



(OPEN ACCESS)

Interactive effects of diatomite and manure on quantitative and qualitative characteristics of *Nigella sativa* L. leaves

Amin Jamalian Khorasgani¹, Mohammad Hassan Sayyari-Zahan^{*2},
Majid Jami Al-Ahmadi³, Soheil Parsa⁴

1. M.Sc. Graduate in Agroecology, Dept. of Plant Production and Genetics, College of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran. E-mail: amin.jamaliyan@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Plant Production and Genetics / Soil Science and Engineering, College of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran. E-mail: msayari@birjand.ac.ir
3. Professor, Dept. of Plant Production and Genetics, College of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran. E-mail: mjamialahmadi@birjand.ac.ir
4. Associate Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, College of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran. E-mail: sparsa@birjand.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Full Length Research Paper Article history: Received: 07.01.2024 Revised: 01.06.2025 Accepted: 01.07.2025 Keywords: Electrolyte Leakage, Nitrogen, Phosphorus, Plant Height, Spad	Background and Objectives: Diatomite is a mineral rich in silicon, with porosity greater than 80% and very low contamination, making it environmentally friendly and suitable for improving soil stability. When combined with organic fertilizers such as animal manure, diatomite can enhance fertilizer efficiency and crop performance. In agricultural systems, especially for medicinal plants, optimizing plant nutrition is essential to achieve high yield and desirable quality while preserving the environment, minimizing erosion, and maintaining biodiversity. Therefore, this study aimed to evaluate the combined effects of manure and diatomite on growth, physiological traits, and nutrient content of leaves in <i>Nigella sativa</i> L. (black cumin). Materials and Methods: A greenhouse experiment was conducted using a factorial arrangement in a randomized complete block design with three replications. Treatments included three manure levels (0, 30, and 60 t ha⁻¹) and four diatomite levels (0, 4, 8, and 16 t ha⁻¹). Measured traits included vegetative growth parameters [plant height (cm), stem diameter (mm), plant dry weight (g), leaf area (cm²)], physiological traits [SPAD value, relative water content (%), and electrolyte leakage (%)], and leaf nutrient content [phosphorus (%), potassium (%), and iron (mg kg⁻¹ dry weight)]. Data were statistically analyzed using SAS software, and mean comparisons were performed with the LSD test at the 5% probability level. Results: Analysis of variance indicated that manure and diatomite significantly affected growth, physiological traits, and nutrient uptake in black cumin. The interaction effects revealed that the combined application of 60 t ha⁻¹ manure and 16 t ha⁻¹ diatomite produced the highest plant height (57.1 cm), stem diameter (2.94 mm), plant dry weight (4.32 g), and leaf area (3.9 cm²). This treatment also resulted in the highest SPAD values, greatest relative water content, and lowest electrolyte

leakage. Furthermore, maximum leaf phosphorus, potassium, and iron concentrations were recorded under the same combined treatment.

Conclusion: The results demonstrate that integrating animal manure with diatomite positively influences soil physicochemical properties, enhances nutrient uptake, and improves plant growth in *Nigella sativa*. Such a practice can reduce irrigation frequency and costs, contributing to soil health and long-term agricultural sustainability.

Cite this article: Jamalian Khorasgani, Amin, Sayyari-Zahan, Mohammad Hassan, Jami Al-Ahmadi, Majid, Parsa, Soheil. 2025. Interactive effects of diatomite and manure on quantitative and qualitative characteristics of *Nigella sativa* L. leaves. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 15 (2), 51-75.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/ejsms.2025.22592.2161

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



انجمن علوم خاک ایران

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار

شاپا چاپی: ۱۳۶۷-۲۳۲۲

شاپا آنالین: ۱۳۷۵-۲۳۲۲



دانشگاه گلستان و منابع طبیعی گلستان

اثرات متقابل دیاتومیت و کود دامی بر خصوصیات کمی و کیفی برگ گیاه سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)

امین جمالیان خوراسگانی^۱، محمدحسن سیاری زهان^{۲*}، مجید جامی‌الاحمدی^۳، سهیل پارسا^۴

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد آگرواکولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

رایانامه: amin.jamaliyan@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی / علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

رایانامه: msayari@birjand.ac.ir

۳. استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. رایانامه: mjamialahmadi@birjand.ac.ir

۴. دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. رایانامه: sparsa@birjand.ac.ir

چکیده	اطلاعات مقاله
نوع مقاله: سابقه و هدف: دیاتومیت یک ماده معدنی با محتوای سیلیس بالا، تخلخل بیش از ۸۰ درصد و آلایندگی بسیار کم و دوست‌دار محیط زیست است، بنابراین می‌توان از آن برای پایداری خاک استفاده کرد. ترکیب این ماده معدنی (از معادن استان خراسان جنوبی) با کودهای آلی در افزایش کارایی آن‌ها برای ارتقاء رشد و عملکرد گیاهان دارای اهمیت است. یکی از نیازهای مهم در برنامه‌ریزی کشاورزی به‌منظور دستیابی به عملکرد بالا و کیفیت مطلوب به‌ویژه در مورد گیاهان دارویی، ارزیابی سیستم‌های مختلف تغذیه گیاهان است. بنابراین با روش صحیح حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه می‌توان با حفظ محیط زیست، کاهش فرسایش و حفظ تنوع زیستی، کارایی نهاده‌ها را افزایش داد. هدف از این پژوهش بررسی اثر کود دامی و دیاتومیت بر خصوصیات رشدی، فیزیولوژیکی و عناصر غذایی برگ گیاه دارویی سیاهدانه بود.	مقاله کامل علمی- پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۱ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۸
مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی تأثیر کود دامی و دیاتومیت بر خصوصیات کمی و کیفی برگ گیاه سیاهدانه آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه‌ی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل کود دامی در سه سطح (صفر، ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار) و مصرف دیاتومیت در چهار سطح (صفر، ۴، ۸ و ۱۶ تن در هکتار) بود. شاخص‌های اندازه‌گیری شده شامل ویژگی‌های رویشی (ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، قطر ساقه (میلی‌متر)، وزن خشک گیاه (گرم)، سطح برگ (سانتی‌مترمربع)) و ویژگی‌های فیزیولوژیک (میزان سبزیگی، محتوای نسبی آب (درصد) و	واژه‌های کلیدی: ارتفاع بوته، سبزیگی، فسفر، نشت الکترولیت، نیتروژن

نشت الکترولیت (درصد)) و عناصر (فسفر (درصد)، پتاسیم (درصد) و آهن (میلی گرم در گرم وزن خشک)) بودند. در نهایت، داده‌ها با استفاده از برنامه SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر مصرف کود دامی و دیاتومیت بر صفات رویشی، فیزیولوژیکی و عناصر غذایی برگ سیاهدانه معنی‌دار بود. نتایج اثر متقابل تیمارها نشان داد بیش‌ترین ارتفاع بوته (۵۷/۱ سانتی‌متر)، قطر ساقه (۲/۹۴ میلی‌متر)، وزن خشک بوته (۴/۳۲ گرم) و سطح برگ (۳/۹ سانتی‌مترمربع) از کاربرد هم‌زمان ۶۰ تن در هکتار کود دامی و ۱۶ تن در هکتار دیاتومیت حاصل شد. بیش‌ترین میزان سبزی‌نگی و محتوای نسبی آب و کم‌ترین نشت الکترولیت مربوط به مصرف توأم ۶۰ تن در هکتار کود دامی و ۱۶ تن در هکتار دیاتومیت بود. هم‌چنین در خصوص عناصر غذایی مشاهده شد که حداکثر میزان فسفر، پتاسیم و آهن برگ در نتیجه کاربرد هم‌زمان ۶۰ تن در هکتار کود دامی و ۱۶ تن در هکتار دیاتومیت به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به‌دست آمده از این آزمایش می‌توان توصیه کرد که کاربرد کود دامی همراه با دیاتومیت می‌تواند بر بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اثر مثبت داشته و باعث افزایش جذب عناصر غذایی و در نتیجه، بهبود رشد گیاه شود که این می‌تواند باعث کاهش دور آبیاری، کاهش هزینه‌ها و حفظ پایداری کشاورزی و سلامت خاک گردد.

استناد: جمالیان خوراسگانی، امین، سیاری زهان، محمدحسن، جامی‌الاحمدی، مجید، پارسا، سهیل (۱۴۰۴). اثرات متقابل دیاتومیت و کود دامی بر خصوصیات کمی و کیفی برگ گیاه سیاهدانه (*Nigella sativa* L.). نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۵ (۲)، ۵۱-۷۵.

DOI: 10.22069/ejsms.2025.22592.2161



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

رویکرد روزافزون به استفاده از گیاهان دارویی و فرآورده‌های حاصل از آن‌ها، نقش این گیاهان را در چرخه اقتصادی جهانی پررنگ‌تر کرده است (۱). سیاهدانه^۱ گیاه دارویی از خانواده آلاله^۲، یک‌ساله، علفی و بومی جنوب غرب آسیا است (۲) که در بعضی از نقاط ایران به صورت خودرو می‌باشد و در برخی نقاط دیگر به صورت زراعی کشت می‌شود و مصارف گسترده‌ای در صنایع غذایی و دارویی کشور دارد (۳). سیاهدانه قابلیت کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور را دارد. با توجه به اهمیت ویژه سیاهدانه در صنایع غذایی و دارویی، راهکارهای مؤثر در افزایش عملکرد کمی و به‌ویژه بهبود کیفیت بذر سیاهدانه می‌تواند منجر به افزایش تولید این گیاه در مناطق تحت تنش گردد (۴).

خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک کشور ما که بیش از ۸۰ درصد زمین‌های کشاورزی را تشکیل می‌دهد از نظر مواد آلی فقیر هستند. برای بهبود باروری و حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی، افزودن مواد آلی به آن‌ها ضروری است (۵). یکی از راه‌های افزایش مقدار ماده آلی خاک‌های کشاورزی استفاده از کودهای دامی است (۶). کاربرد کودهای دامی می‌تواند گام مؤثری در جهت کاهش مصرف کودهای شیمیایی و اثرات سوء آن‌ها و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و تأمین برخی عناصر غذایی کم‌مصرف باشد در حالی‌که در نظام‌های زراعی متراکم، مواد آلی و عناصر غذایی خاک به سرعت تخلیه می‌گردند و استفاده زیاد از کودهای شیمیایی به‌ویژه عناصر غذایی پرمصرف عملکرد گیاهان را کاهش می‌دهد و این کاهش عملکرد ناشی از کاهش فعالیت زیستی و نامساعد شدن ویژگی‌های فیزیکی

خاک و عاری بودن کودهای پرمصرف از عناصر غذایی کم‌مصرف است (۷). کاربرد کودهای دامی در خاک باعث افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت و دانه‌بندی خاک شده و ویژگی‌های فیزیکی آن را بهبود می‌بخشد، ضمن این‌که با افزایش قدرت حاصلخیزی خاک رشد محصول را زیاد و در نتیجه کارایی مصرف آب را ارتقا می‌دهد (۸).

با توجه به اهمیت مدیریت آبیاری در افزایش عملکرد محصولات و با توجه به این واقعیت که بخش کشاورزی ۹۳/۵ درصد از کل آب استحصال شده را مصرف می‌کند، می‌توان گفت هر گونه تلاش برای بهینه‌سازی مدیریت آب در کشور بدون توجه به این بخش نمی‌تواند موفقیت‌آمیز باشد (۹). سوپر جاذب‌ها از آن‌جا که با جذب سریع آب به میزان صدها برابر وزن خود، به ژلی با دوام زیاد تبدیل می‌شوند در کشاورزی، فضای سبز، کنترل فرسایش خاک و کویرزدایی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار هستند. جذب سریع آب و حفظ آن به‌وسیله سوپرجاذب‌ها، بازده جذب آب ناشی از بارندگی‌های پراکنده را بالا برده، در صورت آبیاری خاک، فواصل آبیاری را افزایش می‌دهند (۱۰). مقدار این افزایش به شرایط فیزیکی خاک، آب و هوای منطقه و میزان مصرف سوپر جاذب در خاک، بستگی دارد. با توجه به pH نزدیک به خنثی سوپرجاذب‌ها، اثر سوء بر خاک نداشته و سمی برای خاک محسوب نمی‌شوند. هم‌چنین پس از ۷-۴ سال، بسته به نوع آن و ترکیب خاک، توسط میکروارگانیسم‌ها از بین می‌روند و آلودگی زیست‌محیطی ایجاد نمی‌کنند. علاوه بر نگهداری آب، سوپرجاذب‌ها به‌علت تغییر حجم مداوم (انبساط به هنگام تورم و انقباض به هنگام از دست دادن آب) میزان هوا را در خاک افزایش می‌دهند (۱۱).

1- *Nigella sativa* L.

2- Ranunculaceae

دیاتومیت نهشته سیلیسی است که از تجمع پوسته جلبکی تکسلولی به نام دیاتوم تشکیل می‌شود. نهشته‌های دیاتومی دارای رنگ روشن و نرم، سبک و متخلخل هستند. دیاتومیت‌ها از سیلیس (۸۶ تا ۸۹ درصد) تشکیل شده و به صورت محلول قابل دسترس برای گیاهان و مقدار کمی از آن از عناصر کم مصرف تشکیل شده است. دیاتومیت به عنوان یک ماده کامل، با دوام، تجدیدپذیر و همگام با محیط زیست است که بهبوددهنده وضعیت فیزیکی خاک، تهویه ناحیه ریشه گیاهان، به حداقل رساندن آبیاری و رواناب می‌باشد و بنابراین افزایش دهنده نگهداری آب و کاهش دهنده آبیاری است. همچنین، دیاتومیت باعث افزایش عملکرد گیاهان می‌شود که به سرعت بلوغ و بازیابی مقاومت بر ضد تنش‌های زنده و غیرزنده کمک شایانی می‌کند (۱۲).

عبدل (۲۰۱۱) تأثیر دیاتومیت را بر دو رقم گیاه *Trifolium alexandrinum* در شرایط تنش شوری مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که دیاتومیت باعث بهبود وضعیت مورفولوژیکی، متابولیکی و بیوشیمیایی هر دو رقم تحت تنش شوری شد (۱۳). پژوهش‌گران گزارش کردند که با کاربرد دیاتومیت در خاک، قابلیت فراهمی عناصر پتاسیم و فسفر قابل جذب خاک، به طور معنی‌داری افزایش یافت و این ویژگی تغذیه‌ای دیاتومیت برای خاک‌های کشاورزی که مشکل فراهمی فسفر دارند می‌تواند مفید باشد (۱۴). در پژوهشی مشاهده شد که افزایش مقادیر کود دامی در زراعت گیاه دارویی بادرنجبویه به طور قابل توجهی میزان اسانس آن را بهبود بخشید (۱۵). در مطالعه‌ای دیگر نیز مشاهده شد که کاربرد کود دامی سبب بهبود عملکرد بیومس و میزان اسانس به ترتیب در حدود ۴۳ و ۴۱ درصد در گیاه دارویی مریم گلی شد (۱۶).

کاربرد تلفیقی کود دامی و دیاتومیت باعث حصول بیش‌ترین عملکرد در برخی از محصولات شد به عنوان مثال در محصول سیر تلفیق دیاتومیت و کود دامی سبب افزایش عملکرد آن شد (۱۷). بیش‌ترین عملکرد گندم زمستانه، گندم بهار و نخودفرنگی با استفاده از کود دامی به میزان ۴۸ تن در هکتار و دیاتومیت ۶ تن در هکتار حاصل شد (۱۸). پژوهش‌گران ترکیب ۴ تا ۶ تن در هکتار دیاتومیت با ۶۰ تن در هکتار کود دامی را به عنوان مؤثرترین تیمار در افزایش عملکرد هویج گزارش کردند (۱۹).

یکی از نیازهای مهم در برنامه‌ریزی زراعی به منظور حصول عملکرد بالا و با کیفیت مطلوب به‌ویژه در مورد گیاهان دارویی ارزیابی نظام‌های مختلف تغذیه گیاه است. به طوری که با روش صحیح حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه می‌توان ضمن حفظ محیط زیست، افزایش کیفیت آب، کاهش فرسایش و حفظ تنوع زیستی، کارایی نهاده‌ها را افزایش داد. هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر کود دامی و دیاتومیت بر خصوصیات رشدی، فیزیولوژیکی و عناصر غذایی گیاه دارویی سیاهدانه بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند در سال ۱۳۹۵ صورت گرفت که با ۱۲ ساعت روز/شب و دمای حداقل و حداکثر گلخانه به ترتیب ۲۰ و ۳۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی حدود ۵۰ درصد تنظیم شده بود. به منظور تعیین خصوصیات خاک برای اجرای آزمایش، نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک از روستای بیدخت بیرجند بدون کشت و کار تهیه شد. سپس نمونه‌های خاک هوا خشک و خصوصیات آن در آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند براساس دستورالعمل

تجزیه‌های آزمایشگاهی نمونه‌های خاک و آب نشریه
شماره ۴۶۷ مؤسسه تحقیقات خاک و آب مورد
آزمایش قرار گرفت (۲۰). خصوصیات فیزیکی و
شیمیایی خاک منطقه در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده برای کاشت سیاهدانه.

Table 1. Physical and chemical characteristics of the soil used for black seed planting.

هدایت الکتریکی	pH	کربنات کلسیم	کربن آلی	مواد آلی	ظرفیت زراعی	رس	سیلت	شن	بافت خاک
EC		CaCO ₃	OC	OM	FC	Clay	Silt	Sand	Soil Texture
(dS.m ⁻¹)		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
1.5	7.96	10	0.17	0.29	17	10	32	58	لومی شنی Sandy Loam

حیوانی مخلوط گردید. بذور سیاهدانه قبل از کاشت ضدعفونی شد و با تراکم ۶ بوته در گلدان (معادل ۱۳۰ بوته در مترمربع) در عمق ۲ سانتی‌متر کشت شد. آبیاری گلدان‌ها در بر اساس رطوبت ظرفیت زراعی به‌صورت روزانه انجام شد. برای این منظور از روش توزین گلدان‌ها و محاسبه میزان آب مورد نیاز استفاده شد. در ابتدا تعداد ۲۰ بذر در هر گلدان کاشته شد و پس از اطمینان از سبز شدن و ۲۰ روز پس از کاشت، تنک بوته‌ها انجام و به تراکم ۶ بوته در گلدان رسانده شد. نمونه‌برداری در زمان گلدهی انجام شد و صفات مورد اندازه‌گیری ارتفاع بوته، قطر ساقه، وزن خشک گیاه، سطح برگ، شاخص کلروفیل و نشت الکترولیت بودند. برای سنجش ارتفاع در هر نمونه‌گیری، طول بوته از پایین‌ترین قسمت مریستم انتهایی اندازه‌گیری و میانگین این اعداد به‌عنوان ارتفاع محسوب شد. برای اندازه‌گیری قطر ساقه از دستگاه کولیس با دقت ۰/۱ میلی‌متر، استفاده شد که در مورد قطر ساقه، متوسط میانگین ابتدایی به‌عنوان قطر ساقه منظور شد. شاخص کلروفیل نیز با استفاده از دستگاه SPAD اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ پس از برداشت، گیاه بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و پس از جدا کردن برگ‌ها از ناحیه دم‌برگ با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ، سطح برگ‌ها تعیین گردید.

بذور مورد استفاده سیاهدانه در این آزمایش از مؤسسه پاکان بذر اصفهان تهیه گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. فاکتور اول کود دامی (از نوع کود گاوی کاملاً پوسیده) در سه سطح (صفر، ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار)، فاکتور دوم دیاتومیت در چهار سطح (صفر، ۴، ۸ و ۱۶ تن در هکتار) بود. واحدهای آزمایشی با در نظر گرفتن تکرارهای آزمایش شامل ۳۶ گلدان با سه کیلوگرم خاک بود. برای انجام آزمایش از گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد. گلدان‌ها با خاک عبور داده شده از الک ۲ میلی‌متری پر شد. برای اعمال تیمارهای آزمایش در واحد گلدان ابتدا وزن یک هکتار خاک مورد استفاده محاسبه گردید و سپس به واحد خاک گلدان تعمیم داده شد (۱۴). مقادیر کودهای دامی در سطوح مختلف همراه با مقدار آب به‌دست آمده براساس رطوبت ظرفیت زراعی با خاک موردنظر در داخل تشت به‌طور کامل مخلوط شد و این کار برای هر تیمار به‌صورت جداگانه صورت گرفت و سپس وزن نهایی گلدان‌ها به‌دست آمد. سنگ دیاتومیت مورد استفاده را آسیاب کرده و در ابعاد ۳ تا ۴ میلی‌متری الک و پس از وزن کردن مقدار لازم آن با خاک گلدان مشابه تیمار کود

برای تعیین وزن خشک کل گیاه نیز، برگ و ساقه و اندام زایشی به صورت جداگانه در درون پاکت‌های کاغذی و سپس به مدت ۴۸ ساعت با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد درون آون قرار داده و پس از آن به طور جداگانه توزین شد. ماده خشک کل نیز و پس از خشک شدن به ترتیب با ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم و ۰/۱ گرم محاسبه شدند.

جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، نمونه‌هایی از برگ کامل تهیه و وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. این قطعات به منظور تعیین وزن تورژسانس به مدت ۲۴ ساعت درون یخچال و در داخل آب مقطر قرار داده شده و پس از این زمان وزن تورژسانس نمونه قرائت شد. نمونه‌ها را به مدت ۲۴ ساعت درون آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و در پایان وزن خشک آن‌ها نیز اندازه‌گیری و از طریق رابطه زیر محاسبه شد (۲۱).

$$RWC = \frac{(\text{وزن خشک} - \text{وزن تر})}{\text{وزن خشک} - \text{وزن تورژسانس}} \times 100$$

برای ارزیابی نشت الکترولیت جوان‌ترین برگ توسعه‌یافته از هر بوته جدا شده و در لوله‌های آزمایش حاوی ۴۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر شده قرار داده شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت هدایت الکتریکی هر نمونه با استفاده از دستگاه EC متر اندازه‌گیری شد (E₁). به منظور اندازه‌گیری میزان کل نشت الکترولیت‌ها در اثر مرگ سلول، لوله‌های آزمایش در دستگاه بن ماری با دمای ۷۵ درجه به مدت ۹۰ دقیقه قرار داده شدند و مجدداً پس از ۲۴ ساعت هدایت الکتریکی نمونه‌ها ثبت گردید (E₂). سپس درصد نشت الکترولیت‌ها با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (۲۲):

$$\text{درصد نشت الکترولیت} = (E_1/E_2) \times 100$$

به منظور اندازه‌گیری عناصر غذایی، برداشت گیاه در مرحله گلدهی انجام شد. عصاره گیاهی به روش خاکستر نمودن خشک تهیه شد. برای اندازه‌گیری فسفر مقدار جذب هر محلول به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول موج ۴۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. با کمک منحنی حاصل از مقدار جذب محلول‌های استاندارد (دی هیدروژن فسفات پتاسیم) غلظت فسفر در نمونه‌های گیاهی سنجش شد (۲۳). هم‌چنین برای اندازه‌گیری پتاسیم مقدار نشر نمونه‌های گیاهی به کمک دستگاه فلیم‌فتومتر اندازه‌گیری شد. با کمک منحنی حاصل از مقدار نشر محلول‌های استاندارد، غلظت پتاسیم نمونه‌های گیاهی سنجش گردید. برای اندازه‌گیری آهن، مقدار این عنصر در بافت گیاهی توسط دستگاه جذب اتمی مدل Perkin Elmer 3110 با طول موج ۲۴۸/۳ نانومتر استفاده گردید. آنالیز داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS صورت گرفت و رسم نمودارهای مربوطه توسط نرم‌افزار Excel انجام شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح معنی‌داری پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده و متقابل کود دامی و دیاتومیت بر ارتفاع ساقه سیاهدانه معنی‌دار بوده است (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع ساقه سیاهدانه مربوط به استفاده ۶۰ تن در هکتار کود دامی و ۱۶ تن در هکتار دیاتومیت با مقدار ۵۷/۱ سانتی‌متر و کم‌ترین مقدار ارتفاع ساقه مربوط به شاهد با مقدار ۴۵/۲۴ سانتی‌متر بوده است (شکل ۱). با افزایش کود دامی و دیاتومیت گیاه با قرار گرفتن در شرایط مطلوب تغذیه و هم‌چنین افزایش جذب آب و اکسیژن قابل دسترس بیش‌تر برای گیاه بیش‌ترین رشد و در نتیجه بیش‌ترین ارتفاع بوته را

داشته است. در سطوحی که دیاتومیت به تنهایی استفاده شده گیاه از ارتفاع ساقه کمتری برخوردار بوده نسبت به سطوح دیاتومیت با کود دامی، که بیانگر فراهمی راحت تر مواد غذایی و مکمل مناسب کود دامی به همراه دیاتومیت است که باعث افزایش رشد گیاه شده است. کاربرد کود دامی باعث افزایش میکروارگانیزم های خاکزی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم کلسیم و منیزیم و نیترات بیش تری نسبت به خاک های که با کود غیر آلی تغذیه شده اند دارند. که این عناصر محرک رشد گیاه و افزایش رشد بافت های گیاهی هستند. طی پژوهشی توسط خوش پیک و همکاران (۲۰۱۶) گزارش شد که ارتفاع بوته رازیانه با مصرف کود دامی افزایش یافت به طوری که کم ترین ارتفاع

بوته در تیمار شاهد و بیش ترین آن در تیمار ۳۰ تن کود دامی در هکتار مشاهده شد (۲۴) که با نتایج به دست آمده از این آزمایش همخوانی داشت. محفوظ و شرف الدین (۲۰۱۳) نیز مشاهده کردند با افزایش کود نیتروژن و کود دامی ارتفاع بوته رازیانه افزایش یافت (۲۵). پژوهش های انجام شده توسط سایر پژوهشگران نشان داد دیاتومیت قادر به افزایش ارتفاع ساقه در باقلا (۲۶) و نخود (۲۱) شده است. بهبود جذب آب و عناصر غذایی در طی دوره رشد و همچنین تخلیه آب در بلند مدت و مرطوب بودن نسبی خاک از دلایل افزایش ارتفاع ساقه در تیمارهای مصرف دیاتومیت بیان شده است (۲۷).

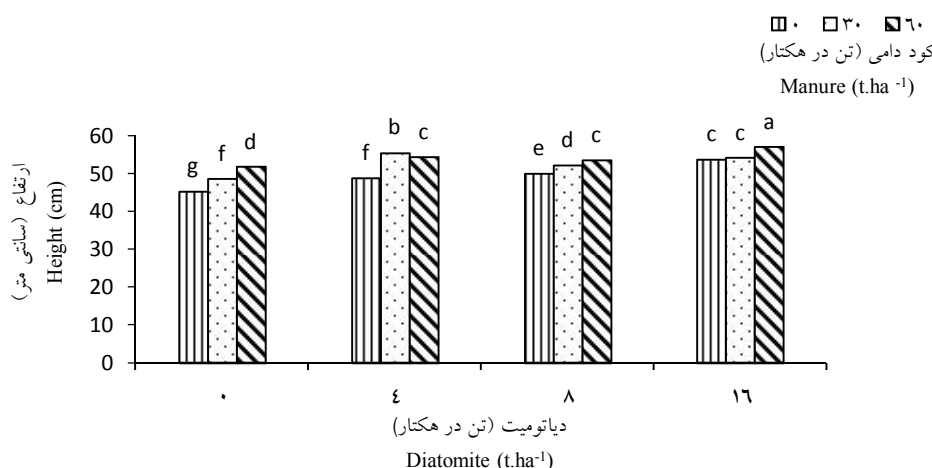
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفولوژیکی و رشدی سیاهدانه تحت تأثیر تیمارهای آزمایش.

Table 2. Results of analysis of variance (mean square) of morphological and growth traits of black seed under the influence of experimental treatments.

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	سطح برگ Leaf area	شاخص کلروفیل SPAD	محتوای نسبی آب Relative water content	وزن خشک بوته Plant dry weight	نشت الکترولیت Electrolyte leakage
تکرار Replication	2	1.29 ^{ns}	0.008 ^{ns}	330.06 ^{ns}	1.93 ^{ns}	10.53 ^{ns}	1.02 ^{ns}	7.06 [*]
کود دامی Manure	2	69.31 [*]	0.48 ^{**}	12720.6 ^{**}	39.17 ^{**}	38.57 ^{**}	1.78 ^{**}	184.99 ^{**}
دیاتومیت Diatomite	3	66.01 ^{**}	0.5 ^{**}	3532.3 ^{**}	28.01 ^{**}	329.31 ^{**}	2.45 [*]	31.112 [*]
کود دامی × دیاتومیت M×D	6	6.90 [*]	0.15 ^{**}	6276.70 ^{**}	52.06 ^{**}	53.32 ^{**}	0.16 ^{**}	111.88 ^{**}
خطا Error	22	0.45	0.004	313.9	0.82	4.49	0.67	1.99
ضریب تغییرات CV (%)	-	1.05	3.38	6.72	5.59	2.88	15.31	4.94

^{ns}، * و ** به ترتیب عدم معنی داری و معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد است

^{ns}, * and ** non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively



شکل ۱- اثر متقابل کود دامی و دیاتومیت بر ارتفاع ساقه سیاهدانه.

Figure 1. Interaction effect of manure and diatomite on the height of black seed stem.

جذب آب و عناصر غذایی افزایش یافته و باعث افزایش رشد گیاه به خصوص قطر ساقه شده است. هیدروژل‌های سوپرجاذب، پلیمرهای آب دوستی هستند که به دلیل وجود اتصالات عرضی در حلال حل نشده، بلکه جزیی از حلال را در ساختارشان نگه می‌دارند و می‌توانند مقادیر زیادی آب یا محلول‌های آبی را جذب نموده و متورم شوند. این مخازن ذخیره‌کننده آب وقتی در داخل خاک قرار می‌گیرند آب آبیاری و بارندگی را به خود جذب نموده و از فرونشست آن جلوگیری می‌نمایند و پس از خشک شدن محیط، آب داخل پلیمر به تدریج تخلیه شده و بدین ترتیب خاک به مدت طولانی و بدون نیاز به آبیاری مجدد، مرطوب می‌ماند زمانی که پلیمرها آب را جذب و رها می‌کنند، در اثر انبساط و انقباض ساختمان خاک بهبود می‌یابد و منافذ حاوی هوا در خاک جهت توسعه ریشه به‌ویژه در خاک‌های ریزبافت افزایش می‌یابد (۲۹).

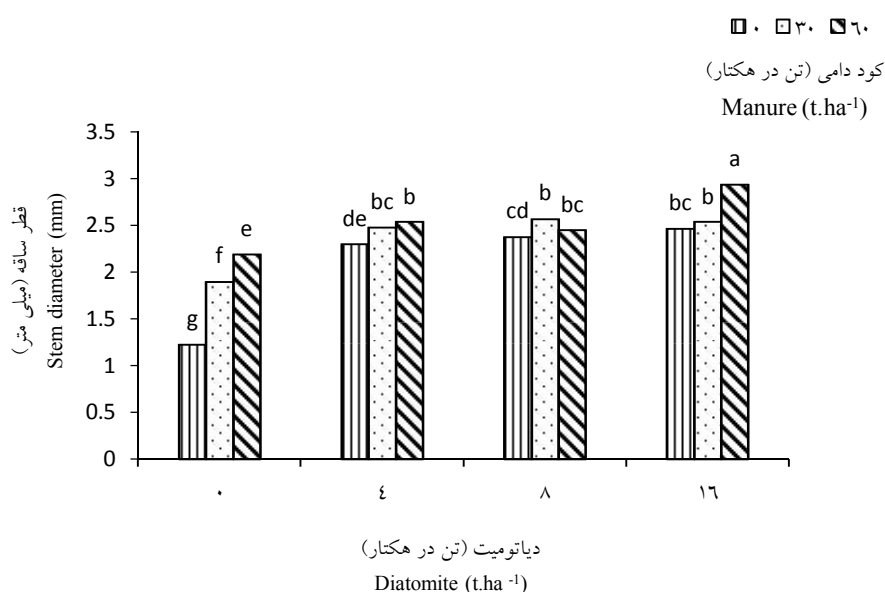
جلالی مقدس (۲۰۱۲) در بررسی اثر کود حیوانی روی آفتاب‌گردان گزارش کرد که تغییرات قطر ساقه با مصرف کود دامی در تمامی مراحل نمونه‌برداری دارای اختلاف آماری معنی‌داری نسبت به عدم

قطر ساقه: نتایج تجزیه واریانس این آزمایش نشان داد که اثر ساده و متقابل کود دامی و دیاتومیت بر قطر ساقه گیاه سیاهدانه معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج اثر متقابل نشان داد که کم‌ترین قطر ساقه مربوط به شاهد با مقدار ۲/۱۹ میلی‌متر و بیش‌ترین مقدار قطر ساقه مربوط به استفاده توأم ۶۰ تن در هکتار کود دامی و ۱۶ تن در هکتار دیاتومیت با مقدار ۲/۹۴ میلی‌متر قطر ساقه بود. نتایج نشان داد که در سطح صفر دیاتومیت با افزایش کود دامی از صفر به ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار کود دامی قطر ساقه از ۱/۲ به ترتیب ۱/۹ و ۲/۱۹ میلی‌متر افزایش قطر داشته است. این روند افزایش در کاربرد ۴، ۸ و ۱۶ تن در هکتار دیاتومیت نیز مشاهده گردید به گونه‌ای که با کاربرد ۱۶ تن در هکتار دیاتومیت با افزایش کود دامی از صفر به ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار، قطر ساقه از ۲/۴۷ به ترتیب به ۲/۵۴ و ۲/۹۴ میلی‌متر افزایش داشته است (شکل ۲).

احتمالاً افزایش قطر ساقه در ارتباط با افزایش رشد سلول‌های اپیدرمی یا کامبیوم آوندی و یا افزایش هر دو باشد. همچنین ساخت و تجمع مواد قندی در ساقه سبب افزایش قطر ساقه شده است (۲۸). با افزایش مقدار کود دامی و مقدار دیاتومیت شرایط

خاک شده و احتمالاً بخشی از افزایش قطر ساقه در تیمارهای دارای کود دامی نسبت به تیمارهای عدم مصرف فراهم شد.

مصرف کود دامی بود و افزایش طول دوره رشد این اختلاف به طور نسبتاً منظمی افزایش یافت (۳۰) که با نتایج این پژوهش همخوانی داشت. در این پژوهش احتمالاً کود دامی باعث بهبود دانه بندی و ساختمان



شکل ۲- اثر متقابل کود دامی و دیاتومیت بر قطر ساقه سیاهدانه.

Figure 2. Interaction effect of manure and diatomite on the diameter of black seed stem.

روند در تمامی سطوح دیاتومیت با عدم کاربرد کود دامی و کاربرد کود دامی برقرار بود، به گونه ای که فقط بین عدم کاربرد کود دامی و کاربرد کود دامی اختلاف آماری مشاهده شد، در کاربرد ۱۶ تن در هکتار دیاتومیت مشاهده شد که در عدم کاربرد کود دامی با کاربرد ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار کود دامی سطح برگ به ترتیب ۲/۹ به ۳/۳، ۳/۹ سانتی متر مربع افزایش داشت (شکل ۳).

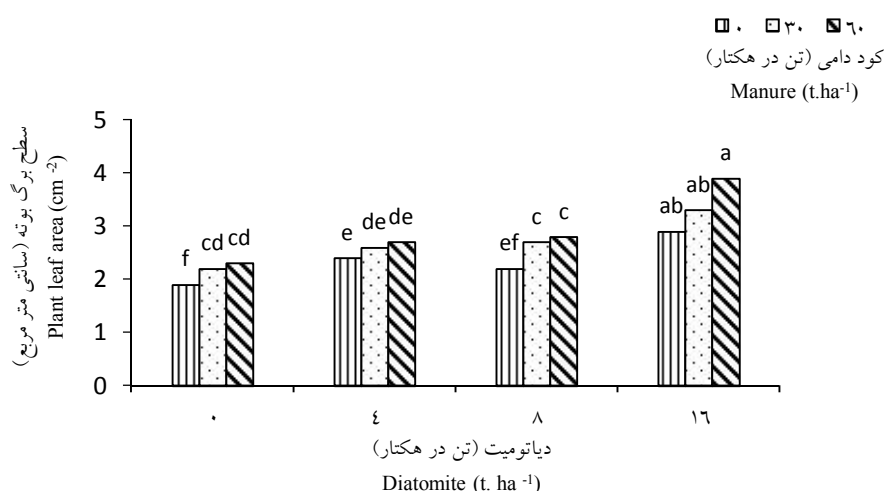
لیتی و همکاران (۲۰۰۸) گزارش نمودند از آنجا که ریشه مرکز ثقل گیاه در خاک محسوب می شود، تغییر مدیریت حاصلخیزی خاک بر مبنای مصرف نهاده های آلی مانند کود دامی با بهبود خصوصیات خاک، علاوه بر افزایش رشد و عملکرد محصول، پایداری بوم نظام را تحت تأثیر قرار داده و ثبات آن را

سطح برگ: بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد اثر ساده و متقابل کود دامی و دیاتومیت بر سطح برگ معنی دار بود. بیشترین سطح برگ مربوط به کاربرد ۶۰ تن در هکتار کود دامی و ۱۶ تن در هکتار دیاتومیت مشاهده شد و کمترین سطح برگ در استفاده از ۳۰ تن در هکتار کود دامی و ۴ تن در هکتار دیاتومیت و شاهد مشاهده شد (شکل ۳). نتایج نشان داد که در سطح صفر دیاتومیت بین تیمار شاهد و کاربرد ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار کود دامی تفاوت آماری مشاهده شد، به طوری که با کاربرد کود دامی از صفر به ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار کود دامی سطح برگ از ۱/۹ به ۲/۲ و ۲/۳ سانتی متر مربع افزایش داشت. مشاهده شد که بین کاربرد ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار کود دامی تفاوت معنی داری وجود نداشت این

(۲۰۱۷) در آزمایشی با بررسی اثر سطوح مختلف سوپرجاذب بر تعداد و سطح برگ کاهو تحت تنش خشکی گزارش کردند که شاخص سطح برگ ابزار اصلی برای بهبود قدرت فتوسنتز و تولید مواد پرورده است و کاربرد پلیمرهای سوپرجاذب تأثیر مثبت بر سطح برگ داشته و سبب افزایش آن شده است (۳۳). بنا به نظر مؤذن قمصری و همکاران (۲۰۰۹) در هنگام کم‌آبی پلیمر سوپرجاذب با قرار دادن آب در اختیار گیاه سبب نگهداری آب بیشتر درون بافت‌ها به‌خصوص بافت برگ شده و در نتیجه از کاهش پتانسیل آب برگ و نزول فشار آماس جلوگیری کرده و سبب افزایش سطح برگ می‌شود (۳۴).

در درازمدت تضمین می‌نماید (۳۱). لینگ و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش کردند که کود دامی باعث افزایش سطح برگ جو بهاره شد (۳۲).

با افزایش مقدار دیاتومیت مقدار آب جذب شده توسط گیاه، به‌دلیل نفوذ و نگهداری آب توسط دیاتومیت، گیاه در حالت تورژسانس قرار گرفته به‌طوری‌که سلول‌های برگ دارای آب بوده و در نتیجه باعث شادابی برگ و سطح برگ بیش‌تر شده است. دیاتومیت توانایی جذب و نگهداری آب به میزان ۵ تا ۶ برابر وزن خود را داشته و با اندازه‌گیری شاخص سطح برگ ملاحظه گردید که دیاتومیت اثر معنی‌داری بر سطح برگ گذاشته است. طاهری و همکاران



شکل ۳- اثر متقابل کود دامی و دیاتومیت بر سطح برگ سیاهدانه.
Figure 3. Interaction effect of manure and diatomite on leaf area of black seed.

هم‌چنین نتایج بیانگر بود که در سطح صفر دیاتومیت با اضافه کردن کود دامی از صفر به ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار شاخص کلروفیل در تیمار شاهد ۱۱/۳۵ و به‌ترتیب ۱۴/۶۳ و ۱۵/۱۶ افزایش داشت. این روند افزایش در همه سطوح دیاتومیت از صفر به ۱۶ تن در هکتار مشاهده شد که بیش‌ترین شاخص کلروفیل در کاربرد هم‌زمان دیاتومیت و ۶۰ تن در هکتار کود

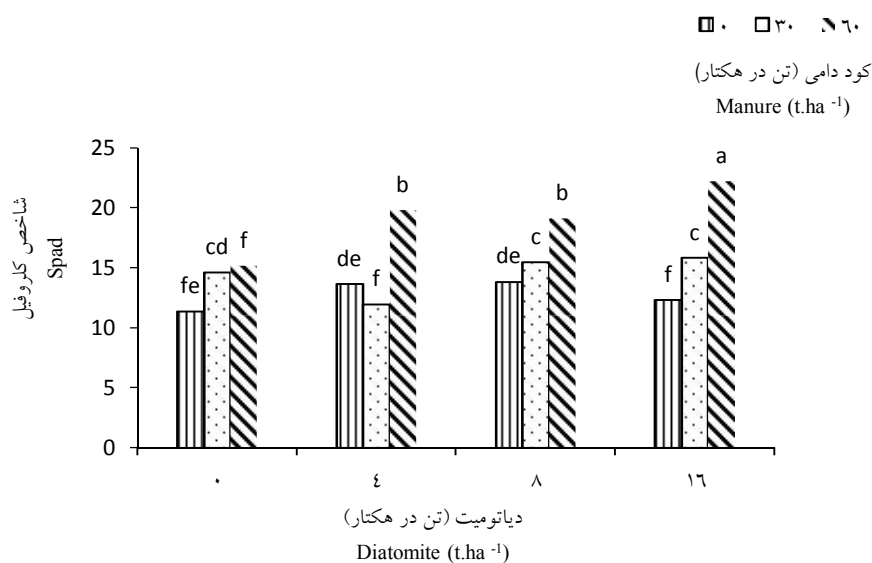
شاخص کلروفیل: نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس، بیانگر تأثیر معنی‌دار اثر ساده و متقابل کود دامی و دیاتومیت بر کلروفیل برگ سیاهدانه بود (جدول ۲). بیش‌ترین شاخص کلروفیل برگ مربوط به کاربرد ۶۰ تن در هکتار کود دامی و ۱۶ تن در هکتار دیاتومیت بود، و کم‌ترین مقدار شاخص کلروفیل در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۴).

دامی بود به گونه‌ای که در کاربرد ۱۶ تن در هکتار دیاتومیت به ترتیب از صفر به ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار کود دامی شاخص کلروفیل ۱۲/۲۳ به ۱۵/۸۳ و ۲۲/۲ افزایش داشت. با افزایش کود دامی و دیاتومیت به دلیل شادابی و سالم بودن بیش‌تر گیاه رنگدانه‌های سبز گیاه افزایش یافته و باعث بیش‌تر شدن شاخص کلروفیل در گیاه شده است (شکل ۴).

نتایج آزمایش‌های انجام گرفته توسط پژوهش‌گران (۳۵) بر روی جو نشان می‌دهد کود دامی باعث افزایش میزان مواد فتوسنتزی از طریق افزایش محتوای کلروفیل برگ شد. نتایج آزمایش‌های انجام گرفته توسط رئیسی و همکاران (۲۰۱۲) به منظور بررسی تأثیر کود آلی، بیولوژیک و شیمیایی بر شاخص‌های کلروفیل گیاه اسفرزه نشان داد که بیش‌ترین میزان شاخص کلروفیل مربوط به تیمار کود دامی بود (۳۶). کود دامی، ضمن تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه، هدرروی نیتروژن (آبشویی، متصاعد شدن یا تثبیت) را کاهش داده و سپس به دلیل فرآیند معدنی شدن، مجدداً نیتروژن به صورت تدریجی به شکل قابل جذب گیاه در می‌آید و سبب افزایش رشد رویشی گیاه در طول دوره رشد گیاه می‌شود که همین امر منجر به سبزی‌نگی بیش‌تر گیاه در مقادیر مصرفی کود دامی می‌گردد (۳۷).

افزایش دیاتومیت باعث جذب آسان مواد مغذی خاک به گیاه شده است که باعث جذب عناصر مورد نیاز برای شاخص کلروفیل و یا سنتز آن می‌شود. دیاتومیت به دلیل جذب آب و جلوگیری از تنش آب در گیاه و همچنین تهویه مناسب گیاه مانع از پژمردگی و شاداب ماندن گیاه می‌شود. کاربرد هیدروژل

سوپرجاذب عاملی در جهت مصرف بهینه کودها است، باعث کاهش شستشوی آب و مواد غذایی موجود در خاک می‌شود که تا حد ۵۰ درصد از مصرف کود کاسته و از مصرف بیش از حد کود که علاوه بر هزینه اضافی و احتمال ضرر و زیان و ایجاد سمیت برای خود گیاه آلودگی‌های زیست‌محیطی را نیز در پی دارد موجب ارتقای کارایی آن‌ها در افزایش عملکرد کیفی و کمی محصولات زراعی می‌گردد (۳۸). رستم‌پور و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند شاخص کلروفیل و عملکرد ذرت با مصرف ۱۰۵ کیلوگرم سوپر جاذب در هکتار افزایش یافت (۳۹). شاخص کلروفیل به علت افزایش ضخامت برگ در اثر کاهش رشد و توسعه سلولی، در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد. با توجه به این‌که میزان کلروفیل در برگ به طور مستقیم با فراهمی نیتروژن در ارتباط است و سوپر جاذب یک جاذب انتخابی مناسب برای کاتیون آمونیوم است و باعث کاهش شستشوی نیتروژن از محل ریشه می‌شود و به دلیل داشتن خاصیت تبادلی یون بالا موجب استفاده گیاه از تمامی عناصر موجود خاک می‌شود، بنابراین با استفاده از سوپر جاذب می‌توان از کاهش کلروفیل تا حدی جلوگیری کرد (۴۰). سوپر جاذب‌ها با بالا بردن ظرفیت تبادل کاتیونی خاک بستر مناسبی جهت نگهداری و در اختیار قرار دادن مواد غذایی و کاتیون‌های حل شده در محلول خاک برای مدت طولانی جهت استفاده گیاه فراهم گشته و از آبشویی و خروج آن‌ها از ناحیه قابل دسترسی برای گیاهان جلوگیری می‌گردد (۴۱).



شکل ۴- اثر متقابل کود دامی و دیاتومیت بر شاخص کلروفیل برگ سیاهدانه.

Figure 4. Interaction effect of manure and diatomite on the spad of black seed leave.

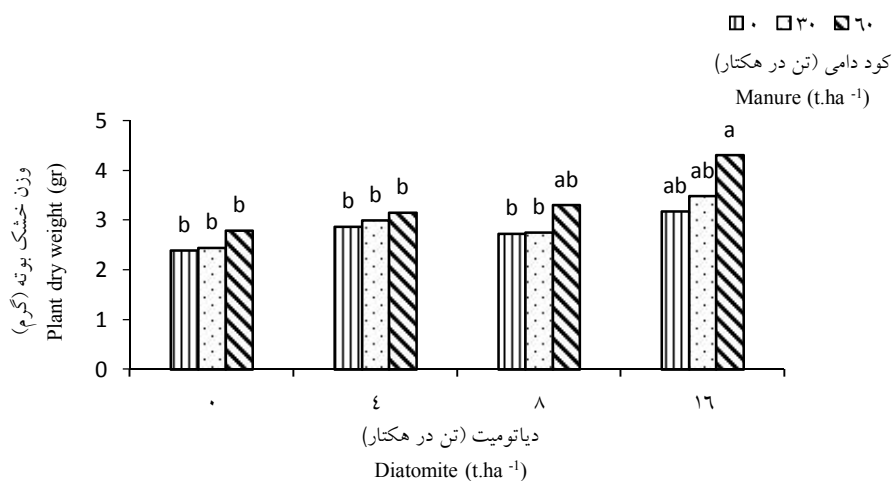
کود دامی این اختلاف مشاهده شد، به گونه‌ای که با کاربرد کود دامی از ۳۰ به ۶۰ تن در هکتار ماده خشک از ۲/۷۵ به ۳/۳۲ گرم افزایش داشت، این روند نیز در کاربرد ۱۶ تن در هکتار دیاتومیت نیز مشاهده شد به گونه‌ای که بین صفر و ۳۰ تن در هکتار کود دامی این اختلاف مشاهده نشد ولی با افزایش کود دامی از ۳۰ به ۶۰ تن در هکتار ماده خشک از ۳/۴۹ به ۴/۳۲ گرم افزایش داشت (شکل ۵).

با افزایش کود دامی به دلیل بهبود فراهمی عناصر غذایی، رشد بوته‌ها افزایش یافته که این امر علاوه بر افزایش ارتفاع و قطر بوته، بهبود ماده خشک اندام‌های هوایی و به تبع آن افزایش عملکرد زیست‌توده را نیز به دنبال داشت. وانگ و همکاران (۲۰۱۴) بیان نمود که کاربرد حاصلخیزکننده‌های آلی عامل مؤثری بر بهبود رشد گیاه می‌باشد (۴۲). ضیایی و همکاران (۲۰۱۴) در آزمایشی به بررسی تأثیر پلیمرهای سوپرجاذب خصوصیات مورفولوژیک گیاه رزماری تحت تنش خشکی گزارش کردند که بیش‌ترین وزن خشک گیاه در تیمارهای ظرفیت زراعی همراه با کاربرد سوپرجاذب مشاهده شد. آبیاری در حد

وزن خشک بوته: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده و متقابل کود دامی و دیاتومیت بر وزن خشک تک بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیش‌ترین ماده خشک مربوط به کاربرد توأم ۶۰ تن در هکتار کود دامی و ۱۶ تن در هکتار دیاتومیت با مقدار ۴/۳۲ گرم در بوته دیده شد و کم‌ترین با ۲/۴ مقدار مربوط به تیمار شاهد بود که نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌داری بین مصرف ۶۰ و ۱۶ تن در هکتار کود دامی و دیاتومیت با تیمار شاهد بود (شکل ۵). نتایج نشان داد که در سطح صفر دیاتومیت با افزایش کود دامی از صفر به ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار افزایش معنی‌داری بر ماده خشک مشاهده نشد به گونه‌ای که ماده خشک در تیمار شاهد ۲/۴ گرم و در ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار به ترتیب ۲/۴۵ و ۲/۸ گرم بود، این روند در سطح ۴ تن در هکتار دیاتومیت نیز مشاهده شد و بین کاربرد صفر، ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار اختلاف معنی‌داری دیده نشد، همچنین در سطح ۸ تن در هکتار دیاتومیت بین کاربرد صفر و ۳۰ تن در هکتار کود دامی اختلاف معنی‌داری دیده نشد ولی با کاربرد ۶۰ تن در هکتار

باعث بهبود برخی صفات مورفولوژیک رزماری گردید (۴۳).

ظرفیت زراعی خاک باعث بهبود اکثر صفات مورفولوژیک گیاه می‌شود و مصرف سوپرجاذب تنها



شکل ۵- اثر متقابل کود دامی و دیاتومیت بر وزن خشک بوته سیاهدانه.

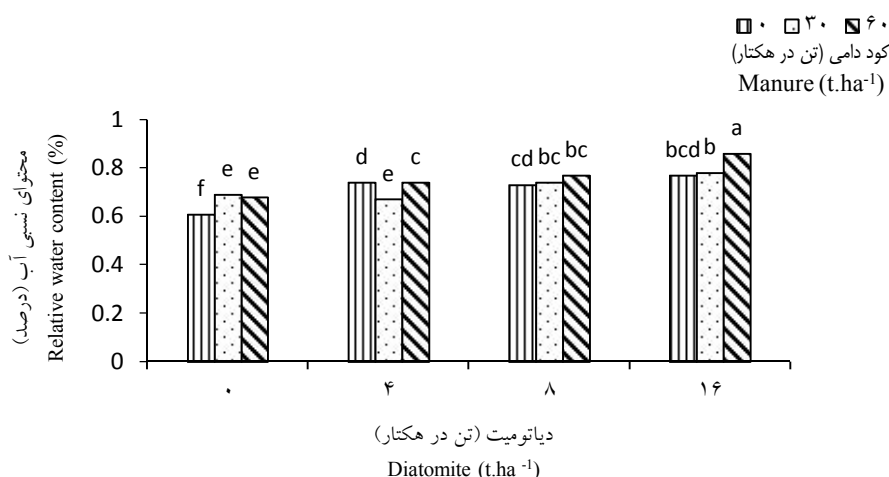
Figure 5. Interaction effect of manure and diatomite on dry weight of black seed plant.

مشاهده شد و تفاوت آماری در تیمارهای عدم کاربرد و ۳۰ تن در هکتار کود دامی با ۶۰ تن در هکتار مشاهده شد (شکل ۶).

در تأیید نتایج این پژوهش حیدرزاده و همکاران (۲۰۲۲) نیز دریافتند که با افزایش مقادیر مصرفی کود دامی از اثرات تنش کم‌آبی کاسته شد (۴۴). کاربرد کود دامی از طریق بهبود خواص فیزیکی خاک، ایجاد فضای بیشتر برای نفوذ آب با اصلاح و دانه‌بندی خاک و همچنین با برقراری پیوند با مولکول‌های آب برای ممانعت از تبخیر آب منجر به افزایش محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش کم‌آبی می‌شود (۴۵).

نتایج آزمایش چهل‌گردی و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که کم‌ترین میانگین محتوای نسبی آب برگ مربوط به مصرف پلیمر سوپرجاذب و کود دامی بود و بیش‌ترین آن مربوط به مصرف سوپرجاذب بود (۴۶). افزایش محتوای نسبی آب برگ با کاربرد سوپرجاذب را می‌توان به نقش مثبت این پلیمرها در جذب بیش‌تر آب نسبت داد (۴۷).

محتوای نسبی آب برگ: بررسی نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده و متقابل کود دامی و دیاتومیت بر محتوای نسبی آب برگ سیاهدانه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین مقدار محتوای نسبی آب مربوط به استفاده ۶۰ و ۱۶ تن در هکتار کود دامی و دیاتومیت ۸۶/۲۱۷ درصد بود و کم‌ترین آن مربوط به شاهد با مقدار ۶۰/۸۶ درصد بود (شکل ۶). نتایج نشان داد که در سطح صفر دیاتومیت بین تیمار شاهد و تیمارهای کاربرد ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار کود دامی اختلاف معنی‌داری مشاهده شد به گونه‌ای که محتوای نسبی آب در تیمار شاهد ۰/۶۰ درصد و در کاربرد ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار به ترتیب ۰/۶۸ و ۰/۶۹ درصد مشاهده شد که بین این دو تیمار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، این روند در سطح ۴ تن در هکتار دیاتومیت نیز مشاهده شد اما در کاربرد ۸ تن در هکتار دیاتومیت بین عدم کاربرد کود دامی و ۳۰ تن در هکتار کود دامی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ولی با کاربرد ۶۰ تن در هکتار تفاوت آماری مشاهده شد، این روند در سطح ۱۶ تن در هکتار نیز

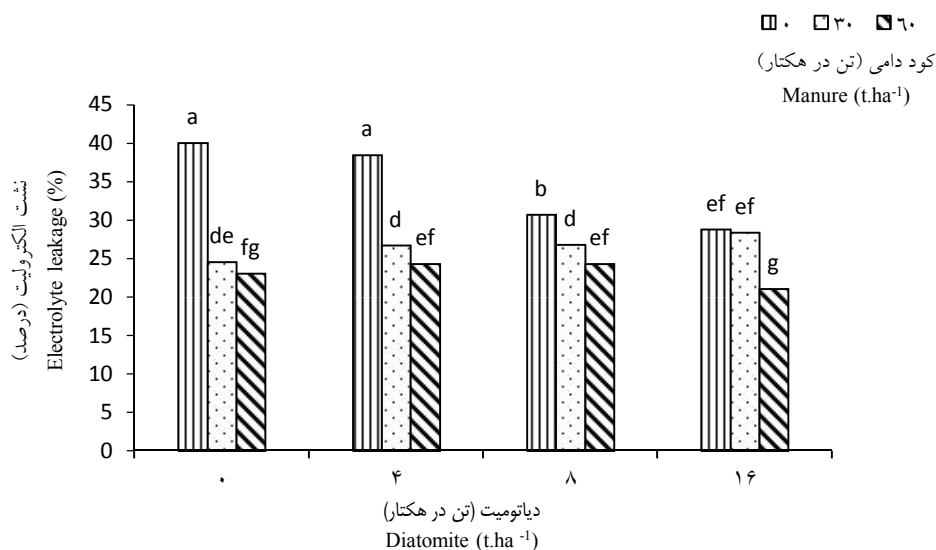


شکل ۶- اثر متقابل کود دامی و دیاتومیت بر محتوای نسبی آب سیاهدانه.

Figure 6. Interaction effect of manure and diatomite on the relative water content of black seed.

سلولی افزوده است به همین دلیل مانع از تراوش مواد قابل جذب می شود. در پژوهشی نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی رژیم های آبیاری و کاربرد دیاتومیت تأثیر معنی داری در سطح یک درصد بر نشت نسبی الکترولیت داشت و با کاربرد مقادیر ۳/۵ و ۷ تن در هکتار دیاتومیت نشت نسبی الکترولیت به ترتیب ۸ و ۱۰ درصد کاهش یافت (۴۸).

نشت الکترولیت: نتایج تجزیه واریانس بیانگر این بود که اثر ساده و متقابل کود دامی و دیاتومیت بر نشت الکترولیت معنی دار بود (جدول ۲). با توجه به شکل ۷ بیشترین نشت الکترولیت در تیمار شاهد با مقدار ۴۰/۱۴ درصد مشاهده شد و کمترین آن مربوط به کاربرد ۶۰ و ۱۶ تن در هکتار کود دامی و دیاتومیت بود. کود دامی و دیاتومیت با افزایش جذب و نگهداری آب و عناصر غذایی بر مقاومت غشای



شکل ۷- اثر متقابل کود دامی و دیاتومیت بر نشت الکترولیت سیاهدانه.

Figure 7. Interaction effect of manure and diatomite on black seed electrolyte leakage.

فسفر: نتایج آزمایش بیانگر تأثیر معنی‌دار اثر ساده و متقابل کود دامی و دیاتومیت بر مقدار فسفر بود (جدول ۳). بیش‌ترین میزان فسفر مربوط به کاربرد ۶۰ تن در هکتار کود دامی و ۱۶ تن در هکتار دیاتومیت با ۰/۹۰۴ درصد بود که با افزایش مقدار کود دامی و دیاتومیت افزایش میزان فسفر را مشاهده شد اما کم‌ترین مقدار فسفر مربوط به شاهد با مقدار ۰/۷۱۳ درصد بود (شکل ۸). نتایج بیانگر این بود که در سطح صفر دیاتومیت تیمارهای شاهد، کاربرد ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار کود دامی مقدار جذب فسفر به ترتیب ۰/۷۱۳، ۰/۷۳۰ و ۰/۷۳۲ درصد رسید که با شاهد تفاوت معنی‌داری داشتند اما بین کاربرد ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار کود دامی این اختلاف مشاهده نشد، در سطح ۴ تن در هکتار دیاتومیت میزان جذب فسفر در تیمار عدم کاربرد کود دامی با کاربرد ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار به ترتیب ۰/۷۱۴، ۰/۸۷۸ و ۰/۹۰۲ درصد رسید، هم‌چنین در سطح ۸ تن در هکتار دیاتومیت میزان جذب فسفر به ترتیب در تیمارهای عدم کاربرد کود دامی و کاربرد ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار آن به ۰/۷۱۹، ۰/۸۹۲ و ۰/۸۸۳ رسید، در سطح ۱۶ تن در هکتار دیاتومیت در تیمارهای عدم کاربرد کود دامی و کاربرد ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار کود دامی میزان جذب فسفر به ترتیب ۰/۷۲۲، ۰/۸۷۷ و ۰/۹۰۴ درصد رسید (شکل ۸) که نتایج بیانگر این بود با افزایش مقدار دیاتومیت و کود دامی بر مقدار جذب این عنصر افزوده شد. که دلیل آن می‌تواند قابلیت دسترسی عناصر با افزایش مقدار کود دامی و تهویه مناسب برای رشد و فعالیت گیاه در هنگام کاربرد توأم کود دامی و دیاتومیت در مقدار بالا باشد.

میرلوحی و همکاران (۲۰۱۲) ذکر نمودند که کاربرد کود دامی موجب افزایش فسفر قابل‌جذب خاک می‌شود، در نتیجه جذب آن توسط گیاه افزایش یافته و به دانه منتقل شده و غلظت آن در دانه افزایش

یافته است (۴۹). کودهای آلی باعث افزایش فراهمی فسفر در خاک‌های آهکی می‌شوند. در بررسی سیستم‌های مختلف تغذیه در گیاه دارویی زنیان بیش‌ترین جذب و غلظت نیتروژن و فسفر از سیستم تلفیقی کودهای دامی و شیمیایی حاصل شد (۵۰). ملکوتی (۲۰۰۸) گزارش نمود با اضافه شدن کود آلی در یک سیستم کشت، هوموس موجود در خاک باعث پوشاندن سطح ذرات رس شده و مانع از تثبیت فسفر می‌گردد (۵۱). اثرات مثبت کودهای حیوانی بر باروری خاک، افزایش ماده آلی و غنی‌سازی خاک و در نهایت بهبود و رشد و نمو گیاه توسط پژوهش‌گران مختلف مورد تأیید است. هم‌چنین گزارش شده است که خاک‌هایی که کود حیوانی دریافت کردند، علاوه بر جمعیت میکروبی فعال‌تر و غنی‌تر، مقادیر فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و نیترات قابل‌دسترس بیش‌تری نسبت به خاک‌های که کودهای غیرآلی تغذیه شده‌اند داشتند (۵۲). پلیمرهای سوپرجاذب به‌عنوان عامل آزادکننده کود در ماتریکس خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند بدین‌صورت که عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان را جذب نموده و به مرور آن‌ها را آزاد کرده و در اختیار گیاه قرار می‌دهند بدین‌ترتیب مانع از آبشویی این عناصر می‌گردند (۵۳). اثر اصلی دیاتومیت بر جذب فسفر گیاهی افزایش قابلیت دسترسی فسفر در خاک است که رقابت بین سیلیکات‌های محلول ($H_3O_4Si^-$) و فسفات‌ها (به‌عنوان $H_2PO_4^-$) برای محل‌های اتصال روی کلوئیدهای خاک می‌تواند جذب فسفر توسط گیاهان را افزایش دهد (۵۴). علاوه بر این، مطالعات نشان داده‌اند که سیلیسوم می‌تواند وضعیت تغذیه فسفر را در گیاه با افزایش فسفوریلاسیون فتوسنتزی؛ کاهش جذب غیرضروری آهن و منگنز (۵۵) و افزایش جابجایی فسفر در گیاه، بهبود بخشد (۵۶).

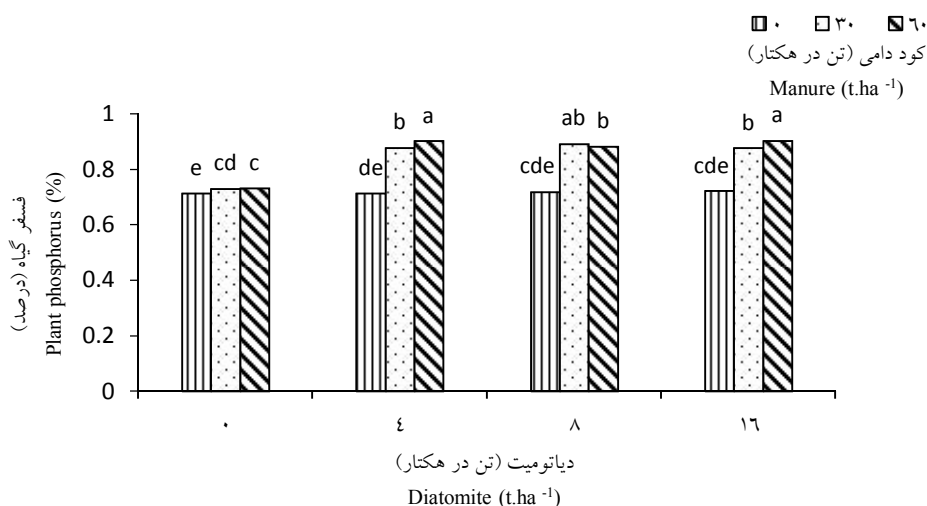
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عناصر جذب شده گیاه تحت تأثیر تیمارهای آزمایش.

Table 3. Results of analysis of variance (mean square) of absorbed plant elements under the influence of test treatments.

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	فسفر گیاه Plant Phosphorus	پتاسیم گیاه Plant Potassium	آهن گیاه Plant Iron
تکرار Replication	2	0.015 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	3.93 ^{ns}
کود دامی Manure	2	6.95 ^{**}	0.015 ^{**}	91.13 ^{**}
دیاتومیت Diatomite	3	2.61 ^{**}	0.005 ^{**}	72.39 ^{**}
کود دامی × دیاتومیت M×D	6	0.60 ^{**}	0.0028 ^{**}	131.13 ^{**}
خطا Error	22	0.008	0.000	3.63
ضریب تغییرات CV (%)	-	1.16	5.54	6.46

^{ns}, * و ** به ترتیب عدم معنی داری و معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد است

^{ns}, * and ** non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively



شکل ۸- اثر متقابل کود دامی و دیاتومیت بر فسفر گیاه سیاهدانه.

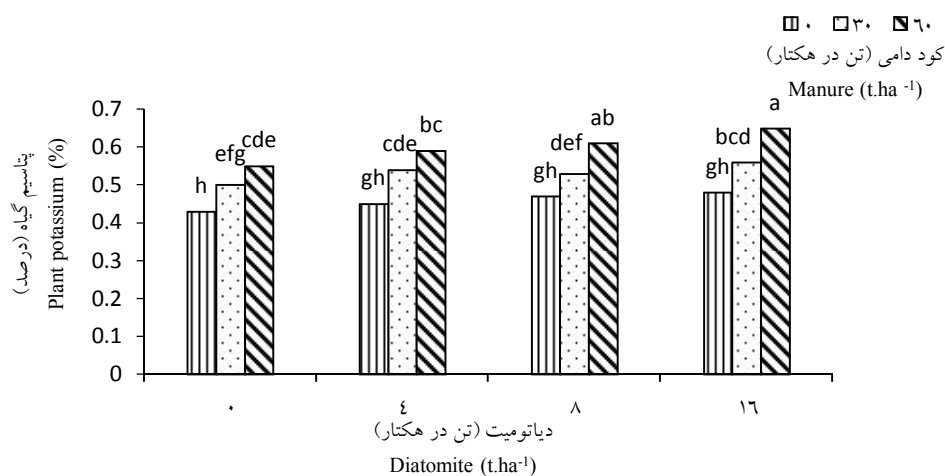
Figure 8. Interaction effect of manure and diatomite on phosphorus of black seed plant.

دیاتومیت با مقدار ۰/۶۵ درصد و کمترین آن مربوط به شاهد با مقدار ۰/۴۳ درصد بود. با توجه به نتایج مشاهده شد که پتاسیم در سطح صفر دیاتومیت در تیمار شاهد، ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار کود دامی به ترتیب

پتاسیم: اثر ساده کود دامی و دیاتومیت و اثر متقابل تیمارها بر میزان پتاسیم سیاهدانه معنی دار بود (جدول ۳). با توجه به (شکل ۹) بیشترین میزان پتاسیم مربوط به کاربرد ۶۰ و ۱۶ تن در هکتار کود دامی و

جذب و مصرف این عنصر داشت. با توجه به ارتباط مستقیم ماده زیست‌توده گیاه با مقدار کل عنصر معدنی در زیست‌توده، افزایش مقدار عنصر پتاسیم می‌تواند ناشی از تحریک رشد رویشی این گیاه باشد که در نهایت منجر به افزایش عملکرد نهایی گیاه شود (۵۷). که نتایج آن با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. نجفی و همکاران (۲۰۱۲) کود دامی به عنوان یک منبع غنی از پتاسیم، پتاسیم قابل جذب خاک را افزایش می‌دهد، در نتیجه جذب پتاسیم توسط گیاه نیز افزایش می‌یابد به‌طوری‌که با کاربرد کود دامی به خاک جذب عنصر پتاسیم آفتابگردان افزایش یافت (۵۸). سیاری زهان و همکاران (۲۰۱۵) دیاتومیت را به عنوان یک کود معدنی خوبی پیشنهاد داده اند زیرا می‌تواند محتوای پتاسیم و فسفر قابل جذب خاک را افزایش دهد (۱۴). به‌دنبال افزایش پتاسیم خاک جذب پتاسیم در گیاه نیز افزایش می‌یابد و سبب افزایش میزان پتاسیم برگ گیاه سیاهدانه می‌شود. چن و همکاران (۵۹) ادعا کردند که یک مزیت بزرگ کاربرد سیلیسیوم این است که می‌تواند عنصر مغذی را در بافت گیاهی از طریق سرکوب سدیم، آلومنیوم و منگنز و با واسطه جذب فسفر، منیزیم، پتاسیم، آهن، مس و روی متعادل کند.

۰/۴۳، ۰/۵ و ۰/۵۵ درصد بود، که با افزایش مقدار کود دامی بر مقدار پتاسیم نیز افزوده شد، این روند در تمامی سطوح دیاتومیت نیز مشاهده شد و با افزایش کود دامی و دیاتومیت بر میزان پتاسیم افزوده شد. در سطح ۴ تن در هکتار دیاتومیت میزان پتاسیم به‌ترتیب در تیمارهای عدم کاربرد کود دامی و کاربرد ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار آن به‌ترتیب ۰/۴۵، ۰/۵۴ و ۰/۵۹ درصد بود. در سطح ۸ تن در هکتار دیاتومیت مقدار پتاسیم در تیمارهای عدم کاربرد کود دامی و کاربرد ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار آن به‌ترتیب ۰/۴۷، ۰/۵۳ و ۰/۶۱ درصد رسید و در سطح ۱۶ تن در هکتار دیاتومیت مقدار پتاسیم به‌ترتیب به ۰/۴۸، ۰/۵۶ و ۰/۶۵ درصد رسید (شکل ۹). نتایج اثر متقابل نیز نشان‌دهنده افزایش عناصر غذایی با کاربرد کود دامی و به‌دلیل افزایش میزان جذب آب به راحتی عناصر از خاک به‌وسیله ریشه جذب و در اختیار گیاه قرار می‌گیرد که باعث افزایش غلظت عناصر به‌خصوص پتاسیم شده است. رضوانی‌مقدم و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند اعمال تیمارهای کودی در مقایسه با تیمار شاهد تأثیر مثبت و معنی‌داری در افزایش مقدار پتاسیم اندام‌های سیاهدانه (بر حسب گرم در مترمربع) و نیز کارایی



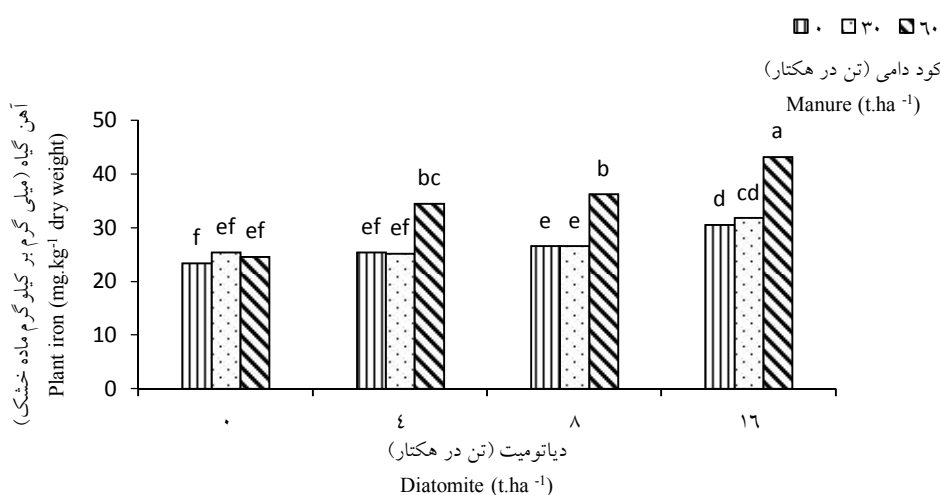
شکل ۹- اثر متقابل کود دامی و دیاتومیت بر پتاسیم گیاه سیاهدانه.

Figure 9. Interaction effect of manure and diatomite on potassium of black seed plant.

افزایش کود دامی بر میزان آهن موجود در برگ‌ها افزوده شد.

آهن یکی از عناصر کم‌مصرف بسیار مهم گیاهان به حساب می‌آید که کمبود آن منجر به بروز زردی برگ، تغییر غلظت و محتوای آهن و سایر عناصر فلزی در بافت‌های گیاهی می‌شود که این صفات ارتباط نزدیکی با عملکرد گیاهان زراعی دارد. اهمیت آهن در تغذیه گیاهی با توجه به راهبردهایی که گیاهان برای جذب این عنصر تحت شرایط تنش آهن به‌کار می‌گیرند، مورد تأکید قرار گرفته است (۶۰). کود آلی در شرایط خشکی با افزایش میزان تجمع مواد قابل‌جذب آلی از جمله پرولین، قندها، نیتروژن قابل‌جذب و همچنین مواد قابل‌جذب معدنی سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، روی، آهن و مس در برگ‌ها و دانه‌ها باعث کاهش اثر تنش خشکی و افزایش عملکرد گندم گردید (۶۱). بسیاری از گزارش‌ها نشان می‌دهند که تیمار خاک با مواد فعال بیوژئوشیمیایی سیلیس مانند دیاتومیت، حاصلخیزی را از طریق بهبود آب، خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و حفظ مواد مغذی موجود در گیاه بهینه می‌کند (۵۵).

آهن: اثر ساده و متقابل کود دامی و دیاتومیت بر میزان آهن سیاهدانه معنی‌دار بود (جدول ۳). با توجه به (شکل ۱۰) بیش‌ترین میزان آهن در کاربرد ۶۰ و ۱۶ تن در هکتار کود دامی و دیاتومیت با ۴۳/۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک و کم‌ترین مقدار آهن در تیمار شاهد با مقدار ۲۳/۳۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک مشاهده شد. نتایج اثرات متقابل نشان داد که در سطح صفر دیاتومیت مقدار جذب آهن در گیاه در تیمارهای شاهد و کاربرد ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار کود دامی به ترتیب ۲۵/۴۵، ۲۵/۵۱ و ۳۴/۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک به‌دست آمد، که بین تیمار عدم کاربرد و کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ولی با کاربرد ۶۰ تن در هکتار تفاوت معنی‌داری مشاهده شد که در تمامی سطوح ۴، ۸ و ۱۶ تن در هکتار این روند مشاهده شد و مقدار جذب آهن در سطح ۱۶ تن در هکتار دیاتومیت به‌ترتیب در تیمارهای عدم کاربرد بر کاربرد ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار کود دامی به میزان ۳۰/۶۳، ۳۱/۸۵ و ۴۳/۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک به‌دست آمد (شکل ۱۰). همچنین نتایج نشان داد با



شکل ۱۰- اثر متقابل کود دامی و دیاتومیت بر آهن گیاه سیاهدانه.

Figure 10. Interaction effect of manure and diatomite on iron of black seed plant.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که اثرات ساده و متقابل کود دامی و دیاتومیت بر ارتفاع بوته، قطر ساقه، سطح برگ، شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب، وزن خشک بوته، میزان فسفر، پتاسیم و آهن سیاهدانه معنی‌دار بود. و بیشترین میزان این شاخص‌ها از کاربرد ۶۰ تن در هکتار کود دامی و ۱۶ تن در هکتار دیاتومیت به‌دست آمد.

همان‌طور که این نتایج نشان می‌دهد کاربرد توأم کود دامی و دیاتومیت می‌تواند منجر به افزایش صفات مذکور گردد. بنابراین کودهای دامی در تلفیق با دیاتومیت می‌توانند به حاصلخیزی خاک و افزایش تولید محصول سیاهدانه منجر شود، زیرا این سیستم بیش‌تر نیازهای غذایی گیاه را تأمین کرده و کارایی جذب مواد غذایی توسط محصول را افزایش می‌دهد.

منابع

1. Niazian, M., Sadat Noori, S. A., Tohidfar, M., & Mortazavian, S. M. M. (2017). Essential oil yield and agromorphological traits in some iranian ecotypes of ajowan (*Carum copticum* L.). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 20, 1151-1156. doi:10.1080/0972060x.2017.1326849.
2. Mamun, M. A., & Absar, N. (2018). Major nutritional composition of black cumin seeds cultivated in Bangladesh and physicochemical characteristics of its oil. *International Food Research Journal*, 25, 2634-2639.
3. Javadi, H. (2008). Effect of planting dates and nitrogen rates on yield and yield components of black cumin (*Nigella Sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 6(1), 59-66. doi.org/10.22067/gsc.v6i1.1176 [In Persian]
4. Seyyedi, S. M., Rezvani Moghaddam, P., Khajeh Hossieni, M., & Shahandeh, H. (2015). The improving seed physiological aspects of black seed (*Nigella sativa* L.) in calcareous soil. The role of some indices related to qualitative yield and fatty acids composition. *Journal of Seed Science and Technology*, 5, 93-105. [In Persian]
5. Bybordi, A., & Malakouti, M. J. (2007). Effect of different organic fertilizers (animal manure, compost, and vermicompost) on the yield and quality of red onion in khosrowshahr and bonab. *Iranian Journal of Soil Research*, 21(1), 33-43. doi.org/10.22092/ijsr.2007.127020. [In Persian]
6. Najafi, N., Mohammad Nejad, A., & Neishabouri, M. R. (2015). Effects of three types of organic fertilizers on the growth characteristics and water use efficiency of corn at different levels of soil compaction. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 5(2), 25-47.
7. Najafi, N. (2015). Nitrogen nutrition management of plants in greenhouse and hydroponic cultivation. The 4th National Congress of Hydroponics and Greenhouse Productions. Waliar University, Rafsanjan, Rafsanjan, Iran. [In Persian]
8. Singh, L., & Sukul, P. (2019). Impact of vermicompost, farm yard manure, fly ash and inorganic fertilizers on growth and yield attributing characters of maize (*Zea Mays* L.). *Plant Archive*, 19(2), 2193-2200.
9. Yen, G. C., & Hwang, L. S. (1985). Lycopene from the seeds of ripe bitter melon (*Momrdica charantia*) as potential red food colorant. II. Storage stability, preparation of powdered lycopene and food applications. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 23, 151-161.
10. Allahdadi, M., Shakiba, M. R., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., & Amini, R. (2002). Evaluation of yield and advantages of soybean (*Glycine max* L. Merrill.) and calendula (*Calendula officinalis* L.) intercropping systems. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 23(3), 47-58. [In Persian]

11. Kabiri, K. (2003). Acrylic super absorbent hydrogels. the second specialized-educational-agricultural and industrial application course of super absorbent hydrogels, 17 February.
12. Jessen, L. (2007). Advertising sales business manager. *Industry News*, 1(250), 629-677.
13. Abdalla, M. M. (2011). Impact of diatomite nutrition on two *Trifolium Alexandrinum* cultivars differing in salinity tolerance. *Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 3(13), 233-246. **doi.org/10.5897/IJPPB11.040.**
14. Sayyari-Zahan, M. H., Gholami, A., & Rezaeepour, S. (2015). Diatomite and re-use coal waste as promising alternative for fertilizer to environmental improvement. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, 5(2), 70. **doi.org/10.13140/RG.2.2.32112.40968.**
15. Santos, M. F., Mendonca, M. C., Carvalho Filho, J. L. S., Dantas, I. B., Silva-Mann, R., & Blank, A. F. (2009). Cattle manure and biofertilizer on the cultivation of lemon balm, (*Melissa officinalis* L.). *Revista Brasileira de Plantas Medicinai*s, 114, 355-359. **doi.org/10.1590/S1516-05722009000400001.**
16. Kaplan, M., Kocabas, I., Sonmez, I., & Kalkan, H. (2009). The effects of different organic manure applications on the dry weight and the essential oil quantity of sage (*Salvia fruticosa* Mill.). *Acta Horticulturae*, 826(147), 52. **doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.826.20.**
17. Kuzina, E. E., Arefyev, A. N., & Kuzin, E. N. (2021). Influence of diatomite and its combinations with manure on the fertility of leached black earth soil (chernozem) and on the yield of vegetable. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 27(3).
18. Chekaev, N. P., Ryabov, A. E., Vlasova, T. A., & Koryagin, Y. V. (2019). Change in the agrophysical properties of leached chernozem depending on the application of local siliceous rocks and fertilizers. *Volga Region Farmland*, 4(4), 63-69. **doi.org/10.36461/NP.2019.52.3.014.**
19. Kuzina, E. E., Arefiev, A. N., & Kuzin, E. N. (2019). After effect of diatomite and its combinations with manure on the fertility of leached black cherozem and carrot yield. *Volga Region Farmland*, (3), 65-69. **doi.org/10.26177/VRF.2019.3.3.013.**
20. Dolatshahi, A. R., Esfandiari, K., Momeni, A., & Hajmolana, N. (2000). Instructions for laboratory analysis of soil and water samples. No. 467, Soil and Water Research Institute, Ministry of Agriculture and Natural Resources, Tehran, Iran. [In Persian]
21. Zamani, G., Ghotbinejad, D., Sayyari-Zahan, M. H., & Nabipour, Z. (2022). The effect of diatomite on some morphological, physiological and yield characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under different irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 15(1), 161-172. **doi.org/10.22077/escs.2021.3711.1902.** [In Persian]
22. Sayyadian, K., Moezzi, A., Gholami, A., Panahpour, E., & Mohsenifar, K. (2019). Effect of biochar on cadmium, nickel and lead uptake and translocation in maize irrigated with heavy metal contaminated water. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(1), 969-982.
23. Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M. A., Johnston, C. T., & Sumner, M. E. (1996). Methods of soil analysis Part 3- Chemical methods. P. 1390. Soil Science Society of America Book Ser. 5, Madison, Wisconsin, USA.
24. Khoshpeyk, S., Sadrabadi Haghighi, R., & Ahmadian, A. (2016). The effect of application of nitrogen fertilizer and nano-organic manure on yield, yield components and essential oil of fennel (*Foeniculum vulgar* Mill.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 14(4), 775-787. **doi.org/10.22067/gsc.v14i4.51678.** [In Persian]

25. Mahfouz, S. A., & Sharaf Eldin, M. A. (2013). Effect of mineral vs. biofertilizer on growth, yield, and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill). *International Agrophysics*, 21(4), 361-366.
26. Abdalla, M. (2010). Sustainable effects of diatomite crops on the growth criteria and phytochemical contents of *Vicia faba* plants. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1, 1076-1089.
27. Fadia, Sh., Doha, Z., & Yun Kiam, Y., (2018). Diatomite improves productivity and quality of *Moringa oleifera* grown in greenhouse. *Electronic Journal of Biology*, 14, 1-6.
28. Laleh, S., Jami Al-Ahmadi, M., & Parsa, S. (2018). Changes in soil C/N ratio and response of growth of Hemp (*Cannabis sativa* L.) to different levels of animal manure and chemical fertilizers. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 16(1), 137-152. doi: 10.22067/gsc.v16 i1.60300.
29. Buchholz, F. L., & Graham, A. T. (1997). Modern superabsorbent polymer technology. John Wiley & Sons, 304 p.
30. Jalali Moghaddas, R. (2012). Investigation of the effect of different levels of sulfur and animal manure on the growth characteristics, yield and quality characteristics of sunflower seeds. Master's Thesis. Faculty of Agriculture, Birjand University. [In Persian]
31. Leithy, S., El-Meseiry, T. A., & Abdallah, E. F. (2008). Effect of biofertilizer, cell stabilizer and irrigation regime on rosemary herbage oil quality. *Journal of Applied Sciences Research*, 2, 773-765.
32. Liang, Y., Sun, W., Zhu, Y., & Christie, P. (2007). Mechanisms of silicon-mediated Alleviation of abiotic stress in higher plants. A review. *Environmental pollution*, 147, 422-428. doi.org/10.1016/j.envpol.2006.06.008.
33. Taheri, H., Soltani Mohammadi, A., & Alamzadeh Ansari, N. (2017). Investigation of the effect of different levels of superabsorbent on the number and surface of lettuce leaves under drought stress. Two specialized quarterly journals of water science and engineering, Islamic Azad University, Ahvaz Branch. [In Persian]
34. Moazzen Ghamsari, B., Akbari, G., Zohuriyan, A., & Nikniyae, M. G. (2009). Study the yield and growth analysis of forage corn (*Zea mayz* L.) under different level of super absorbent polymer application (super water- A200) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 3, 1-8. [In Persian]
35. Ofosu-Anim, J., & Leitch, M. (2009). Relative efficacy of organic manures in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) production. *Australian Journal of Crop Science*, 3(1), 13-19.
36. Raeisi, A., Galavi, M., Ramroodi, M., Rahimi, M., & Farhadi, R. (2012). *Effect of organic manure, biological and chemical fertilizers on chlorophyll indicators of herb Isabgol*. 1st National Congress on Medicinal Plants", Kish Island. Iran, pp. 186.
37. Hassanzadeh Ghortepheh, A., Amirnia, R., & Heydarzadeh, S. (2020). The effect of manure application on physiological traits of *Cichorium intybus* L. in response to drought stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 30(3), 133-146. [In Persian]
38. Zhou, B. (2003). Production and uses of water-absorbent long effect compound fertilizer. *Journal of the Chemical Fertilizer Industry*, 55-56.
39. Rostampour, M. M., Seghat Aleslami, M. J. M., & Mousavi, M. G. M. (2010). The study of drought stress effect dry and superabsorbent on relative water content and chlorophyll index and its relationship with grain yield in maize. *Crop Physiology*, 2, 19-31.
40. Babaeian, I., & Najafi, Z. (2010). Climate change assessment in khorasan-e razavi province from 2010 to 2039 using statistical downscaling of GCM output. *Journal of Geography and Regional Development*, 8(15), 1-19.

- doi.org/10.22067/geography.v8i15.9506.**
[In Persian]
41. Manochehri, Gh. R. (2012). Issues related to water consumption pattern. *Water Commission Bulletin*, 6, 4-6. [In Persian]
 42. Wang, K., Li, X., He, C., Chen, C. L., Bai, J., Ren, N., & Wang, J. Y. (2014). Transformation of dissolved organic matters in swine, cow and chicken manures during composting. *Bioresource Technology*, 168, 222-228. **doi.org/10.1016/j.biortech.2014.03.129.**
 43. Ziyadeh, A., Moghadam, M., & Kashfe, B. (2014). Investigation of the effect of superabsorbent polymers on the morphological characteristics of rosemary plants under drought stress. *Journal of Greenhouse Crops Sciences and Techniques*, 26, 28-32. [In Persian]
 44. Heydarzadeh, S., Rahimi, A., Hassanzadeh Ghorsteh, A., Amirnia, R., & Vahedi, R. (2022). The effect of manure and water stress on nutrient uptake and some biochemical properties in chicory (*Cichorium intybus* L.). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53(2), 305-315. **doi.org/10.22059/ijswr.2022.332752.669108.**
 45. Khadem, S. A., Galavi, M., Ramrodi, M., Mousavi, S. R., Roustae, M. J., & Rezvani-Moghadam, P. (2010). Effect of animal manure and superabsorbent polymer on corn leaf relative water content, cell membrane stability and leaf chlorophyll content under dry condition. *Australian journal of crop science*, 4, 642-651.
 46. Chelgerdi, A., Safari, M., & Abdul Shahi, R. (2014). Effect of super absorbent polymer, potassium sulphate and farmyard manure on physiological characteristics of millet (*Setaria italica*) optimum irrigation and drought stress conditions. *Journal of crop production*, 7(2), 43-60. [In Persian]
 47. Yang, G., Chen, X., & Sanico, J. (2011). Comparative genomics of two eco-logically differential populations of *Hibiscus tiliaceus* under salt stress. *Journal Functional Plant Biology*, 38(3), 199-208. **doi.org/10.1071/FP10228.**
 48. Zamani, G., Ghotbinejad, D., Sayyari Zahan, M. H. and Nabipour, Z. (2021). The effect of using diatomite on yield and yield component of chickpea (*Cicer arietinum*) under different irrigation regimes. *Iranian Journal Pulses Research*, 12(2), 57-68. **doi.org/10.22067/ijpr.v12i2.81506.**
 49. Mirlohi, A., Mohammadi, R., Razavi, J., Majidi, M., & Noorbakhsh, F. (2012). Effect of organic fertilizers and split application of nitrogen on yield and yield components of rice. *Journal of Plant Production Research*, 16(1), 29-43. [In Persian]
 50. Akbarinia, A., Ghalavand, Z., Tahmasebi Sarvestani, E., Sharifi Ashorabadi, A., & Banj Shafieei, S. (2005). Effect of different nutrition systems on soil properties, elemental uptake and seed yield of Ajowan (*Carum copticum*). *Pajouhesh Sazanegi*, 62, 11-19. [In Persian]
 51. Malkouti, M. J. (2008). Fertility of soils in arid and semi-arid regions, problems and solutions. Tarbiat Modares University Publications. [In Persian]
 52. Baldi, E., Toselli, M., & Marangoni, B. (2010). Nutrient partitioning in potted peach (*Prunus persica* L.) trees supplied with mineral and organic fertilizers. *Journal of plant nutrition*, 33(14), 2050-2061. **doi.org/10.1080/01904167.2010.519080.**
 53. Mikkelsen, R. L. (1994). Using hydrophilic polymer to control nutrient. *Journal of Fertilizer Research*, 38, 53-59. **doi.org/10.1007/BF00750062.**
 54. Schaller, J., Faucherre, S., Joss, H., Obst, M., Goeckede, M., Planer Friedrich, B., Peiffer, S., Gilfedder, B., & Elberling, B. (2019). Silicon increases the phosphorus availability of Arctic soils. *Scientific Reports*, 9(1), 1-11. **doi.org/10.1038/s41598-018-37104-6.**
 55. Ma, J. F., Mitani, N., Nagao, S., Konishi, S., Tamai, K., Iwashita, T., & Yano, M. (2004). Characterization of the silicon uptake system and

- molecular mapping of the silicon transporter gene in rice. *Plant Physiology*, 136(2), 3284-3289. **doi.org/10.1104/pp.104.047365.**
56. Greger, M., Landberg, T., & Vaculik, M. (2018). Silicon influences soil availability and accumulation of mineral nutrients in various plant species. *Plants*, 7(2), e41. **doi.org/10.3390/plants7020041.**
57. Rezvani Moghaddam, P., Seyedi, S., & Azad, M. (2014). Effects of organic, chemical and biological sources of nitrogen on nitrogen use efficiency in black seed (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 30(2), 260-274. **doi.org/10.22092/ijmapr.2014.6196.** [In Persian]
58. Najafi, N., Mardomi, S., & Oustan, S. (2012). The effect of waterlogging, sewage sludge and manure on selected macronutrients and sodium uptake in sunflower plant in a loamy sand soil. *Water and Soil*, 26(3), 619-636. **doi.org/10.22067/jsw.v0i0.14927.** [In Persian]
59. Chen, J., Caldwell, R. D., Robinson, C. A., & Steinkamp, R. (2001). Lets put the Si back into soil- part II. *Plant Nutrition*, 6, 48-51.
60. Baghai, N., & Maleki Farahani, S. (2013). Comparison of nano and micro chelated iron fertilizers on quantitative yield and assimilates allocation of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research*, 1(2), 156-169. **doi.org/10.22077/jsr.2013.442.** [In Persian]
61. El-Bassiouny, H. S. M., Ahmad Bakry, B., El-Monem Attia, A. A., & Abd Allah, M. M. (2001). Physiological role of humic acid and nicotinamide on improving plant growth, yield, and mineral nutrient of wheat (*Triticum durum*) grown under newly reclaimed sandy soil. *Agricultural Sciences*, 5, 687-700. **doi.org/10.4236/as.2014.58072.**

