

شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در آفتابگردان (*Helianthus annus L.*)

Identification of Drought Resistant Genotypes in Sunflower
(*Helianthus annus L.*)

اعظم‌السادات صفوی^۱، سیدسعید پورداد^۲ و مهدی جمشیدمقدم^۲

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی،
واحد کرمانشاه

۲- به ترتیب دانشیار و مربی، معاونت موسسه تحقیقات کشاورزی دیم- سرارود، کرمانشاه

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۷/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۰/۱۶

چکیده

صفوی، ا.، پورداد، س. س.، و جمشیدمقدم، م. ۱۳۹۰. شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در آفتابگردان (*Helianthus annus L.*).
مجله به‌نژادی نهال و بذر ۱-۲۷: ۱۴۸-۱۲۹.

سی و شش ژنوتیپ آفتابگردان برای ارزیابی برخی خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک در شرایط تنش خشکی، تعیین بهترین شاخص‌های مقاومت به خشکی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در قالب طرح لاتیس ساده ۶×۶ در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ در مزرعه تحقیقات کشاورزی دیم سرارود در دو شرایط بدون تنش و تنش در مراحل گلدهی و دانه بستن مورد ارزیابی قرار گرفتند. در طول فصل زراعی، برخی خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک در شرایط تنش و عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش اندازه‌گیری شد. بین ژنوتیپ‌های مختلف برای خصوصیات فیزیولوژیک نشت یونی نسبی و پایداری غشای سلولی در سطح ۱ درصد و برای صفت عملکرد دانه در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت. برآورد ضرایب همبستگی بین شاخص‌ها با عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در دو شرایط بدون تنش و تنش نشان داد که شاخص‌های MP، GMP، HarM و STI مناسب‌ترین شاخص‌ها در شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا و متحمل به تنش آفتابگردان بودند. با استفاده از روش بای پلات ژنوتیپ‌های SIL-237، SIL-218، SIL-210، SIL-206، SIL-240، SIL-140، SIL-42، SIL-96، SIL-238 و SIL-227 به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی شدند. با توجه به نتایج این بررسی می‌توان با استفاده از شاخص‌ها و خصوصیات ذکر شده رگه‌هایی با پتانسیل تولید بالا و متحمل به تنش خشکی را گزینش و از آن‌ها برای تولید دورگ‌های متحمل استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: آفتابگردان، تنش خشکی، خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک، شاخص‌های مقاومت به خشکی، بای پلات.

مقدمه

۵۰۰-۶۰۰ میلی‌متر بارش معادل ۶۰۰۰-۵۰۰۰ متر مکعب آب آبیاری برآورد می‌شود (Alyari *et al.*, 2000). میزان آب مصرفی آفتابگردان در مراحل اول رشد کمتر از زمانی است که گیاه رشد کامل کرده باشد و از مرحله تشکیل گل به بعد به علت بالا بودن دمای محیط، ارتفاع گیاه و پوشش گیاهی کامل، مقدار آب مصرفی بالا می‌رود (Gomez *et al.*, 1991).

شاخص‌های متفاوتی برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی مختلف و تعیین مقاومت و حساسیت آن‌ها به تنش خشکی ارائه شده است. فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978) شاخص حساسیت به تنش (SSI)، فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص تحمل به تنش (STI)، روزیلیسی و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981) شاخص تحمل (TOL)، را به همراه میانگین بهره‌وری (MP)، فرناندز (Fernandez, 1992)، کریستین و همکاران (Kristin *et al.*, 1997) شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) و بدینگر و همکاران (Bidinger *et al.*, 1987) شاخص پاسخ به خشکی (DRI) را معرفی کرده‌اند.

در تحقیقات انجام شده توسط دانشیان و جنوبی (Daneshian and Jonoubi, 2008) سه شاخص MP، GMP و STI و در تحقیقاتی دیگر جباری و همکاران (Jabbari *et al.*, 2009) و غفاری

تنش خشکی از عمده‌ترین چالش‌ها برای تولید موفق محصولات زراعی است و از این نظر اصلاح ارقام پیشرفته و مقاوم برای مناطق خشک و نیمه خشک امری ضروری به نظر می‌رسد (Golparvar *et al.*, 2003). به طور کلی ارقامی که برای عملکرد بالا در شرایط عادی (بدون تنش) انتخاب شده‌اند، ممکن است در شرایط تنش عملکرد زیاد نداشته باشند (Naroui Rad *et al.*, 2006). بنابراین بیشتر محققین گزینش ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را توصیه می‌کنند (Pourdad *et al.*, 2008).

آفتابگردان یکی از مهم‌ترین گیاهان دانه روغنی در جهان است و روغن آن به دلیل داشتن اسیدهای چرب غیر اشباع فراوان و همچنین فقدان کلسترول از کیفیت بالایی برخوردار است (Nezami *et al.*, 2008). میزان تولید جهانی دانه آفتابگردان در سال ۲۰۰۷، در حدود ۳۰/۴۵ میلیون تن و میزان روغن به دست آمده از آن ۱۰/۷۵ میلیون تن برآورد شده است (Anonymous, 2007). آفتابگردان یک محصول زراعی متحمل به خشکی با نظام ریشه‌ای عمیق و جستجوگر است که ریشه آن در شرایط خشکی در مقایسه با گیاهان زراعی دیگر می‌تواند آب را از لایه‌های زیرین و عمیق‌تر خاک جذب کند (Angadi and Entz, 2002). نیاز آبی زراعت آفتابگردان در یک دوره رشدی در حدود

سطح دریا است. میانگین بارندگی سالیانه منطقه ۴۱۶/۸ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت ۱۳/۸ درجه سانتی‌گراد است. اقلیم این ایستگاه نیمه خشک سرد تا معتدل است و بر اساس نتایج آزمایش‌های خاکشناسی، بافت خاک آن سیلتی رسی لوم است.

در این تحقیق ژنوتیپ‌های آفتابگردان در قالب طرح لاتیس ساده ۶×۶ با دو تکرار در دو شرایط بدون تنش (آبیاری نرمال) و تنش رطوبتی (قطع آبیاری در مرحله گلدهی) مورد ارزیابی قرار گرفتند. عملیات تهیه بستر شامل شخم پائیزه، شخم تکمیلی بهاره، دیسک زدن، تسطیح، کودپاشی بر اساس نتایج تجزیه خاک و تهیه جوی و پشته بود. هر ژنوتیپ در دو خط پنج متری با فاصله ۶۰ سانتی‌متری و فاصله بوته ۲۵ سانتی‌متر روی خطوط کاشته شد. بعد از هر دو خط کاشت، یک ردیف نکاشت در نظر گرفته شد تا از وقوع اشتباه در زمان برداشت جلوگیری شده و اندازه‌گیری خصوصیات بر روی بوته‌ها ساده تر انجام شود. بین دو تکرار نیز دو متر فاصله منظور شد. در زمان گلدهی از هر کرت پنج بوته انتخاب شد و به منظور انجام خودگشتی، طبق آن‌ها با پاکت پوشانده شد. در آزمایش بدون تنش رطوبتی مزرعه در مرحله گلدهی آبیاری شد اما در آزمایش با تنش رطوبتی آبیاری انجام نشد و بارشی نیز رخ نداد. در این آزمایش تعدادی از خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک به شرح زیر اندازه‌گیری شدند: تعداد روز تا شروع گلدهی: تاریخی

(Ghaffari, 2008) فقط شاخص STI را به عنوان کاراترین شاخص در ارزیابی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی آفتابگردان گزارش کردند. برخی از محققین نیز در بررسی شاخص‌ها به این نتیجه رسیدند که کارآمدی شاخص‌ها به شدت تنش محیط بستگی دارد، به طوری که در شرایط تنش در مرحله گلدهی شاخص MP و در شرایط تنش در مرحله رشد دانه شاخص‌های GMP، MP و STI در شناسایی هیبریدهای با عملکرد بالا و متحمل به تنش خشکی آفتابگردان کارآیی بالاتری داشتند (Kazemitabar et al., 2007).

در تحقیق حاضر اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه و برخی خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک آفتابگردان بررسی شد و شاخص‌های مناسب، برای گزینش لاین‌ها از طریق شاخص‌های مقاومت، نمودارهای پراکنش سه بعدی و بای پلات مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق اثر تنش خشکی بر ۳۶ ژنوتیپ آفتابگردان تولید شده در بخش تحقیقات دانه‌های روغنی معاونت موسسه تحقیقات کشاورزی دیم، سرارود ارزیابی شد. آزمایش در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم کرمانشاه (سرارود) اجرا شد. این منطقه در عرض ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی واقع شده و ارتفاع ۱۳۵۱ متر از

۲۰ سانتی‌متری سطح زمین با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شد.

تعداد برگ: برای اندازه‌گیری این صفت تعداد پنج بوته از هر کرت با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای انتخاب و تعداد برگ‌ها شمارش شد.

وزن هزاردانه: پس از برداشت هر کرت، یک نمونه تصادفی ۵۰۰ بذری از هر ژنوتیپ شمارش و وزن آن به وسیله ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد.

عملکرد دانه: پس از برداشت هر کرت وزن دانه آن کرت اندازه‌گیری و مقدار عملکرد دانه به صورت کیلوگرم در هکتار محاسبه شد.

محتوای آب نسبی برگ (RWC): برای اندازه‌گیری این صفت از هر لاین در هر دو تکرار و در دو آزمایش پنج نمونه برگ‌گی به طور تصادفی برداشته و بلافاصله وزن تر (FW) آن‌ها به وسیله ترازوی دقیق دیجیتالی اندازه‌گیری شد. برای به دست آوردن وزن خشک (DW)، نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند و دوباره وزن شدند. با استفاده از فرمول زیر محتوای آب نسبی برگ بر حسب درصد محاسبه شد:

$$RWC(\%) = [(FW - DW) / FW] \times 100$$

میزان آب نسبی از دست رفته برگ (RWL): برای اندازه‌گیری این صفت از هر لاین در هر دو تکرار و در دو آزمایش پنج نمونه برگ‌گی به طور تصادفی برداشته و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و سپس آن‌ها را وزن کرده و اعداد به دست آمده به عنوان وزن تر یادداشت شدند. نمونه‌های وزن شده به مدت دو ساعت در دمای ۳۰ درجه

یادداشت‌برداری شد که در آن ۵٪ طبق‌های هر کرت به طور کامل باز شده بودند، سپس تعداد روزها از سبز شدن تا این تاریخ محاسبه شد.

تعداد روز تا پایان گلدهی: تاریخی یادداشت‌برداری شد که در آن گل‌های تمامی بوته‌های هر کرت کاملاً باز شده و گلبرگ‌های ۷۵٪ از بوته‌ها شروع به پژمرده شدن کرده بودند، سپس تعداد روز از تاریخ سبز شدن تا این تاریخ محاسبه شد.

تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیکی: تاریخی یادداشت شد که در آن ۷۵٪ از بوته‌های هر کرت در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی باشند، یعنی پشت طبق‌ها زرد شده، برگ‌های بوته خشکیده و برگ‌ها نیز همگی ریزش پیدا کرده‌اند، سپس تعداد روز از تاریخ سبز شدن تا این تاریخ محاسبه شد.

ارتفاع گیاه: برای اندازه‌گیری این صفت تعداد پنج بوته از هر کرت با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای به طور تصادفی انتخاب و ارتفاع آن‌ها از سطح زمین تا قاعده طبق با استفاده از خط کش مدرج اندازه‌گیری شد.

قطر طبق: برای اندازه‌گیری این صفت تعداد پنج بوته از هر کرت با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای انتخاب و قطر طبق با استفاده از خط کش مدرج اندازه‌گیری شد.

قطر ساقه: برای اندازه‌گیری این صفت تعداد پنج بوته از هر کرت با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای انتخاب و قطر ساقه در فاصله

$$REL_{(\%) = \left(\frac{EL_f}{EL_{Autocl}} \right) \times 100$$

پایداری غشای سلول (CMS): برای اندازه‌گیری این صفت از هر کرت در هر دو تکرار و در دو آزمایش پنج نمونه برگ را به طور تصادفی برداشته بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند. برگ‌ها سریعاً با آب مقطر شسته شدند تا گرد و خاک روی برگ‌ها پاک شود و دیسک‌های یکسانی از آن‌ها تهیه شد. برگ‌های هر ژنوتیپ در هر تکرار به دو قسمت مساوی تقسیم شدند. یک قسمت در محلول PEG صفر درصد و یک قسمت در محلول PEG ۴۰ درصد به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. پس از این مدت، اولین قرائت EC برای تمام ژنوتیپ‌ها و تکرارها انجام شد. قرائت اول EC برای تیمارهای تحت تنش (PEG ۴۰ درصد) با T₁ و برای تیمارهای شاهد (PEG صفر درصد) با C₁ نشان داده شدند. پس از اندازه‌گیری EC، تمام برگ‌ها در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و فشار یک اتمسفر به مدت ۲۰ دقیقه اتوکلاو شدند و پس از خنک شدن محلول‌ها و رسیدن به دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرائت دوم انجام شد. قرائت دوم EC برای تیمارهای تحت تنش با T₂ و برای تیمارهای شاهد با C₂ نشان داده شدند. سپس با استفاده از فرمول زیر مقدار پایداری غشا محاسبه شد:

$$CMS = \frac{1 - \frac{T_1}{T_2}}{1 - \frac{C_1}{C_2}}$$

سانتی‌گراد قرار داده شدند تا وزن پژمردگی آن‌ها به دست آید، در نهایت نمونه‌ها در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت در اون برای به دست آوردن وزن خشک قرار گرفتند. میزان کاهش آب بر حسب گرم آب از دست رفته از وزن خشک برگ در دو ساعت محاسبه شد. آب از دست رفته با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$RWL = (Fw - Ww / Dw) / (t_1 - t_2 / 60)$$

که در آن t₁ و t₂ زمان‌های لازم بر حسب ساعت برای وزن پژمردگی و وزن خشک و Fw، Ww و Dw به ترتیب وزن‌های تر، پژمردگی و خشک هستند.

نشت یونی نسبی (REL): برای اندازه‌گیری این صفت از هر لاین در هر دو تکرار و در دو آزمایش پنج نمونه برگ را به طور تصادفی برداشته و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند. از هر کدام از برگ‌ها قطعات دو سانتی‌متری جدا کرده و ۲۵ میلی‌متر آب مقطر به آن‌ها اضافه شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای آزمایشگاه روی شیکر قرار داده شدند و پس از ۲۴ ساعت هدایت الکتریکی اولیه (E_f) آن‌ها توسط دستگاه (EC متر دیجیتالی) اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد اتوکلاو شدند و بعد از ۱۲ ساعت EC کل (E_{L_{Autocl}}) آن‌ها اندازه‌گیری شد و در نهایت درصد نشت یونی نسبی (REL) از فرمول زیر به دست آمد:

خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک تجزیه واریانس انجام شد. با محاسبه ضرایب همبستگی پیرسون بین شاخص‌ها و عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش بهترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل تعیین شدند. برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی با عملکرد دانه بالا در هر دو محیط از نمودار سه بعدی استفاده شد که در آن عملکرد دانه در محیط تنش بر روی محور X ها، عملکرد دانه در محیط بدون تنش بر روی محور Z ها و یکی از شاخص‌های انتخاب شده (شاخص تحمل تنش STI) بر روی محور Y ها نشان داده شد. از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (Principle Component Analysis) برای نشان دادن روابط بین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌های تحمل به خشکی در یک شکل واحد (نمودار بای‌پلات Biplot) استفاده شد. برای رسم نمودار سه بعدی و بای‌پلات از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

برای ارزیابی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌ها و انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب از تجزیه خوشه‌ای (Cluster analysis) با استفاده از فاصله اقلیدوسی و روش UPGMA استفاده شد و نتایج به دست آمده به صورت دندروگرام نمایش داده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس طرح لاتیس ساده ۶×۶ برای صفات تعداد روز تا شروع گلدهی، تعداد

با استفاده از عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش (Y_p) و شرایط تنش در هر دو مرحله گلدهی و دانه بستن (Y_s) و میانگین عملکرد کلیه ارقام در شرایط بدون تنش (\bar{Y}_p) و شرایط تنش (\bar{Y}_s) شاخص‌های تحمل خشکی به شرح زیر محاسبه شد:

شاخص حساسیت به تنش (SSI):

$$SSI = [1 - (Y_s/Y_p)] / SI$$

شدت تنش (SI):

$$SI = 1 - (\bar{Y}_s / \bar{Y}_p)$$

شاخص تحمل (TOL):

$$TOL = (Y_p - Y_s)$$

شاخص تحمل تنش (STI):

$$STI = (Y_p \times Y_s) / (\bar{Y}_p)^2$$

شاخص میانگین بهره‌وری (MP):

$$MP = (Y_p + Y_s) / 2$$

میانگین هندسی بهره‌وری (GMP):

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

میانگین هارمونیک (Harm):

$$HarM = 2(Y_p \times Y_s) / (Y_p + Y_s)$$

شاخص پاسخ خشکی (DRI):

$$DRI = (Y_A - Y_{ES}) / S_{ES}$$

در رابطه فوق:

Y_A : عملکرد حقیقی در شرایط تنش

Y_{ES} : برآورد عملکرد از طریق رگرسیون در

شرایط تنش

S_{ES} : اشتباه استاندارد رگرسیون چند متغیره

برای نشان دادن اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از

نظر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی

روز تا رسیدن، ارتفاع گیاه، تعداد برگ، قطر ساقه، نشت یونی نسبی و پایداری غشای سلولی کارایی تجزیه واریانس در قالب طرح لاتیس ساده نسبت به طرح بلوک کامل تصادفی بیشتر بود، بنابراین تجزیه و تحلیل آماری بر اساس موازین طرح لاتیس ساده ۶×۶ انجام شد (جدول ۲).

روز تا پایان گلدهی، قطر طبق، محتوای آب نسبی، آب نسبی از دست رفته، عملکرد دانه و وزن هزار دانه نشان داد که اثر بلوک‌های داخل تکرار برای صفات مذکور معنی‌دار نبود، بنابراین آزمایش بر اساس موازین طرح بلوک‌های کامل تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (جدول ۱). در مورد صفات تعداد

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات زراعی و فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های آفتابگردان در شرایط تنش رطوبتی

Table 1. Analysis of variance for agronomic and physiologic characteristics of sunflower genotypes in water stress conditions

S.O.V.	منابع تغییرات	df.	میانگین مربعات MS						
			تعداد روز تا شروع گلدهی	تعداد روز تا پایان گلدهی	قطر طبق	محتوای آب نسبی برگ	میزان آب نسبی از دست رفته	عملکرد دانه	وزن هزار دانه
			DSF	DEF	HD	RWC	RWL	SY	TSW
Replication	تکرار	1	9.38 ^{ns}	0.68 ^{ns}	66.39 ^{ns}	117.40 ^{ns}	0.016 ^{ns}	1362255.07 ^{ns}	17.81 ^{ns}
Treatment	تیمار								
Unadjusted	صحیح نشده	35	4.76 ^{ns}	0.52 ^{ns}	18.09 ^{ns}	35.44 ^{ns}	0.004 ^{ns}	458491.24*	198.34 ^{ns}
Adjusted	تصحیح شده	35	-	-	-	-	-	-	-
Block/Reps	بلوک‌ها در تکرارها								
Adjusted	تصحیح شده	10	-	-	-	-	-	-	-
Error	اشتباه								
Effective	موثر	25	-	-	-	-	-	-	-
RCBD	طرح بلوک کامل تصادفی	35	3.56	0.42	24.03	44.71	0.008	232140.43	292.86
Intrablock	دورن بلوکی	25	-	-	-	-	-	-	-
	کارایی لاتیس نسبت به طرح بلوک‌های کامل تصادفی		EF Lattice<RCBD	EF Lattice<RCBD	EF Lattice<RCBD	EF Lattice<RCBD	EF Lattice<RCBD	EF Lattice<RCBD	EF Lattice<RCBD
Efficiency of Lattice over RCBD	ضریب تغییرات (%)		2.32	0.74	20.13	12.44	14.28	23.31	21.08

ns, * and **: Not significant, significant at 5% and 1% of probability levels, respectively. DSF: Days to Start of Flowering; DEF: Days to End of Flowering; HD: Head Diameter; TSW: Thousand Seed Weight; SY: Seed Yield; RWC: Relative Water Content; RWL: Relative Water Loss.

(جدول‌های ۱ و ۲). تجزیه واریانس داده‌ها در شرایط تنش خشکی نشان داد که از بین چهار صفات فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شده، ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر پایداری غشای سلولی و نشت یونی نسبی با هم اختلاف معنی‌دار داشتند. بین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مختلف برای صفات ارتفاع گیاه، نشت یونی نسبی و پایداری غشای سلولی اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و برای عملکرد دانه در سطح ۵٪ وجود داشت و برای سایر صفات اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات زراعی و فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های آفتابگردان در شرایط تنش رطوبتی

Table 2. Analysis of variance for agronomic and physiologic characteristics of sunflower genotypes in water stress conditions

S.O.V.	منابع تغییرات	درجه آزادی df.	میانگین مربعات MS					پایداری غشای سلولی CMS
			تعداد روز تا رسیدن DM	ارتفاع بوته PH	تعداد برگ LN	قطر ساقه SD	نشست یونی نسبی REL	
Replication	تکرار	1	0.12 ^{ns}	234.72 ^{ns}	7.60 ^{ns}	86.24 ^{ns}	0.37 ^{ns}	1.33 ^{ns}
Treatment	تیمار							
Unadjusted	تصحیح نشده	35	0.18 ^{ns}	1241.84 ^{**}	6.13 ^{ns}	6.26 ^{ns}	48.85 ^{**}	12.87 ^{**}
Adjusted	تصحیح شده	35	0.18 ^{ns}	1241.84 ^{**}	6.13 ^{ns}	6.26 ^{ns}	48.85 ^{**}	12.87 ^{**}
Block/Reps	بلوک‌ها در تکرارها							
Adjusted	تصحیح شده	10	0.42 ^{ns}	2749.38 ^{ns}	11.82 ^{ns}	11.12 ^{ns}	15.05 ^{ns}	7.89 ^{ns}
Error	اشتباه							
Efficient	موثر	25	0.31	243.49	4.23	4.93	3.33	1.50
RCBD	طرح بلوک کامل تصادفی	35	0.32	922.95	5.89	6.16	6.22	3.12
Intrablock	دورن بلوکی	25	0.28	192.37	3.52	4.18	2.70	1.21
Efficiency of Lattice over RCBD	کارایی لاتیس نسبت به طرح بلوک های کامل تصادفی		104.2	379.04	139.23	125.1	186.87	207.16
C.V. (%)	ضریب تغییرات (%)		0.56	18.65	18.99	19.22	3.84	7.598

ns, * and **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

ns, * and **: Not significant, significant at 5% and 1% of probability levels, respectively. DM: Days to physiological Maturity; LN: Leaf Number; PH: Plant Height; SD: Stem Diameter; REL: Relative Ionic Leakage; CMS: Cell Membrane Stability.

SIL-200 با میانگین‌های ۵۷۹/۱ و ۴۵۲/۷ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۳).

نشست یونی نسبی در ژنوتیپ SIL-20 با میانگین ۶۳/۰۵ درصد بیشترین و در ژنوتیپ SIL-260 با میانگین ۴۰/۳۰ درصد کمترین بود. این نشان‌دهنده آن است که لاین SIL-20 الکترولیت‌های بیشتری و SIL-260 الکترولیت‌های کمتری در شرایط تنش از آن نشست کرده است.

پایداری غشای سلولی در ژنوتیپ‌های SIL-114 و SIL-210 با میانگین‌های ۲۰/۷۰ و ۲۰/۶۵ بیشترین و در ژنوتیپ SIL-211 با میانگین ۱۱/۹۰ کمترین بود. این بیانگر آن است که ژنوتیپ‌های SIL-114 و SIL-210 در شرایط تنش تخریب غشای سیتوپلاسمی کمتری

تعداد روز تا شروع گلدهی، تعداد روز تا پایان گلدهی، قطر طبق، محتوای آب نسبی، آب نسبی از دست رفته، وزن هزار دانه، تعداد روز تا رسیدن، تعداد برگ و قطر ساقه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. مقایسه میانگین برای این صفات انجام نشد. با مراجعه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۳) مشخص شد که بیشترین ارتفاع گیاه مربوط به ژنوتیپ SIL-259 با میانگین ۲۰۵/۵ سانتی‌متر بود و بقیه لاین‌ها تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند، با این وجود کمترین میانگین ارتفاع گیاه مربوط به ژنوتیپ SIL-94 با میانگین ۵۹ سانتی‌متر بود. از نظر عملکرد دانه بیشترین مقدار مربوط به ژنوتیپ SIL-237 با میانگین ۲۸۷۲ کیلوگرم در هکتار و کمترین مربوط به ژنوتیپ‌های SIL-75 و

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مختلف ژنوتیپ‌های آفتابگردان در شرایط تنش رطوبتی
Table 3. Mean comparison for different characteristics of sunflower genotypes in water stress conditions

ژنوتیپ Genotype	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	نشت یونی نسبی Relative ionic leakage (%)	پایداری غشای سلول Cell membrane stability ($\mu\text{mhos/cm}$)	عملکرد دانه Seed yield (kg ha^{-1})
SIL-20	95.5b	63.05a	18.55abcdef	1222bcde
SIL-42	70.0b	55.25b	14.15ghijkl	1473bcde
SIL-53	59.5b	48.30cdefghijk	17.60abcdefg	636de
SIL-54	87.5b	53.70bc	18.10abcdefg	952bcde
SIL-75	69.0b	51.45bcdefg	12.70kl	579e
SIL-80	68.0b	51.80bcdef	19.15abcd	994bcde
SIL-82	77.0b	43.00jklmn	17.20abcdefghij	1009bcde
SIL-94	59.0b	45.90fghijklmn	17.75abcdefg	780bcde
SIL-96	79.0b	44.90hijklmn	12.70kl	1538bcde
SIL-97	61.5b	43.70jklmn	13.45hijkl	1081bcde
SIL-99	79.0b	44.75hijklmn	16.00bcdefghijkl	948bcde
SIL-114	62.5b	52.05bcde	20.70a	674cde
SIL-140	68.0b	52.00bcde	19.45abc	1832bc
SIL-162	62.0b	50.15bcdefghi	16.30bcdefghijk	968bcde
SIL-200	59.0b	50.50bcdefgh	13.15ijkl	452e
SIL-203	89.0b	44.35ijklmn	19.10abcde	763bcde
SIL-205	80.5b	43.70jklmn	15.45cdefghijkl	924bcde
SIL-206	72.0b	48.85cdefghij	16.05bcdefghijkl	1535bcde
SIL-210	76.5b	54.20bc	20.65a	1818bcd
SIL-215	96.5b	42.25klmn	12.80kl	1470bcde
SIL-217	64.5b	41.00mn	14.70fghijkl	856bcde
SIL-222	105.0b	47.40defghijkl	20.05ab	1205bcde
SIL-224	98.0b	45.05hijklmn	16.50abcdefghijk	1526bcde
SIL-226	93.0b	45.75ghijklmn	17.45abcdefghi	783bcde
SIL-227	95.0b	52.75bcd	16.45abcdefghijk	1479bcde
SIL-237	88.5b	45.10hijklmn	13.20ijkl	2872a
SIL-238	93.0b	41.55lmn	14.80efghijkl	1293bcde
SIL-254	105.0b	42.40klmn	14.65fghijkl	683cde
SIL-259	205.5a	43.75jklmn	14.40fghijkl	1145bcde
SIL-260	92.5b	40.30n	13.05jkl	823bcde
SIL-280	97.0b	47.05defghijklm	18.15abcdefg	678cde
SIL-196	77.5b	46.40efghijklmn	13.60hijkl	1148bcde
SIL-218	79.5b	51.55bcdefg	14.95defghijkl	1874b
SIL-231	85.5b	46.80defghijklm	18.5abcdef	952bcde
SIL-210	82.0b	41.45lmn	18.25abcdefg	1511bcde
SIL-211	78.5b	45.05hijklmn	11.9l	831bcde

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

Means with similar letters in each column are not significantly different.

آفتابگردان در شرایط تنش در جدول ۴ نشان

در مقایسه با ژنوتیپ SIL-211 داشتند.

داده شده است.

ضرایب همبستگی بین خصوصیات مختلف

تعداد روز تا گلدهی: در بین صفات اندازه‌گیری ضده صفت عملکرد دانه با این صفت همبستگی منفی و متوسط و معنی‌داری در سطح ۰/۰۵٪ ($t=0/416^*$) داشت.

تعداد روز تا پایان گلدهی: بین این صفت و صفت ارتفاع بوته همبستگی ضعیف و منفی و معنی‌داری در سطح ۰/۰۵٪ ($t=0/355^*$) وجود داشت.

قطر طبق: بین قطر طبق و وزن هزار دانه همبستگی مثبت و متوسط و معنی‌داری در سطح ۰/۰۱٪ ($t=0/538^{**}$) وجود داشت و بیانگر این مطلب است که در شرایط بدون آبیاری ژنوتیپ‌هایی که قطر طبق بزرگ‌تری دارند وزن هزار دانه بیشتری دارند.

ارتفاع بوته: این صفت با صفات تعداد برگ مثبت و متوسط و معنی‌دار و با قطر ساقه همبستگی مثبت و قوی و معنی‌داری در سطح ۰/۰۱٪ (به ترتیب $t=0/597^{**}$ و $t=0/645^{**}$) داشت و بدان معنی است که ژنوتیپ‌های پابلند تعداد برگ بیشتر و ساقه قطورتری دارند. همچنین این صفت با صفت تعداد روز تا پایان گلدهی همبستگی ضعیف و معنی‌داری در سطح ۰/۰۵٪ ($t=0/355^*$) داشت.

تعداد برگ، این صفت با صفات قطر ساقه همبستگی مثبت و قوی و معنی‌دار و با ارتفاع همبستگی مثبت و متوسط و معنی‌داری در سطح ۰/۰۱٪ (به ترتیب $t=0/843^{**}$ و $t=0/597^{**}$) داشت و می‌توان نتیجه‌گیری کرد در شرایط بدون آبیاری ژنوتیپ‌های پابلند با ساقه قطورتر،

تعداد برگ بیشتری دارند.

قطر ساقه: این صفت با صفات ارتفاع و تعداد برگ همبستگی مثبت و قوی و معنی‌داری در سطح ۰/۰۱٪ ($t=0/645^{**}$ ، $t=0/843^{**}$) و همبستگی منفی و ضعیف و معنی‌داری در سطح ۰/۰۵٪ با صفت پایداری غشای سلول ($t=0/334^*$) داشت. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که ژنوتیپ‌های دارای قطر ساقه بیشتر، ارتفاع و تعداد برگ بیشتری دارند.

وزن هزار دانه: بین این صفت با صفات قطر طبق و عملکرد همبستگی مثبت و متوسط و معنی‌داری در سطح ۰/۰۱٪ ($t=0/538^{**}$) و $t=0/476^{**}$) وجود داشت و بیانگر این مطلب است که در شرایط بدون آبیاری ژنوتیپ‌هایی که قطر طبق بزرگ‌تری دارند وزن هزار دانه عملکرد بیشتری دارند.

عملکرد: این صفت با صفت وزن هزار دانه همبستگی مثبت و متوسط و معنی‌داری در سطح ۰/۰۱٪ ($t=0/476^{**}$) داشت ولی با صفت تعداد روز تا گلدهی همبستگی منفی و متوسط و معنی‌دار و با پایداری غشای سلول و آب نسبی از دست رفته همبستگی منفی و ضعیف و معنی‌داری در سطح ۰/۰۵٪ ($t=0/416^*$ و $t=0/387^*$) داشت.

نشت یونی نسبی: این صفت با صفت پایداری غشای سلولی همبستگی قوی مثبت و معنی‌داری در سطح ۰/۰۱٪ ($t=0/988^{**}$) و همبستگی مثبت و ضعیف و معنی‌دار در سطح ۰/۰۵٪ ($t=0/383^*$) با محتوای آب نسبی داشت. نتایج نشان داد که به علت وجود همبستگی

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین صفات مختلف ژنوتیپ‌های آفتابگردان در شرایط تنش رطوبتی

Table 4. Correlation coefficients between different characteristics of sunflower genotypes in water stress conditions

Characteristics	DSF	DEF	DMS	HD	PLH	NL	SD	TSW	Yield	REL	RWC	RWL
DEF	-0.156											
DMS	0.111	0.298										
HD	-0.304	-0.153	-0.233									
PLH	0.0028	-0.355*	-0.228	0.083								
NL	-0.113	-0.259	-0.044	0.127	0.597**							
SD	-0.271	-0.150	-0.107	0.212	0.645**	0.843**						
TSW	-0.315	-0.106	0.082	0.538**	-0.016	0.042	-0.710					
Yield	-0.416*	-0.012	-0.071	0.255	0.105	0.315	0.206	0.476**				
REL	0.085	0.210	0.135	-0.080	-0.199	-0.231	-0.319	0.181	0.106			
RWC	0.190	-0.027	0.025	-0.095	0.071	0.077	-0.087	-0.047	0.029	0.383*		
RWL	0.100	-0.128	0.083	-0.004	0.039	0.100	-0.141	0.107	-0.387*	0.156	0.306	
CMS	0.114	0.209	0.135	-0.095	-0.175	-0.221	-0.334	0.167	-0.375*	0.988**	0.434**	0.198

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

برای اختصارات مربوط به صفات به جدول‌های ۱ و ۲ مراجعه شود.

For abbreviations see Tables 1 and 2.

(جدول ۵). مقادیر ضرایب همبستگی بین شاخص‌ها با عملکرد در هر دو شرایط تنش و بدون تنش در جدول ۶ آورده شده است. همبستگی معنی‌دار و مثبت بین عملکرد در هر دو شرایط تنش و بدون تنش رطوبتی نشان دهنده افزایش یا کاهش همسوی عملکرد دانه در دو شرایط فوق بود. این امر نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های تحت بررسی آفتابگردان که برای شرایط دیم اصلاح شده‌اند و دارای تحمل خشکی بالایی هستند دارای پتانسیل عملکرد دانه بالایی نیز در شرایط رطوبت مناسب بودند. شاخص‌های STI، GMP، MP و HarM با عملکرد در محیط تنش در گلدهی و دانه بستن (Ys) و عملکرد در محیط بدون تنش (Yp) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت و برتری این شاخص‌ها بر سایر شاخص‌ها در انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم را نشان داد.

فرناندز (Fernandez, 1992)، شاخص‌های GMP و STI را در لوییا به عنوان معیارهای گزینش برتر معرفی کرد. زارع و همکاران (Zare *et al.*, 2004) جهت دستیابی به ارقام پر محصول سویا، شاخص‌های STI، MP، GMP و HarM را به عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها در دو محیط تنش و بدون تنش شناسایی کردند. زهراوی (Zahravi, 2009) نیز در بررسی خود بر روی ژنوتیپ‌های جو وحشی، نتایج مشابهی را گزارش کرد. در بین شاخص‌های مورد بررسی، شاخص تحمل (TOL)، تنها با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش رطوبتی همبستگی

بالا و مثبت بین نشت یونی و پایداری غشا در بررسی‌های فیزیولوژیک می‌توان با اندازه‌گیری یکی از صفات دیگری را اندازه‌گیری نکرد و یا با اندازه‌گیری یکی تعداد دیگری را با احتمال بالا تخمین زد.

محتوای آب نسبی: بین محتوای آب نسبی با پایداری غشای سلولی رابطه مثبت متوسط و معنی‌داری در سطح ۰.۱٪ ($r=0/434^{**}$) و با صفت نشت یونی نسبی همبستگی مثبت و ضعیف و معنی‌داری در سطح ۰.۵٪ ($r=0/383^{*}$) وجود داشت.

پایداری غشای سلول: بین این صفت با صفات نشت یونی نسبی همبستگی مثبت و متوسط و معنی‌داری در سطح ۰.۱٪ ($r=0/988^{**}$) و $r=0/434^{**}$ و با صفت قطر ساقه و عملکرد دانه همبستگی منفی و ضعیف و معنی‌داری در سطح ۰.۵٪ ($r=0/375^{*}$ و $r=0/334^{*}$) وجود داشت.

آب نسبی از دست رفته: بین این صفت با صفت عملکرد دانه همبستگی منفی و ضعیف و معنی‌داری در سطح ۰.۵٪ ($r=0/387^{*}$) وجود داشت.

به منظور ارزیابی پاسخ ژنوتیپ‌ها به تنش، از عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Yp) و در شرایط تنش در مرحله گلدهی و دانه بستن (Ys) استفاده شد و بر اساس آن‌ها شاخص‌های مقاومت یا حساسیت محاسبه شدند. برای انتخاب شاخص یا شاخص‌های برتر لازم بود همبستگی بین شاخص‌های مقاومت به خشکی و عملکرد در محیط تنش و بدون تنش تعیین شود

جدول ۵- میانگین عملکرد دانه و شاخص‌های مختلف تحمل به تنش ژنوتیپ‌های آفتابگردان در دو شرایط نرمال و تنش رطوبتی

Table 5. Mean of seed yield and different drought tolerance indices of sunflower genotypes under normal and drought stress conditions

Genotype	Y _S	Y _P	SSI	TOL	STI	MP	GMP	Harm	DRI
SIL-20	1222bcde	2777abcdefgh	1.068481	1554.35	0.584208	1999.56	1842.34	1697.487	1.013
SIL-42	1473bcde	2313bcdefgh	0.692876	839.48	0.586382	1892.89	1845.77	1799.815	-0.384
SIL-53	636de	1424fgh	1.055857	787.50	0.155873	1029.88	951.64	879.3391	0.479
SIL-54	952bcde	1586defgh	0.762072	633.15	0.260043	1269.28	1229.16	1190.317	-0.118
SIL-75	579e	1888cdefgh	1.323391	1309.17	0.188203	1233.67	1045.68	886.341	1.357
SIL-80	994bcde	1792defgh	0.850202	798.35	0.306645	1393.18	1334.76	1278.803	0.094
SIL-82	1009bcde	2421abcdefgh	1.113089	1412.08	0.420699	1715.44	1563.41	1424.848	1.032
SIL-94	780bcde	1379fgh	0.828563	598.68	0.185277	1079.84	1037.52	996.8606	0.022
SIL-96	1538bcde	2680abcdefgh	0.813341	1141.88	0.70934	2108.84	2030.08	1954.266	0.015
SIL-97	1081bcde	1966cdefgh	0.859227	884.97	0.365778	1523.47	1457.79	1394.947	0.130
SIL-99	948bcde	2886abcdefgh	1.281415	1937.77	0.471315	1917.57	1654.79	1428.018	1.919
SIL-114	674cde	2546abcdefgh	1.402965	1871.27	0.29562	1610.27	1310.55	1066.62	2.125
SIL-140	1832bc	2302bcdefgh	0.389673	470.05	0.726191	2067.46	2054.05	2040.738	-1.364
SIL-162	968bcde	1534efgh	0.70348	565.25	0.25565	1251.08	1218.73	1187.228	-0.242
SIL-200	452e	1489efgh	1.328364	1036.17	0.11602	970.82	821.02	694.3338	1.074
SIL-203	763bcde	2042cdefgh	1.194566	1277.67	0.268419	1402.72	1248.80	1111.772	1.100
SIL-205	924bcde	1874cdefgh	0.967564	950.07	0.298134	1399.22	1316.11	1237.94	0.408
SIL-206	1535bcde	2679abcdefgh	0.814727	1143.45	0.707978	2107.18	2028.13	1952.053	0.020
SIL-210	1818bcd	2813abcdefgh	0.675244	995.05	0.88002	2315.26	2261.17	2208.342	-0.529
SIL-215	1470bcde	3409abcdef	1.085624	1939.00	0.862676	2439.68	2238.77	2054.412	1.333
SIL-217	856bcde	3127abcdefg	1.385986	2270.63	0.460965	1991.77	1636.52	1344.63	2.543
SIL-222	1205bcde	3852abc	1.31161	2647.22	0.799161	2528.84	2154.78	1836.055	2.736
SIL-224	1526bcde	3498abcde	1.076042	1971.90	0.918733	2511.95	2310.37	2124.961	1.321
SIL-226	783bcde	1734defgh	1.046358	950.60	0.233843	1258.78	1165.60	1079.313	0.567
SIL-227	1479bcde	2856abcdefgh	0.920576	1377.42	0.726826	2167.29	2054.95	1948.435	0.449
SIL-237	2872a	4347a	0.647577	1474.73	2.148818	3609.47	3533.35	3458.831	-0.972
SIL-238	1293bcde	2419abcdefgh	0.888571	1125.95	0.538163	1855.71	1768.25	1684.912	0.267
SIL-254	683cde	1334gh	0.930464	650.30	0.156992	1008.88	955.05	904.088	0.212
SIL-259	1145bcde	1868cdefgh	0.73915	723.28	0.367933	1506.14	1462.08	1419.306	-0.194
SIL-260	823bcde	1034h	0.389817	211.22	0.14651	928.64	922.62	916.6295	-0.629
SIL-280	678cde	1365gh	0.959638	686.35	0.159506	1022.01	962.67	906.7716	0.274
SIL-196	1148bcde	2855abcdefgh	1.141206	1707.12	0.564273	2001.74	1810.63	1637.774	1.335
SIL-218	1874b	3614abcd	0.918748	1739.50	1.16594	2744.18	2602.70	2468.518	0.567
SIL-231	952bcde	4222ab	1.477917	3268.65	0.692366	2587.21	2005.64	1554.81	3.988
SIL-240	1511bcde	2492abcdefgh	0.751278	980.70	0.647984	2001.30	1940.30	1881.157	-0.205
SIL-211	831bcde	2357abcdefgh	1.235802	1526.17	0.337191	1594.17	1399.67	1228.896	1.411

Y_s: Yield in rain-fed condition (kg ha⁻¹); Y_p: Yield in irrigated condition (kg ha⁻¹); SSI: Stress Susceptibility Index; Tol: Tolerance; DRI: Drought Response Index; STI: Stress Tolerance Index; MP: Mean Productivity; GMP: Geometric Mean Productivity; HarM: Harmonic Mean

جدول ۶- همبستگی بین شاخص های مختلف تحمل به تنش و عملکرد در دو شرایط نرمال و تنش رطوبتی

Table 6. Correlation coefficients between different drought tolerance indices and seed yield under normal and drought stress conditions

Characteristics	Y _S	Y _P	GMP	STI	MP	TOL	HarM	SSI
Y _S								
Y _P	0.645**							
GMP	0.931**	0.877**						
STI	0.932**	0.823**	0.973**					
MP	0.846**	0.953**	0.981**	0.943**				
TOL	0.100	0.825**	0.454**	0.381*	0.615**			
HarM	0.977**	0.786**	0.986**	0.970**	0.935**	0.301		
SSI	-0.490**	0.291	-0.162	-0.194	0.009	0.741**	-0.307	
DRI	-0.400*	0.442**	-0.041	-0.108	0.150	0.871**	-0.205	0.924**

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

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

Y_S: Yield in rain-fed condition; Y_P: Yield in irrigated condition; SSI: Stress Susceptibility Index; Tol: Tolerance; DRI: Drought Response Index; STI: Stress Tolerance Index; MP: Mean Productivity; GMP: Geometric Mean Productivity; HarM: Harmonic Mean

سه متغیر از یک نمودار چند متغیره موسوم به بای‌پلات (Biplot) استفاده شد (Fernandez, 1992). برای این منظور از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی روی هفت شاخص مقاومت به خشکی و دو صفت عملکرد در دو شرایط با تنش و بدون تنش رطوبتی استفاده شد (جدول ۷). همان‌گونه که ملاحظه می‌شود دو مؤلفه اول با داشتن مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک مجموعاً ۹۸/۴۴۲ درصد از تغییرات موجود بین داده‌ها را توجیه کردند لذا استفاده از این دو مؤلفه و چشم‌پوشی از سایر مؤلفه‌ها تنها موجب از دست رفتن بخش ناچیزی از تغییرات شده و تفسیر نتایج بر اساس دو مؤلفه اول دارای کارایی بالایی است. بر این اساس، ترسیم بای‌پلات با در نظر گرفتن دو مؤلفه اول انجام شد (شکل ۲) در این محیط اولین مؤلفه ۶۳/۷۴۲ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد و همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد در دو شرایط با تنش و بدون تنش رطوبتی و با شاخص‌های MP، GMP، STI و HarM نشان داد لذا به عنوان مؤلفه پتانسیل عملکرد و تحمل خشکی شناسائی شد. دومین مؤلفه که ۳۴/۱۴۲ درصد از تغییرات را توجیه کرد و همبستگی منفی با عملکرد در شرایط تنش و همبستگی مثبت بالایی با شاخص‌های TOL، DRY و SSI داشت، به عنوان مؤلفه حساسیت به تنش تعیین شد.

در نمودار رسم شده (شکل ۲)، از آن‌جا که مقادیر بالای مؤلفه اول و مقادیر پایین مؤلفه دوم

معنی‌داری در سطح یک درصد داشت و بنابراین این شاخص تنها برای غربال کردن ارقام مقاوم به خشکی در شرایط بدون تنش رطوبتی مناسب است.

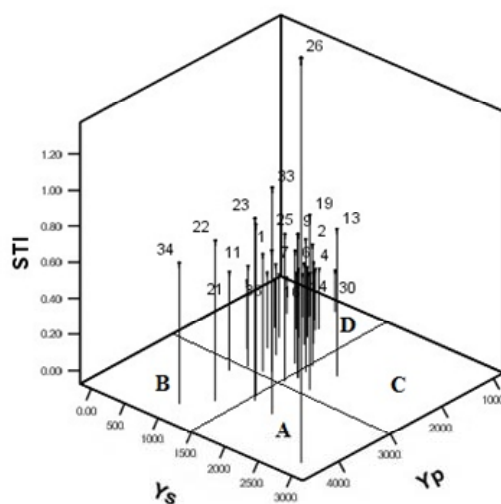
به منظور اثبات برتری شاخص‌های MP، GMP، STI و HarM بر سایر شاخص‌ها در انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم، نمودارهای سه بعدی رسم شد. در بررسی نمودار سه بعدی شاخص تحمل تنش (STI)، عملکرد دانه در شرایط نرمال و عملکرد در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ‌های SIL-224، SIL-218، SIL-237 در گروه A (گروه با عملکرد دانه بالا در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی) قرار گرفتند. یعنی دارای تحمل به خشکی و عملکرد دانه بالا در هر دو محیط بودند (شکل ۱). نتایج حاصل از نمودارهای سه بعدی عملکرد نرمال و عملکرد در شرایط تنش با شاخص‌های GMP، MP و HarM نیز تقریباً مشابه با نتایج فوق‌الذکر بود (شکل‌ها آورده نشده است). برای تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها فرناندز (Fernandez, 1992) و شیرین زاده و همکاران (Shirinzadeh et al., 2009) در سایر گیاهان و غفاری (Ghaffari, 2008) و کاظمی تبار و همکاران (Kazemitabar et al., 2007) در آفتابگردان نیز از نمودار سه بعدی استفاده کردند.

از آن‌جا که با استفاده از نمودار سه بعدی فقط می‌توان ژنوتیپ‌ها را بر اساس سه متغیر متمایز کرد، برای بررسی رابطه بین بیش از

جدول ۷- مقادیر ویژه و بردارهای ویژه شاخص های تحمل خشکی برای ۳۶ لاین آفتابگردان
Table 7. Eigen values and vectors of drought tolerance indices for 36 genotypes of sunflower

مؤلفه Component	مقادیر ویژه Eigen values	سهم تجمعی Cumulative Proportion (%)	شاخص های تحمل به خشکی Drought tolerance indices									
			Y _s	Y _p	SSI	TOL	STI	MP	GMP	HarM	DRI	
1	5.737	63.742	0.946	0.857	-0.206	0.416	0.982	0.972	0.998	0.990	-0.083	
2	3.123	98.442	-0.321	0.512	0.943	0.904	-0.018	0.230	0.044	-0.119	0.991	

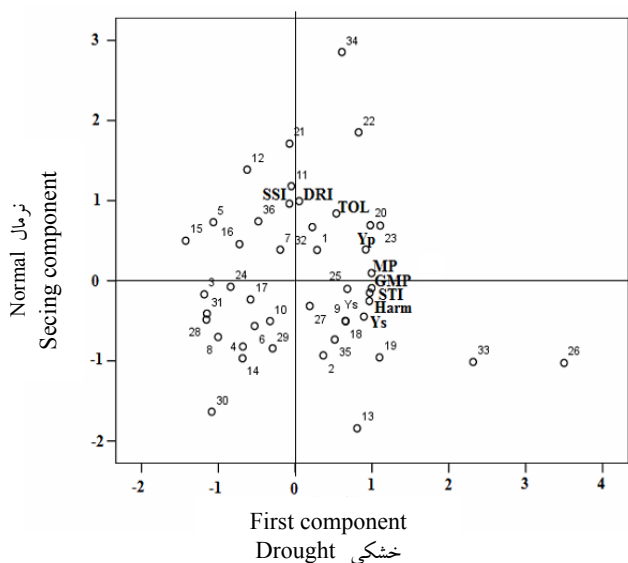
Y_s: Yield in rain-fed condition; Y_p: Yield in irrigated condition; SSI: Stress Susceptibility Index; Tol: Tolerance; DRI: Drought Response Index; STI: Stress Tolerance Index; MP: Mean Productivity; GMP: Geometric Mean Productivity; HarM: Harmonic Mean



شکل ۱- نمودار سه بعدی تعیین ژنوتیپ‌های آفتابگردان متحمل به خشکی بر اساس STI
Fig. 1. 3-D graph for drought tolerance in sunflower genotypes based on STI

قسمت بالا و سمت چپ نمودار، ناحیه قرار گرفتن ژنوتیپ‌های دارای مقادیر پایین مؤلفه اول و مقادیر بالای مؤلفه دوم بود. در این قسمت، ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین و حساسیت بالا به خشکی شامل ژنوتیپ‌های SIL-114، SIL-203، SIL-75، SIL-200 و SIL-211 و SIL-82 قرار گرفتند.

مطلوب هستند، بنابراین ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد بالا و مقاوم به خشکی، در یک ناحیه (قسمت پایین و سمت راست نمودار) قرار گرفتند که شامل ژنوتیپ‌های SIL-237، SIL-240، SIL-206، SIL-210، SIL-218، SIL-140، SIL-42، SIL-96، SIL-238 و SIL-227 بودند. نقطه مقابل این ناحیه یعنی



شکل ۲- پراکنش ژنوتیپ‌های آفتابگردان بر اساس دو مؤلفه اصلی و بردارهای مربوط به شاخص‌های تحمل خشکی

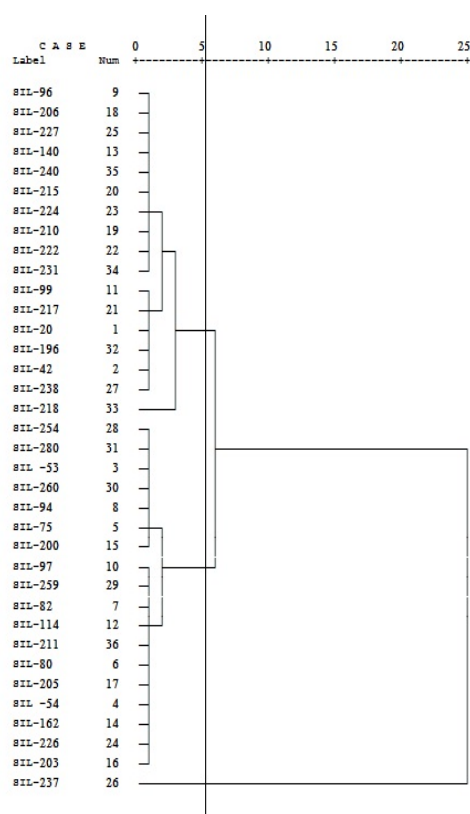
Fig. 2. Distribution of sunflower genotypes based on two principal components and vectors of drought tolerance indices

(کلاستر) و روش UPGMA گروه‌بندی شدند (شکل ۳).

نتایج تجزیه خوشه‌ای نشان داد که ژنوتیپ‌های آفتابگردان در سه گروه حاوی ۱۷، ۱۸ و ۱ ژنوتیپ قرار گرفتند. در واقع لاین SIL-237 با بالاترین عملکرد دانه در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی به عنوان متحمل‌ترین لاین در یک گروه مجزا قرار گرفت. تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های مقاومت به خشکی توسط فرشاد فر و محمدی (Farshadfar and Mohammadi, 2003) در گیاه آگروپیرون استفاده شد.

زوایای بین بردارهای مربوط به شاخص‌های HarM، STI، GMP، MP و عملکرد دانه در دو شرایط با تنش و بدون تنش رطوبتی حاده بود که نشان‌دهنده همبستگی مثبت و بالایی بین این شاخص‌ها است. استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار بای‌پلات برای انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی در آفتابگردان توسط کاظمی تبار و همکاران (Kazemitabar *et al.*, 2007) و در سویا توسط زارع و همکاران (Zare *et al.*, 2004) انجام شده بود.

ژنوتیپ‌ها بر مبنای شاخص‌های کمی مقاومت به خشکی شامل MP، STI، GMP و HarM و با استفاده از تجزیه خوشه‌ای



شکل ۳- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر اساس شاخص‌های MP، STI، GMP و HarM برای ژنوتیپ‌های آفتابگردان

Fig. 6. Dendrogram developed by cluster analysis based on MP, STI, GMP and HarM indices for sunflower genotypes

کرمانشاه که در این تحقیق همکاری داشتند
تشکر و سپاسگزاری می‌شود.

سپاسگزاری

از آقای دکتر سید افشین صفوی و همکاران
ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم سرارود

References

- Alyari, H., Shekari, F., and Shekari, F. 2000.** Oilseeds. Amidi Press, Tabriz, Iran. 182pp. (in Persian).
- Angadi, S. V., and Entz, M. H. 2002.** Root system and water use patterns of different height sunflower cultivars. *Agronomy Journal* 94: 136-145.
- Anonymous. 2007.** Oilseeds: World Market and Trades. Current World Production, Market and Trade Reports. <http://www.fas.usda.gov>.
- Bidinger, F. R., Mahalakshim, V., and Rao, G. D. P. 1987.** Estimation of genotype response to stress. *Australian Journal of Agricultural Research* 38: 49-59.

- Daneshian, J., and Jonoubi, P. 2008.** Evaluation of sunflower new hybrids tolerance to water deficit stress. Proceedings of the 5th International Crop Science Congress. Jejo, Korea. Page 189.
- Farshadfar, E., and Mohammadi, R. 2003.** An evaluation of physiological indices of drought tolerance in Agropyron using multiple selection index. Iranian Journal of Agricultural Sciences 34: 635-646 (in Persian).
- Fernandez, G. C. J. 1992.** Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. pp. 257-270. In: Kuo, C. G. (ed.) Adaptation of Food Crops to Temperature and Water-Stress. AVRDC, Shanhua, Taiwan.
- Fischer, A.T., and Maurer, R. 1978.** Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research 29: 897-912.
- Ghaffari, M. 2008.** Evaluation and selection of sunflower inbred lines under normal and drought stress conditions. Seed and Plant 24: 633-649 (in Persian).
- Golparvar, A. R., Majidi Harvan, I. and Ghassemi Pirbaloti, E. 2003.** Genetic improvement yield potential and water stress resistance in wheat genotypes (*Triticum aestivum*). Journal of Research in Agricultural Science 13: 13 – 21 (in Persian).
- Gomez, D., Marinez, O., Arona M., and Castro, V. 1991.** Generation a selection index for drought tolerance in sunflower. I. Water use and consumption. Helia 15: 65-70.
- Jabbari, H., Akbari, G. A., Daneshian, J., Alahdadi, I., and Shahbazian, N. 2009.** Utilization ability of drought resistance in sunflower (*Heliantus annus* L.) hybrids. Journal of Agriculture 4: 1-17 (in Persian).
- Kazemitabar, S. K., Batoorak, S., Fotoohi, K., and Rezaie, M. 2007.** Identification of drought resistant Genotypes in sunflower (*Helianthus annus* L.) using drought tolerance indices, 2-D and 3-D graphs. Iranian Journal of Agricultural Sciences 38: 357-366 (in Persian).
- Kristin, A. S., Serna, R. R., Perez, F. I., Enriquez, B. C., Gallegos, J. A. A., Vallejo, P. R., Wassimi, N., and Kelley, J. D. 1997.** Improving common bean performance under drought stress. Crop Science 37: 43-50.
- Naroui Rad, M. R., Abbasi, M. R., and Fanaei, H. R.. 2006.** Evaluation of drought stress tolerance using stress tolerance indices in sorghum germplasms of National Plant Gene Bank of Iran. Pajouhesh & Sazandegi 82: 11-18 (in Persian).

- Nezami, A., Khazaei, H. R., Boroumand Rezazadeh, Z., and Hossini, A. 2008.** Effect of drought stress and defoliation on sunflower (*Helianthus annuus*) in controlled conditions. Desert 12: 99-104.
- Pourdad, S. S., Alizadeh, K., Azizinejad, R., Shariati, A., Eskandari, M., Khiavi, M., and Nabatee, E., 2008.** Study on drought resistance in spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in different locations, Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 45: 403-415 (in Persian).
- Rosielle, A. A., and Hamblin, J. 1981.** Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Science 21: 943-945.
- Shirinzadeh, A., Zarghami R., and Shiri, M. R. 2009.** Evaluation of drought tolerance in late and medium maize hybrids using stress tolerance indices. Iranian Journal of Crop Sciences 10(4): 416-427 (in Persian).
- Zahravi, M. 2009.** Evaluation of genotypes of wild barley (*Hordeum spontaneum*) based on drought tolerance indices. Seed and Plant Improvement Journal 25-1: 533-549 (in Persian).
- Zare, M., Zeinali Khaneghah, H., and Daneshian, J. 2004.** An evaluation of tolerance of some soybean genotypes to drought stress. Iranian Journal of Agricultural Sciences 35: 859-867 (in Persian).