دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
سال دوازدهم، شماره چهل و یکم، ۱۳۹۹

تأثیر نانوکودهای گوناگون و تنش آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم دانه‌ای در منطقه سیستان

الهام کاظمی[۱]، حمیدرضا گنجعلی[۲]، احمد مهربان[۳]، احمد قاسمی[٤]

دریافت: ۹۷/۷/۱۲ پذیرش: ۹۷/۱۰/٦

چکیده

تأثیر نانو کودها بر عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم دانه‌ای (*Sorghum bicolor L. Moench*) رقم تجاری پیام و مقایسه این تاثیر با کودهای شیمیایی رایج منطقه که سالانه در مقادیر بالا مورد استفاده قرار می گیرند وبا هدف ممانعت از مصرف بی رویه این کودها و جایگزینی آنها با نانوکود) تحت تنش‌های متفاوت آبی در آزمایشی در تابستان سال‌های ۱۳۹٦ و ۱۳۹۷ در منطقه سیستان انجام شد. آزمایش به صورت طرح کرت های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ٤ تکرار به اجرا در آمد. کرت‌های اصلی شامل سه سطح تنش (تنش آبی پیش از گلدهی، تنش آبی بعد از گلدهی و بدون تنش) و کرت‌های فرعی شامل ۵ سطح (میکرونانوکود، ماکرونانوکود، میکرونانوکود توأم با ماکرونانوکود، کودهای شیمیایی و شاهد) بودند. ویژگی‌های مورد ارزیابی سورگوم دانه‌ای تحت تأثیر تنش‌ها و کودهای مذکور قرارگرفت. نتایج نشان داد برهمکنش تنش آبی و کودهای نانو و کودهای شیمیایی در صفت های تعداد برگ، قطرساقه، طول خوشه، عملکرد دانه، وزن خوشه، وزن هزاردانه، مساحت برگ پرچم و عملکرد زیستی معنی دار گردید. بالاترین عملکردهای زیستی و دانه به ترتیب درشرایط آبیاری + کود شیمیایی و آبیاری معمولی + ماکرونانوکود + میکرونانوکود بدست آمد. با توجه به نتایج می‌توان مصرف نانو کودها را با غلظت دوگرم در هر لیتر آب برای حفاظت بیشتر از محیط زیست در منطقه توصیه کرد.

واژه‌های کلیدی: تنش آبی، سورگوم دانه‌ای، کود شیمیایی، نانوکود

کاظمی، ا.، ح.ر. گنجعلی، ا. مهربان و ا. قاسمی. ۱۳۹۹. تأثیر نانوکودهای گوناگون و تنش آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم دانه‌ای در منطقه سیستان. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ٤۱: ۲٤۲-۲۳۰.

۱- دانشجوی دکترا ی زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران

۲- استادیار گروه کشاورزی، دانشکده کشاورزی، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران- مسئول مکاتبات. hr_ganjali@yahoo.com

۳- استادیار گروه کشاورزی، دانشکده کشاورزی، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران

٤- استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی شهرستان زابل، زابل، ایران

مقدمه

سورگوم به لحاظ میزان تولید و اهمیت غذایی پنجمین غله جهان است و ایالت متحده آمریکا یکی از بزرگترین تولیدکنندگان آن می‌باشد سورگوم غالباً برای خوراک دام مورد استفاده قراردارد و حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد از محصول آن برای تولید اتانول مورد استفاده قرار می‌گیرد (لیو و همکاران، ۲۰۱۳). سطح زیر کشت انواع سورگوم در ایران حدود ٤٠ هزار هکتار می‌باشد (آذری نصرآباد و همکاران، ۱۳۹۵). سورگوم تحت شرایطی که برای سایر غلات نامناسب است قادر به تولید بذر می‌باشد (المدرس و همکاران، ۱۳۸۷). این گیاه با داشتن صفت هایی همانند روزنه‌های کوچک، قابلیت خودپیچی برگ‌ها، کنترل روزنه‌ها و غیره سازگاری بالایی به طیف وسیعی از شرایط اکولوژیکی دارد ولیکن عملکرد آن مانند سایر گیاهان زراعی تحت تأثیر تنش آبی قرار می‌گیرد (خزایی و همکاران، ۱۳۹۵).با افزایش جمعیت جهان سرانه مصرف مواد غذایی همچنان رو به افزایش است ازطرفی خشکسالی و سایر تنش‌های دیگربه شدت تولیدات مواد غذایی را تهدید می‌کند با در نظرگرفتن این نکات توجه به گیاهانی که تحت این شرایط عملکرد قابل قبولی داشته باشند ارجحیت دارد و سورگوم گیاهی است که این قابلیت را دارد (صدام و همکاران، ٢٠١٤). عملکرد گیاهان زراعی تحت شرایط تنش آبی محدود می‌گردد. سورگوم‌ها اگر چه توانایی مقابله با تنش‌های محیطی از جمله خشکی را دارد اما در نواحی خشک و نیمه خشک تحت تأثیر تنش آبی عملکرد آن کاهش می‌یابد (آذری نصرآباد و همکاران، ۱۳۹۵). واکنش به تنش آبی در سورگوم به دو نوع پیش و بعد از گلدهی تقسیم بندی می-شودو سازگاری به خشکی بعد از گلدهی در رقم‌های سورگوم که دارای فنوتیپ سبز بمان هستند و و برگ‌های سبزشان به مدت طولاتی تری باقی مانده و بطور عادی دانه تولید می‌کنند ملاحظه شده است (کوماری وینودهانا و جنه سامورتی، ۲۰۱۰). یکی از راه‌های مقابله با تنش آبی تغییر الگوی کاشت به سوی گیاهان سازگار به کم آبی است. خشکی تعادل تغذیه‌ای گیاه را به هم می‌زند لذا با تکمیل عناصر غذایی می‌توان رشد گیاه را در شرایط تنش بهبود بخشید (داودی و همکاران، ۱۳۹۲). ۳۵ تا ٤٠ درصد تولید محصولات زراعی بستگی به کود دارد هدف اصلی استفاده کودها رفع کمبودهای خاک است که به دلایل گوناگونی از قبیل فرسایش خاک، کمبود منابع آبی و شرایط خاص برخی خاک‌ها وجود دارد (رامشایا و همکاران، ۲۰۱۵). با توجه به محدودیت زمین‌های کشاورزی و کمبود منابع آبی، افزایش مصرف کودهای شیمیایی تبدیل به یکی از روش‌های افزایش تولید در سراسر جهان شده است (مقصودی و نجفی، ۱۳۹۵) و همچنین یکی از دلایل پایین بودن کارایی مصرف کودهای شیمیایی عدم تعادل میان زمان مصرف و سرعت آزاد سازی عناصر کودبا نیاز غذایی گیاه است. امروزه عملکردبسیاری از گونه‌های گیاهی بواسطه کمبود یا عدم تعادل عناصر غذایی و مواد آلی خاک دچار رکود اقتصادی گردیده و نقش محوری کودها در بالابردن تولیدات غذایی در کشورهای درحال توسعه کاملاً بارز و آشکار است (ورونیکا و همکاران ۲۰۱۵). در این راستا فناوری نانو همانند سایر فناوری های جدید در صنعت کشاورزی به ویژه در کشاورزی مدرن مورد توجه قرارگرفته است و فرمولاسیون نانویی در کشاورزی، دستکاری‌های نانوژنتیکی محصولات کشاورزی و استفاده از فناوری نانو برای رهاسازی مواد ژنتیکی به درون گیاهان یا به عبارتی رسانش مواد به گیاهان با کمک نانو ذرات موضوعی است که همچنان در مورد گیاهان مختلف مورد آزمایش‌های گوناگون قرار می‌گیرد. یکی از موارد استفاده از فناوری نانو در کشاورزی مدرن درمورد کودها می‌باشد. مصرف اضافی کودهای گوناگون جهت افزایش عملکرد آلودگی اکوسیستم‌های گوناگون را درپی داشته است فناوری نانو با فرموله کردن کودهای مرسوم به راحتی توانسته مواد مغذی را مطابق با الگوی مصرف محصول کنترل کرده و از مصرف کود اضافی ممانعت کند (ورونیکا و همکاران، ۲۰۱۵). تأثیر نانو کودها در عملکرد بسیاری از گیاهان از جمله گندم(*Triticum aestivum L*) ، ارزن(*Italica setaria L.*)، ماش(*Vigna radiate L.*)، کنجد (*Sesamum indicum L.*) و... تحت شرایط مختلف محیطی و محدودیت‌های متفاوت مورد بررسی قرارگرفته و نظر به اینکه در وهله نخست کمبود آب کاهنده رشد و عملکرد گیاهان زراعی است بیشترین توجهات به تنش آبی معطوف گردیده است. اثرات مثبت نانو کودها جهت مرتفع کردن اثرات سوء تنش آبی بر شاخص‌های رشدی گیاهانی، مانند کنجد(*Sesamum indicum L.*)، (حیدری و همکاران، ١٣٩٤) و ماش(*Vigna radiate L.*) (شجاعی و مکاریان، ۱۳۹۳) گزارش شده است و مصرف نانوکودها توانسته اثرات سوء تنش آبی را در این گیاهان تا حدی مرتفع کند. در گزارشهای پژوهشگران بسیاری نیز افزایش عملکرد دانه و برخی از اجزای عملکرد بوسیله استفاده از نانوکودهای ماکرو و میکرو نیز اعلام شده است (بختیاری و همکاران، ١٣٩٤؛ توان و همکاران، ۱۳۹۳). با توجه به نکات ذکر شده این پژوهش با هدف تعیین میزان اثر نانوکودها تحت تنش

آبی برعملکرد سورگوم دانه‌ای و نیز مقایسه آن با اثر کودهای شیمیایی مرسوم منطقه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش دردو سال زراعی(۱۳۹۷-۱۳۹۶) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی ومنابع طبیعی سیستان واقع در ٢٤ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان زابل با عرض جغرافیایی۳۰/٥٤، طول جغرافیایی٦١/٤١ و با ارتفاع ٤٨٣ متر از سطح دریا به اجرا در آمد. اقلیم محل آزمایش گرم و خشک و میانگین دمای سالانه در سال ۱۳۹٦، ۲۱/۷ درجه سانتیگراد و رطوبت ۳۹/۲ درصد و در سال ۱۳۹۷، میانگین دمای سالانه۲۳ درجه سانتیگراد و رطوبت ۳۸ درصد بود. روش کاشت،تاریخ کاشت و زمان برداشت در هردو سال یکسان بود. وخاک مزرعه مورد آزمایش از نوع بافت لومی شنی می‌باشد (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

اسیدیته	اشباع خاک (درصد)	فسفر قابل جذب (میلی گرم در کیلوگرم)	پتاسیم قابل جذب (میلی گرم در کیلوگرم)	آهن قابل جذب (میلی گرم در کیلوگرم)	نیتروژن کل (درصد)	کربن آلی (درصد)
۷/٥	٤٥	۹/۹	۳۱۳	٤/۱	۰/۰۲	۰/۷۲

آزمایش بصورت کرت های یک بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در کرت‌هایی به مساحت ۱٥مترمربع انجام شد. تعداد خطوط کاشت ٦ خط و طول آن‌ها ٥ متر و فاصله بین خطوط نیم متر در نظر گرفته شد. کرت‌های اصلی شامل سه سطح تنش آبی پیش از گلدهی (قطع آبیاری پس از کاشت و سپس با ظهور نخستین گل در مزرعه آبیاری صورت گرفت)، تنش آبی بعد از گلدهی (قطع آبیاری پس ازظهور ٥۰ درصد گل‌ها در مزرعه تا زمان برداشت) و شاهد (آبیاری معمولی) و کرت‌های فرعی شامل پنج سطح نانوکود میکرو، نانوکود ماکرو، مصرف توأم میکرو نانوکود بعلاوه ماکرو نانوکود، کود شیمیایی وشاهد بود. مصرف نانوکودها بصورت محلول پاشی در دو مرحله ابتدای ساقه رفتن و سپس دو هفته بعد از آن (پیش از گلدهی) با میزان دو گرم در هر لیتر آب توسط سمپاش پشتی بعد از کالیبره کردن با فشار یک اتمسفر انجام شد مراحل مختلف رشدی بر اساس سامانه زادوکس (باربر و همکاران، ۲۰۱٥) و (ایلکایی و همکاران، ۱۳۹٤) در نظر گرفته شد. نانوکود میکرو به صورت ترکیب متعادلی از آهن، روی، منگنز، مس، بور، مولیبدن، کلسیم، منیزیوم و گوگرد و نانو کود ماکرو بصورت نانو ذرات نیتروژن، فسفر وپتاسیم در نظر گرفته شد که این کودها از شرکت دانش بنیان خضرا تهران براساس نوع گیاه تهیه گردید. مقدار کود شیمیایی مصرفی، کود اوره در نظر گرفته شده در این طرح ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، سوپرفسفات تریپل ۲٥۰ کیلوگرم در هکتارو سولفات پتاسیم ۷٥ کیلوگرم در هکتار (براساس آزمایش خاک) بودکه براساس این تناسب در هر تیمار کود شیمیایی به میزان محاسبه شده استفاده شد. نیمی از اوره پیش از کاشت و نیم دیگر آن در ابتدای گلدهی مورد استفاده قرارگرفت. کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل و کود پتاس از منبع سولفات پتاسیم پیش از کاشت با خاک مخلوط گردید. مقدار بذر مصرفی براساس توصیه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، ۱۲کیلوگرم در هکتار رقم پیام در نظر گرفته شد. بذر مصرفی از موسسه اصلاح بذر و نهال کرج تهیه گردید. کاشت توسط ماشین ردیف کار انجام گرفت و دو هفته پس از کاشت واکاری انجام شد. در طول دوره رشد وجین علف‌های هرز به صورت دستی انجام گرفت. برداشت زمانی که دانه‌های خوشه ها کاملا سفت شده و از حالت خمیری خارج شده و برگ‌های بالایی گیاه زرد شده بود انجام شد و سپس اندازه گیری قطرساقه توسط کولیس و از طریق ثبت میانگین اعداد انتخابی برای هرکرت بدست آمد. برای اندازه گیری عملکرد دانه از ٤ ردیف وسط با حذف اثر حاشیه‌ای (٥۰ سانتیمتر از ابتدا و انتهای هر خط حذف گردید) هر کرت خوشه های سطح ۸ متر مربع برداشت و عملکرد دانه تیمارها پس از خرمن کوبی و بوجاری براساس ۱۲ درصد رطوبت محاسبه گردید.اندازه گیری عملکرد زیستی بوسیله توزین بوته های برداشت شده از سطح ۸ متر مربع (٤ ردیف وسط با حذف اثر حاشیه‌ای) مشخص گردید. وزن خوشه بوسیله وزن کردن خوشه‌های ۲۰ بوته انتخابی در موقع برداشت و ثبت میانگین آنها بدست آمد. وزن هزار دانه بوسیله توزین دانه‌های بوته‌های انتخابی با ترازوی حساس یک دهم گرم و ثبت میانگین تعیین شد. ارتفاع بوته بوسیله اندازه گیری ارتفاع ۲۰ بوته انتخابی در هر کرت از روی خاک تا بالای خوشه در مرحله رسیدن و میانگین‌گیری برای هر کرت بدست آمد. تعداد

برگ ها بوسیله شمارش برگ‌ها در ۲۰ بوته در هر کرت در مرحله رسیدن یادداشت گردید. مساحت برگ پرچم بوسیله اندازه گیری طول و عرض برگ پرچم و ضرب در ۷۵ دهم در مرحله خوشه دهی محاسبه گردید. طول خوشه توسط کولیس و برمبنای میانگین ۲۰ بوته انتخابی از هرکرت محاسبه شد. شاخص برداشت به روش تقسیم عملکرد اقتصادی بر عملکرد زیستی و تبدیل آن به درصد محاسبه گردید و تعداد پنجه ها نیز بر مبنای شمارش پنجه‌های ۲۰ بوته انتخابی هرکرت در مرحله رسیدگی در نظر گرفته شد.تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزارهای EXCEL و SAS نسخه ۹/۲ و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تنش آبی و کوددهی بر ارتفاع بوته سورگوم معنی‌دار شد. ولی برهمکنش این دو عامل بر ارتفاع بوته معنی‌دار نشد. بیشترین ارتفاع بوته (به‌ترتیب ۱۰۲/۷۰ و ۱۰۳/٤۱ سانتی‌متر) درشرایط کاربرد کود شیمیایی و آبیاری کامل بدست آمد (جدول ۳). افزایش نیتروژن از طریق افزایش تقسیم سلولی و طول سلول‌ها باعث افزایش طول میان گره‌ها و ارتفاع ساقه می‌گردد، که در گزارش‌های کیهانی ومدحج (۱۳۹۳) در مورد ذرت نیز اعلام شده است. نتایج پژوهش‌های (انصاری جوینی و همکاران، ۱۳۹۰) در مورد مصرف کودهای شیمیایی فسفر در شرایط کم آبیاری در مورد سورگوم دانه‌ای نشان داد ارتفاع بوته در تیمارهای تحت آبیاری کامل + کود شیمیایی فسفر افزایش می‌یابد. اسلم و همکاران (۲۰۱۳) نیز در گزارش‌های خود در مورد ذرت اعلام داشتند کود پتاسیم افزایش دهنده طول ساقه است. همچنین تنش آبی منجر به کاهش معنی-دارارتفاع بوته می‌گردد. کمترین ارتفاع از تیمار تنش پیش از گلدهی و عدم کوددهی بدست آمد. کاهش ارتفاع بوته سورگوم دانه‌ای تحت تنش آبی پیش از گلدهی در پژوهش‌های خزایی و همکاران (۱۳۹۵) نیز گزارش گردیده است. نتایج آزمایش‌های تقی زاده وسیدشریفی (۱۳۹۰) در خصوص تأثیر کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت نشان داد با افزایش سطوح کود نیتروژن ارتفاع بوته افزایش یافته و کمترین ارتفاع بوته از تیمار عدم کاربرد کود نیتروژنی بدست آمد. پتاسیم نیز با تأثیری که در رشد و فتوسنتز گیاه داشته و تنظیمات روزنه‌ای و فعال کردن حداقل ٦۰ آنزیم گیاهی (سلوا پریتا و بالاکریشنان، ۲۰۱۷) می-تواند به عنوان محرک رشد طولی سلول‌ها همراه با مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفردار در افزایش ارتفاع بوته نقش داشته باشد.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تنش آبی و کوددهی بر صفات گوناگون سورگوم دانه‌ای

منبع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	قطر ساقه	تعداد برگ	طول خوشه	وزن خوشه	مساحت برگ
سال	۱	۲۲/۵۳	۰/۰۳٦۷	۰/٦۷۵	۱/۰۳	۸/٤۰	۹ /۰۰۸
خطای اصلی	٦	۵/۲۸	۰/۰۱۳۹	۰/۵۹۷	۰/۷۳۹*	۱۹/۹۵	۱٤/۸۹
تنش آبی	۲	۱۱۰۸/۵**	٤/۰۵٤**	۳۷/۵۰**	۲٦۱/۹۲**	۹۷۹٦/۵**	۳۸۹۵/۸۵**
سال در تنش آبی	۲	۰/۲۰۸	۰/۰۰۷	۰/۷۷۵	۲/۲٦**	۱/۱۰۸	۱۷ /۹۰
خطای فرعی	۱۲	۵/۷٤۷	۰/۰۰۸	۰/٤۳۰	۰/۱۹۲	۱۱/٤۷	٦/۷۰
کود	٤	٦۷۸/۸٤**	۷/۳۲**	۱۲/۸٤**	۱۲۵/٦۱**	۳۷۵۳/۳۲**	۲۳٦/۳۰**
تنش آبی × کود	۸	۳٤/۷۲**	۰/۱۱۲**	۲/۳۵**	۵/۹۲٦**	۲۰۸/۹۳**	۱۱۱/۲۲**
سال در کود	٤	۱/۰۹۵	۰/۰۰٦	٤ /٤۸	۰/٦۵۹	۰/۷۲۰	٤/۷۷
سال در تنش آبی در کود	۸	۱/۱۷۷	۰/۰۲٦*	۰/٤۹	۰/٤۲۹	۳/۱۷۰	۵/۰۲۲
خطای کل	۷۲	٦/۵۲	۰/۰۱۲	۰/٦۰٤	۰/۲۷٤	۱۱/۷۱	۱۵/۸۱
ضریب تغییرات		۲/٦۵	۵/۲٤	۸/۷٤	۲/۳۹	۲/٦۷	۳/۰۹
ضریب تبیین		۰/۹۱	۰/۹۷	۰/۸۳	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۰

* و ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ و معنی دار نمی باشد.

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تنش آبی و کوددهی بر صفات گوناگون سورگوم دانه‌ای

منبع تغییرات	درجه آزادی	تعداد پنجه ها	وزن هزار دانه	عملکرد زیستی	عملکرد دانه	شاخص برداشت
سال	۱	۰/۰۳	۰/٤۹۱	۱٤٥٦/٥۸	۲۱۱۲۲/۳۰	۰/۰۰۰۰۱۸
خطای اصلی	٦	۰/۱٦۰*	۰/٥۰۱*	۱۰۱۲٥/۰۹	۸۰٥۸/۰۳	۰/۰۰۰۰۷٥
تنش آبی	۲	٥/۷۲۷**	۳۷/۳۸**	٥۸٤۲٥۸۷۹/٦٤**	۳۰٦۰۷٥٥۲/۲**	۰/۰٦۲۹**
سال در تنش آبی	۲	۰/۰۱٤	۰/۰۲٤	۸۰۸/۹۱	۳۰۷/۸۸	۰/۰۰۱
خطای فرعی	۱۲	۰/۰٥۳	۰/۳۳۰	۳۹۷۸٦/۳٦	۲۱۷۹٦/٥	۰/۰۰۰۲
کود	٤	۱/۷۷۹**	٤۳/٥۰**	۳٦۹۸۷٤٥۱/۷٥**	۱۱۲۲٦۷۲٤/٤**	۰/۰۰٥٦**
تنش آبی × کود	۸	۰/۱٦۰*	۲/۳۹**	۱۹٦۷۳۲۸۹/٤۷**	۸۳۳۳۳٤/۸۸**	۰/۰۰۰۲٦
سال در کود	٤	۰/۱۲۰	۰/۰۰۳	۱۰۱۲/۰٦	٥٦٥/۸۱	۰/۰۰۰۱
سال در تنش آبی در کود	۸	۰/۰۳۷	۰/۰۲۷	۱۷۸۱/٥٦	۱۰۰۹/۲۳	۰/۰۰۰۰۱
خطای کل	۷۲	۰/۰٥۹	۰/۲۲	۲۹۷٥۳/۳۹	۳٥٦۲٤/٤	۰/۰۰۰۲
ضریب تغییرات		۱٥/۱۷	۱/۸۳	۱۲/۸۰	۱٤/٤٥	۸/۱۹
ضریب تبیین		۰/۸٤	۰/۹٤	۰/۹٦	۰/۹۷	۰/۸۹

* و ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ٥٪ و ۱٪ و معنی دار نمی باشد.

قطر ساقه

تنش آبی و مصرف کود و همچنین برهمکنش آنها بر قطر ساقه در سطح یک درصد معنی‌داربود. براساس داده‌های جدول مقایسه میانگین مشاهده می‌گرددکه بیشترین قطرساقه از تیمارهای کود شیمیایی + آبیاری معمولی بدست آمد (جدول ٤). بر اساس نتایج بدست آمده قطر ساقه در شرایط تنش آبی پیش از گلدهی کمتر از حالت‌های تحت تنش آبی بعد از گلدهی بود. تحت شرایط تنش آبی بعد از گلدهی اندام‌های فتوسنتز کننده مقداری از متابولیت‌های را خود مصرف می‌کنند و از طرفی سطح اندام‌های فتوسنتزکننده نیز در این مرحله به دلیل کاهش تعداد برگ‌ها و مرگ برخی از آن‌ها کاهش می‌یابد. در این مرحله انتقال کربوهیدرات‌های غیر ساختمانی از ساقه به دانه کاهش می‌یابد (آذری نصرآباد و همکاران، ۱۳۹٥) و این می‌تواند دلیلی برای کاهش اندک قطرساقه باشد. تحت تنش آبی پیش از گلدهی احتمال می‌رود ساقه بیشترین ذخایر خود را برای تشکیل آغازه-های گل انتقال داده باشد. در تیمارهایی که تنش آبی را بعد از گلدهی اعمال شده بود استفاده بهینه از کلیه کودها در دوران رشد رویشی سبب ایجاد ذخایر فتوسنتزی بیشتری گردید که توانستند قطر ساقه را افزایش دهند. کیهانی و مدحج (۱۳۹۳) نیز کود شیمیایی نیتروژن را افزایش دهنده قطر ساقه درذرت اعلام کردند و اظهار داشتند افزایش سطح برگ، تولید مواد فتوسنتزی و ذخیره آن‌ها در ساقه موجب افزایش قطر ساقه می‌گردد.

تعداد برگ

تنش آبی و کوددهی و برهمکنش تنش و کود برتعداد برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود. براساس داده های جدول مقایسه میانگین مقایسات میانگین برهمکنش تیمارها مشاهده می‌گردد به ترتیب تیمارهای آبیاری معمولی همراه با کودشیمیایی، تنش آبی بعد از گلدهی + کودشیمیایی و تیمار تنش آبی بعد از گلدهی همراه با میکرونانوکود + ماکرونانوکود بیشترین تعداد برگ ها را داشتند و بین این تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در شرایطی که تنش آبی را بعد از گلدهی وجود داشت به دلیل اینکه در دوران رشد رویشی و رشد وتمایز میانگره‌ها و برگ‌ها با کمبود آب مواجه نگردیده بودند ریزش برگها و پیری و کاهش تعداد برگ‌ها وجود ندارد. از طرفی کودهای شیمیایی و نانو کودهای میکرو و ماکرو با بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه توانستند سبب بهبود وضعیت فتوسنتز، افزایش ساخت کلروفیل و سبز ماندن و زنده ماندن بیشتر برگ‌ها باشند که این موارد با گزارشهای پژوهشگران دیگر نیز همخوانی دارد (بخشایش و شرف الدین زاده، ۱۳۹٦؛ سلواپریتا و بالاکرشنان، ۲۰۱۷؛ مقصودی ونجفی، ۱۳۹٥). تنش آبی پس از مرحله پنج برگی تغییری در تعداد برگ‌های گیاه سورگوم دانه‌ای ایجاد نخواهد کرد، زیرا تمایز مریستم انتهایی در مرحله مذکور پایان یافته است که پژوهشگران دیگر نیز این موضوع را اذعان داشته اند (انصاری جوینی و همکاران، ۱۳۹۰). همچنین کمترین تعداد برگ ها از تیمار تنش آبی پیش از گلدهی + بدون کوددهی بدست آمد. تنش آبی سبب کاهش مقدارکلروفیل در سلول‌های مزوفیلی و غلاف آوندی برگ‌ها

می‌شود که این مورد خود می‌تواند تعداد نهایی برگ ها را تحت تأثیر قراردهد از طرفی تحت تنش آبی پیش از گلدهی ارتفاع بوته و طول و تعداد میانگره‌ها نیز کاهش می‌یابد برگ‌ها در انتهای هرمیان گره تشکیل می‌گردند و لذا با کاهش تعداد میانگره‌ها تعداد برگ‌ها نیز کمتر می‌شود. ازطرفی این امکان وجود دارد که گیاه در مواجهه با تنش آبی تعدادی از برگ‌های خود را در نتیجه افزایش سنتز اتیلن ریزش دهد. خزایی و همکاران (۱۳۹۵) نیز اظهار داشتند تنش آبی پیش از گلدهی سبب لوله شدن برگ سورگوم دانه‌ای نیز گردید.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تنش آبی و کوددهی بر صفات گوناگون سورگوم دانه‌ای

تیمار	ارتفاع بوته (سانتیمتر)	قطر ساقه (سانتیمتر)	تعداد برگ	طول خوشه (سانتیمتر)	وزن خوشه (گرم)	مساحت برگ پرچم (سانتیمتر مربع)
تنش						
قطع آبیاری پیش از گلدهی	۹۲/۳۵c	۱/۷۹c	۷/۷۷b	۱۹/۰۹c	۱۲۳/۶۰b	۱۲۲/۳۵b
قطع آبیاری بعد از گلدهی	۹٤/۱۲b	۲/۱۸b	۹/۵۰a	۲۲/٦۳b	۱۱٤/۷۵c	۱۲۲/۸۷b
آبیاری معمولی (شاهد)	۱۰۲/۲۲a	۲/٤۲a	۹/٤۰a	۲٤/۰٦a	۱٤۵/۱۷a	۱۳۹/۷۰a
کوددهی						
ماکرو نانو کود	۹۵/۵۸c	۲/٤۰b	۸/۷۵۰b	۲۲/۷٤b	۱۳۰/۹۵c	۱۲٦/۸۷bc
میکرو نانو کود	۹٤/۲۹c	۱/۵۷c	۹/۰٤۱b	۲۰/۷۵c	۱۲۸/۸۷c	۱۲٦/۰۸c
کود شیمیایی	۱۰۳/۰۸a	۲/۷٦a	۹/۹۵۸a	۲٤/۵۹a	۱۳۸/۵۸a	۱۳۳/۱۲a
ماکرو نانو کود + میکرو نانو کود	۹۹/۲۵b	۲/۳۹b	۸/۷۹۱b	۲۲/۹۲b	۱۳٤/۳۳b	۱۲۹/۷۹b
بدون کوددهی (شاهد)	۸۸/۹۵d	۱/۵۲c	۷/۹۱٦c	۱۸/٦٤d	۱۰٦/٤۵d	۱۲۵/٦٦c

میانگین های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی دار وجود ندارد(دانکن۱٪)

ادامه جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تنش آبی و کوددهی بر صفات گوناگون سورگوم دانه ای

تیمار	تعداد پنجه ها(دربوته)	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت
تنش					
قطع آبیاری پیش از گلدهی	۱/۲۰c	۲۵/۱۹b	۱۷۱۸٦/۹۵c	۳۹۵۳/٤۳b	۰/۲۳۳a
قطع آبیاری بعد از گلدهی	۱/٦٦b	۲٤/۹۰b	۲۳۵۸٦/٦٤b	۳۵۳۸/۸٤c	۰/۱۵۵c
آبیاری معمولی (شاهد)	۱/۹۵a	۲٦/۷۰a	۲۸۹۸۸/۸۹a	۵۲۱۸/۰۹a	۰/۱۸۱b
کوددهی					
ماکرو نانو کود	۱/۵٦bc	۲۵/۷۳b	۲۱۸٦۱/۱۱b	۳۹۳۵/۱۸c	۰/۱۸٤bc
میکرو نانو کود	۱/۳۹cd	۲٤/۸۷c	۲۰٤۳۳/۳٦b	٤۲۹۱/۸٦b	۰/۲۱٤a
کود شیمیایی	۲/۰۱۰a	۲۷/٤۷a	۲۸۸۸۲/۳۷a	٤۹۱۰/٤۷a	۰/۱۷۲c
ماکرو نانو کود + میکرو نانو کود	۱/۷۱b	۲٦/۰٦b	۲٦٦۸۸/۸۷a	٤۸۰۸/۰۷a	۰/۱۸۸b
بدون کوددهی (شاهد)	۱/۳۳d	۲۳/۸۷d	۱۷۰٤۲/۱۰c	۳۲۳۸/۳٤d	۰/۱۹۱b

میانگین های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی دار وجود ندارد(دانکن۱٪)

طول خوشه

تنش آبی و کوددهی همچنین برهمکنش این دو برطول خوشه معنی‌داربود (جدول ۲). بیشترین طول خوشه (۲۷/۸۷ سانتی‌متر) درشرایط کود شیمیایی + آبیاری معمولی بدست آمد. مصرف کودهای شیمیایی فسفرداردر شرایط کم آبیاری نیز می-تواند افزایش رشد طولی سلول‌ها را درپی داشته باشد (انصاری جوینی و همکاران، ۲۰۱۱). پتاسیم نیز با تأثیری که در رشد و فتوسنتز گیاه داشته می‌تواند به عنوان محرک رشد طولی سلول‌ها همراه با مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفردار باشد (سلواپریتا و بالاکرشنان، ۲۰۱۷). کمترین طول خوشه از تیمار تنش آبی پیش از گلدهی + بدون کوددهی بدست آمد تنش آبی با تأثیر برآماس سلولی و کاهش تکثیر سلولی می‌تواند برطول

خوشه اثر کاهشی داشته باشد. در نتایج گزارش‌های ربانی و امام (۲۰۱۱) در خصوص هیبریدهای ذرت تحت تنش آبی نیز، تنش آبی با تأثیر بر فتوسنتز برگ موجب کاهش تولید مواد پرورده گردیده و رشد سلولی و طول بلال را کاهش داد. همچنین خزایی و همکاران (۱۳۹۵) نیز اعلام داشتند در سورگوم دانه‌ای تنش آبی پیش از گلدهی کاهش اندازه خوشه را در پی خواهد داشت.

وزن خوشه

تنش آبی و کوددهی و برهمکنش آن‌ها بر وزن خوشه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین وزن خوشه از در شرایط آبیاری معمولی همراه با کود شیمیایی بدست آمد (جدول ٤). نقش کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گزارش‌های پژوهشگران (توان و همکاران، ۱۳۹۳؛ سلواپریتا و بالاکرشنان، ۲۰۱۷) در افزایش وزن دانه گزارش کردند که این موضوع می‌تواند منجر به افزایش وزن خوشه گردد و کمترین وزن خوشه از تیمار قطع آبیاری بعد از گلدهی + بدون کوددهی بدست آمد. وزن خوشه تابع تعداد دانه‌ها در پانیکول و وزن آن‌هاست که وزن دانه در شرایط تنش آبی بعد از گلدهی بدلیل کوتاه شدن دوره پرشدن دانه کمترین مقدار بود.

مساحت برگ پرچم

تنش آبی و کوددهی و برهمکنش این دو برمساحت برگ پرچم در سطح یک درصد معنی‌دار بود . بیشترین مساحت برگ پرچم از تیمار آبیاری معمولی همراه با کود شیمیایی بدست آمد (جدول ٤). پتاسیم و نیتروژن خاک بر میزان سبزینگی و مقدار کلروفیل تأثیر زیادی دارند. در نتایج گزارشهای برخی پژوهشگران افزایش محتوی کلروفیل در برگ‌ها به واسطه نقش پتاسیم گزارش شده است و افزایش میزان کلروفیل برگ تثبیت بهتر دی اکسید کربن برای برگ را به همراه دارد و بالطبع سبب رشد بهتر برگ خواهد بود (توان و همکاران، ۱۳۹۳). کمترین مساحت برگ پرچم از تنش آبی پیش از گلدهی + بدون کوددهی (شاهد) بدست آمد. رشد برگ پرچم بیشتر دردوران رشد رویشی گیاه تحت تأثیر تنش‌ها قرارمی‌گیرد و در فاز زایشی چون رشد و تمایز آن پیش تر اتمام یافته است تحت تأثیر آنچنانی قرار نخواهد گرفت.

جدول ٤- مقایسه میانگین برهمکنش تنش آبی و کوددهی بر صفات گوناگون سورگوم دانه‌ای

تیمار	ارتفاع بوته (سانتیمتر)	قطر ساقه (سانتیمتر)	تعداد برگ(درهربوته)	طول خوشه (سانتیمتر)	وزن خوشه (گرم)	مساحت برگ پرچم (سانتیمتر مربع)
قطع آبیاری پیش از گلدهی + ماکرو نانو کود	۹۲/۲٥e	۲/۰٥f	۷/۲٥f	۱۹/٥٦g	۱۲٤/٥d	۱۲٤/۱۲e
قطع آبیاری پیش از گلدهی + میکرو نانو کود	۹۰/۷٥e	۱/۲۷i	۷/٥۰f	۱۸/٥۰h	۱۲۲/۱۲de	۱۲۱/۱۲e
قطع آبیاری پیش از گلدهی + کود شیمیایی	۹۸/۲٥d	۲/۲۷e	۸/۷٥cde	۲۱/۲٦f	۱۳۲/٦۲c	۱۲٦/٦۲e
قطع آبیاری پیش از گلدهی + ماکرو و میکرو نانو کود	۹٦/۸۷d	۲/۰۸f	۷/٦۲f	۱۹/۲۱g	۱۲۹/٦۲c	۱۲٤/٥۰e
قطع آبیاری پیش از گلدهی + بدون کوددهی	۸۳/٦۲f	۱/۲۷i	۷/۷٥ef	۱٦/۹۲i	۱۰۹/۱۲g	۱۱٥/۳۷f
قطع آبیاری بعد از گلدهی + ماکرو نانو کود	۹۳/۳۷e	۲/٤۳d	۹/۳۷bcd	۲۳/۸٦d	۱۱۸/۰۰ef	۱۲۳/٦۲e
قطع آبیاری بعد از گلدهی + میکرو نانو کود	۹۳/۰۰e	۱/٥۰h	۹/۷٥abc	۲۱/٥۸ef	۱۱٥/٦۲f	۱۲۱/۷٥e
قطع آبیاری بعد از گلدهی + کود شیمیایی	۱۰۰/۸۷bc	۲/۹۰b	۱۰/۳۷ab	۲٥/٤۰b	۱۲۲/۷٥de	۱۲٤/٥۰e
قطع آبیاری بعد از گلدهی + ماکرو و میکرو نانو کود	۹۸/٥۰cd	۲/٤۲d	۹/٦۲abc	۲٤/۳۱cd	۱۲۱/۰۰de	۱۲۲/۱۲e
قطع آبیاری بعد از گلدهی + بدون کوددهی	۸٤/۸۷f	۱/۲۷i	۸/۳۷def	۱۸/۰۱h	۹٦/۳۷h	۱۲۲/۳۷e
آبیاری معمولی + ماکرو نانو کود	۱۰۱/۱۲bc	۲/۷۳c	۹/٦۲abc	۲٤/۸۰bc	۱٥۰/۳۷b	۱۳۲/۸۷d
آبیاری معمولی + میکرو نانو کود	۹۹/۱۲bcd	۱/۹٥f	۹/۸۷abc	۲۲/۱٦e	۱٤۸/۸۷b	۱۳٥/۳۷cd
آبیاری معمولی + کود شیمیایی	۱۱۰/۱۲a	۳/۱۲a	۱۰/۷٥a	۲۷/۱۱a	۱٦۰/۳۷a	۱٤۸/۲٥a
آبیاری عمولی + ماکرو و میکرو نانو کود	۱۰۲/۳۷b	۲/٦٦c	۹/۱۲cd	۲٥/۲٥b	۱٥۲/۳۷b	۱٤۲/۷٥b
آبیاری معمولی + بدون کوددهی	۹۸/۳۷cd	۱/٦۳gh	۷/٦۲f	۲۰/۹۸f	۱۱۳/۸۷f	۱۳۹/۲٥bc

میانگین های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی دار وجود ندارد(دانکن ۱٪)

ادامه جدول ٤- مقایسه میانگین برهمکنش تنش آبی و کوددهی بر صفات گوناگون سورگوم دانه‌ای

تیمار	تعداد پنجه ها(دربوته)	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت
قطع آبیاری پیش از گلدهی + ماکرو نانو کود	۱/۰٦f	۲۵/۲۵fg	۱٦۷٦۵/۲۱e	۳۸۵٦/٤۲e	۰/۲۳۱b
قطع آبیاری پیش از گلدهی + میکرو نانو کود	۱/۱۲f	۲٤/۸۰fg	۱۵۸۳٦/۲۵ef	۳۹۵۹/۲۵e	۰/۲۵٤a
قطع آبیاری پیش از گلدهی + کود شیمیایی	۱/۵۰de	۲٦/۷۲c	۲۰٤۷۲/۷۳de	٤۵۰٤/۵۳cd	۰/۲۲۰b
قطع آبیاری پیش از گلدهی + ماکرو و میکرو نانو کود	۱/۱۸ef	۲۵/۹۰de	۱۸۸۲۱/۷۳e	٤۳۲۹/۲۵d	۰/۲۳۲b
قطع آبیاری پیش از گلدهی + بدون کوددهی	۱/۱۲f	۲۳/۳۱h	۱٤۱٦۸/۱۸f	۳۱۱۷/٦۹f	۰/۲۲۷b
قطع آبیاری بعد از گلدهی + ماکرو نانو کود	۱/۷۱cd	۲۵/٤۷ef	۲۱۵۱۳/۳۳d	۳۳۲۷/۷۳f	۰/۱۵۲de
قطع آبیاری بعد از گلدهی + میکرو نانو کود	۱/۳٤ef	۲٤/۵۹g	۲۳۵۰۰/۰۱d	۳۷٦۰/۰۸e	۰/۱٦۸cd
قطع آبیاری بعد از گلدهی + کود شیمیایی	۲/۰٦bc	۲٦/٤۲cd	۳۰٦٦۱/۵۳ab	۳۹۸٦/۹۳e	۰/۱۳۳e
قطع آبیاری بعد از گلدهی + ماکرو و میکرو نانو کود	۱/۸٤bcd	۲٤/۸۲fg	۲۵۸۷۳/۳۳c	۳۸۸۱/٦۲e	۰/۱۵۰de
قطع آبیاری بعد از گلدهی + بدون کوددهی	۱/۳٤ef	۲۳/۲۲h	۱۷۱۰٦/۲۵e	۲۷۳۷/۸۳g	۰/۱٦۳cd
آبیاری معمولی + ماکرو نانو کود	۱/۹۰bc	۲٦/٤۸cd	۲۸۸۸۱/۲۵b	٤٦۲۱/٤۰c	۰/۱٦۸cd
آبیاری معمولی + میکرو نانو کود	۱/۷۱cd	۲۵/۲۲fg	۲٤۵۵۲/۳۸c	۵۱۵٦/۲٤b	۰/۲۱۱b
آبیاری معمولی + کود شیمیایی	۲/٤٦a	۲۹/۲۷a	۳۸۵۱۸/۳۳a	٦۲۳۹/۹۷a	۰/۱٦۲cd
آبیاری معمولی + ماکرو و میکرو نانو کود	۲/۱۲b	۲۷/٤۷b	۳٤۵۱٦/٦٦a	٦۲۱۳/۳٤a	۰/۱۸۰c
آبیاری معمولی + بدون کوددهی	۱/۵۳de	۲۵/۰۸fg	۲۱٤۳۸/۸۹d	۳۸۵۹/٤۹e	۰/۱۸۳c

میانگین های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی دار وجود ندارد(دانکن ۱٪)

تعداد پنجه ها

تنش آبی و کوددهی اثرمعنی‌داری برتعداد پنجه ها داشتند اما برهمکنش آن ها بر تعداد پنجه ها معنی‌دارنشد (جدول ۲). براساس داده‌های جدول مقایسه های میانگین مشخص می‌گردد که بیشترین تعداد پنجه از تیمارهای کود شیمیایی و آبیاری معمولی بدست آمد (جدول ۳). شهراسبی و همکاران (۱۳۹٤) نیزاعلام داشتندافزایش مصرف نیتروژن می‌تواند سبب تحریک پنجه زنی بیشتر در گیاه باشد. همچنین استفاده از کود پتاس هم روند افزایشی در میزان کربوهیدرات‌ها در مرحله پنجه‌زنی را در پی داشته و می‌تواند محرک آن باشد (توان و همکاران، ۱۳۹۳).

وزن هزار دانه

تنش آبی و کوددهی و برهمکنش آن ها بر وزن هزار دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین وزن هزاردانه از تیمار آبیاری کامل همراه با کود شیمیایی بدست آمد (۲۹/۳۷ گرم). از موارد تأثیر پتاسیم برگیاهان می‌توان ازدیاد وزن دانه را نام برد، زیرا پتاسیم تولید نشاسته وکربوهیدارت‌ها را افزایش می‌دهد (توان و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین نیتروژن نیز بازده فتوسنتزی گیاه را افزایش می‌دهد و در ساختار بسیاری از پروتئین‌ها نقش دارد (تقی زاده و سید شریفی، ۱۳۹۰). نقش فسفر نیز در فسفات‌هایی که در نقل وانتقال انرژی دخیل هستندبارز است (سلواپریتا و بالاکرشنان، ۲۰۱۷). لذا مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفرو پتاسیم می‌تواند افزایش دهنده وزن دانه باشد. در شرایط تنش آبی بدلیل زودرس شدن گیاه به منظور فرار از خشکی، دوره پرشدن دانه کوتاه‌تر است و با کاهش زمان مورد نیاز گیاه برای تولید مواد غذایی لازم برای دانه‌ها، کاهش وزن دانه و چروکیدگی آن ایجاد خواهد شد (شهراسبی و همکاران، ۱۳۹٤). تنش آبی با تحت تأثیر قرار دادن درجه باز شدن روزنه‌ها و کاهش فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین می‌تواند میزان تولید مواد پرورده را به میزان زیادی کاهش داده و از این راه به صورت مستقیم موجب کاهش وزن هزاردانه گردد (ربانی و امام، ۱۳۹۰). براساس نتایج آزمایش‌های آذری نصرآباد و همکاران (۱۳۹۵) نیز تنش آبی در سورگوم دانه-ای تأثیر معنی‌داری درسطح ۵ درصد بر وزن هزاردانه داشت. کمترین وزن هزاردانه از تیمار تنش آبی بعد از گلدهی + بدون کوددهی بدست آمد. تحت تنش آبی انتهای فصل معمولاً دوره پرشدن دانه کوتاه می‌گردد و فرصت کافی برای وزن گیری دانه

وجود ندارد. تنش آبی در مرحله پرشدن دانه بر میزان مواد پرورده مورد نیاز برای پرشدن دانه‌ها و قدرت مخزن برای جذب مواد فتوسنتزی و نیز دوره رشد دانه اثر می‌گذارد (آذری نصرآباد و همکاران، ۱۳۹۵). باتوجه به این موارد می‌تواند در کاهش وزن هزاردانه تأثیر بسزایی داشته باشد.

عملکرد زیستی

اثرات تنش آبی و مصرف کود و نیز برهمکنش آن‌ها بر عملکرد بیولوژیک در سطح یک درصد معنی‌دار شد. بالاترین عملکرد دانه به ترتیب در شرایط کود شیمیایی همراه با آبیاری کامل و آبیاری کامل همراه با ماکرونانوکود + میکرونانوکود بدست آمد(جدول ٤) هر چند، بین این دو تیمار تفاوت معنی-داری وجود نداشت و اثرتلفیق میکرو نانوکودو ماکرو نانوکود توانست عملکردی معادل کودهای شیمیایی ایجاد کند (جدول ٤). نتایج آزمایش‌های تقی زاده و سیدشریفی (۱۳۹۰) در مورد تأثیر کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد رقم‌های ذرت نشان داد با افزایش سطوح کود نیتروژن عملکرد بیولوژیک افزایش یافت. انصاری جوینی و همکاران (۱۳۹۰) اعلام داشتند تحت شرایطی که سورگوم دانه‌ای آبیاری کامل شودکود شیمیایی می‌تواند بالاترین عملکرد را تولید کند. نانو کودها نیز به وسیله بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه، افزایش راندمان و کیفیت مواد غذایی، عدم هدرروی بوسیله آبشویی، سرعت جذب بالاتر می-توانند افزایش عملکرد گیاه در پی داشته باشند. احتمالا محلول پاشی در مرحله گلدهی ازطریق افزایش رشد، تعداد شاخه در بوته و همچنین تعداد دانه در بوته، موجبات تشکیل ماده خشک بیشتری را فراهم کرد. نانوکودهای چندکاره که ترکیبی از عناصر میکروالمنت که با فناوری نانو به شکل نانو ذرات آهن، مس، روی، منگنز و بور تشکیل شده‌اند می‌توانند توان گیاه را در رشد و تولید محصول تقویت کنند (جرفی و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین نانوکودهای فسفر و نیتروژن به آرامی عناصر غذایی خود را آزاد می‌کنند و حالت سوپر جاذب رطوبت نیز دارند (جرفی و همکاران، ۱۳۹۳). در پژوهشی روی ذرت علوفه‌ای اعلام گردید که کودهای حاوی عناصر کم مصرف از طریق افزایش سرعت رشد محصول، سطح جذب، دوام برگ و فتوسنتز، وزن خشک گیاه را افزایش دادند (ساجدی و اردکانی، ۲۰۰۸).

عملکرد دانه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تنش آبی و کوددهی و برهمکنش این دو عامل بر عملکرد دانه سورگوم در سطح یک درصدمعنی‌دار شد. بالاترین عملکرد دانه به ترتیب از تیمارهای کود شیمیایی همراه با آبیاری کامل و آبیاری کامل همراه با ماکرونانوکود + میکرونانوکود بدست آمدو اثرتلفیق میکرو نانوکود و ماکرو نانوکود توانست عملکردی معادل کودهای شیمیایی ایجاد کند(جدول ٤). در نتایج آزمایش‌های داوودی و همکاران (۱۳۹۲) نیز محلول پاشی نانواکسید روی ارزن دم روباهی(*Italica setaria L.*) تحت تنش آبی فقط بر عملکرد دانه اثر معنی‌داری اعمال کرد و بر هیچکدام ازسایر صفات معنی‌دار نبود. نتایج آزمایش‌های تقی زاده وسیدشریفی (۱۳۹۰) در مورد تأثیر کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد رقم‌های ذرت نشان داد با افزایش سطوح کود نیتروژن عملکرد دانه افزایش یافت. انصاری جوینی و همکاران (۱۳۹۰) اعلام داشتند تحت شرایطی که سورگوم آبیاری کامل شودکود شیمیایی می‌تواند بالاترین عملکرد را تولید کند. نانو کودهانیز به وسیله بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه، افزایش راندمان و کیفیت مواد غذایی، عدم هدرروی بوسیله آبشویی، سرعت جذب بالاتر می-توانند افزایش عملکرد گیاه را در پی داشته باشند. نانوکودهای چندکاره که ترکیبی از عناصرمیکروالمنت که با فناوری نانو به شکل نانو ذرات آهن، مس، روی، منگنز و بور تشکیل شده‌اند می‌توانند توان گیاه را در رشد و تولید محصول تقویت کنند (جرفی و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین نانوکودهای فسفر و نیتروژن به آرامی عناصرغذایی خود را آزاد می‌کنند و حالت سوپرجاذب رطوبت نیز دارند (جرفی و همکاران، ۱۳۹۳). نتایج آزمایش‌های بخشایش و شرف الدین (۱۳۹٦) نشان داد نانوذرات آهن، روی، فسفر، مولیبدن، کلسیم و بور سبب بهبود فتوسنتزو متابولیسم گیاه می‌گردد. رامشیا و همکاران (۲۰۱۵) پس از آزمایش‌های خود روی نانوکودها، نانوکودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم را بسیار مؤثر در افزایش عملکرد گیاهان دانستند. تأثیر مثبت میکرونانو کودها و ماکرو نانو کودها در افزایش عملکرد بسیاری از گیاهان توسط پژوهشگران مختلف اعلام شده است (شجاعی و مکاریان، ۱۳۹۳؛ حیدری و همکاران، ۱۳۹٤؛ رامشیا و همکاران، ۲۰۱۵؛ بختیاری و همکاران، ۱۳۹٤؛ توان و همکاران، ۲۰۱٤). لذا تلفیق میکرونانوکودها با ماکرونانوکودها می‌تواند به دلایل ذکرشده عملکرد دانه را افزایش دهد. تنش آبی بعد از گلدهی در مرحله پرشدن دانه‌ها از طریق کاهش غلظت کلروفیل، کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش سرعت فتوسنتز و تسریع پیری برگ‌ها میزان زیست توده وعملکرد دانه را تحت تأثیر قرارمی-

دهد. همچنین در این مرحله تجمع ماده خشک در دانه کاهش می‌یابد، زیرا دوره پر شدن دانه کاهش یافته است. تنش آبی در مرحله رشد رویشی و زایشی منجر به کاهش عملکرد محصول می‌گردد. کاهش عملکرد دانه در سورگوم تحت تنش پیش از گلدهی مربوط به کاهش تعداد دانه‌ها می‌باشد (منزس و همکاران، ۲۰۱۵). در سورگوم دانه‌ای حساس ترین مرحله برای پرشدن دانه حدود ۱۰روز پیش از گلدهی تا پایان گلدهی است. مواجهه با تنش آبی در این دوره می‌تواند بیشترین خسارت را به عملکرد دانه وارد کند. (آذری نصرآباد و همکاران، ۲۰۱۵). براساس نتایج آزمایش‌های آذری نصرآباد و همکاران (۱۳۹۵) و آبراها و همکاران (۲۰۱۵) نیز تنش آبی در سورگوم دانه‌ای تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت. نتایج پژوهش‌های سدام و همکاران (۲۰۱٤)، آذری نصرآباد و همکاران (۱۳۹۵) و آبراها و همکاران (۲۰۱۵) نیز نشان داد تنش آبی با کاهش فتوسنتز و متعاقباً کاهش دسترسی گیاه به مواد پرورده عملکرد سورگوم را به شدت کاهش می‌دهد. نتایج آزمایش‌های (انصاری جوینی و همکاران، ۱۳۹۰) نیز نشان داد عملکرد دانه سورگوم تحت تیمار کم آبیاری نسبت به تیمار آبیاری کامل کاهش معنی‌داری نشان داد. در آزمایش‌های آبراها و همکاران (۲۰۱۵) کاهش عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گوناگون سورگوم در تیمارهای تحت تنش آبی پس از گلدهی نسبت به تیمار شاهد، حدود ۱۲ درصد گزارش گردید.

شاخص برداشت

میانگین مربعات داده‌ها نشان داد اثر تنش آبی و کوددهی بر ویژگی شاخص برداشت سورگوم معنی‌دار شد ولی برهمکنش این دو بر شاخص برداشت معنی‌دار نشد (جدول ۲). کمترین شاخص برداشت از تیمارهای تنش آبی بعد از گلدهی و مصرف کود شیمیایی بدست آمد (جدول ۳). براساس نتایج آزمایش‌های آذری نصرآباد و همکاران (۱۳۹۵) نیز تنش آبی در سورگوم دانه-ای تأثیر معنی‌داری در سطح ۵ درصد برشاخص برداشت اعمال کرد. نتایج آزمایش‌های شهراسبی و همکاران (۱۳۹٤) روی اثر تنش آبی وکود شیمیایی نیتروژن برگندم نیز نشان داد تحت تنش آبی افزایش مصرف نیتروژن سبب کاهش شاخص برداشت گردید. در تیمار تنش پیش از گلدهی، تنش آبی اثر کاهشی قابل توجهی بر عملکرد بیولوژیک داشت درحالی که تأثیر آن بر عملکرد دانه کمتر بود لذا شاخص برداشت افزایش یافت که با نتایج آزمایشهای امام وربانی (۱۳۹۰) نیز مطابقت دارد. بیشترین شاخص برداشت از تیمار میکرونانوکود و تیمار تنش آبی پیش از گلدهی بدست آمد که با نقش میکرونانو ذرات آهن، روی، مولیبدن، بور و منگنز در بهبود وضعیت فتوسنتزی و متابولیسم گیاه ارتباط دارد. بخشایش و شرف الدین زاده (۱۳۹٦) و پریتا و بالاکریشنان (۲۰۱۷) نیز این میکرونانو کودها را مؤثر در بهبود فتوسنتز گیاه و رشد بهتر دانستند. به دلیل اینکه منافذ سطح برگ-ها در ابعاد نانو هستند، لذا نانوکودها با داشتن ابعاد نانویی می-توانند عناصر غذایی را به صورت موثرتری به گیاه عرضه کنند زیرا دسترسی آن‌ها به سطوح گیاهی و کانال‌های حمل و نقل بیشتر است (مقصودی ونجفی، ۱۳۹۵).

نتیجه‌گیری

کودهای شیمیایی به میزان٦۱ درصد و تلفیق نانوکودهای میکرو وماکرو ٦۰درصد عملکرد دانه را نسبت به شاهد افزایش دادند.و بین این دو تیمار اختلاف آماری معنی داری وجود نداشت لذا می توان با توجه به مضرات مصرف بی رویه کودهای شیمیایی و پیشگیری از آلودگی هر چه بیشتر منابع آبی و خاکی و ممانعت از ایجاد بحران‌های زیست محیطی تا حد امکان از حصول عملکرد اضافی چشم پوشی کرد و نانوکودها را با توجه به این که افزایش عملکرد ناشی از مصرف آن‌ها نیز قابل قبول است برای حفاظت بیشتر از محیط و امنیت غذایی بیشتر جایگزین کرد و با مصرف تلفیقی آن‌ها در کنار کودهای شیمیایی به عملکرد قابل توجهی دست یافت. گرچه فناوری نانو تحولاتی عظیمی در مبحث بهینه‌سازی کودهای شیمیایی به همراه آورده، این مهم هنوز نیازمند آزمایش‌های گسترده‌تری می‌باشد و مصرف عجولانه این نوع کودها توصیه نمی‌گردد. همچنین لازم است مصرف انفرادی میکرونانوکودها و ماکرو نانوکودها (با توجه به اثرات ضدیتی که برخی از عناصر میکرو و ماکرو با یکدیگر دارند بعنوان مثال آهن و فسفر) در تلفیق با کودهای شیمیایی بررسی گردد با توجه به نتایج این آزمایش پیشنهاد می گردد مصرف دوزهای بالاتر نانو کودها به عنوان مثال ٤ در هزار و طی سه مرحله(ابتدای ساقه رفتن،قبل از گلدهی و پرشدن دانه) برای سورگوم دانه‌ای بکار گرفته شود تا بتواند افزایش عملکرد بالاتر از ٦۰ درصد را بهمراه داشته باشد.

منابع

آذری نصرآباد، ع.، س. م. موسوی نیک، م. گلوی، ع. سیروس مهر، س. ع. بهشتی. ۱۳۹۵. اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و جزای عملکرد، پایداری غشای سلول ومحتوای نسبی آب برگ ژنوتیپ‌های سورگم دانه‌ای (*Sorghum bicolor L.* Moench) مجله تنش‌های محیطی درعلوم زراعی. جلد9, (۳) : ۲۱۷-۲۲۸.

انصاری جوینی، م.، م. ر. چایی چی، ر. کشاورز افشار، س. م. ر. احتشامی. ۱۳۹۰. اثرمصرف کودهای زیستی و شیمیایی فسفر بر عملکرد دانه دورقم سورگوم دانه‌ای *Sorghum bicolor(L.)*Moench در شرایط کم آبیاری. مجله به زراعی نهال وبذر.جلد۲، (٤) : ٤۹۰-٤۷۱.

المدرس، ع.، ر. طاهری، و. صفوی. ۱۳۸۷. سورگوم گیاهشناسی،زراعت و بیوتکنولوژی. انتشارات جهاد دانشگاهی اصفهان.11 صفحه.

ایلکایی،م. ن.، پاک نژاد،ف.،گل زردی،ف.۱۳۹٤.مراحل رشد ونمو در غلات .انتشارات کاج طلایی کرج، چاپ اول،صفحه ۹۰-۸۸.

بختیاری، م.، پ. معاونی، ب. ثانی. ۱۳۹٤. تأثیر محلول پاشی نانو ذرات آهن بربرخی صفات مورفوفیزیولوژیکی گندم (*Triticum aestivum L.*) در منطقه شهر قدس. مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی جلد۷، (۲) : ۱۱۹-۱۰٤.

بخشایش، ا.، ص. شرف الدین زاده. ۱۳۹٦. پایش محصولات تجاری فناوری نانو در صنعت کشاورزی. ماهنامه فناوری نانوسال ۱٦ شماره(۲) پیاپی ۲۳۵: ۳٦-۳۷.

تقی زاده، ر.، ر. شیدشریفی.۱۳۹۰. تأثیر کود نیتروژن بر کارایی مصرف کود و اجزای عملکرد در ارقام ذرت. مجله علوم وفنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب وخاک. جلد۱۵ (۵۷) : ۲۱۷-۲۰۹.

توان، ط.، م. نیاکان، ع. نوری نیا. ۱۳۹۳. اثر کود نانو پتاسیم برفاکتورهای رشد، سیستم فتوسنتزی و میزان پروتئین گیاه گندم (*Triticum aestivum L.*) رقم N8019. نشریه پژوهشهای اکوفیزیولوژی گیاهی ایران، (۳۵) : ۷۱-٦۱.

جرفی، ا.، ش. لک، م. منصوری. ۱۳۹۳. نانوکودها ابزاری برای تغذیه گیاهان زراعی. نشریه کشاورزی و توسعه پایدار (٥٦): ۱۰-۱۳.

حیدری، م.، م. گلیج، ه. قربانی، م. برادران فیروزآبادی. ۱۳۹٤. تأثیر تنش خشکی و محلول پاشی نانواکسید آهن بر عملکرد دانه، محتوای یونی و رنگدانه های نورساختی کنجد. مجله علوم زراعی ایران جلد ٤٦ (٤) : ٦۲۸-٦۱۹.

خزائی، ع.، ع. صبوری، ز. شبر، م. شهبازی. ۱۳۹۵. ارزیابی عملکرد دانه ارقام و لاین های امید بخش سورگوم دانه‌ای *Sorghum bicolor(L.)*Moench با استفاده از شاخص های تحمل به تنش خشکی. مجله به زراعی نهال و بذر جلد ۲، (۱) : ۱۰۵-۹۹.

داودی، ن.، م. ج. ثقت الاسلامی، غ. موسوی، ع. آذری نصرآباد. ۱۳۹۲. اثر محلول پاشی نانواکسید روی بر عملکرد و راندمان مصرف آبارزن دم روباهی در شرایط تنش خشکی. مجله تنش‌های محیطی درعلوم زراعی ، جلد٦، شماره۱ : ۳٤-٤٦.

شجاعی، ح.، ح. مکاریان. ۱۳۹۳. تأثیر محلول پاشی اکسید روی نانو و غیرنانو بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش (*Vigna radiate* L.) در شرایط تنش خشکی. نشریه پژوهشهای زراعی ایران جلد ۱۲، شماره٤ : ۷۳۷-۷۲۷.

شهراسبی، ص.، ی. امام، ع. رونقی، ه. پیرسته انوشه. ۱۳۹٤. اثر تنش خشکی و کو د نیتروژن بر عملکرد دانه و کارایی زراعی مصرف نیتروژن گندم رقم سیروان در شرایط استان فارس. مجله علوم زراعی ایران. جلد ۱۷، شماره ٤: ۳٦۳-۳٤۹.

کیهانی، ع.، ع. مدحج. ۱۳۹۳. واکنش هیبریدهای ذرت (Zea mays L) به کود نیتروژن. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی، سال٦، شماره۲۱ : ۱۵-۵.

مقصودی، م. ر.، ن. نجفی. ۱۳۹۵. بررسی تأثیر نانوکودهای عناصرغذایی کم مصرف در تغذیه گیاهان. نشریه مدیریت اراضی جلد ٤، شماره۲ : ۱۳۲-۱۱۵.

مقصودی، م. ر.، ن. نجفی. ۱۳۹۵. کاربرد برخی نانو کودهای نیتروژن در تغذیه گیاهان. نشریه دنیای نانو سال۱۲، شماره٤۲ : ۳۵-۳۰.

نادری، م. ر.، ع. دانش شهرکی.۱۳۹۰. کاربرد فناوری نانو در بهینه سازی فرمولاسیون کودهای شیمیایی. ماهنامه فناوری نانوشماره ٤ : ۲۰-۳۲.

Abdul Razzaq, A., T. Mohammad and H. M. Jhanzab. 2015. Potential of copper nanoparticles to increase growth and yield of wheat.Nanoscience&Technology.J. 1 (1): 6-11.

Abraha, T., A. B. Nyende, S. G. Mwangi, R. Kasili, and W. Araia. 2015. Identifiction of sorghum (*Sorghum bicolor* L.Moench) landraces tolerant to post flowering drought stress using drought tolerance. Plant Breed and Crop Sci.J. Vol. 7 (7): 211-218.

Aslam, M., M. S. I. Zamir, I. Afzal, M. Yaseen, M. Mobeen and A. Shoaib. 2013. Drought stress its effect on maiz production and development of drought tolerance drought tolerance throught potassium application. Cercet- Agro Mold.J. 2 (154):99-105.

H. Barber, J. Carney, F. Alghabari1& M.J. Gooding.2015.Cereal growth stages for precision agriculture in changing environments. Annals of Applied Biology.J.166 (3):355-371.

Kumari Vinodhana, N. and Genesamurthy. 2010. Evaluation of morpho-physiological characters in sorghum (*Sorghum bicolor* L.Moench) genotypes undr post-flowering drought stress. Plant Breed.E.J. 1(4):585-589.

Liu, L., A. Maier, N., Klocke, S. Yan, D. Rogers, T. Tesso, and D. Wang. 2013. Impact of deficit irrigation on sorghum physical and chemical properties and ethanol yield. American Society of Agriculture and Biological Engineers.J. 56 (4): 1541-1549.

Menezes, C. B., D. C. Saldanha, C. V. Santos, L. C. Andrade, M. P. Mingote Julio, A. F. Portugal and F. D. Tardin. 2015. Evaloation of grain yield in sorghum hybrids under water stress. Genetic and Molecular Research.J. 14 (4): 12675-12683.

Msongaleli, B. S, Tumbo S. D, Kihupi N. I and Rwehumbiza F.B, 2017. Performance of sorghum varieties under variable rainfall in central Tanzania.International Soholarly Research Noticees.J.(1):1-10 .

Rameshaiah, G. N., Jpallavi and S. Shabnam. 2015. Nano fertilizers and nano sensors an attempt for developing smart agriculture. Engineering Research and General Science.I.J. 3(1)3: 314-320

Saddam, S., A. Bibi, H. A. Sadaqat and B. F. Usman. 2014. Comparison of 10 sorghum (*Sorghum bicolor* L.) genotypes under water stress regimes. Animal &Plant Sciences .J. 24 (6): 1811-1820.

Sajedi, N., and M.R. Ardakani. 2008. Effect of nitrogen fertilizer, zinc and iron on Physiological indices of corn. Agronomy Research.J. 6: 99-109.

Selva-Preetha, P. and N. Balakrishnan. 2017. A reviw of nanofertilizers and their use and function in soil. Microbiology and Applied Sciences .I.J.6 (12): 3117-3133.

Veronica, N., G. Tulasi, R. Thatikunta and S. Narender Reddy. 2015. Role of nano fertilizers in agricultural farming. Environmental Science and Technology. I.J.1 (1):1-3.

Effect of nano-fertilizers and water stress on yield and yield components of grain sorghum (*sorghum bicolor L.* moench) in Sistan region

E. Kazemi[1], H. Ganjeali[2], A.Mehraban[3], A. Ghasemi[4]

Received: 2018-10-14 Accepted: 2018-12-27

Abstract

In order to evaluat the effect of nano-fertilizers on yield and yield component of grain sorghum (*Sorghum bicolor L.Moench*) Payam cultivar, (And comparing this effect with the common chemical fertilizers of the area that are used in high quantities annually, with the aim of preventing the excessive use of these fertilizers and replacing them with the nanofertilizers) under different water stress an experiment was conducted as split plots arranged in randomized complete blocks design with four replications at Sistan region during summer 2017 and 2018 .The experiment was conducted as split plot design in randomized complete block design with 4 replications. Main plots were three levels of water stress (water stress before flowering, after flowering and without stress) and sub plots were (micro nano-fertilizers, macro nano-fertilizers, micro nano-fertilizers + macro nano-fertilizers, chemical fertilizers and control). Sorghum properties were significantly affected by stresses and fertilizers. Results showed that the interaction between water stress, nano fertilizers and chemical fertilizers in leaves number,stem diameter, panicle lenght, grain yield, panicle weight, weight of thousand seeds weight, flag leaf area and biological yield were significant. The highest biological and grain yields was achieved at normal irrigation + chemical fertilizers and normal irrigation + micro and macro nano-fertilizers, respectively. Overall, the application of nano-fertilizers with a concentration of 2 grams per liter of water can be recommended for more environmental protection.

Keywords: Water stress, Grain sorghum, Nano-fertilizers, Chemical fertilizers

1- Ph.D Student Agronomy, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran
2- Assistant Professor, Department of Agronomy, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran
3- Assistant Professor, Department of Agronomy, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran
4- Assistant Professor, Academic member of Zabol Agricultural Research Center, Zabol, Iran