

Original article

Water stress tolerance of maize genotypes in temperate region of Yasouj

Sedighe Sedaghatipour¹, Reza Amiri Fahliani^{2*}, Asad Masoumiasl², Moslem Bahmankar³

1. MSc student, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran

2. Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran

3. Department of Seed and Plant Improvement Research, Safiabad Agricultural Research, Education and Natural Resources Center, AREEO, Dezful, Iran

Received 5 February 2024; Revised 30 March 2024; Accepted 5 April 2024

Extended abstract

Introduction

Maize (*Zea mays* L.) is considered a strategic and essential product for global food security and is used in human food and animal feed. Recent droughts and, in some cases, the ban on planting maize as a water-consuming crop have caused the yield and cultivated area of this valuable crop to decrease. Therefore, planning based on adaptation to drought is necessary for the sustainability of maize production. Water stress is one of the most critical environmental stresses in agriculture, so many efforts have been made to maintain plant yield under drought conditions. Water deficit stress negatively affects the growth and productivity of crop plants in various ways. Different crop plants have complex mechanisms that respond to water deficits. Drought resistance in these plants is influenced by several factors, including environmental humidity, the intensity of the stress, the phenological stage in which the stress occurs, and plant nutrition. The use of stress tolerance indices, which are calculated based on yield under stress and non-stress conditions, is effective in selecting high-yielding and stress-tolerant genotypes.

Materials and methods

The present experiment was carried out in the research farm of Yasouj University located in the Dashtrom region (51° E and 30° N, 1734 m altitude), Yasouj, Iran in 2023. To investigate the effect of drought stress on the yield and yield components of some maize hybrids to identify tolerant cultivars, the number of ten maize hybrids was evaluated in two separate experiments under normal and drought stress conditions in a randomized complete block design with three replications at the research farm of Yasouj University. The number of kernels per ear, the kernels per row, 200-kernel weight, grain yield, harvest index, stress susceptibility index (SSI), tolerance index (TOL), stress tolerance index (STI), geometrical mean productivity (GMP) and mean productivity (MP) were calculated. To check the homogeneity of variance in two experiments, Bartlett's test was performed for the evaluated traits. Analysis of variance based on combined analysis, mean comparison and principal components analysis was done using R software version 4.2.1, and some graphs were drawn using Excel software.

Results and discussion

The results of the combined analysis variance of the data showed that the interaction of Irrigation and genotype on the traits of kernel per ear, kernel per row, and 200-kernel weight was significant. In the

* Corresponding author: Reza Amiri Fahliani; E-Mail: amiri@yu.ac.ir



same way, the results showed that the main effects of irrigation and genotype on grain yield, biological yield, and harvest index were significant. The results of mean comparisons showed that yield and yield components in all the studied genotypes decreased under stress conditions. Moreover, slicing the interaction effect of genotype at two irrigation levels indicated that genotype 1 was superior in terms of the number of kernels per ear and the 200-kernel weight compared with other genotypes and had more grain yield and biological yield. The results of principal components analysis based on tolerance indices located the studied genotypes in four regions and the first and second two components explained about 100% of the data variation. Considering that genotypes 1, 3, and 400 are located in region A, and give higher grain yield and yield components, it is recommended to plant in the region under normal and stress conditions. In addition, if there are no limitations on water resources, hybrids 4 and 410 may also be suitable.

Conclusion

Considering that genotype 1 had higher grain yield and yield components, and its performance stability, based on the biplot graphic representation, it was located in region A along with 3 and 400 hybrids. Therefore, it is recommended for planting in the region under stress-free and stressful conditions. In addition, if there are no restrictions on water resources in the region, in addition to this hybrid, hybrid 4 as well as 410 could be recommended.

Keywords: Drought Tolerance Indices, Maize, Principal Components Analysis, Stress

تحمل به تنش آبی ژنوتیپ‌های ذرت در منطقه معتدله یاسوج

صدیقه صداقتی پور^۱، رضا امیری فلهلیانی^{۲*}، اسد معصومی اصل^۳، مسلم بهمن کار^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج
۲. دانشیار اصلاح نباتات، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج
۳. استادیار پژوهش بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: تجزیه به مولفه‌های اصلی تنش ذرت شاخص‌های تحمل خشکی	ذرت (<i>Zea mays</i> L.) یکی از محصولات راهبردی برای امنیت غذایی محسوب شده و برنامه‌ریزی جهت سازگاری با کم‌آبی برای پایداری تولید آن ضروری است. به منظور بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد برخی از ژنوتیپ‌های ذرت جهت شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل، تعداد ده ژنوتیپ شامل SC۲۰۱، SC۳۸۰، SC۴۰۰، SC۴۱۰، F۷۰۰ و P۶۰۰ و ژنوتیپ‌های امید بخش دزفول با کدهای ۱، ۳، ۴ و ۷ در دو آزمایش جداگانه تحت شرایط نرمال و تنش خشکی (تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه یاسوج، دشت‌روم، در بهار سال ۱۴۰۱ ارزیابی گردید. نتایج نشان داد میانگین عملکرد و اجزای عملکرد ذرت در همه ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش کاهش یافت. برش‌دهی اثر متقابل ژنوتیپ در رژیم آبیاری حاکی از آن بود که ژنوتیپ ۱ از نظر تعداد دانه روی بلال و وزن ۲۰۰ دانه در قیاس با سایر ژنوتیپ‌ها برتری داشته و عملکرد دانه و عملکرد زیستی بیشتری را به خود اختصاص داده است. نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی بر اساس شاخص‌های تحمل، ژنوتیپ‌های مورد مطالعه را در چهار دسته قرار داد و دو مولفه اول و دوم حدود ۱۰۰ درصد تنوع داده‌ها را تبیین نمود. با توجه به اینکه ژنوتیپ‌های ۱، ۳ و SC۴۰۰ در منطقه A واقع شد و همچنین عملکرد دانه و اجزای عملکرد بالاتری را به خود اختصاص داده بودند، بنابراین برای کاشت در منطقه در شرایط بدون تنش و یا تنش تا ۴۰٪ قابل توصیه است. همچنین در صورتی که محدودیت منابع آبی وجود نداشته باشد، ژنوتیپ‌های ۴ و SC۴۱۰ نیز مناسب کاشت در منطقه یا شرایط مشابه می‌باشند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۱۷ تاریخ انتشار: پائیز ۱۴۰۴ ۴۰۰-۳۸۵ (۳): ۱۸	

مقدمه

آینده تقاضا برای ذرت در کشورهای در حال توسعه دو برابر تقاضای فعلی خواهد بود (Rezaizad et al., 2017). تنش کم‌آبی از راه‌های مختلف بر رشد و بهره‌وری گیاهان زراعی تأثیر منفی می‌گذارد. گیاهان زراعی دارای سازوکارهای مختلف و اغلب پیچیده‌ای بوده که در برابر کمبود آب واکنش نشان می‌دهند. مقاومت به خشکی در گیاهان مختلف زراعی تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله رطوبت محیط، شدت تنش، مرحله فنولوژیکی بروز تنش و تغذیه گیاه قرار دارد (Noein et al., 2022, Afarinesh et al., 2016). خشکی نه تنها باعث کاهش عملکرد در مناطق خشک شده، بلکه در

ذرت (*Zea mays* L.) یکی از محصولات راهبردی و ضروری برای امنیت غذایی جهانی محسوب شده و در تغذیه انسان و دام کاربرد دارد. خشک‌سالی‌های اخیر و در مواردی ممنوعیت در کاشت ذرت به عنوان یک محصول آب‌بر باعث شده تا عملکرد و سطح زیر کشت این محصول با ارزش کاهش یابد. از این رو برنامه‌ریزی بر مبنای سازگاری با خشک‌سالی برای پایداری تولید ذرت ضروری است. سالانه حدود ۱۲ میلیون تن ذرت مورد نیاز صنایع مختلف ایران بوده در حالی که تولید داخلی کمتر از یک میلیون تن بوده و این مساله منجر به خروج ارز زیادی از کشور می‌شود. پیش‌بینی شده در طی ۳۰ سال

مطالعه خود بر روی ژنوتیپ‌های مختلف ذرت تحت تنش کم آبی با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به تنش از جمله شاخص تحمل خشکی (STI)، شاخص حساسیت (SSI)، شاخص تحمل (TOL)، میانگین بهره‌وری (MP) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) گزارش نمودند که این شاخص‌ها قادر به شناسایی ارقام متحمل نسبت به تنش می‌باشند و هیبرید ۷۰۴ یکی از هیبریدهایی است که در شرایطی که محدودیت منابع آبی نیست، قابل توصیه است (Rezaizad et al., 2017).

نظر به وقوع خشکسالی‌های اخیر و احتمال تداوم آن و همچنین کاهش منابع آبی، خطر آن وجود دارد که مزارع تحت کشت ذرت در طی رشد و نمو خود متحمل تنش کم‌آبی شوند؛ بنابراین در راستای پایداری عملکرد و کاهش افت آن، گزینش و معرفی ژنوتیپ‌های متحمل تنش ضروری است تا بتوان با معرفی این ژنوتیپ‌ها، افت عملکرد کمتری را در مزارع شاهد بود؛ بنابراین هدف از اجرای این تحقیق، شناسایی و معرفی ژنوتیپ‌های ذرت پر محصول و متحمل نسبت به تنش کم‌آبی بود.

مواد و روش‌ها

دو آزمایش جداگانه در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه یاسوج، دشت‌روم، با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی، در بهار ۱۴۰۱ اجرا گردید. آزمایشات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ده ژنوتیپ ذرت و در سه تکرار اجرا شد. نام ژنوتیپ‌های مورد استفاده و مشخصات آنها از نظر رسیدن فیزیولوژیک در جدول ۱ آمده است.

بیشینه دمای سالانه منطقه ۲۰/۳ درجه سانتی‌گراد و میانگین دمای سالانه آن ۱۲ درجه است. قبل از شروع تحقیق جهت اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش، نمونه‌برداری انجام شده و برای اندازه‌گیری به آزمایشگاه منتقل گردید و توصیه‌های کودی بر اساس آزمون خاک صورت پذیرفت. سولفات پتاسیم حدود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و کود سوپرفسفات تریپل (۴۶ درصد P_2O_5) نیز حدود ۲۱۵ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت مصرف شد. کود اوره به میزان ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار در سه نوبت قبل از کاشت، در مرحله ۸-۶ برگی و ظهور گل‌آذین نر استفاده شد. بافت خاک در هر دو آزمایش یکسان و از نوع خاک بافت سنگین تا نیمه سنگین بود (جدول ۲).

مناطق معتدل نیز تأثیرگذار است. در آب و هوای معتدل کمبودهای متوالی آب از عوامل اصلی محدودکننده رشد و عملکرد گیاه است (Haji Babaei and Azizi, 2012). کمبود آب با تأخیر در نمو گیاه و در نتیجه کاهش تقسیم و تولید شدن سلولی منجر به کاهش ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیک می‌گردد (Safian et al., 2022). درجه باز شدن روزنه‌ها و کاهش فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین بر اثر تنش خشکی، می‌تواند میزان تولید مواد پرورده را به میزان زیادی کاهش داده و از این راه به‌طور مستقیم موجب کاهش وزن دانه (ظرفیت مقصد فیزیولوژیک) شود (Hong and Ji-Yan, 2007, Liao et al., 2022, Payero et al., 2009). برخی پژوهشگران کاهش عملکرد دانه ذرت در اثر تنش خشکی را به کاهش کارایی فتوسنتز و کوتاه شدن طول دوره رشد نسبت داده‌اند (Afarinesh et al., 2016).

بهبود عملکرد در شرایط تنش خشکی یکی از مهم‌ترین اهداف به‌نژادی گیاهان می‌باشد. با توجه به اینکه تنش کم‌آبی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی در بخش کشاورزی است، تلاش‌های زیادی برای حفظ عملکرد گیاهان تحت شرایط خشکی صورت گرفته است. تولید و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش یکی از راه‌های مقابله با تنش خشکی است. محققان معتقدند گزینش بر مبنای عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش می‌شود (Khatibi et al., 2022). بکارگیری شاخص‌های تحمل تنش که بر مبنای عملکرد تحت شرایط تنش و بدون تنش محاسبه می‌شود در گزینش ژنوتیپ‌های پر محصول و متحمل به تنش موثر است. شاخص‌های متنوعی از جمله شاخص تحمل خشکی (STI)، شاخص حساسیت (SSI)، شاخص TOL، میانگین بهره‌وری (MP) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) توسط محققین مختلف، بکار گرفته شده که هر یک از شاخص‌ها دارای مزایا و معایبی می‌باشند (Rezaizad et al., 2017). در معرفی شاخص‌های تحمل به خشکی اظهار شده که هر چقدر عملکرد یک ژنوتیپ در محیط تنش‌دار (Ys) به عملکرد در شرایط نرمال (YP) نزدیک‌تر باشد، حساسیت رقم به خشکی کمتر بوده و متحمل‌تر است (Fernandez, 1993, Khatibi et al., 2022). در مطالعه‌ای بر روی هیبریدهای ذرت، بر اساس شاخص‌های حساسیت به تنش (SSI) و TOL ارقام SC704 و SC700 به‌عنوان ارقام متحمل به تنش معرفی شدند (Tabatabaei and Shakeri, 2015). محققان دیگری در

ژنوتیپ Genotype	روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی Days to physiological maturity	
	(شرایط تنش) (Stress)	(شرایط نرمال) (Normal)
Sc201	85	95
Sc380	85	95
Sc400	90	100
Sc410	90	100
Sc600	110	120
Sc700	125	135
Genotype1	125	135
Genotype3	125	135
Genotype4	130	140
Genotype7	130	140

آزمایش اول در شرایط بدون تنش (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و آزمایش دوم در شرایط تنش (تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی) (با توجه به اطلاعات حاصل از تشتک تبخیر کلاس A) اجرا شد. اولین آبیاری در تمامی آزمایشات بلافاصله بعد از کاشت صورت گرفت و آبیاری تمام کرت‌های آزمایشی تا مرحله ۴ تا ۶ برگی با توجه به عرف منطقه انجام شد

جدول ۱. ژنوتیپ‌های ذرت مورد استفاده و ویژگی روز تا رسیدگی فیزیولوژیک در آنها

Table1. The studied maize genotypes and related trait of days to physiological maturity

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 2. Physical and chemical properties of experimental field soil

بافت خاک soil texture	هدایت الکتریکی EC	ماده آلی Organic matter	نیتروژن کل Total nitrogen	فسفر قابل جذب P	پتاسیم قابل جذب K	آهن قابل جذب Fe	روی قابل جذب Zn
pH	dS.m ⁻¹	%			ppm		
CL	7.58	0.77	0.53	0.05	1.8	189	1.89

مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع (به روش تشتک تبخیر کلاس A) (Zareabyaneh et al., 2011) از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$ET_0 = E_{pan} \times K_p \quad [3]$$

که در آن E_{pan} تبخیر از تشتک تبخیر (mm.d^{-1}) و K_p ضریب تشتک (بدون واحد) می‌باشد. ضریب تشتک از رابطه زیر محاسبه شد (Snyder, 1992).

$$K_p = 0.482 + 0.024 \ln(F) - 0.000376U + 0.0045RH \quad [4]$$

که در آن U میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (km/day)، RH میانگین روزانه رطوبت نسبی بر حسب درصد، F فاصله تشتک از پوشش گیاهی (m) می‌باشد.

تیمارها در هر آزمایش شامل ده ژنوتیپ ذرت به نام‌های SC201، SC380، SC400، SC410، SC600، SC700 و P600 و ژنوتیپ‌های امید بخش دزفول با کدهای ۱، ۳، ۴ و ۷ بودند. عملیات خاک‌ورزی اولیه شامل شخم، دیسک و آماده‌سازی بستر کشت در فروردین ۱۴۰۱ انجام شد. در اوایل خرداد با توجه به وضعیت آب و هوایی منطقه مبادرت به اجرای آزمایش گردید. زمین به صورت جوی و پشته آماده شد. برای این منظور کرت‌هایی با ابعاد ۴×۳ متر و هرکرت شامل ۵ پشته ۳ متری به فاصله ۶۵ سانتی‌متر، فاصله بین کرت‌ها در هر بلوک یک ردیف نکاشت و فاصله بین بلوک‌ها نیز ۱/۵ متر

در مرحله‌ی ۴ تا ۶ برگی گیاهان و پس از تنک کردن، تیمارهای تنش شامل بدون تنش (تأمین ۱۰۰ درصد آب مورد نیاز) و تنش (تأمین ۶۰ درصد آب مورد نیاز) اجرا شد. جهت تعیین مقدار آب لازم برای آبیاری از رابطه زیر استفاده شد.

$$In = ((ET_c / 1000) \times A) / IE \quad [1]$$

که در این رابطه In مقدار آب آبیاری مورد نیاز (m^3)، ET_c مجموع مقدار تبخیر و تعرق (میلی‌متر در روز) برای دوره هفت روزه، A مساحت هر آزمایش ($360 m^2$)، IE راندمان آبیاری (آبیاری قطره‌ای ۹۰ درصد) می‌باشد. جهت محاسبه‌ی مجموع مقدار تبخیر و تعرق (میلی‌متر در روز) نیز از رابطه زیر استفاده گردید (Allen et al., 1998).

$$ET_c = \sum_1^7 ET_0 \times K_c \quad [2]$$

که در آن ET_c مجموع مقدار تبخیر و تعرق (میلی‌متر در روز) برای دوره هفت روزه در گیاه ذرت، ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm d^{-1}) و K_c مقدار ضریب گیاهی ذرت می‌باشد که در مراحل رشد ابتدایی (از تاریخ جوانه‌زدن بذر تا ۱۰ درصد رشد گیاه)، مرحله‌ی میانی (از آغاز گلدهی تا رسیدن محصول) و مرحله‌ی انتهایی (از انتهای مرحله‌ی میانی تا برداشت محصول) به ترتیب برابر با ۰/۵۰، ۱/۲۲ و ۰/۸۹ می‌باشد (Bafkar et al., 2013).

و میانگین بهره‌وری (Rosielle and Hamblin, 1981)

$$MP = (Yp + Ys) / 2 \quad [9]$$

در این فرمول‌ها Ypi عملکرد ژنوتیپ i ام در شرایط بدون تنش، Ysi عملکرد ژنوتیپ i ام در شرایط تنش، $\bar{Y}_S$ متوسط عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش، $\bar{Y}_p$ متوسط عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش است. کمترین مقدار SSI متناظر با بیشترین تحمل خشکی است.

به منظور بررسی همگنی واریانس‌ها در دو آزمایش، آزمون بارتلت برای صفات اندازه‌گیری شده انجام شد. در صورت معنی‌دار نبودن آزمون بارتلت، تجزیه واریانس بر اساس تجزیه مرکب (رژیم‌های آبیاری به عنوان عامل محیط)، انجام گرفت. تمامی تجزیه‌ها از جمله آزمون بارتلت، تجزیه واریانس، مقایسه میانگین‌ها، تجزیه همبستگی و تجزیه به مولفه‌های اصلی با استفاده از نرم افزار R و همچنین رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel و یا نرم‌افزار R صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه مرکب واریانس نشان داد که برهم‌کنش رژیم آبیاری و ژنوتیپ بر صفت تعداد دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف و وزن ۲۰۰ دانه معنی‌دار گردید. اثرات اصلی رژیم آبیاری و ژنوتیپ نیز بر روی عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۳). قابل ذکر است در مطالعه حاضر برش‌دهی تجزیه واریانس اثر ژنوتیپ در هر سطح رژیم آبیاری بر خصوصیات زراعی که اثر متقابل رژیم آبیاری و ژنوتیپ بر روی آن معنی‌دار بوده صورت پذیرفت (جدول ۴).

تعداد دانه در بلال

نتایج مقایسه میانگین حاصل از برش‌دهی اثر متقابل ژنوتیپ در آبیاری حاکی از آن بود که در شرایط بدون تنش، ژنوتیپ ۱ از بیشترین تعداد دانه روی بلال (۷۲۲ عدد) و ژنوتیپ ۳۸۰ از کمترین تعداد دانه در بلال (۳۳۳ عدد) برخوردار بود و با ژنوتیپ‌های ۷ و ۲۰۱ در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۱- a). در سطح تنش خشکی نیز ژنوتیپ ۱ از بیشترین تعداد دانه در بلال برخوردار بود که با ژنوتیپ ۳۸۰ که از کمترین تعداد دانه روی بلال برخوردار بودند اختلاف معنی‌داری نشان داد (شکل ۱- a). قابل ذکر است ژنوتیپ امید بخش دزفول شماره ۱ نسبت به سایر ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این

در نظر گرفته شد. سپس بذره‌های ذرت تهیه شده از بخش ذرت و گیاهان علوفه‌ای موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد دزفول با قارچ‌کش متالاکسیل-مانکوزب به نسبت یک در هزار ضدعفونی شد و با فاصله حدود ۲۰ سانتی‌متر روی ردیف‌های کاشت و در عمق ۳ تا ۴ سانتی‌متری در نیمه اول خردادماه با دست کشت گردید. اولین آبیاری در هر دو آزمایش بلافاصله بعد از کاشت صورت گرفت و آبیاری تمام کرت‌های آزمایشی تا مرحله ۴ تا ۵ برگ با توجه به عرف منطقه انجام گرفت. وجین علف‌های هرز با دست صورت پذیرفت. عمل تنک کردن در مرحله ۵-۴ برگ انجام شد. پس از تنک کردن و زمانی که گیاهان به مرحله‌ی ۴ تا ۶ برگ رسیدند، شرایط تنش و بدون تنش اعمال شد. جهت آبیاری مزرعه، سیستم آبیاری قطره‌ای مورد استفاده قرار گرفت.

تعداد دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف، وزن ۲۰۰ دانه، عملکرد دانه در هکتار، شاخص برداشت و شاخص‌های حساسیت (SSI)، تحمل (TOL)، تحمل تنش (STI)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) و میانگین بهره‌وری (MP) (Rezaizad et al., 2017) مورد ارزیابی قرار گرفتند. میانگین تعداد دانه در بلال در پنج بوته تصادفی پس از برداشت شمارش و برای هر کرت ثبت شد. تعداد دانه در ردیف در پنج بوته تصادفی اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها برای هر کرت ثبت گردید. وزن ۲۰۰ دانه برای هر کرت اندازه‌گیری و ثبت گردید. عملکرد دانه هر کرت در رطوبت ۱۴ درصد و بر اساس آن عملکرد دانه در هکتار محاسبه گردید.

شاخص برداشت نیز از نسبت عملکرد اقتصادی (عملکرد بذری) به عملکرد زیستی (مجموع وزن خشک کل اندام‌های هوایی گیاه) محاسبه گردید. برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های برتر، از شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی و عملکرد دانه استفاده می‌گردد.

شاخص حساسیت به تنش (Fischer and Maurer, 1978)

$$SSI = (1 - Ysi / Ypi) / (1 - (Ys / Yp)) \quad [5]$$

شاخص تحمل (Rosielle and Hamblin, 1981)

$$TOL = Yp - YS \quad [6]$$

شاخص تحمل تنش (Fernandez, 1993)

$$STI = (Yp \times Ys) / (Yp)^2 \quad [7]$$

میانگین هندسی بهره‌وری (Fernandez, 1993)

$$GMP = \sqrt{(Yp) \times (Ys)} \quad [8]$$

مطالعه از جمله زودرس‌ترها که شامل ۴ و ۷ تفاوت معنی‌داری داشت که ممکن است بتوان گفت این ژنوتیپ از پتانسیل بیشتری از نظر ژنتیکی در این مورد برخوردار است (شکل ۱- a).

جدول ۳. نتایج تجزیه مرکب واریانس رژیم آبیاری (محیط) و ژنوتیپ بر برخی خصوصیات زراعی گیاه ذرت

Table 3. The results of combined analysis of variance of the irrigation regimes (environment) and genotype on some agronomic characteristics of maize plant

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	شاخص برداشت Harvest Index	عملکرد زیستی Biological Yield	عملکرد دانه Kernel Yield	وزن ۲۰۰ دانه 200-Kernel weight	دانه در ردیف Kernel per row	دانه در بلال Kernel on ear
Irrigation (I)	آبیاری	1	156.65**	325584850**	48928784**	129.06**	197.3**	19770**
Error a	تکرار در آبیاری خطا a	4	5.27	3390415	694286	30.41	1.97	1653
Genotypes (G)	ژنوتیپ	9	102.19**	167842164**	27999723**	96.95**	43.25**	2785**
I×G	آبیاری×ژنوتیپ	9	10.13 ^{ns}	1774855 ^{ns}	155657 ^{ns}	2.8**	8.54**	294**
Error b	خطای b	36	25.61	2555590	350427	6.28	2.08	309
CV(%)	ضریب تغییرات		3.24	9.41	6.89	6.68	5.11	6.6

ns و ** به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

** significant at 1% probability level, and ns: Not significant

جدول ۴. برش دهی تجزیه واریانس برهمکنش ژنوتیپ در رژیم آبیاری، در هر سطح آبیاری برای برخی خصوصیات زراعی

Table 4. Slicing the analysis of variance of Irrigation × Genotype (I×G) interaction for each level of Irrigation for some agricultural characteristics

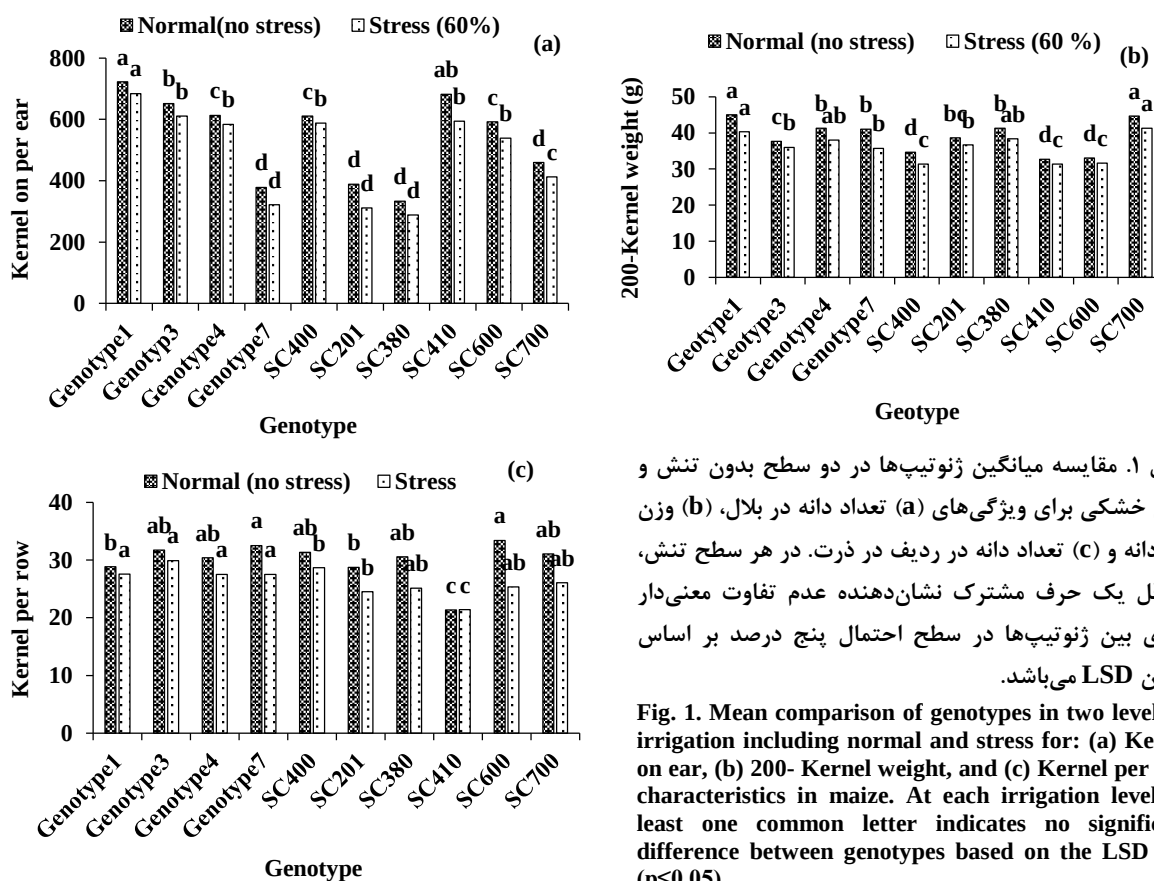
آبیاری Irrigation	درجه آزادی df	وزن ۲۰۰ دانه 200-kernel weight	دانه در ردیف Kernel per row	دانه در بلال Kernel on ear
بدون تنش Normal	9	39.83**	34.13**	9419**
تنش Stress	9	59.93**	17.65**	5634**

** معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

** Significant at the 1% probability levels

(al., 2014). کمبود آب از طریق کاهش دسترسی بلال به مواد پرورده باعث کاهش میزان تشکیل دانه می‌شود (Moharramnejad et al., 2016). همانطور که در شکل ۱- a مشاهده می‌شود، تنش خشکی نسبت به شرایط نرمال آبیاری، موجب کاهش تعداد دانه در همه ژنوتیپ‌ها شده است.

محققان بر این باورند که تعداد دانه در بلال در اثر کاهش سطح آبیاری به دلیل نقصان در باروری و عدم تشکیل سلول تخم کاهش می‌یابد. در واقع تنش آب در زمان ظهور کاکل می‌تواند به خروج کلانه‌ها از غلاف بلال صدمه وارد کند و باعث خشکی آن‌ها شده و در نهایت تعداد بذر تشکیل‌شده در بلال را کاهش دهد (Shiri et al., 2016, Afarinesh et al., 2016).



شکل ۱. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در دو سطح بدون تنش و تنش خشکی برای ویژگی‌های (a) تعداد دانه در بلال، (b) وزن ۲۰۰ دانه و (c) تعداد دانه در ردیف در ذرت. در هر سطح تنش، حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار آماری بین ژنوتیپ‌ها در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

Fig. 1. Mean comparison of genotypes in two levels of irrigation including normal and stress for: (a) Kernel on ear, (b) 200- Kernel weight, and (c) Kernel per row characteristics in maize. At each irrigation level, at least one common letter indicates no significant difference between genotypes based on the LSD test ($p \leq 0.05$).

وزن ۲۰۰ دانه

نتایج مقایسه میانگین حاصل از برش‌دهی اثر متقابل ژنوتیپ در دو سطح تنش و بدون تنش، حاکی از آن بود که در شرایط بدون تنش بیشترین وزن ۲۰۰ دانه با میانگین ۴۵ گرم مربوط به ژنوتیپ ۱ بود که به همراه ژنوتیپ FV۰۰ در یک گروه آماری واقع شد و کم‌ترین وزن ۲۰۰ دانه با میانگین ۳۲/۶۶ گرم مربوط به ژنوتیپ SC۴۱۰ بود که با ژنوتیپ‌های SC۴۰۰ و P۶۰۰ اختلاف معنی‌داری نشان نداد (شکل ۱-ب). در سطح تنش خشکی، ژنوتیپ FV۰۰ با میانگین ۴۱/۳۳ گرم از بیشترین وزن ۲۰۰ دانه برخوردار بوده و کمترین میزان نیز مربوط به ژنوتیپ‌های SC۴۰۰، SC۴۱۰ و P۶۰۰ بودند (شکل ۱-ب). در سطح تنش، کاهش وزن ۲۰۰ دانه نسبت به شرایط بدون تنش مشاهده شده است که دور از انتظار نبود. محققان معتقدند تنش خشکی با تحت تأثیر قرار دادن درجه باز شدن روزنه‌ها و کاهش فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین، می‌تواند میزان تولید مواد پرورده را به طور موثری کاهش داده و از این راه به طور مستقیم موجب کاهش وزن هر دانه (ظرفیت مقصد فیزیولوژیک) شود (Hong and Ji-Yan, ۲۰۰۸).

(2007; Nasrollahzade et al., 2018). کاهش فتوسنتز

جاری گیاه، کاهش میزان مواد پرورده و در نتیجه چروکیدگی دانه‌های ذرت تحت شرایط تنش، از دلایل کاهش وزن دانه گزارش شده است (Kojic et al., 2012). برخی دیگر از محققان کاهش وزن دانه را به کوتاه شدن دوره پر شدن دانه در اثر زودرسی تحمیل شده به گیاه تحت شرایط تنش خشکی نسبت داده‌اند (Sanders and Shaw, 2014). ژنوتیپ‌های با وزن دانه بالا دارای پتانسیل عملکرد دانه و شاخص برداشت بیشتری می‌باشند. برهم‌کنش ژنوتیپ‌ها در تیمارهای تنش خشکی نشان داد که ژنوتیپ ۱ در تیمارهای تنش بعد از ظهور مرحله گلدهی و پر شدن دانه کمتر از بقیه ژنوتیپ‌ها متأثر از اثرات منفی تنش قرار گرفته و دارای بیشترین وزن ۲۰۰ دانه بوده است (شکل ۱-ب). بنابراین، در مطالعه حاضر بر اساس وزن دانه به نظر می‌رسد ژنوتیپ ۱ از جمله ژنوتیپ‌هایی باشد که از پتانسیل عملکرد مطلوبی برخوردار باشد.

تعداد دانه در ردیف

نتایج مقایسه میانگین حاصل از برش‌دهی اثر متقابل ژنوتیپ در آبیاری، حاکی از آن بود که در شرایط بدون تنش، بیشترین تعداد دانه در ردیف (۳۳/۴۰ عدد) و کم‌ترین آن (۲۱/۴۰ عدد) به ترتیب در ژنوتیپ‌های ۶۰۰ و ۴۱۰ مشاهده شد. در سطح تنش خشکی، نیز بیشترین تعداد دانه در ردیف مربوط به ژنوتیپ ۳ (۲۹/۹۳ عدد) و کمترین آن (۲۱/۳۳ عدد) مربوط به ژنوتیپ SC۴۱۰ بود (شکل ۱- c). محققان دلیل کاهش تعداد دانه در ردیف تحت شرایط تنش کم‌آبی را به تأخیر در ظهور کاکل‌ها نسبت داده‌اند. آن‌ها معتقدند که تحت شرایط تنش کم‌آبی، کاکل‌ها وقتی ظاهر می‌شوند که گرده‌افشانی انجام گرفته و گرده زنده‌ای برای تلقیح گل‌های ماده وجود ندارد. لذا اکثر تخمک‌ها تلقیح نشده باقی مانده و در نتیجه تعداد دانه در هر ردیف کاهش می‌یابد (Shiri et al., 2016, Afarinesh et al., 2014). فاصله بین ظهور گل‌آذین نر و ماده در ذرت معمولاً دو تا سه روز است، ولی تحت شرایط تنش این فاصله افزایش یافته و اکثر تخمک‌ها تلقیح نشده باقی مانده که باعث کاهش تعداد دانه در بلال و کاهش عملکرد می‌شود (Sheoran et al., 2022)، لذا توصیه بر این است تحت شرایط تنش خشکی ژنوتیپ‌هایی به کار گرفته شود که فاصله بین ظهور گل‌آذین نر و ماده در آنها کوتاه باشد. با اعمال رژیم‌های مختلف آبیاری بر هیبریدهای ذرت نیز گزارش شده‌است که کم‌آبی باعث کاهش تعداد دانه در ردیف شده است (Rabbani and Emam, 2011).

عملکرد دانه

طبق نتایج تجزیه مرکب واریانس، اثر اصلی ژنوتیپ و آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد معنی‌دار گردید ولی برهم‌کنش آن‌ها معنی‌دار نشد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر رژیم آبیاری نشان داد با افزایش تنش وارده، از عملکرد دانه کاسته شد به‌طوری که تنش خشکی موجب کاهش ۲۳/۵۳ درصدی عملکرد دانه نسبت به سطح بدون تنش گردید (شکل ۲). مقایسه میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نشان داد که بطور کلی ژنوتیپ ۱ با میانگین ۱۱۶۸۶/۹ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را نشان داد و به همراه ژنوتیپ‌های ۴ و SC۴۱۰ در یک گروه آماری واقع شدند و کمترین میزان عملکرد دانه نیز مربوط به ژنوتیپ SC۲۰۱ با میانگین ۵۶۱۵ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۲). پژوهشگران کاهش عملکرد دانه ذرت در اثر تنش خشکی را

به کاهش کارایی فتوسنتز و کوتاه شدن طول دوره رشد نسبت داده‌اند (Kojic et al., 2012). محققان بر این باورند که عمده‌ی وزن دانه از فتوسنتز گیاه پس از گلدهی تأمین می‌شود. بنابراین، در مدیریت مزرعه هرچه طول دوره سبزمانی برگ‌ها زیاده‌تر شود، هیدرات کربن بیشتری به دانه منتقل و وزن دانه بیشتر خواهد شد (Mohammadi, Behmadi and Armin, 2017). تنش خشکی با کاستن از طول دوره سبزمانی برگ در مراحل پایانی رشد و تحمیل زودرسی به گیاه، موجب افت شدید تولید مواد پرورده توسط اندام‌های فتوسنتزکننده می‌شود (Nasrollahzade et al., 2018). کاهش عملکرد دانه در اثر تنش کم‌آبی توسط دیگر محققین نیز گزارش شده است (Shakeri, 2015). در مطالعه حاضر، به نظر می‌رسد ژنوتیپ‌های ۱، ۴ و SC۴۱۰ دارای عملکرد بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها باشند. علت اصلی کاهش عملکرد دانه تحت تنش خشکی در مطالعه حاضر، کاهش تعداد دانه در بلال و وزن ۲۰۰ دانه بوده است.

عملکرد زیستی

بر اساس نتایج بدست آمده از تجزیه واریانس، اثر اصلی ژنوتیپ و آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد زیستی معنی‌دار شد، ولی برهم‌کنش آن‌ها معنی‌دار نگردید (جدول ۳). نتیجه مقایسه میانگین اثر اصلی آبیاری نشان داد با اعمال تنش، از عملکرد زیستی ژنوتیپ‌های ذرت به میزان ۳۱/۷۹ درصد نسبت به شرایط بدون تنش کاسته شد (شکل ۲). مقایسه میانگین عملکرد زیستی ژنوتیپ‌های ذرت نشان داد که ژنوتیپ ۱ با میانگین ۲۵۷۵۳/۴ کیلوگرم در هکتار از بیشترین و ژنوتیپ SC۲۰۱ با میانگین ۱۱۰۳/۰۸ کیلوگرم در هکتار از کم‌ترین عملکرد زیستی برخوردار بود که با ژنوتیپ‌های SC۳۸۰ و ۷ اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۳). افزایش عملکرد زیستی ذرت در آبیاری مطلوب، به دلیل گسترش بیشتر و طول دوره سبزمانی زیاده‌تر برگ‌ها بوده که منجر به ایجاد مبدأ فیزیولوژیک بزرگتری می‌گردد و تنش خشکی تأثیر منفی بر این فرآیند داشته و باعث کاهش عملکرد زیستی می‌شود (Tabatabaei and Shakeri, 2015). محققان بر این باورند که تنش‌های شدید باعث کاهش بارز سطح برگ ذرت شده و توسعه اندام‌های گیاه را به تأخیر می‌اندازد. کاهش در اندازه گیاه منجر به کم شدن تولید مواد پرورده در زمان نمو بلال می‌شود. از این رو، تولید

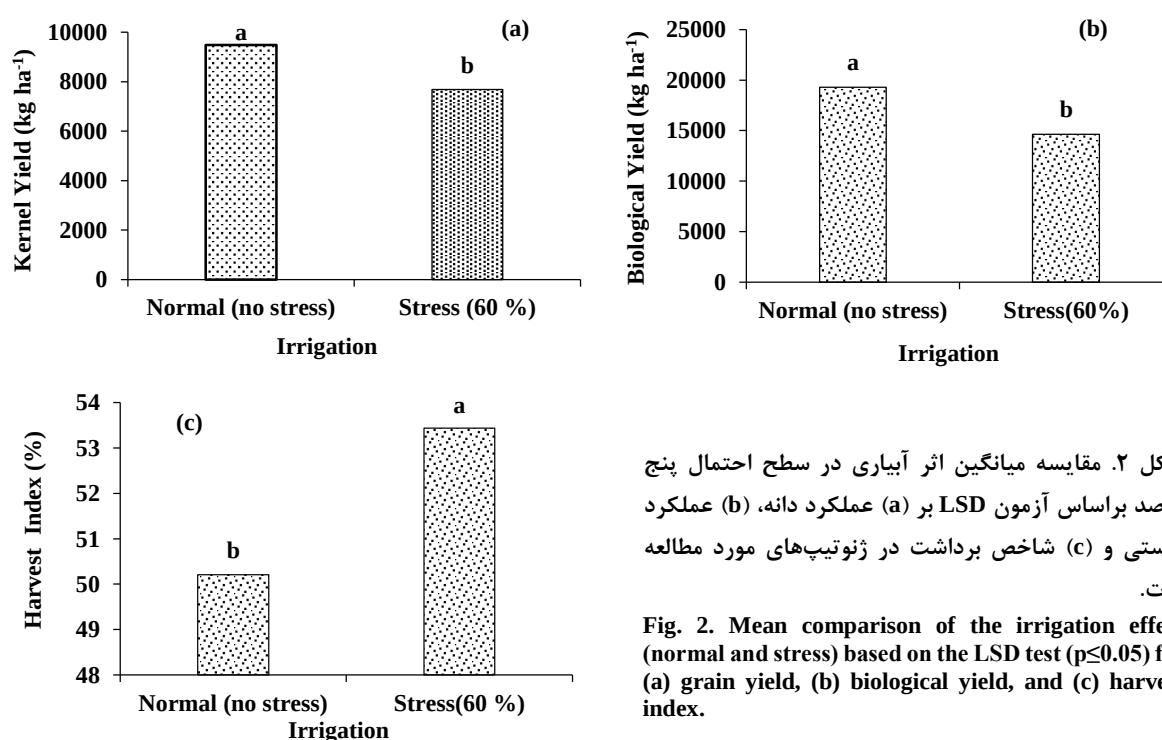
کمترین میزان آن در ژنوتیپ ۱ با میانگین ۴۴/۹۹ درصد مشاهده شد (شکل ۳).

از آنجا که یکی از اجزای محاسبه شاخص برداشت، عملکرد دانه است، تغییرات شاخص برداشت وابستگی زیادی به تغییرات عملکرد دانه دارد. لیکن، بر اساس معادله شاخص برداشت چون تنش خشکی در طی رشد رویشی اثر منفی موثری بر عملکرد زیستی داشته، در حالی که تأثیر آن بر عملکرد دانه تا حدی کمتر بوده، لذا شاخص برداشت در این شرایط افزایش نشان داده است. در صورت تداوم تنش خشکی در طی گلدهی ذرت، شاخص برداشت کاهش جدی یافته که پژوهشگران علت آن را حساسیت گیاه به تنش خشکی در مرحله بحرانی گلدهی می‌دانند (Bafkar et al., 2013). در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، ژنوتیپ SC۲۰۱ بیشترین شاخص برداشت را به خود اختصاص داد (شکل ۳). حساسیت کمتر این ژنوتیپ نسبت به تنش خشکی و همچنین زودرس بودن آن را می‌تواند از دلایلی برشمرد که منجر به شاخص برداشت بیشتر در این ژنوتیپ شده است. همچنین رشد کمتر شاخساره، تعرق کمتر و استفاده بهتر از آب از جمله عواملی هست که باعث ارتقاء شاخص برداشت می‌شود (Bafkar et al., 2013). ژنوتیپ‌های دارای شاخص برداشت بیشتر، به

ماده خشک در گیاه به اندازه سطح فتوسنتزکننده آن وابسته است (Rabbani and Emam, 2011). با بررسی شش هیبرید ذرت گزارش شد که قطع آبیاری در مرحله رویشی باعث کاهش عملکرد زیستی می‌شود (Tabatabaei and Shakeri, 2015). برخی دیگر از پژوهشگران چنین گزارش کرده‌اند که تنش زود هنگام (در مرحله رویشی) از طریق کاهش سطح فتوسنتزکننده اثر غیرمستقیمی بر عملکرد زیستی ذرت می‌گذارد (Haji Babaei and Azizi, 2012).

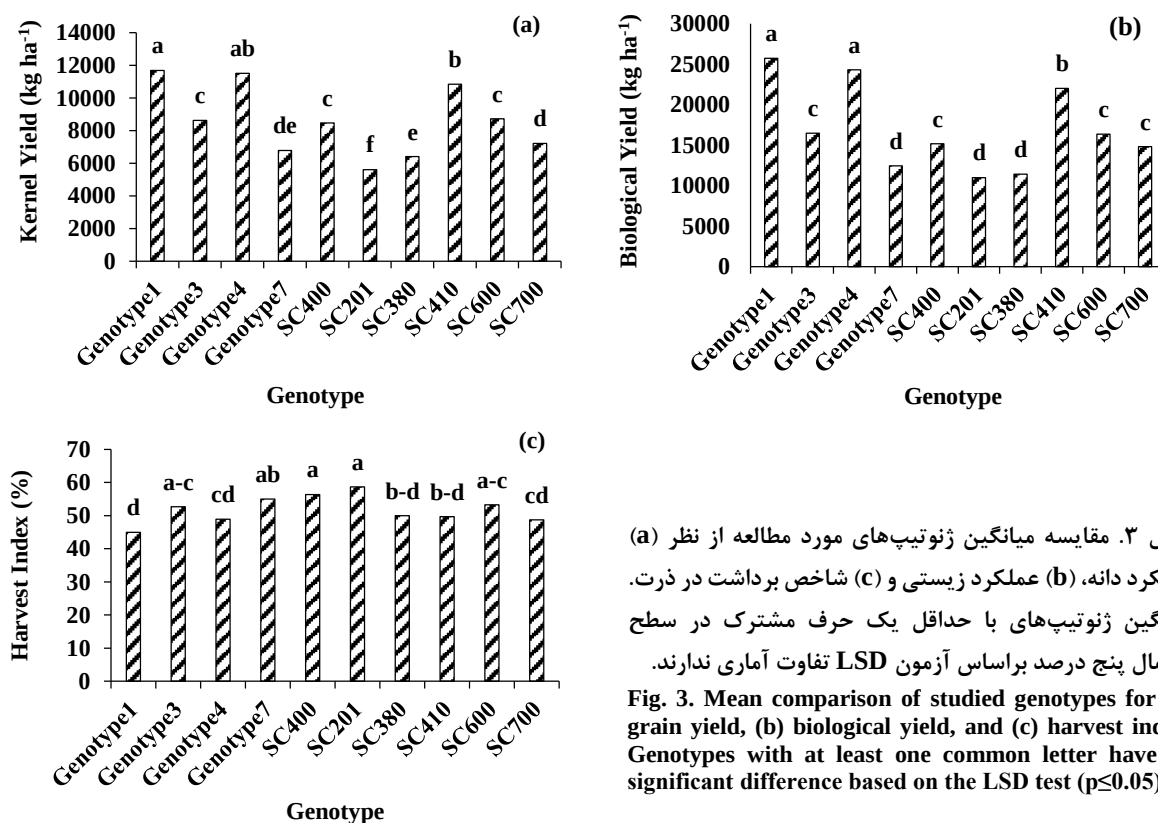
شاخص برداشت

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی ژنوتیپ و آبیاری بر شاخص برداشت معنی‌دار شد. این در حالی است که برهم‌کنش آن‌ها معنی‌دار نگردید (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین سطوح تنش نشان داد با اعمال تنش افزایش ۶/۰۴ درصدی در شاخص برداشت نسبت به سطح بدون تنش مشاهده شد (شکل ۲). مقایسه میانگین شاخص برداشت در بین ژنوتیپ‌های ذرت نیز حاکی از آن بود که بیشترین میزان این شاخص در ژنوتیپ SC۲۰۱ با میانگین ۵۸/۶۳ درصد و



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر آبیاری در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون LSD بر (a) عملکرد دانه، (b) عملکرد زیستی و (c) شاخص برداشت در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه ذرت.

Fig. 2. Mean comparison of the irrigation effect (normal and stress) based on the LSD test ($p \leq 0.05$) for (a) grain yield, (b) biological yield, and (c) harvest index.



شکل ۳. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر (a) عملکرد دانه، (b) عملکرد زیستی و (c) شاخص برداشت در ذرت. میانگین ژنوتیپ‌های با حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون LSD تفاوت آماری ندارند.

Fig. 3. Mean comparison of studied genotypes for (a) grain yield, (b) biological yield, and (c) harvest index. Genotypes with at least one common letter have no significant difference based on the LSD test ($p \leq 0.05$).

خود اختصاص داده بودند (جدول ۵). از آنجایی که ژنوتیپ ۱ هم از نظر شاخص‌های TOL و SSI و هم از نظر شاخص‌های STI، MP و GMP مقادیر مطلوب را به خود اختصاص داده بود، لذا می‌توان این ژنوتیپ را یکی از ژنوتیپ‌های مناسب با عملکرد پایدار در شرایط تنش معرفی نمود. بر اساس نتایج حاصل از یک پژوهش، مقدار شاخص تحمل تنش (STI) خشکی برای سینگل کراس‌های ۷۰۴، KLM و ۷۰۰ به ترتیب ۱/۰۱، ۰/۷۰ و ۰/۵۰ بودند. بر این اساس، سینگل کراس‌های ۷۰۴، KLM و ۷۰۰ به ترتیب جزء ارقام متحمل، نیمه متحمل و حساس به تنش خشکی شناسایی شدند (Nasrollahzade et al., 2018). همچنین گزارش شده که بر اساس شاخص‌های TOL و SSI هیبریدهای KSC260 و KSC704، حساسیت کمتری به تنش خشکی داشته و متحمل بودند (Rezaizad et al., 2017). محققان بر این باورند که با توجه به شرایط محیطی متفاوت، نتایج مختلفی از میزان تحمل خشکی هیبریدهای ذرت گزارش شده است (Rezaizad et al., 2017). محققان در مطالعه‌ای بر روی ۸۶ هیبرید مختلف ذرت تحت شرایط تنش خشکی و نرمال گزارش نمودند که هیبریدهای مورد مطالعه از نظر عملکرد

دلیل تسهیم بیشتر مواد پرورده به سود دانه‌ها برای مناطقی که خطر بروز تنش کم‌آبی وجود دارد، مطلوب‌اند. شناخت عوامل محیطی از جمله تنش کم‌آبی یک عامل مهم در موفقیت کشت گیاهان زراعی بوده و در این بین شناسایی راهکارهایی که بتوانند مقاومت گیاه نسبت به تنش را افزایش داده و اثرات مطلوبی بر شاخص‌های مورفولوژی گیاه داشته باشند ضروری است (Bafkar et al., 2013, Noein et al., 2022). با توجه به این اینکه هدف از کشت ذرت افزایش عملکرد دانه آن می‌باشد، بنابراین می‌توان با کاربرد ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی عملکرد بلال را افزایش داد. به‌طور کلی در مطالعه حاضر، ژنوتیپ‌های ۱ و ۴ نسبت به سایر ژنوتیپ‌های مورد بررسی از بیشترین عملکرد دانه و عملکرد زیستی در هر دو حالت بدون تنش و تنش برخوردار بودند.

شاخص‌های تحمل تنش خشکی

با توجه به ماهیت مشابه شاخص‌های TOL و SSI نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱، ۳ و SC۴۰۰ حساسیت کمتری به تنش دارند. همچنین از نظر شاخص STI، MP و GMP ژنوتیپ‌های ۴، ۱ و SC۴۱۰ به ترتیب بیشترین مقدار را به

دانه تفاوت معنی‌داری داشته و شاخص‌های تحمل تنش (STI) و میانگین هارمونیک را می‌توان برای شناسایی هیبریدهای ذرت با عملکرد دانه بالا تحت هر دو شرایط استفاده نمود (Santos et al., 2020). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که ژنوتیپ ۱ نیز از نظر اجزای عملکرد دانه از جمله تعداد دانه در بلال، وزن ۲۰۰ دانه، تعداد دانه در ردیف و همچنین عملکرد دانه نیز از وضعیت خوبی برخوردار بوده

است. از ویژگی بارز این ژنوتیپ می‌توان به تعداد دانه و همچنین وزن دانه بالا اشاره نمود که باید گفت این ژنوتیپ از جمله ژنوتیپ متحمل بوده که فاصله زمانی بین ظهور گل آذین نر و ظهور کاکل در آن تحت شرایط تنش کمتر تحت تأثیر قرار گرفته و این ویژگی از عمده عواملی است که باعث تشکیل تعداد دانه بالا در این ژنوتیپ و افزایش عملکرد آن شده است.

جدول ۵. شاخص‌های تحمل به تنش برای ژنوتیپ‌های ذرت

Table 5. Stress tolerance indices for maize genotypes

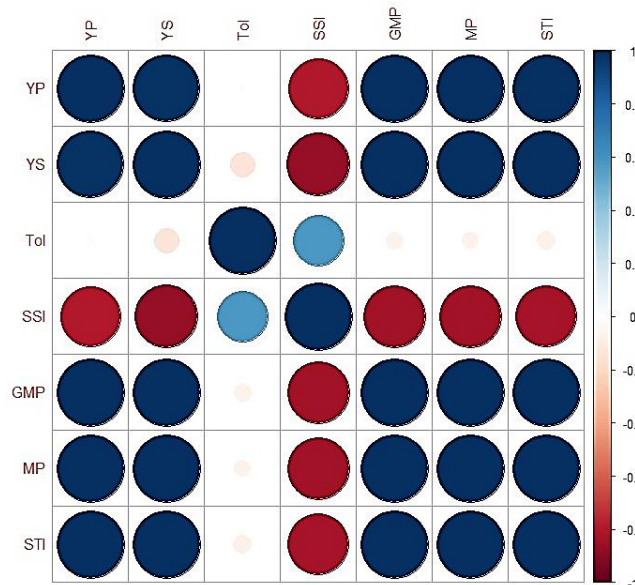
شاخص تحمل	شاخص حساسیت به تنش (SSI)	میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)	میانگین بهره‌وری (MP)	شاخص تحمل تنش (STI)	عملکرد در شرایط نرمال (Y _P)	عملکرد در شرایط تنش (Y _S)	ژنوتیپ
(TOL)							Genotypes
1256.47	0.54	11490.17	11507.3	1.46	12135.6	10879.1	ژنوتیپ ۱
1551.5	0.87	8584.97	8619.95	0.82	9395.7	7844.2	ژنوتیپ ۳
2044.2	0.84	11642.12	11686.9	1.5	12709	10664.8	ژنوتیپ ۴
1571.4	1.09	6740.56	6786.3	0.504	7571.9	6000.5	ژنوتیپ ۷
1543.6	0.88	8438.3	8473.5	0.79	9245.3	7701.7	SC400
2150.8	1.51	6311.03	6402	0.44	7477.3	5326.6	SC201
1656.6	1.36	5552.9	5615	0.34	6447.8	4782.2	SC380
2124.3	0.94	10797.95	10850.05	1.3	11912.3	9787.9	SC410
2064.6	1.11	8657.6	8718.9	0.83	9751.2	7686.6	SC600
2088.4	1.33	7147.5	7223.4	0.56	8267.6	6179.2	SC700

تجزیه همبستگی بین شاخص‌های تحمل به تنش حاکی از آن بود که به جز شاخص‌های TOL و SSI، دیگر شاخص‌ها دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش آبی و بدون تنش بوده است (شکل ۴). نتایج حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی بر اساس شاخص‌های تحمل نیز نشان داد که مولفه اول حدود ۷۵ درصد و مولفه دوم حدود ۲۵ درصد تنوع داده‌ها را به خود اختصاص داده و در مجموع این دو مولفه حدود ۱۰۰ درصد تغییرات داده‌ها را توجیه نموده است (شکل ۵). محققان دیگری نیز در مطالعه خود از تجزیه به مولفه‌های اصلی بر مبنای شاخص‌های تحمل به تنش استفاده و گزارش نمودند دو مولفه اول حدود ۱۰۰ درصد تنوع داده‌ها را تبیین نمود (Rezaizad et al., 2017). در مطالعه حاضر، شاخص‌های تحمل به تنش STI، MP و GMP در مولفه اصلی اول دارای بیشترین ضرایب بوده و لذا می‌توان نام این مولفه را شاخص تحمل به تنش نامید. گزینش بر اساس این مولفه منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که

از میانگین عملکرد بالایی در هر دو شرایط تنش و بدون تنش برخوردار باشند. همچنین در مولفه دوم شاخص‌های TOL و SSI دارای بیشترین ضرایب بودند، با توجه به ماهیت این شاخص‌ها می‌توان نام این مولفه را حساسیت به تنش تعیین نمود و گزینش بر اساس آن منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی شده که افت عملکرد کمتری در مقابله با تنش داشته باشند. نمایش گرافیکی بای پلات حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که ژنوتیپ‌هایی ۱، ۳ و SC۴۰۰ در منطقه A واقع شدند، بنابراین می‌توان گفت ژنوتیپ‌های مذکور از عملکرد دانه بالایی تحت هر دو شرایط برخوردار می‌باشند (شکل ۶). ژنوتیپ‌هایی ۴ و SC۴۱۰ در منطقه B نمودار بای پلات واقع شدند و دارای عملکرد مناسب در شرایط بدون تنش می‌باشند و برای مناطقی که تنش آبی وجود نداشته باشد، برای دستیابی به عملکرد بالا قابل توصیه است. ژنوتیپ‌هایی P۶۰۰، F۷۰۰ و SC۲۰۱ در منطقه D نمودار بای پلات واقع شدند (شکل ۶). معمولاً در این منطقه ژنوتیپ‌هایی قرار

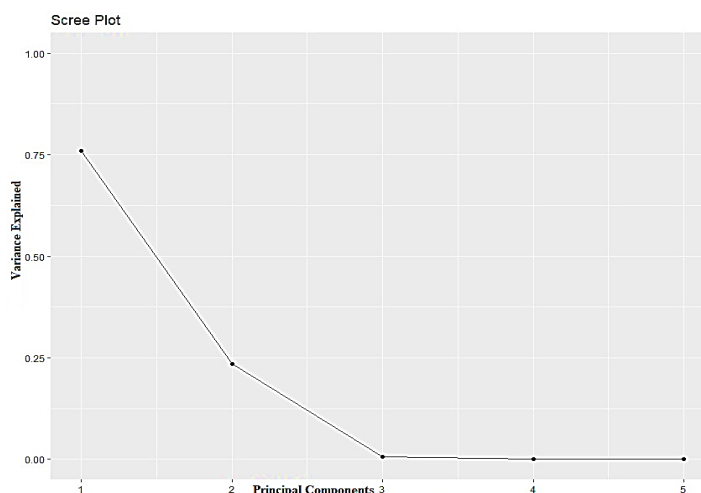
خود را تحت شرایط تنش و بدون تنش حفظ نمود و بنابراین برای کاشت در منطقه، در شرایط بدون تنش و تنش قابل توصیه است. همچنین در صورتی که محدودیت منابع آبی در منطقه وجود نداشته باشد، علاوه بر ژنوتیپ ۱، ژنوتیپ‌هایی ۴ و ۱۰ SC قابل توصیه است.

می‌گیرند که عملکرد کمتری در هر دو شرایط داشته باشند. به طور کلی نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که ژنوتیپ امید بخش ۱ برای شرایطی که کمبود آب وجود داشته باشد ژنوتیپ مناسبی نسبت به ژنوتیپ‌های رایج در منطقه یاسوج بوده و افت عملکرد کمتری دارد. این ژنوتیپ عملکرد مناسب



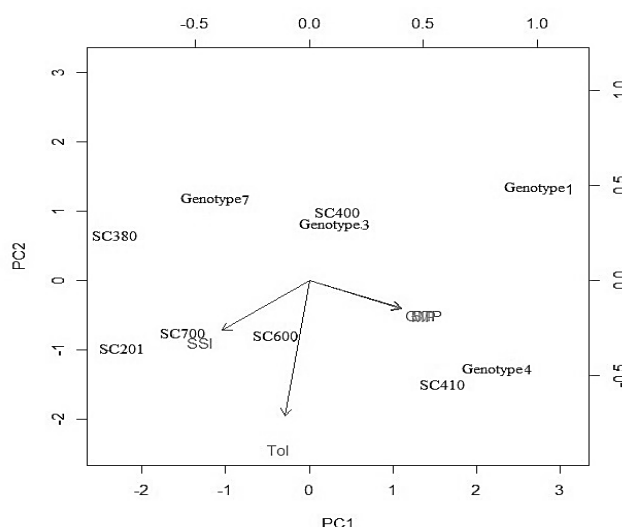
شکل ۴. نمودار دمايي حاصل از همبستگي بين شاخص‌هاي تحمل و عملکرد دانه در شرايط نرمال و تنش. ديسک‌هاي آبي نشان دهنده همبستگي مثبت بين شاخص‌ها با مقدار +۱ است. ديسک‌هاي قرمز نشان دهنده همبستگي منفي بين جفت شاخص‌ها با مقدار -۱ است.

Fig. 4. The heat map of correlation between tolerance indices and grain yield in normal and stress conditions. Blue discs represent the positive correlation between the indices, with the value of +1. Red discs represent the negative correlation between the indices, with the value of -1.



شکل ۵. نمودار درصد واریانس توجیهی مولفه‌های شناسایی شده حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی

Fig. 5. The percentage of explained variance by identified components resulted from principal components analysis



شکل ۶. موقعیت ژنوتیپ‌های مورد مطالعه ذرت در نمودار بای پلات حاصل از شاخص‌های تحمل خشکی
Fig. 6. The position of the studied maize genotypes in the biplot diagram resulting from the drought tolerance indices

نتیجه‌گیری نهایی

ژنوتیپ‌هایی می‌شود که از میانگین عملکرد بالایی در هر دو شرایط تنش و بدون تنش برخوردار باشند. با توجه اینکه ژنوتیپ ۱ عملکرد دانه و اجزای عملکرد بالاتری را به خود اختصاص داده است و همچنین نظر به پایداری عملکرد آن، بر اساس نمایش گرافیکی بای پلات و واقع شدن در منطقه A به همراه ژنوتیپ ۳ و SC۴۰۰، بنابراین برای کاشت در منطقه محل اجرا و مناطق مشابه در شرایط بدون تنش و تنش تا ۴۰ درصد (تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی) قابل توصیه است. همچنین در صورتی که محدودیت منابع آبی در منطقه وجود نداشته باشد، علاوه بر آن، ژنوتیپ‌هایی ۴ و SC۴۱۰ قابل توصیه می‌باشد.

به طور کلی نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که ژنوتیپ امیدبخش ۱ که از جمله ژنوتیپ‌های دیررس این مطالعه بوده، علاوه بر تعداد دانه در بلال، وزن ۲۰۰ دانه، تعداد دانه در ردیف و از نظر عملکرد دانه نیز از وضعیت خوبی برخوردار بود. نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی بر اساس شاخص‌های تحمل، ژنوتیپ‌های مورد مطالعه را در چهار منطقه گروه‌بندی نمود. نتایج نشان داد دو مولفه اول و دوم حدود ۱۰۰ درصد تنوع داده‌ها را تبیین نمود. بر اساس ضرایب بالاتر شاخص‌های STI، MP و GMP در مولفه اول، نام شاخص تحمل به تنش برای آن تعیین شد و گزینش بر اساس آن منجر به انتخاب

منابع

- Afarinesh A, Fathi G, Chugan R, Syadat S A, Alamisaide G, Ashrafizadeh S R., 2016. Effect of drought stress on physiological traits of maize (*Zea mays* L.) hybrids. Journal of Crop Production and Processing. 5, 195-205 [In Persian with English Summary] <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.5.1.8.195>
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO Publication, 327p.
- Bafkar, A., Farhadi Bansouleh, B., Karimi, A., 2013. Estimation of crop coefficients (KC) of grain corn s.c. 704 using the physiological properties (case study: Kermanshah-Mahidsht). Water and Soil. 27, 832-838. [In Persian with English Summary] <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.28205>
- Fernandez, G.C., 1993. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceedings of the Symposium of AVRDC, 13-16 Aug. Taiwan.
- Fischer, R.A., Maurer, R., 1978. Drought tolerance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of

- Agricultural Research. 29, 897-912. <https://doi.org/10.1071/AR9780897>
- Haji Babaei, M., Azizi, F., 2012. Response of new silage maize hybrids to drought stress using drought tolerance indices. Agroecology Journal. 8, 23-32 [In Persian with English Summary]. <https://www.magiran.com/p1071341>
- Hong, W. and Ji-Yan, J., 2007. Effects of zinc deficiency and drought stress on plant growth and metabolism of reactive oxygen species in maize (*Zea mays* L.). Agricultural Sciences in China. 6, 988-995. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(07\)60138-2](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(07)60138-2)
- Khatibi, A., Omrani, S., Omrani, A., Shojaei, S. H., Mousavi, S.M.N., Illés, Á., ... Nagy, J., 2022. Response of maize hybrids in drought-stress using drought tolerance indices. Water, 14, 1012. <https://doi.org/10.3390/w14071012>
- Kojic, D., S. Pajevic, A. Jovanovic-Galovic, J. Purac, E. Pamer, S. Skondric, S. Milovac, Z. Popovic, G. Grubor-Lajsic., 2012. Efficacy of natural aluminosilicates in moderating drought effects on the morphological and physiological parameters of maize plants (*Zea mays* L.). Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 113-123. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162012000100010>
- Liao, Q., Ding, R., Du, T., Kang, S., Tong, L., Li, S., 2022. Stomatal conductance drives variations of yield and water use of maize under water and nitrogen stress. Agricultural Water Management, 268, 107651. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107651>
- Mohammadi Behmadi, M., Armin, M., 2017. Effect of drought stress on yield and yield components of different corn cultivars in delayed planting conditions. Applied Research of Plant Ecophysiology. 4, 17-34 [In Persian with English Summary] <http://arpe.gonbad.ac.ir/article-1-243-en.html>
- Moharramnejad, S., Sofalian, O., Valizadeh, M., Asgari, A., Shiri, M.R., 2016. Response of antioxidant defense system to osmotic stress in maize seedlings. Fresenius Environmental Bulletin. 25, 805-811. https://www.prt-parlar.de/download_list/?c=FEB_2016#
- Nasrollahzade, V., Yusefi, M., Ghosemi, A., Bandehhagh, A., 2018. Grain yield, yield components and relative water content in maize (*Zea mays* L.) Under water deficit stress and two mycorrhizal fungi. Journal of Agricultural Science and sustainable production. 77, 81-92. [In Persian with English Summary] https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_6974.html?lang=en
- Noein, B., Soleymani, A., 2022. Corn (*Zea mays* L.) Physiology and yield affected by plant growth regulators under drought stress. Journal of Plant Growth Regulation. 41, 672-681. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10332-3>
- Payero, J.O., Tarkalson, D.D., Irmak, S., Davison, D., Petersen, J.L., 2009. Effect of timing of a deficit-irrigation allocation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency and dry mass. Agricultural Water Management 96, 1387-1397. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.022>
- Rabbani, J., Emam, Y., 2011. Yield response of maize hybrids to drought stress at different growth stages. Journal of Crop Production and Processing; 1, 65-78 [In Persian with English Summary] <http://jcnp.iut.ac.ir/article-1-1386-en.html>
- Rosielle, A.A., Hamblin, J., 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science. 21, 943-946. <https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x>
- Rezaizad, A., Taimori, B., Mehrabi, A.M., 2017. Response of some maize hybrids to water stress. Environmental Stresses in crop Sciences, 11, 301-312. [In Persian with English Summary] <https://doi.org/10.22077/escs.2017.511.1101>
- Safian, N., Naderi, M.R., Torabi, M., Soleymani, A., Salemi, H. R., 2022. Corn (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) yield and nutritional quality affected by drought stress. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 45, 102486. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102486>
- Sanders, O.T.R., Shaw, M., 2014. Temperature and soil water effects on maize growth, development yield, and forage quality. Crop Science. 36, 341-348. <https://doi.org/10.2135/cropsci1996.0011183X003600020022x>
- Santos, A.D.O., Von Pinho, R.G., Souza, V.F.D, Guimarães, L.J.M., Balestre, M., Pires, L.P.M. Silva, C.P.D., 2020. Grain yield, anthesis-silking interval and drought tolerance indices of tropical maize hybrids. Crop Breeding and Applied Biotechnology, 20(1), e176020110.

- <https://doi.org/10.1590/1984-70332020v20n1a10>
- Shiri, M.R., Choukan, R., Aliyev, R. T., 2016. Drought stress effects on gene action and combining ability of maize inbred lines. Seed and Plant Journal. 31, 421-440. [In Persian with English Summary] <https://doi.org/10.22092/spij.2017.111268>
- Sheoran S, Kaur Y, Kumar S, Shukla S, Rakshit S, Kumar R., 2022. Recent advances for drought stress tolerance in maize (*Zea mays* L.): present status and future prospects. Frontiers in Plant Science. 13, 872566. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.872566>
- Snyder, R.L., 1992. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 118, 977-980. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1992\)118:6\(977\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1992)118:6(977))
- Tabatabaei, S.A., Shakeri, E., 2015. Effect of drought stress on maize hybrids yield and determination of the best hybrid using drought tolerance indices. Environmental Stresses in Crop Sciences, 8, 121-125. [In Persian with English Summary] <https://doi.org/10.22077/escs.2015.208>
- Zareabyaneh, H., Noori, H., Liaghat, A., Noori, H., Karimi, V., 2011. Comparison of Penman-Monteith FAO Method and a Class Pan Evaporation with Lysimeter Measurements in Estimation of Rice Evapotranspiration in Amol Region. Physical Geography Research. 76, 71-83. [In Persian with English Summary] https://jphgr.ut.ac.ir/article_23071_en.html?lang=en