نشریه فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۵، شماره ۷۱، فروردین و اردیبهشت ۱۴۰۵ صفحه: ۱۴۹-۱۳۳
https://doi.org/10.22034/15.71.133

مقاله پژوهشی

بررسی اثر سولفات منیزیم و گوگرد بر صفات مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه دارویی موسیر ایرانی (*Allium hirtifolium* Boiss.)

حسین رستمکلایی مطلق[۱]، وحید اکبرپور[۲]*، محمدعلی بهمنیار[۳] و محبوبه آشناور[۴]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد گیاهان دارویی، مؤسسه غیرانتفاعی سنا، ساری، ایران

[۲] گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

[۳] گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

[۴] دکتری گیاهان دارویی، ادویه‌ای و نوشابه‌ای، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

چکیده

موسیر ایرانی (*Allium hirtifolium*) یک گیاه دارویی ارزشمند با کاربردهای گسترده در صنایع غذایی، دارویی و بهداشتی است. این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر کودهای منیزیم و گوگرد بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی موسیر ایرانی، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با چهار تکرار در مزرعه‌ای در شمال رستمکلا (مازندران) انجام شد. فاکتورها شامل سطوح مختلف سولفات منیزیم ($MgSO_4$) در چهار سطح صفر، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار (به‌ترتیب **M0**، **M40**، **M80** و **M120**) و گوگرد بنتونیت‌دار (S) در چهار سطح صفر، ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ کیلوگرم در هکتار (به‌ترتیب **S0**، **S300**، **S600** و **S900**) بودند. نتایج نشان داد که تیمار **M120S900** با بیشترین ارتفاع گیاه (۸۷/۷ سانتی‌متر)، قطر طوقه (۲/۲۵ سانتی‌متر)، وزن تر و خشک بوته (۲۱/۶ و ۱۱/۸ گرم در بوته) و غلظت منیزیم (۰/۵۸٪) به ترتیب نسبت به تیمار شاهد افزایش‌هایی معادل ۲۷۰، ۶۶/۷، ۶۵/۱، ۲۸۰ و ۱۷۶/۱۹ درصد را نشان دادند. بالاترین مقادیر فعالیت آنتی‌اکسیدانی و غلظت گوگرد در تیمار **M80S300** به‌ترتیب نسبت به شاهد، به میزان ۱۰۱/۵ و ۶۱/۷ درصد افزایش نشان دادند. بیشترین مقدار فنل کل، معادل ۲/۲۷ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم وزن تر، در تیمار **M40S600** حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد، افزایشی معادل ۱۵۸/۵ درصد را نشان داد. همچنین، بیشترین میزان فلاونوئید، برابر با ۰/۲۷۰ میلی‌گرم کوئرسیتین بر گرم وزن تر، در تیمار **M0S300** مشاهده گردید که نسبت به شاهد ۱۹۰/۳ درصد افزایش داشت.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، فنل، فلاونوئید، گوگرد، منیزیم، موسیر ایرانی

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۱۴، بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۰۷، پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۷، اولین انتشار: ۱۴۰۵/۰۲/۱۲

* نویسنده مسئول، رایانامه: v_akbarpour60@yahoo.com

حق انتشار این مستند، متعلق به انجمن فیزیولوژی گیاهی ایران است. ۱۴۰۳ ©

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:
Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.133]

مقدمه

موسیر ایرانی (*Allium hirtifolium* Boiss.) گیاهی پیازدار و چندساله از خانواده آلیاسه و بومی ایران است که به صورت خودرو در مراتع مرتفع و نقاط کوهستانی می‌روید (Ismail *et al.*, 2013). موسیر ایرانی دارای خواص آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی و ضدباکتریایی است. ترکیبات موجود در این گیاه، مانند ترکیبات گوگردی، به عنوان عوامل ضدسرطانی و تقویت‌کننده سیستم ایمنی شناخته شده‌اند (Najeebullah *et al.*, 2021; Iwar *et al.*, 2024). موسیر به عنوان ادویه و طعم‌دهنده در غذاها استفاده می‌شود و به دلیل خواص دارویی‌اش در طب سنتی نیز کاربرد دارد (Yan *et al.*, 2023).

استفاده از کودها و عناصر غذایی مناسب می‌تواند به بهبود عملکرد و کیفیت موسیر ایرانی کمک کند. این موضوع اهمیت زیادی در کشاورزی و تولید این گیاه دارد (Yousefvand *et al.*, 2025).

منیزیم به‌عنوان یکی از عناصر غذایی ضروری، نقشی حیاتی در فرآیندهای زیستی گیاه ایفا می‌کند. این عنصر با فعال‌سازی طیف وسیعی از آنزیم‌ها، در جذب عناصر معدنی، متابولیسم کربوهیدرات‌ها و تنظیم فرآیندهای تنفسی گیاه مشارکت دارد. همچنین، منیزیم از اجزای ساختاری کلروفیل بوده و حضور آن برای انجام بهینه فتوسنتز ضروری است. علاوه‌براین، در فعال‌سازی آنزیم‌های مرتبط با بیوسنتز اسیدهای نوکلئیک نیز نقش مؤثری دارد (Ye *et al.*, 2019). مطالعات مختلف نشان داده‌اند که منیزیم نقش مهمی در رشد و عملکرد گیاهان، به ویژه گیاهان دارویی خانواده آلیاسه ایفا می‌کند. Syamsiyah و همکاران (۲۰۲۵) نشان دادند که استفاده از سولفات منیزیم همراه با کود NPK باعث افزایش رشد موسیر می‌شود. مطالعه Al-Barzinji و Naif (۲۰۱٤) نشان داد که رشد رویشی سیر به طور معنی‌داری تحت تأثیر سولفات منیزیم قرار می‌گیرد. بررسی تأثیر منیزیم بر عملکرد و تغذیه پیاز نشان داد که منیزیم تأثیر مثبتی بر عملکرد و کیفیت پیاز دارد (Kleiber *et al.*, 2012). El-Morsy و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که افزایش غلظت محلول‌پاشی منیزیم از ۰/۲ درصد به ۰/٦ درصد منجر به افزایش ارتفاع بوته، تعداد برگ، وزن خشک بوته، نسبت پیازدهی، عملکرد کل و قطر پیاز در گیاه سیر می‌شود.

گوگرد نیز به عنوان پنجمین عنصر پرمصرف برای گیاهان زراعی، در ساختار برخی از اسیدآمینه‌ها وجود دارد و برای بیوسنتز کلروفیل ضروری است. کمبود گوگرد می‌تواند منجر به کاهش تحمل گیاه و انباشت رادیکال‌های آزاد شود (Ghaderi *et al.*, 2017). شناسایی عوامل افزایش‌دهنده متابولیت‌های ثانویه و بهبود کیفیت گیاهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

Idly و Suwandi (۲۰۲۳) نشان دادند که کاربرد گوگرد در کشت شناور به طور قابل‌توجهی بر قطر غده، طول و تعداد برگ و محتوای کلروفیل گیاه موسیر تأثیر دارد. اثر مثبت کود نیتروژن کندرهاشونده بر پایه زئولیت و گوگرد را بر میزان عناصر غذایی خاک، رشد و عملکرد گیاه موسیر نشان داد. گیاهان تغذیه‌شده با این ترکیب کودی به دلیل دسترسی مداوم و متعادل به مواد مغذی رشد بهتری داشتند (Budiono & Rifan, 2021). مطالعه Hasanah و همکاران (۲۰۲۰) بیانگر افزایش ارتفاع گیاه موسیر تحت تأثیر تیمار ۱۵۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار بوده است. در پژوهش دیگر توسط Ewais و همکاران (۲۰۱٦) نشان دادند که پیازهای سیر با غلظت بالاتر گوگرد (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار)، تجمع آلیسین بیشتری پس از برداشت دارند. غلظت بالاتر گوگرد با نیتروژن کمتر (گوگرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و نیتروژون ۹۰ کیلوگرم در هکتار)، پیازهای سفت‌تر و با کیفیت‌تر تولید کرد. Diriba- Shiferaw (۲۰۱۵) افزایش عملکرد و ویژگی‌های عملکردی سیر را در کاربرد هم‌زمان نیتروژن، فسفر و گوگرد گزارش کرد. نتایج پژوهش ملافیلابی و همکاران (۱٤۰۳) نیز حاکی از آن بود که گوگرد باعث افزایش ارزش غذایی و عملکرد گیاه سیر می‌شود.

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف منیزیم و گوگرد بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه موسیر (*Allium hirtifolium*) در شرایط مزرعه‌ای انجام گرفت.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.133]

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر استفاده از کود سولفات منیزیم و گوگرد بنتونیت‌دار بر برخی خصوصیات موفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه دارویی موسیر ایرانی آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در پاییز ۱۴۰۱، با توجه به سازگاری فصل پاییز با زمان کاشت موسیر در مزرعه‌ای واقع در رستمکلا اجرا شد. در این پژوهش از گوگرد بنتونیت‌دار به‌دلیل قابلیت تورم بنتونیت در حضور رطوبت و تسهیل در پخش یکنواخت گوگرد در خاک استفاده شد؛ ویژگی‌ای که منجر به افزایش سطح تماس گوگرد با میکروارگانیسم‌های خاک و در نتیجه تسریع در اکسیداسیون گوگرد و بهبود جذب آن توسط گیاه می‌شود. فاکتور اول، سولفات منیزیم در چهار سطح [صفر، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار (M_0، M_{40}، M_{80} و M_{120})] و فاکتور دوم، گوگرد بنتونیت‌دار در چهار سطح [صفر، ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ کیلوگرم در هکتار(S_0، S_{300}، S_{600} و S_{900})] با چهار تکرار انجام گردید. هدف کاهش pH با توجه به آهکی بودن خاک در ابتدا و قبل از کاشت گیاهان، از خاک سطحی مزرعه (۳۰-۰ سانتی‌متر) جهت تعیین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌برداری شد (جدول ۱).

جهت آماده‌سازی زمین و کاشت موسیر، ۴۸ کرت به اندازه ۳×۳ متر آماده گردید. قبل از کاشت موسیر، تیمارهای کودی در مزرعه اعمال شد. عملیات کوددهی در یک مرحله انجام گردید. در طول دوره رشدونمو گیاه نیز عملیات آبیاری و وجین طبق روش مرسوم در منطقه صورت پذیرفت. آبیاری گیاه در طول رشد از طریق آب باران بوده است. کاشت موسیر در اوایل آبان ۱۴۰۱ انجام و برداشت نیز در اواخر اردیبهشت ۱۴۰۲ انجام شد؛ طول دوره رشد و اعمال تیمارها حدود هفت ماه به‌طول انجامید (تصویر ۱).

در پایان مرحله رشد رویشی، نمونه‌ها به‌صورت تصادفی از هر کرت انتخاب شدند. ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی (ارتفاع بوته، قطر طوقه (collar diameter)، تعداد، طول و عرض پداژه (bulb length and width)، وزن تر و خشک پداژه) و فیتوشیمیایی (فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل، فلاونوئید کل، غلظت منیزیم و گوگرد) اندازه‌گیری شدند. ارتفاع و قطر گیاه با متر، تعداد پداژه‌ها با شمارش، و طول و عرض آن‌ها با کولیس اندازه‌گیری شد. وزن تر پداژه‌های موسیر بلافاصله پس از برداشت، با استفاده از ترازوی دیجیتال آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک و سپس مجدداً با همان ترازوی دیجیتال توزین شدند (Kacar and Inal, 2008).

برای اندازه‌گیری اسید پیرورویک بر اساس روش Anthon و Barrett (۲۰۰۳) انجام شد. برای این منظور، ۱ میلی‌لیتر از عصاره متانولی تر گیاه با ۱ میلی‌لیتر آب‌مقطر و ۱ میلی‌لیتر از محلول DNPH با غلظت ۰/۱۲۵ گرم بر لیتر در HCL ۲ مولار مخلوط و به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب ۳۷ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سپس ۲/۵ میلی‌لیتر NaOH ۰/۶ مولار به نمونه‌ها افزوده شد. مقدار پیرووات با استفاده از منحنی استاندارد تهیه‌شده از غلظت‌های مختلف پیرووات سدیم، در طول‌موج ۴۲۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری گردید.

برای ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی، یک میلی‌لیتر از محلول DPPH با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار با یک میلی‌لیتر از عصاره متانولی گیاه در لوله آزمایش مخلوط شد. پس از گذشت ۱۵ دقیقه نگهداری در تاریکی، جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر به‌وسیله اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری گردید. در نمونه شاهد، تنها محلول DPPH با همان غلظت استفاده شد (Lee *et al.*, 2003). برای اندازه‌گیری فنل کل، ۲۰ میکرولیتر از عصاره متانولی تر گیاه با ۱۰۰ میکرولیتر معرف فولین- سیوکالتیو و ۱/۱۶ میلی‌لیتر آب‌مقطر مخلوط شد. پس از ۵-۸ دقیقه، ۳۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۱ مولار افزوده و محلول به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی و دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد انکوبه شد. جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۷۶۰ نانومتر اندازه‌گیری و محتوای فنل با استفاده از منحنی استاندارد اسید گالیک محاسبه گردید (Singleton *et al.*, 1999).

برای اندازه‌گیری فلاونوئید کل، ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.133]

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل انجام آزمایش

بافت	(pH)	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	درصد اشباع	آهک	ماده آلی	کربن آلی	فسفر	پتاسیم	آهن	روی	مس	منگنز	منیزیم
			(٪)				(ppm)						
Clay	۷/۷٦	۰/٥٤	٥۹	۲۹	۲/۷۷	۱/٦۱	۲۷/۷	۲۳۳	۲۸/۹	۱/۰	۲/۸	۲/٦	۹۸٥



شکل ۱- محل اجرای آزمایش

متانولی با ۱/٥ میلی‌لیتر متانول، ۰/۱ میلی‌لیتر کلرید آلومینیوم ۱۰٪، ۰/۱ میلی‌لیتر پتاسیم استات ۱ مولار و ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد. پس از ۳۰ دقیقه نگهداری در تاریکی، جذب محلول در طول‌موج ٤۱٥ نانومتر اندازه‌گیری شد. نمونه شاهد با متانول خالص تهیه و محاسبه مقدار فلاونوئید با استفاده از منحنی استاندارد کوئرستین انجام گرفت (Singleton *et al.*, 1999).

پس از شستشو، نمونه‌های گیاهی به مدت ٤۸ ساعت در آون ۷۰ درجه خشک و بعد آسیاب شدند. از روش کدورت‌سنجی در مجاورت اسید پرکلریک و آب اکسیژنه استفاده شد. میزان جذب عنصر منیزیم و گوگرد در طول‌موج ٤۲۰ نانومتر در با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد (امامی، ۱۳۷٥).

تجزیه و تحلیل داده‌ها پس از نمونه‌برداری و اندازه‌گیری صفات ذکرشده، توسط نرم‌افزار SAS (ver 9.1) انجام و مقایسه میانگین‌ها نیز به روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری ٥ و ۱ درصد انجام شد. همچنین رسم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel انجام گردید.

نتایج و بحث

صفات مورفوفیزیولوژیک، ارتفاع: بررسی نتایج کود حاوی سولفات منیزیم و گوگرد بر ارتفاع بوته‌های موسیر نشان داد اثر متقابل این دو کود بر افزایش ارتفاع این گیاه در سطح ۱٪ اثر معنی‌دار داشته‌اند (جدول ۲).

بیشترین ارتفاع بوته موسیر (۸۷/۷ سانتی‌متر) از ترکیب کودی ($M_{120}S_{900}$) ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات منیزیم و ۹۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد بوده است. کمترین میزان برای تیمار شاهد (M_0S_0) با ارتفاع ۲۳/۷ سانتی‌متر بود (شکل ۱).

منیزیم به عنوان عنصر کلیدی در سنتز کلروفیل و فرآیند فتوسنتز عمل می‌کند و تحقیقات نشان داده‌اند که افزایش غلظت منیزیم در خاک، عملکرد فتوسنتزی را بهبود بخشیده و در نتیجه منجر به افزایش رشد طولی گیاهان می‌شود (Kasinath *et al.*, 2015). گوگرد نیز در افزایش انتقال مواد جذب‌شده به پداژه‌های موسیر، تشکیل اسیدهای آمینه ضروری (سیستئین، تیامین و متیونین)، تشکیل پروتئین و رشد رویشی این گیاه نقش دارد. این عنصر بخشی از ساختار پروتئین‌هایی نظیر فردوکسین است که در کلروپلاست‌ها حضور دارند و در فرایندهایی مانند انتقال الکترون در فتوسنتز و سنتز کربوهیدرات‌ها نقش دارند. با تشکیل کلروفیل و فراهم شدن شرایط محیطی مطلوب، فرآیند فتوسنتز به خوبی انجام شده و

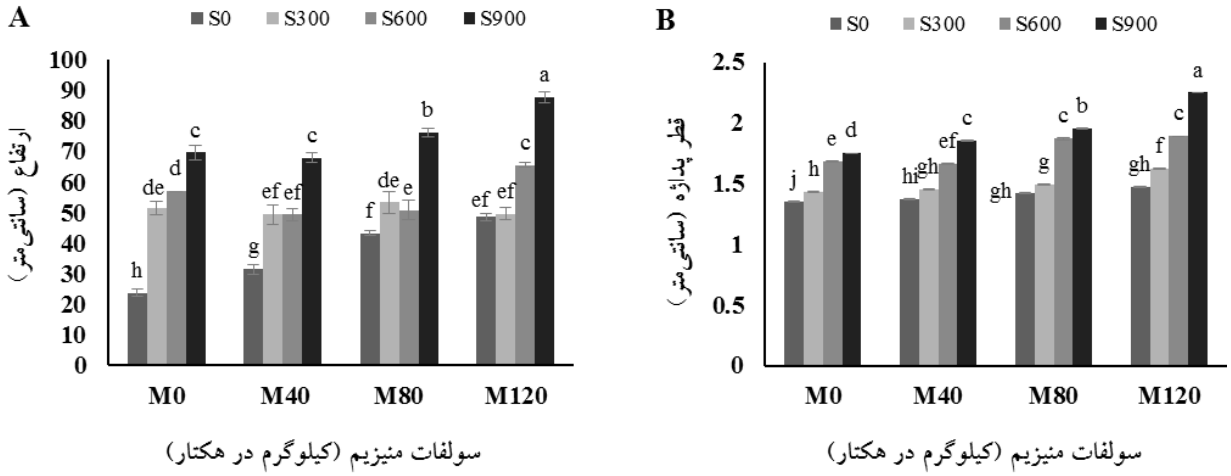
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.133]

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه موسیر تحت تأثیر تیمارهای سولفات منیزیم و گوگرد

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع (سانتی‌متر)	قطر طوقه (میلی‌متر)	تعداد پداژه	طول پداژه (سانتی‌متر)	عرض پداژه (سانتی‌متر)	وزن تر پداژه در بوته (گرم)	وزن خشک پداژه در بوته (گرم)
تکرار	۳	۳۸/۸۴۴^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۲۹۲^{ns}	۰/۴۲۵^{ns}	۰/۵۳۸^{ns}	۳/۴۴۹^{ns}	۳/۲۴۵^{ns}
سولفات منیزیم (A)	۳	۳۸۵۶/۶۴۹**	۰/۹۹۴**	۶/۰۴۲**	۱۷/۳۹۸**	۱۱/۵۲۹**	۸۱/۴۳۷**	۶۵/۳۵۷**
گوگرد (B)	۳	۵۱۸/۰۸۸**	۰/۲۰۲**	۰/۲۰۸^{ns}	۱/۹۸۱**	۱/۸۰۹**	۱۱/۱۷۳**	۵/۳۱۵*
(B) ×(A)	۹	۱۴۲/۹۸۰**	۰/۰۲۲**	۰/۰۵۶^{ns}	۰/۲۴۲^{ns}	۰/۳۴۰^{ns}	۱۸/۷۴۳**	۱۸/۲۳۰**
خطا	۴۵	۱۵/۸۴	۰/۰۰۱	۰/۱۲۵	۰/۲۴۱	۰/۲۱۴	۱/۴۹	۱/۵۳
ضریب تغییرات	-	۲۸/۶	۱۴/۹	۱۸/۶	۱۶/۹	۲۶/۳	۱۵/۹	۳۴/۹

****، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیرمعنی‌دار**



شکل ۱- مقایسه میانگین ارتفاع بوته (A) و قطر غده (B) تحت اثر متقابل سولفات منیزیم و گوگرد

فتوسنتز بهینه و مواد فتوسنتزی به قسمت‌های مورد نیاز گیاه (مانند اندام‌های در حال رشد برای افزایش طول گیاه) منتقل می‌شود (Charoenchai *et al.*, 2018; Fatmawati *et al.*, 2018). مطالعه‌ای توسط Syamsiyah و همکاران (۲۰۲۵) نشان داد که مصرف همزمان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود $MgSO_4$ با ¾ دوز کود NPK استاندارد (۱۸۷/۵ کیلوگرم در هکتار اوره، ۹۷/۵ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات ۲۰٪ و ۴۵ کیلوگرم در هکتار کلرید پتاسیم) منجر به افزایش قابل توجه ارتفاع بوته‌های موسیر شد، به‌طوری‌که میانگین ارتفاع بوته‌ها به حدود ۸۵ سانتی‌متر رسید. در مقایسه با نتایج این پژوهش، تیمار کودی $M_{120}S_{900}$ (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار منیزیم و ۹۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد) بیشترین ارتفاع بوته موسیر (۸۷/۷ سانتی‌متر) را موجب شد، که بیانگر اثر افزایشی بیشتر ترکیب منیزیم و گوگرد نسبت به تیمار $MgSO_4$ به‌تنهایی یا در ترکیب با NPK در پژوهش مذکور است.

Hasanah و همکاران (۲۰۲۱) نشان داند که کاربرد گوگرد به‌صورت سولفات آمونیوم (ZA)، در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد حاوی بیشترین تأثیر را بر طول بوته موسیر در هفته‌های اول پس از کاشت نشان داده است.

قطر غده: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) حاکی از این است که اثر متقابل سولفات منیزیم و گوگرد بر افزایش قطر غده‌های موسیر در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. بر اساس

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: DOI: 10.22034/15.71.133]

شکل ۱، تیمار $M_{120}S_{900}$ با ۲/۲۵ سانتی‌متر، بیشترین قطر را داشته است. تیمار شاهد (M_0S_0) با میزان ۱/۳۵ سانتی‌متر، کمترین میزان قطر را داشت. با افزایش سطح سولفات منیزیم و گوگرد، قطر غده‌ها به‌طور پیوسته افزایش یافت، که نشان‌دهنده نقش مؤثر این عناصر در رشد اندام زیرزمینی موسیر است.

Barzinji و Naif (۲۰۱٤) نشان دادند که رشد رویشی گیاه سیر (*Allium sativum* L.)، تحت تأثیر محلول‌پاشی با سولفات منیزیم و نیترات منیزیم، هر یک با غلظت ۲ درصد (معادل ۱/۹۷ گرم منیزیم در لیتر)، به‌صورت دو نوبت (نخست ٤٥ روز پس از کاشت و بار دوم یک ماه بعد)، باعث بیشترین قطر غده شدند. این یافته بیانگر نقش مؤثر منیزیم، به‌ویژه به‌صورت محلول‌پاشی، در بهبود رشد و افزایش عملکرد سیر است. پژوهش دیگری نشان داد که کاربرد سولفات منیزیم به میزان ٦۰ کیلوگرم در هکتار، بیشترین تأثیر را بر هر قطر غده داشته است (Divyasree *et al*., 2021). استفاده ترکیبی از نیتروژن و گوگرد به‌طور متوسط قطر غده را ٪۱٤/۹٦ افزایش داده است (Ren *et al*., 2024).

تعداد پداژه: بررسی نتایج آنالیز واریانس تعداد پداژه نشان داد که اثر ساده سولفات منیزیم بر تعداد پداژه در بوته در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۲). بر اساس شکل ۲، تیمار M_{120} با میانگین ٤ پداژه، بیشترین مقدار را نشان داد. با این حال، بین تیمارهای M_{120} و M_{80} از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و در یک گروه آماری قرار گرفتند. کمترین تعداد پداژه (۲/٦۹) مربوط به تیمار شاهد (M_0) بود. به‌طورکلی، افزایش میزان سولفات منیزیم موجب افزایش قابل توجه تعداد پداژه موسیر نسبت به تیمار شاهد شده و در تیمار M_{120} این تعداد حدود دو برابر گردید.

نتایج پژوهش Al-Barzinji و Naif (۲۰۱٤) نشان داد که سولفات منیزیم (غلظت منیزیم به‌کار رفته در همه تیمارها ثابت و برابر با ۱/۹۷ گرم منیزیم در لیتر بود که معادل ۲٪ محلول سولفات منیزیم) بر تعداد پداژه سیر اثر مثبتی داشته است. این تأثیر احتمالاً به دلیل بهبود شرایط خاک و افزایش فعالیت میکروبی بوده است که قابلیت جذب عناصر غذایی را افزایش می‌دهد (اکبرپور و همکاران، ۱۳۹۸). همچنین، برخلاف نتایج پژوهش حاضر، تأثیر کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن و ۱۵۰ کیلوگرم مقدار گوگرد در هر فدانیوم، باعث افزایش تعداد پداژه‌های گیاه موسیر شد (Ewais *et al*., 2016). اختلاف نتایج ممکن است به دلیل تفاوت در میزان کاربرد گوگرد، شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک و روش‌های کشت باشد. همچنین احتمال دارد منیزیم به عنوان عنصر محدودکننده اصلی در شرایط آزمایش ما نقش مؤثرتری نسبت به گوگرد داشته باشد. به این ترتیب، تأثیر گوگرد بر تعداد پداژه در این مطالعه غیرقابل مشاهده بوده است.

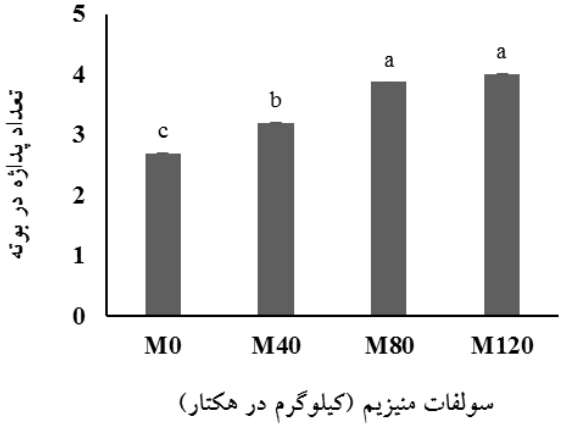
طول و عرض پداژه: بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) صفات طول و عرض پداژه در اثر استفاده از کودهای سولفات منیزیم و گوگرد در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شدند. اثر متقابل سولفات منیزیم و گوگرد بر هیچ‌کدام از صفات مورد بررسی معنی‌دار نگردید. بالاترین طول پداژه برای M_{120}، ۷/٤٦ سانتی‌متر بدست آمده است. کمترین آن نیز مربوط به تیمار شاهد (M_0) با طول ۵/۱۵ سانتی‌متر است. اثر ساده گوگرد بر طول پداژه موسیر نشان می‌دهد که بیشترین طول آن در کاربرد S_{900} معادل، ٦/۷ سانتی‌متر است؛ با تیمار S_{600} نیز در یک سطح آماری قرار گرفته است. تیمار شاهد (S_0) با طول ۵/۹٦ سانتی‌متر کمترین طول را داشته است (شکل ۳).

طول و عرض پداژه‌ها تحت تأثیر عناصر غذایی قرار دارد. منیزیم در بهبود فرآیند فتوسنتز و سنتز پروتئین‌ها و همچنین تحریک تقسیم سلولی نقش دارد (Kasinath *et al*., 2015) و می‌تواند طول و عرض پداژه‌ها را افزایش دهد. کاربرد گوگرد با بهبود وضعیت خاک و توسعه سیستم ریشه‌ای (خادم و همکاران، ۱۳۹۳)، ممکن است دلیلی بر تأثیر مثبت بر صفت مورد نظر داشته باشد.

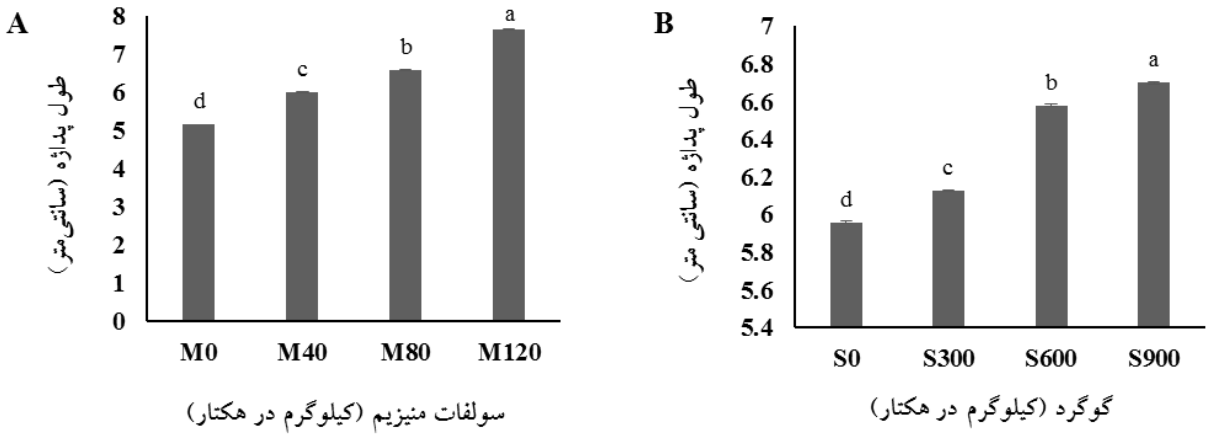
بررسی اثر سولفات منیزیم بر عرض پداژه گیاه موسیر (شکل ٤) نشان داد که با افزایش میزان منیزیم، عرض پداژه نیز افزایش یافت. بیشترین مقدار عرض پداژه (٤/۲۹ سانتی‌متر) در کاربرد تیمار M_{120} و کمترین (۲/۵ سانتی‌متر) در تیمار M_0

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

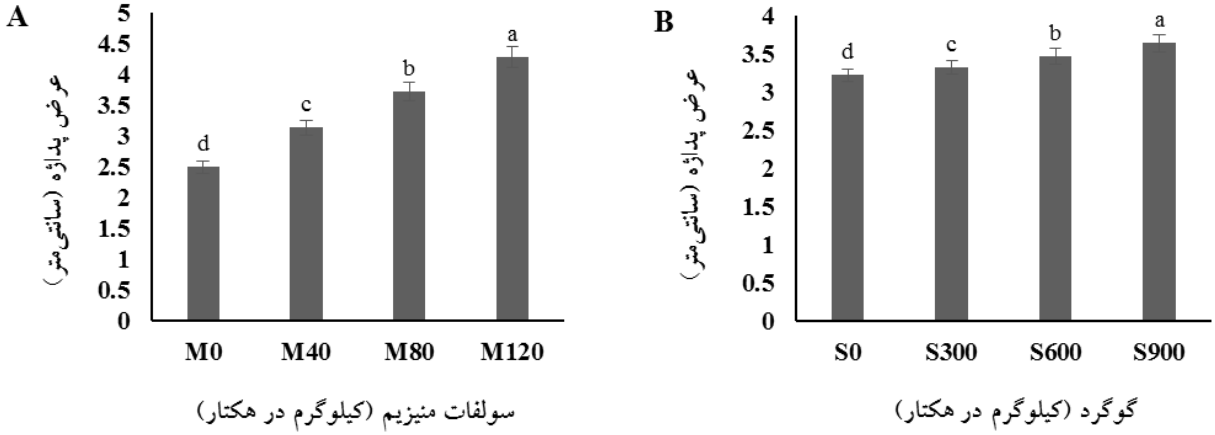
[DOI: DOI: 10.22034/15.71.133]



شکل ۲- مقایسه میانگین تعداد پداژه تحت اثر سولفات منیزیم



شکل ۳- مقایسه میانگین طول پداژه تحت اثر سولفات منیزیم (A) و گوگرد (B)

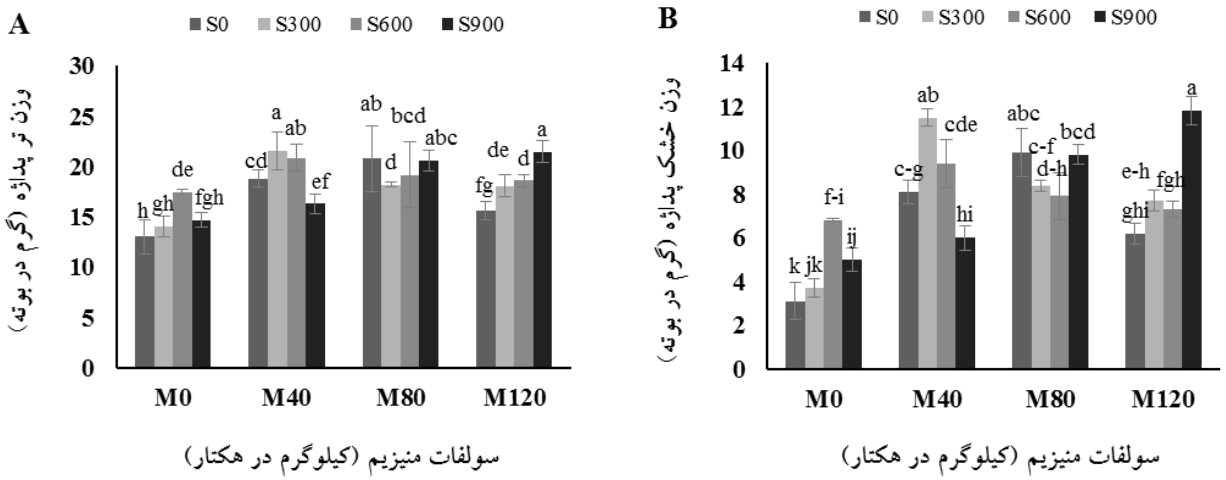


شکل ٤- مقایسه میانگین عرض پداژه تحت اثر سولفات منیزیم (A) و گوگرد (B)

حاصل گردید. اثر ساده گوگرد بر عرض پداژه نشان داد که با کاربرد غلظت‌های بالاتر کود گوگرد بر عرض گیاه افزوده می‌شود. بیشترین و کمترین میزان آن به ترتیب ۳/٦٤ و ۳/۲۲ سانتی‌متر مربوط به S_{900} و S_0 بوده است (شکل ٤).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.133]



شکل ۵- مقایسه میانگین وزن تر (A) و وزن خشک (B) پداژه در بوته تحت اثر متقابل سولفات منیزیم و گوگرد

وزن تر و خشک پداژه: در بررسی صفات فیزیولوژیک وزن تر و خشک پداژه در بوته، مقایسه میانگین اثر متقابل کود سولفات منیزیم و گوگرد در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بوده است (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سولفات منیزیم و گوگرد بر وزن تر موسیر (شکل ۵) نشان داد که بیشترین وزن تر ۲۱/۶ گرم در بوته برای $M_{40}S_{300}$ است. کمترین میزان وزن تر موسیر (۱۳/۰۲ گرم در بوته) مربوط به تیمار M_0S_0 بوده است. براساس شکل ۵، در اثر استفاده از سولفات منیزیم و گوگرد بیشترین وزن خشک گیاه موسیر با مقدار ۱۱/۸ گرم در بوته در تیمار $M_{120}S_{900}$ برای گیاه موسیر بدست آمده است. کمترین وزن خشک برای تیمار شاهد (M_0S_0) با وزن ۳/۱ گرم در بوته بود.

کودهای منیزیم و گوگرد تأثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک گیاه موسیر دارند، زیرا این عناصر نقش کلیدی در فرآیندهای فیزیولوژیکی و تغذیه‌ای گیاه ایفا می‌کنند. منیزیم به‌عنوان یک عنصر ضروری در ساختار کلروفیل و فرآیند فتوسنتز عمل می‌کند و باعث افزایش تولید انرژی و رشد گیاه می‌شود. همچنین، گوگرد در سنتز پروتئین‌ها و آنزیم‌ها نقش دارد و به بهبود کیفیت و رشد گیاه کمک می‌کند (El-Naggar, 2009; Ejieji and Adeniran, 2010). پیاز اصلی موسیر به‌عنوان بخش اقتصادی و ذخیره‌ای گیاه، به‌طور مستقیم تحت تأثیر تغذیه منیزیم قرار دارد. منیزیم با بهبود انتقال و ذخیره‌سازی کربوهیدرات‌ها در این بخش، موجب افزایش اندازه و وزن آن می‌شود. این اثر با پداژه‌ها که عمدتاً نقش تکثیر دارند متفاوت است، هر چند تغذیه مناسب می‌تواند بر هر دو بخش اثرگذار باشد، نقش منیزیم در پیاز اصلی از نظر اقتصادی حائز اهمیت بیشتری است (Marschner, 2012; Cakmak and Yazici, 2010). گوگرد جذب عناصر K، P، N و S را توسط گیاه افزایش می‌دهد که می‌تواند منجر به افزایش سنتز و انتقال مواد به پیازها و در نتیجه افزایش عملکرد کل و وزن گیاه سیر شود (Shah *et al*., 2013). در نتایج به‌دست‌آمده، مشاهده شد که در سطوح پایین منیزیم، افزایش مصرف گوگرد منجر به کاهش وزن تر و خشک گیاه شده است. یکی از دلایل اصلی این کاهش، رقابت یونی بین یون منیزیم (Mg^{2+}) و یون سولفات (SO_4^{2-}) در جذب از طریق ریشه است. هنگامی که منیزیم در محیط محدود باشد، افزایش گوگرد می‌تواند منجر به کاهش جذب منیزیم شود (Marschner, 2012) و با توجه به نقش حیاتی منیزیم در ساختار کلروفیل و فعال‌سازی آنزیم‌ها، کاهش آن می‌تواند سبب کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش تجمع ماده شود. محلول‌پاشی سیر با $MgSO_4$ و $Mg(NO_3)_2$ (غلظت منیزیم در همه تیمارها برابر با ۱/۹۷ گرم منیزیم در لیتر) تأثیر معنی‌دار بر وزن گیاه داشته است (Al-Barzinji and Naif, 2014). بررسی اثر کود نیتروژن کندرهاشونده بر پایه زئولیت و گوگرد بر میزان وزن پیاز موسیر تازه نشان داد که

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: DOI: 10.22034/15.71.133]

این کود باعث افزایش وزن پیاز می‌شود، اما کاربرد ۷۵ کیلوگرم گوگرد در هکتار، وزن تر و خشک پیازها را کاهش داد (Budiono and Rif an, 2021).

صفات فیتوشیمیایی، پیرووات: بررسی میزان پیرووات در گیاه موسیر نشان داد که اثر متقابل ترکیبات کودی در سطح ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۳). با استفاده از کود $M_{120}S_{300}$، بیشترین میزان پیرووات (۱۵۱/۸ میکرومول بر گرم وزن تر) حاصل شد. پایین‌ترین مقدار پیرووات (۱۰۳/۷ میکرومول بر گرم وزن تر) از $M_{80}S_{600}$ بدست آمد (جدول ٤).

پیرووات یکی از متابولیت‌های کلیدی در گیاهان است. این مولکول به‌عنوان مرکز متابولیکی، مسیر گلیکولیز را به سایر مسیرهای حیاتی نظیر چرخه کربس، سنتز اسیدهای آمینه، اسیدهای چرب و ترکیبات ثانویه متصل می‌سازد. پیرووات برای تولید انرژی ضروری بوده و به‌عنوان پیش‌ماده‌ای در فرایندهای زیست‌سنتزی، در رشد گیاه، پاسخ به تنش‌های محیطی و تنظیم فعالیت‌های متابولیکی نقش‌آفرین است (Multhoff *et al*., 2024). در گیاهان خانواده آلیاسه از جمله موسیر، پیرووات تأثیر مستقیمی بر خواص بیولوژیکی و کیفیت محصول دارد. مطالعات نشان داده‌اند که بین سطح پیرووات و میزان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و ارگانوسولفور در ژنوتیپ‌های مختلف موسیر ارتباط مثبتی وجود دارد، که این موضوع نشان‌دهنده نقش پیرووات در بهبود خواص دارویی و ارگانولپتیک موسیر است (Avgeri *et al*., 2020). همچنین، پیرووات به‌عنوان پیش‌ساز در سنتز ترکیبات گوگردی مهم، از جمله سولفوکسیدها، در کیفیت طعم و خاصیت آنتی‌اکسیدانی این گیاه تأثیرگذار است (Lancaster *et al*., 2000). منیزیم به‌عنوان یک کوفاکتور برای بسیاری از آنزیم‌های مرتبط با متابولیسم کربوهیدرات‌ها و انرژی عمل می‌کند. این عنصر به طور مستقیم و غیرمستقیم بر میزان پیرووات تأثیر می‌گذارد (Cakmak and Yazici, 2010). گوگرد در ساختار برخی آنزیم‌های کلیدی مانند پیرووات کیناز (Pyruvate kinase) نقش دارد که در تبدیل فسفوآنول پیرووات (PEP) به پیرووات در گلیکولیز دخیل است (Hawkesford and De kok, 2006).

مطالعه Channagoudra و همکاران (۲۰۰۹) نیز مؤید آن است که بهبود تغذیه‌ای، به‌ویژه با گوگرد (٦۰ کیلوگرم در هکتار)، بیشترین میزان اسید پیرووبک پیاز را منجر شده است.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی: براساس نتایج تجزیه واریانس بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی (جدول ۳)، اثر متقابل تیمارهای مورد مطالعه در سطح ۱٪ معنی‌دار شده است.

جدول ٤ نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کود سولفات منیزیم و گوگرد بر درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی موسیر را نشان می‌دهد. بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی (٦۷/۳ درصد) با کاربرد توأم تیمار $M_{80}S_{600}$ بدست آمد که نسبت به شاهد (M_0S_0) دو برابر افزایش داشته است. این نتایج حاکی از نقش هم‌افزای این دو عنصر در تقویت سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی گیاه موسیر است. در مقابل، کمترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار $M_{80}S_0$ (۲٤/۱ درصد) مشاهده شد، که نشان‌دهنده نقش حیاتی گوگرد در سنتز ترکیبات آنتی‌اکسیدانی وابسته به گوگرد است. گوگرد در گیاهان خانواده آلیوم (مانند موسیر) به تولید ترکیباتی مشتقات گوگردی کمک می‌کند که فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالایی دارند. این ترکیبات از طریق کاهش رادیکال‌های آزاد و محافظت از سلول‌ها در برابر استرس اکسیداتیو عمل می‌کنند (Higuchi *et al*., 2003; Rose *et al*., 2005). علاوه‌براین، گوگرد به‌عنوان یک عنصر ضروری در سنتز گلوتاتیون، یکی از مهم‌ترین آنتی‌اکسیدان‌های گیاهی، نقش دارد. در غیاب گوگرد، سنتز این ترکیبات کاهش یافته و پتانسیل دفاعی گیاه در برابر استرس‌های محیطی کاهش می‌یابد (Nwachukwu *et al*., 2012; Najeebullah *et al*., 2021). مطالعات بر روی گیاهان مشابه مانند سیر و پیاز نیز نشان داده‌اند که ترکیبات گوگردی نقش کلیدی در افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و بهبود مقاومت گیاهان در برابر شرایط نامساعد دارند (Asemani *et al*., 2019; Nishimura *et al*., 2006). براساس نتایج امیرخانی (امیرخانی و همکاران، ۱٤۰۲)، تیمار کود گوگردی می‌تواند باعث افزایش محتوای مواد آنتی‌اکسیدانی موسیر شود.

منیزیم به‌عنوان یک عنصر ضروری، در فعال‌سازی آنزیم‌های کلیدی نظیر سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و کاتالاز

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.133]

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات فیتوشیمیایی گیاه موسیر تحت تأثیر تیمار سولفات منیزیم و گوگرد

منابع تغییرات	درجه آزادی	پیرووات	فعالیت آنتی‌اکسیدانی	فنل	فلاونوئید
تکرار	۳	۱۰۱/۴۸۴^{ns}	۳۵/۹۷۹^{ns}	۰/۰۱۳^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}
سولفات منیزیم	۳	۹۴۶/۲۶۶**	۲۴۶۸/۴۲۵**	۰/۹۵۳**	۰/۰۰۹**
گوگرد	۳	۱۶۸۱/۴۷۴**	۲۰۱/۵۹۹**	۰/۳۶۴**	۰/۰۰۶**
سولفات منیزیم × گوگرد	۹	۴۹۹/۵۳۰**	۲۹۳/۷۷۶**	۰/۶۸۰**	۰/۰۱۳**
خطا	۴۵	۶۱/۴۵۷	۱۶/۸۴۱	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۲	۲۵/۱	۲۶/۴	۲۸/۱

****، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیرمعنی‌دار**

جدول ۴- مقایسه میانگین ویژگی‌های فیتوشیمیایی تحت اثر متقابل تیمار سولفات منیزیم و گوگرد

سولفات منیزیم (کیلوگرم در هکتار)	گوگرد	پیرووات (میکرومول بر گرم وزن تر)	فعالیت آنتی‌اکسیدانی (درصد)	فنل (میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم وزن تر)	فلاونوئید (میلی‌گرم کوئرسیتین بر گرم وزن تر)
صفر	صفر	۱۳۱/۱^{gh} ±۸/۳	۳۳/۴^{g} ± ۰/۸۱	۰/۸۷۷^{i} ± ۰/۰۲	۰/۰۹۳^{h} ± ۰/۰۰۲
	۳۰۰	۱۲۰^{fg} ± ۳/۹	۳۳/۶^{g} ± ۱/۷	۰/۹۵۷^{i} ± ۰/۰۳	۰/۲۷۰^{a} ± ۰/۰۱
	۶۰۰	۱۲۸/۷^{def} ± ۵/۸	۶۶/۲^{a} ± ۲/۱	۱/۶۶^{ef} ± ۰/۰۶	۰/۲۵۹^{ab} ± ۰/۰۰۵
	۹۰۰	۱۳۹/۳^{bcd} ± ۵/۹	۶۷/۲^{a} ± ۱/۹	۱/۹۶^{bc} ± ۰/۰۳	۰/۱۹۷^{e} ± ۰/۰۱
۴۰	صفر	۱۲۰^{fg} ± ۲۱/۹	۴۳/۱^{f} ± ۳/۱	۰/۹۴۵^{i} ± ۰/۰۴	۰/۱۶۳^{f} ± ۰/۰۱
	۳۰۰	۱۴۵/۸^{abc} ± ۲۱/۲	۵۶/۴^{de} ± ۱/۵	۱/۹۳^{bc} ± ۰/۰۳	۰/۱۴۳^{fg} ± ۰/۰۰۳
	۶۰۰	۱۳۶/۸^{cde} ± ۹/۸	۵۷/۳^{de} ± ۱/۱	۲/۲۷^{a} ± ۰/۰۹	۰/۱۲۹^{g} ± ۰/۰۱
	۹۰۰	۱۳۰^{def} ± ۱۱/۷	۶۱/۳$^{a-d}$ ± ۰/۷۲	۱/۶۵^{ef} ± ۰/۰۳	۰/۲۱۵^{de} ± ۰/۰۰۵
۸۰	صفر	۱۲۴/۳^{efg} ± ۷/۱	۲۴/۱^{h} ± ۱/۴	۱/۸۶^{cd} ± ۰/۰۵	۰/۱۴۶^{fg} ± ۰/۰۰۲
	۳۰۰	۱۳۶/۸^{cde} ± ۱۴/۶	۵۹/۶$^{b-e}$ ± ۱/۳	۱/۴۵^{gh} ± ۰/۰۲	۰/۱۴۰^{fg} ±۰/۰۰۷
	۶۰۰	۱۰۳/۷^{h} ± ۷/۷	۶۷/۳^{a} ± ۲/۲	۱/۲۹^{h} ± ۰/۰۴	۰/۲۴۴^{bc} ± ۰/۰۰۴
	۹۰۰	۱۱۳/۷^{gh} ± ۱۱/۷	۵۴/۱^{e} ± ۲/۹	۱/۷۱^{de} ± ۰/۰۴	۰/۲۱۰^{e} ± ۰/۰۰۳
۱۲۰	صفر	۱۲۴/۳^{efg} ± ۴/۸	۴۵/۷^{e} ± ۲/۶	۱/۳۶^{gh} ± ۰/۰۲	۰/۲۳۳^{cd} ± ۰/۰۱
	۳۰۰	۱۵۱/۸^{e} ± ۵/۶	۵۸/۸^{cde} ± ۳/۴	۱/۵۱^{fg} ± ۰/۰۴	۰/۱۵۹^{f} ± ۰/۰۰۳
	۶۰۰	۱۵۰^{ab} ± ۳/۸	۶۳/۹^{abc} ± ۱/۷	۱/۴۷^{g} ± ۰/۰۵	۰/۱۶۳^{f} ± ۰/۰۰۲
	۹۰۰	۱۴۷/۵^{abc} ± ۸/۷	۶۵/۵^{ab} ± ۲/۳	۲/۰۴^{h} ± ۰/۰۵	۰/۲۳۸^{bc} ± ۰/۰۰۴

در هر ستون اعدادی با حرف مشابه تفاوت معنی‌داری با هم در سطح احتمال ۵٪ آزمون دانکن ندارند.

(CAT) نقش دارد که از آنزیم‌های اصلی در خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد و کاهش استرس اکسیداتیو محسوب می‌شوند (Hfaiedh *et al.*, 2013; Kleiber *et al.*, 2012). این اثر در گیاهان خانواده آلیوم نیز به‌خوبی مشاهده شده است؛ به‌طوری‌که در پیاز (*Allium cepa* L.)، کاربرد منیزیم منجر به افزایش کیفیت و تراکم ترکیبات آنتی‌اکسیدانی گردیده است (Kleiber *et al.*, 2012). محلول‌پاشی منیزیم می‌تواند تبادلات گازی و فعالیت آنزیم روبیسکو را در گیاهان سویا و ذرت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.133]

مستقر در خاک‌های بدون محدودیت منیزیم بهبود بخشیده و متابولیسم آنتی‌اکسیدان را نیز افزایش دهد (Rodrigues *et al.*, 2021). در مطالعه حاضر نیز، مشاهده افزایش چشمگیر فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار $M_{80}S_{600}$ را می‌توان به نقش منیزیم در بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و گوگرد در سنتز ترکیبات گوگردی با خاصیت آنتی‌اکسیدانی مانند آلیسین، گلوتاتیون و سیستئین نسبت داد. گوگرد در کنار منیزیم موجب تقویت هم‌زمان دو مسیر مهم: یکی آنزیمی و دیگری غیرآنزیمی شده است، که در نهایت منجر به افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل گیاه گردیده است.

فنل و فلاونوئید: تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد (جدول ۳) که اثر متقابل تیمارها تأثیر معنی‌داری بر میزان فنل و فلاونوئید موسیر در سطح احتمال ۱٪ داشته است.

کود $M_{40}S_{600}$ بالاترین میزان فنل (۲/۲۷ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم وزن تر) را در گیاه موسیر نشان می‌دهد (جدول ٤). کمترین میزان فنل (۰/۸۷۷ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم وزن تر) را M_0S_S نشان داد. M_0S_{300} و $M_{40}S_0$ به ترتیب ۰/۹۵۷ و ۰/۹٤٥ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم وزن تر فنل را بیان کردند. این سطوح از ترکیبات کودی از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند.

براساس جدول ٤، بالاترین میزان فلاونوئید ۰/۲۷۰ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم وزن تر، با کاربرد M_0S_{300} بدست آمده است. کمترین آن نیز در عدم M_0S_0 دارای ۰/۰۹۳ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم وزن تر فلاونوئید بوده است.

نقش منیزیم در سنتز ترکیبات فنلی را می‌توان به عملکرد آن به‌عنوان کوفاکتور بیش از ۳۰۰ آنزیم نسبت داد، به‌ویژه آنزیم‌هایی که در مسیر فنل‌پروپانوئید دخیل هستند. این مسیر بیوشیمیایی مسئول تولید ترکیبات فنلی نظیر فلاونوئیدها، تانن‌ها و لیگنین‌ها است (Verma and Shukla, 2015). منیزیم همچنین از طریق بهبود فتوسنتز و تأمین ATP برای واکنش‌های انرژی‌بر، بستر مناسب برای سنتز ترکیبات ثانویه را فراهم می‌کند (Cakmak and Kirkby, 2008). گوگرد نقش کلیدی در سنتز اسیدهای آمینه گوگرددار مانند سیستئین و متیونین دارد که خود پیش‌سازهای گلوتاتیون هستند. این ترکیبات در تنظیم وضعیت اکسیداتیو و مسیرهای بیوسنتزی نقش دارند. مطالعات نشان داده‌اند که سیستئین و متیونین به طور مستقیم در سنتز گلوتاتیون دخیل هستند و کمبود گوگرد می‌تواند بر این فرآیند تأثیر بگذارد (Brosnan and Brosnan, 2006; Atmaca, 2004). در مطالعه‌ای فرآیندهای جذب، کاهش و هم‌جوشی سولفات به سیستئین به‌عنوان مراحل محدودکننده در سنتز گلوتاتیون معرفی شده‌اند. این پژوهش تأکید می‌کند که تأمین گوگرد کافی برای افزایش سطح سیستئین و در نتیجه گلوتاتیون ضروری است (Maruyama-Nakashita and Ohkama-Ohtsu, 2017).

تیمار ترکیبی بیوچار و نانوذرات اکسید منیزیم، اثرات اکسیداتیو ناشی از تنش شوری را در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) کاهش داده و موجب افزایش ۱۱٦ درصدی فلاونوئید آن نسبت به شاهد گردید (حقانی‌نیا و همکاران، ۱٤۰۳). پژوهش دعائی و همکاران (۱۳۹۷) و حبیب‌زاده و اصغری (۱۳۹۷) از جمله تحقیقاتی است که به بررسی میزان گوگرد بر کاسنی (*Cichorium pumilum* Jacq) و زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش‌ها حاکی از آن است که گوگرد سبب افزایش میزان فنل و فلاونوئید می‌شود. پژوهش اکبرپور و همکاران (۱۳۹۸) نشان داد که بیشترین میزان فنل و فلاونوئید بر گیاه سیر در تیماری مشاهده شده است که بیشترین میزان گوگرد و سیلیسیوم در آن استفاده شده بود.

غلظت منیزیم و گوگرد: مطابق تجزیه واریانس (جدول ۵)، اثر متقابل سولفات منیزیم و گوگرد بر میزان غلظت منیزیم و گوگرد در پداژه گیاه موسیر در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شده است. بر اساس نتایج مقایسه میانگین (شکل ٦) مقدار عنصر منیزیم در تیمار $M_{120}S_{900}$ به بیشترین مقدار خود (۰/۵۸ درصد) رسید که نسبت به سایر تیمارهای دیگر شرایط بهتری داشته است. کمترین مقدار منیزیم موجود در گیاه موسیر (۰/۲۱ درصد) از تیمار M_0S_0 به دست آمد. بالاترین میزان گوگرد

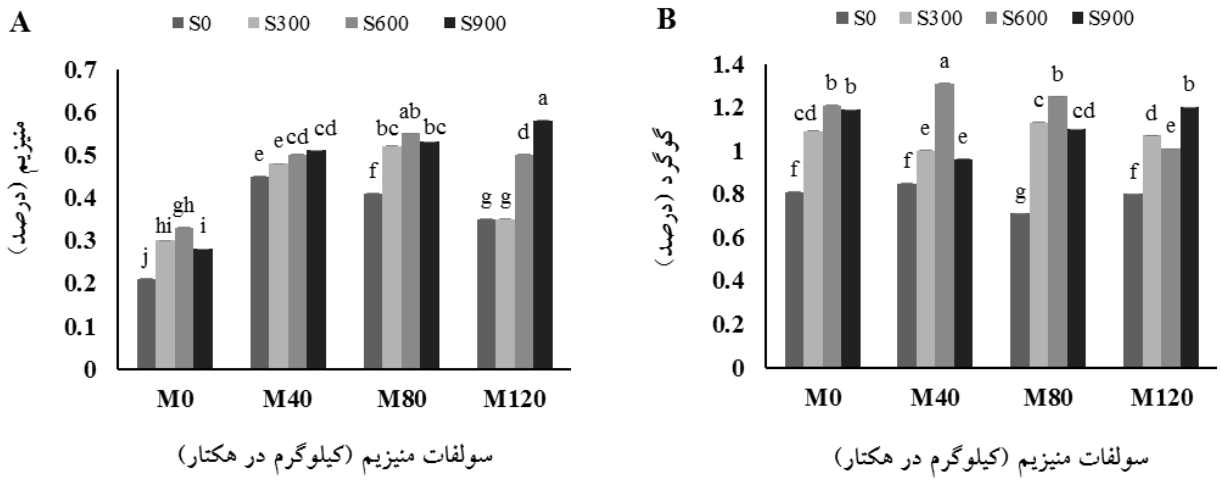
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.133]

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) منیزیم و گوگرد در پداژه گیاه موسیر تحت تأثیر تیمار سولفات منیزیم و گوگرد

منابع تغییرات	درجه آزادی	منیزیم	گوگرد
تکرار	۳	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}
سولفات منیزیم	۳	۰/۰٤۹**	۰/٤۸٦**
گوگرد	۳	۰/۱٦۷**	۰/۰۱۰**
سولفات منیزیم × گوگرد	۹	۰/۰۱۰**	۰/۰٤۵**
خطا	٤۵	۰/۰۰۱	/۰۰۱
ضریب تغییرات (٪)	-	۲۵/٦	۱٦/۸

****، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیرمعنی‌دار**



شکل ٦- مقایسه میانگین غلظت منیزیم (A) و گوگرد (B) در پداژه موسیر تحت اثر متقابل سولفات منیزیم و گوگرد

موسیر ۱/۳۱ درصد بوده است. در اثر کاربرد $M_{40}S_{600}$ حاصل گردید. کمترین آن با $M_{80}S_0$ با میزان ۰/۷۱ درصد بدست آمده است.

براساس شکل A ٦، در تیمار M_0S_{900}، علی‌رغم مصرف حداکثری گوگرد، به دلیل فقدان منیزیم در خاک، منابع منیزیم برای جذب گیاه بسیار محدود بوده‌اند. علاوه‌براین، کاربرد گوگرد در این شرایط ممکن است منجر به افزایش اسیدیته خاک شده باشد که به نوبه خود باعث کاهش فراهمی منیزیم و افزایش رقابت جذبی با سایر کاتیون‌ها (نظیر K^+ و Ca^{2+}) شده است (Barber, 1995; Grzebisz *et al.*, 2022). این موضوع می‌تواند دلیل کاهش محسوس غلظت منیزیم در گیاه در این تیمار باشد. در مقابل، در تیمار $M_{120}S_{900}$، منیزیم به میزان کافی در اختیار گیاه قرار داشته و کاربرد گوگرد، به‌ویژه در حضور منیزیم فراوان، احتمالاً از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های وابسته به منیزیم یا بهبود تحرک عنصر در گیاه باعث افزایش جذب و تجمع منیزیم در بافت‌های گیاهی شده است (Metson, 1947). همچنین در این شرایط، اثرات اسیدی گوگرد خنثی شده و رقابت منفی جذب کاهش یافته است (Dash and Ghosh, 2012).

خانواده آلیاسه به دلیل تولید ترکیبات گوگردی مانند آلیسین که مسئول طعم و خواص ضدمیکروبی آنها هستند، شناخته می‌شوند. منیزیم در سنتز این ترکیبات نقش دارد، زیرا در فعال‌سازی آنزیم‌های مرتبط با متابولیسم گوگرد شرکت می‌کند (Jones *et al.*, 2004).

خانواده آلیاسه گوگرد دوست بوده و علاوه بر تجمع این عنصر به میزان زیاد، به تغذیه گوگردی نیز پاسخ می‌دهند

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: DOI: 10.22034/15.71.133]

(اکبرپور و همکاران، ۱۳۹۸). Davoodi و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی تأثیر کود گوگرد و کود بیولوژیک تیوباسیلوس بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام سیر گزارش کردند که با افزایش مصرف کود گوگرد، درصد گوگرد سیر افزایش یافت. میزان عناصر موجود در پیاز سیر در اثر کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس نسبت به شاهد افزایش قابل توجهی داشته است (Sabbagh *et al*., 2014).

نتیجه‌گیری

اثر متقابل مصرف سولفات منیزیم و گوگرد بر صفات ارتفاع بوته، قطر طوقه، وزن تر و خشک بوته، پیرووات، آنتی‌اکسیدان، فنل، فلاونوئید و میزان عناصر گوگرد و منیزیم در سطح ۱ درصد معنی‌دار شدند. همچنین اثر ساده منیزیم در سطح ۱ درصد برای تعداد پداژه، طول و عرض پداژه و وزن تر و خشک بوته موسیر معنی‌دار شده است. اثر کاربرد گوگرد در گیاه موسیر تنها در طول و عرض پداژه در سطح ٪۱ معنی‌دار است.

بیشترین ارتفاع (۸۷/۷ سانتی‌متر)، قطر طوقه (۲/۲۵ سانتی‌متر)، وزن تر و خشک (۲۱/۶ و ۱۱/۸ گرم در بوته) و میزان منیزیم (۰/۵۸ درصد) در کاربرد $M_{120}S_{900}$ بدست آمد. همچنین میزان این صفات در M_0S_0 (تیمار شاهد) حاصل شد. بالاترین میزان آنتی‌اکسیدان (۶۷/۳ درصد) و گوگرد (۱/۳۱ درصد) در گیاه موسیر در اثر کاربرد کود $M_{80}S_{300}$ بوده است. کمترین آن‌ها در اثر کود $M_{80}S_0$ می‌باشد.

بیشترین فنل در کاربرد $M_{40}S6_{00}$، ۲/۲۷ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم وزن تر بود. همچنین فلاونوئید نیز با M_0S_{300} به مقدار ۰/۲۷۰ میلی‌گرم کوئرسیتین بر گرم وزن تر رسیده است.

در بررسی اثر سولفات منیزیم، بیشترین تعداد پداژه (۴ عدد)، طول (۷/۴۶ سانتی‌متر) و عرض پداژه (۶/۷ سانتی‌متر) در کاربرد M_{120} بوده است. همچنین نتایج اثر ساده گوگرد بر طول و عرض پداژه در کاربرد S_{900}، بالاترین مقادیر را داشته‌اند.

به‌طورکلی، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که کاربرد توأم منیزیم و گوگرد می‌تواند به‌طور معناداری بر بهبود صفات مورفوفیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و تغذیه‌ای گیاه موسیر تأثیر بگذارد. تعادل بین این دو عنصر در افزایش عملکرد، کیفیت و غلظت ترکیبات مفید در گیاه موسیر نقش کلیدی دارد. بنابراین، مدیریت بهینه کودهای حاوی منیزیم و گوگرد می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مؤثر در افزایش بهره‌وری کشت موسیر مورد توجه قرار گیرد.

منابع

اکبرپور، وحید، قاسمی، کامران، و محمدی ازنی، مهدی (۱۳۹۸). بررسی تأثیر گوگرد و سیلیسیوم بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه دارویی سیر. *پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۲۶(٤)، ۲۸۱-۲۶۳. https://doi.org/10.22069/jopp.2019.16626.2519

امامی، عاکفه (۱۳۷۵) روش‌های تجزیه گیاه. جلد اول، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران.

امیرخانی، راضیه، آروئی، حسین، و قاسمی پیربلوطی، عبدالله (۱٤۰۲). تأثیر کاربرد کودهای شیمیایی، آلی و زیستی بر عملکرد و صفات بیوشیمیایی موسیر ایرانی (*Allium hirtifulium*). *بوم‌شناسی کشاورزی*، *۱۵*(۱)، ٤۹-۳۱. https://doi.org/10.22067/agry.2021.69445.1030

حبیب‌زاده، فرهاد، و اصغری، بهور (۱۳۹۷). بررسی اثر کشت مخلوط و کودهای شیمیایی بر میزان اسانس، محتوای فنل و فلاونوئید و برخی خواص زیستی گیاه دارویی .*Hyssopus officinalis* L. *اکوفیتوشیمی گیاهان دارویی*، ٦(۳)، ۱۰۹-۹٦. https://doi.org/10.30495/ejmp.2018.694519

حقانی‌نیا، محمد، نجفی‌فر، علی، سلیمانی، فریدون، میرزایی، امیر، و جوانمرد، عبدالله (۱٤۰۳). اثر بیوچار و نانوذرات اکسید منیزیم بر کیفیت روغن و ویژگی‌های بیوشیمیایی گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط تنش شوری. *تولید و ژنتیک گیاهی*.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.133]

doi: 10.22034/plant.2024.142398.1132

خادم، الهیار، گلچین، احمد، و زارع، اسماعیل (۱۳۹۳). تأثیر کودهای دامی و گوگرد بر میزان جذب عناصر غذایی توسط ذرت (*Zea mays*). *پژوهش‌های کاربردی زراعی*، *۲۷* (۱۰۳)، ۱۱-۲. https://doi.org/10.22092/aj.2014.101198

دعائی، فریما، رضوانی‌مقدم، پرویز، قربانی، رضا، و بالندری، ا (۱۳۹۷). تأثیر کاربرد کودهای آلی و بیولوژیک بر عملکرد زیست‌توده و مقدار پلی‌فنول‌های برگ گیاه کاسنی پاکوتاه (*Cichorium pumilum* Jacq). *بوم‌شناسی کشاورزی*، ۹(٤)، ۹۲۱-۹۱۰. https://doi.org/10.22067/jag.v9i4.22651.

ملافیلابی، عبدالله، خرمدل، سعید، و شوریده، حسن (۱٤۰۳). تأثیر کودهای نیتروژنه و نسبت‌های مختلف خاک‌پوش بر عملکرد و اجزای عملکرد سیر (*Allium sativum*). *اگرواکولوژی*، ٤(٤)، ۳۲٦-۳۱٦.

Al-Barzinji, I. M, & Naif, A. S. (2014). Effect of magnesium salts on growth and production of garlic (*Allium sativum* L.). *ARO-The Scientific Journal of Koya University*, *2*(1), 1-5. https://doi.org/10.14500/aro.10038

Anthon, G. E, & Barrett, D. M. (2003). Modified method for the determination of pyruvic acid with dinitrophenylhydrazine in the assessment of onion pungency. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *83*(12), 1210-1213. https://doi.org/10.1002/jsfa.1525

Asemani, Y., Zamani, N., Bayat, M., & Amirghofran, Z. (2019). Allium vegetables for possible future of cancer treatment. *Phytotherapy Research*, *33*(12), 3019-3039. https://doi.org/10.1002/ptr.6490

Atmaca, G. (2004). Antioxidant effects of sulfur-containing amino acids. *Yonsei Medical Journal*, *45*(5), 776-788. https://doi.org/10.3349/YMJ.2004.45.5.776

Avgeri, I., Zeliou, K., Petropoulos, S. A., Bebeli, P. J., Papasotiropoulos, V., & Lamari, F. N. (2020). Variability in bulb organosulfur compounds, sugars, phenolics, and pyruvate among greek garlic genotypes: Association with antioxidant properties. *Antioxidants*, *9*(10), 967. https://doi.org/10.3390/antiox9100967

Barber, S. A. (1995). Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach. John Wiley and Sons.

Brosnan, J. T, & Brosnan, M. E. (2006). The sulfur-containing amino acids: An overview. *The Journal of Nutrition*, *136*(6), 1636S-1640S. https://doi.org/10.1093/jn/136.6.1636S

Budiono, M. N, & Rifan, M. (2021). The effects of zeolite-based slow-release nitrogen fertilizer and sulfur on the dynamics of N, P, K, and S soil nutrients, growth and yield of shallot (*Allium cepa* L.). In 2nd and 3rd International Conference on Food Security Innovation, 288-292. https://doi.org/10.2991/absr.k.210304.055

Cakmak, I, & Yazici, A. M. (2010). Magnesium: A forgotten element in crop production. *Better Crops*, *94*(2), 23-25.

Cakmak, I, & Kirkby, E. A. (2008). Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. *Physiologia Plantarum*, *133*(4), 692-704.

Channagoudra, R. F., Prabhudeva, A., & Kamble, A. S. (2009). Response of onion (*Allium cepa* L.) to different levels of irrigation and sulphur in alfisols of northern transitional tract of Karnataka. *The Asian Journal of Horticulture*, *4*(1), 152-155.

Charoenchai, L., Luprasong, C., & Meksuriyen, D. (2018). Characterization of some organosulfur compounds in shallot bulbs. *Turkish Journal of Plants Science*, *42*, 9-14.

Dash, N. R, & Ghosh, G. K. (2012). Efficacy of gypsum and magnesium sulfate as sources of sulfur to rapeseed in lateritic soils. *Journal of Plant Nutrition*, *35*(14), 2156-2166. https://doi.org/10.1080/01904167.2012.724495

Davoodi, M. R., Nakhzari Moghaddam, A., Qolizadeh Pirdashti, A. A., & Abbasian, A. (2014). The effect of using sulfur fertilizer and thiobacillus on some traits of local garlic in Sari. The 1st International Congress and the Thirteenth National Congress of Agronomy and Plant Breeding and the Third Conference on Seed Science and Technology.

Diriba-Shiferaw, G., Nigussie-Dechassa, R., Woldetsadik, K., Tabor, G., & Sharma, J. J. (2015). Effect of nitrogen, phosphorus, and sulphur fertilizers on growth yield, and economic returns of garlic (*Allium sativum* L.). *Science, Technology and Arts Research Journal*, *4*(2), 10-22.

Divyasree, G., Kaleeswari, R. K., Chitdeshwari, T., Priya, R. S., & Karthikeyan, S. (2021). Comparative evaluation of sulphur sources on growth, yield and quality of garlic (*Allium sativum* L.). *Journal of Applied and Natural Science*, *13*(4), 1310. https://doi.org/10.31018/jans.v13i4.3048

Ejieji, C. J, & Adeniran, K. A. (2010). Effects of water and fertilizer stress on the yield, fresh and dry matter production of grain Amaranth (*Amaranthus cruentus*). *Australian Journal of Agricultural Engineering*, *1*(1), 18-23.

El-Morsy, A. H. A., Saif El-Deen, U. M., & Ezzat, A. S. (2011). Response of growth, productivity and storability of garlic (*Allium sativum* L.) to foliar spray with magnesium and yeast extract. *Journal of Plant Production*, *2*(1), 39-51.

El-Naggar, A. H. (2009). Response of *Dianthus caryophyllus* L. plants to foliar nutrition. *World Journal of Agricultural Sciences*, *5*(5), 622-630.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.133]

Ewais, M. A., Zakaria, S. M., & El-Guibali, A. H. (2016). Response of garlic plants to nitrogen and sulphur fertilization. *Menoufia Journal of Soil Science*, *1*(1), 1-20. https://dx.doi.org/10.21608/mjss.2016.176591

Fatmawati, F., Susilowati, F. Y., & Historiawati, H. (2018). Peningkatan kuantitas bawang merah (*Allium cepa fa. ascalonicum* L.) dengan berbagai sumber kalium dan belerang. Vigor: *Journal Ilmu Pertanian Tropika dan Subtropika*, *3*(2), 40-42.

Ghaderi, J., Malakouti, M. J., Khavazi, K., & Davoudi, M. H. (2017). Determination of the element sulphur on the performance and some quality characteristics of common wheat (*Triticum astivum* L.). *Crop Physiology Journal*, *33*, 69-84.

Grzebisz, W., Zielewicz, W., & Przygocka-Cyna, K. (2022). Deficiencies of secondary nutrients in crop plants—A real challenge to improve nitrogen management. *Agronomy*, *13*(1), 66. https://doi.org/10.3390/agronomy13010066

Hasanah, Y., Mawarni, L., Hanum, H., Sipayung, R., & Ramadhan, M. T. (2021). The role of sulfur and paclobutrazol on the growth of shallots (*Allium ascalonicum* L.) Sanren F-1 varieties from true shallot seed. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *782*(4), 042039. https://doi.org/10.1088/1755-1315/782/4/042039.

Hawkesford, M. J, & De Kok, L. J. (2006). Managing sulphur metabolism in plants. *Plant, Cell and Environment*, *29*(3), 382-395. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2005.01470.x

Hfaiedh, N., Mbarki, S., Alimi, H., Murat, J. C., & Elfeki, A. (2013). Diabetes-induced damages in rat kidney and brain and protective effects of natural antioxidants. *Food and Nutrition Sciences*, *4*(4), 436-444. https://doi.org/10.4236/FNS.2013.44056

Higuchi, O., Tateshita, K., & Nishimura, H. (2003). Antioxidative activity of sulfur-containing compounds in Allium species for human low-density lipoprotein (LDL) oxidation in vitro. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*(24), 7208-7214. https://doi.org/10.1021/JF034294U

Idly, N. S, & Suwandi, S. (2023). Characteristics of shallots (*Allium ascalonicum* L.) influenced by sulfur application in floating cultivation. *BIOVALENTIA: Biological Research Journal*, *9*(2), 84-90.

Ismail, S., Jalilian, F. A., Talebpour, A. H., Zargar, M., Shameli, K., Sekawi, Z., & Jahanshiri, F. (2013). Chemical composition and antibacterial and cytotoxic activities of *Allium hirtifolium* Boiss. *BioMed Research International*, *2013*(1), 696835. https://doi.org/10.1155/2013/696835

Iwar, K., Ochar, K., Seo, Y. A., Ha, B. K., & Kim, S. H. (2024). Alliums as potential antioxidants and anticancer agents. *International Journal of Molecular Sciences*, *25*(15), 8079.

Jones, M. G., Hughes, J., Tregova, A., Milne, J., Tomsett, A. B., & Collin, H. A. (2004). Biosynthesis of the flavour precursors of onion and garlic. *Journal of Experimental Botany*, *55*(404), 1903-1918. https://doi.org/10.1093/jxb/erh138

Kacar, B, & Inal, A. (2008). Plant Analysis. Nobel Press.

Kasinath, B. L., Ganeshamurthy, A. N., & Nagegowda, N. S. (2015). Effect of magnesium on plant growth, dry matter and yield in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Journal of Horticultural Sciences*, *10*(2), 190-193.

Kleiber, T., Golcz, A., & Krzesinski, W. (2012). Effect of magnesium nutrition of onion (*Allium cepa* L.). Part I. Yielding and nutrient status. *Ecological Chemistry and Engineering*, *19*(1), 97. https://doi.org/10.2478/v10216-011-0010-2

Lancaster, J. E., Farrant, J. F., & Shaw, M. L. (2000). Effect of sulfur supply on alliinase, the flavor generating enzyme in onions. *Journal of Food Biochemistry*, *24*(5), 353-361. https://doi.org/10.1111/J.1745-4514.2000.TB00706.X

Lee, S. E., Hwang, H. J., Ha, J. S., Jeong, H. S., & Kim, J. H. (2003). Screening of medicinal plant extracts for antioxidant activity. *Life Sciences*, *73*(2), 167-179. https://doi.org/10.1016/S0024-3205(03)00259-5

Marschner, H. (2012). Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press.

Maruyama-Nakashita, A, & Ohkama-Ohtsu, N. (2017). Sulfur assimilation and glutathione metabolism in plants. *Glutathione in Plant Growth, Development, and Stress Tolerance*, 287-308. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66682-2_13

Metson, A. J. (1974). I. Some factors governing the availability of soil magnesium: A review. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*, *2*(3), 277-319. https://doi.org/10.1080/03015521.1974.10427689

Multhoff, J., Niemeier, J. O., Zheng, K., Lim, M. S. S., Barreto, P., Niebisch, J. M., Ischebeck, T., & Schwarzlander, M. (2024). In vivo biosensing of subcellular pyruvate pools reveals photosynthesis-dependent metabolite dynamics in *Nicotiana benthamiana*. *Journal of Experimental Botany*, *75*(22), 7254-7266. https://doi.org/10.1093/jxb/erae398

Najeebullah, S., Shinwari, Z. K., Jan, S. A., Khan, I., & Ali, M. (2021). Ethno medicinal and phytochemical properties of genus Allium: A review of recent advances. *Pakistan Journal of Botany*, *53*(1), 135-144. https://doi.org/10.30848/PJB2021-1(34)

Nishimura, H., Higuchi, O., Tateshita, K., Tomobe, K., Okuma, Y., & Nomura, Y. (2006). Antioxidative activity and ameliorative effects of memory impairment of sulfur-containing compounds in *Allium* species. *Biofactors*, *26*(2), 135-146. https://doi.org/10.1002/biof.5520260204

Nwachukwu, I. D., Slusarenko, A. J., & Gruhlke, M. C. (2012). Sulfur and sulfur compounds in plant defence. *Natural Product Communications*, *7*(3), 1934578X1200700323. https://doi.org/10.1177/1934578X1200700323

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.133]

Ren, L., Pan, X., Deng, Y., Ge, Z., Li, S., Su, D., Zhao, G., Tang, H., & Wang, X. (2024). Combined transcriptomic and metabolomic analyses reveal the mechanisms by which the interaction between sulfur and nitrogen affects garlic yield and quality. *Horticulturae*, *10*(11), 1203. https://doi.org/10.3390/horticulturae10111203

Rodrigues, V. A., Crusciol, C. A. C., Bossolani, J. W., Moretti, L. G., Portugal, J. R., Mundt, T. T., & Lollato, R. P. (2021). Magnesium foliar supplementation increases grain yield of soybean and maize by improving photosynthetic carbon metabolism and antioxidant metabolism. *Plants*, *10*(4), 797-814. https://doi.org/10.3390/plants10040797.

Rose, P., Whiteman, M., Moore, P. K., & Zhu, Y. Z. (2005). Bioactive S-alk (en) yl cysteine sulfoxide metabolites in the genus Allium: The chemistry of potential therapeutic agents. *Natural Product Reports*, *22*(3), 351-368. https://doi.org/10.1039/B417639C

Sabbagh, H., Khorrami Vafa, M., Jalali Honarmand, S., & Beheshti Al Agha, A. (2014). The effect of thiobacillus bacteria, sulfur and manure on the concentration of some minerals in the bulb garlic. Herbs and Sustainable Agriculture National Conference, Hamedan, Community Hegmataneh Environmental Assessment.

Shah, S., Chun, Y., Razaq, M., Luqman, M., Fahad, Sh., Abdullah, M., & Sadiq, A. (2013). Growth, yield and bulb quality of onion plants (*Allium cepa* L.) as affected by foliar and soil application of potassium. *Journal of Biology, Agriculture, and Healthcare*, *3*(16), 18-124.

Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventos, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, *299*, 152-178. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1

Syamsiyah, J., Herdiansyah, G., Komariah, K., Gumilang, B. C. A., Wijaya, L. Z., & Siswantoro, H. W. (2025). Effect of $MgSO_4$ as a complement to NPK fertilizer on shallot growth. In BIO Web of Conferences, 155, 01008.

Verma, N, & Shukla, S. (2015). Impact of various factors responsible for fluctuation in plant secondary metabolites. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, *2*(4), 105-113.

Yan, J. K., Zhu, J., Liu, Y., Chen, X., Wang, W., Zhang, H., & Li, L. (2023). Recent advances in research on Allium plants: Functional ingredients, physiological activities, and applications in agricultural and food sciences. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *63*(26), 8107-8135.

Ye, X., Chen, X. F., Deng, C. L., Yang, L. T., Lai, N. W., Guo, J. X., & Chen, L. S. (2019). Magnesium deficiency effects on pigments, photosynthesis and photosynthetic electron transport of leaves, and nutrients of leaf blades and veins in *Citrus sinensis* seedlings. *Plants*, *8*(10), 389.

Yousefvand, P., Sohrabi, Y., Mastinu, A., Heidari, G., & Weisany, W. (2025). Optimizing growth, yield, and water use efficiency of *Allium hirtifolium* with salicylic acid under water stress condiions. *Heliyon*, *11*(2). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e41550

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.133]

Studying the effect of magnesium sulfate and sulfur on morphophysiological and phytochemical traits of the medicinal plant persian shallot (*Allium hirtifolium* Boiss.)

Hossein Rostamkolaei Motlagh[1], Vahid Akbarpour[2*], Mohammad Ali Bahmanyar[3] and Mahboubeh Ashnavar[4]

[1] Former M.Sc. Student of Medicinal Plants, Sana Institute of Higher Education, Sari, Iran
[2] Horticultural Sciences and Engineering Department, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
[3] Department of Soil Sciences and Engineering, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
[4] Former Ph.D. in Medicinal, Spice and Beverage Plants, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Abstract

Persian shallot (*Allium hirtifolium*) is a valuable medicinal plant with widespread applications in the food, pharmaceutical, and hygiene industries. This study was conducted to investigate the effects of magnesium and sulfur fertilizers on the morphophysiological and phytochemical characteristics of Iranian shallot. The experiment was carried out as a factorial based on a randomized complete block design (RCBD) with four replications at a farm in northern Rostamkola (Mazandaran province). The factors included different levels of magnesium sulfate ($MgSO_4$) at four rates: 0, 40, 80, and 120 kg/ha (designated as M_0, M_{40}, M_{80}, and M_{120}) and bentonite-sulfur (S) at four rates: 0, 300, 600, and 900 kg/ha (designated as S_0, S_{300}, S_{600}, and S_{900}). The results showed that the $M_{120}S_{900}$ treatment led to the highest plant height (87.7 cm), collar diameter (2.25 cm), fresh and dry weight of the plant (21.6 g and 11.8 g/plant), and magnesium concentration (0.58%), showing respective increases of 270%, 66.7%, 151%, 280%, and 176.19% compared to the control. The highest antioxidant activity and sulfur concentration were observed in the $M_{80}S_{300}$ treatment, with respective increases of 101.5% and 61.7% over the control. The highest total phenol content, equal to 2.27 mg gallic acid per gram of fresh weight, was recorded in the $M_{40}S_{600}$ treatment, representing a 158.8% increase compared to the control. Moreover, the highest flavonoid content, equal to 0.270 mg quercetin per gram of fresh weight, was observed in the M_0S_{300} treatment, showing a 190.3% increase over the control.

Keywords: Antioxidant, Flavonoid, Iranian shallot, Magnesium, Morphophysiological traits, Phytochemical traits, Phenol, Sulfur

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.133]

Received: Mar. 04, 2025; Revised: Aug. 29, 2025; Accepted: Sep. 29, 2025; Published Online: May. 02, 2026
*Corresponding Author: v_akbarpour60@yahoo.com

Copyright © 2025 Iranian Society of Plant Physiology, Published by Isfahan University of Technology press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.