



## بررسی واکنش هیبریدهای ذرت به تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های فیزیولوژیکی و تحمل به تنش

محمد مرادی<sup>۱</sup>، سید سجاد حسینی فالچی<sup>۲</sup>

دریافت: ۹۵/۴/۲۱ پذیرش: ۹۹/۱۱/۱۴

### چکیده

تنش خشکی یکی از مهمترین تنش‌های محیطی در کشاورزی است و بهبود عملکرد دانه تحت تنش خشکی یکی از اهداف مهم اصلاح نباتات است. به منظور بررسی شاخص‌های تحمل به خشکی ۱۵ هیبرید ذرت پژوهشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار و به طور جداگانه در دو رژیم رطوبتی شامل آبیاری بر اساس ۹۰ و ۱۴۰-۱۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر در دزفول در سال ۱۳۹۳ اجرا گردید. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و مطلوب به هیبریدهای SD/3×5-CH/1، SD/3×SD/3 و CML×SD/3 و CML×5-CH/1 تعلق داشت. در ژنوتیپ‌های مورد بررسی کلیه صفات از جمله صفت محتوی نسبی آب برگ در شرایط تنش نسبت به شرایط مطلوب کاهش نشان دادند، اما صفت مهمی مانند وزن ریشه در شرایط تنش نسبت به شرایط مطلوب افزایش یافت. نتایج ضرایب همبستگی نشان داد که عملکرد دانه با صفات محتوی نسبی آب برگ و وزن ریشه در شرایط تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند، بنابراین می‌توان از این شاخص‌ها برای گزینش در شرایط تنش استفاده نمود. با توجه به تحلیل همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط تنش و مطلوب و شاخص‌های تحمل به خشکی و نیز به کمک نمایش گرافیکی بای‌پلات، شاخص‌های GMP، MP، STI به عنوان شاخص‌های برتر معرفی گردیدند. همچنین با توجه به رابطه مؤلفه‌ها در نمودار بای‌پلات هیبریدهای SD/3×5-CH/1، SD/3×SD/3 و CML×5-CH/1 به عنوان متحمل‌ترین و هیبریدهای 7-CH/3×K18×2-CH/5، K18×2-CH/1×K18×2-CH/5 و 5-CH/1×7-CH/3 به عنوان حساس‌ترین هیبریدها نسبت به تنش خشکی معرفی شدند.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، ذرت، محتوی نسبی آب برگ و وزن ریشه

مرادی، م. و س.س. حسینی فالچی. ۱۴۰۰. بررسی واکنش هیبریدهای ذرت به تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های فیزیولوژیکی و تحمل به تنش. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۴۴: ۲۸-۱۳.

۱- استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران- مسئول مکاتبات. Moradim\_17@yahoo.com

۲- دانشجوی ارشد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

## مقدمه

ایجاد تحمل به تنش خشکی و در راندمان جذب آب گیاهان مطرح است، ساختار سیستم ریشه صفتی است که بدلیل حساسیت آن به محیط انعطاف‌پذیری قابل توجه‌ای از خود نشان می‌دهد. ریشه به عنوان یک صفتی است که جهت ایجاد تحمل به خشکی و در راندمان جذب آب مطرح است. ساختار سیستم ریشه صفتی است که بدلیل حساسیت به محیط انعطاف‌پذیری قابل توجه‌ای از خود نشان می‌دهد. درک معماری و نحوه توسعه ریشه برای دست‌ورزی خصوصیات ریشه به منظور افزایش عملکرد و استفاده بهینه از زمین‌های کشاورزی دارای پتانسیل بالایی می‌باشد (اسمیت و اسمیت، ۲۰۱۲). پتانسیل آب از طرق مختلفی بر توسعه ریشه‌ها مؤثر است. به طور کلی در اثر افزایش شدت تنش میزان رشد ریشه‌ها کاهش می‌یابد (ماجیو و همکاران، ۲۰۰۵). شاخص‌های مختلفی برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر و متحمل به تنش برای کشت در شرایط دارای تنش رطوبتی پیشنهاد شده است (فرناندز، ۱۹۹۲). شاخص حساسیت به تنش<sup>۲</sup> (SSI) بیشتر برای تعیین تحمل نسبی تنش مورد استفاده قرار می‌گیرد. هر چه مقدار این شاخص کوچکتر باشد، میزان تحمل به خشکی بیشتر است (فیشر و مانورر، ۱۹۸۷). و روزیل و هامبلین (۱۹۸۱) شاخص تحمل<sup>۳</sup> (TOL) و شاخص متوسط بهره‌وری<sup>۴</sup> (MP) را معرفی نمودند، که مقدار بالای TOL نشان دهنده حساسیت ژنوتیپ‌ها به تنش است. جهت شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا تحت هر دو شرایط تنش و مطلوب، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری<sup>۵</sup> (GMP) و شاخص تحمل به تنش<sup>۶</sup> (STI) استفاده می‌شود. مقدار بالای شاخص تحمل به تنش برای یک ژنوتیپ، بیانگر تحمل به خشکی بالاتر و عملکرد بالقوه بیشتر آن ژنوتیپ می‌باشد (صفوی و همکاران، ۲۰۱۳). مطالعاتی که با هدف بررسی کارایی انواع معیارهای تحمل به خشکی صورت گرفت، نشان داد وقتی که هدف اصلاحگر افزایش عملکرد در شرایط تنش باشد شاخص TOL و هنگامی که افزایش عملکرد در هر دو محیط عادی و تنش مورد نظر باشد، گزینش بر اساس شاخص MP بهتر می‌باشد. شاخص میانگین هندسی (GMP) حساسیت کمتری به مقادیر مختلف عملکرد شرایط تنش و شرایط بدون تنش دارد، در صورتی که

ذرت (*Zea mays* L) با توجه به نقش مهمی که در تغذیه انسان و دام و ماده خام صنعتی در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته دارد در عرصه تولید جهانی از جایگاه ارزشمندی برخوردار است (آنجلکوویک و همکاران، ۲۰۱۲). تنش‌های محیطی باعث کاهش تولید ماده خشک گیاه و یا محدود شدن رشد و نمو گیاه می‌شود. متوسط افت سالانه عملکرد در جهان در اثر خشکی حدود ۱۷ درصد بوده که تا بیش از ۷۰ درصد می‌تواند افزایش یابد (آخیلا و همکاران، ۲۰۰۸). علاوه بر صفات مورفولوژیکی که در سازگاری گیاه به تنش‌های محیطی نقش دارند، صفات فیزیولوژیکی نیز اهمیت حیاتی در بقاء و سازگاری گیاهان به تنش‌های محیطی دارند و بنابراین به منظور مطالعه میزان تحمل به خشکی یکی از جنبه‌های مهم اصلاح برای تحمل به خشکی توجه به معیارهای فیزیولوژیکی است (خاکوانی و همکاران، ۲۰۱۱). کلروفیل‌ها به عنوان مهمترین رنگدانه جذب‌کننده نور از جمله ماکرومولکول‌هایی هستند که در غشاهای تیلاکوئیدی وجود دارند و کاهش غلظت آنها باعث کلروز شدن برگ‌ها، کاهش رشد رویشی و عملکرد دانه می‌گردد (ناروی‌راد و همکاران، ۲۰۱۲). تنش خشکی یکی از فاکتورهای مهم محدود کننده فتوسنتز گیاهان است که باعث کاهش عمده محتوای کلروفیل a و b و در نهایت محتوای کلروفیل کل در گیاهان می‌شود (مانی‌وان و همکاران، ۲۰۰۷). علاوه بر کلروفیل‌ها غشاهای تیلاکوئیدی دارای رنگدانه‌های جذب نور ثانویه یعنی کاروتنوئیدها هستند، که نور را در طول موج‌های ۴۵۰ تا ۵۵۰ نانومتر جذب می‌کنند که توسط کلروفیل‌ها جذب نمی‌شوند و بنابراین گیرنده‌های نوری مکمل هستند (هاپکینز و هاپکینز، ۲۰۰۴). یکی دیگر از مهمترین شاخص‌های ارزیابی تحمل به خشکی در گیاهان بررسی محتوای نسبی آب برگ<sup>۱</sup> (RWC) می‌باشد. این صفت می‌تواند توانمندی گیاه در مواجهه با تنش خشکی را نشان دهد. محتوای آب نسبی برگ تحت تأثیر تنظیم اسمزی، جذب آب و میزان تعرق قرار داشته و وراثت‌پذیری بالایی را در شرایط تنش خشکی نشان می‌دهد (اسدی، ۱۳۹۸). تنش خشکی در بسیاری از گیاهان موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ، بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه کم شدن جذب دی‌اکسید کربن و کاهش عملکرد گیاه می‌شود (جیانگ و هانگ، ۲۰۰۱). ریشه به عنوان یک سیستم جهت

2 Stress Susceptibility Index

3 Tolerance Index

4 Mean Productivity

5 Geometric Mean Productivity

6 Stress Tolerance Index

1 Relative water content (RWC)

علف‌های هرز علاوه بر سمپاشی سم ارادیکان به صورت پیش کاشت و یک نوبت هم از طریق وجین دستی علف‌های هرز حذف گردید. مقدار کود فسفره بر مبنای مصرف ۹۰ کیلوگرم فسفر ( $P_2O_5$ ) در هر هکتار از منبع سوپرفسفات‌تریپل محاسبه و مصرف شد و ۲۰۰ کیلوگرم کود اوره به همراه ۳۵۰ کیلوگرم فسفات آمونیوم در هکتار قبل از کاشت و ۲۰۰ کیلوگرم کود اوره به صورت سرک در ۳ نوبت به مقدار مساوی به فاصله هر یک ماه در هر آزمایش مصرف گردید. به منظور بررسی صفات از هر کرت آزمایشی خط اول و سوم بعنوان حاشیه در نظر گرفته شد و از خط وسط برای یادداشت برداری استفاده گردید. صفات مهم زراعی شامل رطوبت نسبی برگ (RWC)، غلظت کلروفیل a و b، مجموع کلروفیل، کاروتنوئید برگ و عملکرد دانه تعیین شد. برای محاسبه رطوبت نسبی برگ ابتدا سه برگ بالغ در ساعت ۱۰ صبح انتخاب و جدا شده و توسط فویل آلومینیومی پوشانده شده و بعد از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، ۱۵ دیسک برگگی به قطر هفت میلی‌متر توسط پانچ از برگ‌های گیاه جدا شده و بعد از توزین وزن‌تر، نمونه‌ها را به مدت ۲۴ ساعت در پتری دیش در بسته حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر در روشنایی اتاق (معادل نقطه جبرانی نور) قرار داده و بعد از این مدت وزن اشباع برگ (بعد از خشک کردن با دستمال کاغذی) اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌های برگ را به آن ۷۰ درجه سانتی‌گراد منتقل کرده و بعد از ۲۴ ساعت وزن خشک نمونه یادداشت شد. رطوبت نسبی برگ طبق فرمول زیر به دست آمد.

$$RWC = \frac{\text{وزن خشک برگ} - \text{وزن برگ تازه}}{\text{وزن خشک برگ} - \text{وزن برگ اشباع از آب}} \times 100$$

برای تعیین غلظت کلروفیل a و b برگ، مجموع کلروفیل و کاروتنوئید برگ از روش ولبورن و لیختنالتل (۱۹۸۳) و دستگاه اسپکتوفتومتر استفاده شد. به منظور تعیین عملکرد بر روی ۱۰ بلال تصادفی از بلال‌های خط میانی با رعایت حاشیه برداشت گردیدند و پس از خشک نمودن آنها در آن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد عملکرد دانه در بوته برحسب گرم اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین عملکرد دانه، پس از حذف حاشیه برابر ۰/۵ متر از اطراف هر کرت، بلال‌های خطوط وسط هر کرت برداشت و براساس رطوبت ۱۴ درصد و عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار تنظیم شد. سپس با استفاده از عملکرد دانه گیاهان در شرایط تنش و بدون تنش خشکی شاخص‌های کمی تحمل به خشکی

شاخص میانگین بهره‌وری (MP) چون بر اساس میانگین حساسی است، زمانی که اختلاف نسبی زیادی بین عملکرد در دو شرایط وجود داشته باشد، اریب زیادی به طرف عملکرد در شرایط بدون تنش خواهد داشت (فرناندز، ۱۹۹۲). شاخص SSI برای اصلاح تحت تنش‌هایی با شدت کم مناسب می‌باشد، در صورتی‌که برای تنش‌هایی با شدت بالا شاخص‌های MP، GMP و STI پیشنهاد می‌شوند (سی و سه‌مرده و همکاران، ۲۰۰۶). به‌طورکلی می‌توان گفت انتخاب معیار گزینش، به هدف اصلاحگر و شدت تنش بستگی دارد. بنابراین با توجه به اینکه بخش اعظم اراضی ایران از اقلیم خشک و نیمه خشک برخوردار است و تولید گیاهان زراعی با کمبود آب مواجه می‌شود، پژوهش حاضر با هدف شناسایی ژنوتیپ‌های اصلاحی مطلوب و متحمل به تنش کم آبی و معرفی شاخص‌های مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر در گیاه ذرت انجام شد.

#### مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ به منظور ارزیابی تحمل به تنش خشکی هیبریدهای ذرت در دو رژیم رطوبتی مختلف، در مزرعه‌ای در صفی‌آباد واقع در ۱۸ کیلومتری جنوب شهرستان دزفول با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۴۸ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و ۲۲ درجه و ۲۴ دقیقه شمالی اجرا گردید. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آمده است. ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی خاک به ترتیب ۲۵ و ۱۰ درصد وزنی بود. در این آزمایش ۱۵ هیبرید مستقیم ذرت حاصل از تلاقی ۶ لاین (جدول ۲) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در دو آزمایش مستقل در دو رژیم رطوبتی مطلوب و تنش خشکی مقایسه شدند. آبیاری در قطعه بدون تنش از ابتدای کاشت تا زمان برداشت به طور معمول و پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر انجام شد. آبیاری در قطعه تنش تا مرحله رویشی (۷-۶ برگگی ذرت) به طور معمول و از آن به بعد تا زمان برداشت پس از  $5 \pm 13$  میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر انجام گردید. بذره‌های ذرت در تاریخ ۱۰ مرداد در ۳ خط ۶ متری به فاصله ۷۵ سانتی‌متر کشت گردیدند، بطوری‌که در روی هر خط کاشت ۳۰ کپه و در هر کپه ۲ عدد بذر قرار داده و بعد از مرحله ۴ برگگی بوته اضافی حذف و در هر کپه یک بوته نگهداری گردید. کلیه مراحل کاشت و داشت طبق عرف منطقه صورت پذیرفته و مبارزه با

(STI) محاسبه شد. مقدار TOL، MP و GMP از روابط زیر محاسبه شد.

$$GMP = \sqrt{Y_p \cdot Y_s} \quad (۲)$$

$$SSI = \frac{1 - \frac{Y_s}{Y_p}}{SI} \quad (۴)$$

$$STI = \frac{Y_p \cdot Y_s}{(\bar{Y}_p)^2} \quad (۶)$$

شاخص‌های تحمل و عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش محاسبه و با توجه به هم‌بستگی بین این شاخص‌ها و عملکرد دانه، مناسب‌ترین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی مشخص گردید. به منظور مطالعه همزمان بیش از سه متغیر از نمایش دو بعدی بر مبنای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده شد و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزارهای SAS و SPSS استفاده گردید.

برای هر ژنوتیپ محاسبه شد. شاخص بهره‌وری متوسط (MP) و شاخص تحمل (TOL) شاخص تحمل به تنش (STI) و شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) و شاخص حساسیت به تنش

$$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2} \quad Tol = Y_p - Y_s \quad (۱)$$

$$SI = \frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p} \quad (۵) \quad \text{مقدار SSI از رابطه زیر محاسبه گردید:}$$

مقدار STI از رابطه زیر محاسبه شد.

در روابط فوق  $Y_p$  و  $Y_s$  به ترتیب عملکرد در شرایط تنش و نرمال،  $\bar{Y}_p$  و  $\bar{Y}_s$  به ترتیب متوسط عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و نرمال هستند. تجزیه واریانس در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی روی مقادیر کمی شاخص‌های محاسبه شده برای هر ژنوتیپ انجام شد و مقایسات میانگین شاخص‌ها به روش آزمون دانکن صورت گرفت. هم‌بستگی‌های ساده بین

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق نمونه برداری	کربن آلی	هدایت الکتریکی برحسب	اسیدیته کل	نیترژن کل	فسفر	پتاسیم	بافت
۰-۳۰	۰/۶۶	۱/۴۲	۷/۲	۱۲۵/۶	۶/۵	۱۲۱	رسی-لومی
۳۰-۶۰	۰/۴۶	۰/۷۵	۷/۵	۱۳۶/۸	۵/۶	۱۱۵	رسی-لومی

جدول ۲- فرمول لاین و نام اختصاری لاین‌های مورد بررسی

ردیف	فرمول لاین	نام اختصاری لاین
۱		CML
	CML384	
۲		SD\3
	SD\((3-6)2-2-1-2-m-1	
۳		5-CH/1
	5-CHTSEY/2003/12	
۴		7-CH/3
	7-CHTSEY/2003/35	
۵		K18×2-CH/1
	K18×2- CHTSEY/2003/15	
۶		K18×2-CH/5
	K18×2- CHTSEY/2003/58	

## نتایج و بحث

## شاخص‌های فیزیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس مرکب در جدول ۳ ارائه شده است. اثر متقابل ژنوتیپ×محیط برای تمامی صفات مورد بررسی معنی‌دار بود، این بدین مفهوم است که ژنوتیپ‌های مختلف در شرایط محیطی مختلف واکنش متفاوتی نشان داده‌اند. به عبارت دیگر پاسخ ژنوتیپ‌ها به محیط‌های مختلف از آزمایشی به آزمایش دیگر یکسان نیست. در هر دو شرایط بیشترین واریانس مربوط به عملکرد دانه می‌باشد که نشان می‌دهد عملکرد در ذرت شدیداً تابع شرایط تنش و بدون تنش قرار می‌گیرد. صفت کلروفیل b کمترین واریانس را در تجزیه مرکب نشان داد که می‌توان نتیجه گرفت این صفت کمتر تحت تأثیر واریانس محیطی قرار دارند. به دلیل اثرات متقابل شدید اصلاح گیاهان زراعی برای سازگاری به دامنه‌ی وسیعی از شرایط آب و هوایی، اگرچه غیرممکن نیست، اما بسیار دشوار است (یان و کانگ، ۲۰۰۲).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که هیبریدهای ذرت دارای تفاوت معنی‌داری از نظر رطوبت نسبی برگ (RWC)، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید در هر دو شرایط تنش خشکی و آبیاری مطلوب، بجز صفت کلروفیل b در شرایط مطلوب معنی‌دار بودند. بنابراین هیبریدهای ذرت مورد بررسی از نظر ژنتیکی متفاوت بوده و امکان بررسی کامل‌تر و شناسایی جزئیات این تفاوت‌های ژنتیکی وجود داشت (جدول ۴). محتوای نسبی آب مناسب‌ترین روش اندازه‌گیری مقدار آب در بافت‌های گیاه بوده و یکی از معیارهای انتخاب مناسب در زمینه تنش خشکی است. مقادیر بالاتر این صفت به این مفهوم است که گیاه توانسته روابط آبی خود را در شرایط تنش بهبود بخشد. از سوی دیگر به دلیل سهولت، سرعت و دقت اندازه‌گیری می‌توان از آن به عنوان یک معیار انتخاب مناسب در برنامه‌های گزینش به ویژه در

نسل‌های مقدماتی که حجم مواد مورد بررسی زیاد است استفاده نمود (اسلافر و آراتوس، ۱۹۹۸). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در مورد رطوبت نسبی برگ (RWC) در محیط تنش، هیبرید 5-CH/1×K18×2-CH/1 و CML×K18×2-CH/5 بیشترین میزان این صفت را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). دلیل بالا بودن محتوای آب نسبی برگ در هیبریدهای متحمل به خشکی، ممکن است به علت وجود ساز و کارهای کاهش دهنده تلفات آب از روزنه‌ها (بسته‌تر شدن روزنه‌ها)، افزایش غلظت شیره سلولی (قربانی و همکاران، ۲۰۰۶) و یا بدلیل جذب بیشتر آب از طریق توسعه ریشه باشد که قبلاً توسط برخی از پژوهشگران گزارش شده است. نتایج حاصل از مقایسات در بین هیبریدهای مورد بررسی اختلاف معنی‌داری از نظر صفت فوق وجود داشت، به طوری که رطوبت نسبی برگ (RWC) در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال ۴/۷۸ درصد کاهش نشان داد (جدول ۴). کاهش محتوای رطوبت نسبی برگ در اثر تنش زمینه کاهش فتوسنتز برگ را فراهم می‌کند و به تبع آن عملکرد دانه کاهش می‌یابد. همبستگی این صفت با عملکرد دانه در شرایط رطوبت مطلوب و تنش به ترتیب مثبت غیرمعنی‌دار و مثبت معنی‌دار بود (جدول ۴). بنابراین با توجه به مثبت و معنی‌دار بودن همبستگی میزان رطوبت نسبی برگ با عملکرد دانه در شرایط تنش، می‌توان از این شاخص برای گزینش در شرایط تنش استفاده نمود. در مطالعه‌ای از رطوبت نسبی برگ به عنوان یک شاخص در گزینش برای تحمل به خشکی استفاده نمود (ددیو، ۱۹۷۵). سپهری و همکاران (۱۳۸۱) در بررسی تأثیر تنش آب روی ذرت حدود ۱۵ تا ۱۸ درصد کاهش در محتوای رطوبت نسبی برگ در شرایط مختلف تنش کمبود آب گزارش نمودند.

جدول ۳- تجزیه مرکب برای صفات مورد بررسی ژنوتیپ‌های ذرت در شرایط نرمال و تنش خشکی

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	RWC	کاروتنوئید	وزن ریشه
محیط	۱	۷۸۶۳۶۵/۳۸**	۴۷/۰۶**	۱۴۶/۹۳**	۱۳۵/۷۸**	۳۳۴/۲۱**	۱۱۸/۶۹**	۱۴۳۳۰/۲۲**
خطای ۱	۴	۲۷۰۱/۵۲	۵/۵۳	۰/۴۹	۱۲/۷۸	۱۵/۰۷	۳۰۸/۳۳	۱۸/۹۴
ژنوتیپ	۱۴	۶۴۶۷۰/۵۷**	۸۳۶**	۰/۹۱*	۱۰۲/۹۷**	۳۱/۴۳**	۲۳۵۵/۳۵**	۷۸۰/۹۴**
ژنوتیپ×محیط	۱۴	۴۲۵۷۳/۱۳**	۶/۳۲**	۰/۷۹*	۶۸/۶۶**	۸۹/۶۴**	۲۹۷/۷۸**	۷۰/۱۸**
خطای ۲	۵۱	۲۰۶۶/۳۵	۱/۲۴	۰/۴۷	۷/۴۸	۵/۵۴	۱۱۲/۸۹	۱۰/۶۶

ns، \* و \*\* به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۴- تجزیه واریانس میانگین مربعات خصوصیات فیزیولوژیکی و ضریب هم‌بستگی با عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	کلروفیل a (میکروگرم بر گرم)	کلروفیل b (میکروگرم بر گرم)	کلروفیل کل (میکروگرم بر گرم)	RWC (درصد)	کاروتنوئید (میکروگرم بر گرم)	وزن ریشه (گرم)
تکرار	۲	۳۶۸۹/۶*	۲/۷۸*	۳/۵۸*	۲/۳۵ <sup>ns</sup>	۱۰۲/۴۶**	۱۲۳/۸۰*	۹۸/۰۷**
		۲۳۱۰/۹*	۲/۸۵**	۴/۸۷ <sup>ns</sup>	۳/۵۶*	۸۲/۶۱**	۹۸۴/۸۵**	۱/۰۹**
ژنوتیپ	۱۴	۵۶۸/۹**	۴/۹۶**	۵/۲۶*	۴/۲۸*	۸۹/۵۲**	۲۸۷/۲۹**	۷۶/۶۲**
		۱۲۵/۶**	۱/۴۵**	۵/۱۹ <sup>ns</sup>	۹/۸۹**	۵۷/۳۸**	۵۲۳/۲۱**	۹۴/۸۵**
خطا	۲۸	۱۵۹/۱	۱/۲۳	۲/۵۳	۱/۷۴	۱۰/۹۴	۱۹/۴۸	۹/۱۲
		۲۱۵/۶	۰/۹۶	۳/۳۴	۱/۵۸	۶/۰۸	۱۳/۲۸	۸/۲۷
ضریب تغییرات		۱۵/۷۶	۱۲/۰۲	۱۶/۲۷	۱۵/۲۴	۹/۳۴	۱۳/۰۷	۱۰/۱۸
		۱۲/۹۴	۸/۵۸	۱۰/۹۸	۸/۰۶	۶/۲۵	۸/۹۲	۸/۶۴
ضریب هم‌بستگی		--	-۰/۳۱	-۰/۲۳	-۰/۲۷	۰/۷۱**	-۰/۰۹	۰/۶۷**
		--	-۰/۰۵	-۰/۰۸	-۰/۰۸	۰/۳۴	۰/۲۵	۰/۳۲

ns, \* و \*\*: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

میزان کلروفیل در گیاهان زنده یکی از عوامل مهم برای فتوسنتز به شمار می‌رود. فتوسنتز به عنوان یکی از فرآیندهای مهم فیزیولوژیکی گیاه است و شدت آن در شرایط کم‌آبی کاهش می‌یابد و حفظ غلظت کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی به ثبات فتوسنتز در این شرایط کمک می‌کند کلروفیل رنگدانه فتوسنتز و یک جزء ضروری از فتوسیستم گیاه است. در این بین بسته به شدت، مدت و مرحله رشدی گیاه تأثیر خشکی بر هر کدام از اجزای کلروفیل در گیاهان متفاوت است (کاسترینو و کلکاگنو، ۲۰۰۶). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها مشخص نمود که در محیط تنش هیبرید 5-CH/1×K18×2-CH/1 و در محیط رطوبت مطلوب هیبرید 5-CH/1×K18×2-CH/1 بیشترین میزان صفت کلروفیل a را داشتند (جدول ۵). و اختلاف معنی‌داری از لحاظ پارامتر فوق در بین هیبریدهای مورد بررسی وجود دارد، به طوری که در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال کلروفیل a ۱۷/۷۶ درصد کاهش نشان داد (جدول ۵). در مورد صفت کلروفیل b در محیط رطوبت مطلوب هیبرید 7-CH/3×K18×2-CH/1 بیشترین میزان این صفت را داشت (جدول ۵). نتایج نشان داد که در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال میزان کلروفیل b ۱۶/۵۵ درصد کاهش نشان داد (جدول ۵). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها مشخص نمود که بیشترین میزان کلروفیل کل در شرایط تنش مربوط به هیبرید 5-

میزان کلروفیل در گیاهان زنده یکی از عوامل مهم برای فتوسنتز به شمار می‌رود. فتوسنتز به عنوان یکی از فرآیندهای مهم فیزیولوژیکی گیاه است و شدت آن در شرایط کم‌آبی کاهش می‌یابد و حفظ غلظت کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی به ثبات فتوسنتز در این شرایط کمک می‌کند کلروفیل رنگدانه فتوسنتز و یک جزء ضروری از فتوسیستم گیاه است. در این بین بسته به شدت، مدت و مرحله رشدی گیاه تأثیر خشکی بر هر کدام از اجزای کلروفیل در گیاهان متفاوت است (کاسترینو و کلکاگنو، ۲۰۰۶). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها مشخص نمود که در محیط تنش هیبرید 5-CH/1×K18×2-CH/1 و در محیط رطوبت مطلوب هیبرید 5-CH/1×K18×2-CH/1 بیشترین میزان صفت کلروفیل a را داشتند (جدول ۵). و اختلاف معنی‌داری از لحاظ پارامتر فوق در بین هیبریدهای مورد بررسی وجود دارد، به طوری که در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال کلروفیل a ۱۷/۷۶ درصد کاهش نشان داد (جدول ۵). در مورد صفت کلروفیل b در محیط رطوبت مطلوب هیبرید 7-CH/3×K18×2-CH/1 بیشترین میزان این صفت را داشت (جدول ۵). نتایج نشان داد که در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال میزان کلروفیل b ۱۶/۵۵ درصد کاهش نشان داد (جدول ۵). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها مشخص نمود که بیشترین میزان کلروفیل کل در شرایط تنش مربوط به هیبرید 5-

جدول ۵- مقایسه میانگین خصوصیات فیزیولوژیکی بر اساس آزمون دانکن (در سطح احتمال ۵٪) در شرایط نرمال و تنش خشکی

وزن ریشه (گرم)	کاروتنوئید (میکروگرم بر گرم)	RWC		کلروفیل کل		کلروفیل b		کلروفیل a		عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)		نوع آمیزش		
		نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش			
۶۹/۰۲ <sup>a</sup>	۸۹/۹۴ <sup>a</sup>	۱۳۶/۷۳ <sup>g</sup>	۱۳۷/۲۳ <sup>h</sup>	۹۳/۳۳ <sup>ab</sup>	۹۰/۶۷ <sup>a</sup>	۱۰/۰۹ <sup>f</sup>	۹/۰۶ <sup>ab</sup>	۳/۱۷ <sup>ab</sup>	۲/۵۲ <sup>a</sup>	۷/۹۸ <sup>ab</sup>	۶/۰۶ <sup>a-d</sup>	۹۶۰۷/۲ <sup>a</sup>	۶۶۶۳/۲ <sup>ab</sup>	CML×SD/3
۶۶/۸۴ <sup>a</sup>	۸۸/۳۹ <sup>a</sup>	۱۷۱/۵۵ <sup>bc</sup>	۱۷۵/۴۲ <sup>a</sup>	۹۱/۶۷ <sup>a-d</sup>	۸۹/۳۳ <sup>abc</sup>	۱۰/۱۰ <sup>ef</sup>	۸/۸۳ <sup>abc</sup>	۳/۲۱ <sup>ab</sup>	۲/۵۴ <sup>a</sup>	۷/۲۷ <sup>cde</sup>	۶/۲۹ <sup>abc</sup>	۹۵۱۲/۶ <sup>a</sup>	۶۶۹۱/۱ <sup>a</sup>	CML×5-CH/1
۶۴/۲۹ <sup>a</sup>	۸۲/۱۹ <sup>a-d</sup>	۱۶۲/۷۶ <sup>cd</sup>	۱۶۳/۹۸ <sup>b-e</sup>	۸۶/۶۷ <sup>def</sup>	۸۵/۶۷ <sup>abc</sup>	۱۱/۳۴ <sup>ab</sup>	۸/۶۷ <sup>abc</sup>	۲/۹۶ <sup>b</sup>	۲/۶۷ <sup>a</sup>	۸/۱۴ <sup>a</sup>	۶/۰۰ <sup>b-e</sup>	۶۳۴۱/۴ <sup>g</sup>	۴۴۷۳/۷ <sup>h</sup>	CML×7-CH/3
۶۸/۵۰ <sup>a</sup>	۸۷/۶۱ <sup>ab</sup>	۱۳۶/۷۸ <sup>g</sup>	۱۳۷/۸۱ <sup>fgh</sup>	۹۲/۳۳ <sup>abc</sup>	۸۳/۶۷ <sup>c</sup>	۱۰/۵۶ <sup>c-f</sup>	۸/۰۸ <sup>c</sup>	۳/۳۹ <sup>ab</sup>	۲/۷۴ <sup>a</sup>	۷/۳۰ <sup>cde</sup>	۵/۳۵ <sup>def</sup>	۸۸۶۵/۸ <sup>b</sup>	۶۳۵۹/۸ <sup>cd</sup>	CML×K18×2-CH/1
۶۷/۲۰ <sup>a</sup>	۸۶/۵۱ <sup>ab</sup>	۱۸۱/۱۵ <sup>a</sup>	۱۷۶/۰۴ <sup>a</sup>	۹۴/۳۳ <sup>a</sup>	۸۷/۶۷ <sup>abc</sup>	۹/۳۶ <sup>g</sup>	۹/۴۳ <sup>ab</sup>	۲/۹۸ <sup>ab</sup>	۲/۶۳ <sup>a</sup>	۶/۷۱ <sup>ef</sup>	۶/۹۱ <sup>a</sup>	۶۸۰۷/۳ <sup>e</sup>	۴۲۴۶/۷ <sup>hi</sup>	CML×K18×2-CH/5
۶۳/۱۲ <sup>ab</sup>	۸۷/۱۶ <sup>ab</sup>	۱۴۴/۶۹ <sup>fg</sup>	۱۴۱/۶۶ <sup>fgh</sup>	۸۸/۶۸ <sup>b-f</sup>	۸۷/۰۰ <sup>abc</sup>	۱۰/۸۵ <sup>b-f</sup>	۸/۷۶ <sup>abc</sup>	۳/۴۳ <sup>ab</sup>	۲/۹۹ <sup>a</sup>	۷/۶۹ <sup>abc</sup>	۵/۷۷ <sup>b-e</sup>	۸۷۴۴/۵ <sup>ab</sup>	۶۴۶۰/۲ <sup>bc</sup>	SD/3×5-CH/1
۵۷/۴۸ <sup>bc</sup>	۷۵/۵۰ <sup>d</sup>	۱۳۳/۱۳ <sup>gh</sup>	۱۳۶/۶۳ <sup>fgh</sup>	۹۱/۳۳ <sup>a-d</sup>	۸۹/۰۰ <sup>abc</sup>	۱۰/۱۳ <sup>ef</sup>	۹/۰۸ <sup>ab</sup>	۳/۱۴ <sup>ab</sup>	۲/۶۹ <sup>a</sup>	۶/۹۷ <sup>def</sup>	۵/۹۹ <sup>b-e</sup>	۵۲۱۴/۸ <sup>h</sup>	۳۰۹۲/۲ <sup>i</sup>	SD/3×7-CH/3
۵۶/۸۳ <sup>bc</sup>	۷۷/۷۱ <sup>cd</sup>	۱۴۴/۱۷ <sup>fg</sup>	۱۴۵/۷۸ <sup>e-h</sup>	۸۹/۰۰ <sup>b-e</sup>	۸۷/۰۰ <sup>abc</sup>	۱۰/۸۳ <sup>b-f</sup>	۸/۸۹ <sup>abc</sup>	۳/۱۴ <sup>ab</sup>	۲/۸۸ <sup>a</sup>	۷/۶۹ <sup>abc</sup>	۶/۰۰ <sup>b-e</sup>	۷۲۵۷/۰ <sup>d</sup>	۵۴۱۶/۳ <sup>e</sup>	SD/3×K18×2-CH/1
۶۲/۴۴ <sup>ab</sup>	۸۳/۷۴ <sup>abc</sup>	۱۴۰/۴۵ <sup>fg</sup>	۱۴۱/۸۱ <sup>fgh</sup>	۸۹/۶۷ <sup>a-e</sup>	۸۷/۳۳ <sup>abc</sup>	۱۱/۳۶ <sup>ab</sup>	۸/۹۵ <sup>ab</sup>	۳/۳۶ <sup>ab</sup>	۲/۷۸ <sup>a</sup>	۸/۰۱ <sup>ab</sup>	۶/۱۷ <sup>a-d</sup>	۶۶۶۳/۳ <sup>ef</sup>	۵۲۱۵/۳ <sup>ef</sup>	SD/3×K18×2-CH/5
۵۷/۴۵ <sup>bc</sup>	۷۶/۹۶ <sup>d</sup>	۱۳۹/۰۲ <sup>g</sup>	۱۴۰/۵۰ <sup>fgh</sup>	۸۸/۳۳ <sup>b-f</sup>	۸۶/۶۷ <sup>abc</sup>	۱۰/۸۹ <sup>b-e</sup>	۹/۵۶ <sup>a</sup>	۳/۲۴ <sup>ab</sup>	۳/۲۱ <sup>a</sup>	۶/۹۹ <sup>def</sup>	۵/۰۹ <sup>f</sup>	۸۲۱۳/۸ <sup>c</sup>	۶۳۳۴/۸ <sup>cd</sup>	5-CH/1×7-CH/3
۶۳/۳۴ <sup>ab</sup>	۷۷/۵۳ <sup>cd</sup>	۱۷۵/۰۲ <sup>ab</sup>	۱۷۸/۰۵ <sup>a</sup>	۹۴/۳۳ <sup>a</sup>	۹۰/۰۰ <sup>ab</sup>	۱۱/۶۹ <sup>a</sup>	۹/۵۴ <sup>ab</sup>	۳/۴۵ <sup>ab</sup>	۲/۴۳ <sup>a</sup>	۸/۱۵ <sup>a</sup>	۶/۵۲ <sup>ab</sup>	۸۲۹۱/۰ <sup>c</sup>	۶۰۵۱/۱ <sup>d</sup>	5-CH/1×K18×2-CH/1
۶۵/۵۷ <sup>a</sup>	۸۱/۰۵ <sup>bcd</sup>	۱۵۰/۶۵ <sup>d-g</sup>	۱۵۷/۸۶ <sup>b-f</sup>	۸۷/۶۷ <sup>c-f</sup>	۸۴/۶۷ <sup>abc</sup>	۱۱/۱۸ <sup>ab</sup>	۸/۵۲ <sup>bc</sup>	۳/۴۲ <sup>ab</sup>	۳/۰۶ <sup>a</sup>	۶/۵۳ <sup>bc</sup>	۵/۴۶ <sup>c-f</sup>	۷۱۹۲/۳ <sup>de</sup>	۴۵۶۳/۳ <sup>g</sup>	5-CH/1×K18×2-CH/5
۵۴/۱۲ <sup>C</sup>	۷۶/۰۳ <sup>d</sup>	۱۵۵/۱۱ <sup>c-g</sup>	۱۵۷/۷۵ <sup>b-f</sup>	۸۳/۶۷ <sup>f</sup>	۸۴/۳۳ <sup>bc</sup>	۱۰/۴۹ <sup>c-f</sup>	۹/۰۱ <sup>ab</sup>	۳/۷۱ <sup>a</sup>	۳/۲۱ <sup>a</sup>	۶/۹۷ <sup>def</sup>	۵/۷۹ <sup>b-e</sup>	۶۵۱۰/۷ <sup>f</sup>	۳۸۵۰/۵ <sup>f</sup>	7-CH/3×K18×2-CH/1
۶۲/۱۷ <sup>ab</sup>	۸۱/۲۱ <sup>bcd</sup>	۱۴۵/۲۸ <sup>fg</sup>	۱۵۶/۴۳ <sup>c-f</sup>	۸۷/۰۰ <sup>def</sup>	۸۸/۳۳ <sup>abc</sup>	۱۰/۰۷ <sup>f</sup>	۸/۴۵ <sup>bc</sup>	۳/۳۰ <sup>ab</sup>	۲/۵۳ <sup>a</sup>	۶/۴۳ <sup>f</sup>	۵/۴۲ <sup>c-f</sup>	۷۰۶۸/۲ <sup>de</sup>	۴۷۷۶/۶ <sup>fg</sup>	7-CH/3×K18×2-CH/5
۶۲/۲۶ <sup>ab</sup>	۷۸/۷۹ <sup>cd</sup>	۱۴۵/۲۵ <sup>fg</sup>	۱۴۳/۳۰ <sup>fgh</sup>	۹۰/۰۰ <sup>a-e</sup>	۸۸/۶۷ <sup>abc</sup>	۱۰/۲۱ <sup>ef</sup>	۸/۴۱ <sup>b</sup>	۲/۹۸ <sup>ab</sup>	۲/۴۷ <sup>a</sup>	۷/۰۲ <sup>def</sup>	۵/۵۶ <sup>c-f</sup>	۷۲۵۹/۱ <sup>d</sup>	۵۰۷۹/۵ <sup>f</sup>	K18×2-CH/1×K18×2-CH/5
۶۲/۹۴	۸۰/۲۵	۱۵۶/۰۸	۱۵۷/۴۲	۹۰/۴۶	۸۶/۰۵	۱۰/۴۹	۸/۹۶	۳/۰۸	۲/۵۷	۶/۹۸	۵/۷۴	۷۲۴۵/۳	۵۶۷۲/۷	میانگین
-۲۷/۵۰	-۸/۵۹	۴/۸۷	۱۴/۵۸	۱۶/۵۵	۱۷/۷۶	۲۱/۷۱	درصد تغییر							

- اعداد با حروف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشند.

تنظیم کننده‌های رشد نظیر اتیلن و آبسیزیک اسید در اثر تنش خشکی فعالیت کلروفیل‌ها را تحریک می‌شود (دراکویز، ۱۹۹۴). از دست رفتن کلروفیل در شرایط تنش خشکی می‌تواند جنبه سازگاری داشته باشد چون با کاهش کلروفیل، الکترون برانگیخته شده طی فتوسنتز کاهش یافته و به دنبال آن خسارت‌های ناشی از تشکیل بنیان‌های آزاد اکسیژن کاهش می‌یابد (کرانر و همکاران، ۲۰۰۲). پسارکلی (۱۹۹۹) گزارش نمود که دوام فتوسنتز و حفظ غلظت کلروفیل تحت شرایط تنش از جمله شاخص‌های فیزیولوژیک تحمل خشکی است. گریگرسن و هولم (۲۰۰۷) اظهار داشتند که طی تنش خشکی محتوای کلروفیل کاهش می‌یابد و ارقام دارای محتوای کلروفیل بالاتر، تحمل بیشتری در شرایط تنش از خود نشان می‌دهند.

ساختار سیستم ریشه صفتی است که بدلیل حساسیت آن به محیط انعطاف‌پذیری قابل توجه‌ای از خود نشان می‌دهد. به علت اهمیت سیستم ریشه ضروری است تنوع ژنتیکی آن بررسی شود. در مورد صفت وزن ریشه هیبریدهای  $CML \times SD/3$  و  $CML \times 5-CH/1$  در محیط تنش و در محیط نرمال هیبریدهای مختلفی از جمله هیبریدهای  $CML \times SD/3$ ،  $CML \times 5-CH/1$ ،  $CML \times 7-CH/3$ ،  $CML \times K18 \times 2-CH/1$ ،  $CML \times K18 \times 2-CH/5$  و  $CML \times K18 \times 2-CH/5$  بیشترین میزان این صفت را داشتند (جدول ۵). وزن ریشه در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال به ترتیب  $29/65$  و  $27/50$  درصد افزایش نشان داد (جدول ۵). این صفت در شرایط مطلوب با عملکرد دانه هم‌بستگی مثبت و غیرمعنی‌دار ولی در شرایط تنش با عملکرد دانه هم‌بستگی مثبت و بسیار معنی‌داری داشت (جدول ۴). از آنجا که در شرایط تنش خشکی رطوبت موجود در لایه‌های فوقانی خاک به شدت کاهش می‌یابد، ریشه‌های عمیق در ایجاد تحمل به تنش خشکی نقش مهمی خواهند داشت، زیرا این ریشه‌ها قادرند که آب را از لایه‌های عمیق‌تر خاک استخراج کنند (کوندو و همکاران، ۲۰۰۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در شرایط تنش به هیبریدهای  $CML \times SD/3$  و  $CML \times 5-CH/1$  و در درجه بعد به هیبرید  $SD/3 \times 5-CH/1$  تعلق داشت، و در شرایط نرمال به هیبریدهای  $CML \times SD/3$  و  $CML \times 5-CH/1$  و در درجه بعد به هیبریدهای  $SD/3 \times 5-CH/1$  و  $CML \times K18 \times 2-CH/1$  اختصاص داشت (جدول ۵). محققین دیگری اظهار نمودند تنش خشکی عملکرد دانه ذرت را به میزان ۴۸ درصد کاهش داد (زیومو و برناردو، ۲۰۱۳).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در محیط تنش هیبرید  $CML \times 5-CH/1$  و در محیط رطوبت مطلوب هیبریدهای  $CML \times K18 \times 2-CH/5$  و  $5-CH/1 \times K18 \times 2-CH/5$  بیشترین میزان غلظت کاروتنوئید را داشتند (جدول ۵). در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال کاروتنوئید ۸/۶۹- درصد کاهش نشان داد (جدول ۵). هم‌بستگی صفت کاروتنوئید با عملکرد دانه در شرایط رطوبت مطلوب و تنش مثبت و یا منفی غیرمعنی‌دار بود (جدول ۴). برخی محققان تغییرات متابولیک را عامل کاهش سطوح رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه ذرت خوشه‌ای در شرایط تنش خشکی بیان نمودند. این محققان گزارش کردند که کاهش کارایی استفاده از کربن و افزایش تولید اتانول و لاکتات سبب کاهش سنتز کاروتنوئیدها و کلروفیل‌ها می‌شود (اولیویراتو و همکاران، ۲۰۰۹). همچنین اعمال تنش خشکی در مرحله زایشی گیاه، تسریع پیری برگ و تجزیه رنگدانه‌های فتوسنتزی را در پی داشت. کاهش غلظت کاروتنوئید در شرایط تنش خشکی در سایر بررسی‌ها نیز گزارش شده است (سیلوا و همکاران، ۲۰۰۷). کاهش کلروفیل  $a$  بر اثر تنش خشکی به افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در سلول مربوط می‌شود. این رادیکال‌ها سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگیزه می‌شود (شتیوی و همکاران، ۲۰۰۷). کیانی و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که تنش خشکی غلظت کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها را کاهش می‌دهد. از جمله دلایلی که برای کاهش غلظت کلروفیل در شرایط تنش خشکی عنوان شده می‌توان به تخریب غشاهای تیلاکوئیدهای کلروپلاست و اکسیداسیون نوری کلروفیل در اثر افزایش فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن (آلونسو و همکاران، ۲۰۰۱) و همچنین با افزایش مقدار برخی از تنظیم کننده‌های رشد نظیر اتیلن و آبسیزیک اسید در اثر تنش خشکی فعالیت کلروفیل‌ها را تحریک می‌شود، در اثر تنش خشکی، تشکیل پلاستیدهای جدید کلروفیل  $a$  به  $b$ ، کاروتن، یولوگزانتین و نوگزانتین کاهش می‌یابد (کافی و همکاران، ۲۰۰۹). از دست رفتن کلروفیل در شرایط تنش خشکی می‌تواند جنبه سازگاری داشته باشد به طوری که با کاهش کلروفیل الکترون برانگیخته شده طی فتوسنتز کاهش یافته و بدنبال آن خسارت‌های ناشی از تشکیل رادیکال‌های آزاد اکسیژن کاهش می‌یابد (کرانر و همکاران، ۲۰۰۲). ترحمی و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که کم‌آبی باعث ایجاد اختلال در سیستم‌های آنزیمی کاهش دهنده فعالیت اکسیژن‌های فعال، افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها و در نتیجه خسارت به غشای سلولی و تخریب رنگدانه‌ها می‌گردد. همچنین با افزایش مقدار برخی از



## شاخص‌های تحمل به تنش

سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد وجود دارد (جدول ۶). که بیانگر وجود تنوع ژنتیکی کافی و امکان گزینش برای تحمل به تنش خشکی است.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین هیبریدهای ذرت از لحاظ عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش رطوبتی و رطوبتی مطلوب و شاخص‌های تحمل به تنش اختلاف معنی‌داری در

جدول ۶- تجزیه واریانس میانگین مربعات عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش و شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در هیبریدهای ذرت

میانگین مربعات							درجه	منابع
STI	SSI	TOL	GMP	Mp	Ys	Yp	آزادی	تغییر
۰/۰۲۲*	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۸۴۶۵۹۵/۳*	۶۰۱۲۸۰/۶*	۲۵۹۹۵۵/۱*	۱۳۷۰۳۳۶/۲*	۸۴۱۹۳۶/۴*	۲	بلوک
۰/۰۳۳**	۰/۰۰۷*	۱۰۸۴۱۴۰/۲**	۸۳۱۶۱۸/۷**	۸۷۷۶۰۷/۸**	۱۵۰۴۷۱۵/۹**	۱۰۸۴۲۵۳/۸**	۱۴	تیمار
۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۲۳۱۳۳۴/۸	۱۶۳۵۶۰/۰	۷۵۲۶۶۷	۱۱۴۹۱۳/۷	۲۳۱۳۳۶/۲	۲۸	خطا
۶/۷۶	۲/۱۵	۳/۸۱	۲/۳۷	۲/۲۹	۱۳/۹۸	۱۰/۸۱		ضریب تغییرات

ns، \* و \*\*: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

Yp: عملکرد در شرایط رطوبت مطلوب، Ys: عملکرد در شرایط تنش خشکی، Mp: شاخص بهره‌وری متوسط، GMP: شاخص میانگین هندسی بهره‌وری، TOL: شاخص تحمل، SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل به تنش.

آزمایش نشان داد که بر اساس شاخص MP هیبریدهای CML×SD/3 و CML×5-CH/1 که عملکرد دانه بیشتری در شرایط غیر تنش دارند، به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. مطالعه انجام شده توسط فرناندز (۱۹۹۲) شاخص متوسط بهره‌وری را جزء شاخص‌های با کارایی پایین معرفی نمود، زیرا این شاخص نمی‌تواند ژنوتیپ‌های متحمل و با عملکرد بالا را به طور هم‌زمان در محیط‌های تنش رطوبتی و غیر تنش متمایز سازد. مطالعه مقدم و هادی‌زاده (۱۳۸۱) بر روی ذرت حاکی از عدم توانایی این شاخص در تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A از B است. هنگامی که اختلاف نسبی زیادی بین عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر دو محیط تنش و بدون تنش موجود باشد، شاخص MP دارای اریبی به سمت عملکرد در شرایط غیر تنش می‌باشد. با انجام تحقیقی فرناندز (۱۹۹۲) بیان کرد که شاخص میانگین هندسی عملکرد کمتر تحت تأثیر ارزش نهایی صفات است و می‌تواند ژنوتیپ‌های گروه A را از بقیه هیبریدهای جدا سازد.

شاخص‌های TOL و SSI در تشخیص گروه A از C ناتوان هستند و بیشتر تحت تأثیر عملکردهای بالا در شرایط تنش قرار می‌گیرند. بر اساس این دو شاخص هیبرید SD/3×7-CH/3 متحمل‌ترین هیبرید به تنش خشکی است. در ضمن هر چه مقدار شاخص‌های حساسیت (SSI و TOL) کمتر باشد، نشان دهنده تحمل بیشتر آن ژنوتیپ نسبت به خشکی است و می‌توان آن ژنوتیپ را مناسب برای کشت در شرایط تنش معرفی

مقایسه میانگین هیبریدها به روش آزمون دانکن و در سطوح احتمال ۵ درصد نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در شرایط تنش به هیبریدهای CML×SD/3 و CML×5-CH/1 و پس از آن به هیبرید SD/3×5-CH/1 تعلق داشت، و در شرایط نرمال به هیبریدهای CML×SD/3 و CML×5-CH/1 و پس از آن به هیبریدهای SD/3×5-CH/1 و CML×K18×2-CH/1 اختصاص داشت (جدول ۷). از نظر شاخص‌های کمی تحمل به خشکی نیز بیشترین مقدار شاخص تحمل میانگین بهره‌وری و میانگین هندسی بهره‌وری متعلق به هیبریدهای CML×SD/3، CML×5-CH/1 و SD/3×5-CH/1 بود و کمترین مقدار برای شاخص‌های حساسیت نسبی و تحمل متعلق به هیبریدهای CML×SD/3، CML×5-CH/1 و CH/1 بود. با توجه به اینکه هیبریدهای CML×SD/3، CML×5-CH/1 و SD/3×5-CH/1 از نظر عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش در وضعیت مطلوبی قرار گرفته‌اند و از نظر شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش با هم در یک گروه قرار گرفتند، بدین لحاظ دارای وضعیت مناسبی هستند که می‌توان آنها را مناسب‌ترین هیبریدها برای کشت در شرایط تنش و بدون تنش در نظر گرفت (جدول ۷). بنابراین بر اساس این شاخص هیبریدهای مذکور از تحمل نسبی بیشتری برخوردار بودند. شاخص MP تحت تأثیر مقادیر بالای عملکرد دانه در شرایط بدون تنش قرار می‌گیرد و در تشخیص ژنوتیپ‌های گروه A از B ناتوان است (فرناندز، ۱۹۹۲). نتایج

هر دو محیط و در سطح احتمال ۱ درصد دیده شد. بنابراین شاخص‌های مذکور می‌توانند برای تخمین پایداری و عملکرد و هم چنین دست‌یابی به هیبریدهایی با عملکرد بالا در هر دو محیط مورد استفاده قرار گیرند. گزینش شاخص‌های میانگین هندسی و تحمل به تنش با یافته‌های فرناندز (۱۹۹۲) مطابقت دارد. در حالی که شاخص‌های TOL و SSI هم‌بستگی منفی و بالایی در شرایط تنش و بدون تنش با عملکرد دانه داشتند. همچنین انتخاب شاخص‌های میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی و تحمل به تنش به عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها در این تحقیق با نتایج مقدم و هادی‌زاده (۱۳۸۱)، چوگان و همکاران (۱۳۸۷)، سی‌وسه‌مرده و همکاران (۲۰۰۶)، شیرانی‌راد و عباسی (۲۰۱۱)، یارنیا و همکاران (۲۰۱۱)، کیانی (۲۰۱۳) و کومار و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد.

نمود. ولی لازم به ذکر است که صرفاً پایین بودن مقادیر شاخص‌های حساسیت (SSI و TOL) برای یک ژنوتیپ به منزله مناسب بودن آن جهت کشت در شرایط تنش نیست، زیرا ژنوتیپ‌هایی یافت می‌شوند که دارای حساسیت کمی نسبت به خشکی می‌باشند، اما عملکرد کم نیز دارند (گاسپار و همکاران، ۲۰۰۲). بدیهی است هر شاخصی که با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش هم‌بستگی بالا و یکسان داشته باشد، به عنوان بهترین شاخص محسوب می‌گردد (فرناندز، ۱۹۹۲)، که با توجه به وضعیت هم‌بستگی عملکرد دانه در دو شرایط تنش و غیرتنش مشخص گردید که به طور کلی گزینش بر اساس عملکرد در هر دو شرایط می‌تواند هیبریدهایی پر محصول و با پایداری عملکرد خوب را حاصل نماید. با توجه به نتایج ضرایب هم‌بستگی بین شاخص‌ها (جدول ۸)، هم‌بستگی بسیار معنی‌داری بین شاخص‌های تحمل STI، MP و GMP با عملکرد دانه در

جدول ۷- مقایسه میانگین عملکرد دانه در دو شرایط نرمال (Yp) و تنش خشکی (Ys) و شاخص‌های تحمل به تنش خشکی به روش آزمون دانکن

در هیبریدهای ذرت

کد	نوع آمیزش	Yp	Ys	Mp	GMP	TOL	SSI	STI
۱	CML×SD/3	۹۶۰۷/۲ <sup>a</sup>	۷۸۶۳/۲ <sup>ab</sup>	۷۷۴۰/۲ <sup>a</sup>	۸۶۹۱/۶ <sup>a</sup>	۱۷۴۴/۷ <sup>a</sup>	۰/۱۴۳ <sup>ab</sup>	۱/۳۲۳ <sup>a</sup>
۲	CML×5-CH/1	۹۵۱۲/۶ <sup>a</sup>	۷۸۹۱/۱ <sup>a</sup>	۷۷۹۶/۹ <sup>a</sup>	۸۵۳۷/۸ <sup>a</sup>	۱۶۲۱/۵ <sup>a</sup>	۰/۱۳۷ <sup>ab</sup>	۱/۳۳۳ <sup>a</sup>
۳	CML×7-CH/3	۶۳۴۱/۴ <sup>g</sup>	۴۸۷۳/۲ <sup>h</sup>	۵۴۰۷/۳ <sup>fg</sup>	۵۸۹۱/۳ <sup>hi</sup>	۱۳۳۸/۲ <sup>ab</sup>	۰/۱۶۷ <sup>a</sup>	۱/۰۶۳ <sup>c</sup>
۴	CML×K18×2-CH/1	۸۸۶۵/۸ <sup>b</sup>	۶۳۵۹/۸ <sup>cd</sup>	۷۵۱۲/۸ <sup>bc</sup>	۸۴۸۹/۵ <sup>ab</sup>	۱۵۶۷/۵ <sup>g</sup>	۰/۰۲۰ <sup>d</sup>	۱/۱۶۷ <sup>c</sup>
۵	CML×K18×2-CH/5	۶۸۰۷/۳ <sup>e</sup>	۴۲۴۶/۶ <sup>hi</sup>	۵۵۲۶/۹ <sup>f</sup>	۵۹۷۳/۳ <sup>h</sup>	۱۵۶۰/۶ <sup>bc</sup>	۰/۱۶۳ <sup>a</sup>	۱/۱۴۷ <sup>c</sup>
۶	SD/3×5-CH/1	۸۷۴۴/۵ <sup>ab</sup>	۶۴۶۰/۲ <sup>bc</sup>	۷۵۵۲/۴ <sup>b</sup>	۸۳۸۴/۶ <sup>b</sup>	۱۰۸۴/۱ <sup>de</sup>	۰/۰۶۳ <sup>cd</sup>	۱/۱۵۰ <sup>c</sup>
۷	SD/3×7-CH/3	۵۲۱۴/۸ <sup>h</sup>	۳۰۹۲/۲ <sup>i</sup>	۴۱۵۳/۵ <sup>h</sup>	۴۶۱۹/۶ <sup>j</sup>	۱۱۲۲/۸ <sup>d</sup>	۰/۱۶۸ <sup>a</sup>	۱/۱۸۷ <sup>bc</sup>
۸	SD/3×K18×2-CH/1	۷۲۵۷/۰ <sup>d</sup>	۵۴۱۶/۲ <sup>e</sup>	۶۲۳۶/۷ <sup>f</sup>	۶۷۱۶/۴ <sup>ef</sup>	۱۰۴۰/۷ <sup>de</sup>	۰/۰۸۷ <sup>bc</sup>	۱/۳۳۰ <sup>ab</sup>
۹	SD/3×K18×2-CH/5	۶۶۶۳/۳ <sup>ef</sup>	۵۲۱۵/۳ <sup>ef</sup>	۵۸۸۹/۳ <sup>ef</sup>	۶۴۸۳/۳ <sup>f</sup>	۵۴۸/۱ <sup>f</sup>	۰/۰۵۳ <sup>cd</sup>	۱/۰۶۳ <sup>c</sup>
۱۰	5-CH/1×7-CH/3	۸۲۱۳/۸ <sup>c</sup>	۶۳۳۴/۸ <sup>cd</sup>	۷۴۲۴/۴ <sup>c</sup>	۷۹۱۹/۲ <sup>c</sup>	۵۷۹/۴ <sup>f</sup>	۰/۰۵۰ <sup>cd</sup>	۱/۱۶۷ <sup>c</sup>
۱۱	5-CH/1×K18×2-CH/1	۸۲۹۱/۰ <sup>c</sup>	۶۰۵۱/۱ <sup>d</sup>	۷۱۸۳/۰ <sup>d</sup>	۷۶۴۵/۹ <sup>d</sup>	۱۲۳۹/۶ <sup>cd</sup>	۰/۰۱۰ <sup>d</sup>	۱/۱۱۷ <sup>c</sup>
۱۲	5-CH/1×K18×2-CH/5	۷۱۹۲/۳ <sup>de</sup>	۴۵۶۳/۳ <sup>g</sup>	۵۸۶۷/۹ <sup>e</sup>	۶۳۴۵/۶ <sup>g</sup>	۱۶۲۹/۹ <sup>b</sup>	۰/۱۴۷ <sup>ab</sup>	۱/۰۵۷ <sup>c</sup>
۱۳	7-CH/3×K18×2-CH/1	۶۵۱۰/۷ <sup>f</sup>	۳۸۵۰/۵ <sup>f</sup>	۵۲۸۰/۶ <sup>g</sup>	۵۶۷۹/۴ <sup>i</sup>	۱۶۶۰/۴ <sup>b</sup>	۰/۰۸۷ <sup>bc</sup>	۱/۱۹۰ <sup>bc</sup>
۱۴	7-CH/3×K18×2-CH/5	۷۰۶۸/۲ <sup>de</sup>	۴۷۷۶/۶ <sup>fg</sup>	۵۷۳۱/۳ <sup>ef</sup>	۶۳۸۹/۸ <sup>fg</sup>	۱۲۹۱/۸ <sup>c</sup>	۰/۰۸۷ <sup>bc</sup>	۱/۱۰۰ <sup>c</sup>
۱۵	K18×2-CH/1×K18×2-CH/5	۷۲۵۹/۱ <sup>d</sup>	۵۰۷۹/۵ <sup>f</sup>	۵۵۹۴/۵ <sup>f</sup>	۶۹۶۳/۳ <sup>e</sup>	۵۷۹/۶ <sup>f</sup>	۰/۰۶۳ <sup>cd</sup>	۱/۰۶۰ <sup>c</sup>

ستون‌هایی که در یک حرف مشترک هستند فاقد تفاوت آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

Yp: عملکرد در شرایط رطوبت مطلوب، Ys: عملکرد در شرایط تنش خشکی، Mp: شاخص بهره‌وری متوسط، GMP: شاخص میانگین هندسی بهره‌وری، TOL: شاخص تحمل، SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل به تنش.

شاخص‌های  $MP$ ،  $GMP$  و  $STI$  هیبریدهای  $CML \times SD/3$  و  $CML \times 5-CH/1$  به عنوان متحمل‌ترین هیبریدها به تنش خشکی شناخته شدند. شاخص تحمل نیز با عملکرد دانه در هر دو محیط نرمال و تنش دارای هم‌بستگی مثبت و یا منفی غیرمعنی‌دار بود. هم‌بستگی شاخص حساسیت به تنش با عملکرد دانه در هر دو محیط مورد بررسی مثبت و یا منفی غیرمعنی‌دار بود (جدول ۸). با بررسی هیبریدهای ذرت توسط حیدری و همکاران (۱۳۹۰) بین شاخص‌های بهره‌وری متوسط ( $MP$ )، میانگین هندسی عملکرد ( $GMP$ ) و شاخص تحمل به تنش ( $STI$ ) با یکدیگر و از طرفی بین این شاخص‌ها با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و عدم تنش هم‌بستگی مثبت و بسیار معنی‌داری گزارش گردید. محققان دیگری با بررسی هیبریدهای ذرت دانه‌ای با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش خشکی گزارش نمودند که هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری میان شاخص‌های حساسیت به تنش و تحمل به تنش با عملکرد وجود ندارد، در صورتی که شاخص‌های میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی و شاخص تحمل به تنش هم‌بستگی بالایی با عملکرد در شرایط نرمال و تنش نشان دادند. بنابراین این شاخص‌ها را به عنوان شاخص‌های برتر معرفی نمودند (چوکان و همکاران، ۱۳۸۶).

هم‌بستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه می‌تواند به عنوان معیاری مناسب برای انتخاب بهترین هیبریدها و شاخص‌ها به کار رود. در هیبریدهای ذرت مورد آزمون شاخص  $TOL$  با  $SSI$  هم‌بستگی مثبت و بسیار معنی‌داری داشت (جدول ۸). بنا بر اظهار روزیل و همبلین (۱۹۸۱) در اغلب آزمایش‌ها هم‌بستگی بین این دو شاخص مثبت بوده است و انتخاب بر اساس شاخص  $SSI$  به نفع ژنوتیپ‌های با پتانسیل پایین در شرایط بدون تنش و با عملکرد بالا در شرایط تنش می‌باشد. طبق نظر فرناندز (۱۹۹۲) شاخص‌هایی که در دو محیط نرمال و تنش دارای هم‌بستگی بالایی با عملکرد دانه باشند به عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند. در هیبریدهای ذرت مورد آزمون شاخص  $MP$  با شاخص‌های  $GMP$  و  $STI$  هم‌بستگی مثبت و بسیار معنی‌دار نشان داد (جدول ۷). شاخص  $GMP$  نیز با شاخص  $STI$  در کلیه حالات مورد بررسی هم‌بستگی مثبت و بسیار معنی‌دار نشان داد. هم‌بستگی شاخص  $GMP$  با شاخص  $SSI$  مثبت و یا منفی غیرمعنی‌دار بود. شاخص‌های بهره‌وری متوسط ( $MP$ )، میانگین هندسی عملکرد ( $GMP$ ) و شاخص تحمل به تنش ( $STI$ ) هم‌بستگی مثبت و بسیار معنی‌دار با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و عدم تنش نشان دادند (جدول ۸). بنابراین این شاخص‌ها به عنوان شاخص‌های برتر معرفی می‌گردند. با توجه به

جدول ۸- ضریب هم‌بستگی بین عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش و شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در هیبریدهای ذرت

شاخص	$Y_p$	$Y_s$	$M_p$	$GMP$	$TOL$	$SSI$
$Y_s$	۰/۱۹					
$M_p$	۰/۷۴**	۰/۷۴**				
$GMP$	۰/۸۹**	۰/۶۳**	۰/۷۸**			
$TOL$	۰/۳۸	۰/۱۸	۰/۶۸**	۰/۹۱**		
$SSI$	۰/۲۶	-۰/۶۱**	-۰/۱۲	-۰/۰۹	۰/۵۸**	
$STI$	۰/۸۱**	۰/۶۲**	۰/۹۹**	۰/۹۷**	۰/۳۲	-۰/۰۴

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

۹۸/۳۲ درصد از کل تغییرات داده‌ها توسط دو مؤلفه اول توجیه می‌شد که سهم مؤلفه اول ۷۴/۰۹ درصد بود و این مؤلفه با عملکرد در هر دو شرایط تنش و بدون تنش و شاخص‌های  $MP$ ،  $GMP$  و  $STI$  هم‌بستگی مثبت بالا ولی با شاخص‌های  $TOL$  و  $SSI$  هم‌بستگی منفی بالایی داشت. از این رو می‌توان این مؤلفه را به عنوان مؤلفه پتانسیل عملکرد و تحمل به تنش رطوبتی نامگذاری نمود. به عبارت دیگر این مؤلفه قادر به

در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از ماتریس داده‌های حاصل از بررسی هیبریدهای ذرت مورد آزمون و هفت شاخص، سهم مؤلفه‌ها، سهم تجمعی و بردار مشخصه متناظر با هر ریشه مشخصه بدست آمد که در جدول ۹ تنها دو مؤلفه اصلی اول ذکر گردیده است. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای صفت عملکرد با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی برای هیبریدهای ذرت محاسبه شد. طبق نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در هیبریدها

گرافیکی بای پلات نیز شاخص‌های MP، GMP و STI به عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی شدند. همچنین با توجه به رابطه مؤلفه‌ها و شاخص‌های مورد بررسی ژنوتیپ‌هایی که در ناحیه بالای سمت راست بای پلات قرار گرفته‌اند به عنوان ژنوتیپ‌های پایدارتر و متحمل‌تر و ژنوتیپ‌های که در ناحیه پایین سمت چپ قرار گرفته‌اند به عنوان ژنوتیپ‌های حساس‌تر در شرایط تنش خشکی مشخص شدند.

بنابراین هیبریدهای  $SD/3 \times 5-CH/1$ ،  $CML \times SD/3$  و  $K18 \times 2-CH/1 \times K18 \times 2-CH/5$  و  $CML \times 5-CH/1$  منطقه A واقع شدند و به عنوان هیبریدهای متحمل به خشکی و هیبریدهای  $K18 \times 2-CH/5$  و  $7-CH/3 \times K18 \times 2-CH/5$  منطقه B واقع شدند و به عنوان حساس‌ترین هیبریدها نسبت به خشکی معرفی شدند (شکل ۱).

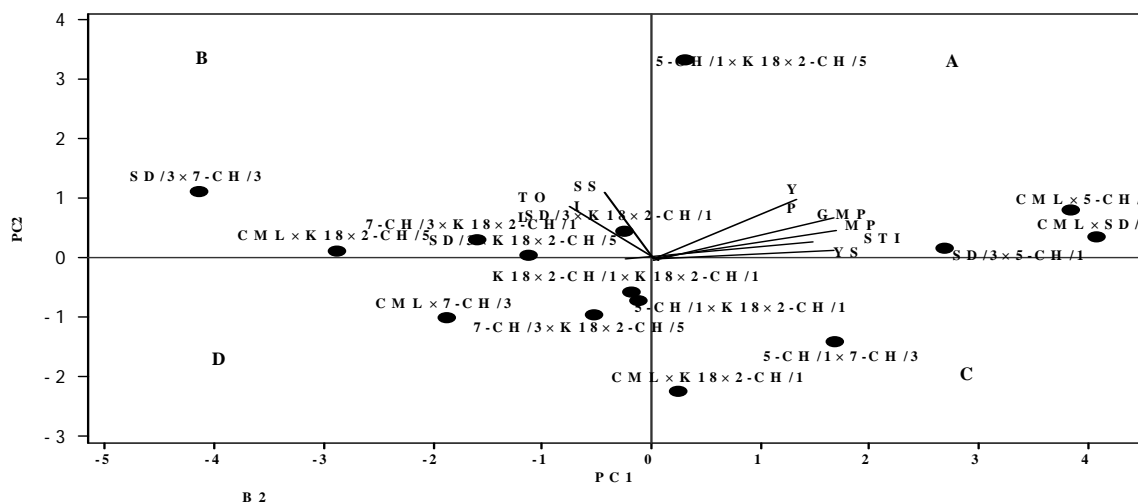
شناسایی ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد بالا می‌باشد و لذا مقادیر بیشتر مؤلفه اول مطلوب‌تر است. همچنین سهم مؤلفه دوم ۳۷/۲۴ درصد از کل تغییرات بود و این مؤلفه با شاخص‌های TOL و SSI هم‌بستگی مثبت بالا داشت (جدول ۹). بنابراین این مؤلفه را می‌توان تحت عنوان مؤلفه حساسیت به تنش خشکی نامگذاری کرد، که ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین را در شرایط تنش جدا می‌کند. بنابراین برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل بایستی به مقدار بالای هر دو مؤلفه یعنی ناحیه سمت راست و بالای نمودار بای پلات توجه کرد (شکل ۱).

با توجه به این دو مؤلفه، هیبریدها درون گروه‌های مجزا بر اساس میزان عملکرد و تحمل به تنش قرار گرفته و نمودار بای پلات آن‌ها ترسیم شد (شکل ۱). با عنایت به زوایای خطوط شاخص‌ها در نمایش گرافیکی بای پلات، ملاحظه می‌شود که شاخص‌های MP، GMP و STI با عملکرد در شرایط تنش و نرمال هم‌بستگی مثبت نشان دادند. بنابراین به کمک نمایش

جدول ۹- مقادیر ویژه، سهم تجمعی مؤلفه اول و دوم شاخص‌های تحمل و عملکرد هیبریدهای ذرت در شرایط نرمال و تنش خشکی

مؤلفه	مقادیر ویژه	سهم تجمعی	Yp	Ys	Mp	GMP	TOL	SSI	STI
۱	۵/۲۵۶	(/.)۷۴/۰۹	۰/۳۹۶	۰/۳۷۱	۰/۴۱۶	۰/۴۳۴	-۰/۳۹۶	-۰/۱۰۵	۰/۴۳۴
۲	۱/۶۶۱	(/.)۹۸/۳۲	۰/۱۲۵	۰/۱۰۶	۰/۱۱۸	۰/۱۶۲	۰/۳۲۵	۰/۴۲۱	۰/۰۶۲

Yp: عملکرد در شرایط رطوبت مطلوب، Ys: عملکرد در شرایط تنش خشکی، Mp: شاخص بهره‌وری متوسط، GMP: شاخص میانگین هندسی بهره‌وری، TOL: شاخص تحمل، SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل به تنش.



شکل ۱- نمودار بای پلات پراکنش ژنوتیپ‌ها، ۵ شاخص تحمل به تنش و عملکرد در شرایط نرمال و تنش خشکی بر اساس مؤلفه‌های اول و دوم در هیبریدهای ذرت

## نتیجه‌گیری

نمایش گرافیکی بای پلات، این شاخص‌ها به عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی تحمل به تنش رطوبتی در ژنوتیپ‌های مورد بررسی و به عنوان شاخص‌های برتر معرفی می‌گردند، زیرا این شاخص‌ها قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط محیطی هستند و می‌توان از آنها برای تخمین پایداری عملکرد استفاده کرد و انتخاب بر اساس این شاخص‌ها عملکرد را در محیط‌های تنش افزایش خواهد داد. با توجه به شاخص‌های  $MP$ ،  $GMP$  و  $STI$  هیبریدهای  $SD/3 \times 5$ - $CH/1$ ،  $CML \times SD/3$  و  $CML \times 5-CH/1$  متحمل‌ترین و هیبریدهای  $K18 \times 2-CH/5$  و  $7-CH/3 \times K18 \times 2-CH/5$  حساس‌ترین هیبریدها نسبت به تنش خشکی شناخته شدند.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که رطوبت نسبی برگ (RWC) در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال ۲/۷۶ درصد کاهش نشان داد. با توجه به مثبت و معنی‌دار بودن همبستگی میزان رطوبت نسبی برگ و عملکرد دانه در شرایط تنش، می‌توان از این شاخص برای گزینش در شرایط تنش استفاده نمود. صفت وزن ریشه در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال به ترتیب ۱۹/۲۵ درصد افزایش نشان داد و در شرایط تنش با عملکرد دانه همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری داشت. چنین استنباط می‌شود که افزایش وزن ریشه جهت بهبود عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی مطلوب به نظر می‌رسد. همچنین با توجه به همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار شاخص‌های  $MP$ ،  $GMP$  و  $STI$  با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و عدم تنش و به کمک

## منابع

- احمدی، ج.، ح. زینالی‌خانقاه، م. ع. رستمی و ر. چوگان. ۱۳۷۹. بررسی شاخص‌های تحمل به خشکی با استفاده از روش بای پلات هیبریدهای ذرت دانه‌ای، مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۱(۴): ۵۱۳-۵۲۳.
- اسدی، ع. ا.، م. ولیزاده، س. ا. محمدی و م. خدارحمی. ۱۳۹۸. تجزیه ژنتیکی پاسخ به تنش کمبود آب در صفات فیزیولوژیک در گندم. مجله پژوهش‌های ژنتیک گیاهی. ۲۴(۳): ۲۰-۱.
- چوکان، ر.، ع. حیدری، ع. محمدی و م. ح. حدادی. ۱۳۸۷. ارزیابی تحمل به خشکی در هیبریدهای ذرت دانه‌ای با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش خشکی. مجله نهال و بذر. جلد ۲۴. شماره ۳. ۵۴۳ تا ۵۶۲.
- حیدری، ع.، ر. چوکان، ع. تشکری و ح. کلاتری. ۱۳۹۰. تأثیر سطوح مختلف خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد هیبریدهای ذرت. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۵(۶): ۱۲۶۳ تا ۱۲۵۰.
- سپهری، ع.، س. ع. م. مدرسانوی، ب. قره‌یاضی و ی. یمینی. ۱۳۸۱. تأثیر تنش آب و مقادیر مختلف نیتروژن بر مراحل رشد و نمو، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت. مجله علوم زراعی ایران. ۳(۴): ۱۹۶-۱۸۴.
- مقدم، ع. و م. ح. هادی‌زاده. ۱۳۸۱. عکس‌العمل هیبریدهای ذرت و لاین‌های والدی آنها به خشکی با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به تنش. مجله نهال بذر، ۱۸(۳): ۲۵۵ تا ۲۷۲.
- Akhila, S. N., T. K. Abraham and D. S. Jaya. 2008. Studies on the changes in lipid peroxidation and antioxidants in drought stress induced cowpea (*Vigna unguiculata* L.) varieties. J. of Envir. Bio. 29(5): 689-691.
- Antolin, M. C., J. Yoller and M. Sanchez-Diaz. 1995. Effects of temporary drought on nitrate-fed and nitrogen-fixing alfalfa plants. Plant Sci. 107, 159-165.
- Andjelkovic, V., D. Ignjatovic-Micic, S. Mladenovic and J. Vancetovic. 2012. Implementation of maize gentic resources in drought tolerance and grain quality improvement at maize research institute. "Zemun Polje". Thiyrd International Scientific Smposium. 10.7251/AGSY1203429A. UDK 631. 147:633.15.
- Bredemeier, C. 2005. Laser-induced chlorophyll fluorescence sensing as a tool for site-specific nitrogen fertilizer evaluation under controlled environmental and field conditions in wheat and maize. PhD. Thesis, Technical University of Munich, Germany.
- Dedio, W. 1975. Water relations in wheat leaves as screening tests for drought resistance. Cana. J. of Plant Sci. 55: 369-378.

- Draikewicz, M. 1994. Chlorophyllase occurrence functions, mechanism of action, effect of extra and internal factors. *Photosynthesis*, 30: 321-337.
- Fernandez, G. C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceedings of the Symposium of AVRDC, 13-16 Aug. Taiwan.
- Fisher, R. A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Grain yield responses. *Aust. J. of Agri. Res.* 29: 897-912.
- Gaspar, T., T. Franck, B. Bisbis, C. Kevers, L. Jouve, J. F. Hausman and J. Dommès. 2002. Concepts in plant stress physiology. Application to plant tissue cultures. *Plant Grow. Regul.* 37: 263–285.
- Ghorbani Javid, M., F. Moradi, Gh. A. Akbari and I. Allahdadi. 2006. The role of some metabolites on the osmotic adjustment mechanism in annual cutleaf medic (*Medicago laciniata* L. Mill) under drought stress. *Iranian J. Crop Sci.* 8(2), 90-105.
- Golabadi, M., A. Arzani and S. A. M. Mirmohammadi Maibody. 2006. Assessment of drought tolerance in segregating population in durum wheat. *African J. of Agric. Res.* 1:5. 162-171.
- Gregersen, P. L. and P. B. Holm. 2007. Transcriptome analysis of senescence in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Biotechnology Journal*, 5(1): 192-206.
- Guseynova, I. M., Suleymanov, S. and J. A. Aliyev. 2006. Protein composition and native state of pigments of thylakoid membrane of Wheat genotypes differently tolerant to water stress. *Biochemistry*, 71: 223-228.
- Hopkins, W. G. and N. P. A. Hopkins. 2004. Introduction to plant physiology. John Wiley & Sons Pub., New Jersey.
- Jiang, Y. and B. Hung. 2001. Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Sci.* 41: 436-442.
- Karimpour, M. 2019. The effect of drought stress on the chlorophyll content, chlorophyll fluorescence parameters and yield in the maize cultivars. *World Essays Journal*: 7 (1): 57-63,
- Kafi, M., A. Borzoei, M. Salehi, A. Kamandi, A. Masoumi and J. Nabati. 2009. Physiology of environmental stresses in plants (translated). Iranian Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR) Press, Mashhad, Iran.
- Khakwani, A. A., M. Dearn and M. Munir. 2011. Drought tolerance screening of wheat varieties by inducing water stress conditions. *Songklanakarin. Journal of Science & Technology.* 33: 135-142.
- Kiani, M. 2013. Screening drought tolerant criteria in maize. *Asian J. Agric. Rural Dev.* 3(5): 290-295.
- Kranner, I., R. P. Beckett, S. Wornik, M. Zorn and H. W. Pfeifhofer. 2002. Revival of a resurrection plant correlates with its antioxidant status. *Plant J.* 31: 13-24.
- Kumar, R., J. Kaul, R. B. Dubey, A. Singod, G. K. Chikkappa, A. Manivannan and M. K. Debnath. 2015. Assessment of drought tolerance in maize (*Zea mays* L) based on different indices. *SABRAO J. of Breedi. and Genet.* 47 (3): 291-298.
- Maggio, A., S. De-Pascale, C. Ruggiero and G. Barbieri. 2005. Physiological response of field-grown cabbage to salinity and drought stress. *Europ. J. Agron.* 23:57-67.
- Manivannan, P., C. Abdul Jaleel, B. Sankar, A. Kishorekumar, D. Somasundaram, G. M. A. Lakshmanan and R. Panneerselvam. 2007. Growth, Biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces.* 59:141–149.
- Naroui-Rad, M. R., M. Abdul-Kadir and M. R. Yusop. 2012. Genetic behaviour for plant capacity to produce chlorophyll in wheat (*Triticum aestivum* L) under drought stress. 6(3):415-420.
- Oliviera-Neto C. F., A. K. Silva-Lobato, M. C. Goncalves-Vidigal, R. C. L. Costa, Santos. B. G. Filho, G. A. R. Alves, W. J. M. Silva-Maia, F. J. R. Cruz, H. K. B. Neres and M. J. Santos Lopes. 2009. Carbon compounds and chlorophyll contents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages. *Sci. and Techno.* 7: 588-593.
- Pessarkli, M. 1999. Hand Book of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker Inc, New York, USA.
- Rosielli, A., and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non- stress environment. *Crop Sci.* 21: 485-493.

- Roth, J. A., I. A. Ciampitti, and T. J. Vyn. 2013. Physiological evaluations of recent drought tolerant maize hybrids at varying stress levels. *Agron. J.* 105: 1129- 1141.
- Safavi, M., S. Pourdad and A. Safavi. 2013. Evaluation of drought tolerance in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under Non-Stress and Drought Stress Conditions. *International J. of Advanced Bio. and Biom. Research*, 9: 943-946.
- Shafiq, S. Akram, N. A. and M. Ashraf. 2019. Assessment of physio biochemical indicators for drought tolerance in different cultivars maize (*Zea Mays* L). *Pak. J. Bot.*, 51(4): 1241-1247.
- Sheteawi, S. A. and K. M. Tawfik. 2007. Interaction effect of some biofertilizers and irrigation water regime on Mungbean (*Vigna radiate*) growth and yield. *J. of Applied Sci. Research* 3(3): 251-262.
- Shirani Rad, A. H. and A. Abbasian. 2011. Evaluation of drought tolerance in rapeseed genotypes under non stress and drought stress conditions. *Not Bot Horti Agrobo.* 39(2):164-171.
- Silva, M. A., J. L. Jifon, J. A. G. Silva and V. Sharma. 2007. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. *Brazilian J. of Plant Physiology* 19: 193-201
- Slafer, G. A. and J. L. Araus. 1998. Keynote address: mproving wheat responses to abiotic stresses. 9<sup>th</sup> International Wheat Genetics Symposium, Saskatchewan, CA.
- Sio-Se Mardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini and V. Mohammadi. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research* 98, 222-229.
- Smith., S. and I. Smet. 2012. *Phil. Trans. R. Soc Root system architecture: Insights from Arabidopsis and cereal crops.* B. 365(1595): 1441-1452.
- Tarahomi, G., Lahouti, M. and F. Abbasi. 2010. Effect of drought stress on variations of soluble sugar chlorophyll and potassium in salvia *Leriifolia* benth. *Zanjan Islamic Azad University Journal of Biological Sciences*, 3(2): 1-7.
- Yadav, O. P. and S. K. Bathagar. 2001. Evaluation of indices for identification of pear millet cultivars adapted to stress and non-stress conditions. *Field Crop Research* 70: 201-208.
- Yarnia, M., N. Arabifard, F. Rahimzadeh Khoei and P. Zandi. 2011. Evaluation of drought tolerance indices among some winter rapeseed cultivars. *African J. of Biotech.* 10(53): 10914-10922.
- Ziyomo, C. and R. Bernardo. 2013. Drought tolerance in maize: Indirect selection through secondary traits versus genome-wide selection. *Crop Sci.* 53:1269–1275.

## Study response of maize (*Zea mays* L.) hybrids to drought stress using physiological and stress tolerance indices

M. Moradi<sup>1</sup>, S.S. HosseiniFalehi<sup>2</sup>

Received: 2016-7-11 accepted: 2020-7-19

### Abstrac

Drought is the most important environmental stress in agriculture and improving yield maize under drought is a major goal of plant breeding. In order to evalutiaon 15 hybrids under normal and water stress regimes (irrigated after  $90\pm 5$  and  $135\pm 5$  mm evaporation from class A pan for normal and water stress conditions, respectively), a study was conducted at Dezful in Khuzestan Province, during 2014 growing seasons, using RCBD with three replications. The results of the variance analysis showed that differences among the genotypes, in terms of all indices and yield in normal and drought stress conditions were significant. Highly significant correlations were found between the grain yield and some physiological traits in drought stress condition, such as RWC and root weight, So these traits can be reliable criteria for the selection of tolerant genotypes with prospect to higher yields. Results of correlation between defferente drought tolerance indices with grain yield in both conditions (normal and water stress) showed that MP, GMP and STI were a successful index to select high yield and tolerante genotypes. Based on this indices and the results of the biplot diagram and cluster analysis the crosses SD/17×SD/15, SD/3×SD/17, CML×SD/3 and CML×SD/17 had the best drought tolerance and the crosses SD/10×SD/704, SD/15×SD/704 and SD/17×SD/10 were high sensitivity to drought and can be identified as the most sensitive hybrids to drought.

**Keywords:** Biplot, Maize, RWC and Root weight

1- Department of Plant Production Engineering and Genetics, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran

2- Ms C. Student, Department of Plant Production Engineering and Genetics, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran