نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۲، خرداد– تیر ۱۳۹۵، ص. ۴۴۲-۴۳۲

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 2, May.-Jun. 2016, p. 432- 442

بررسی اثر کم‌آبیاری تنظیم شده و کم‌آبیاری ناقص ریشه بر پارامترهای فیزیولوژیکی و فتوسنتزی ذرت علوفه‌ای

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۲۲

چکیده

به منظور بررسی اثر میزان آب آبیاری و روش اعمال کم‌آبیاری بر عملکرد و پارامترهای فیزیولوژیکی و فتوسنتزی ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۳، در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در ۴ تکرار اجرا گردید. تیمارهای مورد بررسی عبارت بودند از تیمار آبیاری کامل، کم‌آبیاری تنظیم شده 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. نتایج آزمایش نشان داد که همزمان با کاهش میزان آب مصرفی عملکرد تر و خشک علوفه ذرت در تیمار کم‌آبیاری تنظیم شده کاهش یافت اما در تیمار آبیاری ناقص ریشه به‌طور متغیر تفاوت معنی‌داری بین میزان عملکرد در تیمارهای تامین ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی مشاهده نشد. بیشترین عملکرد علوفه تر با میانگین ۷۲۰۹۹ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار آبیاری کامل بود. بررسی صفات فیزیولوژیک طی چهار مرحله نمونه‌برداری در طول فصل رشد، نشان داد که شاخص سطح برگ تحت اثر متقابل تیمارهای آبیاری قرار گرفت. تفاوت معنی‌داری بین شاخص سطح برگ گیاهان در تیمار آبیاری کامل و سطوح ۱۰۰ و ۸۰ درصد تامین آبی در تیمار PRD وجود نداشت. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شاخص سطح برگ و عملکرد علوفه تر ($r^2= 0.98, p<0.01$) مشاهده شد. نتایج نشان داد که محتوای آب نسبی برگ پرچم و شاخص کلروفیل و هدایت روزنه‌ای با کاهش میزان آب مصرفی کاهش یافت. کاربرد روش PRD در مقایسه با اعمال کم‌آبیاری به روش تنظیم شده روند اثرات منفی خشکی را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: شاخص سطح برگ، شاخص کلروفیل، محتوای آب نسبی، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

میانگین بارندگی سالانه ۲۴۰ میلی‌متر، ایران را در زمره کشورهای خشک جهان قرار داده است. آب از مهم ترین عوامل محدود کننده رشد و تولید گیاهان زراعی به‌خصوص در مناطق خشک است. بهبود عملکرد در شرایط خشکی یکی از مهم‌ترین اهداف اصلاح گیاهان است (۱۵). در سال‌های اخیر روش‌های صرفه‌جویی در مصرف آب برای بهبود بهره‌وری آب، مورد توجه قرار گرفته است. در کنار کم‌آبیاری تنظیم شده، آبیاری ناقص منطقه ریشه[6] یک روش کم‌آبیاری است که برای صرفه‌جویی در مصرف آب به‌کار می‌رود (۱). آبیاری ناقص منطقه ریشه، یک روش اصلاح شده از کم‌آبیاری تنظیم شده است. در این روش فقط یک قسمت از ناحیه ریشه در هر بار آبیاری خیس و قسمت دیگر ریشه خشک گذاشته می‌شود زمانی‌که مقدار آب موجود در خاک به حد ظرفیت زراعی رسید آبیاری به قسمت خشک ریشه انتقال پیدا می‌کند. روش آبیاری خشکی موضعی ریشه، کارآئی مصرف آب را بدون کاهش مشخصی در عملکرد گیاه، بهبود می‌بخشد (۲۹). گیاه ذرت در تغذیه دام و انسان جایگاه مهمی دارد و به تنش‌های خشکی و گرما بسیار حساس است تا جایی که ۱۵ تا ۲۰ درصد تولید سالانه ذرت در اثر خسارت تنش از بین می‌رود (۷). تنش خشکی با ایجاد تغییرات آناتومیک، مورفولوژیک، فیزیولوژیک و

۱، ۲، ۳ و ۴– به ترتیب دانشجوی دکتری، استادیار، استاد و دانشیار گروه مهندسی آبیاری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*– نویسنده مسئول: Email: Naderi7367@yahoo.com)
۵– استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

6- Partial root-zone drying

بیوشیمیایی بر جنبه‌های مختلف رشد ذرت تاثیر می گذارد (۱۲ و ۴). بیشتر مطالعات نشان می‌دهد که در شرایط خشکی، اختلال در واکنش‌های بیوشیمیایی سبب کاهش میزان فتوسنتز می‌شود (۱۴ و ۱۶). جیکاس و همکاران (۱۱)، از عدد قرائت شده توسط کلروفیل-سنج[1]، به عنوان شاخصی برای انتخاب ارقام ذرت متحمل به خشکی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که ارقامی که در شرایط خشکی محتوای کلروفیل بالاتری داشتند، تحمل بیشتری به خشکی داشتند و عملکرد آن‌ها کمتر کاهش یافت. کلروفیل انرژی نورانی را دریافت و آن را به دستگاه فتوسنتزی منتقل می‌کند. بنابراین محتوای کلروفیل مستقیماً تعیین کننده پتانسیل فتوسنتز و تولید اولیه گیاه است (۳).

افزایش مقاومت مزوفیلی و روزنه‌ای در شرایط تنش آبی باعث کاهش ورود دی‌اکسیدکربن به‌درون گیاه گردیده و تحت تأثیر این-حالت، فتوسنتز ظاهری گیاه کاهش می‌یابد (۲۰). جلیلیان و همکاران (۱۸) واکنش برخی از ویژگی‌های دستگاه فتوسنتزی و محتوای آب نسبی برگ ذرت دانه‌ای را در پاسخ به رژیم‌های آبی مختلف و مصرف مقادیر مختلف کود نیتروژن مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تنش خشکی بسته به شدت آن شاخص مقدار کلروفیل و محتوای آب نسبی برگ را کاهش داد. از این‌رو این صفت به‌عنوان شاخص مناسب جهت ارزیابی واکنش ذرت به شرایط محیطی معرفی گردید.

قاضیان تفریشی و همکاران (۱۳)، در آزمایشی اثرات تنش خشکی و روش کاشت بر عملکرد و سایر صفات موثر در تحمل به تنش خشکی در ذرت شیرین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایش نشان داد که کم‌آبیاری سبب کاهش وزن زیست توده گیاه گردید. همچنین محتوای آب نسبی برگ ذرت در مواجهه با خشکی کاهش یافت. همبستگی مثبت و معنی دار بین وزن بلال و محتوای آب نسبی مشاهده گردید (r^2= 0.59, p<0.01) به‌طوری‌که کاهش محتوای آب نسبی سبب کاهش عملکرد بلال تازه گردید. علیپور و همکاران (۲)، در آزمایشی عملکرد و اجزای عملکرد ۶۰ هیبرید ذرت دانه‌ای را در دو سطح آبیاری بدون تنش (آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی) و در شرایط تنش (آبیاری پس از ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی) مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آزمایش نشان داد که در هر دو تیمار بدون تنش و با تنش خشکی، اختلاف بین هیبریدها در تمامی صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. تنش خشکی سبب کاهش سطح برگ و عملکرد ذرت گردید.

در آزمایشی اثر روش‌های آبیاری کامل، کم‌آبیاری تنظیم شده و آبیاری ناقص ریشه بر گیاه ذرت بررسی گردید. نتایج نشان داد که در آبیاری ناقص ریشه، گیاهان بیشترین حجم ریشه را داشتند و بالاترین بهره‌وری مصرف آب در تیمار آبیاری ناقص ریشه حاصل شد (۳۲). در تحقیق دیگری تأثیر آبیاری ناقص منطقه ریشه (PRD) وکم‌آبیاری معمولی بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب ذرت در روش آبیاری قطره‌ای بررسی شد. نتایج نشان داد که بالاترین میزان بهره‌وری مصرف آب به مقدار ۱/۷۷ کیلوگرم بر متر مکعب از تیمار PRD و تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کمترین آن از تیمار آبیاری کامل به‌مقدار ۱/۵۴ کیلوگرم بر متر مکعب بدست آمد (۳۲). هدف از اجرای این آزمایش بررسی تفاوت‌های احتمالی بین اثرات کم‌آبیاری تنظیم شده و آبیاری ناقص ریشه (در حالت متغیر و ثابت) بر عملکرد، شاخص سطح برگ، شاخص کلروفیل، محتوای آب نسبی و هدایت روزنه‌ای گیاه ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ بوده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۳، در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در ۴ تکرار اجرا گردید. تیمارهای مورد بررسی عبارت بودند از تیمار آبیاری کامل و کم‌آبیاری تنظیم شده با تأمین ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی، آبیاری ناقص ریشه به‌طور ثابت (FPRD) و تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی و آبیاری ناقص ریشه به‌طور متغیر (PRD) و تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی.

پیش از اجرای عملیات آماده‌سازی زمین، خصوصیات خاک تا عمق ۸۰ سانتی متر تعیین گردید (جدول ۱). آماده‌سازی زمین به روش معمول منطقه اجرا گردید. کودهای مصرفی بر اساس آزمون خاک شامل ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و۴۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره بود که تمامی کودهای فسفات و پتاسه به همراه یک چهارم کود ازته در زمان کاشت و مابقی کود ازته بصورت سرک در مراحل ۸-۷ برگی و ۱۲-۱۰ برگی با استفاده از تانک کود به مزرعه داده شد. سپس بذر ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ به فاصله ۲۰ سانتی متر از یکدیگر کاشته شد. فاصله خطوط کشت ۵۰ سانتی‌متر و طول خط کشت در هر تیمار به‌طور ثابت ۱۰ متر و تراکم نهایی مزرعه ۱۰ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد.

آبیاری به روش قطره‌ای نواری اجرا گردید. نوارهای آبیاری قطره‌ای در بین ردیف‌های کشت قرار داده شدند. فواصل روزنه‌های خروج آب از یکدیگر ۲۰ سانتی‌متر و آبدهی نوارها ۴ لیتر در ثانیه در هر متر طول بود. در تیمارهای آبیاری کامل و کم‌آبیاری تنظیم شده، گیاهان همیشه از دو طرف آبیاری شدند. در تیمار آبیاری ناقص ریشه به‌طور 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 گیاهان همیشه از یک سمت آبیاری گردیدند.

1- SPAD

جدول ۱- خصوصیات خاک محل آزمایش
Table 1- The properties of farm soil

عمق Soil Depth (cm)	بافت Soil Texture	ظرفیت زراعی Field Capacity (٪)	پژمردگی دائم PWP (٪)	چگالی ظاهری Bulk Density (g/cm^3)
0-20	سیلتی لومSL	27.90	12.20	1.41
20-40	سیلتی لومSL	29.60	12.70	1.51
40-60	سیلتی لومSL	26.60	13.30	1.45
60-80	سیلتی لومSL	26.50	12.80	1.42

آبیاری برای همه تیمارها با دور ثابت سه روز انجام شد. برای محاسبه نیاز آبی گیاه از تغییرات رطوبت در منطقه توسعه ریشه استفاده شد. میزان رطوبت موجود در خاک روزانه توسط رطوبت‌سنج الکترومغناطیس (TDR) اندازه‌گیری شد. نیاز آبیاری خالص در تیمار آبیاری کامل از رابطه زیر تعیین گردید:

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

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. پس از استقرار گیاهان، تیمارها ۴۵ روز پس از کاشت تا زمان برداشت محصول اعمال شدند. دو هفته بعد از اعمال اولین تنش، نمونه‌بردای جهت تعیین شاخص سطح برگ و صفات فیزیولوژیک انجام شد. سپس هر دو هفته یک بار نمونه‌برداری تکرار گردید. مجموعاً برای هر یک از صفات مذکور در طول فصل رشد چهار بار نمونه‌برداری انجام شد. شاخص سطح برگ در هر مرحله، طبق رابطه زیر تعیین گردید (۲۷):

$$LAI = LA/A \quad (۲)$$

در این رابطه LA: مجموع مساحت برگ‌های هر گیاه (سانتی متر مربع) و A: زمین اختصاص یافته به هر گیاه (سانتی متر مربع) می‌باشد. مجموع مساحت برگ های گیاه با استفاده از دستگاه نوری سنجش سطح برگ در آزمایشگاه انجام شد.

شاخص مقدار کلروفیل برگ به کمک دستگاه اسپد تعیین شد. به این منظور، سه برگ روی بوته‌های مختلف انتخاب و میزان کلروفیل سه نقطه از هر برگ با استفاده از دستگاه فوق تعیین شد و میانگین این اعداد به‌عنوان غلظت کلروفیل مربوط به آن کرت ثبت گردید (۲۴). برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ نمونه‌برداری قبل از انجام آبیاری و از برگ پرچم صورت گرفت. با استفاده از فرمول زیر میزان آب نسبی برگ محاسبه شد (۲۸):

$$RWC = FW-DW/TW-DW \times 100 \quad (۳)$$

در این رابطه: FW= وزن تر برگ، DW= وزن خشک برگ، TW= وزن تر اشباع برگ می‌باشد.

بهره‌وری آب آبیاری[1] (کیلوگرم بر متر مکعب) از رابطه زیر به‌دست آمد:

$$IWP = \frac{Y}{I} \quad (۴)$$

به طوری‌که Y: مقدار عملکرد علوفه خشک (kg/ha) و I: حجم آب کاربردی (m^3) است.

در هنگام برداشت، به‌منظور اندازه‌گیری وزن زیست‌توده نهایی در انتهای فصل از دو ردیف وسط هر کرت ۱۰ بوته کف بر گردید. ابتدا وزن اندام هوایی با استفاده از ترازو اندازه‌گیری گردید، سپس نمونه‌های گیاهی به‌مدت ۷۲ ساعت در آون (۸۰ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفت و وزن خشک کل اندام هوایی بدست آمد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد علوفه

عملکرد علوفه تر، تحت تاثیر روش آبیاری و سطح کم آبیاری قرار گرفت ($p<0.01$). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین روش کم‌آبیاری تنظیم شده و آبیاری PRD از نظر عملکرد علوفه تر نبود. اما تیمار FPRD سبب کاهش عملکرد علوفه شد (جدول ۳). عملکرد علوفه تر از ۷۲۰۹۹ کیلوگرم در هکتار در تیمار تامین ۱۰۰٪ نیاز آبی، به ۵۱۳۵۶ کیلوگرم در هکتار در تیمار تامین ۶۰٪ نیاز آبی کاهش یافت. عملکرد علوفه تر با اعمال روش کم‌آبیاری FPRD بیش از ۱۶ درصد نسبت به روش کم آبیاری تنظیم شده کاهش یافت (جدول ۳).

عملکرد علوفه خشک تحت تاثیر روش‌های مختلف آبیاری، سطوح مختلف تامین آب و اثرات متقابل تیمارها قرار گرفت ($p<0.01$). میانگین نشان داد که بیشترین عملکرد علوفه خشک

1- Irrigation Water Productivity

(۱۷۵۹۰ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار آبیاری کامل بود.

تفاوت معنی‌داری بین میزان عملکرد علوفه خشک در تیمارهای تامین ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی و اعمال PRD با تیمار آبیاری کامل مشاهده نشد (جدول ۳). در روش آبیاری PRD متغیر بطور معنی‌داری شاخص کلروفیل و در نتیجه فتوسنتز گیاه نسبت به روش آبیاری ناقص ریشه در حالت ثابت بیشتر است که عامل اصلی افزایش عملکرد در روش متغیر می‌باشد. در تحقیقات دیگری که صورت گرفته نیز نتایج مشابهی بدست آمده است (۲۳ و ۳۲).

کمترین میزان عملکرد علوفه خشک با میانگین ۱۰۲۲۹ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار تامین ۶۰ درصد نیاز آبی در روش FPRD بود (جدول ۳). در یک مطالعه مروری، اثرات مثبت اعمال کم‌آبیاری ناقص ریشه توسط سپاسخواه و احمدی (۲۹) گزارش شده است.

جدول ۲- عمق آب مصرفی در تیمارهای مختلف و درصد آب صرفه‌جویی شده

Table 2- The depth of irrigation water in treatments and percent of water saving

تیمار Treatment		آب مصرفی در کل فصل رشد Seasonal Water Consumption (mm)	میزان کاهش مصرف آب در مقایسه با آبیاری کامل Water Consumption reduction Compared with FI (%)	آب مصرفی در دوره اعمال تیمار Water Consumption in period of conducting treatment (mm)	میزان کاهش مصرف آب در مقایسه با آبیاری کامل Water Consumption reduction Compared with FI (%)
روش آبیاری Irrigation Method	سطح آبیاری Irrigation Level				
FI	100	832.0	----	590.7	----
DI	80	713.9	14.2	472.6	20.0
	60	595.7	28.4	354.4	40.0
PRD	100	832.0	----	590.7	----
	80	713.9	14.2	472.6	20.0
	60	595.7	28.4	354.4	40.0
FPRD	100	832.0	----	590.7	----
	80	713.9	14.2	472.6	20.0
	60	595.7	28.4	354.4	40.0

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات سطح آبیاری و روش اعمال کم آبیاری بر عملکرد ذرت علوفه ای

Table 3-The results of mean comparison of the effect of irrigation level and deficit irrigation method on yield

تیمار Treatment			عملکرد علوفه تر Fresh forage yield (kg/h)		عملکرد عاوفه خشک Dry forage yield (kg/h)		بهره‌وری آب آبیاری Irrigation Water Productivity (kg/m^3)	
سطح آبیاری Irrigation Level	100%		72099	a	16813	a	2.02	b
	80%		64120	b	15306	b	2.14	a
	60%		51356	c	11846	c	1.99	b
روش آبیاری Irrigation Method	DI		66792	a	15581	a	2.12	a
	PRD		65009	a	15125	a	2.19	a
	FPRD		55775	b	13260	b	1.85	b
اثرات متقابل Interaction Effects	DI	100%	76480	a	17590	a	2.11	bc
		80%	64845	b	15374	b	2.15	b
		60%	53703	c	12409	d	2.08	bc
	PRD	100%	74200	a	17066	a	2.05	c
		80%	70723	ab	16847	a	2.36	a
		60%	55453	c	12829	d	2.15	b
	FPRD	100%	65618	b	15782	b	1.90	d
		80%	56793	c	13698	c	1.92	d
		60%	44914	d	10299	e	1.73	e

حروف یکسان در هر ستون نشان‌دهنده‌ی عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین اعداد با احتمال $p<0.05$ است

Same letters at each column are indicating not significant difference between numbers at probability $p<0.05$

کاهش سطح برگ در شرایط تنش خشکی سبب کاهش میزان فتوسنتز جاری گیاه و در نتیجه کاهش عملکرد زیست توده آن می گردد (۶). همچنین تنش خشکی از طریق بسته شدن روزنه‌ها و نرسیدن دی‌اکسیدکربن به کلروپلاست بر میزان فتوسنتز گیاه اثر می-گذارد و سبب کاهش تولید وزن خشک می شود (۱۷). بیشترین بهره-وری مصرف آب با میانگین ۲/۳۶ کیلوگرم ماده خشک بازای مصرف هر واحد آب، مربوط به تیمار PRD و تامین ۸۰ درصد نیاز آبی بود (جدول ۴).

در روش آبیاری ناقص ریشه، درک کم آبی توسط سمت خشک ریشه سبب تولید اسید آبسزیک در گیاه و بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تنفس گیاه می‌گردد، از سوی دیگر جذب آب توسط سمت مرطوب ریشه سبب حفظ آب گیاه در سطح مطلوب و ادامه رشد آن می‌گردد که این امر سبب بهبود بهره‌وری مصرف آب در گیاه می شود (۱).

شاخص سطح برگ

نتایج نشان داد که شاخص سطح برگ در اولین مرحله اندازه-گیری تحت تاثیر هیچ یک از تیمارها قرار نگرفت (جدول ۴). در ادامه فصل رشد، کاهش میزان آب مصرفی در همه روش‌های اعمال کم آبی، سبب کاهش سطح برگ شد. بیشترین کاهش سطح برگ در اثر کم آبی در انتهای فصل رشد مشاهده گردید. تفاوت معنی‌داری بین شاخص سطح برگ در تیمارهای تامین ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی و اعمال آبیاری ناقص ریشه به‌صورت متغیر با تیمار آبیاری کامل وجود نداشت. در آخرین نمونه برداری، کمترین شاخص سطح برگ با میانگین ۱/۵ متر مربع در متر مربع مربوط به تیمار FPRD و تامین ۶۰ درصد نیاز آبی بود (جدول ۴). لوله‌ای شدن و کاهش سطح برگ ذرت در مواجهه با کم آبی توسط سایر محققین گزارش شده است (۳۱ و ۱۸). اولین واکنش گیاه نسبت به تنش آبی کاهش رشد برگ‌ها می‌باشد. تنش آبی در طول دوره رشد رویشی باعث کم شدن سطح

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات سطح آبیاری و روش اعمال کم آبیاری بر شاخص سطح برگ ذرت علوفه ای

Table 4- The results of mean comparison of the effect of irrigation level and deficit irrigation method on leaf area index

تیمار Treatment			مرحله اول First Stage		مرحله دوم Second Stage		مرحله سوم Third Stage		مرحله چهارم Fourth Stage	
سطح آبیاری Irrigation Level	100%		3.77	a	6.15	a	4.84	a	3.20	a
	80%		3.62	a	5.12	b	4.00	b	3.38	b
	60%		3.42	a	3.44	c	2.54	c	2.60	c
روش آبیاری Irrigation Method	DI		3.63	a	5.06	a	3.95	a	4.03	a
	PRD		3.66	a	5.28	a	4.13	a	3.32	a
	FPRD		3.53	a	4.37	b	3.30	b	1.83	b
اثرات متقابل Interaction Effects	DI	100%	3.85	a	6.46	a	5.10	a	4.25	a
		80%	3.63	a	5.25	b	4.10	b	3.40	b
		60%	3.39	a	3.45	c	2.63	cd	1.93	de
	PRD	100%	3.80	a	6.24	a	4.92	a	4.10	a
		80%	3.66	a	6.08	a	4.79	a	3.98	a
		60%	3.51	a	3.53	c	2.69	cd	2.06	d
	FPRD	100%	3.65	a	5.73	ab	4.50	ab	3.74	ab
		80%	3.57	a	4.04	c	3.11	c	2.56	c
		60%	3.37	a	3.35	c	2.29	d	1.50	e

حروف یکسان در هر ستون نشان‌دهنده‌ی عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین اعداد با احتمال $p<0.05$ است

Same letters at each column are indicating not significant difference between numbers at probability $p<0.05$

جدول ٥- نتایج تجزیه همبستگی پیرسون بین صفات عملکرد و صفات فیزیولوژیک ذرت علوفه ای

Table 5- The results of Pearson correlation test between yield and physiological traits

	Fresh yield (kg/ha)	Dry yield (kg/ha)	Stomatal C (mmol/m^2.s)	SPAD	LAI
Dry yield(kg/ha)	0.942**				
Stomatal C(mmol/ m^2.s)	0.805**	0.880**			
SPAD	0.784**	0.795**	0.642**		
LAI	0.971**	0.953**	0.820**	0.788**	
RWC (%)	0.997**	0.944**	0.809**	0.782**	0.976**

** ضرایب بزرگ تر از ۰/۰۰۶ نشان دهنده معنی داری همبستگی در سطح یک درصد هستند

برگ‌ها و ریزش آنها شده و شاخص سطح برگ را کاهش می‌دهد (۲۶). در روش PRD گیاه از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای، میزان فتوسنتز و شاخص کلروفیل (اسپد) را در سطح بالاتری حفظ کرده و به این ترتیب از کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ و عملکرد جلوگیری می‌کند (۵). همبستگی مثبت و معنی داری بین شاخص سطح برگ و عملکرد علوفه مشاهده شد (جدول ۵).

محتوای آب نسبی

در اولین مرحله نمونه‌برداری، اثرات میزان آب آبیاری و نحوه اعمال کم آبی بر محتوای آب نسبی معنی‌دار نبود. محتوای آب نسبی از دومین مرحله نمونه‌برداری، تحت اثر تیمارها قرار گرفت. حداکثر محتوای آب نسبی مربوط به برگ پرچم گیاهان تیمار آبیاری کامل بود. تفاوت معنی‌داری بین محتوای آب نسبی تیمار PRD در سطح تامین ۱۰۰ و ۸۰ درصد آب با تیمار آبیاری کامل وجود نداشت. در انتهای فصل رشد، کاهش میزان آب مصرفی سبب کاهش محتوای آب نسبی شد به طوری که محتواiآب نسبی در تیمار ۶۰٪ تامین نیاز آبی نسبت به تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی، ۳۱ درصد کاهش یافت (جدول ۶). تفاوت معنی‌داری بین محتوای آب نسبی در روش کم‌آبیاری تنظیم شده و آبیاری ناقص ریشه به‌طور متغیر مشاهده نشد اما اعمال آبیاری ناقص ریشه به‌صورت ثابت سبب کاهش محتوای آب نسبی شد (جدول ۶).

تجزیه همبستگی نشان دهنده رابطه مثبت و معنی‌دار بین محتوای آب نسبی برگ پرچم و عملکرد علوفه بود (جدول ۵). کاهش پتانسیل آب خاک در شرایط خشکی، سبب کاهش جذب آب و در نتیجه کاهش محتوای آب نسبی برگ‌ها می گردد. کاهش محتوای آب نسبی خود سبب کاهش هدایت روزنه‌ای و نهایتاً کاهش فتوسنتز گیاه می‌گردد (۲۱). کاهش محتوای آب نسبی در مواجهه با تنش خشکی و همبستگی مثبت آن با عملکرد ذرت توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (۸ و ۱۳). همچنین گزارش شده که کم‌آبیاری ناقص ریشه، به دلیل بسته شدن روزنه ها سبب حفظ پتانسیل آب درون بافت‌های گیاه می‌گردد که با نتایج آزمایش فوق در یک راستاست.

شاخص کلروفیل (اسپد)

در اولین مرحله نمونه‌برداری تفاوت معنی‌داری بین شاخص کلروفیل برگ تیمارهای مختلف مشاهده نشد. در نمونه‌برداری دوم شاخص کلروفیل در همه تیمارها افزایش یافت. در انتهای فصل رشد، شاخص کلروفیل در همه تیمارها کاهش یافت که به علت پیر شدن برگ‌ها بود. بیشترین کاهش مربوط به تیمارهای تامین ۶۰ درصد نیاز آبی در روش‌های کم‌آبیاری تنظیم شده و FPRD بود. به بیان دیگر کم آبی روند پیر شدن برگ‌ها را تسریع کرد اما اعمال روش PRD روند پیری را کند کرد (جدول ۷).

جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات سطح آبیاری و روش اعمال کم‌آبیاری بر محتوای آب نسبی ذرت علوفه‌ای

Table 6- The results of mean comparison of the effect of irrigation level and deficit irrigation method on leaf relative water content

تیمار Treatment			مرحله اول First Stage		مرحله دوم Second Stage		مرحله سوم Third Stage		مرحله چهارم Fourth Stage	
سطح آبیاری Irrigation Level	100%		75.91	a	85.76	A	75.51	a	72.78	a
	80%		74.32	a	77.90	B	67.15	b	64.39	b
	60%		71.50	a	71.82	C	52.74	c	50.16	c
روش آبیاری Irrigation Method	DI		74.15	a	78.92	Ab	67.04	a	63.27	ab
	PRD		74.36	a	81.57	A	69.95	a	67.76	a
	FPRD		73.21	a	75.00	B	58.41	b	56.30	b
اثرات متقابل Interaction Effects	DI	100%	76.60	a	89.40	A	80.10	a	77.20	a
		80%	74.52	a	75.40	D	67.91	b	64.45	bc
		60%	71.34	a	71.95	De	53.10	cd	48.15	d
	PRD	100%	76.36	a	86.88	Ab	77.71	a	74.90	a
		80%	74.89	a	84.99	Bc	74.07	ab	71.39	ab
		60%	71.83	a	72.82	De	58.08	c	56.98	c
	FPRD	100%	74.76	a	81.01	C	68.72	b	66.24	b
		80%	73.54	a	73.30	De	59.48	c	57.33	c
		60%	71.34	a	70.69	E	47.04	d	45.34	d

حروف یکسان در هر ستون نشان‌دهنده‌ی عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین اعداد با احتمال $p<0.05$ است

Same letters at each column are indicating not significant difference between numbers at probability $p<0.05$

در طول فصل رشد، کاهش میزان آب مصرفی سبب کاهش غلظت کلروفیل برگ پرچم گردید به‌طوری‌که غلظت کلروفیل در تیمار تامین ۶۰٪ نیاز آبی نسبت به تیمار آبیاری کامل ۱۹ درصد کاهش یافت. بین روش‌های مختلف کم‌آبیاری، بیشترین شاخص کلروفیل به میزان ۵۰/۷۲ درصد و مربوط به کم‌آبیاری ناقص ریشه به‌طور متغیر بود (جدول ۷). همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری بین شاخص کلروفیل و شاخص سطح برگ و محتوای آب نسبی مشاهده شد (جدول ۵). تنش خشکی تاثیر مستقیم بر کاهش شاخص کلروفیل برگ و در نتیجه عملکرد گیاه دارد. گزارش‌های دیگری نیز مبنی بر کاهش غلظت کلروفیل برگ ذرت در شرایط کم آبی وجود دارد (۸ و ۱۱). اعمال روش کم‌آبیاری ناقص سبب ایجاد تعادل بین سیگنال‌های شیمیایی خشکی (اسید آبسزیک) و سیگنال‌های مربوط به محتوای آب در گیاه می شود و اثرات منفی خشکی را کاهش می دهد (۲۹).

هدایت روزنه‌ای

هدایت روزنه‌ای در اولین نمونه‌برداری تحت تاثیر هیچ‌یک از تیمارها قرار نگرفت. در ادامه فصل رشد، کاهش میزان آب مصرفی سبب کاهش هدایت روزنه‌ای گردید (جدول ۸). به‌طوری که در نمونه‌برداری‌های بعد، هدایت روزنه‌ای در تیمار تامین ۶۰٪ نیاز آبی نسبت به تیمار FI حدود ۳۷٪ کاهش یافت. تفاوت معنی‌داری بین میزان هدایت روزنه‌ای برگ در تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم شده و آبیاری ناقص ریشه به‌صورت متغیر مشاهده شد. کمترین میزان هدایت روزنه‌ای مربوط به تیمار کم‌آبیاری ناقص ریشه به‌طور ثابت بود (جدول ۸). همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان هدایت روزنه‌ای و محتوی آب نسبی برگ مشاهده شد. بسته شدن روزنه‌ها اولین عکس‌العمل به تنش خشکی بوده و عامل اصلی محدود کننده فتوسنتز در تنش خشکی است (۱۰). بسته شدن روزنه ها سبب کاهش هدایت روزنه‌ای در این شرایط می‌شود (۲۲). کاهش هدایت روزنه‌ای در برگ‌های ذرت در مواجهه با خشکی توسط شهریاری و همکاران (۳۰) گزارش شده است. کم‌آبیاری ناقص به علت افزایش میزان آبسزیک اسید، سبب بسته شدن روزنه‌ها می شود و از این طریق سبب کاهش نسبی هدایت روزنه‌ای و افزایش بهره‌وری مصرف آب می شود (۲۹).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که در شرایط آب و هوایی مشهد، کاهش میزان آب مصرفی به‌صورت کم‌آبیاری تنظیم شده، سبب کاهش معنی‌دار عملکرد علوفه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ گردید. با توجه به نتایج حاصل از بررسی صفات فیزیولوژیک، به‌نظر می‌رسد که اثرات منفی کم‌آبی بر صفات فیزیولوژیک در ابتدای فصل رشد قابل توجه نیست و با افزایش سن گیاه اثرات منفی کم آبی بیشتر بروز می‌کند. کم آبی از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای سبب کاهش جذب دی اکسید کربن و نهایتاً کاهش فتوسنتز شد.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات سطح آبیاری و روش اعمال کم آبیاری بر شاخص کلروفیل (اسپد) ذرت علوفه ای

Table 7- The results of mean comparison of the effect of irrigation level and deficit irrigation method on leaf chlorophyll content

تیمار Treatment			مرحله اول First Stage		مرحله دوم Second Stage		مرحله سوم Third Stage		مرحله چهارم Fourth Stage	
Irrigation Level	100%		58.35	a	65.24	a	56.93	a	51.66	a
	80%		57.55	a	61.93	b	53.82	b	48.64	b
	60%		56.40	a	57.05	c	50.44	c	42.00	c
روش آبیاری Irrigation Method	DI		57.55	a	60.36	ab	53.35	a	47.54	a
	PRD		57.77	a	63.87	a	56.02	a	50.72	a
	FPRD		56.98	a	59.00	b	51.83	b	44.03	b
اثرات متقابل Interaction Effects	DI	100%	58.90	a	65.14	a	56.86	a	51.55	ab
		80%	57.28	a	58.89	b	52.36	bc	48.09	bc
		60%	56.46	a	57.04	b	50.83	bc	42.99	d
	PRD	100%	58.17	a	68.02	a	59.22	a	54.44	a
		80%	58.20	a	66.38	a	57.87	a	53.29	a
		60%	56.93	a	57.21	b	50.98	bc	44.42	cd
	FPRD	100%	57.97	a	62.55	ab	54.73	ab	48.98	b
		80%	57.16	a	57.53	b	51.23	bc	44.54	cd
		60%	55.81	a	56.91	b	49.52	c	38.57	e

حروف یکسان در هر ستون نشان‌دهنده‌ی عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین اعداد با احتمال $p<0.05$ است

Same letters at each column are indicating not significant difference between numbers at probability $p<0.05$

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات سطح آبیاری و روش اعمال کم آبیاری بر هدایت روزنه ای ذرت علوفه‌ای

Table 8- The results of mean comparison of the effect of irrigation level and deficit irrigation method on stomatal conductivity

تیمار Treatment			مرحله اول First Stage		مرحله دوم Second Stage		مرحله سوم Third Stage		مرحله چهارم Fourth Stage	
سطح آبیاری Irrigation Level	100%		31.50	a	38.60	a	32.20	a	27.00	A
	80%		30.60	a	34.10	b	26.80	b	21.50	b
	60%		29.90	a	30.50	c	21.10	c	16.80	c
روش آبیاری Irrigation Method	DI		31.10	a	37.40	a	31.20	a	26.00	a
	PRD		30.70	a	33.90	b	26.60	b	21.30	b
	FPRD		30.20	a	31.90	c	22.40	c	18.00	c
اثرات متقابل Interaction Effects	DI	100%	31.70	a	42.00	a	36.90	a	31.30	a
		80%	31.00	a	37.80	b	30.80	b	25.80	b
		60%	30.50	a	32.20	cde	25.90	cd	20.80	c
	PRD	100%	31.60	a	38.00	b	31.60	b	26.30	b
		80%	30.90	a	33.60	cd	26.30	cd	21.10	c
		60%	29.60	a	30.20	de	21.80	e	16.50	de
	FPRD	100%	31.00	a	35.90	bc	28.20	bc	23.40	bc
		80%	29.80	a	31.00	de	23.40	de	17.60	d
		60%	29.60	a	28.90	e	15.70	f	13.10	e

حروف یکسان در هر ستون نشان‌دهنده‌ی عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین اعداد با احتمال $p<0.05$ است

Same letters at each column are indicating not significant difference between numbers at probability $p<0.05$

همچنین کاهش سطح برگ گیاه سبب کاهش سطح فتوسنتز کننده و نهایتاً کاهش تولید اسیمیلات‌ها در شرایط کم آبی شده عملکرد علوفه را به میزان قابل توجهی کاهش داد. اعمال روش کم-آبیاری ناقص ریشه به‌طور متغیر سبب افزایش بهره وری مصرف آب شد. با توجه به این که در تیمار کم‌آبیاری ناقص ریشه به‌صورت متغیر، تفاوت معنی‌داری بین میزان عملکرد علوفه خشک، شاخص سطح برگ، مقدار کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ در سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۸۰ درصد مشاهده نشد، به‌نظر می‌رسد این روش با صرفه‌جویی در مصرف آب همزمان با حفظ عملکرد و صفات مهم فیزیولوژیک گیاه، برای تولید علوفه در منطقه قابل توصیه باشد.

منابع

1- Ahmadi S.H., Andersen M.N., Plauborg F., Poulsen R.T., Jensen C.R., Sepaskhah A.R., and Hansen S. 2010. Effects of irrigation strategies and soils on field grown potatoes: Gas exchange and xylem [ABA]. Agriculture Water Management, 97: 1486-1494.

2- Alipour M., Ranjbar G.h., KhavariKhorasani S., and Babaeian Jelodar N. 2014. Evaluation of drought tolerance in maize (*Zea mays L.*). Journal of Crop Breeding, 6 (14): 41-53. (in Persian with English abstract)

3- Curran P.J., Dungan J.L., and Gholz H.L. 1990. Exploring the relationship between reflectance red edge and chlorophyll content in slash pine. Tree Physiology, l7:33-48.

4- Dastbandan-Nejad S., Saki T., and Lack S. 2010. Study effect drought stress and different levels potassium fertilizer on K+ accumulation in corn. Nature and Science, 8 (5): 23-27.

5- Davies W.J., and Hartung W. 2004. Has extrapolation from biochemistry to crop functioning worked to sustain plant production under water scarcity? Proceeding of the 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia, Available at http://www.cropscience.org.au/icsc2004.

6- Efeoğlu B., Ekmekçi Y., and Ciçek N. 2009. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. Agronomy Journal, 75: 34-42.

7- FAOSTAT. 2010. Statistical database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO, Rome, Italy, Available at http:// faostat.fao.org (accessed 14 July 2011).

8- Fazeli Rostampour M., Seghatoleslami M.J., and Moosavi G.R. 2010. Studying the effect of Superabsorbent and drought stress on the relative water content and leaf Chlorophyll index and relationship between them with seed yield in corn (*Zea mays* L.). Journal of Islamic Azad University of Ahvaz, 2(1): 19-31. (in Persian with English abstract)

9- Filella I., Serrano I., Serra J., and Peñuelas J. 1995. Evaluating wheat nitrogen status with canopy reflectance indices and discriminate analysis. Crop Science, 35:1400-1405.

10- Flexas L., and Medrano H. 2002. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plant: Stomatal and non stomatal limitation revisited. Annual Botany, 89(4): 183-189.

11- Gekas F., Pankou C., Mylonas I., Ninou E., Sinapidou E., Lithourgidis A., Papathanasiou F., Petrevska J.K., Papadopoulou F., Zouliamis P., Tsaprounis G., Tokatlidis I., and Dordas C. 2013. The use of chlorophyll meter readings for the selection of maize inbred lines under drought stress. International Journal of Biological, Bimolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering, 7 (8): 472-476.
12- Ghadiri H., and Majidian M. 2003. Effect of nitrogen and irrigation levels in milk and dough stages of yield, yield components and water use efficiency in corn (*Zea mays* L.). Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 3:103-112. (in Persian)
13- GhazianTafrishi Sh., Ayenehband A., Tavakoli H., KhavariKhorasani S., and Joleini M. 2013. Impacts of Drought Stress and Planting Methods on Sweet Corn Yield and Water Use Efficiency. Journal of plant physiology and breeding, 3 (2): 23-31.
14- Graan T., and Boyer J.S. 1990. Very high CO2 partially restores photosynthesis in sunflower at low water potentials. Planta, 181, 378-384.
15- Hajibabaei M., and Azizi F. 2011. Evaluation of drought tolerance indices in some new hybrids of corn. Electronic Journal of Crop Production, Number III: 139-155.
16- Havaux M., Emez M., and Lannoye R. 1998. Selection de varietes de bledur (*Triticum durum* Desf.) et de ble tender (*Triticum aestivum*L.) adapted a la secberesse par I mesure de I extinction de la fluorescence de la chlorophylle in viva. Agronomie, 8(3): 193-199.
17- Hopkins W.G., and Huner N.P. 2004. Introduction to plant physiology. John Wiley& Sons. Inc. New York.
18- Jalilian A., Ghobadi R., and Farnia A. 2011. Response of some photosynthesis system traits and leaf relative water content of corn [SC704] on different amounts of nitrogen fertilizer in different irrigation regimes. National Conference on new ideas in Agriculture, IAU of Khorasgan. Iran. 17-18 Feb. (in Persian with English abstract)
19- Jalilian A., Ghobadi R., Shirkhani A., and Farnia A. 2014. Effects of Nitrogen and Drought Stress on Yield Components, Yield and Seed Quality of Corn (S.C. 704). Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi). 102: 151-160. (in Persian with English abstract)
20- Majidian M., Ghalavand A., Karimian N., and Kamgarhaghighi A.A. 2008. Effects of nitrogen different amounts, manure and irrigation water on yield and yield components of corn. Electronic Journal of CropProduction, 1(2): 7-85. (in Persian with English abstract)
21- Martınez J.P., Silva H., Ledent J.F., and Pinto M. 2007. Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgarism* L.). European Journal of Agronomy, 26: 30- 38.
22- Miyashita K., Tanakamaru S., Maitaniand T., and Kimura K. 2005. Recovery responses of photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance in kidney bean following drought stress. Environmental and Experimental Botany, 53(2): 205-214.
23- Naderi N., and Mohammadi A. 2007. The effect of deficit irrigation by alternate furrow irrigation on growth stages of the potato. Journal of Agricultural Engineering Research, 8 (4): 19-31. (in Persian with English abstract)
24- Oniell P.M, Shanahan J.F., and Schepers J.S. 2006. Use of chlorophyll fluorescence assessments to different corn hybrid response to variable water conditions. Crop Science, 46: 541-548.
25- Parry M.A.J., Andraloje P.J., Khan S., Lea P.J., and Keys A.J. 2002. Rubisco activity: Effects of drought stress. Annals of Botany. 89: 833- 839.
26- Pagter M., Bragato C., and Brix H. 2005. Tolerance and physiological responses of (Phragmitesaus tralis) to water deficit. Aquatic Botany Journal, 81(4): 21-28.
27- Rasheed M., Hussain A., and Mahnood T. 2003. Growth analysis of hybrid maize as influenced by planting techniques and nutrient management. Journal of Agriculture Biology, 5(2): 32-41.
28- Schlemmer M.R., Francis D.D., Shanahan J.F., and Schepers J.S. 2005. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. Agronomy Journal, 97:9-17.
29- 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.
30- Shahriari A., Puteh A.B., Abdul Rahim A.B., and Saleh G.B. 2014. Physiological responses of sweet corn under water deficit and nitrogen rates at different growth stages. Crop eco-physiology. 6 (19): 1-17. (in Persian with English summary)
31- Ur-Rahman M.S., and Ahmad I. 2004. Effects of water stress on growth and photosynthetic pigments of corn (*Zea mays* L.) cultivars. International Journal of Agriculture & Biology, 6(4): 652-655.
32- Zhenchang W., Fulai L., Shaozhong K., and Christian R. 2012. Alternate partial root-zone drying irrigation improves nitrogen in maize (*Zea mays* L.) leaves. Environmental and Experimental Botany, 75: 36-40.

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 2, May.-Jun. 2016, p. 432- 442

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۲، خرداد– تیر ۱۳۹۵، ص. ۴۴۲_ ۴۳۲

An Investigation on Physiological and Photosynthetic Parameters of Forage Maize at Regulated Deficit Irrigation and Partial Root Zone Draying Methods

N. Naderi[1*]- R. Fazl Oula[2]- M.Z. Ahmadi[3]- A. Shahnazari[4]- S. Khavari Khorasani[5]

Received: 16-08-2015
Accepted: 13-12-2015

Introduction: Water shortage is the most important factor affecting crop production in the world. The deficit irrigation is a way to reduce water consumption in farming. The Partial Root- zone Drying (PRD) irrigation is a new improvement in deficit irrigation in which the half of the root zone is irrigated alternatively in scheduled irrigation events. In the fixed partial root zone drying (FPRD) the irrigation is fixed to one side of the root zone in the growing season. Maize is a drought sensitive crop. In maize, secondary traits related to drought resistance are considered in producing tolerate cultivars.

Materials and Methods: An experiment was conducted in order to investigate the effects of regulated deficit irrigation, variable partial root zone drying (PRD) and fixed partial root zone drying (FPRD) on the yield, physiological and photosynthetic parameters of forage maize (KSC 704) during the growing seasons of 2014 in Mashhad region. A factorial experiment based on randomized complete block design with four replications was carried out. The treatments included the full irrigation (FI) and the deficit irrigations (regulated deficit irrigation (DI) and the replacements of 80 % (DI80) and 60 % (DI60) of total water requirement, fixed PRD (FPRD) at 100% (FPRD100), 80% (FPRD80) and 60%(FPRD60) of water requirement, and variable PRD at 100% (PRD100), 80% (PRD80) and 60% (PRD60) of water requirement). Drip irrigation tapes were placed between plant rows. In the full irrigation and regulated deficit irrigation treatments, the plants were irrigated from two sides for every irrigation. In the PRD, one of two neighboring tapes was alternatively used for irrigation. In FPRD, a drip tape was used for two plant rows and irrigation was fixed to one side of the root. The irrigation interval was 3 days for all treatments. Dry and fresh forage yield, leaf area index (LAI), stomatal conductance, leaf relative water content (RWC) and chlorophyll content were measured.

Results and Discussions: All the measured traits were affected by the deficit irrigation. The highest fresh forage yield (72099 kg/ha) was produced by the full irrigation treatment. The statistical comparison showed that there was no significant difference between regulated deficit irrigation and PRD method for the fresh forage yield. But the FPRD treatment reduced the fresh forage yield. There was no significant difference between the fresh forage yield of FI and PRD80 treatments. The dry forage yield was affected by the different irrigation methods, irrigation levels and the interaction effects of the treatments ($p<0.01$). The highest dry forage yield (17590 kg/ha) was produced by the full irrigation treatment. There was no significant difference between dry forage yield of FI, PRD100 and PRD80 treatments. The lowest dry forage yield with an average of 10229 kg per hectare belonged to FPRD60 treatment. In a review study the positive effects of PRD have been reported by Sepaskhah and Ahmadi. The highest water use efficiency by an average of 2.36 kilograms of dry matter per one cubic meter of water consumption (kg/m^3) belonged to PRD80 treatment. During growing season, reduction the amount of irrigation water in all the methods of irrigation reduced the leaf area. The greatest reduction in the leaf area due to water stress was observed at the end of the growing season. The LAI was affected by interaction between irrigation level and water deficit method. However, there was no significant difference between FI, PRD100 and PRD80 treatments. The fresh forage yield ($r^2= 0.98$, $p<0.01$) significantly correlated with the LAI. The results showed that the RWC, chlorophyll content and stomatal conductivity were reduced by water deficit. There was no significant difference between the RWC of the FI, PRD100 and PRD80 treatments. Also, no significant difference between the RWC of the DI and PRD methods was observed but the FPRD method decreased the RWC. Correlation analysis showed a significant correlation between the RWC and the fresh forage yield. At the end of the growing season, the chlorophyll content decreased in all the treatments due to the aging of the leaves. The most decrease belonged to the DI60 and FPRD60 treatments. Among the different methods of irrigation, the maximum chlorophyll content by 56% belonged to the PRD method**.** Significant correlation between chlorophyll content, LAI and RWC was observed**.** During the growing season, reduction the amount of irrigation water reduced the stomatal conductance. No significant difference between the stomatal conductance

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

of the DI and PRD methods was observed. The minimum stomatal conductance belonged to the FPRD treatment**.** A significant correlation was observed between the stomatal conductance and RWC**.** The reduction of the leaf area under drought stress reduced the plant photosynthesis and thus reduced the plant biological yield. The drought stress through stomatal closure and the lack of carbon dioxide in the chloroplasts of plant affects plant photosynthesis and reduces dry matter production. In the partial root zone drying irrigation method, water stress in the dry portion of root zone causes the stomatal closure, abscisic acid production and plant respiration reduction. On the other hand, water uptake in the wet portion of root zone causes plant water conservation and plant growth continuation which improves irrigation water productivity.

Conclusion: According to the results, it seems that the negative effects of water stress on physiological and photosynthetic parameters in the early growing season is not significant and increases with the aging of the plants. Water stress decreases the absorption of carbon dioxide and the photosynthesis by reduction in the stomatal conductance. As well as, reducing the leaf area decreased photosynthetic area and the production of asymylats in the water stress conditions and ultimately reduced the forage yield significantly. The PRD method increased irrigation water productivity. With respect to this fact that no difference between the dry matter yield, LAI, chlorophyll content and RWC in the FI, PRD100 and PRD80 treatments was observed, it seems that applying Partial Root- zone Drying (PRD) method will result in lower water consumption during forage maize production at Mashhad environmental conditions.

Keywords: Chlorophyll Content, Leaf Area Index, Relative Water Content, Stomatal Conductivity