تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد چهاردهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۰
۳۲۱-۳۳۰
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.756.1144

مقاله پژوهشی

تأثیر روش‌های مختلف کم‌آبیاری بر صفات فیزیولوژیکی ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.)

سهیل پارسا[۱،۲*]، حسین خزاعی‌تبار[۳]، علی شهیدی[۴]، سهراب محمودی[۱،۲]
۱. عضو هیئت‌علمی گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه بیرجند
۲. گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشگاه بیرجند
۳. دانش آموخته کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه بیرجند
۴. عضو هیئت‌علمی گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۳/۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۲۶

چکیده

شیوه‌های نوین آبیاری ضمن افزایش راندمان مصرف آب، کمک به رفع مشکل کمبود آب موردنیاز بخش کشاورزی می‌نماید. پژوهش حاضر به بررسی روش‌های مختلف کم‌آبیاری و تأثیر آن بر خصوصیات فیزیولوژیکی ذرت دانه‌ای می‌پردازد. بدین منظور آزمایشی در سال ۱۳۹۵ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۸ تیمار و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل دو تیمار آبیاری کامل و پرآبیاری و ۱۶ تیمار کم‌آبیاری در دو سطح ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی طی دوره رویشی و کل فصل رشد گیاه به روش‌های سنتی و خشکی موضعی ریشه با آبیاری یک‌درمیان ثابت جویچه‌ها و آبیاری متناوب جویچه‌ها به ترتیب بعد از یک و دو نوبت آبیاری بود. بالاترین میانگین‌های به‌دست‌آمده در صفات ارتفاع بوته، طول بلال، شاخص سطح برگ، هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب برگ، در تیمار پرآبیاری مشاهده شد. طول بلال در تیمار کم‌آبیاری به روش خشکی موضعی ریشه با جوی و پشته یک‌درمیان ثابت (CI75T) به میزان ۱۴/۷ سانتی‌متر، اختلاف معنی‌داری با تیمار آبیاری کامل نشان نداد. بیشترین افزایش شاخص سطح برگ طی رشد به ترتیب برای تیمارهای 2PRD75V، 2PRD50V و 1PRD50V به میزان ۳۳/۲۰، ۳۰/۲۸ و ۲۵ درصد بود. کمترین هدایت روزنه‌ای در تیمار 2PRD75T مشاهده شد که در مقایسه با تیمارهای ۱۲۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ۶۴/۵۸ و ۵۸/۱۷ درصد بود. کمترین میزان محتوای نسبی آب برگ در تیمار آبیاری سنتی DI50V مشاهده شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، اختلاف ناشی از اعمال تنش در تیمارهای کم‌آبیاری موضعی ریشه کمتر از این اختلاف در تیمارهای کم‌آبیاری سنتی (نسبت به آبیاری کامل) بود؛ بنابراین، استفاده از روش‌های کم‌آبیاری ضمن کاهش جزئی رشد محصول، راهکاری مناسب برای مقابله با معضل بحران آب در زراعت ذرت در بیرجند است.

واژه‌های کلیدی: تنش محیطی، خشکی موضعی ریشه، کارایی مصرف آب، محتوی نسبی آب، هدایت روزنه‌ای.

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) گیاهی یک‌ساله از خانواده غلات (Poaceae) است که در مقایسه با سایر غلات عملکرد بالایی دارد (Warman, 2003). باوجوداینکه ذرت ازنظر سطح زیر کشت در دنیا بعد از گندم و برنج جایگاه سوم را دارد ولی به لحاظ میزان تولید در جایگاه نخست قرار دارد (Aslam et al., 2015). تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده است که اغلب جنبه‌های رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Bruce et al., 2002) و عامل اصلی محدودکننده تولید گیاهان زراعی (Golbashi et al., 2010) به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. گزارش‌های متعددی مبنی بر حساس بودن مرحله‌ی گلدهی و گرده‌افشانی در ذرت نسبت به کمبود آب وجود دارد. خشکی به‌طور متوسط ۱۷ درصد از عملکرد سالانه ذرت دانه‌ای جهان را کاهش می‌دهد و حتی در بعضی از سال‌ها کاهش محصول بیش از ۷۰ درصد

* نگارنده پاسخگو: سهیل پارسا. پست الکترونیک: sparsa@birjand.ac.ir

نیز در اثر خشکی گزارش شده است که البته این خشکی بیشتر در دوره گلدهی ذرت اتفاق می‌افتد (Farley and Coot, 1998).

کم‌آبیاری منجر به تنش خشکی شده که رشد و نمو بوته‌های ذرت را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Payero et al., 2006). تنش خشکی سبب کاهش رشد، تأخیر در رسیدگی و نقصان عملکرد ذرت می‌شود. به‌عنوان نمونه اثر تنش خشکی بر کاهش ارتفاع بوته (Traore et al., 2000)، شاخص سطح برگ (Traore et al., 2000)، محتوی نسبی آب برگ (Eivazi et al., 2011) و رشد ریشه (Jamal and Ottman, 1993) به اثبات رسیده است. بااین‌وجود پژوهش‌های انجام‌شده در نقاط مختلف دنیا نشان دادند که کم‌آبیاری روشی کارآمد برای استفاده بهینه از واحد آب مصرفی و افزایش سود خالص است (Trimmer, 1990). کم‌آبیاری با روش‌های مختلفی ازجمله آبیاری جوی و پشته‌ای یک‌درمیان ثابت، آبیاری جوی و پشته‌ای یک‌درمیان متغیر و آبیاری جوی و پشته‌ای معمولی انجام می‌گردد (Kang et al., 2000). خشکی موضعی ریشه (PRD) یکی از تکنیک‌های نوین کم‌آبیاری است که موجب افزایش کارایی مصرف آب بدون کاهش معنی‌دار محصول می‌گردد (Jovanovic et al., 2010). در این روش قسمتی از ریشه گیاه آبیاری شده و قسمت دیگر آن خشک باقی می‌ماند؛ بخشی از ریشه که خشک مانده است با فرستادن پیام به اندام‌های هوایی نسبت به خشکی عکس‌العمل نشان داده و موجب بسته شدن روزنه‌ها و کاهش مصرف آب توسط گیاه می‌شود (Davies and Zhang, 1991). گزارش شده که استفاده از این روش در پنبه سبب صرفه‌جویی قابل‌توجهی در مصرف آب، زودرسی و افزایش کیفیت محصول گردید (Kirda, 2002). این تکنیک سبب کاهش ۵۰ درصدی مصرف آب و افزایش راندمان مصرف آب به میزان ۲۱ درصد نسبت به کم‌آبیاری معمولی و ۴۳ درصد نسبت به آبیاری کامل گردید (Tesfaye et al., 2008). سبحانی و همکاران (Sobhani and et al., 2017) در بررسی روش‌های مختلف کم‌آبیاری بر ذرت، سطح آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه و روش یک‌درمیان را در مقایسه با روش تمام جویچه‌ای، مؤثر در افزایش عملکرد و راندمان مصرف آب دانستند. در بررسی مدیریت کم‌آبیاری بر طول ریشه‌ی ذرت، بیشترین طول ریشه در روش‌های دور آبیاری متغیر عمق آبیاری ثابت و آبیاری ثابت عمق آبیاری متغیر به دست آمد (Gheysari et al., 2014).

با توجه به افزایش سطح زیر کشت هیبریدهای ذرت دانه‌ای و همچنین کمبود آب بخصوص در فصل تابستان به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده‌ی تولید ذرت دانه‌ای، مطالعه‌ی فوق صورت پذیرفت. لذا سعی شده است تا به‌صورت جامع مطالعه‌ای با اهداف بررسی تأثیر خشکی موضعی ریشه به‌عنوان روش جدید کم‌آبیاری بر کارایی مصرف آب ذرت دانه‌ای، مقایسه کم‌آبیاری به روش سنتی و خشکی موضعی ریشه و بررسی اعمال کم‌آبیاری در مراحل رشد رویشی و کل دوره رشد گیاه انجام پذیرد.

مواد و روش‌ها

محدوده‌ی مطالعاتی

این آزمایش در سال ۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند با ارتفاع ۱۴۱۰ متر از سطح دریا و طول جغرافیایی ۱۳ ´ ۵۹ ° شرقی و عرض ۵۶ ´ و ۳۲ ° شمالی اجرا گردید. قبل از آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه نمونه‌برداری شد. بافت خاک شنی لومی تعیین شد. جهت آبیاری از آب شیرین استفاده شد. نتایج آنالیز آب در جدول زیر نشان داده‌شده است (جدول ۱).

جدول ۱. خصوصیات کیفی آب آبیاری.

Table 1. Quality of irrigation water

pH	هدایت الکتریکی EC	سختی کل TH	کل جامدات محلول TDS	کربنات CO_3	بی‌کربنات HCO_3	سولفات SO_4	سدیم Na	پتاسیم K	منیزیم Mg	کلسیم Ca	کلر Cl	نسبت جذب سدیم SAR
	µs/cm	mg/l		----------	----------	----------	eq/l	----------	----------	----------	----------	
7.5	2890	0.83	1496	0	3.95	13.25	17.35	0.05	12.4	4.2	16.8	6.02

طرح آزمایش

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۸ تیمار و ۳ تکرار انجام شد.

تیمارهای آزمایش

تیمارهای آبیاری شامل: پرآبیاری، ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه (FI125)؛ آبیاری کامل، ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (FI100)؛ کم‌آبیاری سنتی، ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در کل دوره رشد (DI75T)؛ کم‌آبیاری سنتی، ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در کل دوره رشد (DI50T)؛ کم‌آبیاری سنتی، ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه تا انتهای دوره رویشی (DI75V)؛ کم‌آبیاری سنتی، ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه تا انتهای دوره رشد رویشی (DI50V)؛ کم‌آبیاری به روش خشکی موضعی ریشه با جوی (یک‌درمیان) ثابت با ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در کل دوره رشد (CI75T)؛ کم‌آبیاری به روش خشکی موضعی ریشه با جوی ثابت در ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در کل دوره رشد (CI50T)؛ کم‌آبیاری به روش خشکی موضعی ریشه با جوی ثابت در ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه تا انتهای دوره رویشی (CI75V)، کم‌آبیاری به روش خشکی موضعی ریشه با جوی ثابت در ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه تا انتهای دوره رویشی (CI50V)؛ کم‌آبیاری به روش خشکی موضعی ریشه با جوی و پشته یک‌درمیان متغیر بعد از یک آبیاری در ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه تا انتهای دوره رشد (1PRD75T)؛ کم‌آبیاری به روش خشکی موضعی ریشه با جوی و پشته یک‌درمیان متغیر بعد از یک آبیاری در ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه تا انتهای دوره رشد (1PRD50T)؛ کم‌آبیاری به روش خشکی موضعی ریشه با جوی و پشته یک‌درمیان متغیر بعد از یک آبیاری در ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه تا انتهای دوره رویشی (1PRD75V)؛ کم‌آبیاری به روش خشکی موضعی ریشه با جوی و پشته یک‌درمیان متغیر بعد از یک آبیاری در ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه تا انتهای دوره رویشی (1PRD50V)؛ کم‌آبیاری به روش خشکی موضعی ریشه با جوی و پشته یک‌درمیان متغیر بعد از دو آبیاری در ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه تا انتهای دوره رشد (2PRD75T)؛ کم‌آبیاری به روش خشکی موضعی ریشه با جوی و پشته یک‌درمیان متغیر بعد از دو آبیاری در ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه تا انتهای دوره رشد (2PRD50T)؛ کم‌آبیاری به روش خشکی موضعی ریشه با جوی و پشته یک‌درمیان متغیر بعد از دو آبیاری در ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه تا انتهای دوره رویشی (2PRD75V)؛ کم‌آبیاری به روش خشکی موضعی ریشه با جوی و پشته یک‌درمیان متغیر بعد از دو آبیاری در ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه تا انتهای دوره رویشی (2PRD50V) بودند. کرت‌های آزمایش با طول ۶ و عرض ۳ متر در نظر گرفته شدند. بذرهای ذرت در ردیف‌هایی با فاصله ۵۰ و فواصل بذور روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر از هم کشت شدند. هر کرت دارای ۵ ردیف کشت بود. بین کرت‌ها یک متر و بین بلوک‌ها ۳ متر فاصله در نظر گرفته شد. کاشت در ششم تیرماه انجام گرفت. بوته‌ها در مرحله ۲ تا ۴ برگی تنک شدند تا به تراکم ۱۰۰۰۰۰ بوته در هکتار رسیدند. مقدار کود شیمیایی لازم بر اساس آزمون خاک به میزان ۲۰۰ کیلوگرم اوره و ۱۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل مطابق توصیه‌های معمول استفاده گردید. از ابتدای کشت به مدت یک ماه آبیاری معمولی انجام شد و پس‌ازآن تیمارهای آبیاری اعمال شدند.

برای محاسبه حجم آب‌آبیاری هر کرت ابتدا نیاز خالص آبیاری به دست آمد و سپس برای توزیع حجم آب بین کرت‌ها و تنظیم دقیق توزیع آب از پمپ و کنتور استفاده شد.

حجم آب آبیاری از طریق رابطه (۱) محاسبه گردید:

$$Dn=(FC-PWP)\times Pb\times MAD\times Drz \qquad [۱]$$

در این رابطه D_n حجم آب آبیاری برحسب مترمکعب، FC رطوبت جرمی خاک در حد ظرفیت زراعی، PWP رطوبت جرمی خاک در نقطه پژمردگی دائم، Pb وزن مخصوص ظاهری خاک برحسب گرم بر سانتی‌مترمکعب، Drz عمق توسعه ریشه (۱ متر بر اساس نشریه FAO56) برحسب متر و MAD ضریب تخلیه مجاز مدیریتی برحسب درصد (۵۰٪) می‌باشند. جهت توزیع آب از شبکه لوله و برای تنظیم آب ورودی به شیار هم از شیر کنترل استفاده گردید.

اندازه‌گیری صفات گیاهی موردمطالعه در دو مرحله انتهای دوره رویشی و بعد از رسیدگی فیزیولوژیک (زمانی که دانه‌های بلال سفت شده و از حالت شیری خارج شدند)، انجام شد. برای این منظور ۵ بوته به‌طور تصادفی از سه ردیف میانی هر کرت برداشت شد.

جدول ۲. حجم آب موردنیاز هر تیمار در طی فصل رشد.

Table 2. The volume of water required for each treatment during the growing season

تیمار Treatment	FI125	FI100	DI75T	DI50T	DI75V	DI50V	CI75T	CI50T	CI75V
حجم آب Water volume (m^3)	18.95	15.16	11.37	7.58	13.64	9.09	11.37	7.58	13.64

تیمار Treatment	CI50V	1PRD75T	1PRD50T	1PRD75V	1PRD50V	2PRD75T	2PRD50T	2PRD75V	2PRD50V
حجم آب Water volume (m^3)	9.09	11.37	7.58	13.64	9.09	11.37	7.58	13.64	9.09

FI100 و FI125 آبیاری کامل با ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه، DI کم‌آبیاری سنتی، CI کم‌آبیاری با جوی و پشته ثابت، PRD خشکی موضعی ریشه با تغییر جویچه‌ها پس از یک (1PRD) یا دو آبیاری (2PRD)؛ ۵۰ و ۷۵، آبیاری بر اساس درصد از نیاز آبی گیاه، Vو T به ترتیب اعمال دوره کم‌آبیاری تا انتهای رشد رویشی و کل دوره رشد را نشان می‌دهند.

FI100 and FI125 full irrigation with 100 and 125% water requirement of the crop, DI traditional deficit and CI conventional irrigation with fixed furrow irrigation, PRD partial root drying by changing furrows after one (1PRD) or two irrigations (2PRD); 50 and 75, irrigation based on the percentage of crop water requirement, V and T show the application of deficit irrigation period to the end of vegetative growth and the whole growth period, respectively.

صفات موردنظر شامل ارتفاع بوته، طول بلال، شاخص سطح برگ، هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب برگ موردبررسی قرار گرفتند. در هر کرت ارتفاع ۱۰ بوته از پایین‌ترین قسمت (سطح خاک) تا بالاترین بخش ساقه گیاه (تاسل)، با استفاده از یک خط‌کش چوبی بلند با دقت یک میلی‌متر، اندازه‌گیری و میانگین آن به‌عنوان ارتفاع بوته در هر تیمار منظور گردید. برای اندازه‌گیری طول بلال، میانگین طول پنج بلال برداشت‌شده از هر کرت منظور گردید. شاخص سطح برگ نیز در پایان مرحله رویشی و انتهای دوره رشد، به ترتیب با انتخاب سه و پنج بوته از هر کرت و پس از جداسازی برگ‌ها و اندازه‌گیری با استفاده از دستگاه سنجش سطح برگ (مدل Delta-T)، انجام شد. هدایت روزنه‌ای برگ‌ها دو هفته بعد از گرده‌افشانی و با استفاده از دستگاه پرومتر (مدل AP4) و در ساعات ۱۱ تا ۱۳ انجام شد. بدین منظور برای در هر کرت چهار عدد برگ به‌صورت تصادفی قرائت و میانگین آن‌ها به‌عنوان هدایت روزنه‌ای تیمار در نظر گرفته شد. برای محاسبه‌ی محتوای نسبی آب برگ، در پایان مرحله رویشی گیاه و همزمان با شروع رشد زایشی گیاه، دو ساعت پس از طلوع آفتاب سه گیاه از هر کرت را انتخاب کرده و یک برگ از هر گیاه (برگ یکی مانده به آخر) جدا گردید (Saremi and Siadat, 1996). محتوای نسبی آب برگ از رابطه‌ی (۲) زیر به دست آمد.

$$Dn=(FC-PWP)\times Pb\times MAD\times Drz \qquad [۲]$$

که در آن FW وزن تر برگ، DW وزن خشک برگ و SW وزن اشباع برگ است.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

اثر تیمار آبیاری بر ارتفاع بوته (ارتفاع ساقه + تاسل) در هر دو مرحله نمونه‌برداری (پایان رشد رویشی و انتهای فصل رشد) در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

نتایج نشان دادند که تیمار پرآبیاری بیشترین ارتفاع بوته ذرت را ایجاد نمود. در پایان مرحله رویشی، کلیه تیمارهای آبیاری به‌جز تیمار PRD50V۲ با ۱۴/۴۶ درصد کاهش نسبت به تیمار آبیاری کامل، اختلاف معنی‌داری را با تیمار آبیاری کامل نشان ندادند. ولی در نمونه‌برداری انتهای فصل رشد کلیه تیمارهای آبیاری به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی، اختلاف معنی‌داری در ارتفاع گیاه نسبت به تیمار آبیاری کامل نشان ندادند، درحالی‌که تمامی تیمارهای آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی به‌جز دو تیمار 1PRD50V و CI50T، سبب کاهش ارتفاع گیاه نسبت به آبیاری کامل شدند (جدول ۴).

درصد افزایش ارتفاع طی رشد ذرت نشان داد که به‌طورکلی در تمامی تیمارهای کم‌آبیاری موضعی ریشه در مقایسه با تیمارهای آبیاری کامل، ارتفاع گیاه افزایش بیشتری

داشته است. به‌طوری‌که در تیمار CI75T، این افزایش به ۴۸/۹۲ درصد رسید درحالی‌که این میزان برای دو تیمار آبیاری کامل و پرآبیاری، به ترتیب به میزان ۳۵/۷۳ و ۳۱/۶۶ درصد بود. همچنین نتایج نشان داد که افزایش ارتفاع ذرت در تیمارهای آبیاری موضعی ریشه نسبت به کم‌آبیاری سنتی در هر دو سطح ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه بیشتر بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد که دارا بودن سیستم ریشه قوی و استفاده بهتر از آب و منابع باعث بیشتر شدن ارتفاع در تیمارهای آبیاری موضعی ریشه بوده است. تنش رطوبت بر کلیه مراحل رشد و نمو گیاه به میزان یکسان و مساوی اثر نمی‌گذارد. بعضی از مراحل نسبت به افزایش تنش رطوبتی خیلی حساس بوده، درحالی‌که سایر مراحل کمتر تحت تأثیر تنش آب قرار می‌گیرند، در خصوص ارتفاع نیز مراحل اولیه رشد مهم‌تر است (Cakir, 2004). ازآنجاکه پدیده رشد حاصل فعالیت¬های حیاتی در شرایطی است که گیاه بایستی آب کافی در اختیار داشته باشد، در صورت عدم تأمین آب موردنیاز به دلیل کاهش فشار تورژسانس سلول‌های در حال رشد و اثر آن بر حجم سلول‌ها، ارتفاع گیاه کم می‌شود (Ahmadi and Baker, 2000). رضائی استخروئه و همکاران (Rezaei Estakhroeih et al., 2013) نیز بیان کردند که کم‌آبیاری (تنش رطوبتی) بر ارتفاع بوته ذرت تأثیرگذار بوده و آن را کاهش می‌دهد؛ اما بین روش‌های مختلف اعمال کم‌آبیاری (سنتی و خشکی موضعی ریشه به‌صورت متناوب و ثابت)، تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد.

طول بلال

تأثیر تیمارهای آبیاری بر طول بلال ذرت در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بالاترین میانگین طول بلال در تیمار پرآبیاری و کمترین آن در تیمار 2PRD50T مشاهده شد که این کاهش در مقایسه با تیمارهای پرآبیاری و آبیاری کامل گیاه، به ترتیب ۲۴/۶۵ و ۱۲/۳۸ درصد بود. نتایج همچنین نشان داد که تمامی تیمارهای اعمال‌شده به‌جز تیمار CI75T، در مقایسه با تیمار پرآبیاری، سبب کاهش معنی‌دار طول بلال شدند (جدول ۴). بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که تغییر میزان آب آبیاری در محدوده ۵۰ تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی، تغییری در طول بلال ایجاد نکرده ولی با توجه به اختلاف بین تیمار پرآبیاری با اغلب تیمارها، به نظر می‌رسد که آبیاری بیشتر سبب افزایش قابل‌توجه صفت مذکور شده است. هرچند اختلاف ناشی از تنش خشکی بر طول بلال معنی‌دار نبود ولی در اغلب تیمارها با افزایش سطح تنش در یک روش آبیاری طول بلال کاهش یافت. تقیان اقدم (Taghian Aghdm, 2013) نیز بیان کرد که تیمار آبیاری کامل دارای بیشترین طول بلال بود و تیمار تنش خشکی معمولی با دور ۱۴ روز آبیاری کمترین طول بلال را داشت. تنش خشکی با تأثیر بر فتوسنتز برگ موجب کاهش تولید مواد پرورده، رشد سلولی و طول بلال می‌شود (Pessarakli, 2001).

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر تیمارهای آبیاری بر برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی ذرت.

Table 3. Analysis of variance of the effect of irrigation treatments on some of physiological characteristics in maize.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی dF		محتوای نسبی آب برگ مرحله ۲	طول بلال مرحله ۲	هدایت روزنه‌ای	ارتفاع Plant height		شاخص سطح برگ Leaf area index	
	مرحله ۱ Stage 1	مرحله ۲ stage2	Relative water content stage 2	Ear length stage2	Stomatal conductance	مرحله ۱ Stage1	مرحله ۲ stage2	مرحله ۱ Stage1	مرحله ۲ stage2
بلوک Block	2	2	51.32 ns	8.74**	736.46 ns	472**	58.4ns	2.17**	0.3ns
تیمار Treatment	9	17	116.17**	2.48*	1015.65**	173*	222.5*	1.12**	0.32**
خطا Error	18	34	25	1.23	294.5	66.3	111.69	0.2	0.11
ضریب‌تغییرات CV (%)	-	-	17.26	8	29.52	6.8	6.46	22.6	15.29

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهد.

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

شاخص سطح برگ

اثر تیمارهای آبیاری بر شاخص سطح برگ در پایان مرحله رویشی و انتهای رشد گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). اعمال تنش خشکی به میزان ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی ذرت سبب کاهش قابل‌توجهی در شاخص سطح برگ گردید، به‌گونه‌ای که اختلاف این شاخص در کلیه تیمارهای کم‌آبیاری با آبیاری کامل معنی‌دار بود (جدول ۴). در پایان مرحله‌ی رویشی، بین تیمارهای کم‌آبیاری سنتی و خشکی موضعی ریشه اختلافی در شاخص مذکور مشاهده نگردید (جدول ۴). در انتهای فصل رشد نیز حداکثر شاخص سطح برگ در تیمار پرآبیاری مشاهده شد که اختلاف آن با تیمار آبیاری کامل معنی‌دار بود، ولی با سه تیمار 2PRD75V، 2PRD75T و 1PRD75T معنی‌دار نبود. تیمارهای آبیاری موضعی ریشه، شاخص سطح برگ بالاتری را نسبت به تیمارهای کم‌آبیاری سنتی داشتند، حتی تیمارهای آبیاری موضعی ریشه (2PRD75V، 2PRD75T و 1PRD75T) مقدار شاخص سطح برگ بیشتری را نسبت به آبیاری کامل دارا بودند که معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج همچنین نشان داد که در آبیاری کامل، سطح برگ طی رشد اندکی کاهش یافت، درحالی‌که در تمامی تیمارهای آبیاری سنتی و خشکی موضعی ریشه، شاخص سطح برگ طی رشد افزایش داشت. این افزایش در تیمارهای کم‌آبیاری موضعی ریشه بیشتر از آبیاری سنتی بود. بیشترین افزایش سطح برگ طی رشد به ترتیب برای تیمارهای 2PRD75V، 2PRD50V و 1PRD50V به میزان ۳۳/۲۰، ۳۰/۲۸ و ۲۵ درصد بود (جدول ۴). وانگ و همکاران (Wang et al., 2012) گزارش دادند که تیمار خشکی موضعی ریشه نسبت به تیمارهای کم‌آبیاری معمولی و شاهد سبب افزایش میزان سطح برگ در بوته ذرت گردید، هرچند ازنظر آماری بین این تیمارها اختلافی وجود نداشت.

نتایج اندازه‌گیری در پایان مرحله رشد گیاه نشان داد که تیمارهای پرآبیاری و آبیاری کامل، با کاهش سطح برگ نسبت به مرحله رویشی مواجه شدند و درواقع نتوانسته‌اند دوام سطح برگ خود را حفظ کنند، درحالی‌که تیمارهای آبیاری موضعی ریشه سطح برگ بیشتری نسبت به مرحله اول اندازه‌گیری داشتند. در تیمارهای کم‌آبیاری سنتی شاخص سطح برگ تغییر چندانی نداشت، به‌گونه‌ای که در تیمار تنش متوسط (۷۵ درصد نیاز آبی)، افزایش و در تیمار تنش شدید (۵۰ درصد نیاز آبی)، کاهش یافت (جدول ۴). فرآیند تقسیم و طویل شدن سلول نسبت به خشکی بسیار حساس است. به‌طورکلی، تنش خشکی در طول دوره رویشی باعث کوچک شدن برگ‌ها می‌شود. همچنین شاخص سطح برگ و درنتیجه میزان جذب نور توسط گیاه در دوره رسیدن محصول کاهش می‌یابد (Levitt, 1980). یکی از راهکارهای گیاه در زمان وقوع تنش خشکی، کاهش سطح و تعداد برگ است. پاگتر و همکاران (Pagter et al., 2005) در مطالعه‌ای به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی، شاخص سطح برگ را به دلیل کاهش اندازه و تولید برگ‌های جدید و افزایش ریزش آن‌ها کاهش می‌دهد، بنابراین تولید و گسترش برگ به تنش کم‌آبی حساس بوده و کاهش می‌یابد. کم‌آبیاری به روش خشکی موضعی ریشه کمتر سبب کاهش سطح برگ نسبت به کم‌آبیاری معمولی شد، در این خصوص شاه‌نظری و همکاران (Shahnazari et al., 2007) گزارش کردند که اعمال تیمار آبیاری موضعی ریشه موجب کاهش سطح برگ در طول فصل رشد می‌شود، اما مقادیر شاخص سطح برگ در آخرین برداشت در انتهای فصل رشد تا حدی بالاتر از مقادیر آن در تیمار آبیاری کامل بود.

هدایت روزنه‌ای

تیمارهای آبیاری، هدایت روزنه‌ای ذرت را در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۳). بیشترین هدایت روزنه‌ای در تیمار پرآبیاری مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با هدایت روزنه‌ای تیمارهای آبیاری کامل و نیز تیمارهای آبیاری سنتی به میزان ۷۵ درصد در هر دو مرحله رشدی و کم‌آبیاری سنتی (۵۰ درصد نیاز آبی) در انتهای دوره رویشی نداشت. کمترین هدایت روزنه‌ای در تیمار 2PRD75T مشاهده شد که در مقایسه با تیمارهای پرآبیاری و آبیاری کامل، به ترتیب ۶۴/۵۸ و ۵۸/۱۷ درصد بود. هرچند تنش خشکی سبب کاهش هدایت روزنه‌ای برخی تیمارها نسبت به آبیاری کامل شد ولی اختلاف تعدادی از این تیمارها با آبیاری کامل معنی‌دار نبود. همچنین هدایت روزنه‌ای در تیمار کم‌آبیاری سنتی به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مرحله رشد رویشی از میانگین مربوط به تیمار آبیاری کامل نیز بیشتر بود ولی این اختلاف به لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۴). در تیمارهای آبیاری موضعی ریشه، هدایت روزنه‌ای نسبت به تیمارهای کم‌آبیاری سنتی کمتر بود. احتمالاً افزایش تولید آبسیزیک اسید در این تیمارها دلیل این کاهش است. افزایش آبسیزیک اسید در تیمارهای آبیاری موضعی

ریشه موجب می‌شود گیاه با کنترل بازشدگی روزنه‌ها بدون کاهش چشمگیر فتوسنتز، در برابر تنش تحمل بیشتری از خود نشان دهد (Stikic et al., 2003). به‌طورکلی می‌توان گفت رفتار روزنه‌ها نقش اساسی در تعیین آثار تنش خشکی بر گیاه دارد. خشکی باعث محدود شدن بازشدگی روزنه‌ها و کاهش هدر رفت آب و جذب کربن و بنابراین حفظ رطوبت در بافت‌های گیاه می‌شود (Goldhamer et al., 2002) و تیمارهای خشکی موضعی ریشه با کاهش قطر دهانه روزنه‌ها، هدایت روزنه‌ای را نسبت به تیمارهای آبیاری سنتی کاهش داده و درنتیجه موجب ثابت ماندن محتوای آب اندام هوایی گیاه می‌شوند.

جدول ۴.اثر تیمارهای آبیاری بر ارتفاع بوته، طول بلال، شاخص سطح برگ و هدایت روزنه‌ای ذرت.

Table 4. Effect of irrigation treatments on plant height, ear length, leaf area index and stomatal conductance in maize.

تیمارهای آبیاری Irrigation treatments	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance ($mmol.m^{-2}.S^{1}$)	شاخص سطح برگ Leaf area index LAI		طول بلال Ear length (cm)	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	
		مرحله ۱ stage 1	مرحله ۲ Stage 2		مرحله ۱ stage 1	مرحله ۲ Stage 2
FI125	96 ^{a}	3.50 ^{a}	3.01 ^{a}	16.43 ^{a}	134.2 ^{a}	176. 7 ^{a}
FI100	81.3 $^{a-c}$	2.58 ^{b}	2.4 $^{b-e}$	14.37 ^{bc}	126.5 ^{ab}	171.7 $^{a-c}$
1PRD75V	48.6 $^{d-f}$	1.77 ^{c}	2.31 $^{b-e}$	13.88 $^{b-d}$	116.4 ^{bc}	171.5 $^{a-c}$
2PRD75V	49 $^{d-f}$	1.75 ^{c}	2.62 ^{ab}	14.19 $^{b-d}$	123.8 ^{ab}	174 ^{a}
CI75V	63.3 $^{b-e}$	1.93 ^{c}	2.08 $^{b-f}$	13.77 $^{b-d}$	116.7 ^{bc}	173.8 ^{ab}
DI75V	76.3 $^{a-d}$	1.72 ^{c}	1.93 $^{d-f}$	13.37 $^{b-d}$	120.9 $^{a-c}$	161.7 $^{a-f}$
1PRD75T	41.3 ^{ef}	-	2.48 $^{a-d}$	14.35 ^{bc}	-	167.3 $^{a-e}$
2PRD75T	34 f	-	2.50 $^{a-c}$	14.358 ^{bc}	-	172.3 $^{a-c}$
CI75T	47.3 ^{ef}	-	2.06 $^{b-f}$	14.7 ^{ab}	-	162.3 $^{a-f}$
DI75T	76 $^{a-d}$	-	1.86 ^{ef}	13.84 $^{b-d}$	-	160.7 $^{a-f}$
1PRD50 V	66 $^{b-e}$	1.59 ^{c}	2.12 $^{b-f}$	13.54 $^{b-d}$	115.6 ^{bc}	162.4 $^{a-f}$
2PRD50V	53.3 $^{c-f}$	1.45 ^{c}	2.08 $^{b-f}$	13.57 $^{b-d}$	108.2 ^{c}	155 $^{c-f}$
CI50V	38 ^{ef}	1.86 ^{c}	2.29 $^{b-e}$	13.42 $^{b-d}$	113.7 ^{bc}	156.2 $^{b-f}$
DI50V	86 ^{ab}	1.69 ^{c}	1.98 $^{c-f}$	13.06 $^{b-d}$	113.1 ^{bc}	154.1 $^{d-f}$
1PRD50 T	44.3 ^{ef}	-	2.22 $^{b-e}$	12.72 ^{cd}	-	153.9 ^{ef}
2PRD50T	42 ^{ef}	-	1.92 ^{ef}	12.38 ^{d}	-	152.4 ^{ef}
CI50T	43 ^{ef}	-	2.07 $^{b-f}$	12.76 ^{cd}	-	166.6 $^{a-f}$
DI50T	60.3 $^{b-f}$	-	1.6 ^{f}	13.87 $^{b-d}$	-	149.4 ^{f}
LSD	28.47	0.54	0.55	1.84	13.96	17.53

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.
FI100 و FI125 آبیاری کامل با ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه، DI کم‌آبیاری سنتی، CI کم‌آبیاری با جوی و پشته ثابت، PRD خشکی موضعی ریشه با تغییر جویچه‌ها پس از یک (1PRD) یا دو آبیاری (2PRD)؛ ۵۰ و ۷۵، آبیاری بر اساس درصد از نیاز آبی گیاه، Vو T به ترتیب اعمال دوره کم‌آبیاری تا انتهای رشد رویشی و کل دوره رشد را نشان می‌دهند.

Means with at least one similar letter do not have a significant difference based on the least significant difference test at the 5% probability level. FI100 and FI125 full irrigation with 100 and 125% water requirement of the crop, DI traditional deficit and CI conventional irrigation with fixed furrow irrigation, PRD partial root drying by changing furrows after one (1PRD) or two irrigations (2PRD); 50 and 75, irrigation based on the percentage of crop water requirement, V and T show the application of deficit irrigation period to the end of vegetative growth and the whole growth period, respectively.

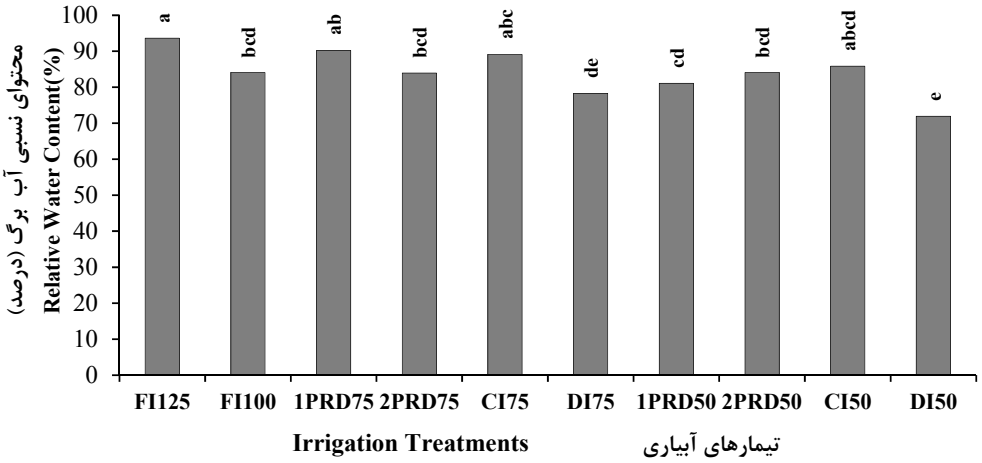
محتوای نسبی آب برگ

اثر تیمارهای آبیاری بر محتوای نسبی آب برگ در پایان مرحله رشد رویشی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که بیشترین محتوای نسبی آب برگ در تیمار پرآبیاری مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای 1PRD75V، CI75V و CI50V نشان نداد. کمترین محتوای نسبی آب برگ نیز در تیمار DI50V مشاهده شد (شکل ۱). درواقع می‌توان گفت در تیمارهای

آبیاری موضعی ریشه، پتانسیل آب برگ با بخش مرطوب خاک در تعادل است؛ بنابراین گیاهان تحت خشکی موضعی ریشه پتانسیل آب گیاه را مثل گیاهانی که به‌خوبی آبیاری شده‌اند، بالا نگه می‌دارند (Sobeih et al., 2004) بنابراین انتظار می‌رود در این نوع آبیاری نسبت به کم‌آبیاری معمولی (سنتی)، کمبود آب برگ نیز کمتر ظاهر شود و گیاه مقاومت بیشتری در برابر تنش از خود نشان دهد.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق حاکی از آن است که اگرچه اعمال تنش رطوبتی موجب کاهش برخی صفات محصول ذرت شد، ولی اختلاف ناشی از اعمال تنش در تیمارهای آبیاری موضعی ریشه کمتر از این اختلاف در تیمارهای کم‌آبیاری سنتی (نسبت به آبیاری کامل) بود. همچنین تیمار آبیاری موضعی ریشه موجب افزایش مؤلفه‌های فیزیولوژیک در مقایسه با تیمارهای کم‌آبیاری سنتی گردید. می‌توان اذعان داشت که طی رشد ذرت، تیمارهای آبیاری موضعی ریشه ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب با توسعه یک سیستم مناسب برگ و ساقه، امکان استفاده بهتر از انرژی خورشید و رطوبت موجود در خاک را علی‌رغم اعمال تنش رطوبتی فراهم می‌سازند. لذا استفاده از روش خشکی موضعی ریشه را می‌توان راهکار مناسبی برای مقابله با معضل آب در تولید ذرت، توصیه نمود.



شکل ۱. اثر تیمارهای آبیاری بر محتوای نسبی آب برگ در پایان رشد رویشی ذرت. FI100 و FI125 آبیاری کامل در ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه، PRD آبیاری موضعی جوی و پشته‌ای متغیر پس از یک (1PRD) و دو آبیاری (2PRD)،CI کم‌آبیاری با جوی و پشته ثابت و DI کم‌آبیاری سنتی را نشان می‌دهد همچنین اعداد ۵۰ و ۷۵ زمان آبیاری بر اساس درصدی از نیاز آبی گیاه، همگی تا انتهای رشد رویشی، می‌باشند.

Fig. 1. Effect of irrigation treatments on leaf relative water content at the end of the vegetative growth of maize. FI100 and FI125 are irrigation at 100 and 125 percentage of plant water requirement, PRD is localized irrigation furrow variable, after an irrigation (1PRD) and after two irrigation (2PRD), CI is Fixed Furrow irrigation and DI shows traditional low irrigation. The numbers 50% and 75% shows the time of irrigation based on a part of plant water requirement, all to the end of vegetative growth.

منابع

Ahmadi, A., Baker, D.A., 2000. Stomatal and nonstomatal limitations of photosynthesis under water stress conditions in wheat plant. Iranian Journal of Agricultural Science. 31, 813 -825. [In Persian with English Summary].

Aslam, M., Cengiz, R., Maqbool, M.A., 2015. Drought stress in maize (*Zea mays* L.). Springer. Switzerland. 2 p.

Bruce, W.B., Edmeades, G.O., Barker, T.C., 2002. Molecular and physiological approaches

to maize improvement for droughttolerance. Experimantal Botany. 366, 13-25.

Cakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crops Research, 89, 1–16.

Davies, W.J., Zhang, J., 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 42, 55-76.

Eivazi, A., Afsharpour rezaeieh, K., Ranji, H., Mousavi Anzabi, S.H., Roshdi, M., 2011. Effect of drought stress on some physiological traits of corn (*Zea mays* L.) genotypes. Crop Production in environmental Stress. 3, 1-16. [In Persian].

Farley, O.R., and Coot, W.J., 1998. Temperature and soil water effect on maize growth, development, yield and forage quality. Crop Science. 36: 34-81.

Gheysari, M., Majidi, M. M., Mirlatifi, S. M. Zareian, M. J., Amiri, S., and Banifatemeh, S. M., 2014. The effects of two different deficit irrigation managements on the root length of maize. Journal of Water and Soil. 28, 890-898.

Golbashi, M., Khavari, S.K., Chukan, R., 2010. The study of maize hybrids reaction to low irrigation. 218p. 11th Conference of Field Crop Science Iran. 24-26 June 2010. Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. [In Persian].

Goldhamer, D.A., Salinas, M., Crisosto, C., Day, K.R., Soler, M., Moriana, A., 2002. Effects of regulated deficit irrigation and partial rootzone drying on late harvest peach tree performance. Acta Horticulturae. 592, 343-350.

Jamal, A.O., Ottman, M.J., 1993. Timing of the first irrigation in corn and water stress conditioning. Agronomy. 85, 1159–1164.

Jovanovic, Z., Stikic, R., Vucelic-Radovic, B., Paukovic, M., Brocic, Z., Matovic, G., Rovcanin, S. Mojevic, M., 2010. Partial root-zone drying increases WUE, N and antioxidant content in field potatoes. European Agronomy. 33, 124-131.

Kang, S., Lianga, Z., Panb, Y., Shic, P., Zhangd, J., 2000. Alternate furrow irrigation for maize production in an arid area. Agricultural Water Management. 45, 267-274.

Kirda, C., 2002. Deficit irrigation scheduling based on plant growth stages showing water stress tolerance. In: FAO, Water Reports No: 22, Deficit Irrigation Practices. Pp, 3-10.

Levitt, R., 1980. Early generation analysis of spike in Trice turgidum I. Var. decorum. M.Sc. Thesis. North Dokata State University. Fargo, ND, USA.

Pagter, M., Bragato, C., Brix, H., 2005. Tolerance and physiological responses of (*Phragmites australis*) to water deficit. Aquatic Botany. 81, 285-299.

Payero, J.O., Melvin, S.R., Irmak, S., Tarkalson, D., 2006. Yield response of corn to deficit irrigation in a semiarid climate. Agricultural Water Management. 84, 101–112.

Pessarakli, M., 2001. Handbook of Plant and Crop Physiology. Second Edition, Marcel Dekker Inc. New York. 997 p.

Rezaei Estakhroeih, A., Hooshmand, A., Bromand Nasab, S., Khanjani, M.J., 2013. Effect of deficit irrigation and partial rootzone drying on yield, yield components and water use efficiency of maize (*Zea mays* L.) SC 704. Journal of Water and Soil. 26 1514- 1521. [In Persian with English Summary].

Saremi, M., Siadat, S.A., 1996. Effect of Irrigations intervals stress on yield and yield components and morphological characteristics of maize 704 under the weather conditions in Ahwaz. Agricultural Research center of Khozestan, Ahvaz. 45p. [In Persion].

Shahnazari, A., Liu, F., Andersen, M.N., Jacobsen, S.E., Jensen, C.R., 2007. Effects of partial root zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions. Field Crops Research. 100, 117–124.

Sobeih, W., Dodd, I., Bacon, M., Grierson, D., and Davies, W.J., 2004. Long-distance signals regulating stomatal conductance and leaf growth in tomato (*Lycopersicon esculentum*)

Sobhani, P., Aghayari. F., Paknejad, F., 2017. The effect of different irrigation methods on yield and yield components of maize. 5th international conference new ideas in agriculture, environment and tourism. Iran, Tehran, 30 Julay 2017.

Stikic, R., Popovic, S., Srdic, M., Savic, D., Jovanovic, Z., Prokic, L.J., 2003. Partial Root Drying (PRD): A New Technique for Growing Plants That Saves Water and Improves The Quality of Fruit. Bulgarian Plant physiology. Special Issue: Pp. 164–171.

Taghian Aghdm, A., 2013. Effect of Alternate furrow irrigation method on yield and yield components of sweet corn (*Zea mays* var. saccharata). M.Sc dissertation, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran. [In Persian with English Summary].

Tesfaye, S.G., Razi, I.M., Maziah, M., 2008. Effects of deficit irrigation and partial root zone drying on growth, dry matter partitioning and water use efficiency in young coffee (*Coffee arabica* L.) plants. Food, Agriculture Environment. 6, 312-317.

Traore, S.B., Carlson, R.E., Pilcher, C.D., Rice, M.E., 2000. Bt and Non-Bt maize growth and development as affected by temperature and drought stress. Agronomy. 92, 1027–1035.

Trimmer, W.L., 1990. Partial irrigation in Pakistan. ASCE, Irrigation and Drainage Engineering. 116, 342-353.

Wang, Z.h., Liu, F., Kang, S.h., Jensen, C.h., 2012. Alternate partial root-zone drying irrigation improves nitrogen nutrition in maize (*Zea mays* L.) leaves. Environmental and Experimental Botany. 75, 36-40.

Warman, A., 2003. Corn and capitalism: How a botanical bustard grew to global dominance. The University of North Carolina Press. USA. Pp, 1-273.