تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد چهاردهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۰
۳۳۱-۳۴۵
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.2719.1715

مقاله پژوهشی

تأثیر نانوسیلیکات پتاسیم بر رشد و عملکرد گیاه ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) تحت تنش خشکی

پگاه آقایی[1]، وریا ویسانی[2*]، مرجان دیانت[2]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی و زراعت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران
۲. استادیار گروه علوم باغبانی و زراعت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۵/۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۷/۱۰

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کود نانوسیلیکات پتاسیم بر گیاه ذرت در شرایط تنش خشکی آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول آزمایش تنش خشکی شامل سه سطح آبیاری مطلوب (۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر)، تنش متوسط (۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر) و شدید خشکی (۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر) و فاکتور دوم کود نانو سیلیکات پتاسیم در سطوح عدم مصرف (شاهد)، ۱ و ۲ در هزار بود. نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی ارتفاع بوته، وزن تر بوته، وزن خشک بوته، تعداد برگ در بوته، تعداد بلال در بوته، طول بلال، قطر بلال، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در بلال، وزن چوب‌بلال، وزن بلال وزن هزار دانه کاهش پیدا کرد و بیشترین کاهش در شرایط تنش شدید مشاهده گردید. کاربرد نانوسیلیکات پتاسیم موجب بهبود شاخص‌های مورفولوژیک ذرت گردید، به‌طوری‌که بیشترین ارتفاع بوته، وزن تر بوته، وزن خشک بوته، تعداد بلال در بوته، طول بلال، تعداد ردیف در بلال، وزن چوب‌بلال وزن بلال در تیمار ۲ در هزار نانوسیلیکات پتاسیم حاصل گردید. نتایج نشان داد که کاربرد کود نانوسیلیکات پتاسیم در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی از طریق فراهم کردن عناصر غذایی موردنظر توانست موجب بهبود ارتفاع (۱۹/۸ درصد)، وزن خشک بوته (۴۰ درصد) و وزن هزار دانه (۱۱ درصد) گردد. کود نانوسیلیکات پتاسیم می‌تواند اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را تا حد زیادی کاهش و تحمل گیاه به شرایط تنش خشکی را افزایش داده و درنتیجه بهبود عملکرد را در پی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: **اجزای عملکرد، تنش خشکی، ذرت، نانوسیلیکات پتاسیم**

مقدمه

تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان زراعی است که ۴۰ تا ۶۰ درصد اراضی کشاورزی جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث کاهش عملکرد می‌شود (Majer et al., 2008). یکی از راهکارهای تعدیل اثرات ناشی از تنش خشکی تغذیه گیاه در جهت افزایش تحمل آن به تنش خشکی و حفظ کمیت و کیفیت گیاهان است. جذب عناصر غذایی مستقیماً وابسته به وضعیت آب در خاک بوده لذا کاهش رطوبت در دسترس خاک، انتشار مواد غذایی در محلول خاک و از خاک به گیاه را کاهش می‌دهد (Ibrahim and Kandil, 2007). به دلیل اثرات مضری که کودهای شیمیایی مرسوم در محیط‌زیست و کیفیت غذا ایجاد می‌کنند، مدت‌ها است که استفاده از روش‌های جدید ازجمله استفاده از نانوکودها برای حاصلخیزی خاک و تأمین عناصر غذایی گیاهان موردتوجه پژوهشگران قرار گرفته است (Naderi and Abedi, 2012).

یکی از ترکیباتی که اخیراً در کشاورزی کاربرد پیدا کرده است، نانوذرات است؛ هرچند کاربرد آن‌ها در کشاورزی، حتی در سطح جهانی، در مرحله ابتدایی قرار دارد. فناوری نانو

* نگارنده پاسخگو: وریا ویسانی. پست الکترونیک: weria.wisany@gmail.com

به‌عنوان یک فناوری بین‌رشته‌ای و پیشتاز با رفع مشکلات و کمبودها در بسیاری از عرصه‌های علمی و صنعتی به‌خوبی جایگاه خود را در علوم کشاورزی و صنایع وابسته آن به اثبات رسانده است. ورود فناوری نانو به صنعت کشاورزی و صنایع غذایی متضمن افزایش میزان تولیدات و کیفیت آن‌ها در کنار حفظ محیط‌زیست و منابع کره زمین است. نانوتکنولوژی یکی از فناوری‌های نوین است که اخیراً وارد عرصه کشاورزی شده است نانو ذرات مجموعه‌های اتمی یا مولکولی با حداقل ابعاد بین ۱۰۰-۱ نانومتر هستند که خواص فیزیکو شیمیایی متفاوتی دارند (Monica et al., 2009). مدیریت صحیح تغذیه عناصر کم‌مصرف به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فاکتورها در کشت موفق گیاهان بوده و می‌تواند بر شاخص‌های کمی و کیفی عملکرد تأثیر بگذارد (Preetipande et al., 2007). در حقیقت، فناوری نانو فرصت‌های جدیدی را به‌منظور افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی و به حداقل رساندن هزینه‌های حفاظت از محیط‌زیست، فراهم نموده است پتاسیم باعث افزایش تولید و بهبود کیفیت محصول ذرت می‌گردد و علاوه بر آن سبب افزایش تحمل گیاهان به شوری و خشکی می‌شود و کارایی مصرف آب و عناصر غذایی را افزایش می‌دهد (Amanullah et al., 2016). Farshad and Malakooti 2003)) در پژوهشی نشان دادند که مصرف پتاسیم درصد پروتئین دانه، طول بلال، قطر بلال و ارتفاع بوته ذرت را افزایش می‌دهد.

سیلیس یکی از فراوان‌ترین عناصر در پوسته زمین و خاکستر گیاهان است. اگرچه سیلیسیم عنصر ضروری برای گیاهان در نظر گرفته نشده است، اما در برخی از گیاهان یک عنصر ضروری است (Doshi et al., 2008). ازنظر فراوانی موجود در خاک، سیلیسم دومین عنصر به‌حساب می‌آید و که تقریباً ۲۸ درصد پوسته زمین را تشکیل می‌دهد (Kamenidou et al., 2009). پژوهش‌های متعدد حاکی از آن است که کاربرد سیلیس سبب افزایش مقاومت به تنش-های محیطی ازجمله تنش خشکی گردیده است (Ahmed et al., 2011). مصرف سیلیس در حد مطلوب باعث افزایش تحمل گیاهان کشت‌شده به شوری و خشکی می‌گردد و حتی ظرفیت نفوذپذیری آب در خاک را افزایش می‌دهد (Bocharnikova and Matichenkov, 2008).

جایگاه و نقش نانو کودها در بهبود کارایی مصرف عناصر غذایی با استفاده از مواد نانو ساختار یا نانومقیاس به‌عنوان حامل کودی یا ناقل کنترل‌کننده رهاسازی به‌منظور ایجاد کودهای هوشمند، فناوری نانو منشأ امیدواری‌های بسیاری در جهت عبور از محدودیت‌های تکنیکی موجود بر سر راه آزادسازی آرام و کنترل‌شده عناصر کودها شده است (Cui et al., 2006).

با روند رو به رشد کنونی، در سال‌های آینده فرمول‌بندی نانوساختار کودهایی که عناصر غذایی خود را به‌صورت کنترل‌شده رها می‌کنند به مرحله تکامل خواهد رسید و کاربرد وسیع‌تری به‌منظور تولید گسترده‌ی محصولات زراعی در کشورهای درحال‌توسعه خواهد یافت (Cui et al., 2006). ازاین‌رو با توجه به اثرات سویی که تنش خشکی می‌تواند بر محصول ذرت داشته باشد و همچنین با توجه به اثرات مفیدی که نانو سیلیکات پتاسیم در تعدیل اثرات تنش خشکی می-توانند ایفا نمایند و نیز ازآنجایی‌که در مورد تأثیر نانوسیلیکات پتاسیم در کاهش اثرات تنش خشکی بر گیاه ذرت در کشور تحقیقات اندکی صورت گرفته است، این تحقیق به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد سیلیکات پتاسیم در مقیاس نانو در بهبود رشد و عملکرد گیاه ذرت در شرایط تنش خشکی انجام شد. لذا، هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر کاربرد نانو سیلیکات پتاسیم بر رشد، عملکرد دانه و اجزای عملکرد دانه‌ی ذرت تحت سطوح مختلف آبیاری برای دستیابی به راهکاری برای کاهش اثرات تنش خشکی در این گیاه و بهبود عملکرد آن است

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کود نانوسیلیکات پتاسیم بر برخی خصوصیات رشدی، مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد در گیاه ذرت، آزمایشی در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۱۳۹۷ با سه تکرار انجام گرفت. فاکتور اول شامل سه سطح تنش خشکی (آبیاری مطلوب، تنش متوسط و تنش شدید) بود. بعد از استقرار کامل بوته‌ها، تیمارهای آبیاری اعمال گردید. بعد از هر آبیاری، آبیاری بعدی در تیمارهای آبیاری مطلوب، تنش متوسط و تنش شدید خشکی، بر اساس ۳۰ (آبیاری مطلوب)، ۶۰ (تنش متوسط) و ۹۰ (تنش شدید) میلی‌متر تبخیر از سطح تشت تبخیر کلاس A انجام گرفت. فاکتور دوم شامل کود نانو سیلیکات پتاسیم در سطوح عدم مصرف (شاهد)، ۱ و ۲ در هزار بود.

عملیات آماده‌سازی زمین شامل، شخم، دیسک و ایجاد جوی و پشته طبق روال معمول با اجرای یک شخم و دو دیسک عمود بر هم انجام شد. برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. در این آزمایش برای هر تکرار ۹ کرت و به‌طورکلی ۲۷ کرت در نظر گرفته شد. تعداد ۵ ردیف کاشت به طول ۵ متر و فاصله ردیف ۷۵ سانتی‌متر، فاصله بوته‌ها روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر و همچنین به‌منظور جلوگیری از تداخل تیمارهای آزمایشی (تنش خشکی و محلول‌پاشی کود نانو سیلیکات پتاسیم) روی یکدیگر فاصله کرت‌ها ۳ متر در نظر گرفته شد. دو ردیف کناری و همچنین ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای هر کرت به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. بذر موردنیاز (رقم AGN 520) از مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه گردید. بذور قبل از کاشت با قارچ‌کش ویتاواکس ضدعفونی گردید. کشت بذور به‌صورت کپه‌ای در عمق ۵-۳ سانتی‌متری انجام شد. به‌منظور جوانه‌زنی مطمئن و داشتن بوته‌های کامل در هر کپه ۳ عدد بذر قرار داده شد و تنک کردن در مرحله ۶-۴ برگی صورت پذیرفت. اولین آبیاری (خاک‌آب) بلافاصله بعد از کشت صورت گرفت. آبیاری به روش جوی و پشته و دور آبیاری بر اساس میزان تبخیر از تشتک تبخیر انجام می‌گرفت. محل استقرار تشت تبخیر در نزدیکی محل اجرای آزمایش بود. همچنین محلول‌پاشی نانوسیلیکات پتاسیم با غلظت‌های موردنظر در مراحل ساقه رفتن (۸-۶ برگی) و ظهور گل تاجی اوایل صبح و به‌طور کامل روی گیاه انجام گرفت. برای تیمار شاهد از آب مقطر استفاده شد. همچنین در طول دوره رشد مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد. برداشت به‌صورت دستی و در زمان رسیدگی فیزیولوژیک دانه‌ها انجام گرفت. صفات اندازه‌گیری شده شامل ارتفاع بوته، وزن تر بوته، وزن خشک بوته، تعداد برگ در بوته، تعداد بلال در بوته، طول بلال، قطر بلال، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، وزن چوب‌بلال، وزن بلال وزن هزار دانه بود. میزان مصرف نانو سیلیکات پتاسیم (K2SiO3) دو لیتر در هکتار بود. اندازه ذرات نانوسیلیکات پتاسیم ۱۵ تا ۲۵ نانومتر بوده و از شرکت صنایع نانو سیلس ایستاتیس تهیه گردید. پس از پایان آزمایش‌ها، آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. رسم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Physicochemical characteristics of the soil

بافت خاک Soil text	پتاسیم قابل‌جذب K	فسفر قابل‌جذب P	ازت کل N	کربن آلی O.C	اسیدیته کل اشباع pH	هدایت الکتریکی $EC\times10^3$	درصد اشباع S.P
	----------ppm----------		%	%		$dS.m^{-1}$	%
Lom Clay	305	9	0.08	0.8	7.5	0.7	45

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در جدول ۱ نشان داد که اثر تنش خشکی و کود نانوسیلیکات پتاسیم در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل تنش خشکی با کود نانوسیلیکات پتاسیم در سطح احتمال پنج درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار شد. نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین ارتفاع بوته تحت اثر تنش خشکی با کود نانوسیلیکات پتاسیم نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته در کاربرد ۲ در هزار کود نانوسیلیکات پتاسیم در آبیاری مطلوب (۲۲۸/۴ سانتی‌متر) و کمترین ارتفاع بوته در عدم مصرف کود نانوسیلیکات پتاسیم در شرایط تنش شدید (۱۴۷/۲ سانتی‌متر) مشاهده گردید (شکل ۱). نتایج نشان داد که کاربرد نانوسیلیکات پتاسیم (۲ در هزار) باعث بهبود ارتفاع گیاه به میزان ۱۹/۸ درصد به‌ویژه در شرایط تنش شدید گردید.

وزن تر بوته

اطلاعات به‌دست‌آمده از نتایج تجزیه واریانس مبین این بود که تنش خشکی و کود نانوسیلیکات پتاسیم در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل تنش خشکی با کود نانوسیلیکات پتاسیم در سطح احتمال پنج درصد به‌طور معنی‌داری روی وزن تر بوته تأثیر داشت (جدول ۲). نتایج حاصل‌شده از مقایسه میانگین وزن تر بوته تحت تأثیر فاکتور تنش خشکی

بیانگر این بود که تنش خشکی موجب کاهش وزن تر بوته شد، به‌طوری‌که بیشترین وزن تر بوته به میزان ۸۰۹/۸۷ گرم مربوط به آبیاری مطلوب و کمترین وزن تر بوته به میزان ۵۷۹/۵۶ گرم مربوط به تنش شدید بود (شکل ۲). نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین وزن تر بوته تحت اثر تنش خشکی با کود نانوسیلیکات پتاسیم نشان داد که هم در شرایط آبیاری مطلوب (۱۷ درصد) و هم در شرایط تنش خشکی (۴۰ درصد)، کاربرد ۲ در هزار نانوسیلیکات پتاسیم باعث بهبود وزن تر بوته گیاه ذرت گردید (شکل ۲).

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس بررسی تأثیر کود نانوسیلیکات پتاسیم بر صفات مختلف گیاه ذرت در شرایط متفاوت تنش خشکی

Table 2. The results of variance analysis on the study of the influence of potassium Nano silica fertilizer on corn in drought stress

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Height of plant	وزن تر بوته Wet weight of plant	وزن خشک بوته Dry weight of plant	تعداد برگ در بوته Number of leaves in plant	تعداد بلال در بوته Number of ears in plant	طول بلال Length of ear
بلوک Block	2	124.5^{ns}	12366.3**	5050.5**	3.83*	0.002^{ns}	5.45^{ns}
تنش خشکی Drought stress (a)	2	3586.3**	119519.5**	20530.9**	25.35**	0.48**	84.53**
نانوسیلیکات پتاسیم Potassium Nano silica (b)	2	1859.3**	40878.6**	10050.8**	3.34*	0.2**	30.23**
تنش×نانو a*b	4	494.7*	5692.8*	1035.5*	0.66^{ns}	0.09**	7.43*
خطا Error		136.15	1871.41	274.2	0.67	0.01	2.41
ضریب تغییرات CV%		*6.53*	*6.2*	*7.1*	*7.02*	*8.79*	*9.07*

جدول ۲. ادامه

Tablr 2. Continued

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	قطر بلال Diameter of ear	تعداد ردیف در بلال Number of rows in ear	تعداد دانه در ردیف Number of seeds in each row	وزن چوب‌بلال Weight of the ear's wood	وزن بلال Weight of ear	وزن هزار دانه Thousand Kernel Weight
بلوک Block	2	0.39*	0.56^{ns}	7.4^{ns}	1.86^{ns}	412.3^{ns}	392.44^{ns}
تنش خشکی Drought stress (a)	2	4.35**	21.03**	212.33**	24.32**	15560**	6543.83**
نانوسیلیکات پتاسیم Potassium Nano silica (b)	2	1.23**	4.81*	37.79**	19.16**	2649**	1230.9**
تنش×نانو a*b	4	0.08^{ns}	0.16^{ns}	10.6*	2.94*	421.3*	88.37^{ns}
خطا Error		0.08	0.85	3.53	0.98	134.1	185.57
ضریب تغییرات CV%		*6.53*	*7.42*	*6.1*	*6.05*	*6.25*	*6.39*

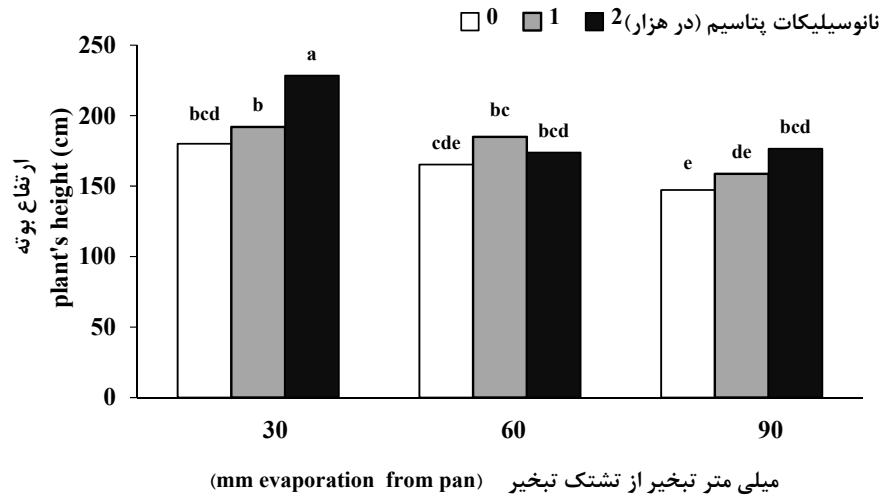
* و** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد،ns: تأثیر غیر معنی‌دار

* and **mean significant in the possibility levels of 5% and 1%, respectively, ns: insignificant effect.

وزن خشک بوته

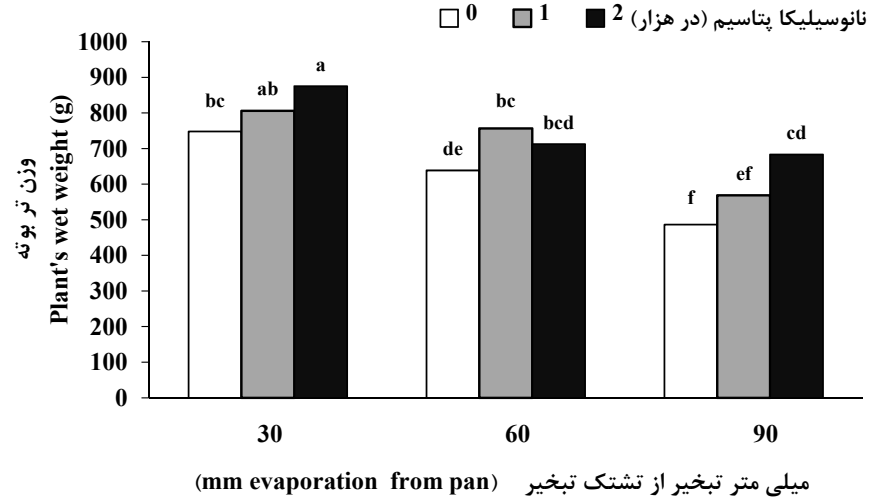
بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و کود نانوسیلیکات پتاسیم در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل تنش خشکی با کود نانوسیلیکات پتاسیم در سطح احتمال پنج درصد بر وزن خشک بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین وزن خشک بوته تحت تأثیر فاکتور تنش خشکی مبین این بود که با اعمال تنش خشکی، وزن خشک

بوته نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد، به‌نحوی‌که بیشترین وزن خشک بوته در شرایط آبیاری مطلوب به میزان ۲۸۲/۸۹ گرم و کمترین وزن خشک بوته به میزان ۱۸۷/۶۲ گرم در تیمار تنش شدید مشاهده گردید (شکل ۳). نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین وزن خشک بوته تحت اثر تنش خشکی با کود نانوسیلیکات پتاسیم نشان داد که بیشترین افزایش وزن خشک بوته در شرایط آبیاری مطلوب (۳۸/۸ درصد) و کاربرد ۲ در هزار کود نانوسیلیکات پتاسیم مشاهده شد و کاربرد نانوسیلیکات پتاسیم در شرایط تنش خشکی باعث افزایش وزن خشک بوته گیاه به میزان ۳۳/۴ درصد گردید (شکل ۳).



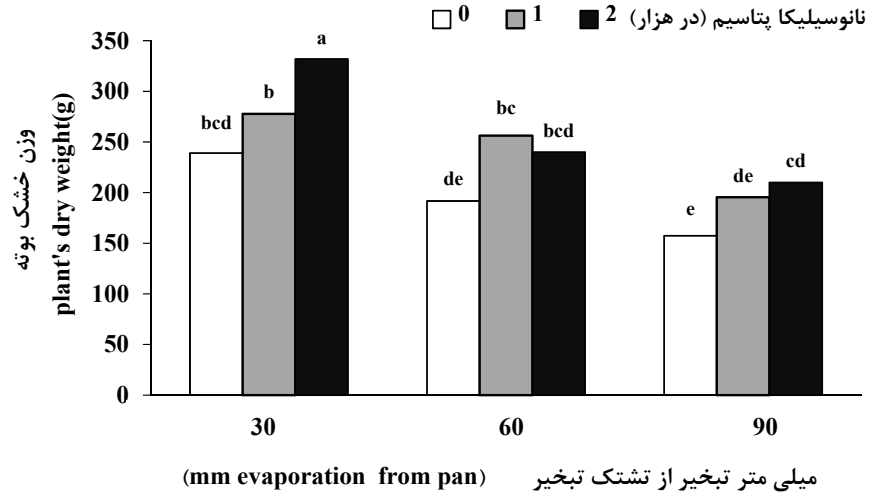
شکل ۱. مقایسه میانگین تأثیر سطوح کود نانو سیلیکات پتاسیم در حضور تنش خشکی بر ارتفاع بوته گیاه ذرت. تیمارهایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Fig. 1. The mean comparison of effect of potassium Nano silica fertilizer under drought stress on maize plant's height. Treatments with at least one similar letter do not have a significant statistical difference on the possibility level of 0.5%



شکل ۲. مقایسه میانگین تأثیر سطوح کود نانو سیلیکات پتاسیم در حضور تنش خشکی بر وزن تر بلال گیاه ذرت. تیمارهایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Fig. 2. The mean comparison of potassium Nano silica fertilize level under drought stress on the plant's wet weight. The treatments with at least one similar letter do not have a significant statistical difference on the possibility level of 5%.



شکل ۳. مقایسه میانگین تأثیر سطوح کود نانو سیلیکات پتاسیم در حضور تنش خشکی بر وزن خشک بوته گیاه ذرت. تیمارهایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Fig. 3. The comparison of the mean effect of potassium Nano silica fertilizer under drought stress on the maize's dry weight. The treatments with at least one similar letter do not have a significant statistical difference on the possibility level of 5%

تعداد برگ در بوته

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد و کود نانوسیلیکات پتاسیم در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد برگ در بوته معنی‌دار بود. همچنین نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که اثر متقابل تنش خشکی با کود نانوسیلیکات پتاسیم روی تعداد برگ در بوته تأثیر معنی‌دار نداشت (جدول ۲).

اطلاعات به‌دست‌آمده از نتایج مقایسه میانگین تعداد برگ در بوته تحت تأثیر فاکتور تنش خشکی نشان داد که در حضور تنش خشکی تعداد برگ در بوته کاهش پیدا کرد، بیشترین تعداد برگ در بوته به میزان ۱۳/۲۵ برگ مربوط به آبیاری مطلوب و کمترین تعداد برگ در بوته (۹/۹ برگ) مربوط به تنش شدید بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین تعداد برگ در بوته تحت تأثیر کود نانوسیلیکات پتاسیم در (جدول ۴) نشان داد مصرف کود نانوسیلیکات پتاسیم منجر به افزایش تعداد برگ در بوته نسبت به شاهد شد، همچنین بین سطوح ۱ و ۲ در هزار کود نانوسیلیکات پتاسیم اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

تعداد بلال در بوته

نتایج تجزیه واریانس بیانگر این بود که بین تیمارهای تنش خشکی و کود نانوسیلیکات پتاسیم در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت. همچنین اثر متقابل تنش خشکی با کود نانوسیلیکات پتاسیم بر تعداد بلال در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین تعداد بلال در بوته تحت تأثیر فاکتور تنش خشکی نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش تعداد بلال در بوته شد و با افزایش مدت تنش، خسارت تشدید شد، به‌طوری‌که بیشترین تعداد بلال در بوته را شاهد به میزان ۱/۴۵ بلال به خود اختصاص داد و کمترین تعداد بلال در بوته را تنش شدید (۱/۰۱ بلال) دارا بود (شکل ۴). نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین تعداد بلال در بوته تحت اثر تنش خشکی با کود نانوسیلیکات پتاسیم در (شکل ۴) نشان داد که بیشترین تعداد بلال در بوته به مقدار ۱/۸۱ بلال مربوط به ۲ در هزار نانوسیلیکات پتاسیم در آبیاری مطلوب و کمترین تعداد بلال در بوته به مقدار ۰/۹ بلال مربوط به تیمار عدم حضور کود نانوسیلیکات پتاسیم در تنش شدید مشاهده گردید. بیشترین تأثیر نانوسیلیکات پتاسیم در افزایش تعداد بلال در بوته در آبیاری مطلوب مربوط به ۲ در هزار نانوسیلیکات پتاسیم و در تنش شدید مربوط به ۱ در هزار نانوسیلیکات پتاسیم بود.

طول بلال

نتایج حاصل‌شده از تجزیه واریانس مشخص کرد که اثر تنش خشکی و کود نانوسیلیکات پتاسیم در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر طول بلال داشت. همچنین نتایج بیانگر این بود که اثر متقابل تنش خشکی با کود نانوسیلیکات پتاسیم بر طول بلال در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها اعمال تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار طول بلال شد، به‌طوری‌که بیشترین طول بلال به میزان ۲۰/۳۹ سانتی‌متر در شرایط آبیاری مطلوب و کمترین طول بلال به میزان ۱۴/۳۱ سانتی-متر در شرایط تنش خشکی شدید حاصل شد (شکل ۵). بر اساس نتایج مقایسه میانگین طول بلال تحت تأثیر اثر تنش خشکی و کود نانوسیلیکات پتاسیم در (شکل ۵) مشخص شد که در شرایط تنش خشکی، کاربرد ۲ در هزار نانوسیلیکات پتاسیم باعث بهبود طول بلال به میزان ۱۴/۳ درصد گردید.

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های تأثیر سطوح تنش خشکی بر تعداد برگ، قطر بلال، تعداد ردیف در بلال وزن هزار دانه در گیاه ذرت

Table 3. Comparison of the effects of drought stress levels on number of leaves, ear diameter, and number of rows per ear and 1000-seed weight in maize.

رژیم آبیاری (میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) Irrigation regimes (mm evaporation from Pan)	تعداد برگ در بوته Number of leaves in plant	قطر بلال Diameter of ear (cm)	تعداد ردیف در بلال Number of rows in ear	وزن هزار دانه Thousand Kernel Weight (g)
30	13.25[a]	4.92[a]	14.11[a]	241.6[a]
60	11.8[b]	4.13[b]	12.14[b]	210[b]
90	9.9[c]	3.54[c]	11.1[c]	188[c]

میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

The means with same letters do not have a significant difference on 5% level based on Donkan Test.

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های تأثیر کود نانوسیلیکات پتاسیم بر تعداد برگ، قطر بلال، تعداد ردیف در بلال وزن هزار دانه در گیاه ذرت

Table 4. Comparison of the effects of potassium nanosilicate fertilizers on leaf number, ear diameter, number of rows per ear and 1000-seed weight in maize.

نانوسیلیکات پتاسیم (در هزار) Potassium Nano silica (‰)	تعداد برگ در بوته Number of leaves in plant	قطر بلال Diameter of ear (cm)	تعداد ردیف در بلال Number of rows in ear	وزن هزار دانه Thousand kernel weight (g)
0	10.95[b]	3.78[b]	11.48[b]	199.78[b]
1	11.97[a]	4.31[a]	12.53[ab]	218.79[a]
2	12.03[a]	4.49[a]	13.11[a]	221.08[a]

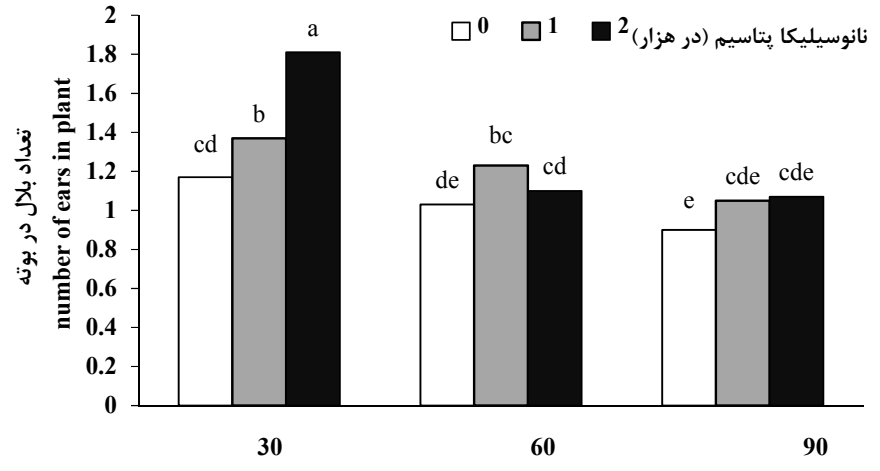
میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

The means with same letters do not have a significant difference on 5% level based on Donkan Test.

قطر بلال

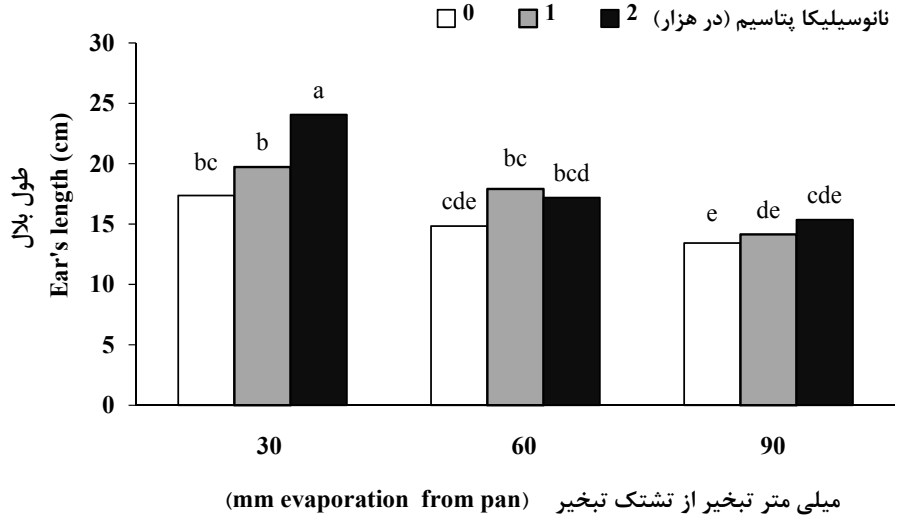
بر اساس نتایج حاصل‌شده از تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و کود نانوسیلیکات پتاسیم در سطح احتمال یک درصد بر قطر بلال معنی‌دار بود؛ اما اثر متقابل تنش خشکی با کود نانوسیلیکات پتاسیم معنی‌دار نشد (جدول ۲).

اطلاعات به‌دست‌آمده از نتایج مقایسه میانگین قطر بلال تحت تأثیر فاکتور تنش خشکی بیانگر این بود با اعمال تنش خشکی از قطر بلال کاسته شد به‌طوری‌که حداکثر قطر بلال به میزان ۴/۹۲ سانتی‌متر در تیمار آبیاری مطلوب و حداقل قطر بلال به میزان ۳/۵۴ سانتی‌متر در تنش شدید مشاهده شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین قطر بلال تحت تأثیر فاکتور کود نانوسیلیکات پتاسیم در (جدول ۴) نشان داد که با مصرف نانوسیلیکات پتاسیم قطر بلال نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد، بیشترین قطر بلال از اعمال ۱ و ۲ در هزار نانوسیلیکات پتاسیم به میزان ۴/۳۱ و ۴/۴۹ سانتی‌متر حاصل شد.



شکل ۴. مقایسه میانگین تأثیر سطوح کود نانو سیلیکات پتاسیم در حضور تنش خشکی بر تعداد بلال در بوته گیاه ذرت. تیمارهایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Fig. 4. The comparison of the mean effect of potassium Nano silica fertilizer under drought stress on the noumber of ears in maize plant. The treatments with at least one similar letter do not have a significant statistical difference on the possibility level of 5%.



شکل ۵. مقایسه میانگین تأثیر سطوح کود نانو سیلیکات پتاسیم در حضور تنش خشکی بر طول بلال گیاه ذرت. تیمارهایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Fig. 5. The comparison of the mean effect of potassium Nano silica under drought stress on ear's length of maize plant. The treatments with at least one similar letter do not have a significant statistical difference on the possibility level of 5%

تعداد ردیف در بلال

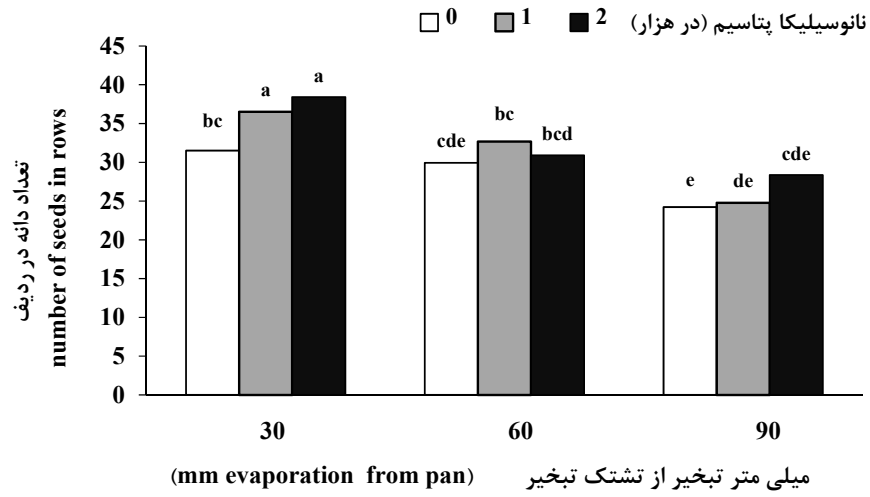
نتایج تجزیه واریانس مبین این بود که اثر تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد و کود نانوسیلیکات پتاسیم در سطح احتمال پنج درصد روی تعداد ردیف در بلال معنی‌دار شد، ولی اثر متقابل تنش خشکی با کود نانوسیلیکات پتاسیم روی تعداد ردیف در بلال معنی‌داری نشد (جدول ۲). نتایج نشان داد که تعداد ردیف در بلال تحت تأثیر تنش خشکی (جدول ۳)، با کاهش یافت و بالاترین تعداد ردیف در بلال به مقدار ۱۴/۱۱ ردیف در آبیاری مطلوب و پایین‌ترین تعداد ردیف در

بلال به مقدار ۱۱/۱ ردیف در شرایط تنش شدید مشاهده گردید. اطلاعات به‌دست‌آمده از نتایج مقایسه میانگین تعداد ردیف در بلال تحت تأثیر نانوسیلیکات پتاسیم، نشان داد مصرف نانوسیلیکات پتاسیم سبب بهبود ۱۲/۵ درصدی تعداد ردیف در بلال شد، به‌طوری‌که بیشترین تعداد ردیف در بلال به میزان ۱۳/۱۴ ردیف در مصرف ۲ در هزار نانوسیلیکات پتاسیم و کمترین تعداد ردیف در بلال به میزان ۱۱/۶۸ بلال در تیمار شاهد حاصل شد (جدول ۴). همچنین بر اساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان اظهار داشت که کاربرد نانوسیلیکات پتاسیم در شرایط تنش خشکی باعث بهبود تعداد ردیف در بلال در گیاه ذرت گردید.

تعداد دانه در ردیف

بر اساس نتایج تجزیه واریانس تنش خشکی و کود نانوسیلیکات پتاسیم تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر تعداد دانه در ردیف داشت. همچنین در اثر متقابل تنش خشکی با کود نانوسیلیکات پتاسیم تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد دانه در ردیف مشاهده گردید (جدول ۲).

اطلاعات به‌دست‌آمده از نتایج مقایسه میانگین تعداد دانه در ردیف تحت تأثیر تنش خشکی (شکل ۶) نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش تعداد دانه در ردیف نسبت به شاهد شد، به‌گونه‌ای که بیشترین تعداد دانه در ردیف به میزان ۱۴/۱۱ دانه مربوط به تیمار شاهد و همچنین کمترین تعداد دانه در ردیف به میزان ۱۱/۱ دانه مربوط به تنش شدید بود. نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین تعداد دانه در ردیف تحت اثر تنش خشکی با کود نانوسیلیکات پتاسیم (شکل ۶) نشان داد که در شرایط آبیاری مطلوب کاربرد سطوح ۱ و ۲ در هزار نانوسیلیکات پتاسیم، در تنش متوسط مصرف ۱ در هزار نانوسیلیکات پتاسیم و در تنش شدید مصرف ۲ در هزار نانوسیلیکات پتاسیم بیشترین افزایش تعداد دانه در ردیف را موجب شد.



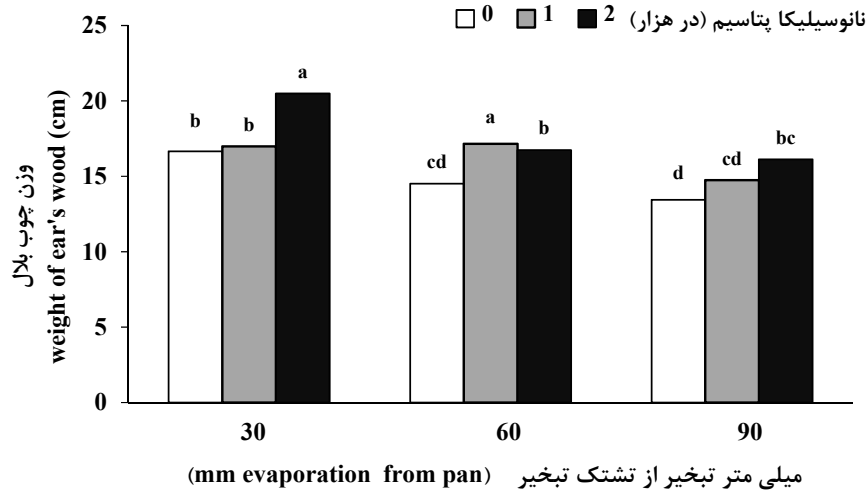
شکل ۶. مقایسه میانگین تأثیر سطوح کود نانو سیلیکات پتاسیم در حضور تنش خشکی بر تعداد دانه در ردیف گیاه ذرت. تیمارهایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Fig. 6. The comparison of the mean influence of potassium Nano silica under drought stress on the number of seeds in rows in maize plant. The treatments with at least one similar letter do not have a significant statistical difference on the possibility level of 5%

وزن چوب‌بلال

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن بود که تنش خشکی و کود نانوسیلیکات پتاسیم در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل تنش خشکی با کود نانوسیلیکات پتاسیم در سطح احتمال پنج درصد بر وزن چوب‌بلال به‌طور معنی‌داری تأثیر داشت (جدول ۲). نتایج حاصل‌شده از مقایسه میانگین وزن چوب‌بلال تحت تأثیر فاکتور تنش خشکی (شکل ۷) بیانگر این بود که در شرایط تنش خشکی وزن چوب‌بلال نسبت به

شاهد کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین وزن چوب‌بلال به میزان ۱۸/۰۵ گرم در شرایط آبیاری مطلوب و کمترین وزن چوب‌بلال به میزان ۱۴/۷۷ گرم در شرایط تنش شدید به دست آمد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین وزن چوب‌بلال تحت اثر تنش خشکی با کود نانوسیلیکات پتاسیم در (شکل ۷) حاکی از آن بود کاربرد نانو سیلیکاتی پتاسیم هم در شرایط آبیاری مطلوب (۲۳/۱ درصد) و هم در شرایط تنش شدید (۱۴/۲ درصد) باعث بهبود وزن چوب‌بلال ذرت گردید.



شکل ۷. مقایسه میانگین تأثیر سطوح کود نانو سیلیکات پتاسیم در حضور تنش خشکی بر وزن چوب‌بلال گیاه ذرت. تیمارهایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Fig. 7. The comparison of the mean influence of potassium Nano silica fertilizer under drought stress on the weight of ear's wood. The treatments with at least one similar letter do not have a significant statistical difference on the possibility level of 5%.

وزن بلال

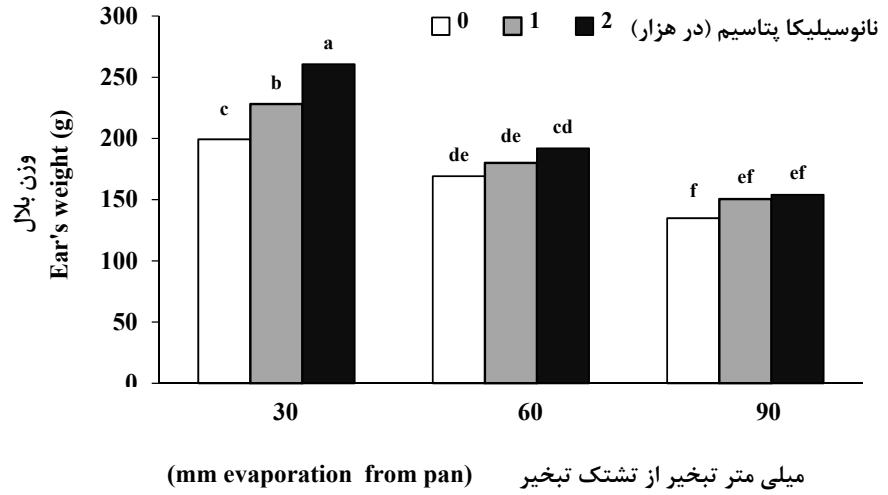
اطلاعات به‌دست‌آمده از نتایج تجزیه واریانس مبین این بود که تنش خشکی و کود نانوسیلیکات پتاسیم در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل تنش خشکی با کود نانوسیلیکات پتاسیم در سطح احتمال پنج درصد بر وزن بلال تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۲).

نتایج حاصل‌شده از مقایسه میانگین وزن بلال تحت تأثیر فاکتور تنش خشکی بیانگر این بود با اعمال تنش خشکی وزن بلال کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد یافت و با افزایش شدت تنش، خسارت به وزن بلال تشدید شد، به‌طوری‌که کمترین وزن بلال در شرایط تنش شدید به مقدار ۱۴۸/۴۸ گرم ملاحظه شد (شکل ۸). نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین وزن بلال تحت تأثیر تنش خشکی با کود نانوسیلیکات پتاسیم نشان داد که در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی بیشترین افزایش وزن بلال از کاربرد ۲ در هزار نانوسیلیکات پتاسیم حاصل گردید (شکل ۸). به‌طوری‌که به ترتیب، در شرایط آبیاری مطلوب و تنش شدید خشکی، کاربرد غلظت ۲ در هزار نانوسیلیکات پتاسیم باعث افزایش ۳۰/۷ و ۱۴/۱ درصدی وزن بلال گردید. درحالی‌که اختلاف معنی‌داری بین سطوح نانوسیلیکات پتاسیم در شرایط تنش خشکی مشاهده نگردید.

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس بیانگر این بود که تنش خشکی و کود نانوسیلیکات پتاسیم در سطح احتمال یک درصد روی وزن هزار دانه به‌طور معنی‌داری تأثیر داشت، اثر متقابل تنش خشکی با کود نانوسیلیکات پتاسیم تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه نداشت (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین وزن هزار دانه تحت تأثیر فاکتور تنش خشکی، با اعمال تنش خشکی وزن هزار دانه نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد، به‌نحوی‌که بیشترین وزن هزار دانه در شرایط آبیاری مطلوب (۲۴۱/۶۴ گرم) و کمترین وزن هزار دانه در شرایط تنش

شدید (۱۸۸ گرم) مشاهده شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین وزن هزار دانه تحت تأثیر فاکتور کود نانوسیلیکات پتاسیم نشان داد که مصرف کود نانوسیلیکات پتاسیم با افزایش وزن هزار دانه همراه بود، همچنین سطوح ۱ و ۲ در هزار نانوسیلیکات پتاسیم در یک گروه آماری واقع شده بودند (جدول ۴).



شکل ۸. مقایسه میانگین تأثیر سطوح کود نانو سیلیکات پتاسیم در حضور تنش خشکی بر وزن بلال گیاه ذرت. تیمارهایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Fig. 8. The comparison of the mean influence of potassium Nano silica under drought stress on the weight of ear. The treatments with at least one similar letter do not have a significant statistical difference on the possibility level of 5%.

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که با اعمال تنش خشکی ارتفاع بوته کاهش پیدا کرد. تنش خشکی، به‌طورمعمول از راه کاهش طول میان‌گره‌ها موجب کاهش ارتفاع بوته گردیده و درنتیجه کاهش ماده خشک کل را در پی خواهد داشت (Kilic and Tacettin, 2010) که با نتایج سایر محققان همخوانی دارد (Sabetfar et al., 2013). نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین داده در این تحقیق نشان داد که در شرایط تنش خشکی ارتفاع بوته و تعداد برگ در بوته کاهش معنی‌داری پیدا کرد که این امر درنهایت باعث کاهش وزن تر و خشک گیاه در شرایط تنش گردید. همچنین تنش خشکی موجب پیری و ریزش برگ‌ها شده و بنابراین باعث کاهش تعداد برگ‌ها می‌گردد (Jafari et al., 2014). با توجه به نقشی که برگ‌ها در فتوسنتز جاری و تولید مواد ذخیره‌ای در گیاه دارد، می‌توان اظهار داشت که یکی از دلایل کاهش رشد گیاه در شرایط تنش خشکی کاهش تعداد برگ در گیاه بوده باشد. به‌طوری‌که مک کرسی و لشیم (McKersie and Lesheim, 2013) بیان داشتند که یکی از دلایل کاهش میزان رشد در شرایط تنش، فتوسنتز ناکافی درنتیجه بسته بودن روزنه‌ها و جذب محدود دی‌اکسید کربن است. در شرایط تنش خشکی، فشار تورژسانس سلول‌های ساقه در حال رشد طولی کاهش می‌یابد و تولید مواد اصلی حاصل از فتوسنتز نیز کم می‌شود، لذا طول میانگره‌های ساقه و درنتیجه ارتفاع بوته کاهش می‌یابد که نتیجه آن کاهش وزن سلول‌ها وزن بوته است (Abid et al., 2016). تنش خشکی منجر به کاهش پتانسیل آبی سلول‌ها و پلاسمولیز سلول‌ها شده و درنتیجه نیروی محرکه لازم برای رشد سلول‌ها کاهش می‌یابد (Shao et al., 2007). همچنین تنش خشکی مقدار آب موجود در سلول و بافت گیاه را کاهش می‌دهد. به نظر می‌رسد ازآنجاکه با کاهش رطوبت خاک، پسابیدگی پروتوپلاسم همراه با کاهش آماس سلولی اتفاق می‌افتد، اندازه سلول و سرعت تقسیم سلولی روند کاهشی شدید پیدا خواهد کرد که باعث کاهش رشد و سطح فتوسنتز کننده گیاه می‌شود (Blum, 2005). کمبود آب از طریق کاهش رشد و تقسیم سلول‌ها را

تحت تأثیر قرار داده و درنتیجه تعداد و سطح برگ و ارتفاع ساقه در گیاه کاهش پیدا می‌کند (Desuloux et al., 2000).

نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش تعداد بلال در بوته شد در این شرایط انتظار می‌رود که وزن هزار دانه افزایش پیدا کند که این امر در شرایط تنش متوسط (جدول ۳) مشاهده گردید ولی در شرایط تنش شدید به نظر می‌رسد کاهش وزن هزار دانه به دلیل کاهش تعداد برگ در بوته و درنتیجه کاهش فتوسنتز و انتقال مواد به دانه باشد. نتایج نشان داد که در شرایط تنش خشکی تعداد بلال در بوته، طول بلال، قطر بلال، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در بلال، وزن چوب‌بلال، وزن بلال وزن هزار دانه کاهش پیدا کرد. همچنین نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع و تعداد برگ در گیاه ذرت گردید. با توجه به نقشی که برگ‌های گیاه در فتوسنتز دارند، ازاین‌رو، با افزایش تنش خشکی تعداد برگ‌ها و درنتیجه فتوسنتز کاهش می‌یابد و به‌طور مستقیم بر فرآیندهای بیوشیمیایی مربوط به فتوسنتز اثر گذاشته و به‌طور غیرمستقیم ورود گازکربنیک به داخل روزنه‌ها را کاهش می‌دهد (Taize and Ziger, 2006) و نیز در شرایط تنش شدید تنفس، جذب گازکربنیک، انتقال مواد فتوسنتزی و انتقال مواد خام در آوندهای چوبی به حد بسیار کم نزول پیداکرده و درنهایت کاهش فتوسنتز را در پی خواهد داشت و کمبود مواد غذایی و درنهایت کاهش رشد اتفاق خواهد افتاد (Plaut et al., 2004). تنش خشکی باعث کاهش انتقال مواد غذایی از برگ‌ها و سایر قسمت‌های گیاه به دانه شده و باعث تسریع در رسیدگی دانه‌ها می‌گردد، بنابراین در این شرایط وزن هزار دانه کاهش پیدا خواهد کرد (Harris and Taylor, 2013). کاهش طول دوره رشد رویشی و زایشی در اثر تنش خشکی که موجب کوتاه شدن طول دوره مؤثر پر شدن دانه و نیز کاهش ساخت و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها می‌شود، می‌تواند یکی دیگر از دلایل کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش خشکی بوده باشد (Amiri et al., 2011). تنش خشکی با کاهش سطح برگ، پیری زودرس برگ، کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به دلیل افت پتانسیل فشاری و کوتاه شدن دوره رشد زایشی برای گیاه محدودیت منبع ایجاد می‌کند و با افزایش سقط‌جنین در زمان گلدهی، کاهش تعداد بذر و کاهش تعداد و اندازه بلال محدودیت مخزن می‌کند و درمجموع با کاهش اجزای عملکرد از عملکرد نهایی می‌کاهد.

نتایج حاصل نشان داد که کاربرد نانوسیلیکات پتاسیم باعث بهبود طول بلال در شرایط تنش خشکی گردید. با توجه به نقشی که پتاسیم در باز و بسته شدن روزنه‌ها و افزایش کارایی مصرف آب دارد (Taiz and Ziger, 2006)، در این شرایط ممکن است کاربرد نانوسیلیکات پتاسیم باعث بهبود روابط آبی در گیاه ذرت شده باشد و اثرات ناشی از تنش خشکی بر گیاه را تعدیل داده و باعث بهبود طول بلال در شرایط تنش خشکی شده است. ازآنجایی‌که در شرایط تنش خشکی از میزان اسمیلات‌های اختصاص داده‌شده به دانه‌ها کاسته می‌شود و کاهش میزان اسمیلات‌ها منجر به افزایش نازایی گیاهان و عدم تشکیل دانه در بلال می‌شود (Hlavinka et al., 2009). بومسما و وین (Boomsma and Vyn, 2008) اظهار داشتند که تنش خشکی ممکن است با اثر غیرمستقیم بر تعداد گل‌های بارور از تعداد دانه در بلال بکاهد و همچنین تنش خشکی میزان تولید هورمون آبسیزیک اسید را افزایش داده که افزایش میزان آبسیزیک اسید نیز میزان تولید دانه در بلال را کاهش خواهد داد. کاهش تعداد ردیف در بلال درنتیجه تنش خشکی ناشی از عقیمی تخمک‌ها در بلال ذرت است (Aslam et al., 2014). در شرایط تنش خشکی علت اصلی کاهش تعداد دانه را به عقیم شدن دانه‌های گرده و اختلال در فتوسنتز جاری و انتقال مواد ذخیره‌شده به دانه‌ها نسبت می‌دهند (Majidi et al., 2015). تیمارهای مصرف پتاسیم نیز احتمالاً به دلیل نقشی که پتاسیم در برقراری تعادل بار الکتریکی در بافت‌های گیاهی و نیز حفظ آماس سلولی دارد، باعث بهبود رشد گیاه می‌شود (Malakuoti, 2000). پتاسیم انتقال مواد حاصل از فتوسنتز را تسریع می‌کند که منجر به رشد بهتر گیاهان می‌شود (Philippar et al., 2007). با توجه به نقش پتاسیم در حفظ پتانسیل آب سلول و کمک به جذب آب توسط گیاه، افزایش صفات ریخت‌شناسی در واکنش به مصرف کودهای پتاسیمی منطقی به نظر می‌رسد؛ زیرا که رشد گیاه نه‌تنها به تجمع مواد خام از طریق فتوسنتز و جذب عناصر بستگی دارد، بلکه به حفظ پتانسیل فشاری آب در گیاه جهت طویل شدن سلول‌ها نیز وابسته است (Rostami Ajirloo et al., 2015).

تیمارهای مصرف پتاسیم نیز احتمالاً به دلیل نقشی که پتاسیم در برقراری تعادل بار الکتریکی در بافت‌های گیاهی و نیز حفظ آماس سلول دارد، باعث بهبود رشد گیاه می‌شود (Larki et al., 2015). همچنین پتاسیم از طریق تنظیم اسمزی، پتانسیل آب لازم را برای رشد و به‌تبع آن تقسیم

سلولی حتی در شرایط خشکی فراهم می‌کند. از طرفی وجود پتاسیم کافی سبب تداوم فعالیت فتوسنتزی، بهبود تولید مواد فتوسنتزی، افزایش تعداد بلال در بوته، تعداد دانه در بلال و درنهایت سبب افزایش طول بلال می‌شود (De Rosa et al., 2010). به‌طوری‌که مصرف پتاسیم تأثیر معنی‌داری را در صفاتی مانند تعداد دانه در هر خوشه، درصد دانه‌های پوک، عملکرد زیستی و شاخص برداشت در برنج دارد (Bahmanyar and Soodaee Mashaee, 2010).

نتایج نشان داد که کاربرد نانوسیلیکات پتاسیم باعث بهبود ارتفاع و تعداد برگ گیاه ذرت در شرایط تنش خشکی گردید. با توجه به افزایش تعداد برگ درنتیجه‌ی کاربرد نانوسیلیکات پتاسیم و به طبع آن افزایش میزان فتوسنتز گیاه و نیز با در نظر گرفتن نقش پتاسیم در انتقال آسمیلات‌ها و عناصر غذایی (Daneshian et al., 2002)، بهبود رشد و عملکرد گیاه ذرت در شرایط تنش خشکی با کاربرد نانوسیلیکات پتاسیم قابل توجیه است. در این راستا ولدآبادی و علی‌آبادی فراهانی (Valadabadi and Aliabadi Farahani, 2008) اظهار داشتند که عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، روند پر شدن دانه و عمق نفوذ ریشه در ذرت در شرایط تنش خشکی به‌شدت کاهش می‌یابد ولی کاربرد پتاسیم سبب می‌گردد تا اثرات سوء تنش خشکی بر صفات فوق کاهش و عمق نفوذ ریشه افزایش یابد. همچنین، با توجه به نقش پتاسیم در انتقال مواد غذایی و جذب سریع‌تر افزایش تعداد دانه بر اثر مصرف آن منطقی به نظر می‌رسد (De Rosa et al., 2010). با مصرف پتاسیم، وزن دانه از طریق افزایش طول دوره پر شدن دانه بهبود می‌یابد (Rishi et al., 2007). پتاسیم منجر بهبود شرایط رشد گیاه و تقسیم سلولی و ساخت هیدروکربن‌ها و پروتئین‌ها و انتقال سریع آن به‌طرف دانه می‌شود که این امر موجب افزایش دانه می‌گردد (Daneshian et al., 2002). علاوه بر این مشخص شده است که نانو ذرات سیلیکای جذب‌شده به‌وسیله‌ی ریشه‌ی گیاه، لایه‌ای را در دیواره‌های سلولی تشکیل می‌دهند که می‌تواند باعث افزایش مقاومت گیاه نسبت به تنش‌ها محیطی شده و درنتیجه عملکرد محصول را بهبود بخشد (De Rosa et al., 2010). گزارش شده است که کاربرد کود پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد معنی‌دار بود و باعث افزایش صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه، تعداد کپسول، طول کپسول، تعداد دانه در کپسول وزن هزار دانه گردید (Jadav et al., 2010).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی ارتفاع بوته، وزن تر بوته، وزن خشک بوته، تعداد برگ در بوته، تعداد بلال در بوته، طول بلال، قطر بلال، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در بلال، وزن چوب‌بلال، وزن بلال، وزن هزار دانه کاهش پیدا کرد. نتایج حاصل‌شده از تحقیق موردنظر حاکی از آن بود که کاربرد کود نانوسیلیکات پتاسیم در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی توانست موجب بهبود شاخص‌های مورفولوژیک و اجزای عملکرد گیاه ذرت گردد. کود نانوسیلیکات پتاسیم اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را کاهش و تحمل گیاه به شرایط تنش خشکی را افزایش داد.

منابع

Amanullah, S., Iqbal, A., Irfanullah, M., Irfanullah, M., Hidayat, Z., 2016. Potassium management for improving growth and grain yield of maize (*Zea mays* L.) under moisture stress condition. Scientific Reports. 6, 34627.

Amiri, A., Parsa, S.R., Nezami, M., Ganjeali, A., 2011. The effects of droght stress at different phonological stages on growth indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in greenhouse condition. Iranian Journal of Pulses Research.1, 69-84. [In Persian with English summary].

Abid, M., Tian, Z., Ata-Ul-Karim, S.T., Liu, Y., Cui, Y., Zahoor, R., Jiang, D., Dai, T., 2016. Improvedtolerance to post-anthesis drought stress by pre-drought priming at vegetative stages in drought tolerant and -sensitive wheat cultivars. Plant Physiology and Biochemistry. 106, 218-227.

Ahmed, M., Hassen, F., Qadeer U., Asla, A., 2011. Silicon application and drought tolerance mechanism of sorghum. African Journal of Agricultural Research. 6, 594-607.

Aslam, M., Zamir, M.S.I., Afzal, I., Amin, M., 2014. Role of potassium in physiological functions of spring maize (*Zea mays* L.) grown under drought stress. Journal of Animal and Plant Sciences. 24, 1452-1465.

Bahmanyar, M.A., Soodaee Mashaee, S., 2010. Influences of nitrogen and potassium top dressing on yield and yield components as well as their accumulation in rice (*Oryza sativa* L.). African Journal of Biotechnology. 9, 2648-2653.

Blum, A., 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential-are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? Australian Journal of Agriculture. 56, 1159-1168.

Bocharnikova, E.A., Matichenkov, V., 2008. Using Si fertilizers for reducing irrigation water application rate. Silicon in Agriculture Conference, Wild Coast Sun, South Africa, 26-31 October.

Boomsma, C.R., Vyn, T.J., 2008. Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis? Field Crops Research. 108, 14-31.

Daneshian, J., Majidi Hrvan, A., Jonoubi, P., 2002. The effect of drought stress and different amounts of potassium on quantitative and qualitative characteristics of soybean. Journal of Agriculture Science. 8, 108-95. [In Persian with English summary].

De Rosa, M.R., Monreal, C., Schnitzer, M., Walsh, R., Sultan, Y., 2010. Nanotechnology in fertilizers. Nature Nanotechnology. 5, 91-92.

Desuloux, D., Huynh, T.T., Roumet, P., 2000. Identification of soybean plant characteristics that indicate the timing of drought stress. Crop Science. 40, 716-722.

Doshi, R., Braida, W., Christodoulatos, C., Wazne, M., O'connor, G., 2008. Nano aluminum: Transport through sand columns and environmental effects on plant and soil communities. Environmental Research. 106, 296-303.

Farshad, R., Malakooti, M.J., 2003. Effect of potassium and zinc on quality and quantity of grain maize in Karaj. Journal of Soil and Water Conservation. 12, 70-75.

Harris, N.S., Taylor, G.J., 2013. Cadmium uptake and partitioning in durum wheat during grain filling. BMC Plant Biology, 103, 1-16.

Hlavinka, P., Trnka, M., Semeradovaa, D., Dubrovsky, M., Zalud, Z., Mozny, M., 2009. Effect of drought on yield variability of key crops in Czech Republic. Agricultural and Forest Meteorology. 149, 431 – 442.

Ibrahim, S.A., Kandil, H., 2007. Growth, yield and chemical constituents of corn (*Zea maize* L.) as affected by nitrogen and phosphors fertilization under different irrigation intervals. Journal of Applied Sciences Research. 3, 1112-1120.

Jadav, D.P., Padamani, D.R., Polara, K.B., Parmar, K.B., Babaria, N.B., 2010. Effect of different level of sulphur and potassium on growth, yield and yield attributes of sesame (*Sesamum indicum* L.). Asian Journal of Soil Science. 5, 106-108.

Jafari, N., Esfahani, M., Fallah, A., 2014. Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) application, nitrogen, and zinc sulphate fertilizer on yield and nitrogen uptake in rapeseed (*Brassica napus* L.). Agroecology. 5(4), 341-352. [In Persian with English summary].

Kamenidou, D., Cavins, T., Marek, S., 2009. Evaluation of silicon as a nutritional supplement for greenhouse zinnia production. Scientia Horticulturae. 119, 297-301.

Kilic, H., Tacettin, Y., 2010. The effect of drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. Durum) cultivars. Otulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 38, 164-170

Larki, S., Rahnama, A., Aynehband, A., 2015. Effect of application of potassium fertilizers on physiological traits and cadmium accumulation in grain of two durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. durum (Desf.) Husn.) Cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences. 17, 223 -235. [In Persian with English summary].

Majidi, M.M., Jafarzadeh, M., Rashidi, F., Mirlohi, A., 2015. Effect of drought stress on yield and some physiological traits in Canola varieties. Journal of Plant Process and Function. 3, 59-70. [[In Persian with English summary].

Malakuoti, M.J., 2000. General diagnosis method and essentiality of optimum fertilizers application (5nd Ed.) Tarbiat Modaress University Press. pp. 131. [In Persian].

McKersie, B.D., Lesheim, Y., 2013. Stress and stress coping in cultivated plants. Springer e & Business Media.

Monica, R.C., Cremonini, R., 2009. Nanoparticles and higher plants. Caryologia, 62, 161-165.

Naderi, M.R., Abedi, A., 2012. Application of nanotechnology in agriculture and refinement of environmental pollutants. Journal of Nanotechnology. 11, 18-26.

Philippar, K., Fuchs, I., Luthen, H., Hoth, S., Bauer, C.S., Haga, K., Thiel, G., Ljung, K., Sandberg, G., Bottger, M., Becker, D., Hedrich, R., 2007. Auxin-induced K1 channel expression represents an essential step in coleoptile growth and gravitropism. Proceedings of the National Academy of Sciences. 96: 12186–12191

Plaut, B., Butow, J., Blunemthal, C.S., Wrigley, C.W., 2004. Trunsport of dry matter into developing wheat kernels and is contribution to grain yield under post – and thesis water deficit and evaluated temperature. Field Crops Research. 86, 185–198.

Preetipande, M., Anwar, S.C., Yadov, V., Patra, D., 2007. Optimal level of Iron and Zinc in relation to its influence on herb yield and protection of essential oil in menthol mint. Communication of Soil science and Plant Analysis. 38l, 561-578.

Rishi, M., Singh Lal, C., Prasad, M., Abdin, Z., Arun, K., 2007. Combining ability analysis for grain filling duration and yield traits in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). Genetics and Molecular Biology. 30, 411-416.

Rostami Ajirloo, A., Shaaban, M., Rahmati Motlagh, Z., 2015. Effect of K nano-fertilizer and n bio-fertilizer on yield and yield components of tomato (*Lycopersicon Esculentum* L.). International Journal of Advantage Biological and Biometry Research. 3, 138-143

Sabetfar, S., Ashouri, M., Amiri, E., Babazadeh, S., 2013. Effect of drought stress at different growth stages on yield and yield component of rice plant. Persian Gulf Crop Protection. 2, 14–18

Shao, H., Guo, Q., Chu, L., Zhao, X., Su, Z., Hu, Y., Cheng, J., 2007. Understanding molecular mechanism of higher plant plasticity under abiotic stress. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 54, 37–45.

Taize, L., Zaiger, E., 2006. Plant Physiology. USA Sunderland (Massachusetts). Sinuer Associate. 751p.