نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۷، ص. ۵۱۶-۵۰۱

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 3, Jul.-Agu. 2018, p. 501-516

# بررسی اثر کم‌آبیاری بخشی ریشه در دورهای آبیاری مختلف بر کارایی مصرف آب و پارامترهای رشد گیاه آفتابگردان

مجتبی چراغی زاده[۱]- علی شاهنظری[۲*]- میرخالق ضیاءتباراحمدی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۱۳

## چکیده

مبنای کم‌آبیاری بخشی ریشه، آبیاری متناوب نیمی از ریشه و خشک نگه داشتن نیمه دیگر است. ریشه گیاه در قسمت تر، آب کافی را جذب می کند؛ بخش دیگر از ریشه در خاک خشک، با عکس‌العمل نسبت به خشکی و فرستادن علایمی به روزنه‌ها، با تحت تأثیر قرار دادن مقدار بازشدگی آن‌ها، باعث کاهش تلفات آب می‌شود. این پژوهش روی گیاه آفتابگردان در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ اجرا شد. برای اجرا از آزمایش کرت‌های خرد شده با سه فاکتور اصلی (دور آبیاری) و سه فاکتور فرعی (مقدار آب آبیاری) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار استفاده شد. دورها شامل آبیاری بعد از ۲۰، ۳۵ و ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A بود (به‌ترتیب F-20، F-35 و F-50). مقدار آب آبیاری در ۳ مقدار ۱۰۰٪، ۷۵٪ و ۵۵٪ نیاز آبی بود (به‌ترتیب FI، PRD-75 وPRD-55). اجرای FI به صورت معمولی (دو طرفه) و PRD-75 و PRD-55 به صورت متناوب در طرفین ریشه (آبیاری بخشی) بود. در بررسی عامل دور آبیاری، بر مبنای نتایج ۲ سال انجام آزمایش، بهترین نتایج برای پارامترهای رشد گیاه، در دور آبیاری بعد از ۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A بود. همچنین بهترین نتایج برای پارامترهای رشد گیاه آفتابگردان در آبیاری کامل نتیجه شد. با توجه به وجود اختلاف معنی‌دار در غالب پارامترهای رشد بین آبیاری کامل و کم‌آبیاری بخشی ریشه در سطح ۵۵٪، در صورت اجرای کم‌آبیاری بخشی ریشه، سطح ۷۵٪ برای کم‌آبیاری توصیه می‌شود. در مورد عامل دور آبیاری، برای غالب پارامترهای رشد گیاه بین تیمارهای F-20 و F-50 اختلاف معنی‌دار وجود داشت؛ لذا با در نظر گرفتن این مورد و نیز مسأله افزایش هزینه بهره‌برداری با کاهش دور آبیاری، دور آبیاری F-35 توصیه می‌شود. بررسی مشخصه کارایی مصرف آب آبیاری برای عامل دور آبیاری حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار بین هر سه دور آبیاری بود. بیشترین مقادیر در F-50 و کمترین مقادیر در F-20 حاصل شد. با وجود افزایش در مقدار مشخصه کارایی مصرف آب آبیاری در PRD-75 در مقایسه با سایر تیمارها برای هر دو سال انجام آزمایش، این اختلاف معنی‌دار نبود. با توجه به عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمار دور آبیاری F-35 و F-50 در سال دوم آزمایش و نیز وجود افزایش نسبی در مقدار این مشخصه در PRD-75 در مقایسه با دو تیمار دیگر، به منظور داشتن کارایی مصرف آب بیشتر، انجام کم‌آبیاری بخشی ریشه در سطح ۷۵٪ با دور آبیاری F-35 توصیه می‌شود. با بررسی همزمان مشخصه کارایی مصرف آب آبیاری و نیز پارامترهای رشد گیاه آفتابگردان، این نتیجه حاصل شد که با بهره‌گیری از PRD-75 در دور آبیاری F-35، می‌توان ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری و افزایش در مشخصه کارایی مصرف آب آبیاری، با کمترین کاهش‌ها در مشخصه‌های رشد گیاه آفتابگردان مواجه شد.

**واژه‌های کلیدی:** آفتابگردان، تنش آبی، تولید بهینه، صرفه‌جویی، مازندران

## مقدمه

طبق گزارش مرکز آمار ایران، جمعیت کشور بین سال‌های ۱۳۳۵ تا ۱۳۹۵ از حدود ۱۹ میلیون نفر به حدود ۸۰ میلیون نفر افزایش داشته است؛ با افزایش جمعیت نیاز به استفاده از آب بیشتر شده و منابع آب به طور فزاینده‌ای مورد تهدید قرار می‌گیرد. محدودیت منابع آب در مناطق خشک و نیمه خشک موجب شده که آب به عنوان مهم‌ترین نهاده تولید تلقی شود (۲۹). شرایط خاص اقلیمی ایران که خشکی و پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی واقعیت انکارناپذیر آن است، هرگونه تولید مواد غذایی و کشاورزی پایدار را منوط به استفاده صحیح و منطقی از منابع محدود آب کشور کرده است. بخش کشاورزی با مصرف بیش از ۹۰ درصد از منابع آب، عمده‌ترین مصرف کننده آب به شمار می‌آید؛ لذا هرگونه صرفه‌جویی در این بخش کمک موثری به صرفه‌جویی در منابع آب تلقی می‌شود (۱۱). تولید غذا و استفاده از آب دو فرآیند وابسته به هم هستند. افزایش جهانی تقاضا

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشیار و استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*- نویسنده مسئول: (Email: aliponh@yahoo.com
DOI: 10.22067/jsw.v32i3.70224

برای آب، محدودیت این منبع حیاتی و نیاز به تولید بیشتر برای رفع فقر و گرسنگی، متفکرین را بر آن داشته است تا به فکر تولید بیشتر با آب کمتر باشند (۲۳). در چنین شرایطی ضروری است تا اولویت‌بندی تخصیص منابع آبی بر مبنای حصول به حداکثر کارایی مصرف آب برنامه‌ریزی شود و از رسیدن به حداکثر تولید با مصرف آب کامل مورد نیاز گیاه پرهیز شود (۱۲). واژه کارایی مصرف آب (WUE۱) که رابطه بین رشد گیاه و مقدار آب مصرفی را مشخص می‌کند برای اولین بار توسط ویتز (۳۴) وارد مباحث مرتبط با بخش کشاورزی شده است. از آن به بعد کارایی مصرف آب به عنوان یک شاخص تصمیم گیری در مقیاس مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (۲۰). کارایی مصرف آب یا مقدار ماده خشک تولیدی به ازای واحد آب مصرفی، از مهم‌ترین عوامل مؤثر در برنامه‌ریزی آبیاری می‌باشد. به طور نسبی، در شرایط زراعی، افزایش کمبود آب سبب افزایش راندمان مصرف آب می‌شود. به عبارت دیگر در شرایط نزدیک به تنش کمبود آب، گیاه در مقایسه با شرایط آبی، نسبت به مقدار آب مصرف شده محصول بیشتری تولید می کند (۱۷، ۱۸ و ۳۱). طی دو دهه گذشته روش‌های صرفه‌جویی در آب آبیاری از قبیل کم‌آبیاری و آبیاری بخشی ریشه توسعه پیدا کرده و برای گیاهان و درختان میوه مورد امتحان واقع شده‌اند (۲۱ و ۳۰). هدف اساسی کم‌آبیاری، افزایش راندمان مصرف آب به وسیله افزایش کفایت آبیاری است (۷). کم‌آبیاری یک راهکار بهینه برای به عمل آوردن محصولات تحت شرایط کمبود آب است که معمولاً همراه با کاهش محصول در واحد سطح می‌باشد (۲۹). روش آبیاری بخشی ریشه برای اولین بار در کشور استرالیا مطرح شد و هدف اصلی آن در شروع کار، کنترل رشد اضافی ساقه درخت انگور بوده است (۶). مبنای این روش، آبیاری متناوب نیمی از ریشه و خشک نگه داشتن نیمه دیگر می‌باشد (۳۰). در آبیاری بخشی ریشه، در قسمتی از ریشه که آبیاری به صورت کامل صورت گرفته است، گیاه آب کافی را جذب می‌نماید و به رشد و نمو خود ادامه می‌دهد و تغییری در میزان فتوسنتز رخ نمی‌دهد (۱۴). بخش دیگر از ریشه که در خاک خشک قرار گرفته، با عکس‌العمل نسبت به خشکی و فرستادن علایمی از ریشه به روزنه‌ها، میزان بازشدگی آن‌ها را تحت تاثیر قرار داده و باعث کاهش میزان تلفات آب می‌شود (۴). اثرات مثبت بهره‌گیری از روش‌های کم‌آبیاری، این لازمه را ایجاد می‌کند که این روش‌ها در مورد گروه‌های مختلف گیاهان مورد بررسی واقع شود. با توجه به اهمیت دانه‌های روغنی و واردات بیش از ۹۰ درصدی روغن مورد نیاز کشور، افزایش سطح زیر کشت و عملکرد دانه در واحد سطح این دسته از گیاهان در کشور مهم تلقی می‌شود (۱۱). آفتابگردان یکی از چهار گیاه عمده تولید روغن در جهان است (۵ و ۲۷)؛ به دلیل نیازهای متوسط زراعی و بالا بودن کیفیت روغن، مساحت اراضی تحت پوشش آن، هم در کشورهای توسعه یافته و هم در کشورهای در حال توسعه افزایش داشته است (۳۳). طبق گزارش سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) برای فصل زراعی ۲۰۱۳-۲۰۱۲ آفتابگردان با سهم ۸ درصدی در تولید روغن‌های گیاهی، بعد از سویا، کلزا، پنبه‌دانه و بادام‌زمینی، رتبه پنجم بین گیاهان روغنی را داشته است. طبق گزارش جباری و همکاران، در سال ۱۳۸۶، ۹۰ درصد روغن مورد نیاز کشور از خارج وارد شده است (۱۳). حجم بالای واردات این محصول سبب وابستگی شدید کشور به واردات روغن و خروج ارز از کشور می‌شود. اگرچه کلیه تنش‌های زنده و غیرزنده از عوامل مهم کاهش تولید محسوب می‌شوند، اما تنش کمبود آب از عوامل اصلی محدودکننده تولید آفتابگردان در مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می‌آید (۲). در مطالعه اثر تنش آبی بر گیاه آفتابگردان مطالعات مختلفی انجام شده است. طی این پژوهش‌ها اعمال کم‌آبیاری در مراحل مختلف رویش گیاه، اعمال کم آبیاری بر مبنای برآورده کردن بخشی از نیاز آبی گیاه، اعمال کم آبیاری بر مبنای تنظیم دور آبیاری بر مبنای تبخیر از تشت تبخیر کلاس A و اعمال کم‌آبیاری با وارد کردن تنش بر مبنای دور ثابت آبیاری مورد بررسی قرار گرفته است. در مطالعه انجام شده توسط کرم و همکاران (۱۵)، تبخیر تعرق، محصول دانه و کارایی مصرف آب را در آفتابگردان در شرایط آبیاری مناسب و کم‌آبیاری مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش در حالی که کم‌آبیاری هیچ افزایش قابل توجهی را در شاخص محصول نداشت، در مقدار کارایی مصرف آب به صورت معنی‌داری بین تیمارها اختلاف ایجاد شد؛ به این صورت که بیشترین مقادیر (۰/۸۳ kg/m3) و کمترین مقادیر (۰/۷۱ kg/m3) به ترتیب در تیمارهای کم‌آبیاری در ابتدای تشکیل دانه و کم‌آبیاری در مرحله ابتدای گلدهی حاصل شد. قدمی فیروزآبادی (۱۰) طی پژوهشی تأثیر کم‌آبیاری تنظیم شده (DI) و کم‌آبیاری بخشی ریشه (PRD) را روی گیاه آفتابگردان مورد بررسی قرار داد. تیمارهای آبی در پژوهش انجام شده شامل آبیاری کامل، کم آبیاری تنظیم شده در دو سطح ۷۵ و ۵۵ درصد و آبیاری بخشی ریشه در دو سطح ۷۵ و ۵۵ درصد بود. نتایج ایشان نشان داد که اعمال تیمارهای PRD75 و DI75 به طور میانگین باعث کاهش ۱۶/۴ درصدی در مصرف آب در مقایسه با تیمار آبیاری کامل شد. بیشترین مقدار عملکرد مربوط به آبیاری کامل بود. اختلاف بین عملکرد در آبیاری کامل با PRD75 معنی‌دار نبود. جباری و همکاران (۱۳) برای ارزیابی تنش کم‌آبی بر خصوصیات زراعی هیبریدهای آفتابگردان، سه آزمایش جداگانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا کردند. در آزمایش اول که در شرایط مطلوب اجرا شد، گیاهان بر اساس ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر از زمان جوانه‌زنی تا پایان دوره رشد آبیاری شدند. در آزمایشات دوم و سوم که در شرایط تنش کم‌آبی اجرا شدند، آبیاری به ترتیب بر اساس ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از

1- Water Use Efficiency

تشتک تبخیر کلاس A انجام شد. اثر تنش کم‌آبی بر تعداد روز تا ۷۵ درصد گلدهی، وزن هزار دانه، تعداد دانه در گیاه، عملکرد دانه، تلاش بازآوری، شاخص برداشت و درصد روغن دانه معنی‌دار بود. در شرایط تنش شدید کم‌آبی عملکرد ۸۳ درصد کاهش یافت و محصول دانه ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار بود که ناشی از کاهش وزن هزار دانه (۵۰ درصد) و تعداد دانه در گیاه (۵۴ درصد) بود. کریم‌زاده اصل و همکاران (۱۹) به منظور مطالعه اثر چهار دور آبیاری بر روی عملکرد و صفات کمی سه رقم آفتابگردان آزمایشی را با بهره‌گیری از طرح کرت‌های یک بار خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار انجام دادند. ۴ دور آبیاری اعمال شده شامل دور آبیاری هر ۷ روز یک بار (شاهد)، دور آبیاری هر ۱۱ روز یک بار، دور آبیاری هر ۱۵ روز یک بار و دور آبیاری هر ۱۹ روز یک بار بودند. نتایج نشان داد با افزایش دور آبیاری صفات تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه در هکتار، درصد روغن، شاخص برداشت، قطر طبق و وزن هزار دانه افزایش یافتند و درصد پوکی دانه‌ها افزایش یافت.

با توجه به مطالب اشاره شده در ارتباط با اهمیت مشخصه کارایی مصرف آب و عدم انجام پژوهش در ارتباط با بررسی اثر همزمان مشخصه‌های دور آبیاری و مقدار آب آبیاری با اعمال آبیاری بخشی ریشه، در این پژوهش اثر تنش آبی به دو صورت بر کارایی مصرف آب و پارامترهای رشد گیاه آفتابگردان مورد بررسی قرار گرفت. اولین نوع از تنش آبی، اعمال کم‌آبیاری بخشی ریشه در سطوح مختلف نسبت به آبیاری کامل و تنش آبی نوع دوم، آبیاری در دورهای آبیاری مختلف بود. در ادامه این موارد به تفصیل مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش بر روی گیاه آفتابگردان رقم هایسان ۲۵، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (استان مازندران)، واقع در طول جغرافیایی ۵۳/۰۴ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۹/۳۶ درجه شمالی، در سال‌های زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ اجرا شد. مساحت زمین در نظر گرفته شده برای انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای حدود ۸۲۵ متر مربع (۵۵ متر در ۱۵ متر) بود. آزمایش در ۲۷ کرت به ابعاد ۵ × ۵ (متر مربع) اجرا شد. هر کرت شامل ۶ ردیف کاشت به فاصله ۷۵ سانتی‌متر از یکدیگر و به طول ۵ متر بود. بذرهای آفتابگردان در عمق ۴ سانتی‌متری خاک و به فاصله ۲۰ سانتی‌متر از یکدیگر، کاشته شدند. برای آماده کردن زمین برای کاشت، ۲ مرتبه شخم نیمه عمیق (شخم اول قبل از فصل کاشت و شخم دوم قبل از کاشت در بهار) اجرا شد. بعد از انجام شخم دوم، برای تکمیل فرایند آماده‌سازی زمین نسبت به اجرای روتاری روی خاک اقدام شد. زمان کاشت بذرها برای سال‌های اول و دوم اجرای طرح به ترتیب ۱۴ و ۹ خرداد بود. آبیاری گیاهان در این پژوهش با استفاده از سیستم آبیاری تحت فشار (موضعی) با استفاده از نوارهای تیپ آبیاری با دبی ۳ لیتر بر ساعت در واحد طول نوار با فاصله درز ۲۰ سانتی‌متر روی نوار استفاده شد. عرض خیس شده برای نوار آبیاری استفاده شده برای خاک محل انجام طرح ۳۵ سانتی‌متر بود. منبع آب آبیاری برای طرح، آب چاه بود. نتایج تجزیه کیفیت شیمیایی آب در جدول ۱ ارایه شده است. همانطوری که از نتایج جدول مشخص می باشد، هیچ یک از مشخصه‌های مورد بررسی محدودیتی را برای رشد گیاه ایجاد نمی نمایند. برای تصفیه آب از ایستگاه کنترل مرکزی شامل هیدروسیکلون، فیلتر شنی و فیلتر توری استفاده شد. کنترل حجم آب تحویلی به هر یک از تیمارها با استفاده از کنتور حجمی آب، انجام شد.

پس از ارایه نمونه خاک از محل طرح به آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل و مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به عنوان توصیه کودی از طرف آزمایشگاه تعیین و این مقادیر به خاک محل طرح اضافه شد. نتایج آزمایش خاک در جدول ۲ ارایه شده است.

برای اجرای این پژوهش از آزمایش کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات) با سه فاکتور اصلی (دور آبیاری) و سه فاکتور فرعی (مقدار آب آبیاری) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی استفاده شد.

**جدول ۱- نتایج تجزیه کیفیت شیمیایی آب**

**Table 1- The results of water quality analysis**

| نسبت جذبی سدیم SAR | قلیاییت pH | هدایت الکتریکی EC (dS/m) | کل املاح محلول TDS (mg/lit) | بی کربنات (HCO3)- (meq/lit) | کلر Cl- (meq/lit) | سولفات (SO4)2- (meq/lit) | کلسیم Ca2+ (meq/lit) | منیزیم Mg2+ (meq/lit) | سدیم Na+ (meq/lit) | پتانسیم K+ (meq/lit) | نیترات (NO3)- (meq/lit) | فسفات (PO4)3- (meq/lit) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.4 | 8 | 0.73 | 468 | 4.7 | 2.2 | 0.2 | 3.2 | 0.9 | 1.61 | 0.07 | 0.016 | 0.009 |

جدول ۲- نتایج بررسی عناصر نمونه خاک گرفته شده از محل طرح

Table 2- The analysis' results of the field's soil sample

| اجزای ماکرو Macronutrients | | | | اجزای میکرو Micronutrients | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| فسفر P (ppm) | پتاسیم K (ppm) | نیتروژن N (%) | جزء آلی OC (%) | مس Cu (ppm) | روی Zn (ppm) | آهن Fe (ppm) | منگنز Mn (ppm) |
| 0.15 | 98 | 0.06 | 0.63 | 1.53 | 0.77 | 14.88 | 4.93 |

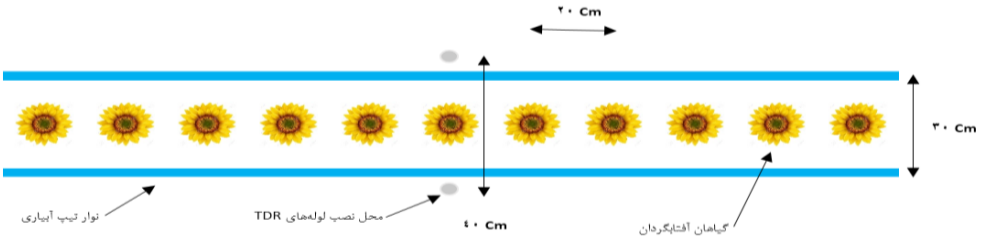
دورهای آبیاری در نظر گرفته شده برای این پژوهش (فاکتور اصلی) انجام آبیاری بعد از ۲۰، ۳۵ و ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A بود (به ترتیب F-20، F-35 و F-50). این مقادیر بر مبنای مقادیر ۳، ۶ و ۹ برابر متوسط تبخیرتعرق گیاه در مرحله میانی رشد در نظر گرفته شدند (در انتخاب این مقادیر، شرایط رایج در منطقه شامل دور آبیاری سه روزه، هفتگی و ده روزه نیز در نظر گرفته شد). برای تعیین متوسط مقدار تبخیرتعرق گیاه در مرحله میانی رشد پس از گردآوری داده‌های هواشناسی ایستگاه هواشناسی دشت ناز ساری بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۳، نسبت به برآورد مقدار تبخیر تعرق گیاه با استفاده از نرم افزار کراپ‌وات اقدام شد. نتایج نشان داد، متوسط مقدار تبخیر تعرق برای دوره اشاره شده در حدود ۶ میلی‌متر بر روز بوده است. فاکتور فرعی، مقدار آب آبیاری به ۳ مقدار ۱۰۰٪ نیاز آبی، ۷۵٪ نیاز آبی و ۵۵٪ نیاز آبی بود (به ترتیب FI، PRD-75 وPRD-55). انجام آبیاری در تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی به صورت معمولی (دوطرفه) و در تیمارهای کم‌آبیاری به صورت متناوب در طرفین ریشه (آبیاری بخشی) انجام شد. زمان تغییر جهت آبیاری‌ها از یک سمت ریشه به سمت دیگر بر مبنای دور آبیاری تعریف شده برای هر یک از تیمارها تعیین شد. اعمال تیمارهای کم‌آبیاری شش هفته پس از کاشت، همزمان با استقرار گیاه انجام شد. تعیین مقدار آب مورد نیاز برای تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی (Dn) بر مبنای کنترل رطوبت خاک انجام شد (۱۶؛ ۲۲). در تیمار آبیاری کامل، آبیاری تا رسیدن رطوبت خاک به نقطه رطوبت ظرفیت زراعی ادامه پیدا کرد (معادله ۱). مقدار رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی با استفاده از دستگاه صفحات فشاری در آزمایشگاه، با انجام آزمایش روی نمونه‌های گرفته شده از خاک در محدوده توسعه ریشه گیاه، تعیین شد (جدول ۳).

$$D_n = \sum_{i=1}^{m}[(\theta_{Fci} - \theta_{1i}) \times Bd_i \times D_i] \quad (۱)$$

در این معادله، $\theta_{Fci}$ رطوبت جرمی در حد ظرفیت زراعی (اعشار)، $\theta_{1i}$ رطوبت جرمی خاک پیش از آبیاری (اعشار)، Di اندازه عمقی که در رطوبت در آن اندازه‌گیری شده (در محدوده توسعه ریشه) (cm)، Bdi جرم مخصوص ظاهری خاک (gr.cm-3)، i شماره فاصله عمقی خاک بررسی شده و m تعداد لایه خاک بررسی شده می‌باشد.

برای مشخص کردن مقدار رطوبت در لایه‌های مختلف خاک (معادله ۱) از رطوبت‌سنج‌های الکترومغناطیس TDR (Trime-FM- IMKO-Germany) استفاده شد. چگونگی قرارگیری گیاهان، نوارهای تیپ آبیاری و لوله‌های دسترسی TDR در شکل ۱ نشان داده شده است.

به منظور تعیین کارایی مصرف آب و پارامترهای رشد گیاه آفتابگردان، در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی (قهوه‌ای شدن پشت طبق و اطراف آن) ۱۰ بوته از ۴ ردیف میانی انتخاب، به صورت کف‌بر برداشت و به آزمایشگاه منتقل شدند. صفات بررسی شده در این پژوهش شامل مشخصه‌های کارایی مصرف آب آبیاری (kg/m3)، ارتفاع گیاه (cm)، قطر طبق (cm)، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه (gr) و کلروفیل برگ (شاخص SPAD) بود. تحلیل آماری داده‌ها با کاربرد نرم‌افزار SAS با استفاده از آزمون آماری دانکن در سطح احتمال ۱ درصد انجام شد. به منظور رسم نمودارها نرم‌افزار Microsoft Excel مورد استفاده واقع شد.




شکل ۱- نمایی از چگونگی قرارگیری گیاهان، نوارهای تیپ آبیاری و لوله‌های دسترسی TDR

Figure 1- A plan of plants, irrigation tapes and TDR access tubes' arrangement

**جدول ۳- مشخصات فیزیکی خاک محل آزمایش در فاصله‌های عمقی مختلف**

**Table 3- The soil physical characteristics of farm at different depths**

| عمق خاک (سانتی‌متر) Soil depth (cm) | بافت خاک Soil texture | رطوبت حجمی (٪) Moisture (% volumetric) | | جرم مخصوص ظاهری Bulk density (g/cm$^3$) |
|---|---|---|---|---|
| | | ظرفت زراعی F.C. | نقطه پژمردگی دایم P.W.P. | |
| 0-20 | Sandy loam | 30.3 | 15.4 | 1.46 |
| 20-40 | Clay loam | 32.5 | 15.6 | 1.36 |
| 40-60 | Clay loam | 32 | 14 | 1.35 |
| 60-80 | Clay loam | 32 | 14 | 1.37 |

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در سال اول آزمایش نشان داد، اثر عامل مقدار آب آبیاری بر مشخصه کارایی مصرف آب آبیاری معنی‌دار بوده است. اثر دور آبیاری و نیز اثر متقابل دور و مقدار آب آبیاری بر این مشخصه معنی‌دار نبود. برای مشخصه‌های ارتفاع گیاه و قطر طبق، اثر عوامل دور آبیاری و نیز مقدار آب آبیاری بر هر دو مشخصه معنی‌دار بود. اثر متقابل این عوامل تنها بر مشخصه ارتفاع گیاه معنی‌دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر عامل دور آبیاری بر مشخصه‌های کارایی مصرف آب، ارتفاع گیاه و نیز قطر طبق در سال اول آزمایش نشان داد که بین همه تیمارهای دور آبیاری اختلاف معنی‌دار وجود داشته است. بیشترین مقادیر برای مشخصه کارایی مصرف آب در تیمار F-50 و کمترین مقادیر در تیمار F-20 حاصل شد. در مورد دو مشخصه ارتفاع گیاه و قطر طبق بیشترین مقادیر در تیمار F-20 و کمترین مقادیر در تیمار F-50 وجود داشت (جدول ۵).

**جدول ٤- تجزیه واریانس آزمایش اثر دور و مقدار آب آبیاری بر مقدار کارایی مصرف آب آبیاری، ارتفاع و قطر طبق گیاه آفتابگردان (هایسان ۲۵) در طرح کرت‌های خرد شده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در سال اول**

**Table 4- Analysis of variance of the study of the effect of irrigation interval and irrigation water amount on irrigation water use efficiency (IWUE), height (H) and diameter (D) of sunflower plant (Hysun25) in split plot design with randomized complete block design in 3 replications in the first year.**

| منبع تغییرات S.O.V. | درجه آزادی df | کارایی مصرف آب آبیاری IWUE | | ارتفاع گیاه H | | قطر طبق گیاه D | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | SS | MS | SS | MS | SS | MS |
| تکرار Repeat (R) | 2 | 0.004 | 0.002 ns | 4.22 | 2.11 ns | 6.89 | 3.44 ns |
| دور آبیاری (عامل اصلی) F (factor A) | 2 | 0.003 | 0.001 ns | 524.22 | 262.11 ** | 4168.22 | 2084.11 ** |
| خطای a E (a) | 4 | 0.005 | 0.001 | 6.22 | 1.56 | 12.89 | 3.22 |
| پلات‌های اصلی Main Plots (MP) | 8 | 0.011 | 0.001 | 534.67 | 66.83 | 4188 | 523.5 |
| مقدار آب آبیاری (عامل فرعی) I (Factor B) | 2 | 0.015 | 0.008 ** | 104.22 | 5211 ** | 784.22 | 392.11 ** |
| اثر متقابل Interaction (AB) | 4 | 0.003 | 0.001 ns | 30.22 | 7.56 * | 168.89 | 42.22 ns |
| خطای b E (b) | 12 | 0.003 | 0.000 | 19.56 | 1.63 | 160.89 | 13.41 |
| زیرپلات‌ها Subplots (SP) | 18 | 0.021 | 0.001 | 154 | 8.56 | 1114 | 61.89 |
| کل Total | 26 | 0.032 | 0.001 | 688.67 | 26.49 | 5302 | 203.92 |

** معنی‌دار در احتمال سطح ۱٪، * معنی‌دار در احتمال سطح ۵٪، ns: غیر معنی‌دار، SS مجموع مربعات، MS میانگین مربعات

** Significant at 1% probability level, * Significant at 5%, ns: not significant, SS: Sum of Squares, MS: Mean of Squares

**جدول ۵- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب آبیاری، ارتفاع و قطر طبق گیاه آفتابگردان در دورهای آبیاری مختلف در سال اول**

**Table 5- The means' comparison of irrigation water use efficiency (IWUE), height (H) and diameter (D) of sunflower plant under different irrigation intervals (F) in the first year**

| دور آبیاری F | کارایی مصرف آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب) IWUE (kg/m3) | ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) H (cm) | قطر طبق گیاه (میلی‌متر) D (mm) |
|---|---|---|---|
| F-20 | 0.89 c | 202.11 a | 200.00 a |
| F-35 | 0.99 b | 196.22 b | 181.11 b |
| F-50 | 1.07 a | 191.75 c | 169.89 c |

میانگین‌های با حروف مشابه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن ندارند (در سطح ۱٪)

Means followed by the same letters do not have significant difference by the Duncan test (1% level)

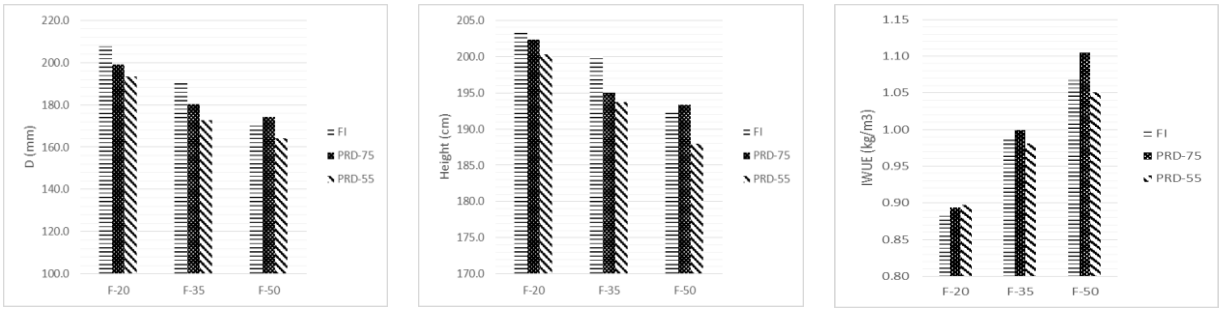
**جدول ٦- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب آبیاری، ارتفاع و قطر طبق گیاه آفتابگردان با مقادیر مختلف آب آبیاری در سال اول**

**Table 6- The means' comparison of irrigation water use efficiency (IWUE), height (H) and diameter (D) of sunflower plant under different irrigation water amounts (I) in the first year**

| مقدار آب آبیاری I | کارایی مصرف آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب) IWUE (kg/m3) | ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) H (cm) | قطر طبق گیاه (میلی‌متر) D (mm) |
|---|---|---|---|
| FI | 0.98 a | 198.78 a | 189.78 a |
| PRD-75 | 1.00 a | 196.89 a | 184.56 a |
| PRD-55 | 0.98 a | 195.75 b | 176.67 b |

میانگین‌های با حروف مشابه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن ندارند (در سطح ۱٪)

Means followed by the same letters do not have significant difference by the Duncan test (1% level)




**شکل ۲- به ترتیب از راست به چپ نمودارهای کارایی مصرف آب آبیاری (IWUE)، ارتفاع گیاه (Height) و قطر طبق (D) برای ۹ حالت مختلف دور آبیاری و مقدار آب آبیاری در سال اول**

**Figure 2- Respectively, from right to left, irrigation water use efficiency (IWUE), plant height (Height) and diameter (D) for nine different irrigation interval and irrigation water amount in the first year**

در بررسی عامل مقدار آب آبیاری برای مشخصه‌های ارتفاع گیاه و قطر طبق، اختلاف‌ها برای تیمارهای FI و PRD-75 معنی‌دار نبود. اما در مورد تیمار PRD-55، اختلاف‌ها برای این دو مشخصه با دو تیمار دیگر معنی‌دار بود. در مورد این مشخصه‌ها بیشترین مقادیر در تیمار FI و کمترین مقادیر در تیمار PRD-55 مشاهده شد (جدول ۶). در بررسی مشخصه‌های ارتفاع گیاه و قطر طبق، بین تیمارهای مختلف مشخص شد که بیشترین مقادیر مربوط به F-20 , FI بوده است. کمترین مقادیر در F-50 , PRD-55 مشاهده شد. اثر عامل مقدار آب آبیاری بر مشخصه کارایی مصرف آب معنی‌دار نبود. میانگین مشخصه کارایی مصرف آب برای ۹ حالت مورد بررسی در شکل ۲ نشان داده شده است.

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مشخصه کارایی مصرف آب آبیاری در سال دوم آزمایش حاکی از اثر معنی‌دار عامل مقدار آب آبیاری بود. اثر عامل دور آبیاری و اثر متقابل دو عامل دور آبیاری و مقدار آب آبیاری بر این مشخصه معنی‌دار نبود. نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل دور آبیاری و مقدار آب آبیاری بر مشخصه‌های ارتفاع و قطر طبق گیاه برای سال دوم آزمایش حاکی از تأثیر معنی‌دار هر دو عامل یاد شده بر این مشخصه‌ها بود (جدول ۷). مقایسه میانگین مشخصه کارایی مصرف آب آبیاری برای سال دوم آزمایش اختلاف معنی‌دار بین تیمار F-20 با دو تیمار دیگر را نتیجه داد. اختلاف بین

دو تیمار F-35 و F-50 معنی‌دار نبود. در مورد این مشخصه تیمار F-50 دارای مقدار بیشینه و تیمار F-20 دارای مقدار کمینه بود. برای مشخصه ارتفاع گیاه بین همه تیمارهای دور آبیاری اختلاف معنی‌دار وجود داشت. در مورد مشخصه قطر طبق بین دور آبیاری F-50 با دو تیمار دیگر اختلاف معنی‌دار وجود داشت. اختلاف بین تیمارهای F-20 و F-35 معنی‌دار نبود. در مورد هر دو مشخصه ارتفاع گیاه و قطر طبق بیشترین مقادیر در F-20 و کمترین مقادیر در F-50 مشاهده شد (جدول ۸). بر خلاف مشخصه‌های ارتفاع گیاه و قطر طبق که بین تیمارهای مختلف مقدار آب آبیاری اختلاف معنی‌دار وجود داشت، اثر تیمارهای مختلف این عامل بر مشخصه کارایی مصرف آب معنی‌دار نبود. بیشترین مقادیر برای مشخصه‌های ارتفاع گیاه و قطر طبق در FI و کمترین مقادیر در PRD-55 بود (جدول ۹). نمودارهای کارایی مصرف آب آبیاری، ارتفاع و قطر طبق گیاه برای ۹ حالت مختلف دور آبیاری و مقدار آب آبیاری در سال ۱۳۹۵ در شکل ۳ ارایه شده است. در مورد مشخصه کارایی مصرف آب آبیاری بیشترین مقادیر در F-50 , PRD-75 و کمترین مقادیر در F-20, PRD-75 وجود داشت. در مورد دو مشخصه ارتفاع و قطر طبق گیاه بیشترین مقادیر برای F20, FI و کمترین مقادیر در F-50 , PRD-55 بود. افزایش در مقدار مشخصه کارایی مصرف آب تحت تأثیر تنش خشکی در مطالعه انجام شده توسط رضایی استخرویه و همکاران (۲۶) گزارش شده است. در مطالعه انجام شده توسط رحیمی‌زاده و همکاران (۲۵) و رضایی استخرویه و همکاران (۲۶) کاهش معنی‌دار مشخصه ارتفاع گیاه تحت تأثیر تنش خشکی گزارش شده است. به علاوه کاهش معنی‌دار مشخصه ارتفاع گیاه تحت تأثیر تنش ناشی از افزایش دور آبیاری در در مطالعات انجام شده توسط عطایی کچویی و همکاران (۱) و دانشیان و جباری (۳) گزارش شده است. از مطالعاتی که قطر گیاه آفتابگردان تحت تأثیر اعمال تنش خشکی را مورد بررسی قرار داده، می‌توان به مطالعه انجام شده توسط رحیمی‌زاده و همکاران (۲۵) و رضایی استخرویه و همکاران (۲۶) اشاره نمود. در مطالعات ایشان کاهش معنی‌دار قطر طبق تحت تأثیر تنش خشکی گزارش شده است. در مطالعات انجام شده توسط رشدی و همکاران (۲۸)، کریم‌زاده اصل و همکاران (۱۹) و دانشیان و جباری (۳) اعمال تنش در نتیجه افزایش دور آبیاری موجب کاهش معنی‌دار مشخصه قطر طبق در گیاه آفتابگردان شد.

**جدول ۷- تجزیه واریانس آزمایش مطالعه اثر دور و مقدار آب آبیاری بر مقدار کارایی مصرف آب آبیاری، ارتفاع و قطر طبق گیاه آفتابگردان (هایسان ۲۵) در طرح کرت‌های خرد شده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در سال دوم**

**Table 7- Analysis of variance of the study of the effect of irrigation interval and irrigation water amount on irrigation water use efficiency (IWUE), height (H) and diameter (D) of sunflower plant (Hysun25) in split plot design with randomized complete block design in 3 replications in the second year.**

| منبع تغییرات S.O.V. | درجه آزادی df | کارایی مصرف آب آبیاری IWUE | | ارتفاع گیاه H | | قطر طبق گیاه D | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | SS | MS | SS | MS | SS | MS |
| تکرار Repeat (R) | 2 | 0.002 | 0.001 ns | 13.41 | 6.70 * | 10.30 | 5.15 ns |
| دور آبیاری (عامل اصلی) F (factor A) | 2 | 0.003 | 0.001 ns | 265.85 | 132.92 ** | 844.52 | 422.26 ** |
| خطای a E (a) | 4 | 0.007 | 0.002 | 2.37 | 0.59 | 11.93 | 2.98 |
| پلات‌های اصلی Main Plots (MP) | 8 | 0.011 | 0.001 | 281.63 | 35.20 | 866.74 | 108.34 |
| مقدار آب آبیاری (عامل فرعی) I (Factor B) | 2 | 0.152 | 0.076 ** | 200.07 | 100.04 ** | 631.63 | 315.81 ** |
| اثر متقابل Interaction (AB) | 4 | 0.005 | 0.001 ns | 29.04 | 7.26 * | 117.93 | 29.48 ** |
| خطای b E (b) | 12 | 0.019 | 0.002 | 22.22 | 1.85 | 44.44 | 3.70 |
| زیرپلات‌ها Subplots (SP) | 18 | 0.175 | 0.010 | 251.33 | 13.97 | 794 | 44.11 |
| کل Total | 26 | 0.187 | 0.007 | 532.96 | 20.50 | 1660.74 | 63.87 |

** معنی‌دار در احتمال سطح ۱٪، * معنی‌دار در احتمال سطح ۵٪، ns: غیر معنی‌دار، SS مجموع مربعات، MS میانگین مربعات

** Significant at 1% probability level, * Significant at 5%, ns: not significant, SS: Sum of Squares, MS: Mean of Squares

**جدول ۸- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب آبیاری، ارتفاع و قطر طبق گیاه آفتابگردان در دورهای آبیاری مختلف در سال دوم**

**Table 8- The means' comparison of irrigation water use efficiency (IWUE), height (H) and diameter (D) of sunflower plant under different irrigation intervals (F) in the second year**

| دور آبیاری F | کارایی مصرف آب آبیاری (کیلوگرم بر متر مکعب) IWUE (kg/m3) | ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) H (cm) | قطر طبق گیاه (میلی‌متر) D (mm) |
|---|---|---|---|
| F-20 | 0.92 b | 196.33 a | 188.44 a |
| F-35 | 1.01 a | 193.78 b | 186.33 a |
| F-50 | 1.10 a | 188.78 c | 175.67 b |

میانگین‌های با حروف مشابه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن ندارند (در سطح ۱٪)

Means followed by the same letters do not have significant difference by the Duncan test (1% level)

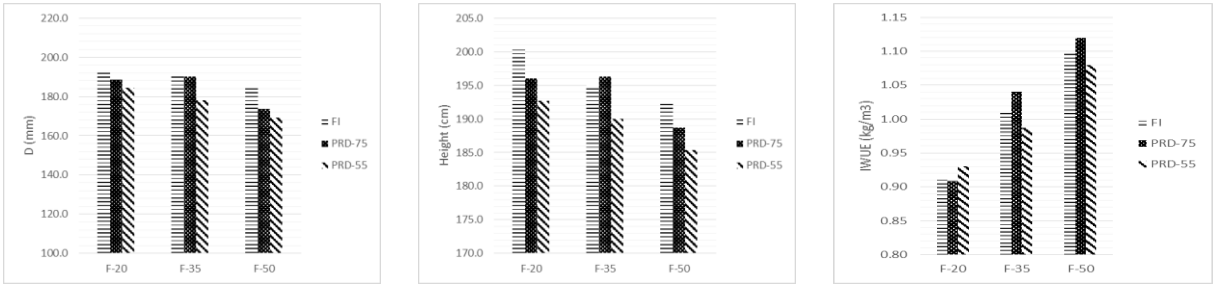
**جدول ۹- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب آبیاری، ارتفاع و قطر طبق گیاه آفتابگردان با مقادیر مختلف آب آبیاری در سال دوم**

**Table 9- The means' comparison of irrigation water use efficiency (IWUE), height (H) and diameter (D) of sunflower plant under different irrigation water amounts (I) in the second year**

| مقدار آب آبیاری I | کارایی مصرف آب آبیاری (کیلوگرم بر متر مکعب) IWUE (kg/m3) | ارتفاع گیاه (سانتی متر) H (cm) | قطر طبق گیاه (میلی متر) D (mm) |
|---|---|---|---|
| FI | 1.01 a | 195.89 a | 189.00 a |
| PRD-75 | 1.02 a | 193.67 b | 184.22 b |
| PRD-55 | 1.00 a | 189.33 c | 177.22 c |

میانگین‌های با حروف مشابه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن ندارند (در سطح ۱٪)

Means followed by the same letters do not have significant difference by the Duncan test (1% level)




**شکل ۳- به ترتیب از راست به چپ نمودارهای کارایی مصرف آب آبیاری (IWUE)، ارتفاع گیاه (Height) و قطر طبق (D) برای ۹ حالت مختلف دور آبیاری و مقدار آب آبیاری در سال دوم**

**Figure 3- Respectively, from right to left, irrigation water use efficiency (IWUE), plant height (Height) and diameter (D) for nine different irrigation interval (F) and irrigation water amount (I) in the second year**

نتایج تجزیه واریانس عوامل دور و مقدار آب آبیاری بر مشخصه‌های تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه و شاخص کلروفیل برگ در سال اول آزمایش، در جدول ۱۰ ارایه شده است. بر مبنای نتایج حاصله اثر هر دو عامل دور و مقدار آب آبیاری و نیز اثر متقابل این دو عامل بر مشخصه‌های یاد شده معنی‌دار بود. اثر عوامل دور و مقدار آب آبیاری بر مشخصه شاخص کلروفیل برگ معنی‌دار نبود. بر مبنای نتایج مقایسه میانگین، اختلاف بین تیمارهای مختلف دور آبیاری بر دو مشخصه تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه معنی‌داربود؛ بیشترین مقادیر در F-20 و کمترین مقادیر در F-50 وجود داشت. اختلاف بین تیمارهای مختلف دور آبیاری در مورد مشخصه شاخص کلروفیل برگ معنی‌دار نبود (جدول ۱۱). بر مبنای نتایج مقایسه میانگین، مشخصه‌های تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه تحت تأثیر عامل مقدار آب آبیاری، اختلاف بین تیمارهای FI و PRD-75 معنی‌دار نبود. همچنین اختلاف معنی‌دار بین PRD-55 با دو تیمار دیگر نتیجه شد. اختلاف‌های مشخصه شاخص کلروفیل برگ تحت تأثیر عامل مقدار آب آبیاری در سال اول آزمایش معنی‌دار نبود (جدول ۱۲). نمودارهای مربوط به مقادیر مشخصه‌های تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه و شاخص کلروفیل برگ تحت اثر ۹ حالت مختلف دور و مقدار آب آبیاری برای سال اول آزمایش به ترتیب در شکل ۴ ارایه شده است. در مورد دو مشخصه تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه بیشترین مقادیر در F-20 , FI و کمترین مقادیر در F-50 , PRD-55 مشاهده شد.

**جدول ۱۰- تجزیه واریانس آزمایش مطالعه اثر دور و مقدار آب آبیاری بر مقدار تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه و شاخص کلروفیل برگ گیاه آفتابگردان (هایسان ۲۵) در طرح کرت‌های خرد شده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در سال اول**

**Table 10- Analysis of variance of the study of the effect of irrigation interval and irrigation water amount on the number seed per flower (SN), 1000 seed weight (W) and the leaf Chlorophyll index (SPAD) of sunflower plant (Hysun25) in split plot design with randomized complete block design in 3 replications in the first year**

| منبع تغییرات S.O.V. | درجه آزادی df | تعداد دانه در طبق SN | | وزن هزار دانه W | | شاخص کلروفیل برگ گیاه SPAD | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | SS | MS | SS | MS | SS | MS |
| تکرار Repeat (R) | 2 | 12459.85 | 6229.93 ** | 32.70 | 16.35 ns | 95.88 | 47.94 ns |
| دور آبیاری (عامل اصلی) F (factor A) | 2 | 64159.19 | 320784.59 ** | 1.73 | 0.86 ns | 1652.62 | 826.31 ** |
| خطای a E (a) | 4 | 589.04 | 147.26 | 31.30 | 7.82 | 38.97 | 9.74 |
| پلات‌های اصلی Main Plots (MP) | 8 | 654618.07 | 81827.26 | 65.73 | 8.22 | 18787.47 | 223.43 |
| مقدار آب آبیاری (عامل فرعی) I (Factor B) | 2 | 115350.52 | 57675.26 ** | 5.82 | 2.91 ns | 236.22 | 118.11 ** |
| اثر متقابل Interaction (AB) | 4 | 27767.70 | 6941.93 * | 31.16 | 7.79 ns | 37.21 | 9.30 * |
| خطای b E (b) | 12 | 19591.11 | 1632.59 | 40.76 | 3.40 | 25.08 | 2.09 |
| زیرپلات‌ها Subplots (SP) | 18 | 162709.33 | 9039.41 | 77.74 | 4.32 | 298.50 | 16.58 |
| کل Total | 26 | 81732741 | 31435.67 | 143.47 | 5.52 | 2085.98 | 80.23 |

** معنی‌دار در احتمال سطح ۱٪ * معنی‌دار در احتمال سطح ۵٪ ns: غیر معنی‌دار، SS مجموع مربعات، MS میانگین مربعات

** Significant at 1% probability level, * Significant at 5%, ns: not significant, SS: Sum of Squares, MS: Mean of Squares

**جدول ۱۱- مقایسه میانگین تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه و شاخص کلروفیل برگ گیاه آفتابگردان در دورهای آبیاری مختلف در سال اول**

**Table 11- The means' comparison of the number seed per flower (SN), 1000 seed weight (W) and the leaf Chlorophyll index (SPAD) of sunflower plant under different irrigation intervals (F) in the first year**

| دور آبیاری F | تعداد دانه در طبق SN | وزن هزار دانه (گرم) W (gr) | شاخص کلروفیل برگ گیاه SPAD |
|---|---|---|---|
| F-20 | 1152.00 a | 62.59 a | 34.83 a |
| F-35 | 912.00 b | 51.58 b | 34.23 a |
| F-50 | 779.56 c | 43.50 c | 34.67 a |

میانگین‌های با حروف مشابه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن ندارند (در سطح ۱٪)

Means followed by the same letters do not have significant difference by the Duncan test (1% level)

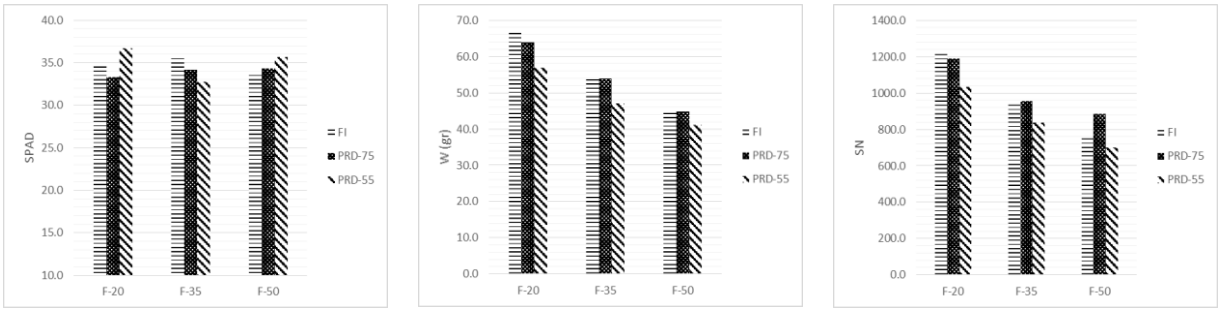
**جدول ۱۲- مقایسه میانگین تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه و شاخص کلروفیل برگ گیاه آفتابگردان با مقادیر مختلف آب آبیاری در سال اول**

**Table 12- The means' comparison of the number seed per flower (SN), 1000 seed weight (W) and the leaf Chlorophyll index (SPAD) of sunflower plant under different irrigation water amounts (I) in the first year**

| مقدار آب آبیاری I | تعداد دانه در طبق SN | وزن هزار دانه (گرم) W (gr) | شاخص کلروفیل برگ گیاه SPAD |
|---|---|---|---|
| FI | 976.89 a | 55.05 a | 34.74 a |
| PRD-75 | 1009.33 a | 54.22 a | 33.94 a |
| PRD-55 | 857.33 b | 48.40 b | 35.04 a |

میانگین‌های با حروف مشابه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن ندارند (در سطح ۱٪)

Means followed by the same letters do not have significant difference by the Duncan test (1% level)




**شکل ٤- به ترتیب از راست به چپ نمودارهای تعداد دانه در طبق (SN)، وزن هزار دانه گیاه (W) و کلروفیل برگ (شاخص SPAD) برای ۹ حالت مختلف دور آبیاری و مقدار آب آبیاری در سال اول**

**Figure 4- Respectively, from right to left, the number seed per flower (SN), 1000 seed weight (W) and the leaf Chlorophyll index (SPAD) for nine different irrigation interval and irrigation water amount (I) in the first year**

نتایج تجزیه واریانس مشخصه‌های تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه و شاخص کلروفیل برگ برای سال دوم آزمایش در جدول ۱۳ ارایه شده است. بر مبنای نتایج حاصله اثر عوامل دور آبیاری و مقدار آب آبیاری بر مشخصه‌های تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه معنی‌دار بود. مقایسه میانگین مشخصه تعداد دانه در طبق تحت اثر عامل دور آبیاری برای سال دوم آزمایش به وجود اختلاف معنی‌دار بین همه تیمارها منتج شد. مقایسه میانگین مشخصه وزن هزار دانه تحت تأثیر مقادیر مختلف دور آبیاری در سال دوم آزمایش، حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای F-20 و F-50 بود. اختلاف بین F-35 با دو تیمار دیگر معنی‌دار نبود (جدول ۱۴).

**جدول ۱۳- تجزیه واریانس آزمایش مطالعه اثر دور و مقدار آب آبیاری بر مقدار تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه و شاخص کلروفیل برگ گیاه آفتابگردان (هایسان ۲۵) در طرح کرت‌های خرد شده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در سال دوم**

**Table 13- Analysis of variance of the study of the effect of irrigation interval and irrigation water amount on the number seed per flower (SN), 1000 seed weight (W) and the leaf Chlorophyll index (SPAD) of sunflower plant (Hysun25) in split plot design with randomized complete block design in 3 replications in the second year**

| منبع تغییرات S.O.V. | درجه آزادی df | تعداد دانه در طبق SN | | وزن هزار دانه W | | شاخص کلروفیل برگ گیاه SPAD | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | SS | MS | SS | MS | SS | MS |
| تکرار Repeat (R) | 2 | 1710.22 | 855.11 ** | 5.15 | 2.57 ns | 0.41 | 0.21 ns |
| دور آبیاری (عامل اصلی) F (factor A) | 2 | 138691.56 | 69345.78 ** | 234.15 | 117.08 * | 13.79 | 6.89 ns |
| خطای a E (a) | 4 | 78.22 | 19.56 | 33.85 | 8.46 | 9.34 | 2.33 |
| پلات‌های اصلی Main Plots (MP) | 8 | 140480.0 | 17560.00 | 273.16 | 34.14 | 23.54 | 2.94 |
| مقدار آب آبیاری (عامل فرعی) I (Factor B) | 2 | 146179.56 | 73089.78 ** | 378.05 | 189.02 ** | 7.98 | 3.99 ns |
| اثر متقابل Interaction (AB) | 4 | 41870.22 | 10467.56 ** | 65.45 | 16.36 ** | 19.28 | 4.82 ns |
| خطای b E (b) | 12 | 1614.22 | 134.52 | 36.27 | 3.02 | 33.36 | 2.78 |
| زیرپلات‌ها Subplots (SP) | 18 | 189664.00 | 10536.89 | 479.77 | 26.65 | 60.63 | 3.37 |
| کل Total | 26 | 330144.00 | 12697.85 | 752.92 | 28.96 | 84.16 | 3.24 |

** معنی‌دار در احتمال سطح ۱٪، * معنی‌دار در احتمال سطح ۵٪، ns: غیر معنی‌دار، SS مجموع مربعات، MS میانگین مربعات

** Significant at 1% probability level, * Significant at 5%, ns: not significant, SS: Sum of Squares, MS: Mean of Squares

**جدول ١٤- مقایسه میانگین تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه و شاخص کلروفیل برگ گیاه آفتابگردان در دورهای آبیاری مختلف در سال دوم**

**Table 14- The means' comparison of the number seed per flower (SN), 1000 seed weight (W) and the leaf Chlorophyll index (SPAD) of sunflower plant under different irrigation intervals (F) in the second year**

| دور آبیاری | تعداد دانه در طبق | وزن هزار دانه (گرم) | شاخص کلروفیل برگ گیاه |
|---|---|---|---|
| F | SN | W (gr) | SPAD |
| F-20 | 943.56 a | 53.73 a | 31.52 a |
| F-35 | 892.00 b | 48.87 ab | 31.03 a |
| F-50 | 772.44 c | 46.69 b | 32.73 a |

میانگین‌های با حروف مشابه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن ندارند (در سطح ۱٪)

Means followed by the same letters do not have significant difference by the Duncan test (1% level)

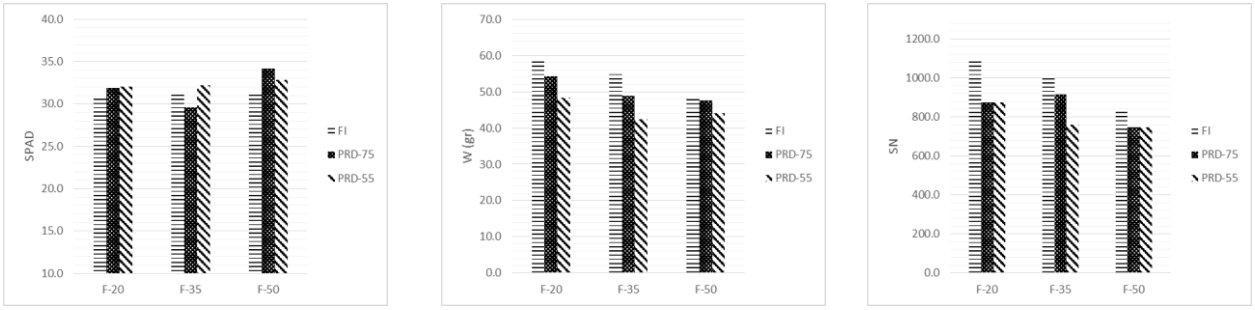
**جدول ١٥- مقایسه میانگین تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه و شاخص کلروفیل برگ گیاه آفتابگردان با مقادیر مختلف آب آبیاری در سال دوم**

**Table 15- The means' comparison of the number seed per flower (SN), 1000 seed weight (W) and the leaf Chlorophyll index (SPAD) of sunflower plant under different irrigation water amounts (I) in the second year**

| مقدار آب آبیاری | تعداد دانه در طبق | وزن هزار دانه (گرم) | شاخص کلروفیل برگ گیاه |
|---|---|---|---|
| I | SN | W (gr) | SPAD |
| FI | 968.89 a | 54.07 a | 31.06 a |
| PRD-75 | 845.78 b | 50.28 b | 31.86 a |
| PRD-55 | 793.33 c | 44.94 c | 32.38 a |

میانگین‌های با حروف مشابه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن ندارند (در سطح ۱٪)

Means followed by the same letters do not have significant difference by the Duncan test (1% level)




**شکل ۵- به ترتیب از راست به چپ نمودارهای تعداد دانه در طبق (SN)، وزن هزار دانه گیاه (W) و کلروفیل برگ (شاخص SPAD) برای ۹ حالت مختلف دور آبیاری و مقدار آب آبیاری در سال دوم**

**Figure 5- Respectively, from right to left, the number seed per flower (SN), 1000 seed weight (W) and the leaf Chlorophyll index (SPAD) for nine different irrigation interval and irrigation water amount in the second year**

نتایج مقایسه میانگین مشخصه‌های تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه تحت اثر مقادیر مختلف آب آبیاری برای سال دوم آزمایش، اختلاف معنی‌دار بین همه تیمارها را نشان داد. بیشترین مقادیر برای هر دو مشخصه در آبیاری کامل و کمترین مقادیر در کم‌آبیاری بخشی ریشه در سطح ۵۵٪ وجود داشت (جدول ۱۵). بر مبنای نتایج حاصله اختلاف معنی‌داری در مشخصه شاخص کلروفیل برگ تحت تأثیر عوامل دور آبیاری و مقدار آب آبیاری مشاهده نشد (جدول‌های ۱۴ و ۱۵).

نمودار تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه و شاخص کلروفیل برگ تحت اثر مقادیر مختلف دور آبیاری و مقدار آب آبیاری برای سال دوم آزمایش در شکل ۵ نشان داده شده است. بر مبنای نتایج حاصله بیشترین مقادیر مشخصه تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه در FI , F-20 مشاهده شد. کمترین مقادیر این مشخصه‌ها در PRD55 , F-50 وجود داشت. رحیمی‌زاده و همکاران (۲۵)، سی و سه مرده و همکاران (۳۲)، اسفینی فراهانی و همکاران (۸) و امیدی اردلی و بحرانی (۲۴) کاهش معنی‌دار مشخصه تعداد دانه در طبق در نتیجه اعمال تنش خشکی روی گیاه آفتابگردان را گزارش کرده‌اند؛ به علاوه کاهش معنی‌دار مشخصه تعداد دانه در طبق در نتیجه اعمال تنش خشکی با افزایش دور آبیاری، در مطالعات انجام شده توسط رشدی و همکاران (۲۸)، عطایی کچویی و همکاران (۱)، کریم‌زاده اصل و همکاران (۱۹) و جباری و همکاران (۱۳) گزارش شده است. رشدی و همکاران (۲۸)، عطایی کچویی و همکاران (۱)، کریم‌زاده اصل و

همکاران (۱۹) و جباری و همکاران (۱۳) کاهش معنی‌دار مشخصه وزن هزار دانه آفتابگردان در نتیجه تنش وارده به گیاه تحت تأثیر افزایش دور آبیاری را گزارش کرده‌اند. در مطالعات انجام شده توسط سی و سه مرده و همکاران (۳۲)، اسفینی فراهانی و همکاران (۸) و امیدی اردلی و بحرانی (۲۴) کاهش معنی‌دار در مشخصه وزن هزار دانه در نتیجه اعمال تنش خشکی گزارش شده است. در مطالعه انجام شده توسط رحیمی‌زاده و همکاران (۲۵) یک افزایش معنی‌دار در شاخص SPAD در اعمال تنش شدید خشکی گزارش شده است. با این وجود در مطالعه انجام شده توسط غلامحسینی و همکاران (۱۱) اثر تنش خشکی روی این مشخصه معنی‌دار گزارش نشده است.

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثر کم‌آبیاری بخشی ریشه در دورهای آبیاری مختلف بر کارایی مصرف آب و پارامترهای رشد گیاه آفتابگردان مورد بررسی قرار گرفت. در بررسی عامل دور آبیاری، بر مبنای نتایج حاصله از داده‌های ۲ سال انجام آزمایش، بهترین نتایج برای پارامترهای رشد گیاه، در دور آبیاری بعد از ۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A وجود داشت. به علاوه بهترین نتایج برای پارامترهای رشد گیاه آفتابگردان در آبیاری کامل نتیجه شد. با توجه به وجود اختلاف معنی‌دار در غالب پارامترهای رشد بین آبیاری کامل و کم آبیاری بخشی ریشه در سطح ۵۵٪، در صورتی که کم‌آبیاری بخشی ریشه مد نظر باشد، سطح ۷۵٪ برای کم‌آبیاری توصیه می‌شود. در مورد عامل دور آبیاری، برای غالب پارامترهای رشد گیاه بین دور آبیاری بعد از ۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A و دور آبیاری بعد از ۵۰ میلی‌متر تبخیر، اختلاف معنی‌دار وجود داشت؛ لذا با در نظر گرفتن این مورد و نیز مساله افزایش هزینه بهره‌برداری با کاهش دور آبیاری، دور آبیاری بعد از ۳۵ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A توصیه می‌شود. بررسی مشخصه کارایی مصرف آب آبیاری برای عامل دور آبیاری حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار بین هر سه دور آبیاری بود. بیشترین مقادیر در F-50 و کمترین مقادیر در F-20 حاصل شد. با وجود افزایش در مقدار مشخصه کارایی مصرف آب آبیاری در PRD-75 در مقایسه با سایر تیمارها برای هر دو سال انجام آزمایش، این اختلاف معنی‌دار نبود. با توجه به عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمار دور آبیاری F-35 و F-50 در سال دوم آزمایش و نیز وجود افزایش نسبی در مقدار این مشخصه در PRD-75 در مقایسه با دو تیمار دیگر، به منظور داشتن کارایی مصرف آب بیشتر، انجام کم‌آبیاری بخشی ریشه در سطح ۷۵٪ با دور آبیاری F-35 توصیه می‌شود. در مجموع با بررسی همزمان مشخصه کارایی مصرف آب آبیاری و نیز پارامترهای رشد گیاه آفتابگردان، این نتیجه حاصل شد که با بهره‌گیری از آبیاری بخشی ریشه در سطح ۷۵٪ و دور آبیاری بعد از ۳۵ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A، می توان ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری و افزایش در مشخصه کارایی مصرف آب آبیاری، با کمترین کاهش‌ها در مشخصه‌های رشد گیاه آفتابگردان مواجه شد.

## منابع


1- Ataei Kachooei M., Karimi M., Majd Nasiri B., Lotfifar O., and Motaghi S. 2010. Investigating the effect of limited irrigation on agronomic characteristics and yield of sunflower cultivars. Journal of Plant and Ecosystem, 22(6): 89-110. (In Persian)

2- Chimenti C. A., and Hall A.T. 2002. Genetic variation and changes with ontogeny of osmotic adjustment in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Euphytica, 71: 201-210.

3- Daneshian J., and Jabari H. 2009. Effect of limited irrigation and plant density on morphological characteristics and grain yield in a dwarf sunflower hybrid (cms26 × r103) as second crop. Iranian Journal of Crop Sciences, 10(40): 377-388. (In Persian with English abstract)

4- Davies W.J., and Zhang J.H. 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.

5- Demir A.O., Goksoy A.T., Buyukcangaz H., Turan Z.M., and Koksal E.S. 2006. Deficit irrigation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in a sub-humid climate. Irrigation Science, 24: 279-289.

6- Dry P.R., Loveys B.R., and Duering H. 2000. Partial drying of the root-zone of grape. Transient changes in shoot growth and gas exchange, 39(1): 3-8.

7- English M.J, Musick J.T., and Murty V.V.N. 1990. Deficit irrigation. In: Management of farm irrigation systems (Hoffman G.J., Howell T.A. and Solomon K.H., Editors). ASAE Monograph no. 9. American Society of Agricultural Engineers publisher, 1020p.

8- Esfini Farahani M., Paknejad F., Kashani A., Ardakani M.R., Bakhtiari Moghadam M., and Rezaei M. 2012. Effect of methanol spraying on yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L. Azargol hybrid) under different moisture conditions. Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding, 8(1): 115-126. (In Persian)

9- Eshraghi F., and Ghasemiyan S.D. 2010. Investigating the Economic Productivity of Water in Golestan Province. Journal of Water Research in Agriculture, 26 (3): 317-322. (In Persian)
10- Ghadami Firouzabadi A. 2015. Management of water use and soil moisture changes in full irrigation, regulated deficit irrigation and partial rootzone drying in sunflwer plant. Ph.D. thesis in irrigation and drainage. Irrigation engineering department. Sari agricultural sciences and natural resources university. (In Persian)
11- Gholamhosseini M., Ghalavand A., and Jamshidi E. 2008. The effect of irrigation regimes and fertilizer treatments on grain yield and elements concentration in leaf and grain of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Agronomy and Horticulture, 21(2): 91-100. (In Persian with English abstract)
12- Hamdy A. 2005. Water use efficieny in irrigated agriculture: An analytical review. P 9-20, In Lamadalena N., Shatawi M.R., Todorovic M., Bogliotti C. and Albrizio R. (eds), Procedeengs of 4th WASAMED (Water Saving in Mediterranean agriculture), Water /use Effuciency and Water Productivity, Amman, Jordan.
13- Jabbari H., Akbari Gh.A., Daneshian J., Allahdadi A., and Shahbazian N. 2007. Effects of water stress on agronomic characteristics sunflower hybrids. Agricultural Journal, 9(1): 13-22. (In Persian)
14- Jones H.G. (1992) Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology (2nd ed.). Cambridge: Cambridge university press.
15- Karam F., Masaad R., Sfir T., Mounzer O., and Rouphael Y. 2007. Evapotranspiration and seed yield of field grown soybean under deficit irrigation conditions .Agr. Water Manag .75:226-244.
16- Karandish F., Mirlatifi M., Shahnazari A., Abbasi F. and Gheysari M. 2013. Investigating the effect of partial rootzone drying irrigation and deficit irrigation on water use efficiency and yield and yield components of maize. Iranian Journal of Soil and Water Research, 44(1): 33-44. (In Persian)
17- Karbasi A.R., and NooriTuopkanloo Z. 2008. Analysis the factors influencing on *Cuminum cyminum* production productivity in Khorasan province. Research and development in natural resources: 80, 2-7. (In Persian with English abstract)
18- Karimi Kakhaki M., and Sepehri A. 2000. Effect of low irrigation during reproductive period on water use efficiency and drought tolerance of new sunflower cultivars. Water and soil science, 13, 163-176. (In Persian)
19- KarimzadeAsl Kh., Mazaheri D., and Peighambari S.A. 2003. Effect of four irrigation intervals on the seed yield and quantitive characteristics of three sunflower cultivars. Iranian. Journal of Agriculture Science, 34(2): 293-301. (In Persian with English abstract)
20- Kiani A.R., and Raesi S. 2013. Assessment of water use efficiency in some soybean cultivars under different amount of irrigation. Journal of water and soil conservation, 20 (5): 179-192. (In Persian with English abstract)
21- Liu F., Jensen C.R., and Andersen M.N. 2005. A review of drought adaptation in crop plants: changes in vegetative and reproductive physiology induced by ABA-based chemical signals. Australian Journal of Agricultural Research, 56: 1245-1252.
22- Miri F.S., Shahnazari A., ZiatabarAhmadi M.Kh., and Zebardast Rostami H. 2014. Effect of regulated deficit irrigation and partial rootzone drying on quantitative and qualitative performance of orange fruit. Journal of Horticultural Science, 28(1): 80-86. (In Persian)
23- OhabYazdi S.A., Ahmadi A., and Nikouei A. 2014. Employing Economic Instruments to Increase Water Productivity: A Case Study, Zayandehrood River Basin. Iran-Water Resources Research, 10 (1): 62-71. (In Persian with English abstract)
24- Omidi Ardali Gh., and Bahrani M.J. 2011. Effects of Water Stress, Nitrogen Levels and Application Times on Yield and Yield Components of Sunflower at Different Growth Stages. Journal of Water and Soil Science, 15(55): 199-207. (In Persian)
25- Rahimizadeh M., Kashani A., Zare Fezabady A., Madani H., and Soltani E. 2010. Effect of micronutrient fertilizers on sunflower growth and yield in drought stress condition. Electronic journal of crop production, 3 (1): 57-72. (In Persian with English Abstract)
26- Rezaei Estakhroeih A., Khoshghadam S., Ebrahimi Serizi M., and Badiehneshin A. 2014. Evaluation Yield of Sunflower (Farrokh cultivar) under Effects of Conventional Deficit Irrigation and Partial Root Zone Drying. Journal of Water and Soil, 28(5): 867-875. (In Persian with English abstract)
27- Richard J. D., Louis J.G., and Henry L.A. 1984. Crop production (5th Ed.). London: Englewood Cliffs, Prentice-Hall International.
28- Roshdi M., Heydari Sharifabad H., Karimi M., Nourmohammadi Gh., and Darvish F. 2006. A survey on the impact of water deficiency over the yield of sunflower seed cultivar and its components. Journal of Agricultural Sciences, 12(1): 109-121. (In Persian with English abstract)
29- Sepaskhah A.R., Tavakoli A.R., and Mousavi S.F. 2000. Principles and applications of deficit irrigation. (pp. 1-10). Tehran: Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID). (In Persian)
30- Shahnazari A., Jensen C.R., Liu F., Jacobsen S.E., and Andersen M.N. 2005. Partial root zone drying for water saving. Organized by Kasetsart University and Swiss federal institute of technology (ed.), in: Ikke angivet. Kasetsart University, pp. 75-80.

31- Shubairi S., Ghasemi Golaazani K., Golchin A., and Saba J. 2007. Effect of irrigation water on the phenology and performance of three chickpea cultivars (*Ciecer arietinum* L.). Journal of Agriculture Science, 16(2): 137-147. (In Persian)
32- Siosemardeh A., Ranjbar-balkhkanlou H., Sohrabi Y., and Bahramnejad B. 2011. Evaluation of Grain Yield, Gas Exchange and Source and Sink Limitation in Sunflower under Drought Stress at Different Levels of Defoliation. Iranian Journal of Field Crop Science, 42(3): 585-596. (In Persian)
33- Skoric D. 1992. Achievements and future directions of sunflower breeding. Field Crops Research. 30: 231-270.
34- Viets F.G. 1962. Fertilizers and the efficient use of water. Advances in Agronomy, 14: 223-264.

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 3, Jul.-Agu. 2018, p. 501-516

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۷، ص. ۵۱۶-۵۰۱

# Investigating the Effect of Partial Root Zone Drying (PRD) Deficit Irrigation at Different Irrigation Intervals on Water Use Efficiency and Growth Parameters of Sunflower Plant

**M. Cheraghizade**[1]**- A. Shahnazari**[2*]**- M. Kh. Ziatabar Ahmadi**[3]

Received: 31-01-2018
Accepted: 03-06-2018

**Introduction:** According to the Statistical Center of Iran, the country's population between 1957 and 2017, has increased approximately from 19 people to 80 million. With population growth, the water demand is increased and water resources are threatened cumulatively. Agriculture is recognized as the main water consumer in the country. Due to the arid and semi-arid climate of the country, it is essential to use water reduction strategies such as deficit irrigation (DI) and partial root zone drying (PRD) deficit irrigation in agriculture. In case of water shortages, DI is an optimal solution for production, which is usually accompanied by a reduction in product per unit area. The base of PRD is keeping dry the half of root while irrigating the other half. The plant root in the wet area absorbs enough water. The other part of the root in dry soil, with a reaction to dryness and sending symptoms to the stomata, affects their opening size and reduces water losses. Sunflower is one of the four major oil producing plants in the world. The high volume of this product's import causes the country's strong dependence on oil import and the currency's outflow from the country. Although all living and non-living stresses are considered to be major factors in reducing production, water deficit stress is one of the main factors limiting the production of sunflower; Therefore, studying the reaction of this plant to different drought stress conditions and providing a solution to reduce the negative effects of dryness would be essential.

**Materials and Methods:** The present study was conducted on sunflower plant (Hysun 25) in a research farm of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU) in 27 plots (5 × 5 square meters). Each plot consisted of 6 rows of planting at a distance of 75 cm from each other and 5 meters long. Sunflower seeds were planted at a depth of 4 cm from the soil and at a distance of 20 cm from each other. The experiment was conducted by using split-plot design, with three main factor (irrigation interval) and three sub-factor (irrigation water amount) in randomized complete block design in three replication. The irrigation intervals were irrigation after 20, 35 and 50 mm evaporation from class-A evaporation pan (F-20, F-35 and F-50 respectively). The sub-factor was irrigation water in levels of 100%, 75% and 55% of water demand (FI, PRD-75 and PRD-55 respectively). Controlling the volume of water delivered to each treatment was carried out using a volumetric flow meter. The application of irrigation treatments was carried out six weeks after planting. The irrigation for FI was conducted regularly at both sides of the root and for PRD it alternatively changed at the right and left sides of the root. The studied traits were irrigation water use efficiency (IWUE, kg/m3), height (H, cm), the flower diameter (D, cm), the seeds number per flower (SN), the 1000 seeds weight (W, gr) and the chlorophyll index (SPAD). Statistical analysis of data conducted by SAS software using Duncan test (1% level). Diagrams extracted by Microsoft Excel software.

**Results and Discussion:** Evaluation of irrigation interval factor based on the experiment two years data, indicated that the best results for plant growth parameters was for F-20. Also, the best results for sunflower plant growth parameters was for FI. According to the significant difference between FI and PRD-55 at most of the growth parameters, it's suggested to conduct PRD-75 for PRD. For the irrigation interval factor, there was significant difference for most of the plant growth parameters between F-20 and F-50. Therefore, considering this case as well as the problem of increasing the operating cost by reducing the irrigation interval, F-35 is recommended for irrigation interval. It's concluded that there was significant difference between all of the irrigation interval treatments by analyzing the IWUE trait. The highest amounts was for F-50 and the lowest was for F-20. Despite the increase in the value of IWUE in PRD-75 in comparison with other treatments for each two years of the experiment, this difference was not significant. According to the non-significant difference between F-35 and F-50 for IWUE at the second year of the experiment and this trait relative increase at PRD-75 in

1, 2 and 3- Ph.D. Student of Irrigation and Drainage, Associate Professor and Professor Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Respectively
(*- Corresponding Author Email: aliponh@yahoo.com)

comparison with two other treatments, it's suggested to conduct PRD-75 with F-35 to have higher IWUE.

**Conclusion:** Simultaneous analysis of sunflower's IWUE and its growth parameters showed that it could be possible to save in irrigation water use and increase the IWUE with the lowest decrease in the sunflower plant growth parameters by applying PRD-75 and F-35.

**Keywords:** Mazandaran, Optimal Production, Saving, Sunflower, Water stress