



## اثر دور آبیاری و محلول‌پاشی عناصر آهن و روی بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکرد آفتاب‌گردان

راحله عرب<sup>۱</sup>، \*علیرضا یدوی<sup>۲</sup>، حمیدرضا بلوچی<sup>۲</sup> و حمیدرضا خادم حمزه<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه یاسوج، دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه یاسوج، مربی پژوهشی تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی شیراز  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۱۲

### چکیده

**سابقه و هدف:** آفتاب‌گردان یکی از پنج گیاه روغنی مهم ایران بوده که به دلیل داشتن مقاومت نسبی در برابر خشکی و بالا بودن کیفیت روغن (عدم وجود کلاسترول) سطح وسیعی از اراضی کشور را به کشت خود اختصاص می‌دهد. تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل محیطی کاهش رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا محسوب می‌شود. کاربرد عناصر کم مصرف یکی از راه‌های کاهش اثرات منفی تنش رطوبتی بر گیاهان زراعی می‌باشد. این پژوهش به منظور بررسی پاسخ آفتاب‌گردان به محلول‌پاشی کودهای کم مصرف آهن و روی در شرایط تنش خشکی و ارزیابی نقش این عناصر در کاهش خسارات ناشی از تنش و تحمل گیاه به تنش خشکی اجرا گردید.

**مواد و روش‌ها:** این آزمایش در مرکز تحقیقات کشاورزی زرقان فارس در بهار و تابستان ۱۳۹۳ به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. دور آبیاری در سه سطح (آبیاری پس از ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) به عنوان کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی عناصر کم مصرف در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب (شاهد)، سولفات آهن سه گرم در لیتر، سولفات روی سه گرم در لیتر و ترکیب سولفات آهن و سولفات روی هر کدام به میزان سه گرم در لیتر) به عنوان کرت فرعی به کار برده شدند. در این آزمایش صفات فیزیولوژیک (محتوای کلروفیل، پرولین، قندهای محلول، محتوای آب نسبی و درصد نشت الکترولیت برگ) و صفات مورفولوژیک (شاخص سطح برگ و ارتفاع) به همراه عملکرد دانه ارزیابی شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که اثرات اصلی دور آبیاری و محلول‌پاشی برای تمامی صفات مورد ارزیابی معنی‌دار گردید؛ ولی برهم‌کنش آن‌ها تنها برای صفات میزان پرولین و قندهای محلول برگ معنی‌دار شد. تأخیر در آبیاری از ۶۰ میلی‌متر به ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر باعث کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ، میزان کلروفیل، عملکرد دانه، ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ به ترتیب ۵/۶، ۳۱/۲، ۳۷/۵، ۱۷ و ۳۷ درصد گردید. همچنین این میزان تأخیر در آبیاری باعث افزایش ۲۰ درصدی نشت الکترولیت برگ شد. در بین تیمارهای محلول‌پاشی نیز، محلول‌پاشی عناصر آهن و

\*مسئول مکاتبه: Yadavi@yu.ac.ir

روی باعث افزایش معنی‌دار محتوای آب نسبی، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته و عملکرد دانه و روغن و همچنین کاهش معنی‌دار میزان نشت الکترولیت برگ نسبت به تیمار شاهد شد. مقایسه میانگین برهم‌کنش دور آبیاری و محلول‌پاشی بر میزان پرولین و قندهای محلول برگ نشان داد که در هر سه سطح آبیاری کاربرد توأم آهن و روی باعث افزایش این صفات گردید.

**نتیجه‌گیری:** محلول‌پاشی عناصر آهن و روی موجب بهبود صفات مورد اندازه‌گیری، تحت شرایط تنش رطوبتی گردید. از این‌رو، افزایش متابولیت‌ها به‌ویژه قندهای محلول برگ و کاهش پراکسیداسیون لیپیدها در اثر محلول‌پاشی این دو عنصر، می‌تواند تأثیر مثبتی بر سازوکارهای تحمل به خشکی و افزایش عملکرد دانه و روغن آفتاب‌گردان داشته باشند.

**واژه‌های کلیدی:** پایداری غشاء، پرولین، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه، قند محلول

### مقدمه

آفتاب‌گردان یکی از پنج گیاه روغنی مهم ایران بوده که به دلیل داشتن مقاومت نسبی در برابر خشکی، بالا بودن کیفیت روغن (عدم وجود کلسترول) و امکان کشت آن به‌عنوان محصول دوم بعد از برداشت گندم و جو سالانه بالغ بر ۱۲۰ هزار هکتار از اراضی کشور را به خود اختصاص می‌دهد (۴). تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل محیطی کاهش رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا محسوب می‌شود. کاهش سطح برگ، خود می‌تواند ناشی از تغییر فرآیندهایی درونی گیاه باشد که عمدتاً مربوط به فتوسنتز است. پاندی و همکاران (۲۰۰۰) گزارش دادند که کاهش آبیاری در اوایل رشد رویشی، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته و سرعت رشد گیاه و ماده خشک گیاه ذرت به مقدار کمی کاهش داد، ولی در مرحله رشد زایشی، باعث کاهش شدید این صفات شد (۲۴). گیاهان با تغییراتی که در برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی خود ایجاد می‌کنند، به تنش‌های مختلف پاسخ می‌دهند. دانشمندان و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی تنش آب بر محتوای نسبی آب برگ دو رقم کلزا گزارش کردند که کاهش محتوای نسبی آب برگ در اثر تنش، زمینه کاهش

فتوسنتز برگ را فراهم می‌کند و به تبع آن کم‌ترین میزان عملکرد دانه را باعث می‌شود (۸). کاهش پتانسیل آب برگ در اثر تنش خشکی بسته شدن روزنه‌ها را به دنبال داشته و با توجه به جذب نور می‌تواند تولید گونه‌های فعال اکسیژن (رادیکال‌های آزاد) را به دنبال داشته باشد که باعث صدمه دیدن غشاء سلولی می‌شود. در همین رابطه میراخوری و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که با افزایش شدت تنش خشکی در گیاه سویا به واسطه تولید گونه‌های فعال اکسیژن و خسارت غشاء سلولی، میزان نشت الکترولیت از سلول‌های برگ افزایش پیدا کرد (۱۸). تجمع محافظت‌کننده‌های اسمزی یکی از مهم‌ترین عوامل حفظ گیاهان در مقابل تنش‌های غیرزنده است. عابدی باباقری و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند تنش خشکی سبب افزایش میزان پرولین و قندهای محلول کل برگ در همه مراحل رشد گلرنگ شدند (۱). بابائیان و همکاران (۲۰۱۱) نیز اظهار داشتند که نسبت به آبیاری کامل، تنش خشکی ناشی از قطع آبیاری در مراحل گلدهی و پر شدن دانه آفتاب‌گردان، افزایش معنی‌دار محتوای پرولین برگ را باعث شده است (۶). شرایط تنش کاهش میزان فتوسنتز به‌علت بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش رشد گیاه، کمبود مواد

فتوستتزی لازم برای پر کردن دانه و کاهش طول دوره پرشدن دانه‌ها از مهم‌ترین اثرات خشکی بر عملکرد گیاهان است (۲۹). عناصر کم‌مصرف با وجود این‌که به مقدار کم مورد نیاز گیاهان می‌باشند؛ ولی نقش‌های برجسته‌ای در رشد و نمو گیاهان به‌عهده دارند که از جمله نقش آن‌ها در فعالیت آنزیمی، رشد، تمایز سلولی، تشکیل گل، میوه و بهبود کیفیت محصول را می‌توان ذکر کرد (۱۷). همچنین نقش اساسی این عناصر به‌خصوص آهن، مس، بر، روی و منگنز در تشکیل جدار سلولی و مقاومت گیاهان به آفات، امراض و تنش‌های محیطی در خور اهمیت است (۲۱). عنصر روی جزئی از ساختار چندین آنزیم است و همچنین به‌عنوان کوفاکتور برای فعالیت برخی آنزیم‌ها مورد نیاز است. با وجود نیاز کم گیاهان به عنصر روی، نبود مقدار کافی از این عنصر در داخل خاک سبب می‌شود، گیاهان از تنش‌های فیزیولوژیکی حاصل از ناکارایی سیستم‌های متعدد آنزیمی و دیگر اعمال متابولیکی مرتبط با روی رنج ببرند (۱۷). تحقیقات پوتارزیچی و گرزبیز (۲۰۰۹) نشان داد که عنصر روی موجب افزایش مقدار کلروفیل موجود در واحد سطح برگ می‌شود و بازدهی کلروپلاست در جذب انرژی خورشیدی را افزایش داده و موجب بازدهی مطلوب‌تر فتوستتزی در گیاه می‌شود که این امر می‌تواند سبب افزایش ارتفاع بوته گیاه شود (۲۶). آهن در ساخت کلروفیل و انتقال الکترون در فتوستتزی نقش حیاتی دارد و فردوکسین، پروتئین حامل آهن است که در انتقال الکترون درگیر است، بنابراین طبیعی است که با افزایش مقدار آهن در برگ میزان کلروفیل برگ نیز افزایش یافته، فعالیت فتوستتزی بیش‌تر شده و در نهایت موجب افزایش سطح برگ و عملکرد شود (۱۷). در شرایط تنش با افزایش آهن در برگ میزان کلروفیل برگ نیز افزایش یافته، فعالیت

فتوستتزی بیش‌تر شده و در نهایت سطح برگ افزایش می‌یابد (۱۷). آزمایش ادولی و اینماشون (۲۰۰۷) نشان داد که محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف در شروع گل‌دهی سویا باعث افزایش مقاومت به آفات و بیماری‌ها و تنش خشکی گردید و افزایش معنی‌دار عملکرد دانه را باعث شد (۲۳). این پژوهش به‌منظور بررسی پاسخ آفتاب‌گردان به محلول‌پاشی کودهای کم‌مصرف آهن و روی در شرایط تنش خشکی و ارزیابی نقش این عناصر در کاهش خسارات ناشی از تنش و تحمل گیاه به تنش خشکی اجرا گردید.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در بهار و تابستان سال ۱۳۹۳ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس (ایستگاه زرقان) با مختصات جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۶ دقیقه طول شرقی ۵۲ درجه و ۴۳ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۶۰۴ متری از سطح دریا اجرا شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های یک‌بارخردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. رژیم‌های آبیاری به‌عنوان فاکتور اصلی در سه سطح: آبیاری پس از تبخیر ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر آب از تشتک تبخیر کلاس A و تیمارهای محلول‌پاشی در چهار سطح محلول‌پاشی آب (شاهد)، محلول‌پاشی سولفات آهن (ساخت شرکت Merck آلمان) ۳ گرم در لیتر، سولفات روی (ساخت شرکت Merck آلمان) سه گرم در لیتر و ترکیب سولفات آهن و سولفات روی هرکدام به میزان سه گرم در لیتر به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. محلول سولفات روی و سولفات آهن به‌ترتیب از انحلال سه گرم سولفات روی ۹۹ درصد ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ) و سولفات آهن ۹۹ درصد ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) در یک لیتر آب تهیه گردید. تیمارهای محلول‌پاشی در دو نوبت (مرحله ۸-۶ برگی و ۱۲-۱۰ برگی) انجام شد.

قندهای محلول از روش ایریگوئن و همکاران (۱۹۹۲)، میزان کلروفیل موجود در برگ گیاه به روش آرنون (۱۹۶۷)، انجام شد (۲۵، ۱۳ و ۵).

به منظور اندازه‌گیری نشت الکترولیت‌ها مطابق روش بلترانو و رانکو (۲۰۰۸) از برگ‌های هر نمونه (بین رگبرگ‌ها) ۱۰ دیسکت دایره‌ای (به قطر ۰/۸ سانتی‌متر) تهیه شد و با آب مقطر شستشو، سپس در داخل لوله‌های آزمایش حاوی ۱۰ سی‌سی آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار داده شدند. بعد از گذشت ۲۴ ساعت هدایت الکتریکی هر نمونه با استفاده از دستگاه EC متر (مدل Inolab-Cond 720 ساخت کشور آلمان) اندازه‌گیری شد ( $EC_1$ ). به منظور اندازه‌گیری میزان کل نشت الکترولیت‌ها در اثر مرگ سلول‌ها، لوله‌های آزمایش در حمام آب جوش با دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۹۰ دقیقه قرار داده شدند و مجدداً هدایت الکتریکی نمونه‌ها بعد از سرد شدن اندازه‌گیری شدند ( $EC_2$ ). درصد نشت الکترولیت‌ها با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شدند (۷):

رابطه (۱)

$$100 \times (EC_1/EC_2) = \text{درصد نشت الکترولیت}$$

از برگ‌های انتخابی از هر کرت مطابق روش تثولات و همکاران (۱۹۹۷) با استفاده از رابطه شماره (۲) محتوای آب نسبی برگ ( $RWC$ ) به دست آمد (۳۳).

رابطه (۲)

$$RWC (\%) = ((FW-DW)/(TW-DW))*100$$

که در آن  $FW$  وزن تر بافت گیاه،  $DW$  وزن خشک بافت گیاه، و  $TW$  وزن آماس یافته بافت گیاه است. پس از نمونه‌گیری برگ‌ها به ترتیب وزن تر، وزن آماس و وزن خشک برگ اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن آماس یافته برگ، برگ‌ها در ظروف پتری‌دیش سربسته

محلول‌پاشی با دستگاه سمپاش دستی ۱۲ لیتری پشتی با نازل مخروطی شکل (مدل سولو کد ۴۶۲ ساخت کشور آلمان با فشار سه بار) به میزان ۱/۵ لیتر در هر کرت (به مساحت ۱۴/۴ مترمربع) انجام شد. شروع اعمال تیمارهای آبیاری نیز در مرحله ۶ برگی صورت گرفت که فواصل آبیاری بر اساس میزان تبخیر روزانه از تشتک تبخیر برای تیمارهای مختلف آبیاری متفاوت بود. آبیاری نیز به صورت جوی و پشته‌ای اعمال می‌گردید. هر کرت آزمایشی شامل چهار پشته به عرض ۶۰ سانتی‌متر و طول ۶ متر بود. فاصله بین بوته‌ها روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر، فاصله بین کرت‌های اصلی ۲ متر، فاصله بین کرت‌های فرعی ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بین تکرارها ۳ متر لحاظ گردید. زمین مورد آزمایش در سال قبل از اجرای آزمایش به صورت آیش بوده و در بهار و ۱۰ روز قبل از کاشت توسط گاواهن برگردان‌دار شخم زده شد و پس از شخم مقادیر کود توصیه شده (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره) بر اساس آزمون خاک (جدول ۱) به زمین افزوده شد. کود اوره در سه مرحله یک مرحله قبل از کاشت و دو مرحله بعد از کاشت (مرحله ۶-۴ برگی و مرحله ستاره‌ای) داده شد (۴). بذر آفتاب‌گردان کشت شده نیز از رقم هایسان ۲۵ بود که یک رقم روغنی با طول دوره رسیدگی متوسط رس بود. کاشت بذر نیز به صورت هیرم‌کاری و کپه‌ای (سه بذر در هر کپه) در ۱۵ خرداد ماه صورت گرفت که پس از سبز شدن بوته‌های اضافی حذف گردید و در هر نقطه یک بوته باقی ماند. به منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیولوژیک، در مرحله گل‌دهی از هر کدام از تیمارهای آزمایشی نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌برداری‌ها از دو برگ بالایی کامل شده بوته‌ها و معمولاً قبل از انجام آبیاری انجام شدند. برای اندازه‌گیری پرولین از روش پاکوئین و لچاژر (۱۹۷۹)،

برگ سنج مدل LiCor-3100) اندازه گیری شد. به منظور اندازه گیری عملکرد دانه پس از حذف دو خط حاشیه هر کرت و ۵۰ سانتی متر از هر طرف کرت، طبقها از سطحی معادل ۳ مترمربع برداشت گردید. با جدا کردن دانهها از طبقها عملکرد دانه محاسبه گردید. آنالیز دادهها نیز با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 صورت گرفت و مقایسه میانگینها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

و حاوی آب مقطر و تاریک با دمای ۴ درجه سانتی گراد و به مدت ۴ ساعت قرار گرفتند، سپس وزن آنها اندازه گیری گردید. برای اندازه گیری وزن خشک، برگها به مدت ۴۸ ساعت در درون آون با دمای ۷۲ درجه سانتی گراد قرار داده شدند و سپس وزن شدند.

برای اندازه گیری صفات مورفولوژیک، در مرحله گلدهی ۱۰ بوته از هر کرت به طور تصادفی انتخاب و ارتفاع و سطح برگ آنها (به وسیله دستگاه سطح

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش.

Table 1. Physicochemical characteristics of the experiment site soil.

هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC (dS.m <sup>-1</sup> )	اسیدیته pH	ماده آلی (درصد) Organic matter %	نیترژن (درصد) N (%)	فسفر P	پتاسیم K	آهن Fe	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn	ریز (درصد) Clay (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	رگ (درصد) Sand (%)	بافت خاک Soil texture
0.97	8.0	1.7	0.09	12	314	7.9	0.8	1.1	7.9	32	54	14	لومی سیلتی Lomy Silty

مسیرهای متابولیسمی فتوسنتز و تولید کربوهیدراتها و همچنین نقش آنها به عنوان کوفاکتور آنزیمهای مختلف این نتایج قابل توجه می باشد (۱۷). نیاکان و قربانلی (۲۰۰۷) بیان کردند که با تشدید میزان تنش در سویا، مقدار کل پروتئینهای محلول، هم در بخش هوایی ساقه و برگ و هم در ریشه، کاهش یافت که این روند با افزایش غلظت پرولین همراه بود. آنان افزایش پرولین را به کاهش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز نیز نسبت دادند؛ چرا که آنزیم نیترات ردوکتاز حساس به تغییرات وضعیت رطوبت برگ بوده و فعالیت آن با کاهش شدید پتانسیل آبی در برگ، مهار می شود (۲۲). بابائیان و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که با اعمال تنش خشکی میزان پرولین تغییر یافت و بیشترین مقادیر آنها در تیمار خشکی مرحله گلدهی آفتاب گردان به دست آمد (۶). عابدی باباعربی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که محلول پاشی با

## نتایج و بحث

نتایج بیانگر تأثیر معنی دار سطوح مختلف آبیاری، محلول پاشی و برهم کنش آنها بر میزان پرولین برگ می باشد (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم کنش دور آبیاری و محلول پاشی بر میزان پرولین برگ آفتاب گردان نشان داد که در تمامی تیمارهای محلول پاشی با تأخیر در آبیاری میزان پرولین روند صعودی پیدا کرد و در هر سه سطح آبیاری محلول پاشی عناصر، افزایش معنی داری نسبت به شاهد در این صفت ایجاد کردند به طوری که در سطوح آبیاری پس از ۶۰ و ۱۲۰ میلی متر تبخیر بیشترین مقدار پرولین مربوط به محلول پاشی سولفات آهن + روی بود و در سطح آبیاری پس از ۱۸۰ میلی متر تبخیر حداکثر پرولین مربوط به محلول پاشی سولفات آهن بود (جدول ۳). با توجه به نقش عناصر آهن و روی در آنزیمهای مختلف

برگ بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر دور آبیاری بر نشت الکترولیت‌ها از برگ نشان داد که تأخیر در آبیاری افزایش معنی‌داری را در این صفت ایجاد کرد به طوری که بیش‌ترین نشت الکترولیت‌ها از برگ در تیمار آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر و کم‌ترین مقدار آن در تیمار آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر مشاهده شد. این نتایج همچنین نشان داد که تأخیر در آبیاری تا تبخیر ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر با ایجاد شرایط تنش رطوبتی نسبت به آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر به ترتیب میزان نشت الکترولیت‌های برگ آفتاب‌گردان را  $11/8$  و ۲۰ درصد افزایش داد (جدول ۴). موسوی‌فر و همکاران (۲۰۱۰) نیز در آزمایش خود روی گلرنگ نتیجه مشابهی مبنی بر افزایش میزان نشت الکترولیت در شرایط تنش خشکی ارائه کردند، ایشان گزارش دادند که تنش خشکی باعث ایجاد اختلال در سیستم‌های آنزیمی کاهش‌دهنده فعالیت اکسیژن فعال و افزایش پراکسیداسیون چربی‌های غشاء و در نتیجه خسارت به غشای سلولی می‌شود و میزان نشت الکترولیت‌ها افزایش می‌یابد (۲۰). مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی بر درصد نشت الکترولیت نشان داد که تیمارهای محلول‌پاشی با سولفات آهن، سولفات روی و ترکیب سولفات آهن و روی نسبت به تیمار محلول‌پاشی شاهد با آب مقطر مقدار نشت الکترولیت‌های برگ را به ترتیب  $5/1$ ،  $8/5$  و  $23/6$  درصد کاهش دادند (جدول ۴). نشت الکترولیت‌های برگ نشان‌دهنده صدمات غشایی می‌باشد که از اکسیداسیون لیپیدهای غشایی در حضور رادیکال‌های آزاد حاصل می‌شود (۱۴). بر این اساس تعادل بین رادیکال‌های آزاد تولیدی و دفاع در برابر این رادیکال‌های آزاد تعیین‌کننده بقاء سیستم گیاهی می‌باشد. ژاگو و اوتیزا (۲۰۰۱) اظهار داشته‌اند عناصر روی و آهن از طریق افزایش فعالیت سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهان در

سولفات روی به نسبت سه در هزار در دو مرحله بعد از ساقه رفتن گلرنگ، سبب افزایش معنی‌دار محتوای پرولین برگ در شرایط تنش خشکی شد (۱).

سطوح مختلف آبیاری، محلول‌پاشی و برهم‌کنش آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر میزان قندهای محلول برگ آفتاب‌گردان داشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش دور آبیاری و محلول‌پاشی بر میزان قندهای محلول برگ آفتاب‌گردان نشان داد که در تمامی تیمارهای محلول‌پاشی با تأخیر در آبیاری میزان قندهای محلول روند صعودی پیدا کرد و محلول‌پاشی سولفات آهن+ روی در دو سطح آبیاری پس از ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر بیشترین میزان قند محلول برگ را باعث شده و در سطح آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر، بیش‌ترین مقدار این صفت مربوط به محلول‌پاشی سولفات روی بوده است (جدول ۳). قندهای محلول طی تنش خشکی می‌تواند به دلیل تخریب کربوهیدرات‌های نامحلول و تبدیل به قندهای محلول، سنتز این ترکیبات از مسیرهای غیرفتوسنتزی و متوقف شدن رشد افزایش یابد. نتایج آزمایش بابائیان و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که با اعمال تنش خشکی میزان کربوهیدرات‌های محلول تغییر یافت و بیش‌ترین مقادیر آن‌ها در تیمار خشکی مرحله گل‌دهی به دست آمد (۶). سعیدی ابواسحق‌ی و همکاران (۲۰۱۴) گزارش دادند که محلول‌پاشی با سولفات آهن و روی باعث تجمع بیشتر قندهای محلول در لوبیای قرمز شد (۳۰). با توجه به نقش عناصر آهن و روی به‌عنوان کوفاکتور برخی از آنزیم‌های دخیل در تولید قندهای محلول تأثیر مثبت محلول‌پاشی این عناصر در افزایش قندهای محلول به‌خصوص در شرایط تنش خشکی دور از انتظار نیست (۱۷).

نتایج حاصله بیانگر تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری و محلول‌پاشی بر میزان نشت الکترولیت‌ها از

نسبی برگ نشان داد که بیشترین محتوای آب نسبی برگ در تیمار محلولپاشی سولفات آهن+روی مشاهده شد که البته با تیمار محلولپاشی سولفات روی اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین محتوای آب نسبی برگ در تیمار شاهد (محلولپاشی با آب) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار محلولپاشی سولفات آهن نداشت (جدول ۴). در همین راستا میثاق و همکاران (۲۰۱۴) نیز گزارش نمودند که محلولپاشی عناصر روی و بر در شرایط تنش رطوبتی، محتوای آب نسبی برگ کنگد را افزایش داده است (۱۹). به عقیده ویسانی و همکاران (۲۰۱۱) عنصر روی نقش مهمی در تنظیم میزان باز بودن روزنه‌ها دارد، به این دلیل که این عنصر در نگهداری عنصر پتاسیم در سلول‌های محافظ روزنه نقش دارد و از طریق کاهش تلفات آب برگ باعث افزایش محتوای آب نسبی برگ می‌شود (۳۴). ایشان مشاهده نمودند که تحت تنش خشکی محتوای پتاسیم سلول‌های محافظ روزنه در گیاهان تیمار نشده با عنصر روی کاهش می‌یابد که علت آن را کاهش یکپارچگی غشاء سلول‌های محافظ در شرایط عدم مصرف عنصر روی و در نتیجه نشت پتاسیم از غشای سلولی بیان کردند و این مسئله به کاهش محتوای آب برگ ختم می‌گردد.

دور آبیاری و محلولپاشی بر میزان کلروفیل کل آفتاب‌گردان تأثیر معنی‌داری داشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر دور آبیاری بر میزان کلروفیل آفتاب‌گردان نشان داد که تأخیر در آبیاری کاهش معنی‌داری در این صفت ایجاد کرد، به طوری که در مقایسه با آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر، محتوای کلروفیل برگ آفتاب‌گردان در تیمارهای آبیاری پس از ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر به ترتیب ۱۲ و ۳۱/۲ درصد کاهش نشان داد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر

تعدیل رادیکال‌های آزاد و اثرات تخریبی آن‌ها در سیستم‌های غشایی نقش مهمی را ایفا می‌کنند (۳۵). لذا بر این اساس به نظر می‌رسد محلولپاشی آهن و روی با افزایش تحمل گیاه به شرایط تنش رطوبتی از طریق افزایش تولید آنزیم‌های حذف‌کننده رادیکال‌های آزاد باعث گردید گیاه کمتر با شرایط تنش مواجه شود و در نتیجه درصد نشت کمتری داشته باشد. در همین راستا سعیدی ابواسحقی و همکاران (۲۰۱۴) نیز کاهش نشت الکترولیت برگ‌های لوبیا قرمز در اثر محلولپاشی عناصر آهن و روی را گزارش نموده‌اند (۳۰).

دور آبیاری و محلولپاشی بر محتوای آب نسبی برگ آفتاب‌گردان تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر دور آبیاری بر محتوای آب نسبی برگ نشان داد که تأخیر در آبیاری کاهش معنی‌داری در این صفت ایجاد کرد، به طوری که بیشترین محتوای آب نسبی برگ در تیمار آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر و کمترین مقدار آن در تیمار آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر مشاهده شد. البته بین تیمارهای آبیاری پس از ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). طبق گزارش خان و همکاران (۲۰۰۷) گیاهانی که تحت تنش رطوبتی قرار می‌گیرند، فضای بین سلولی و میزان آب در پیکره خود را از طریق افزایش مواد اسمزی در درون بافت‌ها به حداقل می‌رسانند تا آب از بافت خاک با نیروی بیشتری وارد آن‌ها شود که این امر موجب کاهش میزان آب نسبی در شرایط تنش خشکی می‌گردد (۱۵). به نظر می‌رسد بین میزان محتوای آب نسبی برگ و میزان رطوبت خاک رابطه مستقیم وجود دارد که با کاهش رطوبت خاک و ایجاد تنش، محتوای آب نسبی برگ کاهش می‌یابد. همچنین، بررسی اثر محلولپاشی بر محتوای آب

محلول پاشی بر این صفت نیز نشان داد که تمامی تیمارهای محلول پاشی عناصر آهن و روی باعث افزایش معنی دار محتوای کلروفیل برگ آفتاب گردان شده است. به طوری که، این افزایش برای تیمارهای

محلول پاشی سولفات آهن، سولفات روی و ترکیب آنها به ترتیب برابر ۱۰، ۱۹ و ۱۰/۹ درصد بود (جدول ۴).

جدول ۲- تجزیه واریانس برخی صفات آفتاب گردان در سطوح مختلف دور آبیاری و محلول پاشی.

Table 2. Analysis of variance for some traits of sunflower at different levels of irrigation interval and foliar application.

منابع تغییر S.O.V.	df	میانگین مربعات Mean squares									
		پروبین Prolin	قندهای محلول Soluble sugars	نشت الکترولیت Electrolyte leakage	محتوای آب نسبی RWC	کلروفیل کل Total chlorophyll	عملکرد دانه Grain yield	ارتفاع بونه Plant height	شاخص سطح برگ LAI	روغن دانه Seed oil	عملکرد روغن Oil yeild
تکرار Rep	2	0.25ns	0.20ns	45.35ns	0.33 ns	0.001ns	1066.85ns	40.75ns	0.003ns	4.20 ns	317.22ns
دور آبیاری Irrigation Interval(I)	2	81.13**	84.32**	703.59**	57.72**	0.590**	53357.00 **	238.25**	10.040**	54.57**	12836.21**
خطای اصلی Main Error	4	0.70	0.40	22.32	1.38	0.003	722.80	16.98	0.230	1.95	172.23
محلول پاشی Foliar application(F)	3	11.35**	4.83**	184.20**	32.12**	0.060**	4626.88**	135.93**	0.520*	23.81**	1623.94**
محلول پاشی × دور آبیاری I×F	6	4.52**	4.76**	1.34ns	2.38ns	0.005ns	1335.46ns	21.13ns	0.230ns	15.60**	312.26ns
خطای فرعی Sub Error	18	0.13	0.18	1.92	1.90	0.003	907.73	22.79	0.100	1.18	81.00
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)		4.33	2.71	4.65	3.96	4.53	10.34	3.29	8.54	2.70	11.37

ns, \* and \*\* not significant, significant at 0.01 and 0.05 probability level, respectively.

LAI=Leaf area index, RWC= Relative water content

افزایش می یابد و پایداری کلروفیل در شرایط تنش رطوبتی، جهت تداوم فتوسنتز ضروری است و این صفت به عنوان یک شاخص مقاومت گیاه به تنش خشکی محسوب می گردد (۳۲). معلوم شده است که مقدار کلروفیل گیاهان به در دسترس بودن مداوم آهن بستگی دارد و می تواند به عنوان یک عامل کمکی برای فعال کردن آنزیم نیترات ردوکتاز به کار رود. با توجه به این که عنصر آهن در ساختار کلروفیل نقش مستقیمی دارد، وجود آهن کافی سبب بهبود کلروفیل سازی در گیاه می گردد و وضعیت گیاه می تواند در میزان

طبق گزارش سینگ (۲۰۰۷) در تنش های طولانی مدت، دهیدراسیون بافت ها منجر به افزایش فرآیند اکسیداتیو شده که باعث زوال ساختار کلروپلاست و کاهش کلروفیل و در نهایت کاهش فعالیت فتوسنتزی می شود (۳۱). به نظر می رسد کاهش کلروفیل تحت شرایط تنش رطوبتی به واسطه اثر کلروفیلاز و در نتیجه تجزیه کلروفیل باشد. سی و سه مرده و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که در شرایط خشکی طولانی مدت، سنتز کلروفیل کاهش و تخریب آن توسط آنزیم هایی چون کلروفیلاز و پراکسیداز



آبیاری بر شاخص سطح برگ نشان داد که تأخیر در آبیاری کاهش معنی‌داری در این صفت ایجاد کرد به طوری که بیش‌ترین (۴/۷۸) شاخص سطح برگ در تیمار آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر و کم‌ترین (۳/۰۲) در تیمار آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر مشاهده شد، ولی بین تیمار آبیاری پس از ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). همچنین بررسی اثر محلول‌پاشی بر شاخص سطح برگ نشان داد که در تمام تیمارهای محلول‌پاشی عناصر آهن و روی شاخص سطح برگ نسبت به تیمار شاهد (محلول‌پاشی با آب) افزایش یافت ولی بین تیمارهای محلول‌پاشی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. ابراهیمیان و همکاران (۲۰۱۱) گزارش دادند که اعمال تنش خشکی موجب کاهش شاخص سطح برگ آفتاب‌گردان شد (۹). قضاوی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش دادند در شرایط آبیاری ۱۴ روزه و دوبار محلول‌پاشی روی، نسبت به شرایط آبیاری‌های ۸، ۱۰ و ۱۲ روزه ذرت شاخص سطح برگ کاهش معنی‌داری نشان داد (۱۰).

نتایج حاصل از آنالیز داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار تیمارهای دور آبیاری و محلول‌پاشی بر عملکرد دانه آفتاب‌گردان بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر دور آبیاری بر عملکرد دانه نشان داد که تأخیر در آبیاری کاهش معنی‌داری در این صفت ایجاد کرد، به طوری که بیش‌ترین عملکرد دانه (۳۵۲/۵۸ گرم در مترمربع) در تیمار آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر و کم‌ترین عملکرد دانه (۲۲۰/۲۸ گرم در مترمربع) در تیمار آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر مشاهده شد و عملکرد دانه در تیمار آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر نسبت به تیمار آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر، ۳۷/۵ درصد کاهش داشت (جدول ۴). همچنین بررسی اثر محلول‌پاشی بر عملکرد دانه نشان داد که در تمام تیمارهای محلول‌پاشی عناصر آهن و روی، عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد (محلول‌پاشی

فستونز تأثیرگذار باشد. عنصر روی هم در راه‌اندازی برخی از آنزیم‌های مسیر بیوستنز کلروفیل و نیز برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند آسکوربات پراکسیداز و گلوکاتایون ردوکتاز در مسیر حفاظت از تخریب کلروفیل توسط رادیکال‌های فعال اکسیژن نقش اساسی دارد (۱۷). مطالعه بابائیان و همکاران (۲۰۱۱) بر روی آفتاب‌گردان نیز نشان داد با محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف آهن، روی و منگنز میزان کلروفیل کل در برگ به‌طور قابل توجهی افزایش یافت (۶).

نتایج حاصل از آنالیز داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای دور آبیاری و محلول‌پاشی بر ارتفاع بوته آفتاب‌گردان معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر دور آبیاری بر ارتفاع بوته نشان داد که تأخیر در آبیاری کاهش معنی‌دار این صفت را باعث شده است، به طوری که بیش‌ترین ارتفاع بوته (۱۵۹/۰۲ سانتی‌متر) در تیمار آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر و کم‌ترین ارتفاع بوته (۱۳۱/۷۷ سانتی‌متر) در تیمار آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر مشاهده شد (جدول ۴). همچنین مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی بر ارتفاع بوته نشان داد که در تمام تیمارهای محلول‌پاشی عناصر آهن و روی، ارتفاع بوته نسبت به تیمار شاهد (محلول‌پاشی با آب) افزایش یافت ولی بین تیمارهای محلول‌پاشی عناصر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). رحیمی‌زاده و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش دادند که با تأخیر در آبیاری بر اساس تبخیر از تشتک تبخیر، ارتفاع بوته آفتاب‌گردان کاهش معنی‌داری را نشان داد (۲۷). امانیان و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که با مصرف سولفات روی ارتفاع بوته آفتاب‌گردان نسبت به تیمار شاهد (بدون مصرف) افزایش یافت و بیش‌ترین مقادیر این صفات در تیمار ۹۰ کیلوگرم سولفات روی حاصل شد (۴).

نتایج حاصل از آنالیز داده‌ها بیانگر تأثیر معنی‌دار دور آبیاری و محلول‌پاشی بر شاخص سطح برگ آفتاب‌گردان بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر دور

همکاران (۲۰۱۱) در این رابطه اظهار نمودند که رژیم آبیاری نامطلوب ضمن کاهش سطح برگ‌ها و پیری زودرس آنها، باعث افت عملکرد نیز می‌گردد (۶). ایشان ضمن تأکید بر افزایش عملکرد حاصله از مصرف کودهای کم‌مصرف در آفتاب‌گردان، افزایش سبزیگی و شادابی بیشتر برگ‌های آفتاب‌گردان در تیمارهای تحت مصرف این عناصر را گزارش کردند (۶).

با آب) افزایش یافت ولی بین تیمارهای محلول‌پاشی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). اغلب نتایج محققین نیز حاکی از تأثیر منفی و معنی‌دار تنش خشکی بر عملکرد دانه به‌خصوص در دوره گلدهی گیاه می‌باشد و قاعدتا برای دستیابی به حداکثر عملکرد می‌بایست از برخورد گیاه با تنش خشکی به‌خصوص در سه مرحله ظهور طبقه‌ها، گل‌دهی و شیری‌شدن دانه‌ها اجتناب نمود (۱۲). بابائیان و

جدول ۳- مقایسه میانگین برهم‌کنش بین دور آبیاری و محلول‌پاشی برای صفات روغن دانه، پرولین و قند محلول برگ‌های آفتاب‌گردان.

Table 3. The mean comparison of the interaction between irrigation interval and foliar application on oil seed, prolin and soluble sugars of sunflower leaves.

دور آبیاری Irrigation interval	محلول‌پاشی Foliar application	پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر برگ) Prolin ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ leaf fresh weight)	قندهای محلول (میکرومول بر گرم وزن تر برگ) Soluble sugars ( $\text{mg g}^{-1}$ leaf fresh weight)	درصد روغن دانه Oil seed percent (%)
آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر (شاهد) Irrigation after 50 mm evaporation (control)	شاهد Control	5.01 <sup>c</sup>	11.95 <sup>c</sup>	39.06 <sup>c</sup>
	آهن Fe	5.61 <sup>bc</sup>	12.79 <sup>b</sup>	42.33 <sup>b</sup>
	روی Zn	6.13 <sup>ab</sup>	13.71 <sup>a</sup>	42.46 <sup>b</sup>
آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر Irrigation after 120 mm evaporation	آهن + روی Fe+Zn	6.43 <sup>a</sup>	12.72 <sup>b</sup>	44.86 <sup>a</sup>
	شاهد Control	7.35 <sup>c</sup>	13.88 <sup>d</sup>	36.53 <sup>c</sup>
	آهن Fe	7.84 <sup>c</sup>	15.90 <sup>c</sup>	40.26 <sup>b</sup>
آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر Irrigation after 180 mm evaporation	روی Zn	8.50 <sup>b</sup>	16.64 <sup>b</sup>	42.26 <sup>a</sup>
	آهن + روی Fe+Zn	10.71 <sup>a</sup>	17.93 <sup>a</sup>	43.31 <sup>a</sup>
	شاهد Control	8.07 <sup>d</sup>	16.79 <sup>c</sup>	35.73 <sup>c</sup>
آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر Irrigation after 180 mm evaporation	آهن Fe	12.76 <sup>a</sup>	18.43 <sup>b</sup>	36.73 <sup>bc</sup>
	روی Zn	11.19 <sup>c</sup>	17.41 <sup>bc</sup>	39.13 <sup>a</sup>
	آهن + روی Fe+Zn	11.95 <sup>b</sup>	19.48 <sup>a</sup>	40.20 <sup>a</sup>

در هر ستون و در هر تیمار رژیم آبیاری میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری بر اساس رویه L.S.Means ندارند.

In each column and in each irrigation level, the means that have at least the same letters are not significantly different by L.S.Means test.

روی اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین عملکرد روغن در تیمار شاهد (محلول‌پاشی با آب) مشاهده شد (جدول ۴). قلی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی تیمارهای آبیاری مطلوب و تنش رطوبتی ملایم و شدید (آبیاری پس از تخلیه ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد آب قابل استفاده خاک) در آفتابگردان گزارش کردند که در شرایط تنش رطوبتی شدید میزان درصد روغن دانه ۴ درصد کاهش یافت که علت آن را افزایش ضخامت پوسته و کاهش نسبت مغز به دانه آفتابگردان بیان کردند (۱۱). افشانی و همکاران (۲۰۱۵) نیز با بررسی اثر محلول‌پاشی آهن و روی بر کلزا در شرایط کم آبیاری بیان داشتند که بیشترین درصد روغن دانه کلزا از تیمار آبیاری کامل به‌همراه محلول‌پاشی عناصر آهن و روی بود. که البته بین تیمارهای محلول‌پاشی آهن و روی تفاوت معنی‌داری حاصل نشده است (۲). عناصر آهن و روی باعث افزایش فتوسنتز در نتیجه افزایش تولید کربوهیدرات‌ها شده که از این طریق درصد روغن دانه را افزایش می‌دهند.

عملکرد روغن برابر با حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد روغن دانه است. مکی و همکاران (۱۹۹۹) نشان دادند، کاهش زیاد عملکرد روغن ارقام آفتابگردان در تنش شدید خشکی به‌دلیل کاهش ظرفیت دانه‌ها برای تجمع روغن و کاهش درصد روغن دانه‌ها و همچنین کاهش عملکرد دانه است (۱۶). افزایش عملکرد روغن در اثر کاربرد عناصر ریزمغذی به‌دلیل نقش آن‌ها به‌عنوان کوفاکتور آنزیم‌های مهم متابولیسمی در فتوسنتز و تولید هورمون‌های گیاهی توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (۳ و ۲۸).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری، محلول‌پاشی و برهم‌کنش بین آن‌ها بر میزان روغن دانه بود (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش بین دور آبیاری و محلول‌پاشی بر میزان روغن دانه نشان داد که در هر سه تیمار دور آبیاری، محلول‌پاشی عناصر آهن و روی نسبت به شاهد (محلول‌پاشی با آب) افزایش معنی‌داری در محتوای روغن دانه آفتابگردان ایجاد کردند، به‌طوری‌که این میزان افزایش برای محلول‌پاشی آهن+روی نسبت به شاهد (محلول‌پاشی با آب) در تیمارهای آبیاری پس از ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر به‌ترتیب برابر با ۱۲/۸، ۱۸/۵ و ۱۲/۵ درصد بود (جدول ۳).

همچنین نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به عملکرد روغن آفتابگردان نیز حاکی از تأثیر معنی‌دار دور آبیاری و محلول‌پاشی و عدم تأثیر معنی‌دار برهم‌کنش بین این تیمارها بر صفت مذکور بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر دور آبیاری بر عملکرد روغن نشان داد که تأخیر در آبیاری کاهش معنی‌داری در این صفت ایجاد کرد به‌طوری‌که بیشترین عملکرد روغن (۱۴۸/۸۹ گرم در مترمربع) در تیمار آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر و کمترین عملکرد روغن (۸۳/۸۲ گرم در مترمربع) در تیمار آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر مشاهده شد و تأخیر آبیاری از ۶۰ به ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر، کاهش ۴۳/۷ درصدی عملکرد روغن آفتابگردان را باعث شد (جدول ۴). همچنین، بررسی اثر تیمارهای محلول‌پاشی بر عملکرد روغن نشان داد که بیشترین عملکرد روغن در تیمار محلول‌پاشی آهن + روی مشاهده شد که از لحاظ آماری با تیمار محلول‌پاشی

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر دور آبیاری و محلول‌پاشی بر برخی صفات آفتاب‌گردان.

Table 4. Mean comparisons effect of irrigation interval and foliar application on some traits of sunflower.

تیمارهای آزمایشی Treatments	نشست الکترولیت leakage (%)	محتوای آب نسبی RWC (%)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg g <sup>-1</sup> leaf fresh weight)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	شاخص سطح برگ LAI	عملکرد دانه Grain yield (g m <sup>-2</sup> )	عملکرد روغن Oil yield (g m <sup>-2</sup> )	
آبیاری Irrigation	پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر After 60 mm evaporation	75.89 <sup>c</sup>	72.77 <sup>a</sup>	1.41 <sup>a</sup>	159.02 <sup>a</sup>	4.78 <sup>a</sup>	352.58 <sup>a</sup>	148.89 <sup>a</sup>
	پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر After 120 mm evaporation	84.88 <sup>b</sup>	69.37 <sup>b</sup>	1.24 <sup>b</sup>	143.77 <sup>b</sup>	3.48 <sup>b</sup>	300.93 <sup>b</sup>	122.13 <sup>b</sup>
	پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر After 180 mm evaporation	91.13 <sup>a</sup>	68.67 <sup>b</sup>	0.97 <sup>c</sup>	131.77 <sup>c</sup>	3.02 <sup>b</sup>	220.28 <sup>c</sup>	83.82 <sup>c</sup>
محلول‌پاشی Foliar application	محلول‌پاشی با آب (شاهد) (Control)	89.68 <sup>a</sup>	68.07 <sup>b</sup>	1.10 <sup>c</sup>	139.50 <sup>b</sup>	3.45 <sup>b</sup>	259.48 <sup>b</sup>	100.10 <sup>c</sup>
	آهن Iron	85.08 <sup>b</sup>	69.32 <sup>b</sup>	1.21 <sup>b</sup>	144.66 <sup>a</sup>	3.78 <sup>a</sup>	294.44 <sup>a</sup>	117.11 <sup>b</sup>
	روی Zinc	82.02 <sup>c</sup>	71.77 <sup>a</sup>	1.31 <sup>a</sup>	148.41 <sup>a</sup>	3.77 <sup>a</sup>	298.04 <sup>a</sup>	124.64 <sup>ab</sup>
	آهن + روی Iron + Zin	79.09 <sup>d</sup>	71.92 <sup>a</sup>	1.22 <sup>b</sup>	146.83 <sup>a</sup>	4.04 <sup>a</sup>	313.08 <sup>a</sup>	131.28 <sup>a</sup>

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

In each column, the means with same letters are not significantly different by LSD test LAI=Leaf area index, RWC=Relative water content.

محلول‌پاشی این دو عنصر می‌تواند تأثیر مثبتی بر سازوکارهای تحمل به خشکی و افزایش عملکرد آفتاب‌گردان داشته باشند.

### نتیجه‌گیری کلی

محلول‌پاشی عناصر آهن و روی موجب بهبود صفات مورد اندازه‌گیری، تحت شرایط تنش رطوبتی گردید. از این‌رو، افزایش متابولیت‌ها به‌ویژه قندهای محلول برگ و کاهش پراکسیداسیون لیپیدها در اثر

Fe, Zn and Ca on grain and oil yield of sesame (*sesamus indicum* l.) Varieties. elec. J. Crop Prod., 5(3): 115-130. (In Persian)

4-Amaniyan, A., Armin, M., and Filekesh, E. 2014. Effect of different zinc amounts application on yield and yield components of sunflower under drought stress conditions. J. Crop Prod. Res., 5(3): 287-298. (In Persian)

5-Arnon, D.I. 1967. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. J. Plant Physiol., 24: 1-15.

6-Babaeian, M., Heidari, M., and Ghanbari, A. 2011. Effect of water stress and foliar micronutrient application on physiological characteristics and nutrient uptake in sunflower (*Helianthus*

### منابع

- 1- Abedi Baba-Arabi, S., Movahhedi Dehnavi, M., Yadavi, A., and Adhami, E. 2011. Effects of Zn and K foliar application on physiological traits and yield of spring safflower under drought stress. J. Crop Prod., 4(1): 75-95. (In Persian)
- 2-Afshani, S., Amirnia, R., and Hadi, H. 2015. Study effect of foliar application of iron and zinc on yield and yield components of autumn rapeseed (*Brassica napus* L.) under limited irrigation. Iran. J. Field Crops Res., 13(1): 43-52. (In Persian)
- 3-Ahmadi, J., Seyfi, M.M., and Amini, M. 2012. Effect of spraying micronutrients

- 15-Khan, H., Link, U., Hocking, W., and Stoddard, F. 2007. Evaluation of physiological traits for improving drought tolerance in faba bean (*vicia faba* L.). *Plant Soil Sci.*, 292: 205-217.
- 16-Mekki, B.B., EL- Kholy, M.A., and Mohamad, E.M. 1999. Yield, oil and fatty acids contents as affected by water deficit and Potassium fertilization in tow sunflower cultivars. *Egyptian J. Agr.*, 21: 67- 85.
- 17-Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plant. 2nd edition. Academic Press. UK.
- 18-Mirakhori, M., Paknejad, F., Moradi, F., Ardakani, M.R., Nazeri, P., and Esmailpor jahromi, M. 2010. Effect of drought stress and methanol on chlorophyll parameters, chlorophyll content and relative water content of soybean (*Glycine max* L., var. L 17). *Iran. J. Field Crops Res.*, 8(3): 531-541. (In Persian)
- 19-Misagh, M., Movahhedi Dehnavi, M., Yadavi, A., and Khadem-Hamze, H. 2014. Effect of zinc and boron foliar application on some physiological traits of sesame (*Sesamum indicum* L.) under drought stress. 13<sup>th</sup> Iranian Crop Sci. Congress and 3<sup>rd</sup> Iranian Seed Sci. Tech. Conference. (In Persian)
- 20-Moosavifar, B.E., Behdani, M.A., Jami Alahmadi, M., and Hosaini Bojd, M.S. 2010. Effect of deficit irrigation on some morphological characteristics and biological yield of spring safflower cultivars. *Environ. Stress Crop Sci.*, 3(2): 105-114. (In Persian)
- 21-Mosavi, S.R., Galavi, M., and Ahmadvand, G. 2007. Effect of zinc and manganese foliar application on yield, quality and enrichment on potato (*Solanum tuberosum* L.). *Asian J. Plant Sci.*, 6: 1256- 1260.
- 22-Niakan, M., and Ghorbanli, M. 2007. The effect of drought stress on growth parameteres, photosynthetic factors, content of protein, Na and K in shoot and root in two soybean cultivars. *Bot. J. Iran.*, 8(1): 17-32. (In Persian)
- 23-Odeley, F., and Animashaun, M.O. 2007. Effects of nutrient foliar spray on *annus* L.) *Iran. J. Crop Sci.*, 12(4): 377-391. (In Persian)
- 7-Beltrano, J., and Ronco, M.G. 2008. Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and dewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum*. *J. Plant Physiol.*, 20: 29-31.
- 8-Daneshmand, A.R., Shirani-Rad, A.H., Nour-Mohammadi, Gh., Zarei, Gh., and Daneshian, J. 2008. Effect of irrigation regiems and nitrogen levels on seed yield and seed quality of two rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iran. J. Crop. Sci.*, 10(3): 244-261 (In Persian)
- 9-Ebrahimian, E., and Bybordi, A. 2011. Effect of iron foliar fertilization on growth, seed and oil yield of sunflower grown under different irrigation regimes. *Middle-East J. Sci. Res.*, 9 (5): 621-627.
- 10-Ghattavi, H., Moafporian, Gh., and Bahrani, A. 2012. Effect of zinc sulfate spraying and irrigation intervals on yield, yield components and protein content of grain corn. *J. Plant Ecophysiol.*, 4(1)38-48. (In Persian)
- 11-Gholinezhad, E., Aynaband, A., Hassanzade Ghorthapeh, A., Noormohamadi G., and Bernousi, I. 2012. Effects of drought stress, nitrogen amounts and plant densities on grain yield, rapidity and period of grain filing in sunflower. *J. Agric. Sci. Sustain. Prod.*, 22(1): 129-143. (In Persian)
- 12- Goksoy, A.T., Demir, A.O., Turan, Z.M., and Da ust, N. 2004. Responses of sunflower to full and limited irrigation at different growth stages. *Field Crop Res.*, 87: 167-178.
- 13-Irigoyen, J., Emerich, D.W., and Sanchesdiaz, M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiol. Plant.*, 84: 55-60.
- 14-Jiang, Y., and Huang, N. 2001. Drought and heat stress injury to two cool-season turf grasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Sci.*, 41: 436-442.

- 30-Saeidi Aboueshaghi, R., Yadavi, A., Movahhedi Dehnavi, M., and Baluchi, H. 2014. Effect of irrigation intervals and foliar application of iron and zinc on some physiological and morphological characteristics of red bean (*Phaseolous vulgaris* L.). J. Plant Proc. Fun., 3(7): 27-41. (In Persian)
- 31-Singh, S.H. 2007. Drought resistances in the race Durango dry bean landraces and cultivars. Agr., J., 99(5): 1919-1925.
- 32-Siosemardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., and Ebrahimzadeh, H. 2003. Stomatal and nonstomatal limitations to photosynthesis and their relationship with drought resistance in wheat cultivars. Iran. J. Agric. Sci., 34(4): 93-106
- 33- Teulat, B., Monneveux, P., Wery, J., Borries, C., Souyris, I., Charrier, A., and This, D. 1997. Relationships between relative water content and growth parameters and water stress in barley, A QTL study. New Physiol., 137: 99-107.
- 34-Weisany, W., Sohrabi, Y., Heidari, G., Siosemardeh, A., and Ghasemi-Golezani, K. 2011. Physiological response of soybean (*Glycine max* L.) to zinc application under salinity stress. Aust. J. Crop Sci., 5: 1441-1447.
- 35-Zago, M.P., and Oteiza, P.I. 2001. The antioxidant properties of zinc: Interactions with iron and antioxidants. Free Radic. Biol. Med., 31: 266-274.
- soybean growth and yield (*Glycine max* L.) in south west Nigeria. Aust. J. Crop Sci., 41: 1842-1850.
- 24-Pandey, R.K., Marienville, J.W., and Chetima, M.M. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effect on maize in a sahelian environment. II. Shoot growth, nitrogen uptake and water extraction. Agric. Water Manag., 46(1): 15-27.
- 25-Paquine, R., and Lechasser, P. 1979. Observations sur une methode de dosage de la proline libre dans les extraits de plantes. Can. J. Bot., 57(17): 1851-1854.
- 26-Potarzycki, J., and Grzebisz, W. 2009. Effect of zinc foliar application on grain yield of maize and its yielding components. Plant Soil Environ., 55: 519-527.
- 27-Rahimizadeh, M., Kashani, A., Zare Fizabady, A., Madani, H., and Soltani, E. 2010. Effect of micronutrient fertilizers on sunflower growth and yield in drought stress condition. J. Crop. Prod., 3(1): 72-75. (In Persian)
- 28-Ravi, S., Channal, H.T., Hebsur, N.S., Patil, B.N., and Dharmatti, P.R. 2008. Effect of sulphur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of safflower (*carthamus tinctorius* L.). Karnataka J. Agric. Sci., 21(3): 382-385.
- 29-Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., and Vivekanandan, M. 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. J. Plant Physiol., 161: 1189-1202.