

## تأثیر تنش خشکی و محلول پاشی نانو اکسید آهن بر عملکرد دانه، محتوای یونی و رنگدانه‌های نورساختی کنجد

مصطفی حیدری<sup>۱\*</sup>، مریم گلیج<sup>۲</sup>، هادی قربانی<sup>۳</sup> و مهدی برادران فیروزآبادی<sup>۴</sup>

۱، ۲، ۳ و ۴. دانشیار، دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیاران، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۱۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۶/۴)

### چکیده

به منظور بررسی تأثیر تنش خشکی و محلول پاشی نانو اکسید آهن بر عملکرد کنجد (رقم اولتان)، آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۳ در مزرعه دانشگاه شاهرود اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح تنش خشکی:  $W_1=7$  شاهد،  $W_2=12$  و  $W_3=17$  روز دور آبیاری به عنوان عامل اصلی و چهار سطح محلول پاشی نانو اکسید آهن:  $F_1=0$  شاهد،  $F_2=0.5$ ،  $F_3=1$  و  $F_4=1.5$  کیلوگرم نانو اکسید آهن در ۱۰۰۰ لیتر آب به عنوان عامل فرعی لحاظ شدند. نتایج نشان داد اثر متقابل خشکی و نانو تأثیر معنی داری بر عملکرد دانه، زیست توده، هدایت روزنه‌ای، رنگدانه سبزینه (کلروفیل) b، کارتنوئید و درصد نیتروژن دانه داشت. بیشترین عملکرد دانه و زیست توده تولیدی از تیمار  $W_1F_3$ ، هدایت روزنه‌ای از تیمار  $W_1F_2$ ، سبزینه b از تیمار  $W_1F_4$ ، کارتنوئید برگ از تیمار  $W_2F_3$  و درصد نیتروژن دانه از تیمار  $W_3F_3$  به دست آمد. در بین دیگر صفات، تنها شمار شاخه فرعی در بوته و غلظت پتاسیم دانه تحت تأثیر دو تیمار اصلی قرار گرفتند. اما شمار دانه و وزن دانه در کپسول تنها تحت تأثیر تنش خشکی واقع، با افزایش تنش از  $W_1$  به  $W_3$  به ترتیب به میزان  $12/3$  و  $27/7$  درصد از آنها کاسته شدند. در این بین غلظت فسفر و پتاسیم برگ و نیز فسفر دانه تحت تأثیر هیچ کدام از تیمارها واقع نشدند. به طور کلی می‌توان گفت در شرایط تنش خشکی، محلول پاشی نانو اکسید آهن به میزان ۱ کیلوگرم در ۱۰۰۰ لیتر آب می‌تواند تا حدی مانع تأثیر سوء خشکی بر عملکرد کنجد شود.

**واژه‌های کلیدی:** پارامترهای فیزیولوژیکی، تنش خشکی، عناصر غذایی، کنجد (رقم اولتان)، نانو آهن.

### مقدمه

عملکرد گیاهان زراعی دارد، این تأثیر به طور عمده با افت نورساخت (فتوسنتز) صورت می‌گیرد. در این شرایط، تنش خشکی با عامل‌های روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای بر شدت نورساخت تأثیر می‌گذارد. از آنجا که برای نورساخت و تبادل‌های گازی باز بودن روزنه‌ها ضروری است، بنابراین در اثر کمبود آب و بسته شدن روزنه‌ها، تبادل‌های گازی کاهش یافته، دی‌اکسیدکربن

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عامل‌های محدودکننده رشد و تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است. پاسخ گیاهان به تنش خشکی بستگی به نوع، شدت و مدت تنش و همچنین گونه گیاهی و مرحله رخداد تنش دارد (Good & Zaplachiniski, 1994). تنش خشکی تأثیر زیادی بر

رگبرگ‌های آنها زرد می‌شود. آهن همچنین در انتقال الکترون در نظام نوری (فتوسیستم) I تأثیر فراوانی دارد. بررسی‌ها نشان داده، کمبود آهن سبب کاهش تبادل‌های گازی، هدایت روزنه‌ای و کم شدن کارایی مصرف آب و افزایش تعرق در گیاهان می‌شود (Bertamini *et al.*, 2004). آهن همچنین به عنوان یک عامل کمکی (کوفاکتور) در برخی از آنزیم‌هایی در مسیر زیست‌ساخت (بیوسنتز) سبزینه (کلروفیل) نقش دارند، عمل می‌کند. از این‌رو در اثر کمبود آهن غلظت پروتئین و سبزینه در برگ‌ها کاهش می‌یابد (Bisht *et al.*, 2002).

حلالیت عناصر کم‌مصرف مانند آهن، منگنز، مس، روی و مولیبدون در شرایط نبود رطوبت کافی در خاک کاهش می‌یابد، از این‌رو گیاهان در این شرایط از نظر عناصر نام‌برده دچار کمبود می‌شوند. محلول‌پاشی یا تغذیهٔ برگ‌ی یکی از راه‌های مؤثر در رفع نیاز گیاهان به عناصر کم‌مصرف است. Babaeian *et al.* (2008) گزارش کردند محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف مانند آهن و روی در شرایط تنش خشکی، عملکرد آفتابگردان را با بهبود بازده (راندمان) فتوشیمیایی و غلظت سبزینه، افزایش می‌دهد.

امروزه فناوری نانو در همهٔ عرصه‌های علمی از جمله بخش‌های مختلف کشاورزی در حال گسترش است. نانو ذرات شامل مخلوطی از ذرات با ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومترند که می‌توانند ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مواد اولیهٔ خود را تغییر دهند (Monica & Cremonini, 2009). در سال‌های اخیر چگونگی تأثیر تغذیهٔ عناصر مورد نیاز به شکل نانو ذرات بر رشد و نمو گیاهان توجه شده و نتایج مثبتی در این زمینه نیز گزارش شده است. برای مثال Pandy *et al.* (2010) در آزمایشی روی نخود گزارش کردند، کاربرد اکسیدروی به شکل نانو تأثیر بیشتری در افزایش رشد گیاه نسبت به حالت معمول آن دارد.

تاکنون در زمینهٔ تأثیر تغذیهٔ نانو ذرات اکسید آهن بر رشد، میزان و چگونگی جذب عناصر کانی و نیز عملکرد دانه در گیاه کنجد در شرایط تنش خشکی بررسی جامعی صورت نگرفته است. لذا هدف از این تحقیق بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف محلول‌پاشی

کمتری در دسترس گیاهان قرار می‌گیرد و شدت نورساخت کاهش می‌یابد. کاهش نورساخت همراه با کاهش رشد و عملکرد تولیدی در گیاهان خواهد بود (Reddy *et al.*, 2004).

در بین گیاهان زراعی کنجد به دلیل مقاومت به خشکی و گرما اهمیت زیادی در توسعهٔ کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به عنوان کشت تابستانه دارد. اما این گیاه در مرحلهٔ استقرار گیاهچه و همچنین در دورهٔ گلدهی تا پر شدن دانه به تنش خشکی حساس است (Weiss, 2000). کنجد یکی از کهن‌ترین دانه‌های روغنی است که در بیشتر مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری کشت می‌شود. در ایران کشت کنجد در استان‌های خوزستان، بوشهر، سیستان و بلوچستان، فارس و سمنان متداول است. به دلیل نیاز آبی کم، کنجد به‌صورت زراعت اصلی یا کشت مخلوط همراه با پنبه در بهار و همچنین به عنوان کشت دوم پس از برداشت غلات کشت شد (Bagheri *et al.*, 2012). Eskandari *et al.* (2010) در ارزیابی کارایی مصرف آب و عملکرد دانهٔ کنجد در شرایط تنش خشکی گزارش کردند، با افزایش شدت تنش ارتفاع بوته، شمار برگ در بوته، عملکرد زیست‌توده (بیوماس) و عملکرد دانه کاهش می‌یابد. Rezvani Moghaddam *et al.* (2005) نیز بیان داشتند که تیمارهای مختلف خشکی تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته، شمار شاخه‌های فرعی، شمار کپسول در بوته، عملکرد دانه، روغن و شاخص برداشت در کنجد دارد.

سازوکار (مکانیسم)های جذب و انتقال عناصر غذایی در گیاهان همانند جریان توده‌ای، انتشار و یا جذب و انتقال با پدیدهٔ اسمز همگی تابعی از میزان رطوبت موجود در خاک است. در صورت کاهش رطوبت، جذب عناصر غذایی دستخوش تغییر می‌شود (Vannier & Marchal, 1992). در بین عناصر غذایی، آهن نقش بسیار مهمی در توسعهٔ کلروپلاست، دریافت انرژی نورانی و انتقال الکترون از آب به  $\text{NADP}^+$  دارد (Grattan & Grieve, 1999). رنگدانه‌های دریافت‌کنندهٔ نور در کلروپلاست گیاهانی که در شرایط کمبود آهن قرار دارند، کاهش یافته و رنگ بین

جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۶۶ متر از سطح دریا انجام شد. میانگین بارندگی سالیانه منطقه ۱۵۵ میلی‌متر، میانگین کمینه و بیشینه دمای سالیانه آن به ترتیب ۹/۶- و ۳۹ درجه سلسیوس است و از لحاظ اقلیمی جزء مناطق سرد و خشک به شمار می‌رود. نتایج به دست آمده از تجزیه شیمیایی خاک محل آزمایش پیش از کاشت در جدول ۱ آورده شده است.

نانو اکسید آهن بر عملکرد کمی، محتوای یونی و رنگدانه‌های نورساختی در کنجد در شرایط بروز تنش خشکی بوده است.

### مواد و روش‌ها

این بررسی در تابستان ۱۳۹۳ در دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود واقع در منطقه بسطام با طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی، عرض

جدول ۱. نتایج تجزیه خاک محل آزمایش در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری

بافت خاک	هدایت الکتریکی	اسیدیته	شن	رس	لای	مواد آلی	پتاسیم	فسفر	نیتروژن
Soil Texture	EC (ds.m <sup>-1</sup> )	(pH)	Sand (%)	Clay (%)	Silt (%)	OM (%)	K (ppm)	P (ppm)	N (%)
لومی رسی	۱/۸۱	۷/۶۷	۲۴	۳۲	۴۴	۰/۳۱	۲۰۵	۱۹	۰/۱۱

کیلوگرم در هکتار، با فاصله بین خطوط ۶۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر در تاریخ ۱۳۹۳/۳/۳ صورت گرفت. رقم بذر اولتان در این آزمایش بررسی شد. بی‌درنگ پس از کاشت آبیاری صورت گرفت. پس از جوانه‌زنی، استقرار و تنک کردن، اعمال تنش خشکی از مرحله ۸ برگی بر گیاهان اعمال و تا انتهای دوره رشد ادامه یافت.

برای اعمال تنش خشکی، در آغاز ظرفیت زراعی مزرعه (Field Capacity) تعیین شد. برای این کار کرتی به ابعاد ۲×۲ تهیه و به‌طور کامل از آب پر شد. سپس روی آن با پلاستیک محصور تا خاک به‌طور کامل اشباع شود. پس از ۲۴ ساعت که آب موجود در خلل و فرج‌های درشت توسط نیروی ثقل خارج شد، پلاستیک برداشته شد. در این زمان نمونه‌ای از خاک تهیه، پس از توزین در آن با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. سپس نمونه با ترازوی دقیق وزن و میزان رطوبت تبخیر شده، محاسبه شد. در هنگامی که پلاستیک از روی کرت برداشته شد، میزان FC با دستگاه رطوبت‌سنج (TDR) نیز اندازه‌گیری شد، دو روش با هم مقایسه و تفاوت چندانی دیده نشد. اعمال تیمار تنش بدین صورت انجام گرفت که رطوبت خاک پس از اینکه به میزان مورد نظر می‌رسید (کنترل رطوبت با دستگاه رطوبت‌سنج) آبیاری انجام می‌شد (تنش بر پایه دور

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای خشکی که با استفاده از دور آبیاری اعمال شد شامل W<sub>1</sub>=شاهد (دور آبیاری ۷ روز)، W<sub>2</sub>= دور آبیاری ۱۲ روز و W<sub>3</sub>= دور آبیاری ۱۷ روز به عنوان عامل اصلی و چهار سطح محلول پاشی نانو اکسید آهن شامل: F<sub>1</sub>=شاهد (بدون کاربرد هیچ نوع کود)، F<sub>2</sub>= ۰/۵ کیلوگرم در ۱۰۰۰ لیتر آب، F<sub>3</sub>= ۱ کیلوگرم در ۱۰۰۰ لیتر آب و F<sub>4</sub>= ۱/۵ کیلوگرم در ۱۰۰۰ لیتر آب به عنوان عامل فرعی در لحاظ شدند. اندازه ذرات نانو ۲۰ نانومتر، درصد خلوص ۹۹/۲ درصد، دارای شکل کروی، چگالی ۰/۸۴ گرم بر مترمکعب و از شرکت نانو پیشگامان ایرانیان تهیه شد.

در این آزمایش اندازه هر کرت ۳×۴ متر، فاصله بین کرت‌ها ۰/۵ متر و فاصله بین بلوک‌ها ۲ متر در نظر گرفته شدند. پیش از اجرای طرح و بنابر نتایج تجزیه شیمیایی خاک، میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن از منبع اوره، ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفره از منبع سوپر فسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم کود پتاس از منبع سولفات پتاسیم استفاده شد. کودهای فسفر و پتاس پیش از کاشت با خاک مخلوط شدند. همچنین یک سوم کود نیتروژن پیش از کاشت و باقی‌مانده آن به‌صورت سرک و پس از تنک کردن به گیاهان داده شدند. عملیات کاشت بر پایه میزان بذر مصرفی ۷

## نتایج و بحث

### عملکرد و اجزای عملکرد دانه

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی نانو اکسید آهن تأثیر معنی داری بر عملکرد دانه و میزان زیست توده تولیدی در گیاه کنجد (رقم اولتان) داشت (جدول ۲). در شکل‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود، بیشترین میزان عملکرد دانه و زیست توده تولیدی از تیمار تنش خشکی شاهد و محلول پاشی ۱/۵ کیلوگرم در ۱۰۰۰ لیتر آب به دست آمد. در این بین در اثر اعمال تنش خشکی، هر چند از میزان این دو صفت نسبت به تیمار شاهد کاسته شد اما این کاهش در بین دو تیمار  $W_2$  و  $W_3$  چشمگیر نبود. بنابر نظر Weiss (2000) کنجد در مرحله استقرار گیاهیچه و نیز در دوره گلدهی تا پر شدن دانه‌ها، حساس به تنش کم آبی است، اما در کل این گیاه مقاوم به شرایط تنش خشکی است و در مناطق گرم و خشک می‌تواند به خوبی رشد کرده و عملکرد شایان پذیرشی تولید کند. در بین عناصر کم مصرف، آهن برای انجام بسیاری از فعالیت‌های سوخت و ساز گیاهان مورد نیاز است. بنابراین گیاهان برای ادامه رشد خود نیاز به میزان کافی آهن دارند. کمبود آهن بسته به عامل‌های پر شمار خاکی، محیطی و ژنتیکی گیاهان، سبب کاهش شایان ملاحظه عملکرد و کیفیت محصول می‌شود. روش‌های مختلفی برای رفع کمبود آهن در گیاهان پیشنهاد شده که عملکرد دانه حاصل برآیند مجموعه‌ای از اجزا است. نتایج تجزیه آماری داده‌های این آزمایش (جدول ۲) نشان داد که تنش خشکی در بین اجزای عملکرد دانه در گیاه کنجد (رقم اولتان)، تنها تأثیر معنی دار بر شمار دانه در کپسول و وزن دانه در کپسول داشت و شمار شاخه فرعی تحت تأثیر دو تیمار تنش خشکی و محلول پاشی نانو اکسید آهن قرار گرفت. اما دو تیمار اعمال شده در این آزمایش تأثیر معنی داری بر شمار کپسول در بوته نداشت. مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد نشان داد، در طی اعمال تنش خشکی و همراه با بالا رفتن سطح تنش خشکی از شاهد به  $W_3$  از شمار دانه در کپسول، وزن کپسول و شمار شاخه فرعی در بوته

آبیاری). در تیمار شاهد  $FC = 90\%$  حدود هر ۸ روز یکبار آبیاری، تیمار  $FC = 70\%$  هر ۱۲ روز یکبار آبیاری و در تیمار  $FC = 50\%$  حدود هر ۱۷ روز یکبار آبیاری انجام گرفت. در طول دوره آزمایش برای تعیین دور آبیاری در تیمارهای مختلف تنش از دستگاه TDR استفاده شد. برپایه وضعیت رطوبت خاک دور آبیاری گاهی یک تا دو روز تغییر می‌کرد. در نهایت به طور میانگین دور آبیاری برای تیمارها برابر با دور آبیاری تعیین شده بود.

در این بین محلول پاشی نانو اکسید آهن در دو مرحله ۶ و ۱۵ برگگی صورت گرفت. برای اندازه‌گیری رنگدانه‌های نورساختی سبزینه a، b و کارنوئید از روش Arnon (1967) استفاده شد. برای این منظور در مرحله ۱۶ برگگی، نمونه‌هایی از بافت تر برگ‌های جوان گیاه برداشته شد و اندازه‌گیری روی آنها صورت گرفت. همچنین در این مرحله میزان هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه هدایت سنج روزنه‌ای (پرومتر) مدل  $SC_1$  ساخت امریکا صورت گرفت. در پایان دوره و پس از رسیدگی نهایی گیاهان، برای تعیین عملکرد دانه و میزان زیست توده، پس از حذف حاشیه بوته‌های واقع در ۱ متر مربع وسط هر کرت برداشت شدند. همچنین برای اندازه‌گیری اجزای عملکرد دانه شامل؛ شمار کپسول در بوته، شمار شاخه‌های جانبی در بوته، وزن دانه در کپسول و وزن هزار دانه، سه بوته از هر کرت فرعی به صورت تصادفی برداشت و این اندازه‌گیری‌ها روی آنها صورت گرفت. برای اندازه‌گیری میزان پتاسیم دانه‌ها در مرحله رسیدگی، از روش خاکستری خشک استفاده شد. میزان پتاسیم با استفاده از دستگاه نورسنج شعله‌ای (فلیم فتومتر) قرائت پس از تهیه منحنی استاندارد، میزان آنها بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک محاسبه شدند. میزان فسفر دانه به روش طیف سنج نوری (اسکترفومتري) و در طول موج ۴۷۰ نانومتر و نیتروژن به روش کجلدال اندازه‌گیری شدند (Emami, 2006). در پایان داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم افزار رایانه‌ای SAS تجزیه و مقایسه میانگین‌ها بر پایه آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد. برای رسم نمودارها و جدول‌ها از برنامه EXCEL استفاده شد.

کاسته شد. این کاهش در سطح  $W_3$  نسبت به تیمار کپسول و شمار شاخه فرعی در بوته به ترتیب معادل  $12/3$ ،  $27/7$  و  $17/1$  درصد بودند (جدول ۳).

جدول ۲. تجزیه واریانس عملکرد دانه، اجزای عملکرد دانه، رنگدانه‌های نورساختی و میزان عناصر کانی در کنجد

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن دانه در کپسول	شمار شاخه فرعی در بوته	شمار کپسول در بوته	شمار دانه در کپسول	عملکرد دانه	رنگدانه‌های نورساختی				عناصر کانی		
							سبزینه a	سبزینه b	کارتونوئید	نیترژن فسفر	پتاسیم	روزنه‌ای	
تکرار	۲	۰/۰۰۳۵ <sup>ns</sup>	۰/۴۷ <sup>ns</sup>	۴۵۰/۴ <sup>ns</sup>	۲۷	۱۵۶/۷ <sup>ns</sup>	۱۶۸/۴ <sup>ns</sup>	۵/۵ <sup>ns</sup>	۱/۸ <sup>ns</sup>	۲/۱ <sup>ns</sup>	۰/۴۱ <sup>ns</sup>	۱/۷ <sup>ns</sup>	۴۶۳۵/۳ <sup>ns</sup>
خشکی	۲	۰/۰۰۷۳ <sup>**</sup>	۵/۰۳*	۴۹/۳ <sup>ns</sup>	۲۹۹/۶ <sup>**</sup>	۹۹۲/۳ <sup>**</sup>	۱۰۲۵/۳ <sup>**</sup>	۱۵/۳ <sup>**</sup>	۱۵/۳ <sup>**</sup>	۱۵/۶ <sup>**</sup>	۰/۲۹ <sup>ns</sup>	۱۰/۸ <sup>ns</sup>	۲۷۳۱۲/۱ <sup>**</sup>
خطای a	۴	۰/۰۰۰۶۲	۱/۷۴	۳۵۰/۵	۴۵/۲۱	۴۷/۶	۱۳۵/۵	۱/۹	۳/۴	۰/۴۷	۲/۳	۱۸۰۵/۴	۱۵۸۳/۱
نانو اکسید آهن	۳	۰/۰۰۲۰ <sup>ns</sup>	۵/۵۲ <sup>ns</sup>	۵۹۵/۳ <sup>ns</sup>	۲۸۶/۶ <sup>ns</sup>	۲۳۸۷/۸ <sup>**</sup>	۱۹۹۹۰/۵ <sup>**</sup>	۲۶/۷ <sup>*</sup>	۳/۹*	۴/۷*	۱/۴*	۶۷/۳*	۴۶۸۸/۹ <sup>**</sup>
خشکی × نانو اکسید آهن	۶	۰/۰۰۲۲*	۱/۵۶ <sup>ns</sup>	۳۱۰/۸ <sup>ns</sup>	۶۹/۰*	۱۶۸۶/۸ <sup>**</sup>	۸۰۲/۸ <sup>**</sup>	۲۴/۳ <sup>ns</sup>	۴/۳*	۷/۱*	۱/۷*	۱۳/۴*	۵۱۴۹۴/۱ <sup>**</sup>
خطای b	۱۸	۰/۰۰۰۸۶	۰/۸۹۵	۳۰۱/۷	۳۱/۱	۸۷/۸	۱۵۲/۴	۱۰/۵	۱/۴	۰/۴۴	۲۵/۱	۸۸۳/۷	۳۰۲۲/۴
CV%		۱۳/۴	۱۳/۷	۱۹/۴	۷/۸	۱۱/۱	۹/۸	۱۲/۱	۱۳/۸	۱۶/۲	۱۹/۲	۱۳/۱	۱۲/۲

ns، \* و \*\*: به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های تیمار خشکی و نانو اکسید آهن بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد دانه، رنگدانه‌های نورساختی و میزان عناصر کانی در کنجد

وزن دانه	شمار کپسول	شمار شاخه فرعی	شمار کپسول در بوته	عملکرد دانه	عملکرد زیست توده	رنگدانه‌های نورساختی				عناصر کانی		
						سبزینه a	سبزینه b	کارتونوئید	نیترژن فسفر	پتاسیم	روزنه‌ای	
(گرم)	در بوته	در بوته	در بوته	(گرم در مترمربع)	(میکروگرم گرم وزن تر)	(درصد)	(میلی گرم در گرم ماده خشک)	(ثانیه بر سانتی متر)				
تنش خشکی												
W1	۰/۲۳ <sup>a</sup>	۷/۵۶ <sup>a</sup>	۶۱/۳۳ <sup>a</sup>	۷۴/۳۹ <sup>a</sup>	۱۳۶/۴۸ <sup>a</sup>	۱۵/۷۴ <sup>a</sup>	۵/۵۷ <sup>a</sup>	۱۰/۱۴ <sup>a</sup>	۳/۹۳ <sup>a</sup>	۲۵/۴۶ <sup>a</sup>	۲۸۰/۴۴ <sup>a</sup>	۴۳۶/۰۰ <sup>a</sup>
W2	۰/۲۲ <sup>a</sup>	۶/۸۵ <sup>a</sup>	۵۷/۴۵ <sup>a</sup>	۷۲/۹۳ <sup>a</sup>	۷۸/۰۴ <sup>b</sup>	۱۲۰/۰۴ <sup>b</sup>	۱۶/۶۴ <sup>a</sup>	۶/۱۲ <sup>a</sup>	۱۱/۳۳ <sup>a</sup>	۴/۳۴ <sup>a</sup>	۲۷/۱۷ <sup>a</sup>	۴۲۳/۴۶ <sup>ab</sup>
W3	۰/۱۸ <sup>b</sup>	۶/۲۷ <sup>b</sup>	۵۸/۳۷ <sup>a</sup>	۶۵/۱۰ <sup>b</sup>	۸۱/۹۴ <sup>b</sup>	۱۲۰/۹۴ <sup>b</sup>	۱۱/۶۸ <sup>b</sup>	۳/۹۵ <sup>b</sup>	۹/۰۵ <sup>b</sup>	۴/۱۲ <sup>a</sup>	۲۵/۵۸ <sup>a</sup>	۳۸۳/۳۸ <sup>b</sup>
نانو اکسید آهن												
F1	۰/۱۹ <sup>b</sup>	۶/۶۹ <sup>ab</sup>	۵۶/۰ <sup>a</sup>	۷۰/۰۵ <sup>a</sup>	۷۲/۹۹ <sup>b</sup>	۱۱۱/۲۹ <sup>b</sup>	۱۲/۹۴ <sup>b</sup>	۹/۶۷ <sup>a</sup>	۳/۶۳ <sup>b</sup>	۲۹/۹۷ <sup>a</sup>	۲۵۵/۳۸ <sup>a</sup>	۴۰۵/۱۱ <sup>b</sup>
F2	۰/۲۳ <sup>a</sup>	۷/۳۳ <sup>a</sup>	۵۶/۳۳ <sup>a</sup>	۷۲/۵۵ <sup>a</sup>	۹۷/۸۲ <sup>a</sup>	۱۳۵/۶۹ <sup>a</sup>	۱۳/۵۲ <sup>ab</sup>	۹/۴۴ <sup>a</sup>	۳/۹۴ <sup>ab</sup>	۲۵/۵۶ <sup>ab</sup>	۲۲۰/۷۲ <sup>bc</sup>	۴۱۹/۳۹ <sup>b</sup>
F	۰/۲۱ <sup>ab</sup>	۷/۶۶ <sup>a</sup>	۵۲/۸۶ <sup>a</sup>	۷۱/۹۷ <sup>a</sup>	۶۹/۲۲ <sup>b</sup>	۱۱۵/۰۲ <sup>b</sup>	۱۶/۵ <sup>a</sup>	۱۰/۷۱ <sup>a</sup>	۴/۵۶ <sup>a</sup>	۲۵/۱۳ <sup>ab</sup>	۲۰۰/۶۹ <sup>c</sup>	۵۱۴/۱۱ <sup>a</sup>
B4	۰/۲۲ <sup>ab</sup>	۵/۸۸ <sup>b</sup>	۷۱/۰۲ <sup>a</sup>	۶۸/۶ <sup>a</sup>	۱۰۰/۴۴ <sup>a</sup>	۱۴۱/۲۶ <sup>a</sup>	۱۵/۷۹ <sup>ab</sup>	۵/۵۶ <sup>ab</sup>	۱۰/۸۸ <sup>a</sup>	۴/۲۵ <sup>ab</sup>	۲۳۲/۱۲ <sup>ab</sup>	۳۱۸/۵۰ <sup>c</sup>

W1 = شاهد (دور آبیاری ۷ روز)، W2 = دور آبیاری ۱۲ روز و W3 = دور آبیاری ۱۷ روز  
 F1 = شاهد (بدون کاربرد کود)، F2 = ۰/۵ کیلوگرم در ۱۰۰۰ لیتر آب، F3 = ۱ کیلوگرم در ۱۰۰۰ لیتر آب و F4 = ۱/۵ کیلوگرم در ۱۰۰۰ لیتر آب.

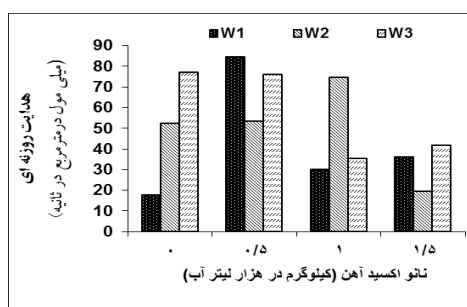
زیست توده تولیدی گیاه کنجد افزایش می‌یابد. هرگونه کاهش در میزان آب قابل دسترس و بروز تنش خشکی، به کاهش اجزای عملکرد و در نهایت کاهش عملکرد دانه منجر خواهد شد. در این آزمایش مشخص شد، با افزایش غلظت نانو اکسید آهن از F1 تا سطح F3 بر شمار شاخه فرعی در بوته افزوده شد. این افزایش معادل ۱۲/۶ درصد بود. در این بین با بالا رفتن غلظت نانو اکسید و رسیدن به سطح F4، از شمار شاخه فرعی در بوته کاسته شد (جدول ۳). همسان نتایج این آزمایش، Nazaran et

در آزمایشی به منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکرد چهار رقم کنجد مشخص شد، تنش خشکی موجب کاهش عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک، شمار کپسول در بوته و شمار دانه در کپسول شد ( Mehrabi & Ehsanzadeh, 2001). عملکرد دانه در کنجد به شمار بوته در واحد سطح، شمار شاخه‌های فرعی، شمار غلاف در بوته، شمار دانه در غلاف و وزن هزار دانه بستگی دارد. Dilip et al. (1991) گزارش کردند با افزایش دور آبیاری شمار شاخه‌های فرعی، شمار کپسول در بوته و میزان

در سطح  $W_3$  نسبت به  $W_2$  به ترتیب برای سبزینه a، سبزینه b و کارتنوئید معادل ۲۹/۸، ۳۵/۹ و ۲۰/۱ درصد بودند (جدول ۳).

Zarco Tejada *et al.* (2000) سبزینه برگ را یکی از مهم‌ترین شاخص‌های نشان‌دهنده فشار محیطی وارده بر گیاهان دانسته و بیان کردند که میزان سبزینه در گیاهان تحت تنش کاهش می‌یابد. بنابر نظر آنان کاهش میزان سبزینه در شرایط تنش خشکی به سبب افزایش تخریب این رنگدانه‌ها و یا کاهش ساخت آنها و نیز اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول ساخت رنگدانه‌های نورساختی است. با افزایش شدت تنش آبی یا کاهش آب خاک، روند تخریب رنگدانه‌های سبزینه با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد.

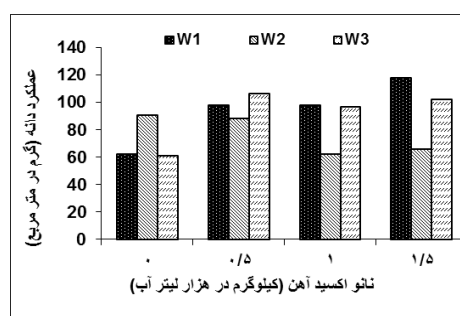
تیمار محلول‌پاشی نانو اکسید آهن و اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی نانو اکسید آهن در این بررسی تأثیر معنی‌داری بر میزان هدایت روزنه‌ای برگ‌ها، رنگدانه سبزینه b و کارتنوئید برگ در گیاه کنجد (رقم اولتان) داشت (جدول ۲). در شکل ۳ مشاهده می‌شود، بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای برگ در وضعیت شاهد (بدون تنش) و در طی استفاده از غلظت ۰/۵ کیلوگرم نانو اکسید آهن در ۱۰۰۰ لیتر آب به دست آمد ( $W_1F_2$ ). در این بین کمترین هدایت روزنه‌ای از تیمار  $W_1F_1$  به دست آمد.



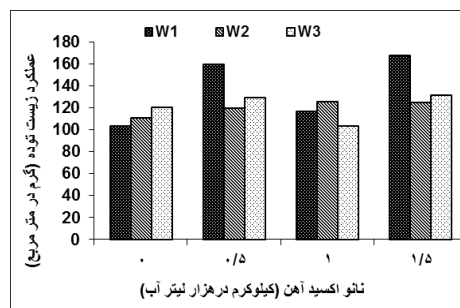
شکل ۳. اثر متقابل محلول‌پاشی نانو اکسید آهن و تنش خشکی بر هدایت روزنه‌ای برگ

باز شدن روزنه‌ها نتیجه افزایش پتانسیل فشاری یاخته‌های محافظ روزنه‌ها نسبت به یاخته‌های اطراف آن است. این آماس به سبب واکنش گیاه نسبت به محرک محیطی، که گاهی موجب ورود یون‌های پتاسیم که بر تنظیم فشار اسمزی اثر می‌گذارند، است.

*al.* (2008) در بررسی اثر زمان محلول‌پاشی نانوکود آلی کلات آهن بر صفات کمی و کیفی گندم دیم نشان دادند که محلول‌پاشی تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع سنبله، شمار دانه در هر سنبله و میزان آهن بذر دارد. در هر سه صفت، محلول‌پاشی در مرحله ساقه‌دهی در بالاترین سطح آماری قرار گرفت. *Mazaherinia et al.* (2009) نیز با کاربرد نانو اکسید آهن به همراه کمپوست دانه‌ای (گرانوله) گوگردی در یک خاک آهکی نتیجه گرفتند که عملکرد دانه، ارتفاع گیاه و وزن خشک گیاه گندم به طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت.



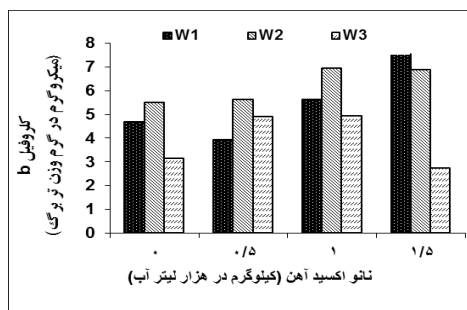
شکل ۱. اثر متقابل محلول‌پاشی نانو اکسید آهن و تنش خشکی بر عملکرد دانه



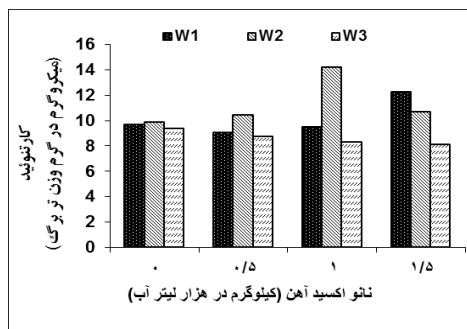
شکل ۲. اثر متقابل محلول‌پاشی نانو اکسید آهن و تنش خشکی بر عملکرد زیست‌توده

**رنگدانه‌های نورساختی و میزان هدایت روزنه‌ای برگ**  
 نتایج تجزیه آماری داده‌ها در جدول ۲ نشان داد تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر میزان رنگدانه‌های سبزینه a، سبزینه b، کارتنوئید و نیز میزان هدایت روزنه‌ای برگ‌ها داشت. مقایسه میانگین داده‌ها در جدول ۳ نشان داد، با بالا رفتن سطح تنش از  $W_1$  به  $W_3$  معادل ۱۰/۱ درصد از میزان هدایت روزنه‌ای برگ‌ها کاسته شد. در این بین کاهش در میزان رنگدانه‌های نورساختی از سطح خشکی  $W_2$  آغاز شد. این کاهش

در شرایط تنش خشکی به دلیل افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز و پراکسیداز از میزان سبزینه برگها کاسته می‌شود. Loggini *et al.* (1999) بیان کردند، به سبب کاهش میزان رنگدانه‌های نورساختی در گیاه گندم از میزان کارایی نظام نوری II کاسته شده، این امر موجب کاهش نورساخت و رشد در شرایط تنش خشکی می‌شود. Bagheri *et al.* (2012) بیان کردند تنش خشکی از میزان رنگدانه‌های نورساختی سبزینه a، سبزینه b و کارتنوئید در کنگد می‌کاهد. در این بین Hong & Ji-Yun (2007) بیان کردند مصرف برگی عناصر کم‌مصرف در شرایط تنش خشکی عملکرد ذرت را با بهبود بازده فتوشیمیایی، افزایش غلظت سبزینه و کاروتن، افزایش می‌دهد. Peyvandi *et al.* (2011) نیز گزارش کردند کاربرد نانوکلات آهن در غلظت‌های ۱، ۳ و ۵ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش محتوای سبزینه a، b، (a+b) و کارتنوئید در گیاه ریحان شد. افزایش غلظت سبزینه در شرایط تنش با کاربرد ترکیبات نانو افزایش تولید در گیاهان را به دنبال خواهد داشت.



شکل ۴. اثر متقابل محلول پاشی نانو اکسید آهن و تنش خشکی بر میزان سبزینه b برگ



شکل ۵. اثر متقابل محلول پاشی نانو اکسید آهن و تنش خشکی بر میزان کارتنوئید برگ

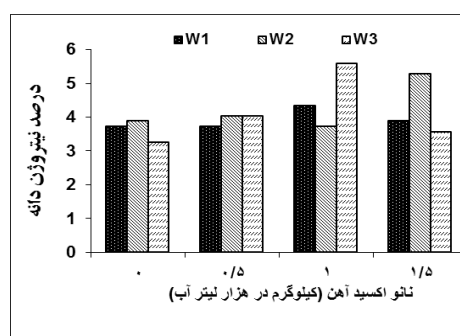
نور، پایین بودن غلظت گاز کربنیک، اسید آبیسیک و آب کافی از جمله عامل‌هایی هستند که ورود یون پتاسیم به درون یاخته‌های روزنه را تحریک می‌کنند. بنابراین تنش آبی می‌تواند اندازه شکاف روزنه‌ها را کاهش دهد. ممکن است این عمل با اسید آبیسیک انجام گیرد و سبب کاهش هدایت روزنه‌ای در برگ گیاهان تحت تنش خشکی شود. تنش خشکی با کاهش هدایت روزنه‌ای و نیز تأثیر بر سازوکارهای درونی برگ از فرآوری CO<sub>2</sub> در دسترس نیز جلوگیری می‌کند و بازدارنده انجام مناسب نورساخت در برگها می‌شود (Ritchie *et al.*, 1990).

یون‌های فلزی همچون آهن، روی، مس و منگنز در ساختمان بسیاری از آنزیم‌های پاداکسنده (آنتی‌اکسیدان) و نیز آنزیم‌های درگیر در فرایندهای حیاتی گیاهان مشارکت دارند. نتایج مطالعات گویای آن است که در شرایط تنش خشکی، به سبب تغییراتی که در جذب این دسته از عناصر به وجود می‌آید، فعالیت بسیاری از این آنزیم‌ها دچار اختلال می‌شود (Javanmardi *et al.*, 2003). از سوی دیگر افزایش آهن چه به صورت معمول و یا نانوذره با افزایش محتوای سبزینه برگ، سبب بهبود نورساخت خواهد شد. از این رو در این شرایط هدایت روزنه‌ای برگها افزایش می‌یابد (Chatterjee *et al.*, 2006).

در این آزمایش مشخص شد افزایش در غلظت نانو اکسید آهن موجب افزایش محتوای رنگدانه‌های نورساختی (سبزینه b و کارتنوئید) در گیاه کنگد شده است. همان‌طور که در شکل‌های ۴ و ۵ مشاهده می‌شود با افزایش غلظت نانو اکسید آهن از سطح F<sub>1</sub> به F<sub>4</sub> بر میزان سبزینه b افزوده شد و این افزایش برای کارتنوئید تا سطح F<sub>3</sub> بود. در این بین بالاترین میزان سبزینه b در شرایط نبود تنش خشکی و در غلظت ۱/۵ کیلوگرم نانو اکسید آهن در ۱۰۰۰ لیتر آب (W<sub>1</sub>F<sub>4</sub>) و کارتنوئید در تیمار W<sub>2</sub>F<sub>3</sub> به دست آمد. اما در مورد سبزینه a، هر چند بین دو تیمار W<sub>2</sub> و W<sub>1</sub> تفاوتی در میزان سبزینه a مشاهده نشد، کمترین میزان سبزینه a در تیمار W<sub>3</sub> به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد (W<sub>1</sub>) کاهشی معادل ۲۶/۱ درصد داشت (جدول ۳).

## عناصر کانی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد، اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی نانو اکسید آهن تنها تأثیر معنی داری بر درصد نیتروژن دانه داشت. در شکل ۶ مشاهده می‌شود در هنگام تیمار بدون تنش خشکی (شاهد)، افزایش سطح تنش از  $W_1$  به  $W_3$  و نیز غلظت نانو اکسید آهن بر درصد نیتروژن دانه‌ها افزوده شده است. این افزایش تا سطح  $F_3$  بود. در این بین مشخص شد بیشترین درصد نیتروژن دانه مربوط به تیمار  $W_3F_3$  است. Heidari *et al.* (2011) در بررسی کودهای آهن و گوگرد در شرایط تنش خشکی در گیاه کنجد گزارش کردند، تنش خشکی سبب افزایش درصد نیتروژن دانه‌ها می‌شود. El-Fouly *et al.* (2011) بیان کردند، محلول پاشی آهن و منگنز سبب افزایش غلظت پتاسیم، نیتروژن، آهن و منگنز در اندام هوایی و دانه گندم شد. با توجه به نقش ساختاری عناصر ریزمغذی از جمله آهن در برخی آنزیم‌ها و نیز نقش مؤثری که در ساخت پروتئین‌ها دارند، مشخص شد با افزایش کاربرد آنها بر عملکرد و مقاومت گیاهان تحت تنش افزوده می‌شود. در این آزمایش نیز مشخص شد در شرایط بروز تنش خشکی، تا سطح  $F_3$  تیمار نانو اکسید بر درصد نیتروژن دانه‌ها در کنجد (رقم اولتان) افزوده است (شکل ۶).



شکل ۶. اثر متقابل محلول پاشی نانو اکسید آهن و تنش خشکی بر درصد نیتروژن دانه

داده‌ها بر پایه آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد نشان داد، بیشترین میزان پتاسیم دانه در دور آبیاری هفتگی (شاهد) با میانگین  $28.0/4$  میلی‌گرم در گرم وزن خشک دانه به دست آمد و با بالا رفتن سطح تنش از میزان آن نیز کاسته شد. به طوری که کمترین میزان پتاسیم دانه در سطح تنش خشکی  $W_3$  به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد کاهش معنی معادل  $32/8$  درصد داشت (جدول ۳). همسان نتایج این آزمایش، Bagheri (2010) در بررسی تنش خشکی بر محتوای یونی چهار رقم گندم گزارش کرد، خشکی روی جذب کلسیم توسط گیاه اثری نداشته اما موجب کاهش غلظت پتاسیم در دانه‌ها شد. وی مشاهده کرد که هر چند در آغاز در نتیجه بروز تنش خشکی غلظت پتاسیم افزایش یافت اما با افزایش سطح تنش از غلظت پتاسیم دانه‌ها کاسته شد. Aein (2011) گزارش کرد، قطع آبیاری در مرحله رویشی (مرحله ۴-۶ برگ) تا شروع گلدهی و در پی آن بروز تنش خشکی موجب افزایش میزان پتاسیم در برگ‌های کنجد شد. اما در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا پایان دوره رشد موجب کاهش میزان پتاسیم برگ شد.

تیمار محلول پاشی نانو اکسید آهن در این بررسی، تأثیر معنی داری بر میزان پتاسیم دانه‌ها در کنجد داشت، اما بیشترین میزان پتاسیم دانه‌ها در شرایط بدون کاربرد نانو اکسید (شاهد) به دست آمد. با افزایش غلظت نانو اکسید، از میزان پتاسیم دانه‌ها نیز کاسته شد (جدول ۳). Hu & Schmidhalter (2005) اعلام کردند پتاسیم عنصری است که در ساخت برخی از پروتئین‌ها، تنظیم اسمزی و نیز در باز و بسته کردن دهانه روزنه‌ها برای نورساخت دخالت دارد و بیشتر در ریشه و اندام هوایی گیاهان به کار گرفته می‌شود و میزان کمی از آن در دانه‌ها اندوخته می‌شود.

## نتیجه‌گیری کلی

از نتایج به دست آمده در این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت، گرچه گیاه کنجد تا حدی مقاوم به خشکی است اما تنش خشکی هنگامی می‌تواند بر این گیاه تأثیر سوء داشته باشد که دور آبیاری از ۱۲ روز بیشتر شود. ممکن است بتوان با توجه به نتایج این تحقیق و

نتایج تجزیه آماری این آزمایش نشان داد در بین دیگر عناصر مورد بررسی، تنها غلظت پتاسیم دانه تحت تأثیر دو تیمار تنش خشکی و محلول پاشی نانو اکسید آهن قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین



از میزان عملکرد و اجزای عملکرد دانه کنگد کاسته شد، اما از طریق محلول پاشی نانو اکسید آهن تا حدی میزان رنگدانه‌های نورساختی، جذب عناصر کانی و اجزای عملکرد دانه آن افزوده و در نهایت به افزایش عملکرد دانه در آن منجر شد. در این بین در شرایط بروز تنش خشکی بهترین سطح نانو کود اکسید آهن مربوط به سطوح  $F_2$  و  $F_3$  بودند.

### سپاسگزاری

این طرح با حمایت مالی ستاد ویژه توسعه فناوری نانو انجام گرفت. بدین وسیله از حمایت‌های آن ستاد قدردانی ویژه می‌شود.

دیگر تحقیقات تأییدکننده این نتایج، با افزایش زمانی دور آبیاری، از کاربرد بیهوده آب پرهیز کرد و در شرایط کم‌آبی کشاورزان نیز تشویق به کشت گیاهان کم‌توقع نسبت به آب شوند. همچنین در این شرایط از میزان سبزینه  $a$  و  $b$  کاسته و بر میزان مقاومت روزنه‌ای در آن افزوده شد. این نتایج می‌تواند تا حدی توجیه‌کننده کاهش میزان نورساخت در بروز تنش خشکی بالا در این گیاه باشد. کاربرد بهینه کود در گیاه کنگد ضمن افزایش عملکرد دانه موجب افزایش مقاومت گیاه در مقابل تنش‌های محیطی مانند خشکی و افزایش بازده مصرف آب در آن می‌شود. هر چند در این آزمایش و در سطوح بالای تنش خشکی،

### REFERENCES

1. Aein, A. (2011). Proline Changes, soluble carbohydrates and absorption of potassium, zinc and calcium in sesame genotypes under drought stress. *Journal of crop production under environmental stress*, 4(3), 39-47. (in Farsi)
2. Arnon, A.N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, 112-121.
3. Babaeian, M., Heidari, M. & Ghanbari, A. (2008). Effects of foliar micronutrient application on osmotic adjustments, grain yield and yield components in sunflower (Alster cultivar) under water stress at three stages. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 40(12), 119-129. (in Farsi)
4. Bagheri, A. R. (2010). The effect of drought stress on yield, yield components and ion contents of four wheat cultivars. *Journal of Plant Ecophysiology*, 1(3), 15-30. (in Farsi)
5. Bagheri, E., Masoud Sinaki, J., Baradarn Firozabadi, M. & Abedini Esfahlani, M. (2012). The effect of foliar application of salicylic acid on chlorophyll pigments and fluorescence on varieties of sesame under irrigation regimes. *Journal of Crop Ecophysiology*, 3(27), 327-340. (in Farsi)
6. Bertamini, M., Nedunchezian, N. & Borghi, B. (2004). Effect of iron deficiency induced changes on photosynthetic pigments, ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase, and photosystem activities in field grown grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Pinot Noir) Leaves. *Photosynthetica*, 39, 59-65.
7. Bisht, S. S., Nautiyal, B. D. & Sharma, C. P. (2002). Biochemical changes under iron deficiency and recovery in tomato. *Journal of Plant Physiology*, 7, 183-186.
8. Chatterjee, C., Gopal, R. & Dube, B. K. (2006). Impact of iron stress on biomass, yield, metabolism and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Horticultural Science*, 108, 1-12.
9. Dilip, K., Ajumdar, M. & Roy, S. (1991). Response of summer sesame (*Sesamum indicum*) to irrigation, row spacing and plant population. *Indian Journal Agronomy*, 37, 758-762.
10. El-Fouly, M. M., Mobarak, Z. M. & 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.
11. Emami, A. (2006). Analytical methods for the plant. First volume. Soil and Water Research Institute. (in Farsi)
12. Eskandari, H., Zehtab Salmasi, S. & Ghasemi-Golozani, K. (2010). Evaluation of water use efficiency and grain yield of sesame cultivars as a second crop under different irrigation regimes. *Journal of Sustainable Agriculture Science*, 20(1), 39-51. (in Farsi)
13. Good, A. & Zaplachinski, S. (1994). The effects of drought on free amino acid accumulation and protein synthesis in *Brassica napus*. *Physiologia Plantarum*, 90, 9-14.
14. Goos, R.J. & Johnson, B. (2001). Seed treatment, seeding rate, and cultivar effects on iron deficiency chlorosis of soybean. *Journal of Plant Nutrition*, 24, 1255-1268.
15. Grattan, S.R. & Grieve, C.M. (1999). Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 78, 127-157.
16. Heidari, M., Galavi, M. & Hassani, M. (2011). Effect of sulfur and iron fertilizers on yield, yield components and nutrient uptake in Sesame (*Sesamum indicum* L.) under water stress. *Africa journal of biotechnology*, 10(44), 8816-8822.

17. Hemantaranjan, A. & Gray, O. K. (1988). Iron and zinc fertilization with reference to the grain quality of *triticumaestivum*. L. *Journal of Plant Nutrition*, 11, 1439-1450.
18. Hong, W. & Ji-Yun, J. (2007). Effects of zinc deficiency and drought on plant growth and metabolism of reactive oxygen species in maize. *Agricultural Sciences in China*, 6, 988-995.
19. Hu, Y., Fromm, J. & Schmidhalter, U. (2005). Effect of salinity on tissue architecture in expanding wheat leaves. *Planta*, 220, 838-848.
20. Javanmardi, J., Stushnoff, C., Locke, E. & Vivanco, J.M. (2003). Antioxidant activity and total phenolic content of Iranian *Ocimum basilicum*. *Food Chemistry*, 83, 547-50.
21. Loggini, B., Scartazza, A., Brugnoli, E. & Navari-Izzo, F. (1999). Antioxidative defense system, Pigment composition, and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to drought. *Journal of Plant physiology*, 119, 1091-1099.
22. Mazaherinia, M., Astaraei, A.R., Fotovat, A. & Monshi, A. (2009-2010). Effect of iron oxides (Ordinary and Nano) and municipal solid waste compost (MSWC) coated sulfur on wheat (*Triticum aestivum* L.) Plant iron concentration and growth. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(3), 855-861. (in Farsi)
23. Mehrabi, Z. & Ehsanzadeh, P. (2011). A study on physiological attributes and grain yield of sesame (*Sesamum indicum* L.). Cultivars under different soil moisture regimes. *Journal of Crop Improvement*, 13(2), 75-88. (in Farsi)
24. Monica, R.C. & Cremonini, R. (2009). Nanoparticles and higher plants. *Caryologia*, 62, 161-165.
25. Nazaran, M. H., Khalag, H., Labafi, M., Shamsabadi, M. & Razazi, A. (2008). Effect of Nano Iron chelate fertilizer on quality and quantitative of wheat. Preparing seed and plant improvement institute, Karaj. *Second National Conference on Applications of Nanotechnology in Agriculture*. (in Farsi)
26. Pandey, A. C., Sanjay, S. S. & Yadav, R. S. (2010). Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum* L. *Journal of Experimental Nanoscience*, 5, 488-497.
27. Peyvandi, M., Parande, H. & Mirza, M. (2011). Comparison on nano Fe chelate with Fe chelate on growth parameters and antioxidant enzymes active of *Ocimum Basilicum*. *New Cellular and Molecular Biotechnology*, 4, 89-99. (in Farsi)
28. Prasad, T. N. V. K. V., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Raja Reddy, K., Sreeprasad, T. S., Sajanlal, P. R. & Pradeep, T. (2012). Effect of nanoscales Zinc Oxide on the germination, growth and yield of peanut. *Journal of Plant Nutrition*, 35, 905-927.
29. Reddy, A.R., Chaitanya, K.V. & Vivekanandan, M. (2004). Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of plant physiology*, 161, 1189-1202.
30. Rezvani Moghaddam, P., Norozpoor, Gh., Nabati, J. & Mohammad Abadi, A. A. (2005). Effects of different irrigation intervals and plant density on morphological characteristics, grain and oil yields of sesame (*Sesamum indicum*). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 3(1), 57-68. (in Farsi)
31. Ritchie, S. W., Nguyen, H. T. & Haloday, A. S. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30, 105-111.
32. Vannier, H. & Marchal, J. (1992). Effect of mineral nutrition on mineral composition of leaves of 'Clemantin'. *Fruit Paris*, 19, 32-36.
33. Weiss, E.A. (2000). *Oilseed Crops*, 2<sup>nd</sup> Edition. Blackwell Sc. Ltd., Bodmin, UK.
34. ZarcoTejada, P.J., Miller, J.R., Mohammad, G.H., Noland, T.L. & Sampson, P.H. (2000). Chlorophyll fluorescence effects on vegetation apparent reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 74, 596-608.

## Effect of drought stress and foliar application of iron oxide nanoparticles on grain yield, iron content and photosynthetic pigments in sesame (*Sesamum indicum* L.)

Mostafa Heidari<sup>1\*</sup>, Maryam Goleg<sup>2</sup>, Hadi Ghorbani<sup>3</sup> and Mehdi Baradarn Firozabad<sup>4</sup>

1, 2, 3, 4. Associate Professor, M. Sc. Student and Associate Professors, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Shahrood, Iran

(Received: Jun. 1, 2015 - Accepted: Aug. 26, 2015)

### ABSTRACT

In order to study the effects of drought stress and foliar application of iron oxide nanoparticles on sesame plants, a field experiment was laid in Faculty of Agriculture, University of Shahrood in 2014. The design of experiment was in split plot with blocks completely randomized in three replicates. Drought stress,  $W_1=7$ ,  $W_2=12$  and  $W_3=17$  irrigation time, were randomized in main plots with four concentrations of foliar application of iron oxide nanoparticles,  $F_1 = 0$ ,  $F_2 = 0.5$ ,  $F_3 = 1$  and  $F_4 = 1.5$  kg at 1000 l water, in sub-plots. Results showed that the interaction between drought stress and iron oxide nanoparticles had significant effect on grain yield, biomass, leaf stomatal conductance, chlorophyll "b" and carotenoids content in leaves, and seed nitrogen. The results indicated that the highest grain yield and biomass were obtained at  $W_1F_3$ , stomatal conductance at  $W_1F_2$ , chlorophyll "b" at  $W_1F_4$ , carotenoids at  $W_2F_3$  and seed nitrogen at the  $W_3F_3$  treatments. Moreover, the number of branches per plant and the concentration of potassium in seeds were significantly affected by both treatments. However, phosphorus in seeds, and potassium and phosphorus in leaves remained unchanged under treatments. Number of seeds and seed weight per capsule decreased about 12.3 and 27.7%, respectively by worsening the drought condition from  $W_1$  to  $W_3$ . In general, it can be stated that in the drought stress condition, foliar application of iron oxide nanoparticles about 1 kg per thousand liters of water improves the physiological characteristics of sesame and grain yield.

**Keywords:** drought stress, nano-iron, nutrient elements, physiological parameters, sesame (oltan cultivar).