

## تغییرات شاخص کلروفیل، شاخص سطح برگ و پارامترهای ریشه گیاه آفتابگردان در کم-آبیاری تنظیم شده و کم آبیاری ناقص ریشه

### Variation of Chlorophyll, Leaf Area Index and Root Parameters of Sunflower Under, Regulated Deficit and Partial Root Zone Drying Irrigation

علی قدمی فیروزآبادی<sup>۱\*</sup>، محمود رائینی<sup>۲</sup>، علی شاه نظری<sup>۳</sup> و حمید زارع ابیانه<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۸/۱۴

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۱۷

#### چکیده

آب از مهم ترین عوامل تولید محصولات کشاورزی در سرتاسر جهان است. کمبود آب کشاورزی لزوم استفاده از کم آبیاری را نمایان می سازد. از طرفی کم آبیاری به عنوان یک عامل محدودکننده رشد، خصوصیات فیزیولوژیک گیاهان را تحت تأثیر قرار می دهد. این تحقیق به منظور بررسی تأثیر کم آبیاری بر شاخص کلروفیل، شاخص سطح برگ و پارامترهای ریشه در پنج تیمار آبیاری قطره ای شامل آبیاری کامل (۱۰۰ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک)، کم آبیاری تنظیم شده (DI<sub>55</sub> و DI<sub>75</sub>) و آبیاری ناقص ریشه (PRD<sub>75</sub>) و PRD<sub>55</sub>) در حد ۷۵ و ۵۵ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک در مزرعه پژوهشی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری طی سال ۱۳۹۱ در سه تکرار انجام شد. نتایج تحقیق نشان داد که تنش های ملایم و شدید خشکی، به ترتیب باعث افزایش و کاهش شاخص کلروفیل (SPAD) شدند. بیشترین شاخص سطح برگ در پایان فصل رشد مربوط به تیمار آبیاری کامل با ۶/۴ بود که با تیمار PRD<sub>75</sub> تفاوت معنی داری نداشت. تیمار کم آبیاری ناقص ریشه و تیمار کم آبیاری تنظیم شده در سطح ۷۵ درصد بیشترین حجم، سطح و طول ریشه را به خود اختصاص داده بود. که این امر به دلیل افزایش ریشه های ثانویه در این تیمارها نسبت به تیمار آبیاری کامل می باشد. بنابراین تیمار PRD<sub>75</sub> ضمن صرفه جویی در مصرف آب، با توسعه یک سیستم مناسب ریشه و برگ، امکان استفاده بهتر از رطوبت موجود در خاک و نور خورشید را علی رغم اعمال تنش رطوبتی فراهم می آورد و راهکار مناسبی برای سازگاری با معضل بحران آب و در نتیجه نیل به یک کشاورزی پایدار محسوب می گردد.

واژه های کلیدی: آفتابگردان، تنش خشکی، شاخص کلروفیل، ریشه

۱. دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی گروه مهندسی آب دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

۲. دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

۳. استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

۴. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، همدان

Email: Aghadami@gmail.com

\*: نویسنده مسئول

دهد بلکه سرعت رشد و ظهور هر برگ را نیز به تأخیر می‌اندازد.

کاهش سطح برگ می‌تواند اولین خط دفاعی برای مقابله با خشکی باشد. گویتا<sup>۸</sup> و همکاران (1995) گزارش نمودند که گیاه به لحاظ تنش خشکی، سرعت رشد خود را کاهش داده و مقدار برگ و شاخه در بوته نیز کاهش می‌یابد و گیاه زودتر مرحله گلدهی خود را شروع می‌نماید. تورک و هال<sup>۹</sup> (1998) گزارش نمودند که تحت شرایط تنش رطوبتی، تنظیم سطح برگ گیاه از طریق کاهش اندازه برگ، کاهش تعداد برگ و کاهش سرعت توسعه برگ انجام می‌گیرد. (پاگتور<sup>۱۰</sup> و همکاران، 2005) در مطالعه‌ای به این نتیجه رسیدند که تنش آبی، شاخص سطح برگ را به دلیل کاهش اندازه و تولید برگ‌های جدید و افزایش ریزش آنها کاهش می‌دهد و چنین نتیجه‌گیری شده است که تولید و گسترش برگ به تنش کم آبی خیلی حساس می‌باشد و بنابراین در اثر تنش آبی شاخص سطح برگ کاهش می‌یابد. شاهنظری<sup>۱۱</sup> و همکاران (2007) گزارش نمودند که اعمال تیمار آبیاری ناقص ریشه موجب کاهش سطح برگ در طول فصل رشد می‌شود، اما مقادیر شاخص سطح برگ در آخرین برداشت در انتهای فصل رشد تا حدی بالاتر از مقادیر آن در تیمار آبیاری کامل بوده است. یازار<sup>۱۲</sup> و همکاران (2009) در تحقیقی به این نتیجه رسید که اعمال تیمار آبیاری ناقص ریشه تا ۵۰ درصد کاهش سطح آب آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل، موجب اختلاف معنی‌داری در مقادیر شاخص سطح برگ می‌شود. از طرفی الگوی توسعه ریشه گیاه در توده خاک تحت تاثیر مدیریت آبیاری قرار می‌گیرد و رفتار اندام هوایی گیاه تا حد زیادی بازتابی از الگوی توسعه ریشه گیاه می‌باشد. فعالیت و توسعه ریشه در مراحل مختلف رشد و نمو گیاه برای جذب آب و مواد غذایی در تولید محصول مهم و حیاتی می‌باشد (منگل<sup>۱۳</sup>، 1983؛ لایوسکی<sup>۱۴</sup> و همکاران، 1998). در تحقیقی که توسط یان<sup>۱۵</sup> و همکاران (2001) انجام گرفت، اثر مدیریت آبیاری بر اساس ارتباط ریشه با جوانه گیاه در ذرت مورد بررسی قرار گرفت. پروفیل خاک به سه قسمت تقسیم و ریشه‌ها در چهار مرحله مختلف رشد، مورد بررسی قرار گرفتند. تیمارها مورد بررسی شامل: مدیریت براساس نیاز آبی گیاه، آبیاری

تنش‌های محیطی زیادی طی رشد گیاهان وجود دارند و اثرات آنها بر رشد، عملکرد و متابولیسم گیاه بسته به مرحله رشد گیاه و درجه حساسیت گیاه متفاوت است. میزان فتوسنتز و کلروفیل برگ گیاه تحت تاثیر تنش خشکی گیاه قرار می‌گیرد. دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش از جمله شاخص‌های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش است (پساراکلی<sup>۱</sup>، 1999). تنش آبی باعث تولید اکسیژن فعال همراه با کاهش و تجزیه کلروفیل می‌شود. رنگیزه‌های موجود در کلروپلاست تحت تاثیر تنش قرار گرفته به طوری که تنش خشکی باعث کاهش مقدار کلروفیل می‌گردد. میهالوویک و لازاریویک<sup>۲</sup> (1977) کاهش غلظت کلروفیل در شرایط تنش خشکی را به افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌لاز نسبت دادند. بعضی گزارش‌ها بیان‌کننده افزایش میزان کلروفیل با افزایش تنش رطوبتی (باراکلوف و کت<sup>۳</sup>، 2001) و بعضی نشان‌دهنده کاهش غلظت کلروفیل در شرایط تنش رطوبتی است (کافی و رستمی، ۱۳۸۶). در گندم زمستانه افزایش شاخص کلروفیل با بروز تنش خشکی نیز دیده شده که احتمالاً به علت کاهش سطح برگ و تجمع کمتر کلروفیل در سطح برگ می‌باشد (باراکلوف و کت، 2001). کافی و رستمی (۱۳۸۶) بیان داشتند که تنش ملایم و شدید خشکی به ترتیب باعث افزایش و کاهش عدد کلروفیل‌متر می‌شود. عدد کلروفیل‌متر به زمان نمونه‌برداری و نحوه اعمال تنش خشکی نیز بستگی دارد. نتایج اندازه‌گیری میزان کلروفیل در زمانی که میزان آن حداکثر است، با زمان‌های قبل و بعد از آن متفاوت است (امان و دونلی<sup>۴</sup>، 1999). گزارش‌هایی در رابطه با واکنش متفاوت (کاستریلو و کالکرگو<sup>۵</sup>، 1989 و فایر<sup>۶</sup> و همکاران، 1994) و یا عدم تفاوت (موحدی-دهنوی و همکاران، ۱۳۸۳) کلروفیل به خشکی در ارقام حساس و مقاوم به خشکی گیاهان زراعی ارایه شده است. تنش آبی علاوه بر میزان کلروفیل، سطح برگ و میزان توسعه ریشه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. نسیمیت و ریچی<sup>۷</sup> (1992) در تحقیقی روی گیاه ذرت به این نتیجه رسیدند که اعمال تنش آبی در دوره قبل از گرده‌افشانی نه تنها سطح هر برگ را کاهش می-

8. Gupta  
9. Turk and Hall  
10. Pagter  
11. Shahnazari  
12. Yazar  
13. Mengel  
14. Laboski  
15. Yan

1. Pessaraki  
2. Mihalovic and Lazarevic  
3. Barraclough and Kate  
4. Ommen and Donnelly  
5. Castrillo, and Calcargo  
6. Foyer  
7. Nesmith and Ritchie

نوع تیمار مورد بررسی در هر بار آبیاری در اختیار گیاه قرار گرفت.

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

که در آن،  $\theta_{Fci}$  درصد رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی،  $\theta_{li}$  درصد رطوبت وزنی خاک پیش از آبیاری،  $D_i$  عمق توسعه ریشه (cm) و  $Bd_i$  چگالی خاک ( $\text{gr.cm}^{-3}$ ) می‌باشد. روش آبیاری در این تحقیق، آبیاری قطره‌ای سطحی (TAPE) به فاصله قطره‌چکان ۲۰ سانتی‌متر بود. در تمام تیمارهای آبی از دو لوله جانبی در دو سوی ردیف‌های کشت جهت انجام آبیاری استفاده شد. طول ردیف‌های کاشت ۱۰ متر و فاصله ردیف‌های کشت ۷۵ سانتی‌متر منظور شد. مقدار رطوبت خاک با استفاده از رطوبت‌سنج الکترومغناطیس (TDR- Decagon 10HS) به صورت روزانه سنجیده شد. اعمال تیمارهای آبیاری ۴۰ روز بعد از انجام کشت شروع شد. میزان مصرف کود با توجه به آزمایش خاک، ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات‌تریپل و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم بود. ۱۰ روز پس از شروع اعمال تیمار آبیاری میزان کلروفیل، طی چهار مرحله با فواصل زمانی ۱۰ روزه با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر دستی (Minolta SPAD-502) اندازه‌گیری شد.

به منظور بررسی روند تغییرات شاخص سطح برگ ابتدا یک رابطه بین بیشترین طول، بیشترین عرض و مساحت هر برگ ارائه شد (رابطه ۲). این رابطه با جمع‌آوری برگ‌های منفرد، اندازه‌گیری مساحت هر برگ در فواصل زمانی مختلف و کالیبره نمودن معادلات متعدد برای محاسبه سطح برگ حاصل شد. سپس ۱۰ روز بعد از شروع اعمال تیمار آبی به فواصل زمانی ۱۰ روزه، در تیمارها و تکرارهای مختلف نمونه‌های گیاهی انتخاب، کف‌بر و به آزمایشگاه منتقل شد. مساحت هر برگ توسط رابطه (۲) محاسبه و در نهایت مجموع مساحت برگ‌های هر گیاه اندازه‌گیری شد. با در دست داشتن سطح زمین اختصاص یافته به هر گیاه ( $75\text{cm} \times 20\text{cm}$ )، مقدار شاخص سطح برگ با استفاده از رابطه (۳) برآورد شد.

$$LA = 0.619 [(L.W)^{0.5}]^{2.019} \quad R^2 = 0.993 \quad (2)$$

$$RMSE = 0.06 \text{ cm}$$

$$LAI = \frac{A_{Leaves}}{A_{Plant}} \quad (3)$$

که در روابط فوق: LA مساحت هر برگ (سانتی‌متر مربع)، L ماکزیمم طول (cm)، W ماکزیمم عرض (cm)، LAI شاخص سطح برگ (بدون بعد)،  $A_{Laeves}$  مجموع مساحت برگ‌های هر

مکرر پس از کاشت با کم آبیاری در هر بار و آبیاری قبل از کاشت با همان مقدار آب بود. نتایج نشان داد که آبیاری مکرر با مقدار کم آبیاری در هر بار، در پروفیل خاک بالایی منجر به کاهش کارایی آب می‌شود، در حالی که فراهم کردن آب قبل از کاشت با همان مقدار آب کاربردی می‌تواند مقدار کافی آب را در لایه‌های عمیق فراهم کند و کارایی آب را بدون کاهش در عملکرد افزایش می‌دهد.

توزیع ریشه و تأثیر شاخص ریشه روی تولید ماده خشک و توزیع آن در اندام‌های مختلف، نقش مهمی را در افزایش کارایی آب ایفا می‌کند، تحقیقات *راسل*<sup>۱</sup> و همکاران (1977) نشان داد که تحت شرایط مزرعه‌ای تغییر در مقدار آب خاک عمده‌ترین دلیل توزیع متفاوت ریشه‌ها است. لایوسکی و همکاران (1998) بیان کردند وقتی توزیع ریشه توسط عوامل دیگر محدود نشود، مقدار رطوبت خاک عمق ریشه دوانی را کنترل می‌کند. به عقیده این محققان مقدار کافی رطوبت در ناحیه ریشه، عامل مهمی برای استفاده کارآمد از عناصر غذایی موجود به‌شمار می‌آید (رضایی و همکاران، ۱۳۹۰). بنابراین، تحقیق و بررسی عوامل محیطی که باعث می‌گردند تا الگوی توسعه ریشه در مراحل مختلف رشدونمو تغییر پیدا کند و به تبع آن اندام هوایی گیاه نیز در این مراحل دستخوش تغییراتی گردند، لازم و ضروری می‌باشد. این تحقیق به منظور بررسی کم آبیاری تنظیم شده و کم آبیاری ناقص ریشه<sup>۲</sup> بر تغییرات میزان شاخص کلروفیل، شاخص سطح برگ و پارامترهای ریشه گیاه آفتابگردان انجام گرفته است.

## مواد و روش

این پژوهش در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، در سال ۱۳۹۱ روی گیاه آفتابگردان رقم آذرگل انجام شد. طول و عرض جغرافیایی منطقه به ترتیب  $53/04$  درجه شرقی و  $36/39$  درجه شمالی می‌باشد. طبق آمار هواشناسی موجود، متوسط بارندگی منطقه  $673$  میلی‌متر و متوسط، حداقل و حداکثر دمای هوا به ترتیب  $17/3$ ،  $-6$  و  $38/9$  درجه سانتی‌گراد است. بافت خاک مزرعه لوم رسی بود. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار آبی، آبیاری کامل، کم آبیاری تنظیم شده و کم آبیاری خشکی ناحیه ریشه در دو سطح  $55$  و  $75$ ٪ نیاز آبی در سه تکرار انجام شد. نیاز آبیاری ( $D_n$ )، با استفاده از رابطه (۱) تعیین و بسته به

1. Russel
2. partial root zone irrigation

گیاه (سانتی متر مربع) و  $A_{plant}$ ، سطح زمین اختصاص یافته به هر گیاه (سانتی متر مربع) می‌باشد. در پایان فصل زراعی، بعد از خارج شدن ریشه‌ها از خاک وزن تر و وزن خشک ریشه اندازه‌گیری شد. حجم ریشه‌ها مستقیماً از جابجایی حجم آب در ظروف مدرج پس از وارد کردن ریشه‌های شسته شده محاسبه شد (قانون ارشمیدس). طول ریشه نیز با استفاده از رابطه ۴ محاسبه گردید (علیزاده، ۱۳۸۴).

$$L = W \times 0.89 \quad (4)$$

که در آن،  $L$  طول ریشه‌ها (cm) و  $W$  وزن ریشه‌ها به (mg) برای اندازه‌گیری سطح ریشه از روش اتکینسون (رابطه ۵) استفاده شد (علیزاده، ۱۳۸۴).

$$A = 2\{[V] \times \pi \times [L]\}^{0.5} \quad (4)$$

که در آن:  $A$  سطح ریشه‌ها ( $cm^2$ )،  $V$  حجم ریشه‌ها ( $cm^3$ ) و  $L$  طول ریشه‌ها (cm)

از نرم‌افزار SPSS برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۱٪ انجام گرفت.

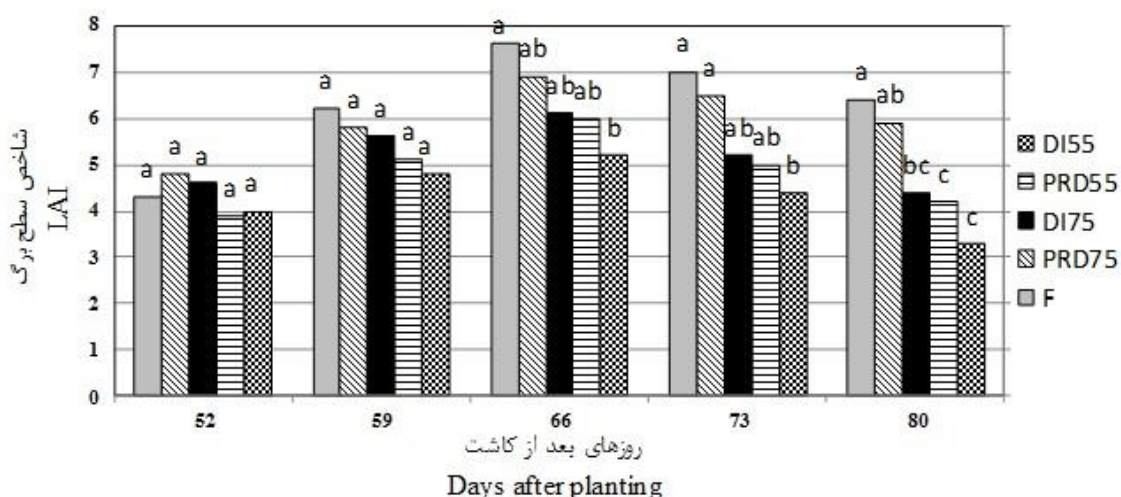
## نتایج و بحث

اندازه‌گیری شاخص کلروفیل (اسپد) طی چهار مرحله و یک هفته بعد از اعمال تیمار آبیاری شروع شد. در مرحله اول اندازه‌گیری تفاوت بین تیمارها از نظر شاخص کلروفیل در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. میزان شاخص کلروفیل در تیمارهای تحت تنش افزایش یافت که این افزایش در عدد کلروفیل‌متر ناشی از تنش ملایم خشکی اعمال شده به گیاهان بود، اما تیمار آبیاری کامل در یک گروه آماری مجزا قرار گرفت (جدول ۱). در مرحله دوم اندازه‌گیری (۱۷ روز بعد از اعمال تنش آبیاری)، بیشترین میزان اسپد مربوط به تیمار  $PRD_{75}$  بود، که با تیمارهای آبیاری کامل و  $DI_{75}$  در یک گروه آماری قرار گرفتند و تیمار  $DI_{55}$  کمترین میزان اسپد را به خود اختصاص داد. زیرا در این تیمار به‌علت تداوم میزان تنش، تنش از مرحله ملایم وارد مرحله تنش شدید شده که به‌نظر می‌رسد تحت این شرایط کاهش در غلظت کلروفیل علاوه بر کاهش میزان سنتز ناشی از تجزیه کلروفیل در اثر افزایش در میزان کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی باشد (حمیدی و سی و سه مرده<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵ و آنتولین و همکاران<sup>۲</sup>، ۱۹۹۵) می‌توان گفت که تنش آبی تا حدی سبب افزایش میزان اسپد شده و از حدی بیشتر باعث کاهش میزان اسپد می‌گردد. در مرحله چهارم و

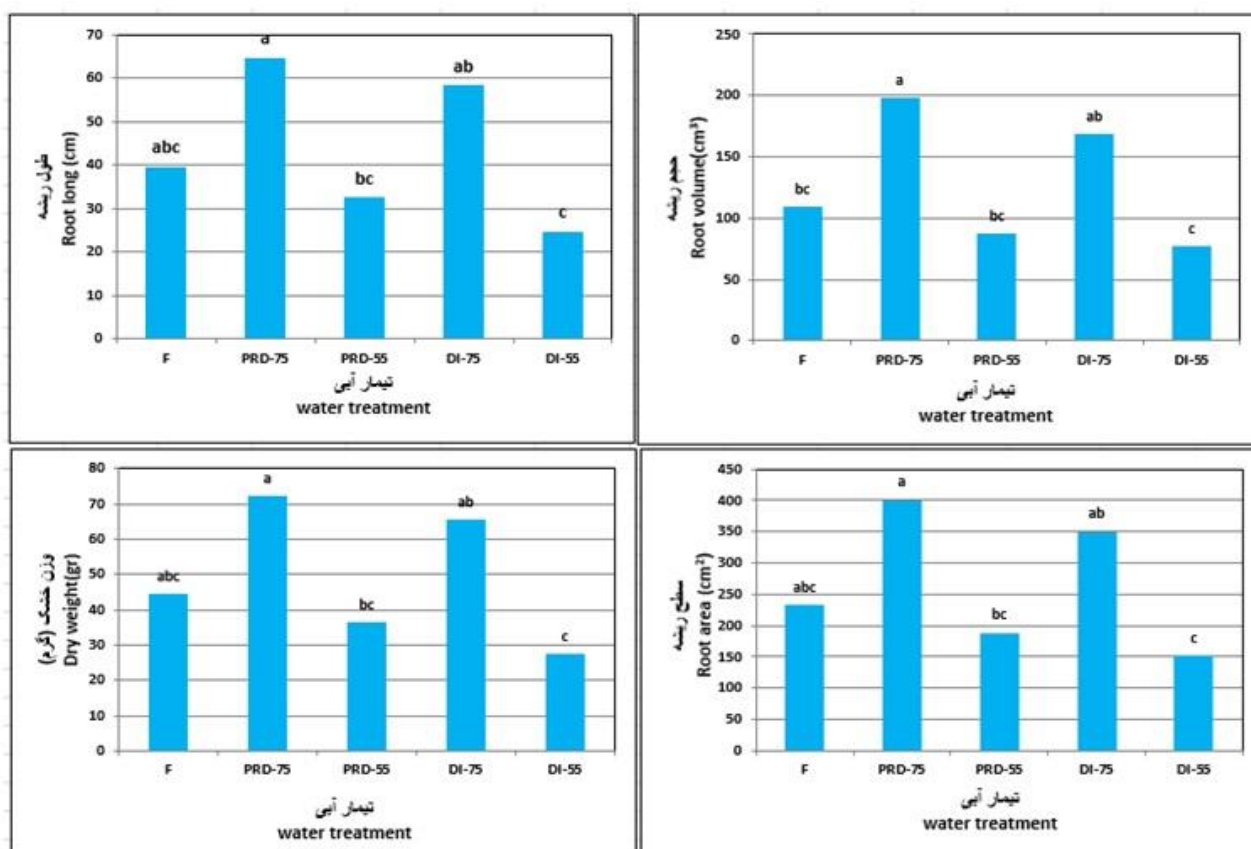
پنجم (۲۷ و ۳۷ روز بعد از شروع تیمار آبیاری)، بیشترین میزان اسپد مربوط به تیمارهای آبیاری کامل و  $PRD_{75}$  و  $DI_{75}$  درصد بود که در یک گروه آماری مجزا قرار گرفتند اما کمترین میزان اسپد متعلق به تیمار  $DI_{55}$  درصد بود و در یک گروه آماری مجزا قرار گرفت. زیرا همان‌گونه که اشاره شد تنش ملایم و شدید خشکی به‌ترتیب باعث افزایش و کاهش عدد کلروفیل‌متر می‌شوند، آنتولین و همکاران (۱۹۹۵) گزارش کردند که با افزایش تنش خشکی میزان کلروفیل برگ کاهش ولی نسبت کلروفیل  $a$  به  $b$  افزایش می‌یابد. گزارش شده است که افزایش این نسبت موجب تیره شدن برگ‌ها و افزایش عدد کلروفیل‌متر خواهد شد (می‌هالوویک و لازارویک، ۱۹۷۷). اگر چه به‌صورت طبیعی نیز در مراحل انتهایی رشد، میزان کلروفیل برگ کاهش یافت اما تنش خشکی باعث تسریع این روند شد (جدول ۱).

## شاخص سطح برگ

اندازه‌گیری شاخص سطح برگ نیز طی پنج مرحله و به فواصل هفت روزه انجام شد، که میزان شاخص سطح برگ در مرحله یک و دوم با وجود روند افزایشی تفاوت معنی‌داری نداشت، اما از مرحله سوم به بعد تفاوت بین تیمارها معنی‌دار گردید و در مرحله سوم به بعد روند تغییرات شاخص سطح برگ کاهشی بود (شکل ۱). صرف‌نظر از نوع تیمار، روند تغییرات شاخص سطح برگ ابتدا صعودی بوده و در ادامه روند نزولی خود را آغاز نمود، سیر نزولی شاخص سطح برگ در تیمارهای کم آبیاری تنظیم شده زودتر از تیمارهای کم آبیاری ناقص ریشه و آبیاری کامل شروع شد. علت این امر می‌تواند ناشی از پیری زودرس برگ‌ها به‌واسطه کمبودهای ناشی از کم آبیاری یا تنش خشکی باشد. در مرحله پایانی، بیشترین میزان شاخص سطح برگ مربوط به تیمار آبیاری کامل بود، که با تیمار آبیاری  $PRD_{75}$  درصد در یک گروه آماری قرار گرفته است (جدول ۳). به‌طور میانگین اختلاف بین تیمار  $PRD_{75}$  درصد و تیمار  $F$  از نظر شاخص سطح برگ تفاوتی معنی‌دار نبوده و در یک گروه آماری قرار گرفتند. همچنین نتایج نشان داد که بین دو تیمار  $PRD_{75}$  و  $DI_{75}$  از نظر میانگین شاخص سطح برگ تفاوت معنی‌دار نبود. شکل ۱ نشان می‌دهد اگرچه اعمال آبیاری ناقص ریشه نیز باعث کاهش سطح برگ شده است، با این وجود روند تغییرات شاخص سطح برگ در تیمار  $PRD_{75}$  مشابه تیمار  $FI$  بوده و باختلاف کمتری از آن نسبت به سایر تیمارها تغییر می‌کند.



شکل ۱: روند تغییرات شاخص سطح برگ در تیمارهای مختلف آبی  
 Fig 1: Changes in the leaf area index in different water Regimes



شکل ۲: اثر تیمارهای مختلف آبی بر صفات کمی ریشه آفتابگردان در پایان فصل  
 Fig. 2: Effect of different water regimes on quantitative characteristics of root

گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۲). رشد برگ اولین فرآیندی است که به کمبود آب واکنش نشان داده و کاهش می‌یابد. تنش رطوبتی در طول دوره رشد رویشی منجر به کوچک شدن برگ‌ها و ریزش آنها شده و شاخص سطح برگ گیاه را کاهش می‌دهد پاکتور و همکاران (2005). نسیمیت و ریچی (1992)، با اعمال تنش آب در دوره قبل از گرده‌افشانی ذرت مشاهده

نتایج همچنین نشان داد که مقادیر شاخص سطح برگ در تیمارهای کم‌آبیاری ناقص ریشه در مقایسه با تیمارهای کم-آبیاری تنظیم شده بالاتر بود. این نتایج تمایز این دو شیوه آبیاری را به اثبات می‌رساند و با یافته‌های یازرو همکاران (2009) مطابقت دارد. کمترین میزان شاخص سطح برگ مربوط به تیمار DI<sub>55</sub> بود که با تیمارهای PRD<sub>55</sub> و DI<sub>75</sub> در یک

نمودند که در زمان تنش، نه تنها سطح هر برگ کاهش می‌یابد بلکه سرعت رشد آن نیز تحت تأثیر و ظهور هر برگ به تأخیر می‌افتد. شاهنظری و همکاران (2007) گزارش نموده‌اند که اعمال تیمار آبیاری ناقص ریشه موجب کاهش سطح برگ در طول فصل رشد می‌شود، اما مقادیر شاخص سطح برگ در آخرین برداشت در انتهای فصل رشد تا حدی بالاتر از مقادیر آن در تیمار آبیاری کامل بوده است. کاهش سطح برگ در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه یک عکس‌العمل فیزیولوژیکی مهم به شرایط تنش رطوبتی در بخش خشک ریشه می‌باشد که به دلیل تولید ABA<sup>1</sup> در ریشه و انتقال آن به اندام هوایی به وجود آمده است. در مقابله با اثرات منفی کاهش سطح برگ، گیاه روزنه‌های خود را به‌طور نسبی بسته و زمینه لازم برای حفظ فتوسنتز و در نتیجه عدم کاهش معنی‌دار محصول را فراهم می‌آورد (دیویس<sup>2</sup> و همکاران، 2004). دیویس و هارتونگ<sup>3</sup> (2002) گزارش نمودند که کاهش سطح برگ موجب کاهش ترقق و در نتیجه حفظ آب جذب شده از خاک در گیاه و حفظ شادابی گیاه می‌شود.

### ریشه

نتایج تجزیه آماری نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف آبی بر حجم، وزن خشک، طول و سطح ریشه در سطح آماری ۱٪ معنی‌دار شد. بیشترین حجم ریشه مربوط به تیمار PRD<sub>75</sub> درصد و ۱۹۸/۸ سانتی‌متر مکعب بود که با تیمار DI<sub>75</sub> درصد در یک گروه آماری قرار گرفته است. افزایش حجم ریشه در تیمار آبیاری ناقص ریشه در مقایسه با تیمار آبیاری کامل در نتایج مطالعات درای و لوئیس<sup>4</sup> و همکاران (2000) نیز گزارش شده است. لیانگ<sup>5</sup> و همکاران (1996) علت بالاتر بودن حجم ریشه در تیمار آبیاری ناقص ریشه را تولید ریشه‌های ثانویه به دلیل خشک و تر نمودن متناوب منطقه ریشه بیان داشته‌اند. کمترین حجم ریشه، ۷۶/۶۷ سانتی‌متر مکعب است و به تیمار DI<sub>55</sub> درصد تعلق داشت. بیشترین طول ریشه و سطح ریشه نیز مربوط به تیمار PRD<sub>75</sub> و تیمار DI<sub>75</sub> درصد است، ولی تفاوت بین تیمار PRD<sub>55</sub> درصد و تیمار DI<sub>75</sub> درصد معنی‌دار نبوده و در یک گروه آماری قرار گرفتند. افزایش طول ریشه در تیمار PRD<sub>75</sub> و تیمار PRD<sub>55</sub> به دلیل افزایش ریشه‌های ثانویه نسبت به تیمار FI می‌باشد که با نتایج لیانگ<sup>5</sup> و همکاران (1996)

1. Abscisic Acid
2. Davies
3. Davies and Hartung
4. Loveys
5. Liang

مطابقت دارد. بیشترین سطح ریشه نیز مربوط به تیمار PRD<sub>75</sub> است، و بعد از آن تیمارهای آبیاری کامل و PRD<sub>55</sub> و تیمار DI<sub>75</sub> درصد قرار دارند. درای و لوئیس نیز افزایش تراکم ریشه در لایه‌های عمیق‌تر و سیستم ریشه بزرگ‌تر را تحت شرایط آبیاری PRD نتیجه گرفتند. بدین ترتیب می‌توان بزرگ‌تر بودن طول ریشه تحت روش آبیاری PRD را نسبت به آبیاری FI توجیه نمود. از طرفی نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که کمترین وزن خشک، سطح، طول و حجم ریشه مربوط به تیمار DI<sub>55</sub> درصد است کاهش رشد در این تیمار ممکن است به علت از دست رفتن اتساع سلولی و کاهش فعالیت میتوزی یا مهار طولی شدن سلول‌ها باشد (شاه و همکاران<sup>6</sup>، 2008). به‌طور خلاصه می‌توان گفت که گیاه آفتابگردان واکنش‌های متفاوتی نسبت به اعمال تنش آبی دارد. به‌طوری‌که تیمار PRD<sub>75</sub> و DI<sub>75</sub> درصد بیشترین پارامترهای ریشه از جمله سطح، طول و حجم ریشه را به خود اختصاص داده‌اند در حالی که تیمارهای PRD<sub>55</sub> و DI<sub>55</sub> درصد کمترین این صفات را به خود اختصاص داده‌اند. تیمارهایی که از تنش آبی کمتری برخوردار بودند دارای ریشه‌هایی بلندتر و حجیم‌تر بودند. به‌مین ترتیب تیمارهای برخوردار از تنش آبی بالاتر، ریشه‌هایی کوتاه‌تر با حجم کمتر داشتند (جدول ۲). گسترش سیستم ریشه از نظر طولی و عرضی می‌تواند بر جذب آب و مواد غذایی تأثیرگذار باشد. موارد مشابهی از متفاوت بودن گسترش سیستم ریشه برای بعضی از گیاهان نظیر کلزا و فلفل گزارش شده است (صادقی و همکاران، ۱۳۹۰ و مردانی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲). به‌عبارت دیگر تنش زیاد آبی باعث کاهش فاکتورهای ریشه از جمله وزن، طول، سطح و حجم ریشه شده است.

### عملکرد دانه، عملکرد توده زنده گیاهی

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه آماری، اثر تیمارهای آبیاری بر عملکرد دانه و عملکرد توده زنده آفتابگردان در سطح یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین مقدار عملکرد دانه و عملکرد توده زنده مربوط به تیمار آبیاری کامل و به‌ترتیب برابر با ۵۳۱۳ و ۲۰۷۴۰ کیلوگرم در هکتار بود که با تیمار آبیاری PRD<sub>75</sub> تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). میزان عملکرد دانه برای دو تیمار PRD<sub>55</sub> و DI<sub>55</sub> به‌ترتیب برابر با ۳۲۸۳ و ۲۹۳۱ کیلوگرم در هکتار بود، که در یک گروه آماری قرار گرفته‌اند. کمترین عملکرد توده زنده مربوط به تیمار DI<sub>55</sub> بود که با تیمار PRD<sub>75</sub> و PRD<sub>55</sub> در یک گروه آماری قرار گرفته‌اند (جدول ۳).

6. Shah

سطح برگ و شاخص سطح برگ به عنوان مهم ترین مؤلفه های فیزیولوژیکی گیاه در تیمارها آبیاری PRD<sub>75</sub> درصد و تیمار آبیاری F معنی دار نبود. نتایج این پژوهش، فرضیه های حاکم بر آبیاری ناقص ریشه مبنی بر تراکم ریشه به دلیل آبیاری مجدد بخش خشک خاک و افزایش میزان جذب آب به وسیله گیاه، در مقایسه با کم آبیاری معمولی و جبران کمبودهای ناشی از آبیاری کامل را به اثبات رسانید. لذا با در نظر گرفتن مسائل مربوط به کمبود آب می توان تیمار آبیاری PRD<sub>75</sub> درصد را به عنوان تیمار برتر و راهکار مناسب برای مقابله با معضل بحران آب، جهت نیل به یک سیستم کشاورزی پایدار توصیه نمود. با این وجود تکرار این پژوهش برای سایر محصولات کشاورزی و در دیگر اقلیم ها به منظور تعیین حد بهینه کاهش مقدار آب مصرفی، ما را به نتایج مطمئن تری رهنمون می سازد.

به طور کلی با کاهش میزان آب داده شده عملکرد دانه کاهش محسوسی را نشان می دهد. با کاهش مقدار آب آبیاری، عملکرد دانه به طور معنی داری کاهش یافت که می تواند ناشی از تأثیر تنش رطوبتی بر اجزاء عملکرد گیاه آفتابگردان باشد. کاهش عملکرد دانه در شرایط آبیاری محدود را می توان به کاهش طول دوره رشد و کاهش وزن و تعداد دانه های طبق نسبت داد. که با نتایج فرز<sup>۱</sup> و همکاران (1986)، پانکویچ<sup>۲</sup> و همکاران (1999) سازگاری دارد. مصرف مناسب آب در تیمار آبیاری معمولی منجر به افزایش فعالیت برگ ها و به دنبال آن افزایش فتوسنتز و تولید مواد غذایی گردید و در نتیجه وزن توده زنده گیاهی افزایش می یابد. در صورتی که بروز تنش خشکی از طریق کاهش سطح برگ ها و ریزش آنها منجر به کاهش منبع فتوسنتزی و افت فعالیت آنزیم های مؤثر بر این فرآیند می گردد. و در نتیجه وزن توده زنده گیاهی کاهش می یابد. ترنر<sup>۳</sup> و همکاران (1987) نیز در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که کمبود آب در آفتابگردان وزن خشک برگ ها، ساقه و ریشه را کاهش می دهد و باعث کاهش کل وزن خشک گیاه و کند شدن روند رشد می گردد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که علت عملکرد مطلوب دانه در تیمار آبیاری FI و PRD<sub>75</sub>، تخصیص بهتر و بیشتر مواد فتوسنتزی به نفع مرحله زایشی و پر شدن دانه می باشد. لذا علت کاهش عملکرد، بر اثر تنش خشکی را می توان چنین بیان نمود که رژیم آبیاری نامطلوب، ضمن کاهش سطح برگ ها و مقدار فتوسنتز، پیری برگ ها را سرعت بخشیده و میزان تولید را کاهش می دهد.

### نتیجه گیری

با توجه به نتایج این تحقیق می توان اذعان داشت که تیمار آبیاری PRD<sub>75</sub> درصد ضمن صرفه جویی در مصرف آب با توسعه یک سیستم مناسب برگ و ریشه، امکان استفاده بهتر از انرژی خورشید و رطوبت موجود در خاک را علی رغم اعمال تنش رطوبتی فراهم می سازد. به عبارت دیگر اعمال تیمار آبیاری ناقص موجب افزایش مؤلفه های مختلف اندام هوایی و زیرزمینی گیاه آفتابگردان در مقایسه با تیمارهای کم آبیاری معمولی گردید. هم چنین افزایش میزان جذب آب از لایه های مختلف خاک در تیمار آبیاری ناقص ریشه، موجب جبران افت های ناشی از عدم فراهمی آب می گردد. با این وجود، بین میانگین

1. Freres
2. Pankovic
3. Turner

جدول ۱: مقایسه میانگین شاخص کلروفیل (اسپد) در تیمارهای مختلف آبیاری

Table 1: Mean analysis of chlorophyll index in different irrigation treatments

تیمار - Treatment	مرحله ۱ (Stage 1)	مرحله ۲ (Stage 2)	مرحله ۳ (Stage 3)	مرحله ۴ (Stage 4)
F	30.9 <sup>b</sup>	33.8 <sup>ab</sup>	32.7 <sup>a</sup>	28.8 <sup>a</sup>
PRD <sub>75</sub>	33.6 <sup>a</sup>	35.1 <sup>a</sup>	31.2 <sup>ab</sup>	28.1 <sup>a</sup>
DI <sub>75</sub>	32.8 <sup>a</sup>	34.1 <sup>ab</sup>	29.3 <sup>ab</sup>	27.2 <sup>b</sup>
PRD <sub>55</sub>	33.9 <sup>a</sup>	32.8 <sup>bc</sup>	28.3 <sup>ab</sup>	26.8 <sup>bc</sup>
DI <sub>55</sub>	33.7 <sup>a</sup>	31.7 <sup>c</sup>	27.4 <sup>b</sup>	26.3 <sup>c</sup>

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار بین تیمارهای مختلف در سطح احتمال ۱٪  
Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 1% probability level

جدول ۲: تغییرات شاخص سطح برگ در تیمارهای مختلف آبی و در مراحل مختلف

Table 2: Variation of leaf area index at different water regimes at different stages

تیمار	مرحله ۱ (Stage 1)	مرحله ۲ (Stage 2)	مرحله ۳ (Stage 3)	مرحله ۴ (Stage 4)	مرحله ۵ (Stage 5)	میانگین Average
F	4.3 <sup>a</sup>	6.2 <sup>a</sup>	7.6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	6.4 <sup>a</sup>	6.3 <sup>a</sup>
PRD <sub>75</sub>	4.8 <sup>a</sup>	5.8 <sup>a</sup>	6.9 <sup>ab</sup>	6.5 <sup>a</sup>	5.9 <sup>ab</sup>	5.98 <sup>ab</sup>
DI <sub>75</sub>	4.6 <sup>a</sup>	5.6 <sup>a</sup>	6.1 <sup>ab</sup>	5.2 <sup>ab</sup>	4.4 <sup>bc</sup>	5.18 <sup>bc</sup>
PRD <sub>55</sub>	3.9 <sup>a</sup>	5.1 <sup>a</sup>	6 <sup>ab</sup>	5 <sup>ab</sup>	4.2 <sup>c</sup>	4.86 <sup>c</sup>
DI <sub>55</sub>	4 <sup>a</sup>	4.8 <sup>a</sup>	5.2 <sup>b</sup>	4.4 <sup>b</sup>	3.3 <sup>c</sup>	4.34 <sup>c</sup>

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار بین تیمارهای مختلف در سطح احتمال ۱٪  
Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 1% probability level

جدول ۳: مقایسه میانگین عملکرد محصول و عملکرد بیولوژیکی در تیمارهای مختلف آبی

Table 3: Mean analysis of yield and Biomass yield in different irrigation treatments.

تیمار Treatment	عملکرد دانه (kg/ha)	عملکرد توده زنده گیاهی (kg/ha)
FI	5313 <sup>a</sup>	20740 <sup>a</sup>
PRD <sub>75</sub>	4962 <sup>a</sup>	16560 <sup>ab</sup>
DI <sub>75</sub>	4142 <sup>b</sup>	14070 <sup>bc</sup>
PRD <sub>55</sub>	3283 <sup>c</sup>	12470 <sup>bc</sup>
DI <sub>55</sub>	2931 <sup>c</sup>	10110 <sup>c</sup>

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار بین تیمارهای مختلف در سطح احتمال ۱٪  
Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 1% probability level



## منابع

- رضایی، و.، قیصری، م.، مجیدی، م. م. و میرلطیفی، س. م. ۱۳۹۰. بررسی تاثیر سطوح مختلف آبیاری بر توسعه ریشه ذرت. یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. کرمان. بهمن ماه ۹۰.
- صادقی، م.، احمدیان، ا.، بهمنی، ح. و گلپایگان، ا. ۱۳۹۰. اثر تنش خشکی بر روی خصوصیات مورفولوژیکی در گیاهچه خیار، فلفل دلمه‌ای و کدو پس از عملیات کاشت در زمین اصلی. اولین همایش ملی راهبردهای دستیابی به کشاورزی پایدار. اهواز. ۱۳۹۱.
- کافی، م. و رستمی، م. ۱۳۸۶. اثر تنش خشکی در مرحله رشد زایشی بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن سه ژنوتیپ گلرنگ در شرایط آبیاری با آب شور. مجله پژوهش‌های زراعی ایران ۱۳۱(۱): ۱۲۱-۱۳۱.
- مردانی‌نژاد، س.، زارع ابیانه، ح.، طباطبائی، ح. و محمدخان، ع. ۱۳۹۲. تأثیر مقادیر مختلف آب خاک بر توسعه ریشه گیاه فلفل قلم. مجله پژوهش آب در کشاورزی (ب) جلد ۲۷: ۲۴۱-۲۵۳.
- موحدی‌دهنوی، م.، مدرس ثانوی، س. ع. م.، سروش‌زاده، ع. و جلالی، م. ۱۳۸۳. تغییرات میزان پرولین، قندهای محلول کل، کلروفیل و فلورسانس کلروفیل در ارقام گلرنگ پاییزه تحت تنش خشکی و محلول پاشی روی و منگنز. مجله بیابان. ۹(۱): ۹۴-۱۰۸.
- Ahmadi, A. and Ceioceemardeh. A. 2005. Effect of drought stress on soluble carbohydrate, chlorophyll and Proline in four adopted wheat cultivars with various climate of Iran. Iranian journal of agricultural sciences, 35: 753- 763.
- Antolin, M. C., Yoller. J. and Sanchez-Diaz, M. 1995. Effect of temporary drought on nitrate-fed and nitrogen fixing alfalfa plants. Plant Science Journal, 107: 159-165.
- Barracough, P. B. and J. Kate, 2001. Effect of water stress on chlorophyll meter reading in wheat. Plant Nutrition Developments in Plant and Soil Sciences, 92: 722-723.
- Castrillo, M. and Calcargo, A. M. 1989. Effects of water stress and re-watering on rebulose-1, 5-bisphosphate carboxylase activity, Chlorophyll and protein contents in two cultivars of tomato. Journal of Horticultural Science, 64: 717-724.
- 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, published on CDRom, <http://www.cropsociety.org.au/icsc2004>.
- 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.
- Dry, P.R. and Loveys B.R. 2000. Partial drying of the root zone of grape. I. Transient changes in shoot growth and gas exchange. Visit, 39: 3-7.
- Edtill, K., Delaney, R. H., Smith, W. K. and Ditterline R. L., 1991. Water relation and productivity of alfalfa leaf chlorophyll variants. Crop Science Society of America, 31: 1229-1233.
- Freres, E. Gimenez, C. and Fernandez, J. M. 1986. Genetic variability in sunflower cultivars under drought I. Yield relationships. Australian Journal of Agricultural Research, 37:573-582.
- Foyer, C. H., Leadis, M. and Kunert, K. J. 1994. Photo oxidative stress in plants. Plant Physiology, 92: 696-717.
- Gupta, S. N. Dahiya, B. S., Malik, B. P. S., and Bishnoi, N. R. 1995. Response of Chickpea to water deficits and drought stress. Haryana Agriculture university journal Of Research, 25(1/2):11-19.
- Laboski C. A. M., Dowdy, R. H., Allmars, R. R. and Lamb, J. A. 1998. Soil strength and water content influences on corn root distribution in a sandy soil. Plant and Soil Journal, 203: 239-247
- Liang, J., Zhang, J. and Wong MH. 1996. Effects of air-filled soil porosity and aeration on the initiation and growth of secondary roots of maize (*Zea mays*). Plant and Soil Journal, 186: 245-254.
- Loveys, B.R., Dry, P.R., Stoll, M. and McCarthy, M.G. (2000). Using plant physiology to improve. The water use efficiency of horticultural crops. Acta Hort, 537, 187-199.
- Mengel D. 1983. Roots, growth and nutrient uptake. Department of Agronomy publication. AGRY, 95-08
- Mihalovic, N. and M. Lazarevic. 1977. Chlorophyllaz activity in wheat (*Triticum aestivum* L.) leaves during drought and its dependence on the nitrogen on applied. Field Crops Research, 9: 46-58.
- Nesmith, D. S. and Ritchie, J. T. 1992. Short and long term response of corn to a preanthesis soil water deficit. Journal of Agronomy, 84:107-113.
- Ommen, O. E. and A. Donnelly. 1999. Chlorophyll content of spring wheat flag leaves grown under elevated CO2 concentrations and other environmental stresses within the ESPACE- wheat project. European Journal of Agronomy, 10: 197-203.
- Pagter, M., Bragato, C. and Brix, H. 2005. Tolerance and physiological responses of (*Phragmites australis*) to water deficit. Aquatic Botany Journal, 81: 285-299.
- Pankovic, D., Sakac, Z., Kcvrosan, S. and Plesnicar, M. 1999. Acclimation to long term water deficit in the leaves of two sunflower hybrids: photosynthesis, electron transport and carbon metabolism. Journal of Experimental Botany, 50: 330, 127-138.
- Pessarakli, M. 1999. Hand book of plant and crop stress. Marcel Dekker Inc. 697 pages.-Russel R. Scott., (1977). "Plant root systems (the function and interaction with the soil)." McGraw-Hill, New York, London, 298 p.

- Shah, F. R. N. Ahmad, K. R. Masood and D. M. Zahid. 2008. The influence of cadmium and chromium on the biomass production of shisham (*Dalbergia sissoo roxb.*) seedlings. *Pakistan Journal of Botany*, 40(4): 1341-1348.
- Shahnazari, A., Liu, F., Andersen, M. N., Jacobsen, S. E. and Jensen, C. R. 2007. Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions. *Field Crops Research*, 100: 117-124.
- Turk, K. J., Hall, A. E., Asbell, C. W. 1980. Drought adaptation of cowpea. I. Influence of drought on yield. *Agronomy Journal*, 72: 413-420.
- Turner, N. C. and Sobrado, M. A. 1987. Photosynthesis dry matter accumulation and distribution in the wild sunflower and cultivated sunflowers as influenced by water deficits. *Field Crops*, 44: 425-436.
- Yan, X., Li, F. and Guo, A. 2001. "Effect of different water supply regimes on water use and yield performance of corn in a simulated semi-arid environment." *Agricultural Water Management*, 47: 25-35.
- Yazar, A., Gokcel, F. and Sezen, M. S. 2009. Corn yield response to partial root zone drying and deficit irrigation strategies applied with drip system. *Plant Soil Environment*, 55(11): 494-503.

## Variation of Chlorophyll, Leaf Area Index and Root Parameters of Sunflower Under, Regulated Deficit and Partial Root Zone Drying Irrigation

Ghadami Firouzabadi<sup>1\*</sup>, A., Raeini<sup>2</sup>, M., Shahnazari<sup>3</sup>, A. and Zare Abyane<sup>4</sup>, H

### Abstract

Water scarcity is the most important factors constraining agricultural production all over the world. Water shortage of agricultural must be established to use the deficit irrigation. In other hand, deficit irrigation as a limiting factor affecting growth, physiological characteristics of plants. In order to study the effects of deficit irrigation on chlorophyll content, leaf area index and root parameters, an experiment was conducted in research farm of sari agricultural and Natural Resource University in 2012. The experiment Treatments were arranged as randomized complete block design with tree replications. The irrigation regimes consisted of full irrigation (FI-100), regulated deficit (DI-75, DI-55) and partial root zone drying irrigation (PRD-75, PRD-55). The results showed that medium and severe drought stress was caused to increase and decrease in chlorophyll index (SPAD) respectively. The maximum leaf area index (6.4) was attained in full irrigation treatment at the end of the irrigation season. That not difference with PRD75% treatment. Maximum volume, surface area and root length were allocated to Deficit irrigation and partial root Deficit irrigation in 75% water requirement treatment. This is due to the increasing in the secondary roots in these treatments relative full irrigation treatment. therefore PRD75% treatments In addition saving in water consumption provides Better use of soil moisture and sunlight And PRD75 treatment can be considered as suitable way for cope with the water crisis and achieve a sustainable agriculture.

**Keywords:** Sunflower, Drought stress, Chlorophyll content, Root

---

1. PhD student, Department of Irrigation, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari  
2. Associate Professor, Department of Irrigation, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari  
3. Assistant Professor, Department of Irrigation, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari  
4. Associate Professor, Department of Irrigation, Bu-Ali Sina University, Hamedan

\*: Corresponding author      Email: aghadami@gmail.com