

تأثیر سطوح آبیاری و کودهای نانو و معمولی روی و سیلیس بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب در آفتابگردان

Effect of irrigation regimes and application of nano and conventional ZnO and SiO₂ fertilizers on yield, yield components and water use efficiency of sunflower (*Helianthus annuus* L.)

نرگس اسدزاده^۱، سید غلامرضا موسوی^{۲*} و محمد جواد ثقه الاسلامی^۲

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد زراعت، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران.
۲. دانشیار گروه کشاورزی، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران. (نگارنده مسئول)

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۸/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۷/۱۱

چکیده

اسدزاده، الف، موسوی، س. غ.، ثقه الاسلامی، م. ج. تأثیر سطوح آبیاری و کودهای نانو و معمولی روی و سیلیس بر عملکرد، اجزای عملکرد و راندمان مصرف آب در آفتابگردان
نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۰ - شماره ۱ - پیاوند ۱۱۴ بهار ۹۶: ۱-۱۷

به منظور بررسی اثر محلول پاشی اکسیدهای معمولی و نانو روی و سیلیس در شرایط تنش کم آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب آفتابگردان آزمایشی به صورت کرت های خردشده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند اجرا گردید. دو سطح آبیاری (آبیاری پس از ۱۰۰ و ۲۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر) به عنوان فاکتور اصلی و تیمارهای محلول پاشی روی و سیلیس در ۷ سطح (اکسید روی، اکسید سیلیس، نانو اکسید روی، نانو اکسید سیلیس، اکسید روی + اکسید سیلیس، نانو اکسید سیلیس و شاهد یا عدم محلول پاشی) به عنوان فاکتور فرعی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که با اعمال تنش کم آبی قطر طبق، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد روغن نسبت به تیمار بدون تنش به ترتیب ۱۶/۹، ۳۹/۵، ۱۸/۵، ۵۰/۳، ۳۳/۳ و ۵۱/۵ درصد کاهش یافت اما کارایی مصرف آب برای بیوماس ۱۶/۱ درصد افزایش یافت. همچنین کاربرد اکسید روی، قطر طبق، تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه، عملکرد روغن و کارایی مصرف آب برای تولید دانه، بیوماس و عملکرد روغن را به طور معنی دار و به ترتیب ۱۰/۲، ۴۲/۹، ۵۹/۷، ۷۰/۳، ۵۲/۴، ۲۸/۷ و ۶۰ درصد نسبت به تیمار عدم محلول پاشی افزایش داد. به طور کلی بر اساس نتایج، استفاده از تیمار دور آبیاری پس از ۱۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی و محلول پاشی با اکسید روی در زراعت آفتابگردان در شرایط این تحقیق پیشنهاد می گردد.

واژه های کلیدی: تنش کم آبی، دانه روغنی، ریز مغذی، قطر طبق، هزار دانه.

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: s_reza1350@yahoo.com

مقدمه

شیمیایی مرسوم در محیط زیست و کیفیت غذا ایجاد می کنند، مدتهاست که استفاده از روشهای جدید از جمله استفاده از نانوکودها برای حاصلخیزی خاک و تامین عناصر غذایی گیاهان مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. درحقیقت، فناوری نانو فرصتهای جدیدی را به منظور افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی و به حداقل رساندن هزینه های حفاظت از محیط زیست، فراهم نموده است (Naderi & Abedi, 2012).

تنش کم آبی بر هیبریدهای آفتابگردان در منطقه کرج، عملکرد دانه آفتابگردان را ۸۳ درصد کاهش داد (Ajaberi *et al.*, 2007). طی آزمایش دیگری نیز تنش کم آبی عملکرد دانه را کاهش داد (Farahvash *et al.*, 2011). تیمار آبیاری بعد از ۵۰ میلی متر تبخیر، بالاترین عملکرد دانه با میانگین ۴۸۶۵ کیلوگرم در هکتار را تولید نمود. کمترین عملکرد دانه مربوط به تیمار آبیاری پس از ۲۵۰ میلی متر تبخیر بود. در یک بررسی نیز مشخص شد که کم آبی موجب کاهش معنی دار عملکرد دانه و تعداد دانه در طبق آفتابگردان گردید (Rahimizadeh *et al.*, 2010). در بررسی دیگری علت کاهش معنی دار عملکرد آفتابگردان در اثر تنش کم آبی، کاهش تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه گزارش شد (Rezaei, 2007).

افزایش معنی دار عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا در شرایط آب و هوایی ایلام با کاربرد روی گزارش شده است (Barary *et al.*, 2011). در تحقیق دیگری عملکرد دانه ماش در شرایط محلول پاشی با روی نسبت به شاهد به طور

دانه های روغنی پس از غلات، دومین منبع غذایی اصلی در جهان به شمار می آیند. آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) یکی از چهار گیاه روغنی مهم است که در بسیاری از نقاط دنیا جهت تولید روغن خوراکی کشت می شود (Jamshidi *et al.*, 2011) و دارای سیستم ریشه ای عمیق و متحمل به خشکی است (Angadi & Entz, ۲۰۰۲).

خشکی مهمترین عامل محیطی محدود کننده تولید در گیاهان زراعی می باشد. یکی از اثرات تنش کم آبی بر هم زدن تعادل تغذیه ای در گیاه است و در این شرایط مصرف عناصر غذایی کم مصرف از طریق محلول پاشی، می تواند وضعیت رشد گیاه را در شرایط تنش بهبود بخشد (Paygzar *et al.*, 2009). روی عنصر کم مصرف بسیار مهمی است که وجود آن برای فعالیتهای متابولیکی در گیاهان ضروری است (Hasegawa *et al.*, 2008). گرچه نیاز گیاهان به روی اندک است ولی اگر مقدار کافی از این عنصر در دسترس نباشد، گیاهان از تنش های فیزیولوژیکی حاصل از ناکارایی سیستمهای متعدد آنزیمی و دیگر اعمال متابولیکی مرتبط با روی رنج خواهند برد (Baybordi, 2006). از طرفی جذب سیلیس به وسیله گیاه اثرات مفیدی مانند افزایش مقاومت به آفات و بیماریها (Hossain *et al.*, 2007)، تحمل به تنش های غیر زنده (Liang *et al.*, 2005) و بهبود کیفیت و عملکرد محصول (Kamenidou *et al.*, 2010) را به همراه دارد. از طرفی به دلیل اثرات مضر که کودهای

شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۱۴۹۱ متری از سطح دریا اجرا گردید. ویژگی های خاک محل آزمایش در جدول ۱ آمده است. آزمایش به صورت کرت های خردشده در قالب بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. آبیاری به عنوان فاکتور اصلی در دو سطح (آبیاری پس از ۱۰۰ و ۲۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر ایستگاه هواشناسی واقع در ۲ کیلومتری مزرعه) و محلول پاشی روی و سیلیس به عنوان فاکتور فرعی در ۷ سطح (نانو اکسید روی، نانو اکسید سیلیس، اکسید روی، اکسید سیلیس، نانو اکسید روی + نانو اکسید سیلیس، اکسید روی + اکسید سیلیس و تیمار شاهد یا عدم محلول پاشی ریزمغذی) در نظر گرفته شد. هر کرت آزمایشی شامل ۴ خط کشت ۶ متری با فاصله ۵۰ سانتیمتر بود. محلول پاشی روی و سیلیس در دو مرحله (دو هفته قبل از گل دهی و دو هفته بعد از گل دهی) و با توجه به نتایج تجزیه خاک صورت گرفت و نانو اکسیدهای روی و سیلیس هر کدام با غلظت ۰/۵ در هزار و اکسیدهای معمولی روی و سیلیس هر کدام با غلظت ۵ در هزار مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که برای محاسبه دقیق میزان آب ورودی به هر کرت، آبیاری با استفاده از سیستم تحت فشار مجهز به لوله و کنتور و برای هر کرت به طور جداگانه انجام شد و انتهای جوی های هر کرت آزمایشی نیز مسدود گردید. شوری آب آبیاری نیز ۳/۳۵ دسی زیمنس بر متر بود.

برای آماده سازی زمین ابتدا عملیات شخم در پائیز انجام شد و در اواسط اردیبهشت ۱۳۹۳

معنی دار و به میزان ۳۵ درصد افزایش یافت (Jalilian *et al.*, 2014). کودهای سیلیکاته سبب کاهش تعرق شده و با اثر بر رشد رویشی گیاه و افزایش ماده خشک، موجب بالا رفتن عملکرد گیاه می شود (Agarie *et al.*, 1996). در بررسی دیگری گزارش شد که سیلیس باعث افزایش تعداد خوشه و وزن دانه در برنج می گردد و بر کیفیت و عملکرد دانه اثر می گذارد (Agarie *et al.*, 1993). هر چند گزارش های کمتری در خصوص تاثیر کودهای نانو بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی وجود دارد، اما تاثیر مثبت عناصر غذایی نانو بر رشد برخی از گیاهان از جمله ذرت (Moaveni & kheiri, 2010)، بادام زمینی (Prasad *et al.*, 2012) و نخود (Pandey *et al.*, 2010) وجود دارد. پژوهشگران در آزمایش دیگری گزارش کردند که کاربرد ذرات نانو اکسید سیلیس (SiO_2) و اکسید تیتانیوم فعالیت نترات ردوکتاز را در سویا افزایش داد و توانایی جذب و استفاده از آب و کود را تشدید نمود (Lu *et al.*, ۲۰۰۲).

با توجه به مطالب فوق و ضرورت مطالعه بیشتر در خصوص کاربرد تکنولوژی جدید نانو در تغذیه گیاهی، این پژوهش به منظور بررسی تاثیر سطوح آبیاری و کودهای نانو و معمولی روی و سیلیس بر صفات عملکردی و کارایی مصرف آب آفتابگردان در بیرجند اجرا گردید.

مواد و روش ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند (کیلومتر ۵ جاده بیرجند- زاهدان) واقع در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۳ درجه

جدول ۱- ویژگی های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physicochemical properties of the soil at experiment location

pH	EC (ds.cm ⁻¹)	OC (%)	Texture soil	N (total) (%)	P(ava) ppm	K(ava) Ppm	Fe mg.kg ⁻¹	Cu mg.kg ⁻¹	Zn mg.kg ⁻¹
7.42	6.21	0.067	Sandy loam	0.08	16.4	501	2.73	0.83	0.68

لازم به ذکر است که تعداد دفعات آبیاری در تیمارهای آبیاری پس از ۱۰۰ و ۲۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر به ترتیب ۲۱ و ۱۱ نوبت و حجم آب مصرفی در این تیمارها به ترتیب ۹۷۵۰ و ۵۶۰۰ متر مکعب بوده است. میزان تبخیر تجمعی، میانگین دمای حداکثر و حداقل ماهیانه و حجم آب مصرفی در ماه های مختلف اجرای تحقیق در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- میزان تبخیر تجمعی، میانگین دمای حداکثر و حداقل و حجم آبیاری در ماه های خرداد تا مهر ۱۳۹۳

Table 2- Cumulative evaporation rate, means of maximum and minimum temperature and irrigation volume from May- June to September-October of 2014

Month	ماه	درجه حرارت		تبخیر تجمعی (میلیمتر)	حجم آبیاری پس از Irrigation volume after	
		حداکثر (سانتی گراد)	حداقل (سانتی گراد)		۱۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی 100 mm cumulative evaporation	۲۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی 200 mm cumulative evaporation
May-June	خرداد	35.02	22.84	408.8	1900	1575
June-July	تیر	38.89	24.33	521	2600	1200
July-August	مرداد	39.95	25.83	527.5	2800	1875
August-September	شهریور	35.05	19.83	403.2	1805	950
September- October	مهر	29.53	10.12	256.7	645	-

ها روی ردیف ۲۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد. کنترل علف های هرز در طول دوره رشد از طریق وجین دستی صورت گرفت. کود اوره به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار به صورت سرک در تمام تیمارها در دو مرحله (نصف در مرحله چهار برگی شدن و نصف دیگر در مرحله ظاهر شدن غنچه طبق) به مزرعه داده شد.

برداشت بوته های آفتابگردان در تیمارهای آبیاری پس از ۱۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی در ۱۸ مهر و در تیمارهای آبیاری پس از ۲۰۰ میلیمتر

پس از دو دیسک عمود بر هم تسطیح زمین انجام گرفت. سپس با استفاده از تراکتور و فاروئر در اواخر اردیبهشت زمین به صورت جوی و پشته آماده شد و نقشه طرح پیاده گردید. بر اساس نتایج تجزیه خاک (جدول ۱)، کودهای سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم به ترتیب ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت و انجام دیسک به زمین داده شد. بذور آفتابگردان رقم سیرنا در تاریخ ۷ خرداد به صورت دستی کشت گردید. پس از تنک کردن نهایی فاصله بوته

دست آمده از هر کرت، یک نمونه ۱۰ گرمی جدا و درصد روغن آن در آزمایشگاه، با روش سوکسله و توسط دستگاه سوکسله (Model 2050) و با استفاده از حلال غیر قطبی هگزان تعیین شد (Eyvazzadeh *et al.*, 2010). عملکرد روغن نیز از حاصلضرب درصد روغن در عملکرد دانه به دست آمد.

با توجه به عدم بارندگی در طی دوره رشد گیاه، محاسبه کارایی مصرف آب برای تولید دانه، بیوماس (ماده خشک) و روغن در واحد سطح از فرمول های زیر محاسبه گردید (Mokhtari *et al.*, 2013):

معادله (۳)

آب مصرف شده/عملکرد دانه = کارایی
مصرف آب (کیلوگرم دانه بر متر مکعب آب)
معادله (۴)

آب مصرف شده/عملکرد بیوماس = کارایی
مصرف آب (کیلوگرم بیوماس بر متر مکعب
آب)

معادله (۵)

آب مصرف شده/عملکرد روغن = کارایی
مصرف آب (کیلوگرم روغن بر متر مکعب
آب)

در پایان تجزیه و تحلیل آماری داده های حاصل از این آزمایش با استفاده از نرم افزار MSTAT-C انجام شد. مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

تبخیر تجمعی در ۴ مهر و هنگامی که پشت طبق ها در ۹۰ درصد بوته ها به رنگ زرد مایل به قهوه ای در آمد، انجام شد. برای تعیین عملکرد در واحد سطح بعد از بوجاری بذور از ۲۰ طبق انتخاب شده هر کرت (مساحت ۲ متر مربع با رعایت اثر حاشیه ای)، دانه ها برای رسیدن به وزن ثابت در هوای آزاد خشک شدند و سپس با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱ توزین شدند. جهت به دست آوردن وزن هزار دانه آفتابگردان در تیمارهای مختلف، از توده بذر خالص هر کرت یک نمونه ۱۰۰۰ تایی بذر توسط دستگاه بذرشمار به طور تصادفی مجزا شد و توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱ وزن شد. محاسبه تعداد دانه در طبق نیز بر اساس وزن هزار دانه و عملکرد دانه ۲۰ طبق با استفاده از روابط زیر انجام شد (Ansarinia, 2011):

$$\text{معادله (۱)} \quad Z=X/Y$$

$$\text{معادله (۲)} \quad D=(Z \times 1000)/20$$

در این رابطه ها X عملکرد دانه (گرم در متر مربع)، Y وزن هزار دانه (گرم)، Z تعداد واحدهای ۱۰۰۰ تایی دانه در ۲۰ طبق و D تعداد دانه در طبق می باشد. پس از جداسازی بذور از طبق های هر واحد آزمایشی، ساقه، برگ و طبق بدون بذر هر کرت آزمایشی در دمای ۷۲ درجه سانتیگراد تا رسیدن به وزن ثابت در آون قرار داده شد و سپس با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱ گرم، وزن خشک کل بوته بدون بذر توزین شد و از حاصل جمع این عدد و عملکرد دانه در هر کرت، عملکرد بیولوژیک محاسبه گردید.

برای تعیین درصد روغن دانه، از بذور به

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات عملکردی و کارایی مصرف آب در آفتابگردان تحت تأثیر آبیاری و کود

		Mean of squares									
		میانگین					مربعیات				
Sources of variation	منابع تغییرات	درجه آزادی	قطر	تعداد دانه	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	عملکرد روغن	مصرف آب برای دانه	مصرف آب برای بیوماس	مصرف آب برای روغن
		df	Diameter head	Seed number in head	1000-seed weight	Seed yield	Biological yield	Oil yield	WUE for seed	WUE for biomass	WUE For oil
Replication	تکرار	2	0.04 ^{ns}	1819.82 ^{ns}	82.87 ^{ns}	185716.81 ^{ns}	1242206.98 ^{ns}	35960.48 ^{ns}	0.0023 ^{ns}	0.0174 ^{ns}	0.00042 ^{ns}
Irrigation (A)	آبیاری (A)	1	19.75*	57455.82*	707.25*	3147958.50*	17984077.25*	626331.48*	0.0023 ^{ns}	0.048*	0.00006 ^{ns}
Error a	خطای a	2	0.349	3018.12	31.07	111540.25	430662.44	20575.10	0.00094	0.0025	0.00027
Fertilizer (B)	کود (B)	6	0.98*	5131.40*	22.52 ^{ns}	204348.82*	229098.35 ^{ns}	34606.22*	0.00147*	0.0099*	0.00049*
A × B	A × B	6	0.58 ^{ns}	1537.74 ^{ns}	19.95 ^{ns}	102050.20 ^{ns}	414184.59 ^{ns}	27120.17 ^{ns}	0.00103 ^{ns}	0.0031 ^{ns}	0.00036 ^{ns}
Error b	خطای b	24	0.32	1708.18	21.04	74418.04	391967.47	13509.71	0.005	0.0034	0.00016
C.V. (%)	ضریب تغییرات (%)	-	12.7	17.4	15.9	17.4	13.4	12.8	29.4	11.56	19.1

^{ns}، * و ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد
^{ns}، * and ** represent non-significance, significance at 5 and 1% level, respectively

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های اثرات ساده تیمار آبیاری و تیمار کودی بر قطر طبق، صفات عملکردی و کارایی مصرف آب در آفتابگردان

Table 4. Means comparison for diameter head, irrigation and water use efficiency traits in sunflower as affected by simple effects of irrigation and fertilizer treatments

Treatment	تیمار	Diameter head (cm)	Seed number in head	1000-seed weight (g)	Seed yield (kg. ha ⁻¹)	Biological yield (kg. ha ⁻¹)	Oil yield (kg. ha ⁻¹)	WUE for seed (kg. m ⁻³)	WUE for biomass (kg. m ⁻³)	WUE for oil (kg. m ⁻³)
آبیاری پس از										
Irrigation after										
200 mm cumulative										
evaporation	۲۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی	6.75b	113.36b	36.11b	541.65b	2621.72b	230.32b	0.097a	0.468a	0.041a
100 mm cumulative										
evaporation	۱۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی	8.12a	187.33a	44.31a	1089.20a	3930.45a	475.56a	0.112a	0.403b	0.049a
Fertilizer										
کود										
Control										
	شاهد	6.64b	128.62b	37.23a	649.49c	3030.14a	272.75c	0.082d	0.349c	0.035c
ZnO										
	اکسید روی	7.32a	183.76a	41.32a	1037.16a	3477.28a	464.39a	0.125a	0.449ab	0.056a
nano ZnO										
	نانو اکسید روی	7.56a	153.08ab	38.98a	809.29bc	3219.18a	361.32b	0.102bc	0.427b	0.045b
SiO ₂										
	اکسید سیلیس	7.63a	155.93ab	41.19a	843.06b	3348.28a	369.49b	0.114ab	0.462a	0.050ab
nano SiO ₂										
	نانو اکسید سیلیس	7.68a	158.83ab	43.09a	917.80b	3565.99a	424.44ab	0.118a	0.477a	0.055a
ZnO+ SiO ₂										
	اکسید روی + اکسید سیلیس	7.32a	132.49b	40.68a	715.07c	3116.58a	258.63c	0.092cd	0.421b	0.034d
nano ZnO+ nano SiO ₂										
	نانو اکسید روی + نانو اکسید سیلیس	7.89a	139.70b	38.99a	736.09c	3175.14a	315.56bc	0.095cd	0.419b	0.040bc

میانگین‌های دارای حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن ۵ درصد فاقد تفاوت آماری معنی‌دار می‌باشند

Means followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using Duncan's test

قطر طبق

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار آبیاری و کود بر قطر طبق در سطح ۵ درصد معنی دار شد اما اثر متقابل آبیاری و کود بر این صفت معنی دار نبود (جدول ۳). مقایسه میانگین های قطر طبق بیانگر کاهش ۱۶/۹ درصدی در تیمار آبیاری پس از ۲۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی نسبت به تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر است (جدول ۴). کاهش قطر طبق می تواند ناشی از کاهش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی در شرایط تنش کم آبی باشد که سبب کاهش تعداد دانه در آن نیز شده است. به نظر می رسد که قطر طبق از اساسی ترین صفاتی است که تحت تاثیر تنش رطوبتی افت می کند و بر سایر اجزای عملکرد تاثیر می گذارد. از آنجایی که در شرایط تنش خشکی بخش اعظم مواد غذایی مورد نیاز دانه از مواد ذخیره شده در ساقه و طبق تامین می شود، پس قطر ساقه و طبق با افزایش شدت کم آبی کاهش می یابد. اندازه طبق در آفتابگردان می تواند نشانگر پتانسیل عملکرد آن باشد زیرا گل های بارور سطح طبق پس از تلقیح تبدیل به دانه می شوند. کاهش معنی دار قطر طبق با اعمال تنش کم آبی توسط (2011) Ansarinia نیز گزارش شده است. بیشترین قطر طبق با میانگین ۷/۸۹ سانتیمتر از تیمار محلول پاشی نانو اکسید روی + نانو اکسید سیلیس حاصل شد که از برتری معنی دار و ۱۸/۸ درصدی نسبت به تیمار عدم محلول پاشی برخوردار بود، اما بین تیمارهای کاربرد کود تفاوت معنی داری مشاهده نشد (جدول ۴). به نظر می رسد کاربرد ریزمغذی ها از

طریق افزایش سطح و دوام برگ (Malakoti & Lotfolahi, 2004) و نیز افزایش کلروفیل برگ و فعالیت آنزیم ها (Marschner, 2012)، باعث افزایش توان فتوسنتزی گیاه شده و امکان تشکیل طبق های بزرگتر را به علت اختصاص مواد فتوسنتزی بیشتر به طبق فراهم آورده است. Sepehr & Malakouti (1997) نیز به نقش مثبت محلول پاشی روی و آهن در افزایش توان فتوسنتزی و قطر طبق آفتابگردان اشاره کرده اند.

تعداد دانه در طبق

اثر تیمار آبیاری و کود به طور معنی دار تعداد دانه در طبق را تحت تاثیر قرار داد اما اثر متقابل آبیاری و کود بر این صفت معنی دار نبود (جدول ۳). مقایسه میانگین ها بیانگر کاهش ۳۹/۵ درصدی تعداد دانه در طبق در تیمار آبیاری پس از ۲۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی نسبت به تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی است (جدول ۴). تعداد دانه در طبق آفتابگردان از اجزای مهم و موثر در عملکرد دانه می باشد و عامل ایجاد تغییرات در این صفت، تعداد گلها در طبق و باروری آنها است که در شرایط کم آبی به علت عقیم شدن دانه های گرده از یک سو و کاهش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی و کاهش قطر طبق از سوی دیگر به مقدار زیادی از تولید دانه در طبق کاسته می شود. به عبارتی بروز تنش کم آبی در طی رشد گیاه از طریق کاهش سطح برگ و ریزش آنها منجر به کاهش منبع فتوسنتزی گیاه و افت فعالیت آنزیم های موثر بر این فرآیند شده و باعث کاهش اندازه طبق و تعداد گل های طبق می گردد (Roshdi *et al.*, 2006). احتمالا اختلال در گرده افشانی

آزمایش در رابطه با افزایش تعداد دانه در طبق در اثر محلول پاشی روی با مطالعه (Mirzapoor *et al.*, 2004) مطابقت دارد.

وزن هزار دانه

تیمار آبیاری اثر معنی داری بر وزن هزار دانه نشان داد اما اثر ساده تیمار کود و اثر متقابل آبیاری و کود بر این صفت معنی دار نبود (جدول ۳). بر اساس مقایسه میانگین ها، وزن هزار دانه در تیمار آبیاری پس از ۲۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی با میانگین ۳۶/۱۱ گرم نسبت به تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی، ۱۸/۵ درصد کاهش یافت (جدول ۴). علت کاهش وزن هزار دانه در تیمار آبیاری پس از ۲۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی، احتمالاً کاهش جذب آب توسط گیاه و کاهش ساخت و انتقال مواد فتوسنتزی و شیره پرورده به دانه ها و نیمه پرماندن دانه ها به علت محدودیت منبع می باشد. به عبارتی می توان گفت که با وقوع تنش کم آبی در طول دوره رشد، منبع قوی برای تامین مواد فتوسنتزی وجود نداشته و بر اثر رقابتی که دانه ها در جذب مواد فتوسنتزی در مرحله پرشدن دارند، وزن هزار دانه کاهش می یابد. (Ansarinia, 2011) و (Yosefvand *et al.*, 2011) نیز در آفتابگردان، کاهش وزن هزار دانه در اثر تنش کم آبی را گزارش کردند. همچنین نتایج (Seghatoleslami & Forutani, 2015) نیز بیانگر عدم وجود تفاوت معنی دار وزن هزار دانه آفتابگردان در تیمارهای کاربرد و عدم کاربرد کودهای اکسید و نانو اکسید روی بود که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده

توسط حشرات در نتیجه کمبود آب طی مرحله گلدهی و گرده افشانی که باعث خشک شدن دانه های گرده و کلاله مادگی می شود را نیز بتوان به عنوان یکی از دلایل دیگر کاهش تعداد دانه بارور در طبق مطرح کرد. کاهش تعداد دانه در طبق در شرایط تنش کم آبی توسط سایر محققان (Orky *et al.*, 2010; Ansarinia, 2011) نیز گزارش شده است که نتایج تحقیق حاضر را تایید می کند. (Rahimizadeh *et al.*, 2010) کاهش ۲۷ درصدی تعداد دانه در طبق آفتابگردان را با اعمال تنش کم آبی شدید گزارش کردند.

مقایسه میانگین ها نشان داد بیشترین تعداد دانه در طبق با میانگین ۱۸۳/۷۶ عدد مربوط به تیمار کاربرد اکسید روی بود که از برتری معنی دار و ۴۲/۹ درصدی نسبت به تیمار عدم محلول پاشی برخوردار بود (جدول ۴). عنصر روی با شرکت در متابولیسم اسید جیبرلیک نقش بسزایی در تحریک فرآیند تقسیم سلولی (Malakoti & Lotfolahi, 2004) و در نتیجه افزایش سطح برگ دارد. به نظر می رسد که مصرف کود روی عمدتاً از طریق افزایش توان فتوسنتزی گیاه و تامین مواد فتوسنتزی به دلیل افزایش شاخص و دوام سطح برگ (Sepehr & Malakoti, 1997; Seghatoleslami & Forutani, 2015)، باعث افزایش اندازه طبق شده و در نتیجه امکان تشکیل دانه های بیشتری را در طبق فراهم کرده است. همچنین عنصر روی در سنتز پروتئین و کربوهیدرات ها، افزایش باروری و تولید دانه ضروری است (Malakoti & Lotfolahi, 2004). نتایج به دست آمده از این

کردن سطح تولید اکسیژن فعال ناشی از تنش و حمایت سلول های گیاهی در برابر حمله آن ایفا می کند (Hong & Jj-yun, 2007). کمبود روی مانع از سنتز پروتئین و متابولیسم کربوهیدراتها می شود. همچنین تراوایی غشاء پلاسمایی در گیاهان مبتلا به کمبود روی، افزایش یافته و منجر به خروج پتاسیم، نیترات و ترکیبات آلی از سلول ریشه می گردد (Malakoti & Lotfolahi, 2004). با توجه به مطالب فوق و نقش کود روی بر کارکرد فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه، به نظر می رسد که تیمار اکسید روی از طریق افزایش میزان فتوسنتز و بهبود دوام سطح برگ (Ebrahimian *et al.*, 2008) باعث افزایش عملکرد دانه می گردد و در شرایط تحقیق حاضر، تعداد دانه در طبق نقش موثرتری از جزء دیگر عملکرد (وزن هزار دانه) در افزایش عملکرد دانه دارد. گزارش های زیادی که در مورد اثر مثبت روی بر عملکرد گیاهان مختلف مشاهده شده است (Sheykhbaglou *et al.*, 2006; Thalooth *et al.*, 2010) نیز موید نتایج تحقیق حاضر می باشد. در یک مطالعه، افزایش عملکرد دانه در اثر مصرف روی به نقش آن در افزایش تولید تنظیم کننده های رشد مثل ایندول استیک اسید و کربوهیدرات ها و متابولیسم نیتروژن که سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد می شود، نسبت داده شده است (Fageria & Baligar, 2005).

کاهش عملکرد دانه در تیمار عدم مصرف روی و سیلیس (شاهد) را می توان به کاهش قطر طبق و تعداد دانه در طبق در این تیمار مربوط دانست. با این وجود گزارشات در خصوص

تیمار آبیاری و کود، عملکرد دانه را به طور معنی داری تحت تأثیر قرار داد اما این صفت نیز تحت تأثیر اثر متقابل آبیاری و کود قرار نگرفت (جدول ۳). تیمار آبیاری پس از ۲۰۰ میلیمتر تبخیر جمعی عملکرد دانه را نسبت به تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ میلیمتر تبخیر جمعی، ۵۰/۳ درصد کاهش داد (جدول ۴). احتمالاً کاهش عملکرد دانه بر اثر تنش کمبود آب می تواند ناشی از کاهش دوام و سطح برگ و بنابراین کاهش فتوسنتز و نیز افزایش اختصاص مواد فتوسنتزی به ریشه نسبت به بخش هوایی گیاه باشد. به عبارتی عملکرد دانه در شرایط آبیاری محدود به علت کاهش طول دوره رشد و پر شدن دانه، قطر طبق، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه (جدول ۴) کاهش یافته است. کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش کم آبی با نتایج (Yosefvand *et al.*, 2011) در آفتابگردان مطابقت دارد.

مقایسه میانگین ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۱۰۳۷/۱۶ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار محلول پاشی اکسید روی بود که ۵۹/۷ درصد نسبت به تیمار شاهد برتری داشت و همچنین از لحاظ آماری نسبت به دیگر تیمارهای کودی برتر بود (جدول ۴).

عنصر روی برای فعالیت آنزیم های مختلف مانند دهیدروژنازها، آلدولازها و پلی مرازها نیاز بوده و در سنتز تریپتوفان، تقسیم سلولی، ساختمان غشاء سلولی و پروتئین دخالت دارد (Marschner, 2012). همچنین عنصر روی از طریق شرکت در متابولیسم و فعالیت سوپر اکسید دسماتاز، پراکسیداز و کاتالاز نقش مهمی در کم

ماده خشک کاهش یافت. بر اساس نتایج تحقیق (Ansarinia, 2011) با تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، حداکثر عملکرد بیولوژیک (بیوماس) با میانگین ۱۱۰۳۵/۲۹ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که از برتری ۱۲۹ و ۶۳/۶ درصدی به ترتیب نسبت به تیمارهای تامین ۳۳ و ۶۷ درصد نیاز آبی برخوردار بود.

عملکرد روغن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد روغن به طور معنی داری تحت تأثیر اثرات ساده آبیاری و کود قرار گرفت اما این صفت نیز تحت تأثیر اثر متقابل آبیاری و کود قرار نگرفت (جدول ۳). تیمار آبیاری پس از ۲۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی عملکرد روغن را نسبت به تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی، ۵۱/۵ درصد کاهش داد (جدول ۴). عملکرد روغن از حاصلضرب عملکرد دانه و درصد روغن به دست می آید و از آنجا که در این تحقیق تیمار آبیاری پس از ۲۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی سبب کاهش معنی دار عملکرد دانه نسبت به تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی شده است اما تأثیر به مراتب کمتر و غیر معنی داری را بر درصد روغن گذاشته است، می توان نتیجه گیری نمود که عملکرد روغن عمدتاً به علت تأثیر منفی تنش کم آبی بر عملکرد دانه، کاهش یافته است. کاهش عملکرد روغن آفتابگردان در شرایط کم آبی توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Ansarinia, 2011; Goksoy et al., 2004; Orky et al., 2010). (Ansarinia, 2011) نشان داد که بیشترین عملکرد روغن آفتابگردان با میانگین ۱۲۶۲/۶۴ کیلوگرم

افزایش معنی دار عملکرد گیاهان مختلف در اثر مصرف نانو ذرات نسبت به کاربرد کودهای معمولی وجود دارد (Moaveni & Kheiri, 2010; Feizi et al., 2011) که با نتایج این تحقیق مطابقت ندارد.

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمار آبیاری به طور معنی دار و در سطح ۵ درصد، عملکرد بیولوژیک را تحت تأثیر قرار داد اما تیمار کود و اثر متقابل آبیاری و کود بر این صفت معنی دار نبود (جدول ۳). مقایسه میانگین ها نشان داد که عملکرد بیولوژیک در تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی، ۴۹/۹ درصد نسبت به تیمار آبیاری پس از ۲۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی برتری داشت (جدول ۴). کاهش شدید عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در شرایط اعمال تنش کم آبی را می توان به تأثیر منفی تنش کم آبی بر رشد رویشی و اجزای عملکرد آفتابگردان مربوط دانست.

علت افزایش تولید ماده خشک گیاه در شرایط آبیاری مطلوب، گسترش بیشتر و تداوم سطح برگ می باشد که موجب ایجاد منبع فیزیولوژیکی کافی جهت استفاده هر چه بیشتر نور دریافتی و تولید ماده خشک می شود (Osborn et al., 2002).

در ذرت (Lack et al., 2008) و نیز در آفتابگردان (Ansarinia, 2011) گزارش کردند که با افزایش شدت تنش کم آبی، احتمالاً به علت بسته شدن روزنه ها و در نتیجه کاهش میزان گاز کربنیک ورودی به گیاه به همراه کاهش سطح برگ و دوام آن عملکرد دانه و

دار شد، اما اثر متقابل آبیاری و کود بر کارایی های مصرف آب برای دانه، بیوماس و روغن معنی دار نشد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین ها نشان داد که کارایی مصرف آب برای بیوماس در تیمار آبیاری پس از ۲۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی با میانگین ۰/۴۶۸ کیلوگرم بر متر مکعب از برتری معنی دار ۱۶/۱ درصدی نسبت به تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی برخوردار بود (جدول ۴). با توجه به مقایسه میانگین ها می توان استنباط نمود که در شرایط این تحقیق تیمار آبیاری پس از ۲۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی (شرایط کم آبی) علیرغم کاهش در مقدار آب مصرفی، به علت کاهش زیاد عملکردهای دانه و روغن نتوانسته است موجب بهبود کارایی مصرف آب برای تولید دانه و روغن شود. این در حالی است که با توجه به کاهش کمتر عملکرد بیولوژیک تحت تاثیر تنش کم آبی، کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک (بیوماس) در شرایط کم آبی به طور معنی دار افزایش یافت. (Seghatoleslami & Forutani (2015 نیز گزارش کردند که با کاهش آبیاری تا ۵۰ درصد نیاز آبی در آفتابگردان کارایی مصرف آب برای بیوماس به طور معنی دار و به میزان ۶۶ درصد نسبت به تیمار آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی) افزایش یافت. به عبارتی در شرایط این تحقیق به نظر می رسد اعمال تنش کم آبی بر بخش زایشی گیاه (تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه) تاثیر منفی زیادی داشته است و از آنجا که عملکرد روغن نیز متاثر از عملکرد دانه است، کارایی مصرف آب برای دانه و روغن نیز افزایش نداشته است.

در هکتار از تیمار تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کمترین آن با میانگین ۴۲۸/۹۰ کیلوگرم در هکتار از تیمار تامین ۳۳ درصد نیاز آبی به دست آمد. به عبارت دیگر با کاهش تامین نیاز آبی گیاه، عملکرد روغن دانه ۶۶ درصد کاهش یافت.

مقایسه میانگین ها نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد روغن در تیمار محلول پاشی اکسید روی با میانگین ۴۶۴/۳۹ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که هر چند به لحاظ آماری در گروه مشابه با تیمار کاربرد نانو اکسید سیلیس قرار گرفت اما نسبت به سطوح کودی اکسید سیلیس، نانو اکسید روی، نانو اکسید روی+ نانو اکسید سیلیس، شاهد و اکسید روی+ اکسید سیلیس معمولی برتری معنی دار به ترتیب ۲۵/۷، ۲۸/۵، ۴۷/۲، ۷۰/۳ و ۷۹/۶ درصدی نشان داد (جدول ۴). به نظر می رسد افزایش عملکرد دانه و درصد روغن هر دو در افزایش معنی دار عملکرد روغن در تیمارهای کاربرد اکسید روی و نانو اکسید سیلیس نقش داشته اند. (Sepehr & Malakouti (1997 اظهار داشتند که با کاربرد ریزمغذی ها، عملکرد روغن به طور معنی داری افزایش می یابد.

کارایی مصرف آب

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده آبیاری تنها بر صفت کارایی مصرف آب برای بیوماس در سطح ۵ درصد معنی دار شد اما کارایی مصرف آب برای دانه و روغن تحت تاثیر سطوح آبیاری قرار نگرفت. همچنین اثر ساده کود بر صفات کارایی مصرف آب برای دانه، بیوماس و روغن در سطح ۵ درصد معنی

فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه توانسته است توان فتوسنتزی آفتابگردان را افزایش داده و خصوصاً از طریق افزایش باروری گل‌ها و تعداد دانه در طبق، افزایش معنی دار عملکرد دانه و به دنبال آن افزایش عملکرد روغن و کارایی‌های مصرف آب برای تولید دانه و روغن را باعث گردد. به طوری که بر اساس نتایج این تحقیق، محلول پاشی با اکسید روی معمولی افزایش ۵۹/۷، ۷۰/۳، ۵۲/۴ و ۶۰ درصدی به ترتیب عملکرد دانه، عملکرد روغن و کارایی‌های مصرف آب برای تولید دانه و روغن را نسبت به تیمار عدم محلول پاشی به دنبال داشت. از طرفی تاخیر در دور آبیاری از ۱۰۰ به ۲۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی احتمالاً به علت بسته شدن روزنه‌ها، کاهش ماده سازی و سطح برگ، کاهش معنی دار اجزای عملکرد دانه و در نهایت کاهش قابل توجه عملکردها و کارایی مصرف آب دانه و روغن را باعث گردید، لذا تیمار دور آبیاری پس از ۱۰۰ میلیمتر تبخیر تجمعی و محلول پاشی با اکسید روی با غلظت ۵ در هزار برای زراعت آفتابگردان در شرایط این تحقیق مناسب می باشد. همچنین پیشنهاد می شود تا در مطالعات بعدی اعمال تیمارهای تنش کم آبی با شدت کمتر به همراه کودهای مورد بررسی در این تحقیق و نیز تاثیر سایر غلظت‌های این کودها مطالعه گردد.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین کارایی‌های مصرف آب برای دانه و روغن با میانگین‌های به ترتیب ۰/۱۲۵ و ۰/۰۵۶ کیلوگرم بر متر مکعب مربوط به تیمار کاربرد اکسید روی بود که از برتری معنی دار و به ترتیب ۵۲/۴ و ۶۰ درصدی نسبت به تیمار عدم محلول پاشی برخوردار بود (جدول ۴). علت این برتری را می توان به بیشتر بودن عملکردهای دانه و روغن در این تیمار نسبت به تیمار عدم کاربرد اکسید روی و اکسید سیلیس (جدول ۴) مربوط دانست. همچنین بیشترین کارایی مصرف آب برای بیوماس با میانگین ۰/۴۷۷ کیلوگرم بر متر مکعب از تیمار کاربرد نانو سیلیس بدست آمد که هر چند با تیمارهای کاربرد اکسید سیلیس و کاربرد اکسید روی در یک گروه آماری قرار گرفت اما از برتری معنی دار ۳۶/۶، ۱۱/۷، ۱۳/۳ و ۱۳/۸ درصدی به ترتیب نسبت به تیمارهای عدم محلول پاشی (شاهد)، نانو اکسید روی، اکسید روی + اکسید سیلیس و نانو اکسید روی + نانو اکسید سیلیس برخوردار بود (جدول ۴). علت تفاوت در کارایی مصرف آب برای بیوماس بین تیمارهای مختلف کودی را نیز می توان به تفاوت بین عملکرد بیولوژیک در این تیمارها مربوط دانست. (Seghatoleslami & Forutani, 2015) نیز افزایش معنی دار کارایی مصرف آب برای دانه و بیوماس را با کاربرد کودهای معمولی و نانوی روی گزارش کردند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

نتیجه گیری

به طور کلی به نظر می رسد کاربرد اکسید روی به علت نقش آن در بهبود کارکرد

Reference

- Agarie, S., Uchida, H., Agata, W. and Kubota, S. 1996. Function of silica bodies in epidermal system of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Experimental Botany*, 47: 665-660.
- Agarie, S., Uchida, H., Agata, W., Kuubota, F. and Kufman, B. 1993. Effect of silicon on growth, dry matter production and photosynthesis in rice (*Oryza sativa* L.). *Crop Production and Improvement Technology*, 34: 225-234.
- Angadi, S.V. and Entz, M.H. 2002. Root system and water use patterns of different sunflower cultivars. *Agronomy Journal*, 94(1): 136-145. doi: <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2002.0136>
- Ansarinia, E. 2011. Effect of water deficit stress and nitrogen on yield and agronomical traits of sunflower. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Birjand, Iran. (In Persian with English Summary)
- Barary, M., Kordi, S., Lotf, A., Gerami, Hatami, A., Mehrabi, A. and Ghanbari, F. 2011. Proving tolerance to water deficit using zinc foliar spraying in two common bean cultivars under Ilam climatic conditions. *Journal of Crop Improvement*, 16(3): 641-652. (In Persian with English Summary)
- Baybordi, A. 2006. Zinc in soils and crop nutrition. Parivar Press. First Edition. P 179. (In Persian)
- Ebrahimian, A., Roshdi, M., Paseban Eslam, B., Khalili Mahaleh, J. and Baibordi, A. 2008. Evaluation of Fe and Zn application methods on yield and yield components of oil sunflowers. *Journal of Research in Agricultural Sciences*, 2(7): 15-27. (In Persian with English Summary)
- Eyvazzadeh, O., Seyyedain Ardebili, M., Chamani, M. and Darvish, F. 2010. Evaluation of fatty acid composition and stability of sose hip oil. *Food Technology and Nutrient*, 7: 66-74. (In Persian with English Summary)
- Farahvash, F., Mirshekari, B. and Abbasi-Seyahjani, E. 2011. Effect of water deficit on some traits of three sun flower cultivars. *Middle-East Journal Scientific Research*, 9(5): 584-587.
- Fageria, N.K. and Baligar, V.C. 2005. Growth components and zinc recovery efficiency of upland rice genotypes. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 40: 1211-1215. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2005001200008>
- Feizi, H., Berahmand, A., Rezvani Moghaddam, P., Fotovvat, A. and Tahmasbi, N. 2010. Application magnetic field and silver nano particles in growth and yield of maize. In: National Conference on Nano Science and Nano Technology, Yazd, Iran, 11-12 March 2010. p. 1694-1697.
- Goksoy, A.T., Demir, A., Turan, Z.M. and Dagustu, N. 2004. Responses of sunflower to limited irrigation at different growth stages. *Field Crops Research*, 87: 167-182. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.11.004>
- Hasegawa, R.H., Fonseca, H., Fancelli, A.L., Dasilva, V.N., Schammas, E.A., Reis, T.A.

- and Correa, B. 2008. Influence of macro-and micro nutrient fertilization on fungal contamination and fumonisin production in corn grains. *Food Control*, 19: 36-43. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2007.01.006>
- Hong, W. and Jj-yun, J. 2007. Effects of zinc deficiency and drought on plant growth and metabolism of reactive oxygen species in maize (*Zea mays* L.). *Agricultural Sciences in China*, 6(8): 988-995. doi: [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(07\)60138-2](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(07)60138-2)
- Hossain, M.T., Soga, K., Wakabayashi, K., Kamisaka, S., Fujii, S., Yamamoto, R. and Takayuki, H. 2007. Modification of chemical properties of cell walls by silicon and its role in regulation of the cell wall extensibility in oat leaves. *Journal Plant Physiology*, 164: 385-393.
- Jabari, H., Akbari, G., Daneshian, A., Alahdadi, J. and Shahbazian, I. 2007. Effect of water deficit stress on agronomic characteristics of sunflower hybrids. *Agricultural Research*, 9(1): 13-22. (In Persian with English Summary)
- Jalilian, J., Khade, A. and Pirzad, A. 2014. Effect of Fe and Zn spraying on some characteristics of mungbean using chemical and organic fertilization. *Journal of Crop Improvement*, 16(3): 725-732. (In Persian with English Summary)
- Jamshidi, A., Akhaalikhani, M. and Ghalavand. Effect of defoliates concentration in different reproductive growth stages on yield and oil of sunflower. 2011. *Iranian Agriculture Sciences Journal*, 10(4): 349-361. (In Persian with English Summary)
- Kamenidou, S., Cavins, T.J. and Marek, S. 2010. Silicon supplements affect floricultural quality traits and elemental nutrient concentrations of greenhouse produced gerbera. *Science Horticulture*, 123: 390–394. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2009.09.008>
- Lack, S., Naderi, A., Saidat, S.A., Ayeneband, A., Nour– Mohammadi, G. and Moosavi, S. 2008. The effects of different levels of irrigation, nitrogen and plant population on yield, yield components and dry matter remobilization of corn at climatic conditions of Khuzestan. *Journal of Water and Soil Sciences*, 11 (42): 1-14. (In Persian with English Summary)
- Liang, Y.C., Wong, J.W. and Long, W. 2005. Silicon-mediated enhancement of cadmium tolerance in maize (*Zea mays* L.) grown in cadmium contaminated soil. *Chemosphere*, 58: 475-483. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.09.034>
- Lu, C.M., Zhang, C.Y., Wu, J.Q. and Tao, M.X. 2002. Research of the effect of nanometer on germination and growth enhancement of *Glycine max* and its mechanism. *Soybean Science*, 21: 168-172.
- Malakoti, M.J. and Lotfolahi, M.A. 2004. Role of Zn in increasing the quantity and quality of agricultural products and public health. Publication of agricultural education, 212 P. (In Persian)
- Marschner, H. 2012. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press Limited Harcourt Brace and Company, Publishers, London, pp. 347–364, ISBN: 978-0-12-384905-2.
- Mirzapoor, M., Khoghehbakhi, A.H., Vakhil, R. and Naeini, R. 2004. Effect of Fe Kalat on growth and yield sunflower (Record variety) in Qom. In: Proceeding of 1th National Conference of

- Oil Seeds, Gorgan, Iran, 13-18 May 2004, p. 324.
- Moaveni, P. and Kheiri, T. 2011. TiO₂ nano particles affected on maize (*Zea mays* L.). 2nd international conference on agricultural and animal science in Singapore by international proceeding of chemical, biological and environmental engineering. *International Association of Computer Science and Information Technology Press*. 22: 160-163.
- Mokhtari, V., Koocheki, A., Nassiri Mahalati, M. and Jahan, M. 2013. Comparison of water use efficiency between some crops and medicinal species. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 11(3): 401-407. (In Persian with English Summary)
- Naderi, M.R. and Abedi, A. 2012. Application of nanotechnology in agriculture and refinement of environmental pollutants. *Journal of Nanotechnology*, 11 (1): 18-26.
- Orky, H., Alahdadi, A. and Parhizkar, F. 2010. Effect water deficit stress on yield and quantitative traits of sunflower hybrids. In: The 3rd International Seminar on Seed and Edible Oils, Tehran, Iran, 22-23 December 2012, p. 112.
- Osborne, S.L., Schepers, D.D., Francis, J.S. and Schlemmer, M.R. 2002. Use of spectral radiance to estimate in season biomass and grain yield in nitrogen and water stress on corn. *Crop Science*, 42: 165- 171.
- Pandey, A.C., Sanjay, S.S. and Yadav, R.S. 2010. Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum* L. *Journal of Experimental Nanoscience*, 5: 488-497. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/17458081003649648>
- Paygzar, Y., Ghanbari, A., Heidari, M. and Tavassoli, A. 2009. Effect foliar of micronutrients on the quantitative and qualitative characteristics of millet (*Pennisetum glaucum* Var. notrifed) under drought stress. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 3(10): 67-78. (In Persian with English Summary)
- Prasad, T.N., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Raja Reddy, K., Sreeprasad, T.S., Sajanlal, P.R. and Pradeep, T. 2012. Effect of nanoscales Zinc Oxide on the germination, growth and yield of peanut. *Journal of Plant Nutrition*, 35: 905-927. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/01904167.2012.663443>
- Rahimizadeh, M., Kashani, A., Zarefzabady, A., Madani, H. and Soltani, E. 2010. Effect of micronutrient fertilizers on sunflower growth and yield in drought stress condition. *Electronic Journal of Crop Production*, 3(1): 57-72. (In Persian with English Summary)
- Rezaie, A. 2007. Effects of drought stress on yield and yield components of sunflower varieties. In: 6th National Conference of Agriculture and Natural Resources, Karaj, Iran, 22-23 April 2007, p. 89.
- Roshdi, M., Heydari Sharifabad, H., Karimi, M., Noor Mohammadi, G. and Darvish, F. 2006. A survey on the impact of water deficiency over the yield of sunflower seed cultivar and its components. *Journal of Agricultural Sciences*, 12(1): 109-122. (In Persian with English Summary)
- Seghatoleslami, M.J. and Forutani, R. 2015. Yield and water use efficiency of sunflower as affected

- by nano Zn and water stress. *Journal of Advanced Agricultural Technologies*, 2(1): 34-37. (In Persian with English Summary)
- Sepehr, A. and Malakouti, M.J. 1997. Study on effect of K, Mg, S and Zn micronutrients on improving yield and quality of sunflowers. M.Sc. Thesis. Department of Agriculture, Tarbiat Moddarress University of Tehran, Iran. (In Persian with English Summary)
- Sheykhbaglou, R., Sedghi, M., Shishevan, M.T. and Sh0arifi, R.S. 2010. Effects of nano-iron oxide particles on agronomic traits of soybean. *Not Science Biology*, 2(2):112–113. doi: <http://dx.doi.org/10.15835/nsb224667>
- Thalooth, M., Tawfik, M. and Magda Mohamed, H. 2006. A comparative study on the effect of foliar application of Zinc, Potassium and Magnesium on growth, yield and some chemical constituents of Mungbean plants growth under water stress conditions. *World Journal of Agricultural Science*, 2: 37-46.
- Yosefvand, P., Mirzakhani, N. and Sajedi, M. 2011. Effect of drought stress and zeolite and selenium application on yield and yield components of sunflower. *New Founds in Agriculture*, 5(3): 325-339. (In Persian with English Summary)

Effect of irrigation regimes and application of nano and conventional ZnO and SiO₂ fertilizers on yield, yield components and water use efficiency of sunflower (*Helianthus annus L.*)

N. Asadzadeh¹, S. Gh. Moosavi^{2*} and M. J. Seghatoleslami²

1. MSc. Graduated of Agronomy, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran .
2. Associated Professor, Department of Agriculture, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran. (Corresponding author)

Received: November 2016 Accepted: October 2017

Extended Abstract

Asadzadeh., N, Moosavi, S. Gh. and Seghatoleslami, M. J., Effect of irrigation regimes and application of nano and conventional ZnO and SiO₂ fertilizers on yield, yield components and water use efficiency of sunflower (*Helianthus annus L.*)

Applied Research in Field Crops Vol 30, No. 1, 2017 1-3: 1-17(in Persian)

Introduction: Water deficiency is one of the most limiting factors for crop production throughout the world. Addition of fertilizers to supplement farm soil nutrients is essential to achieving desired crop yields. In particular, microelements have important roles in seed formation and seed yield. Foliar spraying with fertilizer solutions containing microelements such as Zn and Si is shown to be beneficial to crop growth and productivity, especially under water limited conditions. This can be due to the high effectiveness of foliar feeding and rapid plant response. The application of nano-fertilizers in agricultural production of arid and semi-arid countries such as Iran provides unique opportunities to enhance nutrient use efficiency by crops and reduce costs of environmental protection. Sharing 2.8% of total world oilseeds (around 107 million ton), sunflower is the fifth most important edible oil, which is cultivated under various environmental conditions because of its high yield and harvest index as well as its extensive adaptability and acclimation. (Ansarinia, 2011). The objective of the present study was to evaluate the effects of two irrigation regimes and different levels of nano and conventional ZnO and SiO₂ fertilizers on yield, yield components and water use efficiency of sunflower.

Materials and Methods: The experiment was conducted as a split-plot based on a randomized complete block design with three replications at experimental field of Islamic Azad University, Birjand Branch, Birjand, Iran in 2014. The main plot was devoted to irrigation at two levels (irrigated after 100 and 200 mm cumulative evaporation from evaporation pan) and the sub-plot was devoted to foliar spray of ZnO and SiO₂ at seven levels (nano ZnO, nano SiO₂, ZnO, SiO₂, nano ZnO + nano SiO₂, ZnO + SiO₂ and control or without foliar spray). The measured traits included head diameter, seed number per head, 1000-seed weight, seed yield, biological yield, oil yield and water use efficiency for seed, biomass and oil. MSTAT-C statistical software used for data analysis and means were compared with Duncan multiple range test at 5% probability level.

Results and Discussion: The results showed that water deficit stress decreased head diameter, seed number per head, 1000-seed weight, seed yield, biological yield, oil yield and water use efficiency for seed, biomass and oil production by 16.9, 39.5, 18.5, 50.3, 33.3, 51.5, 73.7, 62.9 and 75%, respectively as compared to non-stress condition. Seed yield reduction due to water stress may be resulted from decreased leaf area and duration, which consequently led to depressed photosynthetic rate and increased partitioning of photosynthates to root rather than shoot. Foliar application of conventional ZnO fertilizer significantly increased head diameter, seed number per head, seed yield and oil yield by 10.2, 42.9, 59.7 and 70.3%, respectively as compared to no-foliar application treatment. It appears that ZnO fertilizer can raise yield of seed through enhancing photosynthetic rates and improving leaf area duration. Under the current research conditions, seed number in head had a more conspicuous contribution towards increasing final yield than the other yield components. Zinc fertilizer has a positive effect on auxin biosynthesis that can contribute to a better absorption of minerals and thus enhance plant growth (Marschner, 2012). The highest water use efficiency for seed and oil was obtained with ZnO treatment, which was 77.8 and 75% higher compared to the control treatment, respectively. This result can be attributed to greater seed and oil yields under this treatment relative to the other fertilizer treatments.

Conclusions: In general, it seems the use of zinc oxide fertilizer due to its role in improving plant physiological and biochemical functioning (Malakoti & Lotfolahi, 2004) resulted in enhanced photosynthetic capacity, which was associated with increasing the fertilization of flowers and seed number per head, leading to a significant increase in seed yield. On the other hand, water deficit stress by closing stomatal aperture and decreasing the photosynthetic capacity and source strength significantly reduced seed number per head and 1000-seed weight, which caused a decline in seed and oil yield of sunflower. Our findings indicated

that irrigation after 100 mm cumulative evaporation from evaporation pan and foliar application of conventional ZnO are best recommended for the production of sunflower under the conditions of this research.

Keywords: 1000-seed, head diameter, microelement, oil seed, water deficit stress.

References

- Ansarinia, E. 2011. Effect of water deficit stress and nitrogen on yield and agronomical traits of sunflower. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Birjand, Iran. (In Persian with English Summary)
- Malakoti, M.J. and Lotfolahi, M.A. 2004. Role of Zn in increasing the quantity and quality of agricultural products and public health. Publication of agricultural education, 212 P. (In Persian)
- Marschner, H. 2012. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press Limited Harcourt Brace and Company, Publishers, London, pp. 347–364, ISBN: 978-0-12-384905-2.