

واکنش برخی هیبریدهای ذرت به تنش آبی

عباس رضایی‌زاد^{۱*}، بهمن تیموری^۲، علی مهراش مهربانی^۳

۱. استادیار بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه ایران.

۲. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، گروه بیوتکنولوژی و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

۳. استادیار گروه بیوتکنولوژی و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۳/۲۹

چکیده

به منظور بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد برخی هیبریدهای ذرت و همچنین شناسایی ارقام متحمل خشکی، تعداد هشت هیبرید ذرت به صورت سه آزمایش (محیط) در شرایط نرمال و تنش خشکی در مرحله رشد رویشی و تنش خشکی در مرحله رشد زایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در مزرعه آموزشی مرکز آموزش جهاد کشاورزی ماهیدشت کرمانشاه در سال ۱۳۹۰ ارزیابی شدند. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر تنش آبی بر همه صفات اندازه‌گیری شده در سطح یک درصد معنی‌دار بود. عملکرد دانه و برخی اجزای عملکرد دانه همانند وزن صد دانه، تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف در بلال بیشترین کاهش را در اثر تنش آبی داشتند به طوری که این صفات در شرایط تنش آبی در مرحله رشد زایشی نسبت به شرایط نرمال به ترتیب ۲۸/۸، ۲۵/۶، ۱۹/۱ و ۱۷/۶ درصد کاهش یافتند. هیبریدهای مورد بررسی نیز از نظر همه صفات اندازه‌گیری شده دارای تفاوت معنی‌داری بودند. هیبریدهای KSC260، KSC704 و KSC647 از عملکرد مناسبی برخوردار بودند به طوری که عملکرد آن‌ها در شرایط نرمال به ترتیب ۱۵۴۲۱، ۱۴۸۹۲ و ۱۴۱۶۷ کیلوگرم در هکتار و در شرایط تنش آبی در مرحله رشد زایشی به ترتیب ۱۱۹۷۷، ۱۰۴۷۹ و ۱۱۴۴۹ کیلوگرم در هکتار بود. هیبرید KSC260 علاوه بر داشتن عملکرد مناسب در شرایط نرمال و تنش آبی، ۲۰ روز نسبت به هیبرید KSC704 زودرس‌تر بود.

واژه‌های کلیدی: تحمل، خشکی، عملکرد و اجزای عملکرد

مقدمه

عملکرد ذرت در دنیا به سبب رخداد خشکی حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد کاهش می‌یابد و در سال‌های آینده این میزان به سبب خشکی‌های شدیدتر بیشتر خواهد شد (FAO, 2014). در ایران نیز زراعت ذرت در سال‌های اخیر از رونق زیادی برخوردار بوده و استفاده از آن در تغذیه دام و طیور و مصارف صنعتی گسترش یافته است (Emam and Niknejad, 2004). سطح زیر کشت ذرت در ایران در سال ۲۰۱۴ حدود ۳۵۰ هزار هکتار بوده و تولید آن به یک میلیون و دویست و پنجاه هزار تن رسیده است (FAO, 2014). با این حال یکی از

ذرت یکی از مهم‌ترین غلات دانه‌ای است که در بیش از ۱۸۰ میلیون هکتار از راضی دنیا کشت می‌شود و تولید آن بالغ بر ۱۰۰۰ میلیون تن است (FAO, 2014). ذرت به همراه گندم و برنج حداقل ۳۰ درصد کالری غذایی را برای بیش از چهار و نیم میلیون نفر در ۹۴ کشور در حال توسعه، جایی که یک سوم کودکان در آنجا سوءتغذیه دارند، فراهم می‌کند (Chaudhary et al., 2014). تا سال ۲۰۵۰ تقاضای ذرت در کشورهای در حال توسعه دو برابر تقاضای فعلی خواهد شد (Von Braun et al., 2010) و این در حالی است که هر ساله

پایداری عملکرد^۵ (Bousslama and Schapaugh, 1984) معرفی شده‌اند.

تنش خشکی در تمام مراحل رشد و نمو، عملکرد دانه ذرت را تا حدی کاهش می‌دهد ولی حساس‌ترین مرحله به تنش خشکی، دوره گل‌دهی و تلقیح است (Claassen and Shaw, 1970; Grant et al., 1989). به نظر می‌رسد که در محدوده زمانی ۲ روز قبل تا ۲۲ روز بعد از ظهور تاره‌های ابریشمی حساسیت به تنش رطوبتی بسیار شدید باشد و اوج آن ۷ روز پس از ظهور تاره‌های ابریشمی است. اگر ذرت در دوره بلافاصله قبل از ظهور گل‌تاجی تا آغاز پرا شدن دانه تحت تنش خشکی قرار گیرد، تقریباً بوته‌ها فاقد بلال خواهند بود (Grant et al., 1989). زمانی که تنش خشکی ۱۰-۷ روز قبل از گلدهی رخ دهد رشد بلال آرام‌تر از تاسل خواهد بود در نتیجه ظهور تاره‌های ابریشمی در مقایسه با دانه گرده و گرده‌افشانی با تأخیر همراه خواهد کرد. این وضعیت سبب کاهش تلقیح و تعداد دانه تشکیلی در بلال در بوته خواهد شد و به‌شدت عملکرد را کاهش خواهد داد (Sayadi Maazou et al., 2016). بلال‌هایی که تنش خشکی را تجربه می‌کنند معمولاً تعداد دانه کمتری دارند و در صورتی که تنش خشکی در دوره پر شدن دانه نیز ادامه یابد وزن دانه‌ها نیز به‌شدت کاهش خواهد یافت (Edmeades, 2000). طباطبایی و شاکری (Tabatabaei and Shakeri, 2016) گزارش دادند که تنش رطوبتی باعث کاهش عملکرد ذرت می‌گردد و علاوه بر عملکرد سایر صفات مورد بررسی همانند ارتفاع بوته، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در بلال، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت تحت تأثیر قرار گرفتند. در این مطالعه هیبرید ۷۰۴ به‌عنوان بهترین رقم برای کشت در شرایط کم‌آبی معرفی گردید.

با توجه به رخداد مداوم خشک‌سالی‌های چند سال اخیر و کاهش شدید منابع آب زیرزمینی، مزرعه ذرت در مقاطعی از دوران رشد ممکن دچار تنش خشکی شود بنابراین شناسایی ژنوتیپ‌هایی که بتوانند در چنین شرایطی عملکرد خود را تا حدودی حفظ نمایند و افت عملکرد کمتری داشته باشند ضروری است؛ بنابراین در مطالعه حاضر سعی شده است

عواملی که می‌تواند زراعت ذرت در کشور را محدود نماید کمبود منابع آبی و رخداد خشک‌سالی‌های چند سال اخیر در کشور است.

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده است که بسته به فصل و زمانی که واقع می‌شود می‌تواند به‌صورت جدی به کاهش محصول گیاه منجر شود. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، گیاه در طول دوره رشد خود با دوره‌های کم‌آبی روبرو می‌شود و برای تولید عملکرد مناسب باید بتواند این دوره‌ها را تحمل نماید (Emam and Niknejad, 2004). یکی از اصلی‌ترین استراتژی‌ها برای مقابله با تنش‌های خشکی، تولید ژنوتیپ‌های متحمل به تنش با کارایی مصرف آب بالا برای ذرت است (Sayadi Maazou et al., 2016). بدین منظور یکی از رایج‌ترین روش‌ها، انتخاب برای عملکرد تحت شرایط غیر تنش است و سپس ژنوتیپ‌های انتخابی در محیط‌هایی با رخداد تصادفی تنش مورد ارزیابی قرار می‌گیرند (Magorokosho et al., 2003). این روش با این فرض همراه است که ژنوتیپ‌های امیدبخش و پر محصول ذرت دارای ژن‌های تحمل خشکی نیز می‌باشند هرچند ممکن است در پروسه غربالگری تنوع این مواد تاندازه‌ای کاهش یافته باشد. بنابراین انتخاب تحت شرایط نرمال باعث افزایش عملکرد ذرت تحت شرایط تنش خواهد شد (Russell, 1984). ریچاردز (Richards, 1966) گزارش نمود، انتخاب بر اساس عملکرد دانه در هر دو محیط دارای تنش و بدون تنش باعث انتخاب ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در شرایط تنش می‌گردد، چون پاسخ به انتخاب در شرایط بدون تنش به دلیل بالا بودن وراثت‌پذیری عملکرد در شرایط بدون تنش حداکثر است. استفاده از شاخص‌های تحمل خشکی که بر اساس عملکرد به‌دست آمده در دو محیط دارای تنش و بدون تنش محاسبه می‌شوند، می‌تواند نقش مؤثری در انتخاب ژنوتیپ‌های پرمحصول و متحمل به تنش خشکی داشته باشد. بدین منظور شاخص‌های تحمل خشکی متعددی همانند میانگین بهره‌وری^۱، شاخص تحمل^۲ و میانگین هارمونیک^۳ (Rosielle and Hamblin, 1981)، شاخص حساسیت به تنش^۴ (Fisher and Maurer, 1978)، شاخص تحمل به تنش^۵، میانگین هندسی^۶ (Fernandez, 1992) و شاخص

⁵ Stress Tolerance Index

⁶ Geometrical Mean Productivity

⁷ Yield Stability Index

¹ Mean Productivity

² Tolerance Index

³ Harmonic Mean

⁴ Stress Susceptibility Index

چوب‌بلال، عمق دانه، سطح برگ، قطر ساقه و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی یادداشت‌برداری به عمل آمد. به دلیل تعدد صفات اندازه‌گیری شده، در قسمت نتایج و بحث فقط به مهم‌ترین صفات و اجزای عملکرد دانه اشاره شده است. برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل خشکی شاخص‌های ذیل محاسبه شد:

شاخص تحمل (Rosielle and Hamblin, 1981):

$$TOL = Yp - Ys \quad [1]$$

که در آن Yp عملکرد ژنوتیپ در شرایط عادی و Ys عملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش است.

میانگین بهره‌وری (Rosielle and Hamblin, 1981):

$$Mp = (Yp + Ys) / 2 \quad [2]$$

میانگین هندسی (Fernandez, 1992):

$$GMP = \sqrt{Yp \times Ys} \quad [3]$$

میانگین هارمونیک (Rosielle and Hamblin, 1981):

$$HARM = \frac{2(Yp \times Ys)}{Yp + Ys} \quad [4]$$

شاخص تحمل تنش (Fernandez, 1992):

$$STI = (Yp \times Ys) / (\bar{Yp})^2 \quad [5]$$

شاخص حساسیت به تنش

$$SSI = 1 - (Ys / Yp) / D \quad [6]$$

که در آن D (شدت تنش) از رابطه $D = 1 - (\bar{Ys} / \bar{Yp})$ محاسبه می‌شود. \bar{Ys} و \bar{Yp} میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها به ترتیب در شرایط آبیاری و تنش است (Fisher and Maurer, 1978).

شاخص پایداری عملکرد (Bousslama and Schapaugh, 1984):

$$YSI = \frac{Ys}{Yp} \quad [7]$$

که در آن Yp عملکرد ژنوتیپ در شرایط عادی و Ys عملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش است

از نرم‌افزار SAS 9.1 برای تجزیه واریانس داده‌ها و از نرم‌افزارهای Minitab 16 و SPSS 16 برای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و رسم بای پلات استفاده شد.

ژنوتیپ‌هایی از ذرت که تحمل بیشتری به تنش در مراحل رشد رویشی و زایشی داشته باشند معرفی شوند.

مواد و روش‌ها

در مطالعه حاضر تحمل خشکی هشت هیبرید ذرت شامل سیمون، KSC 670، KSC 647، KSC 260، KSC 700، KSC 711، KSC 704 و KSC 400 در شرایط مزرعه‌ای در مزرعه آموزشی مرکز آموزش جهاد کشاورزی ماهیدشت کرمانشاه مورد ارزیابی قرار گرفت. این مرکز در ۲۰ کیلومتر جاده کرمانشاه به اسلام‌آباد واقع شده و مختصات جغرافیایی آن ۴۶ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۸۰ متر است. خاک آن دارای بافت سنگین تا خیلی سنگین و متوسط بارندگی ده ساله آن ۳۵۰ میلی‌متر می‌باشد. میانگین بارندگی در خرداد، تیر، مرداد و شهریورماه سال ۱۳۹۰ صفر بود و میانگین درجه‌حرارت در ماه‌های فوق به ترتیب ۲۴/۵، ۲۸/۸، ۲۹/۸ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد بود. هشت هیبرید ذرت فوق در سه آزمایش جداگانه در شرایط آبیاری نرمال، تنش خشکی در مرحله رشد رویشی و تنش خشکی در مرحله زایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. کاشت در تاریخ اوایل خردادماه در کرت‌هایی به عرض ۳ متر (چهار ردیف به فاصله ۷۵ سانتی‌متر) و طول ۴ متر، با دست انجام شد و در هر کپه سه عدد بذر کشت گردید و بلافاصله آبیاری به‌صورت بارانی کلاسیک صورت گرفت. فاصله بوته‌ها روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر تنظیم گردید. در مرحله چهار برگی، بوته‌های اضافی حذف و فقط یک بوته در هر کپه نگهداری شد. در آزمایش شرایط آبیاری نرمال، آبیاری بر اساس نیاز ظاهری گیاه به‌طور متوسط هر ۷ روز یک‌بار انجام شد. در تنش مرحله رویشی آبیاری از ابتدای مرحله رشد سریع گیاه (۶ برگی) به مدت ۲۱ روز متوقف گردید و بعدازاین مرحله آبیاری به‌صورت نرمال انجام پذیرفت. در آزمایش سوم (تنش مرحله زایشی) آبیاری از آغاز ظهور نوک گل تاجی به مدت ۲۱ روز قطع و بعداز آن آبیاری به‌صورت نرمال انجام گردید. در این آزمایش از صفات مهم زراعی شامل ارتفاع گیاه، تعداد بلال در هر بوته، طول بلال، قطر بلال، قطر چوب‌بلال، تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف، وزن صد دانه، عملکرد دانه بر اساس رطوبت ۱۴٪، وزن بلال، وزن

جدول ۱. نام و شجره هیبریدهای ذرت

شماره Number	نام Name	شجره Pedigree	شماره Number	نام Name	شجره Pedigree
1	Simon	PL62×PL97	5	Ksc700	K74×K18
2	KSC670	K3653/2×K19	6	KSC711	B73×L105
3	KSC647	B73×K1264/1	7	KSC260	K1264/5-2×K615
4	KSC704	B73×MO17	8	KSC400	KE72012/12×K1263

نتایج و بحث

عملکرد دانه معنی‌دار بود. میانگین صفات اندازه‌گیری شده (جدول‌های ۳ و ۴) نشان داد که تنش در مرحله رشد زایشی تأثیر به‌مراتب بیشتری بر صفات اندازه‌گیری شده نسبت به تنش در مرحله رشد رویشی داشته است. حساسیت ذرت به تنش در مرحله گلدهی (زایشی) در مقایسه با سایر گیاهان بیشتر است چراکه به دلیل فاصله زمانی بین ظهور اندام‌های نر و ماده در ذرت، گرده و ساختمان حساس مادگی در شرایط تنش خشکی در معرض خشک شدن قرار می‌گیرند (Banziger et al., 2000).

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر همه صفات اندازه‌گیری شده داشت. در مطالعه مصطفوی و همکاران (Mostafavi et al., 2013) نیز تأثیر تنش خشکی بر اجزای عملکرد دانه همانند تعداد ردیف در بلال، وزن ۱۰۰ دانه، تعداد دانه در ردیف بلال و طول بلال تأیید شد. هیبریدهای مورد ارزیابی از نظر همه صفات اندازه‌گیری شده دارای تفاوت معنی‌داری بودند و برهمکنش هیبریدها با شرایط تنش خشکی برای صفات ارتفاع بوته، طول بلال و

جدول ۲. تجزیه واریانس مرکب صفات زراعی اندازه‌گیری شده در هیبریدهای ذرت در شرایط نرمال و تنش خشکی.

Table 2. Combined analysis of variance for agronomic traits in maize hybrids under normal and drought stress

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات			
		ارتفاع بوته Plant height	طول بلال Ear Length	تعداد ردیف در بلال Rows per Ear	دانه در ردیف Seeds per Row
تنیمار خشکی Drought treatment (DT)	2	2532**	4.1*	28.9**	463.0**
تکرار داخل تیمار خشکی Rep (DT)	6	58	2.4	0.99	3.8
هیبرید Hybrid	7	2520**	13.1**	27.3**	40.18**
هیبرید×تیمار خشکی DT×Hybrid	14	344**	2.1*	0.5*	10.0 ^{ns}
اشتباه Error	42	123	.91	.7	5.7
C.V. %	درصد ضریب تغییرات	5.1	4.3	5.5	5.5

Table 2. Continued.

جدول ۲. ادامه

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات		
		رسیدگی فیزیولوژیکی Physiological maturity	وزن صد دانه 100- Seed Weight	عملکرد دانه Seed Yield
تیماز خشکی Drought treatment (DT)	2	682.8**	456.4**	86614518**
تکرار داخل تیمار خشکی Rep (DT)	6	6.7	3.1	1983915
هیبرید Hybrid	7	560.6**	114.7**	25924086**
هیبرید× تیمار خشکی DT×Hybrid	14	9.5 ^{ns}	3.6 ^{ns}	3043799*
اشتباه Error	42	7.3	4.2	1225302
C.V. %	درصد ضریب تغییرات	2.1	6.9	9.2

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

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively and ns: Not significant

عملکرد دانه بود. در مطالعه قاضیان تفریسی و همکاران (Ghazian Tafirishi et al., 2012) و سیدزوار و همکاران (Seyedzavar et al., 2014) نتایج مشابهی در خصوص کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت در اثر تنش خشکی ارائه گردید. با توجه به تأثیر مهم تعداد دانه بر عملکرد ذرت، یکی از اولویتهای ضروری در برنامه‌های به‌نژادی ذرت باید شناسایی مکانیسم‌های فیزیولوژیکی مرتبط با حفظ تعداد دانه در شرایط تنش خشکی باشد (O'Neill et al., 2004). در تأیید اهمیت تعداد دانه‌های تشکیل‌شده و تأثیر آن بر عملکرد، نتایج این مطالعه نیز نشان داد که کاهش تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف در بلال به‌شدت بر عملکرد دانه در شرایط تنش در مرحله رشد زایشی تأثیرگذار بوده است، به‌طوری‌که هیبریدهای سیمون و KSC670 که در اثر تنش خشکی به ترتیب با ۴۵ و ۳۶ درصد بیشترین درصد تغییرات را در اثر تنش خشکی داشتند، تعداد ردیف در بلال و تعداد دانه در ردیف این هیبریدها بیشتر از سایر هیبریدهای مورد بررسی کاهش یافت. میزان درصد تغییرات تعداد ردیف در بلال و تعداد دانه در ردیف برای هیبرید سیمون به ترتیب ۲۸ و ۲۳ درصد و برای هیبرید KSC670 به ترتیب ۲۶ و ۲۹ درصد بود درحالی‌که برای هیبرید KSC260 مقادیر فوق به ترتیب ۱۴ و ۱۱ درصد بود (جدول ۴). برای اصلاح عملکرد در شرایط تنش خشکی باید از صفاتی استفاده کرد که اندازه

مهم‌ترین اجزای عملکرد دانه همانند وزن صد دانه، تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف در بلال بیشترین کاهش را در اثر تنش خشکی داشتند و درواقع کاهش تجمعی این صفات باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در اثر تنش خشکی گردید. کاهش صفات فوق در شرایط ایجاد تنش در مرحله رشد زایشی به ترتیب ۲۵/۶، ۱۹/۱ و ۱۷/۶ درصد بود. اثر زیاد تنش خشکی در مرحله رشد زایشی ذرت به این موضوع برمی‌گردد که تعداد دانه‌های تشکیلی ذرت در زمان گلدهی تعیین می‌شوند. تنش خشکی باعث می‌شود که رشد بلال به‌آرامی صورت گیرد و دانه‌های گرده ذرت زمانی آماده‌گرده-افشانی هستند که هنوز تارهای ابریشمی آمادگی پذیرش دانه گرده را ندارند و این موضوع باعث کاهش تعداد دانه‌های تشکیل‌شده می‌شود و اگر تنش خشکی ادامه یابد پر شدن دانه‌ها و به عبارتی وزن دانه‌ها نیز تحت تأثیر تنش قرار می‌گیرند و به‌شدت کاهش می‌یابند (Edmeades, 2013).

در تطابق با نتایج سایر محققین، گلباشی و همکاران (Golbashi et al., 2010) گزارش دادند که در شرایط تنش خشکی درواقع اجزای عملکرد دانه هستند که در هیبریدهای حساس به خشکی تحت تأثیر قرار گرفته و تعیین‌کننده محدودیت‌های گیاه در تولید دانه هستند و بیشترین کاهش در شرایط تنش خشکی نسبت به شاهد مربوط به عملکرد دانه به میزان ۷۱- درصد بود که حاصل کاهش تجمعی اجزای

گیری آن‌ها ساده، ارزان، سریع و با وراثت‌پذیری بالا و پایدار باشد. تعداد دانه و وزن دانه ویژگی‌های فوق را برای افزایش عملکرد دانه ذرت در شرایط تنش خشکی دارا است (Barker et al., 2005).

جدول ۳. میانگین صفات موردبررسی و درصد تغییرات در شرایط تنش خشکی.

Table 3. Mean of traits and variation percent under drought stress.

Treatment	تیمار	میانگین صفات						
		ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant Height (cm)	طول بلال (سانتی‌متر) Ear Length (cm)	تعداد ردیف در بلال Rows per Ear	دانه در ردیف Seeds per Row	تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی Days to physiological maturity	وزن صد دانه (گرم) 100- Seed Weight (gr)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed Yield (kg ha ⁻¹)
Normal	نرمال	228	22.4	17	47	136	34.0	13795
Drought stress at vegetative stage	تنش در مرحله رشد رویشی	215	21.7	16	44	130	29.7	11916
Variation(%) compared to normal conditions	درصد تغییرات نسبت به شرایط نرمال	-5.3	-3.1	-5.9	-6.4	-4.1	-12.6	-13.7
Drought stress at Reproductive stage	تنش در مرحله رشد زایشی	207	22.5	14	38	125	25.3	9996
Variation (%) compared to normal conditions	درصد تغییرات نسبت به شرایط نرمال	-8.8	0.4	-17.6	-19.1	-7.8	-25.6	-28.7

صفات وزن ۱۰ بلال، وزن دانه در بلال و عملکرد دانه به ترتیب با ۶۵/۹، ۶۳/۹ و ۶۱/۲ درصد بود. در مطالعه ثقه‌الاسلامی و همکاران (Seghatoleslami et al., 2008) کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی به کاهش رشد دانه و طول دوره پر شدن دانه نسبت داده شد. فاصله بین عملکرد دانه تحت شرایط نرمال و تنش خشکی را می‌توان به میزان ۲۰ تا ۲۵ درصد با انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی کاهش داد بنابراین شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی می‌تواند تأثیر نسبتاً زیادی در کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی داشته باشد (Edmeades, 2006).

در بین صفات موردبررسی، عملکرد دانه بیشترین درصد تغییرات را در اثر تنش خشکی داشته است به طوری که در شرایط تنش در مراحل رشد رویشی و زایشی به ترتیب ۱۳/۷ و ۲۸/۷ درصد کاهش یافت. در مطالعه چوکان و همکاران (Choukan et al., 2006) نیز تنش خشکی در مراحل رشد رویشی و زایشی عملکرد دانه را به ترتیب به میزان ۴۸ و ۵۱ درصد کاهش داد. در مطالعه ربانی و امام (Rabbani and Emam, 2012) تنش خشکی در مرحله رشد رویشی اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه نداشت ولی در مراحل گلدهی و پر شدن دانه باعث کاهش به ترتیب ۲۹/۲ و ۱۸/۱ درصدی عملکرد گردید. در مطالعه مرادی و همکاران (Moradi et al., 2012) بیشترین کاهش در اثر تنش خشکی متعلق به

جدول ۴. میانگین صفات اندازه‌گیری شده در شرایط نرمال و تنش خشکی.

Table 4. Mean of recorded traits under normal and drought stress conditions.

هیبرید Hybrid	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant Height (cm)	طول بلال (سانتی‌متر) Ear Length (cm)	تعداد ردیف در بلال Rows per Ear	دانه در ردیف Seeds per Row	تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی Days to physiological maturity	وزن صد دانه (گرم) 100- Seed Weight (gr)	
Simon	244	24.5	16	48	136	41.4	
KSC670	240	22.7	18	44	139	31.1	
KSC647	219	20.8	19	48	138	30.0	
شرایط نرمال Normal Conditions	KSC704	239	23.1	18	50	141	33.3
	KSC700	241	23	18	47	143	40.8
	KSC711	251	23.5	17	45	144	33.4
	KSC260	217	20.6	18	48	119	29.8
	KSC400	174	21.2	14	47	126	32.5
	Simon	229	23.3	14	46	130	35.4
تنش در مرحله رشد رویشی Drought stress at vegetative stage	KSC670	210	22	16	41	133	28.0
	KSC647	218	21.4	18	47	132	25.3
	KSC704	226	22.8	15	45	134	29.8
	KSC700	216	21.3	18	41	136	33.4
	KSC711	233	22.6	17	42	135	30.3
	KSC260	203	19.9	17	46	114	26.5
	KSC400	184	20.7	13	45	128	28.8
Simon	221	21.6	13	34	126	31.0	
تنش در مرحله رشد زایشی Drought stress at Reproductive stage	KSC670	192	24.6	14	34	129	23.7
	KSC647	221	21.4	16	41	128	22.5
	KSC704	209	23.4	13	40	130	25.4
	KSC700	216	23.7	16	37	131	28.0
	KSC711	210	24	15	34	131	24.3
	KSC260	211	20.5	16	42	109	22.5
	KSC400	182	20.9	12	41	117	25.1

نتایج نشان داد که در شرایط نرمال هیبرید KSC260 (رقم فجر) (Dehghanpour et al., 2009) با ۱۵۴۲۱ کیلوگرم در هکتار دارای بیشترین عملکرد دانه بود (جدول- ۵ و ۶) و پس‌از آن هیبریدهای KSC400، KSC704 و KSC647 به ترتیب با ۱۴۱۸۹، ۱۴۱۶۷ و ۱۴۱۸۹ کیلوگرم در هکتار قرار داشتند. در شرایط تنش در مرحله رشد رویشی هیبریدهای KSC260، KSC400 و KSC647 به ترتیب با

۱۳۵۵۲، ۱۳۷۱۷ و ۱۳۷۱۷ کیلوگرم در هکتار دارای بیشترین عملکرد دانه بودند. در شرایط تنش در مرحله رشد زایشی KSC260، KSC647 و KSC704 به ترتیب با ۱۱۹۷۷، ۱۱۴۴۹ و ۱۰۴۷۹ کیلوگرم در هکتار دارای بیشترین عملکرد دانه بودند. عملکردهای فوق نشان می‌دهد که هیبریدهایی که دارای بیشترین عملکرد دانه در شرایط نرمال بوده‌اند معمولاً در شرایط تنش نیز در مقایسه با سایر

مرحله رشد رویشی هیبرید KSC260 با اختلاف نسبتاً زیادی در رتبه اول قرار گرفت و پس‌از آن هیبریدهای KSC704 و KSC647 قرار داشتند. در شرایط تنش در مرحله رشد زایشی از نظر شاخص‌های فوق پس از هیبرید KSC260، هیبریدهای KSC400، KSC647 و KSC704 تحمل خشکی از خود نشان دادند. در مطالعه طباطبایی و شاکری (Tabatabaei and Shakeri, 2016) بر اساس شاخص‌های MP، GMP و SSI هیبریدهای سینگل کراس KSC500، KSC647، KSC700 و KSC704 و بر اساس شاخص STI هیبرید KSC704 و بر اساس شاخص‌های SSI و TOL هیبریدهای KSC704 و KSC700 به‌عنوان ارقام متحمل خشکی گزارش شدند. در مطالعه چوکان و همکاران (Choukan et al., 2008) بر اساس شاخص‌های SSI و TOL هیبریدهای KSC700 و KSC720 به‌عنوان متحمل-ترین هیبریدها به تنش خشکی معرفی شدند.

هیبریدها عملکرد بیشتری داشته‌اند. به همین دلیل و همچنین وراثت‌پذیری پایین عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی، معمولاً در مراحل ابتدایی به‌نژادی برای تحمل به تنش خشکی، مواد و هیبریدهای مورد بررسی فقط در شرایط نرمال بررسی می‌شوند و سپس هیبریدهای انتخابی در شرایط تنش نیز مورد آزمون قرار می‌گیرند (Magorokosho et al., 2003).

به‌منظور مقایسه هیبریدها از نظر تحمل خشکی از شاخص‌های تحمل خشکی استفاده شد. از نظر شاخص‌های TOL، SSI و YSI که تقریباً ماهیت مشابهی دارند و بیانگر حساسیت به تنش خشکی هستند، در شرایط تنش در مرحله رشد رویشی هیبریدهای KSC647 و KSC400 حساسیت کمتری به تنش داشتند و در شرایط تنش در مرحله رشد زایشی هیبریدهای KSC260، KSC700 و KSC647 حساسیت کمتری نسبت به تنش خشکی داشتند. از نظر شاخص‌های GMP، STI، HM و MP در شرایط تنش در

جدول ۵. شاخص‌های تحمل خشکی محاسبه‌شده برای هیبریدهای ذرت در شرایط تنش خشکی در مرحله رشد رویشی.

Table 5. Drought resistance indices for maize hybrids under drought stress at vegetative stage.

هیبرید ذرت Maize Hybrid	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YSI
Simon	13991	11893	2098	12942	12899	12857	1.09	0.89	0.85
KSC670	13934	9599	4335	11766	11565	11367	2.26	0.72	0.69
KSC647	14167	13717	450	13942	13940	13938	0.23	1.04	0.97
KSC704	14892	11823	3069	13357	13269	13181	1.5	0.94	0.79
KSC700	10715	9477	1238	10096	10077	10058	0.84	0.54	0.88
KSC711	12057	10549	1508	11303	11278	11253	0.91	0.68	0.87
KSC260	15421	13552	1869	14486	14456	14426	0.88	1.12	0.88
KSC400	14189	13717	472	13953	13951	13949	0.24	1.04	0.97

جدول ۶. شاخص‌های تحمل خشکی محاسبه‌شده برای هیبریدهای ذرت در شرایط تنش خشکی در مرحله رشد زایشی.

Table 6. Drought resistance indices for maize hybrids under drought stress at reproductive stage

هیبرید ذرت Maize Hybrid	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YSI
Simon	13991	7747	6244	10869	10411	9972	1.56	0.58	0.55
KSC670	13934	8922	5012	11428	11150	10878	1.25	0.67	0.64
KSC647	14167	11449	2718	12808	12736	12664	0.67	0.87	0.81
KSC704	14892	10479	4413	12685	12492	12302	1.03	0.83	0.70
KSC700	10715	8604	2111	9659	9602	9544	0.69	0.49	0.80
KSC711	12057	9235	2822	10646	10552	10459	0.82	0.60	0.77
KSC260	15421	11977	2444	15199	15150	15101	0.78	0.99	0.78
KSC400	14189	9559	4630	11874	11646	11423	1.14	0.73	0.67

نرمال و تنش خشکی بودند (داده‌ها نشان داده نشده‌اند)، اما با توجه به اینکه شاخص‌های TOL و SSI بیانگر حساسیت به تنش خشکی هستند بنابراین تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس همه شاخص‌های تحمل خشکی انجام گرفت و نتایج نشان داد که دو مؤلفه اصلی اول در هر دو شرایط تنش در مجموع ۱۰۰ درصد تنوع داده‌ها را توجیه نمود (جدول ۷). در شرایط تنش در مرحله رشد رویشی مؤلفه اول و دوم به ترتیب ۷۰ و ۳۰ درصد و در شرایط تنش در مرحله رشد زایشی به ترتیب ۶۴ و ۳۶ درصد تنوع داده‌ها را توجیه نمودند (جدول ۷). در هر دو شرایط برای مؤلفه اصلی اول شاخص‌های میانگین عملکرد در شرایط تنش خشکی، STI، GMP، MP و HM دارای بیشترین ضرایب بودند و شاخص‌های SSI، TOL و YSI برای مؤلفه دوم دارای بیشترین ضرایب بودند. به نظر می‌رسد مؤلفه دوم بیشتر بیانگر حساسیت به تنش است و انتخاب بر اساس این مؤلفه منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که کاهش عملکرد کمتری در اثر تنش خشکی داشته باشند اما انتخاب بر اساس مؤلفه اول منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که از میانگین عملکرد بالایی در شرایط نرمال و تنش خشکی برخوردار باشند.

با توجه به عملکردهای به دست آمده، هیبرید KSC260 همواره در شرایط محیطی مختلف عملکرد مناسبی از خود نشان داده است. پایداری عملکرد هیبرید KSC260 قبلاً گزارش شده است (Dehghanpour et al., 2009). هرچند با توجه به شرایط محیطی مختلف نتایج مختلفی از میزان تحمل خشکی هیبریدهای ذرت گزارش شده است. این هیبرید از نظر اجزای عملکرد همانند تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف در بلال از وضعیت خوبی برخوردار بوده و افزایش تجمعی این اجزای عملکرد باعث شده که این هیبرید از عملکرد خوبی برخوردار باشد هرچند ویژگی جبرانی اجزای عملکرد سبب گردیده که این هیبرید از وزن صد دانه بالایی برخوردار نباشد. ویژگی بارزتر این هیبرید در مقایسه با سایر هیبریدهای مورد بررسی زودرسی آن است. زودرسی این هیبرید باعث می‌گردد که از آن برای شرایطی که کمبود آب وجود دارد استفاده شود و یا در سیستم‌های دو کشتی مورد استفاده قرار گیرد.

تجزیه همبستگی بین شاخص‌های تحمل خشکی نشان داد که همه شاخص‌های تحمل خشکی به استثنای TOL و SSI دارای همبستگی معنی‌داری با عملکرد دانه در شرایط

جدول ۷. مقادیر ویژه حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های تحمل خشکی.

Table 7. Eigen values derived from principal components for drought resistance indices.

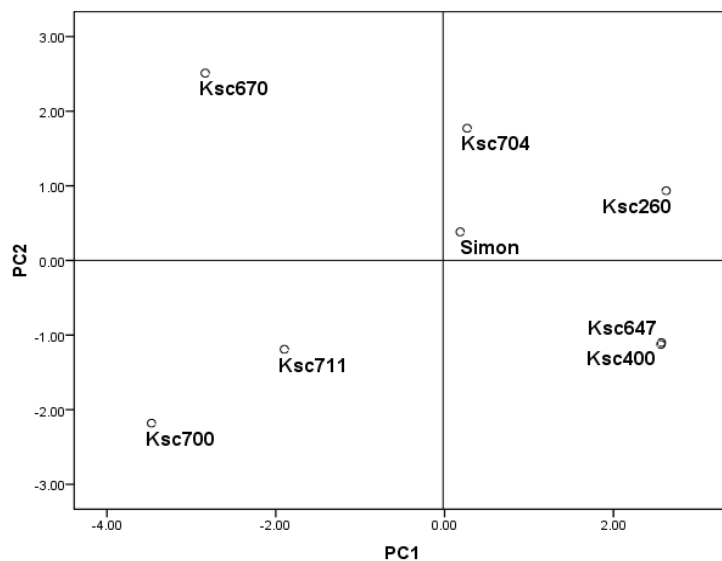
	تنش در مرحله رشد رویشی		تنش در مرحله رشد زایشی	
	Drought in vegetative stage		Drought in Reproductive stage	
	مؤلفه اول	مؤلفه دوم	مؤلفه اول	مؤلفه دوم
	First Component	Second Component	First Component	Second Component
مقادیر ویژه	6.3	2.7	5.7	3.2
Eigen Values				
سهم تجمعی	70	100	64	100
Cumulative Proportion				
Yp	0.30	0.40	0.31	0.38
Ys	0.4	-0.04	0.41	-0.12
TOL	-0.19	0.53	-0.08	0.54
MP	0.38	0.18	0.40	0.15
GMP	0.39	0.15	0.41	0.10
HM	0.39	0.13	0.41	0.05
SSI	-0.23	0.48	-0.18	0.50
STI	0.39	0.14	0.41	0.08
YSI	0.24	-0.48	0.18	-0.50

بلایی برخوردار بودند. در شرایط تنش در مرحله رشد زایشی هیبریدهای KSC704 و KSC400 در این منطقه قرار گرفتند. هیبرید KSC647 در هر دو شرایط تنش در منطقه B قرار گرفت و به عبارتی دارای پتانسیل عملکرد مناسب در

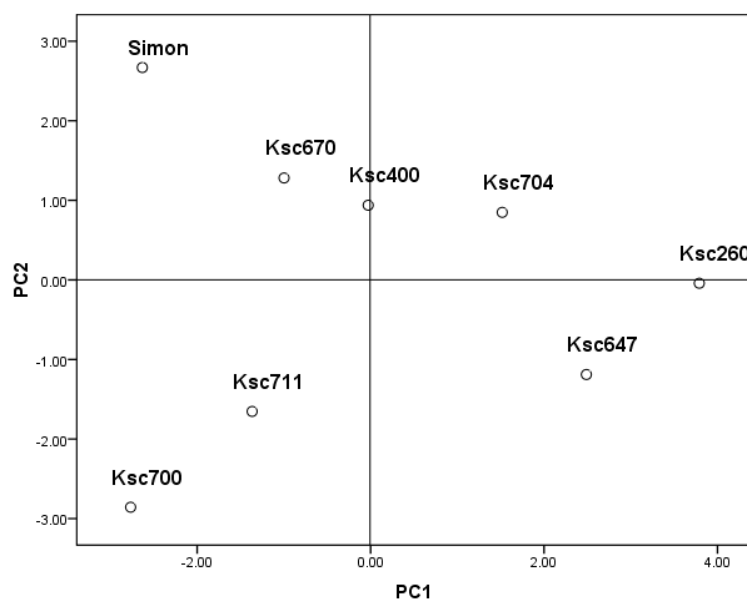
نمایش گرافیکی بای‌پلات نشان داد که در شرایط تنش در مرحله رشد رویشی هیبریدهای KSC704، KSC260 و Simon در منطقه A استقرار یافتند؛ بنابراین هیبریدهای یادشده در هر دو شرایط تنش و نرمال از میانگین عملکرد

شرایط نرمال کمتر است. البته در شرایط تنش در مرحله رشد زایشی هیبرید سیمون نیز در این منطقه قرار گرفت. در هر دو شرایط تنش هیبریدهای KSC711 و KSC700 در منطقه D قرار گرفتند. در این منطقه هیبریدهایی قرار می‌گیرند که عملکرد کمتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط تنش و نرمال داشته باشند (نمودارهای ۱ و ۲).

شرایط نرمال است؛ اما عملکرد آن در شرایط تنش کمتر از میانگین عملکرد هیبریدهای موردبررسی در شرایط تنش بود. در هر دو شرایط تنش هیبرید KSC670 در منطقه C از بای پلات قرار گرفت. هیبریدهایی در این منطقه قرار می‌گیرند که در شرایط تنش عملکرد نسبتاً خوبی دارند اما عملکرد آن‌ها از میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های موردبررسی در شرایط



شکل ۱. وضعیت قرار گرفتن هیبریدهای ذرت در بای پلات حاصل از شاخص‌های تحمل خشکی در تنش مرحله رشد رویشی
Fig 1. Maize hybrids situation in bi plots derived from drought tolerance indices under drought stress at vegetative stage.



شکل ۲. وضعیت قرار گرفتن هیبریدهای ذرت در بای پلات حاصل از شاخص‌های تحمل خشکی در تنش مرحله رشد زایشی
Fig 2. Maize hybrids situation in bi plots derived from drought tolerance indices under drought stress at reproductive stage.

مطالعه نشان داد که هیبرید KSC704 علی‌رغم دیررسی و همچنین قدیمی بودن آن، هنوز هم یکی از هیبریدهایی است که عملکرد نسبتاً خوب خود را در شرایط نرمال و تنش خشکی حفظ می‌نماید اما با توجه به دیررسی و تعداد دفعات آبیاری بیشتر نسبت به هیبریدهای زودرس توصیه می‌شود از این هیبرید در شرایطی استفاده شود که محدودیت منابع آبی وجود ندارد.

به‌طورکلی نتایج نشان داد که برای شرایطی که کمبود آب وجود دارد هیبرید KSC260 می‌تواند یک گزینه مناسب برای کشت باشد چراکه این هیبرید حدود ۳ هفته زودرس‌تر از هیبرید تجاری KSC704 است به‌طوری‌که تعداد روز تا رسیدگی این دو هیبرید در شرایط تنش خشکی در مرحله رشد زایشی به ترتیب ۱۰۹ و ۱۳۰ روز بود (جدول ۴) و این موضوع باعث کاهش تعداد دفعات آبیاری می‌شود. نتایج این

منابع

- Banziger, M., Edmeades, G.O., Lafitte, H.R., 2002. Physiological mechanisms contributing to the increased N stress tolerance of tropical maize selected for drought tolerance. *Field Crops Research*. 75, 223-233.
- Barker, T.C., Campos, H., Cooper, M., Dolan, D., Edmeades, G.O., Habben, J., Schussler, J., Wright, D., Zinselmeier, C., 2005. Improving drought tolerance in maize. *Plant Breeding Reviews*. 25, 173-253.
- Bousslama, M., Schapaugh, W. T., 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*. 24, 933-937.
- Chaudhary, H.K., Kaila, V., Rather, S.A., 2014. Maize. In: Pratap, A., Kumar, J., (eds), *Alien Gene Transfer in Crop Plants: Achievements and Impacts*, Springer, New York, USA.
- Choukan, R., Heidari, A., Mohammadi, A., Haddad, M.H., 2008. Evaluation of Drought Tolerance in Grain Maize Hybrids Using Drought Tolerance Indices. *Seed and Plant Improvement Journal*. 22(3), 543-562. [In Persian with English Summary].
- Choukan, R., Taherkhani, T., Ghannadha, M. R., Khodarahmi, M., 2006. Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 8(1), 79-89. [In Persian with English Summary].
- Claassen, M.M., Shaw, R.H., 1970. Water deficit effects on corn: Grain components. *Agronomy Journal*. 62, 652-655.
- Dehghanpour, Z., Sabzi, M.H., Mozayan, A., Hasanzadeh Moghaddam, H., Estakhr, A., Zamani, M., Sadeghi, F., Normohamadi, S., Mohseni, M., 2009. Fajr, A New Early Maturity Grain Maize Hybrid (KSC 260). *Seed and Plant Improvement Journal*. 25(2), 361-363. [In Persian with English Summary].
- Edmeades, G., 2013. Progress in Achieving and Delivering Drought Tolerance in Maize - An Update. Update, ISAAA: Ithaca, NY.
- Edmeades, G.O., Bolanos, J., Elings, A., Ribaut, J.M., Banziger, M., Westgate, M.E., 2000. The Role and regulation of the anthesis-silking interval in maize. In: Westgate, M.E., Boote, K.J., (eds.), *Physiology and modeling kernel set in maize*, Vol. 29, CSSA Special Publication, Wisconsin, 43-73.
- Edmeades, G.O., Bänziger, M., Campos, H., Schussler, J., 2006. Improving tolerance to abiotic stresses in staple crops: a random or planned process? p. 293-309. In: Lamkey, K.R., Lee, M., (eds.), *Plant breeding: the Arnel R. Hallauer International Symposium*. Blackwell Publishing, Ames, IA.
- Emam, Y., Niknejad, M., 2004. An Introduction to the Physiology of Crop Yield. Shiraz University Press. 571p. [In Persian].
- FAOSTAT., 2010. Statistical Database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO, Rome.
- FAOSTAT., 2014. Statistical Database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO, Rome.
- 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., Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*. 29, 897-912.
- Ghazian Tafreshi, Sh., Ayeneband, A., Tavakoli, H., Khavari Khorasani, S., Joleini, M., 2012.

- Investigating sweet corn (*Zea mays* L.) yield determining traits under normal irrigation and water deficit stress, using multivariate statistical methods. *Environmental stress in crop sciences*. 5 (1), 95-98. [In Persian with English Summary].
- Golbashy, M., Ebrahimi, M., Khavari Khorasani, S., Choukan, R., 2010. Comparison of commercial and new corn hybrids (*Zea mays* L.) under drought stress and normal irrigation conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 3(1), 47-57. [In Persian with English Summary].
- Grant, R.F., Jackson, B.S., Kiniry, J.R., Arkin, G.F., 1989. Water deficit timing Effects on yield components in maize. *Agronomy Journal*. 81, 61-65.
- O'Neill, P.M., Shanahan, J.F., Schepers, J.S., Caldwell, B., 2004. Agronomic responses of corn hybrids from different eras to deficit and adequate levels of water and nitrogen. *Agronomy Journal*. 96, 1660-1667.
- Magorokosho, C., Pixley, K.V., Tongoona, P., 2003. Selection for Drought Tolerance in two Tropical Maize Populations. *African Crop Science Journal*. 11, 151-161.
- Mostafavi, Kh., Firoozi, M., Mousavi, SMN., 2013. Effect of drought stress on yield and yield components of maize hybrids. *Scientific Research and Essays*. 8(24), 1145-1149.
- Rabbani, J., Emam, Y., 2012. Yield response of maize hybrids to drought Stress at Different growth stages. *Journal of Crop Production and Processing*. 1(2), 65-78. [In Persian with English Summary].
- Richards, R.A., 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought. *Plant Growth Regularity*. 157-166.
- Rosielli, A., Hamblin, J., 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*. 21, 493-501.
- Russell, W.A., 1984. Agronomic performance of maize cultivars representing different eras of breeding. *Maydica*. 29, 375-390.
- Sayadi Maazou, AD, Tu, J., Qiu, J., Liu, Z., 2016. Breeding for Drought Tolerance in Maize (*Zea mays* L.). *American Journal of Plant Sciences*. 7, 1858-1870
- Seghatoleslami, M.J., Kafi, M., Majidi, E., 2008. Effect of drought stress at different growth stages on yield and water use efficiency of five proso millet (*Panicum miliaceum* L.) genotypes. *Pakistan Journal of Botany*. 40(4), 1427- 1432.
- Seyedzavar, J., Norouzi, M., Aharizad, S., tahmasebpour, B., 2014. Evaluation of correlation among traits in corn hybrids under drought stress conditions. *International Journal of Farming and Allied Sciences*. 3(10), 1088-1091.
- Tabatabaei, S.A., Shakeri, E., 2016. Effect of drought stress on maize hybrids yield and determination of the best hybrid using drought tolerance indices. *Environmental stress in crop sciences*. 8(1), 121-125. [In Persian with English Summary].
- Von Braun, J., Byerlee, D., Chartres, C., Lumpkin, T., Olembo, N., Waage, J.J., 2010. A Draft Strategy and Results Framework for the CGIAR. World Bank, CGIAR, Washington DC, USA.