

## پاسخ عملکرد دانه هیبریدهای ذرت به تنش خشکی در مراحل مختلف رشد

جواد ربانی و یحیی امام<sup>۱\*</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۲/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۸/۱۱)

### چکیده

تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد گیاهان زراعی از جمله ذرت، که بعد از گندم و برنج سومین غله مهم دنیا به شمار می‌رود، محسوب می‌شود. کمبود آب در مراحل مختلف رشد، آثار متفاوتی بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد ذرت دارد. به منظور بررسی تغییرات عملکرد دانه و اجزای عملکرد چهار هیبرید ذرت در پاسخ به تنش خشکی در مراحل مختلف رشد، پژوهشی مزرعه‌ای به صورت آزمایش کرت‌های یک بار خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در دو سال زراعی ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز طراحی و اجرا شد. عامل اصلی مرحله اعمال تنش در چهار سطح: آبیاری مطلوب و قطع آبیاری در مراحل رشد رویشی (۸ برگ تا پیش از گل‌دهی)، گل‌دهی و پر شدن دانه و عامل فرعی چهار هیبرید ذرت شامل: زولا، BC666، ماکسیما و SC704 بودند. تجزیه مرکب داده‌های دو سال نشان داد که تنش خشکی بر همه صفات بجز تعداد ردیف دانه در بلال اثر معنی‌داری داشت. تنش خشکی در مرحله رشد رویشی، ارتفاع بوته را به نحو معنی‌داری (۱۰/۲ درصد) کاهش داد. هم‌چنین تنش در مرحله گل‌دهی باعث کاهش ۱۲/۶ درصدی طول بلال، ۱۷/۸ درصدی تعداد دانه در بلال، ۲۹/۱ درصدی عملکرد دانه و ۲۰/۴ درصدی شاخص برداشت گردید. بیشترین کاهش در وزن هزار دانه (۱۰/۳ درصد) نیز در تیمار تنش در مرحله پرشدن دانه به‌دست آمد. هیبرید SC704 دارای بیشترین ارتفاع بوته (۲۸۱/۰۷ سانتی‌متر)، طول بلال (۱۹/۴۵ سانتی‌متر)، تعداد دانه در بلال (۷۱۰/۶۲)، عملکرد بیولوژیک (۲۵۳۶۸ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد دانه (۱۱۲۹۱ کیلوگرم در هکتار) و وزن هزار دانه (۳۱۶/۴۹ گرم) بود. هیبرید ماکسیما بیشترین شاخص برداشت (۴۶/۹۹ درصد) را به خود اختصاص داد. براساس نتایج این پژوهش، حساس‌ترین مرحله زندگی ذرت به تنش خشکی، گل‌دهی بود. اگرچه تنش خشکی در همه مراحل رشد ذرت کاهش عملکرد دانه را به دنبال داشت، لیکن در شرایط کمبود آب می‌توان با پذیرش افت اندکی در عملکرد دانه، آبیاری در مرحله رویشی را حذف و به سایر گیاهان زراعی اختصاص داد. با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان هیبرید SC704 را برای مناطق بدون محدودیت آب و هیبرید ماکسیما را برای شرایط دارای محدودیت آب توصیه کرد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد بیولوژیک، هیبریدهای ذرت، مراحل رشد

۱. به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

\* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: yaemam@gmail.com

## مقدمه

کم بودن منابع آب شیرین از یک طرف و افزایش جمعیت از طرف دیگر نیاز به استفاده مؤثرتر از آب برای افزایش عملکرد را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد (۶). تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد و عملکرد غلات دانه‌ای از جمله ذرت ( *Zea mays* L. ) است. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زنده است که بسته به فصل و زمانی که واقع می‌شود، می‌تواند به صورت جدی به کاهش محصول گیاه منجر شود. در مناطق خشک و نیمه خشک، گیاه در طول رشد خود با دوره‌های کم آبی روبرو می‌شود و برای تولید عملکرد مناسب باید بتواند این دوره‌ها را تحمل کند (۱۱). در ایران، کشت ذرت در سال‌های اخیر رونق زیادی یافته و استفاده از آن در تغذیه دام و طیور و مصارف صنعتی مورد توجه قرار گرفته است. از طرفی، تأمین آب مورد نیاز در مراحل خاص رشد رویشی و زایشی ذرت دارای اهمیت می‌باشد (۲۷). آثار سوء ناشی از تنش آب بر رشد و نمو و عملکرد ذرت، بستگی به زمان وقوع تنش، شدت تنش، مرحله نمو و ژنوتیپ گیاه دارد (۷ و ۲۲). از آنجا که در ایران بخش کشاورزی با مصرف بیش از ۹۰ درصد از منابع آب، عمده‌ترین مصرف‌کننده آب به شمار می‌آید، هرگونه صرفه‌جویی در این بخش کمک مؤثری به صرفه‌جویی در منابع آب تلقی می‌شود (۲۹).

در اغلب مناطق ذرت‌کاری استان فارس، به دلیل همزمانی کشت ذرت با محصولاتی مانند برنج و جالیز، بوته‌های ذرت در مرحله رشد رویشی با تنش خشکی مواجه می‌شوند. در چنین صورتی ممکن است ایجاد آغازه‌های بلال در همان مراحل اولیه رویشی تحت تأثیر تنش خشکی قرار گیرد. بنابراین، لازم است اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد مورد بررسی قرار گیرد (۱۰ و ۲۹). پژوهشگران زیادی بر اهمیت تأمین آب کافی در مرحله رشد رویشی ذرت تأکید کرده‌اند. به اعتقاد اغلب آنها، کمبود آب در مرحله رشد رویشی تأثیر کمتری بر عملکرد نهایی دارد. لیکن، از این لحاظ که بر گسترش برگ و توسعه ساقه تأثیر گذاشته و تجمع مواد در این اندام‌ها را به شدت

کاهش می‌دهد، حائز اهمیت است (۹). در شرایط تنش خشکی، رشد زایشی گیاه به اتکای ذخایر برگ و ساقه انجام می‌شود و عدم تشکیل مناسب دانه می‌تواند به دلیل ناکافی بودن مواد فتوسنتزی در زمان گرده‌افشانی، پر شدن دانه و یا پیش از آن باشد (۲۰ و ۲۳). امام و رنجبر (۱۰) با اعمال تنش خشکی در مرحله رشد رویشی در ذرت به این نتیجه رسیدند که تنش شدید در این مرحله باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع ساقه، ارتفاع بلال از سطح خاک، تعداد برگ، گره و میانگره، وزن خشک پوشش بلال و طول بلال می‌گردد. تنش ملایم و شدید خشکی باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک نهایی ساقه، برگ و شاخساره و افزایش معنی‌دار شاخص برداشت و کارایی استفاده از آب شد. عملکرد دانه به میزان ۷٪ کاهش یافت. بنابراین، به نظر می‌رسد که کاهش جزئی اندازه مبدأ فیزیولوژیک در زمان رشد رویشی در اثر تنش خشکی، لزوماً باعث افت عملکرد دانه نشود. پس، تخصیص مقداری از آب مصرفی ذرت در زمان رشد رویشی برای مصرف در زراعت‌های دیگر امکان‌پذیر است.

تنش شدید ممکن است منجر به تأخیر در ظهور کاکل تا پایان گرده‌افشانی شود که این اتفاق می‌تواند به علت عدم دسترسی گیاه به آب کافی برای رشد سلول‌های رشته‌های کاکل باشد (۲). نتایج تحقیقات کاکیر (۵) در خصوص اعمال تنش رطوبتی در مراحل مختلف رشد ذرت نشان می‌دهد که تنش رطوبتی در مرحله کاکل‌دهی و تشکیل بلال موجب کاهش شدید عملکرد دانه می‌شود. تنش در مرحله کاکل‌دهی موجب تأخیر در ظهور گل‌آذین ماده می‌شود. همچنین، اعمال تنش رطوبتی در مرحله رشد رویشی باعث افت ۳۲-۲۸ درصدی ماده خشک تولیدی شد. تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه باعث کاهش تجمع ماده خشک در دانه می‌گردد و این تأثیر در نتیجه کوتاه شدن دوره رشد مؤثر دانه صورت می‌گیرد (۲۰). لارسون و سلیگ (۱۷) در بررسی اثرهای تنش رطوبتی بر هیبریدهای زودرس و دیررس ذرت به این نتیجه رسیدند که هیبریدهای زودرس نسبت به انواع دیررس سازگاری بهتری به کمبود آب

می‌باشند. این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در منطقه باجگاه واقع در ۱۲ کیلومتری شمال غربی شیراز با عرض جغرافیایی  $29^{\circ}7'$  شرقی، طول جغرافیایی  $52^{\circ}46'$  شمالی و ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا به اجرا درآمد. قبل از شروع آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک مزرعه نمونه برداری انجام شد. ویژگی‌های خاک منطقه در جدول ۱ ارائه شده است. عملیات تهیه زمین شامل شخم عمیق (۳۰ سانتی متر) با گاوآهن برگردان دار، دیسک، تسطیح زمین، ایجاد جوی و پشته، ایجاد نهر و مرز بندی بود. از کود فسفردار (سوپرفسفات تریپل) به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به صورت پیش کاشت آمیخته با خاک استفاده گردید. هم‌چنین کود اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله (یک سوم قبل از کاشت و دو سوم در مرحله شش برگی ذرت) به کرت‌های آزمایشی اضافه گردید. بذره‌های یکنواخت ذرت با فاصله ردیف ۷۵ سانتی متر و فاصله بوته ۲۰ سانتی متر در عمق ۶-۸ سانتی متری، در تاریخ‌های ۳۰ خرداد در سال اول و ۲۵ خرداد در سال دوم با دست کاشته شدند. تراکم کاشت بذر هیبریدها بر اساس عرف منطقه برای هیبرید غالب SC704 در نظر گرفته شد.

برای تعیین میزان آب مورد نیاز در هر بار آبیاری، از میزان رطوبت وزنی خاک استفاده گردید. به این منظور، ۲۴ ساعت پیش از هر آبیاری، از ۴ عمق خاک مزرعه (۰-۳۰، ۳۰-۶۰، ۶۰-۹۰ و ۹۰-۱۲۰ سانتی متری) نمونه برداری شد و پس از خشکاندن در آون، میزان رطوبت وزنی خاک تعیین گردید. بر این اساس، میزان آب مورد نیاز برای آبیاری تا رسیدن رطوبت خاک به حد گنجایش زراعی محاسبه گردید. محاسبه میزان آب مورد نیاز در هر بار آبیاری، با استفاده از معادله زیر صورت گرفت (۱۹):

$$d_n = \frac{(FC - \theta_m) \times \rho_b \times D}{100} \quad [1]$$

که  $d_n$  عمق آب مورد نیاز برای آبیاری،  $FC$  حد گنجایش زراعی خاک محل مورد آزمایش بر حسب درصد وزنی،  $\theta_m$  رطوبت وزنی خاک،  $\rho_b$  چگالی ظاهری خاک و  $D$  عمق

دارند که این امر می‌تواند موجب بهبود عملکرد آنها شود. در شرایط تنش خشکی انتهای فصل ممکن است ژنوتیپ‌های زودرس از تبعات سوء تنش خشکی فرارکنند (۱۵ و ۲۹). ذرت مورد کشت در استان فارس به طور عمده هیبرید دیررس سینگل کراس ۷۰۴ است. از آنجا که کشت این هیبرید با مشکلاتی در استان مواجه شده است، از جمله مصادف شدن زمان کاشت با فعالیت زنجره ناقل ویروس کوتولگی زبر ذرت (*Laodelphax striatellus*) و خسارت زیاد سرمازدگی آخر فصل در بیشتر سال‌ها، به دلیل طولانی بودن دوره رشد و تأخیر در کاشت گندم بعد از آن، که زیان‌هایی را متوجه کشاورزان منطقه نموده است، لذا استفاده از هیبریدهایی با طول دوره رشد کوتاه‌تر اجتناب ناپذیر به نظر می‌رسد. بنابراین، هدف از انجام پژوهش حاضر بررسی تأثیر تیمارهای تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه هیبریدهای مختلف ذرت در شرایط استان فارس می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد و برهمکنش آن با چهار هیبرید ذرت، پژوهشی مزرعه‌ای به صورت کرت‌های یک بار خرد شده بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار در بهار و تابستان سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ اجرا گردید. کرت‌های اصلی به اعمال تنش خشکی در مراحل متفاوت زندگی گیاه در چهار سطح: بدون تنش (به عنوان شاهد)، تنش در مرحله رشد رویشی (قطع آبیاری از ۸ برگی تا گل‌دهی)، تنش در مرحله گل‌دهی (قطع آبیاری در طول دوره ۲۰ روزه) و تنش در مرحله پر شدن دانه (قطع آبیاری از پایان گل‌دهی تا رسیدن فیزیولوژیک) و کرت‌های فرعی به عامل هیبرید ذرت در چهار سطح: زولا، BC666، ماکسیم و SC704 اختصاص یافت. مبدأ هیبریدهای زولا، ماکسیم، BC666 و SC704 به ترتیب کشورهای یونان، مجارستان، کرواسی و ایران بوده است. دو هیبرید زولا و ماکسیم میان‌رس و هیبریدهای BC666 و SC704 دیررس

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری

ویژگی خاک	هدایت الکتریکی (dS/m)	اسیدیته	نیترژن کل (%)	فسفر (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)	کربن آلی (%)	بافت خاک
مقدار	۰/۹۷	۷/۸	۰/۱۴	۲۱/۵	۵۶۱	۱/۰۶	رس شنی

## نتایج و بحث

### ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی تنش خشکی و هیبرید بر ارتفاع بوته ذرت بسیار معنی‌دار و برهمکنش آنها غیرمعنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تنش خشکی در مرحله رشد رویشی موجب کاهش ارتفاع بوته گردید، و اعمال این تنش در سایر مراحل رشد تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته نداشت (جدول ۳). کاهش ارتفاع بوته در تیمار تنش خشکی در مرحله رشد رویشی نسبت به تیمار شاهد حدود ۱۰/۲ درصد بود. طبق نتایج پژوهش‌های پیشین، از آنجا که در شرایط تنش خشکی فشار تورژانس سلول‌های ساقه که در حال ازدیاد طول می‌باشند کاهش می‌یابد، و از طرفی تولید مواد اصل از فتوسنتز نیز کم می‌شود، لذا طول میانگره‌های ساقه و در نتیجه ارتفاع بوته تحت تأثیر خشکی کاهش می‌یابد (۱۱ و ۱۰).

برخی پژوهشگران (۵) بر این باورند که اعمال تنش خشکی در مرحله رشد رویشی باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع ساقه خواهد شد. برطبق نتایج برخی پژوهش‌ها، تنش خشکی در مرحله رشد رویشی ممکن است موجب آسیب به آغازهای بلال در همان مراحل اولیه رویشی گردد (۲۹). عدم تأمین آب کافی در مرحله رشد رویشی ذرت، اگرچه تأثیر مستقیمی بر عملکرد نهایی دانه ندارد، لیکن بر استقرار بوته و توسعه و رشد ساقه تأثیر گذاشته و تجمع مواد در این اندام‌ها را کاهش می‌دهد (۲۰ و ۲۳). در بین هیبریدها، هیبرید زولا ارتفاع کمتر (و معنی‌داری) نسبت به سایر هیبریدها داشت. تفاوت ارتفاع در بین سایر هیبریدها معنی‌دار نگردید (جدول ۳). در تیمار تنش خشکی نیز هیبرید زولا در همه سطوح رطوبتی دارای ارتفاع

نمونه‌برداری از خاک است. حجم آب مورد نیاز در هر بار آبیاری از ضرب عمق آب ( $d_{II}$ ) در مساحت هر کرت (۲۴ مترمربع) تعیین شد. آبیاری کرت‌ها با استفاده از شیلنگ صورت گرفت و میزان آب ورودی به هر کرت با استفاده از دبی جریان آب اندازه‌گیری شد. برداشت نهایی به هنگام رسیدگی فیزیولوژیک دانه‌های ذرت، که با تشکیل لایه سیاه (Black layer) در قاعده هر دانه مشخص شد، صورت گرفت. در برداشت نهایی، بوته‌های یک مترمربع از وسط هر کرت از سطح خاک بریده شد. تعداد دانه در ردیف، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه، طول بلال و عملکرد دانه (با رطوبت ۱۴٪)، شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک تعیین شد. برای تعیین وزن هزار دانه، چهار نمونه ۱۰۰ تایی به صورت تصادفی از دانه‌های جدا شده از بلال انتخاب و وزن آنها اندازه‌گیری شد. شاخص برداشت از طریق معادله زیر محاسبه گردید (۹):

$$HI = \frac{GY}{BY} \times 100 \quad [2]$$

که HI شاخص برداشت، GY عملکرد دانه و BY عملکرد بیولوژیک می‌باشد. وزن خشک نمونه‌ها پس از خشکاندن در آون تهویه‌دار، در دمای ثابت ۷۵ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت (۷۲ ساعت)، با استفاده از ترازوی دیجیتال (با دقت صدم گرم) تعیین گردید. با توجه به اینکه تأثیر سال بر هیچ یک از صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار نگردید، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به صورت مرکب و با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح ۵٪ استفاده گردید. نمودارها نیز با استفاده از برنامه Excel 2007 رسم شد.

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر تنش خشکی در مراحل متفاوت، هیبرید و برهمکنش آنها بر ارتفاع بوته، طول بلال، تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در بلال، تعداد دانه در بلال، وزن دانه در بلال، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت ذرت دانه‌ای

منابع تغییر	میانگین مربعات										سال	تنش خشکی (S)	هیبرید (H)	S×H	خطا	ضریب تغییرات (%)
	درجه	شاخص برداشت	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	عملکرد دانه	وزن هزار دانه	تعداد دانه در بلال	تعداد دانه در ردیف	تعداد دانه در ردیف	تعداد دانه در ردیف						
۰/۰۵۶۵۴۲۸ns	۳۰۶۸۴۹۲ns	۴۹۰۸۵۳۶ns	۵۵۲/۹۳ns	۱۴۹۸۸۳۱ns	۰/۶ns	۳۷/۵۶ns	۱/۳۶ns	۱۱۸/۶۰ns	۱							
۱۲۷/۳۷۰۹۳***	۱۲۶۷۷۲۸۰۴***	۷۵۰۱۴۹۲۶***	۱۱۲۳۱/۰۹***	۱۰۱۹۰۹/۴۸***	۳/۹۲ns	۲۵۰/۶۶***	۴***	۵۵۲۸/۱۲***	۳							
۳۴۱/۹۰۷۴۲۷***	۳۴۲۱۳۸۴۲۴***	۶۴۶۴۵۶۸***	۲۶۰۲۷/۲۹***	۳۳۱۰۱۱/۳۶***	۹۷/۱۶***	۵۳۹/۱۶*	۱۱۱/۵۳***	۴۸۴۱/۶۱***	۳							
۱۹/۱۵۱۵۸۴*	۲۰۳۸۳۲۸۳***	۳۶۴۶۴۴۴/۱***	۷۱۹/۵۰*	۳۶۰۷/۳۴×	۲/۳۱ns	۲/۸۷*	۱۳۲/۷۴ns	۹								
۹/۵۹۳۹۲۹	۷۳۸۵۲۵۷	۱۰۸۴۳۷/۱	۴۴۰/۹۶	۱۶۶۳۷/۲۷	۸/۸۸	۳۴/۴۵	۳/۷۶	۶۶۶/۷۹	۷۲							
۱۴/۷۶	۱۱/۹۳	۱۰/۳۵	۷/۲۰	۲۰/۴۹	۱۹/۵۱	۱۴/۱۶	۱۰/۸۲	۹/۶۳								

\* و \*\* به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطوح ۵ و ۱ درصد

جدول ۳. اثر تنش خشکی در مراحل متفاوت رشد بر ارتفاع بوته، طول بلال، تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت ذرت دانه‌ای

شاخص برداشت	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد دانه در بلال	تعداد ردیف در بلال	تعداد دانه در ردیف	تعداد دانه در بلال	طول بلال (سانتی‌متر)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تیمار
۴۴/۴۴a	۲۲۶۲۲/۹a	۹۹۹۲/۳۹a	۲۸۹/۴۶a	۶۱۸/۴۴a	۱۵/۲۲۸a	۴۰/۸۹a	۱۷/۸۱a	۲۶۷/۱۵a	۱۳۸۸	
۴۴/۴۹a	۲۲۹۳۲/۶a	۱۰۱۱۶/۲۵a	۲۹۳/۶۱a	۶۴۰/۰۹a	۱۵/۳۴۱a	۴۱/۹۷a	۱۷/۰۱a	۲۶۹/۰۸a	۱۳۸۹	
۴۵/۳۱b	۲۵۵۶/۸a	۱۱۵۵۳/۹a	۲۹۶/۰۲b	۶۶۳/۱۹a	۱۵/۴۰a	۴۳/۲۹a	۱۸/۸۷a	۲۷۶/۷۵a	شاهد	
۵۱/۳۵a	۲۱۶۸/۵b	۱۱۰۱۷/۴a	۲۹۴/۸۶b	۶۵۲/۰۳a	۱۵/۴۷a	۴۲/۳۸a	۱۷/۶۷a	۲۴۸/۵۹b	رشد رویشی	
۳۶/۰۳c	۲۲۷۶۳/۱b	۸۱۸۱/۰c	۳۰۹/۹۰a	۵۴۴/۸۹b	۱۴/۷۵a	۳۷/۲۷b	۱۶/۳۰b	۲۷۲/۳۳a	گل‌دهی	
۴۵/۱۶a	۲۱۰۹/۳b	۹۴۶۵/۱۱b	۲۶۵/۳۷c	۶۵۶/۹۵a	۱۵/۴۸a	۴۲/۷۹a	۱۸/۸۰a	۲۷۴/۷۹a	پزشدن دانه	
۴۶/۳۱ab	۱۷۹۸۷/۳c	۸۲۹۹/۸۱c	۲۶۵/۵۰b	۵۲۲/۳۶c	۱۴/۶۱b	۳۶/۰۹c	۱۵/۲۹c	۲۵۳/۴۳c	زولا	
۳۹/۷۶c	۲۳۸۷/۷۱b	۹۵۰۱/۳۱b	۲۶۸/۲۲b	۶۰۱/۵۱b	۱۳/۱۲b	۴۵/۸۷b	۱۷/۸۷	۲۶۳/۱۱bc	BC666	
۴۶/۹۹a	۲۳۸۷/۲b	۱۱۲۴/۸۲a	۳۱۵/۹۴a	۶۸۲/۵۷a	۱۶/۳۳a	۴۰/۹۱b	۱۹/۰۲a	۲۷۴/۸۴b	ماکسیما	
۴۴/۸۱a	۲۵۳۶۸/۱a	۱۱۲۹۱/۴۱a	۳۱۶/۴۹a	۷۱۰/۶۲a	۱۶/۶۵a	۴۲/۸۶a	۱۹/۲۵a	۲۸۱/۰۸a	SC704	

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون برای هر تیمار دارای اختلاف معنی‌دار نیستند ( $LSD \leq 0.05$ ).

### تعداد دانه در ردیف بلال

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی، هیبرید و برهمکنش آنها بر تعداد دانه در ردیف بلال در سطح احتمال ۱٪/ معنی دار گردید (جدول ۲). تنش خشکی در مرحله گل‌دهی بر تعداد دانه در ردیف اثر منفی و معنی‌داری داشت (جدول ۳). بین هیبریدها بیشترین تعداد دانه در ردیف از هیبرید SC704 به دست آمد. برهمکنش تنش خشکی و هیبرید بر تعداد دانه در ردیف حاکی از آن بود که تنش در مرحله گل‌دهی بر تعداد دانه در بلال هیبرید ماکسیما اثر کمتری نسبت به سایر هیبریدها گذاشت، و این هیبرید نسبت به آبیاری مطلوب ۱۰/۷ درصد کاهش در تعداد دانه در ردیف رانشان داد (شکل ۱- ج). احمدی و همکاران (۱) با اعمال رژیم‌های مختلف آبیاری بر هیبریدهای دیررس ذرت به این نتیجه رسیدند که تعداد دانه در بلال بین رژیم‌های آبیاری معنی‌دار بود. آنها علت اصلی این امر را به تأخیر در ظهور کاکل‌ها به دنبال اعمال تنش خشکی نسبت دادند. به این ترتیب، کاکل‌ها وقتی ظاهر می‌شدند که گرده‌افشانی انجام گرفته بود و گرده زنده‌ای برای تلقیح گل‌های ماده وجود نداشت. لذا اکثر تخمک‌ها تلقیح نشده باقی ماند و در نتیجه تعداد دانه در هر ردیف کاهش یافت. برخی دیگر از پژوهشگران (۱۶ و ۲۱) علت کاهش تعداد دانه در ردیف بلال را به عقیمی تخمدان گلچه‌ها در اثر تنش خشکی نسبت داده‌اند.

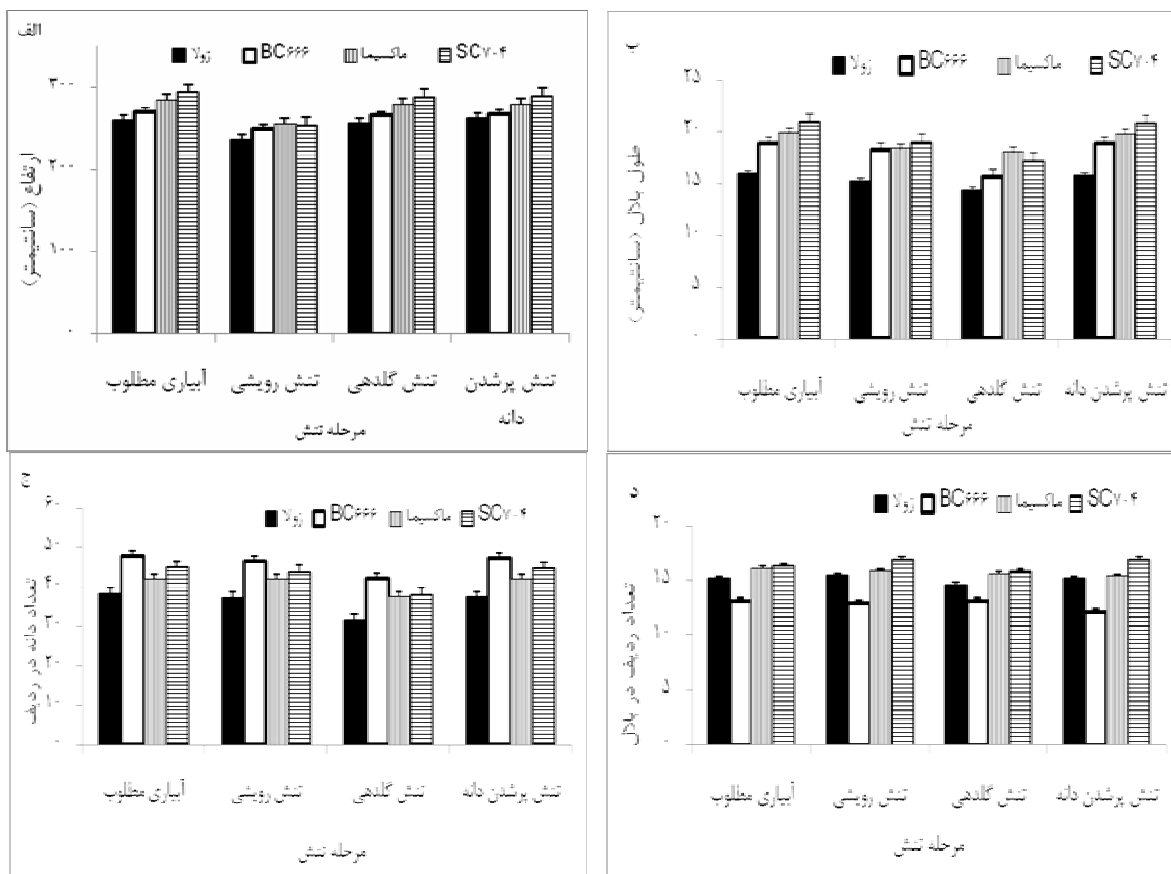
### تعداد ردیف در بلال

اثر هیبرید بر تعداد ردیف در بلال در سطح ۱٪ معنی‌دار شد، ولی اثر تنش خشکی و برهمکنش تنش و هیبرید بر تعداد ردیف در بلال معنی‌دار نگردید (جدول ۲ و شکل ۱- د). هیبرید ماکسیما دارای بیشترین تعداد ردیف در بلال (۱۶/۷۵) بود و اختلاف معنی‌داری با هیبرید SC704 (۱۶/۵ عدد) نداشت. معنی‌دار نشدن اثر تیمارهای تنش خشکی بر این صفت نشان‌دهنده ثبات نسبی این جزء از عملکرد دانه در مقابل تغییرات محیطی است. از آنجا که تعداد نهایی ردیف دانه پیش از سایر اجزای عملکرد روی ناحیه نمودی بلال تعیین می‌شود

ساقه کمتری بود (شکل ۱- الف). برطبق پژوهش‌های انجام شده، به طور معمول هیبریدهای دیررس دارای ارتفاع بیشتری هستند (۱۲ و ۱۵). هیبریدهای دارای ارتفاع زیادتر به دلیل دارا بودن شاخساره بیشتر، و در نتیجه افزایش اندازه مبدأ فیزیولوژیک (Source)، تولید مواد پرورده بیشتری خواهند داشت (۲۲). هرچند برهمکنش هیبرید و تنش خشکی بر ارتفاع ساقه معنی‌دار شد، ولی، مقایسه ارتفاع هیبریدها در تیمار تنش در مرحله رویشی حاکی از برتری هیبرید ماکسیما نسبت به سایرین بود (شکل ۱- الف).

### طول بلال

طول بلال تحت تأثیر معنی‌دار اثر تنش خشکی و هیبرید در سطح احتمال ۱٪/ و برهمکنش آنها در سطح احتمال ۵٪ قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین و کمترین طول بلال در تیمارهای شاهد و تنش خشکی در مرحله گل‌دهی به دست آمد (جدول ۳). طول بلال در شرایط اعمال تنش خشکی در مرحله گل‌دهی ۱۳/۶ درصد نسبت به تیمار شاهد کمتر بود. در بین هیبریدها، کمترین طول بلال در هیبرید زولا و بیشترین آن در هیبرید SC704 مشاهده شد (جدول ۳). تنش خشکی با تأثیر بر فتوسنتز برگ موجب کاهش تولید مواد پرورده، رشد سلولی و طول بلال می‌شود (۲۴). تنش در مرحله گل‌دهی موجب کاهش مواد پرورده اختصاص یافته به بلال و نقصان رشد محور بلال می‌گردد. در نتیجه، طول بلال در تیمارهای تنش خشکی در مرحله گل‌دهی کمتر شد. روند تغییر طول بلال در بین هیبریدهای ذرت، در شرایط متفاوت آبیاری نشان می‌دهد که هیبرید ماکسیما هر چند که در تیمار آبیاری مطلوب دارای طول بلال کمتری نسبت به هیبرید SC704 (دارای بیشترین طول بلال) است، ولی در تیمار تنش در مرحله گل‌دهی دارای بیشترین طول بلال نسبت به هیبریدهای دیگر می‌باشد (شکل ۱- ب). طول بلال به طور غیرمستقیم بر عملکرد دانه تأثیر دارد، زیرا موجب افزایش تعداد دانه در بوته ذرت شده و عملکرد دانه را افزایش خواهد داد (۱۲).



شکل ۱. برهمکنش تنش خشکی و هیبرید بر ارتفاع بوته (الف)، طول بلال (ب)، تعداد دانه در ردیف (ج) و تعداد ردیف در بلال (د). میانگین‌های دارای همپوشانی یکسان برای هر هیبرید، بر اساس خطای استاندارد، تفاوت معنی‌دار ندارند.

دارای بیشترین تعداد دانه در بلال (۷۱۰/۶۲) و هیبرید زولا دارای کمترین تعداد دانه در بلال (۵۲۲/۳۶) بودند (جدول ۳ و شکل ۲-الف). این کاهش مشخص تعداد دانه در بلال را می‌توان به اثر تنش خشکی بر عقیمی تخمک‌ها در بلال ذرت نسبت داد (۳). گرده افشانی در این گیاه دگرگردافشان به طور معمول چند روز پس از ظهور گل تاجی صورت می‌گیرد. عواملی مثل کمبود آب، نیتروژن و سایر عناصر غذایی می‌توانند سبب کاهش جمعیت دانه‌های گرده گردند (۵ و ۱۸). برخی دیگر از پژوهشگران علت کاهش تعداد دانه در بلال را به ناکافی بودن مواد پرورده فراهم در زمان گل‌دهی و یا پیش از آن نسبت داده‌اند (۲۰ و ۲۳). کاهش تعداد دانه، به دلیل کاهش ظرفیت مقصد فیزیولوژیک اثر مستقیم بر عملکرد دانه دارد.

(۱۲)، احتمالاً در مرحله تعیین تعداد ردیف در بلال رقابت چندانی بین مقصد‌های فیزیولوژیک (Sinks) برای دریافت مواد پرورده وجود نداشته و به این ترتیب اثر تیمارهای مورد مطالعه تغییر معنی‌داری در این صفت ایجاد نکرده است (۱۸).

#### تعداد دانه در بلال

اثر تنش خشکی و هیبرید در سطح احتمال ۱٪ و برهمکنش آنها در سطح احتمال ۵٪ بر تعداد دانه در بلال معنی‌دار گردید (جدول ۲). تنش خشکی در مرحله گل‌دهی بیشترین تأثیر را بر تعداد دانه در بلال داشت. به طوری که تعداد دانه در بلال در مرحله گل‌دهی در حدود ۱۷/۸ درصد نسبت به شاهد کمتر بود (جدول ۳ و شکل ۲-الف). در میان هیبریدها، هیبرید SC704



مرحله گل‌دهی و دو هفته پس از آن حساس‌ترین دوره ذرت نسبت به تنش خشکی می‌باشد (۱۰). تنش خشکی طی مرحله گل‌دهی موجب افت شدید در تعداد دانه خواهد شد (۱۱). نتایج این پژوهش در مورد تعداد دانه در بلال با پژوهش‌های پیشین (۲۵ و ۲۷) مطابقت دارد. هیبرید ماکسیما در تیمار تنش در مرحله گل‌دهی دارای بیشترین تعداد دانه در بلال بود و کمترین کاهش (۷/۸ درصد) را نسبت به تیمار آبیاری مطلوب داشت. در هیبریدهای مقاوم، با خروج سریع کاکل‌ها، انطباق ریزش دانه‌های گرده با پیدایش کاکل‌ها و باروری زیادتر دانه‌ها، میزان کچلی در بلال کاهش می‌یابد و در نتیجه، در شرایط تنش خشکی، تعداد دانه در بلال افت کمتری می‌یابد (۴).

#### وزن هزار دانه

اثر تنش خشکی و هیبرید در سطح احتمال ۱٪ و برهمکنش آنها در سطح احتمال ۵٪ بر وزن هزار دانه ذرت معنی‌دار گردید (جدول ۲). کمترین وزن هزار دانه از تیمار تنش در مرحله پرشدن دانه به‌دست آمد (جدول ۳). افت وزن دانه ناشی از تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه نسبت به تیمار شاهد ۱۰/۳ درصد بود. تنش خشکی با تحت تأثیر قرار دادن درجه باز شدن روزنه‌ها، کاهش فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین، می‌تواند میزان تولید مواد پرورده را به میزان زیادی کاهش داده (۲۴) و از این راه به طور مستقیم موجب کاهش وزن هر دانه (ظرفیت مقصد فیزیولوژیک) شود (۱۱ و ۲۷). کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه در تیمار تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه را می‌توان به پدید آمدن دانه‌های چروکیده با وزن کمتر، که در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده (۱۰)، نسبت داد. تأثیر کمبود آب در این مرحله موجب کاهش فتوسنتز جاری گیاه، کاهش میزان مواد پرورده و در نتیجه چروکیدگی دانه‌های ذرت خواهد شد (۱۲). به‌علاوه، کوتاه شدن دوره رشد دانه و در نتیجه زودرسی در اثر تنش خشکی، که توسط برخی پژوهشگران مشاهده شده (۶)، یکی دیگر از دلایل احتمالی کاهش وزن هزار دانه در تیمارهای اعمال تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه است (۱۰). هیبرید

#### عملکرد بیولوژیک

عملکرد بیولوژیک، که نشان‌دهنده ماده خشک تجمع یافته در اندام هوایی در زمان برداشت است، تحت تأثیر معنی‌دار اثر تنش خشکی، هیبرید و برهمکنش آنها در سطح احتمال ۱٪ قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار آبیاری مطلوب به‌دست آمد (جدول ۳). تنش در هر سه مرحله رویشی، گل‌دهی و پرشدن دانه با کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک همراه بود. کاهش عملکرد بیولوژیک در سه تیمار تنش در مرحله رویشی، گل‌دهی و دانه‌بندی نسبت به شاهد به ترتیب ۱۵/۲۳، ۱۱/۰۰ و ۱۷/۵۳ درصد بوده است که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۳). بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک به ترتیب در هیبریدهای SC704 (۲۵۳۶ گرم در مترمربع) و زولا (۱۷۹۸ گرم در مترمربع) به‌دست آمد. به نظر می‌رسد هیبرید زولا به دلیل دوره رشد کوتاه‌تر، از عملکرد بیولوژیک کمتری نسبت به هیبرید SC704 برخوردار بوده است (شکل ۲-ج). در پژوهشی (۵) با اعمال تنش خشکی در مرحله رشد رویشی ذرت، به این نتیجه رسیده شد که تنش خشکی باعث کاهش بارزی در عملکرد بیولوژیک می‌شود. کلامیان و همکاران (۱۶) نیز با بررسی شش هیبرید ذرت

رویشی اثر کاهشی بارزی بر عملکرد بیولوژیک (BY) داشته، در حالی که تأثیر آن بر عملکرد دانه (GY) به طور نسبی کمتر بوده است. لذا شاخص برداشت در این شرایط افزایش نشان داده است. در صورت وقوع تنش خشکی در مرحله گل‌دهی، شاخص برداشت کاهش جدی می‌یابد. این موضوع توسط سایر پژوهشگران (نظیر ۲۶) گزارش گردیده است. پژوهشگران علت این کاهش را حساسیت گیاه ذرت به تنش خشکی در مرحله بحرانی گل‌دهی دانسته‌اند (۵ و ۱۳). در بین هیبریدها، هیبرید ماکسیما در تیمار تنش در مرحله رویشی و گل‌دهی دارای بیشترین شاخص برداشت است (جدول ۳ و شکل ۲-د). این موضوع می‌تواند به دلیل حساسیت کمتر این هیبرید نسبت به تنش خشکی در این دو مرحله باشد. هیبریدهای دارای شاخص برداشت زیادتر، به دلیل تسهیم بیشتر مواد پرورده به سود دانه‌ها مطلوب‌ترند (۲۶). این موضوع را می‌توان به رشد کمتر شاخساره، تعرق کمتر و استفاده بهتر از آب نسبت داد (۶).

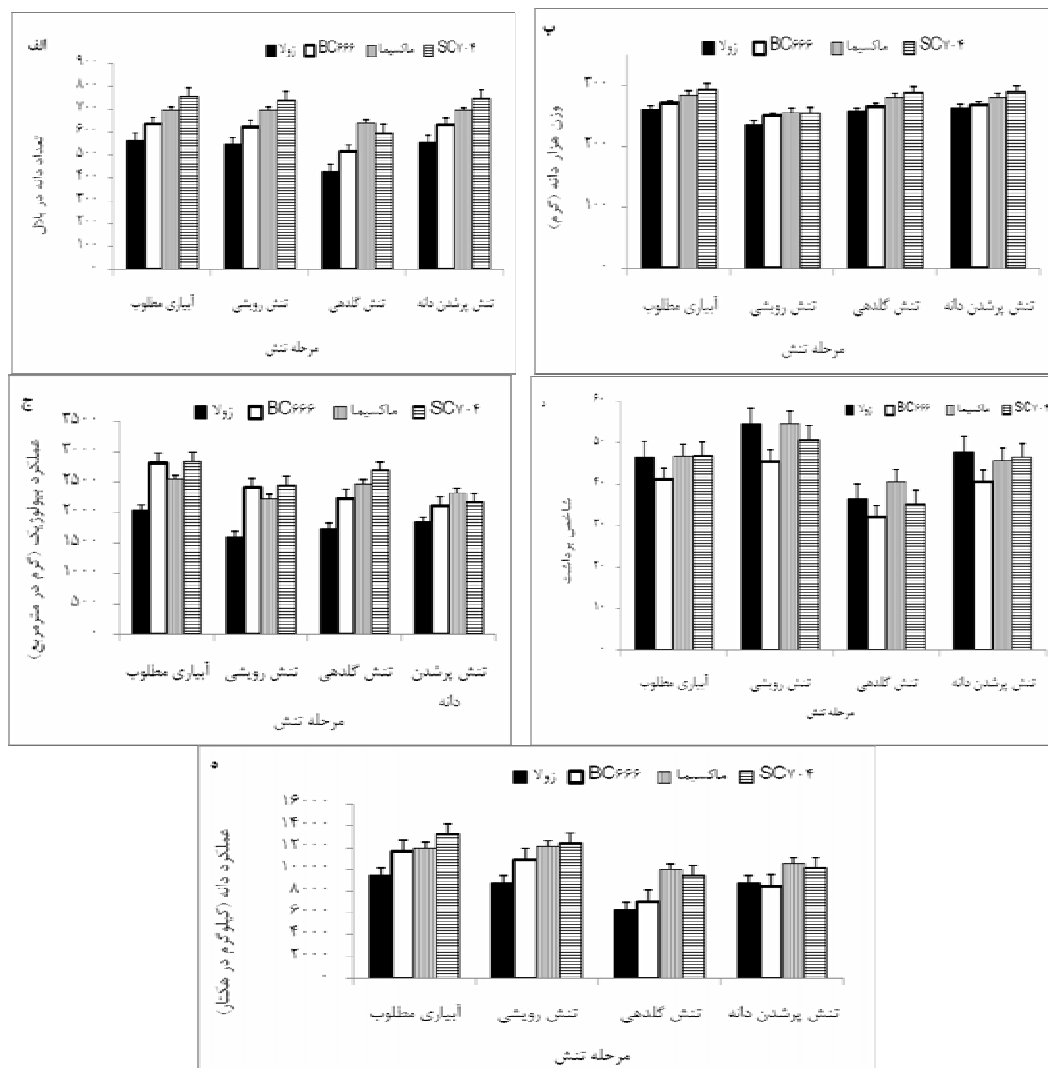
#### عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه نشان داد که اثر تنش خشکی، هیبرید و برهمکنش آنها در سطح احتمال ۱٪ بر عملکرد دانه ذرت معنی‌دار گردید (جدول ۲). تنش خشکی در کلیه مراحل، بجز مرحله رشد رویشی، بر عملکرد دانه ذرت تأثیر معنی‌داری داشت. به نحوی که کمترین عملکرد دانه در تیمار اعمال تنش خشکی در مرحله گل‌دهی به‌دست آمد (جدول ۳). اعمال تنش خشکی در مراحل گل‌دهی و پرشدن دانه به ترتیب موجب کاهش ۲۹/۲ و ۱۸/۱ درصدی عملکرد دانه شد. پژوهشگران کاهش عملکرد دانه ذرت در اثر تنش خشکی در مراحل زایشی را به کاهش کارایی فتوسنتز و کوتاه شدن طول دوره رشد نسبت داده‌اند (۸ و ۲۶). بیشترین بخش وزن دانه از فتوسنتز بوته پس از گل‌دهی تأمین می‌شود. بنابراین، در مدیریت مزرعه هرچه طول دوره سبزمانی برگ‌ها زیادتر شود، هیدرات کربن بیشتری به دانه منتقل خواهد شد (۹). تنش خشکی با کاستن از طول دوره سبزمانی برگ در

گزارش کردند که قطع آبیاری در مرحله رویشی باعث کاهش عملکرد بیولوژیک می‌شود. افزایش عملکرد بیولوژیک در تیمار آبیاری مطلوب، به دلیل گسترش بیشتر و طول دوره سبزمانی زیادتر برگ‌ها بوده، که منجر به ایجاد مبدأ فیزیولوژیک بزرگ‌تری می‌گردد (۲۲). کلامیان و همکاران (۱۶) با بررسی هیبریدهای ذرت در شرایط تنش خشکی به این نتیجه رسیدند که تنش‌های خفیف، که تأثیر کمی بر کاهش سطح برگ هیبریدهای پر برگ دارند، تأثیر چندانی بر تولید ماده خشک این هیبریدها ندارند. اما در تنش‌های شدید که با کاهش بارز سطح برگ همراه است، مقاومت چندانی به تنش نشان نمی‌دهند. تنش خشکی همزمان با رشد فعال رویشی بوته‌ها، 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 ماده خشک در گیاه به اندازه سطح فتوسنتزکننده آن وابسته است (۱۱). بر همین اساس، برخی دیگر از پژوهشگران چنین گزارش کرده‌اند که تنش زود هنگام (در مرحله رویشی) از طریق کاهش سطح فتوسنتزکننده اثر غیرمستقیمی بر عملکرد دانه ذرت می‌گذارد (۵ و ۲۰).

#### شاخص برداشت

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که شاخص برداشت تحت تأثیر معنی‌دار اثر تنش خشکی و هیبرید در سطح احتمال ۱٪ و برهمکنش آنها در سطح ۵٪ قرار گرفت (جدول ۲). کمترین شاخص برداشت از تیمار تنش در مرحله گل‌دهی به‌دست آمد (جدول ۳). شاخص برداشت در تیمار تنش در مرحله رویشی نسبت به شاهد ۱۳/۳۳ درصد افزایش و در تیمار تنش در مرحله گل‌دهی نسبت به شاهد ۲۰/۴۷ درصد کاهش داشت. این یافته‌ها مطابق با نتایج امام و رنجبر (۱۰) و بولانوس (۴) می‌باشد. 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 (معادله ۲) چون تنش خشکی در مرحله



شکل ۲. برهمکنش تنش خشکی و هیبرید بر تعداد دانه در بلال (الف)، وزن هزار دانه (ب)، عملکرد بیولوژیک (ج)، شاخص برداشت (د) و عملکرد دانه (ه). میانگین‌های دارای همپوشانی یکسان برای هر هیبرید، بر اساس خطای استاندارد، تفاوت معنی‌دار ندارند.

۱۸ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت. در پژوهش حاضر، هیبریدهای SC704 و ماکسیما دارای بیشترین عملکرد دانه و هیبرید زولا دارای کمترین عملکرد دانه بودند (جدول ۳). هم‌چنین عملکرد هیبرید ماکسیما تغییرات کمتری نسبت به اعمال تنش خشکی در مراحل متفاوت از خود نشان داد (شکل ۱-ج). هیبرید ماکسیما نسبت به هیبریدهای دیگر در شرایط تنش در مراحل گل‌دهی و دانه‌بندی بیشترین عملکرد را دارا بود (شکل ۲-ه). به نظر می‌رسد این هیبرید در شرایط تنش خشکی دارای عملکرد و مقاومت بیشتری نسبت به سایر

مراحل پایانی رشد می‌تواند موجب افت شدید تولید مواد پرورده توسط اندام‌های فتوسنتزکننده شود (۱۱). بیشتر بودن عملکرد دانه در تیمار اعمال تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه نسبت به گل‌دهی را می‌توان به انتقال مجدد مواد پرورده نسبت داد. به طوری که اگر گیاه در هنگام پرشدن دانه با تنش‌های محیطی (به ویژه تنش خشکی) روبرو شود، سهم مواد پرورده در انتقال مجدد در پرشدن دانه بیشتر می‌شود (۹ و ۱۳). در رابطه با تأثیر تنش خشکی بعد از گل‌دهی بر عملکرد ذرت، باسطی و وستگیت (۳) گزارش کرده‌اند که عملکرد دانه حدود

و عملکرد بیولوژیک نیز در تیمار تنش در مرحله پرشدن دانه به دست آمد. با توجه به نتایج این پژوهش، می توان گفت که مرحله گل دهی حساس ترین مرحله ذرت نسبت به تنش خشکی است. لذا باید دقت داشت که برای حصول حداکثر عملکرد، آبیاری برابر با نیاز آبی گیاه در این مرحله انجام شود. همچنین با توجه به کاهش ناچیز عملکرد در تیمار تنش در مرحله رویشی، می توان در صورت محدودیت آب، از آبیاری در این مرحله چشم پوشی کرد و آب آبیاری را به گیاهان دیگر اختصاص داد.

با مطالعه برهمکنش بین مراحل تنش خشکی و هیبریدهای ذرت می توان به این نتیجه رسید که در شرایط بدون تنش، هیبرید SC704 دارای بیشترین عملکرد دانه بود. لیکن، با اعمال تنش، تفاوت عملکرد بین این هیبرید با سایر هیبریدها کاهش یافت. به طوری که در شرایط تنش در مرحله رشد رویشی، تفاوت عملکرد دانه هیبرید SC704 با هیبرید ماکسیما معنی دار نگردید و در شرایط تنش در مراحل گل دهی و پر شدن دانه، عملکرد دانه هیبرید ماکسیما بر عملکرد دانه هیبرید SC704 فزونی یافت. این تغییرات در بیشتر صفات قابل مشاهده بود. بنابراین، با توجه به نتایج این پژوهش می توان هیبرید SC704 را برای مناطق بدون محدودیت آب و هیبرید ماکسیما را برای شرایط وجود محدودیت آب توصیه کرد.

هیبریدها باشد. در مطالعات کلامیان و همکاران (۱۶) و پیراسته انوشه و همکاران (۲۵) نیز هیبریدهای دیررس عملکرد بیشتری داشته اند. در پژوهش حاضر، علت اصلی کاهش عملکرد دانه در تیمارهای تنش خشکی، کاهش تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه، و همچنین تفاوت هیبریدها از نظر تعداد ردیف در بلال بوده است. این یافته با یافته های سایر پژوهشگران (۱۸، ۲۵ و ۲۸) که نشان داده اند تنش خشکی تعداد دانه در بلال، وزن دانه و وزن کل بلال را کاهش می دهد، مطابقت دارد. کاهش تعداد دانه در بلال ممکن است بر اثر تأخیر در پیدایش کاکل و یا سقط جنین در اثر کمبود دسترسی به هیدرات های کربن باشد (۳).

### نتیجه گیری

به طور کلی، نتایج این پژوهش دو ساله حاکی از آن بود که تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع بوته، طول بلال، اجزای بلال (مثل تعداد دانه و ردیف در بلال)، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت گردید. بیشترین کاهش در ارتفاع بوته مربوط به تنش در مرحله رشد رویشی بود. همچنین، تنش در مرحله گل دهی باعث بیشترین افت در عملکرد دانه گردید. بیشترین کاهش در طول بلال، تعداد دانه در بلال، عملکرد دانه و شاخص برداشت در تیمارهای تنش در مرحله گل دهی به دست آمد. بیشترین کاهش در وزن هزار دانه

### منابع مورد استفاده

- Ahmadi, J., H. Zieinal, M. A. Rostami and R. Chogun. 2000. Study of drought resistance in commercially late maturing dent corn hybrids. *Iranian Journal of Agricultural Science* 31: 891-907. (In Farsi).
- Alizadeh, O., E. Majedi, H. A. Nadian, Gh. Nourmohammadi and M. R. Amerian. 2007. Effect of water stress and different nitrogen rates on phenology, growth and development of corn. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 14: 116-12. (In Farsi).
- Bassetti, P. and M. E. Westgate. 1993. Water deficit affects receptivity of maize silks. *Crop Science* 33: 278-182.
- Bolanos, J. 1995. Physiological bases for yield differences in selected maize cultivars from Central America. *Field Crops Research* 42: 69-80.
- Cakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research* 89: 1-16.
- Debaeke, P. and A. Aboudrare. 2004. Adaptation of crop management to water-limited environment. *European Journal of Agronomy* 21: 433-446.
- Denmead, O. T. and R. H. Shaw. 1960. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. *Agronomy Journal* 52: 272-274.

8. Earl, H. J. and R. F. Davis. 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation, use efficiency and yield of maize. *Agronomy Journal* 95: 688-696.
9. Emam, Y. 2007. Cereal Production. 3<sup>rd</sup> ed., Shiraz University Press, 190 p. (In Farsi).
10. Emam, Y. and Gh. H. Ranjbar. 2001. The effect of plant density and water stress during vegetative phase on grain yield, yield components and water use efficiency of maize. *Iranian Journal of Crop Science* 3: 51-63. (In Farsi).
11. Emam, Y. and M. Niknejad 2004. An Introduction to the Physiology of Crop Yield. Shiraz University Press, 571 p. (In Farsi).
12. Emam, Y. and M. J. Seghateleslami. 2005. Crop Yield, Physiology and Processes. Shiraz University Press, 593 p. (In Farsi).
13. Farley, O. T. R. and M. Shaw. 1989. Temperature and soil water effects on maize growth, development, yield and forage quality. *Crop Science* 36: 341-348.
14. Grant, R. F., B. C. Jackson, J. R. Kiniry and G. F. Arkin. 1989. Water deficit timing effects on yield components in maize. *Agronomy Journal* 81: 61-65.
15. Kaman, H., C. Kirda and S. Sesveren. 2011. Genotypic differences of maize in grain yield response to deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 98: 801-807.
16. Kalamian, S., A. M. Modares Sanavi and A. Sepehri. 2005. Effect of water deficit at vegetative and reproductive growth stage in leafy and commercial hybrids of maize. *Agricultural Research (Water, Soil and Plant)* 5: 38-53. (In Farsi).
17. Larson, E. J. and M. O. Clegg. 1999. Using corn maturity to maintain grain yield in the presence of late season drought. *Journal of Production Agriculture* 12: 400-405.
18. Majidian, M. and H. Ghadiri. 2002. Effect of water stress and different levels of nitrogen fertilizer during different growth stages on grain yield, yield components, water use efficiency and some physiological characteristics of corn (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Agricultural Science* 33: 521-533. (In Farsi).
19. Micheal, A. M. and T. P. Ojha. 1987. Principles of Agricultural Engineering. Vol. II, Jain Brothers Publisher, New Delhi, 320 p.
20. Nesmith D. S. and J. T. Ritchie. 1992. Short-and long-term responses of corn to a pre-anthesis soil water deficit. *Agronomy Journal* 84: 107-113.
21. Ouattar, S. R., J. Jones and R. K. Crookston. 1987. Effect of water deficit during grain filling on the pattern of maize kernel growth and development. *Crop Science* 27: 726-730.
22. Paolo, E. D. and M. Rinaldi. 2008. Yield response of corn to irrigation and nitrogen fertilization in a Mediterranean environment. *Field Crops Research* 105: 202-210.
23. Payero, J. O., D. D. Tarkalson, S. Irmak, D. Davison and J. L. Petersen. 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.
24. Pessarakli, M. 2001. Handbook of Plant and Crop Physiology. Second Edition, Marcel Dekker Inc., New York, 997p.
25. Pirasteh-Anosheh, H., R. Moradi, A. Saed and Y. Emam. 2010. Investigation of drought stress in different stages on yield and yield components of four maize hybrids. *1<sup>st</sup> International Conference on Water Recourses*, Iran, P. 61. (In Farsi).
26. Schussler, J. R. and M. E. Westgate. 1991. Maize kernel set at low water potential. I: Sensitivity to reduce assimilates during early kernel growth. *Crop Science* 31: 1189-1195.
27. Seilsepoor, M., P. Jaafari and H. Mollahosseini. 2006. The effects of drought stress and plant density on yield and some agronomic traits of maize (SC 301). *Journal of Research in Agricultural Science* 2: 13-24. (In Farsi).
28. Sobrado, M. A. 1990. Drought responses of tropical corn. I. Leaf area and yield components in field. *Maydica* 35: 221-226.
29. Tadayyoun, M. R. and Y. Emam. 2009. Cultural management under drought stress. *National Drought Seminar, Issues and Mitigation*, 13-15 May, College of Agriculture, Shiraz University, PP. 156-171. (In Farsi).

## Yield Response of Maize Hybrids to Drought Stress at Different Growth Stages

J. Rabbani and Y. Emam<sup>1\*</sup>

(Received : Mar. 4-2011 ; Accepted : Nov. 2-2011)

### Abstract

Drought stress is the most important limiting factor in crop plants including maize (*Zea mays* L.), which is the third important world crop after wheat and rice. Water deficiency at different growth stages affects maize yield differently. To examine the response of four maize hybrids to drought stress at different growth stages, a field experiment was carried out as a split plot based on completely randomized block design at Research Farm of College of Agriculture, Shiraz University, during 2009 and 2010 growing seasons. The main plots composed of four drought stress levels including optimum irrigation, withholding irrigation at vegetative growth stage (8-leaf to flowering), flowering and kernel filling. Four maize hybrids including Zola, BC666, Maxima and SC704 were allocated into sub-plots. Data analysis showed that the effect of year was not significant on measured characters; thus, the data of both years were combined. Drought stress affected all measured characters except number of kernels per ear. The most significant effect of drought stress at vegetative growth phase was on reduction of plant height (10.2%). Drought stress at flowering reduced ear length (12.6%), kernel per ear (17.8%), yield (29.1%) and harvest index (20.4%). The 1000-kernel weight was significantly reduced (10.3%) when drought stress occurred at kernel filling stage. SC704 hybrid had the highest height (281.07 cm), kernel per ear (710.62), ear length (19.45 cm), 1000-kernel weight (316.49 gr), biological yield (25368 kg/ha) and kernel weight (11291 kg/ha). The highest harvest index (46.99%) was achieved in Maxima hybrid. It appears that flowering stage was the most sensitive stage to drought. Although drought stress at all growth stages reduced maize yield, but in dry areas, it might be possible to accept a small reduction in maize yield and save an irrigation in favor of other crops, simultaneously grown with maize. According to the results of this 2-year experiment, Maxima hybrid appeared to be suitable for drought-prone areas, while SC704 is better for normal conditions.

**Keywords:** Biological yield, Maize hybrids, Growth stages.

---

1. MSc. Student and Prof. of Crop Prod., Respectively, College of Agric., Shiraz Univ., Shiraz, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: yaemam@gmail.com