



## Study of the effect of nano-phosphorus fertilizer, mycorrhiza and superabsorbents application on the quantitative and qualitative characteristics of wheat (Ehsan cv.) (*Triticum aestivum* L.)

Abbas Azimnejad<sup>1</sup>, Hormoz Fallah Amoli<sup>2\*</sup>, Yousef Niknejad<sup>3</sup>,  
Ahmad Ahmadpour<sup>4</sup>, Davood Barari<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Department of Agronomy, Am.C., Islamic Azad University, Amol, Iran, Email: Abbas.Azimnejad@iau.ac.ir

<sup>2</sup> Department of Agronomy, Am.C., Islamic Azad University, Amol, Iran, Email: hormoz.fallah@iau.ac.ir

<sup>3</sup> Department of Agronomy, Am.C., Islamic Azad University, Amol, Iran, Email: y.niknejad@iau.ac.ir

<sup>4</sup> Faculty Member, Agricultural and Natural Resources Research Center of Mazandaran Province, Sari, Iran, Email: Ahmadpour217@gmail.com

<sup>5</sup> Department of Agronomy, Am.C., Islamic Azad University, Amol, Iran, Email: Davood.barari@iau.ac.ir

### Article type:

Research article

### Abstract

In contemporary agriculture, the use of biofertilizers and nanofertilizers presents a suitable alternative to chemical fertilizers. This study aimed to investigate the effects of superabsorbents, mycorrhizal fungi, and nano-phosphorus fertilizers on the quantitative and qualitative characteristics of the Ehsan wheat cultivar. To evaluate the effects of superabsorbents, mycorrhiza fungi, and nano-phosphorus fertilizer on the quantitative and qualitative characteristics of the Ehsan wheat cultivar, a factorial experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications at the Baye Kola Agricultural Research Station, which is part of the Mazandaran Province Agriculture Research Center. The factors tested included two levels of nano-phosphorus fertilizer, four levels of mycorrhizal fungi (including *Glomus mosseae*, *Glomus intraradices*, and a mixture of the two fungi), and four levels of superabsorbents (zeolite, stacosorb, and a combination of the two types of superabsorbents). Results from a two-year composite data analysis indicated that the application of mycorrhizal fungi and superabsorbents significantly improved several attributes, including chlorophyll content at the stem stage, fresh and dry weight of spikes, and the percentage of phosphorus and potassium in the grains, with significance at the 1% level. Additionally, the use of mycorrhizal fungi significantly increased the number of seeds per spike and grain yield, also at the 1% level. The treatment with *G. intraradices* resulted in the highest grain yield of 6777.25 kg/ha, while the control treatment yielded the lowest at 6061.49 kg/ha. Overall, the findings demonstrated that the use of superabsorbents and mycorrhizal fungi had a significant impact on the quantitative and qualitative characteristics of the Ehsan wheat cultivar.

### Article history

Received:09.08.2022

Revised:21.10.2022

Accepted:04.11.2022

Published:21.03.2025

### Keywords

Superabsorbent

Mycorrhiza

Nano Phosphorus

Wheat

Zeolite

**Introduction:** Wheat is one of the most important strategic food crops and plays a key role in global food security. In arid and semi-arid regions such as Iran, limited water resources and low efficiency of chemical fertilizers are among the major challenges for sustainable wheat production. The application of modern inputs such as superabsorbent polymers, mycorrhizal fungi, and nano-fertilizers can improve soil moisture retention, enhance nutrient uptake, and mitigate environmental stresses, thereby increasing both yield and quality. Therefore, evaluating the combined effects of these inputs on quantitative and qualitative traits of wheat is of great importance.

**Materials and Methods:** This study was conducted as a factorial experiment based on a randomized complete block design with three

---

replications over two growing seasons at the Baye-Kola Research Station in Neka. Experimental factors included nano-phosphorus at two levels, mycorrhiza at four levels, and superabsorbents at four levels. Traits such as grain yield, thousand-grain weight, yield components, leaf chlorophyll content, and grain nutrient concentrations were measured. Statistical analyses were performed using SAS software, and mean comparisons were carried out using Tukey's test.

**Results and Discussion:** The results indicated that the interactive effects of nano-phosphorus, mycorrhiza, and superabsorbents were significant for most of the studied traits. The combined application of these inputs led to increases in grain yield, thousand-grain weight, number of grains per spike, and leaf chlorophyll content. In addition, grain concentrations of phosphorus, potassium, iron, and zinc were significantly enhanced. The highest grain yield was obtained from the treatment combining nano-phosphorus, mixed mycorrhizal species, and mixed superabsorbents, demonstrating a synergistic effect in improving water availability and nutrient uptake.

**Conclusion:** Using of superabsorbents and mycorrhizal fungi had a significant effect on the quantitative and qualitative characteristics of Ehsan wheat cultivar. This approach reduces dependence on chemical fertilizers and contributes to sustainable agriculture, environmental conservation, and improved input use efficiency in wheat production systems.

---

**Cite this article as:** Azimnejad, A., Fallah Amoli, H., Niknejad, Y., Ahmadpour, A., Barari, D. (2025). Study of the effect of nano-phosphorus fertilizer, mycorrhiza and superabsorbents application on the quantitative and qualitative characteristics of wheat (Ehsan cv.) (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Plant Environmental Physiology*, 77(1): 17-33.



©The author(s)

Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch

Doi: <https://doi.org/10.71890/iper.2025.983601>

---

## مطالعه تأثیر کاربرد نانو ذرات فسفر، میکوریزا و ابرجاذب‌ها بر خصوصیات کمی و کیفی گندم نان "رقم احسان" (*Triticum aestivum* L.)

عباس عظیم‌نژاد<sup>۱</sup>، هرمز فلاح آملی<sup>۲\*</sup>، یوسف نیک‌نژاد<sup>۳</sup>، احمد احمدپور<sup>۴</sup>، داود براری<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> گروه زراعت، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران، رایانامه: Abbas.Azimnejad@iau.ac.ir

<sup>۲</sup> گروه زراعت، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران، رایانامه: hormoz.fallah@iau.ac.ir

<sup>۳</sup> گروه زراعت، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران، رایانامه: y.niknejad@iau.ac.ir

<sup>۴</sup> مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، ساری، ایران، رایانامه: Ahmadpour217@gmail.com

<sup>۵</sup> گروه زراعت، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران، رایانامه: Davood.barari@iau.ac.ir

| نوع مقاله:                | چکیده                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| مقاله پژوهشی              | امروزه، استفاده از کودهای زیستی و نانو کودها می‌تواند به عنوان جایگزینی مناسب و مطلوب برای کودهای شیمیایی در تولید محصولات زراعی باشد. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر کاربرد نانو ذرات فسفر، میکوریزا و سوپرجاذب‌ها بر خصوصیات کمی و کیفی گندم نان رقم احسان انجام شده است. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات زراعی باغ کلا وابسته به مرکز تحقیقات کشاورزی استان مازندران انجام شد. عوامل مورد آزمایش شامل نانو ذرات فسفر در دو سطح، کاربرد میکوریزا در چهار سطح (مصرف میکوریزا از گونه <i>Glomus mosseae</i> ، <i>Glomus intraradices</i> و مخلوط دو قارچ)، کاربرد سوپرجاذب در چهار سطح (مصرف سوپرجاذب از نوع ژئولیت، استاکوزورب و ترکیب دو نوع سوپرجاذب) بود. نتایج حاصل از تجزیه مرکب دو ساله داده‌ها نشان داد با مصرف میکوریزا و سوپرجاذب صفاتی مانند محتوای کلروفیل در مرحله ساقه دهی، وزن تر سنبله، وزن خشک سنبله، درصد فسفر دانه و درصد پتاسیم دانه در سطح یک درصد معنی‌دار شد. با مصرف قارچ میکوریزا صفات تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار و بیشترین عملکرد دانه در بین سطوح مختلف میکوریزا مربوط به تیمار <i>G.intraradices</i> با ۶۷۷۷/۲۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار آن با ۶۰۶۱/۴۹ کیلوگرم در هکتار متعلق به تیمار شاهد بود. نتایج تحقیق نشان داد که مصرف سوپرجاذب‌ها و میکوریزا بر خصوصیات کمی و کیفی رقم گندم احسان تأثیر بسزایی داشته است. |
| تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۸  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۲۹ |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۳   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۰۱/۰۱     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| واژه‌های کلیدی:           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| ژئولیت                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| سوپرجاذب                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| میکوریزا                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| نانو فسفر                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| گندم                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

استناد: عظیم‌نژاد، عباس؛ فلاح آملی، هرمز؛ نیک‌نژاد، یوسف؛ احمدپور، احمد؛ براری، داود (۱۴۰۴). مطالعه تأثیر کاربرد نانو ذرات فسفر، میکوریزا و ابرجاذب‌ها بر خصوصیات کمی و کیفی گندم نان "رقم احسان" (*Triticum aestivum* L.). فیزیولوژی محیطی گیاهی، ۷۷ (۱)، ۳۳-۱۷.

## مقدمه

گندم از مهم‌ترین غلات در تغذیه انسان به شمار می‌رود و در سرتاسر جهان کشت و با تولید سالانه بیش از ۶۰۰ میلیون تن، بعد از ذرت و برنج بیشترین تولید را در دنیا به خود اختصاص داده است (Asseng et al., 2011). با توجه به قرار گرفتن کشور ایران در اقلیم خشک و نیمه خشک و پایین بودن بارش‌های جوی در این نواحی، کمبود آب یکی از چالش‌های اصلی کشاورزی بوده و رشد جمعیت و در پی آن تأمین امنیت غذایی و نیاز به تولید محصولات راهبردی (استراتژیکی) مانند گندم، اهمیت مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی و لزوم افزایش بهره‌وری آب را بیشتر نمایان می‌کند (Tavakoli, 2013). کاربرد سوپرجاذب در کشاورزی می‌تواند نقش مؤثری در افزایش ظرفیت نگهداری و جذب رطوبت خاک و کاهش اثرگذاری‌های نامطلوب تنش خشکی داشته باشد (Nazari et al., 2010). سوپرجاذب‌ها در خاک آب و عناصر غذایی را جذب و به تدریج در اختیار گیاه قرار داده و، باعث بهبود رشد گیاه با مقدار محدود آب می‌گردند (Islam et al., 2011b). کاربرد ۴۰ کیلوگرم سوپرجاذب در هکتار توانست ارتفاع بوته، قطر ساقه، سطح برگ، عملکرد و زیست توده کل ذرت را افزایش دهد (Islam et al., 2011a). پلیمرهای سوپرجاذب باعث افزایش ماندگاری آب در خاک شده و تعداد آبیاری را تا ۵۰ درصد کاهش می‌دهند (Nazarli et al, 2010). بررسی نشان داده است که سوپرجاذب‌ها می‌توانند تا ۲۰ درصد تبخیر آب را کاهش دهند کاربرد سوپرجاذب‌ها، آبتویی نیترات در خاک را کاهش و مقدار جذب آن و میزان زیست توده (بیوماس) را افزایش داد (Egrinya Enejiv et al., 2013). زئولیت، یک ماده‌ای معدنی که عمدتاً از آلومینوسیلیکات تشکیل شده و در صنایع به عنوان جاذب سطحی

کاربرد داشته و به دلیل قابلیت تبادل یونی، در کشاورزی به عنوان ماده مغذی نیز استفاده می‌شود (Ramesh et al. 2011). زئولیت می‌تواند غلظت عناصر غذایی و راندمان استفاده از کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم در بافت گیاه را به طور معنی‌داری افزایش دهد (Ahmad et al., 2010). به نظر می‌رسد که مصرف زئولیت از طریق فراهم نمودن مقادیر بیشتری از آب آبیاری برای ریشه‌ها، باعث ایجاد شرایط رشد و نمو بهتری برای گیاهان شده و تخریب غشای سلول‌ها را کاهش می‌دهد (Mirzakhani and Sibi, 2010). یکی از مهمترین روابط همزیستی در گیاهان، همزیستی با قارچ میکوریزا می‌باشد که در آن، ریشه گیاه با قارچ به صورت یک واحد زنده فعالیت و به رشد یکدیگر کمک می‌کنند. قارچ میکوریزا با جذب عناصر غذایی از طریق گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه و جستجو در خاک، به وسیله هیف‌های خارجی در ریشه‌های مویی به جذب عناصر غذایی کمک می‌کند (Khosrojerdi et al., 2013). در پژوهش‌های سایر محققین نشان داده شد که تلقیح گندم با باکتری‌های فزاینده رشد و قارچ میکوریزا از طریق دسترسی گیاه به آب و مواد غذایی موجب افزایش سرعت رشد نسبی گردید (Shahhosseini et al., 2012). در بررسی Yaseen و همکاران (۲۰۱۷) تلقیح میکوریزایی در گندم باعث افزایش ارتفاع بوته، قطر ساقه، شاخص سطح برگ، محتوای نسبی آب برگ، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گردید. در مطالعه Lehnert و همکاران (۲۰۱۷) تلقیح قارچ میکوریزی گلوموس موسیا در گندم ارتفاع بوته، قطر ساقه، شاخص سطح برگ، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت را افزایش داد. Sabbagh و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی تلقیح میکوریزا با قارچ گلوموس ایترا دیسز در گندم افزایش تعداد دانه در

سازی مصرف آنها در بوم نظام های زراعی کشور، تحقیق حاضر با هدف بررسی اثرات نانو ذرات فسفر، میکوریزا و ابرجاذبها بر خصوصیات کمی و کیفی گندم مورد مطالعه قرار گرفت.

#### مواد و روش ها

**آزمایشات مزرعه‌ای:** این آزمایش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقاتی بایع کلا (نکا) زیر نظر مرکز تحقیقات کشاورزی استان مازندران، با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی و ارتفاع چهار متر از سطح دریا در دو سال ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸ اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل نانو فسفر در دو سطح (عدم مصرف و مصرف نانو فسفر)، کاربرد میکوریزا در چهار سطح (عدم مصرف، مصرف میکوریزا از گونه *Glomus mosseae*، میکوریزا از گونه *Glomus intraradices* و مخلوط آنها)، کاربرد سوپرجاذب در چهار سطح (عدم مصرف، مصرف سوپرجاذب معدنی از نوع ژئولیت، مصرف سوپرجاذب سنتزی از نوع استاکوزورب، مخلوط دو نوع سوپرجاذب) بود. قبل از کاشت آزمایش آنالیز خاک مزرعه براساس پروتکل اجرایی مرکز تحقیقات کشاورزی انجام گردید (جدول ۱). مطابق آزمون خاک مقدار کودهای نیتروژن، فسفر و پتاس در زمان کاشت به طور کامل به زمین داده و کود نیتروژن در سه مرحله کاشت، ساقه دهی و ظهور سنبله اعمال شد. سوپرجاذبها و میکوریزا به همراه فسفر و پتاس قبل از کشت به زمین اضافه گردید. سوپرجاذب سنتزی (استاکوزورب) به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار، سوپرجاذب معدنی (ژئولیت) به میزان ۹ تن در هکتار و میکوریزا به میزان ۸۰-۱۰۰ کیلوگرم در هکتار مطابق پروتکل شرکت سازنده استفاده گردید، به نحوی که

سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و درصد پروتئین را گزارش کردند. فسفر در تغذیه گیاه پس از نیتروژن در رتبه دوم اهمیت قرار دارد (Servani et al., 2014). تأمین فسفر موردنیاز گیاه برای رسیدن به بالاترین عملکرد، مهم و حیاتی بوده و افزون بر کودهای شیمیایی و زیستی، یکی دیگر از روش‌های تأمین فسفر مورد نیاز گیاه استفاده از نانوکود است (Heshmati et al., 2017). استفاده از نانوکودها منجر به افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، کاهش سمیت خاک، به حداقل رسیدن مصرف کود و کاهش تعداد دفعات کاربرد کود می‌گردد، و به دلیل اینکه زمان و سرعت رهاسازی عناصر با نیاز غذایی گیاه منطبق و هماهنگ می‌شود، گیاه قادر به جذب حداکثر عناصر غذایی شده و با کاهش آبشویی عناصر، عملکرد محصول نیز افزایش می‌یابد (Asghari et al., 2014). استفاده از نانوکودها به عنوان جایگزین کودهای مرسوم، عناصر غذایی کود بتدریج و به صورت کنترل شده در خاک آزاد و در نتیجه از بروز پدیده مردابی شدن آب‌های ساکن و همچنین آلودگی آب آشامیدنی جلوگیری به عمل خواهد آمد و با بهره‌گیری از فناوری نانو در طراحی و ساخت نانوکودها، فرصت‌های جدیدی به منظور افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی و به حداقل رساندن هزینه‌های حفاظت از محیط زیست، پیش روی انسان گشوده شده است (Naderi and Abedi, 2012). با توجه به اهمیت تولید پایدار گندم به عنوان یکی از مهمترین غذاهای بشر، استفاده از تکنولوژی نانو می‌تواند گامی موثر در جهت دستیابی به کشاورزی پایدار و سازگاری با محیط زیست باشد. با توجه به لزوم مدیریت تغذیه گیاهی در راستای افزایش پایداری تولید و اهمیت کودهای زیستی و نانو در کشاورزی پایدار و حفظ محیط زیست و ضرورت کاهش مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و بهینه-

پس از محاسبه مقدار کود موردنیاز هر کرت، کود قبل از کاشت با خاک سطحی (۱۰ سانتی‌متر سطح خاک) مخلوط و سپس بذر گندم رقم احسان با در نظر گرفتن تراکم ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار، برای هر واحد آزمایش و در عمقی بالاتر از عمق قرارگیری

سوپرجاذب‌ها و میکوریزا یعنی در عمق ۶ سانتی متری از سطح خاک کشت شد. نانو فسفر به میزان ۲ کیلوگرم در هزار لیتر آب در مرحله پنجه زنی استفاده گردید.

جدول ۱: برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قطعه مورد آزمایش.

| کربن       | مواد   | قابلیت هدایت الکتریکی | نیترژن کل | فسفر قابل جذب          | پتاسیم قابل جذب        | روی قابل جذب           | آهن قابل جذب           |
|------------|--------|-----------------------|-----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| (درصد)     | (درصد) | (دسی زیمنس بر متر)    | (درصد)    | (میلی گرم در کیلو گرم) | (میلی گرم در کیلو گرم) | (میلی گرم در کیلو گرم) | (میلی گرم در کیلو گرم) |
| ۱/۳۹       | ۲/۳۸   | ۷/۷                   | ۰/۱۱۵     | ۹                      | ۳۵۳                    | ۱/۲۸                   | ۱۹/۲۱                  |
| Silty clay |        |                       |           |                        |                        |                        |                        |

نوری (ICP-OES) و مطابق با دستورالعمل موسسه تحقیقات برنج کشور-معاونت آمل تعیین شد.

**تجزیه و تحلیل آماری:** تجزیه و تحلیل نتایج با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۲) انجام شد و مقایسه میانگین نتایج با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید.

### نتایج

**عملکرد دانه:** نتایج تجزیه مرکب دوساله نشان داد که اثر متقابل سال × نانو فسفر × میکوریزا در سطح یک درصد و اثر متقابل نانوفسفر × میکوریزا × سوپرجاذب در سطح پنج درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین صفات نشان داد که با مصرف میکوریزا و سوپرجاذب عملکرد دانه افزایش یافت. بیشترین عملکرد دانه در بین سطوح مختلف میکوریزا مربوط به تیمار *G.intraradices* با ۶۷۷۷/۲۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد دانه مربوط به تیمار شاهد با ۶۰۶۱/۴۹ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه در بین سطوح مختلف سوپرجاذب مربوط به تیمار (ژئولیت + استاکوزورب) ۶۷۵۰/۹۹ کیلوگرم در هکتار و کمترین

عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک، تسطیح زمین و ایجاد فارو در مراحل قبل از کاشت اجرا و هر کرت آزمایشی شامل ۵ ردیف کشت به طول ۵ متر و فاصله ۲۰ سانتیمتر بود. در طول فصل رشد صفاتی مانند، محتوای کلروفیل برگ در مرحله ساقه دهی، وزن تر و خشک سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه، میزان آهن، روی، پتاسیم، فسفر و عملکرد دانه مود ارزیابی قرار گرفت.

**نحوه سنجش محتوی کلروفیل:** جهت اندازه‌گیری محتوی کلروفیل برگ از دستگاه SPAD استفاده گردید. اندازه‌گیری از شش نقطه برگ کاملاً توسعه یافته انجام و میانگین اعداد بدست آمده به عنوان عدد نهایی در محاسباتها مورد استفاده قرار گرفت.

**اندازه‌گیری فسفر دانه:** اندازه‌گیری فسفر به روش هضم به طریق سوزاندن خشک و استفاده از اسید هیدروکلریک صورت گرفت و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر میزان جذب قرائت و میزان فسفر دانه محاسبه گردید.

**اندازه‌گیری غلظت عناصر پتاسیم، آهن و روی دانه:** غلظت‌های پتاسیم و آهن در بذر گندم با استفاده از دستگاه پلاسما جفت شده القایی-طیف سنج نشر

مقدار آن مربوط به تیمار شاهد ۶۱۷۵/۲۳ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۳). در اثر متقابل سه گانه بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار (نانو فسفر × ترکیب دو میکوریزا × ترکیب دو سوپر جاذب) ۸۰۶۶/۴۷ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد دانه مربوط به تیمار شاهد ۴۷۲۸/۷۲ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴).

**وزن هزار دانه:** نتایج تجزیه مرکب دوساله نشان داد که اثر متقابل سال × نانو فسفر × میکوریزا × سوپر جاذب بر صفت وزن هزار دانه در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر سال بر روی صفات نشان داد که بیشترین و کمترین وزن هزار دانه در سال اول و دوم به ترتیب ۶۱/۷۲ و ۵۱/۵۰ گرم بدست آمد (جدول ۳).

**وزن تر سنبله:** نتایج تجزیه مرکب دو ساله آزمایش اینگونه نشان داد که اثر میکوریزا، سوپر جاذب و اثرات متقابل (نانو فسفر × میکوریزا)، (نانو فسفر × سوپر جاذب)، (میکوریزا × سوپر جاذب)، (نانو فسفر × میکوریزا × سوپر جاذب)، (سال × میکوریزا × سوپر جاذب) بر صفت وزن تر سنبله در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین صفات عنوان کرد که با مصرف میکوریزا و سوپر جاذب وزن تر سنبله افزایش یافت. بیشترین وزن تر سنبله در بین سطوح مختلف میکوریزا مربوط به تیمار *G.intraradices* ۱۵/۰۶ گرم بود و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد ۱۳/۲۴ گرم بود (جدول ۳). بیشترین وزن تر سنبله در بین سطوح مختلف سوپر جاذب مربوط به تیمار سوپر جاذب معدنی (زئولیت) ۱۵/۴۹ گرم و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد ۱۲/۶۰ گرم بود (جدول ۳). در اثر متقابل سه گانه بیشترین وزن تر سنبله مربوط به تیمار (نانو فسفر × *G.mosseae* × زئولیت) ۱۹/۹۳ گرم و کمترین وزن تر سنبله مربوط به تیمار شاهد ۷/۱۰ گرم بود (جدول ۴).

**وزن خشک سنبله:** نتایج تجزیه مرکب دو ساله داده ها نشان داد که اثرات متقابل (نانو فسفر × میکوریزا)، (میکوریزا × سوپر جاذب)، (نانو فسفر × میکوریزا × سوپر جاذب) بر صفت وزن خشک سنبله در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین صفات نشان داد که با مصرف نانو فسفر، میکوریزا و سوپر جاذب وزن خشک سنبله افزایش یافت. بیشترین وزن خشک سنبله با مصرف نانو فسفر ۷/۴۷ گرم بود که نسبت به تیمار شاهد ۱۸ درصد افزایش نشان داد. بیشترین وزن خشک سنبله در بین سطوح مختلف میکوریزا مربوط به تیمار *G.mosseae* + *G.intraradices* ۷/۵۰ گرم بود و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد ۶/۴۱ گرم بود (جدول ۳). بیشترین وزن خشک سنبله در بین سطوح مختلف سوپر جاذب مربوط به تیمار سوپر جاذب معدنی (زئولیت) ۷/۶۳ گرم و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد ۶/۱۰ گرم بود (جدول ۳). در اثر متقابل سه گانه بیشترین وزن خشک سنبله مربوط به تیمار (نانو فسفر × زئولیت) ۹/۲۱ گرم و کمترین وزن خشک سنبله مربوط به تیمار شاهد ۳/۵۰ گرم بود (جدول ۴).

**تعداد دانه در سنبله:** نتایج تجزیه مرکب دو ساله نشان داد که اثرات متقابل (میکوریزا × سوپر جاذب)، (نانو فسفر × میکوریزا × سوپر جاذب) در سطح یک درصد ولی اثرات متقابل (نانو فسفر × میکوریزا)، (نانو فسفر × سوپر جاذب)، (سال × نانو فسفر × میکوریزا) بر صفت تعداد دانه در سنبله در سطح پنج درصد معنی دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین های صفات با مصرف نانو فسفر و میکوریزا تعداد دانه در سنبله افزایش یافت. بیشترین تعداد دانه در سنبله با مصرف نانو فسفر ۶۰/۲۲ عدد بود که نسبت به تیمار شاهد ۲۶/۷۵ درصد افزایش نشان داد. (جدول ۳).

جدول ۲: تجزیه مرکب دو ساله میانگین مربعات صفات تحت تأثیر سوپر جاذب، میکوریزا و نانو فسفر.

| منابع تغییرات     | درجه آزادی | میزان روی دانه | میزان آهن دانه | درصد پتاس دانه | درصد فسفر دانه | عملکرد دانه    | وزن هزاره دانه | تعداد دانه در سنبله | وزن خشک سنبله | وزن تر سنبله | محتوای کلروفیل (SPAD) |
|-------------------|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|---------------|--------------|-----------------------|
| سال (Y)           | ۱          | ۱۳۹۲/۱۳ ns     | ۲۵۳۶/۳۳ ns     | ۰/۰۰۱۲۵۱ ns    | ۰/۰۰۰۹۶۳ ns    | ۱۳۶۸۱۶/۸۹ ns   | ۵۰۲۱/۵۰ **     | ۱۲/۵۱ ns            | ۰/۱۷ ns       | ۱۴/۵۴ ns     | ۱۷/۸۹ ns              |
| بزرگ              | ۴          | ۳۱/۴۱          | ۱۷/۲۹          | ۰/۰۰۰۰۲۹۴      | ۰/۰۰۰۰۰۳۰      | ۹۶۵۷۲۸/۱۲      | ۲/۱۲           | ۲۳/۴۴               | ۷/۶۹          | ۰/۳۹         | ۰/۲۷                  |
| کود نانو فسفر (a) | ۱          | ۱۶۶۲/۶۳ ns     | ۸۶۷/۰۰ ns      | ۰/۰۰۰۴۵۰۵ ns   | ۰/۰۰۰۳۲۵۱ ns   | ۱۲۸۶۸۸۴/۱۳۳ ns | ۵۱/۸۸ ns       | ۷۷۶۴/۸۰ *           | ۶۲/۳۷ *       | ۳۹۴/۳۴ ns    | ۰/۰۱ ns               |
| قارچ میکوریزا (b) | ۳          | ۴۱۶/۱۰ ns      | ۹۲۷/۱۰ ns      | ۰/۰۰۱۲۱۷ **    | ۰/۰۰۰۰۸۲۸ **   | ۵۵۷۱۴۱۶۴/۷۵ ** | ۱۹/۸۳ ns       | ۱۶۴۷/۵۹ **          | ۱۲/۵۷ **      | ۲۷/۴۹ **     | ۱۱/۸۶ **              |
| سوپر جاذب (c)     | ۳          | ۵۷۱/۴۲ ns      | ۱۶۸۶/۹۰ ns     | ۰/۰۰۰۳۷۲۸ **   | ۰/۰۰۰۱۳۸۱ **   | ۲۸۳۳۴۳۵/۶۴ *   | ۰/۹۳ ns        | ۸۵/۲۷ ns            | ۱۹/۲۸ **      | ۷۵/۰۳ **     | ۲۲/۶۴ **              |
| a × b             | ۳          | ۳۰۳/۷۰ ns      | ۲۱۱/۴۶ ns      | ۰/۰۰۳۴۱۹۹ **   | ۰/۰۰۰۱۱۳۹ **   | ۱۴۸۷۹۹۹۹/۷۸ ns | ۱۲/۰۵ ns       | ۳۷۳/۲۹ *            | ۷/۹۱ **       | ۳۸/۶۵ **     | ۲۰/۹۳ **              |
| a × c             | ۳          | ۹۲/۲۱ ns       | ۹۶۹/۵۱ *       | ۰/۰۰۰۱۲۱۰ **   | ۰/۰۰۰۰۰۱۴ ns   | ۱۸۳۰۳۰۱۴/۷۱ ns | ۵/۸۷ *         | ۲۵۰/۷۰ *            | ۱/۳۲ ns       | ۸/۶۱ **      | ۴۰/۸۹ **              |
| b × c             | ۳          | ۱۱۴/۹۵ ns      | ۴۱۹/۱۰ ns      | ۰/۰۰۰۰۴۳۳ **   | ۰/۰۰۰۰۳۳۵ **   | ۴۵۳۰۷۰۸۷/۲ ns  | ۸/۵۴ ns        | ۲۲۹/۳۳ **           | ۶/۷۱ **       | ۴۴/۶۷ **     | ۱۷/۱۴ **              |
| a × b × c         | ۳          | ۱۴۹/۷۵ *       | ۶۸۶/۱۶ ns      | ۰/۰۰۰۷۲۲۲ **   | ۰/۰۰۰۰۰۴۰ *    | ۱۱۰۱۶۶۶۷۰۰/۱ * | ۷/۳۲ ns        | ۲۰۲/۹۹ **           | ۳/۷۶ **       | ۳۲/۴۴ **     | ۳۱/۹۵ **              |
| Y × a             | ۳          | ۱۸۶/۰۵ ns      | ۱۴۰/۰۸ ns      | ۰/۰۰۱۰۶۵۱ **   | ۰/۰۰۰۰۹۶۳ *    | ۹۵۳۱۹۹۲۲/۲۷ ns | ۳/۷۱ ns        | ۱۳/۵۵ ns            | ۰/۱۷ ns       | ۳/۰۰ ns      | ۰/۰۳ ns               |
| Y × b             | ۳          | ۶۰/۴۲ ns       | ۸۵۳/۱۳ ns      | ۰/۰۰۰۰۰۰۱ ns   | ۰/۰۰۰۰۰۰۰ ns   | ۳۱۸۱۱۷۷/۸ ns   | ۷/۶۶ ns        | ۲/۲۱ ns             | ۰/۱۷ ns       | ۰/۰۱ ns      | ۰/۳۴ ns               |
| Y × c             | ۳          | ۲۸۱/۶۳ ns      | ۲۹۷/۸۳ ns      | ۰/۰۰۰۰۰۰۱ ns   | ۰/۰۰۰۰۰۰۲ ns   | ۲۴۳۴۲۲۴/۴۴ ns  | ۳/۱۶ ns        | ۱۱/۲۷ ns            | ۰/۱۵ ns       | ۰/۰۲ ns      | ۰/۶۱ ns               |
| Y × a × b         | ۳          | ۱۲۸/۹۵ *       | ۱۵۱/۶۵ ns      | ۰/۰۰۰۰۰۰۱ ns   | ۰/۰۰۰۰۰۰۷ ns   | ۲۴۱۹۸۱۹۱/۱۱۵ * | ۲/۹۲ ns        | ۳۵/۱۷ *             | ۰/۱۷ ns       | ۰/۰۱ ns      | ۰/۳۶ ns               |
| Y × a × c         | ۳          | ۳۱/۷۰ ns       | ۹۹/۳۸ ns       | ۰/۰۰۰۰۰۰۱ ns   | ۰/۰۰۰۰۰۰۲ ns   | ۹۱۳۱۵۳/۴۳ ns   | ۰/۶۸ ns        | ۱۴/۸۲ ns            | ۰/۱۵ ns       | ۰/۰۱ ns      | ۰/۰۹ ns               |
| Y × b × c         | ۹          | ۹۱/۰۱ *        | ۱۷۱/۲۲ ns      | ۰/۰۰۰۰۰۰۱ ns   | ۰/۰۰۰۰۰۰۴ ns   | ۴۲۲۲۸۳/۵۶ ns   | ۶/۱۶ ns        | ۶/۴۸ ns             | ۰/۱۵ ns       | ۰/۰۲ **      | ۰/۲۲ ns               |
| Y × a × b × c     | ۹          | ۲۷/۹۸ **       | ۱۳۵/۲۰ **      | ۰/۰۰۰۰۰۰۱ ns   | ۰/۰۰۰۰۰۰۴ ns   | ۲۵۶۲۲۲/۰۲ ns   | ۵/۳۷ **        | ۸/۴۷ ns             | ۰/۱۵ ns       | ۰/۰۲ ns      | ۰/۴۵ ns               |
| خطای آزمایش       | ۱۲۴        | ۵/۱۸           | ۶/۸۴           | ۰/۰۰۰۰۰۹۶      | ۰/۰۰۰۰۰۱۲      | ۲۲۶۲۱۵/۷       | ۰/۸۰           | ۳۳/۰۲               | ۱۱/۰۱         | ۱/۰۵         | ۰/۹۶                  |
| ضرب تغییرات       |            | ۵/۸۹           | ۴/۰۴           | ۲/۵۲           | ۵/۱۰           | ۷/۳۰           | ۱/۵۸           | ۱۰/۶۶               | ۱۱/۰۱         | ۷/۱۸         | ۲/۷۳                  |

\*\*و\* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد و NS غیر معنی دار.

جدول ۳: مقایسه میانگین اثرات اصلی تحت تأثیر سوپرچاداب، میکوریزا و نانو فسفر

| محتوای کلروفیل (SPAD) | وزن تر سبزه (گرم) | وزن خشک سبزه (گرم) | وزن هزار دانه (گرم) | وزن هزار دانه در سبزه | تعداد دانه در سبزه | وزن هزار دانه (گرم) | عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) | درصد فسفر دانه | درصد پتاس دانه | میزان آهن دانه (میلی گرم در کیلوگرم) | میزان روی دانه (میلی گرم در کیلوگرم) | تیمارها |
|-----------------------|-------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------------------------|----------------|----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------|
| ۳۶/۲۲ a               | ۱۳/۹۹ a           | ۶/۹۳ a             | ۶۱/۷۲ a             | ۵۳/۶۱ a               | ۵۳/۶۱ a            | ۶۱/۷۲ a             | ۶۴۲۲/۲۸ a                      | ۰/۰۶۶ a        | ۰/۳۹۲ a        | ۶۰/۳۹ a                              | ۳۵/۹۳ a                              | سال اول |
| ۳۵/۶۰ a               | ۱۴/۵۴ a           | ۶/۸۷ a             | ۵۱/۵۰ b             | ۵۴/۱۲ a               | ۵۴/۱۲ a            | ۵۱/۵۰ b             | ۶۵۹۱/۱۱ a                      | ۰/۰۷۱ a        | ۰/۳۸۷ a        | ۶۸/۹۷ a                              | ۴۱/۳۲ a                              | سال دوم |
| ۳۵/۹۲ a               | ۱۲/۸۳ a           | ۶/۳۳ b             | ۵۶/۴۴ a             | ۴۷/۵۱ b               | ۴۷/۵۱ b            | ۵۶/۴۴ a             | ۶۲۴۷/۸۰ a                      | ۰/۰۶۵ a        | ۰/۳۸۵ a        | ۶۲/۵۶ a                              | ۳۵/۶۸ a                              | a1      |
| ۳۵/۹۰ a               | ۱۵/۷۰ a           | ۷/۴۷ a             | ۵۶/۷۹ a             | ۶۰/۲۲ a               | ۶۰/۲۲ a            | ۵۶/۷۹ a             | ۶۶۶۵/۶۰ a                      | ۰/۰۷۳ a        | ۰/۳۹۴ a        | ۶۶/۸۱ a                              | ۴۱/۵۷ a                              | a2      |
| ۳۵/۱۹ b               | ۱۳/۲۴ c           | ۶/۴۱ b             | ۵۵/۸۰ a             | ۴۵/۷۷ c               | ۴۵/۷۷ c            | ۵۵/۸۰ a             | ۶۰۶۱/۴۹ b                      | ۰/۰۶۵ b        | ۰/۳۹۵ b        | ۶۵/۱۲ a                              | ۳۶/۶۴ a                              | b1      |
| ۳۵/۹۹ ab              | ۱۴/۱۳ b           | ۶/۵۵ ab            | ۵۶/۴۴ a             | ۵۵/۸۴ ab              | ۵۵/۸۴ ab           | ۵۶/۴۴ a             | ۶۴۱۸/۵۸ ab                     | ۰/۰۷۲ a        | ۰/۴۰۴ a        | ۶۲/۴۳ a                              | ۴۰/۱۴ a                              | b2      |
| ۳۶/۲۱ a               | ۱۵/۰۶ a           | ۷/۱۴ ab            | ۵۶/۹۳ a             | ۵۴/۲۱ b               | ۵۴/۲۱ b            | ۵۶/۹۳ a             | ۶۷۷۷/۲۵ a                      | ۰/۰۶۵ b        | ۰/۳۶۷ d        | ۶۰/۵۴ a                              | ۳۵/۷۲ a                              | b3      |
| ۳۶/۲۵ a               | ۱۴/۳۲ b           | ۷/۵۰ a             | ۵۷/۲۸ a             | ۵۹/۶۴ a               | ۵۹/۶۴ a            | ۵۷/۲۸ a             | ۶۶۹۹/۴۷ a                      | ۰/۰۷۲ a        | ۰/۳۹۲ c        | ۷۰/۶۴ a                              | ۴۲/۰۰ a                              | b4      |
| ۳۵/۲۰ b               | ۱۲/۶۰ d           | ۶/۱۰ b             | ۵۶/۵۱ a             | ۵۳/۰۴ a               | ۵۳/۰۴ a            | ۵۶/۵۱ a             | ۶۱۷۵/۲۳ c                      | ۰/۰۶۱ c        | ۰/۳۸۰ c        | ۵۶/۲۹ a                              | ۳۳/۹۱ a                              | c1      |
| ۳۵/۲۵ b               | ۱۵/۴۹ a           | ۷/۶۳ a             | ۵۶/۵۲ a             | ۵۲/۶۹ a               | ۵۲/۶۹ a            | ۵۶/۵۲ a             | ۶۵۵۵/۵۸ ab                     | ۰/۰۶۹ b        | ۰/۳۹۵ a        | ۶۴/۸۳ a                              | ۴۲/۰۲ a                              | c2      |
| ۳۵/۴۰ b               | ۱۴/۰۸ c           | ۷/۰۴ ab            | ۵۶/۸۱ a             | ۵۴/۰۷ a               | ۵۴/۰۷ a            | ۵۶/۸۱ a             | ۶۵۱۴/۹۸ b                      | ۰/۰۷۰ b        | ۰/۳۸۸ b        | ۶۹/۴۷ a                              | ۳۸/۵۴ a                              | c3      |
| ۳۶/۴۲ a               | ۱۴/۸۷ b           | ۶/۸۳ ab            | ۵۶/۶۱ a             | ۵۵/۶۶ a               | ۵۵/۶۶ a            | ۵۶/۶۱ a             | ۶۷۵۰/۹۹ a                      | ۰/۰۷۴ a        | ۰/۳۹۶ a        | ۶۸/۱۴ a                              | ۴۰/۰۴ a                              | c4      |

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد می‌باشند.

a1 عدم مصرف نانو فسفر، a2 مصرف نانو فسفر، b1 عدم مصرف میکوریزا، b2 گلیوموس مورس، b3 گلیوموس اینترادیکنس، b4 ترکیب دو میکوریزا، c1 عدم مصرف سوپرچاداب، c2 سوپرچاداب زئولیت، c3 سوپرچاداب استاکوردور، c4 ترکیب دو سوپرچاداب

بیشترین تعداد دانه در سنبله در بین سطوح مختلف میکوریزا مربوط به تیمار (*G.mosseae* + *G.intraradices*) با ۵۹/۶۴ عدد بود و کمترین تعداد آن مربوط به تیمار شاهد با ۴۵/۷۷ عدد بود (جدول ۳). در اثر متقابل سه گانه بیشترین تعداد دانه در سنبله مربوط به تیمار (نانو فسفر × ترکیب دو قارچ میکوریزا × ترکیب دو سوپر جاذب) با ۷۳/۵۰ عدد و کمترین تعداد دانه در سنبله مربوط به تیمار شاهد با ۳۲/۸۳ عدد بود (جدول ۴).

**غلظت کلروفیل برگ:** نتایج تجزیه مرکب دو ساله نشان داد که اثرات متقابل (نانو فسفر × میکوریزا)، (نانو فسفر × سوپر جاذب)، (میکوریزا × سوپر جاذب)، (نانو فسفر × میکوریزا × سوپر جاذب) بر صفت غلظت کلروفیل در مرحله ساقه دهی در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۲). بیشترین محتوای کلروفیل برگ در بین سطوح مختلف میکوریزا مربوط به تیمار (*G.intraradices* + *G.mosseae*) ۳۶/۲۵ درصد بود و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد ۳۵/۱۹ درصد بود (جدول ۳). بیشترین محتوای کلروفیل برگ در بین سطوح مختلف سوپر جاذب مربوط به تیمار (استاکوزورب + ژئولیت) ۳۶/۴۲ درصد و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد ۳۵/۲ درصد بود (جدول ۳). بیشترین محتوای کلروفیل برگ در اثر متقابل سه گانه مربوط به تیمار (*G.mosseae* × استاکوزورب) ۴۰/۴ درصد و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار (میکوریزا *G.mosseae* × ژئولیت) ۳۱/۸ درصد بود (جدول ۴).

**درصد فسفر دانه:** نتایج تجزیه مرکب دو ساله نشان داد که اثرات متقابل (نانو فسفر × میکوریزا)، (میکوریزا × سوپر جاذب)، (نانو فسفر × میکوریزا × سوپر جاذب) در سطح یک درصد ولی اثرات متقابل (سال × نانو فسفر) بر صفت درصد فسفر دانه در سطح پنج درصد معنی دار شد (جدول ۲). بیشترین

درصد فسفر دانه در بین سطوح مختلف میکوریزا مربوط به تیمار (*G.intraradices* + *G.mosseae*) و (*G.mosseae*) ۰/۰۷۲ درصد بود و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد و *G.intraradices* با ۰/۰۶۵ درصد بود (جدول ۳). بیشترین درصد فسفر دانه در بین سطوح مختلف سوپر جاذب مربوط به تیمار ترکیب دو سوپر جاذب (استاکوزورب + ژئولیت) ۰/۰۷۴ درصد و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد ۰/۰۶۱ درصد بود (جدول ۳). بیشترین درصد فسفر دانه در اثر متقابل سه گانه مربوط به تیمار (ترکیب دو قارچ میکوریزا × ترکیب دو سوپر جاذب) با ۰/۰۸۳ درصد و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد با ۰/۰۵۰ درصد بود (جدول ۴).

**درصد پتاس دانه:** نتایج تجزیه مرکب دو ساله نشان داد که اثرات متقابل (سال × نانو فسفر)، (نانو فسفر × میکوریزا)، (نانو فسفر × سوپر جاذب)، (میکوریزا × سوپر جاذب)، (نانو فسفر × میکوریزا × سوپر جاذب) بر صفت درصد پتاس دانه در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۲). بیشترین درصد پتاس دانه در بین سطوح مختلف میکوریزا مربوط به تیمار *G.mosseae* با ۰/۴۰۴ درصد بود و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار *G.intraradices* با ۰/۳۶۷ درصد بود (جدول ۳). بیشترین درصد پتاس دانه در بین سطوح مختلف سوپر جاذب مربوط به تیمار (استاکوزورب + ژئولیت) با ۰/۳۹۶ درصد و کمترین درصد پتاس دانه مربوط به تیمار شاهد با ۰/۳۸۰ درصد بود (جدول ۳). بیشترین درصد پتاس دانه در اثر متقابل سه گانه مربوط به تیمار (نانو فسفر × *G.mosseae* × سوپر جاذب استاکوزورب) با ۰/۴۸۳ درصد و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار (نانو فسفر × *G.intraradices* × سوپر جاذب استاکوزورب) با ۰/۳۱۵ درصد بود (جدول ۴).

جدول ۴: مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه سوپر جاذب، میکوریزا و نانو فسفر

| تیمارها | میزان روی<br>دانه (میلی<br>گرم در<br>کیلوگرم) | میزان آهن<br>دانه (میلی<br>گرم در<br>کیلوگرم) | درصد<br>پتاس دانه | درصد<br>فسفر دانه | عملکرد دانه<br>(کیلوگرم در<br>هکتار) | وزن هزار<br>دانه (گرم) | تعداد دانه در<br>سنبله | وزن خشک<br>سنبله (گرم) | وزن تر<br>سنبله<br>(گرم) | محتوای<br>کلروفیل<br>(SPAD) |
|---------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| a1b1c1  | ۲۴/۸۳ kl                                      | ۵۹/۰۰ d-g                                     | ۰/۳۶۰ o           | ۰/۰۵۰ h           | ۴۷۲۸/۷۲ h                            | ۵۳/۵۰ b                | ۳۲/۸۳ o                | ۳/۵۰ o                 | ۷/۱۰ k                   | ۳۷/۰۰ f-k                   |
| a1b1c2  | ۴۰/۵۰ b-j                                     | ۷۳/۰۰ a-f                                     | ۰/۳۹۳ i           | ۰/۰۶۰ f           | ۶۵۶۴/۳۲ b-f                          | ۵۵/۰۵ ab               | ۴۰/۷۵ mn               | ۵/۸۴ lmn               | ۱۲/۴۸ f-i                | ۳۵/۱۵ i-m                   |
| a1b1c3  | ۳۳/۶۶ h-l                                     | ۶۵/۰۰ b-g                                     | ۰/۳۶۰ o           | ۰/۰۵۰ h           | ۵۵۲۰/۹۷ gh                           | ۵۵/۹۰ ab               | ۳۶/۱۶ no               | ۵/۶۲ n                 | ۹/۶۵ j                   | ۳۵/۵۰ h-l                   |
| a1b1c4  | ۳۱/۱۶ jkl                                     | ۵۹/۰۰ d-g                                     | ۰/۳۷۰ m           | ۰/۰۶۰ f           | ۵۷۷۱/۰۰ fg                           | ۵۶/۳۷ ab               | ۳۳/۶۶ o                | ۶/۵۴ i-l               | ۱۴/۸۹ def                | ۳۴/۱۰ mn                    |
| a1b2c1  | ۳۱/۵۰ jkl                                     | ۴۷/۸۳ g                                       | ۰/۳۶۰ o           | ۰/۰۶۰ f           | ۵۷۸۱/۹۰ efg                          | ۵۵/۷۰ ab               | ۴۵/۹۱ klm              | ۶/۰۸ k-n               | ۱۱/۱۳ ij                 | ۳۵/۷۵ g-k                   |
| a1b2c2  | ۳۸/۵۰ c-j                                     | ۵۲/۵۰ efg                                     | ۰/۳۹۰ j           | ۰/۰۷۰ d           | ۶۰۴۵/۷۵ d-g                          | ۵۷/۱۵ ab               | ۵۰/۰۸ h-l              | ۸/۲۸ b-e               | ۱۴/۰۷ cde                | ۳۴/۹۵ klm                   |
| a1b2c3  | ۳۲/۶۶ i-l                                     | ۶۳/۰۰ b-g                                     | ۰/۳۹۰ j           | ۰/۰۷۶ c           | ۶۹۱۷/۷۲ bcd                          | ۵۵/۵۷ ab               | ۵۰/۵۰ g-l              | ۵/۶۹ mn                | ۱۱/۶۸ hij                | ۴۰/۴۰ a                     |
| a1b2c4  | ۳۴/۵۰ g-l                                     | ۶۵/۳۳ b-g                                     | ۰/۳۹۰ j           | ۰/۰۶۶ e           | ۶۴۴۳/۴۷ b-g                          | ۵۷/۹۵ ab               | ۵۶/۰۸ d-g              | ۵/۷۵ mn                | ۱۱/۸۵ g-j                | ۳۶/۲۰ f-k                   |
| a1b3c1  | ۲۴/۱۶ l                                       | ۵۳/۳۳ d-g                                     | ۰/۳۶۰ o           | ۰/۰۵۳ gh          | ۶۳۷۶/۹۷ b-g                          | ۵۷/۳۰ ab               | ۵۱/۴۱ g-k              | ۵/۶۹ mn                | ۱۶/۰۱ cde                | ۳۴/۱۵ lmn                   |
| a1b3c2  | ۳۹/۶۶ c-j                                     | ۵۸/۸۳ d-g                                     | ۰/۳۶۰ o           | ۰/۰۶۰ f           | ۶۵۷۳/۵۷ b-f                          | ۵۸/۱۰ ab               | ۵۲/۰۰ f-j              | ۶/۰۰ k-n               | ۹/۷۲ j                   | ۳۶/۳۵ e-j                   |
| a1b3c3  | ۳۶/۱۶ d-j                                     | ۶۸/۳۳ a-g                                     | ۰/۳۸۰ k           | ۰/۰۷۰ d           | ۶۷۶۵/۷۲ b-f                          | ۵۷/۲۵ ab               | ۵۵/۰۰ e-h              | ۷/۰۲ g-j               | ۱۳/۹۷ e-h                | ۳۲/۸۰ no                    |
| a1b3c4  | ۳۶/۶۶ c-j                                     | ۵۷/۸۳ d-g                                     | ۰/۴۰۰ h           | ۰/۰۷۰ d           | ۷۰۲۳/۳۲ bcd                          | ۵۶/۵۰ ab               | ۴۵/۰۰ lm               | ۶/۹۱ hij               | ۱۴/۰۰ e-h                | ۳۸/۴۵ bc                    |
| a1b4c1  | ۳۶/۵۰ c-j                                     | ۶۶/۳۳ a-g                                     | ۰/۴۵۰ b           | ۰/۰۷۰ d           | ۵۹۹۷/۵۰ d-g                          | ۵۶/۸۷ ab               | ۴۹/۶۶ h-l              | ۶/۴۴ i-m               | ۱۱/۶۵ hij                | ۳۹/۵۰ ab                    |
| a1b4c2  | ۳۸/۵۰ c-j                                     | ۸۶/۰۰ ab                                      | ۰/۴۱۰ f           | ۰/۰۷۰ d           | ۶۶۱۷/۳۰ b-f                          | ۵۶/۸۲ ab               | ۵۳/۱۶ e-j              | ۷/۵۴ e-h               | ۱۵/۹۱ cde                | ۳۱/۸۰ o                     |
| a1b4c3  | ۴۶/۵۰ a-d                                     | ۶۴/۰۰ b-g                                     | ۰/۴۰۰ h           | ۰/۰۷۰ d           | ۶۶۵۹/۰۵ b-f                          | ۵۷/۱۲ ab               | ۵۳/۷۵ e-i              | ۷/۶۵ d-h               | ۱۴/۶۲ def                | ۳۸/۳۵ bc                    |
| a1b4c4  | ۴۵/۵۰ a-f                                     | ۶۱/۶۶ c-g                                     | ۰/۳۹۰ j           | ۰/۰۸۳ ab          | ۶۱۷۷/۴۰ c-g                          | ۵۵/۸۷ ab               | ۵۴/۱۶ e-i              | ۶/۷۴ ijk               | ۱۴/۵۶ d-g                | ۳۵/۳۰ i-m                   |
| a2b1c1  | ۳۹/۰۰ c-j                                     | ۵۷/۵۰ d-g                                     | ۰/۴۰۵ g           | ۰/۰۷۵ c           | ۶۵۳۸/۰۵ b-g                          | ۵۷/۳۲ ab               | ۶۹/۳۳ ab               | ۶/۷۴ ijk               | ۱۲/۹۰ f-i                | ۵۰/۸۰ g-k                   |
| a2b1c2  | ۵۱/۰۰ ab                                      | ۵۹/۵۰ d-g                                     | ۰/۴۳۵ d           | ۰/۰۶۵ e           | ۶۳۱۷/۷۵ b-g                          | ۵۵/۹۷ ab               | ۵۴/۷۵ e-h              | ۹/۲۱ a                 | ۱۸/۹۲ ab                 | ۳۴/۱۰ mn                    |
| a2b1c3  | ۳۵/۰۰ f-k                                     | ۷۶/۵۰ a-d                                     | ۰/۴۰۵ g           | ۰/۰۸۵ a           | ۶۳۶۶/۵۷ b-g                          | ۵۷/۶۵ ab               | ۴۸/۵۸ i-l              | ۷/۷۷ d-g               | ۱۷/۰۲ bcd                | ۳۴/۱۵ lmn                   |
| a2b1c4  | ۳۸/۰۰ c-j                                     | ۷۱/۵۰ a-g                                     | ۰/۴۳۵ d           | ۰/۰۸۰ b           | ۶۶۸۴/۵۵ b-f                          | ۵۴/۶۵ ab               | ۵۰/۰۸ h-l              | ۶/۰۲ k-n               | ۱۲/۹۵ f-i                | ۳۶/۷۵ d-h                   |
| a2b2c1  | ۳۹/۰۰ c-j                                     | ۵۱/۵۰ fg                                      | ۰/۴۱۵ e           | ۰/۰۶۵ e           | ۶۶۲۱/۲۵ b-f                          | ۵۶/۰۲ ab               | ۵۱/۶۶ g-k              | ۶/۶۶ ijk               | ۱۴/۰۴ e-h                | ۳۷/۲۷ c-f                   |
| a2b2c2  | ۴۶/۰۰ a-e                                     | ۵۸/۳۳ d-g                                     | ۰/۳۷۵ l           | ۰/۰۸۵ a           | ۶۵۲۴/۳۲ b-g                          | ۵۴/۹۲ ab               | ۶۱/۶۶ cd               | ۸/۳۳ bcd               | ۱۹/۹۳ a                  | ۳۵/۹۵ f-k                   |
| a2b2c3  | ۴۵/۰۰ a-g                                     | ۷۵/۵۰ a-e                                     | ۰/۴۸۳ a           | ۰/۰۸۵ a           | ۶۴۴۱/۹۰ b-g                          | ۵۶/۵۲ ab               | ۶۵/۰۰ bc               | ۵/۵۹ n                 | ۱۲/۶۶ f-i                | ۳۲/۳۵ o                     |
| a2b2c4  | ۵۴/۰۰ a                                       | ۸۵/۵۰ ab                                      | ۰/۴۳۵ d           | ۰/۰۷۵ c           | ۶۵۷۲/۳۲ b-f                          | ۵۷/۲۷ ab               | ۶۵/۸۳ bc               | ۶/۰۰ k-n               | ۱۸/۱۰ abc                | ۳۵/۰۵ j-m                   |
| a2b3c1  | ۴۱/۰۰ b-j                                     | ۶۴/۸۳ b-g                                     | ۰/۳۶۵ n           | ۰/۰۶۵ e           | ۶۶۸۷/۳۲ b-f                          | ۵۷/۱۰ ab               | ۵۷/۶۶ def              | ۷/۲۲ f-i               | ۱۶/۳۰ b-e                | ۳۷/۷۰ cde                   |
| a2b3c2  | ۳۵/۰۰ f-k                                     | ۶۸/۰۰ a-g                                     | ۰/۳۵۵ p           | ۰/۰۶۵ e           | ۶۸۸۲/۴۰ bcd                          | ۵۷/۳۰ ab               | ۴۷/۵۰ jkl              | ۸/۰۰ b-e               | ۱۷/۱۴ bcd                | ۳۷/۸۰ cd                    |
| a2b3c3  | ۳۵/۰۰ f-k                                     | ۵۴/۰۰ d-g                                     | ۰/۳۱۵ s           | ۰/۰۵۵ g           | ۶۶۳۹/۲۵ b-f                          | ۵۷/۲۰ ab               | ۵۸/۱۶ de               | ۸/۲۱ b-e               | ۱۷/۰۰ bcd                | ۳۵/۵۰ h-l                   |
| a2b3c4  | ۳۷/۸۳ c-j                                     | ۵۹/۱۶ d-g                                     | ۰/۴۰۵ g           | ۰/۰۸۵ a           | ۷۲۶۹/۴۰ ab                           | ۵۴/۷۲ ab               | ۶۷/۰۰ bc               | ۸/۱۲ b-e               | ۱۶/۳۳ b-e                | ۳۷/۰۰ d-g                   |
| a2b4c1  | ۳۵/۳۳ e-k                                     | ۵۰/۰۰ fg                                      | ۰/۳۲۵ r           | ۰/۰۵۵ g           | ۶۶۷۰/۱۵ b-f                          | ۵۸/۲۷ a                | ۶۵/۸۳ bc               | ۶/۴۳ j-m               | ۱۱/۶۸ hij                | ۳۶/۵۰ d-i                   |
| a2b4c2  | ۴۷/۰۰ abc                                     | ۶۲/۵۰ b-g                                     | ۰/۴۴۵ c           | ۰/۰۸۱ b           | ۷۱۵۹/۲۲ abc                          | ۵۶/۸۵ ab               | ۶۱/۶۶ cd               | ۷/۸۷ c-f               | ۱۳/۸۰ e-i                | ۳۵/۹۰ g-k                   |
| a2b4c3  | ۴۴/۰۰ a-h                                     | ۸۹/۵۰ a                                       | ۰/۳۷۵ l           | ۰/۰۷۵ c           | ۶۸۰۸/۶۵ b-e                          | ۲۷۵۷ ab                | ۶۵/۴۱ bc               | ۸/۷۵ ab                | ۱۶/۰۷ cde                | ۳۴/۱۵ lmn                   |
| a2b4c4  | ۴۲/۶۶ b-i                                     | ۸۵/۱۶ abc                                     | ۰/۳۴۵ q           | ۰/۰۷۵ c           | ۸۰۶۶/۴۷ a                            | ۵۹/۱۷ a                | ۷۳/۵۰ a                | ۸/۵۸ abc               | ۱۶/۳۱ b-e                | ۳۸/۵۴ bc                    |

تفاوت حروف در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می باشد.

**میزان آهن دانه:** نتایج تجزیه مرکب دو ساله نشان داد که اثرات متقابل (سال × نانو فسفر × میکوریزا × سوپر جاذب) در سطح یک درصد ولی اثرات متقابل (نانو فسفر × سوپر جاذب)، (نانو فسفر × میکوریزا × سوپر جاذب) بر صفت میزان آهن دانه در سطح پنج درصد معنی دار شد (جدول ۲). بیشترین میزان آهن دانه در اثر متقابل سه گانه مربوط به تیمار (نانو فسفر × ترکیب دو میکوریزا × سوپر جاذب استاکوزورب) با ۸۹/۵ میلی گرم در کیلوگرم و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار *G. mosseae* ۴۷/۸۳ میلی گرم در کیلوگرم بود (جدول ۴).

**میزان روی دانه:** نتایج تجزیه مرکب دو ساله نشان داد که اثرات متقابل (سال × نانو فسفر × میکوریزا × سوپر جاذب) در سطح یک درصد ولی اثرات متقابل (نانو فسفر × میکوریزا × سوپر جاذب)، (سال × نانو فسفر × میکوریزا)، (سال × میکوریزا × سوپر جاذب) بر صفت میزان روی دانه در سطح پنج درصد معنی دار شد (جدول ۲). بیشترین میزان روی دانه در اثر متقابل سه گانه مربوط به تیمار (نانو فسفر × *G. mosseae* × ترکیب دو سوپر جاذب) با ۵۴ میلی گرم در کیلوگرم و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار *G. intraradices* با ۲۴/۱۶ میلی گرم در کیلوگرم بود (جدول ۴).

## بحث

محققان نشان دادند که بهبود عملکرد دانه در گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا ممکن است ناشی از تأثیر مثبت مایکوریزا بر قابلیت دسترسی بهتر مواد غذایی برای گیاه به واسطه گسترش ریشه‌ها باشد (Khalvati et al., 2005). مایکوریزا ممکن است با فراهم آوردن نیتروژن کافی برای گیاه میزان در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد موثر باشد (Sanchez-Blanco et al., 2004). کاربرد ژئولیت عملکرد محصول گندم را

نزدیک به ۱۰۰ درصد در مقایسه با شاهد بدون کود و نزدیک به ۴۰ درصد در مقایسه با شاهد همراه کود افزایش داد (Saneoka et al., 2004). برخی محققان علت روند افزایشی عملکرد در اثر مصرف پلیمر را رساندن آب و مواد غذایی به گیاه در مرحله رشد رویشی و زایشی گیاه توسط این ماده دانسته، که در شرایط تنش قادر است کمبود آب در مرحله گرده افشانی را برطرف کرده و سبب افزایش عملکرد شود (Taylor and Halfacre, 1986). یافته‌های سایر پژوهشگران نیز نشان داد که قارچ‌های میکوریزا و شبه میکوریزا از طریق همزیستی با ریشه گیاهان موجب افزایش معنی دار رشد و عملکرد آنها می‌شود (Lupway et al., 2000). کاربرد توأم نانو فسفر، میکوریزا و سوپر جاذب باعث افزایش عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد شد.

به نظر می‌رسد در شرایط کاربرد مایکوریزا افزایش عرضه عناصر غذایی و مواد فتوسنتزی به خصوص در مرحله پر شدن دانه، موجب بهبود میزان مواد ذخیره شده در دانه و همین امر منجر به افزایش وزن هزار دانه شده است. به دلیل افزایش مقدار کل کربوهیدرات، نشاسته و پروتئین دانه بواسطه مصرف روی در ذرت وزن صد دانه، تعداد دانه در سنبله و در نتیجه عملکرد دانه افزایش یافت (Marschner, 1984).

به نظر می‌رسد پلیمر سوپر جاذب با توسعه بیشتر اندام‌های رویشی از طریق قرار دادن آب کافی در اختیار ریشه گیاه، و افزایش انتقال مواد از خاک توسط گیاه و همچنین با افزایش کارایی فتوسنتزی برگ‌ها از طریق افزایش سطح برگ و میزان فتوسنتز باعث تجمع ماده خشک و عملکرد زیستی در گیاه شد. خشکی با ایجاد تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متعددی که در گیاه به وجود می‌آورد و با متوقف نمودن گسترش سلول‌ها و کاهش فشار

مهمترین عناصر محدودکننده تولید گیاهان زراعی در اکوسیستم‌های زراعی محسوب می‌شود، اما استفاده از مقادیر زیاد فسفر سبب کاهش جمعیت و فعالیت فیزیولوژیک میکوریزا می‌شود (Bagyaraj, 1990; Guillemin, 1995) در همین راستا گزارش شده است که بهبود جذب عناصر غذایی و افزایش جذب آب، از دلایل اصلی افزایش عملکرد دانه در اثر تلقیح است (Osborne et al., 2002).

نشان داده شده است میکوریزا موجب افزایش میزان کلروفیل در گیاه گندم خواهد شد، به طوری که میزان کلروفیل  $a$ ،  $b$  و کل در تیمارهای تلقیح شده با میکوریزا به ترتیب  $13/7$ ،  $33/5$  و  $17/4$  درصد نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح با میکوریزا) افزایش نشان داد (Huixing, 2005; Moucheshi et al., 2012). افزایش میزان فتوسنتز در حضور میکوریزا را دلیل بالا بودن میزان فتوسنتز که نتیجه بالا بودن میزان کلروفیل در تیمارهای تلقیح شده با میکوریزا عنوان کرده‌اند. با کاهش فتوسنتز و کلروفیل و محدود شدن مواد اختصاص یافته فتوسنتزی به دانه‌ها در شرایط تنش خشکی وزن آنها کاهش یافته که این امر منجر به کاهش عملکرد می‌شود (Shamsipur et al., 2010). غلظت کلروفیل برگ نشانه پایداری فتوسنتز می‌باشد و به طور قابل توجهی در گیاهان تحت تنش گرما کاهش می‌یابد که این امر به دلیل نشان‌دهنده بیوسنتز کلروفیل یا افزایش تجزیه آن به دلیل اکسیداسیون نوری باشد (Kaur et al., 2015).

عدم توانایی سویه *G.intraradices* در کاهش pH خاک و تولید اسیدهای آلی دلیل کاهش جذب فسفر گیاه می‌باشد (Antunes et al., 2007). اما Smith و همکاران (2004) دریافتند که عدم توانایی سویه میکوریزا در ایجاد همزیستی به این معنی نیست که میکوریزا سهمی در جذب فسفر به وسیله گیاه ندارد. آنها همچنین بیان کردند، قارچ برای رشد خود به

آماس می‌تواند بر روی وزن تر و خشک گیاه تأثیر گذاشته و آنها را کاهش دهد، خشکی باعث کاهش انتقال مواد غذایی از خاک به گیاه می‌شود و باعث کاهش معنی‌دار وزن تر سنبله نسبت به تیمار شاهد می‌شود. نانو کودها به منظور رهاسازی تدریجی محتویات غذایی خود به گونه‌ای که زمان آزادسازی آنها با نیاز غذایی محصول منطبق باشد، طراحی و ساخته شده‌اند (Naderi and Danesh-shahraki, 2011).

در تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) پیری زودرس ایجاد شده بوسیله کمبود آب فتوسنتز جاری و سرعت پر شدن دانه را کاهش می‌دهد و در نتیجه منجر به کاهش وزن دانه و کاهش وزن خشک سنبله می‌گردد (Madani et al., 2010). Feng و همکاران (2002) در بررسی تأثیر کودهای زیستی بر میزان تحمل به خشکی گیاه ذرت، مشاهده کردند که وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی در نتیجه همزیستی با میکوریز (جنس گلوبوس) افزایش یافت. کاربرد پلیمرهای سوپرجاذب موجب افزایش ارتفاع و وزن خشک گیاه ذرت علوفه ای شد (Allah- et al., 2007). dadi به نظر می‌رسد که با توجه به محل طبیعی حضور این قارچ، که در مناطق بیابانی و خشک است، بتوان نتایج را اینطور تفسیر نمود که نسبت به شرایط خشک و نامساعد تکامل پیدا کرده است و لذا در شرایطی که گیاه با تنش روبرو شود بهتر می‌تواند تأثیرات خود را بر رشد گیاه اعمال نماید (Sepehri et al, 2009).

محققان اظهار داشتند که کربن اضافی تثبیت شده توسط گیاهان مایکوریزایی شده به مایکوریزا تخصیص می‌یابد و این قارچ‌ها با ایفای نقش مخزن اضافی برای آسمیلات‌ها، موجب تحریک فتوسنتز گیاه میزبان شده و از این طریق به بهبود عملکرد کمک می‌کنند (Khalvati et al., 2005). فسفر یکی از

فسفر نیاز دارد و ممکن است فسفر جذب شده را جهت مصرف خود اختصاص داده و به گیاه منتقل نکند. پلیمرهای سوپرجاذب باعث استفاده بهینه از منابع آب و حفظ آن، افزایش رطوبت خاک و افزایش جذب مواد غذایی و ریز مغذی‌های ضروری در خاک می‌گردد (Karimi, 1993).

مایکوریزا سبب بهبود جذب نیتروژن، پتاس، منیزیم، مس و روی در خاک‌های فقیر می‌شود (Smith and Read, 2008). در گیاهان میکوریزی غلظت پتاسیم نیز بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی گزارش شده است و بدین ترتیب با افزایش نسبت پتاس به سدیم، همزیستی میکوریزی گیاه را در برابر اثرات منفی سدیم محافظت می‌نماید (Amiri et al., 2011). مصرف زئولیت باعث افزایش جذب نیتروژن و پتاسیم، بالا بردن راندمان مصرف ازت و افزایش وزن هزاردانه برنج شد (Farmahini et al., 2011). سایر نتایج نشان داد که استفاده از زئولیت می‌تواند رطوبت خاک را برای مدت بیشتری حفظ و در اختیار گیاه قرار دهد، بنابراین کاربرد زئولیت می‌تواند اثرات سوء تنش خشکی در گیاه زراعی را تعدیل بخشد (Zamanian, 2008).

در آزمایشی اثر مصرف اکسید آهن نانو و معمولی بر غلظت آهن و رشد گیاه گندم رقم آتیل‌مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاربرد خاکی اکسید آهن نانو در مقایسه با اکسید آهن معمولی، سبب افزایش معنی‌دار غلظت آهن گیاه، ارتفاع گیاه، طول سنبله، وزن هزار دانه، وزن خشک کاه و کلش گیاه و عملکرد گیاه گردید (Mazaheri-nia et al., 2010) Sajedi و Rejali (2011) در بررسی تاثیر تلقیح میکوریز بر جذب عناصر کم مصرف در ذرت اظهار داشتند تلقیح میکوریز غلظت مس، منگنز، روی و آهن را افزایش داد. Mardukhi و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی اعلام داشتند میکوریز با دریافت منابع

کربنی انرژی‌زا از گیاه، بسیاری از عناصر غذایی معدنی مثل فسفر، روی، مولیبدن، مس و آهن را به حالت کاملاً قابل جذب در آورده و در اختیار ریشه قرار می‌دهد. سوپرجاذب‌ها می‌توانند عناصری مانند آهن، روی، فسفر و نیتروژن را در خود نگهداری نمایند و از آبشویی و هدر رفتن آنها جلوگیری به عمل آورند (Allah-dadi, 2002).

Ortas (۲۰۱۰) در بررسی تاثیر ۴ گونه مایکوریزا، بیشترین محتوای عنصر روی در دانه و بوته را تحت تاثیر کاربرد گونه گلو موس موسه گزارش کرد. Safapour و همکاران (۲۰۱۲) اعتقاد دارند مایکوریزا از طریق انتشار میسیلیوم‌های خارجی خود در منافذ ریز خاک که امکان ورود ریشه‌های موئین برای جذب آب وجود ندارد، و باکتری تنظیم کننده رشد از طریق تحریک توسعه رشد ریشه آب و عناصر غذایی را جذب و به گیاه منتقل می‌کند به گفته ایشان عنصر روی سطح هورمون اکسین را نیز در گیاه تحت تاثیر قرار می‌دهد و به طور غیر مستقیم در ایجاد فشار اسمزی نیز نقش دارد و با فراهمی این عنصر جذب آب توسط گیاه به خوبی انجام می‌شود. با تأمین عنصر روی همراه با سایر عناصر مورد نیاز گندم، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه افزایش می‌یابد (Zozi et al., 2012). نتایج تحقیقات Hemantaranjan و همکاران (۱۹۸۸) نشان دادند که مصرف آهن و روی موجب افزایش معنی‌دار تعداد سنبله در مترمربع و طول خوشه شد و اظهار داشتند که این عناصر به دلیل افزایش مقدار کل کربوهیدرات، مقادیر نشاسته و پروتئین دانه موجب افزایش اجزای عملکرد و در نهایت موجب افزایش عملکرد دانه می‌شوند.

### نتیجه گیری نهایی

نتایج این آزمایش نشان داد استفاده از میکوریزا و سوپرجاذب بر خصوصیات کمی و کیفی گندم نان

جایگزینی مناسب و مطلوب برای کودهای شیمیایی باشد این تحقیق، مصرف این کودهای مفید را به علت کاهش مصرف کودهای شیمیایی، کاهش هزینه‌ها و افزایش عملکرد دانه در زراعت گندم توصیه می‌نماید.

#### تشکر و قدردانی

از مسئولین محترم مرکز تحقیقات کشاورزی بایع کلا شهرستان نکا که امکانات لازم جهت اجرای طرح را فراهم نموده اند، کمال تشکر و سپاس را دارم.

رقم احسان تأثیر معنی‌داری داشته، به طوری که بیشترین عملکرد دانه با مصرف میکوریزا با ۶۷۷۷/۲۵ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. امروزه مدیریت منابع آب و مصرف آب در بخش سوپر جاذب به همراه میکوریزا می‌تواند سبب بهبود جذب آب و عناصر غذایی گردد، که این امر باعث افزایش عملکرد گیاه زراعی می‌شود. کاربرد کودهای زیستی و نانو کودها علاوه بر اثرات مثبتی که بر کلیه خصوصیات خاک دارد، از جنبه‌های اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی نیز مثمرتر واقع شده و می‌تواند به عنوان

#### References

- Agaba, H., Baguma Orikiriza, L.J., Esegu, O., Francis, J., Obua, J., Kabasa, J.D. and Hüttermann, A. (2010). Effects of hydrogel amendment to different soils on plant available water and survival of trees under drought conditions. *CLEAN - Soil Air Water*. 38: 328-335.
- Ahmed, O. H., Sumalatha, G. and Nik Mohamad, A.M. (2010). Use of zeolite in maize (*Zea mays* L.) cultivation on nitrogen, potassium and phosphorus uptake and use efficiency. *International Journal of the Physical Sciences*. 15: 2393-2401.
- Allah-dadi, A. (2002). The effect of application of superabsorbent hydrogels on reducing drought stress in plants. *Proceedings of the second specialized-educational course on agricultural and industrial application of superabsorbent hydrogels*, Iran Polymer and Petrochemical Research Institute. (In Persian).
- Allah-dadi, A., Muezzin-ghamsari, B., And Akbari, G.A. (2007). Investigation of the application of superabsorbent polymer as an important solution to reduce the effects of poor irrigation. 9th Iranian Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding. 5-7 Shahrivar, Abu Rihan Campus, University of Tehran. (In Persian).
- Amiri, P., Nabizadeh, A., Majidi, A. and Rasools-sadghiani, M.H. (2011). The effect of mycorrhizal fungus and drought stress on some quantitative and qualitative characteristics of corn. *Student thesis*. (In Persian).
- Antunes, P.M., Schneider, K., Hillis, D. and Klironomos, J.N. (2007). Can thearbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* actively mobilize P from rock phosphates? *Pedobiologia*. 51:281-286.
- Asghari, S., Moradi, H. and Afshari, K., (2014). Evaluation of some physiological and morphological characteristics of *Narcissus tazetta* under BA treatment and Nanoregimes. *Journal of Sustainable Agriculture Science*. 2/20 (1), 39-51. (In Persian).
- Asseng, S., Foster, I. and Turner, N. (2011). The impact of temperature variability on wheat yields. *Global Change Biology*. 17: 997-1012.
- Bagyaraj, D.J. (1990). Ecology of vesicular-arbuscular mycorrhizae. Pp: 3-34. In: Arora, D.K., Rai, B., Mukerji, K.G., Knudsen, G.R. (eds.), *Handbook of Applied Mycology*. Soil and Plants. Marcel Dekker, New York.
- Egrinya Enejiv, A., Islam, R., An, P. and Amalu, U.C. (2013). Nitrate retention and physiological adjustment of maize to soil amendment with superabsorbent polymers. *Cleaner Production*. 52: 474-480.
- Farmahini, M., Mirzakhani, M. and Sajdi, N.H. (2011). Effect of water shortage stress and application of moisture absorbing materials on physiological traits of Alvand wheat. Master Thesis, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Arak Branch.
- Guillemín, J.P., Orozco, M.O., Gianinazzi-Pearson, V. and Gianinazzi, S. (1995). Influence of phosphate fertilization on fungal alkaline phosphatase and succinate dehydrogenase activities

- in arbuscular mycorrhiza of soybean and pineapple. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 53: 63-69.
- Hemantaranjan, A. and Grag, O.K. (1988). Iron and zinc fertilization with reference to the grain quality of *Triticum aestivum* L. *Journal of Plant Nutrition*. 11: 1439-1450
- Heshmati, S., Amini Dehaghi, M. and Fathi Amirkhiz, K. (2017). Effects of biological and chemical phosphorous fertilizer on grain yield, oil seed and fatty acids of spring safflower in water deficit conditions. *Iranian Journal of Field Crop Research*. 48(1): 159-169. (In Persian).
- Huixing, S. (2005). Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its mechanisms. *Electronic Journal of Biology*. 1: 44-48.
- Islam, M.R., Zeng, Z., Mao, J., Eneji, A.E., Xue, X. and Hu, Y. (2011a). Feasibility of summer corn (*Zea mays* L.) Production in drought affected areas of northern china using water saving super absorbent polymer. *Plant Soil and Environment* 6: 279-285.
- Islam, M.R., Ren, C., Zeng, Z., Jia, P., Eneji, E. and Hu, Y. (2011b). Fertilizer use efficiency of drought-stressed oat (*Avena sativa* L.) Following soil amendment with a water saving superabsorbent polymer. *Acta Agriculture Scandinavia Section B- Soil and Plant Science* 61: 721-729.
- Karimi, A. (1993). Investigation of the effect of Igita modifier on some physical properties of soil and plant growth. Master Thesis in Soil Science, University of Agriculture, University of Tehran. 196 pages. (In Persian).
- Kaur, R., Bains, T.S., Bindumadhava, H. and Nayyar, H. (2015). Responses of mungbean (*Vigna radiata* L.) genotypes to heat stress: Effects on reproductive biology, leaf function and yield traits. *Scientia Horticulturae*. 197: 527-541.
- Khalvati, M.A., Mozafar, A. and Schmidhalter, U. (2005). Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth, water relations, and gas exchange of barley subjected to drought stress. *Plant Biology. Stuttgart*. 7: 706-712.
- Khosrojerdi, M., Shahsavani, S., Gholipor, M. and Asghari, H.R. (2013). Effect of rhizobium inoculation and mycorrhizal fungi on some nutrient uptake by chickpea at different levels of iron sulfate fertilizer. *Electronic Journal of Crop Production*, 6 (3): 71-87. (In Persian).
- Lehnert, H., Serfling, A., Enders, M., Friedt, W. and Ordon, F. (2017). Genetics of mycorrhizal symbiosis in winter wheat (*Triticum aestivum*). *New Phytologist*. 215: 779-791.
- Lupway, N.Z., Girma, M. and Haque, I. (2000). Plant nutrient content of cattle manure from smallscale farms and experimental stations in the Ethiopian highlands. *Agriculture Ecosystemand Environment*. 78: 57-63.
- Madani, A., Shirani Rad, A., Pazoki, A., Nourmohammadi, G. and Zarghami, R. (2010). Wheat (*Triticum aestivum* L.) grain filling and dry matter partitioning responses to source: sink modifications under postanthesis water and nitrogen deficiency. *Acta Scientiarum Agronomy* 32(1): 145-151.
- Mardukhi, B., Rejali, F., Daei, G., Ardakani, M.R., Malakouti, M.J. and Miransari, M. (2011). Arbuscular mycorrhizas enhance nutrient uptake in different wheat genotypes at high salinity levels under field and greenhouse conditions. *Comptes Rendus Biologies*. 334(7):564-71.
- Marschner, H. (1984). Function of mineral nutrients: micronutrients. In: *Mineral nutrition of higher plants*, Acad Press. NewYork, Pp: pp: 269-300.
- Mazaheri-nia, S., Astarai, A.R., Fotot, A. and Monshi, A. (2010). Investigation of the effect of iron oxide consumption (nano and normal) along with sulfur granular compost on iron concentration and wheat plant growth of Attila cultivar. *Iranian Journal of Crop Research*. 8: 861-855. (In Persian).
- Mirzakhani, M. and Sibi, M. (2010). Response of safflower physiological traits to water stress and zeolite application. *The Proceedings of 2nd Iranian National Congress on Agricultural and Sustainable Development*. Islamic Azad University, Shiraz Branch. (In Persian).
- Moucheshi, A., Heidari, M.T. and Assad, B. (2012). Alleviation of drought stress effects on wheat using arbuscular mycorrhizal symbiosis. *International Journal of AgriculturalScience*. 2: 35-47.

- Naderi, M.R. and Danesh-shahraki, A. (2011). Application of nanotechnology in optimizing chemical fertilizer formulation. *Nanotechnology Monthly*, 4: 32-20. (In Persian).
- Naderi, M.R. and Abedi, A. (2012). Application of nanotechnology in agriculture and refinement of environmental pollutants. *Iranian Journal of Nanotech.* 11(1): 18-26. (In Persian).
- Nazarli, H., Zardashti, M.R., Darvishzadeh, R. and Najafi, S. (2010). The effect of water stress and polymer on water use efficiency, yield and morphological traits of sunflower under greenhouse condition. *Notulae Scientia Biologicae*. 2: 53-58.
- Ortas, I. (2010). Effect of mycorrhiza application on plant growth and nutrient uptake in cucumber production under field conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 8(1): 116-122.
- Osborne, S.L., Scheppers, J.S., Francis, D.D. and Schlemmer, M.R. (2002). Use of spectral radiance to in season biomass and grain yield in nitrogen and water – stressed corn. *Crop Science*. 42: 165-171.
- Ramesh, K., Damodar Reddy, D., Kumar Biswas, A. and Subba Rao, A. (2011). Zeolites and Their Potential Uses in Agriculture. *Advances in Agronomy*. 113: 219-241
- Sabbagh, S.K., Poorabdollah, A., Sirousmehr, A. and Gholamalizadeh-Ahangar, A. (2017). Bio-fertilizers and systemic acquired resistance in fusarium infected wheat. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 19: 453-464.
- Safapour, M., Ardakani, M.R., Khaghani, S., Teymoori, M. and Hezaveh, H. (2012). The influence of mycorrhizal fungi and rhizobium bacteria on nutrient uptake and phytohormonal fluctuations of three red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Archives Des Sciences Journal*. 5(65): 465-473.
- Sajedi, N.A. and Rejali, F. (2011). Effect of drought stress on mycorrhizal inoculation on the uptake of micronutrients in maize. *Journal of Soil Research*. 25(2): 83-92. (In Persian).
- Sanchez-Blanco, M.J., Ferrandez, T., Navarro, A., Banon, S. and Alarcon, J.J. (2004). Effects of irrigation and air humidity preconditioning on water relations, growth and survival of *Rosmarinus officinalis* plants during and after transplanting. *Journal of Plant Physiology*. 161: 1133-1142.
- Saneoka, H., Moghaieb, R.E.A., Premachandra, G.S. and Fujita, K. (2004). Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in *Agrostis palustris* Huds. *Environmental and Experimental Botany*. 52: 131-138.
- Servani, M., Mobasser, H.R., Sobhkhizi, A., Adiban, M. and Noori, M. (2014). Effect of phosphorus fertilizer on plant height, seed weight and number of nodes in soybean. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*. 4(2): 696-700.
- Shahhosseini, Z., Gholami, A. and Asghari, H. (2012). Effect of arbuscular mycorrhizae and humic acid on water use efficiency and physiological growth indices of maize under water deficit condition. *Arid Biome Scientific and Research Journal*. 2(1): 39-57. (In Persian).
- Shamsipur, M., Fotovat, R. and Jabbari, F. (2010). Relationship between chlorophyll content index and wheat grain yield under drought stress conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*. 2(1): 8-16.
- Smith, S.E. and Read, D.J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis*, third ed. Academic Press, London, UK.
- Tavakoli, A.R. (2013). Deficit irrigation and supplemental irrigation management for rainfed and irrigated wheat at Selseleh region. *Journal of Water Research in Agriculture*. 27(4): 589-600.
- Taylor, K.C. and Halfacre, R.G. (1986). The effect of hydrophilic polymer on media water retention and nutrient availability to *Ligustrum Lucidum*. *Horticultural Science*. 21: 1159-1161.
- Yaseen, T., Shakeel, M. and Ullah, F. (2017). Comparing the association of Arbuscular Mycorrhizal Fungi with Wheat crop from district mardan and charsadda. *Pakistan Journal of Phytopathology*. 29(01): 79-88.
- Zamanian, M. (2008). Effects of application of different levels of zeolite on soil water retention. *The First Iranian Zeolite Conference*. Amir Kabir University. 248-247. (In Persian).
- Zozi, T., Steiner, F., Fey, R., Castagnara, D.D. and Seidel, E.P. (2012). Response of wheat to foliar application of zinc. *Ciência Rural Universidade Federal de Santa Maria*. 42: 784-787: (5).