

## Effects of Elemental Sulfur Application with *Halothiobacillus neapolitanus* on Morphophysiological Traits and Yield of Mung Bean (*Vigna radiata* L.)

Alireza Gilani<sup>1\*</sup>, Hamid Abbasdokht<sup>2</sup>, Ahmad Gholami<sup>2</sup>

Received: 09 November 2020 Accepted: 15 February 2021

1-PhD. of Agronomy, Crop Ecology, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Iran.

2-Assoc. Prof., Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Iran.

\*Corresponding Author Email: aligilibili@gmail.com

### Abstract

**Background & Objective:** The study was performed to investigate the nutritional effects of elemental sulfur with *Thiobacillus* on morphophysiological and agronomic responses of mung bean.

**Materials and Methods:** The experiment was conducted in the form of a randomized complete block design with three replications in two experimental farms in Karaj city (Alborz province) and Shahriyar city (Tehran province) in the 2017 crop year. This experiment consisted of three treatments of sulfur fertilizer (control (S0), sulfur at 100 kg.ha<sup>-1</sup> with 2 kg of *thiobacillus* (S1), and sulfur at 300 kg.ha<sup>-1</sup> with 6 kg of *thiobacillus* (S2)).

**Results:** The results showed that all studied traits were significantly affected by sulfur fertilizer so that the highest amount of all tested traits was obtained in (S2) treatment in mung bean. The results also showed that all the studied traits except the number of seeds per pod, 1000-seed weight, protein percentage were significantly affected by the main effect of location so that the highest amount of all traits the test was obtained in the Shahriar area. The interaction of sulfur fertilizer and location also had a significant effect on the number of pods per plant, number of seeds per pod, grain yield, biological yield, harvest index, plant height, and total chlorophyll.

**Conclusion:** Therefore, it can be concluded that the nutritional effect of the combined application of sulfur and *thiobacillus* has improved the morphophysiological and agronomic characteristics of mung bean.

**Keywords:** Mung Bean, Sulfur, *Halothiobacillus*, Yield, Yield Component, Chlorophyll, Protein Content

## اثرات کاربرد گوگرد عنصری همراه با تیوباسیلوس (*Halothiobacillus neapolitanus*) بر صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد ماش (*Vigna radiata* L.)

علیرضا گیلانی<sup>۱\*</sup>، حمید عباسدخت<sup>۲</sup>، احمد غلامی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۹/۸/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۱/۲۷

۱- دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود

\* مسئول مکاتبه: Email: aligilibili@gmail.com

### چکیده

**اهداف:** مطالعه به منظور بررسی اثرات تغذیه‌ای گوگرد عنصری همراه با باکتری *Halothiobacillus* بر پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیک و زراعی گیاه ماش انجام گردید.

**مواد و روش‌ها:** آزمایش در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دو مزرعه آزمایشی در شهرستان کرج (استان البرز) و شهرستان شهریار (استان تهران) در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. این آزمایش شامل سه تیمار کود گوگردی (به‌عنوان شاهد  $S_0$ ، گوگرد به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار همراه با دو کیلوگرم *Halothiobacillus* ( $S_1$ ) و گوگرد به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار همراه با شش کیلوگرم *Halothiobacillus* ( $S_2$ ))، در نظر گرفته شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که همه‌ی صفات مورد بررسی به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر کود گوگرد قرار گرفتند به طوری که بیشترین میزان همه‌ی صفات مورد آزمایش در تیمار  $S_2$  در ماش بدست آمد. هم‌چنین نتایج نشان داد که همه‌ی صفات مورد بررسی به جز تعداد دانه در نیام، وزن هزار دانه و درصد پروتئین به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر اثر اصلی مکان قرار گرفتند به طوری که بیشترین میزان همه‌ی صفات مورد آزمایش در منطقه شهریار بدست آمد. برهمکنش اثر کود گوگرد و مکان نیز بر صفات تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، ارتفاع بوته و کلروفیل کل به‌طور معنی‌داری تاثیرگذار بود.

**نتیجه‌گیری:** بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد اثر تغذیه‌ای کاربرد تلفیقی گوگرد و *Halothiobacillus* موجب بهبود ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و زراعی گیاه ماش شده است.

**واژه‌های کلیدی:** ماش، گوگرد، تیوباسیلوس، عملکرد، اجزای عملکرد، کلروفیل، پروتئین

### مقدمه

حبوبات، روز کوتاه، گرم‌پسند، دارای دوره‌ی رشدی کوتاه و تابستانه است. مانند اکثر خانواده حبوبات قابلیت تثبیت نیتروژن بالایی دارد (۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) هم‌چنین، به عنوان یک از منابع غنی گیاهی

بقولات نقش مهمی در جیره غذایی انسان، تغذیه دام و افزایش حاصلخیزی خاک دارند (لنگهام و همکاران ۲۰۰۷). ماش گیاهی یک ساله، از خانواده

این حیث، در برخی از گیاهان در رتبه چهارم پس از عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم قرار دارد. گوگرد به- دلیل ظرفیت اکسیداسیون و تولید اسید سولفوریک، پتانسیل لازم برای انحلال ترکیبات غذایی نامحلول و آزاد شدن عناصر ضروری در خاکهای آهکی را دارا می‌باشد (کایا و همکاران ۲۰۰۹). عدم استفاده از کودهای دارای گوگرد در سال‌های اخیر، کشت پی در پی و متراکم در اراضی کشاورزی، سدیمی و شور سدیمی بودن اکثر زمین‌های کشاورزی و در دسترس بودن و قیمت پایین گوگرد از دلایل اصلی روی آوردن به مصرف گوگرد در ایران می‌باشد. گوگرد یک بخش تشکیل دهنده در ساختمان اسیدهای آمینه لیستین، سیستئین، متیونین و برخی از پروتئین‌ها است که نقشی کلیدی در ساخت بعضی از ویتامین‌ها و کوفاکتورها دارند. بنابراین در صورت کمبود این عنصر رشد و نمو گیاهان دچار اختلال شده که این موضوع، سبب کاهش کمی و کیفی محصولات می‌شود (موتیور و همکاران ۲۰۱۱).

چرخه گوگرد در طبیعت دارای چهار بخش می- باشد که این چهار بخش عبارت از معدنی، آلی، احیا و اکسید شدن می‌باشند. اکسید شدن با اهمیت‌ترین بخش از چرخه گوگرد است. طیف بزرگی از ریزجانداران توانایی اکسیداسیون گوگرد در خاک را دارا می‌باشند که باکتری *Halothiobacillus*، در این بین مهم‌ترین آن- ها می‌باشد. این باکتری قادر است گوگرد عنصری را به صورت یون سولفات قابل جذب برای گیاهان تبدیل کند (راوی چاندار و همکاران ۲۰۰۷). برای اکسیداسیون گوگرد توسط این باکتری نیاز به وجود جمعیت قابل توجهی از *Halothiobacillus* می‌باشد؛ که معمولا این موجودات در خاک‌هایی با مواد آلی کم و رطوبت پایین به شدت کم جمعیت هستند به طوری که تاثیر معنی‌دار و قابل توجهی ندارند (بشارتی و همکاران ۲۰۱۷).

سعیدی نژاد و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که استفاده از کود گوگرد موجب افزایش معنی‌دار صفات

پروتئین (حدود ۲۵ درصد پروتئین) می‌باشد. این گیاه بومی هندوستان است، اما مرکز آسیا هم به عنوان منشأ در برخی منابع ذکر شده است (مجنون حسینی ۲۰۰۴).

فلات ایران به دلایل مختلفی مانند بارندگی کم، تبخیر و تعرق بالا و وجود مواد مادری با مقادیر بالای کربنات کلسیم، دارای خاک‌های آهکی و با pH نسبتا بالا است (سوری و همکاران ۲۰۱۹). در این نوع خاک‌ها به علت بالا بودن pH، فسفر و عناصر کم مصرف خاک تثبیت شده و قابلیت جذب این عناصر کاهش یافته و از دسترس گیاه خارج می‌شوند (سوری و همکاران b ۲۰۱۸). بنابراین همواره راهکارهایی برای رفع این مشکلات بسته به منطقه، فصل کشت و نوع گیاه مورد نیاز است (سوری و همکاران a ۲۰۱۸).

بالا رفتن قیمت نهاده‌های شیمیایی، تخریب‌های زیست محیطی، ضرورت صرفه اقتصادی تولید و افزایش آلودگی منابع آب و از بین رفتن خاک‌های کشاورزی در اثر مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی معضلی است که باید به سرعت برطرف گردد. از جهتی دیگر، بهبود شرایط تولیدات کشاورزی نیازمند انتخاب آگاهانه جهت رفع نیازهای گیاهان است. نیازهای غذایی گیاه دارای جنبه‌های گوناگونی است که مهم‌ترین آن‌ها شناخت دقیق نیازها و مورد دیگر چگونگی مدیریت این نیازها می‌باشد؛ تعیین نوع نیاز، مقدار نیاز، زمان نیاز و نحوه مصرف می‌باشد (طباطبایی ۲۰۱۴).

استفاده از موادی با pH اسیدی مانند اسید سولفوریک و گوگرد که توانایی کاهش pH خاک در محدوده ریشه گیاهان را داشته باشند و دسترسی و جذب عناصری نظیر فسفر و عناصر کم مصرف را افزایش می‌دهند، یکی از روش‌های موثر و کاربردی پیشنهاد شده توسط محققین برای کاهش اسیدیته خاک و دسترسی و جذب بهتر عناصری مانند فسفر و ریز مغذی‌ها است (بشارتی ۲۰۱۶). گوگرد عنصری ضروری و پر مصرف برای گیاهان زراعی است و از

درباره نیازهای تغذیه‌ای و پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیک و زراعی ماش به اثرات تلفیقی گوگرد و *Halothiobacillus* و بهبود شرایط اسیدیته خاک در دسترس می‌باشد (خواجه‌پور ۲۰۱۰). هدف از اجرای این مطالعه بررسی اثرات تلفیقی گوگرد عنصری همراه با باکتری *Halothiobacillus* بر پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیک و زراعی ماش (*Vigna radiata* L.) بود.

#### مواد و روش‌ها

این آزمایش شامل سه تیمار کود گوگردی (شاهد بدون کاربرد گوگرد (S<sub>0</sub>))، گوگرد به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار همراه با دو کیلوگرم *Halothiobacillus* (S<sub>1</sub>) و گوگرد به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار همراه با شش کیلوگرم *Halothiobacillus* (S<sub>2</sub>))، در سه تکرار و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در استان تهران شهرستان شهریار با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۷۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۰۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۰۲۴ متر از دریا و استان البرز در شهرستان کرج با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۹۴ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۲۰ متر از دریا در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ اجرا گردید. باکتری *HaloThiobacillus neapolitanus* به صورت پودری از موسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شد. در این آزمایش به ازای هر ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد به میزان دو کیلوگرم *Halothiobacillus* استفاده شد (بشارتی و همکاران ۲۰۱۷).

برای ارزیابی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از عملیات آماده‌سازی زمین، نمونه‌برداری از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک هر دو مزرعه انجام گردید (جدول ۱). کود گوگرد به شکل پودری (گوگرد تجاری پودری پالایشگاهی دارای ۹۹ درصد گوگرد عنصری از شرکت تعاونی روستایی کرج) به همراه مایه تلقیح باکتری پودری *Halothiobacillus* مطابق مقادیر تعیین

کمی و کیفی کنجد گردید. دلیل این موضوع علاوه بر اثرات مثبت تغذیه‌ای کود گوگردی، کاهش اسیدیته خاک و افزایش معنی‌دار جذب فسفر بیان گردید. زینالی و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی روی گیاه کرچک نشان دادند که کود گوگرد سبب افزایش صفات عملکرد دانه، شاخص برداشت، درصد و عملکرد روغن بذر شد. هم‌چنین در پژوهشی احمدی و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی تاثیر ورمی‌کمپوست، گل گوگرد و *Halothiobacillus* روی عملکرد ذرت دانه‌ای، بیان کردند که اثر متقابل کاربرد گل گوگرد و *Halothiobacillus* به طور معنی‌داری عملکرد دانه ذرت را افزایش داد. بشارتی و همکاران (۲۰۱۶) نیز با بررسی اثر *Halothiobacillus* گوگرد و فسفر بر شاخص‌های رشد ذرت، گزارش کردند که کاربرد گوگرد و *Halothiobacillus* و فسفر و مصرف توام آن‌ها به طور معنی‌داری عملکرد دانه، عملکرد زیستی و وزن تر ذرت را افزایش داد. اردم و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که استفاده از کود گوگرد با توجه به مقدار سولفات‌های که در خاک وجود دارد و دیگر خصوصیات خاک سبب بهبود شرایط رشد و افزایش عملکرد گیاه گندم شده است این موضوع به ویژه در خاک‌هایی که سولفات در دسترس کمتری داشتند چشمگیر بود (اردم و همکاران ۲۰۱۶). فلاحت‌گر و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی روی دو رقم سویا نشان دادند که استفاده تلفیقی گوگرد و باکتری *Halothiobacillus* موجب افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل و عملکرد گردید (فلاحت‌گر و همکاران ۲۰۱۳).

با توجه به این‌که دلیل اصلی استفاده از گوگرد در زمین‌های زراعی ایران، کاهش اسیدیته و کم کردن مشکلات تغذیه‌ای در گیاهان می‌باشد در این راستا زمینه‌سازی برای مصرف گوگرد، در ابتدا نیازمند وجود دلایل علمی کافی است که نتایج مثبت پیش‌بینی شده از استفاده کود گوگرد را در آزمایش‌های مزرعه‌ای تایید کند (بشارتی ۲۰۱۶). ضمن این‌که اطلاعات کمی

و به آن ۱۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ و پنج گرم کاتالیزور اضافه شد و درون اجاق هضم (تکتاتور) با دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سه ساعت پس از هضم به صورت مایعی کاملاً شفاف درآمد. پس از خنک شدن ۷۵ میلی‌لیتر آب مقطر به محلول اضافه گردید و مقدار نیتروژن آن توسط دستگاه کج‌دال (Tecator Kjeltac Auto 1030 Analyzer) ساخت کشور سوئد اندازه‌گیری شد. مقدار نیتروژن به‌دست آمده در فرمول زیر قرار داده شد و درصد پروتئین هر نمونه محاسبه گردید.

$$100 = (N \times 6.25/W) \times 100 \text{ درصد پروتئین}$$

N در این فرمول نشان‌دهنده مقدار نیتروژن خوانده شده توسط دستگاه، W وزن نمونه استفاده شده (یک گرم) و ۶/۲۵ ضریب تبدیل نیتروژن به پروتئین در گیاه ماش می‌باشد (ماریوتی و همکاران ۲۰۰۸).

برای تعیین محتوی کلروفیل در مرحله شروع پر شدن دانه از برگ‌های توسعه یافته انتهایی گیاه (بر مبنای مقیاس BBCH71 از مرحله هفتم یا ظاهر شدن میوه) نمونه‌برداری انجام شد. ۰/۲ گرم از برگ تر گیاه با پنج میلی‌لیتر استون ۸۰٪ به خوبی ساییده شد. محلول موجود درون هاون با عبور از صافی مخصوص مجدداً با ۱۰ میلی‌لیتر دیگر استون مخلوط گردید و به حجم ۱۵ میلی‌لیتر رسید. سه میلی‌لیتر از محلول در کووت ریخته شد و جذب آن در طول موج-های ۶۶۳ و ۶۴۶ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر (Alpha 1900S Double Beam; South Korea) در مقابل بلانک استون خوانده شد (لیختن‌تالر ۱۹۸۷). پس از آن با استفاده از روابط زیر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی محاسبه شدند.

شده برای هر تیمار به صورت نواری یک ماه پیش از کاشت در عمق ۱۰ سانتی‌متری به کرت‌های مورد نظر اضافه و به‌طور کامل با خاک مخلوط شد (بشارتی و همکاران ۲۰۱۶). ابعاد کرت‌ها ۸×۲ متر، فاصله بین هر کرت نیم متر و فاصله بین تکرارها نیز دو متر در نظر گرفته شد. عملیات کاشت در هر دو مزرعه در تاریخ ۱۳۹۶/۰۴/۰۱ به‌صورت دستی انجام شد. فاصله بین بوته‌ها روی خطوط کشت ۵ سانتی‌متر و فاصله بین خطوط کشت (پشته‌ها) ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. آبیاری هر هفت روز یکبار در هر دو منطقه کشت انجام شد. وجین علف‌های هرز به صورت دستی انجام گرفت. برداشت بوته‌ها در تاریخ ۱۳۹۶/۰۶/۲۰ در هر دو منطقه کشت انجام گرفت. برای کاهش اثر حاشیه‌ای، خطوط کناری و دو متر ابتدا و انتهای خطوط میانی کشت حذف، و پس از آن نمونه‌برداری انجام گردید و از هر تیمار سه تکرار و از هر تکرار پنج نمونه برداشت شد. سپس تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت، ارتفاع بوته و درصد پروتئین اندازه‌گیری شد. شایان ذکر است که برای اندازه‌گیری عملکرد دانه و عملکرد زیستی با احتساب حذف حاشیه از ابتدا و انتهای کرت، از مساحت یک مترمربع استفاده شد. برای اندازه‌گیری عملکرد زیستی و عملکرد دانه نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا خشک شوند، سپس به وسیله ترازوی دقیق وزن شدند و عملکرد زیستی و عملکرد دانه در هر کرت به‌دست آمد و پس از آن به هکتار تعمیم داده شد (بشارتی و همکاران ۲۰۱۶). جهت تعیین درصد پروتئین دانه به روش کج‌دال، مقدار یک گرم نمونه بذر خشک و آرد شده به‌وسیله ترازوی دقیق وزن شد (بورش و همکاران ۱۹۸۲). سپس داخل شیشه میکروهضم ریخته

$$\begin{aligned} \text{Chlorophyll a} &= (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{646}) \text{ V}/100\text{W} \\ \text{Chlorophyll b} &= (19.3 \times A_{646} - 3.6 \times A_{663}) \text{ V}/100\text{W} \\ \text{Total chlorophyll} &= \text{Chlorophyll a} + \text{Chlorophyll b} \end{aligned}$$

A در این روابط طول موج جذب دستگاه می‌باشد. تجزیه واریانس مرکب و مقایسات میانگین داده‌ها (در سطح احتمال پنج درصد و بر اساس آزمون LSD)

با استفاده از نرم افزار SAS (Ver. 9.4) انجام شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم افزار Excel استفاده شد.

جدول ۱- برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه‌های آزمایشی (عمق ۳۰-۳۰ سانتی‌متری)

مکان	درصد ماده آلی	نیتروژن (%)	کربنات کلسیم (%) (CaCO <sub>3</sub> )	پتاسیم (mg.Kg <sup>-1</sup> )	فسفر (mg.Kg <sup>-1</sup> )	گوگرد (mg.Kg <sup>-1</sup> )	EC (dS.m <sup>-1</sup> )	pH	بافت
کرج	۰/۰۷	۰/۰۵	۳۳	۲۳۵	۸/۵۶	۱۳	۲/۱۸	۷/۹۷	رسی - سیلت
شهریار	۰/۵۸	۰/۰۷	۱۹	۱۸۹	۱۰/۳۵	۸/۶۱	۲/۵۴	۸/۱۶	شنی - لومی

جدول ۲- شرایط اقلیمی مناطق آزمایش در طول دوره رشد

مکان	ماه‌های دوره زراعی	میانگین کمترین دما (°C)	میانگین بیشترین دما (°C)	کمترین دمای مطلق (°C)	بیشترین دمای مطلق (°C)	میانگین دمای خاک (°C)	تبخیر (mm)	بارش (mm)
کرج	تیر	۲۰/۳	۳۵/۷	۱۴/۹	۳۹/۱	۱۶/۱	۳۵۰	۰/۴۱
	مرداد	۲۱/۳	۳۸/۴	۱۸/۲	۴۰/۳	۱۷/۶	۳۶۰/۳	۰
	شهریور	۱۹/۱	۳۵/۶	۲۱	۲۸/۹	۱۵/۵	۲۹۸/۹	۰
شهریار	تیر	۲۰/۲۴	۳۶/۵	۱۵/۵	۳۹/۹	۱۸/۷	۳۹۰/۱	۳۲
	مرداد	۲۲/۹	۳۸/۴	۲۱	۴۱/۴	۱۹/۱	۳۶۹/۲	۰
	شهریور	۲۱/۲	۳۵/۶	۱۵/۴	۳۸/۲	۱۵	۲۷۰/۳	۰

## نتایج و بحث

### تعداد نیام در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات کود گوگرد و مکان و اثر متقابل این دو در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). مقایسات میانگین اثر متقابل گوگرد و مکان نشان داد بیشترین تعداد نیام در بوته در شهریار و مصرف گوگرد به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار (S<sub>2</sub>) و کمترین مقدار هم در منطقه شهریار و از تیمار شاهد (S<sub>0</sub>) به دست آمد، که اختلاف بین این دو ترکیب تیماری ۵۱ درصد است (شکل ۱).

به نظر می‌رسد به دلیل پایین‌تر بودن میزان آهک موجود و سولفات قابل جذب در منطقه شهریار نسبت به کرج، گیاه ماش بیشتر تحت تاثیر مصرف کود گوگرد

واقع شده است. تاثیر مثبت استفاده از کود گوگرد به همراه باکتری *Halothiobacillus* به علت اثر مستقیم تغذیه‌ای گوگرد در گیاه، کاهش اسیدیته خاک و در دسترس قرار گرفتن عناصری که معمولاً در خاک‌های آهکی به علت تثبیت شدن قابلیت جذب پایین‌تری دارند می‌باشد (قادری و همکاران ۲۰۱۷). هر عاملی مانند رطوبت بیشتر و مواد غذایی مناسب که موقعیت رشد بیشتری در اختیار گیاه قرار می‌دهد، سبب به وجود آمدن مکان‌های بالقوه‌ی نیام بیشتر روی گیاه از طریق افزایش رشد طولی و تعداد انشعابات فرعی می‌شود. ضمن این‌که مصرف گوگرد به تنهایی موجب کاهش اسیدیته خاک در محدوده کوچکی در اطراف خود خواهد شد اما ترکیب این ماده با *Halothiobacillus*

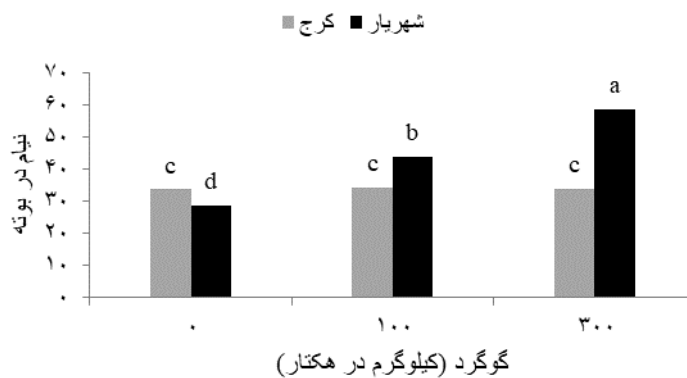
ارتباط با کاربرد گوگرد بر گیاه اسفرزه، نشان داد که تعداد سنبله به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر مصرف همزمان کود گوگرد و *Halothiobacillus* قرار گرفت. چایی و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که در گیاه بادام زمینی تعداد نیام در گیاه، وزن صد دانه و ارتفاع بوته به‌طور معنی‌داری با مصرف گوگرد افزایش یافت.

موجب افزایش بیواکسیداسیون گوگرد و دسترسی و جذب بالاتری از عناصر غذایی کم مصرف شده است (رحیمیان ۲۰۱۱). سوری عبدالله‌زاده و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی روی گیاه پنبه نشان دادند مصرف همزمان گوگرد و *Halothiobacillus* موجب افزایش تعداد غوزه در گیاه شد. موسوی نیک (۲۰۱۲) نیز در پژوهشی در

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس برخی صفات مورفولوژیک و زراعی ماش تحت تاثیر سطوح مختلف گوگرد و مکان

منابع تغییر	درجه آزادی	نیام در بوته	دانه در نیام	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد زیستی	شاخص برداشت	ارتفاع بوته
مکان	۱	۴۳۰/۲۲**	۰/۱۳	۵/۶۷	۲۷۲۲۲/۲۲**	۴۴۰۰۵/۵۶**	۸/۲۹**	۱۵/۳۱*
خطای a	۴	۱۷/۲۲	۰/۵۴	۱۱/۴۴	۱۱۸۲/۲۲	۴۶۰/۸۹	۱/۰۱	۶/۵۱
گوگرد	۲	۳۴۵/۳۹**	۵/۰۸**	۵۳۶/۳۱**	۸۲۸۱۷/۸۲**	۱۱۳۳۴۷/۳۹**	۲۶/۸۲**	۲۱۱/۲۸**
گوگرد×مکان	۲	۳۳۰/۰۶**	۱۲/۰۱**	۰/۱۲	۶۳۲۸/۳۹**	۸۵۳۸۳۹/۵۲**	۲/۵۵**	۴/۴۱*
خطای b	۸	۲/۷۲	۰/۵۷	۲/۴۱	۱۸۵/۱۴	۹۶۲/۲۲	۰/۱۷	۰/۸۴
ضریب تغییرات (%)		۴/۲۴	۷	۲/۹۲	۳/۲۱	۶/۷۸	۱/۳۸	۴/۹۱

\* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.



شکل ۱- اثر برهمکنش کود گوگرد و مکان بر تعداد نیام در بوته در گیاه ماش  
حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون LSD می‌باشد.

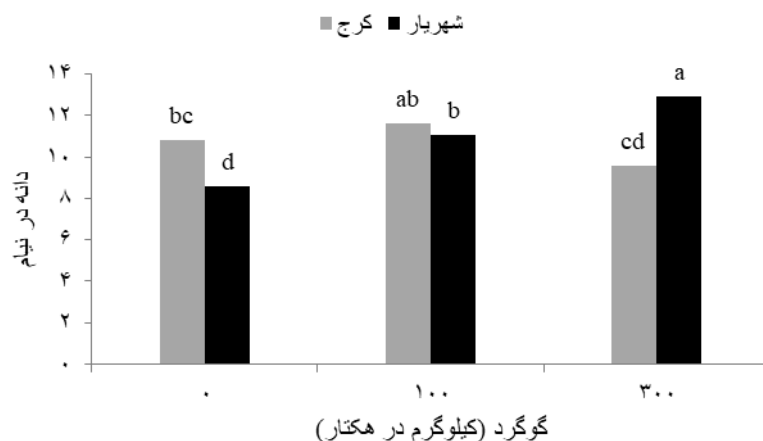
(S<sub>0</sub>) حاصل شد که بین این دو تیمار اختلاف ۴۳/۴۳ درصدی مشاهده گردید (شکل ۲). همچنین به نظر می‌رسد کاهش تعداد دانه در نیام در مزرعه کرج به دلیل بالاتر بودن میزان آهک موجود و سولفات قابل جذب در منطقه کرج باشد که موجب شده است اضافه کردن گوگرد به خاک اثر عکس داشته است.

### تعداد دانه در نیام

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌گردد اثر کود گوگرد و اثر متقابل گوگرد و مکان ( $p \leq 0.01$ ) روی تعداد دانه در نیام معنی‌دار شد. مقایسه میانگین برهمکنش گوگرد و مکان نشان داد که بیشترین تعداد دانه در نیام از منطقه شهریار و تیمار (S<sub>2</sub>) و کمترین مقدار این صفت نیز از منطقه شهریار و تیمار شاهد

باکتری‌ها در خاک‌های ایران به دلیل پایین بودن میزان مواد آلی و عدم استفاده از مایه تلقیح آن‌ها، بسیار کم است (کریمی‌نیا و شهرستانی ۲۰۰۳). بلویی (۲۰۰۸) بیان کرد که استفاده از *Halothiobacillus* به طور معنی‌داری موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد می‌شود. در اغلب مطالعات عنوان شده است که اثر کمبود کود گوگرد ابتدا روی تعداد دانه در نیام مشاهده خواهد شد. صفاری و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی که روی مصرف گوگرد در گلرنگ داشتند نشان دادند که استفاده از کود گوگرد موجب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در کلپرک شد. موسوی نیک (۲۰۱۲) نیز گزارش کرد که کاربرد گوگرد بر تعداد دانه در سنبله اسفرزه معنی‌دار بود. جشنی و همکاران (۲۰۱۵) بیشترین میزان دانه در خورجین کلزا را در تیمار *Halothiobacillus* گزارش کردند.

رحیمی و صدرآبادی حقیقی (۲۰۱۳) بیان کردند یکی از عوامل اصلی تغییر در میزان عملکرد تغییرات در اجزای عملکرد مانند تعداد دانه در نیام است که می‌تواند عملکرد اقتصادی و زیستی را تحت تاثیر قرار دهد. گوگرد یکی از عناصر حیاتی در تغذیه گیاهان و موثر در افزایش عملکرد است که در صورت فراهم بودن سایر عوامل حائز اهمیت در رشد گیاه موجب افزایش در تعداد گل، نیام و باروری آن‌ها خواهد شد (رحیمی و صدرآبادی حقیقی ۲۰۱۳). لذا عواملی که در تولید نیام موثر هستند در پر شدن نیام نیز تاثیر گذار خواهند بود (آل برزینجی و همکاران ۲۰۰۳). به طور کلی تعداد دانه در نیام نشان‌دهنده میزان ظرفیت مخزن گیاه می‌باشد و هر عاملی نظیر گوگرد اگر سبب افزایش تعداد دانه در نیام در گیاه شود موجب افزایش عملکرد نیز می‌شود. اکسیداسیون زیستی گوگرد، معمولاً به وسیله *Halothiobacillus* انجام می‌گردد میزان جمعیت این



شکل ۲- اثر برهمکنش کود گوگرد و مکان بر تعداد دانه در نیام در گیاه ماش  
حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون LSD می‌باشد.

هزاردانه در تیمار شاهد ( $S_0$ ) به مقدار ۴۲/۸۳ گرم حاصل شد (جدول ۴).

هر عاملی که سبب تغییر در میزان وزن هزار دانه شود، موجب تغییر در عملکرد دانه نیز می‌گردد. در این میان، به نظر می‌رسد گوگرد اضافه شده به خاک سبب افزایش زمان پر شدن دانه، افزایش مقدار مواد

#### وزن هزار دانه

نتایج نشان داد که گوگرد بر وزن هزاردانه گیاه تاثیر معنی‌داری ( $p \leq 0.01$ ) داشته است (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین وزن هزاردانه به میزان ۶۱/۴ گرم مربوط به تیمار مصرف ۳۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار ( $S_2$ ) است و کمترین وزن



گزارش کردند که بیشترین میزان وزن هزار دانه آفتابگردان از تیمار مصرف ۳۰ کیلوگرم در هکتار *Halothiobacillus* به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد افزایش هفت درصدی نشان داد.

فتوسنتزی و در نهایت وزن هزار دانه می‌شود. قادری و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه گندم آبی در بالاترین سطح مصرفی کود گوگرد نسبت به تیمار شاهد را گزارش کردند (قادری و همکاران ۲۰۱۷). نخزری مقدم و همکاران (۲۰۱۶)

جدول ۴- مقایسه میانگین سطوح مختلف گوگرد برای صفات وزن هزار دانه و درصد پروتئین ماش

گوگرد	وزن هزار دانه	پروتئین (%)
S0	۴۲/۸۳ c	۱۹/۲۵ c
S1	۵۵/۲۲ b	۲۰/۵۵ b
S2	۶۱/۴ a	۲۱/۳۹ a

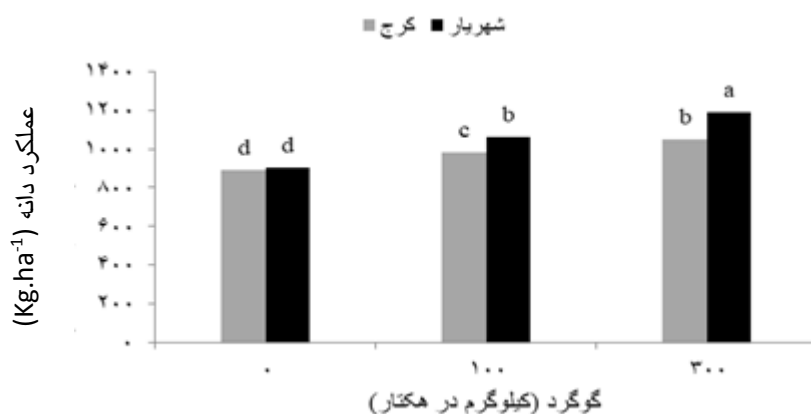
### عملکرد دانه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر اثر گوگرد و مکان و همچنین اثر متقابل آن‌ها ( $p \leq 0.01$ ) قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه از منطقه شهریار و مصرف ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود گوگرد ( $S_2$ ) به میزان ۱۱۹۲/۳۳ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار از منطقه کرج و عدم مصرف کود گوگرد ( $S_0$ ) به میزان ۸۹۱ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که اختلاف بین این دو تیمار ۳۵/۲۷ درصدی بود (شکل ۳).

مورد نیاز گیاه است شده، که این موضوع موجب تاثیر معنی‌دار در افزایش میزان عملکرد دانه می‌شود (اورمان و کاپلان ۲۰۰۷). مصرف کود گوگرد به علت تاثیر روی تشکیل آنزیم‌ها و برخی ترکیبات دیگر که در ساخت و ساز مواد تولیدی موثر هستند، می‌تواند موجب افزایش عملکرد دانه شود (صف‌آرا و همکاران ۲۰۱۵). باکتری-های *Halothiobacillus* با ترشح مواد محرک رشد قادر هستند دسترسی گیاه به فسفر تثبیت شده خاک را افزایش دهند. این موضوع سبب افزایش عملکرد دانه می‌شود (درودیان و همکاران ۲۰۱۰).

میزان گوگرد مورد نیاز برای گیاهان به نوع گونه گیاهی و میزان ماده خشک تولیدی، بستگی دارد و در این بین کمترین مقدار مورد نیاز گوگرد برای غلات و بیشترین مقدار مورد نیاز برای دانه‌های روغنی و پروتئینی گزارش شده است (کومار سینگ و کومار سینگ ۲۰۱۳). احتمال داده می‌شود مصرف کود گوگرد علاوه بر اثرات مستقیم تغذیه‌ای روی گیاه، سبب کاهش اسیدیته خاک و انحلال مواد معدنی تثبیت شده‌ای که

صف‌آرا و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی که روی گیاه گلرنگ داشتند با توجه به معنی‌دار شدن عملکرد دانه بیان داشتند که اثرات مثبت گوگرد بر ساخت و ساز و تقویت بنیه گیاه در مرحله زایشی سبب افزایش میزان عملکرد می‌شود (صف‌آرا و همکاران ۲۰۱۵). جشنی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند استفاده از باکتری *Halothiobacillus* عملکرد دانه در کلزا را نسبت به تیمار شاهد ۲۵ درصد افزایش داد.



شکل ۳- اثر برهمکنش کود گوگرد و مکان بر عملکرد دانه گیاه ماش

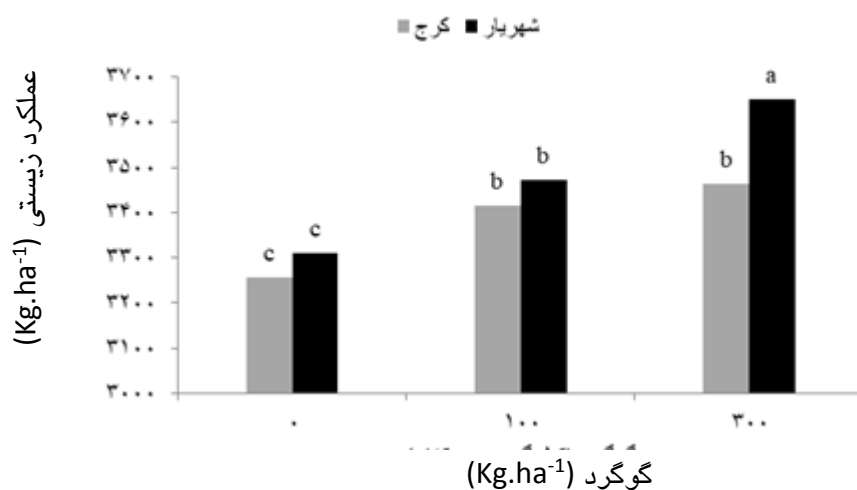
حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون LSD می‌باشد.

### عملکرد زیستی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر گوگرد و مکان و اثر متقابل گوگرد و مکان روی عملکرد زیستی در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر برهمکنش گوگرد و مکان نشان داد بیشترین میزان عملکرد زیستی از منطقه شهریار و استفاده از ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود گوگرد ( $S_2$ ) (۳۳/۳۶۵۰ کیلوگرم در هکتار) و کمترین مقدار از منطقه کرج و شاهد ( $S_0$ ) (۶۷/۳۲۵۶ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد، که اختلاف بین این دو تیمار ۱۸/۱۰ درصد است (شکل ۴).

معنی‌دار شدن تاثیر مصرف گوگرد به عواملی نظیر پایین بودن آهک و رطوبت خاک، سولفات قابل جذب و میزان کربن آلی خاک در ارتباط است و هم-چنین عدم تاثیر معنی‌دار استفاده از گوگرد می‌تواند به-دلیل اکسیداسیون نامناسب در خاک باشد (بشارتی و مطلبی‌فرد ۲۰۱۵). اسیدی کردن موضعی خاک، افزایش قابلیت انحلال عناصر، افزایش جذب مواد افزایش راندمان گیاهان در فرآیندهای فتوسنتز، تنفس و دوام

بیشتر برگ‌های گیاه سبب بهبود عملکرد می‌شود (مومن و همکاران ۲۰۱۱). باکتری‌های *Halothiobacillus* با تسریع در اکسایش گوگرد، تغییر اسیدیته خاک، بهبود شرایط خاک برای جذب عناصر ریز مغذی و پر مصرف مورد نیاز گیاهان مختلف در خاک‌های آهکی و قلیایی موجب افزایش عملکرد گیاهان می‌شوند (شعبانی و همکاران ۲۰۱۶). سعیدی‌نژاد و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی به تاثیر مصرف گوگرد و کود دامی روی ارقام کنگد پرداختند. آن‌ها بیان داشتند که استفاده از کود گوگرد بر عملکرد زیستی گیاه کنگد تاثیر مثبت و معنی‌داری داشت. هم‌چنین صف‌آرا و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود گوگرد نسبت به تیمار شاهد موجب افزایش ۸/۳۶ درصدی عملکرد زیستی گیاه گلرنگ شد (صف‌آرا و همکاران ۲۰۱۵). دباغیان و همکاران (۲۰۱۵) بیان داشتند که بیشترین عملکرد زیستی گیاه سویا از تیمار مصرف هم‌زمان ۵۰ کیلوگرم گوگرد و باکتری *Halothiobacillus* حاصل شد که نسبت تیمار شاهد افزایش ۴۱ درصدی داشته است.



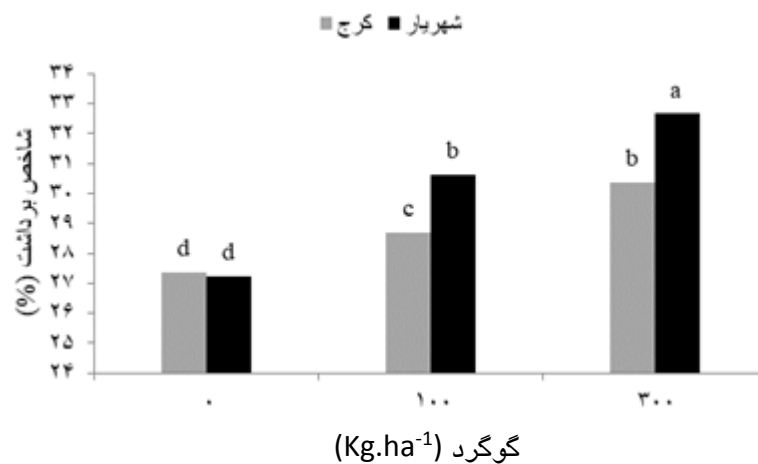
شکل ۴- اثر برهمکنش کود گوگرد و مکان بر عملکرد زیستی در گیاه ماش  
حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون LSD می‌باشد.

#### شاخص برداشت

نتایج نشان داد که اثرات گوگرد و مکان و برهمکنش اثر متقابل این دو عامل بر شاخص برداشت گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین شاخص برداشت در منطقه شهریار و با مصرف ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود گوگرد ( $S_2$ ) با ۳۲/۶۷ درصد است و کمترین شاخص برداشت در منطقه شهریار و شاهد عدم مصرف گوگرد ( $S_0$ ) با ۲۷/۲۳ درصد به‌دست آمد (شکل ۵).

شاخص برداشت بیانگر تسهیم مواد فتوسنتزی بین بخش‌های رویشی و زایشی است. افزایش شاخص برداشت در شرایط استفاده هم‌زمان گوگرد و تیوباسیلوس نشان‌دهنده این موضوع است که علی‌رغم

افزایش عملکرد زیستی و عملکرد دانه، میزان افزایش عملکرد دانه بیشتر از عملکرد زیستی بوده است. با توجه به افزایش تعداد نیام در بوته و دانه در نیام؛ احتمالاً علت این موضوع به دلیل افزایش ظرفیت مخزن در شرایط استفاده هم‌زمان گوگرد و تیوباسیلوس است. موسوی نیک (۲۰۱۲) گزارش کرد که بیشترین شاخص برداشت در گیاه اسفرزه با ۲۴/۷۷ درصد از مصرف ۲۲۵ کیلوگرم کود گوگرد در هکتار و کمترین میزان شاخص برداشت با ۲۲/۳۵ درصد از تیمار شاهد حاصل شد (موسوی نیک ۲۰۱۲). همچنین دباغیان و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که بیشترین میزان شاخص برداشت از مصرف هم‌زمان ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود گوگرد و باکتری *Halothiobacillus* به‌دست آمد که نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری داشت.



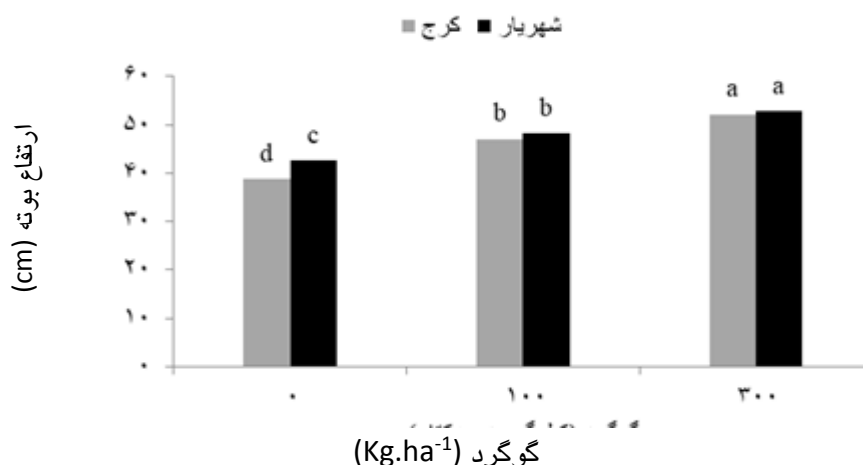
شکل ۵- اثر برهمکنش کود گوگرد و مکان بر شاخص برداشت در گیاه ماش  
حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون LSD می‌باشد.

### ارتفاع بوته

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر گوگرد بر ارتفاع بوته در سطح یک درصد و اثر مکان و اثر برهمکنش گوگرد و مکان در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین ارتفاع در منطقه شهریار و از تیمار (S<sub>2</sub>) با ۵۲/۷۳ سانتی‌متر و کمترین ارتفاع در منطقه کرج و از تیمار (S<sub>0</sub>) با ۳۸/۷۳ سانتی‌متر مشاهده شد که دارای اختلاف ۲۶/۵۵ درصدی بودند (شکل ۶).

رشد طولی و ارتفاع گیاه، حاصل جمع چندین ویژگی و صفت رشدی گیاه می‌باشد که منجر به تداوم و تشدید فرآیندهای تقسیم و مخصوصاً طویل شدن سلولی می‌گردند (مردانلو و همکاران ۲۰۱۸). دسترسی گیاهان به عناصر معدنی و رطوبت، بر تقسیمات سلولی و بزرگ شدن سلول‌ها اثرگذار است و به همین دلیل بر رشد ارتفاع گیاه موثر است. یکی از عناصر معدنی ضروری در رشد رویشی و زایشی گیاهان گوگرد می‌باشد و کمبود این عنصر موجب کاهش تولید رنگیزه‌های فتوسنتزی و در نتیجه کاهش رشد گیاه می‌شود.

دورودیان و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که یکی از مکانیسم‌های باکتری‌های *Halothiobacillus* تولید هورمون اکسین است. از آنجایی‌که اکسین نقش مهمی در تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها دارد، به نظر می‌رسد که افزایش ارتفاع گیاهان در حضور باکتری‌های *Halothiobacillus* به همین علت باشد. پژوهش‌ها نشان داده است که استفاده از کودهای گوگردی و باکتری *Halothiobacillus* سبب افزایش ارتفاع بوته به‌طور معنی‌داری می‌شود (احمدی و اوسری ۱۳۸۸). موسوی-نیک (۲۰۱۲) گزارش کرد که بیشترین ارتفاع بوته در گیاه اسفرزه (۳۴/۱۸ سانتی‌متر) از تیمار مصرف ۲۲۵ کیلوگرم کود گوگرد در هکتار و کمترین ارتفاع (۱۹/۰۱ سانتی‌متر) مربوط به تیمار شاهد بود. نوربخش و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی روی گلرنگ گزارش کردند که بیشترین ارتفاع بوته در تیمار ۵۰۰ کیلوگرم گوگرد و سه کیلوگرم در هکتار باکتری *Halothiobacillus* مشاهده گردید که نسبت به تیمار شاهد اختلاف ۲۸/۴۳ درصدی داشت.



شکل ۶- اثر برهمکنش کود گوگرد و مکان بر ارتفاع بوته در گیاه ماش

حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون LSD می‌باشد.

### کلروفیل کل

همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌گردد اثرات گوگرد و مکان ( $p \leq 0.01$ ) و اثر متقابل آن‌ها ( $p \leq 0.05$ ) روی کلروفیل کل معنی‌دار شد. مقایسه میانگین برهمکنش کود گوگرد و مکان نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل کل از منطقه شهریار و مصرف ۳۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار ( $S_2$ ) به میزان ۱/۸۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ و کمترین مقدار نیز از منطقه شهریار و شاهد (عدم مصرف گوگرد) به میزان ۱/۲۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ مشاهده شد که بین این دو تیمار اختلاف ۳۳/۳۳ درصدی مشاهده شد (شکل ۷).

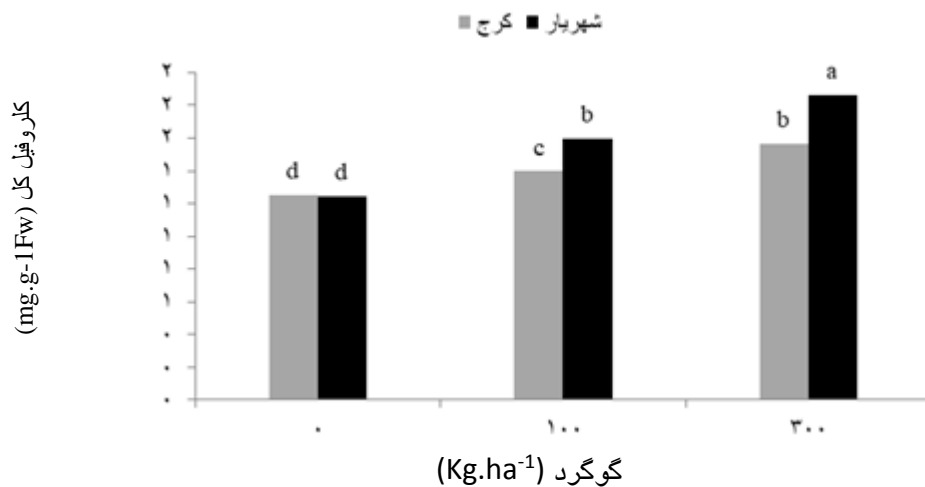
از آن‌جا که گوگرد در تولید اسیدهای آمینه

سیستئین و متیونین، تولید پروتئین و کلروفیل، افزایش میزان روغن دانه‌ها، فعال کردن برخی آنزیم‌ها و کمک به تولید بعضی از ترکیبات فتوسنتزی (مانند دی‌آسیل گلیسرول کوئینوزیل که یک نوع لیپید در ساختار کلروپلاست است) نقش دارد، این عنصر قابلیت افزایش محتوی کلروفیل را دارد (جمال و همکاران ۲۰۱۰). حجازی‌راد و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند کاربرد کود گوگرد موجب افزایش معنی‌دار محتوی کلروفیل گیاه سیر نسبت به تیمار شاهد گردید.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس محتوی کلروفیل و پروتئین ماش تحت تاثیر سطوح مختلف گوگرد و مکان

منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل کل	درصد پروتئین
مکان	۱	۰/۱۲**	۰/۸۹
خطای a	۴	۰/۰۱	۰/۲۲
گوگرد	۲	۰/۳۲**	۶/۹۸**
گوگرد×مکان	۲	۰/۰۴*	۰/۰۱
خطای b	۸	۰/۰۱	۰/۱
ضریب تغییرات (%)		۱/۲۷	۱/۳۴

\* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.



شکل ۷- اثر برهمکنش کود گوگرد و مکان بر کلروفیل کل در گیاه ماش (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ) حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون LSD می‌باشد.

### درصد پروتئین

نتایج نشان داد که اثر گوگرد روی درصد پروتئین تاثیر معنی‌داری ( $p \leq 0.01$ ) داشت (جدول ۵). با مقایسه بین میانگین‌ها مشاهده شد که بیشترین میزان پروتئین مربوط به تیمار مصرف ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود گوگردی ( $S_2$ ) با ۲۱/۳۹ درصد است و با کاهش مصرف گوگرد، مقدار پروتئین دانه کاهش یافته است و کمترین مقدار این صفت مربوط به تیمار شاهد ( $S_0$ ) با ۱۹/۲۵ درصد است که اختلاف بین این دو تیمار ۱۰ درصد می‌باشد (جدول ۴).

تاثیر افزایشی درصد پروتئین در گیاهان در حضور گوگرد کافی به دلیل موثر بودن این عنصر در تشکیل اسیدهای آمینه‌ای نظیر متیونین، سیستین و سیستئین نسبت داده شده است (نوربخش و همکاران، ۲۰۱۴). احتمالاً با افزایش سطح گوگرد و مصرف تلفیقی با باکتری *Halothiobacillus* جذب عناصری نظیر فسفر افزایش پیدا کرده که همین امر موجب افزایش تولید ATP شده و با بیشتر شدن میزان تنفس سلولی میزان تولید پروتئین نیز افزایش پیدا کرده است (نوربخش و همکاران ۲۰۱۴). همچنین تحریک تولید اکسین یکی از مکانیسم‌های باکتری *Halothiobacillus*

است که این امر نیز سبب افزایش تنفس سلولی شده است و به همین دلیل پروتئین سازی در سلول افزایش پیدا کرده است (نوربخش و همکاران ۲۰۱۴). سعیدی-نژاد و همکاران در پژوهشی که روی ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه کنجد داشتند گزارش کردند که با مصرف هشت تن کود گوگرد در هکتار نسبت به شاهد میزان پروتئین دانه هفت درصد افزایش داشت. درودیان و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند در پژوهشی که روی ذرت داشتند با مصرف تیوباسیلوس میزان پروتئین دانه به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرده است.

### نتیجه گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد همزمان گوگرد و باکتری *Halothiobacillus* سبب افزایش عملکرد و شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک در گیاه ماش شد، البته این افزایش عملکرد و شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک به علت تامین گوگرد مورد نیاز گیاه و همچنین سهولت جذب سایر عناصر نظیر فسفر و عناصر ریز مغذی بوده است زیرا باکتری تیوباسیلوس یک گونه آزادزی می‌باشد و فقط دسترسی گیاه به گوگرد را با اکسید کردن این ماده تسهیل می‌کند، که این

میکروارگانسیم‌های مفید خاکزی استفاده هم‌زمان از باکتری *Halothiobacillus* توصیه می‌گردد.

#### سپاسگزاری

از دانشگاه صنعتی شاهرود و موسسه تحقیقات خاک و آب کشور که در تهیه و تامین امکانات لازم و راهنمایی‌های مورد نیاز در انجام این پژوهش همکاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود.

موضوع بیان‌گر اهمیت مصرف گوگرد در بوم نظام‌های زراعی می‌باشد. با عنایت به میزان آهک بالای خاک‌های ایران و کم‌هزینه بودن گوگرد تولید شده در صنایع نفت و گاز کشورمان، برای کاهش اسیدیته خاک مصرف گوگرد و برای راحت بودن دسترسی گیاه به گوگرد، افزایش اکسایش این کود و افزایش فعالیت

#### منابع مورد استفاده

- Ahmadi M, Shahsavani S, Abasdokht H, Asghari H R, and Gharanjik S. 2016. Effect of Vermicompost, Sulfur and *Thiobacillus* on Some Soil Physico-chemical Properties, Yield and Yield Components of Maize (*Zea mays* L.) in Jovain District. *Agroecology*, 9(4): 1031-1049. (In Persian).
- Akter F, Islam Md N., Shamsuddoha A T M, Bhuiyan M S I and Shilpi S. 2013. Effect of phosphorus and sulphur on growth and yield of soybean (*Glycine max* L.). *International Journal of Bio-resource and stress Management*, 4(4): 555-560.
- Al-Barzinjy M, Stolen O, and Christiansen L. 2003. Comparison of growth and canopy structure of old and new cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Soil and Plant Science*, 53: 138-146.
- AsgharMalik M, Azizi Khan H Z, and Ashfaq Wahid M. 2004. Growth, seed yield and oil content response of canola (*Brassica napus* L) to varying levels of sculpture. *International Journal of Agriculture and Biology*, 6(6): 1153-1166.
- Balooei F. 2008. Effect of *Mycorrhiza* and *Thiobacillus* on qualitative and quantitative characters of soybean. M.Sc. Thesis of Agronomy, Faculty of Agriculture. Islamic Azad University-Karaj, Iran. (In Persian).
- Besharati H, and Motalebifard R. 2015. Evaluation of the effect of sulfur application and *Thiobacillus* on some soil chemical characteristics and yield of canola in wheat-canola rotation system. *Journal of Water and Soil*, 29: 1688-1698. (In Persian).
- Besharati H, Khosravi H, Mostashari M, Mirzashahi K, Ghaderi J, and Zabihi H R. 2016. Evaluation of Effects of *Thiobacillus*, Sulfur and Phosphorous on Corn (*Zea mays* L.) Growth Indices in some Regions of Iran. *Applied Soil Reseach*, 4(1): 103-113. (in Persian)
- Besharati H, Khosravi H, Khavazi K, Ziaecian A, Mirzashahi K, Ghaderi J, Zabihi H R, Mostashari M, Sabah A, and Rashidi N. 2017. Effects of Biological Oxidation of Sulfur on Soil Properties and Nutrient Availability in Some Soils of Iran. *Iranian Journal of Soil Research*, 31(3): 393-403. (In Persian)
- Bockman O C. 1997. Fertilizers and biological nitrogen fixation as source of plant nutrients, perspectives for future agriculture. *Plant and Soil*, 194:11-14.
- Buresh RJ, Austin E R. and Craswell E T.1982. Analytical methods in 15 N research. *Fertilizer Research*, 3(1): 37-62.
- Chaubey A K, Sing S B. and Kaushik M K. 2000. Response of groundnut (*Arachis hypogaea*) to source and level of sulfur fertilizer in Mid-Western Plains of Uttar Pradesh. *Indian Journal Agronomy*, 45:166-169.
- Dabaghian Z, Pirdashti H, Abasian A, and Bahari Saravi S H. 2015. The effect of biofertilizers, *Thiobacillus*, *Azotobacter*, *Azospirillum* and organic sulfur on nodulation process and yield of soybean (*Glycine Max* L.). *Journal of Applied Crop Research*, 28(107): 17-25. (In Persian).

- Doroudian H R, Besharati Kelayeh H, Fallah Nosrat Abad AR, Heydari Sharif Abad H, Darvis F, and Allahverdi A. 2010. Evaluation of absorbable phosphorus change in calcareous soils and the effect on corn yield. *Agricultural Modern Knowledge (Modern Knowledge of Sustainable Agriculture)*, 6(18): 27-35. (In Persian)
- Erdem H, Torun M B, Erdem N, Yazıcı A, Tolay I, Gunal E, and Özkutlu, F. 2016. Effects of different forms and doses of sulfur application on wheat. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 4(11): 957-961.
- Falahatgar S, Babaei P, Besharati H, and Cherati A. 2013. Effect of different sulphur amounts and *Thiobacillus* bacterial inoculums on dry matter yield, chlorophyll amount, iron and zinc uptake of two soya variety. First national congress of science and technology in agriculture. Zanzan University. (In Persian).
- Ghaderi J, Malakooti M J, Khavazi K, and Davoudi M H. 2017. Investigation of the effect of elemental sulfur application on yield and some quality characteristics of irrigated wheat (*Triticum aestivum* L). *Crop Physiology Journal*, 9(33): 69-84. (In Persian).
- Ghorbani Nasr Abadi R. 2002. Study of sulfur application and *Thiobacillus* and Bradyrhizobium inoculation on nitrogen fixation and growth indices of soybean. *Journal of Soil and Water*, 16(2): 171-178. (In Persian).
- Hejazi rad P, Gholami A, Pirdasht H A, and Abasiyan A. 2016. Evaluation of *Thiobacillus* Bacteria and Mycorrhizal Symbiosis on Yield and Yield Components of Garlic (*Allium sativum* L.) at Different Levels of Sulfur. *Agroecology*, 9(1): 76-87. (In Persian).
- Jahan M, and Nassiri Mahallati M. 2012. Fertility of soil and biofertilizers: Agroecological approach. Ferdowsi University of Mashhad Press, Mashhad, Iran. (In Persian).
- Jamal A, Moon Y S. and Abdin M Z. 2010. Enzyme activity assessment of peanut (*Arachis hypogea*) under slow-release sulfur fertilization. *Australian Journal of Crop Science*, 4(3): 169-174.
- Jashni R, Fateh E, and Aynehband A. 2015. Evaluation of biological fertilizers and micronutrient elements effects on yield and some agronomic traits in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Plant Production Research*, 21(4): 205-210. (in Persian).
- Karimnia A, and Shahrestani M. 2003. Sulfur oxidation by heterotrophic microorganisms can be assessed in different soils. *Journal Soil and Water Science*, 1(17): 79-69. (In Persian).
- Kaya M, Kucukyumuk Z, and Erdal I. 2009. Effects of elemental sulfur and sulfur-containing waste on nutrient concentrations and grown on calcareous soil. *African Journal of Biotechnology*, 8(18): 4481-4489.
- Kertesz M A, and Mirleau K. 2004. The role of soil microbes in plant sulfur nutrition. *Journal Experimental Botany*, 55, 1-7.
- Khajepoor M R. 2010. Industrial plants. Jahade Daneshgahi Esfahan Press, Esfahan, Iran. (In Persian).
- Langham D R, Janick J, and Whipkey A. 2007. Phenology of sesame, in *Issues in new crops and new uses.*, ASHS Press, Alexandria, VA, USA Eds. Pp 144-182.
- Lichtenthaler H K. Chlorophylls and carotenoids; pigments of photosynthetic membranes. *Method Enzyme*. 1987, 148, 350-382.
- MajnoonHoseini N. 2004. Pulls crop in Iran. Tehran Jahad Daneshgahi Prees, 240 pp. (In Persian).
- Mardanluo S, Souri M K, and Ahmadi M. 2018. Plant growth and fruit quality of two pepper cultivars under different potassium levels of nutrient solutions. *Journal of plant nutrition*, 41(12): 1604-1614.
- Mariotti F, Tome D, and Mirand Ph. 2008. Converting Nitrogen into Protein – Beyond 6.25 and Jones' Factors. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition: Taylor & Francis*, 48(2): 177-184.



- Mosavi Nik M. 2012. Effect of drought stress and sulphur fertilizer on quantity and quality yield of psyllium (*Plantago ovata* L.) in Baluchestan. *Agroecology journal*, 4(2): 170-182. (In Persian).
- Motior M R, Abdou A S, Fareed H A D, and Sofian M A. 2011. Responses of sulfur, nitrogen and irrigation water on *Zea mays* growth and nutrients uptake. *Australian Journal of Crop Science*, 5(3): 347-357.
- Nakhzari Moghaddam A, Ghaffari S, Rahemi Karizaki A, and Salahi Farahi M. 2016. The effect of different levels of sulfur and *Thiobacillus* fertilizer on yield, yield components and oil percentage of sunflower in Gonbad area. *Journal of Oil Plant Production*, 2(2) :25-34. (In Persian).
- Noorbakhsh F S, Behdani M A, Jami Al Ahmadi M, and Mahmoodi S. 2014. Evaluation of integrated impact of sulfur and *Thiobacillus* on qualitative and morphological characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Agroecology journal*, 6(1): 51-59. (In Persian).
- Orman S, and Kaplan M. 2007. Effects of elemental sulfur and organic manure on sulfur, zinc, and total chlorophyll contents of tomato in a calcareous sandy loam soil. *Journal of Soil Science Society of America*, 55: 85-90.
- Rahimi B, and Sadrabadi Haghghi R. 2013. Effect of Different Levels of Sulphur Bentonite on Yield and Yield Components of Canola (*Brassica napus* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10(4): 781-788. (In Persian).
- Rahimiyan Z. 2011. Effect of sulfur and *Thiobacillus* with organic matter quantity and quality of rapeseed. *Journal Crop Physiology*, 3(12): 111-123. (In Persian).
- Ravichandra P, Gopal Mugeraya A, Gangagni Rao M, Ramakrishna V, and Annapurna Jetty Y. 2007. Isolation of *Thiobacillus sp* from aerobic sludge of distillery and dairy effluent treatment plants and its sulfide oxidation activity at different concentrations. *Journal of Environmental Biolog*, 28 (4): 819-823.
- Saeidi Nezhad M, Behdani M A, Sayyari Zahan M H, and Mahmoodi S. 2020. The Effect of Sulfur and Manure on Quantitative and Qualitative Characteristics of Sesame Varieties (*Sesamum indicum* L.). *Agroecology journal*, 11(3): 845-857. (In Persian).
- Safara N, Moradi Telavt M R, Siadat S A, Koochekzadeh A, and Mousavi S. H. 2015. Effect of Sowing Date and Sulfur on Yield, Oil Content and Grain Nitrogen of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in Autumn Cultivation. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 14(3): 438-448. (In Persian).
- Safari M, Madadzade M, and Shariatinia F. 2011. Investigation of Nutritional Effects of Nitrogen, Boron and Sulfur on Quantitative and Qualitative Characteristics of Safflower Grain (*Carthamus tinctorius* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 42(1): 133-141. (In Persian).
- Shabani G, Khoshkho Sh, Khorami M, Jafarzadeh M, and Akbarabadi A. 2016. Effect of Sulfur and Biofertilizers Application on Yield and Yield Components of linseed (*Linum usatissimum* L.). *Journal of Applied Crop Research*, 28(109): .35-42. (In Persian).
- Singh A L, and Chaudhari V. 1997. Sulfur and micronutrient of groundnut in a calcareous soil. *Journal of Agronomy Crop Science*, 179: 107-114.
- Soori Abdolahzadeh Kh, Abbaspour A, and Rahimi M. 2018. Interaction between sulfur and zinc on cotton (*Gossypium sp.* L.) yield and some soil parameters. *Scientific Journal Management System*, 10(4): 15-38. (In Persian).
- Souri M K, and Hatamian M. 2019. Aminochelates in plant nutrition: a review. *Journal of Plant Nutrition*, 42(1): 67-78. (in Persian).
- Souri M K. and Aslani M. 2018 a. Beneficial effects of foliar application of organic chelate fertilizers on French bean production under field conditions in a calcareous soil. *Advances in Horticultural Science*, 32(2): 265-272. (In Persian).
- Souri M K, Naiji M, and Aslani M. 2018 b. Effect of Fe-glycine aminochelate on pod quality and iron concentrations of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under lime soil conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(2): 215-224. (In Persian).

- Tabatabaei J. 2014. Principles of Mineral Nutrition of Plants. Tabriz University Press. (In Persian).
- Zeinali A, Sadeghi Bakhtvari A R, and Sarabi V. 2018. Investigation of nitrogen and sulphur effects on quantitative and qualitative characteristics of castor bean seed (*Ricinus communis* L.). Iranian Journal of Field Crop Science, 49(1): 29-43. (In Persian).
- Zhi-Hui Y, Stoven K, Haneklaus S, Singh B R, and Schnug E. 2010. Elemental sulfur oxidation by *Thiobacillus* spp. and aerobic heterotrophic sulfur-oxidizing bacteria. Pedosphere, 20(1): 71-79.