پاسخ ارقام هیبرید جدید ذرت علوفه‌ای به تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی

مریم حاجی بابائی[1*] و فرهاد عزیزی[2]

چکیده

به منظور بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد علوفه ارقام هیبرید جدید ذرت و ارزیابی شاخص‌های تحمل خشکی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در سال ۱۳۸۸ اجرا گردید. فاکتور اصلی شامل سه سطح آبیاری نرمال، تنش ملایم و تنش شدید (بترتیب آبیاری پس از ۷۰، ۱۰۰ و ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A) و فاکتور فرعی شامل ۱۴ هیبرید ذرت بود. بر اساس عملکرد علوفه ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط نرمال و دارای تنش خشکی، شاخص بهره‌وری متوسط (MP)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص تحمل به تنش (STI)، شاخص تحمل (TOL)، شاخص عملکرد (YI)، شاخص حساسیت به تنش (SSI) و درصد تغییر صفات محاسبه شد. تجزیه واریانس شاخص‌های تحمل به تنش خشکی و عملکرد علوفه نشان داد که فقط شاخص بهره‌وری متوسط در شرایط بدون تنش و تنش ملایم و شاخص‌های میانگین هندسی بهره‌وری و شاخص عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش شدید معنی‌دار بودند. همبستگی شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد هیبریدهای مورد بررسی نشان داد که در شرایط نرمال، تنش ملایم و تنش شدید، شاخص‌های GMP و MP به عنوان بهترین شاخص‌ها برای تعیین ارقام متحمل به تنش کم‌آبی برای ارزیابی هیبریدهای مختلف ذرت مشخص شدند. با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش، هیبریدهای K47/3-1-2-7-1-1-1×MO17 و KLM76004/3-2-1-1-1-1-1-1×K3544/1 با توجه به شاخص‌های مختلف به عنوان متحمل‌ترین هیبریدها به تنش خشکی شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، شاخص‌های تحمل به خشکی، عملکرد علوفه خشک، ذرت.

تاریخ دریافت: ۹۰/۷/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۱/۳/۲۵

۱- کارشناس ارشد زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ورامین- پیشوا، باشگاه پژوهشگران جوان، ورامین، ایران.

۲- استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، کرج، ایران

[*] مسؤول مکاتبات: **hajibabaee_m@yahoo.com**

مقدمه

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی در بخش کشاورزی است و به همین دلیل تلاش زیادی برای حفظ عملکرد گیاهان در شرایط خشکی انجام گرفته است. در حالی که انتخاب طبیعی، مکانیسم مناسبی برای سازگاری و حفظ حیات گیاه در شرایط کم‌آبی می‌باشد، ولی هدف اصلاح‌گران انتخاب مستقیم جهت افزایش عملکرد اقتصادی ارقام زراعی می‌باشد (Cattivelli *et al.,* 2008) ذرت با وجود داشتن یک مرحله برداشت، دارای عملکرد ماده خشک بالایی است که سیلاژ آن به آسانی تهیه می‌شود و علوفه‌ای خوش خوراک با کیفیت پایدار برای دام محسوب می‌شود (Curran and Posch, 2000). در بسیاری از مطالعات، تشخیص ارقام حساس و مقاوم بر پایه ارزیابی‌های مختلف فیزیولوژیکی مربوط به عکس‌العمل در برابر خشکی صورت می‌گیرد (Voltas *et al.,* 2005). بر این اساس محققین بسیاری در طول سال‌های گذشته شاخص‌های متعددی را برای شناسایی ارقام حساس و مقاوم به خشکی پیشنهاد نموده‌اند. فرناندز (Fernandez, 1992) در بررسی عملکرد ژنوتیپ‌ها در دو محیط (دارای تنش و عادی) واکنش گیاهان را به چهار گروه تقسیم کرد: ژنوتیپ هایی که در هر دو محیط، عملکرد بالایی تولید می‌کنند (گروه A)، ژنوتیپ‌هایی که در شرایط عادی عملکرد بالایی دارند (گروه B)، ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش عملکرد خوبی تولید می‌کنند (گروه C) و ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط دارای عملکرد پایینی هستند (گروه D). فیشر و ماور (Ficher and Maurer, 1978) شاخص حساسیت به تنش (SSI) را برای ارزیابی ارقام متحمل پیشنهاد کردند. هم‌چنین به منظور گزینش ارقام متحمل به خشکی شاخص‌های تحمل (TOL) و بهره‌وری متوسط (MP) توسط روزیلی و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1984) ارایه گردیدند. طبق نظر فرناندز (Fernandez, 1992)، خلیل‌زاده و کربلایی خیاوی (Khalil Zadeh and Karbalai Khiyav, 2002) و صادق‌زاده اهری (Sadegh- Zadeh Ahari , 2006) بهترین شاخص برای گزینش ارقام، شاخص تحمل به تنش (STI) می‌باشد، چون قادر است ارقامی را که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش عملکرد بالایی دارند (گروه A) را از دو گروه ارقامی که فقط در شرایط بدون تنش (گروه B) و یا فقط در شرایط تنش (گروه C) عملکرد نسبتاً بالایی دارند، تفکیک نماید. پژوهشگران در بررسی این شاخص به این نتیجه رسیدند که کارآمدی این شاخص برای شرایط تنش شدید مناسب می‌باشد، در صورتی که شاخص‌های MP، GMP و STI برای تنش‌هایی با شدت کمتر پیشنهاد می‌شوند. کرمی و همکاران (Karami *et al.,* 2006) STI، GMP وMP را مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال ژنوتیپ‌های جو معرفی کردند. نورمند مؤید و همکاران (Nourmand Moayyed *et al.,* 2001) دو شاخص GMP و STI را به عنوان بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی در گندم نان معرفی کردند. فرشادفر و همکاران (Farshadfar *et al.,* 2001)، GMP، STI را مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال لاین‌های نخود برای تحمل به خشکی تعیین کردند. ضابط و همکاران (Zabet *et al.,* 2003) اظهار داشتند که براساس شاخص‌های STI، MP و GMP می‌توان ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی را در ماش شناسایی کرد. کارگر و همکاران (Kargar *et al.,* 2004) و هم‌چنین زینالی و همکاران (Zeinali *et al.,* 2004) دو شاخص GMP و STI و زارع و همکاران (Zare, 2004) شاخص‌های MP، GMP و STI را با توجه به همبستگی آن‌ها با عملکرد در دو شرایط تنش و بدون تنش به عنوان بهترین شاخص‌ها در جداسازی ژنوتیپ‌های متحمل سویا پیشنهاد کردند. شفازاده و همکاران (Shafazadeh *et al.,* 2004) به منظور بررسی تحمل به تنش کم‌آبی آخر فصل در ژنوتیپ‌های امید بخش زمستانه و بینابین با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش به این نتیجه رسیدند که رتبه بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش، بهره‌وری متوسط و میانگین هندسی بهره‌وری یکسان بود و بین شاخص‌های مذکور و عملکرد دانه در هر دو محیط تنش و بدون تنش، همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت. بنابراین مشخص شد که سه شاخص ذکر شده برای ارزیابی تحمل به تنش کم آبی کارایی مناسبی دارند.

هدف از انجام این آزمایش بررسی هیبریدهای مختلف ذرت در سطوح مختلف تنش نسبت به شرایط آبیاری معمول و انتخاب بهترین هیبریدها برای توسعه کشت در مناطق دارای تنش کم‌آبی و ارزیابی عملکرد هیبریدها در سطوح تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۸۸ در مزرعه پژوهشی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با عرض جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۵ دقیقه شرقی و طول جغرافیایی ۳۵ درجه و ٤٧ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۲٥٤ متر از سطح دریا اجرا شد. خاک محل آزمایش دارای بافت لومی- رسی با pH = ۷/۵ و هدایت الکتریکی۰/۷ دسی زیمنس بر متر (dsm^{-1}) بود. این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گردید. فاکتورهای مورد مطالعه سه رژیم آبیاری به‌عنوان عامل اصلی شامل I_1= آبیاری نرمال (آبیاری پس از ۷۰ میلیمتر تبخیر)، I_2 = تنش ملایم (آبیاری پس از ۱۰۰ میلیمتر تبخیر)، I_3 = تنش شدید (آبیاری پس از۱۳۰ میلیمتر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) در کرت‌های اصلی قرار گرفته و ١٤ هیبرید دیررس ذرت علوفه‌ای به‌عنوان عامل فرعی بودند (جدول ۱).

در این طرح بذور هر هیبرید پس از ضدعفونی با قارچ‌کش ویتاواکس بر روی سه ردیف هفت متری با فاصله ۷۵ سانتی‌متر از یکدیگر و به صورت کپه‌ای کشت شدند. فاصله کپه‌ها روی ردیف‌های کاشت ۱۸ سانتی‌متر (تراکم ۷۵ هزار بوته در هکتار) در نظر گرفته شد. به منظور ممانعت از اختلاط آبیاری در ابتدا و انتهای هر کرت اصلی دو ردیف کاشت به عنوان حاشیه و همچنین دو ردیف بدون کاشت لحاظ گردید. میزان کود مورد نیاز بر اساس آزمون خاک در اختیار گیاه قرار گرفت. نیتروژن مورد نیاز گیاه از منبع اوره به مقدار ٤۰۰ کیلوگرم در هکتار در دو نوبت، نیمی قبل از کاشت و مابقی در مرحله ۷-٦ برگی به عنوان سرک در اختیار گیاه قرار گرفت. زمان آبیاری با استفاده از میزان تبخیر روزانه از تشتک تبخیر کلاس A مشخص شد. برای تعیین حجم آب مصرفی در هر آبیاری، قبل از آبیاری نمونه برداری ازخاک کرت مورد نظر تا عمق توسعه ریشه انجام گردید. نمونه مذکور به مدت ٢٤ ساعت در آون ۸۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. سپس درصد رطوبت وزنی خاک محاسبه شد و حجم آب آبیاری با استفاده از معادله‌های ۱ و ۲ در هر آبیاری تعیین گردید. مقدار آب مصرفی نیز با استفاده از کنتور که در ابتدای فلکه اصلی قرار داده شده بود کنترل شد. آبیاری مزرعه آزمایشی با استفاده از لوله‌های هیدروفلوم و دریچه‌هایی که در ابتدای خطوط کاشت تعبیه شده بود صورت گرفت.

معادله ۱: $H = \rho b(\theta_{F.C} - \theta_m)D$

معادله ۲: $V = H \times A$

در معادله‌های ۱ و ۲، H نشان دهنده ارتفاع آب داخل کرت، ρb جرم مخصوص ظاهری خاک، $\theta_{F.C}$ رطوبت در حد ظرفیت مزرعه، θ_m رطوبت جرمی کرت مورد نظر در زمان آبیاری، D عمق توسعه ریشه، V حجم آب آبیاری در کرت و A مساحت کرت است. پس از تعیین عملکرد علوفه خشک با توجه به شرایط دارای تنش و بدون تنش شاخص‌های بهره‌وری متوسط یا میانگین تولید، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری، شاخص تحمل به تنش، شاخص تحمل، شاخص عملکرد، شاخص پایداری عملکرد، شاخص حساسیت به تنش و درصد تغییر صفت یا درصد کاهش به کمک روابط زیر با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Excel محاسبه شد و با استفاده از نرم افزار MINITAB 15 همبستگی بین شاخص‌ها در هر یک از رژیم‌های آبیاری تنش‌دار و بدون تنش به منظور تعیین بهترین شاخص محاسبه گردید. علاوه بر محاسبه شاخص‌ها، تجزیه واریانس بر اساس مدل آماری طرح بلوک‌های کامل تصادفی و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن، هم‌چنین تجزیه به مؤلفه‌های اصلی توسط نرم‌افزار SAS انجام شد.

$$SI = 1 - \left(\frac{\overline{Y_S}}{\overline{Y_P}}\right) \quad , \quad SSI = \frac{1-(Y_S / Y_P)}{SI} \qquad (1$$

$$STI = \frac{Y_P . Y_S}{\overline{Y_P}^2} \qquad (2$$

$$MP = \frac{Y_P + Y_S}{2} \qquad (3$$

$$TOL = Y_P - Y_S \qquad (4$$

$$GMP = \sqrt{(Y_S)(Y_P)} \qquad (5$$

$$YI = \frac{Y_S}{\overline{Y_S}} \qquad (6$$

$$\frac{Y_P - Y_S}{Y_P} \times 100 \text{ درصد تغییر صفت} \qquad (7$$

که در آن‌ها Yp: عملکرد ژنوتیپ در محیط بدون تنش، Ys: عملکرد ژنوتیپ در محیط دارای تنش، $\overline{Y_P}$: متوسط عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش، : $\overline{Y_S}$ متوسط عملکرد کلیه ژنوتیپ در محیط دارای تنش، SI: شدت تنش و SSI: شاخص حساسیت به تنش بود.

نتایج و بحث

شدت تنش

شدت تنش معیاری جهت ارزیابی میزان تنش وارد شده به یک کانوپی گیاهی به واسطه یک عامل نامطلوب محیطی بر اساس میزان خسارت به عملکرد می‌باشد (Fernandez, 1992). شدت تنش برای عملکرد علوفه با توجه به شرایط آبیاری نرمال و تنش ملایم ۰/۲۱ و با در نظر گرفتن شرایط آبیاری نرمال و تنش شدید ۰/۳۱ محاسبه شد.

شاخص حساسیت به تنش (SSI)

در شاخص حساسیت به تنش، مقادیر بالای عددی (بیشتر از واحد)، نشان‌دهنده حساسیت بالای هیبرید نسبت به شرایط تنش بوده و مقادیر پایین‌تر از واحد بیانگر تحمل بالای رقم در شرایط تنش می‌باشد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس شاخص‌های تحمل به تنش خشکی و عملکرد علوفه در شرایط بدون تنش و تنش ملایم و تنش شدید نشان داد که هیبریدهای مورد مطالعه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند که بیانگر این موضوع است که هیبریدهای مورد مطالعه واکنش مشابهی نسبت به تنش خشکی نشان دادند (جدول ۲ و ۳). ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از شاخص حساسیت به تنش، مواد آزمایشی را صرفاً بر اساس مقاومت و حساسیت به تنش دسته‌بندی می کند و به عبارت دیگر با استفاده از این شاخص، می‌توان ژنوتیپ‌های حساس و متحمل را بدون توجه به پتانسیل عملکرد آن‌ها مشخص کرد (Naderi Darbagshahi *et al.*, 2004) نتایج حاصل از بررسی همبستگی شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد هیبریدهای مورد بررسی نشان داد که با توجه به شرایط نرمال و تنش ملایم و تنش شدید شاخص‌حساسیت به تنش با میزان کاهش عملکرد همبستگی مثبت و معنی‌داری به میزان (۰/۹۹) داشت (جدول ۵).

شاخص تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)

بر اساس تحقیقات صادق‌زاده اهری (Sadegh Zadeh, Ahari, 2006) خلیل‌زاده و کربلایی خیاوی (Khalil Zadeh and Karbalai Khiyav, 2002) و فرناندز (Fernandez, 1992)، بهترین شاخص برای گزینش ارقام، شاخص تحمل به تنش می باشد، زیرا قادر است ارقامی را که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش عملکرد بالایی دارند (گروه A) را از دو گروه ارقامی که فقط در شرایط بدون تنش (گروه B) و یا فقط در شرایط تنش (گروه C) عملکرد نسبتاً بالایی دارند، تفکیک نماید. فرناندز (Fernandez, 1992) معتقد است که شاخص‌های تحمل به تنش و میانگین هندسی بهره‌وری با توجه به همبستگی‌های بالا و معنی‌دار موجود بین آن‌ها و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش و بدون تنش، به عنوان مناسب‌ترین شاخص‌های گزینش ژنوتپ‌های دارای عملکرد مطلوب، قابل توصیه می‌باشند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس شاخص‌های تحمل به تنش خشکی و عملکرد علوفه در شرایط بدون تنش و تنش شدید نشان داد که میانگین هندسی بهره‌وری در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). از نظر شاخص متوسط هندسی بهره‌وری که مقادیر بالای شاخص نشان‌دهنده تحمل ارقام می‌باشد، با توجه به مقایسه میانگین هیبریدها برای عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش شدید، هیبرید شماره ۱ و ۱۲ به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل تعیین گردیدند (جدول ٤). دو شاخص فوق با در نظر گرفتن شرایط بدون تنش و تنش شدید با شاخص عملکرد همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند (جدول ۵).

شاخص بهره‌وری متوسط (MP)

استفاده از شاخص بهره‌وری متوسط که مقادیر بالای عددی آن نشان‌دهنده تحمل نسبی به تنش می‌باشد، اغلب منجر به گزینش ارقامی با عملکرد بالا در شرایط عادی، ولی تحمل کم به شرایط تنش می‌گردد (Rosielle and Hamblin, 1984). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که این شاخص در شرایط بدون تنش و تنش ملایم در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به مقایسه میانگین هیبریدها برای عملکرد علوفه در شرایط بدون تنش و تنش ملایم هیبرید، شماره ۸ به عنوان هیبرید متحمل به تنش شناسایی شد. اگر چه احمدزاده (Ahmadzadeh, 1997) شاخص بهره‌وری متوسط را معیار مناسبی برای گزینش لاین‌های پر محصول و متحمل به خشکی ذرت معرفی کرد، ولی سی و سه مرده و همکاران (Sio- Se Mardeh *et al.*, 2006) گزارش کردند که شاخص بهره‌وری متوسط زمانی برای انتخاب ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش کارایی دارد که شدت تنش شدید نبوده و اختلاف بین عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش زیاد نباشد. نتایج حاصل از همبستگی شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد هیبریدهای مورد بررسی نشان داد که با توجه به شرایط نرمال و

تنش ملایم و تنش شدید شاخص بهره‌وری متوسط با میانگین هندسی بهره‌وری همبستگی مثبت و معنی‌داری به میزان (۰/۹۹) را داشت (جدول ۵).

شاخص تحمل (TOL)

در شاخص تحمل نیز مقادیر عددی پایین، نشان‌دهنده تحمل نسبی ارقام می‌باشد. نتایج تجزیه واریانس شاخص‌ها اختلاف معنی‌داری را در دو شرایط تنش ملایم و تنش شدید نشان نداد (جدول ۲ و ۳). انتخاب بر اساس شاخص تحمل اغلب موجب گزینش ارقامی می‌شود که در شرایط بدون تنش عملکرد پایینی تولید می‌کنند (Rosielle and Hamblin, 1984). نتایج حاصل از همبستگی شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد هیبریدهای مورد بررسی نشان داد که با توجه به شرایط نرمال و تنش ملایم و تنش شدید این شاخص با میزان کاهش عملکرد همبستگی مثبت و معنی‌داری را در سطح احتمال ۱٪ به میزان (۰/۹۹) نشان داد (جدول ۵).

میزان کاهش عملکرد

شاخص‌های درصد کاهش عملکرد و پایداری عملکرد در واقع ارقام را در جهت عکس همدیگر گزینش می‌کنند. به عبارت دیگر ژنوتیپی که توسط شاخص پایداری عملکرد به عنوان ژنوتیپی با پایداری بالای عملکرد در شرایط تنش معرفی می‌شود، از کمترین میزان تغییر و یا کاهش عملکرد برخوردار می‌باشد. نتایج تجزیه واریانس شاخص‌ها اختلاف معنی‌داری را در شرایط بدون تنش با شرایط تنش ملایم و شدید نشان نداد (جدول ۲ و ۳). نتایج همبستگی شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد هیبریدهای مورد بررسی نشان داد که با توجه به شرایط نرمال و تنش ملایم و تنش شدید، شاخص عملکرد همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ نشان داد (جدول ۵).

شاخص عملکرد (YI)

شاخص عملکرد از نسبت عملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش به میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش محاسبه می‌گردد، بنابراین موجب رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر حسب میزان عملکرد تولیدی آن‌ها در محیط تنش می‌گردد (Sio- Se Mardeh *et al.*, 2006). نتایج حاصل از تجزیه واریانس شاخص‌های تحمل به تنش خشکی و عملکرد علوفه در شرایط بدون تنش و تنش شدید نشان داد که شاخص عملکرد در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۲ و ۳). در آزمایش حاضر، با توجه به مقایسه میانگین هیبریدها برای عملکرد علوفه در شرایط بدون تنش و تنش شدید، هیبریدهای شماره ۱۱، ۱۲ و ۱۳ به عنوان هیبریدهایی با بالاترین میزان عملکرد در محیط تنش انتخاب شدند (جدول ٤). برخی محققین بر این اعتقادند که مناسب‌ترین شاخص برای گزینش ارقام متحمل به تنش، شاخصی است که دارای همبستگی نسبتاً بالایی با عملکرد در هر دو شرایط بدون تنش و تنش باشد (Khalil Zadeh and Farshadfar *et al.*, 2001; Karbalai Khiyav, 2002).

نتایج تجزیه به عامل‌های اصلی در شرایط بدون تنش و تنش ملایم و شدید نشان داد که ۵۲/۸۰ درصد از تغییرات کل داده‌ها مربوط به اولین مؤلفه است که دارای همبستگی مثبتی با شاخص میزان کاهش عملکرد و SSI است. بنابراین، بر مبنای مؤلفه اول ارقامی انتخاب می‌شوند که در شرایط بدون تنش و تنش شدید دارای میزان کاهش عملکرد بالایی هستند. به عبارت دیگر این مؤلفه قادر به جداسازی ارقام پر محصول و مقاوم به خشکی از ارقام کم محصول و حساس به خشکی است. بنابراین می‌توان آن را به عنوان مؤلفه میزان کاهش عملکرد و مقاومت به خشکی در نظر گرفت (جدول ٦). دومین مؤلفه ٤٦ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد. همانطور که در جدول ٦ نشان داده شده است ، این مؤلفه با شاخص‌های GMP و MP همبستگی مثبتی دارد. بنابراین این مؤلفه قادر به جداسازی ارقام مقاوم به خشکی از ارقام حساس به خشکی می‌باشد. به عبارت دیگر با مقادیر کم این مؤلفه می‌توان ارقامی را که دارای GMP و MP پایین هستند را انتخاب کرد. به همین دلیل می‌توان مؤلفه دوم، مؤلفه حساسیت به خشکی نامید. کرمی و همکاران (Karami *et al.*, 2006) نیز در بررسی ژنوتیپ‌های جو زراعی دو مؤلفه را که مجموعا ۹۹/۱۷ درصد از تغییرات را توجیه می‌کرد، معرفی کردند که با توجه به رابطه مؤلفه‌ها و شاخص‌های مورد مطالعه، مقادیر بالاتر مؤلفه اول (تحمل به خشکی) و مقادیر پائین‌تر مؤلفه دوم (حساسیت به تنش) مطلوب بود.

با توجه به این‌که هدف از کشت ذرت علوفه‌ای تولید علوفه می‌باشد، با در نظر گرفتن میزان عملکرد تولیدی هیبریدهای مورد آزمون در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی (ملایم و شدید) و هم‌چنین با استفاده از همبستگی شاخص‌های مختلف ارزیابی تحمل به تنش خشکی، در مجموع هیبریدهای شماره ۱ و ۱۰ به عنوان هیبریدهای متحمل نسبت به شرایط تنش خشکی شناسایی شدند.

جدول ۱- لیست هیبریدهای دیررس ذرت علوفه‌ای مورد آزمایش

Table 1. List of late maturity forage corn hybrids tested

Number	Hybrids
1	K47/2-2-1-4-1-1-1×MO17
2	K3653/2×K19
3	K3653/2×MO17
4	KSC700
5	KSC704
6	KSC720
7	KLM76004/3-2-1-1-1-1-1-1×K3545/6
8	K74/2-2-1-2-1-1-1-1×K3545/6
9	K47/2-2-1-2-2-1-1-1×K3544/1
10	KL M76004/3-2-1-1-1-1-1-1×K3544/1
11	K47/2-2-1-2-1-1-1-1×K3544/1
12	K47/3-1-2-7-1-1-1×MO17
13	KLM77029/8-1-2-3-2-3×MO17
14	KLM76005/2-3-1-1-1-1×MO17

جدول ۲- تجزیه واریانس شاخص‌های تحمل به تنش خشکی و عملکرد علوفه هیبریدهای جدید ذرت در شرایط بدون تنش خشکی و تنش ملایم

Table 2. Analysis of variance for drought tolerance indices and forage yield of new corn hybrids under normal and mild drought stress conditions

		Mean Squares								
S.O.V.	**D.F.**	**YP ($kg.h^{-1}$)**	**YS ($kg.h^{-1}$)**	**GMP**	**Reduction (%)**	**TOL**	**YI**	**MP**	**STI**	**SSI**
Replication	2	52647576 ^{ns}	35074358 ^{ns}	37187414 ^{ns}	320.8 ^{ns}	11578758 ^{ns}	0.14 ^{ns}	40966299 ^{ns}	0.49 ^{ns}	1.65 ^{ns}
Treatment	13	18397876 ^{ns}	11408129 ^{ns}	10487365 ^{ns}	324.2 ^{ns}	15399117 ^{ns}	0.05 ^{ns}	11053248 *	0.11 ^{ns}	1.67 ^{ns}
Erorr	26	10982402	10327480	5063212	494.5	22165304	0.04	5113638	0.06	2.54

ns: non significant, ** and *: significant at 0.01 and 0.05 of probability levels, respectively.

ns: غیر معنی‌دار، **و* به ترتیب، معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

جدول ۳- تجزیه واریانس شاخص‌های تحمل به تنش خشکی و عملکرد علوفه هیبریدهای جدید ذرت در شرایط بدون تنش خشکی و تنش شدید

Table 3. Analysis of variance for drought tolerance indices and forage yield of new corn hybrids under normal and severe drought stress conditions

		MS								
S.O.V.	**D.F.**	**YP (kg.h^{-1})**	**YS (kg.h^{-1})**	**GMP**	**Reduction (%)**	**TOL**	**YI**	**MP**	**STI**	**SSI**
Replication	2	52646441 ^{ns}	37236169 ^{ns}	20882560 ^{ns}	1514.1 ^{ns}	95021467 ^{ns}	0.38 ^{ns}	21186224 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.70 ^{ns}
Treatment	13	18397852 ^{ns}	4839857 *	5560232 *	245.8 ^{ns}	19611373 ^{ns}	0.04 *	6715990 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.12 ^{ns}
Erorr	26	10982421	1891919	2512281	145.4	12035976	0.01	3428175	0.01	0.07

ns: غیر معنی‌دار، **و* به ترتیب ، معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

ns: non significant, ** and *: significant at 0.01 and 0.05 of probability levels, respectively

جدول ٤- مقایسه میانگین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی و عملکرد علوفه هیبریدهای جدید ذرت در شرایط بدون تنش خشکی و تنش شدید

Table 4. Mean comparisons for drough tolerance indices and forage yield of new corn hybrids under normal and severe drought stress conditions

Hybrid	GMP	YI	YS
1	14790 ^{a}	1.09 ^{ab}	0.54 ^{abc}
2	12550 ^{abc}	1.07 ^{ab}	0.72 ^{ab}
3	11390 ^{bc}	0.77 ^{d}	0.45 ^{c}
4	13290 ^{ab}	0.95^{abcd}	0.50 ^{bc}
5	13270 ^{ab}	0.98 ^{abcd}	0.55 ^{abc}
6	13820 ^{ab}	1.04 ^{abc}	0.53 ^{abc}
7	13780 ^{ab}	0.98 ^{abcd}	0.53 ^{abc}
8	14210 ^{ab}	0.94 ^{abcd}	0.44 ^{c}
9	11670 ^{abc}	0.85 ^{bcd}	0.51 ^{abc}
10	9959 ^{c}	0.80 ^{cd}	0.62 ^{abc}
11	13290 ^{ab}	1.16 ^{a}	0.74 ^{a}
12	14610 ^{a}	1.18 ^{a}	0.64 ^{abc}
13	14320 ^{ab}	1.14 ^{a}	0.62 ^{abc}
14	13010 ^{ab}	0.98 ^{abcd}	0.56 ^{abc}

جدول ٥- ضرایب همبستگی بین شاخص های تحمل به خشکی با عملکرد هیبریدهای ذرت در شرایط تنش خشکی ملایم و شدید

Table 5. Correlation coefficients between drought tolerance indices and yield of maize genotypes under mild and severe drought stress conditions

	YP	YS	SSI	STI	TOL	MP	GMP
YS	0.08^{ns}	1					
SSI	0.62**	-0.67**	1				
STI	0.71**	0.74**	-0.03^{ns}	1			
TOL	0.86**	-0.41**	0.90**	0.28^{ns}	1		
MP	0.88**	0.53**	0.21^{ns}	0.95**	0.54**	1	
GMP	0.71**	0.75**	-0.04^{ns}	0.99**	0.27^{ns}	0.95**	1
Reduction (%)	0.62**	-0.69**	1**	-0.04^{ns}	0.91**	0.20^{ns}	-0.05^{ns}

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ns: غیر معنی‌دار

** : significant at 1% of probability level and ns: non significant.

جدول ٦- تجزیه به مولفه‌های اصلی با استفاده از عملکرد علوفه در شرایط تنش ملایم و تنش شدید

Table 6. Principle component analysis using forage yield in mild and severe drought stress conditions

Indices	component	
	First	Second
Ys	-0.78	0.62
Yp	0.54	0.84
TOL	0.88	0.46
MP	0.09	0.99
SSI	0.98	0.13
STI	-0.17	0.98
GMP	-0.18	0.98
Reduction (%)	0.98	0.12
Variance (%)	5.28	4.62
Cumulative variance (%)	52.80	99.03

References

Ahmadzadeh A (1997) Determining the best indicator of tolerance in selected maize lines. M.Sc. Thesis in Plant Breeding. Faculty of Agriculture, Tehran University. 238 pp. [In Persian with English Abstract].

Bouslama M, Schapaugh WT (1984) Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science 24: 933-937.

Cattivelli L, Rizza F, Badeck FW, Mazzucotelli E, Mastrangelo AM, Francia E, Mare C, Tondelli A, AM Stanca (2008) Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. Field Crop Research 105: 1-14.

Curran B, Posch J (2000) Agronomic management of silage for yield and quality: silage cutting height.Crop Insights 10(2). Pioneer Hi-bred International .INC.

Eberhart SA and WA Russel (1966) Stability parameters for comparing varieties. Crop Science 6: 36- 40.

Farshadfar E, Zamani M, Motallebi M, Imamjomeh A (2001) Selection for drought resistance in chickpea lines. Iranian Journal of Agricultural Science. 32:65-77. [In Persian with English Abstract].

Fernandez GCJ (1992) Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, CG. (Ed), Proceedings of the International Symposium on Biology of plants, American Society of Plant Biologists, Rockville, MD, pp. 158-1249.

Fereres E, Gimenz C, Brenngena J, Fernandez, J, Domiguez J (1983) Genetic variability of sunflower cultivars in response to drought. Helia 6: 17-21.

Fischer RA, Maurer R (1978) Drought resistance in spring wheat cultivars. Part 1: grain yield response. Australian Journal of Agricultural Research 29: 897- 912.

Gavuzzi P, Rizza F, Palumbo M, Campaline RG, Ricciardi GL, Borghi B (1997) Evaluation of field and laboratory drought and heat stress in winter cereals. Canadian Journal of Plant Science 77: 523- 531.

Golparvar AR, Majidi Heravan, A, Ghasemi Pir Bloti A (2004) Genetic improvement of yield potential and drought resistance in wheat genotypes (*Triticum aestivum*). Journal of Dryness and Drought, Agricultural Extension, 3: 23-13.

Karami E, Ghannadha MR, Naghavi MR, and Mardi M (2006) Identification of drought tolerant genotypes in barley. Iranian Journal of Agricultural Sciences 37 (1): 371-380. [In Persian with English Abstract].

Kargar SM, Ghannadha MR, Bozorgi-pour R, Khaje Ahmad Attari AA, Babaei HR (2004) An investigation of drought tolerance indices in some soybean genotypes under restricted irrigation conditions. Iranian Journal of Agricultural Sciences 35: 129-142. [In Persian with English Abstract].

Khalil Zadeh GH, Karbalai Khiyav H (2002) Effects of drought and heat stress on advanced lines of durum wheat. Seventh Iranian Congress of Agronomy and Plant Breeding. Agricultural Education Publishing. pp. 564-563. [In Persian with English Abstract].

Naderi Darbagshahi MR, Noormohamadi GH, Majidi, A, Darvish, F, Shirani Rad, AH, Madani H (2004) Effect of drought stress and plant density on the characteristics in line planting safflower in Isfahan. Seed and plant Journal 20 (3): 296-281. [In Persian with English Abstract].

Nourmand Moayyed F, Rostami MAand Ghannadha M R (2001) Evaluation of drought resistance indices in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Iranian Journal of Agricultural Sciences 32: 795-805. [In Persian with English Abstract].

Rosielle, AA, Hamblin J (1984) Theoretical aspects of selection for yield in stress and non- stress environment. Crop Science 21: 943- 946.

Sadegh-Zadeh Ahari D (2006) Evaluation of drought tolerance in promising durum wheat genotypes. Crop Science. 8 (1): 44 -30. [In Persian with English Abstract].

Schneider KA, Rosales- Serena F, Ibarra- Perez B, Cacares- Enriguez JA, Acosta- Gallegos R, Ramirec- Vallejo N, Wassimi N, Kelly JP (1997) Improvement common bean performance under drought stress. Crop Science 37: 43- 50.

Shafazadeh MK, Yazdansepass A, Amini A, Ghanadha M (2004) Evaluation of tolerance terminal drought stressing promising winter and facultative bread wheat lines using stress susceptibility and tolerance indices. Seed and Plant Journal 20: 57-71. [In Persian with English Abstract].

Sio- Se Mardeh A, Ahmadi A, Poustini K Mohamadi V (2006) Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crop Research 98: 222- 229. [In Persian with English Abstract].

Voltas J, Lopez- Corcoles H, Borras G (2005) Use of biplot analysis and factorial regression for the investigation of superior genotypes in multienvironment trials. European Journal of Agronomy 22: 309- 324.

Zabet, M, Hosseinzadeh AH, Ahmadi A, Khialparast F (2003) Effect of water stress on different traits and determination of the best water stress index in mung bean (*Vinga radiata*). Iranian Journal of Agricultural Sciences 34: 889-898. [In Persian with English Abstract].

Zare M, Zeynaly Khanghah H, Daneshian J (2004) An evaluation of some soybean genotypes tolerance to drought stress. Iranian Journal of Agricultural Sciences 35: 859-867. [In Persian with English Abstract].

Zeinali Khanghah H, Izanloo A, Hoseinzadeh AH, Majnoon Hoseini N (2004) Determination of the suitable drought resistance indices in commercial soybean varieties. Iranian Journal of Agricultural Sciences 35: 875-885. [In Persian with English Abstract].