تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد پنجم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۲، ص ۳۲۵-۳۱۱

مقاله پژوهشی

بررسی روابط صفات مرتبط با تحمل در برابر تنش خشکی با استفاده از تجزیه همبستگی کانونیک در گیاه گلرنگ

محمدرضا نقوی[1*]، ابوالفضل توسلی[1]، اسماعیل صیدی[1]

۱- بخش کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران

* مسئول مکاتبه: mr_naghavi@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱ /۰۲/۳۱ **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.334667.1215**

چکیده

ایران یکی از کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود که مطالعه ویژگی‌های ارقام گیاهی از جمله گلرنگ تحت تنش خشکی در شرایط آن دارای اهمیت است. در این راستا شناسایی ارتباط صفات مختلف تحت شرایط تنش خشکی، به انتخاب ارقام متحمل بر پایه این صفات کمک خواهد کرد. به این منظور آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار با سه سطح تنش شامل تنش خشکی شدید (آبیاری بعد از ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A)، تنش خشکی ملایم (آبیاری بعد از ۱۷۵ میلی‌متر تبخیر) و نرمال (آبیاری بعد از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر) به‌عنوان عامل اصلی و ۱۰ رقم گلرنگ به‌عنوان عامل فرعی اجرا گردید. در این آزمایش تنش خشکی از مرحله افزایش طول ساقه اعمال شد. تجزیه همبستگی کانونیک نشان داد بین جفت متغیرهای کانونیکی حاصل از صفات فیزیولوژیکی با صفات مورفولوژیک همبستگی معنی‌دار وجود دارد. بین پتانسیل کل آب برگ با متغیر کانونیکی مربوطه و هم‌چنین بین وزن تر بوته و تعداد شاخه فرعی با متغیر کانونیکی مربوطه همبستگی بالایی وجود داشت. ارقامی که پتانسیل کل آب برگ بالاتری در شرایط تنش داشته باشند، وزن تر بوته و سایر صفات مورفولوژیک (به غیر از ارتفاع بوته) بیشتری نیز دارند؛ بنابراین ارقامی که وزن تر بوته و تعداد شاخه فرعی بیشتری دارند از پتانسیل کل آب برگ بیشتری نیز برخوردارند و با در نظر گرفتن آن می‌توان کارایی انتخاب را افزایش داد. هم‌چنین بر طبق نتایج مقایسه میانگین رقم پرنیان متحمل‌ترین و ارقام پدیده و زرقان حساس‌ترین ارقام تحت تنش خشکی در این آزمایش بودند.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل اسمزی، فلورسانس کلروفیل، گلایسین بتائین

مقدمه

گلرنگ در بین دانه‌های روغنی سازگار با شرایط آب و هوایی ایران، به‌عنوان گیاه متحمل به تنش خشکی و شوری و با داشتن تیپ‌های رشدی متفاوت دارای جایگاه ویژه‌ای می‌باشد (Bassil and Kaffka, 2002). این گیاه بومی ایران بوده و به دلیل دارا بودن ویژگی‌های مطلوب و خاص نظیر استفاده‌های دارویی و غذایی، تولید روغن نباتی با کیفیت بالا (به دلیل بیش از ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع خصوصاً لینولئیک و اولئیک)، تولید کنجاله به‌عنوان مکمل غذایی برای دام و تحمل مناسب در برابر تنش‌های محیطی از جمله خشکی از اهمیت خاصی برخوردار است (Bagheri *et al.*, 2012). از طرف دیگر، با توجه به اینکه ایران با متوسط یک‌سوم بارندگی جهانی جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود، در چنین مناطقی نوسانات بارندگی نیز زیاد بوده و ممکن است برخی از مراحل مهم رشدی گیاه از جمله گلرنگ به دلیل کم آبی تحت تأثیر کاهش پتانسیل آب خاک قرار گیرد (Noroozi and Kazemini, 2012). در راستای سازگاری گیاه به شرایط آب و هوایی تنش‌زا، تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و تجمع متابولیت‌های جدید هم‌زمان با تغییرات ساختاری، موجب افزایش کارایی تحت شرایط تنش‌زا می‌گردد؛ بنابراین درک بهتر روابط محیط و ژنوتیپ و بررسی خصوصیات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مورفولوژیکی گیاه در شرایط نامساعد محیطی و به‌ویژه تنش خشکی موجب درک بهتر نحوه سازگاری گیاه و وقایع دخیل در مکانیسم‌های تحمل به تنش خشکی خواهد شد (Naghavi and Khalili, 2017). تجزیه همبستگی کانونیک همانند سایر روش‌های آماری چندمتغیره، روشی برای تخمین یا کاهش تعداد داده می‌باشد. این روش یک حالت تعمیم‌یافته رگرسیون چندگانه است که جهت تعیین ارتباط بین دو مجموعه از متغیرها به کار می‌رود (Sharma, 1996). در این روش، همبستگی بین ترکیب خطی یک گروه از متغیرها با

ترکیب خطی گروه دیگر از متغیرها برآورد می‌شود (Abarshahr *et al.*, 2011). برخی از محققین از تجزیه همبستگی کانونیک برای یافتن ارتباط بین خصوصیات گیاهی استفاده کردند (Saba *et al.*, 2018). هم‌چنین این روش برای آزمون ارتباط بین خصوصیات خاک و جمعیت علف‌های هرز استفاده شده است (Rascio *et al.*, 2012). از تجزیه همبستگی کانونیک برای توسعه ارتباط بین خصوصیات خاک و جوامع گیاهان علفی و درختچه‌ای نیز استفاده شده است (Dod *et al.*, 2002). در بررسی تجزیه همبستگی کانونیکی صفات فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و فنولوژیکی با صفات اجزای عملکرد نشان داده است که اولین متغیر کانونیکی برای صفات مستقل، بیشتر تحت تأثیر زیست‌توده گیاه (۰/۶۷۴) قرار گرفت و صفات دمای کانوپی، ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد روز تا سنبله‌دهی، دارای ضریب همبستگی پایین بودند. هم‌چنین این محققین بیان کردند که اولین متغیر کانونیکی برای صفات مرتبط با اجزای عملکرد، بیشتر تحت تأثیر تعداد سنبله در بوته و وزن هزار دانه قرار گرفت و ضریب همبستگی پایین برای صفت تعداد دانه در سنبله بدست آمد (Saba *et al.*, 2018). هم‌چنین در مطالعه‌ای دیگر گزارش شده است که با تجزیه همبستگی کانونیک صفات زراعی، سه متغیر کانونیک معنی‌دار به دست آوردند که متغیرهای کانونیک معنی‌دار، ۳۰ درصد از واریانس کل متغیرها را توجیه نمودند. هم‌چنین آن‌ها همبستگی اولین، دومین و سومین جفت متغیر کانونیک را به ترتیب ۰/۹۱، ۰/۸۴ و ۰/۷۴ گزارش کردند که اولین متغیر کانونیک با توجیه ۱۳/۲ درصد از تنوع متغیرهای زراعی، با صفات درصد اختصاص ماده خشک به برگ، ارتفاع و شاخص برداشت رابطه منفی و با بقیه صفات زراعی رابطه مثبت داشت (Alavi Siney and Saba, 2014)؛ بنابراین مطالعه تجزیه همبستگی کانونیک اطلاعات مفیدی را در رابطه با صفات مورد مطالعه فراهم می‌سازد. در این راستا این پژوهش به‌منظور درک بهتر روابط صفات مختلف تحت تنش خشکی و استفاده از این روابط در گزینش ارقام مطلوب‌تر انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه‌ای واقع در کیلومتر پنج جاده زاهدان به بم در منطقه لخشک با مشخصات طول جغرافیایی ۶۰ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۰ درجه دقیقه شمالی و در ارتفاع ۱۳۸۵ متری از سطح دریا در خاکی با بافت لوم شنی انجام شد. آب و هوای منطقه بر اساس طبقه‌بندی کوپن (Mirmousavi and Kiani, 2017) جزء اقلیم‌های خشک با تابستان گرم و خشک بوده، به‌طوری‌که میانگین دمای سال کمینه ۱۲/۶-، بیشینه ۴۲/۵ و میانگین بارندگی سالانه منطقه ۷۲ میلی‌متر می‌باشد. زمین محل آزمایش یک سال قبل از اجرای طرح به‌صورت آیش بود. جهت مشخص نمودن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از اقدام به عملیات آماده‌سازی زمین از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری از نقاط مختلف مزرعه نمونه‌برداری خاک انجام شد. نمونه‌های مورد نظر جهت تجزیه فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال گردید که نتایج در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Results of physical and chemical analysis in the soil of the test site

مشخصات characteristics	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (ds/m)	اسیدیته pH	درصد مواد خنثی‌شونده T.N.V (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	فسفر قابل جذب Absorbed phosphorus (ppm)	پتاسیم قابل جذب Absorbed potassium (ppm)	Fe (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	بافت خاک Soil texture
حدود مطلوب Optimal limits	2-4	5.7-8	<10	>1	>0.15	15	350	7	1	1	5	لوم و لوم شنی Loam and sandy loam
نتایج آزمایش experiment results	4.88	8.03	9.6	0.23	0.02	4.6	130	1.9	0.32	0.2	1.06	لوم شنی Sandy loam

این پژوهش به‌صورت کرت‌های خردشده (اسپلیت پلات) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام شد. آزمایش با سه سطح تنش شامل تنش خشکی شدید (آبیاری بعد از ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A)، تنش خشکی ملایم (آبیاری بعد از ۱۷۵ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A) و نرمال (آبیاری بعد از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A) به‌عنوان عامل اصلی و ۱۰ رقم گلرنگ شامل سینا، گلدشت، صفه، محلی اصفهان، فرامان، پدیده، گل‌مهر، پرنیان، زرقان و رقم بومی به‌عنوان عامل فرعی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ اجرا گردید. شروع تنش خشکی از مرحله افزایش طول ساقه بود. بر اساس نتایج آزمون خاک کود سوپر فسفات تریپل به میزان ۸۰ کیلوگرم در هکتار و ۶۵ کیلوگرم کود اوره توسط دیسک قبل از کاشت با خاک مخلوط گردید. از شیارساز برای ایجاد جوی و پشته استفاده شد. هر کرت آزمایشی شامل شش خط پنج متری با فواصل ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی خط پنج سانتی‌متر بود. هر کرت ۱۲ مترمربع (۴×۳ مترمربع) و در هر کرت چهار ردیف کاشت با فاصله ۷۵ سانتی‌متر و طول چهار متری قرار داشت. فواصل کرت‌های فرعی از یکدیگر ۱۵۰ سانتی‌متر و کرت‌های اصلی ۳۰۰ سانتی‌متر بود. بذرها قبل از کاشت برای سهولت جوانه‌زنی به مدت ۲۴ ساعت خیسانده شد. سپس کاشت بذور در عمق سه سانتی‌متری و به‌صورت ردیفی به روش خشکه‌کاری انجام شد. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت صورت گرفت. فواصل آبیاری هر هفت روز یک‌بار انجام شد. بعد از سبز شدن عملیات تنک کردن در مرحله سه تا چهار برگی به‌منظور تراکم نهایی و ثابت در همه کرت‌ها صورت گرفت. هم‌چنین در طی دوران رشد و نمو، عملیات وجین و مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی در دو مرحله مصادف با شروع ساقه‌روی و آغاز گل‌دهی صورت پذیرفت. آفات و بیماری خاصی نیز در طول دوره رشد در مزرعه مشاهده نشد. برای اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مورد بررسی در آزمایش، نمونه‌برداری در مرحله تشکیل دانه انجام شد و از روش‌های ذکرشده، صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک اندازه‌گیری شدند. بوته‌ها از سطح خاک کف‌بر شده و در داخل پاکت‌های مخصوص ابتدا وزن شدند و سپس داخل آون ۷۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند. سپس وزن خشک آن‌ها برحسب گرم توزین شد. پتانسیل کل آب برگ، در برگ شماره ۳ (از بالای بوته) در مرحله تشکیل دانه با استفاده از دستگاه محفظه فشار (مدل *Soil Moisture Equipment Crop, Sanat Barbara, CA*) اندازه‌گیری شد. از طرف دیگر، محتوای آب نسبی برگ[1] از رابطه ۱ (Morant-Manceau *et al.*, 2004) اندازه‌گیری شد:

$$RWC=(Fw-Dw)/(Tw-Dw)\times100 \quad (۱)$$

پتانسیل اسمزی با استفاده از دستگاه میکرواسمومتر (مدل *Osmomat o10, Gonotec*) اندازه‌گیری شد و عدد به‌دست‌آمده از رابطه وانت هوف $\eta=-CRT$ به Mpa تبدیل شد. هم‌چنین، برای اندازه‌گیری کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (PSII) (رابطه ۲) از دستگاه فلورومتر استفاده گردید. با این وسیله به‌صورت غیر تخریبی میزان فلورسانس کلروفیل اندازه‌گیری شد (Baker and Rosenquist, 2004).

$$Fv/Fm= (Fm-F_0)/Fm \quad (۲)$$ کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II

غلظت پرولین آزاد در برگ شماره ۳ (از بالای بوته) به روش بیتز و همکاران (Bates *et al.*, 1973) اندازه‌گیری شد و مقادیر به‌دست آمده از طریق معادله رگرسیون با استفاده از محلول‌های استاندارد، به غلظت پرولین تبدیل شد و غلظت گلایسین‌بتائین (GB[2]) در برگ شماره ۳ (از بالای بوته) به روش گریو و گراتان (Grieve and Grattan, 1983) اندازه‌گیری شد و از طریق معادله رگرسیون مقادیر به‌دست آمده به غلظت گلایسین بتائین در نمونه‌ها تبدیل شدند.

قبل از تجزیه و تحلیل داده‌ها، آزمون نرمال بودن انجام شد و پس از اطمینان از توزیع نرمال داده‌ها، نسبت به تجزیه و تحلیل آن‌ها اقدام گردید و تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به روش دانکن انجام شد. با توجه به غیر معنی‌دار بودن اثر متقابل تنش در رقم در تجزیه واریانس داده‌ها، تجزیه همبستگی کانونیک برای متوسط کلیه سطوح تنش با استفاده از نرم‌افزار Statisticaانجام شد. همبستگی کانونیک یک حالت تعمیم‌یافته رگرسیون چندگانه است که جهت تعیین ارتباط

[1]-Relative water content

2-Glycine betaine

بین دو مجموعه از متغیرها به کار می‌رود (Sharma, 1996). تئوری همبستگی کانونیک برای اولین بار در سال ۱۹۳۶ پیشنهاد شد و همانند سایر روش‌های آماری چندگانه روشی برای تخمین یا کاهش تعداد داده می‌باشد (Gittins, 1985). برای آزمون فرضیه برابری حداقل یکی از ضرایب همبستگی کانونیک با صفر از آماره ویلکس لمبدا با توجه به رابطه ۳ استفاده شد (Gittins, 1985).

$$\Lambda = \prod_{i=1}^{P} (1 - C_i^2) \qquad (۳)$$

در این رابطه C_i ضریب همبستگی کانونیک i ام، π حاصل‌ضرب چندجمله‌ای، P تعداد صفات مورفولوژیک و Λ علامت آماره ویلکس لمبدا می‌باشد. در رابطه ۳ گروهی که حداقل صفات را داشته باشد تعیین‌کننده تعداد توابع کانونیک می‌باشد که در این پژوهش با توجه به تعداد صفات مورفولوژیک چهار تابع کانونیک تشکیل شد. برای آزمون معنی‌داری آماره ویلکس لمبدا از آماره F تقریبی استفاده گردید.

صفات فیزیولوژیکی با نماد X_1، X_2، X_3، X_4، X_5 و X_6 به ترتیب برای پتانسیل کل آب برگ، محتوای آب نسبی برگ، پتانسیل اسمزی برگ، فلورسانس کلروفیل، غلظت پرولین و غلظت گلایسین بتائین در نظر گرفته شد و صفات مورفولوژیک با نماد Y_1، Y_2، Y_3 و Y_4 به ترتیب برای ارتفاع بوته، وزن خشک بوته، وزن تر بوته و تعداد شاخه فرعی نشان داده شد.

نتایج و بحث

بر طبق تجزیه واریانس، صفات مورد مطالعه تحت تأثیر تیمار آبیاری قرار گرفتند و بین ارقام مورد نظر از نظر تمامی صفات تفاوت معنی‌دار تحت تنش وجود داشت (جدول ۲). این امر نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی بالا از لحاظ صفات مورد بررسی و امکان گزینش برای این صفات در میان ارقام مورد مطالعه می‌باشد. هم‌چنین اثر برهمکنش رقم و تنش برای همه صفات غیرمعنی‌دار شد (جدول ۲). ارتفاع بوته، وزن خشک بوته، وزن تر بوته و تعداد شاخه فرعی جزء صفات مورفولوژیکی می‌باشند که تحت تأثیر تنش خشکی مقدار آن‌ها کاهش یافت و نتایج نشان داد که بین سطوح تنش و بین ارقام از نظر این صفات اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۳). در این مطالعه بیشترین میانگین ارتفاع بوته مربوط به ارقام پرنیان، گلدشت، صفه و سینا و بیشترین میانگین وزن خشک و تر بوته مربوط به ارقام گلدشت، پرنیان و صفه بود. هم‌چنین کمترین میانگین صفات ارتفاع بوته، وزن خشک و تر بوته مربوط به رقم پدیده و زرقان بودند. این نتایج با یافته‌های حاصل از تحقیقات پیشین در گلرنگ مطابقت داشت (Noroozi and Kazemini, 2012). از طرف دیگر، تعداد شاخه فرعی در این آزمایش تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت و مقدار آن تحت تنش کاهش یافت و ارزش این صفت در ارقام پرنیان و زرقان بترتیب کمترین و بیشترین مقدار بود. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان اظهار داشت که تنش خشکی از طریق کاهش فشار تورژسانس سبب کاهش رشد و توسعه سلول‌های گیاه می‌شود و به همین دلیل اثر محسوس تنش در این حالت بصورت تعداد کمتر برگ‌ها، کاهش وزن خشک بوته، اندازه کوچکتر بوته و ارتفاع کمتر گیاهان مشاهده می‌گردد. علاوه بر آن، از آن‌جا که تنش خشکی موجب اختلال در جذب عناصر غذایی و بر هم زدن تعادل یونی در گیاه می‌شود می‌توان کاهش رشد و توسعه برگ‌ها و ساقه را به کمبود عناصر غذایی و اختلال تغذیه‌ای ناشی از خشکی نسبت داد (Omidi, 2009). بر طبق سایر گزارشات نیز تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع بوته، وزن خشک بوته، وزن تر بوته و تعداد شاخه فرعی می‌شود (Salamati *et al.*, 2011).

فلورسانس کلروفیل از جمله صفات فیزیولوژیکی است که در ارتباط با فتوسنتز گیاه می‌باشند. در این آزمایش، تحت شرایط تنش فلورسانس کلروفیل کاهش نشان داد و بین ارقام نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. ارقام پرنیان، محلی اصفهان و گلدشت دارای میانگین بالایی برای فلورسانس کلروفیل بودند، درحالی‌که رقم گل‌مهر، پدیده و زرقان تحت شرایط تنش میانگین پایینی را به خود اختصاص داد (جدول ۳). شاخص حساس تحمل سیستم فتوسنتزی به تنش‌های محیطی، بررسی فلورسانس کلروفیل می‌باشد (Maxwell and Johnson, 2000). گزارش شده است که فلورسانس کلروفیل تحت شرایط تنش، کاهش نشان می‌دهد (Baker and Rosenquist, 2004). الگوی تغییر فلورسانس کلروفیل مشاهده شده در این مطالعه مشابه الگوی گزارش شده توسط برخی محققین می‌باشد (Zlatev and Yordanov, 2004). از طرف دیگر، در رابطه با اثر تنش خشکی بر روابط آبی؛ پتانسیل اسمزی، پتانسیل کل آب برگ و محتوای آب نسبی برگ مورد مطالعه قرار گرفتند.

تجزیه واریانس نشان داد که اثر خشکی بر این صفات معنی‌دار بود و بین ارقام از نظر صفات فوق اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۲). پتانسیل اسمزی بین ارقام مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری نشان داد و پرنیان، گلدشت، صفه، رقم بومی و گل‌مهر به ترتیب کمترین (منفی‌ترین) مقدار و زرقان و پدیده به ترتیب بیشترین (مثبت‌ترین) مقدار این صفت را در متوسط سطوح تنش نشان دادند. تنش خشکی پتانسیل کل آب برگ را از ۱/۰۴- مگاپاسکال در شرایط شاهد به ۱/۷۱- مگاپاسکال در شرایط تنش کاهش داد و بیشترین و کمترین ارزش این صفت به ترتیب در ارقام سینا و پدیده مشاهده شد (جدول ۳). این نتایج با گزارشات پیشین مطابقت دارد (Moustafa *et al.*, 1996). دیگر محققان گزارش کرده‌اند که ارقام متحمل پتانسیل آب برگ بهتری در مقایسه با ارقام حساس دارند (Musick *et al.*, 1994). از طرف دیگر کاهش پتانسیل آب برگ و پتانسیل اسمزی برگ مکانیسم‌هایی برای بقای گیاه به هنگام مواجه شدن با تنش کمبود آب محسوب می‌شوند (Chimenti *et al.*, 2002). تنظیم اسمزی در نتیجه تجمع نمک‌های محلول در سلول‌های گیاهی در پاسخ به تنش صورت می‌گیرد. بنابراین، تحت تنش پتانسیل اسمزی کاهش یافته و آب جذب سلول شده و این باعث حفظ تورژسانس سلول می شود. از این رو، تنظیم اسمزی در ارقام متحمل بیشتر از حساس بود (Pandey and Penna, 2017). از طرف دیگر، محتوای آب نسبی برگ با افزایش تنش خشکی کاهش نشان داد (جدول ۳) و تفاوت بین دو سطح تنش معنی‌دار بود. اگرچه بین ارقام گلرنگ از نظر این خصوصیت اختلاف معنی‌داری وجود داشت ولی بیشتر ارقام دارای محتوای آب نسبی برگ بالایی بودند (جدول ۳). رقم پرنیان همراه با گلدشت ارقام برتر از لحاظ این ویژگی بودند و ارقام پدیده و زرقان کمترین محتوای آب نسبی برگ را داشتند (جدول ۳). گزارش‌های مختلف نشان داده‌اند که ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی دارای محتوای آب نسبی برگ بیشتری نسبت به ژنوتیپ‌های حساس هستند (Azimzadeh, 2010; Martinez *et al.*, 2004). در طی تنش، تعادل آب گیاهان به هم می‌خورد و در نتیجه محتوای آب نسبی برگ و پتانسیل آب برگ کاهش می‌یابد (Bajjii *et al.*, 2001).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه گلرنگ تحت تنش خشکی

Table 2- Analysis of variance for studied traits in safflower under drought stress

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares				
		ارتفاع بوته Plant Height	وزن خشک بوته Plant Dry Weight	وزن تر بوته Plant Fresh Weight	تعداد شاخه فرعی Number of sub-branches	فلورسانس کلروفیل Chlorophyll fluorescence
تکرار Replication	3	4.08^{ns}	9.04**	11.05**	0. 07^{ns}	0.005^{ns}
تنش Stress	2	853.14**	18.67**	26.99**	5.60**	0.042**
خطای اصلی Main Error	6	1.93	0.039	0.189	0.029	0.0032
رقم cultivar	9	125.98**	9.67**	92.87**	2.96**	0.98**
رقم×تنش cultivar×stress	18	9.97^{ns}	0.038^{ns}	0.88^{ns}	0.017^{ns}	0.030^{ns}
خطای فرعی Sub main Error	81	10.13	0.031	0.79	0.019	0.032
ضریب تغییرات CV (%)		5.79	7.04	8.51	6.48	8.97

^{ns} و ** بترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ می‌باشد.

^{ns} and ** are non significantly and significantly in 1% probability levels respectively

ادامه جدول ۲

Table 2 continued

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares				
		پتانسیل کل آب برگ LWP	محتوای آب نسبی برگ Relative Water Content	پتانسیل اسمزی برگ Osmotic Potential	غلظت پرولین Proline concentration	غلظت گلایسین بتائین Glycine Betaine concentration
تکرار Replication	3	0.009^{ns}	0.61^{ns}	0.016^{ns}	0.041^{ns}	0.043^{ns}
تنش Stress	2	10.09**	87.56**	2.98**	21.48**	2.82**
خطای اصلی Main Error	6	0.0016	0.67	0.011	0.036	0.049
رقم cultivar	9	0.94**	75.67**	0.58**	7.52**	1.39**
رقم×تنش cultivar×stress	18	0.019^{ns}	1.40^{ns}	0.015^{ns}	0.041^{ns}	0.025^{ns}
خطای فرعی Sub main Error	81	0.016	1.34	0.013	0.038	0.033
ضریب تغییرات CV (%)		9.18	8.30	9.18	8.79	9.06

^{ns} و ** بترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ می‌باشد.

^{ns} and ** are non significantly and significantly in 1% probability levels respectively

از طرف دیگر به منظور بررسی روابط صفات مرتبط با تحمل در برابر تنش خشکی در این پژوهش تجزیه همبستگی کانونیک بین دو گروه صفات فیزیولوژیکی شامل پتانسیل کل آب برگ، محتوای آب نسبی برگ، پتانسیل اسمزی برگ، فلورسانس کلروفیل، غلظت پرولین و غلظت گلایسین بتائین و صفات مورفولوژیک شامل ارتفاع بوته، وزن خشک بوته، وزن تر بوته و تعداد شاخه فرعی انجام گرفت.

برای آزمون معنی‌داری آماره ویلکس لمبدا از آماره F تقریبی استفاده گردید. آماره ویلکس لمبدا در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار گردید، یعنی همبستگی معنی‌داری بین صفات فیزیولوژیکی از یک طرف و صفات مورفولوژیک از سوی دیگر وجود داشت. به عبارت دیگر با توجه به معنی‌دار بودن تابع اول از این تابع در تفسیر نتایج استفاده شد (جدول ۴).

اولین ترکیب خطی از صفات فیزیولوژیکی (Wi) و صفات مورفولوژیک (Vi) مورد مطالعه همراه با ضرایب مربوطه (a_{ij} و b_{ik}) به‌صورت زیر به‌دست آمد (جداول ۵ و ۶):

$$W_۴ = ۰/۲۹۹X_۱ - ۰/۳۷۶X_۲ + ۰/۱۷۷X_۳ - ۰/۲۶۵X_۴ + ۰/۱۶۹X_۵ - ۰/۱۰۹X_۶$$

$$V = -۰/۲۵۰Y_۱ + ۰/۲۶۷Y_۲ + ۰/۹۸۷Y_۳ + ۰/۱۳۰Y_۴$$

در تبیین تابع کانونیک مربوط به صفات فیزیولوژیکی همه متغیرها به غیر از غلظت پرولین، محتوای آب نسبی برگ و پتانسیل اسمزی برگ ضرایب مثبت داشتند. پتانسیل کل آب برگ ($X_۱$) با ضریب ۰/۲۹۹ بیشترین نقش را در توجیه اولین متغیر کانونیک به خود اختصاص داد. برای تابع کانونیک مربوط به صفات مورفولوژیک، ارتفاع بوته دارای ضریب منفی بود و بقیه صفات دارای ضریب مثبت بودند. وزن تر بوته با ضریب ۰/۹۸۷ بیشترین تأثیر را در تبیین این متغیر کانونیک داشتند. از طرف دیگر، محتوای آب نسبی برگ با ضریب ۰/۳۷۶- کمترین نقش را در تبیین اولین تابع کانونیک صفات فیزیولوژیکی داشت. به نظر می‌رسد ارقامی که پتانسیل کل آب برگ بالاتری در شرایط تنش داشته باشند، وزن تر بوته و سایر صفات مورفولوژیک (به غیر از ارتفاع بوته) بیشتری نیز دارند. نشان داده شده است که تحت تنش کمبود آب، مقدار آب برگ در گیاهان و متعاقب آن عملکرد دانه کاهش می‌یابد (Sheikh *et al.*, 2021). هم‌چنین

گزارش شده است با کاهش پتانسیل آب برگ تحت تنش کمبود آب عملکرد دانه هم کاهش می‌یابد.

همبستگی ساختاری بین متغیرهای اندازه‌گیری شده یک گروه با توابع کانونیک مربوط به همان گروه در جداول ۷ و ۸ آمده است. اولین تابع کانونیک صفات مورفولوژیک (V_1) همبستگی مثبت و بالایی با صفت وزن تر بوته (۰/۹۶۴) و تعداد شاخه فرعی (۰/۹۶۵) داشت، اما همبستگی ساختاری آن با ارتفاع بوته و وزن خشک بوته منفی بود. اولین تابع کانونیک صفات فیزیولوژیکی (W_1) نیز همبستگی مثبت با پتانسیل کل آب برگ (۰/۷۸۸) نشان داد؛ بنابراین ژنوتیپ هایی که وزن تر بوته و تعداد شاخه فرعی بیشتری دارند از پتانسیل کل آب برگ بیشتری نیز برخوردارند.

جدول ۳- مقایسه میانگین سطوح مختلف تنش خشکی و ارقام برای صفات مطالعه شده در گلرنگ

Table 3- Mean comparison of stress levels and cultivars for studied traits in safflower

	ارتفاع بوته Plant Height (cm)	وزن خشک بوته Plant Dry Weight (g)	وزن تر بوته Plant Fresh Weight (g)	تعداد شاخه فرعی Number of sub-branches (no.)	فلورسانس کلروفیل Chlorophyll fluorescence
سطوح تنش Stress levels					
شاهد Control	72.10a	13.87a	28.78a	8.50a	0.8354a
تنش خشکی ملایم Moderate drought stress	66.08b	11.87b	26.45b	8.13ab	0.8244ab
تنش خشکی شدید Severe drought stress	55.59c	9.49c	24.93c	7.00b	0.7867b
رقم cultivars					
سینا Sina	78.64a	12.87ab	26.45ab	7.05bc	0.8243c
گلدشت Goldasht	80.02a	14.72a	28.92a	8.50a	0.8584a
صفه Sofe	79.45a	13.52a	27.56a	7.75b	0.8356b
محلی اصفهان Isfahan landrace	65.58bc	10.97bc	23.43bc	7.75b	0.8595a
فرامان Faraman	69.39b	11.86b	24.89b	8.00ab	0.8393b
پدیده Padideh	57.71c	9.33c	22.07c	6.80c	0.8004d
گل‌مهر Golmehr	66.59bc	10.89bc	24.45b	7.74b	0.8082d
پرنیان Parnian	80.64a	13.57a	27.48a	8.51a	0.8598a
زرقان Zarghan	55.89c	9.19c	22.03c	6.75c	0.7989d
رقم بومی Landrace cultivar	64.31bc	11.88b	24.61b	7.73b	0.8292c

میانگین‌های با حروف مشابه از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means with similar letters are not statistically significant at the 5% probability level.

ادامه جدول ۳

Table 3 continued

	پتانسیل کل آب برگ LWP (MPa)	محتوای آب نسبی برگ Relative Water Content (%)	پتانسیل اسمزی برگ Osmotic Potential (MPa)	غلظت پرولین Proline concentration (µmol.g fw^{-1})	غلظت گلایسین بتائین Glycine Betaine concentration (µmol.g fw^{-1})
سطوح تنش Stress levels					
شاهد Control	-1.04a	74.07a	-0.98b	2.09c	1.15c
تنش خشکی ملایم Moderate drought stress	-1.31b	71.82ab	-1.10ab	4.79b	2.98b
تنش خشکی شدید Severe drought stress	-1.71c	65.01b	-1.43a	6.90a	4.81a
رقم cultivars					
سینا Sina	-1.15a	72.41b	-1.41ab	5.04b	3.94ab
گلدشت Goldasht	-1.25b	75.89a	-1.48a	6.90a	4.91a
صفه Sofe	-1.17a	73.41ab	-1.45a	5.25b	3.25b
محلی اصفهان Isfahan landrace	-1.43c	70.24b	-1.36b	3.49c	2.61c
فرامان Faraman	-1.65d	72.32b	-1.31b	4.39bc	3.31b
پدیده Padideh	-1.67d	67.34c	-1.03c	2.09d	1.95d
گل‌مهر Golmehr	-1.49c	70.40b	-1.40a	4.47bc	3.91ab
پرنیان Parnian	-1.18a	76.31a	-1.49a	6.88a	4.99a
زرقان Zarghan	-1.64d	66.49c	-1.16c	2.15d	1.08d
رقم بومی Landrace cultivar	-1.35bc	71.31b	-1.42a	4.82bc	3.41b

میانگین‌های با حروف مشابه از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means with similar letters are not statistically significant at the 5% probability level.

جدول ۴- مقادیر همبستگی بین جفت متغیرهای کانونیک در ارقام گلرنگ برای متوسط سطوح تنش

Table 4- Correlation values between pairs of canonical variables in safflower cultivars for average stress levels

همبستگی کانونیک Canonical correlation	مقادیر F F values	سطح احتمال ارزش P Probability level of p	توان دوم همبستگی کانونیک Square of Canonical correlation	نسبت تجمعی Cumulative ratio
0.979	70.081	0.000002	0.958	0.689
0.791	22.977	0.0845	0.626	0.721
0.649	8.796	0.3595	0.421	0.862
0.231	0.817	0.8450	0.053	1

جدول ۵- ضرایب کانونیک استانداردشده برای متغیرهای کانونیک صفات مورفولوژیک ارقام گلرنگ در متوسط سطوح تنش

Table 5- Standardized canonical coefficients for canonical variables morphological traits of safflower cultivars at average stress levels

Trait صفت	V_1	V_2	V_3	V_4
ارتفاع بوته Plant height	-0.250	1.715	-1.495	-0.495
وزن خشک بوته Plant dry weight	0.267	-0.624	2.341	-0.833
وزن تر بوته Plant fresh weight	0.987	0.305	1.395	0.256
تعداد شاخه فرعی Number of sub-branches	0.130	-۰0.769	-0.588	-1.380

جدول ۶- ضرایب کانونیک استانداردشده برای متغیرهای کانونیک صفات فیزیوژیکی ارقام گلرنگ در متوسط سطوح تنش

Table 6- Standardized canonical coefficients for canonical variables of physiological traits of safflower cultivars at average stress levels

Trait صفت	W_1	W_2	W_3	W_4
پتانسیل کل آب برگ Total leaf water potential	0.299	-0.933	-1.328	-0.389
محتوای آب نسبی برگ Leaf relative water content	-0.376	0.725	-0.554	1.517
پتانسیل اسمزی Osmotic potential	-0.109	0.539	-0.241	0.945
فلورسانس کلروفیل Florescence chlorophyll	0.177	-0.675	1.657	0.669
غلظت پرولین Proline concentration	-0.265	0.613	-1.701	-2.189
غلظت گلایسین بتائین Glycine betaine concentration	0.169	-0.517	1.279	4.075

جدول ۷- همبستگی ساختاری بین صفات مورفولوژیک و متغیر کانونیک مربوطه در متوسط سطوح تنش

Table 7- Structural correlation between morphological traits and related canonical variables in mean stress levels

trait صفت	V_1	V_2	V_3	V_4
ارتفاع بوته Plant height	-0.225	0.405	0.094	0.461
وزن خشک بوته Plant dry weight	-۰0.669	0.435	-0.266	0.039
وزن تر بوته Plant fresh weight	0.964	-0.299	0.805	0.677
تعداد شاخه فرعی Number of sub-branches	0.965	-0.441	0.706	0.429

همبستگی توابع کانونیک یک گروه با متغیرهای اندازه‌گیری شده گروه دیگر در جداول ۹ و ۱۰ آورده شده است. تابع کانونیک W_1 همبستگی مثبت و بالایی با وزن تر بوته، تعداد شاخه فرعی و وزن خشک بوته داشت، اما همبستگی آن با ارتفاع بوته منفی بود. تابع کانونیک V_1 نیز همبستگی مثبت و بالایی با محتوای آب نسبی برگ، غلظت پرولین، پتانسیل اسمزی و پتانسیل کل آب برگ داشت. از طرف دیگر همبستگی غلظت گلایسین بتائین و فلورسانس کلروفیل با تابع V_1 مثبت ولی پایین بود. می‌توان گفت تابع W_1 بیشتر متأثر از صفات مورفولوژیک می‌باشد به‌غیر از صفت ارتفاع بوته، اما تابع V_1 بیشتر تحت تأثیر کلیه صفات فیزیولوژی به‌غیر از غلظت گلایسین بتائین و فلورسانس کلروفیل (به‌خاطر همبستگی

پایین این صفات) می‌باشد. به‌طور کلی، نتایج حاصل از تجزیه همبستگی کانونیک نشان داد که برای گزینش ژنوتیپ‌های دارای وزن خشک بوته و صفات مورفولوژیک مطلوب‌تر و متعاقب آن متحمل‌تر، صفاتی از قبیل محتوای آب نسبی برگ، غلظت پرولین، پتانسیل اسمزی و پتانسیل کل آب برگ بالاتر می‌توانند به‌عنوان معیارهای مناسب در نظر گرفته شوند. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه در یولاف و شاخص برداشت و محتوای آب نسبی برگ تحت شرایط تنش کمبود آب توسط برخی از محققین نشان داده شده است (Jazayeri Nooshabadi and Rezaii, 2007). از طرف دیگر، همبستگی مثبت مقدار کلروفیل با عملکرد دانه و شاخص سطح برگ در ژنوتیپ‌های گندم تحت تنش کمبود آب گزارش شده است (Daryanto *et al.*, 2016). در ارقام برنج نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری بین محتوای کلروفیل، غلظت پرولین و محتوای آب نسبی برگ با عملکرد دانه تحت شرایط کمبود آب اظهار شده است (Pirdashti *et al.*, 2009). هم‌چنین گزارش شده است که تنش کمبود آب باعث کاهش معنی‌دار RWC در بخش هوایی لوبیا می‌گردد. این محققان همبستگی منفی و معنی‌داری بین RWC اندام هوایی و غلظت پرولین مشاهده کردند (Luzcano-Ferrat and Lovatt, 1999). همبستگی‌های ساده همیشه نمی‌توانند به‌اندازه کافی روابط علت و معلولی بین صفات را منعکس کنند. در برنامه‌های اصلاحی، ارتباط بین صفات بایستی مورد ارزیابی قرار گیرد، به‌خصوص زمانی که صفت مقابل مطلوب باشد، زیرا تغییر در یک صفت، باعث تغییر در صفات دیگر می‌شود. تجزیه همبستگی کانونیک به دلیل تجزیه هم‌زمان چندین متغیر، روشی مؤثر برای یافتن روابط صفات می‌باشد. هم‌چنین به‌جای این‌که فقط به عملکرد گیاه زراعی در انتهای فصل رشد توجه شود، این تجزیه این امکان را فراهم می‌نماید تا وضعیت گیاه زراعی را که منجر به پاسخ عملکرد مشخصی می‌شود، مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد (Saba *et al.*, 2018)؛ بنابراین از این روش برای مطالعات مشابه در آینده می‌توان استفاده کرد.

جدول ۸- همبستگی ساختاری بین صفات فیزیولوژیکی و متغیر کانونیک مربوطه در متوسط سطوح تنش

Table 8- Structural correlation between physiological traits and related canonical variables in mean stress levels

صفت trait	W_1	W_2	W_3	W_4
پتانسیل کل آب برگ Total leaf water potential	0.788	-0.509	0.255	-0.220
محتوای آب نسبی برگ Leaf relative water content	0.082	-0.610	-0.049	-0.295
پتانسیل اسمزی Osmotic potential	-0.014	-0.660	-0.120	-0.435
فلورسانس کلروفیل Florescence chlorophyll	0.129	-0.756	0.013	-0.377
غلظت پرولین Proline concentration	-0.139	0.689	-0.004	0.324
غلظت گلایسین بتائین Glycine betaine concentration	0.047	0.640	0.087	0.475

جدول ۹- همبستگی بین صفات مورفولوژیک با متغیر کانونیکی حاصل از صفات فیزیولوژیکی

Table 9- Correlation between morphological traits with canonical variables derived from physiological traits

صفت trait	W_1	W_2	W_3	W_4
ارتفاع بوته Plant height	-0.420	0.087	-0.492	-0.267
وزن خشک بوته Plant dry weight	0.649	-0.068	0.435	-0.366
وزن تر بوته Plant fresh weight	0.763	0.519	0.211	0.540
تعداد شاخه فرعی Number of sub-branches	0.750	0.341	0.438	0.570

جدول ۱۰- همبستگی بین صفات فیزیولوژیک با متغیر کانونیکی حاصل از صفات مورفولوژیک

Table 10- Correlation between physiological traits with canonical variables resulting from morphological traits

صفت trait	V_1	V_2	V_3	V_4
پتانسیل کل آب برگ Total leaf water potential	0.718	-0.050	0.681	0.880
محتوای آب نسبی برگ Leaf relative water content	0.979	0.134	-0.679	-0.764
پتانسیل اسمزی Osmotic potential	0.941	0.389	-0.865	-0.609
فلورسانس کلروفیل Florescence chlorophyll	0.475	0.400	-0.913	-0.612
غلظت پرولین Proline concentration	0.950	-0.235	0.789	0.729
غلظت گلایسین بتائین Glycine betaine concentration	0.214	-0.351	0.879	0.651

نتیجه‌گیری کلی

بر طبق نتایج مقایسه میانگین رقم پرنیان متحمل‌ترین و ارقام پدیده و زرقان حساس‌ترین ارقام تحت تنش خشکی بودند. هم‌چنین بر طبق نتایج به‌دست آمده از تجزیه همبستگی کانونیک مشخص شد که بین جفت متغیرهای کانونیکی حاصل از صفات فیزیولوژیکی با صفات مورفولوژیک همبستگی معنی‌دار وجود دارد. پتانسیل کل آب برگ با متغیر کانونیکی مربوطه و هم‌چنین بین وزن تر بوته و تعداد شاخه فرعی با متغیر کانونیکی مربوطه همبستگی بالایی وجود داشت؛ بنابراین ژنوتیپ‌هایی که وزن تر بوته و تعداد شاخه فرعی بیشتری دارند از پتانسیل کل آب برگ بیشتری نیز برخوردارند. بر طبق این نتایج به نظر می‌رسد که صفات مورفولوژیکی بوته تأثیر زیادی در حفظ پتانسیل کل آب برگ گیاه دارند که این صفت (پتانسیل کل آب برگ) در تحمل به تنش صفت مهمی محسوب می‌شود. در مجموع با توجه به این نتایج می‌توان گفت که صفات مورفولوژیکی بوته مطلوب‌تر، با تحمل تنش خشکی ارتباط دارند.

References

Abarshahr, M., Rabie, B. and Samizadhe Lahigi, H. 2011. Assessing genetic diversity of rice varieties under dourght stress conditions. *Notulae Scientia Biologicae*, 3: 114-123.

Alavi Siney, S.M. and Saba, J. 2014. Studying the association between physiological and agronomical characteristics of different wheat genotypes in dryland condition using canonical correlation analysis. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 7: 13-23 (In Persian).

Azimzadeh, M. 2010. Evaluation drought tolerance in 16 safflower genotype. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8: 871-877. (In Persian).

Bagheri, H., Andalibi, B. and Azimi-Moghaddam, R. 2012. Effect of atrazine anti-transpiration application on improving physiological traits, yield and yield components of safflower under rainfed condition. *Journal of Crops Improvement*, 14: 1-16.

Bajjii, M., Lutts, S. and Kinet, K.M. 2001. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum*) cultivars performing in arid conditions. *Plant Science*, 60: 669-681.

Baker, N.R. and Rosenquist, E. 2004. Application of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: An examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 55: 1607-1627.

Bassil, B.S. and Kaffka, S.R. 2002. Response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to saline soils and irrigation. II Crop response to salinity. *Agriculture Water Management*, 54: 81-92.

Bates, L.S., Walderen, R.D. and Taere, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207.

Chimenti, C.A., Pearson, J. and Hall, A.J. 2002. *Osmotic adjustment in Maize: Genetic variation and association with water uptake*. In: Edmeades, GO. (Ed.). Developing Drought and Low N-Tolerant Maize. (pp. 200-203). CIMMYT, Mexico.

Dod, M.B., Lauenroth, W.K., Burke, I.C. and Chapman, P.L. 2002. Associations between vegetation patterns and soil texture in the short grass steppe. *Plant Ecology*, 158: 127-137.

Daryanto, S., Wang, L. and Jacinthe, P.A. 2016. Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. *PLoS One*, 11(5): e0156362.

Gittins, R. 1985. Canonical analysis. a review with application to ecology. Springer-Verly Heidelberg, Germany.

Grieve, C.M. and Grattan, S.R. 1983. Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. *Plant and Soil*, 70: 303-307.

Jazayeri Nooshabadi, M.R. and Rezaii, A.M. 2007. Relationship among traits of oat (*Avena Sativa* L.) cultivars under drought stress and non-stress conditions. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 11: 324-331.

Khalid, A., Athar, H.U.R., Zafar, Z.U., Akram, A., Hussain, K., Manzour, F., Al-Qurainy and Ashraf, M. 2015. Photosynthetic capacity of canola (*Brassica napus* L.) plants as affected by glycinebetaine under salt stress. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 88: 78-86.

Luzcano-Ferrat, I. and Lovatt, C.J. 1999. Relationship between relative water content, nitrogen pools and growth of *Phaseolus vulgaris* L. and *P. acutifolius* L. during water deficit. *Crop Science*, 39: 467-475.

Makela, P., Peltonen-Sainio, P., Jokinen, K., Pehu, E., Setaia, H., Hinkkanen, R. and Somersalo, S. 1996. Uptake and translocation of foliar-applied glycine betaine in crop plants. *Plant Science*, 121: 221-230.

Martinez, J.P., Luttus, S., Schanck, A. and Banjji, M. 2004. Is osmotic adjustment required for water stress resistance in the Mediterranean shrub *Atriplex halimus* L. *Journal of Plant Physiology*, 16: 1041-1051.

Maxwell, K. and Johnson, G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence-a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51: 659-668.

Mirmousavi, S. and Kiani, H. 2017. An investigation on Copen's Climate Classification in 1975 in Comparison with the Output of MIROC in the years 2030, 2050, 2080, and 2100 under Scenario A1B and A2. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 6(2): 59-72. (In Persian).

Morant-Manceau, A., Pradier, E. and Tremblin, G. 2004. Osmotic adjustment, gas exchanges and chlorophyll fluorescence of a hexaploid triticale and its parental species salt stress. *Journal of Plant Physiology*, 169: 25-33.

Moustafa, M., Boersma, A.L. and Krostad, E. 1996. Response of four spring wheat cultivars to drought stress. *Crop Science*, 36: 982-986.

Musick, J.T., Jones, O.R., Stewart, B.A. and Dusek, D.A. 1994. Water-yield relationships for irrigated and dryland wheat in the U.S. southern plains. *Agronomy Journal*, 86: 980-986.

Naghavi, M.R. and Khalili, M. 2017. Evaluation of genetic diversity and traits relations in wheat cultivars under drought stress using advanced statistical methods. *Acta agriculturae Slovenica*, 109 (2): 403-415.

Noroozi, M. and Kazemini, S.A.R. 2012. Effect of water stress and plant density on growth and seed yield of safflower. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10: 781-788. (In Persian).

Omidi, A.M. 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 Persian).

Pandey, M. and Penna, S. 2017. Time course of physiological, biochemical, and gene expression changes under short-term salt stress in *Brassica juncea* L. *The Crop Journal*, 5(3): 219-230.

Pirdashti, H., Sarvestani Z.T. and Bahmanyar, M.A. 2009. Comparison of physiological responses among four contrast rice cultivars under drought stress conditions. *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*, 37: 2070-3740.

Rascio, A., Carlino, E., Santis, G. and Fonzo, N. 2012. A discriminant analysis to categorize durum wheat varieties in drought-tolerance classes on the basis of rheological and physiological traits. *Cereal Research Communications*, 41: 88-96

Saadia, M., Jamil, A., Akram, N.A. and Ashraf, M. 2012. A study of proline metabolism in canola (*Brassica napus* L.) seedlings under salt stress. *Molecules*, 17: 5803-5815.

Saba, J., Tavana, S., Qorbanian, Z., Shadan, E., Shekari, F. and Jabbari, F. 2018. Canonical correlation analysis to determine the best traits for indirect improvement of wheat grain yield under terminal drought stress. *Journal of Agricultural Science Technology*, 20: 1037-1048.

Salamati, M.S., Zeinaly, H. and Yousefi, E. 2011. Investigation of genetic variation in *Carthamus tinctorius* L. genotypes using agro-morphological traits. *Research Journal of Agricultural Science*, 7: 101-108

Sharma, S. 1996. *Applied Multivariate Techniques*. John Wiley and Sons, Inc., USA.

Sheikh, S.B., Anjuman, H., Sofi, J.H., Owais, A.W., Sheikh, Z.N., Niyaz, A.D., Faheem, Sh.B. and Sheikh, M. 2021. Plant drought stress tolerance: understanding its physiological, biochemical and molecular mechanisms. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 35(1): 1912-1925.

Verslues, P.E., Kim, Y.S. and Zhu, J.K. 2007. Alterrd ABA, Proline and hydrogen peroxide in an Arabidopsis glutamate: glyoxylate aminotrasferase mutant. *Plant Molecular Biology*, 64: 205-217.

Zlatev, Z. and Yordanov, I.T. 2004. Effect of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 30: 3-18.

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 5, Issue 1, Spring and Summer 2023, P. 311-325

Evaluation of relationships between traits related to drought tolerance using canonical correlation analysis in safflower

Mohammad Reza Naghavi[1*], Abolfazl Tavassoli[1], Esmail Seidy[1]

[1] Department of Agriculture, Payame Noor University, Iran

[*]Corresponding Author: mr_naghavi@pnu.ac.ir

Received: 22 March 2022 Accepted: 21 May 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.334667.1215**

Abstract

Introduction: Safflower has a special place among oilseeds compatible with the climatic conditions of Iran as a plant tolerant of drought and salinity stress and having different growth types. On the other hand, due to the fact that Iran is one of the arid and semi-arid regions with an average of one-third of global rainfall, in such areas some important stages of plant growth, including safflower, are affected by reduced soil water potential. In order to adapt the plant to stressful climatic conditions, morphological and physiological changes and the accumulation of new metabolites, along with structural changes, increase efficiency under stressful conditions. Therefore, a better understanding of the relationship between environment and genotype and the study of physiological, biochemical, and morphological traits of plants in adverse environmental conditions, especially drought stress, will lead to a better understanding of plant adaptation and events involved in drought tolerance mechanisms. Canonical correlation analysis, like other multivariate statistical methods, is a way to estimate or reduce the number of data points. This method is a generalized multiple regression mode that is used to determine the relationship between two sets of variables. In this regard, this research was conducted to better understand the relationships among different traits under drought stress and use these relationships to select more desirable cultivars.

Materials and methods: This experiment was performed on a farm located at 5 km of Zahedan-Bam road in the Lakhshk area. This research was conducted as a split plot based on a randomized complete block design with four replications. An Experiment with three stress levels, including severe drought stress (irrigation after 250 mm of evaporation from the Class A evaporation pan surface), mild drought stress (irrigation after 175 mm of evaporation from the Class A evaporation pan surface), and normal (irrigation after 100 mm of evaporation from the Class A evaporation pan surface), was performed as the main factor, and 10 safflower cultivars were used as the sub-main factor. Drought stress started at the stem elongation stage. To measure the studied morphological and physiological traits in the experiment, sampling was performed at the grain formation stage. Before data analysis, a data normality test was performed, and after ensuring normal data distribution, analysis of variance and mean comparison by the Duncan method were performed. Due to the insignificance of the interaction of stress and cultivar in the analysis of variance of the data, canonical correlation analysis was performed for the mean of all stress levels using Statistica software.

Results and discussion: According to the analysis of variance, the studied traits were affected by irrigation treatment, and there was a significant difference between the cultivars in terms of all studied traits under stress. This indicates the existence of high genetic diversity in terms of the mentioned traits and the possibility of selection for these traits among the studied cultivars. Also, the interaction of cultivar and stress was not significant for all traits. On the other hand, in order to investigate the relationships between traits related to drought stress tolerance in this study, canonical correlation analysis between two groups of physiological traits, including total leaf water potential, leaf relative water content, leaf osmotic potential, chlorophyll fluorescence, proline concentration, and glycine betaine concentration, and morphological traits, including plant height, plant dry weight, plant fresh weight, and number of sub-branches, was determined. The Wilkes -Lambda statistic was significant at the 1% probability level, so there was a significant correlation between physiological traits and morphological traits. In explaining the canonical function related to physiological traits, all variables except proline concentration, leaf relative water content, and leaf osmotic potential had positive

coefficients. Total leaf water potential (X1) with a coefficient of 0.299 played the greatest role in justifying the first canonical variable. For canonical functions related to morphological traits, plant height had a negative coefficient, and other traits had a positive coefficient. Plant fresh weight with a coefficient of 0.987 had the greatest effect in explaining this canonical variable. On the other hand, the relative water content of the leaves, with a coefficient of -0.376, played the least role in explaining the first canonical function of physiological traits. It seems that cultivars that have higher total leaf water potential under stress conditions have higher plant fresh weight and other morphological traits (except plant height).

Conclusion: According to the results of the mean comparison, the Parnian cultivar was the most tolerant, and the Padideh and Zarghan cultivars were the most sensitive cultivars under drought stress. Also, based on the results obtained from canonical correlation analysis, it was found that there is a significant correlation between the pair of canonical variables resulting from physiological traits and morphological traits. There was a high correlation between total leaf water potential and the relevant canonical variable, as well as between plant fresh weight and the number of sub-branches with the relevant canonical variable; therefore, genotypes that have a higher plant fresh weight and a larger number of sub-branches have more total leaf water potential. In general, according to these results, it can be stated that more favorable morphological traits of the plant are associated with drought tolerance.

Keywords: Chlorophyll fluorescence, Glycine betaine, Osmotic potential