مقایسه تحمل به خشکی ارقام ایرانی و خارجی گلرنگ با استفاده از شاخص‌های تحمل (مقالهٔ پژوهشی)

۱- محمدرضا نقوی، استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران
۲- عیسی پیری، دانشیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران
۳- معروف خلیلی، دانشیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران
۴- ابوالفضل توسلی*، استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران
A.Tavassoli@pnu.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۷
پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۳

چکیده

به منظور ارزیابی تحمل به خشکی ارقام گلرنگ با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور شهرستان خاش اجرا شد. تیمارهای آزمایشی از چهار سطح تنش شامل قطع آبیاری در مراحل گل‌دهی، غوزه‌دهی، تشکیل دانه و بدون قطع آبیاری به عنوان عامل اصلی؛ و پنج سطح ارقام گلرنگ شامل ارقام داخلی گلمهر، پدیده و فرامان و ارقام خارجی یوت و نبراسکا ۱۰ به عنوان عامل فرعی تشکیل شد. نتایج نشان داد که بالاترین میزان عملکرد دانه از تیمار بدون قطع آبیاری و رقم خارجی یوت حاصل شد. کمترین عملکرد دانه نیز مرتبط با تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی و رقم پدیده بود. ضرایب همبستگی ساده بین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی و عملکرد دانه تحت شرایط هر سه تنش نشان داد که شاخص‌های MP، GMP، STI، RDI، YI همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در شرایط شاهد و تنش داشتند. بنابراین، برای غربال مطلوب‌تر ارقام متحمل گلرنگ می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. افزون بر این، همبستگی بین شاخص‌های MP، GMP، STI، RDI، YI در هر سه شرایط تنش مثبت و معنی‌دار بود که با توجه به همبستگی آن‌ها با عملکرد دانه در هر سه شرایط بر مطلوبیت استفاده همزمان این شاخص‌ها در گزینش ارقام می‌افزاید. در مجموع برای ارقام گلرنگ، شاخص‌های MP، GMP و STI مناسب‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی تحمل به تنش خشکی در تیمارهای مختلف مورد مطالعه بودند. همچنین بر اساس این شاخص‌ها، نمودار بای‌پلات و تجزیه خوشه‌ای، رقم یوت در هر سه شرایط تنش خشکی مورد مطالعه به عنوان متحمل‌ترین و رقم پدیده حساس‌ترین رقم شناسایی شد.

واژگان کلیدی: خشکی، خاش، عملکرد دانه، گیاه روغنی، مناطق خشک

مقدمه

کشور ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان قرار گرفته است. حدود ۸۰ درصد از اراضی کشور در حوزه مناطق خشک و نیمه خشک قرار دارد [۳۴]. از این رو، کشت گونه‌های سازگار با مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند به عنوان یک راهکار اساسی برای رونق تولید پایدار کشاورزی در این مناطق مطرح باشد. اخیراً در برنامه‌ریزی‌های الگوی کاشت مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، یکی از محصولات عمده در نظر گرفته شده برای این مناطق، کشت انواع گیاهان زراعی دانه روغنی است [۲۷].

در بین گیاهان زراعی تولید کننده روغن، گلرنگ نقش بسزایی در تولید روغن کشور دارد. روغن به عنوان یکی از منابع اصلی تأمین پروتئین و انرژی، نقش ارزنده‌ای در تغذیه انسان دارد [۳۲]. با توجه به روند روزافزون رشد مصرف که ناشی از افزایش جمعیت و بهبود وضعیت اقتصادی مردم است و با در نظرگرفتن حداقل مصرف سرانه روغن در ایران که حدود ۲۱/۶ کیلوگرم می‌باشد، در حال حاضر بیش از ۹۰ درصد میزان مصرف روغن نباتی کشور وابسته به واردات است؛ به نحوی که از کل آمار

۱۸۲۲ هزار تنی مصرف روغن نباتی کشور حدود ۱۶۸۹ هزار تن، شامل روغن و دانه‌های روغنی، از طریق واردات تأمین می‌شود. بررسی آمارهای واردات روغن خام و دانه-های روغنی در ۵ سال گذشته نشان می‌دهد میانگین ارزش واردات روغن خام در این مدت ۱/۱۶ میلیارد دلار بوده و میانگین واردات دانه‌های روغنی منتخب نیز طی همین مدت حدود ۲/۱۴میلیارد دلار بوده است. به عبارت دیگر در مجموع کشور حدود ۳/۳ میلیارد دلار در هر سال صرف واردات روغن و دانه‌های روغنی می‌شود [۱۹].

برای جبران این کمبود شدید لازم است فعالیت بسیار زیادی برای افزایش تولید روغن در کشور به عمل آید. یکی از این فعالیت‌ها، توسعه کشت دانه‌های روغنی و مدیریت مناسب آن‌ها برای رسیدن به عملکرد بالاتر است. شناسایی عوامل محدود کننده تولید می‌تواند به عنوان یک راهکار مؤثر برای دستیابی به عملکرد بیشتر محصولات قلمداد شود [۳۲]. مهم‌ترین عامل محدودکنندهٔ رشد گیاهان آب است. از آن جا که بخش اعظم اراضی ایران در نواحی خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند، بنابراین دسترسی کم به آب آبیاری مشکل آفرین است. با توجه به محدودیت منابع آب قابل استحصال کشور و وجود فشارها و تنگناهای روزافزون برای کاهش سهم آب کشاورزی در آینده، ضرورت بازنگری در مدیریت مصرف این ماده حیاتی به شکل کاملاً جدی مطرح شده و تولید محصول در این مناطق، مستلزم استفاده از گیاهان مقاوم به شرایط خشکی و کمبود رطوبت، برای دستیابی عملکردهای قابل قبول است [۱۷].

یکی از روش‌ها، استفاده از ارقام پر محصول و افزایش سازگاری آن‌ها به محیط‌های خشک است. تحقیقات بر روی ارقام مختلف گلرنگ در شرایط تنش خشکی نشان داده که انتخاب رقم مناسب می‌تواند باعث افزایش عملکرد دانه و محتوای روغن دانه گردد [۲۱ و ۲۸]. با انجام تحقیقی روی لاین‌های گلرنگ در دو محیط تنش و بدون تنش خشکی در منطقه اصفهان به اثر متقابل معنی‌داری بین ژنوتیپ و رژیم‌های رطوبتی پی بردند و در این میان ارقام E2428 و Ac-sunset به ترتیب دارای بیشترین و کمترین تحمل نسبت به تنش خشکی بودند. همچنین در این مطالعه شاخص‌های تحمل به تنش GMP و STI به‌عنوان بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی در جهت تشخیص ژنوتیپ‌های متحمل و حساس شناخته شد [۱]. نتایج تحقیق انجام شده بر روی صفات گلرنگ در شرایط تنش خشکی نشان داد که براساس رگرسیون گام به گام و تجزیه مسیر، شاخص برداشت و عملکرد زیستی دو عامل مؤثر بر عملکرد دانه هم در شرایط آبیاری معمولی و هم در شرایط تنش محسوب می‌شوند. بنابراین انتخاب ارقامی با شاخص برداشت و عملکرد زیستی بالا می تواند در رسیدن به بالاترین عملکرد در شرایط تنش مؤثر باشد [۳].

برخی از محققین نیز بیان نمودند که ژنوتیپ‌های گلرنگ از نظر صفاتی مانند ماده خشک کل، وزن خشک اندام‌های مختلف گیاه (برگ، ساقه و طبق) در دو مرحله گلدهی و رسیدگی، شاخص برداشت و درصد انتقال مجدد به سطوح مختلف قطع آبیاری پاسخ‌های متفاوتی داشتند. با افزایش مدت زمان قطع آبیاری از وزن خشک اندام های هوایی گیاهی (برگ، ساقه و طبق) هر سه ژنوتیپ کاسته شد. همچنین با افزایش مدت زمان قطع آبیاری سهم انتقال مجدد به طبق‌ها نیز افزایش یافت [۷].

از طرف دیگر، شاخص‌های متفاوتی برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی مختلف و تعیین تحمل و حساسیت آنها ارائه شده است [۲]. همواره هدف از آن‌ها تهیه ارقام متحمل به خشکی یا معرفی ارقامی بوده که به طور نسبی در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها تنش را بهتر تحمل کرده و در شرایط یکسان افت عملکرد کمتری داشته باشند [۹ و ۳۳]. بر مبنای این شاخص‌ها تحقیقات روی گیاهان زراعی به سمت شناسایی ارقامی است که بتواند عملکرد بالایی را تحت هر دو شرایط تنش و غیرتنش بدست آورد. بنابراین، ارقامی که در شرایط تنش و بدون تنش دارای عملکرد یکسانی هستند و یا تفاوت عملکرد کمی دارند، دارای تحمل نسبی به خشکی هستند [۳۱ و ۳۶]. یکی از مسایل مهم در ارزیابی ارقام برای تحمل به خشکی، اندازه‌گیری کمی معیارهای تحمل به خشکی است [۴ و ۹].

در این راستا و با توجه به اهمیت کشت دانه‌های روغنی و بررسی مهمترین عامل محدود کننده تولید آن یعنی تنش خشکی، این تحقیق با هدف مطالعه اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد ارقام گلرنگ و شناسایی و

معرفی بهترین رقم از نظر عملکرد در منطقه نیمه خشک شهرستان خاش استان سیستان و بلوچستان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور ارزیابی تحمل به خشکی در ارقام گلرنگ با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور شهرستان خاش اجراء گردید. مکان آزمایش در عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۱۴ دقیقه و طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۳۳۳ متر از سطح دریا واقع شده است. متوسط بارندگی سالانه منطقه ۱۵۰ میلی‌متر در سال و میانگین حداکثر درجه‌حرارت ۲۷/۴ ^{o}C و میانگین حداقل آن ۱۲/۳ ^{o}C است.

زمین محل آزمایش اجرای طرح به‌صورت آیش چندساله 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 (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیای خاک محل آزمایش

عمق خاک (cm)	هدایت الکتریکی ($ds.m^{-1}$)	کربن آلی (٪)	نیتروژن کل (٪)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاس قابل جذب (ppm)	رس (٪)	شن (٪)	سیلت (٪)
۳۰-۰	۳/۷۱	۰/۲۴	۰/۱۳	۹/۳۶	۲۷۶/۰۲	۲۱	۵۴	۲۷

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی از چهار سطح تیمار تنش شامل قطع آبیاری درمرحله گل‌دهی (I_1)، قطع آبیاری در مرحله غوزه‌دهی (I_2)، قطع آبیاری در مرحله تشکیل دانه (I_3) و آبیاری کامل (بدون قطع آبیاری) (I_4) به عنوان کرت اصلی؛ و پنج سطح ارقام گلرنگ شامل ارقام داخلی گلمهر (C_1)، پدیده (C_2) و فرامان (C_3) و ارقام خارجی یوت (C_4) و نبراسکا ۱۰ (C_5) به عنوان کرت فرعی تشکیل شد. هر کدام از ارقام در هر یک از کرت‌های آزمایشی، در شش خط کشت به طول ۳ متر، و به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از هم قرار گرفتند، فواصل کرت‌های فرعی از همدیگر ۱ متر و کرت-های اصلی ۲ متر در نظر گرفته شد. زمین مورد آزمایش ۱۰ روز قبل از کاشت به‌وسیله گاوآهن شخم و دو دفعه دیسک عمود برهم زده شد و بعد زمین توسط غلطک تسطیح گردید.

پس از کرت‌بندی زمین و قبل از کاشت مقادیر متعارف کود دامی در منطقه به میزان ۴۰ تن در هکتار (کود گاوی پوسیده)، و کود شیمیایی شامل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات‌تریپل، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات-پتاسیم به خاک مزرعه اضافه شد. کود نیتروژن نیز از منبع اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار شامل ۵۰ کیلوگرم در زمان کاشت، و سه کود سرک پنجاه کیلوگرمی به ترتیب در مراحل ساقه رفتن، گلدهی و غوزه دهی به کرت‌های آزمایشی اضافه شد. کشت بذور در تاریخ ۹۴/۸/۲۵ انجام گرفت. بذرها قبل از کاشت برای سهولت جوانه‌زنی به مدت ۲۴ ساعت خیسانده شد، سپس توسط قارچ‌کش بنومیل به نسبت ۱/۵ در هزار ضدعفونی گردید. کاشت با میخ نشاء ۳ سانتی‌متری و به‌صورت ردیفی با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته ۱۰ سانتی‌متر انجام شد. با توجه به اینکه زمین به صورت هیرم کشت گردید.

نخستین آبیاری مزرعه به منظور تسهیل در جوانه‌زنی گیاه هفت روز پس از کاشت انجام شد. آبیاری دوم و سوم نیز به ترتیب در روزهای ۱۴ و ۲۱ روز پس از کاشت انجام شد. پس از ورود گیاه به مرحله روزت آبیاری در مزرعه قطع و سپس آبیاری چهارم در مرحله خروج گیاه از مرحله روزت انجام گرفت. با توجه به خشکی منطقه مدار آبیاری هر ۷ روز در نظر گرفته شد. در این میان به منظور اعمال تیمارهای تنش، قطع آبیاری در هر یک از مراحل رشدی مختلف گیاه صورت گرفت. بعد از سبز شدن عملیات تنک کردن در دو مرحله، یکی در مرحله ۴-۳ برگی و دیگری

در مرحله خروج از روزت به منظور تراکم نهایی صورت گرفت. همچنین در طی دوران رشد و نمو، عملیات وجین و مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی طی چندین مرحله صورت پذیرفت.

از نظر آفات، مزرعه با مگس گلرنگ، شته، کرم غوزه‌خوار مواجه گردید که برای مبارزه با محلول ۲ در هزار دیمتوات سمپاشی به‌عمل آمد. برداشت نهایی محصول نیز با توجه به نوع رقم در یک بازه زمانی ۲۰ روزه از تاریخ ۱۳۹۵/۳/۲۰ تا ۱۳۹۵/۴/۱۰ انجام گرفت. در این آزمایش به منظور بررسی شاخص‌های تنش بر روی ارقام گلرنگ تنها صفت عملکرد دانه مورد ارزیابی قرار گرفت. نحوه نمونه‌برداری نیز بدین صورت بود که ۱ ردیف از هر سمت و همچنین ۵۰ سانتی‌متر از بالا و پایین هر کرت آزمایشی به عنوان اثر حاشیه حذف گردید. در ضمن برای افزایش اعتبار آزمایش از هر کرت برای هر صفت پنج نمونه تصادفی اندازه‌گیری شد و میانگین آنها مبنای محاسبات قرار گرفت. برای محاسبه عملکرد دانه، غوزه‌های بوته‌های برداشت شده با دست خرمنکوبی و بذرها جداگردید. وزن دانه‌های جداشده در هر کرت توزین و بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری شاخص‌های تحمل تنش در این پژوهش، از میانگین عملکرد دانه پنج نمونه هر کرت در شرایط شاهد و تیمارهای تنش خشکی استفاده شد. سپس شاخص‌های تحمل تنش خشکی شامل شاخص تحمل (TOL)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص خشکی نسبی (RDI)، شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص عملکرد (YI)، شاخص مقاومت به تنش خشکی (DI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI) و درصد حساسیت به تنش خشکی (SSPI) از طریق روابط زیر محاسبه شدند [۸، ۱۳ و ۱۴]:

$$TOL = Yp - Ys \quad (۱)$$

$$MP = (Ys + Yp)/2 \quad (۲)$$

$$GMP = \sqrt{Ys \times Yp} \quad (۳)$$

$$STI = (Ys \times Yp)/(\bar{Y}p^2) \quad (۴)$$

$$RDI = (Ys/Yp)/(\bar{Y}s/\bar{Y}p) \quad (۵)$$

$$SSI = (1 - (Ys/Yp))/(1 - (\bar{Y}s)/(\bar{Y}p)) \quad (۶)$$

$$YI = (Ys)/(\bar{Y}s) \quad (۷)$$

$$DI = (Ys \times (Ys / Yp))/\bar{Y}s \quad (۸)$$

$$YSI = Y_S/Y_p \quad (۹)$$

$$SSPI = (Yp - Ys)/(2\bar{Y}p) \times 100 \quad (۱۰)$$

که در این روابط:

Yp: عملکرد گیاهان در شرایط بدون تنش، Ys: عملکرد گیاهان در شرایط تنش، $\bar{Y}p$: میانگین عملکرد ارقام در شرایط بدون تنش و $\bar{Y}s$: میانگین عملکرد ارقام در شرایط تنش است.

در آخر، داده‌های به‌دست آمده از آزمایش با نرم‌افزار SAS v9.4 مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. همچنین تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، رسم نمودارهای بای پلات و همچنین تجزیه کلاستر بوسیله نرم افزار Statgraphics انجام شدند.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

اثر تیمارهای تنش، ارقام گلرنگ و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). بالاترین مقدار عملکرد دانه گلرنگ از آبیاری کامل رقم خارجی یوت (I_4C_4) با میانگین ۸۷۲/۱ کیلوگرم در هکتار حاصل شد علاوه بر این، رقم یوت در تمامی تیمارهای تنش با کمترین افت عملکرد مواجه شد به طوری که برای این رقم میزان کاهش عملکرد دانه به ترتیب در تیمارهای قطع آبیاری در مرحله گلدهی، غوزه‌دهی و تشکیل دانه برابر با ۵۲/۶، ۲۵/۸ و ۲۵/۲ درصد نسبت به تیمار آبیاری

کامل بود و این افت عملکرد برای رقم نبراسکا ۱۰ به ترتیب به میزان ۵۸/۹، ۲۹/۴ و ۲۷/۸ درصد بود.

برای رقم داخلی فرامان، این افت عملکرد به ترتیب به میزان ۶۰/۲، ۲۹/۹ و ۲۸/۵ درصد؛ برای رقم گلمهر ۶۱/۵، ۳۰/۴ و ۲۸/۷ درصد و در نهایت برای رقم پدیده ۶۸/۹، ۳۲/۹ و ۳۰/۹ درصد نسبت به تیمار بدون تنش محاسبه شد. در واقع ارقام داخلی به نسبت ارقام خارجی از مقاومت کمتری در مواجهه با تنش برخوردار هستند و در بین ارقام داخلی نیز رقم پدیده بیشترین خسارت به عملکرد دانه را در شرایط تنش تجربه کرد، به طوری که کمترین مقدار عملکرد دانه با میانگین ۲۲۷/۱ کیلوگرم در هکتار از تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی رقم پدیده (I_1C_2) بدست آمد (شکل ۱).

نتایج تحقیقی که به منظور بررسی قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد بر صفات زراعی گلرنگ انجام گرفت نشان داد که عملکرد دانه گلرنگ در شرایط تنش رطوبتی در مرحله گلدهی به میزان ۵۹/۸ درصد و در مرحله دانه-بندی موجب کاهش ۲۹/۸ درصد می‌شود. یافته‌های این تحقیق کاهش عملکرد را به کاهش در تعداد گل‌های گلرنگ در زمان تشکیل گل‌ها در شرایط قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی مرتبط دانست [۳۹].

به طور کلی، در دوره پر شدن دانه مواد پرورده مورد نیاز دانه از سه منبع تأمین می‌شود: ۱) کربوهیدراتی که پس از گلدهی تولید شده و بطور مستقیم به دانه انتقال می‌یابد، ۲) کربوهیدراتهایی که در زمان گلدهی تولید شده اما قبل از انتقال به دانه بطور موقت در ساقه ذخیره می-شود، و ۳) کربوهیدرات‌های تولید شده قبل از گلدهی که در ساقه ذخیره شده و در طی دوره پر شدن دانه، به دانه انتقال می‌یابد [۲۹]. محققین بر این عقیده‌اند که بیشتر مواد فتوسنتزی ذخیره‌ای گیاه در دوره ۱۵ تا ۲۰ روز اول پس از گلدهی که شرایط برای فتوسنتز و تولید مساعدتر است، تولید و بخشی از آن در ساقه‌ها و غلاف برگ‌ها ذخیره می‌شود تا در آخر برای انتقال به مقصد نهایی یعنی دانه انتقال یابد. بنابراین تنش در این مرحله خسارت عمده‌ای به عملکرد محصول وارد می‌نماید [۱۸].

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تیمارهای تنش و ارقام گلرنگ بر صفت عملکرد دانه

منبع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه
تکرار	۲	۴۹۱۸۵۷/۱۸
تنش	۳	۳۷۲۹۳۹۶/۱۲*
خطای اصلی	۶	۱۲۹۸۷/۳۶
رقم	۴	۱۳۹۱۱۲/۱۷*
اثرات متقابل	۱۲	۵۰۱۰۰۲/۱۱*
خطای فرعی	۴۸	۷۹۸۶۶/۸۲
ضریب تغییرات (درصد)		۳/۱۴

* و ** به ترتیب نشان دهنده معنی دار بودن در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد است.

رتبه‌بندی ارقام گلرنگ بر مبنای شاخص‌های تحمل به تنش

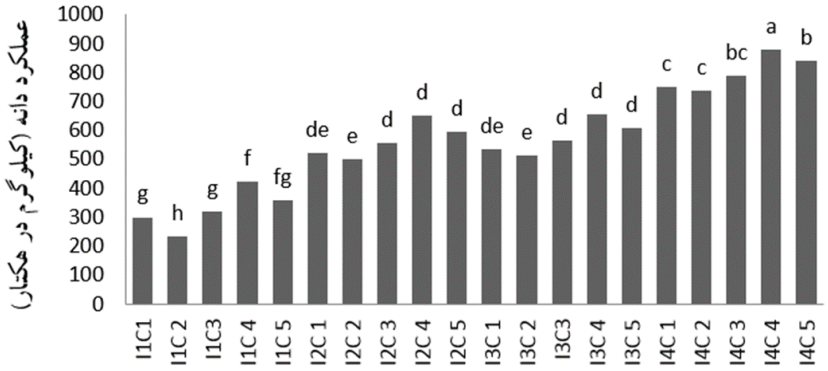
بر طبق نتایج، بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل و همچنین تحت هر سه تنش قطع آبیاری در مرحله گلدهی، قطع آبیاری در مرحله غوزه‌دهی و قطع آبیاری در مرحله تشکیل دانه مربوط به ارقام یوت و نبراسکا ۱۰ و کمترین عملکرد دانه در تمامی شرایط مربوط به ارقام پدیده و گلمهر بود (جدول‌های ۳ و ۴). به نظر می‌رسد که وجود اثرمتقابل بین ارقام گلرنگ و تنش‌های مورد مطالعه در مورد عملکرد دانه از نوع تغییر در مقدار است.

اولین شاخص، TOL بود که مقادیر پایین آن نشان-دهنده تحمل ارقام به تنش است. با توجه به روند تغییرات این شاخص و شباهت زیاد تغییرات آن با شاخص SSPI (که این شاخص هم مقادیر پایین آن تحمل ارقام را نشان می‌دهد)، نتایج نشان داد که رقم یوت مطلوب‌ترین مقادیر شاخص TOL و SSPI را در هر سه تنش قطع آبیاری در

مرحله گلدهی، قطع آبیاری در مرحله غوزه‌دهی و قطع آبیاری در مرحله تشکیل دانه نشان داد. با این حال، نامطلوب‌ترین مقادیر این شاخص‌ها در تنش قطع آبیاری در مرحله گلدهی مربوط به رقم پدیده و در تنش قطع آبیاری در مرحله غوزه‌دهی و مرحله تشکیل دانه مربوط به نبراسکا ۱۰ بود (جدول‌های ۳ و ۴).

بر اساس سایر شاخص‌های مورد مطالعه تحت هر سه تنش قطع آبیاری در مرحله گلدهی، قطع آبیاری در مرحله غوزه‌دهی و قطع آبیاری در مرحله تشکیل دانه ارقام یوت و نبراسکا ۱۰ مطلوب‌ترین و ارقام پدیده و گلمهر نامطلوب‌ترین مقادیر را داشتند (جدول‌های ۳ و ۴).

در ضمن فقط در مورد شاخص SSI مقادیر پایین آن بیانگر تحمل بیشتر ارقام بود و بقیه شاخص‌ها مقادیر بیشتر آنها نشان‌دهنده تحمل تنش بود. به طور کلی، برای بیشتر شاخص‌های مورد مطالعه و بر مبنای رتبه‌بندی ارقام بر اساس شاخص‌ها در هر سه شرایط تنش قطع آبیاری در مرحله گلدهی، قطع آبیاری در مرحله غوزه‌دهی و قطع آبیاری درمرحله تشکیل دانه می‌توان رقم یوت را به عنوان رقم متحمل به تنش انتخاب کرد. حساس‌ترین رقم نیز از نظر شاخص‌های مورد مطالعه رقم پدیده می‌باشد (جدول‌های ۳ و ۴).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی و ارقام گلرنگ بر صفت عملکرد دانه

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم وجود تفاوت آماری معنی دار بین آنهاست

(I_1: قطع آبیاری درمرحله گل‌دهی، I_2: قطع آبیاری در مرحله غوزه‌دهی، I_3: قطع آبیاری در مرحله تشکیل دانه و I_4: آبیاری کامل (بدون قطع آبیاری)؛ C_1: گلمهر، C_2: پدیده، C_3: فرامان، C_4: یوت و C_5: نبراسکا ۱۰)

در مناطق نیمه‌خشک که پراکنش بارندگی متناسب نیست، توان عملکرد در شرایط تنش بهترین معیار تحمل به خشکی محسوب نمی‌شود بلکه پایداری عملکرد یعنی مقایسه میزان عملکرد در شرایط تنش و مطلوب به عنوان معیار مناسب‌تری برای واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش رطوبتی پذیرفته می‌شود [۱۰]. برخی از محققین نیز بر این عقیده‌اند که انتخاب ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی سبب تجمع الل‌های مطلوب شده و ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالاتر گزینش می‌شوند [۲۲].

شاخص‌های GMP و STI در بسیاری از تحقیقات به عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای گزینش ژنوتیپ‌های مورد مطالعه شناسایی شده‌اند [۲۲ و ۲۵]. افزون بر این در تحقیقات سایر محققین [۲۰ و ۳۷] مشخص شد علاوه بر GMP و STI، شاخص MP را نیز به عنوان شاخص بهتر برای تعیین تحمل به تنش ارقام معرفی کردند. در همین رابطه نتایج بررسی ارقام دیم گندم نشان داد که شاخص SSI مناسب‌ترین شاخص برای گزینش ارقام مقاوم به خشکی در شرایط تنش شدید و شاخص MP، GMP و STI شاخص‌های مناسبی برای شرایط تنش ملایم خشکی هستند [۳۶].

از آنجایی که پایین بودن درصد تغییرات به عنوان یک عامل مقاومت به تنش، بیشتر ارزش فیزیولوژیک دارد تا زراعی، می‌توان نتیجه گرفت انتخاب بر اساس شاخص حساسیت به تنش (SSI) و تحمل به تنش (TOL) باعث گزینش ارقامی با عملکرد به نسبت پایین در محیط عادی و عملکرد پایین در محیط دارای تنش می‌گردد. چنین

ارقامی مطابق با برخی گزارش‌ها [۳۵] بـه علـت عملکـرد پایین، از نظر زراعی نامطلوب هستند. همچنـین در مـورد شاخص تحمل به تنش TOL مشـخص شـده کـه پـایین بودن مقدار این شاخص الزاماً به دلیل بـالا بـودن عملکـرد رقم در محیط تنش نیست، چرا که ممکن اسـت عملکـرد رقمی در شرایط عادی پایین باشد و در شرایط تنش نیز بـا افت عملکرد کم‌تری همراه باشد، که باعـث کوچـک شـدن شاخص تحمل به تنش شود و در نتیجه این رقم به عنـوان رقم متحمل معرفی گردد [۲۶].

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در ارقام گلرنگ بر اساس عملکرد دانه تحت شرایط قطع آبیاری در مراحل رشد زایشی

تیمار		Yp	Ys	Tol	MP	GMP	STI	RDI	SSI	YI	DI	YSI	SSPI
گلمهر		۷۴۷	۲۹۹	۴۴۸	۵۲۳	۴۷۲/۶۰	۰/۳۵	۰/۹۸	۱/۰۱	۰/۹۲	۰/۳۷	۰/۴۰	۲۸/۰۸
پدیده	قطع آبیاری	۷۳۵	۲۳۱	۵۰۴	۴۸۳	۴۱۲/۰۵	۰/۲۷	۰/۷۷	۱/۱۶	۰/۷۱	۰/۲۲	۰/۳۱	۳۱/۵۹
فرامان	در مرحله	۷۸۸	۳۱۷	۴۷۱	۵۵۲/۵	۴۹۹/۸۰	۰/۳۹	۰/۹۹	۱/۰۱	۰/۹۷	۰/۳۹	۰/۴۰	۲۹/۵۳
یوت	گلدهی	۸۷۹	۴۲۱	۴۵۸	۶۵۰	۶۰۸/۳۲	۰/۵۸	۱/۱۷	۰/۸۸	۱/۲۹	۰/۶۲	۰/۴۸	۲۸/۷۱
نبراسکا ۱۰		۸۳۹	۳۵۹	۴۸۰	۵۹۹	۵۴۸/۸۲	۰/۴۷	۱/۰۵	۰/۹۷	۱/۱۰	۰/۴۷	۰/۴۳	۳۰/۰۹
گلمهر		۷۴۷	۵۲۱	۲۲۶	۶۳۴	۶۲۳/۸۵	۰/۶۱	۰/۹۹	۱/۰۳	۰/۹۲	۰/۶۴	۰/۷۰	۱۴/۱۷
پدیده	قطع آبیاری	۷۳۵	۴۹۹	۲۳۶	۶۱۷	۶۰۵/۶۱	۰/۵۸	۰/۹۶	۱/۰۹	۰/۸۹	۰/۶۰	۰/۶۸	۱۴/۷۹
فرامان	در مرحله	۷۸۸	۵۵۵	۲۳۳	۶۷۱/۵	۶۶۱/۳۲	۰/۶۹	۱/۰۰	۱/۰۱	۰/۹۸	۰/۶۹	۰/۷۰	۱۴/۶۰
یوت	غوزه دهی	۸۷۹	۶۵۱	۲۲۸	۷۶۵	۷۵۶/۴۶	۰/۹۰	۱/۰۵	۰/۸۸	۱/۱۶	۰/۸۶	۰/۷۴	۱۴/۲۹
نبراسکا ۱۰		۸۳۹	۵۹۲	۲۴۷	۷۱۵/۵	۷۰۴/۷۶	۰/۷۸	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۵	۰/۷۴	۰/۷۱	۱۵/۴۸
گلمهر		۷۴۷	۵۳۴	۲۱۳	۶۴۰/۵	۶۳۱/۵۸	۰/۶۳	۰/۹۹	۱/۰۲	۰/۹۳	۰/۶۶	۰/۷۱	۱۳/۳۵
پدیده	قطع آبیاری	۷۳۵	۵۱۱	۲۲۴	۶۲۳	۶۱۲/۸۵	۰/۵۹	۰/۹۷	۱/۰۹	۰/۸۹	۰/۶۲	۰/۷۰	۱۴/۰۴
فرامان	در مرحله	۷۸۸	۵۶۵	۲۲۳	۶۷۶/۵	۶۶۷/۲۵	۰/۷۰	۱/۰۰	۱/۰۱	۰/۹۸	۰/۷۱	۰/۷۲	۱۳/۹۸
یوت	تشکیل دانه	۸۷۹	۶۵۶	۲۲۳	۷۶۷/۵	۷۵۹/۳۶	۰/۹۱	۱/۰۴	۰/۹۱	۱/۱۴	۰/۸۵	۰/۷۵	۱۳/۹۸
نبراسکا ۱۰		۸۳۹	۶۰۵	۲۳۴	۷۲۲	۷۱۲/۴۶	۰/۸۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۵	۰/۷۶	۰/۷۲	۱۴/۶۷

همبستگی بین شاخص‌های تحمـل بـه خشـکی در شرایط تنش در مراحل مختلف رشد زایشی

به طورکلی شاخص‌هایی که در هـر دو شـرایط تـنش و غیرتنش دارای همبسـتگی بـالایی بـا عملکـرد باشـند، بـه عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند، ایـن شـاخص‌هـا قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هـر محـیط هستند و می‌توان از آن‌ها برای تخمـین پایـداری عملکـرد استفاده کرد [۳۶].

ضرایب همبستگی ساده بـین شـاخص‌های تحمـل بـه تنش خشکی و عملکرد دانه تحت شـرایط هـر سـه تـنش قطع آبیاری در مرحلـه گلـدهی، قطـع آبیـاری در مرحلـه غوزه‌دهی و قطع آبیاری در مرحله تشکیل دانـه در جـدول ۵ آورده شده اسـت. مشـاهده می‌شـود کـه تحـت هـر دو شرایط، Y_P همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمـال ۱ درصـد بـا Y_S، TOL، MP، GMP، STI، RDI، YI و SSPI داشت. ولی همبستگی آن با شاخص‌هـای SSI، DI و YSI معنـی‌دار نشـد. همبسـتگی Y_S بـا MP، GMP، STI، RDI، YI و DI در هـر سـه شـرایط تـنش خشـکی قطع آبیاری در مرحلـه گلـدهی، قطـع آبیـاری در مرحلـه غوزه‌دهی و قطع آبیاری در مرحله تشـکیل دانـه در سـطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و در شـرایط تـنش خشـکی قطع آبیاری در مرحله گلدهی علاوه بر این صـفت بـا YSI همبستگی مثبـت و بـا شـاخص SSI همبسـتگی منفـی و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد داشت.

جدول ۴- رتبه‌های شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در ارقام گلرنگ بر اساس عملکرد دانه تحت شرایط قطع آبیاری در مراحل رشد زایشی

تیمار		Yp	Ys	Tol	MP	GMP	STI	RDI	SSI	YI	DI	YSI	SSPI	میانگین رتبه	انحراف معیار رتبه
گلمهر	قطع آبیاری در مرحله گلدهی	۴	۴	۱	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۱	۳/۵۰	۱/۱۷
پدیده		۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵/۰۰	۰/۰۰
فرامان		۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۴	۳/۰۸	۰/۲۹
یوت		۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۱/۱۷	۰/۳۹
نبراسکا ۱۰		۲	۳	۴	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۳	۲/۳۳	۰/۶۵
گلمهر	قطع آبیاری در مرحله غوزه‌دهی	۴	۴	۱	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۱	۳/۵۰	۱/۱۷
پدیده		۵	۵	۴	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۴	۴/۸۳	۰/۳۹
فرامان		۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳/۰۰	۰/۰۰
یوت		۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۱/۱۷	۰/۳۹
نبراسکا ۱۰		۲	۲	۵	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۵	۲/۵۰	۱/۱۷
گلمهر	قطع آبیاری در مرحله تشکیل دانه	۴	۴	۱	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۱	۳/۵۰	۱/۱۷
پدیده		۵	۵	۳	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۳	۴/۶۷	۰/۷۸
فرامان		۳	۳	۲	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۲	۲/۸۳	۰/۳۹
یوت		۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۱/۱۷	۰/۳۹
نبراسکا ۱۰		۲	۲	۴	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۴	۲/۳۳	۰/۷۸

با توجه به این نتایج شاخص‌های MP، GMP، STI، RDI و YI همبستگی مثبت و معنی‌داری در هر سه شرایط تنش با عملکرد دانه در شرایط شاهد و تنش داشتند و بنابراین برای غربال مطلوبتر ارقام متحمل گلرنگ می‌توان از آنها استفاده کرد. افزون بر این همبستگی بین شاخص‌های MP، GMP، STI، RDI و YI در هر سه شرایط تنش مثبت و معنی‌دار بود که با توجه به همبستگی آنها با عملکرد دانه در هر سه شرایط بر مطلوبیت استفاده همزمان این شاخص‌ها در گزینش ارقام می‌افزاید (جدول ۵).

در پژوهشی با استفاده از نتایج همبستگی بین شاخص‌های TOL، MP، SSI و STI با Y_S و Y_P چنین نتیجه گیری شد که STI شاخص خوبی از نظر عملکرد در شرایط عادی و شرایط تنش است [۱۳]. در تحقیق دیگر گزارش شد که عملکرد در شرایط تنش و عادی از ضرایب همبستگی بالاتری با شاخص‌های GMP، MP و STI برخوردار است [۳۷]. پژوهشگران دیگر نیز معتقدند که مناسب‌ترین شاخص برای گزینش ارقام متحمل به تنش، شاخصی است که دارای همبستگی به نسبت بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش باشد، زیرا همبستگی مثبت و معنی‌دار بین شاخص‌ها و عملکرد در هر دو شرایط تنش و غیرتنش، مناسب بودن این شاخص ها را برای ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها نشان می‌دهد [۳۰].

در بررسی دیگری روابط Y_P و Y_S را با MP و STI مثبت گزارش شد [۲۴]. همچنین در مطالعه‌ای نشان داده شد که این شاخص‌ها همبستگی بالایی با عملکرد در شرایط عادی و تنش کمبود آب دارند [۲۰]. افزون بر این، در تحقیقات همبستگی مثبت و معنی‌دار Y_P و Y_S با STI، MP و GMP گزارش شده است. در این تحقیقات چنین نتیجه گیری شد که شاخص‌های MP، GMP و STI می‌توانند به عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی و شناسایی ارقام تحت تنش کمبود آب در برنامه‌های اصلاحی مورد استفاده قرار گیرند [۲۳].

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی ارقام گلرنگ تحت شرایط قطع آبیاری در مراحل رشد زایشی

	تیمارهای تنش	Yp	Ys	Tol	MP	GMP	STI	RDI	SSI	YI	DI	YSI	SSPI
Ys	گلدهی	۰/۷۶۹**	۱										
	غوزه دهی	۰/۸۰۳**											
	تشکیل دانه	۰/۷۹۴**											
Tol	گلدهی	۰/۸۴۹**	۰/۲۸۹	۱									
	غوزه دهی	۰/۹۳۰**	۰/۲۹۷										
	تشکیل دانه	۰/۸۶۳**	۰/۳۱۶										
MP	گلدهی	۰/۷۴۸**	۰/۹۱۷**	۰/۸۳۱**	۱								
	غوزه دهی	۰/۸۲۱**	۰/۸۷۴**	۰/۷۴۰**									
	تشکیل دانه	۰/۷۴۰**	۰/۹۰۵**	۰/۸۰۵**									
GMP	گلدهی	۰/۷۹۲**	۰/۷۹۴**	۰/۷۰۶**	۰/۸۷۴**	۱							
	غوزه دهی	۰/۹۳۱**	۰/۹۰۳**	۰/۷۵۹**	۰/۹۱۱**								
	تشکیل دانه	۰/۸۸۴**	۰/۸۸۹**	۰/۶۹۹**	۰/۸۵۶**								
STI	گلدهی	۰/۹۰۷**	۰/۹۵۷**	۰/۸۰۸**	۰/۸۹۵**	۰/۸۵۷**	۱						
	غوزه دهی	۰/۷۹۳**	۰/۹۳۸**	۰/۷۰۳**	۰/۹۴۱**	۰/۸۴۸**							
	تشکیل دانه	۰/۸۹۶**	۰/۹۰۳**	۰/۷۱۹**	۰/۹۰۵**	۰/۹۰۱**							
RDI	گلدهی	۰/۸۸۵**	۰/۸۵۴**	۰/۸۰۶**	۰/۹۴۱**	۰/۹۰۶**	۰/۹۱۱**	۱					
	غوزه دهی	۰/۹۳۶**	۰/۹۰۶**	۰/۹۱۳**	۰/۹۲۸**	۰/۸۷۵**	۰/۸۹۷**						
	تشکیل دانه	۰/۹۰۲**	۰/۸۶۳**	۰/۷۹۵**	۰/۸۵۳**	۰/۹۱۸**	۰/۹۲۱**						
SSI	گلدهی	۰/۳۳۵	-۰/۵۱۷	۰/۷۴۱**	۰/۲۶۰	۰/۱۷۹	۰/۱۰۴	۰/۵۰۳*	۱				
	غوزه دهی	۰/۳۸۹	-۰/۲۳۹	۰/۷۰۵**	۰/۱۷۴	۰/۰۹۴	۰/۰۹۹	۰/۵۱۵*					
	تشکیل دانه	۰/۳۰۶	-۰/۲۹۴	۰/۸۰۲**	۰/۲۰۴	۰/۱۰۶	۰/۰۶۰	۰/۵۳۱*					
YI	گلدهی	۰/۷۲۴**	۰/۹۳۷**	۰/۳۰۶	۰/۸۶۳**	۰/۸۸۵**	۰/۸۵۳**	۰/۶۹۹**	-۰/۲۷۴	۱			
	غوزه دهی	۰/۶۹۴**	۰/۹۰۵**	۰/۳۷۵	۰/۹۳۵**	۰/۸۸۰**	۰/۹۰۸**	۰/۷۱۳**	-۰/۱۹۶				
	تشکیل دانه	۰/۷۷۹**	۰/۸۹۴**	۰/۲۹۶	۰/۸۸۶**	۰/۸۹۴**	۰/۸۷۴**	۰/۷۰۶**	-۰/۱۰۶				
DI	گلدهی	۰/۲۹۸	۰/۸۰۵**	-۰/۱۰۱	۰/۶۳۷**	۰/۶۹۷**	۰/۶۹۵**	۰/۱۹۸	-۰/۸۰۶**	۰/۸۴۰**	۱		
	غوزه دهی	۰/۳۶۳	۰/۸۰۲**	-۰/۱۹۰	۰/۷۰۳**	۰/۶۷۴**	۰/۷۰۴**	۰/۱۷۸	-۰/۷۲۹**	۰/۹۰۳**			
	تشکیل دانه	۰/۲۷۹	۰/۸۵۲**	-۰/۰۷۹	۰/۶۴۱**	۰/۶۷۰**	۰/۶۹۰**	۰/۱۸۶	-۰/۸۳۱**	۰/۸۶۱**			
YSI	گلدهی	-۰/۴۰۴	۰/۵۰۳*	-۰/۷۰۳**	-۰/۱۷۵	-۰/۱۸۰	-۰/۰۴۹	-۰/۵۰۶*	-۰/۹۰۴**	۰/۲۰۷	۰/۶۹۷**	۱	
	غوزه دهی	-۰/۳۹۶	۰/۲۶۹	-۰/۷۱۹**	-۰/۰۶۳	-۰/۰۹۶	-۰/۰۵۹	-۰/۵۰۹*	-۰/۸۹۵**	۰/۲۹۶	۰/۷۲۶**		
	تشکیل دانه	-۰/۸۴	۰/۱۹۶	-۰/۷۳۷**	-۰/۰۹۵	-۰/۱۰۷	-۰/۰۷۸	-۰/۵۱۸*	-۰/۹۱۵**	۰/۲۸۴	۰/۶۳۴**		
SSPI	گلدهی	۰/۸۶۴**	۰/۰۶۲	۰/۸۹۰**	-۰/۸۸۶**	-۰/۸۹۰**	-۰/۹۰۹**	-۰/۸۴۹**	۰/۱۰۶	۰/۰۸۶	۰/۱۹۴	۰/۲۰۶	۱
	غوزه دهی	۰/۹۳۷**	۰/۰۴۳	۰/۶۹۴**	-۰/۹۰۵**	-۰/۹۰۸**	-۰/۸۹۵**	-۰/۸۳**	۰/۱۹۸	۰/۰۴۸	۰/۱۰۷	۰/۱۰۶	
	تشکیل دانه	۰/۸۹۱**	۰/۰۷۸	۰/۷۰۱**	-۰/۸۹۶**	-۰/۹۱۱**	-۰/۸۹۷**	-۰/۷۹۹**	۰/۰۶۴	۰/۱۴۰	۰/۱۶۱	۰/۱۱۹	

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد می‌باشد

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و بررسی نمودار بای پلات

بعد از شناسایی بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی که دارای بالاترین همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه در هر دو شرایط شاهد و تنش می‌باشند، برای تعیین ارقام متحمل به تنش خشکی در مراحل مختلف تنش و برای مطالعه روابط بین بیش از سه متغیر یک شکل به دست آمده از نمایش چند متغیر همانند بای پلات مفید می‌باشد. تجزیه بای پلات گابریل ابزار مفیدی به منظور بررسی هم زمان کلیه شاخص‌های تحمل به تنش خشکی، عملکرد دانه در شرایط رطوبتی معمول و تنش خشکی و

همچنین بررسی دقیق‌تر تحمل به تنش خشکی ارقام است [۱۵].

بدین منظور ماتریسی که ردیف‌های آن از پنج رقم گندم بهاره و ستون‌های آن از شاخص‌های تحمل به تنش محاسبه شده تشکیل شده بود، از طریق تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به ۱۲ مؤلفه تقسیم شد و در مجموع ۹۷/۹ درصد از تغییرات مربوط به شاخص‌ها را در آزمایش تنش خشکی در مرحله گلدهی و ۹۸/۸ درصد از تغییرات مربوط به شاخص‌ها را در آزمایش تنش خشکی در مرحله غوزه‌دهی و ۹۸/۵ درصد از تغییرات مربوط به شاخص‌ها را در آزمایش تنش خشکی در مرحله تشکیل دانه‌ها دو مؤلفه اول توجیه نمودند (جدول ۶).

جدول ۶- نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی بر اساس مقادیر شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد دانه تحت تنش در مرحله گلدهی، غوزه دهی و تشکیل دانه

مولفه‌های اصلی	Eigen value	واریانس توجیه شده	واریانس تجمعی	Yp†	Ys	Tol	MP	GMP	STI	RDI	SSI	YI	DI	YSI	SSPI
قطع آبیاری در مرحله گلدهی															
مولفه اول	۱۰/۴۲۸	۸۶/۹۰۳	۸۶/۹۰۳	۰/۳۰۳	۰/۳۰۹	-۰/۲۲۸	۰/۳۰۷	۰/۳۰۸	۰/۳۰۸	۰/۳۰۷	-۰/۳۰۷	۰/۳۰۹	۰/۳۰۹	۰/۳۰۷	۰/۰۲۰
مولفه دوم	۱/۳۲۲	۱۱/۰۲۲	۹۷/۹۲۶	۰/۱۷۰	۰/۰۲۹	۰/۴۷۱	۰/۱۰۱	۰/۰۷۵	۰/۰۵۲	-۰/۰۴۵	۰/۰۴۵	۰/۰۲۹	-۰/۰۲۵	-۰/۰۴۵	۰/۸۴۹
قطع آبیاری در مرحله غوزه دهی															
مولفه اول	۱۰/۴۴۴	۸۷/۰۳۵	۸۷/۰۳۵	۰/۳۰۴	۰/۳۰۹	۰/۲۶۴	۰/۳۰۷	۰/۳۰۸	۰/۳۰۸	۰/۹۷	-۰/۲۹۷	۰/۳۰۹	۰/۳۰۹	۰/۲۹۷	-۰/۰۰۰۷
مولفه دوم	۱/۴۱۴	۱۱/۷۸۴	۹۸/۸۱۹	۰/۱۳۹	۰/۰۶	۰/۳۳۶	۰/۰۸۳	۰/۰۷۴	۰/۰۶۴	-۰/۲۲۸	۰/۲۲۸	۰/۰۲۶	-۰/۰۳۷	-۰/۲۲۸	۰/۸۳۱
قطع آبیاری در مرحله تشکیل دانه															
مولفه اول	۱۰/۶۱۹	۸۸/۴۹۲	۸۸/۴۹۲	۰/۳۰۳	۰/۳۰۶	۰/۲۷۶	۰/۳۰۵	۰/۳۰۵	۰/۳۰۶	۰/۲۹۱	-۰/۲۹۱	۰/۳۰۶	۰/۳۰۶	۰/۲۹۱	۰/۱۱۳
مولفه دوم	۱/۲۰۴	۱۰/۰۳۶	۹۸/۵۲۸	۰/۱۲۳	۰/۰۲۲	۰/۱۷۴	۰/۰۷۴	۰/۰۶۶	۰/۰۵۹	-۰/۲۷۸	۰/۲۷۸	۰/۰۲۲	-۰/۰۳۹	-۰/۲۷۸	۰/۸۴۰

شکل ۲ نحوه تغییرات مقادیر ویژه مربوط به تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در تیمارهای مختلف خشکی مطالعه شده را نشان می‌دهد. با توجه به مستقل بودن مؤلفه‌ها و اهمیت دو مؤلفه اول در تبیین تغییرات کل داده‌ها و همچنین از آنجا که مؤلفه اول تغییراتی را در بر می‌گیرد که توسط مؤلفه دوم تبیین نمی‌شود و بالعکس، می‌توان تغییرات دو مؤلفه را به صورت عمود بر هم نمایش داد. به گونه‌ای که ارقام براساس این دو مؤلفه در سطح نمودار با نقاطی مشخص گردند. به عبارت دیگر نمودار بای پلات مربوطه بر اساس این دو مؤلفه‌ها ترسیم گردید (شکل‌های ۳، ۴ و ۵) و در فضای بای پلات به دست آمده علاوه بر شاخص‌ها، ارقام نیز بر اساس دو مولفه‌های مذکور و توسط نقاطی مشخص شدند.

سهم مؤلفهٔ اول در تبیین تغییرات کل شاخص‌ها در آزمایش تنش خشکی در مراحل گلدهی، غوزه‌دهی و پرشدن دانه به ترتیب برابر ۸۶/۹ درصد، ۸۷/۰ و ۸۸/۵ درصد بود (جدول ۶). این مولفه با عملکرد در هر سه شرایط تنش رطوبتی و شاخص‌های MP، GMP، STI، RDI، YI، DI و YSI همبستگی مثبت و همچنین با شاخص SSI کمترین همبستگی را منفی نشان داد. در شرایط تنش خشکی قطع آبیاری در مرحله گلدهی علاوه بر این دو شاخص با شاخص TOL نیز همبستگی منفی نشان داد.

علاوه بر آن، این مؤلفه در هر سه شرایط تنش همبستگی بسیار پایینی با شاخص SSPI نشان داد. در مجموع مؤلفه اول به عنوان مؤلفه پتانسیل عملکرد و تحمل به تنش خشکی در نظر گرفته شد. با توجه به این که میزان بالای این شاخص‌ها برای ما مطلوب است بنابراین بر روی بای پلات به دست آمده اگر به مقادیر مثبت و بالای این مؤلفه توجه نماییم، می‌توانیم ارقامی را که دارای عملکرد بالا در هر دو شرایط و از نظر شاخص‌های مذکور مطلوبتر باشند را انتخاب کنیم. به عبارت دیگر، این مؤلفه قادر به شناسایی ارقام با توان عملکرد بالا می‌باشد و مقادیر بیشتر مؤلفه آن مطلوب‌تر است. مؤلفه دوم در سه شرایط تنش خشکی اعمال شده به ترتیب ۱۱/۰ درصد، ۱۱/۸ و ۱۰/۰ درصد از تغییرات کل شاخص‌ها را توجیه نمود (جدول ۶). در این مؤلفه شاخص‌های SSPI و TOL نقش بیشتری داشتند، از طرف دیگر این

مؤلفه با شاخص‌های YSI، RDI و DI همبستگی منفی و بالایی داشت. همچنین این مؤلفه با عملکرد در شرایط آبیاری کامل همبستگی مثبت بیشتری نسبت به عملکرد در شرایط تنش داشت. به نظر می‌رسد این مؤلفه قادر است ارقامی را که دارای عملکرد بهتری در شرایط رطوبتی معمول هستند و یا ارقامی که اختلاف عملکرد شرایط تنش با شرایط تنش آنها بیشتر باشد را شناسایی کند.

بنابراین مؤلفه مذکور را می‌توان مؤلفه حساسیت به تنش نامید. این مؤلفه می‌تواند ارقام با عملکرد پایین در شرایط تنش و پتانسیل عملکرد مناسب را انتخاب نماید. از آن جا که مقادیر کم شاخص تحمل و حساسیت به تنش برای ما مطلوب است پس اگر در بای‌پلات به دست آمده نواحی با میزان پایین این مؤلفه در نظر گرفته شود، می‌توان ارقام با عملکرد در شرایط تنش و شاخص تحمل و حساسیت به تنش پایین را انتخاب نمود.

براساس دو مؤلفه فوق، بای‌پلات ترسیم گردید، به طوری که ارتباط ارقام با عملکردهای دانه در شرایط تنش و شاهد و شاخص‌های مورد بحث به خوبی مشهود شد. توزیع ارقام روی بای‌پلات نشان دهنده وجود تنوع در پاسخ به تنش خشکی در بین ارقام بویژه در تنش قطع آبیاری در مرحله غوزه‌دهی بود (شکل ۴). بنابراین با توجه به تفسیر مقادیر مولفه‌ها در مجموع بنظر می‌رسد متحمل‌ترین و حساس‌ترین ارقام به‌ترتیب یوت و پدیده بودند.

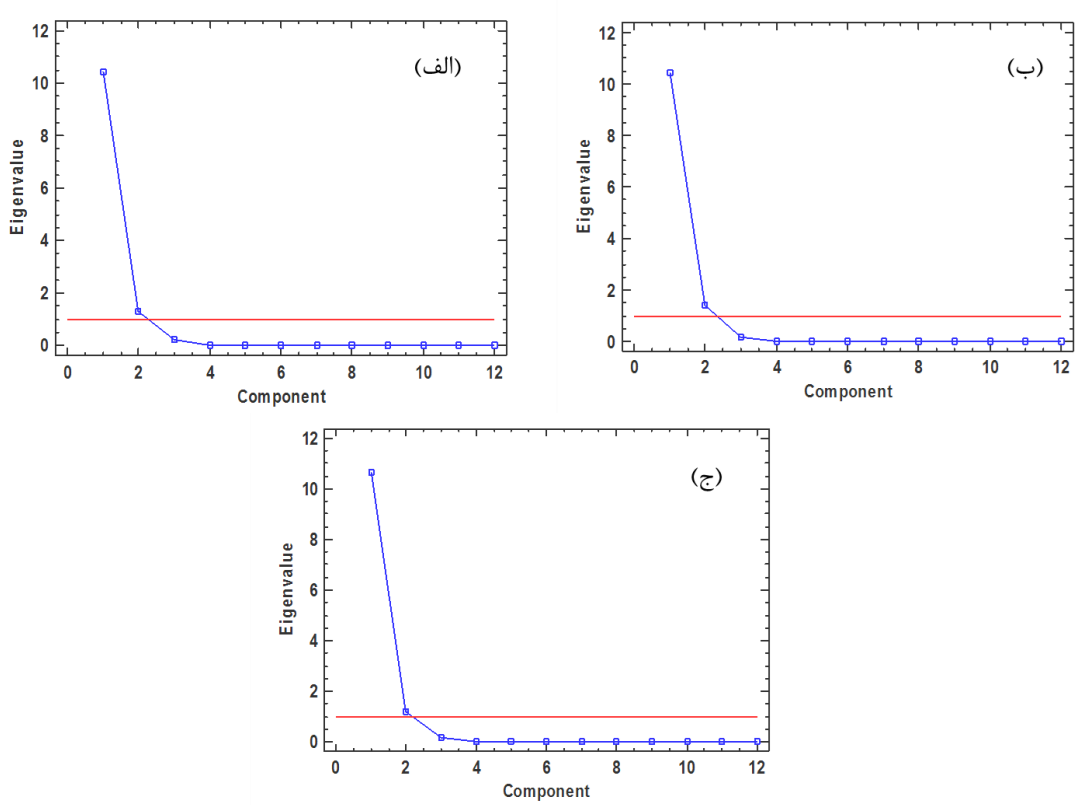
با توجه به زوایای خطوط شاخص‌ها در نمایش گرافیکی بای‌پلات در هر سه شرایط تنش خشکی (شکل‌های ۳، ۴ و ۵)، ملاحظه می‌شود که همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری بین Yp با شاخص MP از یک طرف و Ys با شاخص YI از طرف دیگر، وجود دارد که نشان دهنده این است که این شاخص‌ها به‌ترتیب جهت انتخاب ارقام در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی مفید هستند و در مجموع شاخص‌های MP، GMP و STI با عملکرد دانه در هر دو شرایط رطوبتی معمول و تنش خشکی همبستگی مثبت نشان دادند و بهترین شاخص‌های مورد مطالعه می‌باشند. بنابراین، به کمک بای‌پلات گابریل نیز شاخص‌های مذکور به عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی شدند. در ضمن بر اساس نمودار بای‌پلات، همبستگی منفی کامل بین شاخص SSI با YSI و RDI در هر سه شرایط تنش خشکی وجود داشت. در مجموع، در هر سه شرایط تنش خشکی، رقم یوت که در ناحیه مطلوب بای‌پلات قرار گرفت، برای شاخص‌های مطلوب جهت گزینش متحمل‌ترین رقم مورد مطالعه بودند. در حالی که ارقام فرامان و پدیده در شرایط تنش خشکی قطع آبیاری در مرحله گلدهی و رقم پدیده در شرایط تنش خشکی قطع آبیاری در مرحله غوزه‌دهی و تشکیل دانه با توجه به نمودارهای بای‌پلات حساس‌ترین رقم در نظر گرفته شدند (شکل‌های ۳، ۴ و ۵).

استفاده از روش تجزیه به مولفه‌های اصلی و ترسیم بای‌پلات در گیاهان دیگر از جمله گلرنگ [۵ و ۶]، نخود [۱۲] و گندم [۱۶] نیز به منظور گروه‌بندی ژنوتیپ‌های تحت شرایط تنش رطوبتی گزارش شده است. همچنین استفاده از تجزیه به مؤلفه های اصلی و نمودار بای پلات برای انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم در گندم دوروم مورد استفاده قرار گرفته است [۳۸].

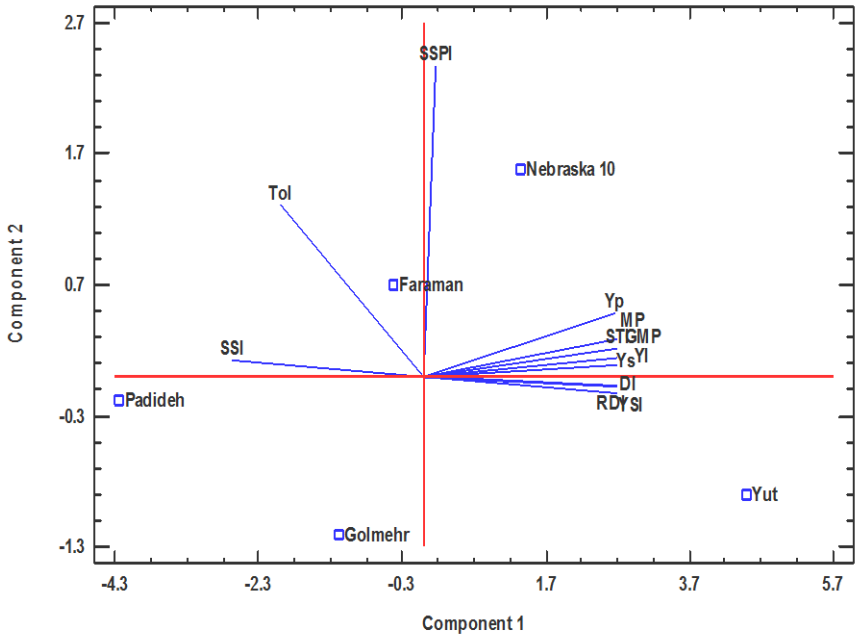
تجزیه خوشه‌ای

دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای، گروه‌بندی ارقام را بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در سه شرایط تنش قطع آبیاری در مراحل گلدهی، غوزه‌دهی و تشکیل دانه به ترتیب در شکل‌های ۶، ۷ و ۸ نشان می‌دهد. زمانی که محل برش، دندروگرام‌ها را به سه گروه تقسیم کرد تابع تشخیص در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید و بنابراین به عنوان بهترین حالت برش انتخاب شد.

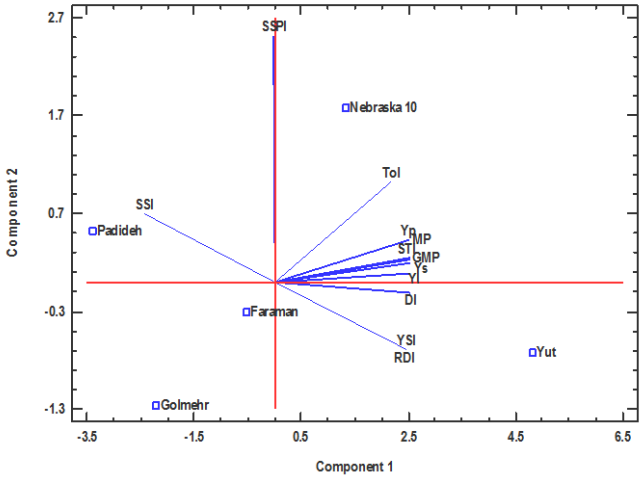
در شرایط تنش قطع آبیاری در مرحله گلدهی (شکل ۶) گروه اول شامل سه رقم گلمهر، فرامان و نبراسکا ۱۰ بود. این گروه در مجموع از نظر همه شاخص‌های تحمل به تنش عملکرد متوسطی در هر دو شرایط تنش خشکی و شاهد داشت. گروه دوم شامل رقم پدیده بود که با توجه به نتایج بدست آمده به عنوان رقم حساس شناخته می‌شوند. گروه سوم نیز شامل رقم یوت بود که از نظر بیشتر شاخص‌های مورد مطالعه بیشترین امتیاز را داشت که در مجموع در مقایسه با سایر ارقام مورد مطالعه، رقم متحمل محسوب شد.



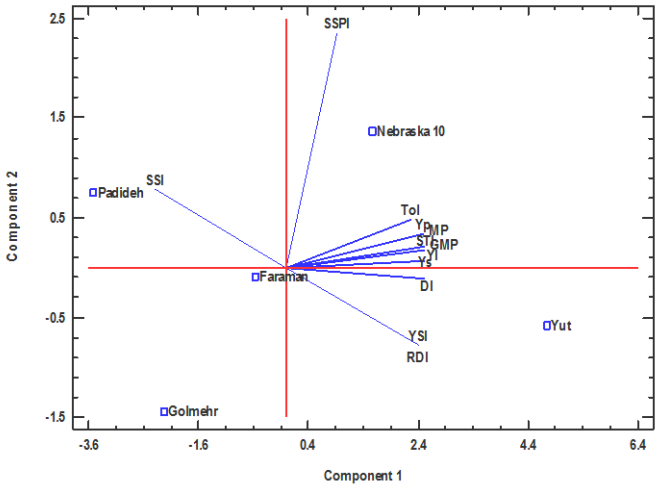
شکل۲- تغییرات مقادیر ویژه مربوط به تجزیه مولفه‌های اصلی برای تنش قطع آبیاری در مراحل مختلف در ارقام گلرنگ، الف) قطع آبیاری در مرحله گلدهی، ب) قطع آبیاری در مرحله غوزه‌دهی و ج) قطع آبیاری در مرحله تشکیل دانه.



شکل ۳- نمودار بای پلات دو مولفه اول تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مربوط به تیمار تنش خشکی قطع آبیاری در مرحله گلدهی که در آن موقعیت شاخص‌ها و ارقام مورد مطالعه مشخص شده است.

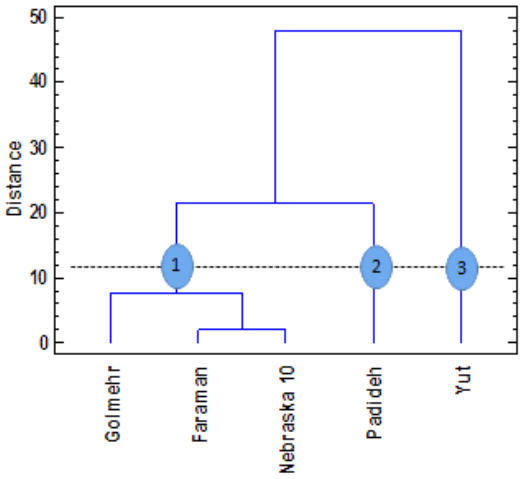


شکل ۴- نمودار بای پلات دو مولفه اول تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مربوط به تیمار تنش خشکی قطع آبیاری در مرحله غوزه‌دهی که در آن موقعیت شاخص‌ها و ارقام مورد مطالعه مشخص شده است.

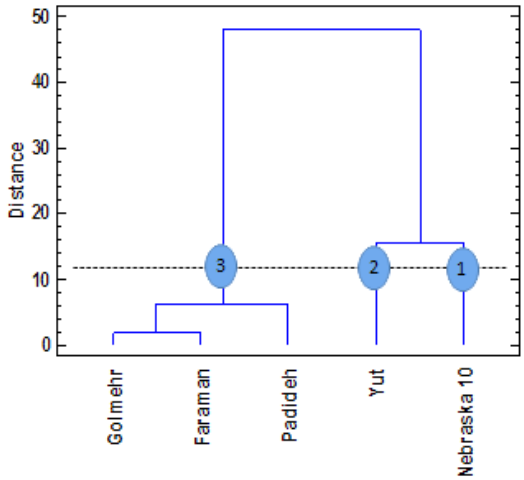


شکل ۵- نمودار بای پلات دو مولفه اول تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مربوط به تیمار تنش خشکی قطع آبیاری در مرحله تشکیل دانه که در آن موقعیت شاخص‌ها و ارقام مورد مطالعه مشخص شده است.

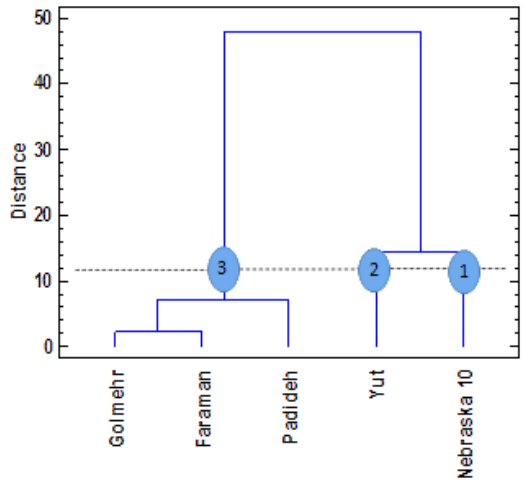
از طرف دیگر در شرایط قطع آبیاری در مرحله غوزه-دهی و تشکیل دانه (شکل ۷ و ۸) گروه اول شامل نبراسکا ۱۰ بود که در مجموع با توجه به مقادیر شاخص‌های به دست آمده جزء ارقام نیمه متحمل محسوب می‌شوند. رقم یوت در گروه دوم جای گرفت و این رقم تحت تنش خشکی در دو شرایط مذکور متحمل‌ترین رقم تلقی می-شود. در گروه سوم ارقام گلمهر، فرامان و پدیده قرار گرفتند که در مجموع از عملکرد پایینی در ارتباط با شاخص‌های مورد مطالعه داشتند و حساس‌ترین ارقام بودند. همان طور که در دندروگرام هم مشاهده می‌شود حساس‌ترین آنها رقم پدیده بود. بر اساس نتایج گروه‌بندی ارقام مورد بررسی با روش تجزیه خوشه‌ای و براساس شاخص‌های کمی مقاومت به خشکی، ارقام در هر سه شرایط تنش مورد مطالعه در سه گروه قرار گرفتند. ارقام یوت و پدیده به ترتیب متحمل‌ترین و حساس‌ترین ارقام بودند. تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های مقاومت به خشکی توسط محققین دیگر نیز مورد استفاده قرار گرفته است [۱۱].



شکل ۶- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای برای کلیه شاخص‌ها به روش Ward برای ارقام گلرنگ در تنش قطع آبیاری در مرحله گلدهی



شکل ۷- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای برای کلیه شاخص‌ها به روش Ward برای ارقام گلرنگ در تنش قطع آبیاری در غوزه‌دهی



شکل ۸- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای برای کلیه شاخص‌ها به روش Ward برای ارقام گلرنگ در تنش قطع آبیاری در مرحله تشکیل دانه

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که از نظر دستیابی به عملکرد دانه بالاتر در تمامی ارقام مورد آزمایش در این تحقیق، تیمار آبیاری کامل نسبت به تیمارهای قطع آبیاری در مرتبه بالاتری قرار گرفت. علت این موضوع را می‌توان از یک سو به تأثیر سوء تنش کم‌آبی بر تمام واکنش‌های فیزیولوژیک گیاه و از سوی دیگر به توانایی تولید بالقوه بالای گلرنگ در شرایط مناسب رشد نسبت داد.

در بین تیمارهای قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه نیز بیشترین خسارت به عملکرد دانه گیاه از قطع آبیاری در مرحله گلدهی حاصل گردید. بنابراین باید برنامه‌ریزی‌ها در جهتی انجام گیرد که از وقوع تنش آبی در این مرحله جلوگیری شود. همچنین در این آزمایش مشاهده شد رقم خارجی یوت نسبت به سایر ارقام گلرنگ به ویژه ارقام داخلی از عملکرد دانه بیشتری برخوردار است. در بین ارقام مورد بررسی و بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی افت عملکرد دانه رقم یوت در هر یک از مراحل وقوع تنش نسبت به سایر توده‌ها کمتر بود که حاکی از مقاومت بیشتر این رقم در برابر تنش خشکی است. شاخص‌های MP، GMP و STI مناسب‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی تحمل به تنش خشکی در مراحل مختلف رشدی در ارقام مورد مطالعه گلرنگ هستند. بر اساس این شاخص‌ها و همچنین مقادیر دیگر شاخص‌های مورد مطالعه، نمودار بای‌پلات و تجزیه خوشه‌ای، رقم یوت در هر سه شرایط تنش خشکی مورد مطالعه به عنوان متحمل‌ترین رقم و در مجموع رقم پدیده حساس‌ترین رقم در هر سه شرایط تنش مطالعه شده محسوب می‌شود.

References

[1]. Abolhasani, K. & Saiedi, G. (2006). Evaluation of drought tolerance of safflower lines based on tolerance and sensitivity indices to water stress. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 10(3), 407-418. (in Farsi).

[2]. Alizadeh, K. & Carapetian, J. (2006). Genetic variation in a safflower germplasm grown in rainfall cold drylands. *Journal of Agronomy*, 5, 50-52.

[3]. Aminian, R., Karimzadeh Asl, K., Habibzadeh, F. & Baghbani Arani, A. (2019). The multivariate statistical methods to study the relationships among Safflower Traits under Normal Irrigation and Drought stress conditions. *Plant Productions (Scientific Journal of Agriculture)*, 42(2), 211-226. (in Farsi).

[4]. Amiri, E., Ghanbari, A., Tavassoli, A., Rastegaripour, F. & Roshani, S. (2012). Evaluation of qualitative and quantitative characteristics of rapeseed cultivars under drought stress and introducing best cultivar on the basis of tolerance indicators. *Crop physiology journal*, 4(15), 17-28. (in Farsi).

[5]. Arsalan, B. (2007). Assessing heritability and variance components of yield and some agronomic traits of different safflower cultivars under stress and non-stress irrigation regimes. *Asian Journal of Plant Sciences*, 6, 554-557.

[6]. Ashkani, J., Paknia, H. & Ghotbi, V. (2007). Genetic evaluation of physiological traits for screening of suitable spring safflower genotype under stress and non-stress irrigation regimes. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10, 2320-2326.

[7]. Behdani, M. A. & Mousavifar, B. E. (2011). Effect of insufficient irrigation on plant dry mater and remobilization in three spring safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agroecology*, 3(3), 277-289. (in Farsi).

[8]. Bouslama, M. & Schapaugh, W. T. (1984). Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, 24, 933-937.

[9]. Dorrani-Nejad, M., Aghighi, S. & Mohammadi-Nejad, G. (2019). The Evaluation of the Elite Genotypes for Drought Tolerance in Cumin (*Cuminum Cyminum* L.) Using Drought Tolerance Indices. *Plant Productions (Scientific Journal of Agriculture)*, 42(2), 227-238. (in Farsi).

[10]. Eyni Nargeseh, H., Aghaalikhani, M., Hosein Shirani Rad, A., Mokhtasi-Bidgoli, A. & Modares Sanavy S. A. M. (2019). Response of New Genotypes of Rapeseed (*Brassica napus*) to Late Season Withholding Irrigation under Semi-Arid

Climate. *Plant Productions (Scientific Journal of Agriculture)*, 41(4), 55-68. (in Farsi).

[11]. Farshadfar, E. & Mohammadi, R. (2003). Evaluation of Physiological drought resistance indices in Agropyron using multiple selection criteria. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 34, 646-635. (in Farsi).

[12]. Farshadfar, E., Zamani, M.R., Matlabi, M. & Emam-Jome, E.E. (2001). Selection for drought resistance chickpea lines. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 32, 65-77. (in Farsi).

[13]. Fernandez, G. C. I. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C. G. (Ed.), Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. Proc. Int. Symp. For water stress, Taiwan, AsianVeget. Res. Develop. Center.

[14]. Fischer, R. A., Rees, D., Sayre, K. D., Lu, Z. M., Condon, A. G. & Saavedra, A. L. (1998). Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. *Crop Science*, 38, 1467-1475.

[15]. Gabriel, K.R. (1971). The biplot graphical display of matrices with applications to principal component analysis. *Biometrika*, 58, 453-467.

[16]. Golabadi, M., Arzani, A. & Mirmohammadi Maibody, S.A.M. (2006). Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. *African Journal of Agricultural Research*, 1, 162-171.

[17]. Golkar, S., Pirani, M. & Nabieian, S. (2018). Study of sustainable agriculture in dry regions. The first international conference and the third national conference on sustainable management of soil and environment resources, Oct. 4-6. Kerman, Iran. 217-229. (in Farsi).

[18]. Hay, R. K. M. & Walker, A. J. (1989). An introduction to the physiology of crop yield. Longman Scientific and Technical, 292 pp.

[19]. Helali, A. A. (2018). Investigating the share of domestically produced and imported oilseeds in the supply of household consumable oil. Institute of programming researches, agriculture economic and rural development-research services management. Pp: 25. (in Farsi).

[20]. Jafari, A., Choukan, R., Paknejad, F. & Pourmaidani, A. (2007). Study of selection indices for drought tolerance in some of grain mize hybrids. *Iranian Journal of crop science*, 9, 200-212. (in Farsi).

[21]. Karimi, A., Roshanfekr, H. & Meskarbashi, M. (2013). Effect of irrigation regimes on oil and proline content and some physiological characteristics of tow safflower cultivars in climatic condition of Ahvaz. *Plant Productions (Scientific Journal of Agriculture)*, 36(3), 105-116. (in Farsi).

[22]. Kargar, S. M. A., Ghannadha, M. R., Bozorgi-Pour, R., Atari, A. A. & Babaei, H. R. (2004). Investigation of drought tolerance indices in some soybean genotypes under restricted irrigation condition. *Iranian journal of agriculture science*, 35, 97-111. (in Farsi).

[23]. Khalili. M., Naghavi, M. R., Pour-Aboughadareh, A. R. & Talebzadeh, J. (2012). Evaluating of drought stress tolerance based on se-lection indices in spring canola cultivars (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural Science*, 4(11), 78-85.

[24]. Khalili. M., Naghavi, M. R. & Pour-Aboughadareh, A. R. (2016). Evaluation of Grain Yield and Some of Agro-Morphological Characters in Spring Safflowers Genotypes under Irrigated and Rainfed Conditions. *Journal of crop breeding*, 7 (16), 139-148. (in Farsi).

[25]. Khalili, M., Pour-Aboghadareh, A. R. & Naghavi, M. R. (2016). Assessment of drought tolerance in barley: integrated selection criterion and drought tolerance indices. *Environmental and Experimental Biology*, 14(1), 33-41

[26]. Khalili, M., Pour-Aboghadareh, A. R., Naghavi, M. R. & Mohammad Amini, E. (2014). Evaluation of Drought Tolerance in Safflower Genotypes Based on Drought Tolerance Indices. *Notulae botanicae horti agrobotanici Cluj-Napoca*, 42(1), 214-218.

[27]. Ministry of Agriculture-Jahad. (2009). Criteria, indicators and standards for oilseed production. *Plant Productions Department*. (in Farsi).

[28]. Mohtashami, F., Tadayon, M. R. & Roshandel, P. (2018). Evaluation of the effect of deficit irrigation regimes on grain yield and yield components of safflower genotypes. *Crops Improvement (Journal of Agricultural Crops Production)*, 20(2), 547-561. (in Farsi).

[29]. Monajem, S., Ahmadi, A. & Mohammadi, V. (2010). Effects of drought stress in Reproductive Stages on photoassimilates partitioning of Rapeseed (*Brassica napus*). *Electronica journal of crop production*, 3(3), 163-178. (in Farsi).

[30]. Naghavi, M. R. (2014). Evaluation of spring wheat cultivars under drought stress and proteome analysis for the most tolerant and sensitive ones. PhD Thesis. Faculty of Agriculture. University of Tabriz. (in Farsi).

[31]. Naghavi, M. R. Pour-Aboghadareh, A. R., & Khalili, M. (2013). Evaluation of Drought Tolerance Indices for Screening Some of Corn (*Zea mays* L.) Cultivars under Environmental Conditions. *Notulae science biology*, 5(3), 388-393.

[32]. Omidi, A. H. & Javidfar, F. (2012). Safflower oil crop. Agriculture education press (Ministry of Agriculure-Jahad). Pp, 128. (in Farsi).

[33]. Omidi, M., Siahpoosh, M. R., Mamghani, R. & Modarresi M. (2015). Heat tolerance evaluating of wheat cultivars using physiological characteristics and stress tolerance indices in Ahvaz climatic conditions. *Plant Productions (Scientific Journal of Agriculture)*, 38(1), 103-113. (in Farsi).

[34]. Raziei, T. (2016). Investigation of drought characteristics in arid and semi-arid regions of of Iran. *Watershed Engineering and Management*, 7(4), 363-378. (in Farsi).

[35]. Schneider, K. A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriques, B., Acosta- Gallegos, J. A., Ramirez-Allejo, P., Wassimi, N. & Kelly, J. D. (1997). Improving common bean performance under drought stress. *Crop Sciense*, 37, 43-50.

[36]. Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K. & Mohammadi, V. (2006). Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research*, 98, 222-229.

[37]. Sundari, T., Tohari, S. & Mangoendidjojo, W. (2005). Yield performance and tolerance of mungbean genotypes to shading. Ilmu. *Pertanian*, 12, 12-19.

[38]. Talebi, R., Fayaz, F. & Mohammad-Naji, A. (2009). Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiology*, 35, 64-74.

[39]. Yari, P., Keshtkar, A. H. & Sepehri, A. (2014). Evaluation of Water Stress Effect on Growth and Yield of Spring Safflower. *Journal of plant product technology*, 14(2), 101-117. (in Farsi).

Comparison of some drought tolerance indices in Iranian and foreign safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars

1- Mohammad Reza Naghavi, Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Iran.
2- Isa Piri, Associate Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Iran.
3- Maroof Khalili, Associate Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Iran.
4- Abolfazl Tavassoli*, Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Iran.
A.Tavassoli@pnu.ac.ir

Received: 16 Jan 2021
Accepted: 13 Mar 2021

Abstract

In order to evaluate the drought tolerance of safflower cultivars using some drought tolerance indices, an experiment was carried out as split plot in complete randomize block design with three replications in the research field of Payame Noor University of Khash, during the growing season of 2015-2016. Experimental treatments were consisted of four drought stress levels included cutting-off irrigation at stages of flowering, beginning capsule, ripening stage and no cutting-off irrigation as main factor, and five safflower cultivars included domestic cultivars of Golmehr, Padideh and Faraman; and foreign cultivars of Yut and Nebraska 10 as sub factor. The results showed that the highest seed yield was obtained from treatment of no cutting-off irrigation and Yut cultivar, and the lowest seed yield was related to irrigation cut-off treatment in the flowering stage and Padideh cultivar. Correlation coefficients between drought tolerance indices and seed yield under the conditions of all three stresses showed that MP, GMP, STI, RDI and YI indices had a positive and significant correlation in all three stress conditions with seed yield under control and stress conditions. Therefore, they can be used for better selecting of safflower tolerant cultivars. In addition, the correlation between MP, GMP, STI, RDI and YI indices in all three stress conditions were positive and significant, which due to their correlation with seed yield in all three conditions increases the desirability of simultaneous use of these indices in the selection of cultivars. In general, for safflower cultivars, indices of MP, GMP and STI were the most appropriate indices to evaluate drought stress tolerance in different treatments studied. Based on these indices, as well as biplot diagram and cluster analysis, Yut cultivar was identified as the most tolerant and Padideh cultivar was identified as the most sensitive in all three drought stress conditions.

Keywords: Arid regions, Drought, Khash, Oil plant, Seed yield