اثر محلول‌پاشی کودآهن بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی سرخارگل (*Echinaceae purpurea*) تحت تیمارهای کم‌آبی

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

دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۱
پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۲۰

چکیده

به‌منظور بررسی اثر رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی نانوکلات‌آهن بر برخی ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سرخارگل (*Echinaceae purpurea* (L.) Monch) آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در ۳ تکرار در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه غیرانتفاعی بهاران گرگان در سال زراعی ۱۳۹۷- ۱۳۹۶ به‌اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش در چهار سطح دور آبیاری (شامل هر ۳روز یکبار (شاهد)، ۶، ۹ و ۱۲ روز یکبار آبیاری) به‌عنوان عامل اصلی و چهار سطح محلول‌پاشی نانوکلات‌آهن (عدم محلول‌پاشی (شاهد)، ۳، ۶ و ۹ در هزار) لحاظ شد. نتایج نشان داد افزایش فاصله آبیاری سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته، وزن تازه و خشک گیاه، وزن تر و خشک ریشه شد. همچنین دور آبیاری در بالاترین سطح منجربه کاهش محتوای نسبی آب برگ و نشت 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. محلول‌پاشی نانوکلات‌آهن نیز بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده به‌جز فنل اندام هوایی و وزن تازه گیاه تاثیر معنی‌داری 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 محلول‌پاشی ۶ در هزار نانوکلات‌آهن موجب افزایش قند محلول و فعالیت آنتی‌اکسیدانی شده، بیشترین مقدار پرولین از سطح چهارم دور آبیاری و کاربرد ۹ در هزار نانوکلات‌آهن مشاهده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش شدت تنش خشکی باعث کاهش صفات مرفولوژیکی و محتوای نسبی آب برگ و افزایش پرولین، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل، قند و نشت یونی شد. تیمار کودی نانوکلات‌آهن از گیاهان سرخارگل در برابر تنش خشکی محافظت نموده و باعث کاهش خسارت‌های ناشی از تنش خشکی می‌شود. به‌طورکلی می‌توان اعمال ۶ در هزار نانوکلات‌آهن را برای کاهش تأثیر سوء رژیم‌های آبیاری توصیه کرد.

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

مقدمه

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 به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیاست [۲۲]. تنش طولانی‌مدت رطوبتی بر 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 کم‌آبی بر عملکرد اندام هوایی، عملکرد و بازده اسانس تأثیر می‌گذارد به‌طوری‌که 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].

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 نعناع فلفلی نشان داد که سطوح اولیه تنش خشکی درصد اسانس افزایش یافت، درحالی که با افزایش تنش (۷۰ درصد ظرفیت‌زراعی) 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، دردسترس 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 فعایت 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 مفیدتر از کاربرد خاکی مواد غذایی برای بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه است [۳۰].

با این حال یکی از روش‌های جالب که در سال‌های اخیر موردتوجه 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 نانوکودآهن در هکتار، کاهش عملکرد ناشی از کاهش دفعات آبیاری را جبران کرد [۱۱].

باتوجه 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.

مواد و روش‌ها

به‌منظور 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 به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی در ۳ تکرار بررسی شد. فاصله آبیاری در چهار سطح آبیاری (هر ۳ روز یکبار آبیاری به‌عنوان شاهد، ۶، ۹ و ۱۲ روز یکبار به‌عنوان عامل اصلی) و محلول‌پاشی نانوکلات آهن در چهار غلظت (عدم محلول‌پاشی، ۳ در هزار برمبنای 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) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد.

برای اعمال تیمار نانوکلات آهن از کود شیمیایی با نام تجاری نانوکلات آهن (Nano Chelated Iron) به‌میزان ۱۰ کیلوگرم درهکتار (بر اساس توصیه شرکت سازنده) استفاده شد. مراحل آماده‌سازی زمین شامل شخم با گاوآهن برگردان‌دار، خرد نمودن کلوخه‌ها با دیسک و ایجاد جوی و پشته‌هایی با فاصله ۵۰ سانتی‌متر توسط فارروور بود. اواخر اسفندماه نشاهای سرخارگل در کرت‌های آماده‌شده 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) به‌صورت دستی صورت پذیرفت. برای شناسایی خصوصیات کمی و کیفی خاک محل آزمایش، نمونه خاکی از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری برداشته و به آزمایشگاه منتقل و موردتجزیه شیمیایی و فیزیکی انجام گرفت (جدول ۱).

اعمال تیمارهای دور آبیاری بر اساس فاصله آبیاری بود. به‌منظور 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 به‌صورت یکسان انجام گرفته و تا رسیدن به مرحله استقرار گیاه ادامه یافت. به‌منظوراعمال تیمارهای آبی، آبیاری (با آب لوله‌کشی شهری) برای هر کرت بر اساس سطوح مختلف آبیاری و تیمار رطوبتی کرت موردنظر) در چهار سطح و به فاصله هر روز آبیاری، ۳، ۶ و ۹ روز یکباراً بیاری برای هر کرت تا پایان دوره رشد انجام شد. مقدار موردنیاز نانوکلات آهن در این طرح برای هر تیمار محاسبه و در دو مرحله ۶ تا ۸ برگی و آغاز گلدهی، به‌صورت محلول‌پاشی اعمال شد.

حدود ۱۲ هفته پس از شروع تیمارهای رژیم آبی (زمانی‌که 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، قندمحلول) و بیوشمیایی (فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فلاونوئیدکل و فنل‌کل) شد به‌طوری‌که 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 Lab.No	عمق Depth	pH	هدایت الکتریکی EC*10	درصد اشباع SP	درصد مواد خنثی‌شونده T.N.V	درصد ازت N	کربن آلی O.C %	فسفر قابل جذب P(ava) P.P.M	پتاسیم قابل‌جذب K(ava) P.P.M	رس %Clay	لای %Silt	ماسه %Sand	بافت
۹۴۷	۳۰-۰	۷/۳۴	۴/۰۷۶	۱۴۱/۸۶	۵/۵۹	۰/۰۹	۰/۹	۲۴/۸	۲۵۶	۱۲	۴۲	۴۲	Clay - Silty

T.N.V: درصد کل مواد خنثی شونده S.P: دانه‌بندی خاک

میزان فنل کل به‌روش فولین‌سیوکالتو اندازه‌گیری شد به‌طوری‌که 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 فنل‌کل بر حسب میلی‌گرم اسیدگالیک در ۱۰۰ گرم برگ خشک بدست آمد [۳۱].

برای محاسبه فلاونوئیدکل از روش آلومینیوم‌کلرید 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[1] (دی‌فنیل پیکریل‌هیدرازیل)، ابتدا یک میلی‌لیتر از عصاره متانولی با یک میلی‌لیتر DPPH با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار مخلوط شد. برای نمونه شاهد یک میلی‌لیتر متانول خالص به‌جای 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 - درصدجذب شاهد) =میزان مهار رادیکال‌های آزاد

درصد جذب شاهد × ۱۰۰

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

استخراج قندهای محلول با استفاده از روش اوموکولو انجام شد [۳۷] به طوری‌که 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 هر نمونه در ویال‌های جداگانه اضافه و آنها را در دمای $^{\circ}C$ ۱۰ به‌مدت ۲۴ ساعت در داخل انکوباتور قرار داده شد. پس از طی زمان و رساندن دمای نمونه ها به دمای تعادل آزمایشگاه میزان هدایت الکتریکی L_T هر نمونه با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج اندازه گیری شد، در مرحله بعد نمونه‌ها در دمای $^{\circ}C$ ۱۲۰ به‌مدت ۱۵ دقیقه اتو کلاو شد. سپس نمونه‌ها از اتوکلاو خارج و پس از رسیدن به دمای تعادل آزمایشگاه میزان هدایت الکتریکی L_0 نمونه‌ها مجداد اندازه‌گیری شد و سپس با استفاده رابطه ۲ میزان نشت الکترولیت محاسبه شد [۲۷].

$$\text{نشت الکترولیت} = L_T / L_0 \times ۱۰۰ \qquad (۲)$$

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 به‌دست 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 به‌مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای $^{\circ}C$ 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 به‌مدت ۲۴ ساعت تعیین و در آخر رطوبت‌نسبی آب برگ[2] با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد [۴۸].

1- 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl

2- Relative Water Content

$$RWC\,(\%) = \left[\frac{(\text{وزن خشک} - \text{وزن تر})}{\text{وزن خشک} - \text{وزن آماس}} \times 100\right] \quad (۳)$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها (تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به روش LSD در سطح احتمال پنج‌درصد) با استفاده از نسخه ۹/۲ نرم‌افزار SAS انجام شد.

نتایج

باتوجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) تیمارهای اعمال شده بر تمامی صفات موردراندازه‌گیری به‌جز فنل‌کل اندام هوایی اثر معنی‌دار داشته‌اند به طوری‌که دور آبیاری در سطح معنی‌داری یک‌درصد بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده موثر بوده است. همچنین اثر نانوکلات آهن بر تمامی خصوصیات گیاه به‌جز فنل اندام هوایی و وزن تازه گیاه معنی‌دار شده است. اثر متقابل دور آبیاری و نانوکلات آهن به جز برای صفات فنل اندام هوایی و ریشه اثر معنی‌دار داشته است.

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

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

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس اثر دورآبیاری و نانوکلات آهن بر شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سرخارگل

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

*، **و : ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌داری

شاخص‌های رشدی نظیر ارتفاع بوته، وزن تر و خشک بوته به‌طور معنی‌داری ($p\leq ۰/۰۱$) تحت‌تأثیر 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 سانتی‌متر مربوط به سطح اول تیمار دور آبیاری (هر ۳ روزیکبار آبیاری) و کمترین مقدار آن با میانگین ۲۰/۴۷ سانتی‌متر مربوط به سطح چهارم دور آبیاری (۱۲ روزیکبار آبیاری) بود (جدول ۵). محلول‌پاشی ۹ در هزار نانوکلات آهن موجب افزایش معنی‌دار این صفت نسبت به شاهد گردید. در حالی‌که از محلول‌پاشی ۳ و ۶ در هزار نانوکلات آهن نسبت به شاهد اثر معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). با کاهش سطح آبیاری ناشی از افزایش فاصله آبیاری، وزن تر و خشک بوته به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۵). محلول‌پاشی نانوکلات آهن تنها برای وزن خشک گیاه اثر معنی‌دار نشان داد. بیشترین میزان وزن خشک گیاه (۱۳/۹۳ گرم درگیاه) از محلول‌پاشی ۹ در هزار لیتر نانوکلات حاصل شد به‌طوری‌که اختلاف ۵/۰۳ درصدی این صفت نسبت به شاهد را به دنبال داشت (جدول ۳). در تیمارهای ترکیبی، با افزایش دور آبیاری مقادیر صفات ارتفاع بوته، وزن تازه و خشک گیاه کاهش یافت. همچنین در تیمارهای ترکیبی با افزایش محلول‌پاشی تا ۶ در هزار نانوکلات آهن مقادیر این صفات افزایش یافت. به‌طور کلی برای صفت ارتفاع بوته، وزن تازه و خشک گیاه به‌ترتیب بیشترین مقدار ۳۱/۷۵ سانتی‌متر، ۳۹/۵۸ و ۲۰/۷۵ گرم در گیاه از محلول‌پاشی ۹ در هزار نانوکلات آهن در شرایط هر ۳ روز یکبار آبیاری بدست آمد (جدول ۵).

صفات وزن تازه و خشک ریشه به‌طور معنی‌داری ($p\leq ۰/۰۱$) تحت‌تأثیر 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 (۱۲روز یکبار آبیاری) است (جدول ۳). کاربرد ۶ در هزار نانوکلات آهن موجب افزایش معنی‌دار این صفت نسبت به شاهد گردید. البته کاربرد سه و نه در هزار نانوکلات آهن نیز بهبود در این صفت را به‌عنوان صفت مثبت، نسبت به شاهد به‌دنبال داشت (جدول ۴).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد در سطوح اول تا چهارم دور آبیاری مقدار وزن خشک ریشه برابر ۶/۵۷، ۸/۱۸، ۱۰ و ۶/۲۵ گرم در گیاه شد که نشان‌دهنده کاهش میزان وزن خشک ریشه با افزایش فاصله آبیاری است (جدول ۳). سطوح ۳، ۶ و ۹ در هزار نانو کلات آهن موجب افزایش این صفت نسبت به شاهد گردید (جدول ۴). به‌طوری‌که محلول‌پاشی با ۳، ۶ و ۹ در هزار نانوکلات آهن با میانگین‌های ۷/۲۵، ۸/۴۹ و ۸/۸۱ در گیاه به‌ترتیب 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 معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۱). تیمار ترکیبی ۹ در هزار نانوکلات آهن درشرایط 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 توانست میزان صفات وزن تازه ریشه را افزایش دهد، به‌طوری‌که 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 آنتی‌اکسیدانی به‌طور معنی‌داری ($p\leq ۰/۰۱$) تحت‌تأثیر تیمارهای رژیم آبیاری و محلول‌پاشی نانوکلات آهن قرار گرفتند (جدول ۲). در حالی‌که برای صفت فنل‌کل تحت شرایط تیماری (دور آبیاری، نانوکلات و اثر متقابل آنها) اثر معنی‌داری مشاهده نشد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان فلاونوئید با میانگین ۲/۰۶ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک مربوط به سطح چهارم تیمار دور آبیاری (۱۲ روز یکبار آبیاری) و کمترین آن با میانگین ۱/۳۴ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک مربوط به سطح اول تیمار دور آبیاری (۳ روز یکبار آبیاری) می‌باشد (جدول ۳). کاربرد ۹ در هزار نانوکلات آهن موجب افزایش معنی‌دار این صفت نسبت

به شاهد گردید. البته کاربرد ۶ و ۳ در هزار نانوکلات آهن نیز بهبود در این صفت را به‌عنوان صفت مثبت، نسبت به شاهد به‌دنبال داشت (جدول ۴).

با کاهش سطح آبیاری، فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌طور 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 به‌ترتیب 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 نانوکلات آهن توانست میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش دهد، به‌طوری‌که بیشترین مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۷۸/۰۱ میلی‌گرم بر گرم ماده‌خشک) 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 به‌گونه‌ای که حداکثر مقدار آن از سطح سوم آبیاری (۶ روز یکبار) بدست آمد (جدول۳).

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

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 (٪)
هر سه روز یکبار	عدم محلول‌پاشی	۳۱/۴۸^{d}	۴۱/۴۸^{i}	۱/۰۲^{g}	۳۱/۸۲^{d}	۳۵/۸۳^{i}
	سه در هزار نانوکلات‌آهن	۴۹/۶۴^{c}	۵۳/۱۵^{g}	۱/۲۳^{fg}	۳۱/۷۱^{d}	۵۳/۶۳^{gh}
	شش در هزار نانوکلات‌آهن	۳۱/۶۱^{d}	۵۴/۸۶^{fg}	۱/۵۴^{def}	۶۲/۰۰^{ab}	۵۵/۳۴^{fg}
	نه در هزار نانوکلات‌آهن	۳۵/۱۸^{d}	۵۰/۳۳^{gh}	۱/۵۵^{de}	۶۶/۲۶^{a}	۵۵/۹۴^{fg}
شش روز یکبار	عدم محلول‌پاشی	۳۱/۶۵^{d}	۴۷/۸۳^{h}	۱/۴۴^{ef}	۳۱/۶۸^{d}	۴۸/۳۱^{h}
	سه در هزار نانوکلات‌آهن	۳۱/۵۸^{d}	۵۸/۷۱^{ef}	۱/۴۶^{ef}	۵۷/۲۳^{bc}	۵۹/۱۹^{efg}
	شش در هزار نانوکلات‌آهن	۵۷/۱۳^{bc}	۷۴/36^{ab}	۱/۶۸^{cde}	۳۱/۷۵^{d}	۷۸/۰۱^{a}
	نه در هزار نانوکلات‌آهن	۳۱/۴۵^{d}	۷۲/۴۱^{ab}	۱/۸۳^{cd}	۳۱/۸۰^{d}	۶۰/۱۸^{ef}
نه روز یکبار	عدم محلول‌پاشی	۳۱/۲۴^{d}	۵۹/۷۰^{ef}	۱/۵۷^{de}	۳۱/۷۲^{d}	۶۶/۶۷^{cd}
	سه در هزار نانوکلات‌آهن	۳۲/۴۱^{d}	۶۳/۱۲^{de}	۱/۸۴^{cd}	۳۱/۶۸^{d}	۷۲/۸۹^{ab}
	شش در هزار نانوکلات‌آهن	۳۱/۴۱^{d}	۷۷/۵۳^{a}	۲/۱۶^{b}	۳۱/۶۸^{d}	۷۴/۸۴^{ab}
	نه در هزار نانوکلات‌آهن	۳۱/۴۷^{d}	۷۲/۴۲^{ab}	۲/۶۶^{a}	۳۱/۷۵^{d}	۷۰/۴۱^{bc}
دوازده روز یکبار	عدم محلول‌پاشی	۳۱/۳۵^{d}	۵۵/۴۶^{fg}	۱/۶۳^{de}	۳۱/۶۰^{d}	۵۷/۲۵^{fg}
	سه در هزار نانوکلات‌آهن	۳۱/۷۰^{d}	۶۶/۱۹^{cd}	۲/۲۰^{b}	۳۱/۶۴^{d}	۶۳/۴۵^{de}
	شش در هزار نانوکلات‌آهن	۶۱/۵۳^{ab}	۶۹/۹۳^{bc}	۲/۱۵^{b}	۳۱/۷۸^{d}	۷۲/۹۰^{ab}
	نه در هزار نانوکلات‌آهن	۵۶/۷۹^{a}	۶۲/۹۷^{de}	۱/۹۴^{bc}	۵۳/۵۶^{c}	۶۳/۶۰^{de}

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

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ نشان می‌دهد که تیمار دور آبیاری، نانوکلات آهن و اثر متقابل آنها تأثیر معنی‌داری بر میزان قند محلول داشت (جدول ۲). بیشترین میزان قند محلول با میانگین ۶۸/۱۹ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک از تیمار آبیاری به فاصله ۹ روز یکبار و کمترین آن با میانگین ۴۹/۹۶ میلی‌گرم 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 میلی‌گرم بر گرم ماده خشک موجب افزایش ۱۸/۰۵ درصدی این صفت نسبت به شاهد گردید (جدول ۴). در تیمارهای ترکیبی با افزایش فاصله آبیاری تا ۹ روز یکبار آبیاری و کاربرد نانوکلات آهن میزان قند محلول افزایش یافت به‌طوری‌که بیشترین میزان قند محلول (۷۷/۵۳ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) از برهمکنش فاصله آبیاری ۹ روزه و کاربرد ۶ در هزار نانوکلات آهن حاصل شد (جدول ۵).

نشت یونی به‌طور معنی‌داری ($p<۰/۰۱$) تحت‌تأثیر فاصله مختلف آبیاری قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد در سطوح اول تا چهارم دور آبیاری به‌ترتیب مقادیر نشت یونی برابر ۱۱/۳۸، ۳۶/۹۸،

۳۷/۹۵ و ۴۷/۵۹ درصد شد که نشان‌دهنده افزایش میزان نشت یونی با افزایش فاصله آبیاری می‌باشد (جدول ۳). محلول‌پاشی ۳، ۶ و ۹ در هزار نانوکلات آهن به‌ترتیب موجب کاهش ۳/۷۲، ۱۳/۰۶ و ۷/۶۸ درصدی این صفت نسبت به شاهد گردید. در تیمار ترکیبی محلول‌پاشی 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). همان‌گونه که در جدول ۳ نشان داده می‌شود تیمارهای ۱۲، ۹ و ۶ روز یکبار آبیاری به‌ترتیب با میانگین‌های ۲/۰۶، ۱/۹۸ و ۱/۶۴درصد 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 تحت‌تأثیر رژیم آبیاری، نانوکلات آهن و اثرمتقابل آن‌ها ($P<0/01$) قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها 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 باتوجه نوع گیاه منطقی به‌نظر می‌رسد (جدول ۳). کاربرد نانوکلات آهن در هر سه سطح (۹، ۶ و ۳ در هزار) موجب افزایش معنی‌دار این صفت نسبت به شاهد گردید. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در سطوح اول تا چهارم محلول‌پاشی نانوکلات آهن به ترتیب مقادیر محتوای نسبی آب برگ برابر با ۳۱/۷۰، ۳۸/۰۶، ۳۹/۳۰ و ۴۵/۸۴ درصد شد که نشان‌دهنده افزایش میزان این صفت با افزایش کاربرد نانوکلات آهن می‌باشد (جدول ۳). محلول‌پاشی نانوکلات آهن در شرایط اعمال آبیاری اثر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب داشت. به‌طوری‌که کاربرد ۹ در هزار نانوکلات آهن از این ماده در شرایط آبیاری هر ۳ روز یکبار، حداکثر مقدار این صفت (۶۶/۲۶ درصد) را به‌دنبال داشت (جدول ۵).

بحث و نتیجه‌گیری

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 به‌دلیل کاهش شدید آماس سلولی، رشد و تقسیم سلول‌ها منجربه کاهش رشد رویشی گیاه می‌شود [۴۱]. همچنین کاهش تقسیم سلولی و بزرگ‌شدن سلول‌ها موجب کاهش سطح برگ و در نتیجه کاهش فتوسنتز و اجزای رشد رویشی می‌گردد. با کاهش رشد و نمو سلول، اندازه اندام محدود می‌شود. به عبارت دیگر، کاهش مواد فتوسنتزی تولیدی به علت کاهش سطح برگ و کاهش انتقال مواد آسیمیلاتی به سمت اندام‌های زایشی در اثر تنش کمبود آب سبب کاهش عملکرد سرشاخه‌های گلدار می‌گردد. به همین دلیل اولین اثر محسوس کم‌آبی بر گیاهان را می‌توان از روی اندازه کوچکتر برگ‌ها و ارتفاع کمتر گیاهان تشخیص داد. در تحقیق صورت‌گرفته گیاه آویشن (*Thymus vulgaris* L.) خصوصیات مورفولوژیک در سطوح مختلف تنش خشکی (۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی) موردبررسی قرار گرفت که نتایج نشان داد با افزایش تنش خشکی ارتفاع بوته، تعداد ساقه جانبی، وزن خشک و تر اندام رویشی کاهش می‌یابد [۱۰].

یکی از واکنش‌های گیاه در شرایط تنش خشکی، کوتاه کردن دوره رشدی و تسریع رسیدگی است. در برخورد با تنش خشکی، گیاه میزان سطح و تعداد برگ‌های خود را کاهش می‌دهد و متعاقباً مواد فتوسنتزی نیز کاهش می‌یابند 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 در معرض خشکی قرار می‌گیرد از شاخه و برگ‌های خود که منابع اصلی تبخیر و تعرق در گیاه هستند، می‌کاهد و همچنین روزنه‌هایش نیمه‌بسته یا بسته می‌شود و این موضوع

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 این 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 محلول‌پاشی 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 محلول‌پاشی 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. ترکیات 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 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 فنل‌کل 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 فنل‌پروپانوئید مسئول 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 طوری‌که 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 محدودشدن 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

کاستن از آسیب‌های ناشی از گونه‌های اکسیژن فعال دارای سازوکارهای آنتی‌اکسیدانی هستند که شامل اجزای غیرآنزیمی مانند اسکوربات، گلوتامین فلاونوئیدها و آنزیم‌های مانند کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز، پراکسیداز، اسکوربات‌پراکسیداز هستند. این سازوکارهای آنتی‌اکسیدانی در گیاه تحت‌تأثیر 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 تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد. گزارش‌ها نشان دهنده آن است که فعالیت آنتی‌اکسیدانی در شرایط کمبود آهن کاهش می‌یابد [۴۵]. کاربرد نانوکلات آهن نیز باتوجه به این‌که 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 نانو کلات آهن بر فعالیت آنزیم‌هایی همچون کاتالاز و پراکسیداز مؤثر می‌باشد و در واکنش‌ها به عنوان 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 می‌توانند 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، اسیدآمینه 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 به عنوان یک شاخص در تعیین میزان حساسیت به تنش شوری و خشکی در گیاهان به شمار می رود. بالا 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 هنگامی‌که گیاه تحت‌تأثیر تنش‌ها قرار می‌گیرند، غلظت اسمولیت-هایشان را افزایش می‌دهند تا جذب آب تحت‌شرایط 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 آن‌جایی‌که یکی از مسیرهای تولید پرولین گلوتامات است، با افزایش تولید قندهای محلول ممکن است میزان تولید گلوتانات افزایش یافته و ساخت پرولین تشدید شود [۵۱].

به‌طورکلی 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

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 به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های ژن و مولکول پیام‌رسان، افزایش می‌یابد. علاوه‌بر 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 درنظر گرفته می‌شود و منعکس‌کننده فعالیت متابولیک در بافت‌ها و به‌عنوان شاخصی برای تعیین تحمل کم‌آبیاری در گیاه است. گیاهانی که تحت‌تنش قرار می‌گیرند، فضای بین سلولی و میزان آب در پیکره خود را از طریق افزایش مواد اسمزی در درون بافت‌ها به‌حداقل 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_2 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 "سپهرپارمیس" و شرکت زرین‌گیاه ارومیه قدردانی به‌عمل 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). 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 SiO2 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]. Esmaeilizadeh, 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., Ramezanpour, 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 (Oryze 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/Fe3+ and EDDHA/ Fe3+ 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]. Miliauskas, 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 osmatic adjustments in Moldavian (*Dracocephlum 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 Brasilleira 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 charactristics 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.