ | ۷/۱۳ | ۲/۹۸ | ۳/۴۰ | |
| روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی | عدم تنش | ۱۰۱/۲۲ | ۱۳۶/۳۳ | ۷۱/۵۱ | ۱۰۳/۰۳ | ۱/۱۴ |
| | تنش | ۱۰۰/۸۸ | ۱۳۴/۳۶ | ۷۰/۲۸ | ۱۰۱/۸۵ | |
| | LSD | ۲/۸۵ | ۰/۷۷ | ۱/۸۶ | ۰/۶۶ | |
| روز تا رسیدگی | عدم تنش | ۱۳۱/۹۳ | ۱۷۷/۸۵ | ۱۱۲/۶۴ | ۱۴۰/۸۱ | ۳/۲۰ |
| | تنش | ۱۲۷/۵۲ | ۱۷۳/۲۸ | ۱۰۸/۱۲۲ | ۱۳۶/۳۰ | |
| | LSD | ۴/۰۱ | ۲/۴۸ | ۲/۰۸ | ۱/۱۰ | |

گلرنگ ناشی از تنش خشکی وجود دارد (۲۱، ۲۵، ۳۱ و ۳۹). تنش خشکی عملکرد گلرنگ و دیگر محصولات زراعی را از طریق کاهش جذب تشعشعات فعال فتوسنتزی توسط کانوپی، کاهش کارایی مصرف تشعشع و کاهش شاخص برداشت تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۲). نتایج این مطالعه نشان داد در بین اجزای عملکرد، تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفتند. اما تنش خشکی تأثیری بر وزن هزار دانه نداشت. بنابراین کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش ناشی از کاهش تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق می‌باشد. عظیم‌زاده (۶) و ابل (۲) نیز با مطالعه تنش خشکی روی گلرنگ گزارش کردند که تنش خشکی بر روی صفات عملکرد دانه، تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق اثر معنی‌داری داشت اما صفت وزن هزار دانه تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفت. آنها تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق را مهم‌ترین اجزا عملکرد در گلرنگ دانسته و بیان کردند برای حصول حداکثر عملکرد کافی است که این دو جزء تغییر یابند.

تنش خشکی باعث کاهش ۳/۵۴ درصد محتوای روغن دانه شد. میانگین محتوای روغن دانه در شرایط عدم تنش و تنش خشکی به‌ترتیب ۲۹/۴۲ و ۲۸/۳۸ درصد بود (جدول ۳). گزارش شده است روغن یک صفت کمی و توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود. بنابراین کاهش محتوای روغن دانه در اثر تنش خشکی جزئی‌تر است (۲۲). بررسی نتایج در سه منطقه به طور مجزا نیز حاکی از کاهش معنی‌دار محتوای روغن دانه بر اثر تنش خشکی بود. گزارشات متعدد مبنی بر کاهش محتوای روغن دانه در گلرنگ ناشی از تنش خشکی وجود دارد (۵، ۲۱ و ۲۵). بیشترین محتوای روغن دانه را ژنوتیپ شماره ۵۱ (S149) از اصفهان با میانگین ۳۲/۵۳ درصد در شرایط عدم تنش داشت (نتایج نشان داده نشده است). به‌طورکلی اغلب ژنوتیپ‌های ایرانی دارای محتوای روغن دانه بالا (>۳۰٪) بودند.

نتایج این مطالعه نشان داد تعداد طبق در بوته کاهش بسیار معنی‌داری را در اثر تنش کم‌آبی در بین صفات اجزای عملکرد نشان داد (۱۶/۷۷ درصد). میانگین تعداد طبق در بوته برای کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط عدم تنش و تنش خشکی به‌ترتیب ۱۸/۳۶ و ۱۵/۲۸ طبق در بوته بود (جدول ۳). نتایج در هر منطقه به‌طور مجزا نیز بیانگر کاهش معنی‌دار تعداد طبق در بوته در اثر تنش کم‌آبی بود (جدول ۳). با توجه به اینکه در این مطالعه تنش خشکی در مرحله تکمه‌دهی و بعد از آن اعمال گردیده است، بنابراین اغلب کاهش تعداد شاخه‌های فرعی و در نتیجه عدم تشکیل طبق در این شاخه‌ها را به‌دنبال خواهد داشت. همچنین تعداد زیادی از طبق‌های شاخه فرعی در اثر تنش خشکی، قبل از گل‌دهی از دست می‌روند (۱۳). بهدانی و جامی الاحمدی (۱۰) در ارزیابی رشد و عملکرد سه رقم گلرنگ بهاره گزارش نمودند، هر عاملی مانند آبیاری که فرصت رشد بیشتری در اختیار گیاه قرار دهد، موجب شکل گیری مکان‌های بالقوه بیشتری جهت تولید طبق در روی گیاه از طریق افزایش ارتفاع، انشعابات جانبی دوره رشد خواهد شد. به‌نظر می‌رسد به‌نژادی ژنوتیپ‌ها با هدف تولید تعداد بیشتر طبق یا انجام آن دسته از عملیات به‌زراعی که سبب تولید طبق بیشتری شوند، می‌تواند گامی مؤثر در افزایش عملکرد گیاه گلرنگ بالاخص در شرایط تنش خشکی باشد.

نتایج این مطالعه نشان داد به‌طورکلی تنش خشکی موجب ۱۶/۰۴ درصد کاهش معنی‌دار تعداد دانه در طبق شد. میانگین تعداد دانه در طبق برای کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط عدم تنش و تنش خشکی به‌ترتیب ۲۳/۳۱ و در شرایط تنش خشکی ۱۹/۵۷ دانه در طبق بود (جدول ۳). شایان ذکر است در مناطق نجف‌آباد و جوپار تنش خشکی روی صفت تعداد دانه در طبق تأثیر معنی‌دار نداشت. اما در منطقه جیرفت تنش خشکی کاهش معنی‌دار این صفت را موجب شد (جدول ۳). از آنجایی‌که منطقه جیرفت یکی از گرم‌ترین شهرهای جنوب استان کرمان است، تنش گرما در اوایل اردیبهشت ماه با کاهش دوام و قدرت جوانه‌زنی دانه گرده در آخر دوره گل‌دهی و در نهایت اختلال در فرآیند گرده‌افشانی باعث کاهش تعداد دانه در طبق می‌شود (۹). همچنین تنش

خشکی در مرحله گل‌دهی می‌تواند باعث کاهش گلچه‌ها، اختلال در تلقیح و در نهایت عدم پر شدن دانه در گل‌های تلقیح شده به‌دلیل کاهش مقدار اسیمیلات تولید شده در گیاه شود (۳۵ و ۳۷). امیدی (۳۱) اثر تنش خشکی در مراحل رشدی مختلف بر عملکرد دانه و برخی ویژگی‌های زراعی و فیزیولوژیک سه رقم گلرنگ بهاره را مورد بررسی قرار داد و گزارش نمود با قطع آبیاری در مراحل رشد گلرنگ، تعداد دانه در طبق کاهش نشان داد.

نتایج این بررسی نشان داد که وزن هزار دانه تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفت. با این وجود تنش کم‌آبی وزن هزار دانه را ۳/۳ درصد کاهش داد (جدول ۳). بررسی نتایج در هر منطقه به‌طور مجزا نیز حاکی از عدم کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه در اثر تنش خشکی بود (جدول ۳). سیبی و همکاران (۳۵) و فراست (۱۵) گزارش نمودند وزن هزار دانه در گلرنگ تحت تأثیر تنش خشکی نبود. به‌نظر می‌رسد چون گیاه از ابتدای رشد زایشی با تنش کم‌آبی مواجه شده است، لذا مکانیسم خود تنظیمی گیاه بر پایه تعداد محدودی دانه در طبق بنا شده است، بنابراین گیاه در ادامه رشد توانایی پر کردن این تعداد دانه را دارا می‌باشد و خاصیت جبرانی بین اجزای عملکرد مانع از کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه می‌گردد (۳۵). نتایج نشان داد که وزن هزار دانه تحت تأثیر مکان‌های مختلف با شرایط جغرافیایی متفاوت قرار نگرفت. گزارش شده است که وزن هزار دانه کمتر تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد و کنترل آن بیشتر ژنتیکی است. در صورتی‌که سایر اجزای عملکرد بیشتر از عوامل محیطی تأثیر می‌پذیرند (۷، ۱۵ و ۳۱).

به‌طور متوسط تعداد روز تا رسیدگی در شرایط عدم تنش و تنش به‌ترتیب ۱۴۱ و ۱۳۶ روز بود که تنش ۳/۲۰ درصد کاهش در تعداد روز تا پایان رسیدگی را باعث شد (جدول ۳). روز تا رسیدگی از جمله صفاتی بود که در هر منطقه به‌طور مجزا نیز متأثر از تنش خشکی شد و کاهش معنی‌داری را نشان داد (جدول ۳). ژنوتیپ‌های شماره ۱۹ (PI- 369853) از ازبکستان و ۳۵ (CART 55) از لهستان با ۱۴۴ روز در شرایط نرمال دیررس‌ترین و ژنوتیپ‌های شماره ۲ (PI- 209286) از رومانی و ۱۰ (PI- 253561) از سوئیس با ۱۳۱ روز در شرایط تنش زودرس‌ترین ژنوتیپ‌ها محسوب شدند (نتایج نشان داده نشده است). زودرسی یکی از مکانیسم‌های فرار از تنش خشکی در گیاهان گزارش شده است. طول دوره رسیدگی با توجه به طول فصل رشد در هر منطقه مهم می‌باشد. به‌طوری‌که استفاده از ژنوتیپ‌های زودرس به‌ویژه در مناطقی با طول فصل رشد کوتاه‌تر و در کاشت تأخیری و یا کاشت دوم در تابستان بسیار مهم می‌باشد (۲۷). البته استفاده از ژنوتیپ‌های زودرس در مناطق خشک بایستی با احتیاط صورت گیرد، زیرا ژنوتیپ زودرس ممکن است تیپ حساس به خشکی باشد و در مواجه با خشکی افت شدید عملکرد را نشان دهد. همچنین ژنوتیپ‌های دیررس که اغلب عملکرد بهتری را نشان می‌دهند در مناطق با طول فصل رشد طولانی‌تر و بارندگی مناسب مطلوب می‌باشند (۲۵). کاهش صفت روز تا ۵۰٪ گل‌دهی بر اثر تنش ۱/۱۴ درصد بود. البته مقایسه میانگین این صفت در دو شرایط رطوبتی در منطقه نجف‌آباد نشان داد که صفت روز تا ۵۰٪ گل‌دهی در این منطقه کاهش معنی‌داری نداشت (جدول ۳). اثر تنش خشکی بر کاهش طول دوره گل‌دهی و رسیدگی در گلرنگ در مطالعات متعدد گزارش شده است (۳۲، ۳۴، ۳۵ و ۳۸). شایان ذکر است صفت روز تا گل‌دهی در مناطق خشک صفت بسیار مهمی است زیرا گل‌دهی در شرایط تنش باعث کاهش تعداد گل‌ها و درصد گل‌های تلقیح شده می‌شود. زودگل‌دهی نیز یکی دیگر از مکانیسم‌های فرار از تنش خشکی در گلرنگ و سایر گیاهان است و محققان متعددی به گل‌دهی زود هنگام برای مقاومت به تنش خشکی توجه ویژه نشان داده اند. (۲۹ و ۳۷). بنابراین استفاده از ژنوتیپ‌های با گل‌دهی زود هنگام البته با داشتن طول دوره رویشی نسبتاً مناسب در مناطق خشک مهم می‌باشد.

**شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش کم‌آبی**

نتایج همبستگی فنوتیپی بین شاخص‌های اندازه‌گیری شده با

**جدول ۴. ضریب همبستگی بین شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی و عملکرد ژنوتیپ‌های گلرنگ در شرایط رطوبتی عدم تنش و تنش خشکی در سه منطقه مختلف**

| شاخص | اصفهان | | جیرفت | | جوپار | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | عدم تنش | تنش | عدم تنش | تنش | عدم تنش | تنش |
| STI | ۰/۷۷ | ۰/۸۷ | ۰/۸۱ | ۰/۶۷ | ۰/۷۲ | ۰/۷۶ |
| MP | ۰/۸۵ | ۰/۸۱ | ۰/۸۹ | ۰/۶۱ | ۰/۸۲ | ۰/۷۰ |
| GMP | ۰/۷۸ | ۰/۸۸ | ۰/۸۱ | ۰/۷۱ | ۰/۷۴ | ۰/۷۸ |
| YSI | -۰/۳۵ | ۰/۶۵ | -۰/۵۵ | ۰/۵۷ | ۰/۶۴ | ۰/۶۴ |
| YI | ۰/۳۹ | ۱ | ۰/۱۹ | ۱ | ۰/۱۸ | ۱ |
| SSI | ۰/۳۵ | -۰/۶۵ | ۰/۵۵ | -۰/۵۷ | ۰/۵۴ | -۰/۶۴ |
| TOL | ۰/۶۱ | -۰/۴۸ | ۰/۸۴ | -۰/۳۵ | ۰/۷۳ | -۰/۵۲ |
| STS | ۰/۳۵ | ۰/۹۹ | ۰/۱۰ | ۰/۹۹ | ۰/۱۳ | ۰/۹۹ |

STI = شاخص تحمل به تنش، MP = شاخص متوسط تولید، GMP = میانگین هندسی عملکرد، YSI = شاخص پایداری عملکرد، YI = شاخص عملکرد، SSI = شاخص حساسیت به تنش، Tol = شاخص تحمل و STS = نمره تحمل به تنش

عملکرد در شرایط تنش و عدم تنش در هر منطقه جداگانه نشان داد که شاخص‌های STI، MP، GMP، YI و STS با عملکرد در کلیه مناطق در شرایط عدم تنش و تنش همبستگی مثبت و شاخص‌های TOL و SSI با عملکرد در شرایط تنش در کلیه مناطق همبستگی منفی نشان دادند (جدول ۴). یعنی مقادیر بالای TOL و SSI بیانگر عملکرد پایین در شرایط تنش است. همچنین نتایج نشان داد که شاخص‌های STI، MP و GMP همبستگی بالایی را با عملکرد در هر دو شرایط تنش و عدم تنش در سه منطقه نشان دادند (جدول ۴). با توجه به اینکه شاخص STI شاخص مناسب و پایداری برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر می‌باشد. مقایسه میانگین و انتخاب ژنوتیپ برتر در هر منطقه براساس شاخص STI صورت گرفت. زیرا این ژنوتیپ‌ها با داشتن عملکرد بالا در هر دو شرایط رطوبتی از تحمل خوبی نسبت به شرایط رطوبتی تنش آبی برخوردار می‌باشند. ابوالحسنی و سعیدی (۳) نیز در ارزیابی تحمل به خشکی لاین‌های گلرنگ شاخص STI را مناسب‌ترین شاخص معرفی کردند. نتایج این مطالعه بر اساس شاخص STI نشان داد که در منطقه نجف‌آباد ژنوتیپ‌های شماره ۳۷ (PI- 657820) از اردن، ۱۷ (PI- 305527) از سودان، ۲۹ (PI- 657800 ) از مصر، ۵۱ (S149) از اصفهان و ۴۰ (PI- 532619) از قبرس متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش رطوبتی بودند و ژنوتیپ‌های شماره ۳۳ (CART 131) از پاراگوئه، ۲۴ (PI- 470942) از بنگلادش جزء حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش رطوبتی در نجف‌آباد بودند (جدول ۵). در منطقه جیرفت ژنوتیپ‌های شماره ۳۱ (CART 64) از اسلواکی و ۱۱ (PI- 253762) از عراق متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های شماره ۲۴ (PI-470942) از بنگلادش، ۵۷ (همدان ۲۱) از همدان جزء حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی محسوب شدند. همچنین در منطقه جوپار ژنوتیپ شماره ۴ (PI- 239707) از ترکیه بیشترین تحمل را به شرایط کم‌آبی نشان داد و ژنوتیپ‌های شماره ۱۵ (PI- 286385) از اریتره، ۵۶ (محلی مرند) از مرند، ۵۷ (همدان۲۱) از همدان و ۲۴ (PI- 470942) از بنگلادش جزء حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش کم آبی بودند (جدول ۵).

مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها برای صفت عملکرد دانه در هر منطقه به تفکیک عدم تنش و تنش خشکی انجام شد (جدول ۵). در منطقه نجف‌آباد حداکثر میانگین عملکرد دانه و روغن

جدول ۵. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های مختلف بر اساس شاخص تحمل به خشکی STI و عملکرد (کیلوگرم در هکتار) در شرایط رطوبتی عدم تنش (YP) و تنش (YS) در سه منطقه مختلف

| ژنوتیپ | نجف‌آباد | | | جیرفت | | | جوپار | | | ژنوتیپ | نجف‌آباد | | | جیرفت | | | جوپار | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | STI | YP | YS | STI | YP | YS | STI | YP | YS | | STI | YP | YS | STI | YP | YS | STI | YP | YS |
| ۱ | ۰/۷۶ | ۳۴۰۹ | ۳۷۲۵ | ۰/۲۶ | ۱۶۵۶ | ۶۵۲ | ۰/۳۱ | ۲۵۱۸ | ۷۱۴ | ۳۰ | ۰/۸۵ | ۴۵۹۰ | ۲۸۳۰ | ۰/۸۱ | ۲۰۲۲ | ۱۶۳۳ | ۰/۹۳ | ۱۶۳۴ | ۳۲۴۳ |
| ۲ | ۰/۲۶ | ۳۴۳۴ | ۱۱۵۶ | ۰/۶۵ | ۲۳۴۸ | ۱۱۶۰ | ۰/۳۰ | ۱۷۰۱ | ۱۰۳۷ | ۳۱ | ۰/۵۶ | ۴۰۱۷ | ۲۱۹۹ | ۲/۱۰ | ۴۲۴۳ | ۲۰۳۹ | ۰/۸۳ | ۳۶۷۴ | ۱۳۱۵ |
| ۳ | ۰/۴۰ | ۳۹۰۹ | ۱۴۰۴ | ۰/۶۷ | ۱۹۴۰ | ۱۳۹۹ | ۰/۵۷ | ۲۶۸۸ | ۱۳۱۸ | ۳۲ | ۰/۳۵ | ۳۳۷۰ | ۱۵۹۳ | ۰/۷۰ | ۱۱۴۷ | ۲۴۲۶ | ۰/۸۴ | ۱۶۸۴ | ۲۹۱۴ |
| ۴ | ۰/۴۹ | ۴۰۹۷ | ۱۸۴۱ | ۰/۴۱ | ۲۲۰۴ | ۷۷۲ | ۲/۵۱ | ۳۹۹۵ | ۳۶۹۱ | ۳۳ | ۰/۱۸ | ۲۳۹۶ | ۱۱۳۶ | ۰/۴۹ | ۸۷۲ | ۲۳۱۰ | ۰/۵۵ | ۱۵۸۸ | ۱۹۶۸ |
| ۵ | ۱/۱۹ | ۴۳۵۸ | ۴۱۱۹ | ۰/۶۹ | ۲۰۸۶ | ۱۲۹۴ | ۰/۷۳ | ۳۲۱۵ | ۱۳۳۰ | ۳۴ | ۰/۳۶ | ۲۹۶۷ | ۱۹۴۸ | ۰/۴۱ | ۱۷۸۶ | ۹۵۰ | ۰/۴۹ | ۲۱۰۱ | ۱۳۱۲ |
| ۶ | ۰/۶۸ | ۳۹۰۰ | ۲۷۵۰ | ۰/۷۸ | ۳۱۲۶ | ۱۰۷۶ | ۱/۰۰ | ۲۵۹۰ | ۲۲۷۹ | ۳۵ | ۰/۴۵ | ۲۵۷۱ | ۲۵۵۸ | ۰/۱۸ | ۸۸۰ | ۸۲۱ | ۱/۱۸ | ۳۶۷۸ | ۱۸۹۲ |
| ۷ | ۱/۰۴ | ۴۸۳۵ | ۳۳۵۵ | ۰/۴۵ | ۲۱۲۷ | ۸۷۳ | ۰/۷۹ | ۲۲۴۸ | ۲۰۸۴ | ۳۶ | ۰/۶۸ | ۳۳۴۵ | ۳۳۰۰ | ۰/۲۵ | ۹۰۳ | ۱۱۳۵ | ۰/۵۵ | ۱۷۱۹ | ۱۹۱۶ |
| ۸ | ۰/۴۷ | ۲۶۳۴ | ۲۸۰۹ | ۰/۲۹ | ۱۸۱۶ | ۶۴۶ | ۰/۸۰ | ۲۸۰۸ | ۱۶۷۱ | ۳۷ | ۱/۸۶ | ۵۷۲۱ | ۵۰۸۵ | ۱/۱۱ | ۲۲۶۴ | ۲۰۵۵ | ۱/۶۴ | ۳۶۷۵ | ۲۶۱۶ |
| ۹ | ۰/۷۴ | ۳۸۲۸ | ۳۰۹۳ | ۰/۳۲ | ۱۳۶۹ | ۹۱۲ | ۰/۸۱ | ۲۳۰۸ | ۲۱۲۸ | ۳۸ | ۰/۴۵ | ۲۸۸۸ | ۲۴۳۵ | ۰/۲۶ | ۱۱۰۸ | ۹۴۱ | ۰/۶۲ | ۲۴۶۵ | ۱۴۷۸ |
| ۱۰ | ۰/۵۷ | ۳۱۷۵ | ۲۸۴۵ | ۰/۳۳ | ۱۲۸۷ | ۱۰۱۴ | ۰/۷۵ | ۲۲۸۲ | ۱۹۳۳ | ۳۹ | ۰/۳۱ | ۲۶۴۸ | ۱۸۴۷ | ۰/۲۱ | ۱۰۷۲ | ۷۹۹ | ۰/۷۷ | ۲۴۰۹ | ۱۸۴۲ |
| ۱۱ | ۱/۱۲ | ۵۰۹۰ | ۳۴۵۴ | ۱/۸۷ | ۳۹۹۲ | ۱۹۰۳ | ۱/۲۹ | ۴۵۵۴ | ۱۶۷۵ | ۴۰ | ۱/۳۳ | ۴۱۶۳ | ۵۰۵۶ | ۰/۷۲ | ۱۷۹۱ | ۱۶۳۳ | ۰/۷۰ | ۴۰۱۳ | ۱۰۲۰ |
| ۱۲ | ۱/۱۲ | ۴۳۱۲ | ۴۰۷۴ | ۰/۸۰ | ۳۶۴۸ | ۸۹۹ | ۰/۷۷ | ۲۵۵۵ | ۱۷۴۷ | ۴۱ | ۰/۴۷ | ۳۲۱۸ | ۲۰۸۳ | ۰/۵۰ | ۲۳۷۴ | ۸۵۶ | ۰/۳۰ | ۱۷۲۶ | ۱۰۳۵ |
| ۱۳ | ۰/۴۳ | ۳۷۲۴ | ۱۸۴۱ | ۱/۶۰ | ۳۰۵۲ | ۲۱۵۰ | ۰/۹۵ | ۲۷۸۲ | ۱۹۸۱ | ۴۲ | ۰/۷۷ | ۳۴۶۹ | ۳۳۸۲ | ۰/۲۲ | ۱۸۴۴ | ۴۹۲ | ۰/۳۹ | ۲۱۰۱ | ۱۱۱۸ |
| ۱۴ | ۰/۶۳ | ۵۲۲۸ | ۱۸۵۹ | ۰/۵۴ | ۱۴۳۸ | ۱۴۶۳ | ۰/۶۹ | ۲۰۸۱ | ۱۸۹۳ | ۴۳ | ۰/۸۵ | ۵۴۷۵ | ۲۵۱۶ | ۰/۶۹ | ۱۳۸۳ | ۲۰۸۸ | ۰/۶۵ | ۱۸۵۲ | ۲۰۶۳ |
| ۱۵ | ۰/۳۷ | ۳۲۹۱ | ۱۷۳۵ | ۰/۲۵ | ۸۳۳ | ۱۲۳۱ | ۰/۱۵ | ۱۱۴۰ | ۷۵۲ | ۴۴ | ۰/۸۲ | ۳۶۱۲ | ۳۵۷۹ | ۰/۲۰ | ۶۴۴ | ۱۲۹۳ | ۰/۶۵ | ۱۸۰۵ | ۲۱۱۷ |
| ۱۶ | ۰/۵۲ | ۲۹۵۷ | ۲۷۸۳ | ۱/۲۶ | ۴۱۵۰ | ۱۲۴۴ | ۱/۰۰ | ۳۴۵۳ | ۱۵۸۷ | ۴۵ | ۰/۵۰ | ۲۹۴۹ | ۲۷۵۴ | ۰/۹۱ | ۱۹۴۳ | ۱۹۲۲ | ۱/۳۵ | ۳۳۵۵ | ۲۳۷۱ |
| ۱۷ | ۱/۷۰ | ۵۷۸۵ | ۴۶۱۰ | ۰/۸۷ | ۲۰۲۷ | ۱۶۸۸ | ۰/۷۸ | ۲۸۸۶ | ۱۵۸۳ | ۴۶ | ۰/۶۱ | ۳۹۰۱ | ۲۴۷۳ | ۰/۳۴ | ۱۶۲۴ | ۸۳۸ | ۱/۰۱ | ۲۷۳۷ | ۲۰۷۲ |
| ۱۸ | ۰/۷۹ | ۴۵۸۰ | ۲۸۵۰ | ۰/۵۱ | ۱۸۵۴ | ۱۱۰۴ | ۰/۷۵ | ۲۷۷۲ | ۱۶۲۵ | ۴۷ | ۰/۴۸ | ۳۵۹۱ | ۲۰۴۳ | ۰/۸۲ | ۲۱۴۵ | ۱۵۳۹ | ۰/۷۳ | ۲۸۷۷ | ۱۴۴۵ |
| ۱۹ | ۱/۰۵ | ۵۵۹۴ | ۲۹۴۸ | ۰/۶۶ | ۱۶۸۷ | ۱۵۹۷ | ۰/۸۲ | ۲۹۳۱ | ۱۶۸۵ | ۴۸ | ۰/۵۹ | ۳۱۵۵ | ۲۸۸۷ | ۰/۵۰ | ۱۶۴۹ | ۱۲۶۵ | ۰/۴۸ | ۱۱۹۴ | ۲۳۷۷ |
| ۲۰ | ۱/۱۲ | ۵۸۴۵ | ۳۰۲۳ | ۰/۹۴ | ۲۲۸۷ | ۱۷۲۶ | ۰/۶۶ | ۱۶۱۰ | ۲۳۹۷ | ۴۹ | ۰/۸۱ | ۴۱۹۳ | ۲۹۴۲ | ۱/۱۶ | ۳۶۱۴ | ۱۳۲۵ | ۰/۳۷ | ۲۴۱۶ | ۸۹۱ |
| ۲۱ | ۰/۵۱ | ۲۴۹۴ | ۳۲۵۸ | ۱/۳۶ | ۳۰۴۳ | ۱۸۳۹ | ۰/۷۱ | ۲۳۸۲ | ۱۷۵۰ | ۵۰ | ۰/۷۳ | ۵۰۵۰ | ۲۲۹۱ | ۰/۱۸ | ۱۱۹۸ | ۶۱۸ | ۰/۳۰ | ۱۶۷۶ | ۱۰۷۱ |
| ۲۲ | ۰/۹۶ | ۳۹۷۴ | ۳۶۸۶ | ۱/۴۹ | ۴۴۴۶ | ۱۳۸۷ | ۰/۸۰ | ۲۹۴۹ | ۱۵۹۶ | ۵۱ | ۱/۴۲ | ۵۳۰۸ | ۴۱۷۴ | ۰/۵۵ | ۲۷۵۲ | ۸۲۳ | ۰/۴۷ | ۱۷۶۷ | ۱۵۶۴ |
| ۲۳ | ۰/۵۳ | ۲۷۶۱ | ۲۷۵۷ | ۰/۶۸ | ۲۴۴۹ | ۱۱۲۵ | ۰/۹۱ | ۲۳۹۵ | ۲۲۴۵ | ۵۲ | ۰/۵۷ | ۳۳۰۰ | ۲۷۵۴ | ۰/۶۲ | ۱۷۱۰ | ۱۵۰۱ | ۰/۵۹ | ۲۳۱۹ | ۱۴۹۸ |

ادامه جدول ۵.

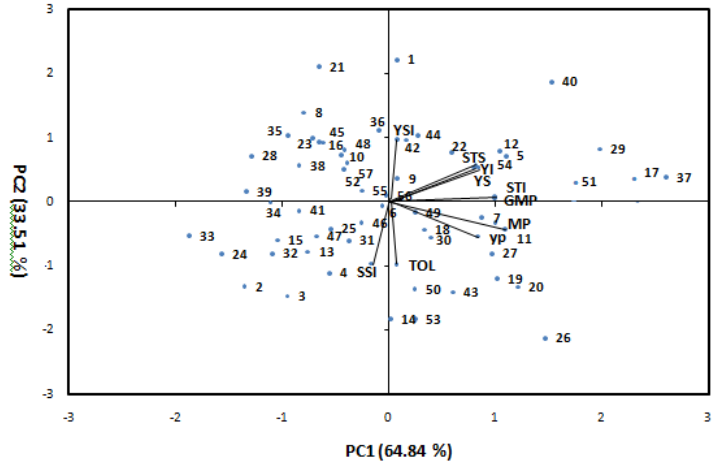
| ژنوتیپ | جیرفت | | | | نجف‌آباد | | | | ژنوتیپ | جیرفت | | | | نجف‌آباد | | | | ژنوتیپ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | YS | YP | STI | | YS | YP | STI | | | YS | YP | STI | | YS | YP | STI | | |
| ۱ | ۱۰۸۶ | ۱۳۸۸ | ۰/۲۸ | | ۲۷۳ | ۱۳۲۸ | ۰/۰۹ | | ۱ | ۱۱۷۴ | ۲۱۱۱ | ۰/۴۵ | | ۸۹۲ | ۱۱۱۷ | ۰/۲۴ | | ۱ |
| ۲ | ۱۵۲۱ | ۲۳۸۱ | ۰/۶۲ | | ۱۳۸۷ | ۳۳۰۸ | ۱/۱۱ | | ۲ | ۱۳۹۳ | ۱۸۶۲ | ۰/۴۴ | | ۱۴۳۳ | ۱۶۳۷ | ۰/۵۷ | | ۲ |
| ۳ | ۱۷۹۸ | ۱۹۰۱ | ۰/۵۸ | | ۱۸۲۵ | ۱۴۸۶ | ۰/۶۹ | | ۳ | ۱۴۶۱ | ۱۱۹۹ | ۰/۳۰ | | ۲۰۳۲ | ۱۲۹۵ | ۰/۶۴ | | ۳ |
| ۴ | ۲۵۲۶ | ۳۱۸۳ | ۱/۳۷ | | ۹۶۷ | ۱۶۵۷ | ۰/۳۷ | | ۴ | ۱۰۷۹ | ۱۴۵۲ | ۰/۲۷ | | ۱۳۸۵ | ۲۸۰۶ | ۰/۹۶ | | ۴ |
| ۵ | ۱۹۶۶ | ۲۳۰۹ | ۰/۸۰ | | ۱۲۴۴ | ۱۸۰۵ | ۰/۵۴ | | ۵ | ۸۱۳ | ۱۹۹۱ | ۰/۲۸ | | ۶۳۴ | ۱۰۸۳ | ۰/۱۶ | | ۵ |
| ۶ | ۲۶۷۰ | ۳۰۶۴ | ۱/۳۹ | | ۲۵۹۵ | ۲۴۲۸ | ۱/۵۵ | | ۶ | | | | | | | | | ۶ |
| LSD(٪۵) | ۷۳۲ | ۷۴۰ | ۰/۴۲ | | ۶۶۲ | ۶۸۱ | ۰/۴۸ | | LSD(٪۵) | ۷۳۲ | ۷۴۰ | ۰/۴۲ | | ۶۶۲ | ۶۸۱ | ۰/۴۸ | | LSD(٪۵) |
| | ۱۷۲۱ | ۲۳۸۱ | ۰/۶۲ | | ۱۷۷۴ | ۱۷۲۱ | ۰/۶۲ | | | ۱۷۲۱ | ۲۳۸۱ | ۰/۶۲ | | ۱۷۷۴ | ۱۷۲۱ | ۰/۶۲ | | |

در شرایط رطوبتی عدم تنش را ژنوتیپ شماره ۲۶ (PI- 572426) از آمریکا به‌ترتیب با ۶۷۰۹ و ۲۱۰۹ کیلوگرم در هکتار و در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ شماره ۳۷ (PI- 657820) از اردن با میانگین عملکرد دانه و روغن به‌ترتیب ۵۰۸۵ و ۱۴۶۴ کیلوگرم در هکتار داشتند. همچنین در منطقه جیرفت بیشترین عملکرد دانه و روغن در شرایط رطوبتی عدم تنش متعلق به ژنوتیپ شماره ۲۲ (PI- 386173) از سوریه به‌ترتیب با میانگین ۴۴۴۶ و ۱۲۵۱ کیلوگرم در هکتار و در شرایط تنش خشکی حداکثر عملکرد دانه و روغن متعلق به ژنوتیپ شماره ۲۹ (PI- 657800) از مصر به‌ترتیب با میانگین ۲۵۹۵ و ۷۷۰ کیلوگرم در هکتار بود. نتایج نشان داد در منطقه جوپار در شرایط رطوبتی عدم تنش ژنوتیپ شماره ۱۱ (PI- 253762) از عراق با میانگین عملکرد دانه و روغن به‌ترتیب ۴۵۵۴ و ۱۴۰۴ کیلوگرم در هکتار و در شرایط تنش کم آبی ژنوتیپ شماره ۴ (PI- 239707) از ترکیه با میانگین عملکرد دانه و روغن به‌ترتیب ۳۶۹۱ و ۱۰۰۴ کیلوگرم در هکتار بیشترین مقدار عملکرد را به خود اختصاص دادند (نتایج عملکرد روغن نشان داده نشده است).

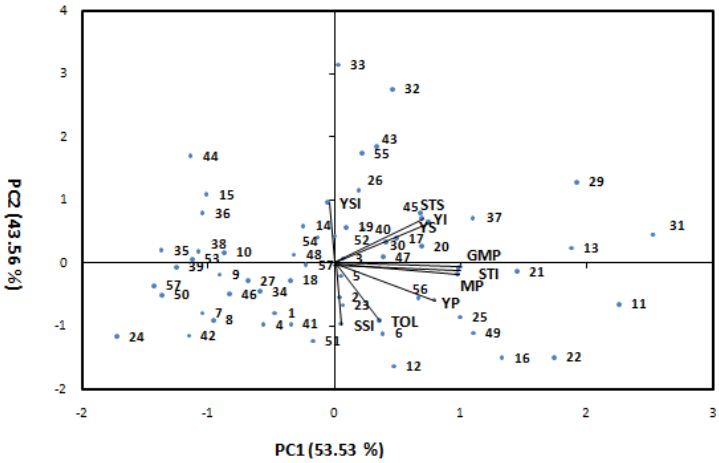
## تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش

به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر روابط بین شاخص‌ها و مطالعه همزمان آنها، تجزیه مؤلفه اصلی شاخص‌ها و عملکرد در دو شرایط رطوبتی برای هر منطقه جداگانه انجام شد. نتایج نشان داد که دو مؤلفه اول بیشترین واریانس کل را با مقادیر ۹۸/۳۵، ۹۷/۰۹ و ۹۸/۰۳ درصد به‌ترتیب در منطقه اصفهان، جیرفت و جوپار توجیه کرد. سهم مؤلفه اول ۶۴/۸۲، ۵۳/۵۳ و ۵۸/۸۰ درصد به‌ترتیب در منطقه نجف‌آباد، جیرفت و جوپار بود و بیشترین همبستگی مثبت را با شاخص‌های STI، GMP، MP، عملکرد در شرایط عدم تنش و تنش رطوبتی در سه منطقه نشان دادند. بنابراین مؤلفه اول به نام عامل پتانسیل عملکرد و تحمل به خشکی نام‌گذاری شد. مؤلفه دوم همبستگی بالا و منفی را با شاخص‌های SSI و TOL و همبستگی مثبت با عملکرد در شرایط تنش در سه منطقه نشان داد. لذا این مؤلفه نیز تحمل به تنش نام‌گذاری شد. لذا مقدار بالای مؤلفه اول و دوم ژنوتیپ‌های متحمل و مقدار پایین هر دو مؤلفه ژنوتیپ‌های حساس به تنش خشکی را نشان می‌دهد. عبدالشاهی و همکاران (۱) نیز در بررسی ۴۰ ژنوتیپ گندم نان در دو سال هر دو مؤلفه را عامل تحمل به خشکی نام‌گذاری کردند.

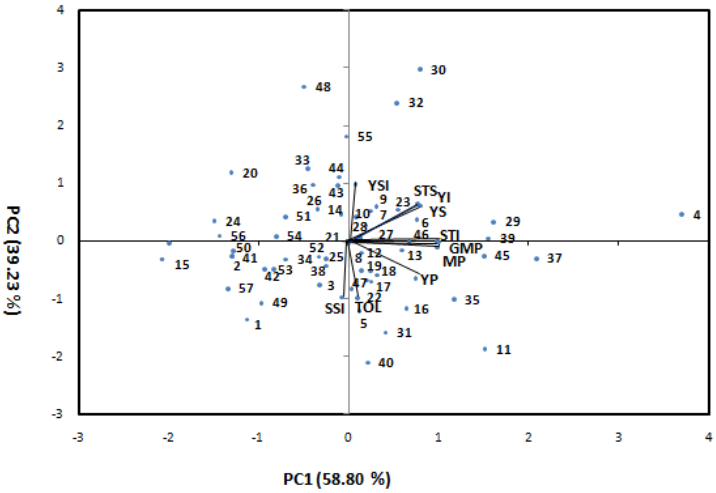
با توجه به رابطه مؤلفه‌ها و شاخص‌های مورد بررسی، ژنوتیپ‌هایی که در ناحیه بالا و سمت راست بای‌پلات قرار دارند به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل‌تر مشخص شدند و ژنوتیپ‌هایی که در ناحیه پایین و سمت چپ بای‌پلات قرار گرفته‌اند به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها می‌باشند. بر این اساس و با توجه به سهم بیشتر مؤلفه اول، ژنوتیپ‌های شماره ۳۷ (PI- 657820) از اردن، ۲۹ (PI- 657800) از مصر، ۱۷ (PI- 305527) از سودان، ۵۱ (S149) از اصفهان و ۴۰ (PI- 532619) از قبرس در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی در منطقه نجف‌آباد شناخته شدند. همچنین حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش کم آبی در منطقه نجف‌آباد ژنوتیپ‌های شماره ۳۳ (CART 131) از پاراگوئه، ۲۴ (PI- 470942) از بنگلادش، ۲ (PI- 209286) از رومانی و ۳ (PI- 209299) از کنیا بودند (شکل ۱). نتایج تجزیه به مؤلفه اصلی و نمودار بای‌پلات داده‌ها در منطقه جیرفت نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۳۱ (CART 64) از اسلواکی، ۱۳ (PI- 262424) از استرالیا و ۲۹ (PI- 657800) از مصر متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی و ژنوتیپ‌های شماره ۲۴ (PI- 470942) از بنگلادش، ۵۷ (همدان۲۱) از همدان، ۵۰ (M115) از مرکزی و ۴۲ (اراک ۲۸۱۱) از اراک حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش کم‌آبی بودند (شکل ۲). همچنین بررسی نتایج به‌دست آمده از بای‌پلات در منطقه جوپار نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۴ (PI- 239707) از ترکیه و ۲۹ (PI- 657800) از مصر متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های شماره ۱۵ (PI- 286385) از اریتره، ۵۷ (همدان۲۱) از همدان و ۱




شکل ۱. بای‌پلات براساس مؤلفه اول و دوم برای شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به تنش خشکی در گلرنـگ در منطقـه اصـفهان




شکل ۲. بای‌پلات براساس مؤلفه اول و دوم برای شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به تنش خشکی در گلرنگ در منطقه جیرفت




شکل ۳. بای‌پلات براساس مؤلفه اول و دوم برای شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به تنش خشکی در گلرنگ در منطقه جوپار

(PI- 198844) از فرانسه حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به کم‌آبی بودند (شکل ۳). این نتایج تأیید کننده نتایج حاصل براساس شاخص STI می‌باشند. بنابراین شاخص STI از کارایی خوبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل برخوردار است. توزیع ژنوتیپ‌ها در بای‌پلات‌ها بیانگر تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از لحاظ تحمل به تنش کم آبی می‌باشد. مجیدی و همکاران (۲۸) تجزیه بای‌پلات براساس تجزیه مؤلفه اصلی را جهت ارزیابی تحمل به خشکی ۲۰ ژنوتیپ وحشی و زراعی گلرنگ در دو سطح تنش شدید و متوسط به‌کار بردند. آنها مؤلفه اول را به‌عنوان مؤلفه پتانسیل عملکرد و تحمل به تنش خشکی و مؤلفه دوم را به‌عنوان مؤلفه حساس به تنش خشکی مشخص کردند. در نمایش گرافیکی بای‌پلات‌ها با توجه به زوایای شاخص‌ها (زاویه کمتر نشان‌دهنده همبستگی بالاتر)، شاخص‌های MP، GMP و STI با عملکرد دانه در هر دو شرایط رطوبتی همبستگی مثبت نشان دادند. بنابراین به کمک بای‌پلات نیز شاخص‌های MP، GMP و STI به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌گردند. این با نتایج ملکی‌نژاد و مجیدی (۲۶) مطابقت داشت.

## نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج نشان داد که تنوع کافی در ژرم‌پلاسم مورد مطالعه از لحاظ کلیه صفات و تحمل به تنش کم‌آبی وجود دارد. ارقام ایرانی از محتوی روغن دانه بالاتری برخوردار بودند. درحالی‌که وجود ارقام خارجی با عملکرد بالا و متحمل به تنش خشکی نشان می‌دهد که ارقام خارجی می‌توانند به‌عنوان مخزن ژنی مفید برای اصلاح عملکرد، تحمل به تنش خشکی (براساس شاخص‌های تحمل) و اصلاح برخی ویژگی‌های نامطلوب ارقام داخلی (نظیر دیررسی و پابلندی) مورد استفاده قرار گیرند. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های مختلف نشان داد که ژنوتیپ شماره ۲۹ (PI- 657800) از مصر در هر سه منطقه جزء متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی محسوب شد. همچنین متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها در منطقه نجف‌آباد، جیرفت و جوپار به‌ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۳۷ (PI- 57820) از اردن، ۳۱ (CART 64) از اسلواکی و ۴ (PI- 239707) از ترکیه بودند. این نتایج بیانگر ضرورت بررسی تنش خشکی در هر منطقه و انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل خاص هر منطقه است.

## منابع مورد استفاده


1. Abdolshahi, R., A. Safarian, M. Nazari, S. Pourseyedi and G. Mohamadi-Nejad. 2012. Screening drought-tolerant genotypes in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using different multivariate methods. *Archives of Agronomy and Soil Science* 59: 685-704.
2. Able, G. H. 1976. Effects of irrigation regimes, planting date, nitrogen levels and spacing on safflower cultivars. *Agronomy Journal* 68:448-451.
3. Abolhasani, K. H. and G. Saeidi. 2006. Investigation of agronomic traits for safflower genotypes in two moisture regimes in Isfahan. *Journal Agricultural Natural Resources* 13: 44-53. (In Farsi).
4. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage. FAO.
5. Ashrafi, E. and K. Razmjoo. 2010. Effect of irrigation regimes on oil content and composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. *Journal of the American Oil Chemists* 87: 499-506.
6. Azimzadeh, M. 2010. Evaluation drought tolerance in 16 safflower genotype. *Iranian Journal of Field Crops Research* 8: 871-877. (In Farsi).
7. Baghkhani, F. and H. Farahbakhsh. 2008. Effects of drought stress on yield and some physiological characters of three spring safflower (*Carthamus tinctorius*) varieties. *Journal of Water, Soil and Plant in Agriculture* 8: 45-57. (In Farsi).
8. Bahrami, F., A. Arzani and V. Karimi. 2014. Evaluation of yield-based drought tolerance indices for screening safflower genotypes. *Agronomy Journal* 106: 1219-1224.

9. Barnabas, B., K. Jager and A. Feher. 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant Cell and Environment* 31:11–38.
10. Behdani, M. A. and M. Jami Al-Ahmadi. 2011. Response of spring safflower varieties to different irrigation distance in Birjand. *Iranian Journal of Field Crops Research* 8: 315-323. (In Farsi).
11. Bouslama, M. and W. T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science* 24:933-937.
12. Earl, H. J. and R. F. Davis. 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy Journal* 95: 688-696.
13. Elfal, E., C. Reinbrecht and W. Claupein. 2010. Evaluation of phenotypic variation in a worldwide germplasm of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under drought stress conditions in Germany. *Genetic Resources and Crop Evolution* 57: 155-170.
14. FAO. 2013. FAOSTAT Database. Available online at: http://faostat.fao.org
15. Ferasat M., N. Sajedi and M. Mirzakhani. 2012. Effects of drought stress on yield and yield components in safflower (*Carthamus tinctorius*) genotypes. *Iranian Journal of Field Crops Research* 10: 346-353. (In Farsi).
16. Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. *In:* Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. Shanhua, Taiwan. pp. 257-270.
17. Fisher, R. A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars, I: Grain yield responses. *Australian Journal of Crop Science* 29: 897-912.
18. Froozan, K. 1997. A technique for screening of drought and saline resistant safflower varieties during germination and plant growing. *In:* Proceedings of the 5th International Safflower Conference. Italy. pp. 170-171.
19. Gavuzzi, P., F. Rizza, M. Palumbo, R. G. Campanile, G. L. Ricciardi and B. Borghi. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science* 77: 523-531.
20. Heidari Sharifabad, H. 2008. Drought mitigation strategies for the agriculture sector. *In:* Proceeding of the 10th Iranian Congress of Crop Science. Karaj, Iran. pp. 18-20. (In Farsi).
21. Hussain, M. I., D. A. Lyra, M. Farooq, N. Nikoloudakis and N. Khalid. 2016. Salt and drought stresses in safflower: A review. *Agronomy for Sustainable Development* 36: 1- 31.
22. Jensen, C. R., V. O. Morgensen, G. Mortensen and J. K. Fieldsend. 1996. Lucosinolate G, oil and protein of field grown rape affected by soil drying and evaporative demands. *Field Crops Research* 47: 693-705.
23. Khajeh pour, M. R. 2005. Industrial Crop Production. University Jihad. Isfahan University of Technology. Isfahan. (In Farsi).
24. Knowles, P. F. 1969. Centers of plant diversity and conservation of crop germplasm: safflower. *Economic Botany* 23: 324-329.
25. Maleki Nejad, R. and M. M. Majidi. 2015 a. Evaluation of Iranian and foreign safflower germplasms under normal and drought stress conditions. *Journal of Crop Breeding* 7: 1- 13. (In Farsi).
26. Maleki Nejad, R. and M. M. Majidi. 2015b. Screening for terminal drought tolerance in Iranian and exotic safflower genotypes using drought tolerance and susceptibility indices**.** *Journal of Crop Production and Processing* 15: 69- 81. (In Farsi).
27. Majidi, M. M., R. Dehghan Kouhestani, R. Maleki Nejad and G. Saeidi. 2015. Study of genetic diversity of grain yield-associated traits in Iranian and exotic safflower (*Carthamus tinctorius*) germplasm. *Journal of Crop Production and Processing* 16: 1- 13. (In Farsi).
28. Majidi, M. M., V. Tavakoli, A. F. 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.
29. Motzo, R. and F. Giunta. 2007. The effect of breeding on the phenology of Italian durum wheats: From landraces to modern cultivars. *Agronomy Journal* 26: 462-470.
30. Mundel, H. H. and J. W. Bergman. 2008. Safflower breeding. pp. 423- 447, *In:* J. Vollmann and I. Rajcan (Eds.), Oil Crop Breeding, Hand Book of Plant Breeding. Springer, Berlin.
31. Omidi, A. H. 2009. Effect of drought stress at different growth stages on seed yield and some agro-physiological traits of three spring safflower cultivars. *Seed and Plant Production Journal* 25: 15-31. (In Farsi).
32. Rahimi, M., M. Golabadi, M. M. Majidi and A. M. Rezaie. 2014. Investigate the mechanisms of escape from drought stress during the growing season in safflower genotypes. *In:* Proceeding of 13th Crop Science Conference of Iran and the Iranian Seed Science and Technology Conference. Karaj, Iran. (In Farsi).
33. Rosielle, A. A. and J. Hambline.1981. Theoretical aspect of selection for yield in stress and non- stress environments. *Crop Sci*ence 21: 943-946.

34. Sharif mogadasi, M. and A. H. Omidi. 2010. Study of interrupting irrigation effect at different growth stage on grain and oil yield of new safflower varieties. *Advances in Environmental Biology* 4: 387-391.
35. Sibi, M., M. Mirzakhani and M. Gomarian. 2012. Response of physiological characteristics to water stress, application of salicylic acid and zeolite in safflower. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 4: 151-156. (In Farsi).
36. Simane, B., P. C. Struik, M. M. Nachit and J. M. Peacock. 1993. Ontogenetic analysis of yield components and yield stability of durum wheat in water-limited environments. *Euphytica* 71: 211-219.
37. Tavakoli, A. 2003. Evaluate the effect of irrigation in different growth stages on yield, yield components of safflower oil. MSc. Thesis. Tehran University. Tehran, Iran.
38. Tavakoli, V., M. M. Majidi, A. F. Mirlohi and M. R. Sabzalian. 2012. Evaluation of diversity and drought tolerance in cultivated (*Carthamus tinctorius*) and wild (*C. oxyacanthus*) safflower lines. *Iranian Journal of Field Crops Research* 9: 770-777. (In Farsi).
39. Zareie, S., G. Mohammadi-Nejad and S. Sardouie-Nasab. 2013. Screening of Iranian safflower genotypes under water deficit and normal conditions using tolerance indices. *Australian Journal of Crop Science* 7:1032–1037.

**Journal of Crop Production and Processing**
**Vol. 7, No. 3, Fall 2017, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.**

# Yield Potential and Drought Tolerance of Some Domestic and Foreign Varieties of Safflower in Three Regions of Iran

**F. Ebrahimi [1], M. M. Majidi [2*], A. Arzani [2], GH. Mohammadi Nejad[3] and R. Dehghan Kouhestani[4]**

(Received: September 20-2016; Accepted: November 16-2016)
DOI: 10.29252/jcpp.7.3.1

## Abstract

Although safflower is widely distributed in Iran, other diversity centers have also been reported in many Asian and European countries, especially arid regions of the world. In this research 15 domestic and 42 exotic safflower genotypes were evaluated for drought tolerance in three locations of Najafabad (Isfahan), Jiroft and Jopar (Kerman), using a lattice design at normal and drought stress conditions. Water stress was applied at budding stage and depletion of 85% of available soil water. Results showed that drought stress significantly decreased most of the traits, including seed yield (30.20%), oil yield (32.28%), oil content (3.54%), number of capitulums per plant (16.77%), number of seeds per capitulum (16.04%) and plant height (4.43%). Drought stress did not significantly affect number of seeds per capitulum in Najafabad and Jopar locations but significantly decreased it in Jiroft location, leading to a lower seed yield in Jiroft compared to two other locations. According to principle components analysis based on drought-tolerance/susceptibility indices, genotype number 29 (PI- 657800) originating from Egypt was identified as the most drought tolerant genotype across all three locations. Moreover, genotypes number 37 (PI- 657820) originating from Jordan, 31 (CART 64) originating from Slovakia and 4 (PI- 239707) originating from Turkey were the most drought tolerant genotypes in Najafabad, Jiroft and Jopar, respectively. Generally, domestic genotypes had high oil content (more than 30%). The exotic tolerant genotypes with high and sustainable yield in this germplasm can provide useful gene pool for breeding of domestic genotypes with desirable traits such as high oil content. Also, there is the possibility to find stable - yielding genotypes in this worldwide collection.

**Keywords:** Safflower, Drought, World collections

1. PhD Student of Plant Breeding, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran and Instructor of Islamic Azad University of Jiroft, Jiroft, Iran.
2, 4. Professors and Former Graduated MSc. Student, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
3. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
*. Corresponding Author, Email: majidi@cc.iut.ac.ir