

پاسخ‌های مورفو- فیزیولوژیک ذرت به تنش خشکی در مراحل مختلف رشد در منطقه نیمه خشک شمال فارس

رحیمه همتی، کبری مقصودی* و یحیی امام^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۶/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۸/۲۲)

چکیده

این پژوهش مزرعه‌ای به منظور بررسی پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیک ذرت هیبرید KSC704 به کم‌آبی در مراحل مختلف رشد در منطقه پاسارگاد (شمال غربی فارس) در سال ۱۳۸۹، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. در این پژوهش دوره رشد ذرت به سه فاز از استقرار گیاه تا ظهور گل تاجی (فاز I)، ظهور گل تاجی تا خمیری شدن دانه (فاز II) و از خمیری شدن دانه تا رسیدگی (فاز III) تقسیم شد. تیمارهای آزمایشی شامل، کنترل (بدون تنش)، قطع آبیاری بعد از خمیری شدن دانه، تنش ۷۵٪ نیاز آبی گیاه در مرحله رویشی و بعد از خمیری شدن دانه، تنش ۷۵٪ نیاز آبی گیاه در تمام مراحل رشد، تنش ۵۰٪ نیاز آبی گیاه در مرحله رویشی و بعد از خمیری شدن دانه و تنش ۵۰٪ نیاز آبی گیاه در تمام مراحل رشد بودند. نتایج نشان داد که، تنش ملایم (۷۵٪ نیاز آبی گیاه) در مرحله رویشی تأثیر معنی‌داری در رشد گیاه و عملکرد نداشت، لیکن، اعمال این تنش در تمام مراحل رشد، منجر به کاهش معنی‌داری پارامترهای مورفولوژیک، اجزای عملکرد و عملکرد دانه ذرت شد. تنش شدید (۵۰٪ نیاز آبی گیاه) در مرحله رویشی، آسیب زیادی به گیاه وارد کرد به نحوی که با آبیاری کامل در مرحله گلدهی قابل جبران نبود. با توجه به نتایج، مرحله گلدهی و اوایل پر شدن دانه، حساس‌ترین مرحله به تنش خشکی در ذرت تشخیص داده شد. هم‌چنین، بعد از مرحله خمیری شدن دانه، با قطع آبیاری، عملکرد رضایت‌بخشی به‌دست آمد. بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که این امکان وجود دارد که در منطقه پاسارگاد و دیگر شرایط اقلیمی مشابه، با اعمال کم‌آبیاری از طریق قطع آبیاری بعد از خمیری شدن دانه و کاهش آب مصرفی به حدود ۷۵٪ نیاز آبی، در دوره رشد رویشی و اواخر پر شدن دانه، بتوان در میزان آب مصرفی در ذرت صرفه‌جویی انجام داد.

واژه‌های کلیدی: ذرت، تنش خشکی، ارتفاع بوته، عملکرد

۱. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: k_maghsoudi1982@yahoo.com

مقدمه

در بسیاری از مناطق ایران، آب مورد نیاز کشاورزی از منابع آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود. بهره‌برداری بیش از حد از این منابع محدودیت آب را در این مناطق به دنبال دارد. علاوه بر این، استفاده از یک منبع آب مشترک در بین کشاورزان و کشت همزمان چندین گیاه در مزرعه باعث افزایش فواصل آبیاری می‌شود. این امر باعث کاهش دفعات آبیاری شده و معمولاً تنش کمبود آب به تدریج بر گیاه اعمال می‌شود. امروزه چالش بزرگ بخش کشاورزی تولید محصول بیشتر با استفاده از آب کمتر است (۱۶ و ۱۷).

در مناطق با محدودیت آب می‌توان با شناخت تأثیر تنش کمبود آب در مراحل گوناگون زندگی گیاه آب کمتری را آن مراحل مصرف کرد. در واقع، وقتی آب عامل محدودکننده باشد هدف اصلی، افزایش درآمد خالص در واحد آب مصرفی (نه در واحد زمین) است (۱۳). برای یک منطقه ویژه عملکرد گیاه با آبیاری کامل، نسبتاً ثابت است، اما، عملکرد در شرایط دیم و کم آبیاری، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک می‌تواند به‌طور قابل ملاحظه‌ای متغیر باشد که این موضوع به زمان و مقدار آب قابل دسترس گیاه وابسته است (۲۰). بنابراین، پژوهش در زمینه پاسخ گیاه به تنش خشکی در مراحل مختلف رشد برای دستیابی به بالاترین بهره‌وری آب ضروری است (۱۴).

ذرت با نام علمی (*Zea mays* L.) یک گیاه تابستانی مهم در استان فارس و منطقه پاسارگاد است که نیاز آبی بالایی دارد و در صورت محدود نبودن آب و مواد غذایی از عملکرد بالایی برخوردار است. از طرفی تنش خشکی از طریق تغییرات آناتومیک، مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بر جنبه‌های مختلف رشد گیاه تأثیر می‌گذارد. شدت خسارت خشکی به محصول بسته به طول مدت تنش و مرحله رشد گیاه متفاوت است (۸). آثار قابل مشاهده خشکی بر ذرت شامل کاهش رشد، تأخیر در رسیدگی و کاهش عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه است (۱۲).

در دوره رشد رویشی تنش خشکی با محدود کردن تقسیم

و گسترش سلول‌ها به‌طور مستقیم و با کاهش میزان فتوسنتز به‌طور غیرمستقیم تولید ماده خشک را کاهش می‌دهد. مرحله رشد زایشی با بالاترین مقدار تبخیر و تعرق گیاه همزمان است که این امر باعث معنی‌دارتر شدن اثر تنش در طول این دوره می‌شود. با این وجود روابط عملکرد و تبخیر و تعرق گیاه ثابت نیست و بسته به مکان متفاوت است. این تفاوت احتمالاً ناشی از تفاوت در الگوی بارندگی، خواص خاک و گیاه و مدیریت شرایط آب و هوایی می‌باشد (۱۹). پایرو و همکاران (۲۰) مراحل رشد شیری تا خمیری دانه را بحرانی‌ترین زمان آبیاری گزارش کردند. امام و رنجبر (۹) و نیز هارولد (۱۵) کاهش عملکرد معنی‌داری را با اعمال تنش در مرحله رویشی مشاهده کردند. اغلب پژوهشگران حساس‌ترین مرحله رشد به کم‌آبی را مرحله گلدهی تا شیری شدن دانه گزارش کرده‌اند (۱، ۵، ۶، ۱۲، ۱۹، ۲۱، ۲۲).

در اغلب پژوهش‌های انجام گذشته، تنش آب در ذرت با قطع کامل آبیاری یا شرایط تنش بسیار شدید مطالعه شده است. اثر تنش ملایم و نسبتاً شدید ناشی از افزایش فواصل آبیاری که احتمال رخداد آن در مزارع کشاورزان بیشتر است، کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. این نوع کم‌آبیاری در اکثر موارد با کاهش مصرف آب آبیاری منجر به ذخیره آب مصرفی و کاهش هزینه تولید می‌شود (۱۲). بنابراین اطلاع از پاسخ گیاه به کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشد و تحت شرایط کشت و آبیاری مشابه با کشاورزان منطقه ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش به منظور دستیابی به مناسب‌ترین دوره رشد برای انجام کم‌آبیاری در زراعت ذرت در منطقه پاسارگاد، تأثیر شدت و زمان اعمال تنش خشکی بر پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیک ذرت مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۳۸۹ در منطقه پاسارگاد در شمال غربی استان فارس (با طول جغرافیایی ۵۳° و ۱° ، عرض جغرافیایی ۳۰° و ۱۱° و ۱۹۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا) در

جدول ۱. مشخصات خاک محل انجام آزمایش

عمق خاک (cm)	بافت خاک	هدایت الکتریکی dS/m	اسیدیته	جرم مخصوص ظاهری (g/cm ³)	درصد وزنی رطوبت اشباع (%)	درصد وزنی رطوبت (FC)
۰-۳۰	لومی	۲/۵۵	۷/۹	۱/۵۵	۴۸	۱۹/۵۷

$$d = \frac{FC - P_0}{E} \times AS \times D \quad [1]$$

که در آن d: ارتفاع آب آبیاری برحسب سانتی‌متر، FC: ظرفیت زراعی مزرعه، P₀: رطوبت خاک قبل از آبیاری، E: راندمان آبیاری، AS: وزن مخصوص ظاهری خاک (g/cm³) و D: عمق توسعه ریشه برحسب سانتی‌متر می‌باشد. آبیاری کرت‌های شاهد براساس عرف منطقه با فواصل ده روز یک‌بار صورت گرفت. هم‌چنین، دو سطح تنش ملایم و شدید با افزایش فواصل آبیاری اعمال شد. میزان آب مصرفی در هر آبیاری در تیمارهای مختلف در جدول ۲ آورده شده است.

در زمان کاکل‌دهی ذرت، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، طول (L) و بزرگ‌ترین عرض پهنک برگ (W) ده بوته (از ردیف وسط هر کرت) اندازه‌گیری و با استفاده از رابطه زیر سطح برگ (LA) محاسبه شد (۱۵):

$$LA = L \times W \times 0.754 \quad [2]$$

در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، بوته‌های دو مترمربع از وسط هر کرت برداشت و براساس آنها عملکرد دانه و وزن بلال (براساس صفر درصد رطوبت) اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری اجزای عملکرد دانه شامل تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه، از ده بلال استفاده گردید. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح آماری ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

قطع آبیاری بعد از مرحله خمیری شدن دانه و نیز تیمارهای تنش خشکی ملایم (۷۵٪ حد ظرفیت زراعی) تأثیر آماری

قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل، کنترل (بدون تنش)، قطع آبیاری بعد از خمیری شدن دانه، تنش ۷۵٪ نیاز آبی گیاه در مرحله رویشی و بعد از خمیری شدن دانه، تنش ۷۵٪ نیاز آبی گیاه در تمام مراحل رشد، تنش ۵۰٪ نیاز آبی گیاه در مرحله رویشی و بعد از خمیری شدن دانه و تنش ۵۰٪ نیاز آبی گیاه در تمام مراحل رشد بودند.

خاک مزرعه دارای بافت لومی، هدایت الکتریکی عصاره اشباع ۲/۵۵ و اسیدیته ۷/۹ بود (جدول ۱). بذره‌های ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ در تاریخ ۱۸ خرداد به‌صورت دستی و با تراکم نهایی ۶/۶۷ بوته در مترمربع کشت شدند. درکرت آزمایشی شامل ۱۰ ردیف با فاصله ۷۵ سانتی‌متر بود. کوددهی براساس آزمون خاک به مقدار ۴۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن از منبع اوره (در دو مرحله قبل از کاشت و مرحله ۶ برگگی) و ۲۰۰ کیلوگرم فسفات آمونیوم (تماماً قبل از کاشت) در هکتار انجام گردید. مبارزه با علف‌های هرز نیز در طول دوره رشد گیاه، به‌صورت وجین دستی انجام شد. در این پژوهش دوره رشد ذرت به سه فاز از استقرار گیاه تا ظهور گل تاجی (فاز I)، ظهور گل تاجی تا خمیری شدن دانه (فاز II) و از خمیری شدن دانه تا رسیدگی (فاز III) تقسیم شد.

تا زمان استقرار کامل بوته‌ها (مرحله دو برگگی) آبیاری همه کرت‌ها معادل نیاز آبی گیاه انجام شد و بعد از آن تیمارها اعمال گردید. به منظور تعیین میزان آب آبیاری از تخلیه رطوبتی خاک و با توجه به دور معمول آبیاری منطقه ده روز و درصد تخلیه مجاز (۵۰ درصد) استفاده شد. رطوبت خاک در عمق ریشه گیاه به روش وزنی تعیین و با استفاده از رابطه زیر مقدار آب آبیاری لازم برای این‌که رطوبت خاک تا عمق ریشه به حد ظرفیت مزرعه (FC) برسد، محاسبه گردید (۲۴):

با کاهش آب آبیاری، سطح برگ در گیاه ذرت کاهش معنی داری یافت. هم‌چنین فارری و فاسی (۱۲) با اعمال تنش خشکی در مراحل مختلف رشد ذرت، گزارش دادند که کاهش شاخص سطح برگ فقط در شرایط اعمال تنش در تمام مراحل رشد، دیده شد.

براساس نتایج مشخص گردید که در تیمار قطع آبیاری بعد از مرحله خمیری شدن دانه و نیز تنش خشکی ملایم در مرحله رویشی و بعد از خمیری شدن دانه‌ها، اختلاف آماری معنی داری از نظر صفت طول بلال، با شاهد مشاهده نشد (جدول ۳). در مقابل، تنش خشکی ملایم در تمام مراحل رشد، بدون اختلاف آماری معنی داری با تیمارهای تنش خشکی شدید، به‌طور میانگین منجر به کاهش ۱۵ درصدی طول بلال در مقایسه با شاهد گردید (جدول ۳). هم‌چنین مشاهده شد که از نظر صفت قطر بلال، بین تنش‌های خشکی ملایم و شاهد اختلاف آماری معنی داری وجود نداشت. اگرچه این صفت به‌طور معنی داری تحت تأثیر منفی تنش شدید خشکی قرار گرفت (جدول ۳). در همین راستا داگدیلن و همکاران (۶) نیز گزارش دادند که اعمال تنش خشکی از مرحله ظهور گل تاجی تا پر شدن دانه، باعث کاهش طول و قطر بلال شد.

نتایج به‌دست آمده حاکی از آن بود که تیمارهای آزمایشی تأثیر آماری معنی داری بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت داشت. به‌طوری‌که تیمارهای قطع آبیاری بعد از خمیری شدن دانه و تنش خشکی ملایم در مرحله رویشی و بعد از خمیری شدن دانه، از نظر تعداد دانه در ردیف با شاهد اختلاف آماری معنی داری نداشتند (جدول ۳). در مقابل، تنش خشکی ملایم در تمام مراحل رشد و نیز تیمارهای تنش خشکی شدید باعث کاهش معنی دار این صفت در مقایسه با شاهد گردیدند (جدول ۳).

در ذرت از چند روز پیش از گرده افشانی تا تلقیح کامل تخمدان‌ها، جذب آب و عناصر غذایی در بیشینه خود می‌باشد (۸) و پتانسیل تعداد دانه در ردیف در این دوره تعیین می‌شود (۹). بلوم (۲) گزارش داد که تنش خشکی در این دوره باعث کاهش تعداد دانه در ردیف می‌شود و با آبیاری در مراحل بعدی

معنی داری بر ارتفاع بوته نداشت، اما تیمارهای تنش خشکی شدید (۵۰٪ حد ظرفیت زراعی) کاهش معنی دار ارتفاع بوته را به همراه داشت (جدول ۳). در همین رابطه فرهاد و همکاران (۱۰) گزارش کردند که با افزایش سطح تنش خشکی ارتفاع هیبریدهای ذرت کاهش یافت. داگدیلن و همکاران (۶) نیز بیشترین ارتفاع بوته‌های ذرت را در آبیاری کامل و کمترین را در تیمار بدون آبیاری گزارش کردند. هم‌چنین نتایج ساکر (۵) نیز نشان داد که تنش خشکی در مرحله رویشی و گلدهی، موجب کاهش ارتفاع ذرت گردید. به علاوه، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کاهش ارتفاع ناشی از تنش خشکی شدید در مرحله رشد رویشی، با آبیاری کامل در مرحله گلدهی جبران شد (جدول ۳).

نتایج حاصل از این آزمایش حاکی از آن بود که اگرچه بین تیمارهای تنش ملایم در مرحله رویشی و بعد از خمیری شدن دانه، تنش ملایم در تمام مراحل رشد و قطع آبیاری بعد از خمیری شدن دانه با شاهد اختلاف آماری معنی داری دیده نشد، اما، تنش خشکی شدید در مرحله رویشی و بعد از خمیری شدن دانه بدون اختلاف معنی داری با تیمار تنش خشکی شدید در تمام مراحل رشد، موجب ۲۰ درصد کاهش در قطر ساقه نسبت به شاهد، گردیدند (جدول ۳). در آزمایش بوزکوورت و همکاران (۴) نیز بیشترین قطر ساقه ذرت در تیمار آبیاری کامل گزارش شد.

تنش خشکی تأثیر معنی داری بر سطح برگ ذرت داشت به‌طوری‌که بوته‌هایی که در تیمار شاهد (عدم تنش خشکی) قرار داشتند، بالاترین سطح برگ را به خود اختصاص دادند. هرچند با تیمارهای تنش خشکی ملایم تفاوت آماری معنی داری نداشتند (جدول ۳). در مقابل، تنش خشکی شدید در مرحله رویشی و بعد از خمیری شدن دانه بدون اختلاف آماری معنی داری با تیمار تنش خشکی شدید در تمام مراحل رشد، منجر به ۲۶ درصد کاهش در سطح برگ نسبت به شاهد، شدند (جدول ۳). در همین زمینه نسیمیت و ریچی (۱۸)، پانندی و همکاران (۱۹) و نیز فرهاد و همکاران (۱۰) گزارش کردند که

جدول ۲. مقادیر آب آبیاری (آب مصرفی) برحسب میلی‌متر در نوبت‌های آبیاری در تیمارهای مختلف

فاز III	فاز II					فاز I					تیمار						
	مه‌ماه	شهریور ماه	مرداد ماه	تیر ماه	روز	مه‌ماه	شهریور ماه	مرداد ماه	تیر ماه	روز							
۱۹	۱۴	۴	۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۳۱	۲۶	۲۱	۱۶	۶	۲۷	۲۲	۱۷	شاهد
۵۳	۵۷	۵۷	۷۸	۷۸	۷۸	۸۰	۸۸	۸۸	۸۵	۸۵	۸۰	۸۰	۷۱	۷۰	۶۸	۶۸	شاهد
۶۶		۷۸	۷۸	۷۸	۸۰	۸۰	۸۸	۸۵	۸۵	۸۵	۸۰	۷۱	۷۱	۶۸	۶۸	۶۸	شاهد
۶۵	۸۰	۸۰	۷۸	۷۸	۸۰	۸۰	۸۸	۸۸	۸۵	۸۵	۸۰	۷۱	۷۱	۶۸	۶۸	۶۸	شاهد
۵۳																	شاهد
۵۳																	شاهد

جدول ۳. میانگین صفات مورفولوژیک، اجزای عملکرد و عملکرد دانه ذرت در تیمارهای مختلف آبیاری

عملکرد دانه (g/m ²)	وزن صد دانه (g)	تعداد دانه در ردیف	تعداد دانه در ردیف	قطر بالابال (cm)	طول بالابال (cm)	سطح برگ (cm ²)	قطر ساقه (cm)	ارتفاع (cm)	تیمار
۱۲۴۰/۵۰ ^a	۱۹/۸۹ ^{ab}	۵۴/۳۰ ^a	۵/۷۲ ^a	۲۰/۰۰ ^a	۶۳۹/۹۵ ^a	۳/۰۷ ^a	۲۴۳/۵ ^{ab}	شاهد	
۱۱۸۵/۸۰ ^a	۲۱/۹۶ ^a	۵۱/۷۰ ^a	۴/۹۴ ^{ab}	۱۹/۷۷ ^a	۶۲۳/۱۲ ^a	۲/۹۳ ^a	۲۵۸/۹ ^a	قطع آبیاری بعد از خمیری شدن دانه	
۱۰۳۷/۳۰ ^a	۲۱/۵۱ ^{ab}	۵۰/۷۰ ^a	۵/۷۳ ^a	۱۹/۷۷ ^a	۶۱۸/۹۷ ^a	۲/۸۹ ^{ab}	۲۳۱/۳ ^{bc}	تنش ملایم در مرحله رویشی، بعد از خمیری شدن دانه	
۷۳۲/۱۰ ^b	۱۹/۰۰ ^b	۴۲/۰ ^b	۵/۷۸ ^a	۱۷/۵۰ ^b	۶۱۱/۱۲ ^a	۲/۹۹ ^a	۲۲۶/۸ ^{ab}	تنش ملایم در تمام مراحل رشد	
۵۴۱/۰۰ ^b	۱۵/۲۲ ^c	۴۷/۳۰ ^{ab}	۴/۳۰ ^b	۱۶/۷۷ ^b	۴۵۳/۷۷ ^b	۲/۴۰ ^c	۲۰۶/۲ ^d	تنش شدید در مرحله رویشی و بعد از خمیری شدن دانه	
۴۶۳/۲۰ ^b	۱۱/۵۶ ^d	۴۰/۰۰ ^b	۴/۲۱ ^b	۱۶/۰۰ ^b	۴۷۷/۹۷ ^a	۲/۴۸ ^c	۲۱۰/۷ ^{cd}	تنش شدید در تمام مراحل رشد	

تنش ملایم: ۷۵٪/ حد ظرفیت زراعی مزرعه، تنش شدید ک ۵۰٪/ حد ظرفیت زراعی مزرعه. (در هر ستون میانگین‌هایی دارای حروف مشابه هستند، براساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ با هم ندارند).

قابل جبران نمی‌باشد. به عقیده کلاسن و شاو (به نقل از ۸) رژیم رطوبتی مناسب در دوره قبل از ظهور کاکل، نه تنها برای رشد ساختارهای رویشی که تعیین‌کننده ظرفیت تولید ماده خشک گیاه هستند، بلکه برای نمو اندام‌های زایشی نیز دارای اهمیت است. ماس و داوونی (به نقل از ۸) نیز بیان داشتند که تنش خشکی قبل از کاکل‌دهی می‌تواند تعداد دانه را به دلیل افزایش تعداد گامتوفیت‌های عقیم ناشی از کمبود هیدرات کربن، کاهش دهد.

در پژوهش حاضر مشخص شد که تنش خشکی ملایم در دوره رویشی کاهش معنی‌داری در تعداد دانه در ردیف به دنبال نداشت (جدول ۳). در تحقیق هارلد (۱۵) وقتی دوره تنش خشکی دو برابر شد، کاهش تعداد دانه بسیار شدیدتر شد. از آنجا که پتانسیل اندازه بلال و تعداد تخمک در مرحله رویشی تعیین می‌شود، انتظار می‌رود که تعداد دانه با افزایش تنش خشکی در این مرحله کاهش یابد (۱۵). نتایج آزمایش حاضر نیز نشان داد که قطع آبیاری بعد از مرحله خمیری شدن دانه، اثری بر تعداد دانه در ردیف نداشت (جدول ۳). پژوهشگران معتقدند که دو تا سه هفته بعد از گرده‌افشانی تعداد دانه ثابت می‌شود (۲۳، ۱۴ و ۲۵).

وزن صد دانه ذرت در تیمارهای قطع آبیاری بعد از خمیری شدن دانه و تنش خشکی ملایم در مرحله رویشی و بعد از خمیری شدن دانه با شاهد (عدم تنش خشکی)، در تقسیم‌بندی دانکن در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۳). به عبارت دیگر، در تیمار قطع آبیاری بعد از خمیری شدن دانه، تا قبل از قطع آبیاری، شرایط رشد مطلوب بوده و آب مورد نیاز گیاه در دسترس بوده، بنابراین، بوته‌ها از ذخیره کافی مواد پرورده برخوردار بوده‌اند. در تیمار تنش خشکی ملایم در مرحله رویشی و بعد از خمیری شدن دانه نیز مشاهده شد که تنش خشکی باعث کاهش سطح برگ نگردید (جدول ۳). بنابراین، اعمال تنش خشکی در مرحله مذکور، تأثیری بر میزان مواد پرورده تولیدی نداشته است. از طرف دیگر، تحت تنش خشکی ظرفیت صادرات مواد پرورده از برگ به دانه افزایش می‌یابد

(۲۶). بنابراین، در این تیمارها دانه‌ها شرایط مناسبی برای پر شدن دارند و در نتیجه نسبت به شاهد در وزن صد دانه این تیمارها اکتی ایجاد نمی‌شود.

با اعمال تنش خشکی شدید در مرحله رویشی و بعد از خمیری شدن دانه و نیز تنش شدید در تمام مراحل رشد، وزن صد دانه ذرت در مقایسه با شاهد به ترتیب ۲۴ و ۴۲ درصد کاهش یافت (جدول ۳). در این تیمارها، شدت تنش خشکی به حدی بوده است که از طریق کاهش فتوسنتز و القاء پیری برگ‌ها بر وزن دانه تأثیر منفی به جا گذاشته است (۷). در همین راستا، امام و رنجبر (۹) بیان داشتند که تنش خشکی شدید در مرحله رشد رویشی، باعث کاهش اندازه گیاه می‌گردد که این کاهش در نهایت کم شدن مواد پرورده تولیدی در زمان پر شدن دانه در بلال را به دنبال دارد.

هر چند تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه ذرت داشت، لیکن، قطع آبیاری بعد از خمیری شدن دانه و تنش خشکی ملایم در مرحله رویشی و بعد از خمیری شدن دانه، کاهش معنی‌داری را در عملکرد دانه در مقایسه با شاهد، در پی نداشت (جدول ۳). البته تنش خشکی ملایم در تمام دوره رشد گیاه منجر به کاهش معنی‌دار ۴۲ درصدی عملکرد دانه را به دنبال داشت (جدول ۳). این نتیجه حاکی از حساس بودن مرحله زندگی گیاه، از چند روز قبل از ظهور گل تاجی تا خمیری شدن دانه، به تنش خشکی می‌باشد (۸).

مقایسه میانگین تیمارهای تنش خشکی ملایم در تمام مراحل رشد و تنش شدید در مرحله رویشی و بعد از خمیری شدن دانه، اهمیت شدت و زمان تنش را آشکار می‌سازد. معنی‌دار نبودن تفاوت میانگین‌های تیمارهای تنش ملایم در تمام مراحل رشد و تنش شدید در مرحله رویشی و بعد از خمیری شدن دانه نشان داد که به همان میزان که تنش خشکی ملایم در مرحله گلدهی بر عملکرد دانه تأثیر دارد، تنش شدید در مرحله رشد رویشی نیز می‌تواند عملکرد دانه ذرت را کاهش دهد و با آبیاری کامل در زمان گلدهی جبران نمی‌شود (جدول ۳). در همین زمینه هارلد (۱۵) با اعمال تنش شدید در

برای کم‌آبیاری است و کمترین کاهش عملکرد را به همراه خواهد داشت.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج پژوهش حاضر، مرحله گلدهی و اوایل پر شدن دانه، حساس‌ترین مرحله به تنش خشکی در ذرت تشخیص داده شد. همچنین مشخص گردید که ذرت در مرحله رشد رویشی، قادر به تحمل تنش خشکی ملایم است، لیکن، اعمال تنش خشکی شدید در این مرحله، با خطر کاهش عملکرد همراه بود. قطع آبیاری بعد از مرحله خمیری شدن دانه، به عملکرد رضایت‌بخشی ختم شد. بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که این امکان وجود دارد که در شرایط مشابه با پژوهش حاضر بتوان با اعمال کم‌آبیاری از طریق قطع آبیاری بعد از خمیری شدن دانه و کاهش آب مصرفی به حدود ۷۵٪ نیاز آبی در دوره رشد رویشی و اواخر پر شدن دانه، در میزان آب مصرفی در ذرت سینگل کراس ۷۰۴ صرفه‌جویی کرد و در عین حال به عملکرد رضایت‌بخشی دست یافت.

مرحله رشد رویشی، کاهش ۴۶ درصدی عملکرد را گزارش داد. امام و رنجبر (۹) نیز کاهش عملکرد ۱۴ درصدی را برای تیمار تنش خشکی شدید، در مرحله رویشی گزارش کردند.

نتایج این پژوهش هم‌چنین نشان داد که قطع آبیاری بعد از خمیری شدن دانه کاهش عملکرد معنی‌داری را به همراه نداشت (جدول ۳). در این رابطه فارری و فاسی (۱۱) و هم‌چنین داگدیلن و همکاران (۶) بیان داشتند که اعمال تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه، کاهش عملکرد معنی‌داری را باعث نشد. یافته‌های تحقیقات پایرو و همکاران (۲۰) و نیز امام و رنجبر (۹) حاکی از این است که اگرچه بروز تنش خشکی در هر مرحله از رشد گیاه، عملکرد را کاهش می‌دهد، اما، اثر آن در مرحله زایشی به‌علت زیاد بودن میزان تبخیر و تعرق شدیدتر است. در همین راستا ساکر (۵) در پژوهشی سه ساله، بیان داشت که در سال‌های خشک، حذف یک نوبت آبیاری در مراحل ظهور گل تاجی و تشکیل بلال، کاهش عملکرد ۴۰ درصدی را در ذرت در پی داشت. بنابراین، اگر رطوبت محدودکننده باشد، در شرایط مشابه با پژوهش حاضر، تنش آخر فصل (از مرحله خمیری تا رسیدگی) بهترین گزینه

منابع مورد استفاده

1. Ayana, M. 2011. Deficit irrigation practices as alternative means of improving water use efficiencies in irrigated agriculture: Case study of maize crop at Arba Minch, Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research* 6(2): 226-235.
2. Basafa, M. and M. Taheriyani. 2009. Strategies for coping with drought stress in maize and sorghum. *Agriculture and Natural Resource Research Centre Khorasan Razavi bulletin* No.6 (In Farsi)
3. Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential—are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research* 56: 1159–1168.
4. Bozkurt, S., A. Yazar and G. S. Mansuroglu. 2011. Effects of different drip irrigation levels on yield and some agronomic characteristics of raised bed planted corn. *African Journal of Agricultural Research* 6(23): 5291-5300.
5. Cakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research* 89: 1- 6.
6. Dagdelen, N., T. Gürbüz, F. Sezgin, E. Yilmaz, E. Yesilirmak and S. Akçay. 2008. Effect of different Water Stress on the Yield and Yield Components of Second Crop Corn in Semiarid Climate. Intl. Meeting on Soil Fertility Land Management and Agroclimatology. Turkey, PP: 815-826.
7. Edmeade, G.O., J. Bolan, S.C. Chapman, H. R. Lafitte and M. Banziger. 1999. Selection improves drought tolerance in tropical maize populations: I. gains in biomass, grain yield, and harvest index. *Crop Science* 39: 1306–1315.
8. Emam, Y. 2012. Cereal Crop Production. 4th ed., Shiraz University Press. 190 pp. (In Farsi)
9. Emam, Y. and G. H. Ranjbar. 2000. 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* 2:51-62. (In Farsi)
10. Farhad, W., M. A. Cheema, M. F. Saleem and M. Saqib. 2011. Evaluation of drought tolerant and sensitive maize hybrids. *International Journal of Agricultural Biology* 13: 523–528.

11. Farre, I. and J. M. Faci. 2006. Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management* 83: 135-143.
12. Farre, I. and J. M. Faci. 2009. Deficit irrigation in maize for reducing agricultural water use in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management* 96: 383-394.
13. Fereres, E. and M. A. Soriano. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany* 58(2): 147-159.
14. Geerts, S. and D. Raes. 2009. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management* 96: 1275-1284.
15. Harold, V. E. 1986. Effect of water deficit on yield, yield component and water use efficiency of irrigated corn. *Agronomy Journal* 78: 1035-1040.
16. Mokhtarpour, H., C. B. S. Saleh, G. Selmat, A. B. Asadi and M. E. Kamar. 2010. Non-destructive estimation of maize leaf area, fresh weight, and dry weight using leaf length and leaf width. *Communications in Biometry and Crop Science* 5(1):19-26.
17. Montazar, A. and H. Kosai. 2007. Water productivity analysis of some irrigated crops in Iran. Proceeding of the international conference of water saving in Mediterranean agriculture and future needs. Valenzano. (Italy). Series B. 56(1): 109-120.
18. Nesmith, D. S. and J. T. Ritchie. 1992. Effects of soil water-deficits during tassel emergence on development and yield component of maize (*Zea mays* L.). *Field Crops Research* 28: 251-256.
19. Pandey, R. K., J.W. Maranville and A. Admou. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. I. Grain yield and yield components. *Agricultural Water Management* 46: 1-13.
20. 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.
21. Payero, J.O., S.R. Melvin, S. Irmak and D. Tarkalson. 2006. Yield response of corn to deficit irrigation in a semiarid climate. *Agricultural Water Management* 84: 101-112.
22. Payero, J.O., D. D. Tarkalson, S. Irmak, D. Davison and J. L. Petersen. 2008. Effect of irrigation amounts applied with subsurface drip irrigation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency, and dry matter production in a semiarid climate. *Agricultural Water Management* 95: 895-908.
23. Sangakkara, U. R., P. Amarasekera and P. Stamp. 2010. Irrigation regimes affect early root development; shoot growth and yields of maize (*Zea mays* L.) in tropical minor seasons. *Plant Soil Environment* 56(5): 228-234.
24. Shekoofa, A. and Y. Emam. 2006. Maize (*Zea mays* L.) growth and yield response to ethephon application under water stress conditions. *Iran Agricultural Research* 24: 39-52.
25. Stockle, C. O. and L. G. James. 1989. Analysis of deficit irrigation strategies for corn using crop growth simulation. *Irrigation Science* 10: 85-98.
26. Trouverie, J. and J. L. Prioul. 2006. Increasing leaf export and grain import capacities in maize plants under water stress. *Functional plant biology* 33: 209-218.