اثر کاربرد کودهای گوگردی و محلول‌پاشی مقادیر نانو پتاسیم بر صفات مرفولوژیکی، زراعی و کیفیت دانه گلرنگ

امید مرادی[۱]، بابک پاساری[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران
۲- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: bpasary@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۲- تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۳۰)

چکیده

تأمین عناصر غذایی مورد نیاز جهت رشد و نمو گیاهان از طریق کاربرد کودهای زیستی و نانو ضمن افزایش عملکرد، از اثرات سوء مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی برمحیط زیست ممانعت می‌نماید. این تحقیق به صورت آزمایش کرت‌های یک بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در روستای خامسان از توابع شهرستان کامیاران واقع در استان کردستان انجام شد. در این آزمایش اثر چهار نوع کود گوگرد شامل عدم مصرف، کود گوگردی گرانوله، کود زیستی تیوباسیلوس، کود گوگردی گرانوله + تیوباسیلوس در کرت‌های اصلی و سه میزان محلول‌پاشی مقادیر ۰، ۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار کود نانو پتاسیم در کرت‌های فرعی بر صفات مرفولوژیکی، عملکرد دانه و کیفیت دانه گلرنگ مقایسه گردید. نتایج نشان داد که صفات تعداد ساقه ثانویه در سطح ۵ درصد و تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد روغن و پروتئین تحت تأثیر کودهای گوگردی اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد داشتند. بیشترین عملکرد دانه، عملکرد روغن و پروتئین در تیمار کود گوگردی گرانوله + تیوباسیلوس حاصل گردید که در مقایسه با شاهد به ترتیب: ۲۸/۴۹، ۴۱/۷۲ و ۳۲/۴۶ درصد افزایش نشان دادند. همچنین تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد روغن در سطح ۱ درصد و درصد روغن و پروتئین و عملکرد پروتئین در سطح ۵ درصد تحت تأثیر محلول‌پاشی مقادیر متفاوت کود نانوپتاسیم اختلاف معنی‌دار داشته به طوری که محلول‌پاشی ۱۰ کیلوگرم در هکتار نانوپتاسیم سبب بروز حداکثر مقدار صفات مذکور گردید و عملکرد دانه، درصد روغن، پروتئین و عملکرد روغن و پروتئین را در مقایسه با شاهد به ترتیب: ۱/۰۵، ۲/۵۶، ۰/۶۴، ۱۴/۲۶ و ۴/۴۸ درصد افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد، گلرنگ، گوگرد، نانوکود

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) از گیاهان مهم دانه روغنی و مقاوم به خشکی است. روغن این گیاه به دلیل داشتن ویتامین E و نقطه دود بالا یکی از سالم‌ترین روغن‌های نباتی به شمار می‌رود (Zhou *et al.*, 2014). گل‌های آن نیز ارزش اقتصادی زیادی داشته و در صنایع رنگرزی، غذایی و دارویی مورد استفاده واقع می‌گردد. پایین بودن میانگین عملکرد آن بویژه در کشت آبی (۹۶۵ کیلوگرم در هکتار) لزوم توجه به تکنیک‌ها و روش‌های افزایش عملکرد این گیاه را با در نظر گرفتن حفظ محیط زیست ضروری می‌سازد (Ahmadi *et al.*, 2019). کاربرد کودهای نانو به صورت خاک مصرف و هم‌چنین به صورت محلول‌پاشی یکی از تکنولوژی‌های نویدبخش در سال‌های اخیر است که بسیار مورد تایید قرار گرفته است (Mejias *et al.*, 2021; Sheoran *et al.*, 2021). کودهای نانو حاوی عناصر غذایی در ابعاد نانومتر (۹-۱۰) بوده و در مقایسه با کودهای رایج به دلیل اندازه کوچک و افزایش نسبت سطح به حجم، سبب افزایش جذب و تجمع عناصر غذایی مورد نیاز درگیاه می‌گردند.

پتاسیم یکی از مهم‌ترین عناصر پرمصرف ضروری جهت تغذیه گیاهان و هم‌چنین فراوان‌ترین کاتیون موجود در گیاهان به شمار می‌رود. وجود این عنصر جهت افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان بسیار ضروری است. این عنصر غذایی در رشد و نمو، عملکرد، متابولیسم، فعالیت‌های آنزیمی و تنظیم عملکرد فیزیولوژیکی گیاهان نقش مهمی را ایفاء می‌نماید (Abd El-All. 2019; Sheoran *et al.*, 2021). از آنجایی که میزان پتاسیم محلول در خاک‌های زراعی بسیار کم است، لذا کاربرد این عنصر به صورت محلول‌پاشی نانوپتاسیم مورد تاکید قرار گرفته است. طی مطالعات صورت گرفته محلول‌پاشی نانوپتاسیم سبب کاهش اتلاف آن از طریق کاهش آبشویی در خاک شده و سبب افزایش جذب حداکثری این عنصر و در نتیجه کاهش آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودها در خاک می‌گردد (Baratzadeh *et al.*, 2019; Sheoran *et al.*, 2021; Tavan *et al.*, 2014). علاوه بر آن نانوپتاسیم کمیت و کیفیت محصولات زراعی را افزایش داده و هم‌چنین باعث کاهش تنش خشکی در گیاهان زراعی می‌گردد (Afify *et al.*, 2019; Baratzadeh *et al.*, 2019; El-Salhy *et al.*, 2021; Jin *et al.*, 2020; Sadati Valojai *et al.*, 2021; Saedi *et al.*, 2020).

طی تحقیقی محلول‌پاشی نانوپتاسیم مقادیر صفات مرفولوژیکی، رنگیزه‌های فتوسنتزی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه گندم را افزایش داد (Sheoran *et al.*, 2021). همچنین طی آزمایشی دوساله محلول‌پاشی نانوپتاسیم از طریق افزایش مقادیر رنگیزه‌های فتوسنتزی و هم‌چنین افزایش جذب عناصر غذایی، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه بادام زمینی را افزایش داد (Afify *et al.*, 2019). (Huthily *et al.*, 2021) افزایش عملکرد دانه گیاه باقلا تحت تأثیر محلول‌پاشی نانوپتاسیم را به دلیل افزایش تعداد غلاف در گیاه و افزایش تعداد دانه در غلاف اعلام نمودند. از طرف دیگر گوگرد نیز از عناصر ضروری جهت افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان دانه روغنی به شمار می‌رود (Ghasem Beiki *et al.*, 2021; Raza *et al.*, 2018; Varenyiova *et al.*,

Azarmehr *et al.*, 2021; 2017). این عنصر با کاهش اسیدیته خاک می‌تواند فراهمی و جذب عناصر غذایی موجود در خاک را جهت گیاهان افزایش دهد (Klikocka & Marks, 2018; Karimizarchi *et al.*, 2014). کاربرد گوگرد به همراه تلقیح با باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد (تیوباسیلوس) که قادر به تبدیل عنصر گوگردی به شکل سولفات قابل جذب هستند، به عنوان راهکاری اکولوژیک در راستای دستیابی به افزایش عملکرد و بهبود کیفیت گیاهان دانه روغنی، به ویژه در خاک‌های با قلیائیت بالا، معرفی شده است (Noorbakhsh *et al.*, 2014; Shabani *et al.*, 2015).

کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس سبب کاهش اسیدیته خاک و افزایش جذب عناصر فسفر، آهن و روی در گیاهان روغنی (Akhavan & Fallah Nosratabad, 2013; Asadi Rahmani *et al.*, 2018)، افزایش تحمل گیاه به کم آبی در شرایط قطع آبیاری در مراحل حساس رشد (Nasri & khalatbari, 2016) و کاهش میزان نیترات در محصولات زراعی می‌گردد (Golmoradi marani *et al.*, 2017). به دلیل بالا بودن میزان آهک در خاک‌های ایران و همچنین ارزان قیمت بودن کودهای گوگردی به همراه باکتری تیوباسیلوس، کاربرد این دسته از کودها به منظور کاهش اسیدیته خاک و افزایش دسترسی به عناصر غذایی موجود در خاک توصیه شده است. طی آزمایشات مجزا بیشترین مقدار صفات اجزای عملکرد و عملکرد دانه در گلرنگ در تیمار کاربرد گوگرد به همراه تیوباسیلوس گزارش گردیده است (Noorbakhsh *et al.*, 2014).

از آنجایی که سطح زیرکشت گلرنگ در کردستان ۲۲۱ هکتار؛ معادل ۹/٦۷ درصد از کل سطح زیرکشت گلرنگ در کشور است و نظر به این که کاربرد کودهای گوگردی سبب کاهش اسیدیته خاک و در نتیجه فراهمی و دسترسی به عناصر غذایی را افزایش داده و محلول‌پاشی کودهای نانو نیز میزان جذب عناصر توسط شاخ و برگ گیاه را بهبود می‌بخشند، لذا این آزمایش به منظور افزایش عملکرد کمی و کیفی گلرنگ در شرایط کامیاران صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در روستای خامسان از توابع شهرستان کامیاران واقع در استان کردستان در سال زراعی ۱٤۰۰-۱۳۹۹ اجرا گردید. مزرعه آزمایشی دارای طول جغرافیایی "۵۱ ′۵۸ °۳٤ شمالی و عرض جغرافیایی "۵۳ ′۰٤ °٤۷ شرقی و ارتفاع ۱٦۰۰ متر از سطح دریا بود. این تحقیق به صورت آزمایش کرت‌های یک بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱٤۰۰-۱۳۹۹ انجام گرفت. در این آزمایش اثر چهار نوع کود گوگرد شامل عدم مصرف، کود گوگردی گرانوله، کود زیستی تیوباسیلوس، کود گوگردی گرانوله + تیوباسیلوس در کرت‌های اصلی و سه میزان محلول‌پاشی مقادیر ۰، ۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار کود نانو پتاسیم در کرت‌های فرعی بر صفات مرفولوژیکی و کیفیت دانه گلرنگ مقایسه گردید.

مزرعه آزمایشی در پاییز شخم عمیق زده و سپس در ابتدای فصل بهار پس از گاورو شدن زمین مجددا عملیات شخم با گاوآهن برگردان‌دار انجام و با کمک

دیسک، کلوخه‌های خاک خرد شدند؛ به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، نمونه‌برداری تصادفی از قسمت‌های مختلف مزرعه به شکل حرف W از اعماق ۶۰-۰ سانتی‌متر توسط مته نمونه‌برداری صورت گرفت و نمونه مرکب خاک به آزمایشگاه خاک‌شناسی ارسال گردید (جدول۱).

کود توصیه شده بر اساس نتایج آزمون خاک به میزان ۱۳۰ کیلوگرم اوره (۵۰٪ قبل از کاشت و ۵۰٪ در مرحله ابتدای ساقه رفتن و گلدهی)، ۸۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم در سطح زمین پخش و با استفاده از دیسک با خاک مخلوط شد. کود گوگردی گرانوله بنتونیت‌دار غنی شده با هیومیک حاوی ۸۵-۸۰ درصد گوگرد معدنی استفاده و به میزان ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار در تیمارهای مربوط به طور یکنواخت توزیع و با خاک مخلوط گردید. کود زیستی سولفوبارور ۱ حاوی باکتری‌های تیوباسیلوس با جمعیت 10^7 CFU/gr، اسیدیته ۵/۱۹ و هدایت الکتریکی ۱/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر در آخرین مرحله تهیه زمین به صورت یکنواخت و نواری در زیر عمق کاشت قرار گرفت (Noorbakhsh *et al.*, 2014). کود نانوپتاسیم با نام تجاری خضراء با ۲۷ درصد پتاسیم محلول در آب مطابق دستورالعمل کارخانه سازنده به دو صورت خاک مصرف قبل از کاشت به میزان ۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار و هم‌چنین محلول‌پاشی در دو نوبت اوایل رشد گیاه (مرحله روزت) و مرحله پرشدن دانه (شیری-خمیری شدن) با غلظت دو در هزار استفاده گردید.

جدول۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

فسفر قابل دسترس (قسمت در میلیون)	پتاسیم قابل دسترس (قسمت در میلیون)	نیتروژن (درصد)	مواد آلی (درصد)	مواد خنثی شونده (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	اسیدیته	بافت خاک	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)
۱۱/۵	۱۶۲	۰/۰۶	۰/۶۵	۲۲/۷۵	۰/۴۴۵	۸/۰۵	لوم رسی	۲۹/۵۶	۳۵/۸۴	۳۴/۶

در این آزمایش در هر کرت آزمایشی، ۶ خط کاشت به طول ۲ متر، با فواصل ۵۰ سانتی‌متر بین ردیف‌های کاشت و ۱۰ سانتی‌متر بین بوته‌ها روی هر ردیف کاشت (پس از تنک کردن در مرحله ۴ برگی) در نظر گرفته شد. عملیات کشت گلرنگ (رقم فرامان) در ۶ اردیبهشت ماه و به صورت دستی صورت گرفت. سیستم آبیاری قطره‌ای- نوار تیپ در مزرعه آزمایشی اجرا و اولین آبیاری یک روز بعد از کشت بذور در زمین و آبیاری‌های بعدی با فواصل ۵ روزه انجام گرفت. علف‌های هرز نیز در طی مراحل رشد گیاه در چند مرحله و به صورت دستی وجین گردید. هم‌چنین جهت کنترل آفت شته در مرحله ظهور طبق‌ها، از حشره‌کش دیازینون ۸۰٪ استفاده گردید.

جهت اندازه‌گیری صفات مرفولوژیکی و اجزای عملکرد در مرحله رسیدگی کامل بوته‌ها در ۱۵

شهریور ماه، از هر کرت ۵ بوته به طور تصادفی برداشت و صفات ارتفاع بوته، تعداد ساقه اولیه و ثانویه، وزن خشک گل، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه (با رطوبت ۸ درصد) اندازه‌گیری گردید. جهت اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیکی، با در نظرگرفتن ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای هرکرت به عنوان اثرحاشیه، کل بوته‌های مربوط به ردیف‌های میانی کاشت (به مساحت ۲ متر مربع) در سطح خاک قطع و برداشت گردید. وزن کل اندام‌های هوایی بوته‌های برداشت شده به عنوان عملکرد بیولوژیکی در مساحت برداشت شده ثبت و با انجام تناسب به واحد کیلوگرم در هکتار تبدیل گردید. سپس دانه‌ها را از بقیه قسمت‌های بوته جدا نموده و توسط ترازوی دیجیتالی وزن کل دانه‌های برداشت شده در هرکرت محاسبه و به عنوان عملکرد دانه در مساحت برداشت شده ثبت و سپس به واحد کیلوگرم در هکتار تبدیل شد. هم‌چنین درصد روغن دانه به روش سوکسله با استفاده از حلال هگزان نرمال و درصد پروتئین دانه به روش کجلدال در سه مرحله هضم، تقطیر و تیتراسیون در آزمایشگاه جهاد کشاورزی سنندج اندازه‌گیری گردید. عملکرد روغن و پروتئین نیز از طریق حاصل‌ضرب درصد روغن و پروتئین در عملکرد دانه بدست آمد. تجزیه واریانس با نرم افزار $SAS_{9.1}$ انجام و مقایسات میانگین با روش دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

تعداد ساقه ثانویه

بر اساس نتایج تعداد ساقه ثانویه تحت تأثیر کودهای گوگردی در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار داشت (جدول۲). به طوری که حداکثر تعداد ساقه ثانویه در تیمار تیوباسیلوس و هم‌چنین ترکیب تیوباسیلوس و گوگرد گرانوله حاصل گردید (جدول۳). طی مطالعات صورت گرفته نقش تغذیه با عناصر پرمصرف و کم مصرف در افزایش رشد و نمو گیاه ثابت شده است. کاربرد گوگرد به همراه باکتری‌های تیوباسیلوس با کاهش اسیدیته خاک، شکل نامحلول فسفر خاک را به شکل محلول تبدیل کرده و جذب فسفر توسط گیاه را افزایش می‌دهد (Akhavan & Fallah Nosratabad, 2013). کاهش اسیدیته خاک و افزایش جذب عناصر فسفر، آهن و روی تحت تأثیر گوگرد و تیوباسیلوس در کلزا نیز گزارش گردیده است (Asadi Rahmani *et al.*, 2018). هم‌چنین کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس سبب افزایش غلظت فسفر و گوگرد در برگ گلرنگ گردیده است (Noorbakhsh *et al.*, 2014). در تحقیقی مشابه افزایش تعداد ساقه در گیاه خردل تحت تأثیر کاربرد گوگرد مشاهده گردید (Piri *et al.*, 2019). این محققین دریافتند که کاربرد گوگرد شاخص سطح برگ، سرعت رشد نسبی و سرعت جذب خالص گیاه را افزایش می‌دهد. در تحقیقی مشابه افزایش قطر ساقه تحت تأثیر کاربرد گوگرد و کود بیولوژیک بیوسولفور حاوی تیوباسیلوس گزارش گردیده است (Noorbakhsh *et al.*, 2014). در آزمایشی دیگر گوگرد سولفاتی (تری‌اکسید گوگرد) تعداد شاخه‌های فرعی در بوته‌های کلزا را به میزان ۱۶ درصد افزایش داده است (Azarmehr *et al.*, 2017).

جدول۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مرفولوژیکی و اجزای عملکرد گلرنگ (اعداد میانگین مجذورات می‌باشند)

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد ساقه اولیه	تعداد ساقه ثانویه	وزن گل	تعداد طبق	تعداد دانه در طبق	وزن ۱۰۰۰ دانه
تکرار	۲	۰/۴۳۶ ns	۰/۱۱۴ ns	۵/۷ ns	۰/۰۲۱ ns	۱۲/۱۲ ns	۷/۷۷ *	۰/۳۶۴ ns
کودهای گوگردی	۳	۱۳/۶۶ ns	۰/۱۱۵ ns	۱۳/۴ *	۰/۰۴۴ ns	۲/۲۸ ns	۱۱/۷۱ **	۴۷/۲۴ **
خطای کرت‌های اصلی	۶	۱۶/۸۱	۰/۱۴۸	۲/۲۴	۰/۰۱۱	۸/۸۵	۱/۴۸	۳/۲۹
محلول‌پاشی کود نانوپتاسیم	۲	۱۱/۰۲ ns	۰/۰۴۷ ns	۰/۸۵۴ ns	۰/۰۰۸ ns	۷/۵۷ ns	۱۶/۶۴ **	۰/۲۲۷ ns
گوگرد × نانوپتاسیم	۶	۱۶/۵۱ ns	۰/۶۰۶ ns	۰/۹۵۸ ns	۰/۰۲۶ **	۳/۶۱ ns	۶/۱۳ *	۵/۲۸ ns
خطای کرت‌های فرعی	۱۶	۱۳/۵۲	۰/۷۵۸	۱/۵۸	۰/۰۰۷	۴/۲۸	۱/۹۱	۷/۳۵
ضریب تغییرات (٪)		۴/۷۹	۱۰/۹۸	۱۷/۲	۱۷/۰۸	۱۶/۳۹	۶/۹۸	۵/۴۱

ns، * و **: به ترتیب: غیر معنی‌دار و معنی‌دار بودن تفاوت‌ها را در سطح ۵٪ و ۱٪ نشان می‌دهند.

جدول۳- مقایسه میانگین صفات مرفولوژیکی و اجزای عملکرد گلرنگ

تیمار		ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد ساقه اولیه	تعداد ساقه ثانویه	وزن گل (گرم در بوته)	تعداد طبق	تعداد دانه در طبق	وزن ۱۰۰۰ دانه (گرم)
کودهای گوگردی	عدم مصرف (شاهد)	۷۷/۳۷ a	۷/۹۷ a	۵/۸۶ b	۰/۳۸۶ a	۱۱/۹۳ a	۱۸/۲۱ b	۵۱/۴۴ a
	گوگردگرانوله	۷۷/۲۱ a	۷/۹۱ a	۶/۷۳ b	۰/۵۱۵ a	۱۳/۰۶ a	۲۰/۲۵ a	۴۹/۷۳ a
	تیوباسیلوس	۷۴/۹۳ a	۷/۷۵ a	۸/۳۵ a	۰/۵۳۷ a	۱۲/۹۲ a	۱۹/۹ a	۵۲/۰۹ a
	تیوباسیلوس + گوگردگرانوله	۷۷/۵۵ a	۸/۰۶ a	۸/۲۸ a	۰/۵۲۵ a	۱۲/۶ a	۲۰/۸۸ a	۴۶/۹۶ b
	شاهد (آب مقطر)	۷۶/۷۹ a	۷/۸۸ a	۷/۳ a	۰/۴۷ a	۱۲/۸ a	۱۸/۶ b	۴۹/۹۱ a
	۵	۷۵/۸ a	۷/۹ a	۷/۰۵ a	۰/۴۸۲ a	۱۱/۷۶ a	۱۹/۸۸ a	۵۰/۱۹ a
	۱۰	۷۷/۷۱ a	۸ a	۷/۵۸ a	۰/۵۲۱ a	۱۳/۳۲ a	۲۰/۹۵ a	۵۰/۰۶ a

ستون‌هایی که دارای حروف مشترک هستند اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

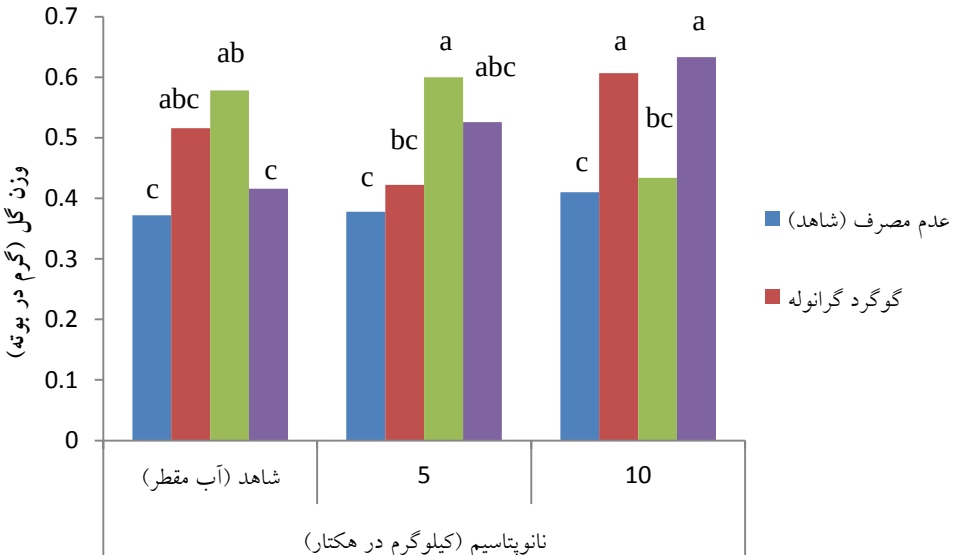
در بخش قابل توجهی از اراضی کشاورزی ایران به دلیل وجود آهک بالا و قلیایی بودن، قابلیت جذب عناصر غذایی پایین است، بنابراین مصرف همزمان کود گوگرد و باکتری تیوباسیلوس جهت کاهش اسیدیته خاک، بهبود شرایط خاک، افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی از خاک و در نهایت افزایش عملکرد گیاهان زراعی ضروری است (Golmoradi marani *et al.*, 2017).

در این آزمایش کاربرد نانوپتاسیم نیز هرچند تعداد ساقه را اندکی افزایش داد، منتهی این افزایش معنی‌دار نبود. در آزمایشات مشابه با افزایش سطوح محلول‌پاشی نانوپتاسیم، تعداد پنجه در گیاه گندم (*et* Saedi *al.*, 2020) و تعداد شاخه در گیاه باقلا

(Huthily *et al.*, 2021) افزایش یافت. افزایش تعداد برگ در گیاه گندم نیز تحت تأثیر محلول‌پاشی نانوپتاسیم گزارش شده است (Tavan *et al.*, 2014).

وزن گل

این صفت تحت تأثیر برهم‌کنش کاربرد کودهای گوگردی و نانوپتاسیم اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد داشت (جدول۲). حداکثر میزان وزن گل‌ها تحت تأثیر کاربرد تلفیق تیوباسیلوس و گوگرد گرانوله به همراه کاربرد ۱۰ کیلوگرم کود نانوپتاسیم حاصل گردید که با تیمارهای گوگرد گرانوله و ۱۰ کیلوگرم نانوپتاسیم و هم‌چنین تیمار تیوباسیلوس و ۵ کیلوگرم نانوپتاسیم در یک گروه آماری قرار داشتند (جدول۳). گل‌های گلرنگ بر روی طبق‌ها در انتهای ساقه‌ها تشکیل می‌گردند، از آنجایی که تعداد ساقه‌ها بویژه تعداد ساقه‌های ثانویه تحت تأثیر این تیمارها افزایش یافته بودند، بروز چنین نتیجه‌ای منطقی به نظر می‌رسد. طی تحقیقی مشابه (Asgari *et al.*, 2014) تأثیر مقادیر مختلف کود نانوپتاسیم را بر افزایش میزان جذب آب، افزایش قطر ساقه، طول ساقه، وزن تر و خشک و تعداد گل‌ها گزارش نمودند.



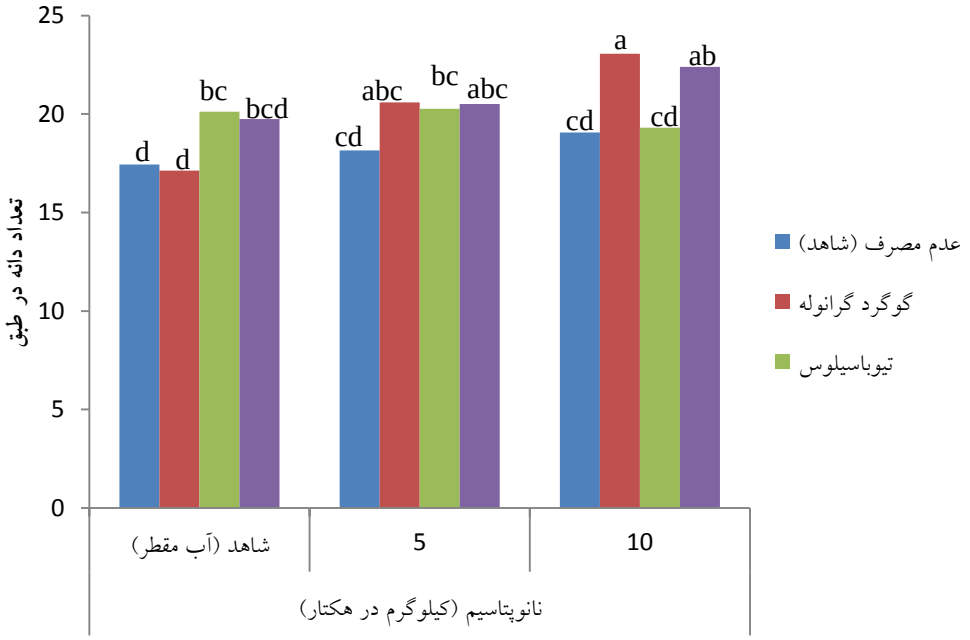
شکل۱- میانگین وزن گل تحت تأثیر برهم‌کنش کاربرد کودهای گوگردی و نانوپتاسیم

اجزای عملکرد دانه

در بین اجزای عملکرد دانه گلرنگ، تعداد دانه در طبق تحت تأثیر کودهای گوگردی، کود نانوپتاسیم و برهم‌کنش آن‌ها اختلاف معنی‌دار داشت (جدول۲). بر اساس نتایج برهم‌کنش در شکل۲ حداکثر تعداد دانه در طبق در تیمار گوگرد گرانوله و کاربرد ۱۰ کیلوگرم نانوپتاسیم حاصل گردید که با تیمار گوگرد گرانوله + تیوباسیلوس اختلاف معنی‌داری نداشت. از آنجایی که هر دانه گلرنگ در روی طبق به یک گل ختم می‌گردد و قبلا وزن گل‌ها تحت تأثیر همین تیمار افزایش یافته بود، لذا افزایش تعداد دانه در طبق مورد انتظار بود.

(Shabani *et al.*, 2015) اثرات مثبت کاربرد گوگرد و کودهای زیستی را بر اجزای عملکرد کتان روغنی مشاهده نمودند به طوری که گوگرد تأثیر بیشتری نسبت به باکتری حل کننده فسفات و

تیوباسیلوس روی اجزای عملکرد گیاه کتان داشت. در این آزمایش کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس تأثیر معنی‌داری بر روی وزن هزار دانه داشت. طی تحقیقی مشابه بیشترین تعداد غده در بوته و محتوای فسفر و پتاسیم غده با مصرف ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد و در شرایط استفاده از تیوباسیلوس به دست آمد. بیشترین وزن خشک غده نیز با مصرف ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار حاصل شد (Golmoradi marani *et al.*, 2017).



شکل۲- میانگین تعداد دانه در طبق تحت تأثیر برهم‌کنش کاربرد کودهای گوگردی و نانوپتاسیم

کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس در گیاهان روغنی به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی در خاک‌های آهکی ایران مورد تاکید قرار گرفته است. کاربرد این دو سبب کاهش اسیدیته خاک و افزایش معنی‌دار جذب عناصر فسفر (۳۶ درصد)، آهن (۶۱ درصد) و روی (۴۱ درصد) و در نهایت افزایش وزن هزار دانه کلزا گردیده است (Asadi Rahmani *et al.*, 2018). پتاسیم به عنوان یکی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان نقش اساسی در رشد و نمو، عملکرد، متابولیسم، فعالیت‌های آنزیمی و تنظیم عملکرد فیزیولوژیکی گیاهان ایفاء می‌نماید. کاربرد نانوپتاسیم سبب افزایش وزن تر و خشک ریشه و ساقه، رنگیزه‌های فتوسنتزی، تعداد سنبلچه و تعداد سنبله در گندم می‌گردد. در این بین محلول‌پاشی نانوپتاسیم در مقایسه با محلول‌پاشی کود شیمیایی پتاسیم، مطلوب‌تر ارزیابی گردیده است (Sheoran *et al.*, 2021). طی تحقیقی دوساله کاربرد کود نانوپتاسیم سبب افزایش معنی‌دار قطر و طول ریشه و مجموع کلروفیل برگ‌ها و هم‌چنین افزایش جذب عناصر غذایی در ساقه و دانه‌ها و در نتیجه افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در گیاه بادام زمینی گردید (Afify *et al.*, 2019). طی آزمایشی دیگر محلول‌پاشی نانوپتاسیم سبب افزایش اجزای عملکرد گیاه باقلا گردید (Huthily *et al.*, 2021). این محققین افزایش عملکرد دانه را به افزایش

تعداد غلاف در گیاه و افزایش تعداد دانه در غلاف نسبت دادند. طی تحقیقی مشابه اثر نانوپتاسیم بر افزایش اجزای عملکرد از جمله تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه در لوبیا چشم بلبلی گزارش گردید. یه طوری که بیشترین مقدار صفات مذکور در ٤ لیتر نانوپتاسیم مشاهده گردد (Baratzadeh *et al.*, 2019). (Sadati Valijai *et al.*, 2021) نیز تأثیر مثبت نانو کودهای پتاسه را بر افزایش صفات طول خوشه، تعداد دانه در خوشه، درصد باروری پنجه و درصد باروری دانه گیاه برنج را مثبت ارزیابی نمودند. گزارش شده است که کاربرد غلظت‌های مختلف کود نانو پتاسیم، تعداد برگ، طول ریشه و محتوای کلروفیل a و b را در گیاه گندم افزایش می‌دهد (Tavan *et al.*, 2014). افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و آنتوسیانین تحت تأثیر کاربرد نانوپتاسیم توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Zangeneh & Rasouli, 2017). کاربرد نانوپتاسیم سبب افزایش همه شاخص‌های رویشی، افزایش محتوی نسبی آب برگ، رنگیزه‌های فتوسنتزی، افزایش تجمع عناصر غذایی در گیاه و در نهایت افزایش عملکرد و اجزای عملکرد می‌گردد (Abd El-All, 2019).

عملکرد دانه

کاربرد گوگرد بر عملکرد دانه در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌دار داشت (جدول٤). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد کودهای گوگرد گرانوله، تیوباسیلوس و تلفیق تیوباسیلوس و گوگرد گرانوله، عملکرد دانه را به ترتیب: ١٦/٥٤، ١٥/٢٩ و ٢٨/٤٩ درصد افزایش داد (جدول٥). با توجه به نتایج صفات رویشی و برخی از اجزای عملکرد دانه، بویژه تعداد دانه در طبق که تحت تأثیر این تیمار افزایش یافته بودند، بروز چنین نتیجه‌ای منطقی و قابل انتظار بود. کاربرد گوگرد از طریق افزایش تعداد شاخه‌های فرعی، افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید، عملکرد دانه کلزا (Azarmehr *et al.*, 2017) و هم‌چنین از طریق افزایش سرعت فتوسنتز و انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی به سمت اندام‌های زایشی، عملکرد کنجد (Raza *et al.*, 2018) را افزایش می‌دهد. طی تحقیقی دیگر (Karimizarchi *et al.*, 2014) افزایش عملکرد ذرت تحت تأثیر کاربرد گوگرد را، افزایش دسترسی به عناصر منگنز و روی اعلام نمود. در عین حال (Klikocka, 2018 & Mark) افزایش عملکرد گندم را تحت این شرایط به بهبود جذب عناصر غذایی فسفر، گوگرد، آهن و روی در گندم مربوط دانستند.

جدول٤- نتایج تجزیه واریانس صفات عملکرد و کیفیت دانه گلرنگ (اعداد میانگین مجذورات می‌باشند)

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیکی	شاخص برداشت	درصد روغن	عملکرد روغن	درصد پروتئین	عملکرد پروتئین
تکرار	۲	۱٤۲۹٥/۳٦ ns	٦٦۱٤٥/۰۳ ns	۱/٤۹ ns	۲/٦ ns	۳۰۱۲/۹٥ ns	۱/٦۸ ns	۱٥٥/۸۹ ns
کودهای گوگردی	۳	٤۱۹۰۲۸/۲۹ **	٤۷۱٤۲٥۱/٤۸ **	٦/۰۲ ns	۱۱/۲۸ ns	۳۷۹۷۳/۱ **	۰/۹۱۸ns	۲۰۸۹۳/٦۷ **
خطای کرت‌های اصلی	٦	٤۲۸۹٤/۳۲	٦۱۱٥٦۷/٦۲	٤/٥٤	۲/۸۷	۱۸٥٥/۰۲	۰/٥۷۷	۱٦۰۱/۹۱
محلول‌پاشی کود نانوپتاسیم	۲	۱۳۸٤۱۳/۸٦**	۲۸۹۲٤۱۷/٥۳ **	۹/۳۲ ns	۲۲/۰۳*	۱۳۳۸/٤٦**	۱/٥٥ *	٤۸٤۳/٥٤ *
گوگرد × نانوپتاسیم	٦	٥٦۷۱٤/۸۲ ns	۲۷۰۳۲۹/٦۸ ns	۱۰/۹۳ ns	٤/٦۲ ns	٤۸٦۷/٥٦ ns	۰/۳٦ ns	۱٥۹۰/۰۹ ns
خطای کرت‌های فرعی	۱٦	۲٤۷٥۱/۸۷	۳٦۹٦۹۷/٦۸	٦/٦۹	٥/۰٤	۲٤۸٥/۰۹	۰/٤	۱۱۲۲/٥۷
ضریب تغییرات (٪)		۷/٤	۹/۱۸	۸/۰۱	۱۰/۷٤	۱۱/۱۹	۳/۲	۷/۹٦

ns، * و **: به ترتیب: غیرمعنی‌دار و معنی‌دار بودن تفاوت‌ها را در سطح ۵٪ و ۱٪ نشان می‌دهند.

جدول۵- مقایسه میانگین صفات عملکرد و کیفیت دانه گلرنگ

تیمار		عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیکی (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	درصد روغن	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار)	درصد پروتئین	عملکرد پروتئین (کیلوگرم در هکتار)
کودهای گوگردی	شاهد	۱۸٤٦/٦۷ c	٥۷٥۷/۲ c	۳۲/٤۳ a	۱۹/۹٥ a	۳٦۹/٦۱ c	۱۹/٦۱ a	۳٦۱/۹٥ c
	گوگردگرانوله	۲۱٥۲/۲۲ b	٦۸۷۷/٦ cb	۳۱/٥۲ a	۲۱/٥۱ a	٤٦۲/۹٦ b	۱۹/۸ a	٤۲٦/۳۷ b
	تیوباسیلوس	۲۱۲۹/۱۱ b	٦۳۸۷/۷ b	۳۳/۳۷ a	۱۹/۹۷ a	٤۲٤/۱ b	۱۹/٥۲ a	٤۱٥/۱٤ b
	تیوباسیلوس + گوگردگرانوله	۲۳۷۲/۸۹ a	۷٤٦۰/۷ a	۳۱/۸ a	۲۲/۱۷ a	٥۲۳/۸۳ a	۲۰/۲٤ a	٤۷۹/٤٤ a
کود نانوپتاسیم (کیلوگرم در هکتار)	شاهد	۲۱۷٥/٤۲ a	٦۷۸۹/۳ a	۳۲/۱٥ a	۱۹/۳۷ b	٤۲۳/۱۸ b	۱۹/۳۸ b	٤۲۱/٥۲ ab
	٥	۲۰۰۱/۹۲ b	٦۰٦۷/۸ b	۳۳/۲۲ a	۲۱/٤۱ a	٤۲۸/٦۳ b	۱۹/۹۸ a	٤۰۰/۲٥ b
	۱۰	۲۱۹۸/۳۳ a	۷۰۰٥/۳ a	۳۱/٤۸ a	۲۱/۹۳ a	٤۸۳/٥٦ a	۲۰/۰۲ a	٤٤۰/٤۱ a

توجه: ستون‌هایی که دارای حروف مشترک هستند اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

در تحقیقی مشابه (Shabani *et al.*, 2015) بیشترین عملکرد دانه کتان روغنی را در تیمار ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد همراه با ۱۰۰ گرم باکتری حل کننده فسفات و ۲ درصد باکتری تیوباسیلوس گزارش نمودند. این محققین دریافتند که گوگرد تأثیر بیشتری نسبت به باکتری حل کننده فسفات و تیوباسیلوس روی عملکرد گیاه کتان داشت.

(Norbakhsh *et al.*, 2014) اعلام نمودند کاربرد گوگرد به همراه تلقیح با باکتری تیوباسیلوس سبب افزایش رشد و بهبود کمیت و کیفیت دانه گلرنگ می‌گردد. (Golmoradi marani *et al.*, 2017) نیز بیشترین عملکرد غده سیب زمینی را تحت تأثیر مصرف ٤٠٠ کیلوگرم گوگرد و در شرایط استفاده از تیوباسیلوس گزارش نمودند. در این آزمایش کاربرد کود نانوپتاسیم نیز، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه گلرنگ در سطح ۱ درصد نشان داد (جدول٤). به طوری که در تیمار ۱۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد دانه ۱/۰۵ درصد افزایش یافت (جدول۵). بنابراین نتیجه‌گیری گردید که در این آزمایش تأثیر نانوپتاسیم بر افزایش عملکرد دانه ناچیز بود. از آنجایی که تأثیر نانوپتاسیم بر افزایش عملکرد عمدتا در شرایط تنش آبی مورد تاکید قرار گرفته است (Saedi *et al.*, 2020)، احتمال می‌رود در صورتی که در این آزمایش نیز تنش خشکی اعمال می‌گردید، میزان افزایش عملکرد دانه مشهودتر می‌گردید. طی تحقیقی مشابه کاربرد نانوپتاسیم سبب افزایش محتوی نسبی آب برگ و در عین حال کاهش میزان پرولین، پراکسیداز و فنل اکسیداز و کاهش میزان تعرق گردید (Abd El-All, 2019). به طور کلی کاربرد نانوکلات پتاسیم موجب کاهش تأثیرات تنش شده و در برخی موارد موجب افزایش سازوکارهای دفاعی گیاه در مقابله با تأثیرات مخرب تنش مانند افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و متابولیت‌های سازگاری گیاه می‌گردد. (Baratzadeh *et al.*, 2019) با بررسی مقادیر مختلف کاربرد نانوپتاسیم، حداکثر عملکرد لوبیا چشم بلبلی را در تیمار٤ لیتر نانوپتاسیم مشاهده نمودند. تأثیر مثبت نانو کودپتاسیم بر عملکرد برنج (Sadati Valojai *et al.*, 2021)، گندم (Sheoran *et al.*, 2021) ، بادام‌زمینی (Afify *et al.*, 2019) و پالم (El-Salhy *et al.*, 2021) گزارش شده است.

عملکرد بیولوژیکی

بیوماس یا وزن خشک کل اندام‌های بالای سطح خاک گیاه، تحت تأثیر کاربرد کودهای گوگردی و نانوپتاسیم اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد داشت (جدول٤). روند تغییرات بیوماس تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی همانند عملکرد دانه بود. از آنجایی که در این آزمایش تعداد ساقه ثانویه، تعداد دانه در طبق و عملکرد دانه تحت تأثیر همین تیمار افزایش معنی‌داری یافته بودند، افزایش عملکرد بیولوژیکی قابل توجیه است. در آزمایشی مشابه کاربرد باکتری تیوباسیلوس و گوگرد باعث افزایش عملکرد خشک اندام هوایی کلزا به میزان ٤٧ درصد شد (Akhavan & Fallah Nosratabad, 2013). تأثیر مثبت کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس بر بیوماس کتان روغنی نیز ثابت شده است (*et al.*, 2015 Shabani). (Mousavi *et al.*, 2019) نیز پی بردند که کاربرد مقادیر مختلف کود گوگردی و باکتری تیوباسیلوس بر افزایش وزن خشک کل، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و سرعت فتوسنتز خالص گیاه مشهود بود. این محققین بیشترین سرعت رشد محصول را تحت شرایط مصرف ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کود گوگردی و ۱۰ کیلوگرم در هکتار تیوباسیلوس مشاهده نمودند. در عین حال در آزمایشی دیگر حداکثر وزن خشک گیاه آفتابگردان در تیمار کاربرد همزمان۳۰ کیلوگرم گوگرد و تیوباسیلوس مشاهده گردید (Pujar *et al.*, 2014).

این محققین دریافتند که جمعیت باکتری‌های تیوباسیلوس پس از برداشت محصول، در این تیمار حداکثر بوده و افزایش دسترسی به گوگرد تحت تأثیر باکتری‌های اکسید کننده گوگردی را عامل افزایش وزن خشک گیاه اعلام نمودند. در این آزمایش محلول‌پاشی نانوپتاسیم بر عملکرد بیولوژیکی گیاه معنی‌دار و حداکثر مقدار در تیمار ۱۰ کیلوگرم در هکتار حاصل گردید (جدول۵). با توجه به نتایج این آزمایش، افزایش تعداد دانه در طبق و در نتیجه افزایش عملکرد دانه را می‌توان عامل این موضوع برشمرد. افزایش طول ریشه، تعداد برگ و وزن اندام هوایی گیاه گندم تحت تأثیر کاربرد غلظت‌های مختلف کود نانو پتاسیم ثابت شده است (Tavan *et al.*, 2014). در گیاه برنج (*et* Sadati Valojai *al.*, 2021) و لوبیا چشم بلبلی (Baratzadeh *et al.*, 2019) نیز افزایش بیوماس تحت تأثیر نانو کودپتاسیم مشاهده گردیده است. (El-Salhy *et al.*, 2021) نیز طی آزمایشی دو ساله با کاربرد دو نوع کود نانوپتاسیم، افزایش بیوماس گیاه پالم را گزارش نمودند. در تحقیقی مشابه افزایش وزن تر و خشک گیاه با افزایش مقادیر محلول‌پاشی نانوپتاسیم از ۲ تا ٦ گرم در لیتر، ثابت شده است (Saedi *et al.*, 2020).

درصد و عملکرد روغن دانه

درصد روغن و پروتئین دانه مهمترین صفات کیفی دانه گلرنگ به شمار می‌روند. در این آزمایش کاربرد کودهای گوگردی اختلاف معنی‌داری بر عملکرد روغن در سطح ۱ درصد نشان داد (جدول٤). به طوری که عملکرد روغن تحت تأثیر کودهای گوگردی ٤١/٧٢-١٤/٧٤ درصد افزایش یافت (جدول۵). افزایش درصد روغن در گیاه کتان روغنی تحت تأثیر کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس اثبات گردیده است (Shabani *et al.*, 2015). (Noorbakhsh *et al.*, 2014) نیز اعلام نمودند که مصرف تلفیقی گوگرد به همراه تلقیح با باکتری تیوباسیلوس سبب افزایش درصد روغن و پروتئین در دانه و افزایش غلظت فسفر و گوگرد در برگ گیاه گلرنگ می‌گردد. افزایش معنی‌دار جذب عناصری از قبیل فسفر، آهن و روی در کلزا تحت تأثیر کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس گزارش گردیده است (Asadi Rahmani *et al.*, 2018). در این آزمایش کاربرد نانوپتاسیم تأثیر معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر روی درصد روغن نشان داد (جدول٤) به طوری که کاربرد ۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار میزان روغن را به ترتیب به میزان ۲/۰٤ و ۲/٥٦ درصد افزایش داد (جدول۵). عملکرد روغن نیز تحت تأثیر محلول‌پاشی نانوپتاسیم در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردید. به طوری که کاربرد ۱۰ کیلوگرم نانوپتاسیم عملکرد روغن را به میزان ١٤/٢٦ درصد افزایش داد. نظر به این که عملکرد روغن ماحصل درصد روغن در عملکرد دانه می‌باشد، بروز چنین نتیجه‌ای منطقی است. از آنجایی که نانوپتاسیم مصرفی حاوی عنصر پتاسیم که از عناصر بسیار مهم در افزایش کیفیت محصول به شمار می‌رود، می‌باشد احتمالا افزایش دسترسی و فراهمی به این عنصر جهت گیاه توانسته است سبب افزایش درصد روغن دانه گردد. افزایش جذب پتاسیم تحت تأثیر کاربرد محلول‌پاشی کود نانوپتاسیم مورد تایید قرار گرفته است (Sheoran *et al.*, 2021; Rajonee *et al.*, 2017). هم‌چنین نانوپتاسیم سبب افزایش جذب عناصر غذایی در

ساقه و دانه‌ها و در نتیجه افزایش عملکرد و درصد روغن در گیاه بادام زمینی گردیده است. کاربرد نانوپتاسیم در غلظت‌های مختلف سبب افزایش جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، و منیزیم در ساقه و هم‌چنین افزایش مقادیر عناصر آهن، منگنز، روی و مس در دانه گردیده است (Afify *et al.*, 2019). (Zangeneh, 2017 & Rasouli) دریافتند که تیمار نانو کلات پتاسیم موجب افزایش غلظت پتاسیم میوه و فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز میوه شده و در نتیجه موجب استحکام غشاء و بافت میوه و در نهایت کیفیت و ماندگاری محصول را افزایش می‌دهد.

درصد و عملکرد پروتئین دانه

در این آزمایش کاربرد کودهای گوگردی اختلاف معنی‌داری بر عملکرد پروتئین در سطح ۱ درصد نشان داد (جدول٤). به طوری که عملکرد پروتئین تحت تأثیر کودهای گوگردی ٣٢/٤٦- ١٤/٦٩ درصد افزایش یافت (جدول٥). گزارش شده است که با افزایش مصرف گوگرد، غلظت گوگرد و پروتئین خام در برگ‌ها و عملکرد پروتئین خام افزایش می‌یابد (Isuwan *et al.*, 2007). طی آزمایشی مشابه بیشترین محتوای فسفر و پتاسیم در غده گیاه سیب زمینی با مصرف ٤٠٠ کیلوگرم گوگرد و در شرایط تلقیح با تیوباسیلوس حاصل گردید. هم‌چنین بیشترین میزان نشاسته و ماده خشک غده نیز با مصرف٤٠٠ کیلوگرم گوگرد در هکتار حاصل شد (Golmoradi marani *et al.*, 2017). در این آزمایش کاربرد نانوپتاسیم درصد پروتئین دانه را در سطح ٥ درصد تحت تأثیر قرار داد (جدول٤) و نتایج مقایسات میانگین نشان داد که کاربرد نانوپتاسیم به میزان ٥ و ١٠ کیلوگرم در هکتار، درصد پروتئین دانه را به میزان ٠/٦ و ٠/٦٤ درصد افزایش داد. در این آزمایش عملکرد پروتئین نیز تحت تأثیر نانوپتاسیم در سطح ١٠ کیلوگرم به میزان ٤/٤٨ درصد افزایش نشان داد (جدول٥). کود نانوپتاسیم ارزش تغذیه‌ای گیاه را از طریق سنتز اسیدهای آمینه ضروری گلیسین، آلانین، ترونین و سرین افزایش می‌دهد (Jin *et al.*, 2020). هم‌چنین کاربرد نانوپتاسیم سبب افزایش تجمع عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم گردیده و از این طریق میزان کربوئیدرات، پروتئین و قندهای محلول را افزایش می‌دهد (Abd El-All, 2019). این عنصر با فعال نمودن آنزیم‌هایی که کاتالیزورهای ساخت نشاسته و پروتئین‌ها هستند، سبب بهبود کیفیت محصول می‌گردد (Marschner, 1995). کاربرد نانوپتاسیم سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های حل کننده فسفات مانند اسید فسفاتاز و آلکالین فسفاتاز که سبب بهبود کارایی مصرف فسفر می‌گردد، شده و در نهایت میزان پروتئین در دانه گندم را افزایش می‌دهد (Sheoran *et al.*, 2021). (Baratzadeh *et al.*, 2019) دریافتند که محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم میزان عنصر پتاسیم را در دانه افزایش داده و بدین صورت میزان پروتئین دانه افزایش یافت. به طوری که کاربرد مقادیر ٢ و ٤ لیتر نانوپتاسیم میزان پروتئین دانه را به ترتیب ٠/٥٧ و ٠/٩٨ درصد افزایش داد. افزایش میزان پروتئین در اندام‌های گیاه گندم تحت تأثیر محلول‌پاشی نانوپتاسیم توسط (Tavan *et al.*, 2014) نیز ثابت شده است.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این تحقیق بیانگر اثرات مثبت کاربرد کودهای گوگردی، بویژه تیمار گوگرد گرانوله + تیوباسیلوس بر افزایش عملکرد دانه به میزان ٢٨/٤٩

درصد بود. با توجه به نتایج اجزای عملکرد، تعداد دانه در طبق به عنوان مهم‌ترین صفت در تعیین عملکرد دانه تحت تأثیر کودهای گوگردی تعیین گردید. اثرات محلول‌پاشی کود نانوپتاسیم نیز عمدتا بر کیفیت دانه گلرنگ از جمله افزایش درصد روغن و پروتئین به میزان ۲/۶۵ و ۰/۶۴ مشهود بود. از آنجایی که عملکرد روغن و پروتئین برآیند عملکرد دانه × درصد روغن و پروتئین می‌باشد، لذا کاربرد کود گوگردی گرانوله + تیوباسیلوس و محلول‌پاشی ۱۰ کیلوگرم نانوپتاسیم به جهت حداکثر تولید روغن و پروتئین در هکتار به عنوان بهترین تیمار شناسایی گردید. هم‌چنین بر اساس مقایسه هزینه نسبتا کم تیمارهای مورد استفاده در مقایسه با افزایش وزن گل، عملکرد دانه و افزایش درصد روغن و پروتئین، کاربرد کود گوگردی گرانوله + تیوباسیلوس و محلول‌پاشی ۱۰ کیلوگرم نانوپتاسیم در مزارع گلرنگ و در مناطق آب و هوایی مشابه توصیه می‌گردد.

REFRENCES

Abd El-All, A. M. 2019. Nano-fertilizer application to increase growth and yield of sweet pepper under potassium levels. *Agriculture Research and Technology*, 19(4): 55-60.

Afify, R. R., S. S. El-Nwehy, A. B. Bakry and M. E. Abd El-Aziz. 2019. Response of peanut (Arachis hypogaea L.) crop grown on newly reclaimed sandy soil to foliar application of potassium nano-fertilizer. *Middle East Journal of Applied Sciences*, 9 (1): 78-85.

Ahmadi, K., H. R. Ebadzadeh, F. Hatami, H. Abdshah and A. Kazemian. 2019. Crop products. Agricultural statistics of the crop year 2017–2018, vol 1. *Ministry of Agricultural Jihad, Deputy Minister of Planning and Economics, Information and Communication Technology Center*, 89 pp. (In Farsi).

Akhavan, Z and A. R. Fallah Nosratabad. 2013. The effect of sulfur and thiobacillus inoculant on soil ph., dry matter weight and phosphorus absorption by canola. *Electronic Journal of Soil Management and Sustainable Production,* 3 (1): 1-13. (In Farsi).

Asadi Rahmani, H., K. Khavazi, V. A. Jahandideh Mahjen Abadi, M. R. Ramezanpour, M. H. Mirzapour and K. Mirzashahi. 2018. Effect of thiobacillus, sulfur, and phosphorus on the yield and nutrient uptake of canola and the chemical properties of calcareous soils in Iran. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, DOI:10.1080/00103624.2018.1474905

Asgari, S., H. Moradi and H. Afshari, 2014. Evaluation of some physiological and morphological characteristics of *Narcissus tazatta* under BA treatment and nano-potassium fertilizer. *Journal of Chemical Health Risks*, 4(4): 63-70.

Azarmehr, A., M. Baghi and M. Ziaeinasab. 2017. Effect of Seaweed extract (Basfoliar Kelp sl) and Sulphate (K-leaf) on yield and some yield components of winter rapeseed (*Brassica Napus* L.) var. Natalie. *Agronomic Research in Semi Desert Regions*, 14 (3): 155-165. (In Farsi).

Baratzadeh, S., T. Saki Nejad and T. Babaei Nejad. 2019. Effect of potassium Nano-chelate and ascorbic acid on grain yield and some qualitative characteristics of cowpea

(*Vigna unguiculata* L., Kamran cultivar). *Quarterly Journal of Plant Production*, 9 (2): 149-159. (In Farsi).

El-Salhy, A. M., M. M. Al-Wasfy, E. F. M. Badawy, F. M. Gouda1 and A. A. Shamroukh. 2021. Effect of nano-potassium fertilization on fruiting of Zaghloul date palm. *International Journal of Agricultural Science*, 3 (1): 1-9.

Ghasem Beiki, S., P. Majidian, V. Rameeh, M. Gerami and B. Masoudi. 2021. Effect of sulfur application inoculated with thiobacillus bacteria on some physiological characteristics of promising line of l17 canola (*Brassica napus* L.) under Rain fed conditions of Mazandaran. *Crop Physiology Journal*, 12 (48): 115-131. (In Farsi).

Golmoradi marani, F., M. Barmaki, M. Sedghi and M. J. Firoozi. 2017. Effect of sulfur fertilizer and thiobacillus on qualitative traits and nutrients concentration of potato. *Crop Ecophysiology Journal*, 9 (29): 113-124. (In Farsi).

Isuwan, A., J. Saelim and S. Poathong. 2007. Effects of levels of sulfur fertilizer on growth of *Digitaria eriantha* grass. *Silpakorn University Science and Technology Journal*, 1 (2): 13-19.

Jin, Z. J., Y. Liu, W. H. Xu, C. Yang, S. L. Chen and Y. H. Li. 2020. Effects of nano-potassium fertilizer on amino acid components and gln family gene expression in Chinese cabbage. *Applied Ecology and Environmental Research*,18(4):5325-5342.

Karimizarchi, M., H. Aminuddin, M. Y. Khanif and O. Radziah. 2014. Elemental sulfur application effects on nutrient availability and sweet maize (*Zea mays* L.) response in a high pH soil of Malaysia. *Malaysian Journal of Soil Science*, 18: 75-86.

Klikocka, H and M. Marks. 2018. Sulfur and nitrogen fertilization as a potential means of agronomic biofortification to improve the content and uptake of microelements in spring wheat grain DM. *Journal of Chemistry*, 2018: 1-12.

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Institute of Plant Nutrition University of Hohenheim Germany. *Academic Press. Elsevier Ltd*. pp. 889.

Mejias, J. H., F. Salazar, L. Pérez Amaro, S. Hube, M. Rodriguez and M. Alfaro. 2021. Nanofertilizers: A cutting-edge approach to increase nitrogen use efficiency in grasslands. *Frontiers in Environmental Science*, 9:635114.

Mousavi, F., S. K. Marashi and T. Babaei Nejad. 2019. Effect of application of sulfur and thiobacillus on improvement of morpho-physiological characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.) in Khuzestan lands. *Quarterly Journal of Plant Production*, 9 (2): 97-105. (In Farsi).

Nasri, M and M. khalatbari. 2016. The effect of Thiobacillus bacteria and sulfur on yield and bio chemical characteristics of grain corn (Maxima Hybrid) under water deficit conditions in Varamin region. *Crop Physiology Journal*, 8 (29): 89-103. (In Farsi).

Noorbakhsh, F., M. A. Behdani, M. Jami Alahmadi and S. Mahmodi. 2014. Evaluation of integrated impact of sulfur and Thiobacillus on qualitative and morphological characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) *Journal of Agroecology*, 6 (1): 51-59. (In Farsi).

Piri, I., M. Moussavi Nik, A. Tavassoli, and F. Rastegaripour. 2019. Effect of irrigation intervals and sulfur fertilizer on growth analyses and yield of Brassica juncea. *Advanced Journal of Microbiology Research*, 13(5): 1-7.

Rajonee, A. A., S. Zaman, and S. M. I. Huq. 2017. Preparation, characterization and evaluation of efficacy of phosphorus and potassium incorporated Nano fertilizer. *Advances in Nanoparticles Journal,* 6: 62-74.

Raza, M. A., L. Y. Feng, N. Iqbal, A. Manaf, M. H. Bin Khalid, S.U. Rehman, A. Wasaya, M. Ansar, M. Billah, F. Yang, and W. Yang. 2018. Effect of sulfur application on photosynthesis and biomass accumulation of sesame varieties under rainfed conditions. *Agronomy Journal,* 8 (149): 1-16.

Sadati Valojai, S. T., Y. Niknejad, H. Fallah and D. Barari Tari. 2021. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium nano-fertilizers on growth and seed of two rice (*Oryza sativa* L.) Cultivars. *Journal of Crop Ecophysiology*, 15 (1): 37-56. (In Farsi).

Saedi, F., A. R. Sirousmehr and T. Javadi. 2020. Effect of nano-potassium fertilizer on some morpho-physiological characters of peppermint (*Mentha piperita* L.) under drought stress. *Journal of Plant Research, The Iranian Journal of Biology,* 33 (1): 1-17. (In Farsi).

Shabani, G., S. Khoshkho, M. Khorami, M. Jafarzadeh and A. Akbarabadi. 2015. Effect of sulfur and biofertilizers application on yield and yield components of linseed (*Linum ustatissimum* L.). *Applied Field Crops Research,* 28 (4): 35-42. (In Farsi).

Sheoran, P., S. Goel, R. Boora, S. Kumari, S. Yashveer, and S. Grewal. 2021. Biogenic synthesis of potassium nanoparticles and their evaluation as a growth promoter in wheat. *Plant Gene*, https://doi.org/10.1016/j.plgene.2021.100310

Tavan, T., M. Niakan and A. A. Norinia. 2014. Effect of nano-potassium fertilizer on growth factors, photosynthetic system and protein content in wheat (*Triticum aestivum* L. cv. N8019). *Journal of Plant Environmental Physiology*, 9 (5): 61-71. (In Farsi).

Varenyiova, M., L. Ducsay, and P. Ryant. 2017. Sulfur nutrition and its effect on yield and oil content of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Acta Universities Agriculture et Silviculturae Mendelianae Brunensis,* 65 (2): 555-562.

Zangeneh, N and M. Rasouli. 2017. Effect of potassium fertilizers and humic acid on the pigments and activity of antioxidants in grape 'Bidaneh Sefid'. *Iranian Journal of Horticultural Sciences (Iranian Journal of Agricultural Sciences),* 48 (3): 701-714. (In Farsi).

Zhou, X., L. Tang, Y. Xu, G. Zhou and Z. Wang. 2014. Towards a better understanding of medicinal uses of *Carthamus tinctorius* L. in traditional Chinese medicine: A phytochemical and pharmacological review. *Journal of Ethno Pharmacology*, 151 (1): 27-43.

Sustainable Agricultural Science Research /Vol. 2/No. 2/Summer 2022/P: 27-43

https://www.sarj.iauk.ac.ir

Influence of Sulfur Fertilizers and Nano-potassium Foliar Application on Morphologic, Agronomic Characters and Quality of Safflower Seeds

Omid Moradi[1], Babak Pasari[2*]

[1] MSc. Student of Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, Sanandaj Branch, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran.

[2] Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Sanandaj Branch, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran.

Corresponding Author's Email: bpasary@yahoo.com

(Received: August. 3, 2022– Accepted: September. 22, 2022)

ABSTRACT

Application of nutrients needed for the growth and development of plants through the use of biological and Nano-fertilizers, while increasing yield, prevents the effects of excessive use of chemical fertilizers on the environment. This experiment was carried out as split plots in randomized complete blocks design in three replications during the cropping year 2020-2021 in Khamesan village of Kamyaran located in Sanandaj. In this experiment, the effect of four levels' application of sulfur fertilizers including control, granular sulfur fertilizer, thiobacillus bio fertilizer, granular sulfur fertilizer + thiobacillus in main plots and the three amount of foliar application of Nano-potassium fertilizer, 0, 5 and 10 kg/ha in the sub-factor were compared on morphological, seed yield and quality characters. The results showed that there were significant differences in the number of secondary stems at 5% and number of seeds per head, 1000-seed weight, grain yield, biological yield, oil and protein yield at 1% under the influence of sulfur fertilizers. The maximum grain yields, oil and protein yield was achieved in the treatment of granular sulfur fertilizer + thiobacillus, which showed an increase of 28.49, 41.72 and 32.46% as arrangement in comparison with the control. Also, grain numbers per head, grain yield, biological yield, and oil yield at 1% and oil and protein percentages and protein yield at 5% showed significant differences under the influence of different amounts of foliar Nano-potassium fertilizer. So, that the foliar application of 10 kg/ha of Nano potassium caused the maximum amount of the mentioned traits and increased grain yield, oil and protein percentages and oil and protein yield compared to the control: 1.05, 2.56, 0.64, 14.26 and 4.48%, respectively.

Keywords: Yield, Safflower, Sulfur, Nano-fertilizer