نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۴، بهمن - اسفند ۱۳۹۹، ص. ۱۹۷۲-۱۹۶۴

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 14, Feb.-Mar. 2021, p. 1964-1972

مقاله پژوهشی

اثر کم‌آبیاری تنظیم‌شده و آبیاری بخشی ریشه (ثابت و متغیر) بر خصوصیات رشدی ریشه در ذرت علوفه‌ای

نادر نادری[۱]، رامین فضل‌اولی[۲*]، علی شاهنظری[۳] و سعید خاوری خراسانی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۱۱

چکیده

مدیریت آبیاری یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر توسعه و گسترش ریشه گیاه است. هدف این پژوهش بررسی تاثیر تیمارهای مختلف کم‌آبیاری در روش آبیاری قطره‌ای سطحی بر چگونگی رشد و توزیع ریشه گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ بود. این پژوهش در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان‌رضوی طی سال زراعی ۱۳۹۳ اجرا گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۹ تیمار در ۴ تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل آبیاری کامل (FI)، کم‌آبیاری تنظیم شده (DI) با تأمین ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی، آبیاری ناقص ریشه به‌طور متغیر (PRD) و تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی و آبیاری ناقص ریشه به‌طور ثابت (FPRD) و تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی بود. نیاز آبی بر اساس جبران کمبود رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی به کمک رطوبت سنج الکترومغناطیس تعیین و بوسیله کنتورهای حجمی اندازه‌گیری و در مزرعه توزیع شد. اولین تنش در مرحله ۶ برگی ذرت اعمال شد. دو هفته بعد از اعمال اولین تنش، در مرحله ۱۰ برگی بوته‌ها نمونه‌بردای ریشه انجام شد. در هر بار نمونه‌برداری صفات وزن خشک، حجم و نفوذ جانبی و عمقی ریشه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که در همه تیمارها با کاهش میزان آب مصرفی، میانگین مقدار کلیه صفات مورد اندازه‌گیری کاهش یافت. تغییرات وزن خشک ریشه نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین روش‌های FI، PRD100 و PRD80 وجود نداشت. همچنین حجم ریشه تحت تأثیر کم آبی قرار گرفت اما کاربرد روش PRD80 مانع از بروز اثرات منفی کم آبی بر حجم ریشه شد. بنابراین در مقایسه با روش‌های DI و FPRD هنگام اعمال تنش آبی روش PRD از کارائی بهتری برخوردار است و جذب آب و مواد غذائی توسط ریشه در سطح بیشتری صورت خواهد گرفت.

واژه‌های کلیدی: آبیاری یک در میان، توسعه ریشه، ذرت، نیاز آبیاری

مقدمه

کم‌بودن منابع آب شیرین از یک طرف و افزایش جمعیت از طرف دیگر نیاز به استفاده موثرتر از آب برای افزایش تولید را اجتناب ناپذیر می‌سازد (Debaeke and Aboudrare, 2004). برای مقابله با بحران کم آبی، کم‌آبیاری[۵](DI) به عنوان روشی برای استفاده بهینه از منابع آب پیشنهاد شده‌است تا بازده مصرف آب را افزایش دهد (سپاسخواه و همکاران، ۱۳۸۵). آبیاری ناقص منطقه ریشه[۶](PRD) روش کم‌آبیاری اصلاح شده‌است که در آن نیمی از ناحیه ریشه گیاه به‌طور متناوب آبیاری می شود. در دهه اخیر پژوهشگران در سراسر دنیا به‌خصوص در نواحی خشک و نیمه‌خشک این روش را به‌عنوان یک راهبرد آبیاری روی محصولات زراعی و باغی ارزیابی کرده اند (Ahmadi et al., 2010؛Sepaskhah et al., 2010). ذرت (*Zea maize* L.) گیاهی است که در سطح جهانی از نظر میزان تولید در واحد سطح بعد از گندم در رتبه دوم و از نظر سطح زیرکشت بعد از گندم و برنج جایگاه سوم را به خود اختصاص داده‌است. از کل ذرت مصرفی در دنیا حدود ۷۰ درصد آن جهت تغذیه دام و طیور تولید می‌گردد (خاوری خراسانی و قاضیان تفریشی، ۱۳۹۲). نادری و

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۴- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: raminfazl@yahoo.com
DOR: 20.1001.1.20087942.2021.14.6.21.2

5- Deficit Irrigation
6- Partial Root Drying (PRD)

همکاران (۱۳۹۴) اثر روش‌های مختلف کم‌آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت را در مشهد مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که کاربرد روش PRD متغیر و تامین ۸۰ درصد نیاز آبی ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب به میزان ۱۴ درصد باعث کاهش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد ذرت نشده‌است.

صدرا نسب و همکاران (۱۳۹۳) اثر دو روش کم‌آبیاری ناقص ریشه (PRD) و کم‌آبیاری تنظیم‌شده (RDI) را بر روند رشد ریشه ذرت در شهر ساری بررسی کردند. جرم، حجم و سطح ریشه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر صفات ریشه به ترتیب مربوط به تیمارهای PRD و RDI با تامین ۵۵ درصد نیاز آبی بود. همچنین وزن و حجم ریشه در تیمار کم‌آبیاری موضعی ریشه بیشتر از تیمار کم‌آبیاری تنظیم شده بود. اکبری نودهی (۱۳۹۳) گزارش نمود اعمال تنش آبی قبل از مرحله گل‌دهی سبب کاهش شدید عملکرد و بهره‌وری آب ذرت شد. قیصری و همکاران (۱۳۹۲) در اصفهان نتیجه گرفتند بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی، سطح برگ و وزن خشک ریشه ذرت در مرحله شیری شدن دانه رخ داد. قدمی فیروزآبادی و همکاران (۱۳۹۳) در مورد آفتابگردان در ساری نتیجه گرفتند که تیمار کم‌آبیاری ناقص ریشه با تامین ۷۵ درصد نیاز آبی (PRD75) با توسعه یک سیستم مناسب ریشه و برگ، امکان استفاده بهتر از رطوبت موجود در خاک و نور خورشید را باوجود اعمال تنش رطوبتی فراهم آورد. وانگ و همکاران اثر کم‌آبیاری موضعی ریشه را بر رشد ریشه و اندام‌های هوایی ذرت در چین بررسی کردند. نتایج آزمایش نشان داد که روش آبیاری تاثیری بر بیوماس اندام‌های هوایی نداشت اما بیوماس ریشه با اعمال روش PRD افزایش یافت(Wang et al., 2012). اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۱) مورفولوژی ریشه ذرت را تحت کودآبیاری با روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در کرج ارزیابی نمودند. نوارهای تیپ در عمق ۲۰ سانتی‌متری از سطح خاک قرار گرفتند. نتایج نشان داد عمق توسعه ریشه در روش آبیاری سطحی تا مرحله ۲۰ روزگی به‌طور معنی‌داری بیشتر از روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بود، بعد از مرحله ۳۰ تا ۸۰ روزگی تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده نشد. بیشترین درصد تجمع ریشه در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در لایه ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری خاک اتفاق افتاد، در حالی‌که در روش سطحی در لایه ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری خاک بود. مرور منابع نشان داد که تا به حال مطالعات محدودی به منظور بررسی اثرات کم‌آبیاری به دو شکل تنظیم‌شده و آبیاری بخشی ریشه انجام شده است از سوی دیگر در بسیاری از مطالعات گذشته یکی از دلایل احتمالی برتری کم‌آبیاری ناقص ریشه، افزایش رشد ریشه‌ها تشخیص داده شد که این موضوع هنوز جای بررسی مفصل‌تری داشته است. بنابراین در این پژوهش، تأثیر اعمال تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم شده، کم‌آبیاری ناقص ریشه به طور متغیر و کم‌آبیاری ناقص ریشه به طور ثابت در سیستم آبیاری قطره‌ای بر ریشه ذرت، مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر روش‌های مختلف اعمال کم آبی بر خصوصیات ریشه ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴، پژوهشی در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی طی سال زراعی ۱۳۹۳ اجرا گردید. با توجه به اینکه دو فاکتور شامل روش کم‌آبیاری و درصد آب آبیاری هر یک در سه سطح بررسی شد بنابراین آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در ۴ تکرار انجام شد. تیمارهای مورد بررسی عبارت بودند از تیمار آبیاری کامل (FI)، کم‌آبیاری تنظیم شده با تأمین ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی (DI)، آبیاری ناقص ریشه به‌طور متغیر (PRD) و تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی و آبیاری ناقص ریشه به‌طور ثابت (FPRD) و تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی. خصوصیات فیزیکی خاک مزرعه تا عمق ۸۰ سانتی‌متر، پیش از شروع آزمایش تعیین گردید (جدول۱). خصوصیات کیفی آب مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است. برای تهویه بهتر منطقه ریشه، بذرها روی پشته کاشته شد و فاصله خطوط کشت۵۰ سانتی متر (طبق عرف منطقه برای ذرت علوفه‌ای)، فاصله بوته‌ها روی ردیف کشت ۲۰ سانتی‌متر و طول خط کشت در هر تیمار به‌طور ثابت ۱۰ متر و تراکم نهایی مزرعه ۱۰ بوته در متر مربع بود (خاوری خراسانی و قاضیان تفریشی، ۱۳۹۲). آبیاری به روش قطره‌ای اجرا گردید. برای اعمال کم‌آبیاری تنظیم شده، یک نوار قطره‌ای تیپ برای هر ردیف کاشت در نظر گرفته شد. در تیمار آبیاری ناقص ریشه به‌طور ثابت، یک نوار قطره‌ای برای دو ردیف داخل جویچه در نظر گرفته شد. در این تیمار فاصله نوارهای تیپ از یکدیگر یک متر بود و گیاه همیشه ازیک سمت آبیاری گردید. در تیمار آبیاری ناقص ریشه به‌طور متغیر پس از هر نوبت آبیاری با استفاده از شیرهای ورودی لترال‌ها محل آبیاری از سمت مرطوب به سمت خشک تغییر یافت. در این تیمار فاصله نوارهای تیپ از یکدیگر نیم متر بود. آبیاری برای همه تیمارها با دور ثابت سه روز انجام شد. در روش آبیاری PRD، بعد از انجام دو بار آبیاری در یک سمت ریشه در دور آبیاری بعدی، تغییر شیفت آبیاری به سمت دیگر ریشه صورت می‌گرفت. بر اساس آزمون خاک مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم در هنگام کاشت به زمین داده شد. همچنین مقدار ۴۰۰ کیلوگرم کود اوره در سه نوبت (۱۰۰ کیلوگرم در ابتدای فصل رشد، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در مرحله ۸-۷ برگی و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار قبل از گلدهی) با استفاده از تانک کود داخل سیستم تزریق شد. عملیات وجین طی دو مرحله در مراحل ۴ و ۱۱ برگی با دست انجام شد. برای محاسبه نیاز آبی از تغییرات رطوبت درمنطقه توسعه ریشه استفاده شد. بدین منظور

میـزان رطوبـت خـاک در اعمـاق ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰ و ۸۰-۶۰ سانتیمتر در منطقه توسعه ریشه (بین دو ردیـف لولـه فرعـی) توسـط رطوبـت‌سـنج الکترومغنـاطیس (TDR TRASE System 1) در دو تکرار اندازه‌گیری شد. حسگرهای رطوبت سنج در یک شـبکه ۱۰×۱۰ سانتی‌متری تا عمق ۸۰ سانتی‌متری در اطراف گیـاه کارگـذاری شـده بودند و گیاه در مرکز آنها قرار گرفته بود. نیـاز آبـی در تیمـار آبیـاری کامل از رابطه زیر تعیین گردید:

$$I_n = \sum_{i=1}^{m}((\theta_{FCi} - \theta_{BLi}) \times Di) \quad (۱)$$

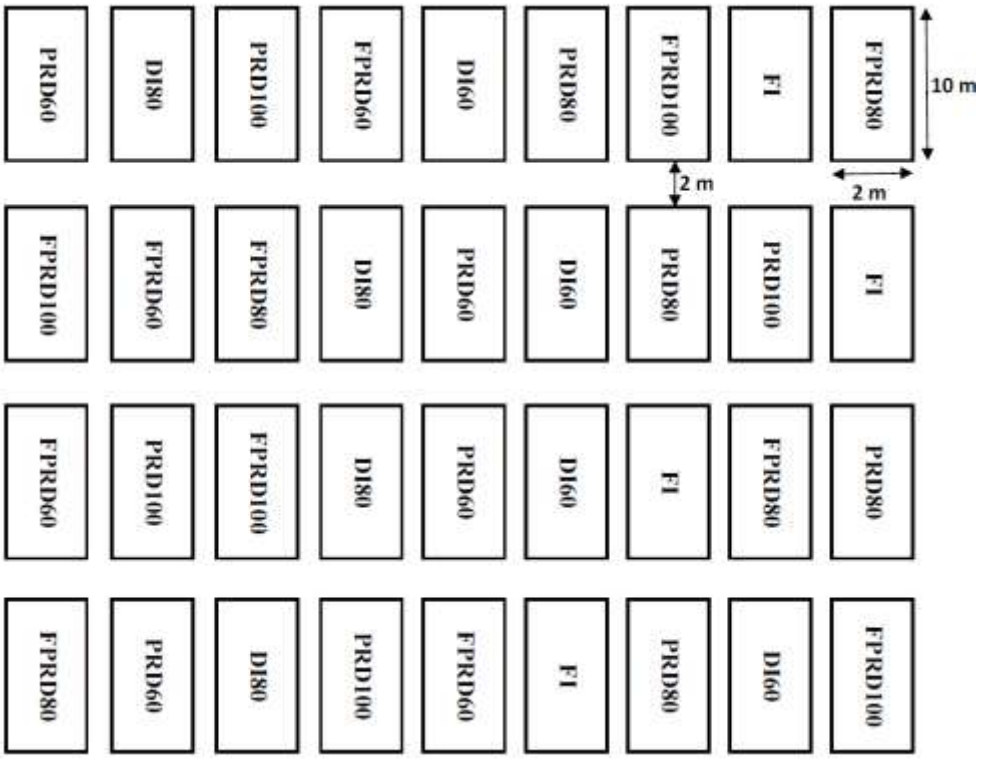
در این رابطه: In: نیاز آبیاری خالص(mm)، θ_{FCi}: میزان رطوبت ظرفیت زراعی برای هر لایه، θ_{BLi} : میزان رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری برای هر لایه، Di: عمق هر لایه ازخـاک(mm) و i شـماره هر لایه خاک. در ابتدای هر لوله نیمه‌اصلی یک کنتور قرار داده شد و با قرائت آنها قبل و بعد از آبیاری، حجم آب ورودی کنترل شد.

جدول ۱- خصوصیات خاک محل آزمایش

عمق (cm)	بافت	رطوبت حجمی در ظرفیت زراعی (٪)	رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی دائم (٪)	چگالی ظاهری (g/cm^3)
۰-۲۰	سیلتی لوم	۲۷/۹۰	۱۲/۲۰	۱/۴۱
۲۰-۴۰	سیلتی لوم	۲۹/۶۰	۱۲/۷۰	۱/۵۱
۴۰-۶۰	سیلتی لوم	۲۶/۶۰	۱۳/۳۰	۱/۴۵
۶۰-۸۰	سیلتی لوم	۲۶/۵۰	۱۲/۸۰	۱/۴۲

جدول ۲- نتایج آزمایش کیفیت آب آبیاری

EC(ds/m)	pH	کاتیون‌های محلول (meq/lit)				آنیون‌های محلول (meq/lit)		SAR
		Na	Mg	Ca	SO_4	CO_3+HCO_3		
۰/۸	۷/۸	۳	۲/۴	۲/۴	۱/۸	۲/۳۵		۱/۹۳



شکل ۱- نقشه اجرایی طرح در مزرعه

برای اندازه‌گیری خصوصیات ریشه ۲ هفته بعد از اعمال تیمارها نمونه‌برداری صورت گرفت سپس هر دو هفته یک بار نمونه‌برداری تکرار گردید. برای نمونه‌برداری از روش حفاری استفاده شد. برای آن‌که سیستم ریشه گیاه را نمایان سازیم خاک اطراف گیاه خارج شد به این صورت که با ایجاد ترانشه‌ای در اطراف ریشه گیاه، خاک اطراف ریشه‌ها خارج شد تا ریشه‌ها ظاهر گردند پس از آن‌که ریشه مربوط به هر کدام از تیمارهای آزمایش از خاک جدا و وزن تر آن اندازه‌گیری شد. برای تعیین حجم ریشه‌ها از جابجایی حجم آب در ظرف مدرج پس از وارد کردن ریشه‌های شسته شده استفاده شد (قانون ارشمیدس). سپس نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری وزن خشک به مدت ۴۸ ساعت به آون منتقل شدند. از تقسیم وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی نسبت ریشه به اندام هوایی بدست آمد (علیزاده، ۱۳۸۴).

نتایج و بحث

بررسی اثرات ساده تیمارها نشان داد که با افزایش میزان آب آبیاری تا سطح ۱۰۰ درصد وزن و حجم ریشه افزایش یافتند. به طوری که بیشترین مقدار این پارامترها در تیمار تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی مشاهده گردید در حالی که نسبت ریشه به اندام هوایی روند کاهشی داشت. همچنین در بین روش‌های مورد بررسی بیشترین مقدار صفات مورد بررسی در روش PRD وجود داشت. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول‌های ۳ و ۴) نشان داد برهمکنش روش آبیاری و سطح آبیاری بر وزن و حجم ریشه و نسبت ریشه به اندام هوایی و عملکرد در سطح ۵ درصد معنی‌دار گردید. بیشترین مقدار صفات مورد اندازه‌گیری مربوط به تیمار PRD و تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی بود، اگرچه بین این تیمار و روش FI تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و در یک گروه آماری قرار گرفتند. همچنین بین روش‌های مورد استفاده در این آزمایش کمترین میزان صفات با اعمال روش FPRD در سطح آبیاری ۶۰٪ مشاهده گردید (جدول‌های ۵ و ۶). بررسی نتایج نشان داد که در شرایط کم آبی مقادیر اندازه‌گیری شده تمام صفات اندازه‌گیری شده ریشه در تیمار PRD نسبت به تیمارهای DI و FPRD بیشتر بود.

این نتیجه نشان می‌دهد که اگرچه در هر سه روش کم‌آبیاری گیاه با تنش مواجه می‌شود ولی احتمالاً نحوه تأثیرگذاری بر روند گسترش و توزیع ریشه متفاوت است. کم آبیاری در روش آبیاری متناوب به علت تر و خشک نمودن محدوده ریشه به صورت متناوب و آبیاری مجدد قسمت‌هایی از ریشه گیاه که در نوبت قبل خشک بوده‌اند، زمینه را برای برخی تغییرات فیزیولوژیکی فراهم آورده و می‌تواند باعث افزایش جذب آب و مواد غذایی گردد Kang and (Kang et al., 2000؛Zhang, 2004). مقادیر اندازه‌گیری شده وزن و حجم ریشه‌ها در تیمارهای مختلف در این پژوهش نیز موید این مطلب است (جدول‌های ۶ و ۷). از طرفی، کم‌آبیاری در روش آبیاری یک در میان ثابت به علت اینکه یک طرف ریشه تا انتهای دوره خشک است باعث می‌شود که روند رشد و گسترش ریشه گیاه در مواجهه با این ناحیه خشک متوقف شده و پس از مدتی ریشه‌ها شادابی خود را از دست داده و با از بین رفتن قسمت‌های پوسته ریشه عملاً ریشه‌ها کارایی خود را از دست بدهند و کمترین مقدار وزن و حجم ریشه‌ها در این پژوهش مربوط به روش FPRD بود. نتایج مشابه این پژوهش در مطالعات لیانگ و همکاران و سپاسخواه و احمدی نیز گزارش شده است Sepaskhah and Ahmadi, (Liang et al., 2008؛2010).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس وزن ریشه، حجم ریشه و نسبت ریشه به اندام هوایی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات										نسبت ریشه به ساقه	عملکردعلوفه تر (t/ha)
		وزن ریشه (gr)				حجم ریشه (cm^3)							
		مرحله ۱	مرحله ۲	مرحله ۳	مرحله ٤	مرحله ۱	مرحله ۲	مرحله ۳	مرحله ٤				
تکرار	۳	۲۲/۶۹*	۱۰/۱۶ns	۲۰/۴۳ns	۲۴/۳۳ns	۱۴۳/۱۳*	۶۷/۲۶*	۱۳۲/۸۴ns	۱۳۲/۸۲ns			۰/۰۰۰۴۱۶ ns	۵۹/۴۷ ns
روش آبیاری	۲	۵/۸۹ns	۴۰/۱۴**	۱۱۲/۹۴**	۱۷۹/۲۵**	۵۲/۶۴ns	۲۸۳/۸۵**	۷۷۲/۳۲**	۱۰۴۲/۸۶**			۰/۰۰۶۰۶۵**	۴۱۹/۶۸**
سطح آبیاری	۲	۱۴/۰۸ns	۸۳/۶۰**	۶۳۱/۱۲**	۱۱۲/۰۰۸۵۳/۵۷**	۷۰۰/۳۹**	ns	۴۳۵۸/۲۷**	۵۳۵۵/۸۷**			۰/۰۱۴۳۰۷**	۱۳۱۳/۶۸**
سطح آبیاری × روش آبیاری	۴	۰/۸۸*	۳/۷۷*	۱۲/۸۳*	۲۰/۲۶*	۵/۷۴*	۲۸/۵۱*	۱۰۳/۲۴*	۱۲۳/۲۴*			۰/۰۰۰۵۲۲*	۱۷/۳۹*
خطا	۲۴	۳/۷۲	۴/۰۳	۸/۱۰	۱۰/۱۸	۲۳/۴۸	۲۶/۸۰	۵۲/۵۸	۵۲/۵۸			۰/۰۰۰۳۸۲	۲۳/۵۴
ضریب تغییرات		۹/۲۳	۷/۳۳	۷/۴۶	۷/۸۵	۹/۱۹	۷/۴۲	۸/۰۹	۷/۳۴			۹/۶۱	۸/۹۶

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی عدم تفاوت معنی‌دار، تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

مقدار آب مصرفی

عمق آب مصرفی در تیمارهای مختلف و درصد آب صرفه‌جویی شده در کل فصل رشد و دوره اعمال تیمار در جدول ۴ ارایه شده است. در تیمارهایی که قرار بود ۱۰۰ درصد نیاز آبیاری گیاه تامین شود، حجم آب آبیاری براساس رساندن رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی انجام می‌شد. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، با اعمال تیمارهای تأمین ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی در کل فصل رشد به ترتیب ۱۴/۲ و ۲۸/۴ درصد در میزان آب مصرفی نسبت به آبیاری کامل صرفه‌جویی شد.

جدول ٤- عمق آب مصرفی در تیمارهای مختلف و درصد آب صرفه‌جویی شده

تیمار	عمق آب مصرفی در کل فصل رشد (mm)	میزان کاهش مصرف آب (%)
FI, PRD100, FPRD100	۸۳۲/۰	-----
DI80, PRD80, FPRD80	۷۱۳/۹	۱۴/۲
DI60, PRD60, FPRD60	۵۹۵/۷	۲۸/۴

عملکرد علوفه

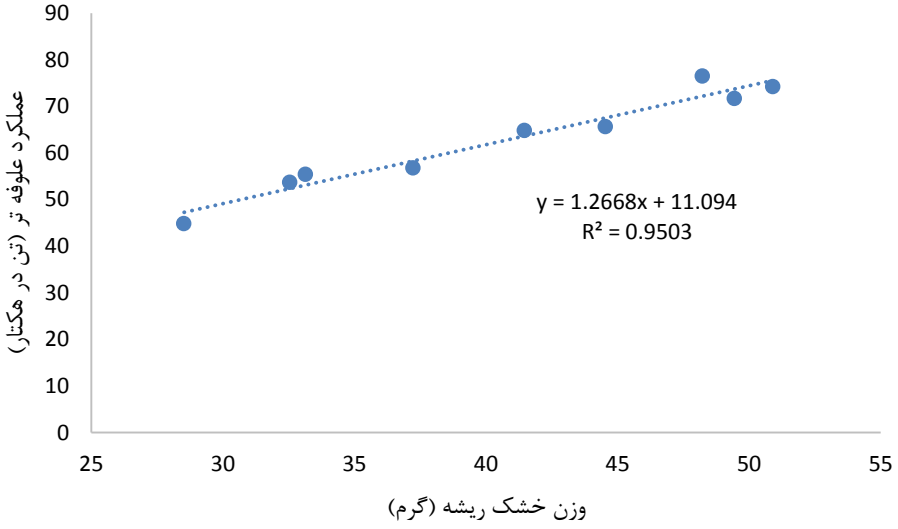
در جدول ۵ نتایج مقایسه میانگین برهمکنش روش و سطح آبیاری بر عملکرد علوفه تر ارایه شده‌است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بیشترین عملکرد علوفه تر با میانگین ۷۶/۵ تن در هکتار مربوط به تیمار آبیاری کامل بود که با تیمار کم آبیاری ناقص متغیر با ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی داری نداشت. کمترین میزان علوفه تر مربوط به تیمار FPRD60 بود که با نتایج اکبری نودهی (۱۳۹۳) مطابقت دارد. میزان عملکرد برای تیمار FPRD60 به‌ترتیب برابر ۴۴/۸ تن در هکتار بود. عملکرد علوفه تر در تیمار PRD80 به‌ترتیب برابر ۷۱/۷ تن در هکتار بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار آبیاری کامل نداشت.

رابطه عملکرد علوفه تر با پارامترهای ریشه خطی بود که در شکل ۲ این رابطه برای وزن خشک ریشه و عملکرد علوفه تر ارائه شده است. ارتباط گیاه با آب و مواد غذایی از طریق ریشه صورت می‌گیرد. رشد بهتر سیستم ریشه، گسترش و افزایش وزن آن باعث جذب بیشتر آب و مواد غذایی و در نتیجه افزایش عملکرد گیاه می‌شود، این نتایج توسط خلیلی راد و همکاران (۱۳۸۹) نیز گزارش شده است.

جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش روش و سطح آبیاری بر عملکرد علوفه تر (t/ha)

روش آبیاری	سطح آبیاری		
	۱۰۰	۸۰	٦٠
DI	۷۶/۵^{a}	۶۴/۸^{ab}	۵۳/۷^{c}
PRD	۷۴/۲^{a}	۷۱/۷^{ab}	۵۵/۴^{c}
FPRD	۶۵/۶^{b}	۵۶/۸^{c}	۴۴/۸^{d}

میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک در هر سال هستند فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ می‌باشند.



شکل ۲- رابطه بین وزن خشک ریشه و عملکرد تر

وزن ریشه

روند تغییرات وزن خشک ریشه نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین روش‌های آبیاری کامل و PRD در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد و دور آبیاری سه روزه وجود نداشت و به‌طور کلی با افزایش سن گیاه وزن خشک ریشه افزایش یافت (جدول ۶). بیشترین وزن خشک ریشه با میانگین ۵۰/۹۰ گرم مربوط به تیمار PRD در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد و نمونه گیری چهارم بود. کمترین وزن خشک ریشه نیز با میانگین ۱۸/۴۱ گرم در تیمار FPRD و سطح آبیاری ۶۰ درصد در نمونه‌گیری اول تولید شد (جدول ۶). در روش کم‌آبیاری ناقص ریشه تناوب خشک و تر شدن دو طرف ریشه سبب ترشح بیشتر ابسزیک اسید از بخش خشک ریشه و تغییر وضعیت آب در گیاه می‌شود و این کار به‌صورت سیگنال هیدرولیکی عمل کرده، و باعث ایجاد تعادل و تداوم رشد ریشه در شرایط خشک می‌شود (جنسن و همکاران، ۲۰۱۰).

جدول ٦- مقایسه میانگین برهمکنش سطح آبیاری و روش اعمال کم آبیاری بر وزن ریشه (gr)

روش آبیاری	سطح آبیاری	مرحله اول	مرحله دوم	مرحله سوم	مرحله چهارم
	۱۰۰	۲۱/۳۰^{a}	۲۹/۷۸^{a}	۴۴/۲۴^{ab}	۴۸/۲۲^{a}
DI	۸۰	۲۱/۰۳^{b}	۲۶/۶۶^{bc}	۳۹/۱۸^{cd}	۴۱/۴۶^{ab}
	۶۰	۲۰/۴۱^{bc}	۲۵/۵۹^{de}	۳۱/۳۱^{ef}	۳۲/۵۴^{ab}
	۱۰۰	۲۲/۴۵^{a}	۳۱/۴۲^{a}	۴۶/۵۷^{a}	۵۰/۹۰^{a}
PRD	۸۰	۲۲/۱۴^{a}	۳۰/۴۹^{a}	۴۵/۲۴^{a}	۴۹/۴۴^{ab}
	۶۰	۲۰/۴۹^{bc}	۲۵/۷۰^{de}	۳۱/۶۸^{ef}	۳۳/۱۴^{ab}
	۱۰۰	۲۱/۲۰^{ab}	۲۸/۳۰^{ab}	۴۲/۱۴^{bc}	۴۴/۵۴^{ab}
FPRD	۸۰	۲۰/۶۶^{b}	۲۵/۸۸^{cd}	۳۵/۴۷^{de}	۳۷/۲۳^{ab}
	۶۰	۱۸/۴۱^{c}	۲۲/۴۶^{e}	۲۷/۴۸^{f}	۲۸/۵۲^{b}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ می‌باشند

وانگ و همکاران (۲۰۱۲) نیز اعلام کردند که روش PRD سبب افزایش بیوماس ریشه ذرت در شرایط خشکی می شود (Wang et al., 2012؛Jensen et al., 2010).

حجم ریشه

حجم ریشه تحت تأثیر کم آبی قرار گرفت اما کاربرد روش PRD و ایجاد تنش در سطح ۲۰٪ مانع از بروز اثرات منفی کم آبی بر حجم ریشه شد (جدول ۷). کاهش حجم ریشه در مواجهه با شرایط کم آبی توسط گنجعلی و همکاران (۱۳۸۹) گزارش شده‌است. گزارش شده که گرادیان هیدرولیکی خاک-ریشه در روش آبیاری PRD بیشتر از روش DI است (Liu et al., 2006). کمترین حجم ریشه با میانگین ۴۶/۱۷ سانتی‌متر مکعب توسط تیمار FPRD در سطح تامین ۶۰٪ نیاز آبی و در اولین نمونه برداری تولید شد و در گروه آماری b قرار گرفت. در طول فصل رشد حجم ریشه در همه تیمارها افزایش یافت اما در اثر مواجهه با کم آبی از افزایش حجم ریشه کاسته شد (جدول ۷). با رسیدن به پایان فصل تفاوت بین تیمارهای مختلف مشهود گردید به‌طوری‌که در نمونه‌برداری چهارم بیشترین حجم ریشه با مقادیر ۱۱۷/۶۰، ۱۲۰/۰۴ و ۱۲۴/۰۰ سانتی‌متر مربع به‌ترتیب در تیمارهای FI و PRD در سطوح ۸۰ و ۱۰۰ درصد مشاهده شد (جدول ۷). در میان پارامترهای ریشه، حجم ریشه نسبت به تیمارهای مختلف کم‌آبیاری تأثیر بیشتری پذیرفته بود و اثر تنش آبی بر روی آن بیشتر از سایر پارامترهای ریشه بود. تناوب خشک و تر شدن محیط ریشه در حفظ روند تولید اسید آبسزیک (ABA) توسط ریشه موثر است. چرا که ریشه‌ها برای مدت طولانی توانایی تولید ABA را حفظ نمی‌کنند (Loveys et al., 2000).

نسبت ریشه به اندام هوایی

مشاهدات نشان داد برهمکنش روش آبیاری و سطح آبیاری بر نسبت ریشه به اندام هوایی در سطح ۵ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). در جدول ۸ نتایج مقایسه میانگین برهمکنش روش و سطح آبیاری بر نسبت ریشه به اندام هوایی ارایه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود بیشترین مقدار نسبت ریشه به اندام هوایی به‌میزان ۰/۱۷۵ مربوط به تیمار PRD80 بود که با تیمار PRD60 اختلاف معنی‌داری نداشت اما با سایر تیمارها اختلافشان معنی‌دار بود. کمترین نسبت ریشه به اندام هوایی مربوط به تیمار FI بود که با نتایج پنگ و همکاران در یک راستا است (Peng et al., 2010).

جدول ۷- مقایسه میانگین برهمکنش سطح آبیاری و روش اعمال کم آبیاری بر حجم ریشه (cm^3)

روش آبیاری	سطح آبیاری	مرحله اول	مرحله دوم	مرحله سوم	مرحله چهارم
DI	۱۰۰	۵۷/۴۶^{a}	۷۶/۸۱^{a}	۱۰۵/۷۳^{a}	۱۱۷/۶۰^{ab}
	۸۰	۵۲/۶۹^{ab}	۶۸/۳۵^{bc}	۹۱/۶۵^{bc}	۱۰۰/۲۶^{cd}
	۶۰	۵۱/۰۷^{ab}	۶۴/۰۱^{cd}	۷۱/۶۴^{de}	۷۸/۰۸^{f}
PRD	۱۰۰	۵۶/۳۵^{a}	۸۱/۱۴^{a}	۱۱۲/۱۳^{a}	۱۲۴/۰۰^{a}
	۸۰	۵۴/۶۵^{a}	۷۸/۶۰^{a}	۱۰۸/۱۸^{a}	۱۲۰/۰۴^{ab}
	۶۰	۵۱/۲۷^{ab}	۶۴/۱۷^{cd}	۷۲/۴۲^{de}	۸۰/۵۲^{ef}
FPRD	۱۰۰	۵۲/۹۵^{ab}	۷۲/۹۹^{ab}	۱۰۰/۷۱^{ab}	۱۱۰/۱۰^{bc}
	۸۰	۵۱/۷۹^{ab}	۶۴/۶۴^{cd}	۸۱/۶۰^{cd}	۸۹/۹۰^{de}
	۶۰	۴۶/۱۷^{b}	۵۷/۰۹^{d}	۶۲/۲۸^{e}	۶۸/۶۳^{f}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ می‌باشند.

افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی تحت شرایط تنش خشکی یک از راه‌های مقاومت به تنش خشکی است. در شرایط کمبود آب رشد برگ و ساقه نسبت به رشد ریشه بیشتر کاهش می‌یابد و به این وسیله گیاه سطح تبخیر را به حداقل ممکن می‌رساند. علاوه بر این کاهش توسعه برگ و ساقه میزان مصرف کربن و انرژی را در اندام-های هوایی کاهش می‌دهد و سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی گیاه به رشد ریشه اختصاص می‌یابد و در نتیجه نسبت وزن ریشه به اندام هوایی افزایش می‌یابد (Michele et al., 2009). علاوه بر اینها در روش PRD تناوب خشک و تر نمودن منطقه ریشه باعث افزایش رشد ریشه و در نتیجه افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی در مقایسه با روش DI گردید.

جدول ۸- برهمکنش روش و سطح آبیاری نسبت ریشه به اندام هوایی

روش آبیاری	سطح آبیاری ۱۰۰	سطح آبیاری ۸۰	سطح آبیاری ۶۰
DI	۰/۰۸^{f}	۰/۱۴^{cd}	۰/۱۳^{d}
PRD	۰/۱۲^{de}	۰/۱۸^{a}	۰/۱۶^{ab}
FPRD	۰/۱۰^{e}	۰/۱۵^{b}	۰/۱۴^{c}

میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک در هر سال هستند فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ می‌باشند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش ۹ تیمار شامل آبیاری کامل کم‌آبیاری تنظیم شده (DI) با تأمین ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی، آبیاری ناقص ریشه به طور متغیر (PRD) و تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی و آبیاری ناقص ریشه به طور ثابت (FPRD) و تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی مورد بررسی قرار گرفت. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که اعمال تنش خشکی بر ویژگی‌های ریشه گیاه ذرت شامل طول، سطح، حجم، وزن تر و خشک از نظر آماری در سطح پنج درصد اثر معنی‌داری داشته و با اعمال تنش خشکی صفات مذکور در هر سه روش کم‌آبیاری کاهش می‌یابد؛ اما کاربرد روش PRD80 مانع از بروز اثرات منفی کم آبی بر حجم و سطح ریشه شد. رابطه عملکرد علوفه تر با پارامترهای ریشه خطی بود که این امر نشان می‌دهد پارامترهای ریشه در افزایش عملکرد اهمیت ویژه‌ای دارند. لذا برای شرایط مشابه در مقایسه با روش‌های DI و FPRD هنگام اعمال تنش آبی روش PRD از کارایی بهتری برخوردار است و با وجود اعمال شرایط کم‌آبیاری و تنش، ریشه گیاه از توسعه مناسب و خوبی برخوردار است. به بیان دیگر استفاده از این روش کم‌آبیاری و اعمال تنش ملایم تا حد ۲۰ درصد قابل توصیه است. تشدید بیشتر تنش خشکی باعث کاهش شدید صفات ریشه خواهد شد. بنابراین در راستای استفاده بهینه از منابع آب، کاربرد ۸۰ درصد آب آبیاری با روش PRD می‌تواند به عنوان راهکاری مناسب در شرایط بحران آب به کار رود.

منابع

اسفندیاری، ص.، دهقانی سانیچ، ح.، علیزاده، ا. و داوری، ک. ۱۳۹۱. ارزیابی مرفولوژی ریشه ذرت تحت کودآبیاری با روش‌های قطره‌ای سطحی و زیرسطحی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۶(۵): ۱۰۷۴-۱۰۶۴.

اکبری نودهی، د. ۱۳۹۳. تأثیر روش‌های آبیاری جویچه‌ای و کم‌آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت علوفه‌ای در مازندران. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۷۰، ۲۵۴-۲۴۵.

خاوری خراسانی، س. و قاضیان تفریشی، ش. ۱۳۹۲. ذرت، به نژادی،

به زراعی و فرآوری. انتشارات سراوا. تهران.

سپاسخواه، ع.ر.، توکلی، ع.ر. و موسوی، س.ف. ۱۳۸۵. اصول و کاربرد کم‌آبیاری. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی. نشریه شماره ۱۰۰.

صدرا نسب، ز.، شاهنظری، ع.، ضیاتبار احمدی، م.خ. و کاراندیش، ف، ۱۳۹۳. بررسی روند رشد ریشه گیاه ذرت در دو روش کم آبیاری، نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۲۸(۲): ۴۱۸-۴۰۹.

علیزاده، ا. ۱۳۸۴. رابطه آب و خاک و گیاه. چاپ چهارم. انتشارات دانشگاه امام رضا(ع).

قدمی فیروزآبادی، ع.، رائینی، م.، شاه‌نظری، ع. و زارع ابیانه، ح. ۱۳۹۳. تغییرات شاخص کلروفیل، شاخص سطح برگ و پارامترهای ریشه آفتابگردان در کم‌آبیاری تنظیم شده و کم‌آبیاری ناقص ریشه. نشریه فناوری تولیدات گیاهی. ۱۴ (۱): ۷۹-۶۹.

قیصری، م.، مجیدی، م.م.، زارعیان، م. ج.، میرلطیفی، م.، دوکوهکی، ح. و امیری، س. ۱۳۹۲. بررسی اثر تنش رطوبتی بر اندام هوایی و وزن ریشه ذرت علوفه‌ای در مراحل مختلف رشد. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۴(۴): ۳۴۶-۳۳۹.

گنجعلی، ع.، کافی، م.، و ثابت تیموری، م. ۱۳۸۹. تغییرات شاخص های فیزیولوژیکی ریشه و اندام هوایی نخود در واکنش به تنش خشکی. مجله تنش های محیطی در علوم زراعی، ۳(۱): ۴۵-۳۵.

نادری ،ن.، فضل اولی، ر.، ضیا تبار احمدی، م.خ.، شاهنظری، ع. و خاوری خراسانی، س. ۱۳۹۴. بررسی روش‌های مختلف کم‌آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت علوفه‌ای. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۹ (۳): ۵۳۰-۵۲۲.

Ahmadi, S.H., Andersen, M.N., Plauborg, F., Poulsen, RT., Jensen, CR., Sepaskhah, AR., and Hansen, S. 2010. Effects of irrigation strategies and soils on field grown potatoes: yield and water productivity. Agriculture Water Management 97(11): 1923-1930.

Debaeke, P., and Aboudrare, A. 2004. Adaptation of crop management to water-limited environment. European Journal of Agronomy 21: 433-446.

Jensen, C.R., Battilani, A., Plauborg, F., Psarras, G., Chartzoulakis, K., Jovanovic, Z.G., and Andersen, M.N. 2010. Deficit irrigation based on drought tolerance and root signaling in potatoes and tomatoes. Agricultural Water Management 98: 403-413.

Kang, S., and Zhang, J. 2004. Controlled alternate partial root- Zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. 55(407):2437-2446.

Kang, S.Z. Shi, P., Pan, Y.H., Liang, Z.S., Hu, X.T., and Zhang, J. 2000b. Soil water distribution, uniformity and water-use efficiency under alternate furrow irrigation in arid areas. Irrigation Science 19: 181-190.

Liang, Z., Kang, S., and Shi, P. 2008. Effect of alternate furrow irrigation on maize production, root density and water-saving benefit. Scientia Agricultura Sinica 33(6): 26-33.

Liu, F., Shahnazari, A., Andersen, M.N., Jacobsen, S.E., and Jensen, C.R. 2006. Physiological responses of potato (*Solanum tubersum* L.) to partial root-zone drying: ABA signaling, leaf gas exchange, and water use efficiency. Journal of Experimental Botany 57: 3727-3735.

Loveys, B.R., Stoll, M., Dry, P.R., and McCarthy, M.G. 2000. Using plant physiology to improve the water use efficiency of horticulture crops. Acta Horticulture 537: 187-197.

Michele, A., Douglas, T., and Frank, A. 2009. The effects of clipping and soil moisture on leaf and root morphology and root respiration in two temperate and tow tropical grasses. Plant Ecology 200: 205-215.

Peng, Y., Niu, J., Peng, Z., Zhang, F., and Li, C. 2010. Shoot growth potential drives N uptake in maize plants and correlates with root growth in the soil. Field Crops Research. 115: 85-93.

Sepaskhah, A.R., and Ahmadi, S.H. 2010. A review on partial root-zone drying irrigation. International Journal of Plant Production 4(4): 241-258.

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

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 14, Feb.-Mar. 2021, p. 1964-1972

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۴، بهمن - اسفند ۱۳۹۹، ص. ۱۹۷۲-۱۹۶۴

Effect of Deficit Irrigation and Partial Root Zone Drying (Fixed and Variable) on Root Growth Characteristics of Forage Maize

N. Naderi[1], R. Fazloula[2*], A. Shahnazari[3] and S. Khavari Khorasani[4]
Recived: Sep.21, 2020 Accepted: Nov.01, 2020

Abstract

Irrigation management is one of the most important factors affecting the development and expansion of the plant root. The aim of this study was to investigate the effect of different deficit irrigation treatments on the root characteristics of fodder maize (KSC 704) in surface drip irrigation system. This research was conducted in agricultural research center of Khorasan Razavi during the 2014 growing season. A factorial experiment based on randomized complete blocks design with nine treatments and four replications was carried out. Treatments included full irrigation (FI), deficit irrigation (DI) and replacements of 80 and 60% of total water requirement, partial root zone drying (PRD) at 100, 80 and 60% of water requirement and fixed partial root zone drying (FPRD) at 100, 80 and 60% of water requirement. Water requirement was determined based on compensation of soil moisture deficit using an electromagnetic moisture meter. Water was measured by volume meters and distributed in the field. The first stress was applied at the 6-leaf stage of maize. Two weeks after applying the first deficit irrigation treatment in the 10-leaf stage of the plants, the first root sampling performed. Dry weight and volume, lateral and deep penetration of roots were measured at each sampling. The results showed that in all treatments the average amount of all measured traits decreased with decreasing water consumption. There was no significant difference among root dry weight of FI, PRD100 and PRD80 treatments. Root volume was affected by water stress but application of PRD80 method prevented the negative effects of water stress on root volume. Therefore, PRD method is more efficient compared to DI and FPRD methods when applied water stress, and water and nutrients will be absorbed at a higher level by root.

Keywords: Alternative irrigation, Root development, Maize, Irrigation requirement

1- Assistant Professor, Department of Agricultural Engineering Research, Semnan (Shahrood) Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shahrood, Iran
2- Associate Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
3- Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
4- Assistant Professor, Department of Crop and Horticulture Research, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: raminfazl@yahoo.com)