



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources



(OPEN ACCESS)

The impact of coal ash on soil respiration and the growth indices of white pea inoculated with *Mesorhizobium* and mycorrhiza fungi

Ali Akbar Safari Sinegani^{*1}, Leila Karami²

1. Corresponding Author, Professor, Dept. of Soil Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: aa-safari@basu.ac.ir
2. M.Sc. Graduate of Soil Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: leila.karami69@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Full Length Research Paper	Background and Objectives: In recent years, the use of industrial residues such as coal ash in agriculture as a soil amendment and nutrient source has gained attention. However, determining the optimal application rates of these materials and their effects on soil properties, plant growth, and microbial symbiosis requires further investigation. This study evaluated the effects of bituminous coal ash application, combined with a tripartite symbiosis of microorganisms, on the growth parameters and performance of Iranian pea plants.
Article history: Received: 01.28.2025 Revised: 09.30.2025 Accepted: 10.01.2025	
Keywords: Bituminous coal, <i>Funneliformis mosseae</i> , Iranian pea, <i>Mesorhizobium ciceri</i> , <i>Rhizophagus irregularis</i>	Materials and Methods: The experiment was conducted in a greenhouse as a factorial pot trial in a completely randomized design with three replications in sterile conditions. The experimental factors included four levels of coal ash (0, 2.5, 5, and 10% of soil weight), three treatments of mycorrhizal fungi inoculation (no inoculation, inoculation with <i>Funneliformis mosseae</i> , and inoculation with <i>Rhizophagus irregularis</i>), and two treatments of <i>Mesorhizobium ciceri</i> inoculation (no inoculation and inoculation with <i>Mesorhizobium</i>). Plants were grown under daily irrigation until the flowering stage. Parameters such as basal and induced soil respiration, leaf chlorophyll content, and growth indicators (plant height, shoot and root dry weight, and the number of rhizobial nodules) were measured.
	Results: Soil treated with 2.5% coal ash significantly improved plant height, dry weight, and the number of root nodules compared to the control. However, increasing the coal ash application to 5% and 10% resulted in reduced growth parameters, indicating negative effects of higher coal ash concentrations on soil and plant properties. The highest chlorophyll content in leaves was observed with 5% coal ash application, possibly due to the nutrients available in the ash. Inoculation with mycorrhizal fungi and <i>Mesorhizobium</i> , either separately or simultaneously, significantly enhanced growth parameters, total chlorophyll content, and chlorophyll <i>a</i> and <i>b</i> levels in leaves. The highest chlorophyll content was observed in plants inoculated with <i>Funneliformis mosseae</i> , indicating its greater efficiency than <i>Rhizophagus irregularis</i> . At a 10% coal ash

application rate, the beneficial effects of biofertilizers on plants were not observed, likely due to chemical and/or physical soil contamination.

Conclusion: This study revealed that applying bituminous coal ash at a low rate (2.5%) can significantly improve Iranian pea growth parameters. However, higher rates (5% and 10%) showed detrimental effects on plant growth and microbial symbiosis. Furthermore, inoculation with mycorrhizal fungi and *Mesorhizobium* substantially increased plant growth and chlorophyll content, although these beneficial effects diminished at higher coal ash concentrations. As this study was conducted in a greenhouse and under sterile conditions, further field trials, particularly under continuous coal ash application, are recommended to validate the findings and provide practical recommendations for farmers.

Cite this article: Safari Sinegani, Ali Akbar, Karami, Leila. 2026. The impact of coal ash on soil respiration and the growth indices of white pea inoculated with *Mesorhizobium* and mycorrhiza fungi. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 16 (2), 57-77.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/ejsms.2026.23253.2175

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



پیامد خاکستر زغال سنگ بر تنفس خاک و شناسه‌های رشد گیاه نخود سپید مایه‌زنی شده با مزوریزوبیوم و قارچ‌های میکوریز

علی اکبر صفری سنجانی^{۱*}، لیلا کرمی^۲

۱. نویسنده مسئول، استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: aa-safari@basu.ac.ir

۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: leila.karami69@gmail.com

چکیده	اطلاعات مقاله
سابقه و هدف: در سال‌های گذشته به کاربرد پسماندهای صنعتی مانند خاکستر زغال سنگ در کشاورزی برای بهسازی خاک و افزایش رشد گیاه نگاه ویژه‌ای شده است. به هر گونه، هنوز درباره اندازه شایسته کاربرد این مواد و نشان آن‌ها بر ویژگی‌های خاک، رشد گیاه و همزیستی ریزجانداران با گیاه شناخت روشنی در دست نیست و این نیاز به بررسی بیشتری دارد. در این پژوهش، پیامد اندازه‌های گوناگونی از خاکستر زغال سنگ بیتومینه همراه با همزیستی سه‌گانه ریزجانداران بر شناسه‌های رشد و کارکرد گیاه نخود آزمایش و بررسی شد.	نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۹ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۹
مواد و روش‌ها: این پژوهش آزمایشی گلدانی بر یک خاک سترون شده بود که به گونه فاکتوریل با طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شده کاربرد خاکستر زغال سنگ در ۴ اندازه (۰، ۲/۵، ۵ و ۱۰ درصد)، مایه‌زنی قارچ میکوریز در سه تیمار (بدون مایه‌زنی، مایه‌زنی با قارچ <i>Funneliformis mosseae</i> و مایه‌زنی با قارچ <i>Rhizophagus irregularis</i>) و مایه‌زنی <i>Mesorhizobium ciceri</i> در دو تیمار (بدون مایه‌زنی و مایه‌زنی با باکتری) بود. گیاهان نخود کشت شده در گلخانه، با آبیاری روزانه تا آغاز گام گلدهی رشد داده شدند و سپس شناسه‌های تنفس پایه و برانگیخته خاک، کلروفیل برگ و شناسه‌های رشدی گیاه مانند بلندی گیاه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه اندازه‌گیری شدند.	واژه‌های کلیدی: زغال سنگ بیتومینه، نخود ایرانی، <i>Funneliformis mosseae</i>، <i>Mesorhizobium ciceri</i>، <i>Rhizophagus irregularis</i>
یافته‌ها: تیمار خاک با ۲/۵ درصد خاکستر زغال سنگ مایه بهبود چشم‌گیر شناسه‌های بلندی گیاه و وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه در برابر گواه آزمایش شد. با افزایش اندازه خاکستر به ۵ و ۱۰ درصد، شناسه‌های رشد کاهش یافت که نشان‌دهنده پیامد زیانبار اندازه بالای خاکستر بر ویژگی‌های خاک و گیاه است. بیش‌ترین اندازه کلروفیل برگ در تیمار ۵ درصد خاکستر دیده شد، که این شاید به عناصر خوراکی گیاه در خاکستر وابسته باشد. مایه‌زنی قارچ‌های	

میکوریزا و باکتری به گونه جداگانه و هم‌زمان مایه افزایش چشم‌گیر شناسه‌های رشد و اندوخته کلروفیل کل برگ، و کلروفیل *a* و *b* در برگ شد. بالاترین اندازه کلروفیل در تیمار مایه‌زنی با قارچ *Funneliformis mosseae* دیده شد، که نشان‌دهنده کارایی بیش‌تر این قارچ در برابر *Rhizophagus irregularis* است. در تیمار ۱۰ درصد خاکستر، نشان‌های سودمند کودهای زیستی بر گیاه دیده نشد، که این شاید وابسته به آلودگی شیمیایی یا فیزیکی خاک باشد.

نتیجه‌گیری: این پژوهش نشان داد که بهره‌گیری از خاکستر زغال‌سنگ بیتومینه در اندازه کم (۲/۵ درصد) می‌تواند بهبود چشم‌گیری در شناسه‌های رشد گیاه نخود در پی داشته باشد. ولی اندازه‌های بالاتر (۵ و ۱۰ درصد) نشان زیانبار بر رشد گیاه و هم‌زیستی ریزجانداران با آن داشت. هم‌چنین مایه‌زنی با قارچ‌های میکوریزا و باکتری به‌گونه چشم‌گیری رشد و اندوخته کلروفیل برگ گیاه را افزایش دادند، که در اندازه بالای خاکستر به‌کاررفته این پیامدهای سودمند کاهش یافت. از آن‌جایی‌که این پژوهش گلخانه‌ای و به‌گونه سترون انجام شده است، یافته‌های آن باید در کشتزارها به‌ویژه در کاربرد پیوسته خاکستر زغال در خاک کشاورزی نیز آزمون شود تا بر پایه آن پیشنهادهایی به کشاورزان داده شود.

استناد: صفری سنجانی، علی‌اکبر، کرمی، لیلا (۱۴۰۵). پیامد خاکستر زغال‌سنگ بر تنفس خاک و شناسه‌های رشد گیاه نخود سپید مایه‌زنی شده با مزوریزوبیوم و قارچ‌های میکوریز. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۶ (۲)، ۷۷-۵۷.

DOI: 10.22069/ejsms.2026.23253.2175



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

نخود ایرانی یا سپید (*Cicer arietinum* L.) یکی از گیاهان مهم خانواده نیامداران (لگومینوزه) خوراکی است که پس از نخود فرنگی و لوبیا، جایگاه سوم را در جهان و جایگاه نخست را در مدیترانه و جنوب آسیا دارد. این گیاه با همزیستی با باکتری‌هایی چون مزوریزوبیوم سیسری^۱ و مزوریزوبیوم مدیترانئوم^۲ کارایی ویژه‌ای در افزایش نیتروژن خاک بویژه در کشت دیم در بخش‌های باختری کشور دارد (۱). ویژگی‌هایی هم‌چون توانایی تثبیت نیتروژن، ریشه‌دهی خوب و ژرف و نیز توان بهره‌گیری خوب از ریزش‌های آسمانی مایه آن شده است که این گیاه جایگاه و کارایی ویژه‌ای در کشاورزی پایدار داشته باشد (۲).

هیدروکربن‌هایی که در ژرفای زمین پدید آمده‌اند از راه گذرگاه‌هایی همچون گسل‌ها و درزها به رویه زمین می‌رسند. در پی کاهش فشار در رویه زمین و نزدیکی با هوا، بخش‌های گازی از آن جدا می‌شود و مانده آن به گونه بیتومینه یا قیر طبیعی^۳ در درزها، شکاف‌ها و کاواک‌ها می‌ماند و اندوخته‌های بیتومینی را در رویه زمین می‌سازند. زغال سنگ از دیرباز همانند یک ماده انرژی‌زا به کار رفته و نخش به سزایی در پیشرفت شیوه ترابری و خودروسازی داشته است (۳). یکی از زباله‌های زغال سنگ خاکستر آن می‌باشد که بهره‌گیری نادرست از آن می‌تواند مایه آلودگی خاک و آب شود (۴ و ۵). کاربرد خاکستر زغال سنگ در کشاورزی مایه بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک می‌گردد (۶). بررسی زباله‌ها و خاک‌های آلوده شده به زباله‌های زغال سنگ نشان داده است که آلودگی به فلزهای سنگین ناچیز و کم بوده و از این دیدگاه کاربرد آن‌ها در زیستگاه‌ها بی‌زیان

می‌تواند باشد (۷). هم‌چنین گزارش شده است که خاکستر زغال سنگ با داشتن اندازه بالایی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، رشد آن و جذب مواد غذایی را افزایش می‌دهد (۸). از دیدگاه زیستی فراوانی اکتینومیسست‌ها و قارچ‌ها با افزودن ۵ درصد خاکستر زغال سنگ به خاک کاهش می‌یابد. افزودن ۲۰ درصد خاکستر زغال سنگ به ترتیب ۵۷، ۸۶ و ۸۰ درصد از فراوانی باکتری‌ها، قارچ‌ها و اکتینومیسست‌ها را کاهش داده است (۹).

یکی از راه‌های کشت پایدار در زمین‌های کشاورزی بهره‌گیری از توان ریزجانداران سودمند در راستای بهبود رشد گیاه و کاهش کاربرد کودهای شیمیایی است. قارچ‌های میکوریزی از گروه ریزجانداران سودمند در بیش‌تر خاک‌ها هستند. قارچ‌های میکوریزایی آربوسکولار را در یک شاخه نوین از قارچ‌ها به نام شاخه گلومرومایکوتا^۴ گروه‌بندی می‌کنند (۱۰). بر پایه برآوردهای انجام شده، گزارش شده است که نزدیک ۷۰ درصد از توده زنده خاک‌ها را میسیلیوم این قارچ‌ها می‌سازد (۱۱). همزیستی گیاهان با این قارچ‌ها بسیار سودمند بوده که مایه افزایش توان آن‌ها برای زندگی در زیستگاه‌های سخت و دشوار می‌شود. از سوی دیگر همزیستی گیاهان نیامدار با ریزوبیوم‌ها همراه با قارچ‌های میکوریزی به‌ویژه در چراگاه‌ها و دیمزارها بسیار سودمند است. بررسی و آزمایش توان دو رقم نخود در تیمار آن با مزوریزوبیوم و میکوریز همراه با کود آغازگر نیتروژن، در بهار و تابستان ۱۳۹۴ در کشتزارهای پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا نشان داد، که بیش‌ترین ساخت دانه و زیست‌توده در کاشت نخود رقم هاشم همراه با کاربرد هم‌زمان میکوریز و مزوریزوبیوم و آغازگر ۳۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد (۲). کاربرد

1- *Mesorhizobium ciceri*
2- *M. mediterraneum*
3- Natural bitumen

4- Glomeromycota

خاکستر زغال‌سنگ در خاک می‌تواند مایه دگرگونی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک شده و بر همزیستی گیاه نخود با این گروه از ریزجانداران پیامد داشته باشد. کاربرد خاکستر زغال‌سنگ از گونه بیتومین در اندازه کم (۲/۵ درصد) مایه بهبود همزیستی گیاه نخود سپید با باکتری و قارچ‌های میکوریزی شد که این می‌تواند مایه افزایش رشد گیاه شود. از سوی در خاک‌های تیمار شده با ۵ و ۱۰ درصد خاکستر شناسه‌های همزیستی گیاه با مزوریوبیوم و قارچ‌های میکوریزی کاهش پیدا کرد (۱۲). در این پژوهش گمان بر آن است که این دگرش‌ها خود می‌تواند مایه کاهش یا افزایش شناسه‌های رشدی گیاه نخود شود. این پژوهش با هدف بررسی و آزمون پیامد کاربرد خاکستر زغال‌سنگ بر رشد گیاه نخود ایرانی در کاربرد کودهای زیستی قارچ‌های میکوریزی و ریزوبیوم همزیست آن انجام شده است. قارچ‌های میکوریزی مایه افزایش توان گیاهان برای زندگی و رشد در زیستگاه‌های دشوار می‌شوند. پرسش آن است که تا چه اندازه می‌توان کاربرد خاکستر زغال‌سنگ را در زمین‌های کشاورزی افزایش داد؟

مواد و روش‌ها

این پژوهش در خاکی با فسفر کم و بافت میانه انجام شد. برای آن یک خاک آیش که پیش‌تر در آن گندم کشت شده بود، در شهرستان ازندریان استان همدان (۳۴° ۳۰' ۳۲" عرض شمالی و ۴۸° ۴۱' ۵۵" طول شرقی) گزینش شد و از لایه ۳۰-۰ سانتی‌متری آن به روش مرکب نمونه‌برداری گردید. هم‌چنین خاکستر زغال‌سنگ بیتومینه^۱ از کانسار شک میدان-کلیدوند (شمال غرب شهرستان گیلان غرب) در طول جغرافیایی ۴۰° ۳۵' ۴۵" تا ۴۵° ۵۰' ۴۵" و عرض

جغرافیایی ۲۰° ۲۴' ۳۴" تا ۳۴° ۳۰' ۳۴" در استان کرمانشاه گردآوری شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و خاکستر زغال‌سنگ به روش‌های زیر بررسی شد. دانه‌بندی و بافت خاک بر پایه قانون استوکس و به روش هیدرومتری بررسی شد (۱۳). دانه‌بندی و بافت خاکستر زغال‌سنگ نیز با بهره‌گیری از روش الک کردن بررسی و بر پایه سیستم وزارت کشاورزی آمریکا گزارش شد (۱۳ و ۱۴). رسانایی الکتریکی در عصاره ۱:۵ خاک و خاکستر به آب، به کمک دستگاه رسانایی سنج (مدل ۷۱۲) در دمای ۲۵ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد. اسیدیته خاک و خاکستر در عصاره ۱:۵ خاک و خاکستر به آب، به کمک دستگاه پی‌اچ‌متر (مدل ۷۲۸) اندازه‌گیری شد (۱۴). اندازه‌گیری کربن آلی خاک به روش اکسایش تر انجام گرفت (۱۵) ولی کربن آلی خاکستر زغال‌سنگ به روش سوزاندن در کوره اندازه‌گیری شد (۱۶). فسفر اولسن به کمک عصاره‌گیری بیکربنات سدیم ۰/۵ مولار در پی‌اچ ۸/۵ به روش اولسن و با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (۱۷). کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی اندازه‌گیری شد (۱۴). گنجایش تبادل کاتیونی به کمک استات سدیم و استات آمونیوم اندازه‌گیری شد (۱۸). غلظت آهن، روی، سرب و کادمیوم با بهره‌گیری از DTPA ۰/۰۰۵ نرمال عصاره‌گیری و با بهره‌گیری از دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی مدل واریان اندازه‌گیری شد. سپس اندازه هر یک از ریخت‌های عناصر بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک یا خاکستر گزارش گردید (۱۹).

کاربرد تیمارها و کشت گیاه: این پژوهش آزمایشی فاکتوریل بود که به گونه کاملاً تصادفی در سه تکرار بر روی خاک سترون شده در اتوکلاو به روش زیر انجام شد. فاکتور نخست، خاکستر زغال‌سنگ در چهار اندازه (بدون خاکستر زغال‌سنگ (گواه خاکستر)، ۲/۵، ۵ و ۱۰ درصد)، فاکتور دوم مایه‌زنی با قارچ

بود. آماده سازی و کاربرد آن بر پایه راهنمای کاربرد این فرآورده انجام شد. هنگام کاشت گیاه، به اندازه ۰/۰۶۴ گرم از چسبی که درون جعبه کود بود با ۸ میلی لیتر آب شهری آمیخته شد، پس از آن ۲۰۰ گرم دانه های نخود گندزدایی شده با آن آمیخته شد. سپس ۵/۷۱ گرم از کود زیستی *Mesorhizobium ciceri* به گونه دورانی بر روی دانه های نخود آمیخته شده با چسب، پاشیده شد و به این گونه دانه های گیاه به باکتری *Mesorhizobium ciceri* آلوده شدند.

یادآور شود که گلدان های به کار رفته در آغاز با هیپوکلریت سدیم (وایتکس) شسته و سترون یا گندزدایی شدند. پس از وزن کردن گلدان ها، در کف هر یک از آن ها به اندازه ای برابر سنگریزه برای انجام زهکشی ریخته شد. سپس ۳ کیلوگرم آمیخته خاک و خاکستر زغال سنگ با اندازه های یاد شده در بالادر گلدان ها ریخته شد. برای آلوده سازی گلدان ها به قارچ میکوریز، زادمایه به اندازه ۱۰۰ گرم در زیر جایگاه کشت دانه در هر گلدان ریخته شد، و در هر گلدان ۶ دانه نخود مایه زنی شده به باکتری کاشته شد. سپس بر روی دانه ها ۲-۳ سانتی متر از آمیخته خاک و خاکستر ریخته شد. سپس گلدان ها در گلخانه دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا بر پایه الگوی طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار آرایش یافتند. روم رفته شمار گلدان ها در این آزمایش ۷۲ گلدان بود.

گلدان ها بدون کاربرد هر گونه کود آلی یا شیمیایی روزانه بررسی و آبیاری شدند. پس از گذشت نزدیک دو هفته تنک شدن گیاه انجام شد و تنها دو گیاه در هر گلدان نگهداری شد و پس از گذشت نزدیک دو ماه هنگامی که گیاه به گام گلدهی رسید، برداشت گیاهان انجام شد. برای نمونه برداری از خاک و ریشه، پس از بریدن ساقه از جایگاه طوقه، خاک درون گلدان برگردانده شد و ریشه های گیاه نخود در هر گلدان جداسازی و برداشت شدند. برای روشن شدن پیامد

میکوریزی بود که در سه تیمار بدون مایه زنی قارچ (گواه قارچ)، مایه زنی با *Funneliformis mosseae* و مایه زنی با *Rhizophagus irregularis* بود. فاکتور سوم آزمایش مایه زنی با باکتری بود که در دو تیمار بدون مایه زنی (گواه) و با مایه زنی *Mesorhizobium ciceri* انجام شد. اگرچه قارچ های میکوریزی دامنه میزبانی گسترده ای دارند و با گیاهان گوناگون سازگاری دارند ولی در بیش تر پژوهش ها از این دو گونه قارچ که هم توانایی کلنیزاسیون آلودگی و همزیستی بالایی با ریشه گیاهان گوناگون دارند و هم در افزایش بردباری و پایداری گیاه در برابر تنش های گوناگون کارایی بالایی دارند، بهره گیری شده است؛ تا جایی که از آن ها کود زیستی ساخته شده و در بازار به فروش می رسد. قارچ های میکوریز از کلینیک گیاه پزشکی ارگانیک در شهرستان اسدآباد در استان همدان و همچنین باکتری به کار رفته (باکتری مزوریزوبیوم سیسری) از شرکت زیست مهر آسیا در استان سمنان خریداری شد. بذره های نخود به کار رفته در این پژوهش رقم بیونج و بومی استان کرمانشاه است که از جهاد کشاورزی شهرستان گیلانغرب خریداری شد.

در آغاز نمونه خاک به دست آمده با ۴ اندازه خاکستر آمیخته شد. سپس هر یک از آمیخته های خاک و خاکستر برای نیم ساعت در اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد سترون گردید. برای کشتن همه اسپورهای قارچ و سترون سازی خاک این کار برای سه بار در سه روز انجام شد. رویه دانه های نخود نیز به کمک محلول ۱ درصد هیپوکلریت سدیم (وایتکس خانگی) گندزدایی شدند. سپس برای آلوده سازی با باکتری مزوریزوبیوم سیسری، دانه های نخود با کودزیستی ریزوچیک-پی سوپر پلاس^۱ مایه زنی شدند. کود ریزوچیک-پی سوپر پلاس به گونه پودر جامد

برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌های این پژوهش فاکتوریل از طرح آماری کاملاً تصادفی بهره‌گیری شد. پردازش داده‌های هر ویژگی بررسی شده با نرم‌افزار Excel و آزمون‌های آماری به کمک نرم‌افزار SAS انجام شد.

یافته‌ها و بحث

یافته‌های آزمایش برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نمونه‌برداری شده و خاکستر به‌کاررفته در این پژوهش در جدول ۱ آمده است. زغال‌سنگ بیتومینه به‌کاررفته نرم بود که در این پژوهش آسیاب و از الک ۱ میلی‌متر گذرانده شد. دانه‌بندی خاکسترهای به‌کاررفته در پژوهش به گونه ۱۰/۱۶ درصد در اندازه ۱ تا ۰/۵ میلی‌متر، ۲۶/۳۷ درصد در اندازه ۰/۵ تا ۰/۲۵ میلی‌متر، ۴۲/۴۸ درصد در اندازه ۰/۲۵ تا ۰/۱ میلی‌متر و ۲۱/۰۳ درصد در اندازه ۰/۱ تا ۰/۰۵ میلی‌متر بود. اندازه شن در خاک به‌کار رفته ۷۶ درصد، سیلت ۱۸ درصد و رس آن ۶ درصد بود. بنابراین خاک نمونه‌برداری شده دارای بافت لوم شنی بوده است. اسیدیته کارا، اندازه گنجایش تبادل کاتیونی و پتاسیم فراهم در خاک نمونه‌برداری شده بالاتر از خاکستر زغال‌سنگ می‌باشد، ولی اندازه شوری، کربنات کلسیم همسنگ، کربن آلی و فسفر فراهم در خاکستر زغال‌سنگ بالاتر از خاک نمونه‌برداری شده بود. اندازه آهن و کادمیم فراهم در خاک بالاتر از خاکستر زغال‌سنگ و اندازه روی و سرب فراهم در خاک کمتر از خاکستر زغال‌سنگ بود. یادآور شود که بالا بودن روی و سرب در خاکستر زغال‌سنگ هنگام کاربرد پیوسته آن در خاک می‌تواند به انباشت فلزهای سنگین هتا کادمیوم بیانجامد و مایه آلودگی آن شود. ولی در این نوشتار به پیامد کاربرد خاکستر بر دگرش ویژگی‌های گوناگون خاک و هم‌چنین آلودگی فلزهای سنگین پرداخته نشده است. گزارش‌های بسیاری در

تیمارها بر شایستگی (کیفیت) خاک از شناسه‌های زیستی تنفس پایه و تنفس برانگیخته بهره‌گیری شد. برای اندازه‌گیری تنفس پایه، دی‌اکسیدکربن پدید آمده از ۲۵ گرم خاک با سود خنثی شده و اندازه سود مانده در ارلن پس از ۷ روز با اسید کلریدریک ۰/۴ نرمال تیترا شد. اندازه‌گیری تنفس برانگیخته همانند تنفس پایه می‌باشد با این ناهمانندی که در اندازه‌گیری تنفس برانگیخته به نمونه خاک ۰/۲۵ گرم گلوکز، ۵ میلی‌گرم دی پتاسیم فسفات و ۰/۰۳۵ گرم کلرید آمونیوم افزوده شد و پس از ۳ روز سود درون ظرف تیترا شد (۲۰).

از شناسه‌های رشد گیاه، کلروفیل برگ و وزن ریشه‌های شسته‌شده و اندام‌های هوایی آن اندازه‌گیری شد. بخشی از وزن ریشه شسته شده و اندام هوایی در آون در دمای ۶۵ درجه سلسیوس و زمان ۴۸ ساعت برای اندازه رطوبت و وزن خشک آن‌ها نگهداری و سپس وزن شد. برای اندازه‌گیری کلروفیل a و b برگ بر پایه میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ، از روش زیر در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر بهره‌گیری شد (۲۱ و ۲۲). برای آن، ۰/۵ گرم برگ تازه (برگ‌های خوب رشد یافته) جدا شد و در یک هاون چینی با ۵ میلی لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد تا به گونه توده‌ای یکنواخت درآید و سپس برای ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد (۳۰۰۰ دور در دقیقه). پس از آن آبگونه رویین برداشته شد و با بهره‌گیری از دستگاه اسپکتروفتومتر، اندازه جذب آن در درازی موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر خوانده شد. در پایان غلظت کلروفیل‌های a و b و همه کلروفیل برگ بر پایه میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ و با بهره‌گیری از رابطه‌های زیر برآورد شد.

$$\text{Chl}_a (\text{mg.g}^{-1}) = 11.64 \times (A_{663}) - 2.61 \times (A_{645})$$

$$\text{Chl}_b (\text{mg.g}^{-1}) = 20.97 \times (A_{645}) - 3.97 \times (A_{663})$$

$$\text{Chl}_{\text{total}} = \text{Chl}_a + \text{Chl}_b$$

دست است که کاربرد خاکستر زغال سنگ می تواند، ویژگی های زیستی و رشد گیاه پیامد ویژه ای دارند که توان بارآوری و حاصلخیزی خاک را دگرگون کند. در اینجا بیش تر به گزارش های دیگران استناد شده آشکار است که هر یک از این دگرگونی ها بر

جدول ۱- برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک و خاکستر زغال نمونه برداری شده.

Table 1. Some physical and chemical properties of the sampled soil and coal ash.

Properties	Units	Soil	Coal ash
texture	-	Sandy loam	-
pH	-	8.23	7.18
EC	dS m ⁻¹	0.13	0.63
CEC	Cmolc kg ⁻¹	6.23	2.18
CaCO ₃ Equivalent	g 100g ⁻¹	3.9	8
Organic C	g 100g ⁻¹	0.39	1.77
Available P	mg kg ⁻¹	4.74	6.4
Available K	mg kg ⁻¹	315	160
Available Fe	mg kg ⁻¹	7.57	1.64
Available Zn	mg kg ⁻¹	0.65	1.63
Available Pb	mg kg ⁻¹	2.81	4.38
Available Cd	mg kg ⁻¹	0.21	0.11

شده در تیمار خاکستر ۲/۵ درصد بیش تر از شاهد و در تیمار ۵ و ۱۰ درصد آن به اندازه چشم گیری کم تر از شاهد بود (جدول ۳). تنفس پایه و رهاسازی دی اکسید کربن از خاک، نشانی از تندی فروزینی مواد آلی ساده در خاک می باشد. هرچه اندازه تنفس پایه در خاک بیش تر برآورد شود، اندازه مواد آلی ساده در خاک بیش تر بوده و خاک ویژگی های زیستی بهتری دارد (۱۰ و ۲۳). این نشان می دهد که افزودن خاکستر زغال به اندازه ۲/۵ درصد مایه افزایش مواد آلی ساده و بهبود ویژگی های زیستی خاک شده است ولی کاربرد بیش تر خاکستر در خاک زیانبار بوده است. این یافته به گزارش های دیگران همخوانی دارد. افزودن خاکستر زغال سنگ در اندازه های کم تر از ۵ درصد پیامد سودمندی بر ویژگی های گوناگون خاک دارد که این می تواند به رشد بهتر گیاه، ریشه دهی آن و

تنفس پایه و برانگیخته خاک: تجزیه واریانس داده های تنفس پایه خاک نشان داد که تیمار خاکستر، مایه زنی قارچ و مایه زنی باکتری و هم چنین پیامد برهم کنش های دوگانه و سه گانه این تیمارها بر اندازه تنفس پایه از دیدگاه آماری در پایه ۱ درصد چشم گیر بود (جدول ۲).

بیش ترین اندازه تنفس پایه (۰/۵۷ میلی گرم دی اکسید کربن بر گرم خاک در روز) در تیمار خاکستر زغال سنگ ۲/۵ درصد، مایه زنی قارچ *Rhizophagus irregularis* و مایه زنی باکتری اندازه گیری شد و کم ترین اندازه آن (۰/۰۲۷ میلی گرم دی اکسید کربن بر گرم خاک در روز) نیز در تیمار خاکستر زغال سنگ ۵ درصد، بدون مایه زنی قارچ میکوریزا و بدون مایه زنی باکتری بود. روهم رفته تنفس پایه نیز مانند بسیاری از ویژگی های بررسی

افزایش مواد آلی ساده در خاک شود که خود مایه افزایش تنفس پایه خاک خواهد شد. این پیامد سودمند در کاربرد بیش‌تر می‌توان وارونه شود (۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹).

جدول تجزیه واریانس اندازه تنفس برانگیخته (جدول ۲) نشان داد که تیمار خاکستر، مایه‌زنی قارچ و مایه‌زنی باکتری و همچنین پیامد برهم‌کنش دوگانه کاربرد خاکستر و مایه‌زنی با قارچ میکوریزا و کاربرد خاکستر و مایه‌زنی باکتری در پایه آماری ۱ درصد پیامد چشم‌گیری بر این ویژگی خاک داشتند. ولی پیامد برهم‌کنش این سه تیمار و پیامد برهم‌کنش دو گانه قارچ میکوریزا و باکتری بر اندازه تنفس برانگیخته خاک چشم‌گیر نبود.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) پیامد کاربرد خاکستر، مایه‌زنی قارچ و باکتری بر تنفس خاک و برخی فراسنجه‌های رشد گیاه نخود.

Table 2. Analysis of variance (mean squares) of the effects of ash application, fungal inoculation and *Mesorhizobium* on soil respiration and some growth parameters of chickpea.

Ratio of shoot to root	Dry weight of shoot	Fresh weight of shoot	Dry weight of root	Fresh weight of root	Substrate induced respiration	Basal respiration	df	Source of variation
0.005 ^{ns}	6.55 **	126.54 **	2.52 **	148.20 **	3.98 **	0.48 **	3	Coal ash (A)
0.02 **	0.87 **	20.63 **	0.37 **	43.03 **	2.40 **	0.21 **	2	Mycorrhizal fungi (F)
0.005 ^{ns}	2.41 **	62.6 **	1.2 **	65 **	3.07 **	0.31 **	1	<i>Mesorhizobium</i> (M)
0.006 ^{ns}	0.06 **	1.46 *	0.05 **	2.82 *	0.34 **	0.03 **	6	AF
0.006 ^{ns}	0.15 **	4.11 **	0.1 **	0.96 ^{ns}	0.41 **	0.02 **	3	AM
0.003 ^{ns}	0.07 *	3.65 *	0.16 **	9.04 **	0.028 ^{ns}	0.03 **	2	FM
0.01 **	0.03 ^{ns}	0.95 ^{ns}	0.02 ^{ns}	5.75 **	0.066 ^{ns}	0.01 **	6	AFM
0.0031	0.016	0.635	0.013	0.99	0.048	0.002	48	Error
6.07	4.12	4.21	5.96	4.88	31.33	20.24		Coefficient of variation

^{ns} نشان‌دهنده چشم‌گیر نبودن، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده چشم‌گیر بودن در پایه آماری ۵ و ۱ درصد می‌باشد
^{ns} indicates not significant, * and ** represent significant at 5 and 1 percent, respectively

مایه‌زنی قارچ و مزوریزوبیوم در تیمار بدون کاربرد خاکستر بالاتر از اندازه این فراسنجه در تیمارهای کاربرد خاکستر در سطح ۵ و ۱۰ درصد بود. بنابراین اگرچه کاربرد خاکستر زغال در اندازه کم (۲/۵ درصد) بر این ویژگی پیامد خوبی داشته است ولی پیامد کاربرد بیش از آن می‌تواند زیانبار باشد. از سوی دیگر تنفس برانگیخته در تیمارهای مایه‌زنی قارچ و باکتری هر دو بیش از گواه آزمایش بود و این نشان می‌دهد که کاربرد این کودهای زیستی، زیست‌توده ریزجانداران در خاک را افزایش داده‌اند (جدول ۴).

تنفس برانگیخته نشان از کربن زیست‌توده و فراوانی ریزجانداران در خاک دارد. هرچه این ویژگی بیش‌تر باشد، خاک زنده‌تر و ویژگی‌های بهتری برای رشد ریزجانداران و در پی آن رشد گیاه دارد. بیش‌ترین اندازه تنفس برانگیخته (۱/۶۱ میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن بر گرم خاک در روز) در تیمار خاکستر زغال‌سنگ سطح ۲/۵ درصد و مایه‌زنی باکتری بود و کم‌ترین اندازه (۰/۱۵ میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن بر گرم خاک در روز) نیز در تیمار خاکستر زغال‌سنگ ۱۰ درصد و بدون باکتری بود. اندازه تنفس برانگیخته در هر یک از تیمارهای

جدول ۳- آزمون میانگین تنفس پایه خاک (میلی گرم دی اکسید کربن بر گرم خاک در روز)، وزن تر ریشه (گرم در گلدان) و نسبت اندام هوایی به ریشه گیاه نخود در برهم کنش های خاکستر زغال سنگ، مایه زنی قارچ و باکتری.

Table 3. Mean test of soil basal respiration ($\text{mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ dry soil d}^{-1}$), fresh root weight (g/pot) and shoot/root ratio of chickpea in interaction of coal ash, fungal and *Mesorhizobium* inoculations.

Sd	shoot/root ratio	Sd	fresh root weight	sd	Soil basal respiration	Treatment
0.05	0.91 ^b	0.69	20.43 ^{cdef}	0.007	0.034 ^f	A ₁ F ₁ M ₁
0.08	0.90 ^b	1.18	21.34 ^{cde}	0.04	0.320 ^{de}	A ₁ F ₁ M ₇
0.04	0.93 ^{ab}	0.6	21.61 ^{bcde}	0.07	0.426 ^{abcd}	A ₁ F ₇ M ₁
0.02	0.91 ^b	0.91	24.72 ^b	0.05	0.499 ^{abc}	A ₁ F ₇ M ₇
0.03	0.95 ^{ab}	0.72	20.89 ^{cdef}	0.09	0.399 ^{bcd}	A ₁ F ₇ M ₁
0.05	0.95 ^{ab}	0.7	23.37 ^{bc}	0.05	0.500 ^{abc}	A ₁ F ₇ M ₇
0.07	0.89 ^b	1	20.68 ^{cdef}	0.004	0.050 ^f	A ₇ F ₁ M ₁
0.04	0.94 ^{ab}	0.32	22.81 ^{bcd}	0.02	0.434 ^{abcd}	A ₇ F ₁ M ₇
0.04	0.93 ^b	0.62	22.21 ^{bcde}	0.07	0.448 ^{abcd}	A ₇ F ₇ M ₁
0.01	0.83 ^b	1.14	28.15 ^a	0.05	0.552 ^{ab}	A ₇ F ₇ M ₇
0.01	0.91 ^b	1.26	22.43 ^{bcde}	0.05	0.427 ^{abcd}	A ₇ F ₇ M ₁
0.04	1.11 ^a	1	20.68 ^{cdef}	0.01	0.570 ^a	A ₇ F ₇ M ₇
0.03	0.92 ^b	1.17	18.04 ^{fgh}	0.006	0.027 ^f	A ₇ F ₁ M ₁
0.05	0.92 ^b	0.57	19.4 ^{efg}	0.11	0.162 ^{ef}	A ₇ F ₁ M ₇
0.06	0.85 ^b	0.83	20.07 ^{defg}	0.03	0.146 ^f	A ₇ F ₇ M ₁
0.008	0.90 ^b	1.41	23.43 ^{bc}	0.06	0.176 ^{ef}	A ₇ F ₇ M ₇
0.02	0.90 ^b	0.73	19.66 ^{efg}	0.03	0.127 ^f	A ₇ F ₇ M ₁
0.05	0.91 ^b	0.91	21.29 ^{cde}	0.04	0.344 ^{cd}	A ₇ F ₇ M ₇
0.11	0.99 ^{ab}	1.57	15.17 ^h	0.007	0.030 ^f	A ₄ F ₁ M ₁
0.08	0.95 ^{ab}	1.06	16.15 ^h	0.05	0.070 ^f	A ₄ F ₁ M ₇
0.04	0.89 ^b	1.14	16.98 ^{gh}	0.01	0.069 ^f	A ₄ F ₇ M ₁
0.07	0.90 ^b	1.02	17.80 ^{fgh}	0.04	0.102 ^f	A ₄ F ₇ M ₇
0.05	0.99 ^{ab}	1.13	15.22 ^h	0.01	0.037 ^f	A ₄ F ₇ M ₁
0.05	0.92 ^b	1.13	17.05 ^{gh}	0.007	0.076 ^f	A ₄ F ₇ M ₇

A₁, A₂, A₃ و A₄ به ترتیب تیمار خاکستر در اندازه های ۰، ۲/۵، ۵ و ۱۰ درصد، F₁ تیمار بدون مایه زنی قارچ، F₂ و F₃ به ترتیب تیمار مایه زنی قارچ *Funneliformis mosseae* و مایه زنی قارچ *Rhizophagus irregularis*. M₁ و M₂ به ترتیب تیمار بدون مایه زنی مزوریزوبیوم و تیمار مایه زنی مزوریزوبیوم (در هر ستون میانگین های با حروف یکسان ناهممانندی چشم گیری ندارند)

A₁, A₂, A₃ and A₄ ash treatments at 0, 2.5, 5 and 10%, F₁ without fungal inoculation, F₂ inoculation with *Funneliformis mosseae* and F₃ *Rhizophagus irregularis*. M₁ without *Mesorhizobium* inoculation and M₂ *Mesorhizobium* inoculation (in each column the meanings with the same letters are not significantly different)

جدول ۴- آزمون میانگین تنفس برانگیخته خاک (میلی گرم دی اکسید کربن بر گرم خاک در روز)، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه گیاه نخود (گرم در گلدان) در برهم کنش های کاربرد خاکستر- مایه زنی قارچ و کاربرد خاکستر- مایه زنی باکتری.

Table 4. Mean test of soil substrate induced respiration (mg CO₂ g⁻¹ dry soil d⁻¹), root dry weight and fresh and dry weight of aerial parts of chickpea (g/pot) in the interactions of ash-mycorrhizal fungus inoculation and ash-*Mesorhizobium* inoculation.

Sd	Dry weight of root	Sd	Dry weight of shoot	Sd	Fresh weight of shoot	Sd	Soil substrate induced respiration	Treatment
Interaction between ash and mycorrhizal fungus inoculation برهم کنش زغال خاکستر و مایه زنی قارچ میکوریزی								
0.061	1.99 ^{cd}	0.076	3.17 ^{cd}	1.03	19.01 ^c	0.36	0.41 ^{de}	A ₁ F ₁
0.14	2.21 ^{bc}	0.22	3.65 ^a	1.45	21.45 ^{ab}	0.46	1.3 ^{ab}	A ₁ F ₂
0.13	2.11 ^{bc}	0.28	3.57 ^{ab}	1.33	21.12 ^{ab}	0.35	1.03 ^{bc}	A ₁ F ₃
0.15	2.03 ^c	0.29	3.35 ^{bc}	1.75	19.98 ^{bc}	0.59	0.58 ^d	A ₂ F ₁
0.43	2.50 ^a	0.30	3.75 ^a	1.89	22.19 ^a	0.33	1.55 ^a	A ₂ F ₂
0.20	2.30 ^{ab}	0.22	3.77 ^a	1.52	21.81 ^a	0.51	1.55 ^a	A ₂ F ₃
0.17	1.80 ^d	0.22	2.78 ^e	0.89	17.32 ^d	0.18	0.23 ^{de}	A ₃ F ₁
0.26	2.05 ^c	0.47	3.21 ^{cd}	2.42	19.25 ^c	0.27	0.60 ^{cd}	A ₃ F ₂
0.21	2.01 ^{cd}	0.31	2.96 ^{de}	1.14	18.61 ^{cd}	0.32	0.58 ^d	A ₃ F ₃
0.13	1.39 ^e	0.10	2.21 ^f	0.53	15.15 ^e	0.05	0.11 ^e	A ₄ F ₁
0.17	1.43 ^e	0.15	2.36 ^f	0.83	15.64 ^e	0.04	0.22 ^{de}	A ₄ F ₂
0.19	1.41 ^e	0.13	2.27 ^f	0.47	15.38 ^e	0.02	0.17 ^{de}	A ₄ F ₃
Interaction between ash and <i>Mesorhizobium</i> inoculation برهم کنش خاکستر با مایه زنی باکتری								
0.08	2.04 ^b	0.18	3.33 ^c	1.03	19.66 ^c	0.48	0.65 ^c	A ₁ M ₁
0.17	2.17 ^b	0.34	3.59 ^b	1.73	21.38 ^b	0.46	1.18 ^b	A ₁ M ₂
0.13	2.05 ^b	0.26	3.40 ^{bc}	1.44	19.93 ^c	0.63	0.85 ^c	A ₂ M ₁
0.33	2.50 ^a	0.21	3.85 ^a	1.12	22.73 ^a	0.44	1.61 ^a	A ₂ M ₂
0.13	1.79 ^c	0.13	2.69 ^d	0.79	17.22 ^d	0.19	0.30 ^d	A ₃ M ₁
0.20	2.11 ^b	0.31	3.27 ^c	1.63	19.57 ^c	0.31	0.64 ^c	A ₃ M ₂
0.13	1.34 ^d	0.09	2.19 ^e	0.49	15.10 ^e	0.06	0.15 ^d	A ₄ M ₁
0.16	1.48 ^d	0.12	2.36 ^e	0.63	15.69 ^e	0.04	0.18 ^d	A ₄ M ₂

A₁, A₂, A₃ و A₄ به ترتیب تیمار خاکستر در اندازه های ۰، ۲/۵، ۵ و ۱۰ درصد، F₁ تیمار بدون مایه زنی قارچ، F₂ و F₃ به ترتیب تیمار مایه زنی قارچ *Funneliformis mosseae* و مایه زنی قارچ *Rhizophagus irregularis*. M₁ و M₂ به ترتیب تیمار بدون مایه زنی مزوریزوبیوم و تیمار مایه زنی مزوریزوبیوم (در هر ستون میانگین های با حروف یکسان ناهمبندی چشم گیری ندارند)

A₁, A₂, A₃ and A₄ ash treatments at 0, 2.5, 5 and 10%, F₁ without fungal inoculation, F₂ inoculation with *Funneliformis mosseae* and F₃ *Rhizophagus irregularis*. M₁ without *Mesorhizobium* inoculation and M₂ *Mesorhizobium* inoculation (in each column the meanings with the same letters are not significantly different)

کربن خاکستر از بخش های کربن آلی پایدار در خاک است که برای سال ها فروزینه نشده و در آن می ماند. هنگام اندازه گیری تنفس برانگیخته همان گونه که می دانیم کربن آلی به خاک افزوده می شود. بنابراین اندازه های بزرگ تری به دست می دهد. هم چنین تنفس پایه بیش تر وابسته به فراوانی کربن آلی ساده و

خوراک برای هتروتروف های خاک است ولی تنفس برانگیخته بیش تر نشان دهنده فراوانی زیست توده، زنده بودن و کارکرد آن ها در خاک است که هر دو در تیمار ۲/۵ درصد خاکستر همراه با مایه زنی ریزجانداران بیش ترین بودند.

رشد گیاه نخود: پیامد کاربرد خاکستر زغال سنگ، مایه زنی قارچ و باکتری بر همه فراسنجه های رشد گیاه نخود از دیدگاه آماری چشم گیر بود (جدول ۲). تجزیه واریانس داده های به دست آمده از وزن تر ریشه نشان داد که پیامد کاربرد خاکستر، مایه زنی قارچ، مایه زنی باکتری و پیامد برهم کنش این سه تیمار بر اندازه وزن تر ریشه در پایه آماری ۰/۰۱ چشم گیر بود. از سوی دیگر پیامد کاربرد خاکستر، مایه زنی قارچ، مایه زنی باکتری و برهم کنش های دوگانه آن ها بر وزن خشک ریشه در پایه آماری ۰/۰۱ چشم گیر بود. اگرچه پیامد برهم کنش سه گانه تیمارها بر وزن تر چشم گیر بود ولی بر وزن خشک ریشه پیامد چشم گیری دیده نشد. هم چنین پیامد برهم کنش های دوگانه خاکستر و قارچ بر وزن تر ریشه از دیدگاه آماری چشم گیر نشد (جدول ۲).

آزمون میانگین وزن تر ریشه نشان داد که ناهمبندی چشم گیری میان وزن ریشه تر گیاهان رشیاخته در کاربرد خاکستر در اندازه ۲/۵ درصد و تیمار بدون خاکستر (گذشته از مایه زنی قارچ و باکتری) یافت نشد (جدول ۳). بالاترین اندازه وزن تر ریشه (۲۸/۱۵ گرم در گلدان) در تیمارهای کاربرد خاکستر زغال سنگ ۲/۵ درصد، تیمار قارچ میکوریزی (*Funneliformis mosseae*) و تیمار مایه زنی باکتری می باشد. کم ترین اندازه وزن تر ریشه (۱۵/۱۷ گرم در گلدان) در تیمارهای ۱۰ درصد خاکستر زغال سنگ، بدون مایه زنی قارچ و مایه زنی باکتری بود. آزمون میانگین وزن خشک ریشه نیز همانند با وزن تر ریشه می باشد به گونه ای که بالاترین اندازه

وزن خشک ریشه (۲/۵۰ گرم در گلدان) در تیمار کاربرد خاکستر در برهم کنش با مایه زنی قارچ (*Funneliformis mosseae*) یا مایه زنی باکتری می باشد. در همه اندازه های کاربرد خاکستر، مایه زنی قارچ و باکتری اندازه وزن خشک ریشه گیاه نخود را بالا برده است (جدول ۳). در بررسی وزن ریشه گیاه بار دیگر پیامد زیانبار کاربرد بیش از ۲/۵ درصد خاکستر زغال سنگ نمایان است. از سوی دیگر مایه زنی گیاه با قارچ های میکوریزی و باکتری توانسته است به رشد آن در چنین زیستگاه سختی هم کمک کند. به هر گونه پیامد سودمند این ریزجانداران در تیمارهای ۵ و ۱۰ درصد خاکستر زغال سنگ کم و در بسیار از آن ها از دیدگاه آماری چشم گیر نبود.

این یافته ها با گزارش های دیگران همخوانی دارد. گزارش شده است که در بهسازی خاک با خاکستر زغال سنگ در اندازه پایین (۲ درصد)، افزایش چشم گیری در رشد گیاه ارزن مایه زنی شده با قارچ میکوریز آربوسکولار، جذب مواد غذایی و کارکرد و وزن دانه ارزن دیده شد ولی در بهسازی با خاکستر زغال سنگ در اندازه های بیش تر (۴ و ۶ درصد) فراسنجه های رشد در برابر تیمار بدون بهسازی با خاکستر، کاهش پیدا کردند (۲۴). ارزیابی پیامد کاربرد خاکستر بادی زغال سنگ بر برخی از ویژگی های خاک و شناسه های رشدی گیاه نشان داده است که کاربرد خاکستر بادی زغال سنگ ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مانند pH، رسانایی الکتریکی، پوکی، گنجایش نگهداری آب و مواد مغذی را افزایش می دهد. هم چنین در کاربرد اندازه های پایین خاکستری بادی شناسه های گیاهی چون درازی ساقه و ریشه، وزن تر و خشک ساقه و ریشه، شمار میوه، کاروتنوئید، کلروفیل، اندوخته نسبی آب برگ، اندوخته پروتئین، پرولین، فنل ها، نیتروژن، فسفر و پتاسیم به گونه چشم گیری افزایش یافت. ولی در

کاربرد اندازه‌های بالاتر (۲۵ درصد) خاکستر بادی، با پیدایش تنش‌های اکسیداتیو همه شناسه‌های یاد شده کاهش یافتند (۷).

از سوی دیگر مایه‌زنی دوگانه میکوریزا و باکتری توانسته است مایه افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی در گیاه یونجه شود (۲۵). تیمار هم‌زمان دو رقم نخود با مزوریزوبیوم و قارچ میکوریزا توانسته است ساخت دانه و زیست‌توده گیاه را به گونه چشم‌گیری افزایش دهد (۲). ولی کاربرد خاکستر زغال‌سنگ در خاک می‌تواند با دگرگونی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی بر همزیستی گیاه نخود با این گروه از ریزجانداران پیامد داشته باشد. کاربرد خاکستر زغال‌سنگ از گونه بیتومینه در اندازه کم (۲/۵ درصد) مایه بهبود همزیستی گیاه نخود سپید با باکتری و قارچ‌های میکوریزی شده است که خود مایه افزایش رشد گیاه می‌شود. ولی ویژگی‌های خاک‌های تیمار شده با ۵ و ۱۰ درصد خاکستر به گونه‌ای دگرگون شده که شناسه‌های همزیستی گیاه با مزوریزوبیوم و قارچ‌های میکوریزی کاهش پیدا کرده است (۱۲). اگر چه در پژوهشی کاربرد ۲۵ درصد (نسبت حجمی) خاکستر زغال‌سنگ هم در زمین‌های کشاورزی نابارور به افزایش رشد گیاه تا ۴۰ درصد انجامید (۲۶) ولی در این پژوهش پیامد سودمند ریزجانداران مایه‌زنی شده در تیمارهای ۱۰ درصد خاکستر زغال‌سنگ ناچیز بوده و از دیدگاه آماری چشم‌گیر نشد.

آزمون تجزیه واریانس نسبت اندام‌های هوایی به ریشه نشان داد که پیامد کاربرد خاکستر و مایه‌زنی باکتری بر این فراسنجه چشم‌گیر نبود ولی پیامد مایه‌زنی قارچ و پیامد برهم‌کنش سه تیمار خاکستر، مایه‌زنی قارچ و باکتری بر نسبت اندام‌های هوایی به ریشه در پایه آماری ۰/۰۱ چشم‌گیر بود (جدول ۲). در آزمون میانگین فراسنجه نسبت اندام‌های هوایی به ریشه دیده شد که میان

تیمارهای کاربرد و بدون کاربرد خاکستر (با نادیده گرفتن پیامد مایه‌زنی قارچ و باکتری) ناهمبندی چشم‌گیری یافت نشد. هم‌چنین میان تیمارهای مایه‌زنی و بدون مایه‌زنی باکتری (با نادیده گرفتن تیمار کاربرد خاکستر و مایه‌زنی قارچ) ناهمبندی چشم‌گیری دیده نشد (جدول ۳). به هر گونه بالاترین نسبت اندام‌های هوایی به ریشه (۱/۱۱) در تیمار خاکستر ۲/۵ درصد، مایه‌زنی با *Rhizophagus irregularis* و باکتری اندازه‌گیری شد. در برابر آن کم‌ترین نسبت اندام‌های هوایی به ریشه (۰/۸۳) در تیمار خاکستر ۲/۵ درصد، مایه‌زنی با *Funneliformis mosseae* و باکتری اندازه‌گیری شد. شاید بتوان گفت که مایه‌زنی با قارچ *Funneliformis mosseae* تا اندازه‌ای ریشه‌زایی را بیش‌تر کرده ولی در این پژوهش در برابر پژوهش دیگران پیامد سودمند کاربرد قارچ‌های میکوریزی بر ریشه‌زایی گیاه نخود چندان نمایان و بزرگ نبود. گزارش شده است که در کشت گیاه ارزن، نسبت ریشه به اندام‌های هوایی در گیاهان مایه‌زنی شده با قارچ میکوریزا آربوسکولار (هم در خاک تیمار شده با خاکستر و هم در خاک بدون آن) بالاتر بود (۲۴). افزایش در وزن ریشه می‌تواند وابسته به ساخت هورمون‌های گیاهی در همزیستی با قارچ میکوریزا آربوسکولار باشد (۲۷).

کاربرد خاکستر زغال‌سنگ از گونه بیتومینه در اندازه کم (۲/۵ درصد) مایه افزایش فراسنجه‌های (پارامترهای) زیستی چون فراوانی و وزن گره‌های *Mesorhizobium ciceri* بر ریشه گیاه نخود سپید، درصد میکوریزی شدن ریشه، شمار اسپور گلومرال‌ها در خاک و گلومالین یا گلیکوپپتیدهای خاک می‌شود. آشکار است این می‌تواند مایه افزایش رشد گیاه شود. از سوی دیگر گزارش شد که در خاک‌های تیمار شده با ۵ و ۱۰ درصد خاکستر همه این شناسه‌های زیستی کاهش پیدا کرده‌اند. روهم‌رفته کاربرد بیش از اندازه

(۲۲/۷۳ گرم) و وزن خشک اندام هوایی (۳/۸۵ گرم) در برهم کنش دو تیمار کاربرد خاکستر (۲/۵ درصد) و مایه زنی باکتری می باشد. اندازه وزن تر و خشک اندام هوایی در تیمارهای مایه زنی قارچ بیش تر از تیمارهای بدون مایه زنی قارچ می باشد ولی روهمرفته ناهمانندی چشم گیری میان تیمارهای میکوریزی *Rhizophagus* و *Funneliformis mosseae* *irregularis* دیده نشد (جدول ۴). با افزایش اندازه خاکستر زغال سنگ ۵ و ۱۰ درصد از رشد گیاه نخود کاسته شد به گونه ای که پایین ترین اندازه وزن تر و خشک اندام هوایی در تیمارهای ۱۰ درصد خاکستر زغال سنگ و بدون مایه زنی باکتری (در تیمارهای مایه زنی قارچ) بود. در گواه آزمایش (بدون کاربرد خاکستر زغال سنگ) وزن تر اندام هوایی پایین تر از آن در کاربرد ۲/۵ درصد و بالاتر از آن در کاربرد ۵ و ۱۰ درصد خاکستر زغال سنگ بود. ولی وزن خشک اندام هوایی در گواه آزمایش (بدون کاربرد خاکستر زغال سنگ) و تیمار کاربرد خاکستر ۲/۵ درصد ناهمانندی چشم گیری نداشتند (جدول ۴). این یافته ها با گزارش های دیگر پژوهشگران همخوانی دارد. نشان داده شده است که کاربرد خاکستر زغال سنگ به ویژه در خاک های ناباروری مایه افزایش رشد گیاه شده است (۸). ولی این نشانه های سودمند در کاربرد اندازه های بالا از خاکستر زغال سنگ با پیامدهای زیانباری که در خاک دارد، دیده نمی شود (۷، ۱۲ و ۲۴). **کلروفیل برگ:** آزمون تجزیه واریانس اندازه کلروفیل برگ (جدول ۵) نشان داد که پیامد کاربرد خاکستر زغال سنگ، مایه زنی قارچ و مایه زنی باکتری بر همه کلروفیل برگ و کلروفیل *a* برگ در پایه آماری ۰/۰۱ چشم گیر بود ولی پیامد برهم کنش این سه تیمار و برهم کنش دو گانه تیمارها بر آن ها چشم گیر نبود. پیامد کاربرد خاکستر بر اندازه کلروفیل *b* در برگ در پایه آماری ۰/۰۱ چشم گیر بود و پیامد مایه زنی قارچ و

خاکستر زغال سنگ پیامدهای زیانباری دارد و مایه کاهش همزیستی این گیاه با قارچ های میکوریزی و *Mesorhizobium ciceri* در برابر گواه آزمایش شد. اگرچه پاسخ دو قارچ به کاررفته ناهمانندی چندانی نداشت ولی قارچ *Funneliformis mosseae* در برابر پیامد بد خاکستر بردباری بیش تر و کارکرد بهتری از خود نشان داد. مایه زنی و کاربرد *Mesorhizobium ciceri* مایه افزایش همزیستی قارچ ها به ویژه *Rhizophagus irregularis* با گیاه شد و از سوی دیگر مایه زنی و کاربرد قارچ ها میکوریزی به افزایش گره زایی و همزیستی *Mesorhizobium ciceri* با گیاه نخود انجامید. بنابراین کاربرد ۲/۵ درصد خاکستر زغال بیتومینه در خاک برای رشد گیاه نخود و همزیستی آن با ریزجانداران سودمند است ولی کاربرد بیش از آن می تواند پیامدهای زیانباری برای رشد گیاه داشته باشد (۱۲).

تجزیه واریانس داده های به دست آمده از وزن تر و هم چنین وزن خشک اندام هوایی نشان داد که پیامد کاربرد خاکستر، مایه زنی قارچ و مایه زنی باکتری بر اندازه وزن تر و خشک اندام هوایی در پایه آماری ۰/۰۱ چشم گیر بود. پیامد برهم کنش دو تیمار کاربرد خاکستر و مایه زنی باکتری و پیامد برهم کنش دو تیمار مایه زنی قارچ و باکتری بر اندازه وزن تر و خشک اندام هوایی به ترتیب در در پایه آماری ۰/۰۱ و ۰/۰۵ چشم گیر بود. هم چنین پیامد برهم کنش دو تیمار کاربرد خاکستر و مایه زنی قارچ بر وزن تر و خشک اندام هوایی به ترتیب در پایه آماری ۰/۰۵ و ۰/۰۱ چشم گیر بود. ولی پیامد برهم کنش سه گانه تیمارها بر اندازه وزن تر و وزن خشک اندام هوایی چشم گیر نبود.

آزمون میانگین وزن تر اندام هوایی (جدول ۴) نشان داد که بالاترین اندازه وزن تر اندام هوایی

پیامد برهم‌کنش کاربرد خاکستر و مایه‌زنی باکتری بر اندازه کلروفیل *b* در پایه آماری ۰/۰۵ چشم‌گیر بود. برهم‌کنش سه تیمار و برهم‌کنش دوگانه تیمارها بر اندازه کلروفیل *b* در برگ چشم‌گیر نبودند. یافته‌های آزمون میانگین این فراسنجه‌ها نشان داد که همه کلروفیل برگ و کلروفیل *a* برگ در تیمار کاربرد خاکستر در اندازه ۲/۵ درصد و بدون کاربرد خاکستر با هم ناهمبندی چشم‌گیری نداشت به گونه‌ای که بیش‌ترین اندازه همه کلروفیل (۵۲/۷۸ میلی‌گرم بر گرم برگ) و بیش‌ترین اندازه کلروفیل *a* (۳۸/۱۷ میلی‌گرم بر گرم برگ) در تیمار خاکستر ۵ درصد (با نادیده گرفتن مایه‌زنی قارچ و باکتری) به‌دست آمد و کم‌ترین اندازه این دو فراسنجه در تیمار خاکستر ۱۰ درصد دیده شد (جدول ۶). شکل ۱ نشان می‌دهد که مایه‌زنی گیاه با باکتری توانسته است همه کلروفیل برگ و کلروفیل *a* برگ گیاه نخود را به اندازه چشم‌گیری افزایش دهد. از سوی دیگر بیش‌ترین اندازه کلروفیل *b* (۱۵/۸۴ میلی‌گرم بر گرم برگ) در تیمار کاربرد خاکستر به اندازه ۵ درصد و مایه‌زنی باکتری بود (جدول ۷). بنابراین کلروفیل *b* در برگ گیاه نخود نیز در تیمار ۵ درصد خاکستر بیش‌تر از دیگر تیمارهای آن است و مایه‌زنی گیاه با باکتری پیامد خوبی بر این ویژگی گیاه داشته است. گزارش شده است که اندازه کلروفیل *a*، *b* و همه کلروفیل برگ گیاه لوبیا هتا در تیمار (۲۵ درصد) خاکستر زغال‌سنگ بیش‌تر از گواه آزمایش (بدون کاربرد خاکستر) بود (۲۸). افزایش در اندازه رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌تواند به فراهم بودن یون‌های فلزی در خاکستر زغال‌سنگ که برای ساختن کلروفیل نیاز هستند، وابسته باشد (۲۹). در این پژوهش کاربرد ۵ درصد خاکستر زغال اگرچه پیامد سودمندی بر کلروفیل برگ گیاه نخود داشت ولی در تیمار ۱۰ درصد خاکستر زغال‌سنگ اندازه کلروفیل برگ گیاه به گونه چشم‌گیری کم‌تر از دیگر تیمارها و گواه آزمایش شد.

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) پیامد کاربرد خاکستر، مایه‌زنی قارچ و مزوریزوبیوم بر اندازه همه کلروفیل، کلروفیل *a* و کلروفیل *b* برگ.

Table 5. Analysis of variance (mean squares) of the effects of ash application, fungal inoculation and *Mesorhizobium* on leaf total chlorophyll, chlorophyll *a* and chlorophyll *b*.

chlorophyll b	chlorophyll a	total chlorophyll	df	Source of variation
89.57 **	1181.8 **	1828.88 **	3	Coal ash (A)
20.4 **	270.36 **	384.23 **	2	Mycorrhizal fungi (F)
0.14 ^{ns}	356.17 **	389.90 **	1	<i>Mesorhizobium</i> (M)
10.15 ^{ns}	17.84 ^{ns}	36.56 ^{ns}	6	AF
20.87	23.26 ^{ns}	17.59 ^{ns}	3	AM
3.98 ^{ns}	5.16 ^{ns}	4.38 ^{ns}	2	FM
6.31 ^{ns}	20.07 ^{ns}	17.80 ^{ns}	6	AFM
6.23	19.49	26.96	48	Error
21.46	14.41	12.26		Coefficient of variation

^{ns} نشان‌دهنده چشم‌گیر نبودن، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده چشم‌گیر بودن در پایه آماری ۵ و ۱ درصد می‌باشد
^{ns} indicates not significant, * and ** represent significant at 5 and 1 percent, respectively

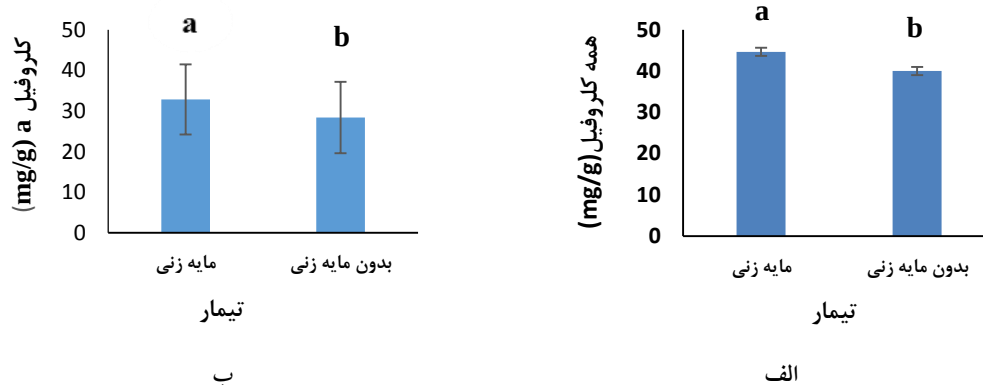
جدول ۶- آزمون میانگین همه کلروفیل و کلروفیل *a* برگ (میلی گرم بر گرم) در کاربرد خاکستر زغال سنگ.

Table 6. Mean test of total chlorophyll and chlorophyll *a* content in leaves (mg/g) in application of coal ash.

تیما	total chlorophyll	Sd	chlorophyll <i>a</i>	Sd
A _۱	42.15 ^b	7.12	31.43 ^b	7.39
A _۲	45.63 ^b	6.45	33.69 ^b	6.05
A _۳	52.78 ^a	6.49	38.17 ^a	4.77
A _۴	28.74 ^c	5.69	19.22 ^c	5.05

A_۱, A_۲, A_۳ و A_۴ به ترتیب تیمار خاکستر در اندازه های ۰، ۲/۵، ۵ و ۱۰ درصد (در هر ستون میانگین های با حروف یکسان ناهمبندی چشم گیری ندارند)

A_۱, A_۲, A_۳ and A_۴ ash treatments at 0, 2.5, 5 and 10%, (in each column the means with the same letters are not significantly different)



شکل ۱- آزمون میانگین الف- همه کلروفیل برگ و ب- کلروفیل *a* برگ (میلی گرم بر گرم) در تیمارهای بدون مایه زنی و مایه زنی با مزوریزوبیوم.

Figure 1. Mean test of (a) total chlorophyll content and (b) chlorophyll *a* content in leaves (mg/g) under treatments with and without *Mesorhizobium* inoculation.

گونه بیشترین آنها در تیمار مایه زنی با قارچ *Funneliformis mosseae* اندازه گیری شد. کلروفیل *b* برگ نیز در این تیمار به اندازه چشم گیری بیش تر (۱۲/۶۸ میلی گرم بر گرم) از تیمارهای دیگر بود.

پیامد مایه زنی قارچ های میکوریزی بر همه کلروفیل و کلروفیل *a* برگ یکسان است (جدول ۸). آنها در گیاه مایه زنی شده با قارچ ها بیش تر و در گیاه مایه زنی نشده کمترین هستند. به هر

جدول ۷- آزمون میانگین کلروفیل *b* برگ (میلی گرم بر گرم) در تیمارهای خاکستر زغال سنگ و مایه زنی مزوریزوبیوم.

Table 7. Mean test of chlorophyll *b* content in leaves (mg/g) under treatments of coal ash and *Mesorhizobium* inoculation.

تیمار	chlorophyll <i>b</i>	Sd
A _۱ M _۱	11.78 ^{bc}	3.18
A _۱ M _۲	9.20 ^c	2.23
A _۲ M _۱	11.42 ^{bc}	3.97
A _۲ M _۲	12.52 ^{abc}	1.8
A _۳ M _۱	13.43 ^{ab}	2.1
A _۳ M _۲	15.84 ^a	2.03
A _۴ M _۱	9.80 ^{bc}	2.68
A _۴ M _۲	9.23 ^c	2.45

A_۱, A_۲, A_۳ و A_۴ به ترتیب تیمار خاکستر در اندازه های ۰، ۲/۵، ۵ و ۱۰ درصد (در هر ستون میانگین های با حروف یکسان ناهمبندی چشم گیری ندارند)

A_۱, A_۲, A_۳ and A_۴ ash treatments at 0, 2.5, 5 and 10%, (in each column the means with the same letters are not significantly different)

جدول ۸- آزمون میانگین همه کلروفیل و کلروفیل *a* و *b* برگ (میلی گرم بر گرم) در تیمارهای قارچ های میکوریزی.

Table 8. Mean test of total chlorophyll, chlorophyll *a*, and chlorophyll *b* content in leaves (mg/g) under mycorrhizal fungi treatments.

تیمار	total chlorophyll	Sd	chlorophyll <i>a</i>	Sd	chlorophyll <i>b</i>	Sd
F _۱	37.82 ^b	10.14	26.76 ^b	8.24	10.89 ^b	3.48
F _۲	45.46 ^a	11.44	32.78 ^a	9.44	12.68 ^a	3.09
F _۳	43.69 ^a	9.73	32.33 ^a	8.14	10.89 ^b	3.22

F_۱ تیمار مایه زنی نشده قارچ، F_۲ و F_۳ به ترتیب تیمار مایه زنی قارچ *Funneliformis mosseae* و مایه زنی قارچ *Rhizophagus irregularis* (در هر ستون میانگین های با حروف یکسان ناهمبندی چشم گیری ندارند)

F_۱ without fungal inoculation, F_۲ inoculation with *Funneliformis mosseae* and F_۳ *Rhizophagus irregularis* (in each column the meanings with the same letters are not significantly different)

رشد گیاه (*Pseudomonas fluorescens* VUPf5) در کشت گیاه ذرت رقم SC750 توان رشد آن بیش تر شد. در این تیمارها شناسه هایی چون پهنا و دارازی ساقه، رویه برگ، وزن تر و خشک ریشه و وزن تر خشک شاخساره به گونه چشم گیری افزایش یافت (۳۲). به هر گونه پیامد برهم کنش قارچ و باکتری بر کلروفیل برگ و نسبت اندام هوایی به ریشه گیاه چشم گیر نبود. اگرچه پیامد هر یک به گونه جداگانه

گزارش شده است که کاربرد هم زمان قارچ های میکوریزی و باکتری های افزایش دنده رشد گیاه می تواند مایه هم افزایی پیامد سودمند این قارچ ها بر رشد گیاه شود (۲، ۳۰ و ۳۱). هم چنین کاربرد هم زمان قارچ های *Funneliformis mosseae* (FM) و *Rhizophagus intraradices* (RI) و *Rhizophagus irregularis* (RIr) همراه با مخمر (*Issatchenkia orientalis*) و یا با باکتری افزایش دنده

بر این شناسه‌ها افزایشی و سودمند بود. کاربرد قارچ‌ها مایه افزایش چشم‌گیر کلروفیل برگ در برابر گواه آزمایش شدند.

نتیجه‌گیری پایانی

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهند که کاربرد خاکستر زغال سنگ از گونه بیتومین در اندازه کم مایه افزایش فراسنجه‌های وزن تر ساقه و ریشه، وزن خشک ساقه و ریشه، اندازه کلروفیل برگ در گیاه نخود سپید می‌شود. دیده شد که در خاک‌های بهسازی شده با ۲/۵ درصد خاکستر زغال سنگ فراسنجه‌های رشد گیاه در برابر تیمار گواه آن افزایش یافته‌اند و این فراسنجه‌ها در تیمارهای ۵ و ۱۰ درصد خاکستر کاهش پیدا کرده‌اند. اگرچه اندازه کلروفیل برگ گیاه در خاک‌هایی که با ۲/۵ درصد خاکستر زغال سنگ آمیخته شده بودند، بیش از آن در تیمار گواه بود ولی ناهمبندی آن‌ها از دیدگاه آماری چشم‌گیر نبود ولی این افزایش در خاک‌های بهسازی شده با ۵ درصد خاکستر از دیدگاه آماری چشم‌گیر شد. به هر گونه تیمار ۱۰ درصد کاربرد خاکستر مایه کاهش چشم‌گیر اندازه کلروفیل برگ شد. بنابراین پیامد زیانبار ۵ درصد خاکستر بر شناسه‌های رشدی گیاه وابسته به کاهش کلروفیل آن نیست. بنابر پژوهش‌های انجام شده همان گونه که پیش‌تر یاد شد، کاربرد بیش از اندازه خاکستر زغال سنگ می‌تواند پیامدهای بد و زیانباری بر هر یک از ویژگی‌های

فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک داشته و هتا مایه آلودگی خاک به فلزهای سنگین شود؛ که می‌تواند مایه کاهش هر یک از شناسه‌های رشدی گیاه در برابر تیمار گواه شود. از آنجایی که این پژوهش برای بررسی و شناخت پیامد کاربرد هم‌زمان کودهای زیستی و خاکستر زغال سنگ بوده و آزمایشی مهار شده در خاکی سترون با کشت گلدانی گیاه انجام شده، یافته‌های آن روایی میدانی برای کاربرد در کشتزارها را ندارد. پیشنهاد می‌شود، این گونه کارها در خاک‌هایی ناسترون و به گونه میدانی هم انجام شود تا شناخت درستی از پیامد کاربرد هم‌زمان این تیمارها به دست آید. به هر گونه، کاربرد و مایه‌زنی کودهای زیستی قارچ و باکتری همزیست، مایه افزایش فراسنجه‌های رشد گیاه نخود در خاک‌های گواه (بدون خاکستر) و به‌ویژه در تیمار ۲/۵ درصد خاکستر زغال سنگ شد و پیامد کاربرد *Funneliformis mosseae* در همه فراسنجه‌ها و به‌ویژه ریشه‌زایی گیاه بیش‌تر از *Rhizophagus irregularis* بود. بنابراین کاربرد هم‌زمان ۲/۵ درصد خاکستر زغال بیتومینه در خاک برای رشد گیاه نخود و پیدایش همزیستی آن با ریزجانداران یاد شده سودمند می‌تواند باشد ولی کاربرد بیش از ۵ درصد خاکستر زغال سنگ وارونه آن است و می‌تواند پیامدهای زیانباری برای رشد گیاه و همزیستی آن با ریزجانداران یاد شده، داشته باشد.

منابع

1. Asgharzadeh, A., Dolatabadi, M. R., Kargar, M., & Asadi Rahmani, H. (2013). Genetic Diversity of Chickpea-nodulating *Mesorhizobium* Species Native to Iranian Soils. *Iranian Journal of Soil Research*. 27(1), 121-129. doi.org/10.22092/IJSR.2013.126229.
2. Aboutalebian, M. A., & Abadi, M. S. (2017). Changes of yield and yield components of two chickpea cultivars affected by *Mesorhizobium* and mycorrhiza at different amounts of nitrogen starter fertilizer. *Journal of Field Crop Sciences*. 48(3), 787-798. doi.org/10.22059/IJFCS.2017.216510.654183.

3. Heydarizadeh, M., Naghavi, H., & Moghaadam, M. R. (2013). Study of the chemical, physical characteristics and reject coal fertility to use in the agriculture activities (case study, Coal washing plant zarand-kerman). *Water and Irrigation Engineering*. 4, 58-71.
4. Mittra, B. N., Karmakar, S., Swain, D. K., & Ghosh, B. C. (2005). Fly ash a potential source of soil amendment and a component of integrated plant nutrient supply system. *Fuel*. 84, 1447-1451. **doi.org/10.1016/j.fuel.2004.10.019.**
5. Saberi, A., Vahabzadekebriya, Gh., Hojjati, S.M., & Mosavi, S. R. (2023). The effect of coal mining on the accumulation of Pb and Zn and their spatial distribution in the surface soil of Komarzd. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(3), 56-71. **doi.org/10.22098/mmws.2022.11395.1128.**
6. Pandey, V. C., & Singh, N. (2010). Impact of fly ash incorporation in soil systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 136, 16-27. **doi.org/10.1016/j.agee.2009.11.013.**
7. Rezaei Bisotoni, M., Ghorbani, J., Vahabzadeh, G., & Hodjati, S. M. (2023). Physical and chemical characteristics of substrate material for plant growth on coal wastes in rangelands of Kiasar, Sari, Mazandaran province. *Journal of Rangeland*, 16(4), 652-665. **doi.org/20.1001.1.20080891.1401.16.4.1.9.**
8. Singh, S. N., Kulshreshtha, K., & Ahmad, K. J. (1997). Impacts of fly-ash soil amendment on seed germination, seedling growth and metal composition of *Vicia faba* L. *Ecological Engineering*. 9(3-4), 203-208. **doi.org/10.1016/S0925-8574(97)10004-0.**
9. Pichtel, J. R. (1990). Microbial respiration in fly ash/sewage sludge amended soils. *Environmental Pollution*. 63, 225-237. **doi.org/10.1016/0269-7491(90)90156-7.**
10. Safari Sinigani, A. A. (2013). Soil biology and biochemistry. 4th. Bu-Ali Sina University Press Center, Iran. [In Persian]
11. Mukerji, K. G., & Chmola, B. P. (2003). Compendium of mycorrhiza research. A. P. H. Poblsher, New Dehli.
12. Safari Sinigani, A. A., & Karami, L. (2025). The effect of the application of coal ash in soil on the symbiotic indices of chickpea inoculated with *Mesorhizobium* and mycorrhizal fungi. *Journal of Soil Biology*. 13(1), 67-89. **doi.org/10.22092/SBJ.2025.368447.278.**
13. Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). *Method of soil analysis part 1, Physical and mineralogical methods*. Soil Science Society of America, Madison Wisconsin USA.
14. Skaggs, T. H., Arya, L. M., Shouse, P. J., & Mohanty, B. P. (2001). Estimating particle-size distribution from limited soil texture data. *Soil Science Society American Journal*. 65, 1038-1044.
15. Thomas, G. W. (1996). *Methods of soil analysis part 3, Chemical methods*. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison Wisconsin USA.
16. Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the degtareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37, 29-38.
17. SFS-EN. (2000). *The european standard sfs -en 12879 characterization of sludges. Determination of loss on ignition of dry mass*. Finnish Standards Association SFS, Finnish Environmental Institute. Helsinki. Finland.
18. Morphy, J., & Riley, J. P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural water. *Analytica Chimica Acta*. 27, 31-36. **doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5.**
19. Bower, C. A., Reitmeir, R. F., & Fireman, M. (1952). Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science*. 73, 251-261. **dx.doi.org/10.1097/00010694-195204000-00001.**

20. Lindsay, W. L., & Norvell, W. A. (1978) Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society American Journal*. 42, 421-428. doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x.
21. Safari Sinegani, A. A., Sharifi, Z., & Safari Sinegani, M. (2010). *Methods in applied microbiology*. Iran, Hamadan, Bu-Ali Sina University Press Center, Iran.
22. Gross, J. (1991). *Pigments in vegetables*. 2nd. Von Nostrand Reinhold, New York.
23. Lichtenthaler, H. K., & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and carotenoids, Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current protocols in food analytical chemistry*, 1(1), F4-3. doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01.
24. Leita, L., De Nobili, M., Mondini, C., Muhilbachova, G., Marchoil, L., & Bragat, G. (1999). Influence of inorganic and organic fertilization in soil microbial biomass, metabolic quotient and heavy metal bioavailability. *Biology and Fertility of Soils*. 28, 371-376. doi.org/10.1007/s003740050506.
25. Channabasava, A., Lakshman, H. C., & Muthukumar, T. (2015). Fly ash mycorrhizoremediation through *Paspalum scrobiculatum* L., inoculated with *Rhizophagus fasciculatus*. *Comptes Rendus Biologies* 338, 29-39. doi.org/10.1016/j.crvi.2014.11.002.
26. Ardakani, M. R., Pietsch, G., Wanek, W., Schweiger, P., Moghaddam, A., & Friedel, J. K. (2009). Nitrogen fixation and yield of lucerne (*Medicago sativa* L.) , as affected by co-inoculation with *Sinorhizobium meliloti* and arbuscular mycorrhiza under dry organic farming conditions. *American-Eurasian Journal Agriculture and Environmental Science*. 6, 173-183.
27. Saxena, M., Asokan, P. (1998). Fertility improvement by fly-ash application in waste- land. In, *Fly-ash Disposal and Utilization, CBIP, International Conference I*. pp. 90-104.
28. Barea, J. M., & Azcon-Aguilar, C. (1982). Production of plant growth-regulating substances by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Funneliformis mosseae*. *Applied and Environmental Microbiology*. 43, 810-813. doi.org/10.1128/aem.43.4.810-813.1982.
29. Gupta, A. K., Dwivedi, S., Sinha, S., Tripathi, R. D., Rai, U. N., & Singh, S. N. (2007). Metal accumulation and growth performance of *Phaseolus vulgaris* grown in fly ash amended soil. *Bioresource Technology*, 98(17), 3404-3407. doi.org/10.1016/j.biortech.2006.08.016.
30. Tripathi, R. D., Dwivedi, S., & Shukla, M. (2008). Role of blue green algae biofertilizer in ameliorating the nitrogen demand and fly-ash stress to the growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.) plants. *Chemosphere*. 70, 1919-1929. [Doi.org/ 10.1016/ j.chemosphere.2007.07.038](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.07.038).
31. Nadian Ghomsheh, H. (2024). Phosphorus uptake and transport mechanism in symbiotic plants with arbuscular mycorrhizal fungi (Knowns and unknowns). *Soil Biology Journal*. 12 (2), 155-190. doi.org/10.22092/sbj.2024.366288.267.
32. Pourmirzaei, Z., Lakzian, A., Ali Asgharzad, N., Dehnad, A. R., & Hallajnia, A. (2021). Effects of Streptomyces on colonization and growth of white clover inoculated with arbuscular mycorrhiza. *Soil Biology Journal*, 9 (2), 155-171. doi.org/10.22092/SBJ.2021.352206.208.
33. Ahmadzadeh, M., Sedaghati, E., Sabri-Riseh, R., Rahimi, A., MohammadiMirik, A. A., & Hatami, N. (2022). Effect of mycorrhizal fungi accompanied by some microorganisms and chemical compounds on growth and photosynthesis indices of corn. *Soil Biology Journal*. 10 (1), 33-48. [Doi.org/ 10.22092/SBJ.2022.353631.212](https://doi.org/10.22092/SBJ.2022.353631.212).

