

## اثر محلول پاشی کود آهن بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی سرخارگل (*Echinaceae purpurea*) تحت تیمارهای کم آبی

- ۱- سارا خراسانی‌نژاد، استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.  
khorasaninejad@gau.ac.ir
- ۲- حسین گرگینی‌شبانکاره، دانشجوی دکتری گیاهان دارویی، گروه علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
- ۳- ملیحه آزادی، دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گیاهان دارویی، گروه علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
- ۴- زهرا مهاجروطن، دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گیاهان دارویی، گروه علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۱

پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۲۰

### چکیده

به منظور بررسی اثر رژیم‌های آبیاری و محلول پاشی نانوکلات آهن بر برخی ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سرخارگل (*Echinaceae purpurea* (L.) Monch) آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در ۳ تکرار در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه غیرانتفاعی بهاران گرگان در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش در چهار سطح دور آبیاری (شامل هر ۳ روز یکبار (شاهد)، ۶، ۹ و ۱۲ روز یکبار آبیاری) به عنوان عامل اصلی و چهار سطح محلول پاشی نانوکلات آهن (عدم محلول پاشی (شاهد)، ۳، ۶ و ۹ در هزار) لحاظ شد. نتایج نشان داد افزایش فاصله آبیاری سبب کاهش معنی دار ارتفاع بوته، وزن تازه و خشک گیاه، وزن تر و خشک ریشه شد. همچنین دور آبیاری در بالاترین سطح منجر به کاهش محتوای نسبی آب برگ و نشب یونی شد. میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی اندام هوایی و قند محلول تحت تاثیر دور آبیاری افزایش و در سطح سوم آبیاری به حداکثر مقدار خود رسید. محلول پاشی نانوکلات آهن نیز بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده به جز فنل اندام هوایی و وزن تازه گیاه تاثیر معنی داری داشت. این اثر در سطوح سوم و چهارم تیمار بیشترین مقدار بود. نتایج اثر متقابل این دو عامل نشان داد که ۶ روز یکبار آبیاری و محلول پاشی ۶ در هزار نانوکلات آهن موجب افزایش قند محلول و فعالیت آنتی‌اکسیدانی شده، بیشترین مقدار پرولین از سطح چهارم دور آبیاری و کاربرد ۹ در هزار نانوکلات آهن مشاهده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش شدت تنش خشکی باعث کاهش صفات مورفولوژیکی و محتوای نسبی آب برگ و افزایش پرولین، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل، قند و نشب یونی شد. تیمار کودی نانوکلات آهن از گیاهان سرخارگل در برابر تنش خشکی محافظت نموده و باعث کاهش خسارت‌های ناشی از تنش خشکی می‌شود. به طور کلی می‌توان اعمال ۶ در هزار نانوکلات آهن را برای کاهش تاثیر سوء رژیم‌های آبیاری توصیه کرد.

**واژگان کلیدی:** خشکی؛ سرخارگل؛ فعالیت آنتی‌اکسیدانی؛ فنل کل؛ کود آهن.

### مقدمه

تمام فرآیندهای متابولیکی گیاه اثر می‌گذارد و اغلب موجب کاهش عملکرد گیاه می‌شود [۲]. در مطالعه بر روی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill)، مشاهده گردید که تنش کم آبی بر عملکرد اندام هوایی، عملکرد و بازده اسانس تأثیر می‌گذارد به طوری که با افزایش سطوح خشکی صفات مورفولوژیکی کاهش و در مقابل خشکی تا سطح ۸۰ درصد ظرفیت زراعی باعث افزایش درصد اسانس و عملکرد اسانس می‌شود [۲۱].

گیاهان در دوران رشد خود با تنش‌های گوناگون محیطی مواجه می‌شوند، که هریک از آنها می‌توانند باتوجه به میزان حساسیت و مرحله رشدی گیاه اثر متفاوتی بر رشد و عملکرد داشته باشند. تنش آب از مهم ترین عوامل محیطی کاهش رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی، باغی و دارویی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک دنیاست [۲۲]. تنش طولانی مدت رطوبتی بر

مفیدتر از کاربرد خاکی مواد غذایی برای بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه است [۳۰].

با این حال یکی از روش‌های جالب که در سال‌های اخیر مورد توجه بسیار قرار گرفته است، استفاده از روش نانوکود به‌عنوان یک روش کارآمد و اقتصادی است. در این روش خواص عناصر در سطح نانو تغییر می‌یابد (فرآورده‌های نانو شامل مخلوطی از ذره‌هایی با ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند که می‌توانند ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مواد اولیه خود را تغییر دهند) و مواد مغذی فعالتر و مؤثرتر می‌شوند [۱۹]. نتایج مطالعات موجود بیانگر واکنش متفاوت گونه‌های مختلف گیاهان به مواد غذایی تهیه شده به شکل نانو است. نانو کود کلاته آهن دارای بنیان یا کمپلکسی پایدار و قوی است و این نانوکمپلکس دارای ۹ درصد آهن محلول است که در بازه بین ۳ تا ۱۱ واکنش خاک می‌تواند آهن را به‌صورت محلول در آب در اختیار گیاهان قرار دهد [۵]. عناصر کم‌مصرف آهن تأثیر زیادی در کاهش اثر سوء تنش خشکی در گیاهان دارند. با کاهش میزان رطوبت خاک، تحرک عنصر آهن در خاک کاهش یافته و با توجه به محدودیت رشد ریشه، گیاه به‌طور فزاینده‌ای با کمبود این عنصر مواجه می‌شود [۲۳]. آهن برای تشکیل کلروفیل و در نتیجه فتوسنتز ضروری است و کمبود آن به شدت میزان تولید آسیمیلات‌ها را کاهش می‌دهد [۳۹]. بررسی‌های محققان روی زیره سبز نشان داد، در شرایط محدودیت آبیاری، می‌توان با کاربرد ۶ کیلوگرم نانوکود آهن در هکتار، کاهش عملکرد ناشی از کاهش دفعات آبیاری را جبران کرد [۱۱].

با توجه به این‌که خشکی و کم‌آبی در ایران همواره از مهمترین مسائل و مشکلات کشاورزی است و از این پدیده طبیعی و غیرقابل تغییر راه‌فراری نیست. با عنایت به تأثیر منفی خشکی در محدود نمودن تولید محصولات، معرفی روش‌های مدیریتی نظیر کاربرد کودهای نانو از طریق چنین بررسی‌هایی ضروری است. بنابراین، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی سطوح مختلف نانوکلات آهن در بهبود ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه سرخارگل در شرایط رژیم‌های کم‌آبیاری برای افزایش مصرف کارایی آب، اجرا شد.

همچنین اثر تنش خشکی روی برخی خصوصیات مورفولوژیکی، کمیت و کیفیت اسانس در اسطوخودوس نشان داد که در سطوح اولیه تنش خشکی درصد اسانس افزایش یافت، درحالی‌که با شدید شدن تنش (۵۵ درصد ظرفیت زراعی) با وجود کاهش درصد اسانس تولید شده، کیفیت اسانس افزایش یافت [۲۶]. بررسی اثر تنش خشکی روی برخی خصوصیات مورفولوژیکی، کمیت و کیفیت اسانس نعنای فلفلی نشان داد که سطوح اولیه تنش خشکی درصد اسانس افزایش یافت، درحالی‌که با افزایش تنش (۷۰ درصد ظرفیت زراعی) با وجود کاهش در درصد اسانس تولیدشده، کیفیت اسانس افزایش یافت که دلیل آن را اثر کم‌آبی بر مسیرهای بیوسنتزی متابولیت‌های ثانویه دانسته‌اند [۲۵].

یکی از موضوعات مهم در مورد رشد گیاهان دارویی در شرایط خشک و نیمه‌خشک از جمله ایران تأمین مواد غذایی گیاهان است [۱۷ و ۴۰]. در شرایط خشک و نیمه‌خشک به‌دلیل pH بالا و حضور کربنات و بی‌کربنات در خاک، در دسترس بودن مواد ریزمغذی مختلف به‌خصوص آهن کاهش می‌یابد و در نتیجه گیاهان با کمبود آهن مواجه می‌شوند [۳۳]. تنش خشکی موجب برهم زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاه می‌شود. با تکمیل مصرف عناصر غذایی کم‌مصرف از طریق محلول‌پاشی، می‌توان وضعیت رشد گیاه را در شرایط تنش بهبود بخشید. آهن یکی از عناصر مهم در واکنش‌های اکسایش-کاهش، در گیاهان است. نقش این عنصر در تثبیت نیتروژن و فعالیت برخی آنزیم‌ها نظیر کاتالاز، پراکسیداز و سیتوکروم‌اکسیداز بررسی شد [۸]. طی پژوهشی مصرف ریزمغذی آهن موجب افزایش ۵۱ و ۴۲ درصدی فعالیت آنزیم گایال‌پراکسیداز و کاتالاز شد [۷]. رطوبت کم خاک منجر به کمبود عناصر کم‌مصرف به‌ویژه عنصر آهن در گیاه می‌شود [۴۳]. کاربرد خاکی مواد غذایی تحت شرایطی که آب در دسترس کم است، در افزایش جذب و انتقال مواد غذایی به شاخه و برگ گیاه همیشه مؤثر نیست در چنین شرایطی کاربرد کودها در خاک در نتیجه افزایش شوری محلول خاک می‌تواند مضر باشد. استفاده از روش محلول‌پاشی شاخه و برگ گیاه

## مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر فاصله آبیاری و نانوکلات آهن بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارویی سرخارگل، آزمایشی در سال ۱۳۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه غیرانتفاعی بهاران گرگان (ابتدای جاده گرگان- مشهد) اجراء شد. در این تحقیق اثر دو عامل رژیم آبیاری و نانوکلات آهن به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی در ۳ تکرار بررسی شد. فاصله آبیاری در چهار سطح آبیاری (هر ۳ روز یکبار آبیاری به عنوان شاهد، ۶، ۹ و ۱۲ روز یکبار به عنوان عامل اصلی) و محلول پاشی نانوکلات آهن در چهار غلظت (عدم محلول پاشی، ۳ در هزار بر مبنای ۱۰ کیلوگرم در هکتار، ۶ در هزار بر مبنای ۲۰ کیلوگرم در هکتار، نه در هزار بر مبنای ۳۰ کیلوگرم در هکتار و ۱۲ در هزار بر مبنای ۴۰ کیلوگرم در هکتار) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد.

برای اعمال تیمار نانوکلات آهن از کود شیمیایی با نام تجاری نانوکلات آهن (Nano Chelated Iron) به میزان ۱۰ کیلوگرم در هکتار (بر اساس توصیه شرکت سازنده) استفاده شد. مراحل آماده سازی زمین شامل شخم با گاوا آهن برگردان دار، خرد نمودن کلوخه‌ها با دیسک و ایجاد جوی و پشته‌هایی با فاصله ۵۰ سانتی متر توسط فاروور بود. اواخر اسفندماه نشاهای سرخارگل در کرت‌های آماده شده به تعداد ۶ نشا در هر کرت کشت شد. وجین علف‌های هرز واحدهای آزمایشی در سه نوبت (یک مرحله قبل از اعمال تیمارهای آبیاری، مرحله دوم در اواسط دوره رشدی گیاه و مرحله سوم در قبل از دوره گل‌دهی) به صورت دستی صورت پذیرفت. برای شناسایی خصوصیات کمی و کیفی خاک محل آزمایش، نمونه

خاکی از عمق ۰-۳۰ سانتی متری برداشته و به آزمایشگاه منتقل و مورد تجزیه شیمیایی و فیزیکی انجام گرفت (جدول ۱).

اعمال تیمارهای دور آبیاری بر اساس فاصله آبیاری بود. به منظور ایجاد شرایط بهینه برای انجام آزمایش، گیاهان قبل از شروع تنش‌دهی، چندین مرحله آبیاری شدند. اولین آبیاری‌ها پس از انجام عملیات کاشت و در همه کرت‌ها به صورت یکسان انجام گرفته و تا رسیدن به مرحله استقرار گیاه ادامه یافت. به منظور اعمال تیمارهای آبی، آبیاری (با آب لوله‌کشی شهری) برای هر کرت بر اساس سطوح مختلف آبیاری و تیمار رطوبتی کرت مورد نظر) در چهار سطح و به فاصله هر روز آبیاری، ۳، ۶ و ۹ روز یکبار آبیاری برای هر کرت تا پایان دوره رشد انجام شد. مقدار مورد نیاز نانوکلات آهن در این طرح برای هر تیمار محاسبه و در دو مرحله ۶ تا ۸ برگی و آغاز گلدهی، به صورت محلول پاشی اعمال شد.

حدود ۱۲ هفته پس از شروع تیمارهای رژیم آبی (زمانی که ۵۰٪ بوته‌ها در مرحله گلدهی کامل بودند)، اقدام به اندازه‌گیری ویژگی‌های مورفولوژیکی (ارتفاع بوته، طول ریشه، وزن خشک و تر ساقه، وزن خشک و تر ریشه)، فیزیولوژیکی (رطوبت نسبی آب برگ، وزن خشک، پرولین، قند محلول) و بیوشیمیایی (فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی، فلاونوئیدکل و فنل کل) شد به طوری که از هر تیمار، سه تکرار انتخاب شده، پرولین و رطوبت نسبی آب برگ اندازه‌گیری شد. بعد از حذف ریشه و خشک نمودن اندام‌های هوایی در دمای اتاق، اندازه‌گیری وزن خشک گیاه، عصاره متانولی از اندام هوایی تهیه و صفاتی نظیر فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی کل، فنل کل، فلاونوئید کل، پرولین و قند محلول برای هر تکرار اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

شماره آزمایشگاه	عمق	pH	هدایت الکتریکی EC*10	درصد اشباع	درصد مواد درختی شونده ازت	درصد کربن آلی O.C %	فسفر قابل جذب P(ava) P.P.M	پتاسیم قابل جذب K(ava) P.P.M	رس %Clay	لای %Silt	ماسه %Sand	بافت
Lab.No	Depth			SP	T.N.V	N						
۹۴۷	۳۰-۰	۷/۳۴	۴/۰۷۶	۱۴۱/۸۶	۵/۵۹	۰/۰۹	۲۴/۸	۲۵۶	۱۲	۴۲	۴۲	Clay - Silty

S.P: دانه بندی خاک

T.N.V: درصد کل مواد خنثی شونده

هر نمونه در ویال‌های جداگانه اضافه و آنها را در دمای  $^{\circ}\text{C}$  ۱۰ به مدت ۲۴ ساعت در داخل انکوباتور قرار داده شد. پس از طی زمان و رساندن دمای نمونه‌ها به دمای تعادل آزمایشگاه میزان هدایت الکتریکی  $L_T$  هر نمونه با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج اندازه‌گیری شد، در مرحله بعد نمونه‌ها در دمای  $^{\circ}\text{C}$  ۱۲۰ به مدت ۱۵ دقیقه اتوکلاو شد. سپس نمونه‌ها از اتوکلاو خارج و پس از رسیدن به دمای تعادل آزمایشگاه میزان هدایت الکتریکی  $L_0$  نمونه‌ها مجدداً اندازه‌گیری شد و سپس با استفاده از رابطه ۲ میزان نشت الکترولیت محاسبه شد [۲۷].

$$(2) \quad \text{نشت الکترولیت} = L_T / L_0 \times 100$$

همچنین برای پرولین از روش بیتز استفاده شد [۱۴] و استانداردهای پرولین محلول در فاز تولوئن را به اندازه‌ی لازم در کووت دستگاه اسپکتروفتومتر ریخته و مقدار پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت و منحنی استاندارد رسم شد. سپس میزان جذب در نمونه‌های گیاهی قرائت و با قراردادن آن در معادله خطی مقدار پرولین به دست آمد.

برای تعیین درصد محتوای نسبی آب برگ، از قسمت انتهایی ساقه سه برگ توسعه یافته از تمام واحدهای آزمایشی جدا کرده، قطعاتی یک سانتی‌متری برگ تهیه و وزن تر آن‌ها به کمک ترازو دیجیتالی اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن شباع آن‌ها را به پتری‌دیش‌های درب‌دار حاوی آب مقطر منتقل کرده و به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای  $^{\circ}\text{C}$  ۴ قرار داده شد. پس از خارج کردن قطعات از آب مقطر برای حذف رطوبت اضافی سطح قطعات برگ آن‌ها را در بین دو لایه کاغذ صافی خشک نموده و سپس وزن آماس آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس وزن خشک با قرار دادن همان نمونه گیاهی در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت تعیین و در آخر رطوبت‌نسبی آب برگ<sup>۲</sup> با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد [۴۸].

میزان فنل کل به روش فولین سیوکالتو اندازه‌گیری شد به طوری که نمونه‌های آماده شده در طول موج ۷۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UNICO 2800) قرائت گردید. برای رسم منحنی کالیبراسیون از غلظت‌های متفاوت اسیدگالیک (۲۵۰، ۲۰۰، ۱۵۰، ۱۰۰، ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) در متانول ۸۰٪ استفاده شد. این مقدار برای یک گرم در لیتر محاسبه شد و فنل کل بر حسب میلی‌گرم اسیدگالیک در ۱۰۰ گرم برگ خشک بدست آمد [۳۱].

برای محاسبه فلاونوئیدکل از روش آلومینیوم کلرید استفاده شد و محلول حاصل ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار داده شد و سپس در طول موج ۴۱۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد [۱۲].

برای اندازه‌گیری میزان مهار رادیکال‌های آزاد DPPH<sup>۱</sup> (دی فنیل پیکریل هیدرازیل)، ابتدا یک میلی‌لیتر از عصاره متانولی با یک میلی‌لیتر DPPH با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار مخلوط شد. برای نمونه شاهد یک میلی‌لیتر متانول خالص به جای یک میلی‌لیتر عصاره متانولی قرار داده شد و برای بلانک از متانول خالص استفاده شد. بعد از ۳۰ دقیقه تاریکی، نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. اعداد بدست آمده از جذب نمونه به کمک رابطه ۱ به درصد مهار رادیکال آزاد تبدیل شد [۳۲].

(۱)

(درصد جذب نمونه - درصد جذب شاهد) = میزان مهار رادیکال‌های آزاد  
درصد جذب شاهد  $\times 100$

اعداد بدست آمده برابر با درصد مهار رادیکال‌های آزاد در عصاره متانولی (ppm ۰/۱) نمونه‌ها است.

استخراج قندهای محلول با استفاده از روش اوموکولو انجام شد [۳۷] به طوری که برای اندازه‌گیری انواع قندهای محلول توسط دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده شد [۳۷].

برای تعیین درصد نشت یونی، نمونه‌های یک گرمی برگ بلافاصله بعد از برداشت به آزمایشگاه منتقل و پس از خرد شدن و شستشو با آب مقطر، ۱۰ سی‌سی آب مقطر به

$$RWC (\%) = \left[ \frac{(\text{وزن خشک} - \text{وزن تر})}{\text{وزن خشک} - \text{وزن آبلش}} \times 100 \right] \quad (3)$$

باتوجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) تیمارهای اعمال شده بر تمامی صفات مورد اندازه گیری به جز فنل کل اندام هوایی اثر معنی دار داشته اند به طوری که دور آبیاری در سطح معنی داری یک درصد بر تمامی صفات اندازه گیری شده موثر بوده است. همچنین اثر نانوکلات آهن بر تمامی خصوصیات گیاه به جز فنل اندام هوایی و وزن تازه گیاه معنی دار شده است. اثر متقابل دور آبیاری و نانوکلات آهن به جز برای صفات فنل اندام هوایی و ریشه اثر معنی دار داشته است.

تجزیه و تحلیل داده ها (تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به روش LSD در سطح احتمال پنج درصد) با استفاده از نسخه ۹/۲ نرم افزار SAS انجام شد.

## نتایج

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر دور آبیاری و نانوکلات آهن بر شاخص های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سرخارگل

میانگین مربعات							منبع تغییرات
پرویلین	وزن خشک ریشه	وزن تازه ریشه	وزن خشک	وزن تازه بوته	ارتفاع بوته	درجه آزادی	
۰/۰۰۸	۰/۵۰	۲۱/۴۰	۳/۰۴	۵/۰۱	۰/۳۹	۲	تکرار
۱/۰۷**	۳۵/۵۹**	۷۵۲/۸۳**	۴۲/۹۱**	۱۰۷/۶۶**	۱۶۷/۱۲**	۳	دور آبیاری
۰/۰۰۷ <sup>ns</sup>	۰/۳۶ <sup>ns</sup>	۱۱/۳۴ <sup>ns</sup>	۰/۱۵ <sup>ns</sup>	۰/۸۸ <sup>ns</sup>	۰/۲۹ <sup>ns</sup>	۶	تکرار × دور آبیاری
۰/۶۸**	۱۴/۴۳**	۳۲۶/۷۷**	۵۸/۷۴**	۵/۱۷ <sup>ns</sup>	۱۶/۹۱**	۳	نانوکلات آهن
۰/۰۴۰*	۱۰/۳۸**	۱۱۷/۳۹**	۱۱/۳۸**	۳۴/۶۹**	۵/۵۴*	۹	دور آبیاری × نانوکلات آهن
۰/۰۰۷	۰/۴۲	۱۰/۶۹	۰/۷۰	۲/۵۱	۱/۰۴	۲۴	خطا
۴/۷۴	۸/۳۷	۹/۵۲	۷/۲۸	۵/۳۹	۴/۰۶		ضریب تغییرات

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس اثر دور آبیاری و نانوکلات آهن بر شاخص های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سرخارگل

میانگین مربعات							منبع تغییرات
آنتی اکسیدان	محتوای آب	فلاونوئید اندام	فنل اندام	قند محلول	نشت یونی	درجه آزادی	
اندام هوایی	نسبی برگ	هوایی	هوایی گیاه		برگ		
۲۳/۳۹	۱۳/۳۹	۰/۰۲۶	۰/۰۱۱	۱۲/۸۶	۴/۰۷	۲	تکرار
۹۱۸/۴۷**	۵۴۸/۶۸**	۱/۳۶**	۰/۰۱۴ <sup>ns</sup>	۷۴۲/۸۷**	۵۴۳/۸۳**	۳	دور آبیاری
۱۶/۰۶ <sup>ns</sup>	۹/۲۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۲۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۹ <sup>ns</sup>	۶/۵۱ <sup>ns</sup>	۱۲/۰۰۷ <sup>ns</sup>	۶	تکرار × دور آبیاری
۶۷۳/۲۸**	۴۰۳/۱۳**	۰/۷۷**	۰/۰۱۵ <sup>ns</sup>	۷۰۸/۲۵**	۳۷۵/۳۲**	۳	نانوکلات آهن
۷۳/۳۹*	۵۰۰/۰۶**	۰/۱۲۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۹ <sup>ns</sup>	۵۹/۹۹*	۴۵۹/۹۰**	۹	دور آبیاری × نانوکلات آهن
۱۳/۰۶	۹/۸۳	۰/۰۳۶	۰/۰۰۹	۱۰/۷۶	۲۶/۹۸	۲۴	خطا
۵/۸۵	۸/۰۹	۱۰/۸۴	۹/۱۵	۵/۳۵	۱۳/۵۰		ضریب تغییرات

\*، \*\* و ns: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد و عدم معنی داری

ارتفاع بوته، وزن تازه و خشک گیاه کاهش یافت. همچنین در تیمارهای ترکیبی با افزایش محلول پاشی تا ۶ در هزار نانوکلات آهن مقادیر این صفات افزایش یافت. به طور کلی برای صفت ارتفاع بوته، وزن تازه و خشک گیاه به ترتیب بیشترین مقدار ۳۱/۷۵ سانتی متر، ۳۹/۵۸ و ۲۰/۷۵ گرم در گیاه از محلول پاشی ۹ در هزار نانوکلات آهن در شرایط هر ۳ روز یکبار آبیاری بدست آمد (جدول ۵).

صفات وزن تازه و خشک ریشه به طور معنی داری (p ≤ ۰/۰۱) تحت تأثیر تیمارهای دور آبیاری و نانوکلات آهن قرار گرفتند (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان وزن تازه ریشه با میانگین ۳۸/۶۲ گرم در گیاه مربوط به تیمار دور آبیاری ۳ روز یکبار و کمترین آن با میانگین ۲۷/۲۸ گرم در گیاه مربوط به سطح چهارم دور آبیاری (۱۲ روز یکبار آبیاری) است (جدول ۳). کاربرد ۶ در هزار نانوکلات آهن موجب افزایش معنی دار این صفت نسبت به شاهد گردید. البته کاربرد سه و نه در هزار نانوکلات آهن نیز بهبود در این صفت را به عنوان صفت مثبت، نسبت به شاهد به دنبال داشت (جدول ۴).

شاخص‌های رشدی نظیر ارتفاع بوته، وزن تر و خشک بوته به طور معنی داری (p ≤ ۰/۰۱) تحت تأثیر تیمارهای دور آبیاری، نانوکلات آهن و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفتند (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان ارتفاع بوته با میانگین ۲۸/۷۵ سانتی متر مربوط به سطح اول تیمار دور آبیاری (هر ۳ روز یکبار آبیاری) و کمترین مقدار آن با میانگین ۲۰/۴۷ سانتی متر مربوط به سطح چهارم دور آبیاری (۱۲ روز یکبار آبیاری) بود (جدول ۵). محلول پاشی ۹ در هزار نانوکلات آهن موجب افزایش معنی دار این صفت نسبت به شاهد گردید. در حالی که از محلول پاشی ۳ و ۶ در هزار نانوکلات آهن نسبت به شاهد اثر معنی داری مشاهده نشد (جدول ۳). با کاهش سطح آبیاری ناشی از افزایش فاصله آبیاری، وزن تر و خشک بوته به طور معنی داری کاهش یافت (جدول ۵). محلول پاشی نانوکلات آهن تنها برای وزن خشک گیاه اثر معنی دار نشان داد. بیشترین میزان وزن خشک گیاه (۱۳/۹۳ گرم در گیاه) از محلول پاشی ۹ در هزار لیتر نانوکلات حاصل شد به طوری که اختلاف ۵/۰۳ درصدی این صفت نسبت به شاهد را به دنبال داشت (جدول ۳). در تیمارهای ترکیبی، با افزایش دور آبیاری مقادیر صفات

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده دور آبیاری بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سرخارگل

دور آبیاری	ارتفاع بوته (cm)	وزن تازه گیاه (cm)	وزن خشک گیاه (cm)	وزن تازه ریشه (gr)	وزن خشک ریشه (gr)	پرویلین (mM g <sup>-1</sup> )
هر سه روز	۲۸/۸۷ <sup>a</sup>	۳۳/۴۶ <sup>a</sup>	۱۴/۳۲ <sup>a</sup>	۴۳/۷۶ <sup>b</sup>	۶/۵۷ <sup>c</sup>	۱/۴۶ <sup>d</sup>
شش روز یکبار	۲۷/۲۹ <sup>b</sup>	۲۹/۶۰ <sup>b</sup>	۱۱/۰۸ <sup>b</sup>	۳۸/۶۲ <sup>a</sup>	۱۰/۰۰ <sup>a</sup>	۱/۷۴ <sup>c</sup>
نه روز یکبار	۲۳/۸۹ <sup>c</sup>	۲۸/۱۹ <sup>c</sup>	۱۰/۶۵ <sup>bc</sup>	۲۸/۶۶ <sup>c</sup>	۸/۱۸ <sup>b</sup>	۱/۸۹ <sup>b</sup>
دوازده روز یکبار	۲۰/۴۷ <sup>d</sup>	۲۶/۴۲ <sup>d</sup>	۱۰/۱۲ <sup>c</sup>	۲۷/۲۸ <sup>c</sup>	۶/۲۵ <sup>c</sup>	۲/۱۸ <sup>a</sup>

ادامه جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده دور آبیاری بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سرخارگل

دور آبیاری	نشت یونی (%)	قند محلول (mg/g)	فلاونوئید اندام هوایی (mg/g)	RWC	آنتی اکسیدان اندام هوایی
هر سه روز	۱۱/۳۸ <sup>c</sup>	۴۹/۹۶ <sup>c</sup>	۱/۳۴ <sup>c</sup>	۴۷/۹۵ <sup>a</sup>	۵۰/۱۹ <sup>c</sup>
شش روز یکبار	۳۶/۹۸ <sup>b</sup>	۶۳/۳۳ <sup>b</sup>	۱/۶۱ <sup>b</sup>	۳۸/۱۱ <sup>b</sup>	۶۱/۴۲ <sup>b</sup>
نه روز یکبار	۳۷/۹۵ <sup>b</sup>	۶۸/۱۹ <sup>a</sup>	۱/۹۸ <sup>a</sup>	۳۷/۱۴ <sup>b</sup>	۷۱/۲۰ <sup>a</sup>
دوازده روز یکبار	۴۷/۵۹ <sup>a</sup>	۶۳/۶۳ <sup>c</sup>	۲/۰۶ <sup>a</sup>	۳۱/۷۱ <sup>c</sup>	۶۴/۳۰ <sup>b</sup>

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معناداری ندارند.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده نانوکلات آهن بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سرخارگل

محلول پاشی نانوکلات آهن	ارتفاع بوته (cm)	وزن تازه گیاه (gr)	وزن خشک گیاه (gr)	وزن تازه ریشه (gr)	وزن خشک ریشه (gr)	پرویلین (mM g <sup>-1</sup> )
عدم محلول پاشی	۲۴/۴۵ <sup>b</sup>	۲۹/۳۲ <sup>ab</sup>	۸/۹۰ <sup>d</sup>	۲۷/۳۱ <sup>c</sup>	۶/۴۵ <sup>c</sup>	۱/۵۲ <sup>d</sup>
سه در هزار نانوکلات آهن	۲۴/۶۴ <sup>b</sup>	۲۹/۸۵ <sup>ab</sup>	۱۰/۶۷ <sup>c</sup>	۳۴/۳۸ <sup>b</sup>	۷/۲۵ <sup>b</sup>	۱/۷۷ <sup>b</sup>
شش در هزار نانوکلات آهن	۲۴/۵۴ <sup>b</sup>	۲۹/۹۷ <sup>a</sup>	۱۲/۶۶ <sup>b</sup>	۳۹/۸۴ <sup>a</sup>	۸/۴۹ <sup>a</sup>	۱/۸۹ <sup>c</sup>
نه در هزار نانوکلات آهن	۲۶/۹۱ <sup>a</sup>	۲۸/۵۳ <sup>b</sup>	۱۳/۹۳ <sup>a</sup>	۳۵/۷۹ <sup>b</sup>	۸/۸۱ <sup>a</sup>	۲/۰۹ <sup>a</sup>

ادامه جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده نانوکلات آهن بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سرخارگل

محلول پاشی نانوکلات آهن	نشت یونی (%)	قند محلول (mg/g)	فلاونوئید اندام هوایی (mg/g)	محتوای آب نسبی برگ RWC	آنتی اکسیدان اندام هوایی (%)
عدم محلول پاشی	۳۲/۳۶ <sup>c</sup>	۵۱/۱۲ <sup>d</sup>	۱/۴۲ <sup>c</sup>	۳۱/۷۰ <sup>c</sup>	۵۲/۰۱ <sup>c</sup>
سه در هزار نانوکلات آهن	۳۶/۰۸ <sup>bc</sup>	۶۰/۲۹ <sup>c</sup>	۱/۶۹ <sup>b</sup>	۳۸/۰۶ <sup>b</sup>	۶۲/۲۹ <sup>b</sup>
شش در هزار نانوکلات آهن	۴۵/۴۲ <sup>a</sup>	۶۹/۱۷ <sup>a</sup>	۱/۸۸ <sup>a</sup>	۳۹/۳۰ <sup>b</sup>	۷۰/۲۷ <sup>a</sup>
نه در هزار نانوکلات آهن	۴۰/۰۴ <sup>b</sup>	۶۴/۵۳ <sup>b</sup>	۲/۰۰۲ <sup>a</sup>	۴۵/۸۴ <sup>a</sup>	۶۲/۵۳ <sup>b</sup>

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معناداری ندارند.

توانست میزان صفات وزن تازه ریشه را افزایش دهد، به طوری که بیشترین مقدار وزن تازه ریشه (۵۹/۵۲ گرم در گیاه) از کاربرد ۶ در هزار نانوکلات آهن در ترکیب با تیمار دور آبیاری ۶ روز یکبار حاصل شد (جدول ۵).

صفات فلاونوئید و فعالیت آنتی اکسیدانی به طور معنی داری ( $p \leq 0.01$ ) تحت تأثیر تیمارهای رژیم آبیاری و محلول پاشی نانوکلات آهن قرار گرفتند (جدول ۲). در حالی که برای صفت فنل کل تحت شرایط تیماری (دور آبیاری، نانوکلات و اثر متقابل آنها) اثر معنی داری مشاهده نشد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان فلاونوئید با میانگین ۲/۰۶ میلی گرم بر گرم ماده خشک مربوط به سطح چهارم تیمار دور آبیاری (۱۲ روز یکبار آبیاری) و کمترین آن با میانگین ۱/۳۴ میلی گرم بر گرم ماده خشک مربوط به سطح اول تیمار دور آبیاری (۳ روز یکبار آبیاری) می باشد (جدول ۳). کاربرد ۹ در هزار نانوکلات آهن موجب افزایش معنی دار این صفت نسبت

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد در سطوح اول تا چهارم دور آبیاری مقدار وزن خشک ریشه برابر ۶/۵۷، ۱۰، ۸/۱۸ و ۶/۲۵ گرم در گیاه شد که نشان دهنده کاهش میزان وزن خشک ریشه با افزایش فاصله آبیاری است (جدول ۳). سطوح ۳، ۶ و ۹ در هزار نانوکلات آهن موجب افزایش این صفت نسبت به شاهد گردید (جدول ۴). به طوری که محلول پاشی با ۳، ۶ و ۹ در هزار نانوکلات آهن با میانگین‌های ۷/۲۵، ۸/۴۹ و ۸/۸۱ در گیاه به ترتیب سبب افزایش ۰/۸، ۲/۰۴ و ۲/۳۶ درصدی در میزان وزن خشک ریشه نسبت به شاهد گردید (جدول ۳). همچنین از کاربرد نانوکلات آهن در شرایط خشکی برای صفات مورد بررسی اثر معنی داری مشاهده شد (جدول ۱). تیمار ترکیبی ۹ در هزار نانوکلات آهن در شرایط ۶ روز یکبار آبیاری بیشترین میزان وزن خشک ریشه (۱۴/۴۷ گرم در گیاه) را به دنبال داشت. در شرایط تنش خشکی (۶ روز یکبار آبیاری)، کاربرد نانوکلات آهن

نانوکلات آهن توانست میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش دهد، به طوری که بیشترین مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۷۸/۰۱ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) از کاربرد ۹ در هزار نانوکلات آهن در ترکیب تیماری با سطح دوم فاصله آبیاری (۳ روز یکبار آبیاری) حاصل شد (جدول ۵). باتوجه به جدول مقایسه میانگین، با افزایش شدت تنش خشکی میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت به گونه‌ای که حداکثر مقدار آن از سطح سوم آبیاری (۶ روز یکبار) بدست آمد (جدول ۳).

به شاهد گردید. البته کاربرد ۶ و ۳ در هزار نانوکلات آهن نیز بهبود در این صفت را به عنوان صفت مثبت، نسبت به شاهد به دنبال داشت (جدول ۴). با کاهش سطح آبیاری، فعالیت آنتی‌اکسیدانی به طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۳). تیمارهای آبیاری ۹، ۶ و ۳ روز یکبار آبیاری با میانگین‌های ۶۱/۴۲، ۷۱/۲۰ و ۶۴/۳۰ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک به ترتیب باعث افزایش ۱۱/۲۳، ۲۱/۰۱ و ۱۴/۱۱ درصدی در میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی نسبت به شاهد گردید (جدول ۳). در شرایط تنش خشکی در سطوح بالا، محلول‌پاشی

جدول ۵- اثرات متقابل اثر دور آبیاری و نانوکلات آهن بر شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سرخارگل

دور آبیاری	نانو کلات آهن	ارتفاع بوته (cm)	وزن تازه گیاه (gr)	وزن خشک گیاه (gr)	وزن تازه ریشه (gr)	وزن خشک ریشه (gr)	پرولین (mM g <sup>-1</sup> )
عدم محلول‌پاشی		۲۶/۷۹ <sup>de</sup>	۲۹/۹۲ <sup>cde</sup>	۹/۸۰ <sup>efg</sup>	۲۷/۸۸ <sup>efg</sup>	۴/۹۵ <sup>h</sup>	۱/۱۹ <sup>i</sup>
هر سه روز یکبار	سه در هزار نانوکلات آهن	۲۸/۰۸ <sup>bc</sup>	۳۱/۶۱ <sup>bc</sup>	۱۲/۸۰ <sup>bc</sup>	۳۷/۵۳ <sup>bcd</sup>	۵/۶۵ <sup>fgh</sup>	۱/۵۰ <sup>hi</sup>
یکبار	شش در هزار نانوکلات آهن	۲۸/۸۸ <sup>b</sup>	۳۲/۷۵ <sup>b</sup>	۱۳/۹۲ <sup>b</sup>	۴۰/۵۶ <sup>bc</sup>	۷/۲۴ <sup>de</sup>	۱/۵۴ <sup>hi</sup>
عدم محلول‌پاشی	نه در هزار نانوکلات آهن	۳۱/۷۵ <sup>a</sup>	۳۹/۵۸ <sup>a</sup>	۲۰/۷۵ <sup>a</sup>	۴۲/۵۲ <sup>bc</sup>	۸/۴۶ <sup>bc</sup>	۱/۶۰ <sup>gh</sup>
عدم محلول‌پاشی		۲۸/۵۰ <sup>b</sup>	۳۲/۴۰ <sup>b</sup>	۸/۷۰ <sup>g</sup>	۳۷/۱۴ <sup>cd</sup>	۷/۶۰ <sup>cd</sup>	۱/۴۳ <sup>i</sup>
شش روز یکبار	سه در هزار نانوکلات آهن	۲۶/۰۹ <sup>de</sup>	۲۸/۷۵ <sup>def</sup>	۱۰/۰۱ <sup>ef</sup>	۳۷/۷۷ <sup>bcd</sup>	۸/۵۸ <sup>bc</sup>	۱/۷۰ <sup>fg</sup>
یکبار	شش در هزار نانوکلات آهن	۲۶/۹۷ <sup>de</sup>	۳۱/۵۳ <sup>bc</sup>	۱۳/۵۷ <sup>b</sup>	۵۹/۵۲ <sup>a</sup>	۱۳/۳۶ <sup>b</sup>	۱/۸۷ <sup>de</sup>
عدم محلول‌پاشی	نه در هزار نانوکلات آهن	۲۷/۶۰ <sup>bcd</sup>	۲۵/۷۰ <sup>ghi</sup>	۱۲/۰۵ <sup>cd</sup>	۴۲/۶۲ <sup>b</sup>	۱۴/۴۷ <sup>a</sup>	۱/۹۷ <sup>cd</sup>
عدم محلول‌پاشی		۲۳/۹۵ <sup>f</sup>	۲۸/۰۰ <sup>efg</sup>	۸/۵۶ <sup>g</sup>	۲۲/۲۰ <sup>h</sup>	۸/۴۱ <sup>bc</sup>	۱/۶۲ <sup>gh</sup>
سه در هزار نانوکلات آهن		۲۲/۹۷ <sup>fg</sup>	۳۰/۸۸ <sup>bcd</sup>	۱۰/۲۵ <sup>ef</sup>	۳۸/۲۸ <sup>bc</sup>	۸/۵۸ <sup>bc</sup>	۱/۸۱ <sup>ef</sup>
نه روز یکبار	شش در هزار نانوکلات آهن	۲۲/۱۳ <sup>g</sup>	۲۸/۵۱ <sup>def</sup>	۱۲/۷۰ <sup>bc</sup>	۲۸/۹۲ <sup>efg</sup>	۹/۰۳ <sup>b</sup>	۲/۰۳ <sup>cd</sup>
عدم محلول‌پاشی	نه در هزار نانوکلات آهن	۲۶/۵۱ <sup>de</sup>	۲۵/۳۹ <sup>hi</sup>	۱۱/۰۹ <sup>de</sup>	۲۵/۲۶ <sup>fgh</sup>	۶/۷۰ <sup>def</sup>	۲/۱۲ <sup>b</sup>
عدم محلول‌پاشی		۱۸/۵۵ <sup>h</sup>	۲۶/۹۷ <sup>fgh</sup>	۸/۵۵ <sup>g</sup>	۲۲/۰۴ <sup>h</sup>	۴/۸۵ <sup>h</sup>	۱/۸۵ <sup>de</sup>
دوازده روز یکبار	سه در هزار نانوکلات آهن	۲۱/۴۱ <sup>gh</sup>	۲۸/۱۵ <sup>efg</sup>	۹/۶۲ <sup>fg</sup>	۲۳/۹۶ <sup>gh</sup>	۶/۱۹ <sup>efg</sup>	۲/۰۶ <sup>bc</sup>
یکبار	شش در هزار نانوکلات آهن	۲۰/۲۰ <sup>h</sup>	۲۷/۱۲ <sup>fgh</sup>	۱۰/۴۸ <sup>ef</sup>	۳۰/۳۶ <sup>ef</sup>	۸/۳۵ <sup>bc</sup>	۲/۱۱ <sup>bc</sup>
عدم محلول‌پاشی	نه در هزار نانوکلات آهن	۲۱/۷۹ <sup>g</sup>	۲۳/۴۳ <sup>i</sup>	۱۱/۸۳ <sup>cd</sup>	۳۲/۷۷ <sup>de</sup>	۵/۶۰ <sup>gh</sup>	۲/۶۹ <sup>a</sup>



ادامه جدول ۵- اثرات متقابل دور آبیاری و نانوکلات آهن بر شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سرخارگل

دور آبیاری	نانوکلات آهن	نشت یونی (%)	قند محلول (mg/g)	فلاونوئید اندام هوایی (mg/g)	محتوای آب نسبی برگ	آنتی اکسیدان اندام هوایی (%)
	عدم محلول پاشی	۳۱/۴۸ <sup>d</sup>	۴۱/۴۸ <sup>i</sup>	۱/۰۲ <sup>g</sup>	۳۱/۸۲ <sup>d</sup>	۳۵/۸۳ <sup>i</sup>
هر سه روز یکبار	سه در هزار نانوکلات آهن	۴۹/۶۴ <sup>c</sup>	۵۳/۱۵ <sup>g</sup>	۱/۲۳ <sup>fg</sup>	۳۱/۷۱ <sup>d</sup>	۵۳/۶۳ <sup>gh</sup>
	شش در هزار نانوکلات آهن	۳۱/۶۱ <sup>d</sup>	۵۴/۸۶ <sup>fg</sup>	۱/۵۴ <sup>def</sup>	۶۲/۰۰ <sup>ab</sup>	۵۵/۳۴ <sup>fg</sup>
	نه در هزار نانوکلات آهن	۳۵/۱۸ <sup>d</sup>	۵۰/۳۳ <sup>gh</sup>	۱/۵۵ <sup>de</sup>	۶۶/۲۶ <sup>a</sup>	۵۵/۹۴ <sup>fg</sup>
	عدم محلول پاشی	۳۱/۶۵ <sup>d</sup>	۴۷/۸۳ <sup>h</sup>	۱/۴۴ <sup>ef</sup>	۳۱/۶۸ <sup>d</sup>	۴۸/۳۱ <sup>h</sup>
شش روز یکبار	سه در هزار نانوکلات آهن	۳۱/۵۸ <sup>d</sup>	۵۸/۷۱ <sup>ef</sup>	۱/۴۶ <sup>ef</sup>	۵۷/۲۳ <sup>bc</sup>	۵۹/۱۹ <sup>efg</sup>
	شش در هزار نانوکلات آهن	۵۷/۱۳ <sup>bc</sup>	۷۴/۳۶ <sup>ab</sup>	۱/۶۸ <sup>cde</sup>	۳۱/۷۵ <sup>d</sup>	۷۸/۰۱ <sup>a</sup>
	نه در هزار نانوکلات آهن	۳۱/۴۵ <sup>d</sup>	۷۲/۴۱ <sup>ab</sup>	۱/۸۳ <sup>cd</sup>	۳۱/۸۰ <sup>d</sup>	۶۰/۱۸ <sup>ef</sup>
	عدم محلول پاشی	۳۱/۲۴ <sup>d</sup>	۵۹/۷۰ <sup>ef</sup>	۱/۵۷ <sup>de</sup>	۳۱/۷۲ <sup>d</sup>	۶۶/۶۷ <sup>cd</sup>
نه روز یکبار	سه در هزار نانوکلات آهن	۳۲/۴۱ <sup>d</sup>	۶۳/۱۲ <sup>de</sup>	۱/۸۴ <sup>cd</sup>	۳۱/۶۸ <sup>d</sup>	۷۲/۸۹ <sup>ab</sup>
	شش در هزار نانوکلات آهن	۳۱/۴۱ <sup>d</sup>	۷۷/۵۳ <sup>a</sup>	۲/۱۶ <sup>b</sup>	۳۱/۶۸ <sup>d</sup>	۷۴/۸۴ <sup>ab</sup>
	نه در هزار نانوکلات آهن	۳۱/۴۷ <sup>d</sup>	۷۲/۴۲ <sup>ab</sup>	۲/۶۶ <sup>a</sup>	۳۱/۷۵ <sup>d</sup>	۷۰/۴۱ <sup>bc</sup>
	عدم محلول پاشی	۳۱/۳۵ <sup>d</sup>	۵۵/۴۶ <sup>fg</sup>	۱/۶۳ <sup>de</sup>	۳۱/۶۰ <sup>d</sup>	۵۷/۲۵ <sup>fg</sup>
دوازده روز یکبار	سه در هزار نانوکلات آهن	۳۱/۷۰ <sup>d</sup>	۶۶/۱۹ <sup>cd</sup>	۲/۲۰ <sup>b</sup>	۳۱/۶۴ <sup>d</sup>	۶۳/۴۵ <sup>de</sup>
	شش در هزار نانوکلات آهن	۶۱/۵۳ <sup>ab</sup>	۶۹/۹۳ <sup>bc</sup>	۲/۱۵ <sup>b</sup>	۳۱/۷۸ <sup>d</sup>	۷۲/۹۰ <sup>ab</sup>
	نه در هزار نانوکلات آهن	۵۶/۷۹ <sup>a</sup>	۶۲/۹۷ <sup>de</sup>	۱/۹۴ <sup>bc</sup>	۵۳/۵۶ <sup>c</sup>	۶۳/۶۰ <sup>de</sup>

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معناداری ندارند.

گردید (جدول ۴). در تیمارهای ترکیبی با افزایش فاصله آبیاری تا ۹ روز یکبار آبیاری و کاربرد نانوکلات آهن میزان قند محلول افزایش یافت به طوری که بیشترین میزان قند محلول (۷۷/۵۳ میلی گرم بر گرم ماده خشک) از برهمکنش فاصله آبیاری ۹ روزه و کاربرد ۶ در هزار نانوکلات آهن حاصل شد (جدول ۵).

نشت یونی به طور معنی داری ( $p < 0.01$ ) تحت تأثیر فاصله مختلف آبیاری قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد در سطوح اول تا چهارم دور آبیاری به ترتیب مقادیر نشت یونی برابر ۱۱/۳۸، ۳۶/۹۸،

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ نشان می‌دهد که تیمار دور آبیاری، نانوکلات آهن و اثر متقابل آنها تأثیر معنی داری بر میزان قند محلول داشت (جدول ۲). بیشترین میزان قند محلول با میانگین ۶۸/۱۹ میلی گرم بر گرم ماده خشک از تیمار آبیاری به فاصله ۹ روز یکبار و کمترین آن با میانگین ۴۹/۹۶ میلی گرم بر گرم ماده خشک از سطح اول تیمار دور آبیاری (۳ روز یکبار آبیاری) حاصل شد (جدول ۳). کاربرد ۶ در هزار نانوکلات آهن با میانگین ۶۹/۱۷ میلی گرم بر گرم ماده خشک موجب افزایش ۱۸/۰۵ درصدی این صفت نسبت به شاهد

### بحث و نتیجه گیری

کاهش در صفات مورفولوژیک مورد بررسی ممکن است حاکی از کمبود آب باشد. چراکه در شرایط تنش ملایم خشکی، گیاهان با ساز و کارهای مختلف قادر به جلوگیری و یا تحمل پسابیدگی و جلوگیری از کاهش شدید رشد هستند، ولی در شرایط تنش شدید به دلیل کاهش شدید آماس سلولی، رشد و تقسیم سلولها منجر به کاهش رشد رویشی گیاه می شود [۴۱]. همچنین کاهش تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلولها موجب کاهش سطح برگ و در نتیجه کاهش فتوسنتز و اجزای رشد رویشی می گردد. با کاهش رشد و نمو سلول، اندازه اندام محدود می شود. به عبارت دیگر، کاهش مواد فتوسنتزی تولیدی به علت کاهش سطح برگ و کاهش انتقال مواد آسمیلاتی به سمت اندامهای زایشی در اثر تنش کمبود آب سبب کاهش عملکرد سرشاخه های گلدار می گردد. به همین دلیل اولین اثر محسوس کم آبی بر گیاهان را می توان از روی اندازه کوچکتر برگها و ارتفاع کمتر گیاهان تشخیص داد. در تحقیق صورت گرفته گیاه آویشن (*Thymus vulgaris* L.) خصوصیات مورفولوژیک در سطوح مختلف تنش خشکی (۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی) مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان داد با افزایش تنش خشکی ارتفاع بوته، تعداد ساقه جانبی، وزن خشک و تر اندام رویشی کاهش می یابد [۱۰].

یکی از واکنش های گیاه در شرایط تنش خشکی، کوتاه کردن دوره رشدی و تسریع رسیدگی است. در برخورد با تنش خشکی، گیاه میزان سطح و تعداد برگ های خود را کاهش می دهد و متعاقباً مواد فتوسنتزی نیز کاهش می یابند که در چنین شرایطی کاهش وزن خشک برگ گیاه به دور از انتظار نیست. در همین راستا، مشخص شد تیمار ۱۰ درصد تخلیه رطوبت، بیشترین وزن خشک برگ و تیمار ۷۰ درصد تخلیه رطوبت، کمترین میزان وزن خشک برگ در گیاه انیسون (*Pimpinella anisum*) را ایجاد نمود. همچنین محققان گزارش نمودند که زمانی که گیاه در معرض خشکی قرار می گیرد از شاخه و برگ های خود که منابع اصلی تبخیر و تعرق در گیاه هستند، می کاهد و همچنین روزنه های نیمه بسته یا بسته می شود و این موضوع

۳۷/۹۵ و ۴۷/۵۹ درصد شد که نشان دهنده افزایش میزان نشت یونی با افزایش فاصله آبیاری می باشد (جدول ۳). محلول پاشی ۳، ۶ و ۹ در هزار نانوکلات آهن به ترتیب موجب کاهش ۳/۷۲، ۱۳/۰۶ و ۷/۶۸ درصدی این صفت نسبت به شاهد گردید. در تیمار ترکیبی محلول پاشی نانوکلات آهن در شرایط رژیم آبیاری بیشترین میزان نشت یونی (۵۶/۷۹ درصد) از عدم کاربرد نانوکلات آهن در شرایط ۱۲ روز یکبار آبیاری حاصل شد (جدول ۵). همان گونه که در جدول ۳ نشان داده می شود تیمارهای ۱۲، ۹ و ۶ روز یکبار آبیاری به ترتیب با میانگین های ۲/۰۶، ۱/۹۸ و ۱/۶۴ درصد سبب افزایش میزان پرولین نسبت به شاهد شدند. در شرایط سطح چهارم دور آبیاری (۱۲ روز یکبار آبیاری) کاربرد هر سه سطح ۳، ۶ و ۹ در هزار نانوکلات آهن موجب افزایش این صفت نسبت به شاهد گردید (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگینها نشان داد که بیشترین مقدار پرولین (۲/۶۹ گرم) از برهمکنش رژیم آبیاری در ۱۲ روز یکبار آبیاری و کاربرد ۹ در هزار نانوکلات آهن حاصل شد (جدول ۵).

محتوای نسبی آب تحت تأثیر رژیم آبیاری، نانوکلات آهن و اثر متقابل آنها ( $P < 0.01$ ) قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین داده ها نشان داد بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ با میانگین ۴۷/۹۵ درصد مربوط به تیمار اول دور آبیاری و کمترین آن با میانگین ۳۱/۷۱ درصد مربوط به سطح چهارم دور آبیاری (۱۲ روز یکبار آبیاری) بود که با توجه نوع گیاه منطقی به نظر می رسد (جدول ۳). کاربرد نانوکلات آهن در هر سه سطح (۹، ۶ و ۳ در هزار) موجب افزایش معنی دار این صفت نسبت به شاهد گردید. مقایسه میانگین داده ها نشان داد که در سطوح اول تا چهارم محلول پاشی نانوکلات آهن به ترتیب مقادیر محتوای نسبی آب برگ برابر با ۳۱/۷۰، ۳۸/۰۶، ۳۹/۳۰ و ۴۵/۸۴ درصد شد که نشان دهنده افزایش میزان این صفت با افزایش کاربرد نانوکلات آهن می باشد (جدول ۳). محلول پاشی نانوکلات آهن در شرایط اعمال آبیاری اثر معنی داری بر محتوای نسبی آب داشت. به طوری که کاربرد ۹ در هزار نانوکلات آهن از این ماده در شرایط آبیاری هر ۳ روز یکبار، حداکثر مقدار این صفت (۶۶/۲۶ درصد) را به دنبال داشت (جدول ۵).

واکنش‌های احیایی و یا به‌طور غیرمستقیم به‌وسیله کلات کردن آهن، مانع تنش اکسیداتیو می‌شوند [۴۹]. به‌طور کلی در گیاهان مختلف، به‌دلیل وجود درجات متفاوتی از مقاومت به خشکی، میزان تجمع ترکیبات فنولیک برای پاکسازی رادیکال‌های آزاد متغییر است [۱۵]. بررسی اثر غلظت‌های مختلف ورمی‌کمپوست و نانوکلات آهن بر خصوصیات کمی و کیفی گل همیشه‌بهار (*Calendula officinalis*) نشان داد که غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوکلات آهن می‌تواند سبب افزایش فنل کل گردد [۳].

بررسی اثر رژیم‌های آبیاری و کاربرد اسیدهیومیک بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارویی خرفه (*Portulaca oleracea*) نشان داد که افزایش تنش خشکی تا ۲۵ درصد ظرفیت زراعی باعث افزایش ۰/۷۲ درصدی فنل نسبت به شاهد گردید [۳۶]. بر اساس تحقیقات انجام شده مسیر فنل‌پروپانویید مسؤل ساخت طیف متفاوتی از متابولیت‌های فنولیک است که بیشتر آن‌ها در اثر تنش تولید می‌شوند و دارای پیش‌سازها و مواد حد واسط مشترکی است [۴۲]. به طوری که در بررسی اثر تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن‌گلایکول در گندم مشخص شد که علت بالا رفتن سطوح ترکیبات فنلی، افزایش فعالیت و میزان آنزیم بیوسنتزی فنل‌ها (فنیل‌آلانین‌آمونیا‌لیاز) است [۴۷].

هنگامی که تنش کم طی مرحله زایشی رخ دهد، کاهش تولید محصول بیشتر خواهد بود. یکی از تغییرات بیوشیمیایی که در گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی قرار دارند رخ می‌دهد، تولید گونه‌های اکسیژن فعال است. در شرایط تنش‌های محیطی بسته شدن روزنه‌ها، باعث محدود شدن اتلاف آب و نفوذ دی‌اکسیدکربن می‌شود. کاهش نفوذ دی‌اکسیدکربن، تثبیت آن و اکسیدشدن مجدد  $NADP^+$  توسط چرخه کالوین را کاهش می‌دهد تنش خشک، با افزایش انتقال الکترون به مولکول اکسیژن، موجب تولید گونه‌های اکسیژن فعال مانند رادیکال سوپراکسید، رادیکال هیدروکسیل و اکسیژن منفرد می‌شود. بنابراین، یکی از پیامدهای اجتناب‌پذیر تنش خشکی افزایش تولید گونه‌های اکسیژن فعال در اجزای مختلف سلولی مانند کلروپلاست‌ها، پراکسی‌زوم‌ها و میتوکندری‌ها است [۱۸]. گیاهان برای

موجب کاهش جذب دی‌اکسیدکربن شده و از طرفی گیاه برای جذب آب، انرژی زیادی صرف می‌کند [۳۵]. به‌طور طبیعی زمانی که گیاه با شرایط خشکی مواجه می‌شود برای مقابله با این شرایط سطح برگ خود را کاهش داده و این امر نیز به نوبه خود سبب کاهش تولید مواد فتوسنتزی می‌گردد که به دنبال این امر مواد فتوسنتزی وزن خشک برگ و ساقه کاهش می‌یابد [۴۶]. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که وزن تازه و خشک گیاه تحت تأثیر اثر تیماری نانوکلات آهن قرار گرفت به شکلی که با افزایش میزان نانوکلات آهن، وزن تازه و خشک گیاه نیز افزایش یافت. از آن‌جا که نانوکلات آهن باعث تولید برگ‌های طویل‌تر و به دنبال آن شاخص سطح برگ بیشتر می‌گردد، شرایط بهینه‌تری برای تولید ترکیبات فتوسنتزی ایجاد نموده که همین امر سبب افزایش وزن گیاه گردید. محققان نشان دادند که کاربرد نانوکلات آهن به مقدار ۱۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش عملکرد تر و خشک گیاه نسبت به شاهد شد [۲۹]. در تحقیق بر روی گیاه ریحان مقدس (*Ocimum sanctum*) مشخص شد که بیشترین میزان وزن خشک گیاه (۳/۰۶ گرم در گیاه) از محلول پاشی یک گرم در لیتر نانوکلات آهن و کمترین میزان وزن خشک گیاه (۱/۲۱ گرم در گیاه) از تیمار شاهد به‌دست آمد [۳۴]. همچنین گزارش شد که در شرایط تنش خشکی محلول پاشی عناصر کم‌مصرف به‌دلیل جذب و اثر بخشی سریع عناصر غذایی بیشترین تأثیر را در افزایش سطح برگ و به‌دنبال آن افزایش وزن تازه و خشک گیاه داشت که این صفات را نسبت به مصارف خاکی عناصر کم‌مصرف در شرایط تنش خشکی به‌ترتیب ۶/۹ و ۱۱/۲ درصد افزایش داد [۲۸].

با افزایش تنش خشکی وزن تازه و خشک ریشه کاهش یافت. کمبود آب موجب کاهش تورژسانس شده و در نهایت کاهش رشد و توسعه سلول به‌خصوص در ریشه‌ها را به دنبال خواهد داشت. با افزایش سطوح رژیم آبیاری میزان فلاونوئید اندام‌هوایی افزایش یافت. ترکیبات فنلی موجود در برگ به‌عنوان گیرنده رادیکال‌های آزاد عمل می‌کنند و گیاهان را در برابر تنش‌های اکسیداتیو محافظت می‌کنند. همچنین، این ترکیبات به‌دلیل داشتن نقش آنتی‌اکسیدانی، به‌طور مستقیم با وارد شدن در

رفتن میزان این دو ترکیب در بافت‌های گیاهان به نوعی بیانگر فعال شدن مکانیسم تنظیم اسمزی است که در شرایط را برای جذب بیشتر آب و املاح از محیط ریشه فراهم می‌آورد [۹]. در برخی از گیاهان ثابت شده است که تغییرات میزان پرولین با توانایی آنها برای تحمل یا سازش به شرایط تنش خشکی مرتبط است و می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای انتخاب گیاهان مقاوم به تنش خشکی استفاده شود [۱]. هنگامی که گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد، تجزیه پروتئین‌ها و در نتیجه افزایش آمینواسیدها و آمیدها سرعت می‌گیرد که یکی از این آمینواسیدها پرولین است [۲۴]. همچنین هنگامی که گیاه تحت تأثیر تنش‌ها قرار می‌گیرند، غلظت اسمولیت‌هایشان را افزایش می‌دهند تا جذب آب تحت شرایط تنش ادامه یابد. در بین اسمولیت‌های آلی، پرولین به احتمال فراوان‌ترین و عمومی‌ترین ماده حل‌شده سازگار است که تجمع می‌یابد [۴۴]. به احتمال گیاه به‌دلایل یادشده پرولین خود را افزایش داده است. افزایش پرولین طی تنش خشکی در گیاهان دارویی آویشن و بابونه نیز گزارش شده است. نتایج آزمایشی در آفتاب‌گردان نشان داد که تنش خشکی سبب افزایش تجمع پرولین می‌شود [۴۴]. از آنجایی که یکی از مسیرهای تولید پرولین گلوتامات است، با افزایش تولید قندهای محلول ممکن است میزان تولید گلوتامات افزایش یافته و ساخت پرولین تشدید شود [۵۱].

به‌طور کلی با افزایش فاصله آبیاری، میزان محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت. محتوای آب برگی، یک شاخص مناسب برای تنش آبی گیاه است. در واقع محتوای آب نسبی برگ گیاه سرخارگل با افزایش فاصله آبیاری کاهش یافت و کاهش محتوای آب نسبی برگ از طریق تأثیر روی تنظیم اسمز برای تحمل گیاه به خشکی کمک می‌کند [۲۰]. همچنین می‌توان گفت علت احتمالی افزایش قندهای محلول طی افزایش دورآبیاری در این آزمایش به‌دلیل تجزیه نشاسته و کاهش انتقال قندها از برگ به منابع مصرف به‌منظور تنظیم اسمزی و نگهداری تورژسانس و پایداری غشاءها و حفظ پروتئین است تجمع قندهای محلول به دنبال افزایش آنزیم اینورتاز طی تنش است [۴۴]. قندهای محلول در شرایط

کاستن از آسیب‌های ناشی از گونه‌های اکسیژن فعال دارای سازوکارهای آنتی‌اکسیدانی هستند که شامل اجزای غیر آنزیمی مانند اسکوربات، گلوتامین فلاونوئیدها و آنزیم‌های مانند کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز، اسکوربات پراکسیداز هستند. این سازوکارهای آنتی‌اکسیدانی در گیاه تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفته و در این شرایط برای مقابله با تنش و افزایش توانایی گیاه افزایش می‌یابند. از طرف دیگر یکی از اثرهای تنش خشکی، تغییر در میزان در دسترس بودن عناصر غذایی و جذب و انتقال آن‌ها در گیاه است. سازوکار آنزیمی آنتی‌اکسیدان حاوی آهن می‌باشد که فعالیت آن‌ها در شرایط کمبود یا بیش بود آهن تحت تأثیر قرار می‌گیرد. گزارش‌ها نشان دهنده آن است که فعالیت آنتی‌اکسیدانی در شرایط کمبود آهن کاهش می‌یابد [۴۵]. کاربرد نانوکلات آهن نیز با توجه به این که گیاه را از کمبود تغذیه ناشی از تنش حفاظت می‌کند، می‌تواند به سیستم دفاعی گیاه در جهت مقابله با تنش کمک کند. آهن به‌عنوان یک کاتالیزور در واکنش‌ها عمل نموده و موجب سرعت گرفتن این واکنش‌ها می‌شود [۸]. آهن موجود در نانوکلات آهن بر فعالیت آنزیم‌هایی همچون کاتالاز و پراکسیداز مؤثر می‌باشد و در واکنش‌ها به‌عنوان یک سیستم آنزیمی در گروه‌های پروستتیک عمل می‌کند. تجمع ایزوزایم‌های پراکسیداز در واکوئل و دیواره سلولی سبب چوبی شدن این قسمت‌ها می‌شود و از این طریق سبب محافظت سلول طی تنش می‌شود [۸]. بنابراین افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان در اثر مصرف کلات آهن، به‌خصوص در شرایط تنش خشکی، می‌تواند موجب حفظ و پایداری غشاهای سلولی و افزایش توان ظرفیت سیستم فتوسنتز گیاه شود، زیرا از این طریق می‌تواند صدمات ناشی از تنش اکسیداتیو را کاهش داده که نتیجه آن، افزایش عملکرد در گیاه سرخارگل می‌گردد.

با افزایش فاصله آبیاری، میزان پرولین افزایش یافت. پرولین، اسید آمینه ذخیره شده در سیتوپلاسم بوده و به احتمال در حفاظت از ساختمان ماکرومولکول‌های درون سلول در طی تنش خشکی نقش مؤثری دارد. پرولین در واقع به‌عنوان یک شاخص در تعیین میزان حساسیت به تنش شوری و خشکی در گیاهان به شمار می‌رود. بالا

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 موضوع موجب کاهش میزان آب نسبی در شرایط تنش خشکی می‌شود [۳۸]. بسته شدن روزنه نخستین پاسخ گیاه به تنش خشکی است، که به کاهش سرعت فتوسنتز می‌انجامد. با بسته شدن روزنه برگ‌ها از CO<sub>2</sub> محروم شده و جذب کربن فتوسنتزی به نفع تنفس نوری کاهش می‌یابد. سطح برگ با هدایت روزنه‌ای اثر متقابل داشته و بین پتانسیل آب برگ و هدایت روزنه‌ای همبستگی وجود دارد. در خاک خشک جریان تعرق منجر به بسته شدن روزنه‌ها می‌شود [۴].

### سپاسگزاری

نویسندگان در این بخش از شرکت "سپهر پارمیس" و شرکت زرین گیاه ارومیه قدردانی به عمل می‌آورند.

### References

- [1]. Abbaszadeh, B., Sharifi ashourabadi, E. Lebaschi, M.H., Naderi hajibagher Kandy, M., & Moghadami, F. (2008). The effect of drought stress on proline contents, soluble sugars, chlorophyll and relative water contents of balm (*Melissa officinalis* L.). *Medicinal and Aromatic Plants*, 4(23), 504-513. (in Farsi)
- [2]. Abedi, T., & Pakniyat, H. (2010). Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Czech Journal. Genetic Plant Breeding*, 46, 27-34.
- [3]. Abedini, T., Moradi, P., & Hani, A. (2015). Effect of organic fertilizer and foliar application of humic acid on some quantitative and qualitative yield of Pot marigold. *Novel Applied Sciences*, 4(10), 1100-1103.
- [4]. Anjum, S.A., Xie, X.Y., Wang, L.C., Saleem, M.F., Man, C., & Lei, W. (2011).

تنش خشکی تجمع یافته و آب به عنوان عوامل حفاظتی در گیاهان عمل می‌کنند. در شرایط تنش، قندها از سلول‌ها از طریق تنظیم اسمزی و نگهداری تورژسانس و همچنین پایداری غشاءها و پروتئین‌ها محافظت می‌کنند. قندها در طول آب‌زدایی سلول‌ها به شیشه‌ای شدن سیتوپلاسم سبب تحمل گیاهان به خشکی می‌شود [۱۳]. با افزایش تنش خشکی میزان قندهای محلول که به عنوان تنظیم‌کننده‌های ژن و مولکول پیام‌رسان، افزایش می‌یابد. علاوه بر آن، انباشتگی قندها در سلول‌های گیاهی سبب کاهش پتانسیل اسمزی سلول گردیده و از این رو سبب ادامه و حفظ جذب آب و فشار تورگور می‌گردد [۶].

محتوای نسبی آب برگ یک اندازه‌گیری از وضعیت آب گیاه در نظر گرفته می‌شود و منعکس‌کننده فعالیت متابولیک در بافت‌ها و به عنوان شاخصی برای تعیین تحمل کم‌آبایی در گیاه است. گیاهانی که تحت تنش قرار می‌گیرند، فضای بین سلولی و میزان آب در پیکره

Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *Agricultural Research*, 6, 2026-2032.

- [5]. Ardeshiri, M., & Jahan Bin, Sh. (2018). Effect of foliar application of nano-iron and zinc chelated on yield, yield components and harvest index of canola under drought stress conditions. *Crops Improvement (Journal of Agriculture)*, 20(1), 31-43.
- [6]. Ashrafi, M., Azimi-moqadam, M., Moradi, P., Mohsenifard, E., Shekari, F., & Kompany-zareh, M. (2018). Effect of drought stress on metabolite adjustments in drought tolerant and sensitive thyme. *Plant Physiology and Biochemistry*, 132, 391-399.
- [7]. Askari, M., Amirjani, M.R., & Saberi, T. (2014). Evaluation of the effects of iron nanofertilizer on leaf growth, antioxidants and carbohydrate contents of

- Catharanthus roseus*. *Plant Process and Function*, 3(7), 43-56.
- [8]. Azad, H., Fakheri, B.A., Mahdinezhad, N., & Parmoon, Q. (2017). The effect of foliar application of nano-iron chelated on antioxidant enzymes activity and flower yield of chamomile genotypes under drought stress condition. *Plant Physiology*, 19(2), 257-271. (in Farsi)
- [9]. Azimi, A., Heshmati, G.A., Kianian, M.K., & Feizi, H. (2018). Effects of SiO<sub>2</sub> Nanoparticles on *Bromus kopetdaghensis* Drobov Morphological Characteristics. *Arid Biome*, 8(1), 1-9. (in Farsi)
- [10]. Babaei, K., Amini Dehaghi, M., Modares Sanavi, S.A.M., & Jabari, R. (2010). Water deficit effect on morphology, prolin content and thymol percentage of thyme (*Thymus vulgaris* L.) *Medicinal and Aromatic plants*, 2(48), 239 – 251. (in Farsi)
- [11]. Baghaie, N., Keshavarz, N., AminiDehaghai, M., & Nazaran, M.H. (2012). Effect of Nano iron chelate fertilizer on yield and yield components of Cumin (*Cuminum cyminum*) under different irrigation intervals. National congress on Medicinal plants. Kish Island. Iran.
- [12]. Bannayan, M., Nadjafi, F., Azizi, M., Tabrizi L., & Rastgoo. M. (2008). Yield and seed quality of *Plantago vate* and *Nigella sativa* under different irrigation treatments. *Industrial Crops and Products*, 27, 11-16.
- [13]. Bartels, D., & Sunkar, R. (2005). Drought and salt tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24, 23–58.
- [14]. Bates, S., Waldern, R. P., & Teare, E.D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, 39, 205-207.
- [15]. Boscaiu, M., Sanchez, M., Bautista, I., Donat, P., Lidon, A., Llinares, J., Llul, C., Mayoral, O., & Vicente, O. (2010). Phenolic compounds as stress markers in plants from gypsum habitats.
- [16]. Bulletin of the University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. *Horticulture*, 67, 44-49.
- [17]. Bostani, B. (2018). How amending calcareous soils with municipal solid waste compost affects Fe fractionation and availability to plant. *Trace Elements in Medicine and Biology*, 47, 149–155.
- [18]. De Carvalho, M.H.C. 2008. Drought stress and reactive oxygen species. *Plant Signal Behav*, 3(3), 156-165.
- [19]. Djiwanti, K.S.R. (2017). Nanotechnology for enhancing crop productivity, Nanotechnology, Springer, Singapore, 262.
- [20]. Esmailizadeh, M., Lotfi, A., Mirdehghan, S.H., & Shamshiri, M.H. (2018). Effects of irrigation intervals on some physiological and biochemical characteristics in four Iranian grapevine cultivars. *Crops Improvement*, 20(1), 1-15.
- [21]. Gorgini Shabankareh, H., Fakheri, B.A., & Mohammadpour Vashvaie, R. (2017). The Effect of Bio-fertilizers on Growth, Grain and Essential Oil Yield of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under Drought Stress. *Agroecology*, 19(1), 50-62. (in Farsi)

- [22]. Gorgini shabankareh, H., & Khorasaninejad, S. (2017). Effects of different levels of vermicompost on morphophysiological and essential oil characteristics of Peppermint (*Mentha piperita* L.) under water deficit regimes. *Crop Production*, 10(4), 59-74. (in Farsi)
- [23]. Jalil Shesh Bahre, M., & Movahedi Dehnavi, M. (2012). Effect of zinc and iron foliar application on soybean seed vigor grown under drought stress. *Crop Production*, 5 (1), 19-35. (in Farsi)
- [24]. Kafi, M., Borzoei, A., Salehi, M., Kamandi, A., Maasoumi, A., & Nabati, J. (2009). Physiology of Environmental Stresses in Plants. Mashhad Jahad daneshgahi, 502p. (in Farsi)
- [25]. Khorasaninejad, S., Mousavi, A., Soltanloo, H., Hemmati, Kh., & Khalighi, A. (2011). The effect of drought stress on growth parameters, essential oil yield and constituent of Peppermint (*Mentha piperita* L.). *Medicinal Plants Research*, 5(22), 5360-5365.
- [26]. Khorasaninejad, S., Soltanloo, H., Ramezanzpour, S.S., Hadian, J., & Atashi, S. (2015). The Effect of Drought Stress on the Growth, Essential Oil Yield and Chemical Composition of Lavender. *Crops Improvement (Agriculture)*, 17 (4), 979-988. (in Farsi)
- [27]. Lutts S., Kinet J.M., & Bouharmount J. (1996). NaCl- induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) Cultivars differing in salinity resistance. *Annual Botany*, 78, 389-398.
- [28]. Majlesi, A., & Gholinejhad, E. (2013). Phenotype and quality variation of forage maize (*Zea mays* L.) with potassium and micronutrient application under drought stress conditions. *Research in Field Crops*, 1(2), 44-55. (in Farsi)
- [29]. Maleki Farahani, A., & Aghighi Shahverdi, M. (2015). Evaluation the effect of nono-iron fertilizer in compare to iron chelate fertilizer on qualitative and quantitative yield of saffron. *Crops Improvement (Agriculture)*, 17(1), 155-168.
- [30]. Martin-Fernandez, S., Lopez-Rayo, L., Hernandez-Apaolaza, J., & Lucena, J. (2017). Timing for a sustainable fertilisation of Glycine max by using HBED/Fe<sup>3+</sup> and EDDHA/ Fe<sup>3+</sup> chelates. *Food and Agriculture*, 97, 2773-2781.
- [31]. McDonald, R.P., & Ho, M.H.R. (2002). Principles and practice in reporting structural equation analyses. *Psychological methods*, 7(1), 64.
- [32]. Miliuskas, G., Venskutonis, P.R., & Van Beek, T.A. (2004). Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. *Food chemistry*, 85(2), 231-237.
- [33]. Miransari, A. (2013). Soil microbes and the availability of soil nutrients, *Acta Physiologiae P lantarum*, 35, 3075-3084. (in Farsi)
- [34]. Moghadam E., Mahmoodi Sourestani M., Farrokhian Firozi A., Ramazani Z., & Eskandari F. (2016). The effect of foliar application of iron chelate type on morphological traits and essential oil content of holy basil (*Ocimum sanctum*). *Crop Improvement*, 17 (3), 595-606. (in Farsi)
- [35]. Mohammadi Alborzi M., Safikhani F., Masoud Sinaki J., & Abbaszadeh B. (2012). The effect of drought on morphological characteristics of anisum

- (*Pimpinella anisum* L.). *Plant Ecophysiology (Arsanjan Branch)*, 4, 14-25. (in Farsi)
- [36]. Mozaffari, S., Khorasaninejad, S., & Gorgini shabankareh, H. (2017). The effects of irrigation regimes and humic acid on some of physiological and biochemical traits of Common Purslane in greenhouse. *Crops Improvement (Agriculture)*, 19(2), 401-416.
- [37]. Omokolo, N.D., Nankeu, D.J., Niemenak, N., & Djocgoue, P.F. (2002). Analysis of amino acids and carbohydrates in the cortex of nine clones of *Theobroma cacao* L. in relation to their susceptibility to *Phytophthora megakarya* Bra. and Grif. *Crop Protection*, 21(5), 395-402.
- [38]. Parkhideh, J., Barzegar, T., Nekonam, F., & Nikbakht, J. (2018). Evaluation of growth, yield, and physiological responses of Bitter Apple (*Citrullus colocynthis*) under deficit irrigation stress conditions. *Crops Improvement (Agricultural Crops Production)*, 20(2), 357-369. (in Farsi)
- [39]. Pirzad, A., & Shokrani, F., 2012. Effects of iron application on growth characters and flower yield of *Calendula officinalis* L. under water stress. *World Applied Sciences*, 18 (9), 1203-1208.
- [40]. Ramzani, P.M.A., Khalid, M. Naveed, M., Irum, A., & Kausar, S. (2016). Iron biofortification of cereals grown under calcareous soils: problems and solutions, *Soil Science: Agricultural and Environmental Prospectives*, Springer, Cham, 231-258p.
- [41]. Ramroudi, M., Chezgi, M., & Galavi, M. (2017). Effect of methanol spraying on quantitative traits and osmotic adjustments in Moldavian (*Dracocephalum moldavica* L.) under low irrigation conditions. *Crops Production*, 48 (1), 149-158. (in Farsi)
- [42]. Safari, M., Arghavani, M., & Kheiri, A. (2018). Effect of salicylic acid on morphological and physiological characteristics of vetiver grass under water deficit stress conditions. *Crops Improvement (Agricultural Crops Production)*, 19(3), 591-603. (in Farsi)
- [43]. Sanches-Rodrigues, E., Rubio-Welhelmi, M.D., Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios, J.J., Leyva, R., Romero, L. & Ruiz, J.M. (2010). Study of the ionome and uptake fluxes in cherry tomato plants under moderate water stress conditions. *Plant Soil*, 335, 339-347.
- [44]. Sanjari Mijani, M., Sirousmehr, A.R., & Fakheri, B.A. (2015). The effects of drought stress and humic acid on some physiological characteristics of roselle (*Hibiscus sabdariffa*). *Agricultural Crops Improvement*, 17(2), 403-414.
- [45]. Sun, B., Jing, Y., Chen, K., Song, L., Chen, F., & Zhang, L. (2007). Protective effect of nitric oxide on iron deficiency-induced oxidative stress in maize (*Zea mays*). *Plant Physiology*, 164, 536-543.
- [46]. Taheri Asghari, M. (2010). Effects of water deficit stress on some characteristics of chicory (*Cichorium intybus* L.) under different plant densities. *Crop Ecophysiology*, 2 (3), 147-155. (in Farsi)
- [47]. Tian, X. & Lei, Y. (2006). Nitric oxide treatment alleviates drought stress in wheat seedlings. *Biologia Plantarum*, 50(4), 775-778.
- [48]. Yamasaki, S. & Dillenburg, L.R. (1999). Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*.



*Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*,  
11(2), 69-75.

- [49]. Zafari, H. & Jahanbakhsh, S. (2018).  
The impact of bio-fertilizers to increase  
compatibility osmolytes in the alfalfa  
under water stress conditions. *Plant  
Researches*, 31(1), 194-205.

## Effect of iron nutrient on growth, physiological and biochemical trait of *Echinaceae purpurea* to water deficit treatments

- 1- S. Khorasaninejad, Assistant Prof., Horticultural Sciences Department, Plant production Faculty, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.  
khorasaninejad@gau.ac.ir
- 2- H. Gorgini Shabankareh, Medicinal plants PhD student, Horticultural Sciences Department, Plant production Faculty, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
- 3- M. Azadi, Medicinal plants Msc graduated, Horticultural Sciences Department, Plant production Faculty, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
- 4- Z. Mohajervatan, Medicinal plants Msc graduated, Horticultural Sciences Department, Plant production Faculty, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Received: 21 Apr 2019

Accepted: 11 Sep 2019

### Abstract

In order to study the effects of irrigation period and iron nano-chelate on the some morphophysiological and biochemical characteristics of *Echinaceae purpurea* L., a experiment was conducted as factorial based on randomized complete block design with three replications at research farm of Baharan University of Gorgan, during growing season of 2017-2018. The treatments were four levels of irrigation periods (every 3 as control, 6, 9 days and 12 days) and iron nano-chelate (INC) including four levels (0 as control, 3, 6 and 9 in liter). Results showed that the irrigation periods increasing was decreased plant height, shoot wet and dry weight, root wet and dry weight. Highest irrigation period reduced in RWC and ion linkage. The antioxidant activity and soluble sugar were gone up under irrigation period and the maximum amount was in third level of irrigation. INC has significant effect on all traits except of shoot total phenol and shoot wet weight that the most effect was in third and fourth. Interaction effect of these treatments was showed that every 6 days and 6 in liter of INC increased soluble sugar and antioxidant activity and the most amount of proline was produced in every 12 days and 9 in liter of INC. Results of this study showed that drought stress increasing decreased morphological characteristics and RWC. However, proline, soluble sugar, total phenol, ion linkage and antioxidant activity were climbed. However, INC protects *E. purpurea* from drought stress and reduces damage caused by drought stress. Generally, 6 in liter of INC was advised for reducing of negative effects of irrigation regimes.

**Keyword:** Antioxidant activity; Coneflower; Drought; Iron Nutrient; Total phenol.