

## بررسی پاسخ برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه ارقام خرفه (*Portulaca oleracea* L.) به تنش خشکی و محلول پاشی نانو کلات آهن

نفیسه مهدی نژاد<sup>۱\*</sup>، حمیده جمال پور<sup>۲</sup>، براتعلی فاخری<sup>۱</sup>، مصطفی خواجه<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

<sup>۲</sup>گروه باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

<sup>۳</sup>گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه زابل، زابل، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۲۶

### چکیده

به منظور بررسی تأثیر محلول پاشی نانو کلات آهن و تنش خشکی بر تغییرات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه ارقام خرفه، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار، در مزرعه تحقیقاتی جهاد کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان اهر در سال ۱۳۹۴ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل سطوح تنش خشکی (۹۰ (شاهد)، ۷۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی)، دو سطح نانو کلات آهن (صفر (شاهد) و یک لیتر در هکتار) و دو رقم خرفه (تهران و کازرون) بود. نتایج نشان داد محلول پاشی آهن در شرایط تنش خشکی تأثیر معنی داری بر برخی صفات داشت، به طوری که بیشترین مقدار کلروفیل b در شرایط نرمال آبیاری و محلول پاشی نانو کلات آهن، بیشترین غلظت سدیم از برهم کنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم محلول پاشی و بیشترین پتاسیم در شرایط خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول پاشی نانو کلات آهن حاصل گردید. با توجه به معنی داری اثرات سه جانبه، بیشترین میزان پرولین، قند محلول و میزان آهن از رقم کازرون در شرایط خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی با محلول پاشی نانو کلات آهن حاصل گردید. بیشترین میزان کلروفیل a، کارتنوئیدها و آنتوسیانین‌ها از محلول پاشی نانو کلات آهن بر رقم کازرون در شرایط آبیاری نرمال به دست آمد. همچنین در شرایط تنش استفاده از نانو کلات آهن نسبت به شاهد موجب افزایش ۳۲/۶۶ درصدی عملکرد دانه گردید و رقم کازرون نسبت به رقم تهران برتری داشت به طوری که عملکرد دانه رقم کازرون ۱/۳۱ برابر رقم تهران بود.

**واژه‌های کلیدی:** تغذیه برگ، تنش خشکی، خرفه، رنگیزه فتوسنتزی، عملکرد دانه، عناصر غذایی، نانو آهن

### مقدمه

خرفه (*Portulaca oleracea* L.) گیاهی علفی یکساله از تیره پروتولاسه و یکی از گیاهان شناخته شده در طب سنتی است که از زمان‌های بسیار دور مورد استفاده قرار گرفته و در درمان بسیاری از بیماری‌ها نیز کاربرد دارد (Zarei et al., 2014). خرفه در رفع سردرد (Dweck, 2013)، تسکین عطش و

قطع هر نوع خونریزی (Majoosi et al., 2009)، خرد کردن سنگ مثانه، کاهش سرفه و سوزش مجرای ادرار، مثانه، روده‌ها و بواسیر مفید است (Khare, 2007). آب، مواد لعابی، پکتین، پروتئین، کربوهیدرات، اسیدهای چرب و به‌ویژه اسیدهای چرب غیر اشباع امگا ۳، مواد آنتی اکسیدان و عناصر معدنی متعدد شامل آهن، مس، منگنز، پتاسیم، کلسیم و فسفر در بخش‌های مختلف این گیاه وجود دارد.

\*نویسنده مسئول: nmahdinezhad@uoz.ac.ir

وجود دمای زیاد و وضعیت تغذیه‌ای نامناسب برای گیاه، می‌تواند اثرهای مضر تنش خشکی را تشدید نماید. گیاهی که خوب تغذیه شده و به مقدار کافی عناصر کم‌مصرف و پرمصرف را دریافت کرده باشد، مقاومت بهتری به خشکی خواهد داشت (Rashnoo et al., 2013; Yeritsyan and Economakis, 2002). در این میان عنصر کم مصرف آهن نه تنها نقش مهمی در متابولیسم سلولی و فعالیت آنزیمی در گیاهان بویژه در شرایط تنش دارد (Ruiz et al., 2000). بلکه در شرایط کمبود آن گیاه با کاهش مقدار کلروفیل برگ‌ها (Morales, 1996)، زردی برگ، کاهش فتوسنتز و غلظت کلروفیل (Chen et al., 2004)، کاهش وزن خشک بخش هوایی و ریشه (Ksouri et al., 2007)، تغییر غلظت و محتوای آهن (Mahmoudi et al., 2005) و سایر عناصر فلزی در بافت‌های خود (Chen et al., 2004) مواجه خواهد شد. نتایج آزمایشی بر گیاه دارویی زیره سبز نشان داد که محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف (آهن و روی) در مناطقی در معرض تنش کم‌آبی، فرایندهای بیوشیمیایی و افزایش مقاومت به تنش خشکی در این گیاه داشت (Amiri Nejad et al., 2015). نتایج تحقیقی در کنگد نشان داد که نانو اکسید آهن موجب افزایش محتوای رنگدانه‌های نورساختی (سبزینه b و کاروتنوئیدها) در شرایط تنش خشکی شد (Heidari et al., 2016).

با توجه به وقوع خشکسالی‌های متعدد و بحران کم‌آبی در کشور، فقر غذایی خاک‌های زراعی آذربایجان شرقی از نظر عناصر کم‌مصرف آهن، و وجود قابلیت‌های این کشاورزی این استان در زمینه تولید گیاهان دارویی به‌ویژه خرفه، انجام این تحقیق ضروری به نظر می‌رسید. لذا هدف از پژوهش حاضر، بررسی واکنش‌ها و آستانه تحمل گیاه ارقام مختلف خرفه به تنش خشکی و امکان افزایش تحمل گیاه از طریق محلول‌پاشی نانو کلات آهن است.

همچنین این گیاه به‌عنوان یک آنتی‌باکتری، آنتی‌ویروس، ضد دیابت و تقویت کننده سیستم ایمنی مطرح است (Ezekwe et al., 1999; Mohamed and Hossein, 1994).

از جانیی شناخت چگونگی پاسخ گیاهان دارویی به تنش‌های محیطی جهت تولید و اصلاح ارقام متحمل به تنش کاملاً ضروری است. تنش خشکی از جمله تنش‌های محیطی است که با تأثیرگذاری بر رشد و نمو گیاهان می‌تواند باعث کاهش رشد و عملکرد آنان شود. در واقع تنش خشکی با اختلال در عمل روزنه‌ها و سیستم فتوسنتزی، تخریب پروتئین‌ها و آنزیم‌ها، کاهش سطح برگ و ریزش گل و میوه موجب کاهش عملکرد گیاهان می‌گردد (Nori Azad and Haji Bagheri, 2008). تنش‌های محیطی همچنین موجب تغییراتی در بیان ژن و متابولیسم سلولی، تا پیری برگ و ایجاد پژمردگی دائم و رشد و عملکرد گیاه می‌شود. نوع و میزان خسارت ناشی از این تنش به شدت و مقاومت گیاه نیز بستگی دارد (Khazaei, 2002). وقوع تنش خشکی در مرحله زایشی باعث پیری زودرس و کاهش سطح برگ و نیز کاهش سهم انتقال مجدد مواد ذخیره شده در ساقه به دانه و در نهایت موجب کاهش عملکرد به سبب کاهش وزن دانه‌ها می‌شود (Ramroudi et al., 2011).

همچنین تنش خشکی موجب تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی، کاهش مقدار کلروفیل برگ و در نهایت تخریب تشکیلات فتوسنتزی می‌گردد (Kirnak et al., 2001). علاوه بر این تنش خشکی فعالیت‌های فتوشیمیایی در گیاه را محدود و فعالیت آنزیم‌ها در سیکل کالوین را کاهش داده است (Monakhova and Chernyadev, 2002) و با افزایش شدت آن اختلال در انتقال مواد و عناصر به دانه را به دنبال خواهد داشت (Khan et al., 2003).

### مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت آزمایش اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار، در مزرعه تحقیقاتی جهاد کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان اهر (آذربایجان شرقی) در سال زراعی ۹۵-۹۴ اجرا شد. اهر با ارتفاع ۱۳۴۱ متر از سطح دریا واقع شده و دارای آب و هوای معتدل و نیمه خشک است. فاکتورهای آزمایش شامل سه سطح تنش خشکی (۹۰ (شاهد)، ۷۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) به عنوان عامل اصلی و دو سطح نانو کلات آهن (شاهد (کنترل) و یک میلی‌گرم بر لیتر) و دو رقم خرفه (تهران و کازرون) عوامل فرعی بود.

زمین محل آزمایش در پاییز ۱۳۹۳ شخم زده شد و در تابستان ۱۳۹۴ پس از دیسک زدن، با ایجاد کرت برای کشت آماده گردید. هر کرت آزمایشی شامل پنج ردیف به فاصله ۶۰ سانتی‌متر و به طول ۲/۵۰ متر بود. بر روی هر ردیف بذور دو رقم خرفه (تهران و کازرون) با فاصله ۴۰ سانتی‌متر و به عمق ۰/۵ سانتی‌متر کشت شدند. برای رسیدن به تراکم مطلوب، بوته‌ها در مرحله ۴ تا ۸ برگی تنک شدند. آبیاری به فاصله هر سه روز یکبار به طریقه نشستی صورت گرفت. در مراحل اولیه که رشد خرفه کند بود، علف هرز با وجین دستی کنترل شدند. محلول‌پاشی نانو کلات آهن (مشخصات در جدول ۲) در دو مرحله (۸ برگی و مرحله گلدهی) با غلظت مورد نظر در هنگام غروب انجام شد تا جذب محلول بهتر صورت بگیرد و تبخیر محلول به حداقل برسد.

اعمال تنش خشکی زمانی که گیاه به مرحله چهار برگی رسید شروع شد. تنش خشکی با استفاده از دستگاه تی دی آر<sup>۱</sup> (جهت تعیین دور آبیاری در تیمارهای مختلف تنش از دستگاه تی دی آر مدل تراپم ساخت شرکت ایمکو استفاده گردید. با استفاده از دستگاه تی دی آر سه شاخه قابل حمل، میزان

رطوبت در عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک هر یک از کرت‌ها تعیین، و زمان آبیاری براساس زمان رسیدن به هر یک از تیمارهای خشکی صورت گرفت) صورت گرفت.

به منظور ارزیابی صفات فیزیولوژیکی (آزمایشات فیزیولوژیکی در پژوهشکده زیست فناوری (بیوستتر) دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل انجام شد)، در ابتدای مرحله گلدهی، نمونه‌های ۵ گرمی از برگ‌های سالم هر گیاه برداشته و بلافاصله بعد از قرار دادن در ورقه‌های آلومینیومی و تا زمان آزمایش‌های مربوط در فریزر ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

### اندازه‌گیری مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و

کارتنوئیدها: برای سنجش کلروفیل از بالاترین برگ توسعه یافته استفاده شد. در این روش ۰/۱ گرم از بافت برگ را با استن ۸۰٪ به تدریج له گردیده تا کلروفیل وارد محلول استنی شود و در نهایت حجم محلول با استن ۸۰٪ به ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰۰ دور سانتریفیوژ و سپس جذب نوری محلول رویی (روشناور) در طول موج‌های ۶۴۶/۸، ۶۷۰ و ۶۶۳/۲ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد. مقدار کلروفیل و کارتنوئیدها طبق معادله‌های زیر محاسبه شدند (Arnon, 1967).

(معادله ۱)

$$\text{Chlorophyll a} = 12.25 \times A_{663.2} - 2.798 \times A_{646.8}$$

(معادله ۲)

$$\text{Chlorophyll b} = 21.50 \times A_{646.8} - 5.10 \times A_{663.2}$$

(معادله ۳)

$$\text{Carotenoids} = (1000 \times A_{470} - 1.82 \times \text{Chl a} - 85.02 \times \text{Chl b}) / 198$$

$$A = \text{جذب نور در طول موج‌های } ۶۶۳, ۶۵۴ \text{ و } ۴۷۰$$

(نانومتر)

اندازه‌گیری غلظت آنتوسیانین‌ها: برای اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین‌ها از روش واگنر (Wagner, 1979)

استفاده شد. ۰/۱ گرم بافت تازه برگ در هاون چینی، با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (متانول خالص و کلریدریک اسید خالص به نسبت حجمی ۹۹ به ۱) به‌طور کامل ساییده شد و در لوله‌های آزمایش در پیچ‌دار به مدت ۲۴ ساعت، در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت، سپس به مدت ۱۰ دقیقه، با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه، سانتریفیوژ و جذب محلول بالای در طول موج ۵۵۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر تعیین گردید. برای محاسبه غلظت از فرمول زیر استفاده شد (ضریب خاموشی (ε) ۳۳۰۰۰ سانتی‌متر بر مول در نظر گرفته شد).

(A = جذب، b = عرض کووت و C = غلظت محلول

مورد نظر)

$$A = \epsilon bC$$

**اندازه‌گیری غلظت پرولین:** میزان پرولین برگ به روش باتز و همکاران (Bates et al., 1973) تعیین گردید برای این منظور ۰/۵ گرم از نمونه برگ وزن و ضمن سائیدن داخل هاون چینی به تدریج ۱۰ سی‌سی سولفوسالیسیلیک اسید ۳٪، به آن اضافه شد. محلول حاصل به لوله آزمایش منتقل و به مدت ۱۵ دقیقه و ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید و از عصاره حاصل ۱ سی‌سی برداشته در لوله آزمایش ریخته و سپس ۱ سی‌سی معرف نین هیدرین و ۱ سی‌سی اسید استیک گلاسیال به آن افزوده و ۱ ساعت در حمام بن ماری ۱۰۰ درجه قرار گرفت تا رنگ آجری تولید شد. سپس جهت توقف واکنش‌ها در آب یخ قرار داده شد و بعد از سرد شدن، در هر لوله آزمایش ۴ میلی‌لیتر از محلول تولوئن اضافه گردید، در هر لوله، ۲ فاز تشکیل شد. فاز بالایی که حاوی کمپلکس رنگی بود، برای اندازه‌گیری میزان پرولین استفاده شد و میزان جذب نور آن در طول موج ۵۲۰ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد.

**اندازه‌گیری غلظت فندهای محلول:** اندازه‌گیری فندهای محلول با استفاده از روش کرپسی و همکاران (Kerepsi et al., 1996) صورت گرفت. برای این منظور ابتدا ۰/۲ گرم بافت توسعه یافته که در مرحله گلدهی و شیر شدن دانه‌ها برداشت شده بودند، به همراه ۱۰ سی‌سی اتانول ۹۵ درصد (یا ۵ سی‌سی اتانول ۹۶ درصد) را به لوله‌های آزمایش در بسته قرار داده و به مدت یک ساعت در حمام بن‌ماری در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. پس از سرد شدن ۱ سی‌سی از نمونه‌ها را برداشته و به آن ۱ سی‌سی فنل ۰/۵ درصد و ۵ سی‌سی اسید سولفوریک ۹۸ درصد اضافه گردید. میزان نور جذبی در ۴۸۳ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. میزان کربوهیدرات استخراجی بر اساس میکروگرم در گرم وزن تر از جدول استاندارد ثبت گردید.

**اندازه‌گیری درصد عنصر سدیم و پتاسیم:** جهت اندازه‌گیری عناصر سدیم و پتاسیم از روش خاکسترگیری خشک استفاده شد. ابتدا نمونه‌های خشک شده از برگ گیاه، آسیاب و سپس دو گرم از هر نمونه در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد در کوره سوزانده شدند. بعد از آن ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو نرمال به نمونه‌ها اضافه شد. سپس حجم محلول بدست آمده پس از عبور از کاغذ صافی با افزودن آب مقطر به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسیده، آنگاه با استفاده از دستگاه فلم فتومتر میزان عناصر سدیم و پتاسیم اندازه‌گیری شدند (Tabatabai, 2009).

**اندازه‌گیری درصد عنصر آهن:** به منظور سنجش یون آهن، ۰/۵ گرم از نمونه گیاهی خشک را در ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ له نموده و سوسپانسیون حاصل به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا نمونه به خوبی در اسید حل گردد. سپس محلول با آب دیونیزه به حجم رسیده

تعیین عملکرد دانه، نمونه‌ها در آون ۳۵ درجه سانتی-گراد به مدت ۷۲ ساعت گذاشته شدند سپس اقدام به توزین گردید. تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد با نرم‌افزار SAS (ver 9.2) صورت پذیرفت.

سپس مقدار جذب با دستگاه جذب اتمی خوانده شد. در نهایت با استفاده از منحنی استاندارد مربوط به یون‌ها مقدار آنها تعیین گردید (White, 1976).  
اندازه‌گیری عملکرد دانه: به منظور اندازه‌گیری عملکرد دانه از هر واحد آزمایشی پس از حذف حاشیه‌ها از مساحتی در حدود یک متر مربع نمونه برداری شد و پس از جدا کردن دانه‌ها، برای

جدول ۱: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در عمق ۳۰ سانتیمتری

ذرات خاک	عناصر قابل جذب											
	رس	سیلت	شن	آهن	روی	منگنز	مس	پتاسیم	فسفر	مواد آلی	اسیدیته	هدایت الکتریکی
بافت خاک	درصد			میلی‌گرم در کیلوگرم					درصد		(دسی زیمنس بر متر)	
شنی-سیلتی	۷۴	۱۸	۸	۱/۶	۰/۶	۱۱	۱/۹	۱۰۴	۸	۰/۷۶	۷/۴	۱/۰۷

جدول ۲: مشخصات نانو کلات آهن مورد استفاده

نوع خاک قابل استفاده	میزان مصرف	نحوه مصرف	pH	میزان آهن	شرکت سازنده
آهکی و قلیایی	محلول پاشی: دو در هزار خاکی: ۱۰-۳ کیلوگرم در هکتار	خاکی و محلول پاشی	۴-۹	۹ درصد	خضراء

تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم مصرف کود (شاهد) مشاهده شد (جدول ۴).

**کلروفیل b:** نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی تنش خشکی، نانو کلات آهن و رقم، اثرات دو جانبه آنها (به جز نانو کلات آهن و رقم) اثر بسیار معنی‌داری در سطح یک درصد داشت اما اثر سه‌گانه آنها تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد (جدول ۳). تنش سبب کاهش کلروفیل b گردید. بررسی مقایسه میانگین اثر محلول پاشی نانو کلات آهن و تنش نشان داد بیشترین میزان کلروفیل b (۴/۴۷ میلی گرم در گرم بافت برگ) در شرایط نرمال آبیاری و محلول پاشی نانو کلات آهن و کمترین غلظت (۰/۶۰ میلی گرم در گرم بافت برگ) در شرایط ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم محلول پاشی مشاهده گردید. در شرایط تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی غلظت کلروفیل b در صورت مصرف نانو کلات آهن ۸۰ درصد بیشتر از

## نتایج

### رنگدانه‌های فتوسنتزی

**کلروفیل a:** اثرات ساده تنش خشکی، نانو کلات آهن و رقم و اثرات دو جانبه نانو آهن و تنش، نانو آهن و رقم در سطح احتمال یک درصد و اثر سه‌جانبه تنش و نانو آهن و رقم در سطح پنج درصد دارای تفاوت آماری معنی‌داری بودند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد، تنش موجب کاهش محتوای کلروفیل a و در رقم کازرون محتوای کلروفیل a بیشتری نسبت به رقم تهران در همه سطوح خشکی داشت و محلول پاشی نانو کلات آهن در همه سطوح کم‌آبی محتوای کلروفیل a را افزایش داد به طوری که بیشترین میزان (۶/۹۹ میلی گرم در گرم بافت برگ) از آبیاری نرمال رقم کازرون و مصرف نانو آهن و کمترین میزان (۲/۴۹ میلی گرم در گرم بافت برگ) از

عدم مصرف کود (شاهد) در همین شرایط تنش بود (جدول ۴).

اثر رقم و برهم کنش رقم و تنش در سطح آماری یک درصد سبب تفاوت بسیار معنی داری شد (جدول ۳). به طوری که بیشترین میزان (۴/۲۴ میلی گرم در گرم بافت برگ) در رقم کازرون در شرایط آبیاری نرمال و کمترین میزان (۰/۴۸ میلی گرم در گرم بافت برگ) مربوط به رقم تهران در شرایط تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ۴). اثر دوگانه نانو آهن و رقم و اثر سه گانه تنش، نانو آهن و رقم معنی دار نشد.

#### رنگدانه‌های غیر آنتزیمی

**کاروتنوئیدها:** نتایج نشان داد اثرات اصلی و دوجانبه خشکی، رقم و نانو کلات آهن (بجز اثر متقابل نانو آهن و رقم) و اثر سه جانبه تیمارها تأثیر بسیار معنی داری بر کاروتنوئیدها خرفه داشت (جدول ۳). بیشترین میزان کاروتنوئیدها (۱/۶۷) از محلول پاشی نانو کلات آهن بر رقم کازرون در شرایط آبیاری نرمال و کمترین میزان (۰/۸۰) را رقم تهران در شرایط خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم محلول پاشی ایجاد کرد (جدول ۴).

**آنتوسیانین‌ها:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تنش خشکی، نانو کلات آهن و رقم، اثرات دوجانبه آنها و اثر سه جانبه در سطح یک درصد بر صفت آنتوسیانین‌ها معنی دار شد (جدول ۳). تنش و محلول پاشی نانو کلات آهن موجب افزایش غلظت آنتوسیانین خرفه شد. رقم کازرون در هر سه سطح کم آبی نسبت به رقم تهران برتری داشت به طوری که در شرایط تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و بدون محلول پاشی، میزان آنتوسیانین رقم کازرون ۱۵/۰۹ درصد نسبت به رقم تهران افزایش داشت (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر سه جانبه نشان داد بیشترین (۰/۱۷) و کمترین (۰/۰۰۴) غلظت به ترتیب مربوط به رقم کازرون در شرایط ۹۰ درصد ظرفیت زراعی

(آبیاری نرمال) و محلول پاشی نانو کلات آهن و رقم تهران در شرایط خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم محلول پاشی به دست آمد (جدول ۴).

#### متابولیت‌های سازشی

**پرولین:** اثرات اصلی تنش خشکی، نانو کلات آهن و رقم همچنین اثرات متقابل آنها و اثر سه گانه خشکی، نانو کلات آهن و رقم اثر معنی داری در سطح یک درصد بر میزان پرولین خرفه داشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر سه جانبه حاکی از آن بود که در شرایط خشکی هر دو رقم، پرولین بیشتری نسبت به شرایط نرمال آبیاری تولید کردند. بیشترین میزان پرولین (۱/۲۲ میلی گرم در گرم وزن تر) از رقم کازرون در شرایط خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی با محلول پاشی حاصل گردید. به طور کلی افزایش میزان پرولین در سطح ۵۰ درصد نسبت به ۷۰ درصد بیشتر از ۷۰ درصد نسبت به آبیاری نرمال بود (جدول ۶).

**قندهای محلول:** اثرات اصلی تنش خشکی، نانو کلات آهن و رقم و اثرات متقابل آنها و اثر سه جانبه خشکی، نانو آهن و رقم سبب ایجاد تفاوت معنی داری در سطح یک درصد بر قندهای محلول شدند (جدول ۳). از برهم کنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و نانو کلات آهن و رقم کازرون بیشترین غلظت قندهای محلول (۹۶/۹۲ میلی گرم در گرم وزن تر) بدست آمد در حالی که رقم تهران در شرایط آبیاری نرمال و عدم مصرف کود کمترین غلظت (۴۶/۴۰ میلی گرم در گرم وزن تر) را داشت (جدول ۶). غلظت قندهای محلول هر دو رقم با افزایش خشکی افزایش یافت، غلظت قندهای محلول رقم کازرون در شرایط خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی تقریباً ۱/۵ برابر غلظت در شرایط آبیاری نرمال بود و افزایش چشمگیری نشان داد (جدول ۶).

### عناصر معدنی

**سدیم و پتاسیم:** نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی تنش خشکی، نانو کلات آهن و رقم و اثر متقابل تنش و نانو آهن برای هر دو صفت در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۳). با افزایش تنش درصد سدیم و پتاسیم افزایش معنی داری داشت. بیشترین غلظت سدیم (۳۸/۸۷) از برهم-کنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم محلول پاشی و کمترین میزان (۲۷/۹۵) در شرایط ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول پاشی نانو کلات آهن بدست آمد، در هر سه سطح خشکی استفاده از نانو کلات آهن موجب کاهش غلظت سدیم شد (جدول ۴). بیشترین درصد پتاسیم (۸۷/۶۸) در شرایط خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول پاشی نانو کلات آهن و کمترین میزان (۷۰/۸۲) از برهم-کنش ۹۰ درصد ظرفیت زراعی (آبیاری نرمال) و عدم محلول پاشی به-دست آمد (جدول ۴).

اثر اصلی رقم و برهم-کنش تنش خشکی و رقم اختلاف بسیار معنی داری را در سطح آماری یک درصد ایجاد کردند (جدول ۳). بیشترین غلظت سدیم (۳۶/۵۳) از برهم-کنش تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و رقم کازرون و کمترین غلظت (۲۸/۲۷) در شرایط آبیاری نرمال در ژنوتیپ تهران مشاهده گردید، همچنین بالاترین میزان پتاسیم (۸۵/۴۵) از رقم کازرون در شرایط خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و پایین‌ترین میزان (۷۰/۵۴) از رقم تهران در شرایط آبیاری نرمال حاصل گردید. به‌طور کلی رقم کازرون نسبت به رقم تهران در شرایط تنش پتاسیم و سدیم بیشتری جذب کرد (جدول ۴).

**آهن:** اثرات اصلی تنش خشکی، نانو کلات آهن و رقم و اثر متقابل آنها (جزء نانو آهن و رقم) و اثرات سه‌گانه تنش، نانو کلات آهن و رقم در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر سه‌جانبه حاکی از آن بود که با افزایش تنش و

مصرف نانو کلات آهن درصد آهن در هر دو رقم افزایش یافت اما رقم کازرون در هر سه سطح کم‌آبی دارای بیشترین درصد آهن بود، به‌طوری که بیشترین میزان آهن (۱/۱۱) مربوط به رقم کازرون در شرایط خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول پاشی نانو کلات آهن و کمترین درصد آهن (۰/۷۱) در شرایط آبیاری نرمال و عدم محلول پاشی و رقم تهران بود (جدول ۴).

**عملکرد دانه:** سطوح مختلف تیمارهای تنش، محلول پاشی نانو کلات آهن و رقم و اثر متقابل تنش و نانو کلات آهن و تنش و رقم بر عملکرد دانه معنی دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش و نانو کلات آهن حاکی از آن بود که در شرایط تنش استفاده از نانو کلات آهن نسبت به شاهد موجب افزایش ۳۲/۶۶ درصدی عملکرد دانه گردید. در شرایط عدم محلول پاشی با افزایش تنش خشکی میزان عملکرد دانه کاهش یافت، به‌طوری که بیشترین عملکرد دانه (۴۶۷/۴۷) کیلو گرم در هکتار) در شرایط ۹۰ درصد رطوبت و محلول پاشی نانو کلات آهن بود و کمترین عملکرد دانه (۱۶۳/۹۳) کیلوگرم در هکتار) متعلق به عدم مصرف نانو کلات آهن و در سطح ۵۰ درصد رطوبتی حاصل گردید (جدول ۴).

در شرایط تنش، رقم کازرون نسبت به رقم تهران برتری داشت به‌طوری‌که عملکرد دانه رقم کازرون ۱/۳۱ برابر رقم تهران بود. در هر دو رقم با افزایش تنش عملکرد دانه کاهش یافت به طوری که بیشترین عملکرد دانه (۵۲۴/۰۴) کیلوگرم در هکتار) را رقم کازرون در شرایط ۹۰ درصد ظرفیت زراعی داشت و کمترین عملکرد دانه (۱۶۴/۴۲) کیلوگرم در هکتار) را رقم تهران در شرایط ۵۰ درصد ظرفیت زراعی داشت. در تمام سطوح خشکی رقم کازرون نسبت به تهران عملکرد دانه بیشتری داشت (جدول ۵).

جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه ارقام خرفه تحت تأثیر تنش خشکی و نانو کلات آهن

عملکرد	قندهای محلول	پرویلین	درصد آهن	درصد پتاسیم	درصد سلیم	آنتوسیانین	کارتونیدها	کلروفیل b	کلروفیل a	درجه آزادی	منابع تغییرات
۲۱۱۶۷/۳	۰/۰۰۰۰۵	۰/۲۰	۰/۰۰۰۲	۹۳/۵۲	۲/۵۹	۰/۰۰۰۰۰۰۵	۰/۰۱	۲/۳۰	۰/۱۱	۲	بلوک
۳۳۲۵۹/۲	۰/۳۷	۶۱۷۷۷۲۱	۰/۱۰	۷۱/۷۸۲	۱۳۲/۶۸	۰/۰۰۰۱	۰/۴۴	۳۰/۰۸	۳۵/۰۶	۲	تنش خشکی
۳۴۱۴/۳	۰/۰۰۰۰۵	۷۵/۰	۰/۱۰	۶/۶۴	۲/۱۵	۰/۰۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۴۲	۰/۱۰	۴	خطای اول
۳۴۱۷/۵	۰/۲۸	۱۸۱۷۸	۰/۰۷	۵۵۵/۵۵	۱۱۷/۲۸	۰/۰۰۰۳	۰/۶۹	۳/۴۷	۷/۴۳	۱	نانو کلات آهن
۶۱۹۵/۲	۰/۱۰	۴۸۱۹۸۳	۰/۰۴	۲۶۷/۹۶	۲۶/۳۴	۰/۰۰۰۱	۰/۳۰	۲/۷۲	۲/۲۷	۱	رقم
۱۰۰۵۰/۰	۰/۲۱	۶۶۱/۳۷	۰/۰۶	۲۲۲/۶۲	۸۷/۶۶	۰/۰۰۰۱	۰/۲۳	۱۲/۸۴	۱۵/۵۱	۵	تنش خشکی نانو کلات آهن
۲۲۷۵/۲	۰/۱۰	۶۶۳/۲۳	۰/۱۰	۱۰۲/۱۰	۱۰۲/۸۱	۰/۰۰۰۰۷	۰/۱۰	۰/۹۸	۱/۰۰۶	۳	تنش خشکی × رقم
۲۰۱۸/۳	۰/۰۶	۹/۸۶	۰/۰۰۰۰۶	۲/۶۷	۲/۶۷	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۸	۰/۲۱	۰/۰۳	۱	نانو کلات آهن × رقم
۱۲۵۶/۱	۰/۰۸	۱۹/۵۳	۰/۰۰۱	۳/۱۸	۳/۱۸	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۲	۰/۱۵	۰/۰۳	۲	تنش خشکی × نانو کلات آهن
۷۸/۲۹	۰/۰۱	۱/۱	۰/۰۰۰۱	۲/۷۸	۲/۷۸	۰/۰۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۱۴	۰/۰۰۷	۱۸	خطای دوم
۹/۳۶	۵/۱۹	۱/۵۰	۱/۴۱	۲/۱۱	۲/۱۱	۴/۷۱	۴/۶۴	۵/۲۳	۲/۰۴	-	ضریب تغییرات (درصد)

ns و \*\* به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی دار، معنی دار در سطوح ۵ و ۱ درصد



جدول ۴: مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و نانو کلات آهن بر صفات مورد مطالعه

عملکرد دانه (کیلو گرم در هکتار)	درصد پتاسیم	کلروفیل b		تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی)	محلول پاشی (میلی گرم در لیتر)
		درصد سدیم	(میلی گرم در گرم وزن تر)		
۴۴۳/۵۸a	۷۰/۸۲d	۳۱/۲۷c	۳/۵۰b	۹۰	عدم پاشی
۲۴۵/۶۶c	۷۳/۲۹d	۳۴/۹۵b	۱/۹۴c	۷۰	
۱۶۳/۹۳d	۸۰/۲۹bc	۳۸/۸۷a	۰/۶۰d	۵۰	
۴۶۷/۴۷a	۷۸/۳۰c	۲۷/۹۵d	۴/۴۷a	۹۰	محلول پاشی
۳۳۳/۱۰b	۸۲/۰b	۳۰/۳۸c	۲/۳۴c	۷۰	
۲۱۷/۴۷cd	۸۷/۶۸a	۳۳/۶۴b	۱/۰۸d	۵۰	

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار می باشد.

جدول ۵: مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و رقم بر صفات مورد مطالعه

عملکرد دانه (کیلو گرم در هکتار)	درصد پتاسیم	درصد سدیم	کلروفیل b		تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی)	رقم
			(میلی گرم در گرم وزن تر)	(میلی گرم در گرم وزن تر)		
۴۰۶/۹۹b	۷۰/۵۴e	۲۸/۲۷d	۳/۷۴b	۳/۷۴b	۹۰	تهران
۲۴۹/۷۴d	۹۳/۷۴d	۳۱/۷۲c	۱/۹۱c	۱/۹۱c	۷۰	
۱۶۴/۴۲e	۸۲/۵۲ab	۳۵/۹۸a	۰/۴۸e	۰/۴۸e	۵۰	
۵۲۴/۰۶a	۷۸/۵۸c	۳۰/۹۶c	۴/۲۴a	۴/۲۴a	۹۰	کازرون
۳۲۹/۰۲c	۸۰/۳۶bc	۳۳/۶۱b	۲/۳۶c	۲/۳۶c	۷۰	
۲۱۶/۹۷de	۸۵/۴۵a	۳۶/۵۳a	۱/۲۱d	۱/۲۱d	۵۰	

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار می باشد.

جدول ۶: مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی، نانو کلات آهن و رقم بر صفات مورد مطالعه

درصد آهن	قندهای محلول (میلی گرم در گرم وزن تر)	پروپیلن (میلی گرم در گرم وزن تر)	آنتوسیانین (میلی گرم بر ۱۰۰ میلی لیتر)	کارتونیدها (میلی گرم در گرم وزن تر)	کلروفیل a	رقم	محلول پاشی (میلی گرم در لیتر)	تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی)
۰/۷۱h	۴۶/۴۰h	۰/۶۴d	۰/۰۰۴g	۱/۱۸d-g	۵/۲۶c	تهران	عدم محلول پاشی	۹۰
۰/۹۰ef	۵۵/۱۰f	۰/۵۵ef	۰/۰۰۸e	۱/۳۶bc	۶/۰۷b	تهران	محلول پاشی	
۰/۸۲g	۷۳/۰۹d	۰/۳۹g	۰/۰۰۶f	۱/۲۴c-f	۶/۰۶b	کازرون	عدم محلول پاشی	
۰/۹۴d	۸۱/۶۹c	۰/۵۱ef	۰/۰۰۸e	۱/۶۷a	۶/۹۹a	کازرون	محلول پاشی	۷۰
۰/۸۹f	۵۰/۸۳g	۰/۴۸f	۰/۰۰۴g	۱/۰۱h	۳/۷۷e	تهران	عدم محلول پاشی	
۰/۹۵d	۶۵/۰۲e	۰/۴۹f	۰/۰۱۲c	۱/۲۸b-e	۴/۶۱d	تهران	محلول پاشی	
۰/۹۲de	۸۱/۵۶c	۰/۵۷e	۰/۰۰۷f	۱/۱۴e-h	۳/۹۶e	کازرون	عدم محلول پاشی	۵۰
۱/۰۰c	۸۷/۸۷b	۰/۸۳b	۰/۰۱۴b	۱/۳۹b	۴/۷۲d	کازرون	محلول پاشی	
۰/۹۶d	۷۲/۹۶d	۰/۷۳c	۰/۰۱۰d	۰/۸۰i	۱/۸۲i	تهران	عدم محلول پاشی	
۱/۰۱c	۸۰/۰۶c	۰/۷۵c	۰/۰۱۷a	۱/۱۰f-h	۴/۰۴g	تهران	محلول پاشی	۵۰
۱/۰۶b	۸۸/۰۹b	۰/۷۳c	۰/۰۱۳c	۱/۰۸gh	۲/۴۹h	کازرون	عدم محلول پاشی	
۱/۱۱a	۹۶/۹۲a	۱/۲۲a	۰/۰۱۸a	۱/۳۱b-d	۳/۳۸f	کازرون	محلول پاشی	

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار می باشد.

## بحث

(۲۰۱۱) بر گیاه ریحان مطابقت دارد. ماده مشترک برای ساخت کلروفیل و هم (Hem)، اسید دلتا-آمینولولینیک است که میزان تشکیل آن به وسیله آهن کنترل می‌شود. به کار رفتن آهن یا منیزیم، به عنوان اتم مرکزی در درون تتراپیروول، به ترتیب به تشکیل کوآنزیم‌های هم و منیزیم لازم است. همچنین آنزیم کپروپورفیرینوژن اکسیداز که یک پروتئین آهن‌دار است اکسید شدن منیزیم-پروتوپورفیرین را به پروتوکلروفیلید (Protochlorophyllide) کاتالیز می‌کند (Hirai et al., 2007). Abbaszadeh و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی تنش خشکی بر خصوصیات فیزیولوژیک بادرنجبویه بیان کردند که بیشترین رنگدانه‌های فتوسنتزی مربوط به ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی بود. نتایج آزمایشی نشان داد میزان کلروفیل a و b و مجموع کلروفیل‌ها افزایش معنی‌داری داشت (Meridpour et al., 2014).

بیشترین میزان کارتنوئیدها از محلول‌پاشی نانو کلات آهن بر رقم کازرون در شرایط آبیاری نرمال و کمترین میزان را رقم تهران در شرایط خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم محلول‌پاشی ایجاد کرد. اعمال تنش خشکی در مرحله زایش گیاه، تسریع پیری برگ و تجزیه رنگدانه‌های فتوسنتزی را در پی دارد. کاهش محتوای کارتنوئیدها در شرایط تنش خشکی در سایر بررسی‌ها نیز گزارش شده است (Silva et al., 2007; Piekielek and Fox, 1992). کارتنوئیدها از راه برگشت‌پذیر با رادیکال‌های اکسیژن و تشکیل گزانتوفیل مانع تخریب کلروفیل‌ها می‌شوند (Amal and Aly, 2008). از طرفی آهن نیز عنصر ضروری برای رشد و نمو گیاهان است و در سنتز کلروفیل، تیلاکوئیدها و کلروپلاست‌ها دخالت دارند (Curie and Briat, 2003). بنابراین وجود مقدار آهن کافی برای سنتز کلروپلاست‌ها ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق افزایش غلظت کارتنوئیدها از

در تحقیق حاضر تنش خشکی موجب کاهش محتوای کلروفیل a و b شد. میزان کلروفیل در گیاهان زنده یکی از عوامل برای فتوسنتز به شمار می‌رود. در این بین بسته به شدت، مدت و مرحله رشدی، تأثیر خشکی بر هر کدام از مقادیر کلروفیل‌ها در گیاهان متفاوت است. کاهش کلروفیل a بر اثر تنش خشکی مربوط به افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در سلول می‌باشد. این رادیکال سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگیزه می‌شود (Sheteawi and Tawfik, 2007). بررسی‌ها روی گیاه دارویی سیاه‌دانه (Heidari and Rezapour, 2011) و بادرنجبویه (Abbaszadeh et al., 2008) نشان داد که خشکی سبب کاهش کلروفیل a می‌گردد. Karimi و Shahriari (۲۰۰۱) بیان کردند پس از تنش سرما، محتوای کلروفیل در برگ‌های رقم حساس نسبت به رقم مقاوم گندم بیشتر کاهش می‌یابد به طوری که رقم مقاوم گندم رنگ سبز تیره‌تری نسبت به رقم حساس دارد، همچنین از دست رفتن رنگیزه سبز (کلروفیل) باعث کاهش تولیدی موادی نظیر پروتئین که ارتباط مستقیم با میزان کلروفیل دارد می‌گردد. به نظر می‌رسد بیشتر بودن کلروفیل رقم کازرون در شرایط خشکی نسبت به رقم تهران می‌تواند دلیلی بر مقاوم بودن رقم کازرون نسبت به تهران باشد. همچنین سطوح سوم تنش خشکی باعث کاهش ۲۵/۶۳ درصدی کلروفیل b نسبت به تیمار شد و کلروفیل کل نیز تحت تنش کم-آبی کاهش معنی‌داری یافت (Yadollahi Dahcheshmeh et al., 2014). نتایج آزمایش Heidari (۲۰۱۱) روی گیاه ریحان نیز نشان دهنده کاهش کلروفیل a و b تحت تنش خشکی است که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. در این آزمایش بیشترین محتوای کلروفیل a و b از محلول‌پاشی نانو کلات آهن مشاهده شد که با آزمایش Peyvandi و همکاران

تنش خشکی مثبت و معنی‌دار گزارش شد (Fathi-Amirikhiz et al., 2011). آهن به‌عنوان کوفاکتور، تأثیر مهمی در فعالیت آنزیم‌های برگ به‌ویژه در شرایط تنش دارد، به طوری که بر فعالیت آنزیم‌های یاد شده به شدت اثر می‌گذارد (Lascano et al., 2005). در این تحقیق نیز رقم مقاوم‌تر کازرون پرولین بیشتری را در شرایط خشکی تولید کرد. مصرف آهن به‌صورت خاکی و برگی در گلرنگ، موجب بهبود مقدار پروتئین‌های محلول برگ، پرولین، کربوهیدرات‌های محلول و محتوای آب نسبی برگ تحت شرایط تنش رطوبتی شد (Fathi-Amirikhiz et al., 2011).

با توجه به نتایج به‌دست آمده از قندهای محلول، غلظت قندهای محلول در هر دو رقم با افزایش خشکی افزایش یافت. تجمع قندهای محلول می‌تواند به حفظ تورژسانس در بافت‌های تنش دیده به واسطه تنظیم اسمزی کمک کند و عناصر ریزمغذی با شرکت در متابولیسم کربوهیدرات‌ها و نیتروژن به افزایش قندهای محلول در گیاه در شرایط تنش کمک کند (Lascano et al., 2005). گزارش شده که ارقام متحمل‌کنند تجمع بیشتری از قندهای محلول در برگ نسبت به ارقام حساس داشتند که با نتایج این آزمایش هم‌خوانی دارد (Aain, 2012). همچنین در آزمایشی بر گیاه دارویی سنبل الطیب تنش خشکی باعث افزایش میزان پرولین گردیده است که این افزایش معمولاً در تنش‌های غیر زیستی مورد انتظار است (Lorestan et al., 2018). به‌نظر می‌رسد، یکی از مکانیسم‌های تحمل به خشکی انباشت کربوهیدرات است که از طریق تنظیم اسمزی و دخالت در مکانیسم‌های حفاظتی با تنش خشکی مقابله می‌نماید. بنابراین می‌توان از انباشت کربوهیدرات به‌عنوان یک شاخص فیزیولوژیک تحمل به خشکی استفاده کرد (Aain, 2012).

طریق کاربرد کود نانو کلات آهن توانسته است تا حدودی خسارت ناشی از رادیکال‌های آزاد را کاهش دهد و در نتیجه موجب حفظ و پایداری کلروفیل شود. نتایج مقایسه میانگین اثر سه‌جانبه رنگیزه‌های فتوسنتزی نشان داد بیشترین و کمترین غلظت به‌ترتیب مربوط به رقم کازرون در شرایط ۹۰ درصد ظرفیت زراعی (آبیاری نرمال) و محلول‌پاشی نانو کلات آهن و رقم تهران در شرایط خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم محلول‌پاشی به‌دست آمد. تحقیقات نیز نشان می‌دهد که این رنگدانه‌ها در برابر استرس‌های محیطی مانند اشعه ماوراء بنفش، خشکی و درجه حرارت پایین افزایش یافته و گیاه را در برابر رادیکال‌های آزاد محافظت می‌کند (Tahkorpi, 2010). در واقع این نتایج می‌تواند نشان دهنده افزایش مسیر اصلی تولید فلاونوئید باشد که منجر به تولید آنتوسیانین می‌گردد (Watkinso et al., 2006). افزایش مقدار رنگدانه‌های غیر آنزیمی (آنتوسیانین) توسط کاربرد آهن در خاک می‌تواند از تخریب کلروفیل‌ها جلوگیری کند و به‌طور غیرمستقیم سبب افزایش آن شود چرا که آنتوسیانین‌ها از ساختارهای حساسی مانند غشاها حفاظت کرده و از زوال کلروفیل جلوگیری می‌کنند (Leng et al., 2000).

نتایج مقایسه میانگین اثر سه‌جانبه حاکی از آن بود که در شرایط خشکی هر دو رقم، پرولین بیشتری نسبت به شرایط نرمال آبیاری تولید کردند. بیشترین میزان پرولین از رقم کازرون در شرایط خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی با محلول‌پاشی حاصل گردید. تجمع پرولین در بافت‌های تنش دیده، به علت افزایش سنتز آن به وسیله پیروولین-۵- کربوکسیلاز سنتتاز و کاهش تجزیه آنزیم پرولین اکسیداز است (Tranetunk and Trunktark, 2006). تأثیر کاربرد خاکی و برگی عنصر آهن بر افزایش مقدار اسید آمینه پرولین در برگ گلرنگ تحت شرایط

گیاه شده است. چون تنش رطوبتی باعث کاهش وزن خشک گیاه می‌شود، احتمالاً افزایش غلظت آهن گیاه از یک طرف و کاهش جذب کلسیم از طرف دیگر باشد (Maakoti and tehrani, 1999). طی آزمایشی افزایش غلظت آهن و پتاسیم برگ با افزایش تنش خشکی گزارش شده است (Azizabadi et al., 2014). طی آزمایشی کاربرد کود نانو آهن باعث افزایش غلظت عناصر ماکرو و میکرو (آهن، روی، ازت، فسفر و پتاس) در گیاه چای ترش شد و بیشترین مقدار غلظت عناصر آهن، روی، فسفر و پتاس در برهم‌کنش کود نانو آهن و تنش خشکی ۷۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد (Hashemi et al., 2018).

با توجه به نتایج بدست آمده عملکرد دانه نیز همانند تعداد کپسول در بوته معنی‌دار شد. Saeedi (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای نشان داد که تعداد کپسول در بوته ۵۸ درصد از تغییرات عملکرد دانه در بوته را توجیه نمود که جزء اجزای اصلی عملکرد می‌باشد. علت افزایش عملکرد دانه خرفه در شرایط تنش خشکی و مصرف نانو کلات آهن می‌تواند تأثیر این عناصر بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان باشد که با افزایش فعالیت این آنزیم به خصوص در شرایط تنش خشکی، می‌تواند موجب حفظ و پایداری غشاهای سلولی و افزایش توان ظرفیت سیستم فتوسنتزی گیاه شود، زیرا از این طریق می‌تواند صدمات ناشی از تنش اکسیداتیو را کاهش داده و در نتیجه عملکرد دانه افزایش پیدا کند. کاهش سرعت سوخت و ساز کربن، کاهش میزان هدایت روزنه‌ای و کاهش جذب آب در اثر کاهش رشد ریشه از عوامل دخیل در کاهش عملکرد در شرایط تنش خشکی شناخته شده‌اند (Gonzalez, 2005). در شرایط آبیاری کامل، میزان فتوسنتز و تولید مواد پرورده افزایش یافته و در نتیجه از طریق افزایش سرعت پرشدن دانه، وزن

نتایج بدست آمده در رابطه با عناصر غذایی تحقیق حاضر با نتایج Nasri و همکاران (۲۰۰۸) که گزارش کردند، ارقام متحمل به خشکی می‌توانند پتاسیم بیشتری را نسبت به ارقام با حساسیت بیشتر تجمع کنند، مطابقت دارد. برخی محققان بیان کرده‌اند، محلول‌پاشی آهن و منگنز سبب افزایش غلظت پتاسیم، نیتروژن، آهن و منگنز در اندام هوایی و دانه گندم می‌گردد (El-Fouly et al., 2011). در این آزمایش نیز مشخص شد در شرایط بروز تنش خشکی، بر درصد عناصر غذایی (سدیم و پتاسیم) در خرفه افزوده شد. در شرایط تنش گیاه جهت افزایش مقاومت با مصرف انرژی غلظت پتاسیم را در ریشه و اندام هوایی بالا می‌برد تا تأثیر مثبتی در افزایش فتوسنتز، رشد و از همه مهم‌تر جذب آب به‌دنبال داشته باشد (Abdel-Moez, 1996). Ashraf و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که در اثر تنش خشکی میزان جذب سدیم و پتاسیم در گیاه به‌دلیل تنظیم فشار اسمزی و نقش یون پتاسیم در کنترل روزنه افزایش می‌یابد. نتیجه به دست آمده با نتایج Nasri و همکاران (۲۰۰۸) و Palomo و همکاران (۱۹۹۹) مبنی بر کاهش جذب پتاسیم با کمبود آب متناقض و با نتایج محققان (Lionel-Jordan and Sylvain, 2004; Abdol-Majid et al., 2007) مبنی بر افزایش جذب پتاسیم با کمبود آب، مطابقت دارد. به نظر می‌رسد گیاهان تیمار شده با نانو کلات آهن وضعیت تغذیه‌ای متعادلی داشتند، این امر سبب بهبود سیستم تغذیه‌ای گیاه شده که نتیجه آن تولید انرژی بیشتر می‌باشد و از این طریق غلظت عناصری مانند پتاسیم که به‌صورت فعال و با صرف انرژی جذب گیاه می‌شوند را افزایش داده است و چون در جذب پتاسیم و سدیم در گیاه حالت رقابتی وجود دارد بنابراین با مهیا بودن انرژی کافی در گیاه جذب پتاسیم افزایش یافته که این امر سبب کاهش عنصر سدیم در

شرایط تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر برخی صفات مورد بررسی داشت، به‌طوری که بیشترین میزان پرولین، قند محلول و میزان آهن از رقم کازرون در شرایط خشکی با محلول‌پاشی نانو کلات آهن حاصل گردید. همچنین در شرایط تنش خشکی، استفاده از نانو کلات آهن نسبت به شاهد موجب افزایش ۳۲/۶۶ درصدی عملکرد دانه گردید و رقم کازرون نسبت به رقم تهران برتری داشت. بر اساس نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر، می‌توان پیشنهاد نمود محلول‌پاشی عنصر کم‌مصرف آهن در مناطق در معرض تنش خشکی، می‌تواند تأثیر مفیدی در افزایش صفات فیزیولوژیکی و مقاومت به تنش خشکی در خرفه داشته باشد و می‌توان رقم کازرون را رقم متحمل‌تری نسبت به تنش ملایم خشکی نسبت به رقم تهران در مرحله گلدهی معرفی کرد.

دانه و در نهایت عملکرد آن افزایش می‌یابد (Palmer, 1995). همچنین به گزارش فرخی‌نیا و همکاران (Farrokhinia et al., 2011)، تنش خشکی در گیاه با کاهش آب برگ و در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها و افت فتوسنتز از یک سو و متأثر کردن فعالیت‌های آنزیمی و فرایندهای مربوطه از سوی دیگر، موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود. با اعمال تنش خشکی، به دلیل ریزش گل‌ها و غلاف‌ها و همچنین کاهش وزن دانه، عملکرد دانه کاهش می‌یابد (Farnia, 2006). Ahmadi و Omid (۲۰۱۷) بیان نمودند تنش خشکی و اثر متقابل آن با جمعیت بر صفات عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه معنی‌دار شد. نتایج حاصل از این آزمایش اثبات کرد که افزایش تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه شد.

#### نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این تحقیق نشان داد محلول‌پاشی آهن در

#### References

- Aain, A. (2012).** Changes in proline content, soluble carbohydrates and absorption of potassium, zinc and calcium in sesame genotypes under drought stress. *Journal of crop production in environmental stress conditions*. 4 (3): 40-48. (Persian).
- Abbaszadeh, B., Sharifi ashourabadi, E., Lebaschi, M.H., Naderi Hajibagher, Kandy, M. and Moghadami, F. (2008).** The effect of drought stress on proline contents, soluble sugars, chlorophyll and relative water contents of balm (*Melissa officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 23(4): 505-513. (Persian).
- Abbaszadeh, B., Sharifi-Ashoorabadi, A. and Farajelahi, M. (2007).** Effect of drought stress on physiological traits of *Melissa officinalis* L. second national congress of ecological agriculture in Iran. Gorgan. (Persian).
- Abdel-Moez, M.R. (1996).** Dry matter yield and nutrient uptake of corn as affected by some organic waste applied to a sandy soil. *Annals of Agricultural Science*, 34:1319-1330.
- Abdul-Majid, S., Rehana, A. and Ghulam, M. (2007).** Potassium-calcium interrelationship linked to drought tolerance in wheat. *Pakistan Journal of Botany*. 39(1): 609-1621.
- Ahmadi, Kh. and Omid, H. (2017).** Evaluation of drought effect on quantitative and qualitative populations of bungalow medicinal plants. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 318-307. (Persian).
- Amal, A.M. and Aly, A.A. (2008).** Alteration of some secondary metabolites and enzymes activity by using exogenous antioxidant compound in onion plants growth under seawater salt stress. *American Eurasian Journal of Science Research*. 3: 139-146.
- Amiri Nejad, M., Akbari, Gh. A., Baqi-Zadeh, A., Alah-dadi, A., Shahbazi, M. and Naimi, M. (2015).** Effect of drought stress and foliar iron and zinc on some biochemical traits of cumin plant. *agricultural crop (Journal of Agricultural Sciences)*. 17 (4): 855-866. (Persian).
- Arnon, A. N. (1967).** Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*. 23: 112-121.
- Ashraf, M., Ashfaq, M. and Ashraf, M.Y. (2002).** Effect of increased supply of

- potassium on growth and nutrient content in pearl millet under water stress. *Biologia Plantarum*. 451:141-144.
- Azizabadi, A., Golchin, A. and Delaware, M.A. (2014).** Effect of potassium and drought stress on growth indices and nutrient concentration of safflower leaves. *Science and technology of greenhouse cultivation*. 5 (19): 65-79. (Persian).
- Bates, L.S., Waldern, R.P. and Teare, E.D. (1973).** Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*. 39: 205-207.
- Chen, J., Shi, Y. and Liu, J. (2003).** Determination of noradrenaline and dopamine in chinese herbal extracts from *portulaca oleracea* L. by high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography*. 1003(1-2):127-132.
- Chen, Y., Shi, J., Tin, G., Tian, G., Zheng, Sh. and Lin, Q. (2004).** Fe deficiency induces Cu uptake and accumulation in *Commelina communis*. *Plant Science*. 166(5): 1371-1377.
- Curie, C. and Briat, J.F. (2003).** Iron transport and signaling in plants. *Annual Review of Plant Biology*. 54: 183-206.
- Dweck, A.C. (2013).** Purslane (*P. oleracea*) -the global panacea. *Perso Care Mag*. 2(4):7-15.
- El-Fouly, M.M., Mobarak, Z.M. and Salama, Z. A. (2011).** Micronutrients (Fe, Mn, Zn) foliar spray for increasing salinity tolerance in wheat *Triticum aestivum* L. *African Journal of Plant Science*. 5: 314-322.
- Ezekwe, M.O., Omara-Alwala, T.R. and Membrahtu, T. (1999).** Nutritive characterization of purslane accessions as influenced by planting date. *Plant Foods Hum Nutr*. 54(3): 183-191.
- Farnia, A., Nourmohammadi, Gh., Naderi, A., Darvish, F. and Majidi Harvan, A. (2006).** Effects of drought stress and strain of the bacterium *Bradyrhizobium japonicum* on yield and its related traits in soybean in Boroojerd. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 8 (3): 201-214.
- Farrokhinia, M., Roshdi, M., Paseban Eslam, B. and Sasandoust, R. (2011).** Evaluation of some physiological characteristics on yield of spring safflower under water stress. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 42(3): 545-553.
- Fathi-Amirikhiz, K., Amini DehGi, M., Modarres Sanavi, S.A.M. and Heshmati, S. (2011).** Effect of soil and leaf elemental application on some biochemical properties of safflower (*Caethamus tinctorius* L.) under two moisture regimes. *Crop Science*. 42 (3): 509-518. (Persian).
- Gonzalez, A.M. (2005).** Physiological responses of tagasaste to a progressive drought in its native environment on the Canary Islands. *Environmental and Experimental Botany*. 53: 195-204.
- Hashemi, E., Mahdinezhad, N., Fakhri, B.A. and MohammadpourVashvai, R. (2018).** The effect of biomic and nano biofertilizers (iron, zinc, manganese) on economic performance, antioxidant enzymes and concentration of some sour tea elements. *Hibiscus sabdariffa* under drought stress. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*. 13(51): 107-119. (Persian).
- Heidari, M. (2011).** Effect of salinity on growth, chlorophyll content and osmotic components of two cultivars of basil (*Basilicum ocimum* L.). *Africa Journal of Biotechnology*. 11(2): 379-384.
- Heidari, M. and Rezapour, A.R. (2011).** Effect of water stress and sulfur fertilizer on grain yield, chlorophyll and nutrient status of black cumin (*Nigella Sativa* L.). *Journal of Crop Production and Processing*. 1(1): 81-89. (Persian).
- Heidari, M., Goleg, M., Ghorbani, H. and Baradarn Firozabad, M. (2016).** Effect of drought stress and foliar application of iron oxide nanoparticles on grain yield, ion content and photosynthetic pigments in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Iranian Journal of Filed Crop Science*. 46(4): 619-628. (Persian).
- Hirai, M., Higuchi, K., Sasaki, K., Suzuki, H., Maruyama, T., Yoshiba, T. and Tadano, T. (2007).** Contribution of iron associated with high molecular weight substances to the maintenance of the SPAD value of young leaves of barley under iron deficient conditions. *Plant and Soil Science*. 53: 612-620.
- Kerepsi, I., Toth, M. and Boross, L. (1996).** Water-soluble carbohydrates in dried plant. *Journal Agriculture Food Chemical*. 10: 3235-3239.
- Khan, H.R., McDonald, G.K. and Rengel, Z. (2003).** Zn fertilization improves water use efficiency, grain yield and seed Zn content in chickpea. *Plant and Soil*. 249: 389-400.
- Khare, C.P. (2007).** *Indian medicinal plants*. Delhi: Springer. p. 513.
- Khazaei, H.R. (2002).** Effect of drought stress on physiological characteristics of resistant and sensitive wheat cultivars and introduction of the most suitable indices of drought resistance. Ph.D. in Agriculture.

- Faculty of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad. 225 pages. (Persian).
- Kirnak, H., Kaya, C., Tas, I. and Higgs, D. (2001).** The influence of water deficit on vegetative growth, physiology, fruit yield and quality in egg plants. *Journal of Plant Physiology*. 27: 34-46.
- Ksouri, R., Debe, A., Mahmoudi, H., Ouerghi, Z., Gharsalli, M. and Lachaa, M. (2007).** Genotypic variability within Tunisian grapevine varieties (*Vitis vinifera* L.) facing bicarbonate-induced iron deficiency. *Journal Plant Physiology and Biochemistry*. 45: 315-322.
- Lascano, H.R., Antonicelli, G.E., Luna, C.M., Melchiorre, M.N., Gomez, L.D., Racca, R.W., Trippi, V.S. and Casano, L.M. (2005).** Antioxidant system response of different wheat cultivars under drought: field and *in vitro* studies. *Austrian Journal Plant Physiology*. 28: 1095-1102.
- Leng, P., Itamura, H., Yamamura, H. and M. Deng, X. (2000).** Anthocyanin accumulation in apple and peach shoots during cold acclimation. *Sciatica Horticultural*. 83: 43-50.
- Lionel-Jordan, M. and Sylvain, P. (2004).** Leaf area establishment of a maize field crop under potassium deficiency. *Plant and Soil*. 265:75-92.
- Lorestan, Sh., Ghaboli, M., Movahedi, Z. and Karimi, R.A. (2018).** The effect of *Piriformospora indica* on some morphophysiological traits of Valerian (*Valeriana officinalis* L.) under drought stress. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*. 13(50): 41-52. (In Persian).
- Maakoti, M.J. and Tehrani, M.M. (1999).** The role of micronutrients in increasing yield and improving the quality of agricultural products (micro elements with high impact). Tarbiat Modares University Press, p. 299. (Persian).
- Mahmoudi, H., Ksouri, R., Gharsalli, M. and Lachaal, M. (2005).** Differences in responses to iron deficiency between two legumes: lentil (*Lens culinaris*) and chickpea (*Cicer arietinum*). *Journal of Plant Physiology*. 162 (11): 1237-1245.
- Majoosi, A.A. Kamil as-Sinaa at-Tibbiyya. (2009).** Tehran University Press. p. 264. (Vol 1). (In Persian).
- Meridpour, S., Satei, A. and Ghorbanli, M. (2014).** Evaluation of growth and content of pigments and total protein of Nettle (*Urtica dioica* L.) In different aquatic diets. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*. 9: 118-127. (In Persian).
- Mohamed, A.I. and Hussein, A.S. (1994).** Chemical composition of purslane (*Portulaca oleracea*). *Plant Foods Hum Nutr*. 1994 Jan; 45(1): 1-9.
- Monakhova, O.F. and Chernyadev, I.I. (2002).** Protective role of kartolin- 4 in wheat plants exposed to soil drought. *Applied and Environmental Microbiology*, 38: 373-380.
- Morales, F., Abadia, A. and Abadia, J. (1996).** Characterization of the xanthophylls cycle and other photosynthetic pigment changes induced by iron deficiency in sugar beet. *Plant Physiology*. 94:607-613.
- Nasri, M., Zahedi, H. and Tohidi Moghadam, H.R. (2008).** Investigation of water stress on macro elements in Rapeseed genotypes Leaf (*Brassica napus*). *American Journal Agricultural Biological Science*, 3 (4):669-672.
- Nori Azad, H. and Haji Bagheri, M. (2008).** Effect of drought stress on growth and yield of barley cultivars. *Quarterly journal of plant sciences*. 1 (12): 19-27. (Persian).
- Palmer, J., Dunphy, E. and Reese, P. (1995).** Managing drought-stressed soybeans in the Southeast. North Carolina Cooperative Extension Service as Publication Number. AG-19-12.
- Palomo, I.R., Baioni, S.S., Fioretti, M.N. and Brevet, R.E. (1999).** Canola under water deficiency in Southern Argentina. Proceeding of 10th International Rapeseed Congress, Canberra. Australia.
- Peyvandi, M., Parande, H. and Mirza, M. (2011).** Comparison of nano Fe chelate with Fe chelate effect on growth parameters and antioxidant enzymes activity of *Ocimum Basilicum*. *Journal of Cellular-Molecular Biotechnology*. 1 (3): 1-17. (Persian).
- Piekielek, W.P. and Fox, R.H. (1992).** Use of a chlorophyll meter to predict sidedness nitrogen requirements for maize. *Agronomy Journal*. 84: 59-65.
- Ramurodi, M., Keykhaghaleh, M., Galavi, M., Sagaholeslami, M. and Baradaran, R. (2011).** Effect of micronutrient foliar application and irrigation regimes on quantitative and qualitative yield of psyllium. *Journal of Agroecology*. 3(2): 219-226. (Persian).
- Rashnoo, M. H., Tahmasebi Sarvestani, A. Heydari Sharif-Abad, H., Modares Sanavi, S.A.S.R. and Tavakol Afshari, R. (2013).** Effect of drought stress and foliar iron and zinc on quantitative and qualitative

- characteristics of two species of Bunjeh Aralah. *Production of Crops*. 6 (1): 125-148. (Persian).
- Ruiz, J.M., Baghour, M. and Romers, L. (2000).** Efficiency of the different genotypes of tomato in relation to foliar content of Fe and the response of some bioindicators. *Plant Nutrition*. 23: 1777-1786.
- Saeedi, Gh.A. (2008).** Effect of some nutritious and nutritious elements on grain yield and other agronomic traits of sesame. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources of Isfahan*. 12 (45): 372-390. (Persian).
- Shahriari, R. and Karimi. A. (2001).** Evaluation of cold resistance in wheat germplasm by measuring chlorophyll content and leaf color. *Seventh Iranian Congress of Plant Breeding and Plants*, p. 507. (Persian).
- Sheteawi, S.A. and Tawfik, K.M. (2007).** Interaction effect of some biofertilizers and irrigation water regime on Mungbean (*Vigna radiate*) growth and yield. *Journal of Applied Sciences Research*. 3(3): 251-262.
- Silva, M.A., Jifon, J.L., Silva, J.A.G. and Sharma, V. (2007).** Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 19: 193-201.
- Tabatabai, J. (2009).** Principles of mineral nutrition of plants. Author's publication. First Edition. 389 p. (Persian).
- Tahkorpi, M. (2010).** Anthocyanin under drought and drought related stresses in Bilberry (*Vaccinium myrtillus L.*). Academic dissertation to be presented with the assent of the faculty of science of the University of Oulu. 46 p.
- Trunctunk, R. and Trunkturk, M. (2006).** Effects of different phosphorous levels on the yield and quality components of cumin (*Cuminum cyminum L.*). *Agriculture Biological Science*. 2(6): 336-340.
- Wagner, G. J. (1979).** Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids and anthocyanins in protoplasts. *Plant Physiology*. 64: 88-93.
- Watkinson, J.I., Hendricks, L., Sioson, A.A., Vasquez Robinet, C., Verlyn, S., Heath, L.S., Schuler, M., Bohnert, H.J., Bonierbale, M. and Grene, R. (2006).** Accessions of *Solanum tuberosum* spp. Antigens show differences in photosynthetic recovery after drought stress as reflected in gene expression profiles. *Plant Science*. 1-14.
- White, R.E. (1976).** Studies on the mineral ion absorption by plants, The interaction of aluminium phosphate and pH on the growth of *Medicago sativa*. *Plant and Soil*, 46: 195-208.
- Yadollahi Dahcheshmeh, P., Bagheri, A.A., Amiri, A. and Esmail Zadeh Bahabadi, P. (2014).** Effect of drought stress and chitosan solubility on yield and photosynthetic pigments in sunflower. *Quarterly Journal of Agricultural Plants*. 6(21): 73-83.
- Yeritsyan, N. and Economakis, C. (2002).** Effect of nutrient solution's iron concentration on growth and essential oil content of oregano plants growth in solution culture. *Acta Horticulture*. 576: 277-283.
- Zarei, A., Changizi Ashtiyani, S. and Taheri, S. (2014).** The effects of hydroalcoholic extract of *Portulaca Oleracea* on the serum concentration of Hepatic enzymes on Rats. *Iran South Medicine Journal*. 17(5): 889-899. (In Persian).