



## به‌زراعی کشاورزی

دوره ۲۰ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۷

صفحه‌های ۵۱۶-۵۰۳

### واکنش سویا به مصرف سطوح مختلف نانوکود پتاسیم تحت شرایط قطع آبیاری در دشت مغان

امیرعباس رستمی اجیرلو<sup>۱</sup>، ابراهیم امیری<sup>۲\*</sup>

۱. دانش‌آموخته دکتری، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد پارس آباد مغان، دانشگاه آزاد اسلامی، پارس آباد مغان، ایران
۲. استاد، گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۰۹

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۲۲

#### چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر نانوکود پتاسیم بر رشد سویا در شرایط قطع آبیاری، آزمایشی در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دشت مغان انجام گردید. عامل اصلی شامل چهار سطح قطع آبیاری (IR) آبیاری نرمال، قطع آبیاری در طول رشد رویشی، قطع آبیاری در طول گل‌دهی و قطع آبیاری در طول پر شدن دانه و فاکتور فرعی شامل سه سطح نانوکود پتاسیم (NK) پنج، ۱۰ و ۱۵ کیلوگرم در هکتار بودند. نتایج نشان داد که در تمامی مراحل قطع آبیاری مصرف نانوکود پتاسیم موجب تخفیف اثر تنش خشکی شد. به‌طوری‌که بیشترین مقدار عملکرد و اجزای آن در تیمار شاهد و تحت تأثیر قطع آبیاری با مصرف ۱۵ کیلوگرم در هکتار نانوکود پتاسیم حاصل شد. همچنین، بالاترین مقادیر ارتفاع بوته (۶۶ سانتی‌متر)، فاصله اولین غلاف از زمین (۲۰ سانتی‌متر)، تعداد برگ در هر بوته (۳۴۵) و تعداد شاخه‌های جانبی (۱۹/۶۶) در تیمار آبیاری نرمال با مصرف ۱۵ کیلوگرم نانوکود پتاسیم به‌دست آمد و کمترین آنها در تیمار قطع آبیاری در طول رشد رویشی با مصرف پنج کیلوگرم نانوکود پتاسیم حاصل شد. علاوه بر این، درصد روغن و پروتئین دانه به‌شدت تحت تأثیر تنش خشکی به‌ویژه قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه قرار گرفتند. با توجه به نتایج می‌توان بیان کرد که با مصرف ۱۵ کیلوگرم در هکتار از نانوکود پتاسیم می‌توان از اثرات ناشی از تنش خشکی بر عملکرد را به‌ویژه در مرحله پر شدن دانه در گیاه سویا به‌مقدار ۱۵ درصد کاهش داد.

**کلیدواژه‌ها:** تنش خشکی، دانه روغنی، رشد، عملکرد، فناوری نانو.

## ۱. مقدمه

دانه‌های روغنی بعد از غلات دومین منبع مهم تأمین انرژی لازم برای جوامع انسانی به‌شمار می‌روند [۱۱]. علاوه بر این با توجه به نیاز روزافزون کشور به دانه‌های روغنی که در حال حاضر بیشتر آنها از طریق واردات تأمین می‌شود، توسعه کشت دانه‌های روغنی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است [۲]. گیاه سویا (*Glycine max L.*) با دارا بودن ۲۰ درصد روغن و ۴۰ درصد پروتئین به‌عنوان مهم‌ترین منبع تولید روغن و پروتئین گیاهی به‌شمار می‌رود که به‌دلیل سازگاری وسیع با شرایط اقلیمی، قابلیت هضم بالای روغن، مرغوبیت کنجاله، تثبیت زیستی نیتروژن و افزایش حاصل‌خیزی خاک از اهمیت بالایی در بین دانه‌های روغنی برخوردار است.

کمبود رطوبت یکی از عوامل مهم محدودکننده رشد گیاهان زراعی به‌شمار می‌رود. سویا از گیاهان حساس به تنش‌های غیرزنده در مقایسه با سایر بقولات به‌شمار می‌رود [۳۱] برای ارتقای کمیت و کیفیت عملکرد سویا تأمین آب مورد نیاز به‌ویژه در مراحل حساس رشدی گیاه بسیار ضروری می‌باشد. کمبود آب در بسیاری از مراحل نمو سویا رشد و عملکرد آن را کاهش می‌دهد. اما، تأثیرات منفی تنش در طی گل‌دهی، تشکیل و پرشدن دانه بسیار مهم است. تنش کمبود آب با تأثیر مستقیم در روابط آب و گیاه [۸] باعث تغییر در فعالیت سلول و مسیرهای مولکولی می‌شود [۳۵]. بروز تنش خشکی در طول دوره رشد سویا سبب کاهش صفات مرتبط با رشد گیاه نظیر ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌ها و تعداد برگ‌ها می‌گردد و به‌تبع آن موجب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه می‌شود [۵]. در اثر وقوع تنش خشکی در این مرحله بیشترین خسارت وارده به عملکرد دانه ناشی از ریزش گل‌ها است و پس از آن کاهش وزن ۱۰۰۰ دانه بر اثر تنش در مرحله پرشدن غلاف، قابل‌ملاحظه است. مهم‌ترین دلیل کاهش وزن دانه‌ها می‌تواند به‌خاطر رسیدگی زودتر گیاه و کاهش طول پر شدن دانه باشد [۲۷]

بسیاری از محققین با بررسی اثرات محدودیت آب بر روند ذخیره‌سازی روغن و پروتئین دانه‌های سویا نشان داده‌اند که، با افزایش تنش آبی درصد روغن دانه کاهش و درصد پروتئین افزایش می‌یابد. همچنین، گزارشات مختلف نشان می‌دهد که تنش خشکی در هر کدام از مراحل رشد و نمو سویا از طریق ایجاد تغییرات آناتومیک، ریخت‌شناسی، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بر جنبه‌های مختلف رشدی تأثیر منفی می‌گذارد [۲ و ۱۵]. راهکارهای متفاوتی جهت مدیریت تنش خشکی در طول دوره رویش گیاهان زراعی وجود دارد که یکی از این راهکارها رعایت اصول تغذیه مخصوصاً تأمین پتاسیم کافی جهت تحمل به تنش خشکی در گیاهان زراعی مطرح است [۲۲].

گیاهان جهت رشد مناسب و تحمل انواع تنش‌های زنده و غیر زنده، نیازمند مقدار مناسبی از عناصر غذایی می‌باشند. پتاسیم سومین عنصر پرمصرف مورد نیاز برای رشد گیاهان زراعی می‌باشد و یکی از اسمولیت‌های معدنی مهم در تنظیم پتانسیل اسمزی و ایجاد فشار تورژسانس محسوب می‌گردد [۳ و ۱۶]. پتاسیم در بزرگ شدن سلول‌ها، رشد گیاه، باز و بسته شدن روزنه‌ها نقش اساسی دارد [۲۰]. گذار از کودهای معمول به سمت کودهای نانو منشأ امیدواری‌های بسیاری در جهت آزادسازی آرام و کنترل‌شده عناصر موجود در کودها گردیده است. از ویژگی‌های این کودها می‌توان به بهبود کارایی و افزایش راندمان جذب، به‌واسطه سرعت جذب بالاتر و جذب کامل کود توسط گیاه به‌دلیل رهاسازی عناصر غذایی با سرعت مطلوب در تمام طول فصل رشد اشاره کرد [۲۷ و ۲۳]. در این راستا، به‌دلیل می‌رسد نانو کود پتاسیم به‌دلیل جذب سریع‌تر نسبت به کود پتاسیم معمولی اثرات سریع‌تری را از خود نشان داده و می‌تواند در بهبود گیاه در شرایط تنش مؤثرتر واقع شود [۲۲ و ۹]. گزارش‌های محدودی مبنی بر تأثیر نانو کود پتاسیم بر رشد و عملکرد سویا تحت شرایط تنش خشکی وجود دارد.

## به‌زراعی کشاورزی

زمان‌های مختلف رشد و نمو گیاه (IR1: آبیاری نرمال یا بدون قطع آبیاری، IR2: قطع آبیاری در طول دوره رشد رویشی، IR3: قطع آبیاری در طول دوره گل‌دهی و IR4: قطع آبیاری در طول دوره پر شدن دانه) به‌عنوان عامل اصلی و مصرف سطوح مختلف از نانوکود پتاسیم (NK1: مصرف پنج کیلوگرم، NK2: مصرف ۱۰ کیلوگرم و NK3: مصرف ۱۵ کیلوگرم در هکتار) به‌عنوان فاکتور فرعی بودند. هر کرت آزمایشی شامل چهار ردیف به‌طول پنج متر بود و فاصله ردیف‌ها از همدیگر ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۷ سانتی‌متر بودند. برای جلوگیری از نشت آب بین کرت‌های اصلی دو متر و بین کرت‌های فرعی یک متر فاصله در نظر گرفته شد. در این آزمایش، بذر سویا رقم ویلیامز (تهیه‌شده از شرکت دانه‌های روغنی مغان) به‌صورت دستی در اوایل تیر ماه به‌عنوان کشت دوم کشت گردید. پیش از اجرای آزمایش، نمونه‌ای مرکب از خاک مزرعه تهیه و برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی از عمق ۰-۴۵ سانتی‌متر تهیه و به آزمایشگاه ارسال شد. بر اساس نتایج آزمایش (جدول ۱) و با توجه به نیاز گیاه سویا و عرف منطقه، ۱۲۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار (به‌عنوان استارتر)، ۲۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هر دو سال به خاک اضافه شد. همچنین، مصرف نانوکود پتاسیم (۲۷ درصد پتاسیم عنصری) به‌صورت خاک مصرف در تیمارهای مورد نظر استفاده شد. آبیاری به‌روش جوی و پشته‌ای اجرا و تمامی تیمارها تا ظهور سومین برگ سه‌برگچه‌ای به‌طور یکسان آبیاری شدند [۴] و بعد از این مرحله تیمارهای آبیاری اعمال شدند. عملیات وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام گردید. همچنین، جهت کنترل آفات که عمدتاً لاروهای برگ‌خوار و همه‌چیزخوار بودند قبل از گل‌دهی از سم هگزافلومرون به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار (با غلظت ۲ در هزار) استفاده گردید.

در تحقیقی تأثیر نانوکودهای ماکرو (حاوی پتاسیم ۲۰ درصد) بر رشد و عملکرد ذرت دانه‌ای در شرایط تنش خشکی را مثبت گزارش کردند و بهبود رشد ذرت در شرایط قطع آبیاری با استفاده از نانوکودهای ماکرو را به جذب سریع آنها توسط گیاه نسبت دادند [۱۳]. با کاربرد برگی و خاکی نانوکود پتاسیم در گندم نشان دادند که کاربرد نانوکود پتاسیم در حالت مصرف خاکی موجب بهبود رشد و عملکرد گندم و مقاومت آن به تنش‌های غیر زنده شد [۱۴]. با توجه به اهمیت کاربرد فناوری‌های جدید در کشت و زرع و مدیریت دانه‌های روغنی و مخصوصاً سویا در شرایط ایران که با کمبود آب مواجه هست، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر نانوکود پتاسیم به‌صورت مصرف خاکی بر عملکرد، اجزای عملکرد، برخی صفات ریخت‌شناسی و صفات کیفی سویا در شرایط نرمال و کم آبیاری انجام گردید.

## ۲. مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر مقادیر مختلف نانوکود پتاسیم به‌صورت خاک مصرف در شرایط قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد و نمو گیاه سویا، آزمایشی در سال‌های زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در یکی از مزارع دشت مغان انجام گرفت. محل اجرای آزمایش بین مدارهای ۳۹ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۳۲ متری از سطح دریا واقع شده است، از نظر پهناوندی اقلیمی منطقه مورد بررسی دارای اقلیم نیمه‌خشک است و میانگین بارش سالانه در این منطقه ۲۷۱ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن ۱۵ درجه سانتی‌گراد است. آزمایش در دو سال زراعی به‌صورت کرت‌های یک بار خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گردید. تیمارها شامل قطع آبیاری در

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳.۱. صفات ریخت‌شناسی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب برخی صفات ریخت‌شناسی سویا نشان داد که تأثیر قطع آبیاری و مصرف نانوکود پتاسیم بر ارتفاع بوته، فاصله اولین غلاف از زمین، تعداد برگ در بوته و تعداد شاخه‌های جانبی در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. علاوه بر این، اثر متقابل نانوکود پتاسیم × قطع آبیاری بر صفات ذکر شده در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نشان داد (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نانوکود پتاسیم × قطع آبیاری به روش برش‌دهی نشان داد که بالاترین مقادیر ارتفاع بوته (۶۰ سانتی‌متر)، فاصله اولین غلاف از زمین (۲۰ سانتی‌متر)، تعداد برگ در بوته (۳۴۵) و تعداد شاخه‌های جانبی (۱۹/۶۶) در شرایط آبیاری نرمال با مصرف ۱۵ کیلوگرم نانوکود پتاسیم در هر هکتار به‌دست آمد، ولی تفاوت معنی‌داری با مصرف ۱۰ کیلوگرم از نانوکود پتاسیم در هکتار نداشت (جدول ۳). شایان ذکر است که کمترین مقدار ارتفاع بوته (۳۹ سانتی‌متر)، تعداد برگ در بوته (۲۱۶) و تعداد شاخه‌های جانبی (۱۰) در شرایط قطع آبیاری در طول دوره رویشی با حداقل مصرف از مقادیر نانوکود پتاسیم (۵ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمدند. در مورد فاصله اولین غلاف از زمین، کمترین مقدار آن در هنگام مصرف ۵ کیلوگرم در هکتار از نانوکود پتاسیم در زمان قطع آبیاری در طول گلدهی به‌دست آمد به‌طوری‌که با مصرف همان مقدار از نانوکود پتاسیم در زمان قطع آبیاری در طول رشد رویشی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری ندارد (جدول ۳).

صفات مورد مطالعه شامل تعداد غلاف در هر بوته، تعداد دانه در بوته، وزن ۱۰۰۰ دانه، طول غلاف، عرض غلاف، عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت، ارتفاع بوته، فاصله اولین غلاف از زمین، تعداد برگ در هر بوته و تعداد شاخه‌های جانبی و درصد پروتئین و روغن دانه‌ها بودند. برای اندازه‌گیری صفات ریخت‌شناسی پس از حذف اثرات حاشیه‌ای از دو ردیف وسطی به‌طور تصادفی ۱۰ بوته انتخاب و اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری صفات مربوط با عملکرد و اجزای عملکرد در پایان فصل رشد (رطوبت دانه‌ها ۱۲ درصد) ۱۰ بوته به‌طور تصادفی و تخریبی انتخاب و مورد سنجش قرار گرفتند. درصد روغن بذر با استفاده از دستگاه سوکسله (Model No SCMS-F100-6H) تعیین شد. برای اندازه‌گیری میزان پروتئین دانه ابتدا به‌روش Indophenols [blue method ۲۵]. میزان نیتروژن موجود در بذر به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (GBC-Cintra 6-Australia) اندازه‌گیری شد و سپس میزان پروتئین با ضرب میزان نیتروژن در عدد ۶/۲۵ [۷] محاسبه گردید. جهت ارزیابی یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی آزمون بارلت انجام گرفت و نتایج کای اسکور نشان‌دهنده یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی در دو سال بود. داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SAS نسخه 9.1 [۲۹] مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و مقایسه میانگین‌ها به‌روش آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. هم‌چنین برای انجام مقایسه میانگین اثرات متقابل از روش برش‌دهی فیزیکی استفاده شد.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه محل اجرای آزمایش

سال	عمق خاک نمونه‌برداری (سانتی‌متر)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	کربن آلی (درصد)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	بافت خاک
۱۳۹۴	۰-۴۵	۰/۹۳	۱	۴/۶	۲۴۰	۶۵	۱۸	۱۷	رسی
۱۳۹۵	۰-۴۵	۰/۹۲	۰/۹۹	۴/۶۲	۲۴۱	۶۵	۱۸	۱۷	رسی

## به‌زراعی کشاورزی

واکنش سویا به مصرف سطوح مختلف نانوکود پتاسیم تحت شرایط قطع آبیاری در دشت مغان

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس مرکب برخی صفات ریخت‌شناسی با مصرف خاکی از نانوکود پتاسیم تحت شرایط قطع آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	فاصله اولین غلاف از زمین	تعداد برگ در بوته	تعداد شاخه‌های جانبی در بوته
سال	۱	۱۵۳/۶۹**	۱۰/۲۱ <sup>ns</sup>	۸۸۶/۸۶**	۱/۳۶ <sup>ns</sup>
تکرار (سال)	۴	۳۰/۲۲	۲۰/۱۷	۱۵۹/۵۵	۲۲
قطع آبیاری	۳	۳۷۵/۵۳**	۲۰/۳۹**	۷۸۶۶/۴۴**	۲۴/۹۱**
سال × قطع آبیاری	۳	۳۰/۱۵ <sup>ns</sup>	۱۳/۱۴ <sup>ns</sup>	۱۴۰/۵۰ <sup>ns</sup>	۲۲ <sup>ns</sup>
اشتباه اصلی	۱۲	۱۵/۲۵	۲۰	۱۳۶/۶۶	۱۷
نانوکود پتاسیم	۲	۳۶۴/۸**	۱۳۶/۷۱**	۷۲۶۷**	۱۰۸/۰۲**
نانوکود پتاسیم × قطع آبیاری	۶	۲۵/۱۹*	۱/۲۹*	۳۳۷/۴۱*	۲۲/۳۶*
سال × نانوکود پتاسیم	۲	۲۱/۲۰ <sup>ns</sup>	۱۴ <sup>ns</sup>	۱۵۰ <sup>ns</sup>	۱۵ <sup>ns</sup>
سال × نانوکود پتاسیم × قطع آبیاری	۲	۱۷/۱۵ <sup>ns</sup>	۱۳/۰۲ <sup>ns</sup>	۱۳۱/۱۳ <sup>ns</sup>	۲۰ <sup>ns</sup>
اشتباه فرعی	۳۲	۲۲/۲۲	۱۵/۳۰	۱۴۰	۱۷
ضریب تغییرات (C.V%)	-	۵/۶۴	۵/۹۰	۵/۰۳	۵/۳۸

ns، \* و \*\*: به ترتیب فاقد اختلاف معنی‌دار، معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل نانوکود پتاسیم × قطع آبیاری بر برخی صفات ریخت‌شناسی

شماره تیمار آبیاری	سطوح مصرف نانوکود پتاسیم	ارتفاع		فاصله اولین غلاف از زمین		تعداد برگ		تعداد شاخه‌های جانبی	
		(سانتی‌متر)	(سانتی‌متر)	(سانتی‌متر)	(سانتی‌متر)	در بوته	در بوته	در بوته	در بوته
IR1	NK1	۵۸a	۱۴a	۳۰۲a	۱۴a	۱۴a			
IR2		۳۹d	۱۰/۳۳c	۲۱۶d	۱۰d				
IR3		۴۳c	۹/۳۳d	۲۵۴c	۱۲c				
IR4		۵۰b	۱۱b	۲۸۰b	۱۳/۶۶b				
IR1	NK2	۶۲a	۱۷a	۳۲۱a	۱۸a				
IR2		۴۸c	۱۵b	۲۵۰d	۱۲c				
IR3		۴۸c	۱۳c	۲۹۵c	۱۵b				
IR4		۵۳b	۱۳c	۳۰۳b	۱۵b				
IR1	NK3	۶۶a	۲۰a	۳۴۵a	۱۹/۶۶a				
IR2		۵۵c	۱۶c	۲۹۱d	۱۷c				
IR3		۵۶c	۱۷b	۳۰۰c	۱۷/۱۷c				
IR4		۶۱b	۱۷b	۳۱۳b	۱۸b				

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون برای هر سطح تنش خشکی، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

IR1= آبیاری نرمال، IR2= قطع آبیاری در طول رشد رویشی، IR3= قطع آبیاری در طول گل‌دهی، IR4= قطع آبیاری در طول پر شدن دانه / NK1= ۵ کیلوگرم نانوکود پتاسیم در هکتار، NK2= ۱۰ کیلوگرم نانوکود پتاسیم در هکتار، NK3= ۱۵ کیلوگرم نانوکود پتاسیم در هکتار.

به زراعی کشاورزی

دوره ۲۰ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۷

ارتباط دارد و عنوان نموده‌اند که رابطه تنگاتنگی بین پتاسیم، رشد بافت‌های مریستمی و نیز تقویت اثر این عنصر بر هورمون‌های رشد نظیر جیبرلین و اکسین وجود دارد که این امر رشد طولی سلول‌ها و در نتیجه رشد طولی اندام‌های گیاهان را به دنبال دارد [۳ و ۱۹]. یافته‌های این تحقیق با نتایج برخی از محققان مطابقت داشت که با مصرف انواع متفاوتی از کودهای حاوی پتاسیم در شرایط تنش خشکی، تقویت رشد گیاه، کاهش اثرات تنش خشکی، بهبود خصوصیات رشدی و ریخت‌شناسی را گزارش کردند [۱۸، ۲۴ و ۳۱].

### ۳.۲. عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد (جدول ۴) نشان داد که، تأثیر قطع آبیاری و نانوکود پتاسیم در سطح احتمال یک درصد بر تمامی صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. علاوه بر این، اثر متقابل نانوکود پتاسیم × قطع آبیاری بر تمامی صفات مورد مطالعه به غیر از وزن ۱۰۰۰ دانه و عرض هر غلاف در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار نشان داد (جدول ۴).

با توجه به مقایسه میانگین داده‌های مربوط به صفات ریخت‌شناسی، مصرف نانوکود پتاسیم در تمامی سطوح از شدت قطع آبیاری در هر مرحله رشدی کاسته است، به طوری که افزایش مصرف در میزان آن از ۵ کیلوگرم به ۱۵ کیلوگرم توانسته است مقاومت گیاه را از نظر خصوصیات ریخت‌شناسی افزایش دهد. مصرف مقادیر بالا از نانوکود پتاسیم در زمان قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی نیز موجب تخفیف تأثیر منفی تنش خشکی شده است (جدول ۳). با توجه به نقش پتاسیم در حفظ پتانسیل آب سلول و کمک به جذب آب توسط گیاه، افزایش ارتفاع بوته‌های سویا و سایر صفات ریخت‌شناسی در واکنش به مصرف کودهای پتاسیمی به ویژه نانوکود پتاسیم که جذب آن نسبت به سایر کودها با کارایی بالاتری صورت می‌پذیرد منطقی به نظر می‌رسد. زیرا که رشد گیاه نه تنها 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 [۲۸]. در این راستا، محققان نشان دادند که بزرگ و طویل شدن سلول‌ها که به عنوان بخشی از فرایند رشد سلولی است با غلظت پتاسیم در واکوئل‌ها

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد و اجزای عملکرد سویا با مصرف خاکی از نانوکود پتاسیم تحت شرایط قطع آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد غلاف در هر بوته	تعداد دانه در هر بوته	وزن ۱۰۰۰ دانه	طول غلاف	عرض غلاف	عملکرد دانه	عملکرد زیست‌توده برداشت	شاخص
سال	۱	۱۵۲۱/۶۸ <sup>**</sup>	۱۲۴۲۹/۳۸ <sup>**</sup>	۱۸۱/۸۹ <sup>ns</sup>	۲/۲۵ <sup>*</sup>	۰/۱۷۰ <sup>*</sup>	۰/۱۶۲ <sup>ns</sup>	۰/۶۷ <sup>ns</sup>	۱۳/۵۹ <sup>ns</sup>
تکرار (سال)	۴	۱۸۹/۱۳	۱۰۱۳/۸۴	۲۲۱۷/۱۱	۲	۰/۱۰۶	۰/۰۲۸	۰/۱۹	۲۸/۸۹
قطع آبیاری	۳	۳۶۹۰/۵۴ <sup>**</sup>	۱۱۷۰۸۹/۷۳ <sup>**</sup>	۱۳۷۲/۹۹ <sup>**</sup>	۲/۵۱ <sup>**</sup>	۰/۷۸ <sup>**</sup>	۳/۲۹ <sup>**</sup>	۶/۸۶ <sup>**</sup>	۰/۰۱ <sup>**</sup>
سال × قطع آبیاری	۳	۸۴۷/۷۱ <sup>ns</sup>	۹۲۳/۸۷ <sup>ns</sup>	۱۳۸۱۲/۰۸ <sup>ns</sup>	۲/۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۴ <sup>ns</sup>	۰/۱۴۵ <sup>ns</sup>	۱۳۰/۲۸ <sup>ns</sup>	۰/۴۴ <sup>ns</sup>
اشتباه اصلی	۱۲	۱۶۴/۵۴	۷۰۰/۴۰	۲۱۹۸/۰۶	۱/۵	۰/۱۷۷	۰/۱۳۷	۵۴/۸۳	۰/۲۸
نانوکود پتاسیم	۲	۲۱۸۵/۷۵ <sup>**</sup>	۳۰۷۳۰/۱۹ <sup>**</sup>	۸۳۶۸/۶۹ <sup>**</sup>	۴/۵۶ <sup>**</sup>	۰/۸۱ <sup>**</sup>	۱/۹۷ <sup>**</sup>	۱۶/۸۶ <sup>**</sup>	۰/۰۱۷ <sup>**</sup>
نانوکود پتاسیم × قطع آبیاری	۶	۷۴/۳۷ <sup>**</sup>	۱۷۵۵/۸۹ <sup>**</sup>	۳۶۱	۰/۱۴ <sup>*</sup>	۰/۰۵	۰/۱۳ <sup>**</sup>	۰/۵۱ <sup>**</sup>	۰/۰۰۹ <sup>**</sup>
سال × نانوکود پتاسیم	۲	۴۸/۹۳ <sup>ns</sup>	۴۱۷/۷۲ <sup>ns</sup>	۱۲۸/۹۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۸ <sup>ns</sup>	۰/۵۵۰ <sup>ns</sup>	۱/۳۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۲ <sup>ns</sup>	۴۲۴/۵۱ <sup>ns</sup>
سال × نانوکود پتاسیم × قطع آبیاری	۶	۱۴۱/۸۵ <sup>ns</sup>	۱۲۲۲/۳۱ <sup>ns</sup>	۴۲۱/۰۱ <sup>ns</sup>	۲/۵۶ <sup>ns</sup>	۰/۱۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۲۰ <sup>ns</sup>	۲۸/۴۴ <sup>ns</sup>
اشتباه فرعی	۳۲	۷۷/۱۵	۴۰۰	۵۷۶/۵۵۱	۲	۰/۵۶	۰/۰۸۲	۰/۲۳	۴۶
ضریب تغییرات (C.V%)	-	۳/۳۷	۳/۳	۳/۷۲	۵/۳۳	۶/۶۲	۴/۵	۵/۲۵	۸/۴۹

ns و \*\*: به ترتیب فاقد اختلاف معنی‌دار، معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد.

واکنش سویا به مصرف سطوح مختلف نانوکود پتاسیم تحت شرایط قطع آبیاری در دشت مغان

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر نانوکود پتاسیم به صورت

خاکی بر عرض غلاف و وزن ۱۰۰۰ دانه

تیمار	عرض غلاف (سانتی متر)	وزن ۱۰۰۰ دانه (گرم)
NK1	۱/۳۲c	۲۰۰c
NK2	۱/۵۸b	۲۲۲b
NK3	۱/۷۷a	۲۵۲a
LSD%	۰/۰۸	۵/۳۵

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد است (آزمون LSD).

NK1: مصرف پنج کیلوگرم در هکتار، NK2: مصرف ۱۰ کیلوگرم در هکتار و NK3: مصرف ۱۵ کیلوگرم در هکتار.

جدول مقایسه میانگین اثرات متقابل نانوکود پتاسیم ×

قطع آبیاری (جدول ۷) بر برخی صفات زراعی نشان داد که بالاترین مقادیر تعداد غلاف در هر بوته (۱۹۳ عدد)، تعداد دانه در هر بوته (۷۷۳ عدد) و طول غلاف (۴/۵۳ سانتی متر) در شرایط آبیاری نرمال با مصرف ۱۵ کیلوگرم نانوکود پتاسیم به دست آمد. همچنین، کمترین مقادیر این صفات در زمان قطع آبیاری در طول رشد رویشی (قطع آبیاری از مرحله سه برگی تا شروع رشد زایشی) با مصرف حداقل مقدار نانوکود پتاسیم به دست آمد. علاوه بر این، با قطع آبیاری در هر کدام از مراحل رشدی موجب کاهش صفات مذکور گردید. شایان ذکر است که با مصرف نانوکود پتاسیم به میزان ۱۵ کیلوگرم در هکتار از شدت تأثیر قطع آبیاری بر این صفات در تمامی مراحل مختلف رشدی کاسته شد. به طوری که با مصرف بالاترین میزان نانوکود پتاسیم در مرحله قطع آبیاری در زمان پر شدن دانه، مقدار تعداد غلاف در هر بوته (۱۷۷)، تعداد دانه در هر بوته (۶۹۵) و طول غلاف (۲/۸۸ سانتی متر) با مقادیر آنها در شرایط آبیاری نرمال با مصرف ۵ کیلوگرم نانوکود پتاسیم در هکتار تفاوت معنی داری نداشت و این

مقایسه میانگین تأثیر قطع آبیاری بر وزن ۱۰۰۰ دانه و

عرض هر غلاف (جدول ۵) نشان داد که بالاترین میزان وزن ۱۰۰۰ دانه (۲۴۲/۴۴ گرم) و عرض غلاف (۱/۶۸ سانتی متر) و پایین ترین میزان آنها به ترتیب در شرایط آبیاری نرمال و قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه ها به دست آمد، کمبود آب در این مرحله به دلیل کاهش آسیمیلایسیون از منابع به سمت مقصد (دانه) موجب چروکیده شدن دانه ها و در نهایت کاهش وزن ۱۰۰۰ دانه خواهد شد [۳۳ و ۳۴]. در مطالعه مشابهی، گزارش کردند که قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه موجب کوچک شدن اندازه دانه ها و به تبع آن کاهش وزن ۱۰۰۰ دانه و عرض غلاف می گردد. بالاترین مقادیر این صفات در مصرف ۱۵ کیلوگرم و پایین ترین مقادیر آنها در مصرف پنج کیلوگرم نانوکود پتاسیم به دست آمد (جدول ۶). در تحقیقی با بررسی مصرف نانوکود کامل بر روی جوانه زنی بذر، رشد و عملکرد گیاه سویا، به این نتیجه رسیدند که صفات های وزن ۱۰۰۰ دانه، طول و عرض غلاف در تیمارهایی با مصرف نانوکود کامل نسبت به تیمار شاهد افزایش یافتند [۱۷ و ۲۶].

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر قطع آبیاری بر عرض هر غلاف

و وزن ۱۰۰۰ دانه

تیمار	عرض غلاف (سانتی متر)	وزن ۱۰۰۰ دانه (گرم)
IR1	a1/۶۸	a۲۴۲/۴۴
IR2	b1/۵۴	b۲۲۲
IR3	c1/۵۰	c۲۲۰
IR4	d1/۴۵	d۲۰۳
LSD %	۰/۱۹	۵/۳۵

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد است (آزمون LSD).

IR1: آبیاری نرمال یا بدون قطع آبیاری، IR2: قطع آبیاری در طول دوره رشد رویشی، IR3: قطع آبیاری در طول دوره گل دهی و IR4: قطع آبیاری در طول دوره پر شدن دانه.

به زراعی کشاورزی

۱۵ کیلوگرم در هکتار در شرایط قطع آبیاری برای اکثر صفات مورد بررسی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری ندارند (جدول ۷) و می‌توان گفت که مصرف ۱۵ کیلوگرم به‌عنوان مصرف لوکس از این کود می‌باشد. افزایش عملکرد دانه با مصرف نانوکود پتاسیم در هر دو شرایط آبیاری نرمال و قطع آبیاری را می‌توان به نقش پتاسیم در افزایش تولید کربوهیدرات و انتقال سریع آن به دانه‌ها توجیه نمود. همچنین، با توجه به نقش پتاسیم در انتقال مواد غذایی و جذب سریع‌تر پتاسیم از نانوکود پتاسیم افزایش تعداد دانه بر اثر مصرف آن منطقی به نظر می‌رسد. گزارش شده است که استفاده از نانو لایه‌های کنشی در طراحی و ساخت کودهای شیمیایی جدید، منجر به افزایش قابل ملاحظه کارایی مصرف عناصر غذایی و متعاقباً عملکرد و اجزای عملکرد محصول گردید [۹]. طبق گزارش‌ها، بسیاری از محققین با کاربرد نانوکود NPK و یا کاربرد نانوکود پتاسیم در شرایط تنش خشکی، تخفیف تأثیر تنش خشکی بر گیاهان زراعی را نشان داده‌اند. به‌طوری‌که در تحقیقی با کاربرد نانوکود حاوی پتاسیم در شرایط تنش خشکی در گیاه پنبه، بهبود عملکرد و اجزای عملکرد را نسبت به عدم کاربرد آن گزارش کردند [۳۲]. در تحقیقی که مربوط به بررسی تفاوت میان انواع کودها در ایجاد مقاومت به تنش خشکی در گیاه گندم بود، استفاده از نانوکودها را بهترین راهکار گزارش کردند [۱ و ۲۱].

### ۳.۳. صفات کیفی

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های مربوط به صفات کیفی نشان داد که درصد پروتئین و درصد روغن دانه سویا تحت تأثیر قطع آبیاری و مصرف نانوکود پتاسیم به‌صورت خاک مصرف در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند. علاوه بر این، میزان درصد پروتئین دانه تحت تأثیر اثر متقابل نانوکود پتاسیم × تنش خشکی (قطع آبیاری) قرار گرفت (جدول ۸).

امر بیانگر تعدیل اثرات منفی ناشی از تنش خشکی در گیاه سویا توسط نانوکود پتاسیم به‌ویژه در هنگام قطع آبیاری در زمان پرشدن دانه می‌باشد. 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 غلاف در بوته، تعداد دانه در هر بوته و در نهایت سبب افزایش طول غلاف می‌شود [۴]. نانو کودها به‌منظور جذب سریع‌تر توسط گیاه، طراحی و ساخته شده‌اند و به‌همین دلیل موجب مقاومت بهتر گیاهان زراعی به تنش خشکی در مقایسه با کودهای پتاسیم‌دار معمولی می‌شوند [۳۰، ۶ و ۳۱]. به‌نظر می‌رسد دلیل اصلی القای مقاومت بهتر در شرایط قطع آبیاری در زمان‌های مختلف رشدی به‌ویژه مصرف میزان ۱۵ کیلوگرم در هکتار از نانوکود پتاسیم در زمان قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه همین امر است. بالاترین مقادیر عملکرد دانه (۴/۵۳ تن در هکتار) و عملکرد زیست‌توده (۸/۱۶ تن در هکتار) در شرایط آبیاری نرمال با مصرف ۱۵ کیلوگرم از نانوکود پتاسیم به‌صورت خاک مصرف به‌دست آمد. علاوه بر این، کمترین مقادیر عملکرد دانه (۲/۲۵ تن در هکتار) و زیست‌توده (۴/۲۳ تن در هکتار) به‌ترتیب در هنگام مصرف نانوکود پتاسیم به میزان پنج کیلوگرم در هکتار در زمان قطع آبیاری در مرحله تشکیل گل و در شرایط مصرف نانوکود پتاسیم به میزان ۵ کیلوگرم در هکتار در زمان قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی به‌دست آمدند (جدول ۷). افزودنی است که بالاترین مقدار شاخص برداشت با توجه به رابطه آن با عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده در هنگام مصرف ۱۵ کیلوگرم در هکتار نانوکود پتاسیم در زمان قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی به میزان ۵۷ درصد به‌دست آمد (جدول ۷). مصرف نانوکود پتاسیم به میزان ۱۰ کیلوگرم در هکتار با مصرف آن به میزان



واکنش سویا به مصرف سطوح مختلف نانوکود پتاسیم تحت شرایط قطع آبیاری در دشت مغان

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل نانوکود پتاسیم × قطع آبیاری بر برخی صفات زراعی

شاخص برداشت (%)	عملکرد زیست توده (تن در هکتار)	عملکرد دانه (تن در هکتار)	طول غلاف (سانتی متر)	تعداد دانه در بوته	تعداد غلاف در بوته	سطوح مصرف نانوکود پتاسیم تیمار آبیاری	
						IR1	IR2
۰/۴۸c	۶/۵a	۳/۱۷a	۴/۶۶a	۷۰۰a	۱۷۵a	IR1	NK1
۰/۵۷a	۴/۲۳d	۲/۴۳b	۲/۱d	۴۳۸d	۱۱۳c	IR2	
۰/۴۹b	۴/۶۶c	۲/۲۵d	۴b	۴۶۲c	۱۵۰b	IR3	
۰/۴۶d	۵/۴۶b	۲/۵۲c	۳c	۴۹۷b	۱۴۹b	IR4	
۰/۵۲bc	۷/۸۳a	۴/۱۳a	۵/۱۳a	۷۳۲a	۱۸۳a	IR1	NK2
۰/۵۶a	۵/۱۶d	۲/۹b	۴/۲۳c	۴۹۶c	۱۳۸d	IR2	
۰/۵۳b	۵/۴c	۲/۷۸c	۴/۶۳b	۵۰۱c	۱۶۳c	IR3	
۰/۴۳d	۶/۳۳b	۲/۷۶c	۳/۸d	۶۱۶b	۱۷۰b	IR4	
۰/۵۵a	۸/۱۶a	۴/۵۳a	۵/۵۳a	۷۷۳a	۱۹۳a	IR1	NK3
۰/۴۲b	۷/۲d	۳/۱۳b	۴/۷۶d	۳۶۵d	۱۵۲c	IR2	
۰/۴۰c	۷/۳۶c	۳c	۵b	۵۲۹c	۱۷۲b	IR3	
۰/۳۸d	۷/۵۶b	۲/۸۸d	۴/۸۳c	۶۵۹b	۱۷۷b	IR4	

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون برای هر سطح تنش خشکی، اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند. IR1= آبیاری نرمال، IR2= قطع آبیاری در طول رشد رویشی، IR3= قطع آبیاری در طول گل‌دهی، IR4= قطع آبیاری در طول پر شدن دانه. NK1= ۵ کیلوگرم نانوکود پتاسیم در هکتار، NK2= ۱۰ کیلوگرم نانوکود پتاسیم در هکتار، NK3= ۱۵ کیلوگرم نانوکود پتاسیم در هکتار.

جدول ۸. نتایج تجزیه واریانس مرکب درصد روغن و پروتئین

دانه سویا با مصرف نانوکود پتاسیم تحت شرایط قطع آبیاری		منابع تغییرات	
درصد	درجه آزادی	درصد پروتئین	درصد روغن
۰/۴۴ <sup>ns</sup>	۳/۶۹ <sup>**</sup>	۱	سال
۱۳/۸۹	۸/۴۲	۴	تکرار (سال)
۱۳۳/۶۳ <sup>**</sup>	۱۴/۰۶ <sup>*</sup>	۳	قطع آبیاری
۲/۲۸ <sup>ns</sup>	۷/۰۵ <sup>ns</sup>	۳	سال × قطع آبیاری
۲/۸۷	۴/۴۳	۱۲	اشتباه اصلی
۹۲/۰۷ <sup>**</sup>	۲۳۰/۲۵ <sup>**</sup>	۲	نانوکود پتاسیم
۲/۱۸	۱۰/۵۳ <sup>*</sup>	۶	نانوکود پتاسیم × قطع آبیاری
۱/۲۰ <sup>ns</sup>	۲/۲۹ <sup>ns</sup>	۲	سال × نانوکود پتاسیم
۲/۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۲۵ <sup>ns</sup>	۶	سال × نانوکود پتاسیم × قطع آبیاری
۲/۷۹	۰/۵۵	۳۲	اشتباه فرعی
۱/۵	۲/۲	-	ضریب تغییرات (C.V%)

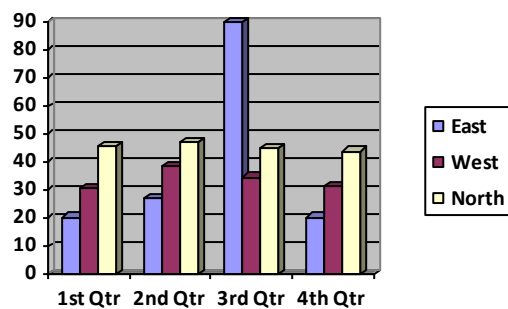
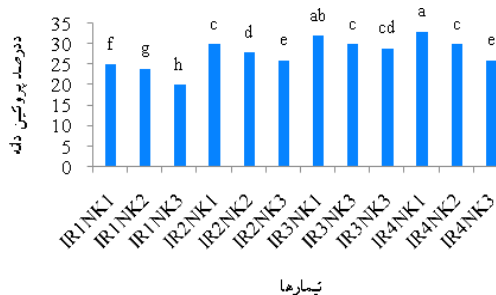
ns و \*\*: به ترتیب فاقد اختلاف معنی دار، معنی داری در سطح احتمال پنج درصد و معنی داری در سطح احتمال یک درصد.

اثر متقابل نانوکود پتاسیم × قطع آبیاری نشان داد که، با اعمال تنش خشکی درصد پروتئین دانه‌ها نسبت به تیمارهای آبیاری افزایش یافت (شکل ۱). به طوری که بالاترین میزان درصد پروتئین دانه (۳۵ درصد) در هنگام مصرف نانوکود پتاسیم به میزان ۵ کیلوگرم در هکتار در شرایط قطع آبیاری در زمان پر شدن دانه و پایین‌ترین میزان آن (۲۰ درصد) در هنگام مصرف ۱۵ کیلوگرم نانوکود پتاسیم در شرایط آبیاری نرمال به دست آمد. شایان ذکر است که در تمامی مراحل قطع آبیاری، مصرف نانوکود پتاسیم نسبت به مصرف آن در شرایط آبیاری نرمال میزان درصد پروتئین دانه‌ها را کاهش داد (شکل ۱). به نظر می‌رسد افزایش درصد پروتئین دانه تحت تأثیر تنش، به علت کاهش رطوبت گیاه، بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه افزایش درجه حرارت گیاه می‌باشد و با توجه به وجود همبستگی مثبت درجه حرارت با درصد پروتئین دانه سویا افزایش درصد پروتئین دانه را می‌توان

مقایسه میانگین تأثیر تنش خشکی (قطع آبیاری) بر درصد روغن دانه‌های سویا نشان داد که بالاترین درصد روغن دانه در شرایط آبیاری نرمال و پایین‌ترین آن در زمان قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و بعد از آن در مرحله پر شدن دانه‌ها بود، به طوری که میزان درصد روغن دانه در بین دو تیمار مذکور تفاوت آماری معنی‌داری نشان نداد (شکل ۲). با توجه به گزارش‌های سایر محققان می‌توان ادعا نمود که بین درصد پروتئین دانه و درصد روغن دانه رابطه منفی وجود دارد [۱۲]، به طوری که با ایجاد تنش در هر کدام از مراحل رشدی گیاه به‌ویژه در مرحله پر شدن دانه، میزان پروتئین افزایش و درصد روغن کاهش می‌یابد. به طوری که تنش خشکی بر مقدار روغن اثر بیشتری نسبت به مقدار پروتئین دانه می‌گذارد و کاهش بیشتری در درصد روغن دانه مشاهده گردید. با توجه به این که با کاهش رطوبت مورد نیاز گیاه دوره پر شدن دانه کوتاه می‌شود و هم چنین ساخت و ذخیره‌سازی پروتئین در دانه در اوایل دوره پر شدن اتفاق می‌افتد، مدت زمان لازم برای ذخیره‌سازی روغن در دانه، کاهش یافته و به همین دلیل است که در تنش خشکی سویا با افزایش پروتئین دانه و کاهش روغن دانه، مواجه می‌شود. هم چنین سویا قسمت اعظم نیتروژن گیاه را در مرحله پر شدن دانه‌ها، به سمت دانه منتقل می‌نماید. نتایج این تحقیق با یافته‌های از محققان دیگر مطابقت داشت [۷ و ۱۸].

مقایسه میانگین درصد روغن دانه‌های سویا تحت تأثیر مصرف خاکی نانوکود پتاسیم (شکل ۳) نشان داد که با افزایش مصرف در میزان نانوکود پتاسیم درصد روغن دانه‌های سویا نیز افزایش یافت. به طوری که بالاترین درصد روغن دانه‌های سویا با مصرف ۱۵ کیلوگرم نانوکود پتاسیم و کمترین آن در تیماری با مصرف ۵ کیلوگرم نانوکود پتاسیم به دست آمد. این صفت مهم‌ترین صفت گیاه سویا می‌باشد و نقش مهمی در تولید و اهمیت گیاه سویا دارد. هرچه در مراحل رشد سریع که نیاز غذایی

توجه نمود. افزودنی است که افزایش درصد پروتئین دانه در جهت کمک به تنظیم و تعادل اسمزی سلول در شرایط تنش خشکی روی می‌دهد. به طوری که مصرف نانوکود پتاسیم در هر کدام از مراحل قطع آبیاری توانست با تنظیم فشار اسمزی و تعدیل باز و بسته شدن روزنه‌ها از شدت تأثیر منفی تنش خشکی کاسته و درصد پروتئین کمتری تولید شود. بنابراین می‌توان گفت که مصرف نانوکود پتاسیم مخصوصاً در مقادیر بالا موجب تعدیل شدت تنش خشکی شده و از تولید پروتئین بیشتر جلوگیری کرده است. بسیاری از محققان نیز به نتایج مشابه‌ای دست یافته‌اند [۱، ۳، ۹، ۱۰ و ۲۵].



شکل ۱. نتایج مقایسه میانگین درصد پروتئین دانه سویا

تحت اثر متقابل نانوکود پتاسیم × تنش خشکی

IR1= آبیاری نرمال، IR2= قطع آبیاری در طول رشد رویشی، IR3= قطع آبیاری در طول گل‌دهی، IR4= قطع آبیاری در طول پر شدن دانه، IR4= قطع آبیاری در طول پر شدن دانه. NK1= ۵ کیلوگرم نانوکود پتاسیم در هکتار، NK2= ۱۰ کیلوگرم نانوکود پتاسیم در هکتار، NK3= ۱۵ کیلوگرم نانوکود پتاسیم در هکتار.

## واکنش سویا به مصرف سطوح مختلف نانوکود پتاسیم تحت شرایط قطع آبیاری در دشت مغان

می‌دهد. بنابراین، تأمین بهتر پتاسیم توسط این کود و با توجه به نقش حیاتی پتاسیم در افزایش کیفیت دانه‌های روغنی از طریق تنظیم فشار اسمزی، انتقال بهتر فرآورده‌های فتوسنتزی به دانه‌ها [۵] افزایش درصد روغن دانه‌های سویا در بالاترین میزان از مصرف نانوکود پتاسیم معقول و منطقی به نظر می‌رسد. بیشتر محققان به بررسی نقش نانوکود پتاسیم در مدیریت‌های آبی مختلف بر کیفیت گیاهان دارویی پرداخته‌اند و تحقیقات انجام شده بر روی گیاهان زراعی به‌ویژه سویا کمتر است، به طوری که در این راستا در تحقیقی با مصرف نانوکودهای کلاته بر روی گیاه اسفناج در شرایط تنش خشکی به این نتیجه رسیده‌اند که به دلیل جذب سریع عناصر موجود در کود نانویی کلاته به‌ویژه پتاسیم موجب بهبود ویژگی‌های کیفی و بازاری پستی آن می‌شود [۳۶] نتایج این تحقیق با بررسی‌های سایر پژوهشگران در این زمینه هم‌خوانی دارد [۳۲ و ۳۳].

### ۴. نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، قطع آبیاری در تمامی مراحل رشدی سویا موجب کاهش رشد صفات ریخت‌شناسی و افت عملکرد و اجزای عملکرد شد. به طوری که قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی بیشترین تأثیر سوء را بر ارتفاع بوته، فاصله اولین غلاف از زمین، تعداد برگ در هر بوته و تعداد شاخه‌های جانبی و قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و پر شدن دانه بیشترین تأثیر را بر تعداد کاهش غلاف در هر بوته، تعداد دانه در هر بوته، وزن ۱۰۰۰ دانه، طول هر غلاف، عرض هر غلاف، عملکرد دانه و زیست‌توده داشت. علاوه بر این، قطع آبیاری در تمامی مراحل رشدی به‌ویژه در مرحله پر شدن دانه موجب افزایش پروتئین و کاهش درصد روغن دانه شدند. مصرف هر سه سطح نانوکود پتاسیم (۵، ۱۰ و ۱۵

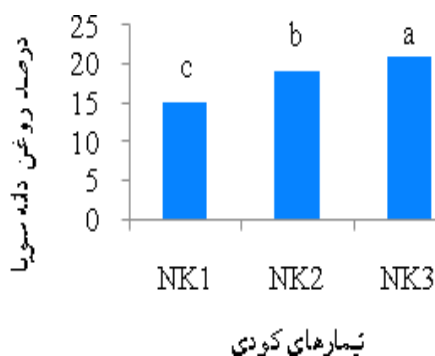
گیاه افزایش می‌یابد، مواد غذایی پر مصرف و کافی در اختیار گیاه قرار گیرد، به دلیل پر شدن دانه‌ها، درصد روغن افزایش می‌یابد. محققان بر این باورند که درصد روغن تحت کنترل عوامل ژنتیکی بوده اما افزایش کود در زمان مناسب می‌تواند به درصد روغن کمک کند [۵].



شکل ۲. نتایج مقایسه میانگین درصد روغن دانه‌های سویا

تحت تأثیر تنش خشکی (قطع آبیاری)

IR1=آبیاری نرمال، IR2=قطع آبیاری در طول رشد رویشی، IR3=قطع آبیاری در طول گل‌دهی، IR4=قطع آبیاری در طول پر شدن دانه، IR4=قطع آبیاری در طول پر شدن دانه



شکل ۳. نتایج مقایسه میانگین درصد روغن دانه سویا تحت

تأثیر مصرف مقادیر متفاوت از نانوکود پتاسیم

NK1=۵ کیلوگرم نانوکود پتاسیم در هکتار، NK2=۱۰ کیلوگرم نانوکود پتاسیم در هکتار، NK3=۱۵ کیلوگرم نانوکود پتاسیم در هکتار.

با توجه به این که نانوکودها در مقایسه با کودهای معمولی عناصر غذایی را سریع‌تر در اختیار گیاه قرار

سویا تحت تنش خشکی. مجله به‌زراعی کشاورزی. ۱۴(۱): ۳۳-۴۲.

۵. سام‌دلیری م، مظلوم پ، خدابنده ن (۱۳۸۹) بررسی اثرات مقادیر مختلف کود نیتروژن و پتاسیم بر درصد روغن و پروتئین دانه در کلزا. مجله زراعت و اصلاح نباتات. ۶(۴): ۹۰-۱۰۳.

۶. یحیایی س غ ر (۱۳۸۶) اثر رژیم‌های آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ارقام رشد محدود و رشد نامحدود سویا. علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۴(۵): ۶۸-۷۹.

7. Chun L, Xiansheng W, Hao M, Zhanqin Z, Wenrui G and Li Z (2008) Functional properties of protein isolates from soybean stored on various condition. Food Chemistry. 111: 29-37.
8. Costa RCL, Lobato AKS, Oliveira Neto CF, Maia PSP, Alves GAR and Laughinghouse IVHD (2008) Biochemical and physiological responses in two *Vigna unguiculata* (L.) Walp cultivars under water stress. Journal of Agronomy. 7: 98-101.
9. De Rosa M R, Monreal C, Schnitzer M, Walsh R and Sultan Y (2010) Nanotechnology in fertilizers. Nature Nanotechnology. 5: 91-92.
10. Demirtas C, Yazgan S, Candogan BN, Sincik M, Buyukcangaz H and Gksoy AT (2010) Quality and yield response of soybean (*Glycine max* L.) to drought stress in sub-humid environment. African Journal of Biotechnology. 9: 6873-6881.
11. Farnia A and Omid MM (2015) Effect of Nano-Zinc Chelate and Nano-Biofertilizer on Yield and Yield Components of Maize (*Zea mays* L.), Under Water Stress Condition. Indian Journal of Natural Sciences. 5: 132-148.
12. Flexas J and Medrano H (2008) Drought-inhibition of photosynthesis in C3- plants: stomatal and nonstomatal limitation revisited. Annals of Botany. 183: 183-189.
13. Jafarzadeh R, Jami Moeini M and Hokm Abadi MR (2013) Wheat yield response to foliar and soil application of potassium fertilizer Nano. Journal of Farming Research. 5: 189-97.
14. Kirkby EA and Mengel K (2001) Principles of Plant Nutrition, 5th edn. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

کیلوگرم در هکتار) موجب کاهش اثرات قطع آبیاری در تمامی مراحل رشدی شد. با قطع آبیاری به‌ویژه در مرحله پر شدن دانه، مصرف ۱۵ کیلوگرم در هکتار نانوکود پتاسیم تأثیر مثبت در کاهش اثر تنش خشکی داشت و در حقیقت موجب تخفیف اثر قطع آبیاری بر تمامی صفات مورد بررسی به‌ویژه عملکرد دانه حداقل به میزان ۱۵ درصد شد. بنابراین، می‌توان با مصرف نانوکود پتاسیم به میزان ۱۵ کیلوگرم در هکتار علاوه بر کاهش آثار سوء کم آبیاری بر رشد سویا در راستای کشاورزی پایدار گام برداشت.

## منابع

۱. اکبری غ، جوانمردی ز و خجسته‌کیا م (۱۳۸۸) مقایسه اثر فرم‌های مختلف کود پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم در شرایط کم‌آبیاری. همایش ملی بحران آب در کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر ری.
۲. خواجویی‌نژاد غ، کاظمی ح، آلیاری ه، جوانشیر ع و آروین س م ج (۱۳۸۴) تأثیر رژیم‌های آبیاری و تراکم کاشت بر عملکرد، کارایی مصرف آب و کیفیت دانه سه رقم سویا در کشت تابستانه در شرایط آب‌وهوایی کرمان. علوم و فنون. کشاورزی و منابع طبیعی. ۹(۴): ۱۳۷-۱۵۱.
۳. دانشیان ج، مجیدی‌هروان الف و جنوبی پ (۱۳۸۱) بررسی تأثیر تنش خشکی و مقادیر مختلف پتاسیم بر خصوصیات کمی و کیفی سویا. فصلنامه علوم کشاورزی. ۸(۳): ۹۵-۱۰۸.
۴. روستایی خ، موحدی دهنوی م، خادم س ع و اولیایی ح (۱۳۹۱) اثر نسبت‌های مختلف پلیمر سوپرجاذب و کود دامی بر خواص کمی و کیفی

15. Lenssen A (2012) Soybean response to drought. Integrated Crop Management News Online. Iowa State University Extension. 2012. <http://crops.extension.iastate.edu/cropnews/2012/06/soybean-response-drought>. Accessed 22 Jun 2012.
16. Lu CM, Zhang CY, Wu JQ and Tao MX (2002) Research of the effect of nanometer on germination and growth enhancement of Glycine max and its mechanism. Soybean Science. 21: 168-172.
17. Maleki A, Naderi A, Siadat A, Tahmasbi A and Fazel SH (2012) The effect of water stress on phenological stages on yield and yield components of soybean. Journal of Crop Sciences. 15: 71-82.
18. Malek-Mohammadi M, Maleki A, Siadat SA and Beigzade M (2013) The effect of zinc and potassium on the quality yield of wheat under drought stress conditions. International Journal of Agriculture Crop Science. 6: 1164-1170.
19. Marschner H (1995) Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. Limited, London. Second edition. 861 p.
20. Maser P, Gierth M and Schroeder IJ (2002) Molecular mechanisms of potassium and sodium uptake in plant. Plant and Soil. 247: 43-54.
21. Monica RC and Cremonini R (2009) Nanoparticles and higher plants. Caryologia. 62(17): 161-165.
22. Naderi MR and Abedi A (2012) Application of nanotechnology in agriculture and refinement of environmental pollutants. Nanotechnology Journal. 11: 18-26.
23. Nazaran MH, Keshavarz N, Baghaie N and Zanjani B (2012) Evaluations the interaction of nano potassium and nano iron chelate fertilizers on yield and yield components of Sweet Corn. 3rd International Conference on Conservation Agriculture in Southeast Asia. 1-2.
24. Norradini E, Moura MR and Mattoso LHC (2010) A preliminary study of the incorporation of NPK fertilizer into chitosan nanoparticles eXPRESS. Polymer Letters. 4: 509-515.
25. Novozamsky I R, van Eck JCh, Schouwenburg V and Walinga I (1974) Total nitrogen determination in plant material by means of the indophenol blue method. Netherlands Journal of Agricultural Science. 22:3-5.
26. Polizel AM, Medri ME, Nakashima K, Yamanaka N, Farias JR and Oliveira MC (2011) Molecular, anatomical and physiological properties of a genetically modified soybean line transformed with rd29A:AtDREB1A for the improvement of drought tolerance. Genetically Molecule Research. 10: 36-41.
27. Rameshaiah GN, Pallavi J and Shabnam S (2015) Nano Fertilizers And Nano Sensors An Attempt For Developing Smart Agriculture. International Journal of Engineering Research and General Science. 3: 140-156.
28. Rostami Ajirloo A, Shaaban M and 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
29. SAS (2002) The SAS System for Windows. Release 9.1. SAS Institute. Cary, NC, USA.
30. Shabala S (2003) Regulation of potassium transport in leaves: From molecular to tissue level. Annals of Botany. 92: 627-634.
31. Silveira JAG, Costa RCL, Viegas RA, Oliveira JTA and Figueiredo MVB (2003) N-Compound accumulation and carbohydrate shortage on N<sub>2</sub> fixation in drought-stressed and dewatered cowpea plants. Spanish Journal of Agricultural Research 1: 65-75
32. Siskani A, Seghatoleslami MJ and Moosavi GR (2015) Effect of Deficit Irrigation and Nano Fertilizers on Yield and some Morphological Traits of Cotton. Biological Forum-An International Journal. 7: 1710-1715.
33. Suppan S (2014) Nanotechnology Risk to Soil Health Institute of Agriculture and Trade Policy, First Avenue South Minneapolis, Minnesota.
34. Tarumingkeng RC and Coto Z (2003) Effects of drought stress on growth and yield of soybean. Science Philosophy PPs 702, Term paper, Graduate School, Borgor Agricultural University (Institute Pertaining Bogor), December 2003.
35. Zhu JK (2002) Salt and drought stress signal transduction in plants. Ann Rev Plant Biology 53: 247-273.
36. Vattani H, Keshavarz N and Baghaei H (2012) Effect of sprayed soluble different levels of iron chelate nano fertilizer on nutrient uptake efficiency in two varieties of spinach (Varamin 88 and Virofly). International Research Journal of Applied and Basic Sciences. 3: 2651-2656.



## Crops Improvement

(Journal of Agricultural Crops Production)

Vol. 20 ■ No. 2 ■ Summer 2018

### Soybean response to different levels of nano-potassium under cutting irrigation conditions in Mugan Plain

Amir Abbas Rostami Ajirloo<sup>1</sup>, Ebrahim Amiri<sup>2\*</sup>

1. Former Ph.D. Student, Young Researchers and Elite Club, Parsabad Moghan Branch, Islamic Azad University, Parsabad Moghan, Iran.
2. Professor, Department of Water Engineering, Lahijan branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.

Received: August 13, 2017

Accepted: December 30, 2017

#### Abstract

The present research has been conducted to investigate the effect of potassium Nano-fertilizer on soybean growth, irrigated with holding condition. To do so, an experiment has been carried out with split plots arrangement, based on completely-randomized block design with three replications in Mugan Plain during cropping seasons of 2015 and 2016. The main factor has been four levels of irrigation (IR), namely normal irrigation, cutting irrigation during vegetative phase, cutting irrigation during flowering phase, and cutting irrigation during grain filling phase, with the sub-factor being three levels of 5, 10 and 15 kg.ha<sup>-1</sup> for potassium Nano-fertilizer (NK). Results show that the use of potassium Nano-fertilizer have reduced the effect of drought stress at all stages of irrigation; therefore, no wonder that the greatest seed yield and yield components under normal irrigation and off-irrigation conditions have been obtained from the use of 15 kg.ha<sup>-1</sup> potassium Nano-fertilizer. Also, the highest plant height (66 cm), the distance between the first pod of ground (20 cm), number of leaves per plant (345), and the number of lateral branches (19.66) have been obtained at the normal irrigation treatment in which the consumption of potassium Nano-fertilizer is 15 kg, and the lowest values of those treatments have been obtained at the irrigation cut, during vegetative phase that uses 5 kg.ha<sup>-1</sup> of potassium Nano-fertilizer. In addition, oil percentage and seed protein have been strongly affected by drought stress, especially cutting irrigation at the grain filling phase. According to the results, it can be concluded that 15 kg.ha<sup>-1</sup> of potassium Nano-fertilizer application can reduce the effects of drought stress on yield (by 15%), especially at the seed-filling stage of soybean.

**Keywords:** Drought stress, growth, nanotechnology, oil seed, yield.