نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره3، جلد9، مرداد - شهریور 1394، ص. 530-522

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 9, Aug.-Sep. 2015, p. 522-530

بررسی اثر روش‌های مختلف کم‌آبیاری بر عملکرد و کارآیی مصرف آب ذرت علوفه‌ای

نادر نادری[1*]، رامین فضل اولی[2]، میرخالق ضیاء تبار احمدی[3]، علی شاهنظری[4] و سعید خاوری خراسانی[5]

تاریخ دریافت: 1394/3/2 تاریخ پذیرش: 1394/6/11

چکیده

به‌منظور بررسی اثر میزان آب آبیاری و روش اعمال کم‌آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارآیی مصرف آب در ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس 704، آزمایشی طی سال‌های 1392 و 1393 در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در 4 تکرار اجرا گردید. تیمارهای مورد بررسی عبارت بودند از تیمار آبیاری کامل، کم‌آبیاری تنظیم شده با تأمین 80 و 60 درصد نیاز آبی، آبیاری ناقص ریشه به طور متغیر (PRD) و تأمین 100، 80 و 60 درصد نیاز آبی و آبیاری ناقص ریشه به طور ثابت و تأمین 100، 80 و 60 درصد نیاز آبی. نتایج نشان داد که اعمال کم‌آبیاری سبب 14 تا 28 درصد صرفه‌جویی در میزان آب مصرفی در کل فصل رشد گردید. هم‌چنین با اعمال کم‌آبیاری، ارتفاع بوته، ارتفاع بلال و قطر ساقه کاهش یافت. بیش‌ترین عملکرد علوفه تر (میانگین 75095 کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار آبیاری کامل بود. عملکرد علوفه تر در تیمار PRD متغیر و تأمین 80 درصد نیاز آبی 68837 کیلوگرم در هکتار بود که تفاوت معنی‌داری در سطح 1% با تیمار آبیاری کامل نداشت. بیش‌ترین کارآیی مصرف آب با میانگین 2/27 کیلوگرم ماده خشک به ازای مصرف یک متر مکعب آب، مربوط به تأمین 80 درصد نیاز آبی در تیمار PRD متغیر بود. به طور کلی، نتایج نشان داد که کاربرد روش PRD متغیر و تأمین 80 درصد نیاز آبی، ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب به‌میزان 14%، باعث کاهش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد ذرت نشده است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری ناقص ریشه، کم‌آبیاری تنظیم شده، کارایی مصرف آب، عملکرد ذرت علوفه‌ای

مقدمه

خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان است که حدود نیمی از اراضی کشاورزی جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Bray, 1997). کمربند کشت ذرت در دنیا به دلیل ویژگی‌های خاص این گیاه (به لحاظ چهارکربنه بودن و به‌ویژه گرماپسندی آن)، تطابق نزدیکی با مناطق خشک و نیمه خشک دارد (Valero et al, De Juan 2005). از آنجایی که در کشور ما نزولات جوی کم و منابع آب محدود است، استفاده بهینه از آب موجود کاملاً ضروری است و باید از حداقل آب، حداکثر بهره‌برداری لازم صورت پذیرد تا سطح بیش‌تری به زیرکشت برده شود (عنابی میلانی، 1381).

تجربیات مربوط به کم‌آبیاری در نقاط مختلف دنیا کارآمدی این شیوه در استفاده بهینه از هر واحد آب مصرفی و افزایش سود خالص را نشان داده است (Trimmer, 1990). روش‌های نوین آبیاری با رویکرد مقابله با تنش خشکی و در راستای افزایش شاخص بهره‌وری آب آبیاری شکل گرفته که از آن میان می‌توان به روش آبیاری ناقص منطقه ریشه (PRD[6]) اشاره نمود. در این روش، منطقه ریشه به نواحی مختلف تقسیم و در هر نوبت آبیاری، یک و یا چند ناحیه مرطوب شده و نواحی دیگر خشک رها می‌شوند. تکرار متناوب این روش می‌تواند تغییراتی در ساختار فیزیولوژیک گیاه ایجاد نماید که آن را از روش کم‌آبیاری تنظیم شده متمایز می‌سازد (Liu et al, 2007). آبیاری ناقص منطقه ریشه، کارآیی مصرف آب را بدون کاهش مشخصی در عملکرد گیاه، بهبود می‌بخشد (Han and Kang, 2002; Stikic et al, 2003).

در روش PRD، در هر آبیاری، فقط یک طرف ریشه آبیاری می‌شود. در واقع، ردیف‌ها به صورت یک در میان آبیاری شده و در آبیاری‌های متناوب جای ردیف‌های خشک و تر با هم عوض می‌شود (Sadras, 2009). در این روش، ریشه‌ها خشکی خاک را حس می‌کنند و این باعث می‌شود که اسید آبسیزیک (ABA)، توسعه برگ

1- دانشجوی دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
2- استادیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
3- استاد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
4- دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
5 - استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
(*- نویسنده مسئول: (Email: Naderi7367@yahoo.com

6 - Partial root-zone drying

و هدایت روزنه‌ها را کاهش دهد و به‌طور همزمان ریشه‌ها در قسمت خیس خاک، آب کافی جذب می‌کنند تا مقدار آب را در حد بالایی در اندام‌هوایی نگهداری کنند (Zegbe-Dominguez et al, 2004). کاهش آب مصرفی توأم با افزایش کارآیی مصرف آب در گیاهان آفتابگردان (رضایی استخروییه و همکاران، 1393) سیب زمینی (Jovanovic et al., 2010)، گوجه‌فرنگی (Zegbe-Dominguez et al, 2004)، پنبه (Kirda et al, 2007) و ذرت (Yazar et al, 2009؛ رضایی استخروییه و همکاران، 1390) گزارش شده است. رضایی استخروییه و همکاران (1391) اثر کم‌آبیاری معمولی و خشکی موضعی ریشه را بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارآیی مصرف آب در ذرت دانه‌ای بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که کارآیی مصرف آب برای تیمار شاهد، برابر با 1/16 و برای تیمار خشکی موضعی ریشه با جابه‌جایی جویچه‌های مرطوب در هر آبیاری برابر با 2/13 کیلوگرم دانه به ازای مصرف یک متر مکعب آب بود.

کاراندیش و همکاران (1391) تأثیر 5 تیمار شامل آبیاری کامل، کم‌آبیاری ناقص ریشه در دو سطح 75% (PRD75) و 55% (PRD55) و کم‌آبیاری معمولی در دو سطح 75% (DI75) و 55% (DI55) را روی میزان جذب و آبشویی نیترات برای گیاه ذرت مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که اختلاف عملکرد بین تیمارهای FI و PRD75 معنی‌دار نبود. محققین تأثیر 4 تیمار شامل آبیاری کامل، آبیاری ناقص ریشه در سه سطح 100% (PRD100) و 200% (PRD200) و 50% (PRD50) را بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی درخت گریپ فروت مورد بررسی قرار دادند. ملاحظه شد در تیمار PRD50 هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز و رشد گیاه کاهش و غلظت اسید ABA در برگ افزایش یافت (Alexandros, et al, 2015). در تحقیقی دیگر تأثیر 5 تیمار شامل آبیاری کامل، کم‌آبیاری ناقص ریشه در دو سطح 50% (PRD50) و 25% (PRD25) و کم-آبیاری معمولی در دو سطح 50% (DI50) و 25% (DI25) روی میزان هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز برای انگور مورد بررسی قرار گرفت. ملاحظه شد در تیمار PRD50 در مقایسه با تیمار DI50 گیاهان هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز بالاتری داشتند (Romero, et al, 2014). در تحقیق حاضر، اثر کم‌آبیاری تنظیم شده و آبیاری ناقص ریشه در دو حالت ثابت و متغیر، بر عملکرد و کارآیی مصرف آب ذرت علوفه‌ای مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی طی سال‌های زراعی 1392 و 1393 در سطح 1000 متر مربع انجام شد. طول جغرافیایی محل آزمایش 59 درجه و 40 دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی 36 درجه و 13 دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا 985 متر بود.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در 4 تکرار انجام شد. تیمارهای مورد بررسی عبارت بودند از تیمار آبیاری کامل و کم‌آبیاری تنظیم شده با تأمین 80 و 60 درصد نیاز آبی، آبیاری ناقص ریشه به طور ثابت (FPRD) و تأمین 100، 80 و 60 درصد نیاز آبی و آبیاری ناقص ریشه به طور متغیر (PRD) و تأمین 100، 80 و 60 درصد نیاز آبی.

پیش از اجرای آزمایش، خصوصیات خاک تا عمق 80 سانتی‌متر تعیین گردید (جدول 1).

قبل از اجرای طرح، عملیات شخم، دیسک، تسطیح زمین و دادن کود شیمیایی (N, P, K) براساس آزمون خاک برای همه تیمارها به-طور یکسان انجام و اندازه بلوک‌های آزمایشی روی زمین مشخص شد. پس از قرار دادن لوله‌های آبیاری قطره‌ای روی زمین، کاشت انجام شد. رقم مورد کاشت ذرت علوفه‌ای سینگل کراس 704 بود. فاصله خطوط کشت 50 سانتی‌متر، فاصله بوته‌ها روی ردیف کشت 20 سانتی‌متر، طول خط کشت در هر تیمار به‌طور ثابت 10 متر و تراکم نهایی مزرعه 10 بوته در متر مربع بود.

نوارهای آبیاری قطره‌ای در بین ردیف‌های کشت قرار داده شدند. در تیمارهای آبیاری کامل و کم آبیاری تنظیم شده، گیاهان همیشه از دو طرف آبیاری شدند. در تیمار آبیاری ناقص ریشه به طور متغیر، پس از هر دو نوبت آبیاری، محل آبیاری از سمت مرطوب به سمت خشک تغییر یافت. در تیمار آبیاری ناقص ریشه به طور ثابت، یک نوار قطره-ای برای دو ردیف کشت در نظر گرفته شد و گیاهان همیشه از یک سمت آبیاری گردیدند. آبیاری برای همه تیمارها با دور ثابت سه روز انجام شد.

جدول 1- خصوصیات خاک محل آزمایش

عمق (cm)	بافت	رطوبت حجمی در ظرفیت زراعی (%)	رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی دائم (%)	چگالی ظاهری (g/cm^3)
0-20	سیلتی لوم	27/90	12/20	1/41
20-40	سیلتی لوم	29/60	12/70	1/51
40-60	سیلتی لوم	26/60	13/30	1/45
60-80	سیلتی لوم	26/50	12/80	1/42

برای محاسبه نیاز آبیاری، از تغییرات رطوبت در منطقه توسعه ریشه استفاده شد. میزان رطوبت موجود در خاک روزانه توسط رطوبت‌سنج الکترومغناطیس (TDR) اندازه‌گیری شد. نیاز خالص آب آبیاری در تیمار آبیاری کامل از رابطه زیر تعیین گردید:

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

در این رابطه، I_n: نیاز خالص آبیاری (mm)، θ_{FCi}: میزان رطوبت ظرفیت زراعی برای هر لایه، θ_{BLi} : میزان رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری برای هر لایه، D_i: عمق توسعه ریشه (mm) و i شماره هر لایه خاک است. حجم آب لازم توسط کنتور اندازه‌گیری و به تیمارها داده می‌شد. در طول دوره اعمال تیمارها، بارندگی وجود نداشت. در ابتدای کشت تیمارها به‌طور یکسان آبیاری شدند. پس از استقرار گیاهان، تیمارها در سال اول 40 روز و در سال دوم 45 روز پس از کاشت تا زمان برداشت محصول (یعنی 110 روز پس از کاشت) اعمال شدند. در تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم شده و PRD ثابت و متغیر در سطوح 80 و 60 درصد نیاز آبی، در هر نوبت آبیاری به‌ترتیب 80 و 60 درصد از عمق خالص آبیاری (I_n) در نظر گرفته شد و در اختیار گیاه قرار گرفت.

برای اندازه‌گیری وزن زیست‌توده نهایی در انتهای فصل، از دو ردیف وسط هرکرت 10 بوته کف‌بر شد. ابتدا وزن اندام هوایی با استفاده از ترازو اندازه‌گیری گردید. سپس، نمونه‌های گیاهی به‌مدت 72 ساعت در آون (80 درجه سلسیوس) قرار گرفته و وزن خشک کل اندام هوایی آن‌ها به‌دست آمد. با داشتن عملکرد و حجم آب مصرفی در هر تیمار، کارایی مصرف آب آبیاری[1] (کیلوگرم بر مترمکعب) از رابطه زیر به‌دست آمد:

$$IWP = \frac{Y}{I} \quad (2)$$

به طوری که Y: مقدار محصول(kg/ha) و I: حجم خالص آبیاری (m^3) است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه 9/1 انجام شد.

نتایج و بحث

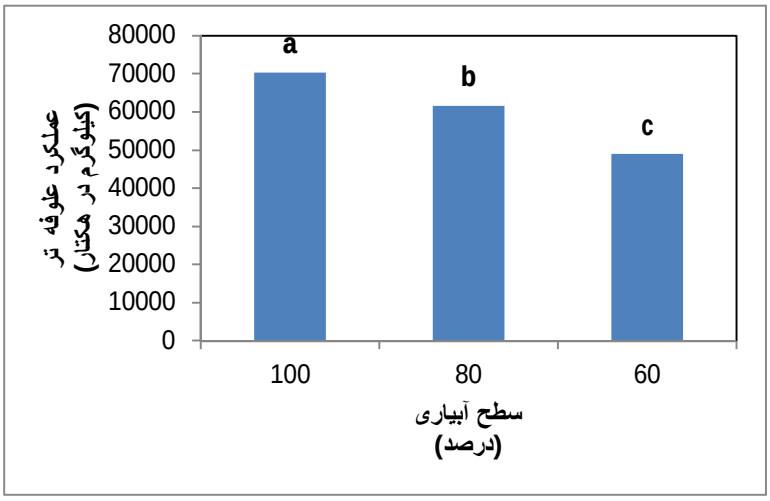
همان‌طور که در جدول 3 مشاهده می‌شود، با اعمال تیمارهای تأمین 80 و 60 درصد نیاز آبی طی سال‌های 1392 و 1393 در طول دوره اعمال تیمارها به‌ترتیب باعث 20 و 40 درصد کاهش مصرف آب نسبت به آبیاری کامل شد. هم‌چنین، با اعمال سطوح آبیاری 80 و 60 درصد نیاز آبی در کل فصل رشد طی سال 1392 به‌ترتیب 15 و 30 درصد و در سال 1393 به‌ترتیب 14/2 و 28/4 درصد در میزان آب مصرفی نسبت به آبیاری کامل صرفه‌جویی شد. نتایج تجزیه آماری تیمارهای سطح و نوع کم‌آبیاری بر صفات اندازه‌گیری شده در آزمایش طی سال‌های زراعی 1392 و 1393 در جداول 4 و 5 آمده است. رابطه‌ی بین عمق آب آبیاری و عملکرد علوفه تر و خشک در روش‌های مختلف کم‌آبیاری در جدول2 ارائه شده است.

عملکرد علوفه

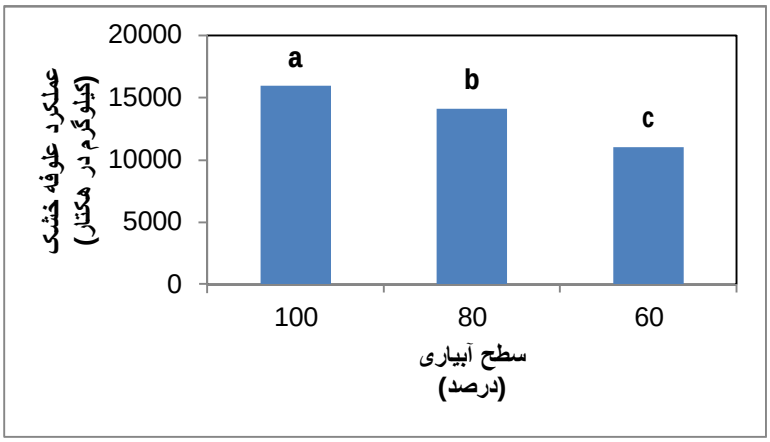
اثر سطح آبیاری بر عملکرد علوفه تر و خشک در سطح 1% معنی‌دار شد. عملکرد علوفه تر و خشک با اعمال کم‌آبیاری کاهش یافت (شکل‌های 1و 2). تفاوت معنی‌داری بین عملکرد علوفه تر و خشک در تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم شده و PRD متغیر مشاهده نشد. اما اعمال روش PRD ثابت، عملکرد علوفه را نسبت به دو تیمار دیگر کاهش داد (شکل‌های 3 و 4). بیش‌ترین عملکرد علوفه تر با میانگین 70380 کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار آبیاری کامل بود که با تیمار کم آبیاری ناقص متغیر با 100 و 80 درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌داری نداشت اما با سایر تیمارها اختلافشان معنی‌دار بود. کم‌ترین میزان علوفه تر مربوط به تیمارهای کم آبیاری ناقص ثابت با 60 درصد نیاز آبی بود. بین میزان عملکرد علوفه تر با اعمال روش PRD متغیر در سطح 100 و 80 درصد تأمین نیاز آبی، با عملکرد علوفه تیمار آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد(جدول 5).

عملکرد علوفه تر در تیمار PRD متغیر و تأمین 80 درصد نیاز آبی 68837 کیلوگرم در هکتار بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار آبیاری کامل نداشت (جدول 6). بیش‌ترین عملکرد علوفه خشک (16903 کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار آبیاری کامل بود. میزان عملکرد علوفه خشک نیز در تیمارهای تأمین 100 و 80 درصد نیاز آبی و اعمال PRD متغیر تفاوت معنی‌داری با تیمار آبیاری کامل نشان نداد (جدول 6). کم‌ترین میزان عملکرد علوفه خشک با میانگین 9565 کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار تأمین 60 درصد نیاز آبی در روش PRD ثابت بود (جدول 6). کریمی و همکاران (1388) و رضایی استخروییه و همکاران (1391) به‌ترتیب عملکرد علوفه خشک ذرت را 16191 و 15423 کیلوگرم در هکتار اعلام کردند که با نتایج این آزمایش همسو است. رضایی استخروییه و همکاران (1391) گزارش کردند که بیش‌ترین مقدار علوفه خشک مربوط به تیمار PRD متغیر و کم‌ترین عملکرد علوفه خشک مربوط به اعمال تیمار کم‌آبیاری تنظیم شده در سطح تأمین 50 درصد نیاز آبی بود. وانگ و همکاران نیز گزارش کردند که مقادیر عملکرد بیولوژیک در تیمار آبیاری ناقص ریشه در مقایسه با تیمار کم‌آبیاری تنظیم شده بیش‌تر بود (Wang, et al, 2012). همانگونه که در جدول 2 ملاحظه می‌شود رابطه‌ای خطی بین عمق آب آبیاری و عملکرد علوفه تر و خشک با ضریب همبستگی بالا وجود دارد.

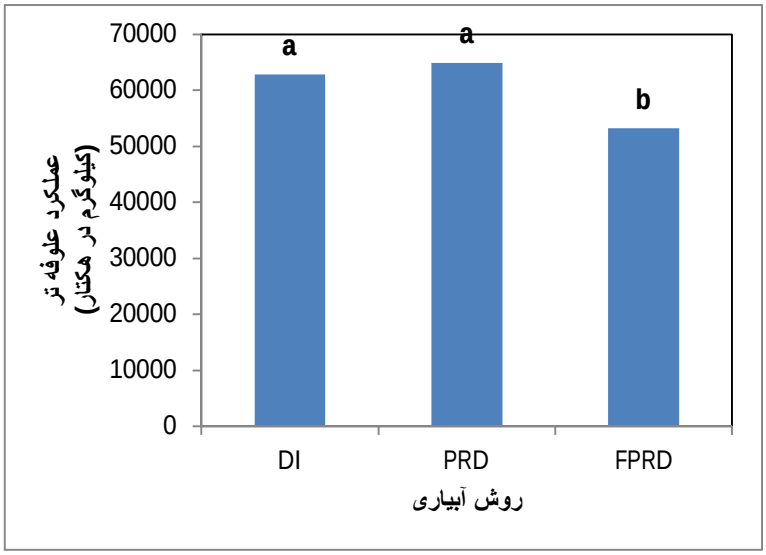
1 - Irrigation Water Productivity



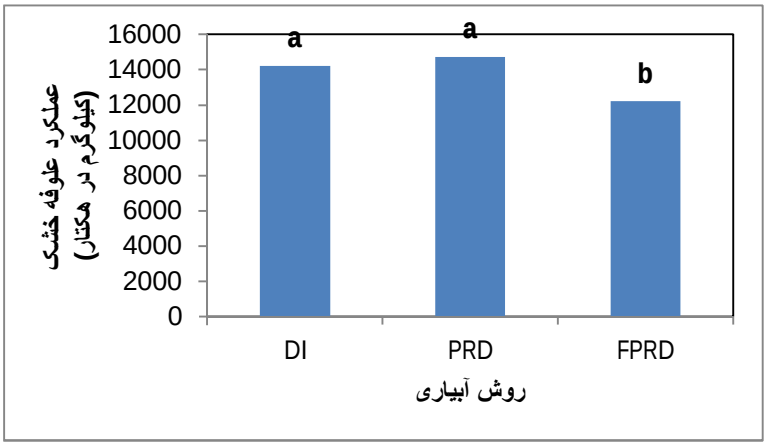
شکل 1- اثر سطوح مختلف کم آبیاری بر عملکرد علوفه تر



شکل 2- اثر سطوح مختلف کم‌آبیاری بر عملکرد علوفه خشک



شکل 3- اثر روش‌های مختلف اعمال کم‌آبیاری بر عملکرد علوفه تر



شکل 4- اثر روش‌های مختلف اعمال کم‌آبیاری بر عملکرد علوفه خشک

جدول2- رابطه بین عمق آب آبیاری و عملکرد علوفه تر و خشک (تابع تولید) در روش‌های مختلف کم‌آبیاری

روش کم‌آبیاری	تابع تولید برای علوفه تر	مجذور ضریب همبستگی	تابع تولید برای علوفه خشک	مجذور ضریب همبستگی
کم‌آبیاری معمولی	y=99.815x-6683.653	0/993	y=22.318x-1309.020	0/994
کم‌آبیاری ناقص ریشه در حالت متغیر	y=82.917x+7193.769	0/894	y=18.480x+1860.284	0/851
کم‌آبیاری ناقص ریشه در حالت ثابت	y=86.921x-7277.044	0/994	y=21.071x-2462.205	0/984

x : عمق آب آبیاری (میلی‌متر)، y : عملکرد (کیلوگرم در هکتار)

نسبت وزن کل بلال به وزن زیست توده

نسبت وزن کل بلال به وزن زیست توده با کاهش میزان آب آبیاری کاهش یافت (جدول 4). تفاوت معنی‌داری بین نسبت وزن کل بلال به وزن زیست توده در تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم شده و روش PRD متغیر مشاهده نشد و کم‌ترین میزان این صفت مربوط به تیمار PRD ثابت بود (جدول 5).

بیش‌ترین نسبت وزن بلال به زیست توده با میانگین 37 درصد در تیمارهای شاهد و تأمین 100 درصد نیاز آبی در روش PRD متغیر مشاهده شد. در سطح 80 درصد تأمین نیاز آبی، میزان این صفت در تیمار PRD متغیر بیش‌تر از روش کم‌آبیاری تنظیم شده بود (جدول 6).

بالا بودن نسبت وزن بلال به سایر قسمت‌های ذرت، سبب افزایش کیفیت علوفه آن می‌شود (نورمحمدی و همکاران، 1389). مجیدیان و اصفهانی (1392) نیز اعلام کردند که در صورت نبودن امکان آزمایش و تجزیه کیفی علوفه، بالا بودن نسبت وزن بلال به کل وزن زیست توده می‌تواند معیار مناسبی برای کیفیت علوفه باشد. شوسلر و وستگیت گزارش کردند که اعمال تنش خشکی در ذرت موجب محدودیت کربوهیدراتی و سقط جنین، کاهش آهنگ فتوسنتز خالص و تجمع ماده خشک برگ‌ها، ساقه و بلال و کاهش عملکرد دانه می‌گردد(Schussler and Westgate, 1991).

ارتفاع بوته

بیش‌ترین ارتفاع بوته، با میانگین 215 سانتی‌متر، مربوط به تیمار شاهد بود. به طور کلی کم‌آبیاری سبب کاهش ارتفاع بوته گردید (جدول 4). بین ارتفاع بوته در دو روش کم‌آبیاری تنظیم شده و PRD متغیر، تفاوتی مشاهده نشد و کم‌ترین ارتفاع بوته در تیمار آبیاری PRD ثابت حاصل شد (جدول 5). در روش PRD متغیر، بین ارتفاع بوته‌ها در تیمار تأمین کامل نیاز آبی و تأمین 80 درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول 6). در تیمار آبیاری معادل 60 درصد نیاز آبی، به‌جز در مورد ارتفاع بلال و کارآیی مصرف آب، تفاوتی بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در روش کم آبیاری تنظیم شده و PRDمتغیر نبود. کم‌ترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار PRD ثابت و سطح آبیاری 60 درصد نیاز آبی بود (جدول 6). داشتن ساقه طویل‌تر به معنی داشتن سطح فتوسنتز کننده بیش‌تر و تولید مواد متابولیک بیش‌تر می‌باشد که باعث افزایش عملکرد گیاه می‌شود. البته بایستی توجه داشت که افزایش بیش از حد ارتفاع نیز مناسب نیست (احتشامی و همکاران، 1391). کاهش ارتفاع ذرت در مواجهه با کم‌آبیاری توسط رضایی استخروییه و همکاران (1391) نیز گزارش شده است.

ارتفاع بلال

اثر روش و میزان کم‌آبیاری بر ارتفاع بلال در بوته مشابه با اثرات تیمارها بر ارتفاع بلال بود (جداول 4 و 5). با این تفاوت که ارتفاع

بلال در تیمارPRD متغیر و تأمین 80 درصد نیاز آبی، بیش‌تر از ارتفاع بلال در روش کم‌آبیاری تنظیم شده و تأمین 80 درصد نیاز آبی بود، که نشان‌دهنده اثر بهبودبخش روش PRD بر ارتفاع بلال در شرایط کم آبیاری است.

قطر ساقه

قطر ساقه با کم‌آبیاری کاهش یافت (جدول 4). کاهش قطر ساقه در روش کم‌آبیاری تنظیم شده بیش از روش PRD متغیر بود (جدول 5). بررسی اثرات متقابل تیمارها بر قطر ساقه نیز بیانگر آن بود که اعمال روش PRD متغیر سبب افزایش قطر ساقه ذرت در شرایط کم آبی می‌شود(جدول 6). دلیل افزایش قطر ساقه را می‌توان به تجمع مواد و بیوماس بالاتر گیاه نسبت داد (احتشامی و همکاران، 1391).

کارآیی مصرف آب

بیش‌ترین کارآیی مصرف آب مربوط به تأمین 80 درصد نیاز آبی ذرت بود (جدول 4). بین روش‌های اعمال کم‌آبیاری، بیش‌ترین کارآیی مصرف آب مربوط به تیمار PRD متغیر بود (جدول 5).

جدول 3- عمق آب مصرفی در تیمارهای مختلف و درصد آب صرفه‌جویی شده

تیمار		عمق آب مصرفی در کل فصل رشد (mm)		میزان کاهش مصرف آب در مقایسه با آبیاری کامل (%)		عمق آب مصرفی در دوره اعمال تیمار (mm)		میزان کاهش مصرف آب در مقایسه با آبیاری کامل (%)	
روش آبیاری	سطوح آبیاری	1392	1393	1392	1393	1392	1393	1392	1393
آبیاری کامل	100	798/2	832/0	----	----	600/2	590/7	----	----
کم‌آبیاری معمولی	80	678/2	713/9	15/0	14/2	480/3	472/6	20/0	19/9
	60	558/1	595/7	30/0	28/4	359/8	354/4	40/0	40/0
کم‌آبیاری ناقص ریشه در حالت متغیر	100	798/2	832/0	----	----	600/2	590/7	----	----
	80	678/2	713/9	15/0	14/2	480/3	472/6	20/0	20/0
	60	558/1	595/7	30/0	28/4	359/8	354/4	40/0	40/0
کم‌آبیاری ناقص ریشه در حالت ثابت	100	798/2	832	----	----	600/2	590/7	----	----
	80	678/2	713/9	15/0	14/2	480/3	472/6	20/0	20/0
	60	558/1	595/7	30/0	28/4	359/8	354/4	40/0	40/0

جدول 4- مقایسه میانگین اثر سطوح آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای طی دو سال زراعی 1392 و 1393

سطح آبیاری (%)	عمق آب مصرفی در کل فصل رشد (mm)	نسبت وزن بلال به وزن زیست توده	قطر ساقه (mm)	ارتفاع گیاه (cm)	ارتفاع بلال (cm)	کارآیی مصرف آب (kg/m^3)
100	815/1 [a]	0/362[a]	23/2[a]	207/2[a]	132/0[a]	1/96 [b]
80	696/1[b]	0/336[b]	21/2 [b]	199/3 [b]	122/4[b]	2/03 [a]
60	576/9 [c]	0/297 [c]	17/5[c]	186/7 [c]	106/8 [c]	1/91 [c]

میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح 5% می‌باشند.

جدول 5- مقایسه میانگین اثر روش آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای طی دو سال زراعی 1392 و 1393

روش آبیاری	نسبت وزن بلال به وزن زیست توده	عملکرد بلال خشک (kg/ha)	قطرساقه (mm)	ارتفاع گیاه (cm)	ارتفاع بلال (cm)	کارایی مصرف آب(kg/m^3)
کم‌آبیاری معمولی	0/338[a]	5492/7[a]	20/9[b]	202/7[a]	124/0[a]	2/04[b]
کم‌آبیاری ناقص ریشه در حالت متغیر	0/346[a]	5764/9[a]	21/7[a]	202/0[a]	125/5[a]	2/12[a]
کم‌آبیاری ناقص ریشه در حالت ثابت	0/311[b]	4449/5[b]	19/2[c]	188/5[b]	111/7[b]	1/74[c]

میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح 5% می‌باشند.

جدول6-مقایسه میانگین اثر متقابل روش آبیاری و سطوح آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای طی دو سال زراعی 1392 و 1393

تیمار		عملکرد علوفه تر (kg/ha)	عملکرد علوفه خشک (kg/ha)	نسبت وزن بلال به وزن زیست توده	عملکرد بلال خشک (kg/ha)	قطر ساقه (mm)	ارتفاع گیاه (cm)	ارتفاع بلال (cm)	کارایی مصرف آب (kg/m^3)
روش آبیاری	سطوح آبیاری (%)								
آبیاری کامل	100	75095/0^{a}	16903/3^{a}	0/371^{a}	6897/5^{a}	23/8^{a}	215/5^{a}	137/6^{a}	2/07^{b}
کم‌آبیاری معمولی	80	61960/0^{b}	14185/4^{c}	0/335^{b}	5605/9^{b}	20/9^{d}	203/0^{b}	125/4^{d}	2/04^{c}
	60	51318/3^{c}	11587/0^{e}	0/307^{c}	3974/7^{c}	18/0^{f}	189/7^{d}	109/2^{f}	2/01^{d}
کم‌آبیاری ناقص ریشه در حالت متغیر	100	72815/0^{a}	16390/3^{a}	0/373^{a}	6691/9^{a}	23/6^{ab}	207/7^{b}	133/9^{b}	2/06^{b}
	80	68837/5^{ab}	15788/2^{a}	0/362^{a}	6537/1^{a}	23/3^{b}	205/3^{b}	131/1^{c}	2/27^{a}
	60	53067/5^{c}	11989/4de	0/303^{c}	4065/7^{c}	18/3^{f}	193/0^{d}	111/4^{e}	2/07^{b}
کم‌آبیاری ناقص ریشه در حالت ثابت	100	63232/5^{b}	14584/2^{c}	0/341^{b}	5782/3^{b}	22/2^{c}	198/3^{c}	124/5^{d}	1/68^{e}
	80	53907/5^{c}	12461/5^{d}	0/312^{c}	4488/9^{c}	19/3^{e}	189/8^{d}	110/7^{ef}	1/79 ^{e}
	60	42528/5^{d}	9565/4^{f}	0/280^{d}	3077/1^{d}	16/0^{g}	177/4^{e}	99/8^{g}	1/66^{f}

میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح 5% می‌باشند.

مقایسه اثر متقابل تیمارها بر کارآیی مصرف آب نشان داد که بیش‌ترین کارآیی مصرف آب با میانگین 2/27 کیلوگرم ماده خشک به ازای مصرف یک متر مکعب آب مربوط به تأمین 80 درصد نیاز آبی در تیمار PRD متغیر بود.

در روش خشکی موضعی ریشه (PRD)، قسمتی از منطقه ریشه گیاه آبیاری شده و قسمت دیگر آن خشک می‌ماند. آن بخش از ریشه که در خاک خشک قرار دارد، با فرستادن پیام به اندام‌های هوایی، نسبت به خشکی عکس‌العمل نشان داده و باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش مصرف آب توسط گیاه می‌شود (Davies and Zhang, 1991). رضایی استخروییه و همکاران (1391) گزارش کردند که کارآیی مصرف آب برای ذرت در روش PRD متغیر بیش‌تر از روش‌های کم‌آبیاری تنظیم شده و PRD ثابت بود که با نتایج این تحقیق همسو است. کانگ و همکاران نیز با مقایسه آبیاری تمام جویچه‌ها و آبیاری یک در میان در ذرت به این نتیجه رسیدند که آبیاری یک در میان (PRD) متغیر ضمن افزایش عملکرد، سبب صرفه‌جویی 50 درصدی در میزان آب مصرفی شد (Kang, et al, 2000).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که به‌طور کلی عملکرد ذرت علوفه‌ای با تنش خشکی کاهش می‌یابد اما اعمال روش PRD متغیر می‌تواند اثرات محدود کننده کم‌آبیاری را کاهش دهد. به‌طوری که تفاوت معنی‌داری بین عملکرد علوفه در تیمار آبیاری کامل با تیمار تأمین 80 درصد نیاز آبی و روش PRD متغیر مشاهده نشد. در روش PRD ثابت، عملکرد نسبت به روش PRD متغیر به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. این بهبود عملکرد توسط به‌کارگیری روش PRD متغیر، به‌دلیل اثرات مثبت آن بر جذب آب و اجزای عملکرد علوفه از جمله ارتفاع بوته و عملکرد بلال اتفاق افتاد. هم‌چنین، کارآیی مصرف آب با اعمال روش PRD متغیر افزایش یافت. به طوری که کارآیی مصرف آب در روش PRD متغیر نسبت به PRD ثابت و کم‌آبیاری تنظیم شده به ترتیب 17/92 و 3/77 درصد بهبود یافت. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که کاربرد روش PRD متغیر با تأمین 80 درصد نیاز آبی علاوه بر عدم کاهش معنی‌دار عملکرد، باعث ارتقاء کارایی مصرف آب در ذرت می‌گردد.

منابع

احتشامی،س.م.ر.، ابراهیمی،پ.، زند،ب. 1391. بررسی ویژگی‌های کمی وکیفی ژنوتیپ‌های ذرت سیلوئی در منطقه ورامین. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی 4.5: 38-19.

رضایی استخروییه،ع.، برومند نسب،س.، هوشمند،ع.، خانجانی،م.ج. 1390. تأثیر کم‌آبیاری و خشکی موضعی ریشه بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه ذرت. فصلنامه مهندسی آبیاری و آب 6.2: 76-67.

رضایی استخروییه،ع.، خوش قدم،س.، ابراهیمی سیریزی،م.، بادیه نشین،ع. 1393. ارزیابی عملکرد گیاه آفتابگردان (رقم فرخ) تحت تأثیر کم‌آبیاری سنتی و خشکی موضعی ریشه. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، 5.28: 875-867.

رضایی استخروییه،ع.، هوشمند،ع.، برومند نسب،س.، خانجانی،م.ج. 1391. تأثیر کم‌آبیاری و خشکی موضعی ریشه بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارآیی مصرف آب گیاه ذرت دانه‌ای هیبرید سینگل کراس 704. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، 6.26: 1521-1514.

عنابی میلانی،ا. 1381. ارزیابی تأثیر رژیم‌های آبیاری در اجزای عملکرد و کارآیی مصرف آب گندم در خاک شور. مجله علوم خاک وآب. 1.16: 135-121.

کاراندیش،ف.، میرلطیفی،م.، شاهنظری،ع.، قیصری،م.، عباسی،ف. 1391. تأثیر کم‌آبیاری ناقص ریشه و کم آبیاری معمولی ذرت بر جذب و پتانسیل آبشویی نیترات. مدیریت آب و آبیاری. 2.2: 98-85.

کریمی،م.، اصفهانی،م.، بیگلوئی،م.ح.، ربیعی،ب.، کافی قاسمی،ع. 1388. تأثیر تیمارهای کم‌آبیاری بر صفات مورفولوژیک و شاخص‌های رشد ذرت علوفه‌ای در شرایط آب و هوایی رشت. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. 9.2: 109-91.

مجیدیان،م.، اصفهانی،ا. 1392. اثر تاریخ کاشت بر عملکرد و برخی ویژگی‌های زراعی شش هیبرید ذرت علوفه‌ای در شرایط اقلیمی استان گیلان. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. 9.3: 69-57.

نورمحمدی،ق.، سیادت،س.ع.ا.، کاشانی،ع. 1389. زراعت غلات. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز. 468 صفحه.

Alexandros,B., Patakas,A. 2015. Differential physiological and biochemical responses to drought in grapevines subjected to partial root drying and deficit irrigation. Europe Journal Agronomy. 62: 90-97.

Bray,E.A. 1997. Plant response to water deficit trends. Plant Science. 2: 48-54.

Davies,.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.

De Juan Valero,J.A., Maturano,M., Artigao,A., Ramírez Tarjuelo,J.M., Martín-Benito,K., Ortega Álvarez,J.F. 2005. Growth and nitrogen use efficiency of irrigated maize in a semiarid region as affected by nitrogen fertilization. Spanish Journal of Agricultural Research. 3.1: 134-144.

Han,Y.L., Kang,S.Z. 2002. Effects of the controlled partial root zone irrigation on root nutrition uptake of maize (*Zea mays*). Trans. of Chinese Society of Agricultural Engineering. 18.1: 57-59.

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

Kang,S., Liang,., Pan,Y., Shi,P., Zhang,J. 2000. Alternate furrow irrigation for maize production in an arid area. Agriculture Water Management. 45: 267-274.

Kirda,C., Topcu,S., Cetin,M., Dasgan,H.Y., Kaman,H., Topaloglu,F., Derici,M.R., Ekici,B. 2007. Prospects of partial root zone drying for increasing water use efficiency of major crops in the Mediterranean region. Annuals of Applied Biology. 150: 281-291.

Liu,F., Liang,J., Kang,Sh., Zhang,J. 2007. Benefits of alternate partial root-zone irrigation on growth, water and nitrogen use efficiencies modified by fertilization and soil water status in maize. Plant and Soil. 295: 279-291.

Romero,A., Kusakabe,A., Melgar,J.C. 2014. Physiological responses of citrus to partial rootzone drying irrigation. Scientia Horticulturae. 169: 234-238.

Sadras,V.O. 2009. Does partial root-zone drying improve irrigation water productivity in the field? A meta analysis. Irrigation Science. 27: 183-190.

Schussler,J.R., Westgate,M.E. 1991. Maize kernel set at low water potential: II. Sensitivity to reduced assimilates at pollination. Crop Science. 31: 1196-1203.

Stikic,R., Popovic,S., Srdic,M., Savic,D., Jovanovic,Z., Prokic,L.J., Zdravkovic,J. 2003. Partial root zone drying (PRD): A new technique for growing plants that saves water and improves the quality of fruit." Bulg. Journal of. Plant Physiol. special Issue. 2: 164-171.

Trimmer,W.L. 1990. Partial irrigation in Pakistan. ASCE, Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 116.3: 342-353.

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

Yazar,A., Gokcel,F., Sezen,M.S. 2009. Corn yield response to partial root zone drying and deficit irrigation strategies applied with drip system. Plant, Soil Environment. 55.11: 494-503.

Zegbe-Dominguez,J.A., Behboudian,M.H., Clothier,B.E. 2004. Partial root zone drying is a feasible option for irrigation processing tomatoes. Agriculture Water Management. 68: 195-206.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 9, Aug.-Sep. 2015, p. 522-530

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره3، جلد9، مرداد - شهریور 1394، ص. 530-522

Evaluating the Effect of Different Methods of Deficit Irrigation on Yield, Yield Components and Irrigation Water Productivity of Forage Maize

N. Naderi[1*], M.Z. Ahmadi[2], R. Fazl Oula[3], A. Shahnazari[4], S. Khavari Khorasani[5]
Recived: May.23, 2015 Accepted: Sep.02, 2015

Abstract

An experiment was conducted in order to investigate the effect of deficit irrigation method on yield, yield components and water use efficiency of forage maize (KSC 704) an experiment was conducted during 2013 and 2014 growing seasons in mashhad. A factorial experiment based on randomized complete blocks design with four replications was carried out. Treatments included full irrigation treatment, deficit irrigations (regulated deficit irrigation and replacements of 80 and 60% of total water requirement, variable PRD at 100, 80 and 60% of water requirement and fixed PRD at 100, 80 and 60% of water requirement). Deficit irrigation resulted in water use saving at the rates of 14-28 %. Results showed that plant height, ear height and stem diameter decreased by deficit irrigation. The highest fresh forage yield (75095 kg/ha) was produced by full irrigation treatment. There was no significant difference between fresh forage yield of full irrigation treatment and plants which grew at 80% water replacement and variable PRD method ($P \leq 0.01$). The highest water use efficiency was 2.27 kg/m^3 which belonged to variable PRD by 80% of water requirement.There was no difference between replacing 100 and 80% of water requirement by applying variable PRD. Overall, results showed that application of variable PRD method saved water by 14% compared with full irrigation treatment without significant reduction in yield and yield components of forage maize.

Keywords: Partial root zone drying, Regulated deficit irrigation, Water use efficiency, Forage maize yield

1 - Ph.D. student, Department of Irrigation, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2 - Professor, Department of Irrigation, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
3 - Assistant Professor, Department of Irrigation, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
4 -Associate Professor, Department of Irrigation, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
5 - Assistant Professor, Agricultural and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi, Mashhad, Iran
(*Corresponding Author Email : Naderi7367@yahoo.com)