



## به‌زراعی کشاورزی

دوره ۲۰ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۷  
صفحه‌های ۴۵-۶۶

# آثار کودهای نانو و نانوزیستی بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) تحت تنش خشکی

سیده عصمت هاشمی فدکی<sup>۱</sup>، براتعلی فاحری<sup>۲\*</sup>، نفیسه مهدی‌نژاد<sup>۳</sup>، رقیه محمدپور وشوایی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۲. استاد، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۳. استادیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۴. دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۱۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۰۱

### چکیده

جایگزینی نهاده‌های شیمیایی با نهاده‌های بوم‌سازگار، به‌عنوان گامی به‌منظور گذار از کشاورزی رایج به پایدار، ضروری به‌نظر می‌رسد. در این راستا، آزمایشی در سال ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زابل، به‌صورت طرح کرت‌های یک‌بار خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تنش خشکی در چهار سطح ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد رطوبت در دسترس گیاه، عامل اصلی و کودهای نانو و نانوزیستی در چهار سطح، عامل فرعی در نظر گرفته شد. اثر اصلی تیمارهای کود، تنش خشکی و برهمکنش آنها بر تمامی صفات مورد بررسی معنادار شد. بیشترین مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی، وزن تر و خشک کاسبرگ در تیمار تنش خشکی ۷۰ درصد رطوبت در دسترس و محلول‌پاشی کود نانوکلات آهن به‌دست آمد. بیشترین مقدار اسمولیت‌های آنتوسیانین، پرولین و کربوهیدرات به تیمار تنش خشکی ۳۰ درصد رطوبت در دسترس و بیشترین محتوای نسبی آب برگ به تیمار آبیاری ۹۰ درصد رطوبت قابل دسترس و محلول‌پاشی کود نانوکلات آهن تعلق داشت. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که بهترین تیمار مورد بررسی، تنش خشکی ۷۰ درصد رطوبت در دسترس توأم با محلول‌پاشی کود نانوکلات آهن بود. محلول‌پاشی با کود نانوکلات آهن موجب تعدیل آثار تنش خشکی و افزایش کمیت و کیفیت کاسبرگ‌های چای ترش شد.

**کلیدواژه‌ها:** اسمولیت، تنش کم‌آبی، رنگیزه‌های فتوسنتزی، نانوکلات آهن، وزن کاسبرگ.

## ۱. مقدمه

یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در جنبه‌های مختلف کشاورزی در بخش آب و خاک، استفاده از نانوکودها برای تغذیه گیاهان است [۱۲]. با بکارگیری نانو کپسول‌ها، می‌توان کودهای با رهایش کنترل‌شده یا تأخیری تولید کرد [۵۷]. استفاده از نانوکودها منجر به افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، کاهش سمیت خاک، به حداقل رسیدن آثار منفی ناشی از مصرف بیش از حد کودها و کاهش تعداد دفعات کاربرد آنها می‌شود [۲۸]. تحقیقات زیادی در زمینه کاربرد کودهای نانو در تولید محصولات زراعی مختلف از جمله همیشه بهار، گلرنگ و بابونه آلمانی صورت گرفته است و نتایج ارزنده‌ای نیز به دست آمده است [۲۹، ۹، ۲۱]. کاربرد کود نانوکلات آهن در گیاه ریحان<sup>۴</sup> موجب افزایش محتوای کلروفیل شد [۵]. کاربرد کود آهن در شرایط کم‌آبیری در گلرنگ<sup>۵</sup>، بر مقدار آنتوسیانین تأثیر گذاشت و گیاهانی که کود آهن بیشتری دریافت کرده بودند، آنتوسیانین بیشتری داشتند [۱۸].

تنش خشکی موجب برهم زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاهان می‌شود، ولی با تکمیل عناصر غذایی از طریق خاک یا محلول‌پاشی می‌توان وضعیت رشد را در این شرایط تا حدودی بهبود بخشید [۲۵]. از آنجایی که محلول‌پاشی می‌تواند عناصر غذایی را در اسرع وقت در اختیار گیاه قرار دهد، لذا از اهمیت بسیاری برخوردار است. بنابراین، این آزمایش به منظور درک بهتر اثر کود نانو و نانوزیستی بر کمیت و کیفیت کاسبرگ‌های چای ترش تحت شرایط تنش خشکی اجرا شد.

## ۲. مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر کودهای نانو و نانوزیستی بر کمیت و کیفیت کاسبرگ‌های چای ترش<sup>۶</sup> تحت تنش کم‌آبی،

خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی و عامل محدودکننده تولید گیاهان در بیشتر مناطق دنیا است [۶۴]. خشکی به‌علت تغییر در محتوا و ساختار کلروفیل و آسیب به سیستم‌های فتوسنتزی، مانع فتوسنتز گیاهان می‌شود [۵۲]. شناسایی و کاشت گیاهان مقاوم به تنش کم‌آبی و با عملکرد بالا در مناطق خشک از اهمیت زیادی برخوردار است [۲۳]. *Hibiscus sabdariffa* L. گیاهی دارویی، یک ساله متعلق به خانواده ختمی<sup>۱</sup> است که مقاوم به خشکی [۱] اس و در بسیاری از نواحی گرمسیری برای استفاده از برگ‌ها، بذرها، ساقه و کاسبرگ‌های آن کشت می‌شود [۵۶]. این گیاه در ایران با نام چای ترش شناخته می‌شود [۶۵]. کاسبرگ‌های چای ترش حاوی آنتوسیانین (۳-گلوکوزید<sup>۲</sup> و سیانیدین<sup>۳</sup>-گلوکوزید<sup>۳</sup>) است که مسئول رنگ قرمز است [۴۸]. از کاسبرگ‌های آن برای درمان فشارخون بالا، اسهال و کمبود ویتامین ث استفاده می‌شود. همچنین این گیاه، در درمان سوء هاضمه و بیماری‌های کبدی و قلبی کاربرد دارد [۴۱].

در نظام‌های کشاورزی استفاده از کودهای زیستی، به‌ویژه در خاک‌های فقیر از عناصر غذایی، در افزایش تولید گیاهان و حفظ کیفیت خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۳۱]. کودهای زیستی، ریزموجودات باکتریایی و قارچی هستند که علاوه بر تثبیت زیستی نیتروژن و محلول کردن فسفر خاک، با تولید مقادیر چشمگیری هورمون‌های محرک رشد، بر رشد، نمو، عملکرد گیاهان زراعی و همچنین ویژگی‌های خاک تأثیر می‌گذارند [۷۰]. آهن از عناصر ضروری و کم مصرف در گیاهان است که اهمیت بسزایی در تثبیت ازت و فعالیت برخی آنزیم‌ها نظیر کاتالاز، پراکسیداز و سیتوکروم اکسیداز دارد [۳۲].

4. *Ocimum basilicum* L.

5. *Carthamus tinctorius* L.

6. *Hibiscus sabdariffa* Var. *Sabdariffa*

1. Malvaceae

2. 3-glucoside

3. Cyanidin 3-glucoside

آثار کودهای نانو و نانوزیستی بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) تحت تنش خشکی

عربستان وارد ایران و در منطقه گلمورتی (دلگان) استان سیستان و بلوچستان برای نخستین بار کشت شد. به منظور تأمین نیاز غذایی این گیاه (۱۰۰-۱۳۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۶-۵۴ کیلوگرم در هکتار فسفر  $P_2O_5$  و ۷۵-۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاس  $[K_2O]_{62}$ )، از کودهای نانو و نانوزیستی استفاده شد. در این بررسی تنش خشکی در چهار سطح ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد آب در دسترس گیاه (به ترتیب ۱۸/۳۵، ۲۲/۲۵، ۲۶/۱۵ و ۳۰/۰۵ درصد حجمی خاک) [۱۴]، عامل اصلی و محلول پاشی با کود نانوکلات آهن، نانوکلات ترکیبی (آهن، روی و منگنز)، نانوکود زیستی (بیومیک) و شاهد (عدم استفاده از کود) عامل فرعی در نظر گرفته شد.

آزمایشی به صورت طرح کرت های یک بار خرد شده در قالب بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل با عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی با ارتفاع ۴۸۰ متر از سطح دریا اجرا شد. آمار هواشناسی منطقه مورد مطالعه (ایستگاه سینوپتیک زهک) در سال زراعی ۱۳۹۴ به شرح جدول ۱ بود.

برای آگاهی از وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌ای از عمق ۰-۳۰ سانتی متر پروفیل خاک تهیه شد که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

چای ترش به صورت گونه مهاجر از شبه جزیره

جدول ۱. آمار هواشناسی منطقه مورد مطالعه (ایستگاه سینوپتیک زهک) در سال ۱۳۹۴.

ماه	متوسط درجه حرارت (سانتی‌گراد)	متوسط درصد رطوبت نسبی	میزان باران (میلی‌متر)	متوسط تبخیر ماهیانه (میلی‌متر)	متوسط تابش روزانه (ساعت)
فروردین	۲۳/۳	۴۲	۲۷/۶	۷/۵	۸/۹
اردیبهشت	۲۹/۳	۲۶	۰/۰	۱۱/۵	۱۰/۴
خرداد	۳۳/۱	۱۵	۰/۰	۱۹/۸	۱۱/۴
تیر	۳۶/۴	۱۵	۰/۰	۲۳/۷	۱۱/۷
مرداد	۳۵/۰	۱۳	۰/۰	۲۴/۳	۱۱/۳
شهریور	۳۰/۱	۱۷	۰/۰	۱۹/۶	۱۰/۹
مهر	۲۶/۸	۲۴	۰/۰	۱۱/۵	۱۰/۲
آبان	۱۷/۷	۴۴	۱۸/۴	۴/۵	۷/۹
آذر	۱۱/۰	۴۴	۰/۰	۳/۳	۸/۴

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر

بافت خاک	اسیدیته (pH)	هدایت الکتریکی ( $dS.m^{-1}$ )	نیتروژن (%)	فسفر کل (mg/kg)	پتاسیم کل (mg/kg)	منگنز (ppm)	مس (ppm)	روی (ppm)	آهن (ppm)
لومی - رسی	۸/۴۳	۱/۴۵	۰/۰۲	۴/۶۰	۱۰۰/۰۰	۵/۶۰	۱/۱۵	۰/۴۶	۱۰/۴۰

بسته به میزان رطوبت خاک، زمان عبور موج الکترومغناطیس تغییر می کند و دستگاه برحسب واحدهای مختلف (بسته به تنظیم دستگاه بر روی کدام واحد که معمولاً میلی ولت، درصد رطوبت حجمی و یا مجموع هر دو است) میزان رطوبت را به طور مستقیم قرائت می کند. آبیاری هر کرت پس از رسیدن رطوبت به ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد آب در دسترس گیاه (به ترتیب ۱۸/۳۵، ۲۲/۲۵، ۲۶/۱۵ و ۳۰/۰۵ درصد حجمی خاک) به روش نشتی صورت گرفت. مبارزه با علف های هرز به صورت دستی در طول دوره رشد، سه مرتبه انجام شد. در اواسط آبان پس از مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی، برداشت کاسبرگ ها از بوته های دو ردیف وسط پس از حذف اثر حاشیه و به طور تصادفی انجام گرفت.

صفات اندازه گیری شده شامل، کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئید و کلروفیل کل (میلی گرم برگرم وزن تر برگ)، میزان کربوهیدرات (میکروگرم برگرم وزن تر برگ)، میزان پرولین (میکرومول برگرم وزن تر برگ)، میزان آنتوسیانین (میکروگرم برگرم وزن تر کاسبرگ)، عدد SPAD<sup>۲</sup> (میلی گرم برگرم وزن تر برگ)، محتوای آب نسبی برگ<sup>۳</sup> (درصد)، عملکرد کوانتومی کلروفیل (میکرومول بر مترمربع در ثانیه)، وزن تر و خشک کاسبرگ ها (گرم در بوته) بودند. اندازه گیری عدد SPAD برگ ها با استفاده از دستگاه کلروفیل متر<sup>۴</sup> انجام گرفت. فلورسانس کلروفیل نیز با استفاده از دستگاه فلورومتر<sup>۵</sup> (جن وی پی اف پی<sup>۶</sup>)، آلمان) اندازه گیری شد. برای اندازه گیری کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئید و کلروفیل کل، ۰/۱ گرم نمونه تر برگ در هاون چینی ریخته شد. سپس با ۱۰ میلی لیتر استون ۸۰ درصد له شد و به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور

کود زیستی نانوبیومیک (حاوی ازتوباکتر، باسیلوس، سودوموناس و آزوسپرولیوم) به میزان یک لیتر در هکتار به صورت بذرمال (طبق بروشور) و کود نانوکلات آهن و نانوکلات ترکیبی به صورت محلول پاشی و با غلظت یک در هزار (طبق بروشور) استفاده شد. کشت به صورت هیرم کاری در ۲۲ فروردین ماه انجام گرفت. هر واحد آزمایشی دارای چهار ردیف کاشت به طول هشت متر با فاصله بین ردیف های ۷۰ سانتی متر و روی ردیف های ۳۰ سانتی متر بود. فاصله بین کرت های فرعی نیم متر و بین کرت های اصلی یک متر در نظر گرفته شد. با توجه به ابعاد کرت ها و برای سهولت محلول پاشی و همچنین افزایش دقت آن از سمپاش تلمبه ای دستی برای محلول پاشی استفاده شد. محلول پاشی ها در ساعت چهار و نیم بعد از ظهر و در هوای صاف و ملایم طوری که برگ های گیاه کاملاً خیس شدند، انجام شد. در ضمن گیاهان شاهد با آب مقطر محلول پاشی شدند. رطوبت در ظرفیت زراعی ۳۲ و در نقطه پژمردگی ۱۲/۵ درصد حجمی خاک به روش آزمایشگاهی تعیین شد. اختلاف این دو (۱۹/۵ درصد) به عنوان رطوبت در دسترس گیاه در نظر گرفته شد. برای اندازه گیری رطوبت خاک در طول آزمایش از دستگاه تی دی آر<sup>۱</sup> استفاده شد. بدین منظور پروب های (پروب P<sub>۳</sub> سه شاخه ای به طول ۲۰ سانتی متر) تی دی آر به صورت عمودی در داخل خاک اشباع شده کار گذاشته شدند. سپس در روزهای متوالی، اندازه گیری رطوبت خاک به وسیله دستگاه صورت گرفت و زمان آبیاری به دست آمد. اساس کار دستگاه تی دی آر بر این اصل استوار است که دستگاه گیرنده علائمی را به داخل سنسور میله ای ارسال می کند که از میله اصلی (میله وسطی) این علائم خارج و توسط میله های کناری دریافت می شوند. هنگامی که سنسور در داخل خاک قرار گرفت و بین میله ها را خاک فرا گرفت

2. SPAD=Single-photon avalanche diode  
3. Relative Water Content (RWC)  
4. Minolta SPAD-502  
5. Fluorometer  
6. Jenway PFP

1. TDR=Time Domain Reflectometry

شد. بدین منظور پس از افزودن ۱۰ میلی لیتر اتانول ۹۵ درصد به ۰/۲ گرم بافت تازه نمونه برگ‌گی و قرار دادن آن در حمام بن‌ماری به مدت یک ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد، به یک میلی‌لیتر از این محلول یک میلی‌لیتر فنل ۰/۵ درصد و پنج میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۹۸ درصد اضافه شد. سپس جذب در طول موج ۴۸۳ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد و براساس منحنی استاندارد گلوکز، کربوهیدرات محلول در آب بر حسب میکروگرم برگرم وزن تر نمونه بدست آمد.

برای اندازه‌گیری پرولین ۰/۵ گرم از نمونه‌های برگ تر در ۱۰ میلی‌متر اسیدسولفوسالسیلیک سه درصد به‌وسیلهٔ هاون، هموژن و عصارهٔ حاصل صاف شد. دو میلی‌لیتر اسیداستیک و دو میلی‌لیتر ناین هیدرین به دو میلی‌لیتر از عصاره صاف شدهٔ فوق، اضافه شد. محلول حاصل به مدت یک ساعت در حمام آب و در دمای ۱۰۰ درجهٔ سلسیوس قرار داده شد. پس از آن برای پایان یافتن واکنش، لوله‌های آزمایش در داخل بستری یخی قرار گرفت و چهار میلی‌لیتر تولوئن به هر لوله اضافه شد. غلظت پرولین نمونه‌ها در تولوئن با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر و در نهایت با توجه به منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مختلف پرولین بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر محاسبه شد [۴۶].

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ از روش وترلی [۶۷] استفاده شد. بدین منظور ۰/۱ گرم از بافت برگ‌گی با ترازوی دقیق دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ وزن شد (FW). سپس بافت برگ‌گی در ظروف پتری حاوی آب مقطر برای چهار الی پنج ساعت در نور غوطه‌ور شد. سپس نمونه‌ها، از پتری خارج شدند و با استفاده از کاغذ صافی خشک و دوباره وزن شدند تا وزن حالت تورژسانس کامل (TW) به دست آمد. برای محاسبهٔ وزن خشک (DW) بافت‌های برگ‌گی درون فویل آلومینیوم پیچیده شدند و

بر دقیقه سانتریفیوژ (اپندورف<sup>۱</sup>، آلمان) شد. سپس با دستگاه اسپکتروفتومتر (بی تی اس-۴۵، آمریکا) جذب محلول بالای در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر به ترتیب برای سنجش کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید تعیین شد. در نهایت با استفاده از روابط (۱)، (۲) و (۳) میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید برحسب میلی‌گرم برگرم وزن تر محاسبه شد که در آنها، V حجم محلول سانتریفیوژ شده، A جذب نور در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر و W وزن تر نمونه برحسب گرم است [۳۵].

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645}) \text{ V}/100 \quad (1)$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663}) \text{ V}/100W \quad (2)$$

$$\text{Carotenoids} = 100 (A_{470}) - 3.27 (\text{mg chl. a}) - 104 (\text{mg chl. b})/227 \quad (3)$$

برای اندازه‌گیری میزان آنتوسیانین از روش وگنر [۶۶] استفاده شد. بدین منظور ۰/۱ گرم بافت تازه کاسبرگ در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (متانول خالص و اسیدکلریدریک خالص به نسبت ۹۹ به ۱) به‌طور کامل ساییده شد و در لوله‌های آزمایش به مدت ۲۴ ساعت، در تاریکی و دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. جذب محلول فاز بالایی در طول موج ۵۵۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین شد. از رابطهٔ (۴) که در آن E ضریب خاموشی (۳۳۰۰۰ سانتی‌متر برمول)، b عرض کووت، A میزان جذب و C غلظت محلول برحسب میکروگرم بر گرم وزن تر است، برای اندازه‌گیری میزان آنتوسیانین استفاده شد.

$$A = Ebc \quad (4)$$

برای اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول در آب و میزان پرولین از روش ایرگون و همکاران [۴۶] استفاده

1. Eppendorf 5810  
2. BTS-45

از میزان ۷۰ درصد رطوبت در دسترس، به دلیل افزایش تولید رادیکال های آزاد اکسیژن در اثر تنش خشکی باشد که این رادیکال های آزاد سبب پراکسیداسیون شده [۶۹] و در نتیجه به تجزیه و تخریب این رنگیزه ها می انجامد [۶۱]. علاوه بر این کاهش محتوای کلروفیل تحت تأثیر افزایش تنش خشکی، به دلیل اختلال در فرایندهای شیمیایی مسیر فتوسنتزی است. هر چند که فتوسیستم II تا حد زیادی نسبت به تنش خشکی مقاوم است، ولی تنش خشکی می تواند در این فتوسیستم نوری مانع انتقال الکترون شود، از این رو از کارایی فتوسنتز کاسته می شود [۲۴]. همچنین، در شرایط تنش، کمبود آب باعث تجزیه کلروفیل شده و گلوتامات که پیش ماده ساخت کلروفیل و پرولین است در اثر تنش به پرولین تبدیل می شود و در نتیجه از محتوای کلروفیل کاسته می شود. نتایج این آزمایش با نتایج محققان دیگر در آفتابگردان و گیاهان عالی [۱۰ و ۴۹] مطابقت داشت.

محلول پاشی با کود نانوکلات آهن بیشترین مقدار صفات کلروفیل a و b، غلظت نسبی کلروفیل، کارتنوئید و کلروفیل کل (به ترتیب ۳/۶۴، ۱/۳۶، ۱۰/۸۶، ۱۵/۹۶، ۵/۰۰ میلی گرم بر گرم وزن تر) را حاصل کرد (جدول ۴). عنصر آهن در ساختار کلروفیل نقش مستقیم ندارد، ولی وجود این عنصر به میزان کافی، باعث بهبود کلروفیل سازی در گیاه شده و می تواند در فتوسنتز تأثیرگذار باشد [۲۵]. مهم ترین نقش آهن در بیوسنتز کلروفیل، کنترل تشکیل گاما-آمینولولینیک اسید (ALA) پیش ساز مشترک بیوسنتز کلروفیل و گروه نیز است. همچنین، یون پروتوپورفیرین<sup>۲</sup> منیزیم آهن برای تشکیل پروتوکلروفیلید در مسیر سنتز کلروفیل ضروری است [۲۰]. در آزمایشی با مصرف عناصر ریزمغذی در تراکم های مختلف کاشت، شاخص های کلروفیل برگ گیاه دارویی چای ترش افزایش

به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد در آن قرار داده و بعد وزن شدند. محتوای نسبی آب برگ از رابطه (۵) محاسبه شد [۶۷].

$$RW = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100 \quad (5)$$

تجزیه و تحلیل های آماری داده ها با استفاده از نرم افزار SAS<sup>۱</sup> (نسخه ۹/۲) و مقایسه میانگین ها در سطح احتمال ۵ درصد و با آزمون دانکن انجام شد. برای تعیین بهترین ترکیب تیماری از تجزیه به مؤلفه های اصلی استفاده شد.

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳.۱. رنگیزه های فتوسنتزی

آثار اصلی تنش خشکی، کود و برهمکنش آن ها برای صفات کلروفیل a و b، غلظت نسبی کلروفیل، کارتنوئید و میزان کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد معنادار شد (جدول ۳). بیشترین مقدار صفات کلروفیل a و b، غلظت نسبی کلروفیل، کارتنوئید و کلروفیل کل در تنش خشکی ۷۰ درصد رطوبت در دسترس (به ترتیب ۴/۱۰، ۱/۶۶، ۱۰/۸۷، ۱۷/۹۸، ۵/۷۶ میلی گرم بر گرم وزن تر) به دست آمد (جدول ۴). در این بررسی با افزایش تنش خشکی تا میزان ۷۰ درصد آب در دسترس، رنگیزه های فتوسنتزی افزایش و از آن پس به شدت کاهش یافت. چای ترش گیاهی مقاوم به تنش خشکی است که در نواحی گرمسیری و نیمه گرمسیری کشت می شود آبیاری زیاد چای ترش با اثر منفی بر رنگیزه های فتوسنتزی موجب کاهش آنها و زردی برگ ها می شود و برای کاهش زردی برگ ها، کاهش تعداد آبیاری توصیه می شود. در اینجا نیز آبیاری ۹۰ درصد رطوبت در دسترس با تأثیر منفی بر رنگیزه های فتوسنتزی موجب کاهش آنها شده است. چراکه آب بیشتر به صورت تنش غرقابی نمود یافته است. به نظر می رسد که کاهش رنگیزه های فتوسنتزی با افزایش شدت تنش خشکی

نیاز کمتر شد، مجدداً رنگ برگ‌ها سبز تیره می‌شود. با ادامه کمبود آهن، زردی در تمام برگ‌ها به سرعت پیشرفت می‌کند. در موارد کمبود شدید آهن، برگ‌ها کاملاً به رنگ سفید درآمده و سوختگی به صورت لکه‌هایی در تمام برگ‌های گیاه نمایان می‌شود. به دلیل تأثیرات کلات آهن بر پیش‌سازهای کلروفیل، محلول‌پاشی کود نانوکلات آهن بهترین تیمار برای رفع کمبود آهن است. زیرا آهن جزء متابولسیم آنزیم کاپروپورفینوزن اکسیداز است [۴۰] و این آنزیم در بیوسنتز آمینولولینیک (ALA) که پیش‌ساز کلروفیل است، تأثیر دارد [۵۱]. به نظر می‌رسد، در شرایطی که کمبود آهن در خاک، کمتر از حد بهینه است (جدول ۲)، مقدار کلروفیل کاهش می‌یابد [۵۵]. بنابراین بهبود شرایط تغذیه‌ای با کاربرد نانوکلات آهن در شرایط تنش خشکی می‌تواند در فتوسنتز و افزایش غلظت کلروفیل در چای ترش مؤثر باشد.

### ۲.۳. محتوای نسبی آب برگ (RWC)

اثر اصلی تنش خشکی و محلول‌پاشی کود و برهم‌کنش آن‌ها بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال یک درصد معنادار شد (جدول ۳). در شرایط تنش خشکی ۹۰ درصد رطوبت در دسترس بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۸۴/۴۸ درصد) به دست آمد و با افزایش تنش خشکی مقدار آن کاهش یافت (جدول ۴). در بررسی اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی آسکوربات و جیبرلین بر روی گیاه دارویی آویشن مشاهده شد که بین سطوح مختلف آبیاری تفاوت معناداری از نظر محتوای نسبی آب برگ مشاهده شد و بیشترین محتوای نسبی آب برگ در شرایط مطلوب و کمترین آن در تنش شدید حاصل شد [۴]. بیشترین محتوای نسبی آب برگ با مصرف کود نانوکلات آهن (۷۱/۳۴ درصد) حاصل شد (جدول ۴).

۲۹ درصدی را نسبت به شاهد نشان داد [۳]. نتایج این آزمایش با یافته‌های آزمایشات مصرف کود آهن و نانوکلات آهن که باعث افزایش محتوای کلروفیل در گیاه ریحان شد، مطابقت داشت [۶].

مقایسه میانگین آثار متقابل تنش خشکی و کود نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل a (۴/۵۶ میلی گرم بر گرم وزن تر)، کلروفیل b (۱/۷۶ میلی گرم بر گرم وزن تر)، غلظت نسبی کلروفیل (۱۱/۶۴ میلی گرم در گرم وزن تر برگ)، کارتنوئید (۲۰/۰۲ میلی گرم بر گرم وزن تر) و کلروفیل کل (۶/۲۷ میلی گرم بر گرم وزن تر) در تیمار تنش خشکی ۷۰ درصد رطوبت در دسترس و محلول‌پاشی کود نانوکلات آهن به دست آمد (جدول ۵). با مصرف نانوکلات آهن میزان کلروفیل a و b، کارتنوئید و کلروفیل کل به ترتیب ۱۷/۸۲، ۱۷/۳۳، ۱۷/۷۶ و ۱۶/۵۴ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. محتوای کلروفیل یکی از مهم‌ترین عواملی است که ظرفیت فتوسنتزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاهش یا بدون تغییر ماندن محتوای کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی گیاه، به میزان تنش و شدت آن بستگی دارد [۴۷]. افزایش مقدار کلروفیل مشاهده شده در شرایط تنش ۷۰ درصد آب در دسترس نسبت به شاهد (۹۰ درصد آب در دسترس) در این آزمایش احتمالاً به دلیل مقاومت چای ترش به تنش خشکی و حساسیت آن به تنش غرقابی است.

به دلیل آهکی بودن بخش زیادی از خاک‌های زراعی و باغی شهرستان زابل و نیاز بالای چای ترش به خاک‌های اسیدی غنی از آهن، این گیاه شدیداً از کمبود آهن رنج می‌برد (جدول ۲). نشانه‌های کمبود آهن معمولاً در گیاهان جوان و برگ‌های جوان‌تر گیاه نمایان است. در ابتدای فصل رشد که رشد و نمو گیاه زیاد است، به علت کافی نبودن مقدار آهن جذب شده توسط گیاه، رنگ برگ‌ها زرد می‌شود. پس از آن که رشد و نمو گیاه و میزان آهن مورد

جدول ۳. تجزیه واریانس خصوصیات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و وزن کاسبرگ‌های چای ترش تحت آثار تنش خشکی و نظام‌های مختلف کوددهی (نانو و زمستی).

وزن تر کاسبرگ	میانگین مربعات										درجات آزادی	منابع تغییرات	
	وزن خشک کاسبرگ	کال کال کال کال کال کال کال کال کال کال کال	کال کال کال کال کال کال کال کال کال کال کال	کال کال کال کال کال کال کال کال کال کال کال	کال کال کال کال کال کال کال کال کال کال کال	کال کال کال کال کال کال کال کال کال کال کال	کال کال کال کال کال کال کال کال کال کال کال	کال کال کال کال کال کال کال کال کال کال کال	کال کال کال کال کال کال کال کال کال کال کال	کال کال کال کال کال کال کال کال کال کال کال			
۲۹۲۴/۸ <sup>NS</sup>	۱۱/۰۴ <sup>NS</sup>	۱۰/۸۹ <sup>**</sup>	۰/۰۰۱ <sup>**</sup>	۰/۶۰ <sup>NS</sup>	۲۴/۵۴ <sup>NS</sup>	۴۰/۷۲ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۰۰۳ <sup>NS</sup>	۰/۰۲۳ <sup>NS</sup>	۴۲/۲۶ <sup>**</sup>	۰/۱۲۰ <sup>**</sup>	۸/۳۷ <sup>**</sup>	۲	تکرار
۸۲۵۸۰/۱۲۸ <sup>**</sup>	۱۶۵۷۳/۶۸ <sup>**</sup>	۱/۳۶ <sup>**</sup>	۰/۲۵۰ <sup>**</sup>	۴/۹۶ <sup>**</sup>	۳۴۰۷/۲۰ <sup>**</sup>	۴۸۵۷۸/۱۷ <sup>**</sup>	۱/۵۷ <sup>**</sup>	۷۱/۰۶ <sup>**</sup>	۹۹/۹۳ <sup>**</sup>	۱/۲۳۰ <sup>**</sup>	۵/۱۹ <sup>**</sup>	۳	تنش خشکی
۱۱۸۶/۲۸	۴/۴۵	۰/۱۸	۰/۰۰۲	۰/۲۷	۳۹/۵۲	۲۵/۶۸	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۷	۰/۷۵	۰/۰۰۳	۰/۱۵	۶	تکرار x تنش خشکی
۷۰۶۵۲/۸۹ <sup>**</sup>	۲۸۵۴/۵۲ <sup>**</sup>	۱/۳۶ <sup>**</sup>	۰/۰۲۴ <sup>**</sup>	۰/۲۲ <sup>**</sup>	۱۰۰/۱۸ <sup>**</sup>	۲۲۱۹/۱۵ <sup>**</sup>	۰/۰۷ <sup>**</sup>	۴/۵۹ <sup>**</sup>	۱۳/۸۰ <sup>**</sup>	۰/۱۱۰ <sup>**</sup>	۰/۷۲ <sup>**</sup>	۳	کود
۳۲۹۱/۰۶ <sup>**</sup>	۱۶۰/۵۴ <sup>**</sup>	۰/۱۳ <sup>**</sup>	۰/۰۱۴ <sup>**</sup>	۰/۴۱ <sup>**</sup>	۸۱/۳۳ <sup>**</sup>	۲۲۵/۷۷ <sup>**</sup>	۰/۰۰۲ <sup>**</sup>	۰/۳۱۰ <sup>**</sup>	۰/۹۰ <sup>**</sup>	۰/۰۳۴ <sup>**</sup>	۰/۰۵ <sup>**</sup>	۹	کود x تنش خشکی
۶۲۴/۵۳	۳/۱۳	۰/۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۶۶	۳/۸۵	۱۱/۱۷	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۲۳	۰/۰۵۷	۰/۰۰۰۸	۰/۰۱۱	۲۴	خطا
۴/۶۴	۲/۲۱	۲/۵۲	۲/۹۰	۲/۶۰	۲/۹۰	۲/۸۲	۱/۲۴	۳/۱۰	۱/۶۵	۲/۳۰	۳/۳۰		ضریب تغییرات

NS و \*\* به ترتیب غیرمعتادار و معتادار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.



آثار کودهای نانو و نانوزیستی بر ویژگی های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) تحت تنش خشکی

جدول ۴. مقایسه میانگین خصوصیات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و وزن کاسبرگ های چای ترش تحت آثار اصلی تنش خشکی و نظام های مختلف کوددهی (نانو و زیستی).

وزن تر کاسبرگ g/plant	وزن خشک g/plant	عملکرد کراتومی $\mu\text{M}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$	عدد SPAD mg/gFW	محتوای				نسبی آب برگ (%)	کربوهیدرات $\mu\text{g}/\text{gFW}$	پروتئین $\mu\text{M}/\text{gFW}$	آنتوسیانین $\mu\text{g}/\text{gFW}$	کارتنوئید mg/gFW	کلروفیل b mg/gFW	کلروفیل a mg/gFW	سطح عامل
				کلروفیل کل mg/gFW	کلیفیل $\mu\text{M}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$	کلیفیل mg/gFW	کلیفیل mg/gFW								
۵۲۶/۳۳b	۷۵۰/۲b	۰/۶۲b	۹/۵۷c	۶۸/۸۶b	۱۱۹/۷۹b	۰/۶۰c	۲/۸۲b	۱۴/۵۵b	۱/۲۹b	۲/۳۱b	۳/۳۱b	۳/۱۹c	۳/۱۹c	نانو بیومیک	
۵۳۰/۸۲b	۷۵/۸۲b	۰/۶۳b	۱۰/۳۷b	۶۹/۲۰b	۱۱۷/۵۵b	۰/۶۶b	۴/۷۵b	۱۴/۰۰c	۱/۳۳c	۳/۱۹c	۳/۱۹c	۳/۱۹c	۳/۱۹c	ZFM	
۶۴۸/۰۰a	۱۰۲/۲۱a	۰/۷۱a	۱۰/۸۶a	۷۱/۳۲a	۱۳۴/۸۵a	۰/۷۲a	۵/۷۹a	۱۵/۹۶a	۱/۳۶a	۳/۶۲a	۳/۶۲a	۳/۶۲a	۳/۶۲a	نانو کلات آهن	
۴۶۴/۱۷c	۶۶/۶۴c	۰/۵۷c	۸/۸۱d	۶۴/۲۶c	۱۰۲/۶۲c	۰/۵۲d	۴/۳۶c	۱۳/۴۷d	۱/۱۲d	۳/۰۷d	۳/۰۷d	۳/۰۷d	۳/۰۷d	شاهد	
۶۳۱/۵۰b	۹۲/۹۵b	۰/۷۰b	۹/۸۷b	۸۴/۴۸a	۹۱/۰۹c	۰/۶۶c	۳/۹۸c	۱۵/۴۳b	۱/۲۸b	۳/۵۱b	۳/۵۱b	۳/۵۱b	۳/۵۱b	۹۰ درصد ظرفیت زراعی	
۸۲۹/۹۲a	۱۱۸/۳۲a	۰/۷۹a	۱۰/۸۷a	۷۸/۱۶b	۵۸/۷۶d	۰/۷۷d	۲/۲۹d	۱۷/۹۸a	۱/۶۶a	۲/۱۰a	۲/۱۰a	۲/۱۰a	۲/۱۰a	۷۰ درصد ظرفیت زراعی	
۵۰۳/۶۷c	۷۵/۷۶c	۰/۵۹c	۹/۸۱b	۶۸/۸۴c	۱۱۷/۰۳b	۰/۶۷b	۵/۳۸b	۱۳/۳۶c	۱/۲۱c	۳/۰۲c	۳/۰۲c	۳/۰۲c	۳/۰۲c	۵۰ درصد ظرفیت زراعی	
۲۰۴/۲۵d	۳۰/۶۷d	۰/۴۵d	۹/۲۲c	۴۶/۳۷d	۲۰۶/۹۴a	۱/۱۱a	۸/۰۴a	۱۱/۲۲d	۰/۸۸d	۲/۵۶d	۲/۵۶d	۲/۵۶d	۲/۵۶d	۳۰ درصد ظرفیت زراعی	

در هر ستون میانگین هایی که دارای حرف مشترک هستند، در آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنادار ندارند.

جدول ۵. مقایسه میانگین خصوصیات فیزیکوشیمیایی، بیوشیمیایی و وزن کاسبرگ‌های چای تحت آثار متقابل تنش خشکی و نظام‌های مختلف کوددهی (نانو و زیستی).

وزن تو کاسبرگ	وزن خشک	کل کاسبرگ	کل کاسبرگ	عملکرد	عدد	محتوای نسبی	کربوهیدرات	پروتئین	آنتوسیانین	کارتونید	کاربیل b	کاربیل a	کود	تنش خشکی
g/plant	g/plant	mg/gFW	μM/m <sup>2</sup> .s	μM/m <sup>2</sup> .s	SPAD	آب برگ (%)	μg/gFW	μM/gFW	μg/gFW	mg/gFW	mg/gFW	mg/gFW		
۵۹۹/۳۳۳	۸۵/۶۲g	۴/۷۲d	۰/۶۸d	۹/۳۸efg	۸۵/۶۰ab	۰/۴۵j	۹/۰۳g	۰/۴۵j	۴/۰۲h	۱۵/۲۰e	۱/۳۳ef	۳/۵۱de	نانو بیوپیک	۹۰ درصد ظرفیت زراعی
۶۳۷/۰۰e	۹۱/۰۰f	۴/۷۳d	۰/۷۳c	۹/۹۰de	۸۳/۹۶b	۰/۴۶j	۹/۰۳g	۰/۴۶j	۳/۸۵h	۱۵/۵۴e	۱/۱۹ghf	۳/۵۲d	ZFM	۷۰ درصد ظرفیت زراعی
۷۷۰/۳۳dc	۱۲۸/۳۸b	۵/۲۵c	۰/۷۳c	۱۱/۲۸a	۸۷/۹۵a	۰/۵۲i	۱۰/۱۸df	۰/۵۲i	۴/۷۴g	۱۶/۶۲d	۱/۲۷c	۳/۸۹bc	نانو کلات آهن	۵۰ درصد ظرفیت زراعی
۵۱۹/۳۳	۷۴/۸۲h	۴/۶۶ef	۰/۶۸d	۸/۸۴h	۸۰/۴۱c	۰/۴۱k	۷۹/۱۴d	۰/۴۱k	۳/۲۸i	۱۴/۱۵g	۱/۲۴ef	۳/۲۲b	شاهد	۳۰ درصد ظرفیت زراعی
۸۰۵/۳۳bc	۱۱۴/۳۸c	۵/۷۲b	۰/۷۷b	۱۰/۱۲cd	۷۸/۰۵cd	۰/۳۲n	۶/۰۱ij	۰/۳۲n	۲/۰۰j	۱۷/۳۶bc	۱/۷۰b	۳/۹۵abc	نانو بیوپیک	۷۰ درصد ظرفیت زراعی
۸۲۰/۰۰b	۱۱۷/۱۴c	۵/۶۷b	۰/۷۴bc	۱۱/۴۸a	۷۹/۶۳c	۰/۳۸m	۵۷/۶۶kj	۰/۳۸m	۲/۲۲j	۱۷/۵۴b	۱/۶۷b	۴/۰۰b	ZFM	۵۰ درصد ظرفیت زراعی
۹۴۸/۳۳a	۱۳۴/۸۷a	۶/۲۷a	۰/۹۱a	۱۱/۶۲a	۸۰/۱۱c	۰/۳۶l	۶۴/۶۲i	۰/۳۶l	۳/۱۱i	۲۰/۰۲a	۱/۷۶a	۴/۵۶a	نانو کلات آهن	۳۰ درصد ظرفیت زراعی
۷۴۶/۰۰d	۱۰۶/۸۹d	۵/۲۸c	۰/۷۳c	۹/۸۲def	۷۴/۸۶d	۰/۱۸o	۵۲/۶۶k	۰/۱۸o	۱/۷۶k	۱۷/۰۰dc	۱/۵۰c	۳/۸۷bc	شاهد	۵۰ درصد ظرفیت زراعی
۵۰۷/۰۰f	۷۴/۴۲h	۴/۳۹f	۰/۵۸e	۹/۲۶hg	۶۳/۵۸f	۰/۶۵g	۱۱۷/۲۹e	۰/۶۵g	۵/۲۴e	۱۴/۲۵g	۱/۱۲g	۳/۲۲f	نانو بیوپیک	۳۰ درصد ظرفیت زراعی
۶۴۴/۰۰e	۶۶/۲۸i	۴/۱۰g	۰/۵۷e	۱۰/۵۴bc	۶۶/۱۵f	۰/۶۸f	۱۱۳/۹۱e	۰/۶۸f	۵/۳۷ef	۱۷/۰۰ei	۱/۳۵d	۲/۷۵g	ZFM	۳۰ درصد ظرفیت زراعی
۶۳۷/۰۰e	۱۰۳/۶۸e	۴/۶۸df	۰/۶۷d	۱۰/۶۱b	۶۹/۶۰e	۰/۷۷e	۱۳۸/۱۲d	۰/۷۷e	۵/۷۸d	۱۴/۶۹f	۱/۳۷e	۳/۲۵fe	نانو کلات آهن	۳۰ درصد ظرفیت زراعی
۴۲۱/۶۷g	۶۰/۶۳j	۳/۹۰h	۰/۵۲f	۸/۸۵h	۶۰/۰۵g	۰/۵۷h	۹۸/۸۰f	۰/۵۷h	۵/۰۶f	۱۲/۴۳hi	۱/۰۷h	۲/۸۳g	شاهد	۳۰ درصد ظرفیت زراعی
۱۹۳/۶۷i	۲۷/۶۶l	۳/۵۸i	۰/۴۳h	۹/۳۹fg	۴۵/۸۶ji	۰/۵۰c	۲۰۹/۷۲b	۰/۵۰c	۷/۸۰b	۱۱/۲۲j	۱/۰۳h	۲/۵۵h	نانو بیوپیک	۳۰ درصد ظرفیت زراعی
۲۰۲/۳۳i	۲۸/۹۰l	۳/۱۹j	۰/۴۸g	۹/۴۱fg	۴۷/۰۴hi	۱/۱۹b	۲۰۶/۶۲b	۱/۱۹b	۷/۶۶b	۱۰/۸۵j	۰/۷۲i	۲/۴۷hi	ZFM	۳۰ درصد ظرفیت زراعی
۲۵۱/۳۳h	۴۱/۸۸k	۳/۸۷h	۰/۵۲f	۱۰/۰۹dc	۵۰/۷h	۱/۲۲a	۲۲۵/۵۲a	۱/۲۲a	۸/۰۴a	۱۷/۵۴h	۱/۰۲h	۲/۸۵g	نانو کلات آهن	۳۰ درصد ظرفیت زراعی
۱۶۹/۶۷i	۲۴/۲۳m	۳/۱۰j	۰/۳۶i	۷/۹۸	۴۲/۵۱j	۰/۹۹d	۱۷۵/۸۹c	۰/۹۹d	۷/۱۸c	۱۰/۳۲k	۰/۷۵i	۲/۳۵i	شاهد	۳۰ درصد ظرفیت زراعی

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند، در آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنادار ندارند.

به‌دست آمد (جدول ۴). با افزایش تنش خشکی، میزان پرولین افزایش یافت. تجمع یا ساخت موادی مانند آنزیم‌ها، پروتئین‌ها، متابولیت‌های ثانویه و عناصر معدنی یکی از پاسخ‌های گیاهان به تنش کم‌آبی است [۳۶]. بنابراین، تجمع پرولین یکی از پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاهان در برابر تنش خشکی است [۴۴]. تنش خشکی از طریق افزایش ساخت آنزیم‌هایی که تولید پرولین را تحریک و ممانعت از عمل آنزیم‌هایی که پرولین را تخریب می‌کنند، سبب افزایش میزان پرولین می‌شود [۶۰]. پژوهش‌های مختلف در زنیان [۱۳]، همیشه بهار [۸] نشان داده است که تنش خشکی سبب افزایش پرولین می‌شود. بیشترین مقدار پرولین، با محلول پاشی کود نانوکلات آهن (۰/۷۲ میکرومول بر گرم وزن تر) حاصل شد (جدول ۴). پرولین به‌طور کلی از دو مسیر عمده ساخته می‌شود: مسیر گلوتامات که آنزیم‌های آن در سیتوپلاسم قرار دارند و مسیر اورنتین که آنزیم‌های آن در میتوکندری واقع هستند. مسیر گلوتامات در گیاهان عالی اهمیت بیشتری دارد و به‌نظر می‌رسد که آنزیم‌های کلیدی این مسیر به محلول‌پاشی آهن واکنش مثبت نشان دهند [۴۲].

آثار متقابل سطوح مختلف تنش خشکی و کود نشان داد که بیشترین مقدار پرولین در تیمار تنش خشکی ۳۰ درصد رطوبت در دسترس همراه با محلول‌پاشی کود نانوکلات آهن (۱/۲۲ میکرومول بر گرم وزن تر) به‌دست آمد (جدول ۵). با مصرف کود نانوکلات آهن میزان پرولین ۲۳/۲۳ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. دلانی و همکاران [۴۲] اعلام کردند که عناصر ریزمغذی به‌ویژه در ارقام متحمل به خشکی در شرایط تنش نقش افزاینده در فرایند تنظیم اسمزی (به واسطه افزایش میزان پرولین یا قندهای محلول) دارند. مارشنر [۵۱] اعلام کرد که عناصر ریزمغذی نقش بسیار مهمی در سنتز پروتئین و کربوهیدرات، اعمال متابولیکی سلول، محافظت غشاء در

آثار متقابل تیمار تنش خشکی ۹۰ درصد رطوبت در دسترس و کود نانوکلات آهن (۸۷/۹۵ درصد) بیشترین محتوای نسبی آب برگ را حاصل کرد که اختلاف معنادار با کود نانوبیومیک (۸۵/۶۰ درصد) نداشت (جدول ۵). با مصرف کود نانوکلات آهن و نانوبیومیک محتوای نسبی آب برگ به ترتیب ۹/۳۷ و ۶/۴۵ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. هم‌راستا با نتیجه آزمایش حاضر نیز می‌توان به افزایش محتوای نسبی آب برگ با استفاده از کود زیستی در شرایط تنش خشکی در گیاه دارویی بادرشبو اشاره کرد [۲۲]. به‌نظر می‌رسد که محرک‌های رشد با جذب بیشتر آب توسط هیف‌ها می‌توانند در افزایش آب نسبی بافت نقش داشته باشند. تصور می‌شود که عامل دیگری مانند افزایش جذب نیز در بالا بردن آب نسبی برگ دخیل باشد. به طوری که تلقیح با افزایش جذب عناصر غذایی و افزایش جذب آب و همچنین گسترش ریشه‌های ناشی از گسترش هیف‌ها، بیشترین محتوای آب نسبی برگ را به خود اختصاص داد. این نتایج نشان می‌دهد که کود زیستی با بهبود وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌تواند تا حدودی از آثار تنش خشکی بکاهد. نتایج تحقیق حاضر با نتایج به‌دست آمده در گیاه کدوی طی<sup>۱</sup> [۳۰] و یونجه<sup>۲</sup> [۱۶] مطابقت داشت.

### ۳.۳. پرولین

سطوح مختلف تنش خشکی و کودهای نانو و نانوزیستی و آثار متقابل آنها بر پرولین در سطح احتمال یک درصد معنادار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین آثار اصلی نشان داد که بیشترین مقدار پرولین در تنش خشکی ۳۰ درصد رطوبت در دسترس (۱/۱۱ میکرومول بر گرم وزن تر)

1. *Cucurbita pepo* var. *styriaca*  
2. *Medicago sativa* L.

مقابل رادیکال های آزاد اکسیژن و سایر فرایندهای مرتبط با سازگاری گیاهان به تنش ها دارند.

### ۴.۳. کربوهیدرات

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح مختلف تنش خشکی و کود و نیز آثار متقابل آنها برای میزان کربوهیدرات معنادار ( $p \leq 0/01$ ) شد (جدول ۳). تنش خشکی ۳۰ درصد رطوبت در دسترس بیشترین میزان کربوهیدرات (۲۰۶/۹۴ میکروگرم برگرم وزن تر) را داشت (جدول ۴). با افزایش شدت تنش خشکی، مقدار کربوهیدرات افزایش چشمگیری نشان داد که می تواند علت آن در شرایط تنش کم آبی، افزایش تجزیه کربوهیدرات های نامحلول و در نتیجه بالا رفتن سطح قندهای محلول، سنتز مواد اسمزی از مسیرهای غیرفوتوسنتزی، توقف رشد، کاهش سرعت انتقال مواد و افزایش میزان سنتز سوکروز به دلیل فعال سازی آنزیم سوکروز فسفات سنتاز باشد [۳۴].

تیمار کود نانوکلات آهن (۱۳۴/۸۵ میکروگرم برگرم وزن تر) بیشترین میزان کربوهیدرات را داشت (جدول ۴). تحقیقات مختلف نشان داده است که کمبود آهن سبب به هم خوردن تعادل غذایی و تغییر میزان عناصر موجود در گیاه می شود و در رشد گیاه اختلال ایجاد می کند [۵۳ و ۵۴] و این آثار در نهایت باعث تخلیه و کاهش کربوهیدرات و ذخایر آهن و ایجاد تنش برای گیاه می شود [۳۳]. نتایج تحقیق حاضر با نتایج به دست آمده در گیاه پرپوش [۱۷] مطابقت داشت.

مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی و کودهای نانو و نانوزیستی نشان داد که بیشترین مقدار کربوهیدرات در تنش خشکی ۳۰ درصد رطوبت در دسترس و محلول پاشی کود نانوکلات آهن (۲۳۵/۵۲ میکروگرم برگرم وزن تر) به دست آمد (جدول ۵). با مصرف کود نانوکلات آهن

میزان کربوهیدرات ۳۳/۹۰ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. مارشئر [۵۱] بیان کرد که عناصر ریزمغذی نقش بسیار مهمی در سنتز پروتئین و کربوهیدرات، اعمال متابولیسم سلول، محافظت غشاء در مقابل رادیکال های آزاد اکسیژن و سایر فرایندهای مرتبط با سازگاری گیاهان به تنش ها دارند. در بررسی نقش آهن و منگنز، ویلسون و همکاران [۶۸]، بیان کردند که عناصر ریزمغذی در تولید کربوهیدرات ها نقش مؤثری دارند. در این آزمایش مشخص شد که حتی در شرایط تنش عناصر ریزمغذی بالاترین تأثیر را در سنتز کربوهیدرات ها داشته اند.

### ۵.۳. عملکرد کوانتومی (Fv/Fm)

عملکرد کوانتومی (نسبت فلورسانس حداقل به حداکثر) تحت اثر معنادار ( $p \leq 0/01$ ) سطوح مختلف تنش خشکی، کودهای نانو و نانوزیستی و برهمکنش آنها قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین مقدار عملکرد کوانتومی در تنش خشکی ۷۰ درصد رطوبت در دسترس (۰/۷۹ میکرومول بر متر مربع در ثانیه) حاصل شد (جدول ۴). فتوسیستم نوری II تا حد زیادی نسبت به خشکی مقاوم است ولی خشکی می تواند مانع انتقال الکترون در این فتوسیستم نوری شود. لذا کارایی فتوسیستم نوری کاهش یافته و بر میزان فلورسانس کلروفیل افزوده می شود [۶۹]. در گلرنگ تنش خشکی موجب کاهش کارایی فتوسیستم II شد [۲۷].

بیشترین مقدار فلورسانس کلروفیل با محلول پاشی کود نانوکلات آهن (۰/۷۱ میکرومول بر مترمربع در ثانیه) حاصل شد (جدول ۴). تحقیقات مختلف نشان داده است که در برگ های دچار کمبود آهن همه رنگدانه های فتوسنتزی و اجزای زنجیره انتقال الکترون به یک اندازه کاهش نمی یابند. تأثیر مصرف عنصر آهن بر فتوسیستم I بیشتر از فتوسیستم II است، ولی در صورت افزایش شدت کمبود آهن، فعالیت فتوسیستم II نیز کاهش پیدا می کند و برگشت آن به شرایط

است که مقدار آنتوسیانین بگونیا یی دائم گل<sup>۲</sup> در شرایط افزایش یافته است [۳۹]. این افزایش به علت نقش حفاظت نوری آنتوسیانین به وسیله حذف مستقیم رادیکال‌های آزاد اکسیژن<sup>۳</sup> در طول تنش اکسیداتیو است [۷۱]. بیشترین مقدار آنتوسیانین با مصرف کود نانوکلات آهن (۵/۷۹ میکروگرم در گرم وزن تر برگ) به دست آمد (جدول ۴). یون‌های فلزی همچون آهن، روی و منگنز به‌عنوان کوفاکتور در ساختمان بسیاری از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شرکت دارند و نتایج مطالعات کاکماک [۳۷]، کاکماک و همکاران [۳۸] و رنجل [۵۸] حاکی از آن است که تحت شرایط کمبود عناصر ریزمغذی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاهش می‌یابد.

مقایسه میانگین آثار متقابل تنش خشکی و کودهای نانو و نانوزیستی نشان داد که بیشترین میزان آنتوسیانین (۹/۵۳ میکروگرم در گرم وزن تر برگ) در تنش خشکی ۳۰ درصد رطوبت در دسترس توأم با مصرف کود نانوکلات آهن حاصل شد (جدول ۵). با مصرف کود نانوکلات آهن میزان آنتوسیانین ۱۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. افزایش مقدار رنگدانه غیرآنزیمی (آنتوسیانین) با کاربرد آهن می‌تواند از تخریب کلروفیل جلوگیری کرده و به‌طور غیرمستقیم سبب افزایش آن شود. چرا که آنتوسیانین‌ها از ساختارهای حساس مانند غشاء محافظت کرده و از زوال کلروفیل جلوگیری می‌کنند [۵۰]. در تحقیقی روی کاربرد کلات آهن در شرایط کم‌آبیاری در گیاه گلرنگ، مشخص شد که گیاهانی که کود کلات آهن بیشتری دریافت کردند آنتوسیانین بیشتری داشتند [۱۸].

### ۷.۳. وزن تر و خشک کاسبرگ

آثار کودهای نانو و نانوزیستی و سطوح مختلف تنش

طبیعی با کوددهی یا محلول‌پاشی آهن بسیار مشکل است. علاوه بر این، انتقال الکترون در فرایند فتوسنتز در برگ‌های دچار کمبود آهن مختل می‌شود [۵۹].

برهمکنش تیمارهای تنش خشکی و محلول‌پاشی کودهای نانو و نانوزیستی نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد کواتومی در طی محلول‌پاشی کود نانوکلات آهن و تنش خشکی ۷۰ درصد رطوبت در دسترس (۰/۹۱ میکرومول بر مترمربع در ثانیه) به دست آمد (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد که علت افزایش عملکرد کواتومی فتوسیستم II در شرایط تنش خشکی با مصرف کود نانوکلات آهن، افزایش کارایی فتوسیستم نوری و بهبود زنجیره انتقال الکترون در فرایند فتوسنتزی باشد. عناصر ریزمغذی جزء ترکیبات ساختمانی کلروفیل بوده و کمبود این عناصر باعث کاهش میزان سنتز کلروفیل می‌شود. در این آزمایش محلول‌پاشی تا حد زیادی آثار تنش خشکی را کاهش داد و میزان کلروفیل و کارایی کواتومی آن را افزایش داد. نتایج این آزمایش با یافته‌های آزمایشات محلول‌پاشی عناصر کم مصرف در شرایط تنش خشکی که باعث افزایش عملکرد کواتومی در گیاه آفتابگردان<sup>۱</sup> شد، مطابقت داشت [۲].

### ۶.۳. آنتوسیانین

تیمار محلول‌پاشی کود نانو و نانوزیستی، تنش خشکی و اثر متقابل آنها اثر معنادار ( $p \leq 0.01$ ) بر میزان آنتوسیانین داشت (جدول ۳). بیشترین میزان آنتوسیانین در تنش خشکی ۳۰ درصد رطوبت قابل دسترس (۸/۰۴ میکروگرم در گرم وزن تر برگ) به دست آمد (جدول ۴). آنتوسیانین‌ها نیز مشابه فلاونوئیدها رنگیزه‌های محافظ بوده که گیاه را در برابر تنش محافظت می‌کنند. در پژوهشی بیان شده

2. *Begonia semperflora*

3. ROS (reactive oxygen species)

1. *Helianthus annuus L*

دارد و محلول پاشی عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز نقش مهمی در کاتالیزوری فرایندهای متابولیسمی و حفظ سلول در گیاه دارند و بدین ترتیب سلول به فعالیت های خود ادامه داده و در نهایت عملکرد قابل قبول تری در شرایط تنش تولید می کند. یافته های این پژوهش با نتایج توحیدی [۷] مطابقت داشت.

### ۸.۳. تجزیه مؤلفه های اصلی

در تجزیه به مؤلفه های اصلی، دو مؤلفه نخست دارای مقادیر ویژه بزرگ تر از یک (به ترتیب ۱۰/۳۹ و ۱/۰۸) بودند، لذا دو مؤلفه برای توجیه تغییرات کل داده ها مناسب است. این دو مؤلفه به ترتیب ۸۶/۵۹ و ۹/۰۸ و در مجموع ۹۵/۶۷ درصد از تغییرات داده ها را توجیه کردند (جدول ۶). در مؤلفه نخست صفات کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئید، کلروفیل کل، غلظت کلروفیل، محتوای آب نسبی برگ، عملکرد کوانتومی کلروفیل، وزن تر و خشک کاسبرگ ها دارای ضرایب مثبت و صفات میزان کربوهیدرات، پرولین و آنتوسیانین دارای ضرایب منفی بودند. بنابراین این مؤلفه نماینده عملکرد کمی جای ترش بود. در مؤلفه دوم صفات میزان کربوهیدرات، پرولین و آنتوسیانین دارای ضرایب مثبت و سایر صفات دارای ضرایب منفی بودند. بنابراین این مؤلفه نماینده کیفیت جای ترش بود. با توجه به ضرایب مؤلفه ها افزایش کمیّت موجب کاهش کیفیت و بر عکس شد. بنابراین بهترین ترکیب تیماری را برای حصول حداکثر کمیّت و کیفیت باید به دست آورد. بدین منظور از نمودار بای پلات حاصل از دو مؤلفه (شکل ۱) استفاده شد. تیمار تنش خشکی ۷۰ درصد آب در دسترس و محلول پاشی کود آهن (G) بهترین ترکیب تیماری بود و پس از آن تیمار ۹۰ درصد آب در دسترس و محلول پاشی کود آهن (C)، تیمار تنش خشکی ۷۰ درصد رطوبت در دسترس و محلول پاشی نانو

خشکی و برهمکنش آن ها بر وزن تر و خشک کاسبرگ در سطح احتمال یک درصد معنادار شد (جدول ۳). بیشترین مقدار وزن تر و خشک کاسبرگ در تنش خشکی ۷۰ درصد رطوبت در دسترس (به ترتیب ۱۱۸/۳۲ و ۸۲۹/۹۲ گرم در بوته)، به دست آمد (جدول ۴). کاهش عملکرد گیاه در شرایط تنش خشکی می تواند به دلیل کاهش سطح فتوسنتزکننده، کاهش تولید کلروفیل، افزایش انرژی مصرفی گیاه برای بالا بردن غلظت شیره سلولی، تغییر در مسیرهای تنفسی و فعال شدن مسیر پنتوز فسفات و یا افزایش حجم ریشه و غیره باشد [۶۳]. نتایج آزمایش انجام شده روی گیاه دارویی شنبلله<sup>۱</sup> نیز نشان داد که با افزایش تنش خشکی، عملکرد به شدت کاهش می یابد [۱۵].

بیشترین مقدار وزن تر و خشک کاسبرگ با مصرف کود نانوکلات آهن (۶۴۸/۰۰ و ۱۰۲/۲۱ گرم در بوته) حاصل شد (جدول ۴). از آن جایی که آهن عنصری ضروری در فرایند فتوسنتز است، گیاهان تیمار شده با نانو کود آهن با رفع کمبود آهن و بهبود سیستم فتوسنتزی و افزایش رنگیزه های برگ منجر به افزایش کارایی فتوسنتز برگ شده که نتیجه آن افزایش عملکرد است [۱۹]. در بررسی تأثیر کاربرد کود نانوکلات آهن در مقایسه با کلات آهن بر گیاه زعفران زراعی<sup>۲</sup> مشاهده شد که وزن تر گل در تیمار کود نانوکلات آهن ۱۰ کیلوگرم در هکتار (۵۸ درصد) نسبت به شاهد افزایش یافت [۲۶].

مقایسه میانگین آثار متقابل تنش خشکی و کودهای نانو و نانویستی نشان داد که بیشترین مقدار وزن تر و خشک کاسبرگ (به ترتیب ۹۴۸/۳۳ و ۱۳۴/۸۷ گرم در بوته) در تنش خشکی ۷۰ درصد رطوبت در دسترس و محلول پاشی کود نانوکلات آهن به دست آمد (جدول ۵). گیاه در مواجهه با تنش خشکی سعی در حفظ فشار اسمزی خود

1. *Trigonella foenum-graceum* L.  
2. *Crocus Sativus* L.

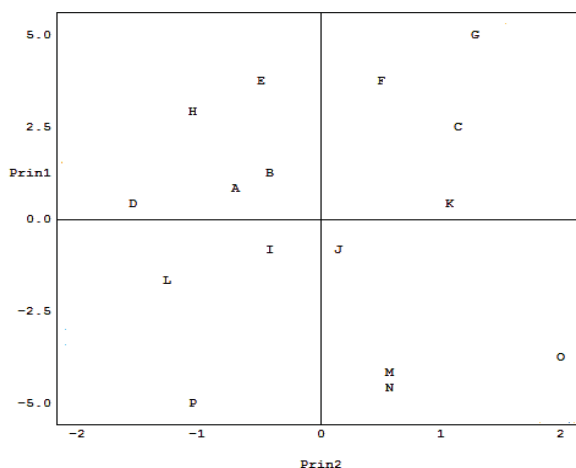
آثار کودهای نانو و نانوزیستی بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) تحت تنش خشکی

طبیعی است که در شرایط عدم تنش اثر ریز مغذی‌ها بر عملکرد بیشتر باشد. در عین حال تأثیر مصرف ریزمغذی‌ها بر عملکرد محصول در شرایط تنش خشکی بسیار امیدبخش به نظر می‌رسد. نتایج تحقیق حاضر با نتایج به دست آمده در گیاه آفتابگردان [۱۱]، ارزن مرواریدی [۵] و یونجه [۴۵] مطابقت داشت.

ترکیبی (ZFM) و تیمار تنش خشکی ۵۰ درصد رطوبت در دسترس و محلول پاشی کود نانوکلات آهن قرار داشت. با توجه به نمودار مشخص شد که محلول پاشی کود آهن در شرایط تنش خشکی توانسته است آثار تنش خشکی را تعدیل کند و عملکرد کمی و کیفی چای ترش را افزایش دهد. قاعدتاً در شرایط رطوبتی مناسب جذب و انتقال ریز مغذی‌ها در گیاهان با سهولت بیشتری صورت گرفته و

جدول ۶. تجزیه مؤلفه‌های اصلی خصوصیات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و وزن کاسبرگ‌های چای ترش تحت اثر تنش خشکی و نظام‌های مختلف کوددهی (نانو و زیستی).

مؤلفه		صفات
اول	دوم	
۰/۳۰۱	-۰/۱۲۰	کلروفیل a
۰/۲۹۲	-۰/۱۰۲	کلروفیل b
۰/۳۰۱	-۰/۱۱۹	کارتنوئید
-۰/۲۷۵	۰/۴۱۰	آنتوسیانین
-۰/۲۸۰	۰/۳۹۵	پرولین
-۰/۲۷۵	۰/۴۱۰	کربوهیدرات
۰/۳۰۲	-۰/۸۸۳	RWC
۰/۲۱۱	-۰/۶۴۱	SPAD
۰/۲۹۸	-۰/۱۱۲	عملکرد کوانتومی
۰/۳۰۲	-۰/۱۴۰	کلروفیل کل
۰/۳۰۰	۰-/۱۱۹	وزن خشک کاسبرگ
۰/۳۰۸	-۰/۰۴۵	وزن ترکاسبرگ
۱۰/۳۹	۱/۰۸	مقادیر ویژه
۰/۸۶	۰/۰۹	درصد نسبی
۰/۸۶	۰/۹۵	درصد تجمعی



شکل ۱. تجربه به مؤلفه‌های اصلی تیمارهای تنش خشکی و کود برای ویژگی‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و وزن کاسبرگ‌های چای ترش. A=۹۰ درصد ظرفیت زراعی و نانویومیک، B=۹۰ درصد ظرفیت زراعی و نانوزفم، C=۹۰ درصد ظرفیت زراعی و نانوکلات آهن، D=۹۰ درصد ظرفیت زراعی و شاهد، E=۷۰ درصد ظرفیت زراعی و نانویومیک، F=۷۰ درصد ظرفیت زراعی و نانوزفم، G=۷۰ درصد ظرفیت زراعی و نانوکلات آهن، H=۷۰ درصد ظرفیت زراعی و شاهد، I=۵۰ درصد ظرفیت زراعی و نانویومیک، J=۵۰ درصد ظرفیت زراعی و نانوزفم، K=۵۰ درصد ظرفیت زراعی و نانوکلات آهن، L=۵۰ درصد ظرفیت زراعی و شاهد، M=۹۰ درصد ظرفیت زراعی و نانویومیک، N=۹۰ درصد ظرفیت زراعی و نانوزفم، O=۹۰ درصد ظرفیت زراعی و نانوکلات آهن، P=۹۰ درصد ظرفیت زراعی و شاهد

#### ۴. نتیجه گیری

نتایج تحقیق حاکی از آن بود که با افزایش شدت تنش خشکی تا میزان ۷۰ درصد رطوبت در دسترس، ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه بهبود یافت و با افزایش شدت تنش از مقدار آنها کاسته شد. تنش خشکی شدید می‌تواند تأثیر منفی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه چای ترش داشته باشد. محلول پاشی با کود نانوکلات آهن موجب تعدیل آثار تنش خشکی و افزایش کمیت و کیفیت کاسبرگ‌های چای ترش شد. بر این اساس در مناطق گرم و خشک کاربرد کود نانوکلات آهن به صورت محلول پاشی توصیه می‌شود.

#### منابع

۱. اکبری نیا، قلاوند، سفیدکن ف، رضایی م و شریف آبادی ا (۱۳۸۲) بررسی تأثیر کودهای شیمیایی، دامی و تلفیقی بر عملکرد و میزان ترکیبات اسانس گیاه دارویی زنیان. پژوهش و سازندگی (ویژه زراعت و باغبانی). ۱۶(۴): ۳۲-۴۱.
۲. بابائیان م، حیدری م و قنبری ا (۱۳۸۹) اثر تنش خشکی و محلول پاشی عناصر کم مصرف بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و جذب عناصر غذایی در آفتابگردان (*Helianthus annuus L.*). مجله علوم زراعی ایران. ۱۲(۴): ۳۷۷-۳۹۱.



آثار کودهای نانو و نانوزیستی بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) تحت تنش خشکی

۳. برجی آباد، ع، گلوی م و رمرودی م (۱۳۹۳) بررسی اثر تراکم و مصرف عناصر ریز مغذی بر خصوصیات مورفولوژیک و شاخص های کلروفیل گیاه دارویی چای ترش. دومین همایش ملی گیاهان دارویی و کشاورزی پایدار. ۱-۱۵ص.
۴. پاکزی ع، رضایی ح، حبیبی د و پاک نژاد ف (۱۳۹۱) اثر تنش خشکی، محلول پاشی آسکوربات و جیبرلین بر روی برخی صفات مورفولوژیکی، محتوای نسبی آب برگ و پایداری غشای سیتوپلاسمی گیاه آویشن. مجله زراعت و اصلاح نباتات. ۸(۱): ۱-۱۳.
۵. پای گذاری، قنبری ا، حیدری م و توسلی ا (۱۳۸۸) اثر محلول پاشی عناصر کم مصرف بر خصوصیات کمی و کیفی ارزن مرواریدی رقم نوتریفیدی (*Pennisetum glaucum* L.) تحت تنش خشکی. مجله علمی- پژوهشی علوم کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز. ۱۰(۳): ۶۷-۷۹.
۶. پیوندی م، پرنده ه و میرزا م (۱۳۹۰) مقایسه تأثیر نانو کلات آهن با کلات آهن بر پارامترهای رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ریحان. مجله تازه‌های بیوتکنولوژی سلولی- مولکولی. ۴(۱): ۸۹-۹۰.
۷. توحیدی م (۱۳۹۴) تأثیر زمان محلول پاشی کود کامل ریز مغذی بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش (*Vigna radiate* L.) تحت تنش خشکی. مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی. ۷(۲۲): ۵۱-۵۸.
۸. جعفرزاده ل، امیدی ح و بستانی ع ا (۱۳۹۱) بررسی تنش خشکی و کود زیستی نیتروژنه بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.). مجله پژوهش‌های گیاهی. ۲۷(۲): ۱۸۰-۱۹۳.
۹. جوانسیاه بیگدلولو، س، پیرزاد، ع و حسینی ع (۱۳۹۱) اثر مقادیر محلول پاشی آهن نانو در مقایسه با سه نوع کود رایج آهن روی بر عملکرد مورفولوژیکی گیاه دارویی همیشه بهار. دومین همایش ملی تنوع زیستی و تأثیر آن بر کشاورزی و محیط‌زیست. [http://www.civilica.com/Paper-NSBDIAE02-\(NSBDIAE02\\_402.html](http://www.civilica.com/Paper-NSBDIAE02-(NSBDIAE02_402.html)
۱۰. حیدری م و کرمی و (۱۳۹۲) بررسی اثر تنش خشکی و گونه‌های میکوریزا بر عملکرد و اجزاء عملکرد دانه، میزان کلروفیل و ترکیبات بیوشیمیایی آفتابگردان. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۶(۱): ۱۷-۲۶.
۱۱. رحیم‌زاده م، کاشانی ع، زارع فیض‌آبادی ا، مدنی ح و سلطانی ا (۱۳۸۹) تأثیر کودهای ریزمغذی بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان تحت تنش خشکی. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. ۳(۱): ۵۷-۷۲.
۱۲. رضایی ر، حسینی س م، شعبانعلی قمی ح و صفال (۱۳۸۸) شناسایی و تحلیل موانع توسعه فناوری نانو در بخش کشاورزی ایران از دیدگاه محققان. فصلنامه علمی- پژوهشی سیاست علم و فناوری. ۱(۲): ۱۷-۲۶.
۱۳. رضوی زاده ر، شفقت م و نجفی ش (۱۳۹۳) اثر تنش کمبود آب بر شاخص‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه زنیان (*Carum copticum* L.). زیست‌شناسی گیاهی ایران. ۶(۲۲): ۳۸-۲۵.
۱۴. رهبریان پ، افشارمنش غ و مدافع بهزادی ن (۱۳۹۰) تأثیر تنش خشکی و تراکم بوته بر عملکرد چای ترش (*Hibiscus sabdariffa*) در منطقه جیرفت یافته‌های نوین کشاورزی. ۵(۳): ۲۳۷-۲۴۵.
۱۵. صادق‌زاده اهری د، حسندخت م، کاشی ع، امری ا و عزیزاده خ (۱۳۸۹) گزینش برای تحمل در برابر تنش خشکی در برخی از توده‌های بومی شنبلیل ایران. علوم و فنون باغبانی. ۱۱(۲): ۱۱۱-۱۳۲.

۱۶. ظفری م، عبادی ع، پرمون ق و جهانبخش س (۱۳۹۴) تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر تولید متابولیت‌های سازگار و برخی خصوصیات یونجه همدانی در طی تنش خشکی. فرایند و کارکردهای گیاهی. ۴(۱۴): ۶۱-۷۵.
۱۷. عسکری م، امیرجانی ک ر و صابری ط (۱۳۹۳) بررسی آثار نانو کود آهن بر رشد برگ، مقدار کربوهیدرات و آنتی اکسیدانت‌های پریش. فراینده و کارکرد گیاهی. ۳(۷): ۴۳-۵۵.
۱۸. فتحی امیر خیزک، امینی دهقی م و حشمتی س (۱۳۹۳) اثر کلات آهن بر محتوای کلروفیل، کارایی کوانتومی فتوسینتسم II و برخی صفات بیوشیمیایی در گلرنگ در شرایط کم آبیاری. علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۶(۱): ۳۷-۱۴۵.
۱۹. فراهانی ف، سرتیپ نیان و طالعی د (۱۳۹۴) بررسی تأثیر تیمار نانو کود آهن بر خصوصیات مورفولوژیکی گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.)، اولین همایش ملی تخصصی علوم کشاورزی و محیط زیست ایران. ([http://www.civilica.com/Paper-\(AENCINF01-AENCINF01\\_118.html](http://www.civilica.com/Paper-(AENCINF01-AENCINF01_118.html))
۲۰. قربانی م و بابالار م (۱۳۸۲) تغذیه معدنی گیاهان. انتشارات دانشگاه تربیت معلم تهران. ۳۵۶ صفحه.
۲۱. کمرکی، ح و گلوی، م (۱۳۹۱) ارزیابی محلول پاشی عناصر ریزمغذی آهن، بر و روی بر ویژگی های کمی و کیفی گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.). نشریه بوم‌شناسی کشاورزی. ۴(۳): ۲۰۱-۲۰۶.
۲۲. گرگینی شبانکاره ح، اصغری پور م ر و فاخری ب ع (۱۳۹۴) اثر کودهای زیستی بر شاخص های رشد و اسانس بادرشبو تحت تنش خشکی. مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی. ۷(۲۳): ۱۸۵-۱۹۵.
۲۳. گل پرور ا ح، مجیدی هراوان ا، رضایی ع و قاسمی پیر بلوطی ع (۱۳۸۳) بررسی ژنتیک برخی از صفات مورفوفیزیولوژیکی در گندم نان تحت شرایط تنش خشکی. پژوهش سازندگی. ۶۲: ۹۵-۹۸.
۲۴. لشکری ف (۱۳۹۲) تأثیر پلی مر سوپر جاذب، کود دامی و پتاسیم بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی کارولا (*Momordica charantia* L.) در دوره‌های مختلف آبیاری. دانشکده کشاورزی. دانشگاه زابل. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. ۱۱۲ صفحه.
۲۵. ملکوتی م ج و طهرانی م (۱۳۷۸) نقش ریز مغذی‌ها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. ۲۲۹ صفحه.
۲۶. ملکی فراهانی س و عقیقی شاهوردی م (۱۳۹۳) بررسی تأثیر کود نانو آهن در مقایسه با کلات آن بر عملکرد کمی و کیفی زعفران زراعی (*Crocus Sativus* L.). مجله به‌زراعی کشاورزی. ۱۷(۱): ۱۵۵-۱۶۸.
۲۷. میلادلاری ا و احسان زاده پ (۱۳۸۹) تأثیر منفی تنش خشکی بر عملکرد گلرنگ از طریق کاهش سطح فتوسنتز کننده و کارایی کوانتوم فتوسینتسم II. مجله علوم گیاهان زراعی. ۴۱(۲): ۳۷۵-۳۸۴.
۲۸. نادری م و دانش شهرکی ع (۱۳۹۰) کاربرد فناوری نانو در بهینه سازی فرمولاسیون کودهای شیمیایی. ماهنامه فناوری نانو. ۱۶۵(۴): ۲۰-۲۲.
۲۹. نصیری ی، زهتاب سلماسی ز، نصرالله‌زاده ص، قاسمی گلعدذانی ک، نجفی ن و جوانمرد ع (۱۳۹۲) ارزیابی محلول پاشی سولفات آهن و روی بر عملکرد گل و غلظت عناصر غذایی بر بخش اندام هوایی بابونه آلمانی. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۳(۳): ۱۰۵-۱۱۵.

- oxygen species. New Phytologist. 146: 85-200.
38. Çakmak I, Kalayci M, Brauni H J, Kilinc Y and Yilmaz A (1999). Zn deficiency as a practical problem in plant and human nutrition in Turkey: A Nato-Science for stability project. Field Crop Research. 60: 175-188.
39. Chalker-Scott L (2002) Do anthocyanins function as osmoregulators in leaf tissues?. Advances in Botanical Research. 37: 103-106.
40. Chereskin BM and Castelfrance PA (1982) Effects of iron and oxygen on chlorophyll biosynthesis II. Observation on the biosynthetic pathway in isolated detio-chloroplasts. Plant Physiology. 68: 112-116.
41. Chewonarin T, Kinouchi T, Kataoka K, Arimachi H, Kuwahara T, Initkekumnuen U and Ohnishi Y (1999) Effects of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.), a Thai medicinal plant, on the mutagenicity of various known mutagens in *Salmonella typhimurium* and on formation of Aberrant Crypt Foci induced by the colon carcinogens azoxymethane and 2-amino-methyl-6 phenylimidazo (4,5-b) pyridine in F344 rats. Food and Chemical Toxicology. 37(6): 591-601.
42. Delney AJ, Hu CAA, Kishor KP B and Verma DPS (1993) Cloning ornithine-aminotransferase cDNA from vigna ancontifolia by trans-complementation in *Escherichia coli* and vegulation of proline biosynthesis. Journal of Biological Chemistry. 268:18673-18679.
43. Ferus P and Arkosiova M (2001) Variability of chlorophyll content under fluctuating environment. Acta Fytotechnica et Zootechnica. 4:123-125. Special Number Proceedings of the International Scientific Conference on the Occasion of the 55<sup>th</sup> Anniversary of the Slovak Agricultural University in nitra.
30. نظری ناسی ح، امیرنیا ر و زردشتی م ر (۱۳۹۴) اثرات فیزیولوژیک تنش خشکی بر رشد برگ های کدو طبعی (*Cucurbita pepo var. styriaca*) در تیمار با کود زیستی. سومین همایش ملی گیاهان دارویی و کشاورزی پایدار. ص ۱۲. <http://www.civilica.com/Paper-> (MPSA03-MPSA03\_156.html)
31. Abraham C P, Viswagith V, Prabha S, Sundhar K and Malliga P (2007) Effect of coir pith based cyanobacterial basal and foliar biofertilizer on *Baseella rubra* L. Acta Agriculturae Slovenica. 89(1):59-63.
32. Alvarez - Femandez A, Sierra MA and Lucena JJ ( 2002 )Reactivity of synthetic Fe chelates with soils and soil components. Plant and Soil. 241: 129-137.
33. Alvarez-Fernandez A, Abadia J and Abadia A (2006) Iron deficiency, fruit yield and fruit quality. In: Iron nutrition in plants and rizospheric microorganisms. Developments in plant and soil sciences. (Eds. Barton L L and Abadia, J). pp. 85-101.
34. Arndt S K K, Clifford S C, Wanek W, Jones H G and Popp M (2001) Physiological and morphological adaptations of the fruit tree *Ziziphus rotundifolia* in response to progressive drought stress. Tree Physiology 21(11): 705-715.
35. Arnon AN (1967) Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal. 23:112-121.
36. Barsa A (1997) Mechanism of environmental stress resistance in plant. Harward Academic Press, Harward. 407 p.
37. Çakmak I (2000) Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive

44. Girousse C, Bournoville R and Bonnemain J L (1996) Water deficit induced changes in concentrations in proline and some other amino acids in the phloem sap of Alfalfa. *Plant Physiology*. 111(1): 109-113.
45. Grewal HS and Williams R (2000) Zinc nutrition affects alfalfa response to water stress and excessive moisture. *Journal of Plant Nutrition*. 23: 942-962.
46. Irrigoyen JH, Emerich DW and Sanchez Diaz M (1992) Water stress induced changes in concentration of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa plant. *Physiologia Plantarum*. 84: 55-66.
47. Jagtap V, Bhargava S, Sterb P and Feierabend J (1998) Comparative effect of water, heat and light stresses on photosynthetic reactions in *Sorghum tricolor* (L.) Moench. *Journal of Experimental Botany*. 49: 1715-1721.
48. Khalil SE and Abdel-Kader AAS (2011) The influence of soil moisture stress on growth, water relation and fruit quality of *Hibiscus sabdariffa* L. grown within different soil types. *Nature and Science*. 9(4):62-74.
49. Lawlor DW and Cornic G (2002) Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell and Environment*. 25(2): 275-294.
50. Leng P, Itamura H, Yamamura H and Deng M (2000) Anthocyanin accumulation in apple and peach shoots during cold acclimation. *Scientia Horticulturae*. 83: 43-50.
51. Marschner H (1995) Mineral nutrition of higher plants (2<sup>th</sup> Ed.). Academic Press, London. 889 P.
52. Nayyar H and Gupta D (2006) Differential sensitivity of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> plants to water deficit stress: Association with oxidative stress and antioxidants. *Environmental and Experimental Botany*. 58(1-3):106-113.
53. Pestana M, Beja P, Correia PJ, de Varennes A and Faria EA (2005) Relationships between floral nutrients and fruit quality in orange trees grown in a calcareous soil. *Tree Physiology* 25(6):761-7.
54. Pestana M, de Varennes A, Goss M J, Abadía J and Faria EA (2004) Floral analysis as a tool to diagnose iron chlorosis in orange trees. *Plant and Soil*. 259:287-95.
55. Pinto A, Mota M and Varennes A (2005) Influence of organic matter on the uptake of zinc, copper and iron by Sorghum plants. *Sci. Total Environ*. 326:239-247.
56. Raifa AH, Hemmat KI, Hala MS and Sadak MS (2005) Increasing the active constituents of sepals of Roselle (*Hibiscus subdariffa* L.) plant applying gibberellic acid and benzyladenine. *Journal of Applied Science Research*. 1(2):137-146.
57. Ranjbar M and Shams Gh A (2009) Using of Nano technology. *Ecological Green Journal*. 3: 29.
58. Rengel Z (1995) Carbonic anhydrase activity in leaves of wheat genotypes differing in Zn efficiency. *Journal of Plant Physiology*. 147: 251-256.
59. Romheld V and Marschner H (1991) Function of micronutrients in plants. In: Mortvedt J J, Cox F R, Shuman L M and Welch R M (eds.). *Micronutrients in Agriculture*. Madison, WI: Soil Science Society of America, pp. 297-328. SSSA.
60. Rontein D, Basse TG and Hason AD (2002) metabolic engineering of osmoprotectant accumulation in plants. *Metabolic Engineering* 4(1): 49-56.
61. Schutz M and Fangmeir E (2001) Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO<sub>2</sub> and

- water limitation. Environmental Pollution. 114(2):187-194.
62. Shalaby AS and Razin AM (1989) Effect of plant spacing on the productivity of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). grown in new reclaimed land. Journal of Agronomy and Crop Science, 162: 1-2, 40-42.
63. Sreevalli Y, Baskaran K, Chandra Shekara R, Kuikkarni R, Sushil H, Samresh D, Kukre J, Ashok A, Sharmr Singh K, Srikant S and Rakesh T (2001) Preliminary observation on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in petriwinkle. Journal of Medicinal and Aromatic Plant Science. 22(4): 356-358.
64. Tas S and Tas B (2007) Some physiological responses of drought stress in wheat genotypes with different ploidity in Turkiye. World Journal of Agricultural Sciences. 3:178-183.
65. Torabi A (2003) Effect of palnting data and row spacing on the yield of Sour tea. Azad. University of Jiroft. MSC thesis.
66. Wagner GJ (1979) Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutralsugars, free amino acids and anthocyanins in protoplasts. Plant Physiology. 64(1): 88-93.
67. Wheutherley PE (1950) Studies in water relations of cotton plants. The field measurement of water deficit in leaves. New Phytologist. 49(1): 81-87.
68. Wilson DO, Boswell FC, Ohki K, Parker MB, Shuman LM and Jellum MD (1982) Change in soybean seed oil and protein as influenced by manganese nutrition. Crop Science. 22: 948-952.
69. Wise RR and Naylor AW (1987) Chilling enhanced photo-oxidation, the peoxidative destruction of lipids during chilling injury to photosynthesis and ultrasructure. Plant Physiology. 83: 272-2872.
70. Zaharieva M, Gaulin E, Havaux M, Acevedo E and Monneveux P (2001) Drought and heat responses in the wild wheat relative *Aegilops geniculata* roth. Crop Science. 41: 1321- 1329.
71. Zahir AZ, Arshad M and Frankenberger WF (2003) Plant growth promoting rhizobacteria: Application and perspectives inagriculture. Advances in Agronomy. 81: 97-168.



## Crops Improvement

(Journal of Agricultural Crops Production)

Vol. 20 ■ No. 1 ■ Spring 2018

### Effects of nano and nano bio-fertilizer on physiological, biochemical characteristics and yield of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under drought stress

*Seyedeh Esmat Hashemi Fadaki<sup>1</sup>, Barat Ali Fakher<sup>2\*</sup>, Nafiseh Mahdinezhad<sup>3</sup>, Roghayeh Mohammadpour Vashvaei<sup>4</sup>*

1. M.Sc. Student, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
2. Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
3. Assistant Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
4. Ph.D. Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

Received: November 1, 2016

Accepted: April 21, 2018

#### Abstract

The replacement of chemical inputs with ecological compatible inputs seems necessary for a step towards in transition from common to sustainable agriculture. In this regard, an experiment was conducted at the research field, University of Zabol, as a split plot based on randomized complete block design with three replications, during 2015. Four drought stress levels of 30, 50, 70 and 90 percent of available water were considered as main plots and four levels of nano and nano bio-fertilizers were considered as sub plots. Main effects of fertilizer, drought stress and their interaction were significant for all studied traits. Maximum of photosynthetic pigments, fresh and dry weight of sepals were obtained under treatment of 70% of available water irrigation and foliar application of nano-iron fertilizer. The highest amount of anthocyanin, proline and carbohydrate osmolytes belonged to 30% of available water irrigation and the highest relative water content of leaves belonged to 90% of available water irrigation and foliar application of nano-iron fertilizer. The result of principal component analysis showed that the best-studied treatment was 70% of available water irrigation including with foliar application of nano-iron fertilizer. Spraying nano-iron fertilizer mitigated the effects of drought stress and increased the quantity and quality of roselle sepals.

**Keywords:** nano-iron, osmolyte, photosynthetic pigments, sepals weight, water deficit stress.