

بررسی اثر قطع آبیاری بر عملکرد دانه و خصوصیات فیزیولوژیکی ذرت (*Zea mays* L., S.C.704) در کشت تابستانه

علی کریمی^۱، محمداقبال قبادی^{۲*}، مختار قبادی^۲، ایرج نصرتی^۲

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زراعت، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی

۲. دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۳/۰۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۴/۱۶

چکیده

به منظور بررسی اثر قطع آبیاری در زمان‌های مختلف رشدی بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک ذرت دانه‌ای (هیبرید سینگل کراس ۷۰۴)، پژوهشی در تابستان سال ۱۳۹۴ در روستای سیاه‌گل واقع در شهرستان گیلانغرب (استان کرمانشاه)، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل شاهد (هر هفته آبیاری) و یک‌مرتبه قطع آبیاری به مدت دو هفته از ۷، ۲۱، ۳۵، ۴۹، ۶۳ و ۷۲ روز پس از کاشت و یک‌مرتبه قطع آبیاری به مدت سه هفته از ۷، ۲۸، ۴۹، ۷۰ و ۹۱ روز پس از کاشت بودند. در تمامی تیمارها فقط یک‌مرتبه به مدت دو و یا سه هفته آبیاری قطع شد و قبل و پس از آن، آبیاری‌ها به صورت هفته‌ای انجام شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سه هفته قطع آبیاری موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، کارایی بیولوژیکی و اقتصادی مصرف آب، کلروفیل a، کلروفیل b و افزایش میزان غلظت پروکلین شد. طبق نتایج مقایسه‌های میانگین بیش‌ترین عملکرد دانه (۱۳۶۰۰ کیلوگرم در هکتار) و وزن هزار دانه (۲۳۲ گرم) در تیمار شاهد به دست آمد و در تیمار سه هفته قطع آبیاری از روز ۴۹ پس از کاشت (مرحله ظهور گل آذین نر)، هر دو به ترتیب صفر بودند. عملکرد بیولوژیک در این تیمار حدود ۶۶ درصد در مقایسه با شاهد کاهش داشت. به‌طور کلی نتایج نشان داد که مراحل اولیه و مرحله آخر دوره رشد دارای کمترین حساسیت به قطع آبیاری بود و تأخیر در آبیاری تا سه هفته هم اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه ندارد ولی در مراحل گرده‌افشانی و پر شدن دانه حتی دو هفته قطع آبیاری هم باعث خسارت قابل توجه به عملکرد دانه خواهد شد و نباید با مشکل کم‌آبی و با تأخیر در آبیاری مواجه گردد.

واژه‌های کلیدی: پروکلین، تنش آبی، کارایی مصرف آب، کلروفیل

مقدمه

امروزه در تمام جهان، ذرت به‌طور مستقیم، به‌صورت ماده غذایی برای میلیون‌ها نفر و به‌طور غیرمستقیم به‌صورت یک محصول علوفه‌ای، به‌عنوان یکی از اجزای ضروری امنیت غذایی جهانی محسوب می‌شود. در گیاهان زراعی چهار کربنه، اگرچه مقاومت بالایی به کم‌آبی وجود دارد ولی در بین آن‌ها ذرت بیشترین حساسیت به تنش‌های محیطی دارد (Emam and Niknejad, 2011). ذرت در شرایط تنش آبی به دلیل مواجه شدن با درجه حرارت‌های بالا و محیط‌های گرمسیری، کاهش معنی‌دار عملکرد دیده شده است (Campos et al., 2004)؛ بنابراین، عملکرد بالای ذرت مستلزم تأمین آب کافی در طول فصل رشد است (Jose et al., 2000). تنش کم‌آبی بر اجزای عملکرد به‌ویژه تعداد مخازن تشکیل شده در گیاه یا دانه‌ها اثرات منفی شدیدی دارد و باعث کاهش تعداد آن‌ها می‌شود (Farjam et al., 2014).

در زمینه اثرات تنش خشکی بر ذرت مطالعات زیادی صورت گرفته است. شدت خسارت خشکی بر عملکرد ذرت، بسته به طول مدت و شدت تنش و همچنین مرحله رشدی گیاه متفاوت است. در آزمایشی، تنش خشکی پیش از گلدهی،

در زمینه اثرات تنش خشکی بر ذرت مطالعات زیادی صورت گرفته است. شدت خسارت خشکی بر عملکرد ذرت، بسته به طول مدت و شدت تنش و همچنین مرحله رشدی گیاه متفاوت است. در آزمایشی، تنش خشکی پیش از گلدهی،

است. کشت این محصول در تاریخ‌های مختلف بوده و همین امر باعث شده که جزو سه استان اول تولیدکننده ذرت در کشور باشد. بر اساس آمارنامه رسمی وزارت جهاد کشاورزی در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ (آخرین گزارش موجود)، سطح زیر کشت ذرت در ایران و کرمانشاه به ترتیب ۱۵۸۵۳۴ و ۱۶۳۵۳ هکتار و متوسط عملکرد ذرت نیز به ترتیب ۷۳۸۰ و ۹۳۳۰ کیلوگرم در هکتار است (Ahmadi et al., 2017). به دلیل کمبود منابع آب‌های سطحی، منبع تأمین آب در بسیاری از نقاط استان سفره‌های آب زیرزمینی و حفر چاه هستند که آب را از اعماق مختلف زمین به کمک انرژی الکتریکی بالا آورده و پمپ شناور که در عمق چاه قرار دارد به دلیل قرار گرفتن داخل آب و محیط سرد به مرور زمان دچار زنگ‌زدگی و خوردگی می‌شود و به‌طور ناگهانی از کار می‌افتند، علاوه بر این، به دلیل پایین رفتن سطح آب زیرزمینی، مرتب چاه‌ها را کف شکنی و عمیق‌تر کرده و پمپ در عمق بیشتری قرار می‌گیرد. پمپی که آب را از عمق بیشتری بالا آورد، فشار بیشتری تحمل کرده و احتمال فرسودگی بیشتر می‌گردد.

در این تحقیق کلیه زمان‌های رشدی گیاه ذرت از سبز شدن تا رسیدن فیزیولوژیک با فرض سوختگی پمپ شناور چاه آب و مدت‌زمان راه‌اندازی دوباره آن که دو یا سه هفته طول می‌کشد، مورد بررسی قرار گرفته است. براین اساس، این آزمایش به منظور الف) بررسی امکان حذف برخی از مراحل آبیاری یا کاهش میزان آب آبیاری در برخی از مراحل رشدی، به‌طوری‌که به کمترین کاهش عملکرد منجر شود و ب) در صورت معیوب شدن ناگهانی سیستم آبرسانی به مدت دو و یا سه هفته در هر مرحله رشدی، واکنش اجزای عملکرد و عملکرد دانه چگونه خواهد بود؟ انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در تابستان سال ۱۳۹۴ در مزرعه‌ای واقع در روستای سیاه‌گل (با عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱ دقیقه و طول ۴۵ درجه و ۹ دقیقه)، از توابع شهرستان گیلانغرب که دارای اقلیمی با زمستان‌های ملایم و تابستان‌های گرم و خشک و ارتفاع ۷۱۶ متر از سطح دریا، اجرا شد. متوسط بارندگی سالیانه درازمدت شهرستان ۴۳۷ میلی‌متر است. وضعیت آب و هوایی منطقه در سال اجرای آزمایش در جدول ۱ آمده است. قبل از آماده‌سازی زمین، از خاک مزرعه جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نمونه‌برداری شد که نتایج حاصله در جدول ۲ درج شده است.

هنگام گلدهی و پس از آن عملکرد دانه را به ترتیب ۲۰، ۵۰ و ۲۱ درصد در مقایسه با تیمار شاهد کاهش داده است (Osborne et al., 2002) و در مطالعه دیگر، مرحله بین ظهور بلال تا پایان پر شدن دانه‌ها یا همان مرحله خمیری را حساس‌ترین مراحل زندگی گیاه نسبت به آب شناخته و قرار گرفتن گیاه در شرایط تشنگی به مدت ۱-۳ روز در مرحله ظهور گل تاجی تا لقاح میزان عملکرد را تا ۲۹ درصد کاهش داده است (Noormohammadi et al., 2002). تنش خشکی در مراحل شیری شدن دانه و انتهای گرده‌افشانی از طریق کاهش وزن هزار دانه موجب کاهش عملکرد می‌شوند (Kerishna, 2012).

تنش کم‌آبی ضمن اینکه کارایی مصرف آب را کاهش می‌دهد (Al-Kaisi et al., 2003)، باعث افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن در کلروپلاست شده و تخریب مولکول‌های کلروفیل و غشاء کلروپلاست را در پی دارد که خود منجر به کاهش فتوسنتز و رشد می‌گردد (Dolatabadian et al., 2009).

مجیدیان و همکاران (Majidian et al., 2009) در بررسی اثر تنش خشکی روی عملکرد و کارایی مصرف آب در گیاه ذرت گزارش نمودند که تیمار آبیاری معادل نیاز آبی گیاه، بیشترین بهره‌وری مصرف آب خواهد داشت. از آنجاکه در ایران بخش کشاورزی (با مصرف بیش از ۹۰ درصد منابع آب) عمده‌ترین مصرف‌کننده آب به شمار می‌رود (Rabbani and Emam, 2011) و از طرفی پدیده خشکی و خشک‌سالی در جهان با توجه به نقشه‌های اقلیمی و هواشناسی، هر روز رو به گسترش است، لذا یکی از مهم‌ترین عواملی که باعث کاهش تولید گیاهان زراعی در سراسر جهان بخصوص مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود کمبود آب در طول مراحل رشد است. در بسیاری از مناطق بزرگ تولیدکننده ذرت در ایران مثل کرمانشاه، در برخی سال‌ها به دلیل عدم دسترسی به آب کافی و یا هم‌زمانی رشد ذرت با سایر گیاهان زراعی نظیر آفتابگردان و محصولات جالیزی، این گیاه در مراحل مختلف رشد به‌صورت اجتناب‌ناپذیری با کمبود آب مواجه می‌گردد. از آنجاکه محور کشاورزی را آب و آبیاری تشکیل می‌دهد، همگرایی کلیه عملیات کشاورزی در جهت استفاده مطلوب از آب و به حداکثر رسانیدن عملکرد به ازای هر واحد آب مصرفی (نیاز آبی ذرت به‌طور میانگین ۳۵۰ واحد) ضروری می‌شود (Noormohammadi et al., 2002). استان کرمانشاه دارای تنوع آب و هوایی و شرایط اقلیمی مناسب جهت کشت ذرت

جدول ۱. مشخصات آب و هوایی محل اجرای آزمایش در سال ۱۳۹۴

Table 1. The weather characteristics at place of experiment in 2015

Parameters	Monthها											
	اسفند Mar	بهمن Feb	دی Jan	آذر Dec	آبان Nov	مهر Oct	شهریور Sep	مرداد Aug	تیر Jul	خرداد Jun	اردیبهشت May	فروردین Apr
بارندگی Rain fall (mm)	79.6	62.8	51.4	58.4	340.0	3.7	2.3	0.0	0.0	0.0	6.9	42.0
درجه حرارت حداکثر T. max (°C)	24.0	22.5	19.8	24.1	31.1	37.5	40.6	45.8	44.7	42.0	31.0	36.7
درجه حرارت متوسط T. mean (°C)	14.5	8.8	9.3	10.9	15.8	26.2	31.8	34.5	31.9	29.4	23.6	16.2
درجه حرارت حداقل T. min (°C)	3.5	-3.6	-2.2	-2.0	5.8	14.4	21.9	22.9	19.5	16.7	4.6	4.4

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی متر)

Table 2. Physical and chemical characteristics of the experiment soil (depth 0-30 cm)

مس Cu	روی Zn	آهن Fe	فسفر P ₂ O ₅	پتاسیم K ₂ O	نیتروژن Nitrogen	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	اسیدیته pH	بافت خاک Soil texture
mg kg ⁻¹						%				
1.12	1.7	6.8	63	680	0.19	33	32	35	7.24	رسی-لومی Clay-loam

به صورت نکاشت باقی گذاشته شد و در تاریخ ششم تیرماه ۱۳۹۴ کاشت صورت گرفت.

دور آبیاری در شرایط مطلوب بر اساس زمان رسیدن به ۵۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک محاسبه شد. بدین منظور ابتدا بافت خاک تعیین شد، سپس رطوبت در زمان ظرفیت زراعی^۱ و نقطه پژمردگی^۲ از روی بافت خاک تعیین شد (Saxton and Rawls, 2006). در نهایت دور آبیاری، با توجه نوع بافت خاک (لومی رسی) که میزان رطوبت ظرفیت زراعی آن برابر ۳۶ درصد و رطوبت نقطه پژمردگی آن برابر ۲۲ درصد بود، در تیمار شاهد، هفت روز به دست آمد (دور آبیاری در عرف و شرایط معمول منطقه هفت روز بود). مقدار آب مورد نیاز در هر نوبت آبیاری از رابطه زیر محاسبه گردید (Alizadeh, 2004):

آب آبیاری مصرفی =

درصد تخلیه رطوبت خاک × وزن مخصوص ظاهری خاک × عمق توسعه ریشه [۱]

مقدار آب در هر نوبت آبیاری به مترمکعب در هکتار و عمق توسعه ریشه (سانتی متر) متفاوت بود. مقادیر وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۴ گرم بر سانتی مترمکعب، عمق توسعه ریشه

آزمایش در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار طراحی گردید. تیمارها شامل شاهد (بدون قطع آبیاری) و قطع آبیاری به مدت دو هفته از ۷، ۲۱، ۳۵، ۴۹، ۶۳ و ۷۲ و ۹۱ روز پس از کاشت و قطع آبیاری به مدت ۳ هفته از ۷، ۲۸، ۴۹، ۷۰ و ۹۰ روز پس از کاشت بودند. در تمامی تیمارها فقط یک مرتبه به مدت دو و یا سه هفته آبیاری قطع گردید و قبل و پس از پایان قطع، آبیاری ها به صورت هفته ای انجام شد.

در این آزمایش، مراحل رشد و نمو ذرت شامل مراحل رویشی (سبز شدن، تولید اولین برگ و تولید تاسل به ترتیب در ۷، ۱۰ و ۵۰ روز بعد از کاشت) و زایشی (ظهور ابریشم، مرحله شیری و رسیدگی کامل به ترتیب در ۶۵، ۵۵ و ۹۰ روزهای بعد از کاشت) اتفاق افتاد.

پس از عملیات تهیه بستر بذر، براساس نتیجه آزمون خاک، مقادیر توصیه شده کود به خاک اضافه و با دو دیسک سبک عمود بر هم، کود با خاک مخلوط گردید. هر کرت شامل پنج ردیف به طول شش متر بود. تراکم بر اساس ۸۵۰۰۰ بوته در هکتار (تراکم مطلوب برای ذرت دانه ای هیبرید سینگل کراس ۷۰۴) در نظر گرفته شد. فاصله بین بلوک ها چهار متر و جهت جلوگیری از نشت آب بین کرت ها، دو خط

² Permanent wilting point

¹ Field capacity

تجزیه واریانس داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ مورد بررسی قرار گرفت و مقایسات میانگین با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. در این آزمایش چون تیمارها شامل دو دسته تیمار قطع آبیاری دو و سه هفته بودند آن‌ها را گروه‌بندی کرده تا مقایسات بهتری بین گروه‌ها انجام شود. در این آزمایش گروه ۱، مقایسه تیمار شاهد با تیمارهای دو هفته و سه هفته قطع آبیاری و مقایسه گروهی ۲، مقایسه تیمارهای دو هفته با سه هفته قطع آبیاری انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد

عملکرد زیست‌توده

اثر قطع آبیاری در زمان‌های مختلف رشدی در سطح احتمال یک درصد بر عملکردهای زیست‌توده و دانه و همچنین وزن هزار دانه معنی‌دار بود و مقایسه‌های گروهی اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد را نشان دادند (جدول ۳). عملکرد زیست‌توده در تیمار سه هفته تنش اعمال‌شده از روز ۴۹ پس از کاشت (ظهور گل‌آذین‌نر) نسبت به شاهد حدود ۶۴ درصد کاهش یافت. بیشترین عملکرد زیست‌توده مربوط به تیمارهای شاهد و دو هفته تنش اعمال‌شده از روز هفتم پس از کاشت با میانگین ۲۷۷۷۰ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴).

ابتدای ظهور گل‌آذین‌نر، حساس‌ترین مرحله رشد به قطع آبیاری بود. عملکرد زیست‌توده، حاصل عملکرد دانه و اندام‌های رویشی است. در ابتدای ظهور گل‌آذین‌نر به دلیل کاهش شدید عملکرد دانه در اثر تنش خشکی، با وجود ثابت ماندن نسبی عملکرد اندام‌های رویشی، عملکرد زیست‌توده کاهش پیدا می‌کند. این نتایج، با نتایج فاره و فاسی (Farre and Faci, 2009) که شروع گل‌دهی را به‌عنوان حساس‌ترین مرحله به تنش خشکی در کاهش عملکرد زیست‌توده معرفی کردند، مطابقت نداشت.

عملکرد دانه

تیمار دو هفته تنش اعمال‌شده از روز هفتم پس از کاشت و تیمار شاهد (آبیاری هفتگی) به ترتیب با ۱۳۷۰۰ و ۱۳۶۰۰ کیلوگرم در هکتار دارای بیشترین عملکرد دانه بودند (جدول ۴). جهت دستیابی به یک عملکرد مطلوب، هم دور آبیاری و هم مقدار آب مهم است؛ اما با ایجاد یک تنش کم‌آبی

با توجه به مرحله رشدی، حداکثر تا ۵۰ سانتی‌متر برآورد شد. درنهایت، برای هر کرت در هر دور آبیاری تقریباً یک مترمکعب آب به دست آمد. آب مورد‌استفاده از چاه تأمین شد که به‌صورت لوله‌کشی و پمپ با دبی یک لیتر در ثانیه (با کنتور میزان آب خروجی محاسبه شد) به ابتدای کرت‌ها انتقال داده شد. بعد از کاشت آبیاری در تمامی تیمارها به‌صورت یکسان بود و در آبیاری‌های بعدی متناسب با تیمارها، قطع آبیاری صورت گرفت.

به‌منظور بررسی تغییرات میزان کلروفیل و پرولین، در پایان هر مرحله از تنش قبل از شروع آبیاری مجدد، از جوان‌ترین برگ بوته‌های تنش دیده نمونه برگی تهیه شد (Boaedman, 1977) و بلافاصله در فویل آلومینیومی پیچیده و داخل نیتروژن مایع قرار داده شد و سپس به فریزر با دمای حدود منفی ۸۰ درجه سانتی‌گراد منتقل و اندازه‌گیری میزان پرولین به روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) و اندازه‌گیری میزان کلروفیل از برگ‌های جوان به روش آرنون (Arnon, 1949) انجام گرفت.

در زمان رسیدگی، دو مترمربع از هرکدام از کرت‌ها به‌عنوان منطقه برداشت انتخاب و کف‌بر شدند. ابتدا زیست‌توده کل بوته‌های برداشت‌شده بعد از خشک‌کردن محاسبه و سپس بلال‌ها برای تعیین عملکرد و اجزای عملکرد دانه جدا شدند. سپس نمونه‌ها در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت نگهداری و در ادامه عملکرد ماده خشک کل و دانه به دست آمد و با توزین دانه‌های به‌دست‌آمده از هر کرت و با توجه به مشخص بودن تراکم گیاهی، میزان عملکرد دانه در هکتار برحسب کیلوگرم در هکتار مشخص شد. پس از رسیدگی فیزیولوژیکی، ارتفاع گیاهان از سطح خاک اندازه‌گیری شد. شاخص برداشت از رابطه ۲ (Rabbani and Emam, 2011) و اندازه‌گیری کارایی مصرف آب برای عملکرد زیست‌توده و عملکرد اقتصادی از روابط ۳ و ۴ (Alizadeh, 2004) محاسبه گردید:

$$\text{شاخص برداشت} = 100 \times (\text{عملکرد زیست‌توده} / \text{عملکرد دانه}) \quad [2]$$

$$\text{کارایی بیولوژیکی مصرف آب} =$$

$$\text{آب مصرفی (مترمکعب در هکتار)} / \text{ماده خشک تولیدشده (کیلوگرم در هکتار)} \quad [3]$$

$$\text{کارایی اقتصادی مصرف آب} =$$

$$\text{آب مصرفی (مترمکعب در هکتار)} / \text{دانه تولیدشده (کیلوگرم در هکتار)} \quad [4]$$

تا مرحله خمیری شدن عملکرد دانه را به طور معنی داری کاهش داد (جدول ۴).

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه نیز در تیمارهای شاهد و دو هفته قطع آبیاری از روز هفتم پس از کاشت، دارای بیشترین مقدار (۲۳۲ گرم) و کمترین وزن هزار دانه در تیمار سه هفته قطع آبیاری از روز ۴۹ (صفر گرم) بود (جدول ۴). احتمالاً کاهش وزن هزار دانه در هنگام مواجهه دوره پر شدن دانه با تنش خشکی، به دلیل کاهش سطح و دوام برگ و همچنین تأخیر در ظهور کاکل‌ها باشد که بسیاری از دانه‌های گرده از دسترس کاکل‌ها خارج شده و کاهش تعداد دانه در بلال را به دنبال دارد (Noormohamadi et al., 2000). قاضیان تفرشی و همکاران (Ghazian Tafirishi et al., 2012) نیز در مطالعه اثر تنش خشکی بر هیبریدهای ذرت شیرین نشان دادند در این شرایط وزن هزار دانه و تعداد دانه در بلال تعیین کننده محدودیت در عملکرد هستند که اهمیت وزن هزار دانه و تعداد دانه را نشان می‌دهد.

در ابتدای دوره رشد رویشی می‌توان به نوعی گیاه را با شرایط سخت حاکم بر مزرعه سازگار کرد که به دنبال آن گیاه احتمالاً سیستم ریشه‌ای خود را در پاسخ به این شرایط توسعه داده و آب و مواد غذایی بیشتری جذب می‌کند و در نهایت منجر به عملکرد بیشتری شود، مانند آنچه در تیمار دو هفته قطع آبیاری و در مراحل ابتدایی رشد رویشی به وقوع پیوست (Noormohamadi et al., 2002)؛ اما در تیمارهای قطع آبیاری به مدت دو هفته و سه هفته از ۴۹ پس از کاشت، عملکرد دانه به ترتیب به ۳۵۰۰ و صفر کیلوگرم در هکتار تقلیل یافتند که دارای کاهشی به ترتیب ۷۵ و ۱۰۰ درصدی بودند. همچنین قطع آبیاری به مدت سه هفته در زمان ۷۰ روز پس از کاشت نیز عملکرد دانه (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) را تا ۷۸ درصد کاهش داد. با تأمل در عملکرد دانه در تیمارهای قطع آبیاری (جدول ۴)، این گونه استنباط می‌شود که تنش خشکی در زمان ظهور تاسل و گرده‌افشانی شدیدتر از سایر مراحل بوده و مدت تنش هم مزید بر علت می‌شود. به جز مراحل که اشاره شد قطع آبیاری (دو یا سه هفته) در سایر زمان‌ها از شروع ظهور تاسل (انتهای تولید برگ در ذرت)

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (سینگل کراس ۷۰۴) تحت تأثیر تیمار یک بار قطع آبیاری به مدت دو و یا سه هفته بر اساس روزهای بعد از کاشت (میانگین مربعات)

Table 3. Analysis of variance yield and yield components traits of corn (SC704) under the effect of no irrigation for two and / or three weeks in terms of days after sowing (Mean squares)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد زیست توده Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	وزن هزار دانه 1000- kernel weight	شاخص برداشت Harvest index	تعداد ردیف دانه در بلال Number of kernel rows in ear	تعداد دانه روی ردیف Kernel number in row	دانه در بلال Kernel number in ear
Block	2	50240 ^{ns}	20524.0 ^{ns}	10.79 ^{ns}	6.5*	0.45 ^{ns}	2.24 ^{ns}	1673.6 ^{ns}
Treatment	12	1323423**	561417**	11949**	964.7**	47.57**	918.94**	193932**
مقایسه گروهی ۱ [§] Orthogonal 1	1	2337794**	807761.9**	1677.3**	359.1**	13.90**	853.60**	232593**
مقایسه گروهی ۲ Orthogonal 2	1	1127469**	593495.8**	20336.3**	2213.4**	111.7**	832.25**	61656.6**
خطا Error	24	15821	29027.9	3.9	1.75	0.16	1.03	4202
CV(%) ضریب تغییرات		6.5	19.6	0.95	3.4	3.2	3.0	13.9

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

[§]مقایسه گروهی ۱: شاهد با تیمارهای دو هفته و سه هفته قطع آبیاری. مقایسه گروهی ۲: تیمارهای دو هفته با سه هفته قطع آبیاری

ns, * and ** are non significant and significant at 5% and 1% probability levels.

[§]Orthogonal 1: Control and treatment of two weeks and three weeks of no irrigation. Orthogonal 2: Treatments for two weeks with three weeks of no irrigation

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (سینگل کراس ۷۰۴) تحت تأثیر تیمار یک‌بار قطع آبیاری به مدت دو و یا سه هفته بر اساس روزهای بعد از کاشت

Table 4. Mean comparisons of yield and yield components traits of corn (SC704) under the effect of no irrigation for two and / or three weeks in terms of days after sowing

یک مرتبه قطع آبیاری به مدت دو و یا سه هفته، بر اساس روزهای پس از کاشت No irrigation at once for 2 and 3 weeks, in terms of days after sowing	عملکرد زیست توده Biological yield		عملکرد دانه Grain yield		وزن هزار دانه 1000- kernel weight	
	درصد نسبت به شاهد % compared to control		درصد نسبت به شاهد % compared to control		درصد نسبت به شاهد % compared to control	
	کیلوگرم در هکتار kg ha ⁻¹		کیلوگرم در هکتار kg ha ⁻¹		گرم g	
آبیاری هر هفته (شاهد) Irrigation each week (Control)	27600±617	100.0	13600±582	100.0	232.0±2.30	100.0
قطع آبیاری از روز ۷ برای دو هفته No irrigation from 7 for 2 weeks	27700±1117	100.3	13700±647	100.7	232.0±1.73	100.0
قطع آبیاری از روز ۲۱ برای دو هفته No irrigation from 21 for 2 weeks	24000±439	86.95	11800±496	86.70	230.3±0.66	99.2
قطع آبیاری از روز ۳۵ برای دو هفته No irrigation from 35 for 2 weeks	23000±353	83.33	11500±102	84.50	230.6±0.33	99.3
قطع آبیاری از روز ۴۹ برای دو هفته No irrigation from 49 for 2 weeks	12600±615	45.65	3500±348	25.74	227.6±0.88	98.1
قطع آبیاری از روز ۶۳ برای دو هفته No irrigation from 63 for 2 weeks	12700±222	46.01	5800±162	42.65	226.0±1.50	97.4
قطع آبیاری از روز ۷۷ برای دو هفته No irrigation from 77 for 2 weeks	15200±303	55.07	6500±122	47.79	226.3±0.67	97.5
قطع آبیاری از روز ۹۱ برای دو هفته No irrigation from 91 for 2 weeks	23500±950	85.14	12000±268	88.24	229.0±1.20	98.8
قطع آبیاری از روز ۷ برای سه هفته No irrigation from 7 for 3 weeks	19500±212	70.65	9500±102	69.85	230.0±0.89	99.1
قطع آبیاری از روز ۲۸ برای سه هفته No irrigation from 28 for 3 weeks	18700±634	67.75	8900±147	65.44	230.3±1.20	99.2
قطع آبیاری از روز ۴۹ برای سه هفته No irrigation from 49 for 3 weeks	9300±643	33.69	0.000±0.0	0.00	0.00±0.00	0.00
قطع آبیاری از روز ۷۰ برای سه هفته No irrigation from 70 for 3 weeks	9700±186	35.14	300±10	22.10	220.3±1.45	94.9
قطع آبیاری از روز ۹۱ برای سه هفته No irrigation from 91 for 3 weeks	24500±170	88.76	11400±157	83.82	228.0±1.15	98.2
LSD α= 0.05	211.9	-	287.1	-	3.36	-

Values ± SE: Standard Error

اعداد ± خطای استاندارد

دوره رشد بوده که باعث توسعه و رشد سریع تر ریشه و به تبع آن اندام هوایی شده و آثار منفی بجا نداشته است (Noormohamadi et al., 2000). در تیمار سه هفته تنش اعمال شده از روز ۴۹ (ظهور گل آذین نر) پس از کاشت، مقادیر اینصفت در کمترین مقدار یعنی صفر بودند. هرچند که بین تیمارهای مراحل ابتدایی رشد رویشی با شاهد از لحاظ آماری تفاوت معنی داری وجود نداشت؛ اما با افزایش مدت زمان تنش خشکی (از دو هفته به سه هفته) در مراحل ابتدای ظهور گل آذین نر تعداد دانه در ردیف کاهش یافت به طوری که در تیمار دو هفته قطع آبیاری از روز ۴۹ با ۱۵/۱ دانه در ردیف

تعداد دانه در ردیف، تعداد ردیف دانه در بلال و تعداد دانه در بلال

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای قطع آبیاری، بر تعداد دانه در ردیف، تعداد ردیف دانه در بلال و مجموع دانه‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. مقایسه‌های گروهی برای اینصفت، اختلاف معنی دار در سطح یک درصد را نشان دادند (جدول ۳). بالاترین تعداد ردیف دانه، تعداد دانه در ردیف و تعداد دانه در بلال در تیمارهای شاهد و قطع آبیاری از روز ۷ به مدت دو هفته به ترتیب ۱۵۰، ۵۰ و ۷۳۱ عدد بودند. دلیل عدم اختلاف بین این دو تیمار، احتمالاً به علت اثر مثبت تأخیر کوتاه مدت در آبیاری اوایل

طول بلال

اثر قطع آبیاری در زمان‌های مختلف رشدی بر طول بلال در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و مقایسه‌های گروهی آن‌ها، اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد نشان دادند (جدول ۶). در تیمار بدون تنش، طول بلال (۲۲۰ میلی‌متر) در بیشترین اندازه بود. کمترین طول بلال علاوه بر تیمار سه هفته تنش اعمال‌شده از ۴۹ روز پس از کاشت (عدم تولید بلال) مربوط به تیمار سه هفته تنش اعمال‌شده از روز ۷۰ (۱۲۱ میلی‌متر) بود (جدول ۷). در این آزمایش در تیمار تنش شدید خشکی که شروع آن تقریباً هم‌زمان با ظهور گل‌آذین نر بود، موجب شد که هیچ‌گونه بلالی تولید نشود. طول بلال به‌طور غیرمستقیم بر عملکرد دانه تأثیر دارد، زیرا موجب افزایش تعداد دانه در بوته ذرت شده و عملکرد دانه را افزایش می‌دهد. یافته‌های پژوهشگران زیادی مبنی بر کاهش طول بلال در مواجهه‌شدن با تنش خشکی و به دنبال آن کاهش عملکرد نیز، مؤید این مطلب است (Mojadam and Madhaj, 2012; Fatemi et al., 2006).

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌های اثر تیمار قطع آبیاری بر صفت ارتفاع بوته و مقایسه‌های گروهی بین آن‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. برای صفت ارتفاع بوته، اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد را نشان دادند (جدول ۶). تیمار شاهد دارای بیشترین ارتفاع بوته (۲۰۶ سانتی‌متر) بود. کمترین ارتفاع مربوط به تیمار سه هفته تنش اعمال‌شده از ۲۸ روز پس از کاشت (۱۲۳ سانتی‌متر) بود که نسبت به شاهد حدود ۴۰ درصد کاهش داشت (جدول ۷). ساقه در غلات می‌تواند به‌عنوان محلی برای انباشت کربوهیدرات‌ها در مرحله قبل از گرده‌افشانی در نظر گرفته شود که پس از عمل لقاح و نمو دانه، با بازگسیل این ترکیبات به‌سوی مقصدهای جدید حرکت کرده و باعث افزایش تعداد دانه از طریق جلوگیری از سقط دانه یا افزایش وزن دانه‌ها گردد. نتایج این تحقیق با گزارش‌های هیریچ و همکاران (Hirich et al, 2012) و عارفی و فرج زاده معماری تبریزی (Arefi and Farajzadeh Memari Tabrizi, 2017) که گزارش دادند کمبود آب باعث کاهش ارتفاع در گیاه ذرت می‌شود، همخوانی دارد.

و در تیمار سه هفته تنش اعمال‌شده از روز ۴۹ هیچ دانه‌ای در ردیف تولید نشد (جدول ۵).

گرده‌افشانی در گیاه ذرت به‌طور معمول چند روز پس از ظهور گل تاجی صورت می‌گیرد و عواملی مثل کمبود آب می‌تواند سبب کاهش جمعیت دانه‌های گرده گردند. نتایج این تحقیق با یافته‌های اوتار و همکاران (Ouattar et al., 1987) که گزارش کردند پس از گرده‌افشانی تنش آب تأثیری بر تعداد دانه در بلال نخواهد گذاشت، مطابقت ندارد، چراکه به نظر می‌رسد هنگام مواجهه‌شدن گیاه با تنش خشکی باعث تأخیر در ظهور کاکل‌ها می‌شود و بسیاری از دانه‌های گرده از دسترس کاکل‌ها خارج می‌شوند ولی در مواردی هم که تلقیح صورت می‌گیرد به دلیل کم بودن مواد فتوسنتزی، برای همه سلول‌های جنینی نمو دانه اندکی پس‌از آن متوقف می‌شود در نتیجه دانه‌ها به‌صورت ناهمگون در بلال تشکیل می‌شوند. گلباشی و همکاران (Golbashy et al., 2010) نشان داده‌اند که در هیبریدهای حساس به تنش خشکی، اجزای عملکرد دانه که تعیین‌کننده عملکرد هستند بشدت تحت تأثیر قرار می‌گیرند.

شاخص برداشت

اثر قطع آبیاری در زمان‌های مختلف رشدی در سطح احتمال یک درصد برای صفت شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۶). تیمار سه هفته تنش اعمال‌شده از روز ۴۹ پس از کاشت (ظهور گل‌آذین نر)، نسبت به شاهد دارای بیشترین کاهش در شاخص برداشت بود، زیرا در این تیمار هیچ‌گونه عملکرد اقتصادی حاصل نشد. لذا شاخص برداشت به صفر رسید. بیشترین درصد شاخص برداشت مربوط به تیمارهای دو هفته تنش اعمال‌شده از ۲۱ و ۳۵ روز پس از کاشت با ۴۹/۲ و ۴۹/۱ درصد بود (جدول ۷). از آنجاکه تغییرات شاخص برداشت وابستگی زیادی به تغییرات عملکرد دانه دارد، لیکن بر اساس رابطه (۲) چون تنش خشکی در مراحل رویشی اثر بارزی بر عملکرد زیست‌توده داشته و تأثیر آن بر عملکرد دانه به‌طور نسبی کمتر بود، لذا شاخص برداشت در بعضی شرایط افزایش نشان داده است. تنش خشکی علاوه بر کاهش ماده خشک تولیدی موجب اختلال در تسهیم کربوهیدرات‌ها به دانه شده و باعث کاهش شاخص برداشت می‌شود که با یافته‌های رفیعی‌منش و همکاران (Rafieemanesh et al., 2010) مطابقت داشت.

جدول ۵. مقایسه میانگین صفات تعداد ردیف دانه در بلال، دانه در ردیف و تعداد دانه در بلال ذرت (سینگل کراس ۷۰۴) تحت تأثیر تیمار یک‌بار قطع آبیاری به مدت دو و یا سه هفته بر اساس روزهای بعد از کاشت

Table 5. Mean comparisons of number of row per ear, kernel number in row and kernel number per ear traits of corn (SC704) under the effect of no irrigation for two and / or three weeks in terms of days after sowing

یک‌مرتبه قطع آبیاری به مدت دو یا سه هفته بر اساس روز پس از کاشت No irrigation at once for 2 and 3 weeks in terms of days after sowing	ردیف دانه در بلال		دانه روی ردیف		دانه در بلال	
	Number of row per ear		Kernel number in row		Kernel number per ear	
	تعداد Number	درصد نسبت به شاهد % compared to control	تعداد Number	درصد نسبت به شاهد % compared to control	تعداد Number	درصد نسبت به شاهد % compared to control
آبیاری هر هفته (شاهد) Irrigation each week (Control)	14.6±0.13	100.0	50.0±0.48	100.0	731±19.2	100.0
قطع آبیاری از روز ۷ برای دو هفته No irrigation from 7 for 2 weeks	14.9±0.04	101.9	49.1±0.31	98.2	732±33.0	100.1
قطع آبیاری از روز ۲۱ برای دو هفته No irrigation from 21 for 2 weeks	14.2±0.14	97.3	48.2±0.51	96.3	688±18.0	94.1
قطع آبیاری از روز ۳۵ برای دو هفته No irrigation from 35 for 2 weeks	14.0±0.10	95.8	48.0±1.03	96.0	660±16.6	90.2
قطع آبیاری از روز ۴۹ برای دو هفته No irrigation from 49 for 2 weeks	12.6±0.18	86.5	15.1±0.12	30.3	191±3.7	26.1
قطع آبیاری از روز ۶۳ برای دو هفته No irrigation from 63 for 2 weeks	13.1±0.14	89.9	22.3±0.52	44.6	294±5.9	40.2
قطع آبیاری از روز ۷۷ برای دو هفته No irrigation from 77 for 2 weeks	13.4±0.22	91.9	25.3±0.49	50.5	340±9.7	46.5
قطع آبیاری از روز ۹۱ برای دو هفته No irrigation from 91 for 2 weeks	14.6±0.27	100.0	48.5±0.77	97.5	685±15.1	93.6
قطع آبیاری از روز ۷ برای سه هفته No irrigation from 7 for 3 weeks	13.5±0.29	92.5	41.6±0.72	83.1	547±10.1	74.8
قطع آبیاری از روز ۲۸ برای سه هفته No irrigation from 28 for 3 weeks	13.7±0.13	93.7	35.3±0.55	70.6	486±11.6	66.5
قطع آبیاری از روز ۴۹ برای سه هفته No irrigation from 49 for 3 weeks	0.0±0.00	00.0	0.0±0.00	0.00	0.00±0.0	0.00
قطع آبیاری از روز ۷۰ برای سه هفته No irrigation from 70 for 3 weeks	9.9±0.66	67.7	9.0±0.57	18.9	89±9.1	12.2
قطع آبیاری از روز ۹۱ برای سه هفته No irrigation from 91 for 3 weeks	14.2±0.21	97.1	48.0±0.01	95.9	685±19.9	93.7
LSD $\alpha=0.05$	0.69	-	1.74	-	109.2	-

Values $\pm$ SE: Standard Error

اعداد $\pm$ خطای استاندارد

جدول ۶. تجزیه واریانس صفات شاخص برداشت، طول بلال و ارتفاع بوته ذرت (سینگل کراس ۷۰۴) تحت تأثیر تیمار یک‌بار قطع آبیاری به مدت دو و یا سه هفته بر اساس روزهای بعد از کاشت (میانگین مربعات)

Table 6. Analysis of variance of harvest index, ear length and plant height traits of corn (SC704) under the effect of no irrigation for two and / or three weeks in terms of days after sowing (Mean squares)

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	شاخص برداشت Harvest index	طول بلال Ear length	ارتفاع بوته Plant height
Block	بلوک	2	6.5*	5.7 ^{ns}	41.1*
Treatment	تیمار	12	964.7**	10892.0**	2263.8**
Orthogonal 1 §	مقایسه گروهی ۱	1	359.1**	9692.5**	1293.3**
Orthogonal 2	مقایسه گروهی ۲	1	2213.4**	18929.9**	2883.2**
Error	خطا	24	1.75	23.7	3.57
CV (%)	ضریب تغییرات (%)	-	3.4	2.9	1.0

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

§مقایسه گروهی ۱: شاهد با تیمارهای دو هفته و سه هفته قطع آبیاری. مقایسه گروهی ۲: تیمارهای دو هفته با سه هفته قطع آبیاری

ns, * and ** are non-significant and significant at 5% and 1% probability levels.

§Orthogonal 1: Control and treatment of two weeks and three weeks of no irrigation. Orthogonal 2: Treatments for two weeks with three weeks of no irrigation

جدول ۷. مقایسه میانگین صفات شاخص برداشت، ارتفاع بوته و طول بلال ذرت (سینگل کراس ۷۰۴) تحت تأثیر تیمار یک بار قطع آبیاری به مدت دو یا سه هفته بر اساس روزهای بعد از کاشت

Table 7. Mean comparisons of harvest index, ear length and plant height traits of corn (SC704) under the effect of no irrigation for two and / or three weeks in terms of days after sowing

یک مرتبه قطع آبیاری به مدت دو یا سه هفته، بر اساس روزهای پس از کاشت No irrigation at once for 2 and 3 weeks, in terms of days after sowing	شاخص برداشت	طول بلال		ارتفاع بوته	
	Harvest index	Ear length		Plant height	
		درصد نسبت به شاهد		درصد نسبت به شاهد	
	درصد	میلی متر	% compared to control	سانتی متر	% compared to control
	%	mm		cm	
آبیاری هر هفته (شاهد) Irrigation each week (Control)	49.0±0.2	220.6±1.06	100.0	206.0±0.57	100.0
قطع آبیاری از روز ۷ برای دو هفته No irrigation from 7 for 2 weeks	49.0±0.0	220.3±2.91	99.80	200.0±0.61	97.00
قطع آبیاری از روز ۲۱ برای دو هفته No irrigation from 21 for 2 weeks	49.1±1.5	208.4±1.78	94.40	170.3±0.88	82.60
قطع آبیاری از روز ۳۵ برای دو هفته No irrigation from 35 for 2 weeks	49.1±1.2	202.1±3.57	91.60	169.4±0.33	82.20
قطع آبیاری از روز ۴۹ برای دو هفته No irrigation from 49 for 2 weeks	28.6±0.9	132.6±2.92	60.10	202.3±0.88	98.20
قطع آبیاری از روز ۶۳ برای دو هفته No irrigation from 63 for 2 weeks	44.8±1.6	145.6±3.36	66.00	202.6±0.83	98.30
قطع آبیاری از روز ۷۷ برای دو هفته No irrigation from 77 for 2 weeks	43.6±0.1	162.5±1.67	73.60	202.6±0.88	98.30
قطع آبیاری از روز ۹۱ برای دو هفته No irrigation from 91 for 2 weeks	47.1±0.1	205.5±2.66	93.10	200.0±0.57	97.00
قطع آبیاری از روز ۷ برای سه هفته No irrigation from 7 for 3 weeks	48.6±0.0	179.0±4.55	81.10	139.1±0.59	67.50
قطع آبیاری از روز ۲۸ برای سه هفته No irrigation from 28 for 3 weeks	47.0±0.01	154.2±1.49	69.90	123.4±0.91	59.90
قطع آبیاری از روز ۴۹ برای سه هفته No irrigation from 49 for 3 weeks	00.0±0.0	0.00±0.00	0.00	199.2±0.45	96.70
قطع آبیاری از روز ۷۰ برای سه هفته No irrigation from 70 for 3 weeks	3.20±0.01	121.1±2.74	54.90	201.3±0.83	97.70
قطع آبیاری از روز ۹۱ برای سه هفته No irrigation from 91 for 3 weeks	46.3±0.3	204.9±3.14	92.80	202.2±0.30	98.10
LSD $\alpha = 0.05$	2.06	8.20	-	3.18	-

Values ± SE: Standard Error

اعداد ± خطای استاندارد

بررسی خصوصیات فیزیولوژیک

کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها و همچنین نتایج مقایسه‌های گروهی اثر قطع آبیاری بر میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، میزان پروتئین و کارایی بیولوژیکی و اقتصادی مصرف آب را در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار نشان دادند (جدول ۸). تیمار بدون تنش دارای بیشترین میزان کلروفیل a و کلروفیل b به ترتیب با ۱/۶۶ و ۰/۴۴ میلی گرم بر گرم بودند. تیمار سه هفته قطع آبیاری در مراحل پایانی رشد دارای کمترین میزان کلروفیل a و b بودند. در مقایسه تیمارهای دو و سه هفته تنش در روز ۴۹ پس از کاشت به ترتیب باعث

۲۱/۵ و ۶۷/۰ درصد کاهش بودند. پس می‌توان این احتمال را داد هر چه مدت تنش خشکی طولانی‌تر باشد تخریب کلروفیل شدیدتر است و کلروفیل کل در تیمارهای سه هفته تنش اعمال شده از روزهای ۷۰ و ۹۱ پس از کاشت، در مقایسه با شاهد ۶۲ درصدی کاهش داشتند (جدول ۹). این نتایج نشان می‌دهد که در گیاهان تنش دیده ذرت، میزان کلروفیل a، b و کل کاهش می‌یابد ولی میزان کاهش برای کلروفیل a بیشتر است و به نظر می‌رسد کلروفیل a حساس‌تر است که این نتایج با گزارش تحقیقات میری و زمانی (Miri and Zamani, 2014)، تانکا و تانکا (Tanka and Tanka, 2006) و نقی‌زاده و کبیری (Naghizadeh and Kabiri, 2006)

همخوانی دارد، اما با نتایج دولت‌آبادیان و همکاران (Dolatabadian et al., 2009) که اعلام نمودند تنش خشکی تأثیری بر محتوای کلروفیل b در ذرت ندارد، مطابقت ندارد. شاید یکی از دلایلی آن، تفاوت در شرایط اجرای آزمایش از جمله شدت و مدت تنش باشد.

پرولین

تیمار سه هفته تنش اعمال‌شده از روز ۹۱ پس از کاشت، بیشترین میزان تجمع پرولین با میانگین 0.0396 میلی‌گرم برگرم و کمترین میزان را تیمار شاهد با میانگین 0.0150 میلی‌گرم برگرم داشت. در مقایسه تیمار دو و سه هفته تنش شروع‌شده از روز ۴۹ پس از کاشت، تیماردو هفته و سه هفته به ترتیب ۵۱ و ۶۱ درصد افزایش پرولین داشتند (جدول ۹). با افزایش تنش مقدار پرولین افزایش می‌یابد که با این کار گیاه می‌تواند تنش را تحمل کند که مطابق با نتایج اوزتورک و همکاران (Ozturk et al., 2012)، صیامی و همکاران (Siyami et al., 2018)، زنگین (Zengin, 2006) و ابراهیمی و همکاران (Ebrahimie et al., 2012) است.

کارایی بیولوژیکی و اقتصادی مصرف آب: بیشترین کارایی بیولوژیکی و اقتصادی مصرف آب مربوط به تیمار دو هفته

قطع آبیاری در ابتدای رشد رویشی، به ترتیب با $4/56$ کیلوگرم ماده خشک بر مترمکعب آب مصرفی و $2/26$ کیلوگرم دانه بر مترمکعب آب مصرفی بودند. کمترین کارایی بیولوژیکی و اقتصادی مصرف آب مربوط به تیمار سه هفته تنش اعمال‌شده از روز ۴۹ پس از کاشت، با $1/73$ کیلوگرم ماده خشک بر مترمکعب آب مصرفی بود و کارایی اقتصادی مصرف آب در این تیمار به صفر رسید. به نظر می‌رسد، علت اصلی کاهش کارایی مصرف آب در اکثر تیمارها در شرایط تنش خشکی، به علت عرضه کمتر آب و اثر محدودکنندگی روزه‌ها بر انتقال دی‌اکسید کربن و در نهایت کاهش عملکرد است (Murray, 2004).

در شرایط تنش شدید خشکی، افت شدید عملکرد دانه، عامل اصلی کاهش کارایی مصرف آب است. یافته‌های جلیلیان و همکاران (Jalilian et al., 2014) مبنی بر کاهش کارایی مصرف آب در شرایط تنش شدید خشکی، مؤید این مطلب است. هوشمند و همکاران (Hoshmand et al., 2013) نیز بیشترین کارایی اقتصادی و بیولوژیکی مصرف آب در ذرت را در شرایط آبیاری کامل در تمام مراحل رشد گزارش کردند که با نتایج این تحقیق مطابقت ندارد. در شرایط تنش ملایم رطوبتی (دو هفته قطع آبیاری) در ابتدای رشد رویشی نسبت

جدول ۸. تجزیه واریانس کلروفیل، پرولین، کارایی بیولوژیکی و اقتصادی مصرف آب ذرت دانه‌ای (سینگل کراس ۷۰۴) تحت تأثیر تیماریک‌بار قطع آبیاری به مدت دو و یا سه هفته بر اساس روزهای بعد از کاشت (میانگین مربعات)

Table 8. Analysis of variance of chlorophyll, proline, water use efficiency (biological and economical) of corn (SC704) under the effect of no irrigation for two and/or three weeks in terms of days after sowing (Mean squares)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	میزان پرولین Proline	کارایی بیولوژیکی مصرف آب WUE (b)	کارایی اقتصادی مصرف آب WUE (e)
بلوک Block	2	0.0088 ^{ns}	0.00028 ^{ns}	0.0062 ^{ns}	0.0000002 ^{ns}	0.014 ^{ns}	0.069 ^{ns}
تیمار Treatment	12	0.47447 ^{**}	0.0135 ^{**}	0.6445 ^{**}	0.00021 ^{**}	3.45 ^{**}	1.55 ^{**}
مقایسه گروهی ۱ [§] Orthogonal 1 [§]	1	0.7163 ^{**}	0.0331 ^{**}	1.05 ^{**}	0.0007 ^{**}	3.90 ^{**}	1.46 ^{**}
مقایسه گروهی ۲ [§] Orthogonal 2 [§]	1	3.16 ^{**}	0.0674 ^{**}	4.15 ^{**}	0.0012 ^{**}	1.16 ^{**}	0.833 ^{**}
خطا Error	24	0.00511239	0.00025	0.0048	0.000001	0.044	0.017
CV(%) ضریب تغییرات		6.0	4.70	4.56	3.49	6.38	21.1

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

[§]مقایسه گروهی ۱: شاهد با تیمارهای دو هفته و سه هفته قطع آبیاری. مقایسه گروهی ۲: تیمارهای دو هفته با سه هفته قطع آبیاری

ns, * and ** are non-significant and significant at 5% and 1% probability levels.

[§]Orthogonal 1: Control and treatment of two weeks and three weeks of no irrigation. Orthogonal 2: Treatments for two weeks with three weeks of no irrigation

جدول ۹. مقایسه میانگین کلروفیل، پرولین، کارایی مصرف آب (بیولوژیکی و اقتصادی) در ذرت (سینگل کراس ۷۰۴) تحت تأثیر تیمار یکبار قطع آبیاری به مدت دو و یا سه هفته بر اساس روزهای بعد از کاشت

Table 9. Mean comparisons of chlorophyll, proline and water use efficiency (biological and economical) of corn (SC704) under the effect of no irrigation for two and three weeks in terms of days after sowing

یک مرتبه قطع آبیاری به مدت دو و یا سه هفته بر اساس روزهای پس از کاشت	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	پرولین Proline	کارایی بیولوژیکی مصرف آب WUE biological	کارایی اقتصادی مصرف آب WUE economical
No irrigation at once for 2 and 3 weeks in terms of days after sowing						
	-----mg. g ⁻¹ -----				-----kg. m ⁻³ -----	
آبیاری هر هفته (شاهد) Irrigation each week (Control)	1.66±0.030	0.443±0.017	2.10±0.021	0.0150±0.0004	4.39±0.260	2.16±0.098
قطع آبیاری از روز ۷ برای دو هفته No irrigation from 7 for 2 weeks	1.56±0.033	0.420±0.008	1.89±0.029	0.0193±0.0002	4.56±0.235	2.26±0.277
قطع آبیاری از روز ۲۱ برای دو هفته No irrigation from 21 for 2 weeks	1.50±0.028	0.406±0.008	1.91±0.036	0.0202±0.0007	3.98±0.259	1.89±0.101
قطع آبیاری از روز ۳۵ برای دو هفته No irrigation from 35 for 2 weeks	1.45±0.033	0.390±0.005	1.84±0.038	0.0210±0.0005	4.07±0.005	2.00±0.294
قطع آبیاری از روز ۴۹ برای دو هفته No irrigation from 49 for 2 weeks	1.31±0.032	0.343±0.008	1.65±0.033	0.0310±0.0004	2.14±0.051	0.62±0.144
قطع آبیاری از روز ۶۳ برای دو هفته No irrigation from 63 for 2 weeks	1.31±0.036	0.343±0.007	1.65±0.046	0.0306±0.0007	2.17±0.213	0.99±0.144
قطع آبیاری از روز ۷۷ برای دو هفته No irrigation from 77 for 2 weeks	1.32±0.037	0.346±0.037	1.67±0.036	0.0300±0.0005	2.55±0.155	1.12±0.159
قطع آبیاری از روز ۹۱ برای دو هفته No irrigation from 91 for 2 weeks	1.33±0.037	0.342±0.037	1.68±0.040	0.0306±0.0003	4.00±0.245	2.04±0.086
قطع آبیاری از روز ۷ برای سه هفته No irrigation from 7 for 3 weeks	1.39±0.032	0.365±0.008	1.65±0.040	0.0330±0.0001	3.37±0.456	1.65±0.189
قطع آبیاری از روز ۲۸ برای سه هفته No irrigation from 28 for 3 weeks	1.10±0.110	0.323±0.008	1.43±0.118	0.0370±0.001	3.48±0.306	1.65±0.132
قطع آبیاری از روز ۴۹ برای سه هفته No irrigation from 49 for 3 weeks	0.55±0.017	0.240±0.005	0.79±0.016	0.0430±0.0006	1.73±0.242	0.00±0.00
قطع آبیاری از روز ۷۰ برای سه هفته No irrigation from 70 for 3 weeks	0.53±0.010	0.243±0.012	0.77±0.034	0.0400±0.0001	1.80±0.173	0.06±0.006
قطع آبیاری از روز ۹۱ برای سه هفته No irrigation from 91 for 3 weeks	0.52±0.020	0.235±0.004	0.76±0.023	0.0396±0.0001	4.55±0.116	2.13±0.473
LSD α = 0.05	0.12	0.02	0.11	0.001	0.35	0.55

Values ± SE: Standard Error

اعداد ± خطای استاندارد

از مراحل حساس مثل گرده افشانی و شروع دوره دانه پر کردن بود. بیشترین خسارت به عملکرد دانه در زمان ۴۹ روز پس از کاشت (ظهور گل آذین نر) در سه هفته و دو هفته قطع آبیاری به ترتیب ۱۰۰ درصد و ۷۵ درصد بود. این نتیجه نشان می‌دهد که در کشت تابستانه ذرت دانه‌ای و در منطقه گرمسیر که طول دوره رشد کوتاه‌تر از کشت بهاره در مناطق معتدل است هرگونه وقفه در آبیاری در مراحل حساس و به هر دلیل، باعث کاهش بسیار شدید عملکرد دانه خواهد شد.

به آبیاری مطلوب، کارایی مصرف آب، به دلیل عدم کاهش عملکرد یا کاهش کمتر عملکرد (صورت کسر) نسبت به کاهش مقدار آب مصرفی (مخرج کسر)، بیشتر شد (جدول ۹).

نتیجه‌گیری کلی

در کل نتایج نشان داد که مراحل اولیه رشد و مراحل پایانی (رسیدگی) گیاه ذرت، میزان خسارت توسط قطع آبیاری کمتر

منابع

- Ahmadi, K., Gholizadeh, H., Ebadzadeh, H., Hossainpoor, R., Abdoshah, H., Kazemian, A., Rafiei, M., 2017. Iran Agriculture Statistics (I. Agronomy crops). Ministry of Agriculture Jahad Press. [In Persian].
- Alizade, A., 2004. Water, Soil and Plant Relationship. Emam Reza University Press. [In Persian].
- Al-Kaisi, M., M., Yin, X., 2003. Effects of nitrogen rate, irrigation rate and plant population on corn yield and water use efficiency. *Agronomy Journal*. 95, 1475-1482.
- Arefi, Y., Farajzadeh Memari Tabrizi, E., 2017. Effect of duration of priming on different traits of two maize cultivars (*Zea mays* L.) under deficit irrigation conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 10, 583-593. [In Persian with English Summary].
- Arnon, D.I., 1949. Copper enzyme in isolated chloroplast and polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*. 24, 1-15.
- Bates, L., Waldren, S.R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress study. *Plant and Soil*. 39, 205-207.
- Boaedman, N.K., 1977. Comparative photosynthesis of sun and shade plant. *Plant Physiology*. 28, 455-377.
- Campos, H., Cooper, M., Habben, J.E., Edmeades, G.O., Schussler, J.R., 2004. Improving drought tolerance in maize: A view from industry. *Field Crops Research*. 90, 19-34.
- Dolatabadian, A., Modares Sanavi, A., Sharifi, M. 2009. Effect of ascorbic acid (Vitamin C) leaf feeding on antioxidant enzymes activity, proline accumulation and lipid peroxidation of canola (*Brassica napus* L.) under salt stress condition. *Journal of Water and Soil Science*. 13, 611-620. [In Persian with English Summary].
- Ebrahimi, M., Jafari Haghghi, B., 2012. The effect of salicylic acid application on yield and yield components of corn in drought stress condition. *Plant Ecophysiology*. 4, 1-13. [In Persian with English Summary].
- Emam, Y., Niknejad, M., 2011. An introduction to the physiology of crop yield. Third Edition, Shiraz University Press. [In Persian].
- Farjam, S., Jafarzadeh- Kenarsari, M., Rokhzadi, A., Yousefi, B., 2014. Effects of inter-row spacing and superabsorbent polymer application on yield and productivity of rainfed chickpea. *Journal of Biodiversity and Environment Sciences*. 5, 316-320.
- Farre I., Faci, J.M., 2009. Deficit irrigation in maize for reducing agricultural water use in a Mediterranean Environment. *Agricultural Water Management*. 96, 383-394.
- Fatemi, R., Kahrarian, B., Ghanbari, A., Valizadeh, M., 2006. The evaluation of different irrigation regimes and water requirement on yield and yield components of corn. *Journal of Agriculture Science*. 12, 133-141. [In Persian with English Summary].
- Ghazian Tafreshi, S., Ayenehband, A., Tavakoli, H., Khavari Khorasani, S., Joleini, M., 2012. Short Communication: Investigating sweet corn (*Zea mays* L.) yield determining traits under normal irrigation and water deficit stress, using multivariate statistical methods. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 5, 95-98. [In Persian with English Summary].
- Golbashy, M., Ebrahimi, M., Khavari Khorasani, S., Choukan. R., 2010. Comparison of commercial and new corn hybrids (*Zea mays* L.) under drought stress and normal irrigation conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 3, 47-57. [In Persian with English Summary].
- Hirich, A., Rami, A., Laajaj, K., Choukr-Allah, R., Jacobsen, S.E., El -youssefi, L., Omari, H. 2012. Sweet corn water productivity under several deficit irrigation regimes applied. *Academy of Science, Engineering and Technology*. 6, 43-50.
- Hoshmand, A., Frutan, M., Boroomand- Nasab, S., 2013. Evaluation of deficit irrigation and sown pattern on yield and water use efficiency of maize (KSC-704). *Journal of Irrigation Science and Engineering*. 37, 43-52. [In Persian with English Summary].
- Jalilian, A., Ghobadi, R., Shirkhani, A., Farnia, A., 2014. Effect of nitrogen and drought stress on yield components, yield and seed quality of corn. *Pajouhesh and Sazandegi (Agronomy)*. 102, 151-160. [In Persian with English Summary].
- Jose, C., Inma, F., Phillippe, D., Faci, M., 2000. Simulation of maize yield under water stress with the EPIC phase and CROPWAT models. *Agronomy Journal*. 92, 669-679.

- Krishna, K.R., 2012. Maize Agroecosystem: Nutrient Dynamics and Productivity. Apple Academic Press.
- Majidian, M., Ghalavand, A., Karimian, N., 2009. Effects of nitrogen different amounts, manure and irrigation water on yield and yield components of corn. Iranian Journal of Crop Sciences. 2, 67-85. [In Persian with English Summary].
- Mazaheri, D., Ghanbari, A., 2004. Carbon Dioxide and Plant Responses. Agricultural Research and Education Organization Publication. 259p. [In Persian].
- Miri, H.M., Zamani Moghadam, R., 2014. The effect of external usage of glycine betaine on corn (*Zea mays* L.) in drought condition. Journal of Field Crops. 12, 704-717. [In Persian with English].
- Mojadam, M., Madhaj, A., 2012. The effect of nitrogen on water use efficiency, yield and grain corn in optimum conditions and drought. Iranian Journal of Field Crops Research. 10, 546-554. [In Persian with English Summary].
- Naghizadeh, M., Kabiri, R., 2017. Effect of foliar application of salicylic acid on some of physiological characteristics of corn (*Zea mays* L.) under drought stress conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences. 9, 317-327. [In Persian with English Summary].
- Noormohamadi, G., Siadat, A., Kashani, A., 2000. Agronomy (Cereal). Shahid Chamran University Press. 445p. [In Persian].
- Osborne, S.L., Schepers, J.S., Francis, D.D., Schlemmer, M.R., 2002. Use of spectral radiance to in-season biomass and grain yield in nitrogen and water- stressed corn. Crop Science. 42, 165-171.
- Ouattar, S.R., Jones, J., Erookstong, R.K., 1987. Effect of water deficit during grain filling on the pattern of maize kernel growth. Crop Science. 27, 726-730.
- Ozturk, L., Demir, Y., Unlukara, A., Karatas, I., 2012. Effects of long-term salt stress on antioxidant system, chlorophyll and proline contents in pea leaves. Romanian Biotechnological Letters. 17, 7227-7236.
- 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].
- Rafiee Manesh, S., Ayenehband, A., Nabati Ahmadi, D., 2010. The effect of different levels of irrigation and withholding irrigation on grain yield and yield components of corn hybrid S.C.704 under Ahwaz condition. Crop Physiology. 2, 93-105. [In Persian with English Summary].
- Saxton, K.E., Rawls, W.J., 2006. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solution. Soil Science Society of American Journal. 70, 1569-1578.
- Siyami, R., Mirshekari, B., Farahvash, F., Rashidi, V., Tarinejad, A., 2018. The effect of physical seed priming and water deficit stress on enzyme activity and seed yield of corn. Environmental Stresses in Crop Sciences. 11, 127-136. [In Persian with English Summary].
- Tanaka, A., Tanaka, R., 2006. Chlorophyll metabolism. Plant Biology. 9, 248-255.
- Zengin, K.F., 2006. The effects of Ca^{2+} and Zn^{2+} on the contents of protein, abscisic acid, proline and chlorophyll in bean (*Phaseolus vulgaris* cv. Strike) seedlings. Journal of Environmental Biology. 27, 441-448.