

## انتخاب هیبریدهای جدید متحمل به خشکی در آفتابگردان با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش

امیر قلی‌زاده<sup>۱\*</sup>، مهدی غفاری<sup>۲</sup>، حسین احمدی اوج تپه<sup>۱</sup>، فرناز شریعتی<sup>۳</sup>

۱. استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
۲. دانشیار، بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳. استادیار، بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۲۷

### چکیده

به منظور انتخاب هیبریدهای متحمل به خشکی، ۱۸ هیبرید جدید آفتابگردان به همراه رقم زرین در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی در دو ایستگاه تحقیقاتی (گرگان و گنبد) طی سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر مبنای عملکرد (عملکرد دانه و عملکرد روغن) در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش خشکی (Ys)، شاخص‌های مختلف تحمل به تنش از قبیل شاخص تحمل به تنش (STI)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین هارمونیک (HM)، شاخص حساسیت به تنش (SSI) و شاخص تحمل (TOL) محاسبه شدند. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر محیط بیشترین درصد از کل تغییرات داده را توجیه کرد. تحلیل همبستگی بین عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش خشکی و شاخص‌های تحمل به تنش نشان داد که شاخص‌های HM، MP، GMP و STI و به طور ویژه شاخص STI به عنوان مناسب‌ترین شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در آفتابگردان شناخته شد. همبستگی بین عملکرد روغن در شرایط بدون تنش و تنش خشکی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. نمودارهای سه بعدی بر مبنای شاخص STI و عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش خشکی نشان داد که هیبریدهای H16، H10، H2، H4 و H1 از عملکرد مطلوبی در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی برخوردار بودند و به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی انتخاب شدند. بنابراین، می‌توان از این هیبریدها برای انجام آزمایشات بیشتر از جمله آزمایشات سازگاری در مناطق گرم مرطوب استفاده نمود.

**کلیدواژگان:** زنگ زرد، گندم نان، مقاومت پایدار، مقاومت گیاه کامل، نشانگر اختصاصی

## مقدمه

قطر طبق، تعداد دانه در طبق و عملکرد دانه می‌گردد (Farahvash *et al.*, 2011). حساس‌ترین مرحله نمو آفتابگردان به تنش خشکی از مرحله غنچه‌دهی تا پایان گلدهی می‌باشد (Stone *et al.*, 2001).

یکی از راه‌حل‌های مقابله با تنش خشکی، دستیابی به ارقام متحمل به خشکی می‌باشد. طبق تعریف ارقامی به عنوان متحمل به خشکی شناخته می‌شوند که در شرایط تنش خشکی افت عملکرد کمتری نسبت به شرایط بدون تنش داشته باشند (Fernandez, 1992). در واقع برای گزینش ارقام متحمل به خشکی، باید مجموعه ارقام در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی ارزیابی شوند و در نهایت ارقامی به عنوان متحمل گزینش می‌شوند که هم در شرایط بدون تنش و هم در شرایط تنش خشکی عملکرد مطلوبی داشته باشند. شاخص‌های متفاوتی برای ارزیابی تحمل به خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد که در این میان می‌توان به شاخص‌های تحمل به تنش (Fernandez, 1992) (STI)، میانگین بهره‌وری (Rosielle & Hambling, 1981) (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (Fernandez, 1992) (GMP)، میانگین هارمونیک (Kristin *et al.*, 1997) (HM)، شاخص حساسیت به تنش (Fischer and Maurer, 1978) (SSI) و شاخص تحمل (Rosielle & Hambling, 1981) (TOL) اشاره کرد. از شاخص‌های تحمل به تنش در کنجد (Gholinezhad & Darvishzadeh, 2018)، آفتابگردان (Darvishzadeh *et al.*, 2018)، گلرنگ (Aboodeh *et al.*, 2019)، سویا (Rahi *et al.*, 2020)، کلزا (Raiesi-Lalari *et al.*, 2021)، گندم نان (Dehbalaei *et al.*, 2023) و ذرت (Arzhang *et al.*, 2024) و دیگر محصولات زراعی جهت ارزیابی ژنوتیپ‌ها برای تحمل به تنش استفاده کرده‌اند. هدف از این مطالعه، استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش جهت ارزیابی تحمل به تنش خشکی هیبریدهای جدید آفتابگردان بود تا با شناسایی هیبریدهای مناسب، بتوان از آنها در برنامه‌های اصلاحی آینده و تهیه ارقام متحمل به خشکی استفاده نمود.

آفتابگردان با سطح کاشت جهانی ۲۹ میلیون هکتار و عملکرد ۱۹۷۰ کیلوگرم در هکتار (FAO, 2021). یکی از مهمترین گیاهان روغنی سازگار به مناطق مختلف دنیا و از جمله ایران است. آفتابگردان یکی از مهمترین محصولات دانه روغنی در جهان محسوب می‌شود که دانه آن با توجه به نوع رقم حاوی ۲۶ تا ۵۰ درصد روغن و کنجاله آن نیز دارای حدود ۲۰ تا ۲۷ درصد پروتئین می‌باشد (Ansarifard *et al.*, 2020). روغن آفتابگردان به دلیل داشتن اسیدهای چرب غیراشباع فراوان و فقدان کلسترول از کیفیت بالایی برخوردار است (Ahmadpour *et al.*, 2019). بیشترین سطح کشت آفتابگردان در سال ۱۳۷۲ حدود ۱۰۷ هزار هکتار با میانگین عملکرد دانه ۶۹۰ کیلوگرم در هکتار بوده است (Ghaffari *et al.*, 2023). به دلایل مختلف از جمله عوامل اقتصادی، نقص در سازمان عرضه بذر گواهی شده و عدم رعایت اصول به زراعی و عملکرد ضعیف و همچنین کمبود آب در زراعت‌های تابستانه در سال‌های بعدی سطح زیر کشت آفتابگردان کاهش یافت. بر اساس آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۱، سطح زیر کشت آفتابگردان روغنی در ایران ۱۱۹۷۱ هکتار گزارش شده است که متوسط عملکرد دانه آن در شرایط آبی ۱۴۸۷ کیلوگرم در هکتار و در شرایط دیم ۴۶۱ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است. استان‌های سمنان، گلستان، خراسان شمالی، آذربایجان غربی و خوزستان به ترتیب بیشترین سطح زیر کشت آفتابگردان روغنی را به خود اختصاص داده‌اند (آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۱). در گلستان بیشترین سطح کشت مربوط به نواحی شرق استان (کلاله، گنبد و مراوه تپه) می‌باشد.

تنش‌های محیطی از جمله خشکی یکی از مهمترین عوامل بازدارنده رشد و تولید محصولات به شمار می‌آیند. به طوری که در سال‌های اخیر تنش خشکی یکی از مهمترین عوامل کاهش تولید و به‌عنوان مشکل اساسی کشاورزی در ایران به شمار می‌رود (Darbani *et al.*, 2021). در گیاه آفتابگردان با وجود داشتن ریشه گسترده و عمیق، تنش خشکی باعث کاهش سطح و تعداد برگ، پیری زودرس برگ‌ها، کاهش وزن هزاردانه، قطر طبق و در نهایت کاهش عملکرد دانه می‌شود (Rahimzadeh *et al.*, 2010). در پژوهشی دیگر گزارش شده است

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۱۸ هیبرید جدید آفتابگردان به همراه رقم شاهد زرین در دو آزمایش مجزا (بدون تنش و تنش خشکی) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ مورد ارزیابی قرار گرفتند. کد، نام و شجره ژنوتیپ‌ها در جدول ۱ ذکر شده است. آزمایش بدون تنش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و ارتفاع ۵ متر از سطح دریا انجام گرفت. آزمایش تنش خشکی نیز در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد با طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی اجرا گردید. جهت آماده‌سازی زمین از گاو آهن برگرداندار به همراه عملیات دیسک‌زنی (دو بار) برای از بین بردن کلوخه‌ها استفاده گردید. کودهای مورد نیاز خاک، شامل ۲۰۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار از منبع فسفات آمونیوم و ۱۰۰ کیلوگرم پتاس خالص در هکتار از منبع سولفات پتاسیم موقع تهیه زمین به خاک مزرعه اضافه گردید. همچنین مقدار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منبع اوره که یک سوم آن موقع تهیه زمین و بقیه کود اوره طی دو نوبت یکی بعد از سبز شدن و دیگری در مرحله قبل از غنچه‌دهی به خاک مزرعه اضافه گردید. هر کرت آزمایشی شامل ۳ خط کشت به طول ۳ متر و کشت به صورت دستی و با قرار دادن ۳ عدد بذر در هر کپه و به فواصل ۲۵ سانتیمتر از هم انجام گردید. بعد از مرحله ۴ برگی، عملیات تنک انجام گردید و مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی در دو مرحله انجام گرفت. آبیاری در شرایط بدون تنش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان به نحوی بود که یک روز بعد از کشت آبیاری انجام و آبیاری‌های بعدی با توجه به نیاز گیاه صورت گرفت. در شرایط تنش

خشکی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد، آزمایش تنها با استفاده از نزولات جوی اجرا گردید. تاریخ کشت در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد اول اسفندماه سال ۱۴۰۰ بود و برداشت آخر تیرماه سال ۱۴۰۱ صورت گرفت. میزان نزولات آسمانی در ماه‌های اسفند، فروردین، اردیبهشت و خرداد به ترتیب ۷۰/۹، ۱۶/۶، ۸۷/۶ و ۱۲/۲ میلی‌متر بود. پس از رسیدگی محصول، جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه، ابتدا ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای هر خط جهت از بین بردن اثر حاشیه حذف گردید. در ادامه تمام بوته‌های کرت برداشت شد و پس از خشک شدن کامل، بوته‌ها خرمن‌کوبی شدند و دانه‌های به دست آمده با ترازوی دقیق توزین گردید و پس از تبدیل، به عنوان عملکرد دانه در واحد سطح (کیلوگرم در هکتار) محاسبه شد. برای تعیین درصد روغن دانه آفتابگردان، از بذور به دست آمده از هر کرت، یک نمونه تصادفی ۱۰ گرمی جدا و پس از آسیاب کردن، درصد روغن پودر دانه‌ها در آزمایشگاه، توسط دستگاه سوکسله و استخراج پیوسته با استفاده از حلال غیر قطبی هگزان تعیین شد. در نهایت صفت عملکرد روغن از حاضرب عملکرد دانه در درصد روغن هر ژنوتیپ بدست آمد. در ادامه شاخص‌های تحمل و حساسیت با استفاده از روابط ذکر شده در جدول ۲ محاسبه شدند. برای تجزیه واریانس مرکب و رسم نمودار سه بعدی از نرم‌افزار آماری SAS ver 9.1 استفاده شد (SAS Institute Inc, 2011). همچنین تجزیه خوشه‌ای به روش حداقل واریانس وارد و معیار فاصله اقلیدوسی با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS ver 19 (SPSS, 2010) انجام گردید. برای تعیین تعداد گروه‌ها از آزمون تجزیه واریانس چند متغیره و تابع تشخیص استفاده شد.

جدول ۱- شماره، کد و شجره هیبریدهای آفتابگردان مورد

بررسی		
شماره	کد	نام/شجره
۱	H1	R3×A1221
۲	H2	R3×A330
۳	H3	R3×A370
۴	H4	R111×A1221
۵	H5	R111×A370
۶	H6	R15×A196
۷	H7	R15×A110
۸	H8	R131×A32
۹	H9	R131×A370
۱۰	H10	R131×A330
۱۱	H11	RN75×A196
۱۲	H12	RN75×AF81-112
۱۳	H13	RF81-82×A370
۱۴	H14	RO28×AO42
۱۵	H15	R33×A370
۱۶	H16	R33×AF81-112
۱۷	H17	RF81-65×A32
۱۸	H18	R60×AO70
۱۹	H19	ZARIN

جدول ۲- شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش برای ارزیابی تحمل به خشکی هیبریدهای آفتابگردان

منابع	فرمول	شاخص‌های تحمل به تنش
(Fischer and Maurer, 1978)	$SSI = \frac{1 - \left( \frac{Y_s}{Y_p} \right)}{1 - \left( \frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p} \right)}$	شاخص حساسیت به تنش Stress susceptibility index
(Fernandez, 1992)	$GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s}$	میانگین هندسی بهره‌وری Geometric mean productivity
(Rosielle and Hambling, 1981)	$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2}$	میانگین بهره‌وری Mean productivity
(Kristin <i>et al.</i> , 1997)	$HM = \frac{2(Y_p \times Y_s)}{Y_p + Y_s}$	میانگین هارمونیک Harmonic mean
(Rosielle and Hambling, 1981)	$TOL = Y_p - Y_s$	شاخص تحمل Tolerance index
(Fernandez, 1992)	$STI = \frac{(Y_p) \times (Y_s)}{(\bar{Y}_p)^2}$	شاخص تحمل به تنش Stress tolerance index

$Y_p$  و  $Y_s$  به ترتیب عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط بدون تنش و تنش خشکی.  $\bar{Y}_p$  و  $\bar{Y}_s$  به ترتیب میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و تنش خشکی.

اعظم تغییرات موجود در داده‌ها را به خود اختصاص می‌دهد. معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ نیز نشان‌دهنده تنوع ژنتیکی کافی بین مواد آزمایشی مورد استفاده در این آزمایش است. همچنین نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای دو صفت عملکرد دانه و عملکرد روغن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در این مطالعه نیز بیانگر این مطلب است که ژنوتیپ‌ها دو محیط بدون تنش و تنش خشکی پاسخ متفاوتی نشان داده‌اند و اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از محیط بدون تنش به محیط تنش خشکی متفاوت است. بنابراین باید ژنوتیپ‌هایی انتخاب شوند که پایداری عملکرد مطلوب‌تری در دو محیط مورد بررسی داشته باشند، به عبارت دیگر تغییرات عملکردی آن‌ها کمتر باشد. بنابراین در ادامه با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت ژنوتیپ‌هایی انتخاب می‌شوند که در دو محیط بدون تنش و تنش خشکی پاسخی مطلوب‌تری را از خود نشان داده‌اند.

نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات عملکرد دانه و عملکرد روغن نشان داد که اثر محیط (بدون تنش و تنش خشکی) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). محاسبه درصد مجموع مربعات سه منبع محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به مجموع آن‌ها در دو صفت عملکرد دانه و عملکرد روغن نشان داد که عمده تغییرات موجود در داده‌ها به وسیله واریانس محیط‌ها توجیه شده است (جدول ۳). با توجه به این که محیط‌های آزمایش طیف وسیعی از فاکتورهای محیطی (ارتفاع از سطح دریا، درجه حرارت، میزان آب و نوع خاک) را دارا بوده، بنابراین اختصاص عمده تغییرات به واریانس محیط‌ها توجیه پذیر است. غفاری و همکاران (Ghaffari *et al.*, 2021) نیز در پژوهش خود گزارش کردند که در آفتابگردان ۵۷/۶۸ درصد تغییرات را اثر محیط به خود اختصاص داده است. همچنین بسیاری از پژوهشگران در محصولاتی از قبیل ذرت (Shiri & Bahrapour, 2015)، گلرنگ (Jamshidmoghaddam & Pourdad, 2013)، سویا (Babaei *et al.*, 2018) و کلزا (Alizadeh *et al.*, 2021) گزارش کرده‌اند که محیط بخش

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه و عملکرد روغن ژنوتیپ‌های آفتابگردان در محیط‌های مختلف

عملکرد روغن			عملکرد دانه			درجه آزادی	منابع تغییرات
مجموع مربعات	میانگین مربعات	مجموع مربعات	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مجموع مربعات		
توجیه شده (درصد)	توجیه شده (درصد)	توجیه شده (درصد)	توجیه شده (درصد)	توجیه شده (درصد)	توجیه شده (درصد)		
۶۵/۵۹	۸۹۵۲۱۶۶**	۸۹۵۲۱۶۶	۶۲/۱۶	۳۳۱۰۸۶۱۵**	۳۳۱۰۸۶۱۵	۱	محیط
	۲۹۸۸۱	۱۱۹۵۲۲		۱۴۰۶۹۴	۵۶۲۷۷۴	۴	تکرار دوران محیط
۲۵/۳۶	۱۹۲۳۱۸**	۳۴۶۱۷۲۱	۲۵/۹۳	۷۶۷۴۰۶**	۱۳۸۱۳۳۰۷	۱۸	ژنوتیپ
۹/۰۵	۶۸۶۱۲**	۱۲۳۵۰۱۳	۱۱/۹۱	۳۵۲۳۷۴**	۶۳۴۲۷۳۸	۱۸	ژنوتیپ × محیط
	۲۹۹۵۱	۲۱۵۶۴۶۴		۱۳۴۵۱۶	۹۶۸۵۱۴۴	۷۲	خطا
		۱۵۹۲۴۸۸۶			۶۳۵۱۲۵۷۸	۱۱۳	کل
	۱۵/۸۱			۱۴/۷۲			ضریب تغییرات (%)

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

باشد، نشان‌دهنده تحمل به تنش بیشتر است، بنابراین هیبرید H11 متحمل‌ترین هیبرید بود. بر اساس شاخص‌های HM، MP، GMP و STI که مقادیر بالای آن‌ها بیانگر تحمل به تنش بیشتر است، هیبریدهای H2، H16، H4 و H1 بالاترین مقدار را به خود اختصاص دادند (جدول ۴ و ۵). بنابراین هیبریدهای H16، H10، H2، H4 و H1 متحمل‌ترین هیبریدها در بین هیبریدهای مورد مطالعه بودند.

شدت تنش وارد شده در این آزمایش برای عملکرد دانه و عملکرد روغن به ترتیب ۰/۳۶ و ۰/۴۱ بود. نتایج شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش برای صفات عملکرد دانه و عملکرد روغن در جداول ۴ و ۵ ذکر شده است. بر اساس شاخص‌های SSI و TOL بیشترین مقدار مربوط به هیبرید H3 و کمترین آن متعلق به هیبرید H11 بود. با توجه به اینکه هر چه میزان شاخص‌های SSI و TOL کمتر

هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی عملکرد کمتری تولید می‌کنند. با توجه به نظر فرناندز (Fernandez, 1992) بهترین معیار و شاخص آن است که گروه A را از سایر گروه‌ها تشخیص دهد. زیرا با توجه به شرایط متنوع خاک و آب باید به دنبال ژنوتیپ‌هایی بود که متوسط عملکرد آن‌ها در هر دو شرایط بدون تنش و تنش بالا باشد. در این پژوهش همبستگی مثبت بالای معنی‌داری بین عملکرد (عملکرد دانه و عملکرد روغن) در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش (Ys) خشکی با شاخص‌های MP، HM، GMP و STI مشاهده شد (جدول ۶ و ۷).

فرناندز (Fernandez, 1992) بر اساس پاسخ ژنوتیپ‌ها به محیط‌های بدون تنش و تنش خشکی، ژنوتیپ‌ها را در چهار گروه دسته‌بندی کرد. گروه A شامل ژنوتیپ‌هایی هستند که عملکرد مطلوب‌تری در هر دو شرایط بدون تنش و تنش داشته باشند. گروه B تنها شامل ژنوتیپ‌هایی می‌شوند که در شرایط بدون تنش عملکرد بالایی داشته باشند. در گروه C نیز ژنوتیپ‌هایی قرار می‌گیرند که فقط در شرایط تنش عملکرد مطلوب‌تری داشته باشند، این ژنوتیپ‌ها در شرایط مطلوب محیطی حساس بوده و در اثر شرایط مطلوب محیطی دچار ورس، خوابیدگی یا آفات و بیماری‌ها می‌شوند. در گروه D هم ژنوتیپ‌هایی قرار می‌گیرند که در

جدول ۵- شاخص‌های گزینش برای تحمل به تنش خشکی در هیبریدهای آفتابگردان

کد ژنوتیپ	عملکرد روغن در شرایط بدون تنش Yp	عملکرد روغن در شرایط تنش خشکی Ys	شاخص تحمل	شاخص حساسیت به تنش SSI	میانگین هارمونیک HM	میانگین بهره‌وری MP	میانگین هندسی بهره‌وری GMP	شاخص تحمل به تنش STI
H1	۱۵۲۲	۱۰۷۱	۴۵۱	۰/۷۳	۱۲۵۷	۱۲۹۷	۱۲۷۷	۰/۸۶
H2	۱۶۹۶	۹۳۶	۷۶۰	۱/۱۰	۱۲۰۶	۱۳۱۶	۱۲۶۰	۰/۸۴
H3	۱۵۲۸	۵۶۵	۹۶۳	۱/۵۵	۸۲۵	۱۰۴۷	۹۲۹	۰/۴۶
H4	۱۷۱۴	۱۱۳۲	۵۸۲	۰/۸۳	۱۳۶۳	۱۴۲۳	۱۳۹۳	۱/۰۳
H5	۱۰۸۵	۶۷۱	۴۱۴	۰/۹۴	۸۲۹	۸۷۸	۸۵۳	۰/۳۹
H6	۱۳۶۰	۹۰۰	۴۶۰	۰/۸۳	۱۰۸۳	۱۱۳۰	۱۱۰۶	۰/۶۵
H7	۱۰۶۷	۶۹۵	۳۷۲	۰/۸۶	۸۴۲	۸۸۱	۸۶۱	۰/۳۹
H8	۱۴۳۳	۷۰۷	۷۲۶	۱/۲۴	۹۴۷	۱۰۷۰	۱۰۰۷	۰/۵۴
H9	۱۴۷۱	۶۸۷	۷۸۴	۱/۳۱	۹۳۷	۱۰۷۹	۱۰۰۵	۰/۵۳
H10	۱۶۳۳	۹۰۶	۷۲۷	۱/۰۹	۱۱۶۵	۱۲۷۰	۱۲۱۶	۰/۷۸
H11	۱۰۸۰	۹۰۷	۱۷۳	۰/۳۹	۹۸۶	۹۹۴	۹۹۰	۰/۵۲
H12	۱۵۰۷	۷۹۲	۷۱۵	۱/۱۶	۱۰۳۸	۱۱۵۰	۱۰۹۲	۰/۶۳
H13	۱۳۵۶	۷۲۶	۶۳۰	۱/۱۴	۹۴۶	۱۰۴۱	۹۹۲	۰/۵۲
H14	۱۰۲۳	۸۳۴	۱۸۹	۰/۴۵	۹۱۹	۹۲۹	۹۲۴	۰/۴۵
H15	۱۳۷۶	۷۳۱	۶۴۲	۱/۱۵	۹۵۴	۱۰۵۲	۱۰۰۲	۰/۵۳
H16	۱۸۴۰	۱۰۵۰	۷۹۰	۱/۰۵	۱۳۳۷	۱۴۴۵	۱۳۹۰	۱/۰۲
H17	۱۱۶۵	۷۶۵	۴۰۰	۰/۸۴	۹۲۴	۹۶۵	۹۴۴	۰/۴۷
H18	۱۰۷۲	۶۸۸	۳۸۴	۰/۸۸	۹۳۸	۸۸۰	۸۵۹	۰/۳۹
H19	۱۱۹۵	۷۰۷	۴۸۸	۱/۰۰	۸۸۸	۹۵۱	۹۱۹	۰/۴۵

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل به تنش در هیبریدهای آفتابگردان

شاخص‌ها	عملکرد دانه در شرایط بدون تنش	عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی	شاخص تحمل	شاخص حساسیت به تنش	میانگین هارمونیک	میانگین	میانگین هندسی
	Y <sub>p</sub>	Y <sub>s</sub>	TOL	SSI	HM	MP	GMP
Y <sub>s</sub>	۰/۴۴						
TOL	۰/۸۴**	-۰/۱۳					
SSI	۰/۶۵**	-۰/۳۸	۰/۹۵**				
HM	۰/۷۹**	۰/۸۹**	۰/۳۲	۰/۰۸			
MP	۰/۹۳**	۰/۷۴**	۰/۵۷**	۰/۳۳	۰/۹۶**		
GMP	۰/۸۷**	۰/۸۳**	۰/۴۵	۰/۲۰	۰/۹۹**	۰/۹۹**	
STI	۰/۸۶**	۰/۸۳**	۰/۴۴	۰/۱۹	۰/۹۹**	۰/۹۸**	۰/۹۹**

\* و \*\* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

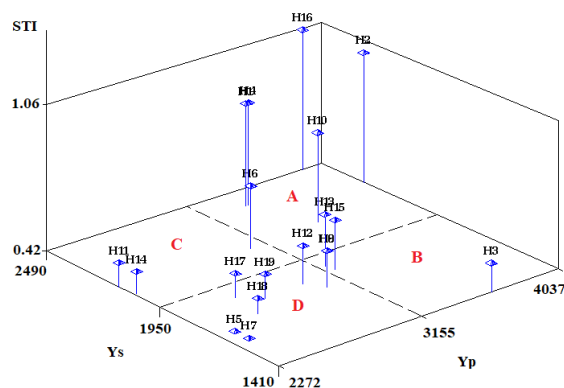
جدول ۷- ضرایب همبستگی بین عملکرد روغن و شاخص‌های تحمل به تنش در هیبریدهای آفتابگردان

شاخص‌ها	عملکرد روغن در شرایط بدون تنش	عملکرد روغن در شرایط تنش خشکی	شاخص تحمل	شاخص حساسیت به تنش	میانگین هارمونیک	میانگین	میانگین هندسی
	Y <sub>p</sub>	Y <sub>s</sub>	TOL	SSI	HM	MP	GMP
Y <sub>s</sub>	۰/۵۳*						
TOL	۰/۷۹**	-۰/۱۰					
SSI	۰/۵۱*	-۰/۴۵	۰/۹۳**				
HM	۰/۷۹**	۰/۹۴**	۰/۲۴	-۰/۱۲			
MP	۰/۹۳**	۰/۸۰**	۰/۵۱*	۰/۱۶	۰/۹۶**		
GMP	۰/۸۷**	۰/۸۸**	۰/۳۸	۰/۰۲	۰/۹۹**	۰/۹۹**	
STI	۰/۸۶**	۰/۸۹**	۰/۳۶	۰/۰۱	۰/۹۹**	۰/۹۸**	۰/۹۹**

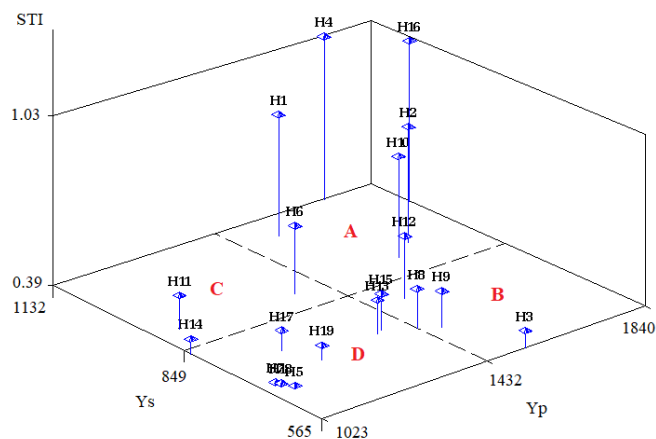
\* و \*\* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

چون شدت تنش و مقادیر عملکرد را در دو محیط در نظر می‌گیرد ژنوتیپ‌های گروه A را نیز می‌تواند شناسایی کند (Fernandez, 1992). با توجه به این اوصاف در ترسیم نمودارهای سه بعدی (شکل‌های ۱ و ۲) از عملکرد دانه و روغن در شرایط بدون تنش و تنش خشکی و شاخص STI استفاده گردید. بر اساس نمودارهای سه بعدی هیبریدهای H16, H10, H2, H4 و H1 در گروه A قرار گرفتند (شکل‌های ۱ و ۲) و در تجزیه خوشه‌ای نیز این ژنوتیپ‌ها در یک گروه قرار گرفتند (شکل‌های ۳ و ۴). بنابراین این هیبریدها به عنوان هیبریدهای متحمل به تنش خشکی شناخته می‌شوند. استفاده از نمودارهای سه بعدی برای تشخیص گروه A و انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش در محصولات مختلف از قبیل گندم نان (Gholizadeh *et al.*, 2013)، آفتابگردان (Darvishzadeh *et al.*, 2018)، ذرت (Arzhang *et al.*, 2024) و سایر محصولات استفاده شده است.

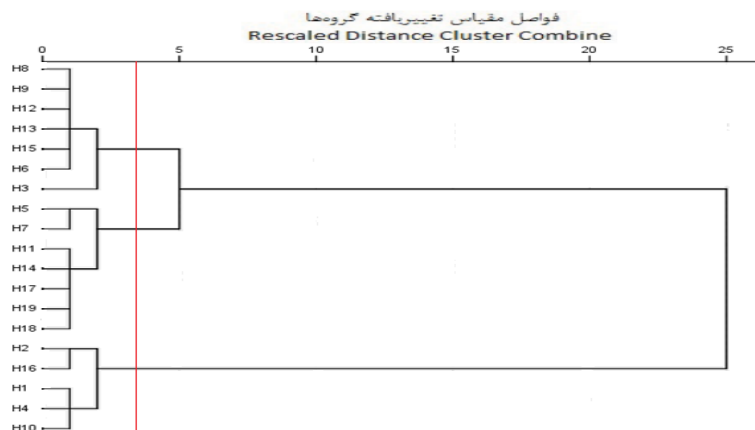
علوی و همکاران (۲۰۱۳) و درویش‌زاده و همکاران (۲۰۱۹) نیز در ارزیابی ژنوتیپ‌های آفتابگردان برا تحمل به تنش خشکی گزارش کردند که بین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی با شاخص‌های HM، MP، GMP و STI همبستگی مثبت معنی‌داری مشاهده شد که در توافق با پژوهش حاضر بود. عدد بالای میانگین هارمونیک (HM) نشان‌دهنده تحمل به خشکی ژنوتیپ است (Farshadfar *et al.*, 2013). میانگین تولید شاخص بهره‌وری (MP) نشان می‌دهد در شرایط عادی، ژنوتیپ‌ها عملکرد بالایی دارند ولی تحمل آنها به تنش پایین است و قادر به جداسازی ژنوتیپ‌ها از گروه A و B نمی‌باشد. میانگین هندسی (GMP) در مقایسه با میانگین تولید شاخص بهره‌وری (MP) قدرت بالاتری در تفکیک گروه A از سایر گروه‌ها دارد. شاخص تحمل خشکی (STI) برای معرفی ژنوتیپ‌هایی که برای هر دو محیط عملکرد بالا دارند و از طرفی متحمل به خشکی هستند کاربرد دارد و گروه‌های B و C را مشخص می‌کند و



شکل ۱- پراکنش سه بعدی ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی و شاخص تحمل به تنش

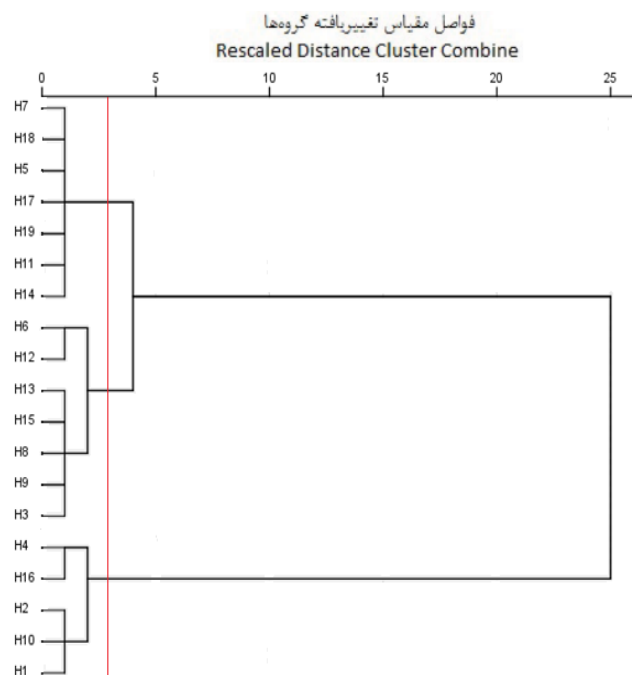


شکل ۲- پراکنش سه بعدی ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد روغن در شرایط بدون تنش و تنش خشکی و شاخص تحمل به تنش



شکل ۳- دندروگرام تجزیه خوشه‌ای هیبریدهای آفتابگردان با روش حداقل واریانس وارد بر اساس چهار شاخص STI و GMP، MP، HM





شکل ۴- دندروگرام تجزیه خوشه‌ای هیبریدهای آفتابگردان با روش حداقل واریانس وارد بر اساس چهار شاخص HM، MP، GMP و STI

H2، H4 و H1 از عملکرد مطلوبی در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی برخوردار بودند و به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی انتخاب شدند. بنابراین می‌توان از این هیبریدها برای انجام آزمایشات بیشتر از جمله آزمایشات سازگاری در مناطق گرم و مرطوب استفاده نمود.

#### سپاسگزاری

این پژوهش بر اساس نتایج حاصل از اجرای پروژه مصوب به شماره ۰۱۰۳۰۰-۰۱۷-۰۳۱۵-۰۳-۰۳ موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در مناطق گرگان و گنبد است. بدین وسیله از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به پاس تامین هزینه‌های اجرای پروژه و نیز از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان به جهت فراهم نمودن امکانات اجرای پروژه تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

#### نتیجه‌گیری کلی

با توجه به اهمیت تولید دانه‌های روغنی و روغن در کشور و استان گلستان، کمیت و کیفیت عملکرد دانه و روغن آفتابگردان امری ضروری است. با توجه به شرایط متنوع خاک و آب اراضی سطح زیر کشت آفتابگردان، باید به دنبال ژنوتیپ‌هایی بود که متوسط عملکرد آن‌ها در هر دو شرایط بدون تنش و تنش بالا باشد. در این پژوهش همبستگی مثبت بالایی معنی‌داری بین عملکرد (عملکرد دانه و عملکرد روغن) در شرایط بدون تنش و تنش خشکی با شاخص‌های HM، MP، GMP و STI مشاهده شد. بنابراین شاخص‌های HM، MP، GMP و STI و به طور ویژه شاخص STI به عنوان مناسب‌ترین شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در آفتابگردان شناخته شد. نمودارهای سه بعدی بر مبنای شاخص STI و عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش خشکی نشان داد که هیبریدهای H10، H16،

## منابع

- Aboodeh, H., Moradi Telavat, M. R., Moshatati, A., & Mousavi, S. H. (2019). Evaluation of spring safflower genotypes by using tolerance and sensitivity indices to terminal heat stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(2), 607-616. (In Persian).
- Ahmadpour, S., Darvishzadeh, R., Sofalian, O., & Hatamzadeh, H. (2019). Evaluation of yield stability of sunflower inbred lines under salt stress conditions. *Journal of Crop Breeding*, 11, 1-10. (In Persian).
- Alizadeh, B., Rezaizad, A., Yazdandoost Hamedani, M., Shiresmaeili, G., Nasserghadimi, F., Khademhamzeh, H. R., & Gholizadeh, A. (2021). Analysis of genotype  $\times$  environment interaction for seed yield in winter rapeseed cultivars and lines using multivariate method of additive main effects and multiplicative interaction. *Journal of Crop Production and Processing*, 11(1), 95-108. (In Persian).
- Ansarifard, I., Mostafavi, K., Khosroshahli, M., Reza Bihamta, M., & Ramshini, H. (2020). A study on genotype–environment interaction based on GGE biplot graphical method in sunflower genotypes (*Helianthus annuus* L.). *Food Science & Nutrition*, 20, 1-8.
- Arzhang, A., Darvishzadeh, R., & Alipour, H. (2024). Screening of maize (*Zea mays* L.) lines using selection indices for salinity stress tolerance. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 16(4), 949-967. (In Persian).
- Babaei, H. R., Sabzi, H., & Razmi, N. (2018). Application of AMMI approach in “Genotype x Environment” interaction analysis and determining yield stability of soybean pure lines (*Glycine max* (L.) Merril). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 50(1), 129-137. (In Persian).
- Darbani, S. P., Mehrabi, A.A., Pordad, S. S., Maleki, A., & Farshadfar, M. (2021). Evaluation of reaction of sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes in terms of yield and yield components under water stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(4), 1063-1076. (In Persian).
- Darvishzadeh, R., Soleimani Gezeljeh, A., Ali Pour, H., Ebrahimi, A., Bihamta, M. R., & Morsali, F. (2018). Selection of oily Sunflower (*Helianthus annuus* L.) drought tolerant lines using tolerance indices. *Journal of Crop Breeding*, 10(28), 133-144. (In Persian).
- Dehbalaei, S., Mehrabi, A. A., Maleki, A., & Poursiahbidi, M. M. (2023). Survey of yield, agricultural characteristics and stability analysis of bread wheat lines under dry and irrigated conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 16(3), 745-763. (In Persian).
- FAO, (2019). Agricultural production year book. FAO. <http://faostat3.fao.org>
- Faravash, F., Mirshekari, B., & Abbasi-Seyahjani, E. (2011). Effects of water deficit on some traits of three sunflower cultivars. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 9(5), 584-587.
- Farshadfar, E., Poursiahbidi, M. M., & 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*, 1, 143-158.
- Fernandez, G. C. J. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proc Intl Symp Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress. AVRDC Publ, Tainan, Taiwan, 13-18 August. pp. 257–270.
- Fischer, R., & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Crop Pasture Science*, 29, 897-912.
- Ghaffari, M., Gholizadeh, A., Andarkhor, S. A., Zareei Siahbidi, A., Kalantar Ahmadi, S. A., Shariati, F., & Rezaeizad, A. (2021). Pattern analysis of genotype  $\times$  environment interaction for seed yield in sunflower using multivariate method of additive main effects and multiplicative interaction. *Journal of Crop Breeding*, 13(39), 208-218. (In Persian).
- Ghaffari, M., Gholizadeh, A., Rauf, S., & Shariati, F. (2023). Drought-stress induced changes of fatty acid composition affecting sunflower grain yield and oil quality. *Food Science & Nutrition*, 11(12), 7718-7731.
- Gholinezhad, E., & Darvishzadeh, R. (2018). Investigation the drought tolerance of sesame (*Sesamum indicum* L.) local landraces based on drought stress tolerance indices in different levels of irrigation and mycorrhizae. *Journal of Crop Breeding*, 10(26), 185-194. (In Persian).
- Gholizadeh, A., Dehghani, H., & Dvorak, J. (2013). Evaluating salt tolerance of bread wheat genotypes using stress tolerance indices. *Cereal Research*, 4(2), 103-114. (In Persian).
- Hajibarat, Z., Saidi, A., & Ghazvini, H. (2023). Evaluation of drought tolerance indices in promising barley lines (*Hordeum vulgare* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 16(3), 787-801. (In Persian).
- Jamshidmoghaddam, M., & Pourdard, S. S. (2013). Genotype  $\times$  environment interactions for seed yield in rainfed winter safflower (*Carthamus tinctorius* L.) multi-environment trials in Iran. *Euphytica*, 190, 357-369.
- Kristin, A. S., Serna, R. R., Perez, F. I., Enriquez, B. C., Gallegos, J. A. A., Vallejo, P. R., Wassimi, N., & Kelley, J.D. (1997). Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science*, 37, 43-50.

- Raeisi-Lalari, M. R., Shahbazi, E., & Shafeinia, A. (2021). Assessment of yield and yield components of doubled-haploid lines of rapeseed under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(4), 1077-1092. (In Persian).
- Rahi, A. R., Najafi Zarrini, H., Ranjbar, G. A., & Ghajar Spanlou, M. (2020). Identification of drought tolerant genotypes of soybean plant using principal component analysis and cluster analysis. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(1), 27-40. (In Persian).
- Rahimizadeh, M., Kashani, A., Zare Feizabady, A., Madani, H., & Soltani, E. (2010). Effect of micronutrient fertilizers on sunflower growth and yield under drought stress conditions. *Electronic Journal of Crop Production*, 3(1), 57-72. (In Persian).
- Rosielle, A., & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*, 21, 943-946.
- SAS Institute Inc. (2011). SAS/STAT user's guide, second edition. SAS institute Inc., Cary, Nc.
- Shiri, M.R., & Bahrampour, T. (2015). Genotype × environment interaction analysis using GGE biplot in grain maize (*Zea mays* L.) hybrids under different irrigation conditions. *Cereal Research*, 5, 83-94. (In Persian).
- SPSS Inc. (2010). SPSS 20. Users Guided. Chicago, USA.
- Stone, L., Goodrum, R. D. E., Jafar, M. N., & Khan, A. H. (2001). Rooting front and water depletion depths in grain sorghum and sunflower. *Agronomy Journal*, 69, 1105-1110

## Selection of new drought tolerant hybrids in sunflower using stress tolerance indices

Amir Gholizadeh<sup>\*1</sup>, Mehdi Ghaffari<sup>2</sup>, Hossein Ahmadi-Ochtapeh<sup>1</sup>, Farnaz Shariati<sup>3</sup>

1. Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran

2. Associate Professor, Oil Crops Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

3. Assistant Professor, Oil Crops Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Received: 15-06-2024

Accepted: 17-07-2024

### Abstract

In order to select drought-tolerant hybrids, 18 new sunflower hybrids along with the ZARIN cultivar were evaluated in a randomized complete block design in non-stressed and drought-stressed conditions in two experimental field stations (Gorgan and Gonbad) during the 2021-2022 cropping season. Based on yield (seed yield and oil yield) in non-stress ( $Y_p$ ) and drought stress ( $Y_s$ ), various stress tolerance indices such as stress tolerance index (STI), mean productivity (MP), geometric mean productivity (GMP), harmonic mean (HM), Stress susceptibility index (SSI) and tolerance index (TOL) were calculated. The results of the combined analysis indicated that the environmental effect justified the largest percentage of all data variations. Correlation analysis between drought tolerance indices with non-stressed and drought-stressed yields showed that HM, MP, GMP, and STI indices and especially STI index were recognized as the most suitable indices for selecting drought tolerant genotypes in sunflower. The correlation between oil yield under non-stressed and drought-stressed was significant at the 5% probability level. Three-dimensional diagrams based on STI index and yield in non-stress and drought stress conditions showed that H16, H10, H2, H4, and H1 hybrids had good performance in both non-stress and drought stress conditions and were selected as the most tolerant genotypes to drought stress. Therefore, these hybrids can be used for further testing, including adaptation tests in warm wet areas.

**Keywords:** Sunflower, correlation analysis, oil yield, three-dimensional diagrams.

**Citation:** Gholizadeh, A., Ghaffari, M., Ahmadi-Ochtapeh, H., & Shariati, F. (2024). Selection of new drought tolerant hybrids in sunflower using stress tolerance indices. *Plant Production and Genetics*, 5(2), 211-222. <https://doi.org/10.22034/plant.2024.141534.1110>

#### Copyrights:

Copyrights rights for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Plant Production and Genetics. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



\*Corresponding Author Email: [a.gholizadeh@areeo.ac.ir](mailto:a.gholizadeh@areeo.ac.ir)