



Comparison of yield and yield components of Sirvan wheat cultivar in amended and un-amended sandy soils under greenhouse conditions.

Seyed Mohammad Hosseini Badashiani¹ | Ahmad Heidari^{2✉} | Alireza Raheb³ | Hassan Etesami⁴ | Mohammadreza Bihamta⁵ | Khodabakhsh Goodarzvand Chegini⁶

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: s.hoseini.99@ut.ac.ir

2. Corresponding Author, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: ahaidari@ut.ac.ir

3. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: araheb@ut.ac.ir

4. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: hassanetesami@ut.ac.ir

5. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: mrghanad@ut.ac.ir

6. Kohin Soil and Water Conservation Research Center, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: kchegini@ut.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Dec. 17, 2024

Revised: Jan. 28, 2025

Accepted: Feb. 23, 2025

Published online: June. 2025

Keywords:

Soil Amendment,
Sirvan,
Increasing Wheat Production

ABSTRACT

Wheat, a staple food crop wheat in nutrition and economy of the societies, is currently facing significant challenges due to climate change and water scarcity. This study investigates the effects of bentonite clay (6.25 and 12.5 g kg⁻¹), carboxymethylcellulose (3 and 5 g kg⁻¹), and mixture of two isolates of endophytic bacteria (*Pseudomonas* sp) and rhizosheath (*Pantoea agglomerans*) (10 and 20 mL kg⁻¹), on soil properties, growth, yield, and yield components of the 'Sirvan' wheat cultivar under greenhouse conditions in a completely randomized design. the effective treatments on soil properties were identified during an incubation period. Five selected combined treatments, including B6.25C5M20; B12.5C5M10; B12.5C5M20; B12.5C3M20, and B12.5C3M10, along with positive and negative controls, were prepared in a total of 7 treatments with 3 replications and 21 pots. Five wheat seeds were sown in each pot, and morphological traits and yield were measured. Results showed that the treatment B12.5C5M20 had the greatest impact on wheat yield and yield components, significantly increasing spike length (5.33-7.33 cm), root length (2.13-9.67 cm), number of spikelets (10.66-15.3), number of grains per spike (8.33-20.67), thousand-grain weight (10.26-25.13 g), biological yield (2.39-6.28 g), and grain yield (0.47-2.43 g) compared to the control. plant height and harvest index, although increased compared to the control, did not show significant differences. Amending sandy soil with the applied treatments is a promising approach for wheat production in these lands.

Cite this article: Hoseini Badashiani, S.M., Haidari, A., Raheb, A., Etesami, H., Bihamta, M.R., & Goodarzvand Chegini, Kh. (2025). Comparison of yield and yield components of Sirvan wheat cultivar in amended and un-amended sandy soils under greenhouse conditions. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 56 (4), 949-964. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.386948.669852>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.386948.669852>



EXTENDED ABSTRACT

Background:

The increasing global population and the concomitant demand for greater food production, combined with the scarcity of arable land, have underscored the imperative to enhance agricultural productivity. Wheat (*Triticum aestivum* L.) is a staple cereal for global food security, serving as a primary food source for both humans and livestock across the globe. The growth and yield of wheat are significantly influenced by effective agricultural management, particularly soil fertility management. Considering the widespread distribution of sandy soils worldwide, tapping into their productive capacity presents a promising avenue to address global food shortages. Despite cultivation, sandy soils often exhibit low productivity and are susceptible to soil degradation processes due to their low content of clay, silt, and organic matter, as well as poor structural properties. Water and nutrient deficiencies result in low biological activity within these soils, thereby limiting plant and microbial growth. Improving sandy soils can be challenging, especially in the context of climate change and severe droughts. Consequently, there is an urgent need to develop suitable strategies for their conservation and reclamation.

Objective

This study investigated the effects of bentonite clay (6.25 and 12.5 g kg⁻¹), carboxymethylcellulose (3 and 5 g kg⁻¹), and mixture of two isolates of endophytic bacteria (*Pseudomonas* sp) and rhizosheath (*Pantoea agglomerans*) (10 and 20 ml kg⁻¹), on soil properties, growth, yield, and yield components of the 'Sirvan' wheat cultivar under greenhouse conditions in a completely randomized design.

Methodology

the effective treatments on soil properties were identified during an incubation period. Five selected combined treatments, including B6.25C5M20; B12.5C5M10; B12.5C5M20; B12.5C3M20, and B12.5C3M10, along with positive and negative controls, were prepared in a total of 7 treatments with 3 replications and 21 pots. Five wheat seeds were sown in each pot, and morphological traits and yield were measured. The obtained data were analyzed using Minitab 21 software through analysis of variance (ANOVA) and Duncan test. Additionally, cluster analysis was performed to identify natural patterns in the data. Ultimately, the treatment that demonstrated the highest agricultural performance and was closest to the positive control was selected as the best treatment.

Finding

Results showed that the treatment B12.5C5M20 had the greatest impact on wheat yield and yield components, significantly increasing spike length (5.33-7.33 cm), root length (2.13-9.67 cm), number of spikelets (10.66-15.3), number of grains per spike (8.33-20.67), thousand-grain weight (10.26-25.13 g), biological yield (2.39-6.28 g), and grain yield (0.47-2.43 g) compared to the control. plant height and harvest index, although increased compared to the control, did not show significant differences.

Conclusion

The use of these soil conditioners, due to their various positive effects such as high water holding capacity, increased water use efficiency in the soil, adsorption of essential plant nutrients on their surface, and consequently increased cation exchange capacity, enhanced soil aggregate stability, increased soil porosity and reduced bulk density, increased microbial activity, increased production of plant hormones and various enzymes, and consequently increased nutrient uptake, significantly improves the physical and chemical properties of the soil. As a result, plant growth and yield are enhanced. Given the scarcity of water resources and the poor quality of sandy soils, especially in arid and semi-arid regions, the use of these conditioners for the sustainable management of water and soil resources and increasing the production capacity of low-yielding sandy soils is more vital and indispensable than ever.

Author Contributions

Conceptualization; Ahmad Heidari and Alireza Raheb; methodology, Ahmad Heidari, Alireza Raheb and Hasan Etesami; validation, Ahmad Heidari and Mohammad Reza Bihamta; formal analysis, Mohammad Hoseini Badashiani; investigation, Mohammad Hoseini Badashiani and Khodabakhsh Goodarzvand Chegini; writing—original draft preparation, Mohammad Hoseini Badashiani; writing— Ahmad Heidari; visualization, Mohammad Hoseini Badashiani; supervision Ahmad Heidari and Alireza Raheb; project administration, Ahmad Heidari; funding acquisition, Ahmad Heidari and Alireza Raheb. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.” All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank Soil Science Department of University of Tehran for providing equipment's and Facilities, and Dr. Aida Bakhshi Khorramdareh, for her participants of the present study.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest

مقایسه عملکرد و اجزا عملکرد گندم رقم سیروان در خاک‌های شنی اصلاح‌شده و اصلاح‌نشده در شرایط گلخانه‌ای

سید محمد حسینی بادآشپانی^۱ | احمد حیدری^۲ | علیرضا راهب^۳ | حسن اعتصامی^۴ | محمدرضا بی‌همتا^۵ | خدابخش گودرزوند چگینی^۶

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: s.hoseini.99@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه:

ahaidari@ut.ac.ir

۳. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: araheh@ut.ac.ir

۴. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: hassanetesami@ut.ac.ir

۵. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: mrghanad@ut.ac.ir

۶. مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آب کوهین، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، رایانامه:

kchegini@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	علیرغم نقش محوری گندم در تغذیه و اقتصاد جوامع کشت گندم در حال حاضر با چالش‌های جدی مانند تغییر اقلیمی و کمبود آب مواجه است. در این پژوهش اثرات رس بتونیت (۶/۲۵ و ۱۲/۵ g kg^{-1})، کربوکسی‌متیل سلولز (۳ و ۵ g kg^{-1}) و مخلوط دو جدایه از باکتری‌های اندوفیت <i>Pantoea agglomerans</i> (R11) و رابزوشیت <i>Pseudomonas</i> (E1) (۱۰ و ۲۰ mL kg^{-1}) برای اصلاح خصوصیات خاک بر روی رشد، عملکرد و اجزاء عملکرد گندم رقم سیروان در شرایط گلخانه‌ای و در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا تیمارهای موثر بر خصوصیات خاک در طی دوره انکوباسیون شناسایی شدند و ۵ تیمار ترکیبی منتخب شامل B6.25C5M20؛ B12.5C5M10؛ B12.5C3M20؛ B12.5C3M10 و B12.5C5M10 به همراه نمونه شاهد مثبت و منفی در مجموع ۷ تیمار با ۳ تکرار و ۲۱ گلدان تهیه شد. در هر گلدان تعداد ۵ بذر گندم کاشته شد و خصوصیات مورفومتری و عملکرد گندم اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد تیمار B12.5C5M20 بیشترین اثر را بر عملکرد گندم و اجزاء عملکرد دارد. به طوری که باعث افزایش معنی‌دار طول خوشه (۵/۳۳-۷/۳۳ cm) طول ریشه (۱۳/۲-۶۷/۹ cm)، تعداد گلچه (۱۰/۶۶-۱۵/۳ عدد)، تعداد دانه در سنبله (۲۰/۶۷-۸/۳۳ عدد)، وزن هزار دانه (۱۳/۲۵-۲۶/۱۰ g)، عملکرد بیولوژیک (۲۸/۶-۳۹/۲ g)، عملکرد دانه (۴۳/۲-۴۷/۰ g) نسبت به تیمار شاهد شد، ارتفاع گیاه و شاخص برداشت با وجود افزایش نسبت به گیاه شاهد تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. اصلاح خاک شنی با تیمارهای به کار رفته راهکاری مفید برای تولید گندم در این اراضی می‌باشد.
واژه‌های کلیدی: اصلاح خاک، سیروان، افزایش تولید گندم.	

استناد: حسینی بادآشپانی، سید محمد؛ حیدری، احمد؛ راهب، علیرضا؛ اعتصامی، حسن؛ بی‌همتا، محمدرضا و گودرزوند چگینی؛ خدابخش (۱۴۰۴). مقایسه عملکرد و اجزاء عملکرد گندم رقم سیروان در خاک‌های شنی اصلاح‌شده و اصلاح‌نشده در شرایط گلخانه‌ای. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۶ (۴)، ۹۴۴-۹۴۹.



<https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.386948.669852>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.386948.669852>

مقدمه

رشد روز افزون جمعیت و نیاز به تولید غذای بیشتر، عدم وجود اراضی قابل بهره‌برداری ضرورت افزایش تولیدات کشاورزی را از طریق افزایش عملکرد در واحد سطح آشکار ساخته است. گندم (*Triticum activism L*) یکی از مهم‌ترین غلات برای تضمین امنیت غذایی جهانی است و منبع اصلی غذای انسان و خوراک دام در بخش وسیعی از جهان است. رشد و عملکرد مناسب گندم عمدتاً به مدیریت کارآمد کشاورزی به ویژه مدیریت حاصلخیزی خاک بستگی دارد (Pourmansour et al., 2019). با توجه به وسعت و موقعیت مکانی خاک‌های شنی در جهان یکی از راه‌حل‌های قابل توجه برای جبران کمبود غذا در جهان، استفاده از ظرفیت تولیدی این خاک‌ها است. خاک‌های شنی علیرغم کشت و کار محصولاتی از قبیل گندم، جو و ذرت به دلیل میزان کم رس، سیلت و مواد آلی، و ساختمان ضعیف، اغلب بازدهی کمی دارند و مستعد فرآیندهای تخریب خاک هستند. کمبود آب و عناصر غذایی منجر به پایین بودن فعالیت‌های زیستی این نوع خاک‌ها می‌شود که محدود شدن رشد گیاهان و میکروارگانیسم‌ها را به دنبال دارد. اصلاح خاک‌های شنی با توجه به تغییرات آب و هوایی و دوره‌های خشکسالی شدید ممکن است چالش برانگیز باشد. به همین دلیل نیاز فوری به توسعه راهبردهای مناسب برای حفاظت و اصلاح آنها وجود دارد. مشکل اصلی برای بهره‌برداری از این نوع خاک‌ها، توانایی کم آنها در حفظ آب و حاصلخیزی پایین آنها است که نیاز به افزودن انواع کودهای آلی و معدنی دارند که هزینه تولید و آلودگی محیطی را افزایش می‌دهد. افزایش بهره‌وری از این نوع خاک‌ها مستلزم استفاده از اصلاح کننده‌های خاک به منظور افزایش حاصلخیزی خاک است (Bednik et al., 2020).

اصلاح کننده‌های خاک موادی هستند که حاوی عناصر و ترکیبات ضروری برای بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و یا زیستی خاک هستند که در نهایت منجر به پایداری خاک، حفظ محیط زیست و بهبود شرایط برای رشد و نمو گیاه می‌شود (Semalulu et al., 2017). استفاده از اصلاح کننده‌های خاک می‌تواند ظرفیت نگهداری آب موجود در خاک را بهبود بخشد، تبخیر و تفرق را کاهش دهد، راندمان مصرف آب و کود در محصولات کشاورزی را افزایش دهد و جوانه‌زنی، رشد و عملکرد محصول را افزایش دهد. اصلاح کننده‌های خاک از طریق کاهش تخریب خاک، بهبود روابط خاک-هوا-آب و اصلاح زهکشی خاک و غلبه بر آب‌گریزی، به افزایش تولید محصول کمک می‌کنند. اصلاح کننده‌های خاک نه تنها دسترسی به عناصر غذایی را برای محصولات کشاورزی بهبود می‌بخشند، بلکه باعث افزایش رقابت در برابر علف‌های هرز و دفاع در برابر آفات و بیماری‌ها می‌شوند (Babla et al., 2022). یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین اصلاح کننده‌های آلی کربوکسی‌متیل سلولزها (CMC) هستند. سلولز فراوان‌ترین بیوپلیمر تجدیدپذیر است که با هزینه کم برای تهیه پلیمرهای کاربردی مختلف در دسترس است. کربوکسی‌متیل سلولزها ترکیباتی (پلیمرهایی) هستند که به راحتی در آب حل و کاملاً در آن پراکنده می‌شوند. خاصیت افزایش گرانروی و امولسیون کنندگی CMC، باعث شده است که این مواد در طیف وسیعی از کاربردهای تجاری، آرایشی، دارویی، کشاورزی، صنایع کاغذ، نساجی و صنایع غذایی استفاده شوند (Qin et al., 2022).

در مطالعات متعدد مشخص شده است که کاربرد ۰/۶ تا ۴ (g kg⁻¹) CMC، باعث کاهش هدررفت آب و افزایش توان تولیدی خاک‌های شنی، افزایش ذخیره رطوبتی و افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌شود، و راندمان شستشوی املاح را در خاک‌های شور سرعت می‌بخشد (Ning et al., 2019). در پژوهش دیگری استفاده از هیدروژل CMC در مناطق خشک و نیمه‌خشک باعث بهبود جوانه زنی بذر، رشد گیاه، افزایش میزان جذب عناصر غذایی خاک و حفظ رطوبت شد (Zhang et al., 2022). در پژوهش دیگری اثر CMC اصلاح شده بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و ریشه گیاه الیموس^۱ به مدت بیش از ۷ ماه بررسی شد. نتایج نشان داد، زیست‌توده گیاهی و میزان تحمل به خشکی افزایش یافت و تعداد ریشه گیاه و شاخص سطح ریشه، نسبت سطح مقطع ریشه و نسبت حجم ریشه افزایش یافت (Yang et al., 2022). در پژوهشی هیدروژل Pusa (یک پلیمر مبتنی بر CMC) عملکرد دانه، عملکرد زیست توده، طول خوشه و تعداد دانه در خوشه گندم را به طور معنی‌داری نسبت به گیاه شاهد بهبود بخشید (Roy et al., 2019).

افزودن بنتونیت نیز یک روش رایج در اصلاح و احیای خاک‌های شنی می‌باشد. در کاربردهای کشاورزی، بنتونیت آب و عناصر غذایی را در اطراف ریشه گیاهان حفظ می‌کند. عناصر غذایی محلول خاک را جذب می‌کند و آنها را برای تبادل با گیاه ذخیره می‌کند. از این رو، می‌توان آن را همراه با کودها برای به حداکثر رساندن بهره‌وری و افزایش محصول استفاده کرد (Mi et al., 2020).

در پژوهش (El-Nagar & Sary, 2021) داده‌ها نشان داد که افزودن بنتونیت به میزان ۱۰ تن در هکتار منجر به افزایش عناصر غذایی پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک شد. همچنین باعث افزایش میزان آب قابل استفاده (AW)، ظرفیت نگهداری آب

(WHC)، تخلخل کل (TP) و کاهش چگالی ظاهری (Bd) در مقایسه با تیمار شاهد در آزمایش‌های گلدانی و مزرعه‌ای شد و عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و وزن ۱۰۰۰ دانه گندم را در مقایسه با تیمار شاهد در هر دو آزمایش به طور معنی‌داری افزایش داد. در بررسی اثر تنش آبی و مصرف مواد جاذب رطوبت مانند کود دامی، ژئولیت و بنتونیت بر ویژگی‌های زراعی و پروتئین دانه گندم، مشخص شد که این تیمارها باعث کاهش اثرات تنش آبی و افزایش عملکرد گیاه گندم می‌شوند (Farahani et al., 2017).

باکتری‌های ریزوسفری اثرات مفیدی در رشد و توسعه گیاه دارند و به عنوان باکتری‌های محرک رشد گیاه شناخته می‌شوند. این ریزوموجودات معمولاً در اطراف ریشه مستقر شده و گیاه را در جذب عناصر غذایی همیاری می‌کنند. این موجودات باعث تثبیت نیتروژن، آزادسازی یون‌های فسفات، پتاسیم، آهن و غیره از ترکیبات نامحلول، بهبود ساختمان خاک، افزایش محصول، کاهش آلودگی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی و در نتیجه کاهش بیماری‌های خاکی می‌شوند (Dhawi, 2023).

در پژوهشی مشاهده شد که ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (*Pseudomonas fluorescens*) اگرچه پلی‌ساکاریدهایی تولید کردند که در شرایط تنش آبی باعث تجمع خاک در اطراف ریشه گیاه گندم شد و به طور قابل توجهی ظرفیت نگهداری آب در خاک شنی را افزایش دادند. میزان نسبی آب در برگ‌ها و ریشه تازه (۸۰٪) و وزن خشک (۶۸٪) در گیاهان تلقیح شده با ریزوباکتری‌های محرک رشد بیشتر بود. میزان عناصر غذایی خاک ریزوسفر گیاهان تیمار شده نیز (۳۵ درصد کلسیم، ۳۴ درصد پتاسیم، ۵۲ درصد منیزیم و ۴۲ درصد سدیم) نسبت به تیمار شاهد تحت تنش افزایش یافت (Khan et al., 2017).

بررسی پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از اصلاح‌کننده‌های گوناگون خاک، از جمله مهم‌ترین روش‌های حفاظتی کارآمد است که بیشترین تأثیر را بر بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و افزایش عملکرد محصول دارد. با وجود مطالعات متعدد موجود تاکنون مطالعات جامعی در استفاده تیمارهای بنتونیت، مواد آلی و باکتری‌های محرک رشد گیاه گندم صورت نگرفته است. اجرای مطالعات در این زمینه ضمن بررسی تأثیر هر یک از اصلاح‌کننده‌های مورد استفاده بر خصوصیات خاک و عملکرد گیاه قابلیت اجرایی و سازگاری این روش‌ها را متناسب با شرایط محیطی تبیین می‌کند. توجه به این دستاوردها به منظور ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب برای بهره‌برداری پایدار از منابع آب و خاک و افزایش توان تولیدی خاک‌های شدیداً شنی مناطق خشک کشور، امری ضروری و اجتناب ناپذیر است. لذا در این پژوهش به بررسی اثرات ترکیبی مواد اصلاح‌کننده خاک بر خصوصیات خاک شنی و کشت گندم رقم سیروان در شرایط گلخانه‌ای پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

خصوصیات خاک مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در رسوبات شنی روستای خرم آباد از توابع شهرستان نظر آباد کرج واقع شده است و دارای رژیم رطوبتی اریدیک و رژیم حرارتی گرمیک می‌باشد. الگوی کشت زمین‌های اطراف این منطقه گندم، جو و ذرت به صورت تناوبی است. در این مطالعه یک نمونه خاک شنی غیرشور سطحی به عنوان شاهد منفی (C-) از عمق سطحی (۲۰-۰ سانتیمتری) رسوبات بادی نجم‌آباد کرج و یک نمونه خاک زراعی غیرشنی تحت کشت گندم به عنوان شاهد مثبت (C+) با عملکرد ۱۰ تن در هکتار از منطقه قزوین تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلیمتری عبور داده شد. تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک، نظیر مقدار رطوبت اشباع (SP) با استفاده از دستگاه صفحه فشاری (Cassel & Nielsen, 1986)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) به روش الک خشک (Kemper & Chepil, 1965)، جرم مخصوص ظاهری (BD) به روش استوانه (Blake, 1986)، درصد شن (Sand)، درصد رس (Clay)، درصد سیلت (Silt) با اندازه‌گیری بافت خاک به روش هیدرومتری (Huluka & Miller, 2014)، pH و هدایت الکتریکی (EC) در نسبت ۱ به ۲/۵ عصاره خاک به آب (Bottomley et al., 2020)، درصد آهک (CCE) به روش کلسیمتری (Loeppert & Suarez, 1996)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش استات سدیم ۱ نرمال (Sumner & Miller, 1996)، درصد کربن آلی (OC) به روش اکسیداسیون تر (Walkly & Black, 1934)، نیتروژن کل خاک (TN) با استفاده از روش کج‌لدال (Nelson & Sommers, 1980) اندازه‌گیری شدند. همچنین فسفر قابل جذب (P) توسط محلول بی‌کربنات سدیم ۰/۵ مولار استخراج شده در pH برابر ۸/۵ توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Olsen, 1954) و پتاسیم قابل جذب (K) توسط NH_4OAc ۱ نرمال استخراج شده در pH برابر ۷ توسط دستگاه فلیم فتومتر (Bottomley et al., 2020) اندازه‌گیری شد. مقادیر عناصر آهن (Fe)، روی (Zn)، منگنز (Mn) و مس قابل جذب (Cu) نمونه‌ها با محلول ۰/۰۰۵ مولار DTPA عصاره‌گیری و سپس توسط دستگاه جذب اتمی قرائت شد (Shuman, 1985).

در جدول ۱ و ۲ به ترتیب خصوصیات شیمیایی و فیزیکی نمونه‌های خاک شاهد مثبت و منفی نشان داده شده است. در نمونه شاهد منفی، بافت خاک مورد نظر شن لومی است. با توجه به مقادیر بالای درصد شن و مقادیر کم درصد رس و سیلت نفوذپذیری این خاک زیاد و در نتیجه مقدار ذخیره رطوبتی پایین است. با توجه به میزان pH خاک، واکنش خاک در محدوده قلیایی و با توجه به میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع، خاک مورد نظر در محدوده خاک غیر شور قرار می‌گیرد. در جدول ۳ حد بحرانی عناصر غذایی در خاک‌های زراعی و باغی نشان داده شده است. (Malakouti et al., 2005) با توجه به میزان کربن آلی پایین (۰/۱۶٪)، مقادیر کم عناصر پر مصرف نیتروژن (۰/۰۳٪)، فسفر (۲/۹۸ mg kg^{-1}) و پتاسیم (۲۲۲ mg kg^{-1}) و عناصر کم مصرف آهن (۱/۳ mg kg^{-1})، روی (۰/۳۴ mg kg^{-1})، منگنز (۱/۹۱ mg kg^{-1}) و مس (۰/۶۲ mg kg^{-1})، در مقایسه با حد بحرانی عناصر غذایی، این خاک از وضعیت حاصلخیزی مساعدی برخوردار نیست و دارای کمبود عناصر تغذیه‌ای است. در نمونه شاهد مثبت بافت خاک مورد نظر لومی است، با توجه به توازن مقادیر رس، شن و سیلت در بافت‌های لوم، مقدار ذخیره رطوبتی نسبت به خاک شاهد منفی وضعیت مطلوب‌تری دارد. با توجه به میزان pH خاک، واکنش خاک در محدوده قلیایی و با توجه به میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع، خاک مورد نظر در محدوده خاک غیر شور قرار می‌گیرد. با توجه به مقادیر عناصر تغذیه‌ای پر مصرف نیتروژن (۰/۰۷٪)، فسفر (۱۵/۶۸ mg kg^{-1}) و پتاسیم (۴۸۵ mg kg^{-1}) و عناصر کم مصرف آهن (۱۷/۸ mg kg^{-1})، روی (۲/۵۹ mg kg^{-1})، منگنز (۱۹/۹ mg kg^{-1}) و مس (۸/۱۸ mg kg^{-1})، این خاک دارای کمبود عناصر تغذیه‌ای مورد نیاز گیاه نیست و از وضعیت حاصلخیزی مساعدی برخوردار است.

جدول ۱. خصوصیات شیمیایی خاک شاهد مثبت و شاهد منفی

Cu	Mn	Zn	Fe	Kav	Pav	EC	pH	TN	OC	CEC	CCE
(mg kg ⁻¹)						(dS m ⁻¹)		(%)		cmol ⁺ kg ⁻¹	(%)
۰/۶۲	۱/۹۱	۰/۳۴	۱/۳۰	۲۲۲	۲/۹۸	۰/۲۴	۸/۱۳	۰/۰۳	۰/۱۶	۳/۲۷	۸/۰۰
۱/۱۸	۱۹/۹	۲/۵۹	۱۷/۸۰	۴۸۵	۱۵/۶۸	۰/۲۶۳	۷/۹۳	۰/۰۷	۱/۱۷	۵/۴۹	۵/۶۳
											C-
											C+

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی خاک شاهد مثبت و منفی

BD	MWD	Clay	Silt	Sand	SP	
(g cm ⁻³)	(mm)	(%)				
۱/۶۲	۰/۲۵	۱۱	۵	۸۴	۳۳	C-
۱/۲۳	۱/۰۸	۱۸/۸۴	۳۷/۴۳	۴۱/۷۳	۴۲/۷۵	C+

جدول ۳. حدود بحرانی عناصر تغذیه‌ای در خاک

Cu	Mn	Zn	Fe	Kav	Pav	TN	OC
(mg kg ⁻¹)						(%)	(%)
۱	۸	۱	۱۰	۲۵۰-۳۰۰	۷-۱۰	۰/۱-۰/۳	>۲

تهیه تیمارهای مطالعاتی

به منظور اصلاح و ارتقاء خصوصیات فیزیکی خاک‌های شنی از دو سطح رس بنتونیت (۶/۲۵ و ۱۲/۵ g kg^{-1})، کریوکسی‌متیل سلولوز (۳ و ۵ g kg^{-1}) و مخلوط دو جدایه از باکتری اندوفیت *Pantoea agglomerans* (R11) و رازوشیت *Pseudomonas sp* (E1)، (۱۰ و ۲۰ ml. kg^{-1}) استفاده شد. برای تهیه تیمارهای مطالعاتی، مقادیر مختلف بنتونیت، CMC به صورت وزنی و به شکل جامد با خاک شنی مخلوط شدند و محلول ترکیبی دو باکتری به نمونه‌های خاک اضافه گردید. ۵ تیمار ترکیبی منتخب شامل $\text{B}_{12.5}\text{C}_5\text{M}_{20}$ ، $\text{B}_{12.5}\text{C}_5\text{M}_{10}$ ، $\text{B}_{6.25}\text{C}_5\text{M}_{20}$ ، $\text{B}_{12.5}\text{C}_3\text{M}_{10}$ و $\text{B}_{12.5}\text{C}_3\text{M}_{20}$ تهیه و خصوصیات فیزیکی خاک از قبیل رطوبت اشباع، جرم مخصوص ظاهری و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها اندازه‌گیری شد.

کشت گلخانه‌ای

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. ۵ تیمار منتخب به همراه نمونه خاک شنی (تیمار شاهد منفی) و نمونه خاک زراعی (تیمار شاهد مثبت) با سه تکرار و در مجموع تعداد ۲۱ گلدان پلاستیکی با گنجایش پنج کیلوگرم تهیه شدند. در این پژوهش از رقم گندم بهاره سیروان (مقاوم به خشکی و زودرسی) استفاده شد. ابتدا بذور تهیه شده سمپاشی و برای جوانه زنی به مدت ۲۴

ساعت در ظرف حاوی آب قرار گرفتند. سپس بذور سالم و حاوی جوانه در تاریخ ۱۵ اردیبهشت ۱۴۰۳ به سینی‌های مخصوص کشت نشا حاوی نسبت مساوی از کوکوپیت و پرلیت منتقل شد و پس از سبز شدن بوته‌ها، در ۱ خرداد ۱۴۰۳ تعداد ۱۵ نشا به درون هر گلدان انتقال پیدا کردند، به منظور جبران کمبود احتمالی عناصر خاک، کود NPK به نسبت ۲:۲:۱ به خاک اضافه شد. در مرحله استقرار، تعداد این بوته ها به ۵ بوته در هر گلدان کاهش پیدا کرد، در طول دوره رشد جهت تامین آب مورد نیاز، گلدان‌ها توزین و سپس بر اساس رطوبت ظرفیت زراعی هر گلدان، گلدان‌ها آبیاری شدند، در طول دوره رشد میانگین دمای گلخانه بین ۱۸ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی بین ۵۰ تا ۶۰ درصد متغیر بود و جهت مراقبت‌های مورد نیاز مانند مبارزه با آفات از سمپاشی استفاده شد، پس از رسیدن و خشک شدن کامل بوته‌های گندم، در تاریخ ۳۱ مرداد ۱۴۰۳ عملیات برداشت محصول انجام پذیرفت. برای اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد گندم پارامترهای گیاهی شامل ارتفاع گیاه (PH)، طول سنبل (SPL)، طول ریشه (RL)، تعداد گلچه (FN)، تعداد دانه در سنبله (GNS)، وزن هزار دانه (TGW)، وزن دانه‌ها (عملکرد دانه) (GY)، وزن خشک اندام هوایی (عملکرد بیولوژیک (BY) و شاخص برداشت (HI) اندازه‌گیری شد. ارتفاع گیاه، طول سنبله و طول ریشه با خط‌کش فلزی و بر حسب سانتی‌متر مشخص شدند، تعداد گلچه و تعداد دانه در سنبله با شمارش گلچه‌ها و دانه‌ها در ۵ بوته مشخص شد و سپس از آن‌ها میانگین گرفته شد تا تعداد دانه و تعداد گلچه به ازای هر بوته به دست آید، پس از جداسازی دانه‌ها از بوته‌ها، تعدادی دانه به طور تصادفی با ترازوی دیجیتالی با دقت (۰/۰۱ گرم) وزن شدند و وزن هزار دانه مشخص شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، پس از جداسازی دانه‌ها از بوته‌ها در هر گلدان، وزن کل دانه‌ها با ترازوی دیجیتالی مشخص شد و سپس با محاسبه میانگین، عملکرد دانه به ازای هر بوته بر حسب گرم مشخص شد. همچنین با وزن کردن کل اندام هوایی در هر گلدان و سپس محاسبه میانگین، عملکرد بیولوژیک به ازای هر بوته بر حسب گرم مشخص شد و از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک شاخص برداشت محاسبه گردید. در انتهای برداشت محصول، به منظور مقایسه اثر آبیاری، طول مدت زمان کشت و نوع تیمار آزمایشی بر خصوصیات فیزیکی خاک، نمونه‌گیری مجدد از خاک گلدان‌ها صورت گرفت و خصوصیات فیزیکی خاک مجدد اندازه‌گیری شد و با خصوصیات قبل از کاشت مقایسه شد. برای آنالیزهای آماری از نرم افزار SPSS، Minitab، و Excel استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکی خاک گلدان‌ها

جهت مقایسه تاثیر تیمارها، مدت زمان کشت و میزان آبیاری بر خصوصیات فیزیکی خاک از قبیل میزان رطوبت اشباع، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و جرم مخصوص ظاهری قبل و بعد از کاشت، از آزمون t و سطح معنی‌داری ۵ درصد استفاده شد. مقادیر خصوصیات اندازه‌گیری شده و سطح معنی‌داری هر یک از خصوصیات در جدول ۴ آورده شده است. میزان رطوبت اشباع در همه تیمارها به جز تیمار شاهد منفی و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در تمامی تیمارها بعد از کشت نسبت به میزان قبل از کشت، افزایش معنی‌داری پیدا کرده است. میزان جرم مخصوص ظاهری در تمامی تیمارها به جز تیمار شاهد مثبت کاهش معنی‌داری داشته است، ضمن آنکه میزان رطوبت اشباع و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در تمامی تیمارها قبل و بعد از کاشت نسبت به تیمار شاهد منفی افزایش داشته است و این روند در ارتباط با جرم مخصوص ظاهری خاک کاهشی بود. سطوح مختلف بنتونیت، کربوکسی‌متیل سلولز و باکتری‌های محرک رشد گیاه در مرحله بعد از کاشت، باعث افزایش میزان رطوبت اشباع خاک از محدوده ۱۸ تا ۳۸ درصد و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک از محدوده ۱۶ تا ۲۶ درصد نسبت به تیمار شاهد منفی شدند، ضمن آنکه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها از محدوده ۲۸۰ تا ۳۸۰ درصد نسبت به تیمار شاهد منفی افزایش یافت. تاثیر تیمار $B_{12.5}-C_5-M_{20}$ ، بر خصوصیات فیزیکی خاک نسبت به سایر تیمارها از عملکرد بهتری برخوردار بود و به تیمار شاهد مثبت نزدیک بود.

رس بنتونیت هنگامی که به عنوان اصلاح کننده خاک استفاده می‌شود، به دلیل خواص طبیعی خود می‌تواند باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، مواد آلی خاک و در دسترس بودن عناصر غذایی شود. همه این ویژگی‌ها می‌تواند وضعیت تخلخل خاک، ساختمان خاک، فعالیت‌های میکروبی و در نهایت عملکرد محصول را بهبود بخشد (Hussain et al., 2022). افزایش مقدار بنتونیت در خاک می‌تواند ظرفیت تبادل کاتیونی را به دلیل توسعه کمپلکس‌های آلی-معدنی در خاک افزایش دهد که باعث بهبود میزان کربن آلی خاک، فعالیت‌های میکروبی و عناصر غذایی در خاک شود، همچنین رس بنتونیت می‌تواند یون‌های دارای بار مثبت مانند منیزیم، پتاسیم و کلسیم را در خود نگه دارد و تولید آنزیم‌های آنتی اکسیدانی را افزایش دهد و باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک، میزان نفوذ تجمع آب در خاک و

تبخیر و تعرق از سطح خاک شود (Alghamdi et al., 2023).

کربوکسی متیل سلولز هنگامی که به خاک افزوده می شود، می تواند ویژگی های نفوذ پذیری خاک و پارامترهای مدل نفوذ را با تشکیل یک ساختار ژل مانند و بهبود عملکرد نفوذ آب در خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک تغییر دهد. علاوه بر این، گروه کربوکسی - متیل با بار منفی در زنجیره اصلی خود می تواند با کاتیون های محلول خاک از طریق جاذبه الکترواستاتیکی تعامل داشته باشد، به عنوان یک عامل اتصال قوی عمل کند که منجر به تجمع ذرات خاک و در نتیجه کاهش فشردگی خاک شود. در پژوهشی مشابه (Shao et al., 2023) به اثر ترکیبی سطوح مختلف بیوجار و کربوکسی متیل سلولز بر خصوصیات فیزیکی خاک های شنی نواحی بیابانی پرداخته شد و نتایج نشان داد که ترکیب بیوجار و کربوکسی متیل سلولز جرم مخصوص ظاهری خاک را از ۸/۸۱ تا ۳۰/۷۴ درصد و ظرفیت نگهداری آب را از ۱۳/۹۱ تا ۹۴/۹۸ درصد کاهش می دهد و میزان رطوبت اشباع خاک را از ۸/۸۱ تا ۳۰/۷۴ درصد و ظرفیت نگهداری آب را از ۱۳/۹۱ تا ۳۶/۸۷ درصد افزایش می دهد. به طور مشابه، میزان پایداری خاکدانه ها از ۲۹ تا ۲۵۶ درصد افزایش یافت.

جدول ۴. مقایسه میانگین خصوصیات فیزیکی اندازه گیری شده بین تیمارهای مطالعاتی قبل و بعد از کشت بر اساس آزمون t در سطح معنی داری ۵ درصد

Variable	SP (%)		MWD (mm)			BD (g .cm ⁻³)		
	قبل از کشت	بعد از کشت	P-Value	قبل از کشت	بعد از کشت	P-Value	قبل از کشت	بعد از کشت
C-	۳۲/۱۴	۳۷/۶۲	۰/۰۵۷	۰/۱۱	۰/۳۱	۰/۰۰۱	۱/۶۶	۱/۵۳
B6.25C5M20	۴۳/۲۴	۴۴/۳	۰/۰۰۲	۱/۰۴	۱/۱۹	۰/۰۲	۱/۳۵	۱/۲۴
B12.5C3M10	۴۳/۷۶	۴۴/۵۵	۰/۰۲	۱/۰۷	۱/۲۱	۰/۰۳	۱/۴۲	۱/۳۲
B12.5C3M20	۴۴/۴۷	۴۶	۰/۰۰۱	۱/۰۵	۱/۲۲	۰/۰۲	۱/۴۱	۱/۳
B12.5C5M10	۴۶/۶۹	۴۹/۷	۰/۰۰۱	۱/۱۷	۱/۳۳	۰/۰۰۳	۱/۳۶	۱/۲۶
B12.5C5M20	۴۵/۸	۵۱/۴۸	۰/۰۳	۱/۴	۱/۴۹	۰/۰۲	۱/۳	۱/۲۱
C+	۴۲/۷۵	۶۰/۱۵	۰/۰۰۱	۱/۰۸	۱/۵۳	۰/۰۰۱	۱/۳۳	۱/۳۸

اثر تیمارهای مطالعاتی بر عملکرد و اجزا عملکرد گندم

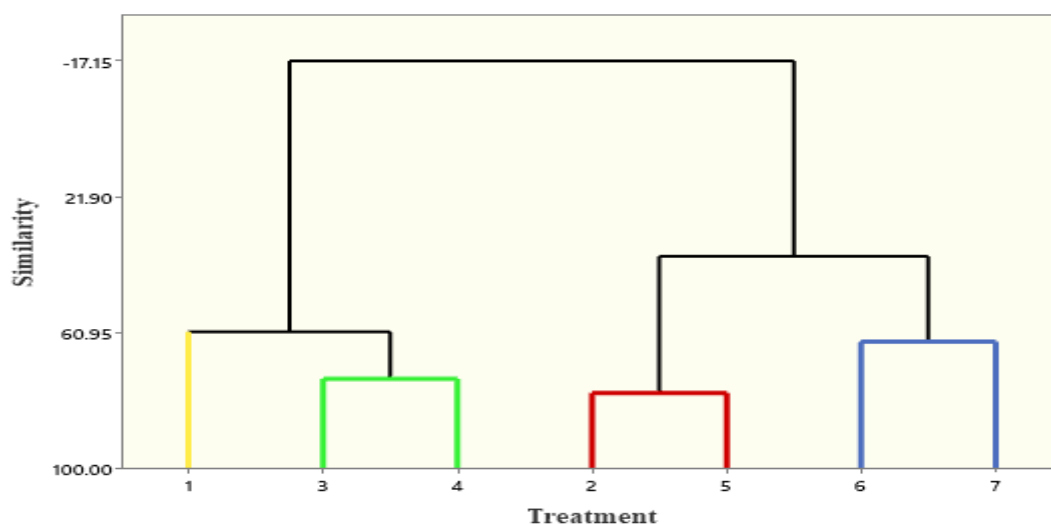
در جدول ۵ تاثیر تیمارهای مطالعاتی شامل سطوح مختلف بنتونیت، کربوکسی متیل سلولز و مخلوط باکتری های محرک رشد گیاه به همراه دو نمونه شاهد مثبت و منفی بر عملکرد و اجزا عملکرد گندم در طول دوره رشد مشاهده می شود. اثر تیمارهای مطالعاتی، خاک شاهد مثبت و منفی تاثیر معنی داری بر ارتفاع گیاه و شاخص برداشت نداشت ولی بر سایر پارامترهای گیاهی نظیر طول خوشه، طول ریشه، تعداد گلچه، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک تاثیر معنی داری داشت. طول خوشه در تیمارهای B12.5-C5-M10 و B12.5-C5-M20 عملکرد بهتری نسبت به سایر تیمارها داشت و به تیمار شاهد مثبت نزدیک بود. اثر تیمارهای شاهد مثبت و B12.5-C5-M20 بر طول ریشه نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود، ضمن آنکه بین این دو تیمار اثر معنی داری مشاهده نشد. تعداد گلچه و تعداد دانه در خوشه در تیمارهای B12.5-C5-M10 و B12.5-C5-M20 عملکرد نزدیکی به تیمار شاهد مثبت داشت و نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود. بین این تیمارها در مقایسه با شاهد مثبت تفاوت معنی داری مشاهده نشد. اثر تیمارهای شاهد مثبت، B12.5-C5-M10 و B12.5-C5-M20 بر وزن هزار دانه نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود و مقادیر بیشتری نسبت به سایر تیمارها مشاهده شد، ضمن آنکه بین این تیمارها اثر معنی داری مشاهده نشد. بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار شاهد مثبت مشاهده شد. تیمار B12.5-C5-M20 عملکرد نزدیکی به شاهد مثبت داشت و عملکرد بیولوژیک در این تیمار نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود. عملکرد دانه در تیمار شاهد مثبت و تیمار B12.5-C5-M20 مشابه بود و اثر معنی داری بین این دو تیمار مشاهده نشد. ضمن آنکه نسبت به سایر تیمارها این میزان بیشتر بود، مقادیر اندازه گیری شده کلیه پارامترهای گیاهی در تیمار شاهد منفی نسبت به سایر تیمارها دارای کمترین مقدار بودند و در تیمارهای B12.5-C5-M20 و تیمار شاهد مثبت دارای بیشترین مقدار بودند. لذا می توان نتیجه گرفت تیمارهای شاهد مثبت و B12.5-C5-M20 از عملکرد بهتری جهت افزایش عملکرد و اجزا عملکرد گندم رقم سیروان نسبت به سایر تیمارهای مطالعاتی برخوردار هستند.

جدول ۵. مقایسه میانگین متغیرهای گیاهی بین تیمارهای مطالعاتی بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری ۵ درصد

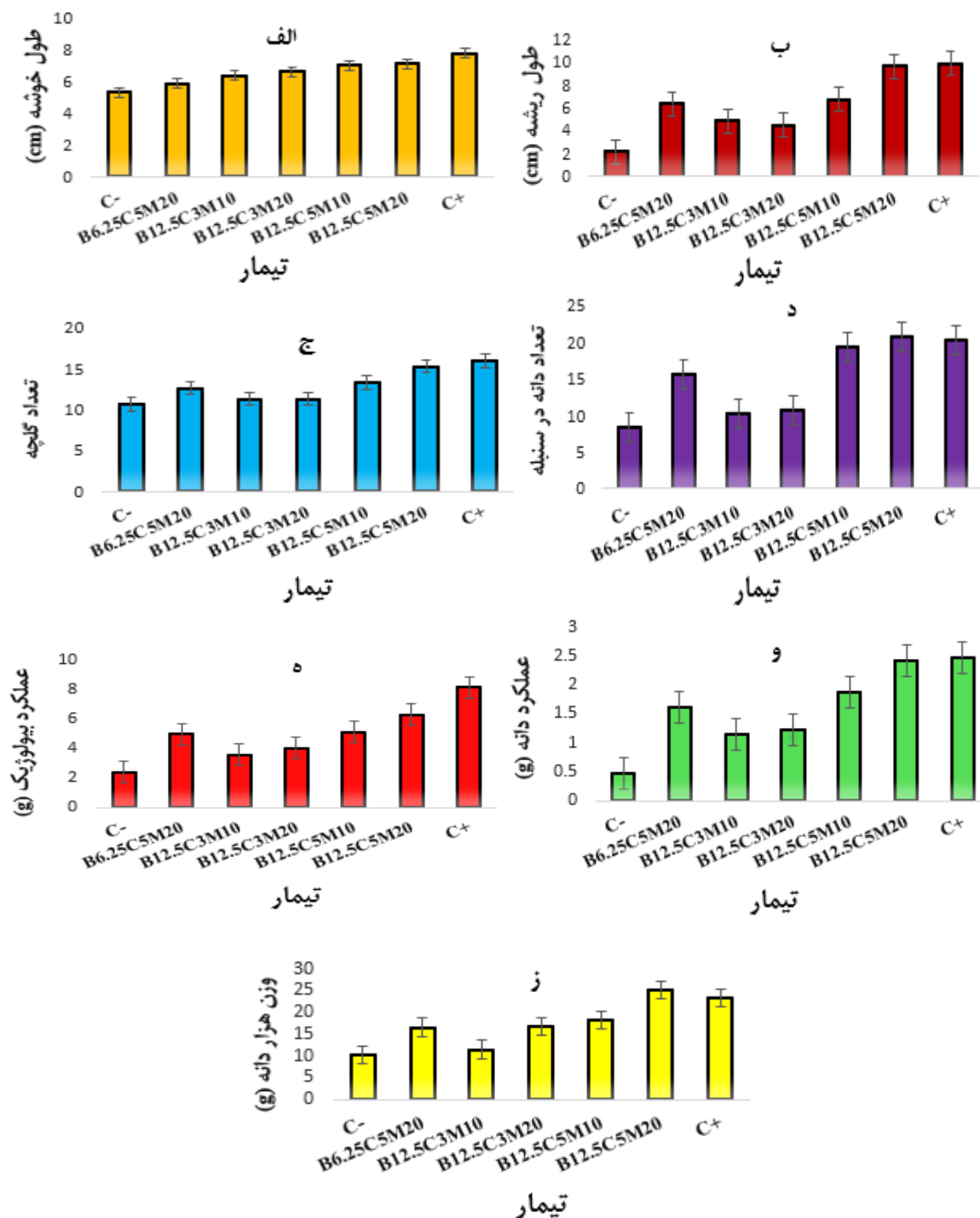
HI (%)	GY (g p ⁻¹)	BY (g p ⁻¹)	TGW (g)	GNS (n)	FN (n)	RL (cm)	SPL (cm)	PH (cm)	variable Treatment	
21/3 ^a	1/47 ^b	2/39 ^c	1.0/26 ^d	1/33 ^c	1.0/66 ^b	2/13 ^b	8/33 ^c	88/33 ^a	C-	1
33 ^a	1/61 ^{ab}	4/98 ^{bc}	16/85 ^{bc}	18/7 ^b	12/66 ^{ab}	6/33 ^{ab}	6/4 ^{bc}	88/67 ^a	B6.25C5M20	2
26/33 ^a	1/18 ^{ab}	4/13 ^{bc}	11/48 ^{cd}	1.0/33 ^c	11/33 ^b	4/13 ^{ab}	8/9 ^{bc}	89 ^a	B12.5C3M10	3
34/67 ^a	1/22 ^{ab}	3/89 ^{bc}	16/77 ^{bc}	1.0/67 ^c	11/33 ^b	4/8 ^{ab}	6/63 ^{bc}	60/7 ^a	B12.5C3M20	4
36/33 ^a	1/17 ^{ab}	8/11 ^{bc}	18/3 ^b	19/33 ^a	13/33 ^{ab}	6/77 ^{ab}	7/13 ^{ab}	62/67 ^a	B12.5C5M10	5
38/67 ^a	2/43 ^a	6/28 ^{ab}	28/13 ^a	20/67 ^a	18/3 ^a	9/67 ^a	7/16 ^{ab}	64/67 ^a	B12.5C5M20	6
29/67 ^a	2/46 ^a	1/18 ^a	23/29 ^a	20/3 ^a	16 ^a	9/17 ^a	7/13 ^a	78/27 ^a	C+	7
1/34	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	P-value < 5%	

شکل ۱ دندروگرام^۱ حاصله از نتایج خوشه‌بندی تیمارهای آزمایشی بر عملکرد و اجزا عملکرد گندم را نشان می‌دهد. در این دندروگرام شماره تیمارها بر اساس جدول ۵ مشخص کننده تیمارهای آزمایشی است. تیمارهای مشابه به لحاظ عملکرد در خوشه‌های یکسان قرار گرفته‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود تیمار ۱ (شاهد منفی) به صورت مجزا در خوشه ۱ قرار گرفته است. تیمارهای ۳ و ۴ ($B_{12.5}-C_3$) ($B_{12.5}-C_5$)، تیمارها ۲ و ۵ ($B_{12.5}-C_5-M_{10}$, $B_{6.25}-C_5-B_{20}$) در خوشه ۳ و تیمار ۶ و ۷ (شاهد مثبت و $B_{12.5}-C_5-M_{20}$) در خوشه ۴ قرار گرفته‌اند و عملکرد مشابه به هم دارند. بر اساس مشاهدات جدول ۵ و نتایج دندروگرام شکل ۱ عملکرد تیمارهای آزمایشی در این پژوهش را می‌توان به صورت شاهد مثبت $B_{12.5}C_5M_{20} = B_{12.5}C_5M_{10} < B_{6.25}C_5M_{20} < B_{12.5}C_3M_{10} = B_{12.5}C_3M_{20}$ شاهد منفی گزارش نمود. شکل ۲ نمودارهای ستونی عملکرد و اجزا عملکرد گندم رقم سیروان را در هر یک از تیمارهای آزمایشی نشان می‌دهد.

در این پژوهش کاربرد بنتونیت به میزان $5/12 \text{ g kg}^{-1}$ ، کربوکسی‌متیل سلولز به میزان 5 g kg^{-1} و ترکیب دو سویه باکتری *Pantoea* (*Pseudomonas* sp (E1) *agglomerans* (R11)) به میزان 20 ml kg^{-1} بیشترین تاثیر را بر رشد و عملکرد گندم رقم سیروان داشتند. در پژوهش (Iqbal et al., 2024) کاربرد بنتونیت به میزان 10 g kg^{-1} در ترکیب با باکتری *Azospirillum brasilense* باعث بیشترین عملکرد دانه گندم و اجزا عملکرد شامل ارتفاع گیاه، طول سنبله، تعداد گلچه، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه گندم شد.



شکل ۱. دندروگرام حاصل از نتایج خوشه‌بندی تیمارهای آزمایشی



شکل ۲. نمودار ستونی متغیرهای گیاهی اندازه‌گیری شده الف. طول خوشه ب. طول ریشه ج. تعداد گلچه د. تعداد دانه در سنبله ه. عملکرد بیولوژیک و. عملکرد دانه ز. وزن هزار دانه

استفاده از بنتونیت به عنوان یک راهکار پایدار و بلندمدت برای افزایش کارایی و پایداری سیستم‌های کشاورزی در خاک‌های شنی شناخته شده است (Bell & Seng, 2007). تأثیرات مثبت بنتونیت سبب شده است که در بسیاری از مناطق خشک جهان به عنوان یک اصلاح‌کننده خاک مورد استفاده قرار گیرد (McKissock et al., 2000; Suzuki et al., 2007) و به افزایش رشد و عملکرد محصولات کشاورزی کمک کند (Aleem et al., 2000). ظرفیت نگهداری آب در خاک، میزان کربن آلی خاک، مواد آلی خاک و عناصر غذایی قابل جذب را می‌توان با استفاده از بنتونیت به عنوان اصلاح‌کننده خاک، بهبود بخشید. همه این ویژگی‌ها می‌توانند تخلخل خاک، ظرفیت نگهداری آب، حاصلخیزی خاک، ساختمان خاک و در نهایت عملکرد محصول را افزایش دهند (LU et al., 2005). کاربرد بنتونیت در خاک باعث افزایش کربن آلی خاک، تنفس خاک، ظرفیت نگهداری آب و عناصر غذایی موجود برای رشد و نمو گیاه می‌شود، همه این موارد در

مجموع طول سنبله و در نهایت تعداد دانه‌ها در هر سنبله را بهبود می‌بخشد (Lei et al., 2022). (Khan et al., 2022) در پژوهشی گزارش کردند که کاربرد بنتونیت همچنین ظرفیت نگهداری آب و تولید آنزیم‌های خاک را بهبود می‌بخشد که مستقیماً بر تولید هورمون‌های رشد و عملکرد دانه گیاه تأثیر می‌گذارد. در دسترس بودن بیشتر عناصر غذایی منجر به تولید بیشتر هورمون رشد می‌شود که برای افزایش هدایت روزنه مفید است. هدایت روزنه‌ای بیشتر و در نتیجه شاخص سطح برگ بیشتر باعث افزایش میزان کلروفیل می‌شود که منجر به سرعت فتوسنتز و در نهایت عملکرد بیشتر گیاه می‌شود (Zaheer, Ali, Iqbal, et al., 2022). از طرف دیگر، کاربرد بنتونیت در خاک، وضعیت عناصر غذایی خاک را نیز بهبود می‌بخشد. در دسترس بودن عناصر غذایی برای رشد گیاه مفید است و به کمک فرآیندهای متابولیک مختلف به تقویت رشد گیاه و افزایش آنتی اکسیدان‌های موجود در گیاه کمک می‌کند. کاربرد بنتونیت باعث افزایش در دسترس بودن عناصر غذایی، بهبود ساختمان خاک و رشد ریشه گندم می‌شود و نه تنها ارتفاع بوته گندم را بهبود می‌بخشد، بلکه طول سنبله را نیز افزایش می‌دهد (Hussain et al., 2022). بنتونیت می‌تواند یون‌های دارای بار مثبت مانند منیزیم، پتاسیم و کلسیم را در خود نگه دارد و باعث افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی شود. ظرفیت تبادل کاتیونی بالا بنتونیت می‌تواند ساختمان خاک و ظرفیت نگهداری آب خاک را بهبود بخشد، همچنین آنتی اکسیدان‌ها و جذب عناصر غذایی در خاک را افزایش دهد که برای رشد و سلامت گیاه مفید است (Jackson, 2008). کربوکسی‌متیل سلولزها، از دیگر عوامل موثر در اصلاح خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و موثر در رشد گیاه هستند، که به صورت مستقیم یا غیر مستقیم در این امر موثر هستند، کربوکسی‌متیل سلولز هنگامی که در آب حل می‌شود، خواص مفید زیادی از خود نشان می‌دهد. هنگامی که به خاک افزوده می‌شود، می‌تواند ویژگی‌های نفوذپذیری خاک و پارامترهای مدل نفوذ را با تشکیل یک ساختار ژل مانند و بهبود عملکرد نفوذ آب در خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک تغییر دهد. علاوه بر این، گروه کربوکسی‌متیل با بار منفی در زنجیره اصلی خود می‌تواند با کاتیون‌های محلول خاک از طریق جاذبه الکترواستاتیکی تعامل داشته باشد، به عنوان یک عامل اتصال قوی عمل کند که منجر به تجمع ذرات خاک و در نتیجه کاهش فشردگی خاک شود. از سوی دیگر باعث افزایش فضای منافذ خاک و افزایش تخلخل خاک می‌شود و نفوذ آب به خاک را بهبود می‌بخشد و با حفظ رطوبت خاک حلالیت عناصر غذایی در خاک را افزایش می‌دهد. کربوکسی‌متیل سلولز به عنوان یک پلیمر پلی کربوکسیلات، ظرفیت تبادل کاتیونی بالایی دارد. در نتیجه جذب عناصر غذایی در خاک را افزایش می‌دهد و دسترسی به عناصر غذایی موثر را تقویت می‌کند. علاوه بر این، به عنوان منبع کربن، تکثیر و تولید میکروارگانیسم‌های خاک را تحریک می‌کند. این میکروارگانیسم‌ها نقش اساسی در تجزیه مواد آلی خاک و آزادسازی متعاقب عناصر غذایی ایفا می‌کنند که در رشد گیاهان موثر هستند (Wang et al., 2023).

در پژوهشی مشاهده شد که تیمار بیوجار و کربوکسی‌متیل سلولز باعث افزایش معنی‌داری در وزن تر اندام هوایی ذرت (۲۴/۵۳ درصد)، وزن خشک اندام هوایی (۲۸/۴۷ درصد)، طول اندام هوایی (۳۲/۲۳ درصد)، وزن تر ریشه (۱۹/۰۳ درصد)، وزن خشک ریشه (۸۷/۵ درصد) و طول ریشه (۶۹/۸ درصد) نسبت به شاهد تحت تنش خشکی شد. همچنین افزایش قابل توجه کلروفیل کل (۳۰/۵۶ درصد)، میزان فتوسنتز (۲۱/۳۵ درصد)، میزان تعرق (۳۲/۶۱ درصد) و هدایت روزنه‌ای (۹۱/۵۷ درصد) در شرایط تنش خشکی نسبت به شاهد شد (Danish et al., 2024). مطابق با پژوهش (Zhang et al., 2022) ترکیب کمپوست، فلدسپار، ژلاتین و کربوکسی‌متیل سلولز در خاک‌های شنی باعث افزایش جذب آب، پایداری خاکدانه‌ها و افزایش جذب عناصر غذایی پر مصرف شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم شد و باعث افزایش عملکرد و اجزا عملکرد گندم نسبت به تیمار شاهد شد.

استفاده از مخلوط سویه‌های باکتریایی *Pantoea agglomerans* (R11), *Pseudomonas sp* (E1) نیز می‌تواند توانایی دسترسی به عناصر غذایی برای رشد گیاه را افزایش دهد و مواد آلی موجود در خاک را افزایش دهد (Zaheer et al., 2019). همچنین باعث افزایش تولید سیتوکینین^۱ در گیاه می‌شود که باعث افزایش تقسیم سلولی و در نهایت رشد گیاه گندم می‌شود (Afzal et al., 2014). فراهمی بیشتر عناصر غذایی و تولید هورمون‌های رشد، طول سنبله گیاه گندم را افزایش می‌دهد، تعداد گلچه در هر سنبله با افزایش طول سنبله افزایش می‌یابد و در نهایت تولید کلروفیل افزایش می‌یابد که منجر به وزن ۱۰۰۰ دانه بیشتر می‌شود. همچنین با افزایش تولید میزان سیتوکینین و آنزیم ACC-deaminase رشد ریشه، اندام هوایی، شاخص سطح برگ و میزان نسبی آب در برگ گیاه افزایش می‌یابد (Zaheer, Ali, 2022). در تحقیقی دیگر مشاهده شد که بوته‌های گندم تیمار شده با *Pantoea agglomerans* افزایش معنی‌داری در تعداد پنجه، تعداد برگ در بوته، طول سنبله، تعداد سنبله در بوته، تعداد گلچه در سنبله، وزن ۱۰۰۰ دانه و عملکرد دانه نشان دادند (Sharma et

(al., 2024).

در پژوهشی استفاده از مخلوط سویه‌های باکتریایی *Pseudomonas sp (E1) Pantoea agglomerans (R11)* تولید اکسین^۱ و تولید ACCdeaminase را افزایش دادند و باعث تثبیت نیتروژن و حل شدن فسفات نامحلول در خاک شدند و تأثیر منفی تنش کم‌آبی بر شاخص‌های رشد دو رقم گندم سیروان و سیوند را کاهش دادند. همچنین استفاده از این دو سویه مخلوط باکتری باعث افزایش ارتفاع گیاه گندم، طول ریشه، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، شاخص کلروفیل، افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز^۲، غلظت نیتروژن اندام هوایی، فسفر و پتاسیم نسبت به گیاه شاهد شد (Naderi et al., 2022).

در تحقیقی اثر تیمار مواد آلی و باکتری *Pseudomonas fluorescence* در بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک شنی و عملکرد گیاه گندم بررسی شد. نتایج نشان داد طول اندام هوایی، طول ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، میزان کلروفیل، تعداد برگ و عملکرد گندم نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. همچنین میزان عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک اطراف ریشه نسبت به گیاه شاهد افزایش یافت (Abd El-Ghany et al., 2010).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی اثرات اصلاح‌کننده‌های بنتونیت، کربوکسی‌متیل سلولز و باکتری‌های محرک رشد گیاه بر خصوصیات فیزیکی خاک شنی و عملکرد و اجزا عملکرد گندم رقم سیروان در شرایط گلخانه‌ای پرداخته شد.

رفتار جذب عناصر غذایی معمولاً توسط عوامل بسیاری مربوط به در دسترس بودن آن‌ها در خاک و سازگاری با سیستم ریشه گیاه و همچنین شرایط خاک کنترل می‌شود. تیمارهای مورد استفاده به عنوان اصلاح‌کننده خاک شنی در مطالعه حاضر به طور قابل توجهی وضعیت خاک آزمایشی را از نظر فیزیکی و شیمیایی بهبود بخشیده است. این تیمارها باعث افزایش ذخیره عناصر غذایی در خاک شنی می‌شوند و از شستشوی این عناصر جلوگیری می‌کنند. بخش معدنی اصلاح‌کننده‌ها (بنتونیت) می‌تواند به عنوان یک جاذب تبادلی برای جذب عناصر غذایی مختلف گیاهی و مواد آلی محلول در محلول خاک عمل کند و از شست و شوی آن‌ها جلوگیری کند. کربوکسی‌متیل سلولز به عنوان اجزای آلی اصلاح‌کننده، نقش بارورسازی اصلاح‌کننده را از طریق آزادسازی اشکال زیست سازگار عناصر غذایی، که به آسانی برای جذب توسط ریشه گیاه در دسترس هستند، فراهم می‌کند. این ترکیبات احتمالاً می‌توانند رشد ریشه گیاه را تحریک کرده و سیستم ریشه را افزایش دهند و با جذب آب بیشتر از خاک، گیاه را در برابر خشکی مقاوم‌تر می‌کند. سیستم ریشه بهبود یافته همچنین به گیاه کمک می‌کند تا جذب عناصر غذایی خود را افزایش دهد و باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه شود. استفاده از مخلوط سویه‌های باکتریایی نیز می‌تواند با افزایش ماده آلی خاک، توانایی دسترسی به عناصر غذایی برای رشد گیاه را افزایش دهد.

نتایج کمی نشان داد تیمار $B_{12.5}C_5M_{20}$ بیشترین تأثیر مثبت را بر اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک شنی و عملکرد گندم گذاشت و عملکردی مشابه تیمار شاهد مثبت داشت. به طوری که باعث کاهش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری خاک، افزایش معنی‌دار میزان رطوبت اشباع خاک و میزان پایداری خاکدانه‌ها نسبت به خاک شاهد منفی شد. همچنین این تیمار باعث افزایش معنی‌دار طول خوشه (۵/۳۳-۷/۳۳ cm)، طول ریشه (۲/۱۳-۹/۶۷ cm)، تعداد گلچه (۱۰/۶۶-۱۵/۳ عدد)، تعداد دانه در سنبله (۲۰/۶۷-۸/۳۳ عدد)، وزن هزار دانه (۵/۲۶-۱۰/۲۶ g)، عملکرد بیولوژیک (۲/۲۸-۶/۳۹ g)، عملکرد دانه (۲/۴۳-۰/۴۷ g) نسبت به گیاه شاهد منفی شد ولی متغیرهای ارتفاع گیاه و شاخص برداشت با وجود افزایش نسبت به گیاه شاهد تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. استفاده از این اصلاح‌کننده‌ها به دلیل اثرات مثبت و مختلفی از قبیل، قابلیت جذب زیاد آب و بالا بردن راندمان مصرف آب در خاک، جذب عناصر غذایی ضروری مورد نیاز گیاه در سطح خود و در نتیجه افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، افزایش پایداری خاکدانه‌ها، افزایش تخلخل خاک و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک، افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها، افزایش تولید هورمون‌های گیاهی و آنزیم‌های مختلف و در نتیجه افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی مختلف، به طور قابل توجهی باعث بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شوند و در نتیجه باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شوند. با توجه به عدم وجود منابع کافی آب و کیفیت پایین خاک‌های شنی به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، استفاده از این اصلاح‌کننده‌ها برای بهره‌برداری پایدار از منابع آب و خاک و افزایش تولید ظرفیت خاک‌های کم‌بازده شنی بیش از گذشته، امری حیاتی و اجتناب ناپذیر است.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"



REFERENCES

- Abd El-Ghany, B. F., Arafa, R. A., El-Rahmany, T. A., & El-Shazly, M. M. (2010). Effect of some soil microorganisms on soil properties and wheat production under North Sinai conditions. *J. Appl. Sci. Res*, 6(5), 559-579 .
- Afzal, J., Depar, N., Arshad, M., Rao, S., Rajpar, I., & Shah, A. (2014). WHEAT RESPONSE TO ACC-DEAMINASE-FLUORESCENT PSEUDOMONADS WITH VARYING PHOSPHATE SOLUBILIZING ACTIVITY ON A PHOSPHORUS DEFICIENT SOIL. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, 24(6) .
- Aleem, M., Hanna, N., & Sabry, S. (2000). Relationship between wheat root characteristics and grain yield in sandy and clay soils .
- Alghamdi, A. G., Majrashi, M. A., & Ibrahim, H. M. (2023). Improving the Physical Properties and Water Retention of Sandy Soils by the Synergistic Utilization of Natural Clay Deposits and Wheat Straw. *Sustainability*, 16(1), 46 .
- Babla, M., Katwal, U., Yong, M.-T., Jahandari, S., Rahme, M., Chen, Z.-H., & Tao, Z. (2022). Value-added products as soil conditioners for sustainable agriculture. *Resources, conservation and recycling*, 178, 106079 .
- Bednik, M., Medyńska-Juraszek, A., Dudek, M., Kloc, S., Kręć, A., Łabaz, B., & Waroszewski, J. (2020). Wheat straw biochar and NPK fertilization efficiency in sandy soil reclamation. *Agronomy*, 10(4), 496 .
- Bell, R., & Seng, V. (2007). The management of agroecosystems associated with sandy soils. Management of tropical sandy soils for sustainable development: proceedings of the International Conference on the Management of Tropical Sandy Soils, Khon Kaen, Thailand ,
- Blake, G. (1986). Bulk density. *Methods of Soil Analysis. Part, 1* .
- Bottomley, P. J., Angle, J. S., & Weaver, R. (2020). *Methods of soil analysis, Part 2: Microbiological and biochemical properties* (Vol. 12). John Wiley & Sons .
- Cassel, D., & Nielsen, D. (1986). Field capacity and available water capacity. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 901-926 .
- Danish, S., Hasnain, Z., Dawar, K., Fahad, S., Shah, A. N., Salmen, S. H., & Ansari, M. J. (2024). Enhancing maize resilience to drought stress: the synergistic impact of deashed biochar and carboxymethyl cellulose amendment. *BMC Plant Biology*, 24(1), 139 .
- Dhawi, F. (2023). How can we stabilize soil using microbial communities and mitigate desertification? *Sustainability*, 15, ۸۶۳, (۱)
- El-Nagar, D. A., & Sary, D. H. (2021). Synthesis and characterization of nano bentonite and its effect on some properties of sandy soils. *Soil and tillage research*, 208, 104872 .
- Farahani, M., Mirzakhani, M., & Sajedi, N. (2017). Effect of water absorbent materials on some agronomic traits and seed protein of wheat under water deficit stress. *Plant Production Technology*, 7(2), 27-37 .
- Huluka, G., & Miller, R. (2014). Particle size determination by hydrometer method. *Southern Cooperative Series Bulletin*, 419, 180-184 .
- Hussain, Z., Cheng, T., Irshad, M., Khattak, R. A., Yao, C., Song, D., & Mohiuddin, M. (2022). Bentonite clay with different nitrogen sources can effectively reduce nitrate leaching from sandy soil. *Plos one*, 17(12), e0278824 .
- Iqbal, R., Valipour, M., Ali, B., Zulfiqar, U., Aziz, U., Zaheer, M. S., Sarfraz, A., Javed, M. A., Afridi, M. S., & Ercisli, S. (2024). Maximizing wheat yield through soil quality enhancement: A combined approach with *Azospirillum brasilense* and bentonite. *Plant Stress*, 11, 100321 .
- Jackson, R. S. (2008). Postfermentation treatments and related topics. *Wine science*, 418-519 .
- Kemper, W., & Chepil, W. (1965). Size distribution of aggregates. *Methods of soil analysis: Part 1 physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*, 9, 499-510 .
- Khan, N., Bano, A., & Babar, M. A. (2017). The root growth of wheat plants, the water conservation and fertility status of sandy soils influenced by plant growth promoting rhizobacteria. *Symbiosis*, 72, 195-205 .
- Khan, W. U. D., Wei, X., Ali, H. H., Zulfiqar, F., Chen, J., Iqbal, R., Zaheer, M. S., Ali, B., Ghafoor, S., & Rabiya, U. E. (2022). Investigating the role of bentonite clay with different soil amendments to minimize the bioaccumulation of heavy metals in *Solanum melongena* L. under the irrigation of tannery wastewater.

- Frontiers in Plant Science*, 13, 958978 .
- Lei, Z., Xu, S.-t., Monreal, C. M., Mclaughlin, N. B., Zhao, B.-p., Liu, J.-H., & Hao, G.-c. (2022). Bentonite-humic acid improves soil organic carbon, microbial biomass, enzyme activities and grain quality in a sandy soil cropped to maize (*Zea mays* L.) in a semi-arid region. *Journal of Integrative Agriculture*, 21(1), 208-221 .
- Loeppert, R. H., & Suarez, D. L. (1996). Carbonate and gypsum. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*, 5, 437-474 .
- LU, Q.-m., FENG, X., SUN, K.-j., & LIAO, Z.-w. (2005). Study on the use of polymer/bentonite composites for controlled release. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 11(2 .۱۸۶-۱۸۳), (
- Malakouti, M., Moshiri, F., & Ghaibi, M. (2005). Optimum levels of nutrients in soil and some agronomic and horticultural crops. *Soil and Water Research Institute. Technical Bulletin* .(۴۰۵)
- McKissock, I., Walker, E., Gilkes, R., & Carter, D .(۲۰۰۰) .The influence of clay type on reduction of water repellency by applied clays: a review of some West Australian work. *Journal of hydrology*, 231, 323-332 .
- Mi, J., Gregorich, E. G., Xu, S., McLaughlin, N. B., & Liu, J. (2020). Effect of bentonite as a soil amendment on field water-holding capacity, and millet photosynthesis and grain quality. *Scientific Reports*, 10(1), 18282 .
- Naderi, K., Etesami, H., Alikhani, H. A., & Arani, A. M. (2022). Potential use of endophytic and rhizosheath bacteria from the desert plant *Stipagrostis pennata* as biostimulant against drought in wheat cultivars. *Rhizosphere*, 24, 100617 .
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1980). Total nitrogen analysis of soil and plant tissues. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 63(4), 770-778 .
- Ning, S., Jumai, H., Wang, Q., Zhou, B., Su, L., Shan, Y., & Zhang, J. (2019). Comparison of the effects of polyacrylamide and sodium carboxymethylcellulose application on soil water infiltration in sandy loam soils. *Advances in Polymer Technology*, 2019(1), 6869454 .
- Olsen, S. R. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. US Department of Agriculture .
- Pourmansour, S., Razzaghi, F., Sepaskhah, A., & Moosavi, A. A. (2019). Wheat growth and yield investigation under different levels of biochar and deficit irrigation under greenhouse conditions. *Water and Irrigation Management*, 9(1), 15-28 .
- Qin, C.-C., Abdalkarim, S. Y. H., Zhou, Y., Yu, H.-Y., & He, X. (2022). Ultrahigh water-retention cellulose hydrogels as soil amendments for early seed germination under harsh conditions. *Journal of Cleaner Production*, 370, 133602 .
- Roy, T., Kumar, S., Chand, L., Kadam, D., Bihari, B., Shrimali, S., Bishnoi, R., Maurya, U., Singh, M., & Muruganandam, M. (2019). Impact of Pusa hydrogel application on yield and productivity of rainfed wheat in North West Himalayan region. *Current science*, 116(7), 1246-1251 .
- Semalulu, O., Elobu, P., Namazzi, S., Kyebogola, S., & Mubiru, D. (2017). Higher cereal and legume yields using Ca-bentonite on sandy soils in the dry eastern Uganda: increased productivity versus profitability. *J. Agric. Res*, 5(2), 140-147 .
- Shao, F., Zeng, S., Wang, Q., Tao, W., Wu, J., Su, L., Yan, H., Zhang, Y., & Lin, S. (2023). Synergistic effects of biochar and carboxymethyl cellulose sodium (CMC) applications on improving water retention and aggregate stability in desert soils. *Journal of Environmental Management*, 331, 117305 .
- Sharma, P., Pandey, R., & Chauhan, N. S. (2024). Unveiling wheat growth promotion potential of phosphate solubilizing *Pantoea* agglomerans PS1 and PS2 through genomic, physiological, and metagenomic characterizations. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1467082 .
- Shuman, L. (1985). Fractionation method for soil microelements. *Soil science*, 140(1), 11-22 .
- Sumner, M. E., & Miller, W. P. (1996). Cation exchange capacity and exchange coefficients. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*, 5, 1201-1229 .
- Suzuki, S., Noble, A. D., Ruaysoongnern, S., & Chinabut, N .(۲۰۰۷) .Improvement in water-holding capacity and structural stability of a sandy soil in Northeast Thailand. *Arid land research and management*, 21(1), 37-49 .
- Walkly, A., & Black, I. (1934). An examination of digestion methods for determining soil organic matter and



- a proposed modification of the chromic and titration. *Soil science society of America journal*, 37, 29-38 .
- Wang, Y., Gao, M., Chen, H., Chen, Y., Wang, L., & Wang, R. (2023). Fertigation and carboxymethyl cellulose applications enhance water-use efficiency, improving soil available nutrients and maize yield in salt-affected soil. *Sustainability*, 15(12), 9602 .
- Yang, Q., Pei, X., & Fu, C. (2022). Effect of Polymer Mixtures on Physical-Chemical Properties of Sandy Soil and Plant Growth. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10, 889357 .
- Zaheer, M. S., Ali, H. H., Erinle, K. O., Wani, S. H., Okon, O. G., Nadeem, M. A., Nawaz, M., Bodlah, M. A., Waqas, M. M., & Iqbal, J. (2022). Inoculation of *Azospirillum brasilense* and exogenous application of trans-zeatin riboside alleviates arsenic induced physiological damages in wheat (*Triticum aestivum*). *Environmental Science and Pollution Research*, 1-11 .
- Zaheer, M. S., Ali, H. H., Iqbal, M. A., Erinle, K. O., Javed, T., Iqbal, J., Hashmi, M. I. U., Mumtaz, M. Z., Salama, E. A., & Kalaji, H. M. (2022). Cytokinin production by *Azospirillum brasilense* contributes to increase in growth, yield, antioxidant, and physiological systems of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Frontiers in Microbiology*, 13, 886041 .
- Zaheer, M. S., Raza, M. A. S., Saleem, M. F., Erinle, K. O., Iqbal, R., & Ahmad, S. (2019). Effect of rhizobacteria and cytokinins application on wheat growth and yield under normal vs drought conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2533-2531 50(20).
- Zhang, Y., Tian, X., Zhang, Q., Xie, H., Wang, B., & Feng, Y. (2022). Hydrochar-embedded carboxymethyl cellulose-g-poly (acrylic acid) hydrogel as stable soil water retention and nutrient release agent for plant growth. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 7(2), 116-127 .