

## ارزیابی تحمل به تنش خشکی آخر فصل در ژنوتیپ‌های آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)

### Evaluation of Tolerance to Terminal Drought Stress in Sunflower Genotypes (*Helianthus annuus* L.)

علی صارمی‌راد<sup>۱\*</sup>، خداداد مصطفوی<sup>۲</sup> و محمدصادق حسینی<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۲/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۰  
(مقاله پژوهشی)

#### چکیده

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که گیاه با آن روبرو می‌گردد. به منظور مطالعه تأثیر تنش خشکی در آفتابگردان، تعداد ۱۲ ژنوتیپ در سال زراعی ۱۳۹۵ تحت شرایط نرمال و تنش خشکی مورد ارزیابی قرار گرفتند. در شرایط نرمال و تنش خشکی ژنوتیپ‌های Progress (به ترتیب ۵۵۷۲/۲۶ کیلوگرم در هکتار و ۴۹۹۹/۷۰ کیلوگرم در هکتار) و Sor (به ترتیب ۵۴۴۵/۱۳ کیلوگرم در هکتار و ۴۷۵۳/۸۱ کیلوگرم در هکتار) دارای بیش‌ترین پتانسیل عملکرد دانه بودند. ۱۱ شاخص تحمل و حساسیت به تنش بر اساس میزان عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش خشکی محاسبه گردیدند. شاخص‌های MP، GMP، STI، Harm، YI و DI به دلیل همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه تحت هر دو شرایط نرمال و تنش، جهت تعیین ژنوتیپ‌های متحمل و حساس به تنش خشکی مورد استفاده قرار گرفتند. دو مؤلفه اول حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شاخص‌های تحت مطالعه و عملکرد دانه در هر دو شرایط مجموعاً بیش از ۹۹ درصد تغییرات را توجیه کردند. ضرایب حاصل از تجزیه به مؤلفه اصلی شاخص‌ها، مؤلفه اول را تحت عنوان مؤلفه پتانسیل عملکرد دانه و تحمل به تنش خشکی و مؤلفه دوم را به عنوان مؤلفه حساسیت به تنش خشکی نام‌گذاری کردند. تجزیه خوشه‌ای بر اساس مقادیر مؤلفه‌های اول و دوم حاصل از شاخص‌های تحمل به تنش خشکی، ژنوتیپ‌ها را در پنج گروه مستقل طبقه‌بندی نمود. ژنوتیپ‌های استفاده‌شده در مطالعه حاضر نسبت به تنش خشکی تنوع ژنتیکی بالایی را نشان دادند. در نهایت ژنوتیپ‌های Progress و Sor متحمل‌ترین و ژنوتیپ Lakomka حساس‌ترین ژنوتیپ به تنش خشکی آخر فصل انتخاب شد.

**واژه‌های کلیدی:** آفتابگردان، عملکرد، شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش

۱ و ۲. به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران  
\* نویسنده مسئول  
Email: asaremirad@gmail.com

تنش‌هایی که گیاهان را متأثر می‌سازند، در دو دسته کلی تنش‌های زیستی و غیر زیستی طبقه‌بندی می‌شوند. طیف وسیعی از تنش‌های غیر زیستی وجود دارند که گیاهان را از نظر بقا، رشد، کیفیت و کمیت محصولات تهدید می‌کنند (نایت<sup>۱</sup> و همکاران، 2006). در میان انواع تنش‌های غیر زیستی، تنش خشکی یکی از حائز اهمیت‌ترین عوامل محدودکننده رشد و تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود (احمدی<sup>۲</sup>، 2009)، به طوری که افت عملکرد ناشی از تنش خشکی ۱۷ درصد برآورد شده است (اشرف و هریس<sup>۳</sup>، 2005).

کشور ایران بر اساس گزارش فائو<sup>۴</sup> (2010) دارای میانگین بارندگی سالانه ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد و در گروه کشورهای خشک و نیمه‌خشک دسته‌بندی می‌شود؛ با در نظر داشتن این موضوع، توجه به اثرات تنش خشکی در مراحل مختلف رشد گیاه و تولید محصول حائز اهمیت ویژه بسیاری می‌باشد و باید در کانون توجهات قرار گیرد. آفتابگردان یکی از گیاهان دانه روغنی است که در معرض این تنش قرار می‌گیرد. این گیاه طی چند دهه اخیر به دلیل دارا بودن اسیدهای چرب مفید مورد توجه روزافزون قرار گرفته است. ارزیابی ویژگی‌های مختلف و به‌ویژه عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال و تنش رطوبتی امکان شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل را فراهم می‌آورد. با وارد نمودن ژنوتیپ‌های متحمل به برنامه‌های اصلاحی می‌توان در جهت کاهش اثرات سوء تنش خشکی و امنیت غذایی انسان‌ها گام مؤثری طی نمود. در راستای ارزیابی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و حساس، روش‌های متعددی توسط محققین این حوزه ارائه شده است که یکی از آن‌ها استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش‌ها می‌باشد. شاخص بهره‌وری متوسط<sup>۵</sup> (MP) (رزیل و هامبلین<sup>۶</sup>، 1981)، بهره‌وری متوسط ژئومتریکی<sup>۷</sup> (GMP) (فرناندز<sup>۸</sup>، 1992)، شاخص تحمل به تنش<sup>۹</sup> (TOL) (رزیل و هامبلین، 1981)، شاخص حساسیت به تنش<sup>۱۰</sup> (SSI) (فیشر و مائورر<sup>۱۱</sup>، 1987)، شاخص تحمل به تنش فرناندز<sup>۱۲</sup> (STI) (فرناندز، 1992)،

شاخص میانگین هارمونیک<sup>۱۳</sup> (HARM)، شاخص نسبی خشکی<sup>۱۴</sup> (RDI) (فیشر و وود<sup>۱۵</sup>، 1979)، شاخص پایداری عملکرد<sup>۱۶</sup> (YSI) (بوسلاما و شاپاوق<sup>۱۷</sup>، 1984)، شاخص عملکرد<sup>۱۸</sup> (YI) (گاوزی<sup>۱۹</sup> و همکاران، 1997)، شاخص خشکی<sup>۲۰</sup> (DI) (لان<sup>۲۱</sup>، 1998) و شاخص درصد حساسیت به تنش<sup>۲۲</sup> (SSPI) (موسوی<sup>۲۳</sup> و همکاران، 2008) از جمله پرکاربردترین شاخص‌ها هستند که توسط پژوهشگران مختلف به منظور شناسایی و تفکیک ژنوتیپ‌های متحمل و حساس به وفور به کار گرفته شده‌اند که در زیر به تعدادی از آن‌ها در گیاهان مختلف اشاره خواهد شد. رزالس سرنا<sup>۲۴</sup> و همکاران (2000) و شنایدنر<sup>۲۵</sup> و همکاران (2004) جهت مطالعه تحمل به خشکی در لاین‌های لوبیا، شاخص بهره‌وری متوسط (GMP) را ملاک انتخاب ژنوتیپ‌های حساس و متحمل قرار دادند. کاکابی و همکاران (۱۳۹۳) در ژنوتیپ‌های کلزا، سوری و همکاران (۱۳۸۴)، فرشادفر و همکاران (۱۳۸۰) در ژنوتیپ‌های نخود، آقایی سربزه و همکاران (۱۳۸۸)، گاراوندی و همکاران (۱۳۸۹)، کانونی و همکاران (۱۳۸۱) و شفازاده و همکاران (۱۳۸۳) در گندم و در گندم دوروم فلاحی و همکاران (۱۳۹۰) و نوری<sup>۲۶</sup> و همکاران (2011) از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش استفاده کردند.

در مطالعه‌ای که توسط مظفری و همکاران (۱۳۷۵) روی آفتابگردان صورت پذیرفت، شاخص‌های GMP، MP و STI بهترین شاخص‌ها جهت تمایز ژنوتیپ‌ها شناخته شدند؛ ژنوتیپ گلشید بر اساس این شاخص‌ها ژنوتیپ متحمل معرفی شد در حالی که شاخص TOL صدق این نتیجه را مورد تأیید قرار نداد.

مطالعه حاضر با هدف بررسی واکنش ژنوتیپ‌های آفتابگردان روغنی از لحاظ عملکرد دانه نسبت به تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش و تعیین بهترین ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به تنش پایه‌ریزی و به مرحله اجرا درآمد.

13. Harmonic Index
14. Relative Drought Index
15. Fisher and Wood
16. Yield Stability Index
17. Bouslama and Schapaugh
18. Yield Index
19. Gavuzzi
20. Drought Index
21. Lan
22. Stress Susceptibility Percentage Index
23. Moosavi
24. Rosales-Serna
25. Schneider
26. Nouri

1. Knight
2. Ahmadi
3. Ashraf and Harris
4. FAO
5. Mean Productivity
6. Rosielle and Hamblin
7. Geometric Mean Productivity
8. Fernandez
9. Tolerance Index
10. Stress Susceptibility Index
11. Fischer and Maurer
12. Stress Tolerance Index

۲. شاخص میانگین هارمونیک

$$HARM = \frac{2(Y_p)(Y_s)}{Y_p + Y_s}$$

۳. شاخص میانگین هندسی به‌عنوان متوسط (GMP)

$$GMP = \sqrt{Y_p - Y_s}$$

۴. شاخص تحمل (TOL)

$$TOL = Y_p - Y_s$$

۵. شاخص تحمل به تنش (STI)

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

۶. شاخص حساسیت به تنش (SSI)

$$SSI = \frac{[1 - \frac{Y_s}{Y_p}]}{SI}$$

۷. شاخص عملکرد (YI)

$$YI = (\frac{Y_s}{\bar{Y}_s})$$

۸. شاخص پایداری عملکرد (YSI)

$$YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$$

۹. شاخص خشکی نسبی (RDI)

$$RDI = \frac{(\frac{Y_s}{Y_p})}{(\frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p})}$$

۱۰. شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI)

$$SSPI = (\frac{Y_p - Y_s}{2(\bar{Y}_p)}) \times 100$$

۱۱. شاخص مقاومت به خشکی (DI)

$$DI = \frac{Y_s(\frac{Y_s}{Y_p})}{\bar{Y}_s}$$

در این روابط  $Y_p$  عملکرد ژنوتیپ موردنظر در محیط عدم تنش،  $Y_s$  عملکرد ژنوتیپ موردنظر در شرایط محیطی تنش،  $\bar{Y}_p$  متوسط عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش،  $\bar{Y}_s$  متوسط عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط عدم تنش و  $SI$  و  $SI$  تنش که مقدارش بین صفر و یک است و با فرمول  $SI = \frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p}$  محاسبه می‌شود، هستند.

برای محاسبه شاخص‌های کمی تحمل و حساسیت به تنش خشکی از نرم‌افزار Excel، جهت محاسبه ضرایب همبستگی میان شاخص‌ها، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، ترسیم نمودار گرافیکی چند متغیره بای‌پلات و نیز نمودارهای سه‌بعدی از نرم‌افزار Minitab و از نرم‌افزار R برای تجزیه خوشه‌ای به روش Ward و فاصله اقلیدسی به‌عنوان معیار تشابه استفاده گردید.

## مواد و روش‌ها

آزمایشی در بهار و تابستان ۱۳۹۵ با استفاده از ۱۲ ژنوتیپ آفتابگردان روغنی (جدول ۱) در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه ۴۸ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۲۱ متر از سطح دریا انجام شد. مزرعه پژوهشی دارای بافت خاک لومی-رسی و  $pH = 7/5$  در حد خنثی است. این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو شرایط نرمال و تنش خشکی با سه تکرار در هر یک از شرایط به مرحله اجرا درآمد.

پس از آماده‌سازی زمین کشت، بذور هر ژنوتیپ در چهار ردیف به طول پنج متر با تراکم کاشت حدود ۶۲۵۰۰ بذر در هکتار (شش کیلوگرم بذر در هکتار) و فاصله ردیف‌های ۶۰ سانتی‌متر در عمق پنج سانتی‌متری خاک به‌طور دستی کاشته شد. از کود اوره جهت تأمین نیتروژن موردنیاز گیاه به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت سرک در سه مرحله، قبل از گل‌دهی استفاده گردید. کلیه عملیات زراعی شامل کاشت، داشت و برداشت به‌جز آبیاری برای هر دو آزمایش نرمال و تنش خشکی به‌صورت یکسان و با روش به کار گرفته توسط کشاورزان منطقه انجام شد. آبیاری تا مرحله گل‌دهی مطابق نیاز گیاه به‌طور یکسان در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی انجام داده شد و پس از مرحله گل‌دهی، به‌منظور القای تنش خشکی آخر فصل، آبیاری در آزمایش نرمال بر اساس ۶۰ میلی‌متر تبخیر و در آزمایش تنش خشکی بر اساس ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A انجام شد (کبری<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۸؛ رحیمی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۳؛ حاتمی ملکی و همکاران، ۱۳۹۵). مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ و نازک برگ با وجین دستی و در صورت لزوم با علف‌کش انجام گرفت.

برای اندازه‌گیری و تعیین عملکرد دانه در واحد سطح، ردیف‌های کاشت اول و آخر حذف و بوته‌های دو ردیف میانی با حذف نیم متر از ابتدا و انتها به‌منظور از بین بردن اثرات حاشیه‌ای و افزایش دقت آزمایش برداشت شد و بعد از انجام خالص‌سازی و بوجاری عملکرد دانه برای هر یک از ژنوتیپ‌ها محاسبه و لحاظ گردید؛ سپس جهت شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و حساس به لحاظ عملکرد دانه از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش به شرح ذیل بهره برده شد:

۱. شاخص بهره‌وری متوسط (MP)

$$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2}$$

جدول ۱: مشخصات ژنوتیپ‌های آفتابگردان روغنی تحت مطالعه در شرایط نرمال و تنش خشکی

Table 1: Specifications of oilseed sunflower genotypes under normal and drought stress conditions

منشأ	ژنوتیپ	شماره ژنوتیپ	منشأ	ژنوتیپ	شماره ژنوتیپ
Origin	Genotype	Genotype no.	Origin	Genotype	Genotype no.
روسیه	لاکومکا	G7	ایران	زرگل	G1
Russia	Lakomka		Iran	Zargol	
رومانی	رکورد	G8	روسیه	آرماویرسکی	G2
Romania	Record		Russia	Armaverski	
ایران	زاریا	G9	ایران	آذرگل	G3
Iran	Zaria		Iran	Azargol	
روسیه	سور	G10	روسیه	فیوریت	G4
Russia	Sor		Russia	Favorit	
روسیه	پروگرس	G11	روسیه	مستر	G5
Russia	Progress		Russia	Master	
روسیه	گابور	G12	روسیه	اس‌اچ‌اف ۸۱-۹۰	G6
Russia	Gabur		Russia	SHF81-90	

### نتایج و بحث

احتمال یک درصد معنی‌دار شد که مبین وجود تنوع ژنتیکی میان ژرم‌پلاسما تحت مطالعه بود؛ به بیان بهتر ژنوتیپ‌های موردبررسی واکنش‌های متفاوتی را از نظر عملکرد دانه نشان دادند. تجزیه واریانس مرکب نشان داد که بیش‌ترین مجموع مربعات کل به‌وسیله ژنوتیپ (۶۱/۰۴ درصد) تبیین می‌شود. تنوع ژنتیکی میان ژنوتیپ‌های مورد استفاده، تأثیر بسزایی در تغییرات داده‌ها داشته است.

بررسی همگنی خطای آزمایشی با آزمون بارتلت انجام شد و نتایج حاصل از آن یکنواختی خطاهای آزمایشی را در دو شرایط نرمال و تنش خشکی تأیید نمود؛ لذا تجزیه واریانس مرکب انجام شد و نتایج حاصله در جدول ۲ ارائه گردید. اثر محیط وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بین شرایط نرمال و تنش خشکی را تأیید کرد. اثر ژنوتیپ نیز در سطح

جدول ۲: تجزیه واریانس مرکب ارقام آفتابگردان مورد مطالعه در شرایط نرمال و تنش خشکی

Table 2: Combined analysis of variance of studied sunflower cultivars under normal condition and drought stress

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	واریانس توجیه شده (درصد)
S.O.V	df	SS	MS	Justified variance (%)
محیط	1	8603090.27	8603090.27**	12.28
Environment (E)				
اشتباه اول	4	2873348.16	718337.04	4.10
First error				
ژنوتیپ	11	42768883.41	3888080.31**	61.04
Genotype (G)				
ژنوتیپ × محیط	11	1118213.14	101655.74 <sup>ns</sup>	1.60
G × E				
اشتباه دوم	44	14702435.88	334146.27	20.98
Second error				
ضریب تغییرات (درصد)			14.42	
CV%				

\*\* و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و غیرمعنی‌دار

\*\* and ns: Significant at 1% probability level and non-significant, respectively

است. طبق نتایج حاصل، بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه در هر دو شرایط نرمال (Yp) و تنش خشکی (Ys) اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین، ژنوتیپ‌های Progress (Yp=۵۵۷۰/۲۶) و Yp=۵۴۴۵/۱۳) Sor و Ys=۴۹۹۹/۷۸ کیلوگرم در هکتار) و Ys=۴۷۵۳/۸۱ کیلوگرم در هکتار) بیش‌ترین و ژنوتیپ Lakomka (Yp=۲۹۱۷/۸۵) و Ys=۲۱۸۲/۵۷ کیلوگرم در

### ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش

شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به تنش به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی محاسبه گردیدند. نتایج مربوط به تجزیه واریانس شاخص‌ها در جدول ۳ و نتایج مربوط به مقایسه میانگین آن‌ها در جدول ۴ ارائه شده

احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۳). مقادیر بالای عددی شاخص‌های MP، GMP، STI، Harm، YI و DI مؤید تحمل زیاد ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی است. طبق ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس این شاخص‌ها مشخص شد که دو ژنوتیپ Progress و Sor در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها توانسته‌اند تنش خشکی را بیش‌تر تحمل کنند و پتانسیل عملکرد دانه بالایی در هر دو شرایط نرمال و تنش داشته باشند (جدول ۴). ژنوتیپ Lakomka از نظر شاخص‌های نامبرده از تحمل و پتانسیل عملکرد پایینی برخوردار بود؛ لذا تحت عنوان ژنوتیپ حساس به خشکی بر اساس این شاخص‌ها انتخاب شد (جدول ۴).

از نظر شاخص‌های SSI و TOL، هر اندازه ژنوتیپی از مقدار عددی پایین‌تری برخوردار باشد دارای تحمل نسبی بالا و حساسیت به تنش پایین‌تری است. ژنوتیپ‌های تحت بررسی از نظر این دو شاخص تنوع قابل‌ملاحظه‌ای نشان دادند (جدول ۳). در حقیقت این شاخص‌ها چنین تفسیر می‌شوند که ژنوتیپی از حساسیت کم‌تر و تحمل بیش‌تری برخوردار خواهد بود که عملکرد دانه آن در شرایط تنش رطوبتی، به عملکرد دانه در شرایط نرمال نزدیک باشد. بر این اساس اگرچه مقایسه میانگین به روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) طبقه‌بندی متمایزی ارائه نکرد (جدول ۴)، اما در مجموع ژنوتیپ Armavers از کاهش عملکرد دانه پایینی در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال برخوردار بود و تحت عنوان ژنوتیپ متحمل طبق این دو شاخص شناخته شد. هم‌چنین هر اندازه مقدار شاخص SSPI برآورد شده برای یک ژنوتیپ بزرگ‌تر باشد حاکی از حساسیت بیش‌تر آن ژنوتیپ به تنش خشکی خواهد بود. بین ژنوتیپ‌ها تنوع معنی‌داری از نظر این شاخص ملاحظه نشد (جدول ۳). با این‌که تمامی ژنوتیپ‌ها بر اساس نتایج آزمون مقایسه میانگین LSD در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۴)، اما در میان ژنوتیپ‌های تحت مطالعه، سه ژنوتیپ Favorite، Record و Master به ترتیب با مقادیر ۱۲/۸۴، ۱۱/۸۱ و ۱۱/۲۸ بر اساس این شاخص تحت عنوان ژنوتیپ‌های حساس و ژنوتیپ Armavers به عنوان ژنوتیپ متحمل شناخته شد. یک ژنوتیپ برای اینکه به عنوان ژنوتیپ مناسب برای تنش خشکی شناخته شود باید در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی دارای عملکرد مناسبی باشد (فرشادفر<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۱۳؛ محمدی<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۰). مقادیر پایین این شاخص‌ها دلیلی بر بالا بودن عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش نخواهد بود، ژنوتیپ‌هایی وجود دارند که از نظر این شاخص‌ها حساسیت پایینی دارند، اما زمانی که به عملکرد دانه

کم‌ترین عملکرد دانه را در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی به خود اختصاص دادند. با در نظر داشتن رتبه ژنو تیپ‌ها در شرایط نرمال و تنش خشکی چنین استنباط می‌شود که تنش خشکی سبب کاهش عملکرد دانه تقریباً با یک میزان مشخص در تمام ژنوتیپ‌ها شده است و تغییری در رتبه ژنوتیپ‌ها نسبت به شرایط نرمال ایجاد نکرده است. عدم تغییر در رتبه ژنوتیپ‌ها از نظر پتانسیل عملکرد دانه در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال را می‌توان ناشی از تأثیرپذیری یکسان آن‌ها دانست. کاهش ناشی از تنش خشکی در صفات مختلف به‌ویژه در عملکرد دانه در آزمایش‌های گوناگون گزارش شده است (صارمی‌راد و مصطفوی<sup>۱</sup>، ۲۰۲۰؛ سانچز-بیانکو<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۴؛ Earl و دیویس<sup>۳</sup>، ۲۰۰۳؛ نبی‌پور<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۰؛ ردی<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۳). مهم‌ترین دلیل کاهش عملکرد ناشی از تنش خشکی افزایش عقیمی دانه‌های گرده و کاهش اندام فتوسنتزی در نتیجه ریزش برگ‌ها می‌باشد (رئوف و صداقت<sup>۶</sup>، ۲۰۰۷). مواد موردنیاز جهت تغذیه گیاه به‌صورت محلول در آب در دسترس گیاهان قرار می‌گیرد، در هنگام بروز تنش خشکی، آب موردنیاز جهت در دسترس قرار دادن مواد غذایی محدود می‌شود، در نتیجه گیاه ملزم به کاهش مرحله رشد رویشی و آغاز زودهنگام مرحله رشد زایشی می‌گردد که این موضوع کاهش در ارتفاع گیاه را در پی دارد (محمدی<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۰۶)؛ البته باید توجه داشت که این کمبود مواد غذایی موردنیاز، تنها ارتفاع گیاه را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد و بر بسیاری دیگر از جنبه‌های فیزیولوژیک، مورفولوژیک و فنولوژیک گیاه مؤثر است که در نهایت به کاهش عملکرد منتهی می‌شود (صارمی‌راد و مصطفوی، ۲۰۲۰). پتانسیل عملکرد در شرایط تنش خشکی معیار مناسبی جهت گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی نمی‌باشد؛ در مقابل پایداری عملکرد و مقایسه میزان عملکرد در هر دو شرایط تنش و نرمال می‌تواند معیار مطلوب‌تری باشد (سیمان<sup>۸</sup> و همکاران، ۱۹۹۳). گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس واکنش آن‌ها در هر دو شرایط سبب گرد هم آمدن و تجمع آلل‌های مطلوب می‌شود و نهایتاً ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد دانه بالا انتخاب می‌گردند (ریچارد<sup>۹</sup>، ۱۹۹۶).

اثر ژنوتیپ برای شاخص‌های MP، GMP، STI، Harm و YI در سطح احتمال یک درصد و برای شاخص DI در سطح

1. Saremirad and Mostafavi
2. Sanchez-Bianco
3. Earl and Davis
4. Nabipour
5. Reddy
6. Rauf and Sadaqat
7. Mohammadi
8. Simane
9. Richard

10. Farshadfar  
11. Mohammadi

صارمی‌راد و همکاران: ارزیابی تحمل به تنش خشکی آخر فصل در ... آن‌ها رجوع می‌شود، ملاحظه می‌گردد که از پتانسیل عملکرد چشمگیری در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها برخوردار نیستند (موسوی<sup>۱</sup> و همکاران، 2008). این موضوع برای سه شاخص SSI، TOL و SSPI در ژنوتیپ‌های مورد بررسی کاملاً مشهود است (جدول ۳). همان‌طور که ملاحظه می‌شود ژنوتیپ Armavers به دلیل اینکه کاهش عملکرد دانه (درصد تغییر عملکرد دانه) پایین‌تری داشت، ژنوتیپ متحمل نامیده شد و میزان عملکرد دانه مدنظر نبود. از آنجایی که درصد تغییرات پایین به‌عنوان یک عامل تحمل در برابر تنش، بیش‌تر از لحاظ فیزیولوژیکی دارای اهمیت است تا جنبه زراعی، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که گزینش بر اساس شاخص‌های SSI، SSPI و TOL سبب انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد به نسبت پایین در شرایط تنش می‌شود که چنین ژنوتیپ‌هایی به دلیل عملکرد پایین از نظر زراعی نامطلوب می‌باشند (محسنی<sup>۲</sup> و همکاران، 2015؛ مقدم و هادی‌زاده، ۱۳۸۱). با توجه به این‌که اثر ژنوتیپ برای شاخص‌های YSI و RDI غیر معنی‌دار بود و نتایج مقایسه میانگین به روش LSD گروه‌بندی مشخصی ایجاد نکرد، ولی ژنوتیپ Armavers بر اساس این دو شاخص (YSI و RDI) با بیش‌ترین مقدار، متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های Master، Favorit، Lakomka و Record حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی شناسایی گردیدند.

### گزینش ژنوتیپ‌ها و شاخص‌های مطلوب بر اساس تجزیه همبستگی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

از همبستگی میان شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی با عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش خشکی می‌توان برای رسیدن به مطلوب‌ترین معیار جهت ارزیابی تحمل به تنش خشکی ژنوتیپ‌ها بهره برد. شاخص‌هایی که از همبستگی بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط نرمال و تنش برخوردار باشند، مناسب‌ترین شاخص‌ها جهت تعیین ژنوتیپ‌های متحمل هستند. نتایج حاصل از تجزیه همبستگی بین عملکرد دانه در دو محیط نرمال و تنش خشکی و شاخص‌های مورد بررسی در جدول ۵ قابل‌رویت می‌باشد. طبق نتایج حاصله، میان عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال و تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد. این موضوع نشان می‌دهد که اگر ژنوتیپی دارای عملکرد دانه مطلوب، متوسط و یا نامطلوب در شرایط نرمال باشد، بالطبع در شرایط تنش نیز از عملکرد دانه مطلوب، متوسط و یا نامطلوب

برخوردار خواهد شد. گل‌آبادی<sup>۳</sup> و همکاران (2006)، فرشادفر و همکاران (2013) و نیز محسنی و همکاران (2015) به نتایج مشابهی در تحقیقات خود اشاره کرده‌اند. شاخص‌های MP، GMP، Harm، STI، YI و DI در محیط نرمال و تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه داشتند و بدین ترتیب به‌عنوان شاخص‌های مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی شناخته شدند. دو شاخص TOL و SSPI همبستگی منفی و غیر معنی‌دار با عملکرد دانه در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی داشتند. شاخص SSI در هر دو شرایط همبستگی منفی با عملکرد دانه نشان داد اما در شرایط تنش این همبستگی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، حال آنکه در شرایط نرمال غیر معنی‌دار برآورد گردید. شاخص‌های RDI و YSI همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی از خود بروز دادند، در حالی که این همبستگی با عملکرد دانه در محیط نرمال مثبت ولی غیر معنی‌دار شد. بیش‌ترین همبستگی مثبت (\*\*۱) میان شاخص‌های YS و YI، MP و Harm، MP و GMP، Harm و GMP مشاهده شد.

با شناسایی شاخص‌های مناسب تحمل به تنش خشکی، به‌منظور تعیین ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا و متحمل به تنش خشکی در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی، نمودار سه‌بعدی برای هر شش شاخص مناسب متحمل به خشکی (MP، GMP، STI، Harm، YI و DI) ترسیم و در شکل ۱ به نمایش گذاشته شد. این نمودارهای سه‌بعدی روابط میان سه متغیر عملکرد دانه در شرایط نرمال (Yp) روی محور Xها، عملکرد دانه تحت شرایط تنش (Ys) روی محور Yها و یکی از شاخص‌های کمی شناسایی‌شده تحمل به خشکی (MP) روی محور Zها را به نمایش می‌گذارد (فرناندز، 1992؛ نورمند موید<sup>۴</sup>، 1997). نمودارهای سه‌بعدی حاصل از شاخص‌های مطلوب شناخته‌شده، ژنوتیپ‌های Progress و Sor را به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی و دارای پتانسیل عملکرد دانه بالا تحت شرایط نرمال و تنش خشکی اعلام نمودند. این ژنوتیپ‌ها در گروه A قرار گرفتند.

3. Golabadi  
4. Nourmand Moayyed

1. Miusavi  
2. Mohseni

جدول ۳: تجزیه واریانس ساده شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش در ژنوتیپ‌های آفتابگردان روغنی

Table 3: Analysis of variance of tolerance and stress susceptibility indices in oilseed sunflower genotypes

میانگین مربعات MS													درجه آزادی df	منابع تغییر S.O.V.
RDI	YSI	SSPI	SSI	TOL	DI	YI	Harm	STI	GMP	MP	Ys	Yp		
0.11 <sup>ns</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	207.42 <sup>ns</sup>	3.02 <sup>ns</sup>	1571578.6 <sup>ns</sup>	0.30 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	481153.5 <sup>ns</sup>	0.07 <sup>ns</sup>	400233.9 <sup>ns</sup>	325442.4 <sup>ns</sup>	1395950.1 <sup>ns</sup>	40724.0 <sup>ns</sup>	2	بلوک Block
0.02 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	26.83 <sup>ns</sup>	0.59 <sup>ns</sup>	203311.5 <sup>ns</sup>	0.18*	0.16**	2004421.8**	0.35**	1973639.0**	1944040.2**	2130135.1**	1859601.0**	11	ژنوتیپ Genotype
0.05	0.03	89.00	1.29	674378.6	0.12	0.03	194212.7	0.03	178294.1	165551.6	504667.7	163624.9	22	خطا Error
21.51	21.50	118.78	113.31	118.78	41.05	19.40	11.19	21.19	10.63	10.15	19.40	9.29		ضریب تغییرات (درصد) CV (%)

\*, \*\*, و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیرمعنی‌دار

Yp: عملکرد در شرایط نرمال، Ys: عملکرد در شرایط تنش، MP: شاخص بهره‌وری متوسط، GMP: شاخص میانگین هندسی بهره‌وری متوسط، STI: شاخص تحمل به تنش، HARM: میانگین هارمونیک، YI: شاخص عملکرد، DI: شاخص مقاومت به خشکی، TOL: شاخص تحمل، SSI: شاخص حساسیت به تنش، SSPI: شاخص درصد حساسیت به تنش، YSI: شاخص پایداری عملکرد و RDI: شاخص خشکی نسبی

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

Yp: Yield in normal condition, Ys: Yield in stress condition, MP: Moderate productivity index, GMP: Geometric moderate productivity index, STI: Stress tolerance index, HARM: Harmonic mean, YI: Yield index, DI: Drought resistance index, TOL: Stress tolerance index, SSI: Stress Sensitivity Index, SSPI: Stress Susceptibility percent Index, YSI: Yield stability index and RDI: Relative drought index

جدول ۴: مقایسه میانگین شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش در ژنوتیپ‌های آفتابگردان روغنی به روش حداقل اختلاف معنی‌دار

Table 4: Mean comparison of tolerance and stress susceptibility indices in oilseed sunflower genotypes using least significant difference method

RDI	YSI	SSPI	SSI	TOL	DI	YI	Harm	STI	GMP	MP	Ys	Yp	ژنوتیپ Genotype
1.03a	0.87a	7.32a	0.82a	637.00a	1.11ab	1.16ab	4529.55bc	1.09bc	4481.65bc	4551.83bc	4233.33ab	4870.33bcd	Zargol
1.11a	0.93a	3.38a	0.42a	293.92a	1.06ab	1.11ab	4215.92cd	0.94cd	4206.90cd	4221.04cd	4074.08ab	4368.00cde	Armaverski
0.99a	0.83a	9.83a	1.08a	855.67a	0.97ab	1.13ab	4530.58abc	1.09bc	4528.04abc	4570.63bc	4142.80ab	4998.46bcd	Azargol
0.88a	0.74a	12.84a	1.63a	1117.70a	0.66ab	0.87bcd	3665.51def	0.73de	3690.05def	3748.82de	3189.97bcd	4307.67def	Favorit
0.87a	0.73a	11.28a	1.68a	981.47a	0.59ab	0.74cd	3106.59fg	0.52ef	3104.59fg	3182.26ef	2691.53cd	3673.00fg	Master
1.04a	0.87a	5.04a	0.81a	439.00a	0.71ab	0.81bcd	3184.74efg	0.54ef	3192.19efg	3199.79ef	2980.29bcd	3419.29gh	SHF81-90
0.89a	0.75a	8.45a	1.59a	735.28a	0.45b	0.60d	2497.21g	0.34f	2518.36g	2550.21f	2182.57d	2917.85h	Lakomka
0.90a	0.75a	11.81a	1.55a	1028.40a	0.65ab	0.86bcd	3593.68def	0.70de	3623.80def	3665.80de	3151.60bcd	4180.00ef	Record
1.06a	0.90a	5.04a	0.66a	438.45a	0.95ab	1.02abc	3945.96cde	0.82cde	3928.32cde	3958.11cd	3738.88abc	4177.33ef	Zaria
1.04a	0.87a	7.94a	0.80a	691.33a	1.13a	1.30a	5076.04ab	1.37ab	5087.31ab	5099.47a	4753.81a	5445.13a	Sor
1.07a	0.90a	6.55a	0.64a	570.49a	1.23a	1.37a	5269.62a	1.47a	5271.93a	5285.02a	4999.78a	5570.26a	Progress
1.05a	0.88a	5.83a	0.74a	507.37a	0.94ab	1.04abc	4029.92cd	0.86cde	4023.23cd	4045.83cd	3792.15abc	4299.51def	Gabur

در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار ندارند

Yp: عملکرد در شرایط نرمال، Ys: عملکرد در شرایط تنش، MP: شاخص بهره‌وری متوسط، GMP: شاخص میانگین هندسی بهره‌وری متوسط، STI: شاخص تحمل به تنش، HARM: میانگین هارمونیک، YI: شاخص عملکرد، DI: شاخص مقاومت به خشکی، TOL: شاخص تحمل، SSI: شاخص حساسیت به تنش، SSPI: شاخص درصد حساسیت به تنش، YSI: شاخص پایداری عملکرد و RDI: شاخص خشکی نسبی

In each column, means with at least one common letter are not significantly different based on least significant difference test

Yp: Yield in normal condition, Ys: Yield in stress condition, MP: Moderate productivity index, GMP: Geometric moderate productivity index, STI: Stress tolerance index, HARM: Harmonic mean, YI: Yield index, DI: Drought resistance index, TOL: Stress tolerance index, SSI: Stress Sensitivity Index, SSPI: Stress Susceptibility percent Index, YSI: Yield stability index and RDI: Relative drought index

صارمی‌راد و همکاران: ارزیابی تحمل به تنش خشکی آخر فصل در ... تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از ماتریس همبستگی روی ۱۱ شاخص و دو ویژگی عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش خشکی در ۱۲ ژنوتیپ آفتابگردان روغنی مورد مطالعه انجام شد و نتایج آن در جدول ۶ آورده شد. دو مؤلفه اول مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک داشتند و بیش از ۹۹ درصد از اطلاعات کل را شامل شدند و به‌عنوان مؤلفه‌های تأثیرگذار انتخاب گردیدند. مؤلفه اول با توجیه ۷۶/۶ درصد از تغییرات کل، دارای ضرایب منفی و معنی‌دار برای شاخص SSI، ضرایب منفی و غیرمعنی‌دار برای شاخص‌های SSPI و TOL و ضرایب مثبت و معنی‌دار برای سایر شاخص‌ها و نیز عملکرد دانه در هر دو محیط نرمال و تنش خشکی بود. لذا مؤلفه اول مؤلفه پتانسیل عملکرد دانه و تحمل به تنش خشکی نامیده شد که توانایی تفکیک ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا را در هر دو شرایط دارا می‌باشد. نتایج حاصل از همبستگی میان شاخص‌ها نیز حاکی از وجود رابطه مثبت و معنی‌دار میان شاخص‌های MP، GMP، STI، Harm، YI و DI با عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش بود. دومین مؤلفه، سهمی معادل ۲۳/۱ درصد از تغییرات کل عملکرد دانه را به خود اختصاص داد. در این مؤلفه شاخص‌های TOL، SSPI و SSI و نیز عملکرد دانه در شرایط نرمال حاضر شدند و بیش‌ترین همبستگی مثبت را نشان دادند. لذا مؤلفه دوم به نام مؤلفه حساسیت به تنش خشکی معرفی شد. از این‌رو بر اساس این دو مؤلفه می‌توان ژنوتیپ‌هایی که دارای عملکرد بالا و مطلوب در شرایط تنش خشکی می‌باشند را شناسایی کرد. روابط بین شاخص‌های مختلف به‌صورت گرافیکی در نمودار دویعدی مؤلفه‌های اول و دوم در شکل ۲ به نمایش گذاشته شده است. زاویه بین بردارهای شاخص‌ها در نمودار گرافیکی دویعدی تصویر واضحی از رابطه بین شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش و نیز همبستگی میان آن‌ها را بر اساس مقادیر مؤلفه‌های اول و دوم نمایان می‌سازد. در واقع کسینوس زاویه بین بردارها مؤید میزان همبستگی میان شاخص‌ها با مؤلفه‌های اول و دوم و نیز شاخص‌ها با یکدیگر است. هنگامی که زاویه بین بردارهای شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش کوچک‌تر از ۹۰ درجه باشد، همبستگی مثبت می‌شود. زاویه ۹۰ درجه بین بردارها نشانگر این موضوع است که میان شاخص‌ها و محور مؤلفه‌ها همبستگی وجود نداشته و مستقل می‌باشند و در صورتی که زاویه بین بردارها بیش از ۹۰ درجه باشد، به معنای همبستگی منفی بین آن‌ها است (یان و کنگ، ۲۰۰۳). با در نظر گرفتن این موضوع و نیز با توجه به شکل ۲ شاخص‌های TOL، SSPI و SSI دارای بالاترین میزان همبستگی با مؤلفه دوم بودند؛ زیرا زاویه بین

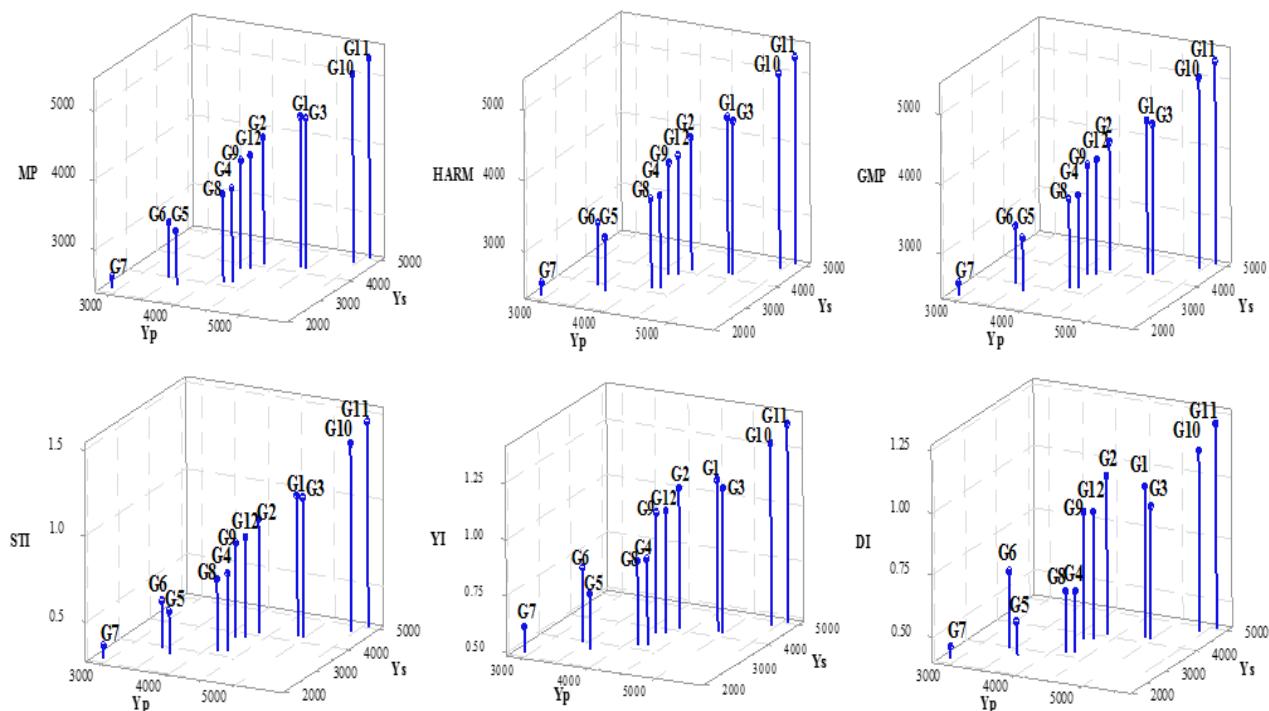
مؤلفه دوم و شاخص‌های مذکور کم‌تر از ۹۰ درجه است و در یک گروه قرار گرفتند. این شاخص‌ها بیش‌ترین تکیه را روی مکانیسم‌های حفظ محصول در شرایط تنش دارند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این سه شاخص با عملکرد دانه در شرایط نرمال همبستگی بالایی دارند. شاخص‌های TOL، SSPI و SSI همبستگی مثبت و معنی‌داری با یکدیگر داشتند. محور مؤلفه شاخص‌های MP، GMP، STI، Harm، YI، DI و عملکرد دانه در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی همبستگی مثبت با مؤلفه اول نشان دادند و در گروه دیگری قرار گرفتند و تحت عنوان شاخص‌های برتر برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل معرفی گردیدند که این نتایج با یافته‌های زهراوی (۱۳۸۸)، پورچ<sup>۲</sup> (۲۰۰۶) و فرشادفر (۲۰۱۳) مطابقت داشت. شاخص‌های YSI و RDI دارای همبستگی منفی با مؤلفه دوم و مثبت با مؤلفه اول بودند (شکل ۲). شاخص‌های TOL، SSPI، SSI و YSI به دلیل عدم وجود همبستگی هم‌زمان با عملکرد دانه در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی نمی‌توانند در شناسایی و گزینش ژنوتیپ‌های متحمل با پتانسیل عملکرد دانه بالا مورد استفاده قرار گیرند.

با توجه به این‌که مؤلفه اول به نام مؤلفه تحمل به خشکی معرفی گردید و به علت همبستگی بالای بین شاخص‌های تحملی که در این مؤلفه قرار گرفته‌اند، می‌توان ژنوتیپ‌هایی که در ناحیه میان عملکرد دانه در شرایط نرمال (YP) و عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی (YS) و مجاور شاخص‌های تحمل قرار دارند را ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و با پتانسیل عملکرد دانه بالا معرفی نمود. بر این اساس ژنوتیپ‌های Progress، Sor و Zarol به ترتیب تحت عنوان ژنوتیپ‌های متحمل و با پتانسیل عملکرد دانه بالا شناخته شدند؛ زیرا در ناحیه با پتانسیل بالا و حساسیت کم به تنش خشکی و نیز نزدیک به بردارهای مربوط به شاخص‌های متحمل به خشکی MP، Harm، GMP، STI، YI و DI قرار گرفته‌اند (شکل ۳). ژنوتیپ‌های Favorit، Record و Master که در ناحیه با عملکرد پایین در شرایط تنش خشکی و حساسیت زیاد به خشکی و در مجاورت شاخص‌های مهم حساس به تنش TOL، SSPI و SSI قرار دارند را می‌توان جهت کشت در شرایط آبی توصیه نمود (شکل ۳). دلیل اصلی چنین توزیع ژنوتیپ‌ها، نوع ژنتیکی موجود در بین ژنوتیپ‌ها نسبت به شرایط تنش خشکی می‌باشد. از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار بای‌پلات حاصل از آن محققان مختلف بر روی گیاهان مختلف از جمله فرناندز (۱۹۹۲) در لوبیا، سوری و همکاران (۲۰۰۵) در نخود و در گندم محسنی و همکاران (۲۰۱۵) جهت انتخاب ارقام متحمل به



ژنوتیپ‌های موجود در نواحی ۳ و ۴ بای‌پلات و حداقل دو طرف محور افقی (مؤلفه اول) مقادیر پایین برای شاخص‌های گروه دوم (MP, GMP, STI, Harm, YI, DI) و عملکرد دانه در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی (YSI و RDI) را شامل شدند. این ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط پتانسیل عملکرد دانه پایینی داشتند و با توجه به شاخص‌های TOL, SSPI و SSI حساسیت بالایی به تنش خشکی دارند.

تنش خشکی استفاده کرده‌اند. با توجه به شکل ۴ ژنوتیپ‌هایی که در نواحی ۱ و ۲ بای‌پلات و نزدیک به محور افقی قرار گرفته‌اند، ژنوتیپ‌هایی با میزان عملکرد دانه زیاد تحت هر دو محیط نرمال و تنش خشکی و حساسیت پایین به تنش هستند. ژنوتیپ‌هایی که در ناحیه ۲ بای‌پلات قرار گرفته‌اند در مقایسه با آن‌هایی که در ناحیه ۱ قرار دارند از مقادیر عددی پایین شاخص‌های TOL, SSPI و SSI برخوردار می‌باشند.



شکل ۱: نمودار سه‌بعدی عملکرد دانه ژنوتیپ‌های آفتابگردان در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش (Ys) برای شاخص‌های شاخص میانگین هندسی بهره‌وری متوسط (GMP)، میانگین هارمونیک (Harm)، شاخص بهره‌وری متوسط (MP)، شاخص مقاومت به خشکی (DI)، شاخص عملکرد (YI) و شاخص تحمل به تنش (STI)

Fig. 1: Three-dimensional plot of sunflower genotype seed yield in non-stress conditions (Yp) and drought stress (Ys) for Geometric moderate productivity index (GMP), Harmonic mean (Harm), Moderate productivity index (MP), Drought resistance index (DI), Yield index (YI) and Stress tolerance indices (STI) (G1: Zargol, G2: Armaverski, G3: Azargol, G4: Favorit, G5: Master, G6: SHF81-90, G7: Lakomka, G8: Record, G9: Zaria, G10: Sor, G11: Progress, G12: Gabur)

جدول ۵: ضرایب همبستگی پیرسون شاخص‌های مختلف تحمل به تنش و عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش خشکی در ژنوتیپ‌های آفتابگردان

Table 5: Pearson correlation coefficients of diferent tolerance indices and grain yield under normal conditions and drought stress in sunflower genotypes

شاخص Index	Yp	Ys	TOL	MP	Harm	GMP	SSI	STI	YI	YSI	RDI	SSPI
Ys	0.951**											
TOL	-0.055 <sup>ns</sup>	-0.360 <sup>ns</sup>										
MP	0.987**	0.989**	-0.215 <sup>ns</sup>									
Harm	0.982**	0.993**	-0.244 <sup>ns</sup>	1.000**								
GMP	0.984**	0.991**	-0.230 <sup>ns</sup>	1.000**	1.000**							
SSI	-0.479 <sup>ns</sup>	-0.723*	0.891**	-0.613*	-0.636*	-0.625*						
STI	0.978**	0.985**	-0.229 <sup>ns</sup>	0.994**	0.994**	0.994**	-0.608*					
YI	0.951**	1.000**	-0.360 <sup>ns</sup>	0.989**	0.993**	0.991**	-0.723*	0.985**				
YSI	0.479 <sup>ns</sup>	0.723*	-0.891**	0.613*	0.636*	0.625*	-0.999**	0.608*	0.723*			
RDI	0.479 <sup>ns</sup>	0.723*	-0.891**	0.613*	0.636*	0.625*	-0.999**	0.608*	0.723*	0.999**		
SSPI	-0.055 <sup>ns</sup>	-0.360 <sup>ns</sup>	1.000**	-0.215 <sup>ns</sup>	-0.244 <sup>ns</sup>	-0.230 <sup>ns</sup>	0.891**	-0.229 <sup>ns</sup>	-0.360 <sup>ns</sup>	-0.891**	-0.891**	
DI	0.877**	0.982**	-0.527 <sup>ns</sup>	0.943**	0.952**	0.948**	-0.836**	0.942**	0.982**	0.836**	0.836**	-0.527 <sup>ns</sup>

\*, \*\*, ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیرمعنی‌دار

Yp: عملکرد در شرایط نرمال، Ys: عملکرد در شرایط تنش، MP: شاخص بهره‌وری متوسط، GMP: شاخص میانگین هندسی بهره‌وری متوسط، STI: شاخص تحمل به تنش، HARM: میانگین هارمونیک، YI: شاخص عملکرد، DI: شاخص مقاومت به خشکی، TOL: شاخص حساسیت به تنش، SSI: شاخص حساسیت به تنش، SSPI: شاخص پایداری عملکرد و RDI: شاخص خشکی نسبی

\*, \*\* and ns: Significant at 5 percent, 1 percent and non- significant, respectively

Yp: Yield in normal condition, Ys: Yield in stress condition, MP: Moderate productivity index, GMP: Geometric moderate productivity index, STI: Stress tolerance index, HARM: Harmonic mean, YI: Yield index, DI: Drought resistance index, TOL: Stress tolerance index, SSI: Stress Sensitivity Index, SSPI: Stress Susceptibility percent Index, YSI: Yield stability index and RDI: Relative drought index

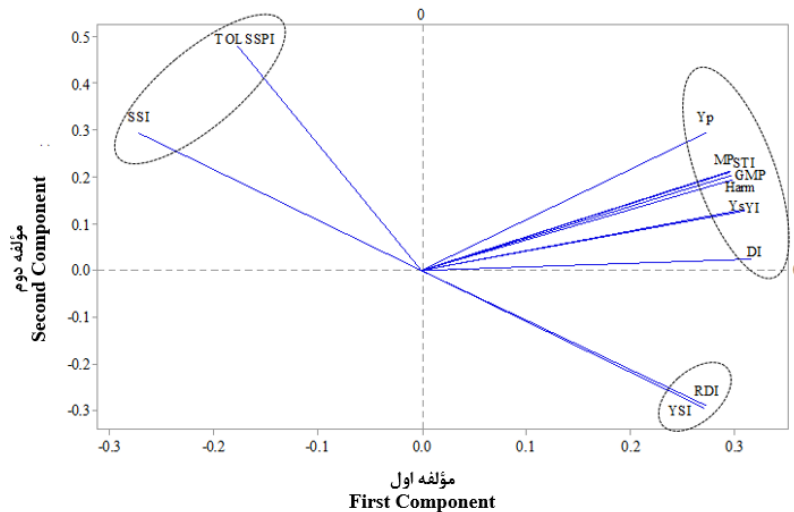
جدول ۶: تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی و عملکرد در شرایط نرمال و تنش در ژنوتیپ‌های آفتابگردان روغنی

Table 6: Principal component analysis of drought tolerance and susceptibility indices in oilseed sunflower genotypes

مؤلفه Component	شاخص‌های مورد مطالعه Indices studied												مقادیر ویژه Eigenvalue	واریانس توجیه‌شده Proportion	واریانس توجیه‌شده تجمعی Cumulative	
	Yp	Ys	TOL	MP	Harm	GMP	SSI	STI	YI	YSI	RDI	SSPI				DI
PC1	0.27	0.30	-0.17	0.29	0.29	0.29	-0.27	0.29	0.3	0.27	0.27	-0.17	0.31	9.95	0.766	0.766
PC2	0.29	0.12	0.47	0.21	0.19	0.2	0.29	0.2	0.12	-0.29	-0.29	0.47	0.02	3.00	0.231	0.997

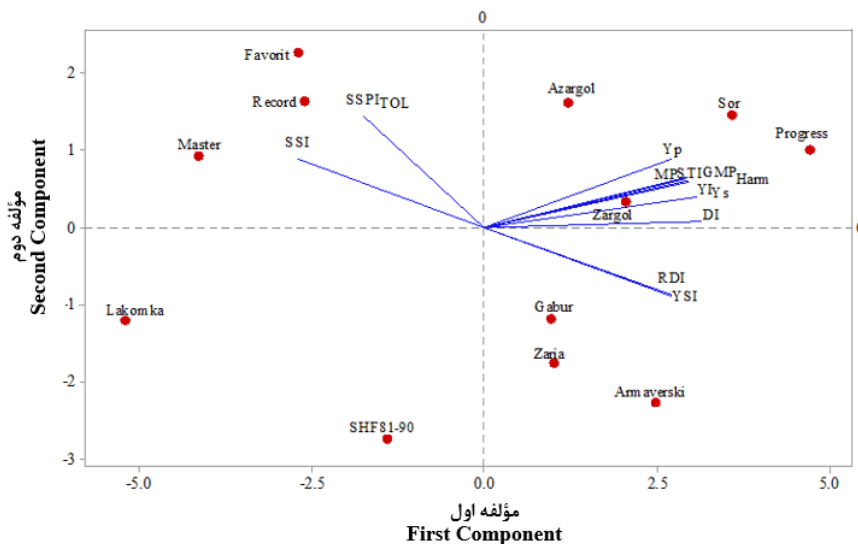
Yp: عملکرد در شرایط نرمال، Ys: عملکرد در شرایط تنش، MP: شاخص بهره‌وری متوسط، GMP: شاخص میانگین هندسی بهره‌وری متوسط، STI: شاخص تحمل به تنش، HARM: میانگین هارمونیک، YI: شاخص عملکرد، DI: شاخص مقاومت به خشکی، TOL: شاخص حساسیت به تنش، SSI: شاخص حساسیت به تنش، SSPI: شاخص پایداری عملکرد و RDI: شاخص خشکی نسبی

Yp: Yield in normal condition, Ys: Yield in stress condition, MP: Moderate productivity index, GMP: Geometric moderate productivity index, STI: Stress tolerance index, HARM: Harmonic mean, YI: Yield index, DI: Drought resistance index, TOL: Stress tolerance index, SSI: Stress Sensitivity Index, SSPI: Stress Susceptibility percent Index, YSI: Yield stability index and RDI: Relative drought index



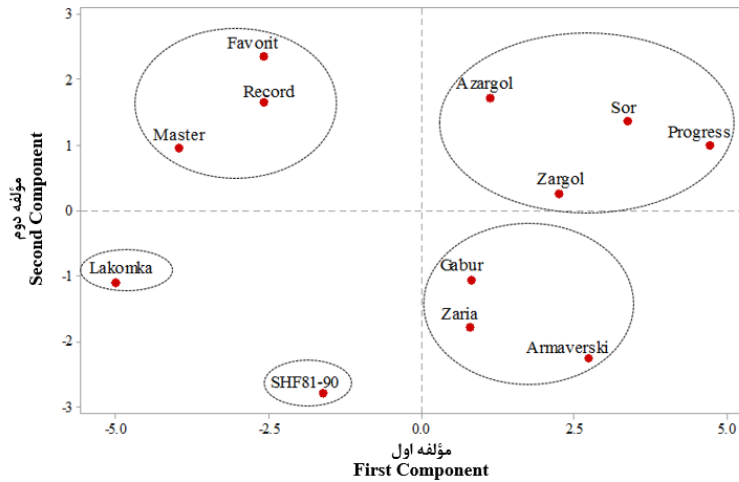
شکل ۲: نمودار بای پلات مؤلفه‌های اول و دوم برای شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های آفتابگردان روغنی. Yp: عملکرد در شرایط نرمال، YS: عملکرد در شرایط تنش، MP: شاخص بهره‌وری متوسط، GMP: شاخص میانگین هندسی بهره‌وری متوسط، STI: شاخص تحمل به تنش، HARM: میانگین هارمونیک، YI: شاخص عملکرد، DI: شاخص مقاومت به خشکی، TOL: شاخص تحمل، SSI: شاخص حساسیت به تنش، SSPI: شاخص درصد حساسیت به تنش، YSI: شاخص پایداری عملکرد و RDI: شاخص خشکی نسبی

Fig. 2: Biplot diagram of the first and second components for tolerance indices and drought stress susceptibility in oilseed sunflower genotypes. Yp: Yield in normal condition, YS: Yield in stress condition, MP: Moderate productivity index, GMP: Geometric moderate productivity index, STI: Stress tolerance index, HARM: Harmonic mean, YI: Yield index, DI: Drought resistance index, TOL: Stress tolerance index, SSI: Stress Sensitivity Index, SSPI: Stress Susceptibility percent Index, YSI: Yield stability index and RDI: Relative drought index



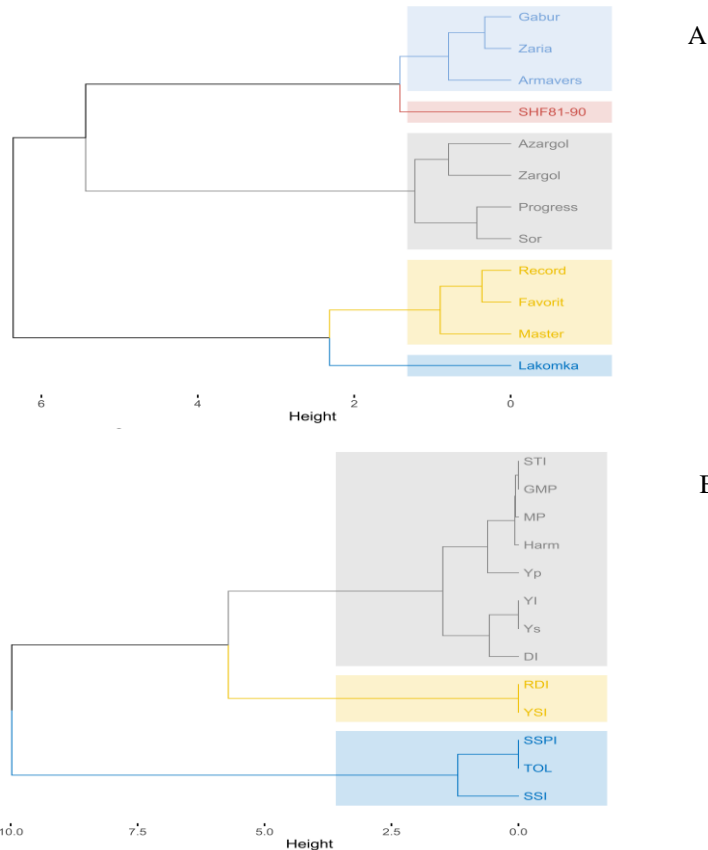
شکل ۳: نمودار بای پلات جهت تعیین ژنوتیپ‌های برتر آفتابگردان روغنی بر اساس مؤلفه اصلی اول و دوم. Yp: عملکرد در شرایط نرمال، YS: عملکرد در شرایط تنش، MP: شاخص بهره‌وری متوسط، GMP: شاخص میانگین هندسی بهره‌وری متوسط، STI: شاخص تحمل به تنش، HARM: میانگین هارمونیک، YI: شاخص عملکرد، DI: شاخص مقاومت به خشکی، TOL: شاخص تحمل، SSI: شاخص حساسیت به تنش، SSPI: شاخص درصد حساسیت به تنش، YSI: شاخص پایداری عملکرد و RDI: شاخص خشکی نسبی

Fig. 3: Biplot diagram for determining the highest oilseed sunflower genotypes based on the first and second components. Yp: Yield in normal condition, YS: Yield in stress condition, MP: Moderate productivity index, GMP: Geometric moderate productivity index, STI: Stress tolerance index, HARM: Harmonic mean, YI: Yield index, DI: Drought resistance index, TOL: Stress tolerance index, SSI: Stress Sensitivity Index, SSPI: Stress Susceptibility percent Index, YSI: Yield stability index and RDI: Relative drought index



شکل ۴: نمودار بای‌پلات گروه‌بندی ژنوتیپ‌های آفتابگردان روغنی بر اساس مؤلفه‌های اول و دوم حاصل از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش

Fig. 4: Biplot diagram of oilseed sunflower genotypes based on the first and second components derived from tolerance indices and stress susceptibility



شکل ۵: A: گروه‌بندی ژنوتیپ‌های آفتابگردان روغنی بر مبنای مقادیر مؤلفه‌های اول و دوم حاصل از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش و B: گروه‌بندی شاخص‌های بر اساس مقادیر مؤلفه‌های اول و دوم با استفاده از روش وارد. Yp: عملکرد در شرایط نرمال، YS: عملکرد در شرایط تنش، MP: شاخص بهره‌وری متوسط، GMP: شاخص میانگین هندسی بهره‌وری متوسط، STI: شاخص تحمل به تنش، HARM: میانگین هارمونیک، YI: شاخص عملکرد، DI: شاخص مقاومت به خشکی، TOL: شاخص تحمل، SSI: شاخص حساسیت به تنش، SSPI: شاخص درصد حساسیت به تنش، YSI: شاخص پایداری عملکرد و RDI: شاخص خشکی نسبی

Fig. 5: A: Grouping oilseed sunflower genotypes based on the values of first and second components derived from tolerance indices and stress susceptibility and B: Grouping the indices based on the values of the first and second components using the Ward method. Yp: Yield in normal condition, YS: Yield in stress condition, MP: Moderate productivity index, GMP: Geometric moderate productivity index, STI: Stress tolerance index, HARM: Harmonic mean, YI: Yield index, DI: Drought resistance index, TOL: Stress tolerance index, SSI: Stress Sensitivity Index, SSPI: Stress Susceptibility percent Index, YSI: Yield stability index and RDI: Relative drought index

اول شامل شاخص‌های TOL، SSPI و SSI، گروه دوم شامل شاخص‌های YSI و RDI و گروه سوم شامل شاخص‌های MP، GMP، STI، Harm، YI، DI و عملکرد دانه در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی) قرارداد و نتایج به‌دست‌آمده بای‌پلات دوبعدی حاصل از مؤلفه‌های اول و دوم را تأیید نمود.

### نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج حاصل از پژوهش حاضر حاکی از وجود تنوع میان ژنوتیپ‌های تحت بررسی از نظر تحمل به تنش خشکی بود. از این‌رو با شناسایی و تعیین میزان تحمل و حساسیت به تنش خشکی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، امکان اجرای برنامه‌های به‌نژادی جهت حصول ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و نیز ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد دانه قابل قبول، در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی را فراهم می‌آورد. شاخص‌های MP، GMP، STI، Harm، YI و DI بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه همبستگی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شاخص‌های تحت مطالعه، به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها به‌منظور گزینش ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد دانه بالا و متحمل در محیط تنش خشکی شناخته شدند. در میان ۱۲ ژنوتیپ آفتابگردان روغنی مورد بررسی، طبق این شاخص‌ها و بای‌پلات‌های حاصل، ژنوتیپ‌های Progress و Sor دارای بیش‌ترین تحمل و ژنوتیپ Lakomka دارای بیش‌ترین حساسیت در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها از نظر تنش خشکی بودند. دو ژنوتیپ Progress و Sor در هر دو محیط نرمال و تنش از بیش‌ترین پتانسیل عملکرد دانه و نیز عملکرد نسبتاً یکسان برخوردار بودند. این موضوع می‌تواند مبین وجود ژن‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های نامبرده باشد؛ بنابراین می‌توان این ژنوتیپ‌ها را برای کشت در مناطقی که با محدودیت منابع آب روبرو هستند، پیشنهاد نمود.

به‌منظور گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد بررسی بر پایه شاخص‌های تحت مطالعه و نیز عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش خشکی با توجه به مقادیر مؤلفه‌های اول و دوم حاصل برای هر ژنوتیپ، تجزیه خوشه‌ای به روش وارد (Ward) و فاصله اقلیدسی تحت عنوان معیار تشابه صورت پذیرفت (شکل ۵). خط برش ژنوتیپ‌ها را به ۵ گروه اصلی تفکیک نمود. تابع تشخیص (نتایج آورده نشده است) در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید و محل برش را مورد تأیید قرارداد. محل قرارگیری هریک از گروه‌ها روی نمودار بای‌پلات دوبعدی حاصل از مؤلفه‌های اول و دوم در شکل ۴ قابل‌رؤیت می‌باشد. در گروه اول ژنوتیپ‌های Zaria، Gabur و Armaverski، در گروه دوم ژنوتیپ‌های Sor، Progress، Zargol و Azargol، در گروه چهارم ژنوتیپ Favorit، Record و Master و در گروه پنجم ژنوتیپ Lakomka واقع شدند. ژنوتیپ‌های گروه اول دارای مقادیر عددی مثبت برای مؤلفه اول و منفی برای مؤلفه دوم بودند لذا از پتانسیل عملکرد دانه و پایداری عملکرد دانه بیش‌تری در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها در محیط تنش برخوردار هستند. ژنوتیپ‌های Progress و Sor که در گروه سوم قرار گرفته‌اند قبلاً تحت عنوان ژنوتیپ‌های متحمل و با پتانسیل عملکرد دانه بالا نامیده شده بودند که نشان‌دهنده وجود ژن‌های تحمل به تنش خشکی در این ژنوتیپ‌ها است. اعضای موجود در گروه چهارم پایداری عملکرد دانه پایینی در شرایط تنش خشکی داشتند. ژنوتیپ Lakomka (تنها ژنوتیپ موجود در کلاستر پنجم) و ژنوتیپ SHF81-90 (تنها ژنوتیپ موجود در کلاستر دوم) در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی پایین‌ترین پتانسیل عملکرد دانه را دارا بودند. جهت گروه‌بندی دقیق‌تر شاخص‌های مورد مطالعه بر اساس مقادیر مؤلفه‌های اول و دوم تجزیه خوشه‌ای به روش وارد (Ward) انجام شد (شکل ۶). تجزیه خوشه‌ای شاخص‌های تحت بررسی را در ۳ گروه (گروه

### منابع

- آقایی سربرزه، م.، روستایی، م.، محمدی، ر.، حق‌پرست، ر. و رجبی، ر. ۱۳۸۸. شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در گندم نان. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی، ۲ (۱): ۱-۲۳.
- حاتمی ملکی، ح.، عبدی، ن.، درویش‌زاده، ر. و جعفری، م. ۱۳۹۵. مکان‌یابی QTL‌های مرتبط با شاخص‌های تحمل به خشکی در آفتابگردان. پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی، ۸ (۲۰): ۲۲۸-۲۳۵.
- زهرابی، م. ۱۳۸۸. ارزیابی ژنوتیپ‌های جو اسپانتانوم (*Hordeum spontaneum*) از نظر شاخص‌های تحمل به خشکی. به‌نژادی نهال و بذر، ۲۵-۱ (۴): ۵۳۳-۵۴۹.
- سوری، ج.، دهقانی، ح. و صباغ‌پور، س. ح. ۱۳۸۴. مطالعه ژنوتیپ‌های نخود در شرایط تنش آبی. مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۶ (۶): ۱۵۱۷-۱۵۲۷.

صارمی‌راد و همکاران: ارزیابی تحمل به تنش خشکی آخر فصل در ...

شفازاده، م. ک.، یزدان سپاس، ا. و قنادها، م. ر. ۱۳۸۳. بررسی تحمل به تنش خشکی آخر فصل در ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم زمستانه و بینابین با استفاده از شاخص‌های حساسیت و تحمل بر تنش. مجله نهال و بذر، ۲۰ (۱): ۵۷-۷۱.

فرشادفر، ع.، زمانی، م. ر.، مطلبی، م. و امام‌جمعه، ع. ۱۳۸۰. انتخاب برای مقاومت به خشکی در لاین‌های نخود. مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۲ (۱): ۶۵-۷۷.

فلاحی، ح. ع.، آلت‌جعفری، ج. و سیدی، ف. ۱۳۹۰. ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های گندم دوروم بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی. مجله به‌نژادی نهال و بذر، ۲۷ (۱): ۱۵-۲۲.

کاکایی، م.، زبردی، ع.، مصطفایی، ع. و رضایی‌زاده، ع. ۱۳۹۳. بررسی تنوع ژنتیکی و روابط بین صفات در برخی ژنوتیپ‌های کلزا با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره در دو شرایط رطوبتی. به‌نژادی گیاهان زراعی و باغی، ۲ (۱): ۳۱-۴۵.

کانونی، ه.، کاظمی، ح.، مقدم، م. و نیشابوری، م. ر. ۱۳۸۱. گزینش لاین‌های نخود زراعی. مجله دانش کشاورزی، ۱۲ (۲): ۱۲۱-۱۲۱. گراوندی، م.، فرشادفر، ع. و رازی کهریزی، د. ۱۳۸۹. ارزیابی تحمل خشکی در ژنوتیپ‌های پیشرفته گندم نان در شرایط مزرعه و آزمایشگاه. مجله به‌نژادی نهال و بذر، ۲۶ (۲): ۲۳۳-۲۵۲.

مظفری، ک.، عرشی، ی. و زینالی خانقاه، ح. ۱۳۷۵. بررسی اثر تنش خشکی در برخی از صفات مورفوفیزیولوژیکی و اجزای عملکرد آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.). مجله نهال و بذر، ۱۲ (۳): ۲۴-۳۳.

مقدم، ع. و هادی‌زاده، م. ح. ۱۳۸۱. عکس‌العمل هیبریدهای ذرت (*Zea mays* L.) و لاین‌های والدی آن‌ها به خشکی با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به تنش. نهال و بذر، ۱۸ (۳): ۲۵۵-۲۷۲.

Ahmadi, A., Joudi, M. and Janmohammadi, M. 2009. Late defoliation and wheat yield: Little evidence of postanthesis source limitation. *Field Crops Research*, 113: 90-93.

Akbari, G. H. A., Jabbari, H., Daneshian, J., Alahdadi, I. and Shahbazian, N. 2008. The effect of limited irrigation on seed physical characteristics in sunflower hybrids. *Journal of Crop Production and Processing*, 12: 513-523.

Anbessa, Y. and Bejiga, G. 2002. Evaluation of *Ethiopian chickpea* landraces for tolerance to drought. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 49: 557-564.

Ashraf, M. and Harris, P. J. C. 2005. *Abiotic Stresses: Plant Resistance through Breeding and Molecular Approaches*. Haworth Press, New York, USA. 700 pp.

Bousslama, M. and 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.

Earl, H. J. and Davis, R. F. 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy Journal*, 95(3): 688-696

Farshadfar, E., Poursiahbidi, M. M. and Safavi, S. M. 2013. Assessment of drought tolerance in land races of bread wheat based on resistance/ tolerance indices. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2: 143-158.

Fernandez, G. C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: *Proceedings of the Symposium of AVRDC*, 13-16 Aug. Taiwan.

Fischer, R. A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain responses, *Australian Journal of Agriculture Research*, 29: 897-912.

Fischer, R. A. and Wood, J. T. 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars III yield association with morpho-physiological traits, *Australian Journal of Agriculture Research*, 30: 1001-1020.

Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campalino, R. G., Ricciardi, G. L. and Borghi, B. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*, 77: 523-531.

Golabadi, M., Arzani, A. and Mirmohamadi maibody, S. A. M. 2006. Assessment of drought tolerance in segregation population in durum wheat. *African Journal of Agricultural Research*, 1: 162-171.

Knight, C. A., Vogel, H., Kroymann, J., Shumate, A., Witsenboer, H. and Mitchell-Olds, T. 2006. Expression profiling and local adaptation of populations for water use efficiency across a naturally occurring water stress gradient. *Molecular Ecology*, 15: 1229-1237.

Lan, J. 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Boroccid Sinica*, 7: 85-87.

Mohammadi, A., Majidi, E., Bihanta, M. R. and Heidari Sharilabad, H. 2006. Evaluation of drought stress on agromorphological characteristics in some wheat cultivars. *Pajouhesh & Sazandegi*, 73 (4): 184-192.

Mohammadi, R., Armion, M., Kahrizi, D. and Amri, A. 2010. Efficiency of screening techniques for evaluating durum wheat genotypes under mild drought conditions. *International Journal of Plant Production*, 4 (1): 1735-8043.

Mohseni, M., Mortazavian, S. M. M., Ramshini, H. A. and Foghi, B. 2015. Evaluation of drought tolerance in some wheat genotypes based on selection indices. *Journal of Field Crops Research*, 13 (2): 524-542.

Moosavi, S. S., Yazdi Samadi, B., Naghavi, M. R., Zali, A. A., Dashti, H. and Pourshahbazi, A. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. *Desert*, 12: 165-178.

Nabipour, A. R., Yazdi-Samadi, B., Zali, A. A. and Poustini, K. 2000. Effects of morphologic, traits and their relation to stress susceptibility index in several wheat genotypes. *Biaban*, 7 (1): 31-47.

- Nouri, A., Etmnan, A. R., Silva, D. and Mohammadi, R. 2011. Assessment of yield, yield-related traits and drought tolerance of durum wheat genotypes (*Triticum turjidum* Var. Durum Desf.). *Australian Journal of Crop Science*, 5 (1): 8-16.
- Porch, T. G. 2006. Application of stress indices for heat tolerance screening of common bean. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 192: 390-394.
- Rahimi, M., Rabiei, B., Dehghani, H. and Tarang, A. R. 2013. Mapping main and epistatic QTLs for drought tolerance indices in F5 population of rice. *Modern Genetics*, 8: 435-448.
- Rauf, S. and Sadaqat, H. A. 2007. Effects of varied water regimes on root length, dry matter partitioning and endogenous plant growth regulators in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Plant Interactions*, 2 (1): 41-51.
- Reddy, G. K. M., Dangi, K. S., Kumar, S. S. and Reddy, A. V. 2003. Effect of moisture stress on seed yield and quality in sunflower. *Journal of Oilseeds Research*, 20 (2): 282-283.
- Richard, R. A. 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought. *Plant Growth Regulation*, 20: 157-166.
- Rosales-Serna, R., Kohashi-Shibata, J., Acosta-Gallegos, J. A., Trejo-Lopez, C., Ortiz-Cereceres, J. and Kelly, J. D. 2002. Yield and phenological adjustment in four drought-stressed common bean cultivars. *Annual Report- Bean Improvement Cooperative*, 45: 198-199.
- Rosielle, A. A. and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*, 21 (6): 943-946.
- Sanchez-Bianco, M. J., Rodriguez, P., Olmos, E., Morales, M. A. and Torrecillas, A. 2004. Differences in the effects of simulated sea aerosol on water relations, mineral content and ultrastructure in *Cistus albidus* and *Cistus monspeliensis* plants. *Journal of Environmental Quality*, 33 (4): 1369-1375.
- Saremirad, A. and Mostafavi, Kh. 2020. Study of Genetic and Phenotypic Diversity of Sunflower (*Helianthus annus* L.) Genotypes for Agro-morphological Traits under Normal and Drought Stress Conditions. *Plant Productions*, 43 (2): 227-240.
- Schneider, K. A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriquez, B., Acosta-Gallegos, J. A., Ramírez-Vallejo, P., Wassimi, N. and Kelly, J. D. 2004. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science*, 37: 43-50.
- Simane, B., Struik, P. C., Nachit, M. and Peacock, J. M. 1993. Ontogenetic analysis of yield components and yield stability of durum wheat in water limited environments. *Euphytica*, 71: 211-219.
- Yan, W. and Kang, M. S. 2003. GGE-biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

## Evaluation of Tolerance to Terminal Drought Stress in Sunflower Genotypes (*Helianthus annuus* L.)

Saremirad<sup>1\*</sup>, A., Mostafavi<sup>2</sup>, Kh. and Hosseini<sup>1</sup>, M. S.

### Abstract

Water stress is one of the most important challenges that the plant faces. Regarding the importance of drought stress and its effect on plant yield, 12 oilseed sunflower genotypes under normal and drought stress conditions were evaluated in the year 2016. In conditions of normal and drought stress, genotypes of Progress and Sor had the highest grain yield potential respectively. 11 tolerance and stress susceptibility indices were calculated based on grain yield in non-stress and drought stress conditions. The MP, GMP, STI, Harm, YI and DI indices were used due to positive and significant correlation with grain yield under both normal and stress conditions for identification and selection of tolerant and sensitive drought stress genotypes. The first two components of the analysis of the main components of the studied indices and grain yield in both conditions justifies more than 99% of the variation. The coefficients of the analysis of the main components of the indices, the first component was named as the component of grain yield potential and drought stress tolerance and the second component as a component of drought stress susceptibility. Cluster analysis based on the values of first and second components derived from drought stress indices, classified genotypes into five independent groups. The genotypes used in this study showed high genetic diversity in drought stress. Finally, the Progress and Sor genotypes were the most tolerant and the Lakomka genotype was the most sensitive genotype for the end of season drought stress.

**Keywords:** Sunflower, Yield, Tolerance indices and stress susceptibility

---

1 and 2. PhD Student and Associate Professor, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

\*: Corresponding author      Email: asaremirad@gmail.com