J. Crop Prod. Process. 2025, 15(3), 79-102; DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.ac.ir/

Original Article

Improving Shoot and Seed Nutrient Content, Yield Components and Yield of Sweet Corn (*Zea mays* L.var. Saccharata) Hybrid RS-360 by Applying Phosphorus Fertilizer, Mycorrhizal Fungi and Humic Acid

Tahere Zafarpour Amirabad[1], Mohsen Movahhedi Dehnavi[2]*, Hooshang Farajee[3], Amin Salehi[3] and Amin Mirshekari[3]

1. 2 and 3. M.Sc. Student in Agrotechnology-Crop Physiology, Professor, and Associate Professor, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran

Extended Abstract:

Introduction: Sweet corn (*Zea mays* L. var. Saccharata) is an improved cultivar of maize characterized by a mutation in the *su* allele located on chromosome four, which leads to elevated accumulation of soluble sugars in the endosperm. This trait enhances its nutritional and economic value, particularly in the food processing and livestock feed industries. With the significant expansion in the cultivation area of sweet corn, optimizing its nutritional management to boost yield and ensure production sustainability has become increasingly important. Among essential nutrients, phosphorus is the second most critical and limiting element after nitrogen. It plays a vital role in numerous physiological processes, including nucleic acid synthesis, ATP production, root development, and photosynthesis. However, phosphorus uptake by plants is often constrained by soil factors such as pH, aeration, moisture, organic matter, and microbial activity. Consequently, more than 80% of applied phosphorus fertilizers typically become immobilized in the soil, rendering them unavailable to plants. Moreover, excessive use of chemical phosphorus fertilizers has raised environmental concerns. In this context, sustainable and biological agricultural strategies—such as the use of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and humic acid—are gaining attention as effective approaches to enhance phosphorus uptake and nutrient use efficiency. AMF improve fine root development, nutrient absorption, and stress tolerance, while humic acid enhances root growth, microbial activity, and nutrient availability. This study aimed to evaluate the synergistic effects of these inputs on yield and nutrient accumulation in sweet corn.

Materials and Methods: The experiment was conducted during the summer of 2023 to investigate the integrated effects of phosphorus fertilizer, *Funneliformis mosseae* (a species of arbuscular mycorrhizal fungi), and humic acid on sweet corn (hybrid RS-360) in Boyer-Ahmad region, southwestern Iran. The trial was laid out as a factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications. The experimental treatments consisted of three factors: phosphorus applied at four levels (0, 50, 100, and 200 kg ha^{-1} of phosphorus from triple superphosphate), AMF inoculation at two levels (non-inoculated and inoculated), and humic acid foliar spray at two levels (0 and 20 L ha^{-1}). The study evaluated a range of agronomic traits including yield components, grain yield, and macro- and micronutrient concentrations in both aerial parts and grain tissues.

Results: The findings revealed that application of up to 100 kg ha^{-1} phosphorus led to the highest accumulation of phosphorus (60.32% increase) and potassium (23.02% increase) in aerial parts compared to the control. AMF inoculation resulted in a 27.31% increase in nitrogen and a 32.60% increase in phosphorus content in aerial tissues, relative to non-inoculated treatments. The highest phosphorus (1.87%) and potassium (3.24%) concentrations in grain were observed under the combined application of 100 kg ha^{-1} phosphorus, AMF, and humic acid—representing a 1.1-

Received: Mar. 10, 2025; Revised: May. 31, 2025; Accepted: Jun. 01, 2025; Published Online: Sep 03, 2025.
* Corresponding Author: movahhedi1354@yu.ac.ir

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454]

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.ac.ir/

fold and 1.67-fold increase over the control, respectively. The highest canned grain yield (25,488 kg ha^{-1}) and the highest harvest index (17.05%) were obtained from the treatment combining 100 kg ha^{-1} phosphorus with AMF. Increasing phosphorus levels beyond 100 kg ha^{-1} had no significant effects on the measured traits, indicating a plateau in plant response. Both AMF inoculation and humic acid application significantly enhanced nutrient uptake and plant performance by improving root nutritional status. Among the yield components, the number of rows per ear was significantly influenced by the main effect of phosphorus, while the number of kernels per row responded significantly to the three-way interaction of phosphorus, AMF, and humic acid. In contrast, ear number per plant and 100-kernel weight were not significantly affected by the treatments, suggesting lower sensitivity of these traits to the nutritional interventions under the study conditions.

Conclusion: This study demonstrated that integrated application of organic and inorganic nutrient sources—including phosphorus fertilizer, AMF, and humic acid—can significantly enhance nutrient uptake efficiency, root development, and ultimately, the growth and yield of sweet corn. Notably, the combination of 100 kg ha^{-1} phosphorus with bio-fertilizers produced the highest canned grain yield and harvest index. The results underscore the potential of sustainable nutrient management strategies, particularly the use of symbiotic fungi and organic compounds, in reducing chemical fertilizer dependency and improving productivity in cropping systems. Ultimately, application of 100 kg ha^{-1} phosphorus in combination with mycorrhizal fungi and humic acid improved the economic traits of sweet corn under the experimental conditions.

Keywords: Biological yield, Macro and micro-nutrients, Sustainable agriculture, Colonization, Biofertilizer

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

How to Cite: Zafarpour Amirabad T., Movahhedi Dehnavi M., Farajee H., Salehi A., Mirshekari A. Improving shoot and seed nutrient content, yield components and yield of sweet corn (*Zea mays* l.var. Saccharata) hybrid rs-360 by applying phosphorus fertilizer, mycorrhizal fungi and humic acid. *J. Crop Prod. Process*. 2025, 15(3), 79-102. (*In Persian*). DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454.

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454]

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

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۱٤۰٤، دوره ۱۵، شماره ۳، صص. ۱۰۲-۷۹، DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی

صفحه خانگی نشریه: https://jcpp.iut.ac.ir/

مقاله پژوهشی

بهبود محتوای عناصر اندام هوایی و دانه، اجزای عملکرد و عملکرد هیبرید ذرت شیرین RS-360 (*Zea mays* L.var. Saccharata) با مصرف کود فسفره، قارچ مایکوریزا و اسید هیومیک

طاهره ظفرپور امیرآباد[۱]، محسن موحدی دهنوی[۲*]، هوشنگ فرجی[۳]، امین صالحی[۳]، امین میرشکاری[۳]

چکیده– کاربرد مایکوریزا و اسید هیومیک در کنار کودهای شیمیایی فسفره می‌تواند در کاهش مصرف کودهای شیمیایی و حرکت به سمت کشاورزی پایدار نقش مهمی داشته باشند. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف کود فسفره، قارچ مایکوریزا و محلول‌پاشی اسید هیومیک بر محتوای عناصر غذایی و صفات عملکردی گیاه ذرت شیرین (هیبرید ***RS-360***) انجام شد. آزمایش در مزرعه‌ای واقع در شهرستان بویراحمد در سال ۱٤۰۲ به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. عوامل آزمایشی شامل کود فسفره در چهار سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص)، قارچ مایکوریزا در دو سطح (عدم کاربرد و کاربرد) و محلول‌پاشی اسید هیومیک در دو سطح (صفر و ۲۰ لیتر در هکتار) بود. بیشترین عملکرد دانه کنسروی (۲۵٤۸۸ کیلوگرم در هکتار) و شاخص برداشت دانه کنسروی زراعی (۱۷/۰ درصد) در سطح ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار + مایکوریزا حاصل شد؛ اما افزایش سطح فسفر بیش از ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار تأثیر معنی‌داری بر صفات مورد مطالعه نداشت. همچنین مشاهده شد کاربرد مایکوریزا و اسید هیومیک، نسبت به شاهد، با افزایش عرضه عناصر غذایی سبب بهبود عملکرد می‌شود. در این رابطه تعداد ردیف در بلال و تعداد دانه در ردیف، به‌ترتیب متاثر از اثر اصلی فسفر و برهم‌کنش سه‌گانه افزایش یافت، اما تیمارهای آزمایشی تاثیری بر تعداد بلال در بوته و وزن صد دانه نداشتند. در نهایت نتایج نشان داد مصرف ۱۰۰ کیلوگرم فسفر به‌همراه کودهای مایکوریزا و اسید هیومیک، در شرایط آزمایش باعث بهبود صفات اقتصادی ذرت شیرین می‌شود.

واژه‌های کلیدی: عملکرد زیستی، عناصر ماکرو و میکرو، کشاورزی پایدار، کلونیزاسیون، کود زیستی.

دریافت مقاله: ۱٤۰۳/۱۲/۲۰، بازنگری: ۱٤۰٤/۰۳/۱۰، پذیرش: ۱٤۰٤/۰۳/۱۱، اولین انتشار: ۱٤۰٤/۰۶/۱۲

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجو کارشناسی ارشد اگروتکنولوژی- فیزیولوژی گیاهان زراعی، استاد و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

*: نویسنده مسئول، رایانامه: movahhedi1354@yu.ac.ir

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. ۱٤۰۳ ©.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:

Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454]

مقدمه

ذرت شیرین با نام علمی *Zea mays* (L.) var. Saccharata یکی از غلات گرمسیری تیره گندمیان است که به‌علت ایجاد جهش در آلل su از کروموزوم شماره چهار ذرت زراعی حاصل شده است. این تغییر ژنتیکی سبب تجمع قندها و پلی‌ساکاریدهای محلول در آندوسپرم دانه می‌شود (۳۹). بنا به گزارش FAO در سال ۲۰۲۲ سطح زیر کشت این محصول از یک میلیون هکتار فراتر رفته و بنا بر همین گزارش متوسط عملکرد بلال آن ۲۵/۸ تن در هکتار بوده است (۱۷). در سال‌های اخیر تولید ذرت شیرین برای مصرف دام، استفاده در صنایع غذایی و کنسروسازی مورد توجه قرار گرفته است (٤۹).

فسفر از مهم‌ترین عناصر مورد نیاز گیاهان است و پس از نیتروژن دومین عنصر محدودکننده در تولید گیاهان زراعی محسوب می‌شود. به‌طور کلی تأثیر عنصر فسفر بر گیاهان بسیار متفاوت است و در ساخت پروتئین‌ها، تولید چربی، تقسیم سلولی و تبادلات انرژی اندام‌های مختلف نقش به‌سزایی دارد (٥٤). به‌ویژه اینکه به‌عنوان بخشی از ساختمان DNA، RNA و ATP کمبود فسفر منجر به کاهش سطح بسیاری از فرآیندهای متابولیکی نظیر توسعه و تکثیر سلولی، تنفس و فتوسنتز می‌شود (۵۲). در همین رابطه گزارش شده است که اثرگذاری مثبت فسفر بر فرآیند فتوسنتز، با بهبود وضعیت رشد ریشه و افزایش فراهمی سطح جذب، عناصر نیتروژن و فسفر بیشتری را از ریشه به اندام هوایی و دانه انتقال داده است (٦١). همچنین نقش موثر مصرف کود فسفره بر جذب کارآمد نیتروژن در آفتابگردان (٦۰)، پتاسیم در کلزا (٤۸) و روی در ذرت (۲۰) نیز مورد اشاره قرار گرفته است. توسعه ریشه‌ها و ضخیم‌تر شدن ساقه‌ها ناشی از کاربرد کود فسفره علاوه بر افزایش انتقال مواد پرورده به اندام‌های هوایی و گسترش رشد رویشی، درنهایت منجر به افزایش اجزای عملکرد و عملکرد دانه محصول می‌شود (۱۸). نتایج پژوهشی بر گیاه ذرت نشان داد که بیشترین تعداد ردیف در بلال، دانه در ردیف و وزن صد دانه مربوط به تیمار ۷۵ کیلوگرم کود فسفره بر هکتار بود (۵۱). یافته‌های حسینیان و همکاران (٢٤) بر گیاه ذرت نیز نشان داد با کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفره مورد نیاز، بیشترین عملکرد بلال و عملکرد زیستی حاصل شده است.

با وجود فراوانی فسفر در طبیعت، این عنصر در خاک‌های آهکی به شکل ترکیبات نامحلول کلسیم و منیزیوم و در خاک‌های اسیدی به شکل فسفات آهن و آلومینیوم رسوب کرده و تا بیش از ۸۰ درصد کود مصرفی از دسترس گیاه خارج می‌شود (۲). به‌صورت کلی قابلیت دسترسی فسفر به عوامل متعددی نظیر اسیدیته، تهویه خاک، رطوبت، دما، میزان مواد آلی، مقدار آهن، آلومینیم و منگنز محلول و غیرمحلول و فعالیت ریزسازواره‌ها بستگی دارد (٤٥)، اما آنچه حائز اهمیت است این است که مصرف بیش از حد نهاده‌های شیمیایی از جمله کودهای فسفره برای دستیابی به عملکرد مطلوب زراعی سبب ایجاد مشکلات بوم‌شناختی متعددی شده است. از همین‌رو رویکرد جهانی در تولید به سمت استفاده از رهیافت‌های کشاورزی پایدار جهت تأمین فسفر مورد نیاز گیاهان از منابع زیستی شده است (۵۳). در این راستا استفاده از قارچ مایکوریزا و مواد هوموس‌داری از جمله اسید هیومیک، به جهت بهبود ساختمان خاک و سهولت در جذب عنصر فسفر، ضروری به نظر می‌رسد (۵۳).

قارچ‌های مایکوریزا به‌عنوان یکی از کودهای زیستی موجب بهبود ساختار خاک، افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی، افزایش تولیدات فیتوهورمونی، رشد بیشتر ریشه‌های موئین و بهبود جذب عناصر غذایی می‌شوند (٤٤). در این رابطه محققان ابراز داشته‌اند که مایکوریزا علاوه بر در دسترس قرار دادن نیتروژن و فسفر مورد نیاز گیاه، از طریق افزایش رشد رویشی و به‌دنبال آن توسعه ریشه باعث بهبود جذب و افزایش فراهمی پتاسیم نیز می‌شوند (۳۸). عملکرد قارچ مایکوریزا با بهبود شرایط محیط ریشه و تسهیل در جذب آب و مواد غذایی منجر به افزایش توان گیاه شده و موجب افزایش ارتفاع بوته می‌شود (۵۵). علاوه بر این احمدزاده و همکاران (۳) بیان نموده‌اند کاربرد کود زیستی مایکوریزا و فسفات زیستی باعث افزایش

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454]

معنی‌دار تعداد بلال در بوته، وزن صد دانه و عملکرد بلال در گیاه ذرت شیرین شد. همچنین سالی و همکاران (٤٦) نیز مشاهده نمودند تلقیح گیاه ذرت با قارچ مایکوریزا موجب افزایش تعداد ردیف در بلال و تعداد دانه در ردیف این گیاه شده است.

اسید هیومیک یک ترکیب پلیمری آلی و محلول در آب است که درنتیجه پوسیدگی مواد آلی خاک، پیت، لیگنین و غیره ایجاد شده و باعث افزایش عملکرد و کیفیت محصول می‌شود. به‌طور کلی این ماده آلی موجب بهبود جوانه‌زنی بذرها، تحریک فعالیت میکروبی، تحریک ترشح هورمون‌ها، افزایش قدرت ریشه و بهبود جذب مواد غذایی می‌شود (۸). پژوهشگران گزارش داده‌اند که مصرف اسید هیومیک با افزایش جذب فسفر (۲۹) و پتاسیم (۳۰) در ذرت همراه بوده است. همچنین گزارش شده که کاربرد محلول‌پاشی اسید هیومیک صفات رشدی مانند ارتفاع بوته و وزن هزار دانه را در گندم به‌صورت معنی‌داری افزایش داد (۳۵). تأثیرات مثبت فیزیولوژیکی اسید هیومیک از جمله افزایش متابولیسم درون سلولی و ماندگاری بیشتر برگ‌ها منجر به افزایش عملکرد (۳٤) و زیست‌توده تولیدی ذرت و در نهایت تعداد دانه در ردیف بلال می‌شود (۱۳). در این راستا پژوهشی دیگر بر جو نشان داد که میزان عملکرد دانه، اجزای عملکرد و جذب عناصر مغذی درپی مصرف اسید هیومیک افزایش یافت (۱٤). همچنین قربانی و همکاران (۲۱) نیز بیان داشتند در گیاه ذرت بیشترین عملکرد زیستی و عملکرد دانه به‌ترتیب درنتیجه محلول‌پاشی ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک حاصل شد .

به‌صورت کلی مطالعات نشان داده است که علارغم وجود فسفر در طبیعت، گیاهان همواره به سبب تثبیت شدن این عنصر در بافت خاک با کمبود آن مواجه بوده‌اند. از سوی دیگر در کنار مصرف کودهای شیمیایی فسفره، پیامدهای زیست محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه، مخاطراتی را درپی داشته است. لذا کاربرد کودهای حل‌کننده فسفات نظیر قارچ مایکوریزا و اسید هیومیک رواج یافته است. بنابراین با وجود مطالعاتی که اثر انفرادی کود فسفره، مایکوریزا و اسیدهیومیک را بر عملکرد و جذب عناصر ذرت بررسی کرده‌اند، اما اثر همزمان این سه عامل بر ذرت شیرین مورد مطالعه قرار نگرفته است که در این پژوهش به این مهم پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی همراه با سه تکرار بر ذرت شیرین (هیبرید RS-360) در تابستان سال ۱٤۰۲ اجرا شد. محل اجرای طرح واقع در شهرستان بویراحمد با مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه عرض شمالی، و ٥٤ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی، در ارتفاع ۱۸۷۰ متری از سطح دریا واقع شده است. در این آزمایش عامل اول فسفر در چهار سطح (صفر، ٥۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص از منبع سوپرفسفات‌تریپل)، عامل دوم شامل دو سطح قارچ مایکوریزا (*Funneliformis mosseae*) (عدم کاربرد و کاربرد) و عامل سوم شامل دو سطح محلول‌پاشی اسید هیومیک (صفر و ۲۰ لیتر در هکتار) بود. کود سوپرفسفات‌تریپل و اسید هیومیک استفاده شده در این پژوهش از شرکت زیست فناور سبز تهران و قارچ مایکوریزا آربوسکولار از کلینیک گیاه‌پزشکی ارگانیک همدان تهیه شد. همچنین بذر هیبرید سوپر شیرین مورد استفاده نیز از شرکت ترنم سبز زاینده‌رود (استان اصفهان) خریداری شد.

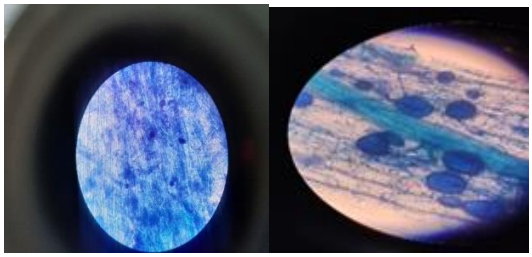
پس از انجام خاکورزی اولیه، فرآیند تسطیح و کرت‌بندی لازم در قالب عملیات آمادهسازی انجام شد. هر کرت آزمایشی شامل ٥ خط کاشت به طول ٥ متر و به فاصله ردیفهای ۷٥ سانتی‌متری بود. فاصله بین کرت‌ها در هر بلوک از یکدیگر ۱ متر و فاصله بین بلوک‌های آزمایشی ۲ متر در نظر گرفته شد. پیش از عملیات کاشت جهت انجام آزمون خاک، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری انجام گرفت و بر مبنای نتایج حاصل از آن (جدول ۱) نیتروژن به میزان ٤۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع کود اوره و پتاسیم به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (از منبع سولفات پتاسیم) به خاک زراعی اضافه شد.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454]

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

اسیدیته	نیتروژن (درصد)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	کربن آلی (درصد)	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	بافت خاک
۷/۲۳	۰/۰۷	۱٤	۱۳۹	۳/۲۰	۰/۳٦	۰/۹	۲۲	٥٦	۲۲	لوم سیلتی



شکل ۱. اندام‌های برون و درون ریشه‌ای قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار در ذرت شیرین

همچنین قبل از فرآیند کاشت، حدود ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار از کود مایکوریزا در عمق چهار الی پنج سانتی‌متری خاک زیر بذر، متناسب با تیمار آزمایش قرار داده شد. کود فسفره نیز با ایجاد یک شیار در وسط ردیف در عمق ۱۰ سانتی‌متری بر اساس سطوح مشخص شده در تیمارها اعمال شد. سپس بذرهای هیبرید رویال اسلویس ذرت شیرین در هفته اول تیر ماه سال ۱٤۰۲ با تراکم شش بوته در مترمربع (فاصله ۲۲ سانتی‌متر از یکدیگر) روی ردیف‌های کاشت در عمق سه الی چهار سانتی‌متری به‌صورت دستی کشت شد. در مرحله چهار برگی عملیات محلول‌پاشی اسید هیومیک با رعایت اصول محلول‌پاشی، صورت پذیرفت. عملیات زراعی دیگر طی مراحل داشت مطابق با نیازهای گیاه و به‌طور یکسان در تمام تیمارها انجام شد. آبیاری به‌صورت قطره‌ای و به کمک نوارهای تیپ در وسط پشته‌ها انجام شد. اولین آبیاری بعد از کاشت صورت گرفت. دومین آبیاری جهت تسریع در سبز شدن دو روز بعد از کاشت انجام گرفت. پس از آن بر اساس نیاز گیاه، درجه حرارت و شرایط جوی هر ۷ تا ۱۰ روز یکبار آبیاری انجام شد. در طول فصل رشد گیاه، مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی و طی چندین نوبت انجام شد.

کلونیزاسیون ریشه: در مرحله گلدهی ذرت، ریشه‌ها پس از برداشت از خاک مزرعه به دقت با آب شسته شده و ۵۰ قطعه یک سانتی‌متری نازک به لوله‌های آزمایش حاوی KOH 10 درصد انتقال داده شد. سپس لوله‌ها به مدت ۳۰ دقیقه درون بن ماری با دمای ۹۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند. زمانی که ریشه‌ها کاملا شفاف و شیشه‌ای شدند با آب و سرکه رقیق شسته شده تا اثر KOH حذف شود. ریشه‌های شفاف به مدت سه دقیقه داخل مخلوط سه درصد جوهر رنگی و اسید استیک ۵ درصد جوشانده شدند. در مرحله بعد عمل رنگ‌بری نمونه‌ها با سرکه خالص انجام شد (۵۹). با تهیه برش نازک از ریشه‌ها، درصد کلونیزاسیون ریشه به کمک میکروسکوپ محاسبه شد (۱۰) (شکل ۱).

اندازه‌گیری محتوای عناصر ماکرو و میکرو در اندام هوایی و دانه: فرایند نمونه‌برداری در اواخر دوره گرده‌افشانی جهت محتوای عناصر اندام هوایی و در مرحله رسیدگی جهت محتوای عناصر دانه انجام گرفت. عصاره موردنیاز برای اندازه‌گیری محتوای عناصر فسفر، پتاسیم، آهن و روی اندام هوایی و دانه به روش هضم خشک تهیه شد. برای این منظور ۰/۵ گرم از نمونه خشک شده در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454]

ساعت خاکستر شد. خاکستر مورد نظر با اضافه کردن ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو نرمال روی هیتر قرار داده شد. با شروع جوشیدن، محلول حاصل از کاغذ صافی عبور داده شد و حجم نمونه‌ها توسط آب دوبار تقطیر به ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. اندازه‌گیری فسفر به روش کالریمتری (رنگ زرد مولیبدات-وانادات) به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر (Lambda EZ 210) در طول موج ٤۲۰ نانومتر (۱۲) و اندازه‌گیری پتاسیم به روش نشر شعله‌ای و با دستگاه فلیم فتومتر (٤۰) انجام شد. محتوای آهن و روی نیز توسط دستگاه جذب اتمی محاسبه شد. محتوای نیتروژن اندام هوایی نیز به روش جداگانه‌ای با دستگاه کجلدال طی سه مرحله هضم، تقطیر و تیتراسیون به‌دست آمد (۲۵).

اندازه‌گیری ارتفاع و اجزای عملکرد: در اواخر دوره گرده‌افشانی ارتفاع شش بوته از سطح زمین تا انتهای تاسل اندازه‌گیری شد و میانگین آن برای هر کرت لحاظ شد. در زمان رسیدگی گیاه ذرت شیرین با در نظر گرفتن اثرات حاشیه‌ای و حذف دو ردیف ابتدا و انتهای هر کرت، همچنین حذف ۵۰ سانتی‌متر از دو طرف هر کرت، سطحی برابر با یک مترمربع برای تعیین صفات اجزای عملکرد برداشت شد. تعداد بلال در بوته، تعداد ردیف دانه در بلال و تعداد دانه در ردیف برای شش بوته اندازه‌گیری شد و میانگین آن‌ها برای هر کرت لحاظ شد. وزن ۱۰۰ دانه نیز بر اساس میانگین ٤ نمونه ۱۰۰ تایی محاسبه شد.

اندازه‌گیری عملکرد زیستی تر و خشک: وزن بوته‌های برداشت شده در یک متر مربع، با رعایت حاشیه، جهت اندازه‌گیری عملکرد زیستی تر محاسبه شد. سپس برای بررسی عملکرد زیستی خشک، نمونه‌های برداشت شده در آون (به مدت ٤۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سلسیوس) قرار گرفتند. داده‌های حاصل بر مبنای کیلوگرم بر هکتار یادداشت شدند.

اندازه‌گیری عملکرد بلال تر و خشک و عملکرد دانه کنسروی: بلال‌های تر در مرحله رسیدگی که رطوبت دانه‌ها حدود ۷۰-۷۵ درصد بود (رنگ دانه‌ها مایل به زرد) با مساحت یک متر مربع با رعایت حاشیه برداشت و توزین گردید. سپس جهت تعیین عملکرد بلال خشک به مدت ٤۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سلسیوس در آون خشک گردید و بر حسب کیلوگرم بر هکتار محاسبه شد. همچنین تعداد شش بلال از هر کرت نیز برای اندازه‌گیری عملکرد دانه کنسروی به‌صورت تصادفی انتخاب شد. با جداکردن دانه‌ها از چوب بلال‌ها و توزین نمودن آن‌ها، عملکرد دانه کنسروی برحسب کیلوگرم بر هکتار گزارش شد.

اندازه‌گیری شاخص برداشت بلال خشک و دانه کنسروی زراعی و اقتصادی: از نسبت عملکرد بلال خشک به عملکرد زیستی خشک (مجموع وزن خشک کل اندام‌های هوایی گیاه) شاخص برداشت بلال خشک به‌دست آمد. از نسبت عملکرد دانه کنسروی به عملکرد زیستی تر (مجموع وزن تر کل اندام‌های هوایی گیاه) شاخص برداشت دانه کنسروی زراعی به‌دست آمد. همچنین از نسبت عملکرد دانه کنسروی به عملکرد بلال تر، شاخص برداشت دانه کنسروی اقتصادی محاسبه شد.

در پایان به کمک نرم‌افزار آماری SAS 9.1 تجزیه واریانس داده‌ها انجام گرفت. سپس مقایسه میانگین داده‌ها به روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج

کلونیزاسیون ریشه: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان از معنی‌داری اثر اصلی مایکوریزا در سطح احتمال خطای یک درصد بر درصد کلونیزاسیون ریشه در ذرت شیرین دارد (جدول ۲). بر اساس مقایسه میانگین‌ها کاربرد مایکوریزا موجب افزایش ۲/۲ برابری درصد کلونیزاسیون ریشه نسبت به عدم کاربرد مایکوریزا شد (جدول ۳).

نیتروژن اندام هوایی و دانه: تجزیه واریانس حاکی از معنی‌دار بودن اثرات اصلی فسفر و مایکوریزا بر درصد نیتروژن اندام

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454]

جدول ۲. نتایج حاصل از تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر فسفر، مایکوریزا و اسید هیومیک بر کلونیزاسیون ریشه، درصد عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در اندام هوایی و دانه ذرت شیرین

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلونیزاسیون ریشه	نیتروژن اندام هوایی	نیتروژن دانه	فسفر اندام هوایی	فسفر دانه	پتاسیم اندام هوایی	پتاسیم دانه	آهن اندام هوایی	آهن دانه	روی اندام هوایی	روی دانه
تکرار	۲	۱۴۱/۴۳ns	۰/۱۳ns	۰/۱۷ns	۰/۰۴ns	۰/۱۱ns	۰/۱۲ns	۰/۰۲ns	۳۳۴/۰۰ns	۳۰۴/۶۹ns	۳۹/۶۳ns	۰/۴۷ns
فسفر (P)	۳	۵۰۶/۴۷ ns	۲/۸۵ **	۶/۷۹**	۰/۳۳**	۰/۷۳ **	۰/۲۴ **	۰/۱۶ ns	۶۳۴۹/۹۷ **	۱۹۲۲۴/۵۱**	۲۹۸۹/۰۰**	۵۱۵۸/۶۱ **
مایکوریزا (M)	۱	۱۲۲۲۸**	۴/۱۴**	۱/۱۱ ns	۱/۱۰**	۱/۷۲**	۰/۲۳ ns	۰/۲۵ ns	۴۷۷۰/۰۴**	۶۰۳۰/۰۸ **	۵۰۹۴/۳۸**	۵۲۷۱/۰۲**
اسید هیومیک (H)	۱	۵۶/۳۳ns	۱/۴ns	۵/۱۸**	۰/۰۵ns	۰/۱۵ns	۰/۲۵ns	۰/۷۶ns	۷۰۱/۵۰ **	۲۰۸۰/۳۳*	۱۲۱/۹ns	۴۲۶**
M × P	۳	۱۵۱/۰۶ ns	۰/۱۷ ns	۰/۵۱ ns	۰/۰۱۷ ns	۰/۱۵ **	۰/۰۲ ns	۰/۰۶ ns	۱۴/۸۸ ns	۱۲۴۴/۲۹ **	۳۶۳/۱۰ **	۱۶۲۸**
H × P	۳	۲۶۱/۰۵ ns	۰/۱۳ ns	۰/۴۶ ns	۰/۰۱۹ ns	۰/۰۳ ns	۰/۰۰۳ ns	۰/۱۴ ns	۳۴/۸۱ ns	۵۱۳/۲۰ ns	۱۹/۹۷ ns	۹۵/۳۶ **
H × M	۱	۶/۷۵ ns	۰/۱۳ ns	۰/۱۳ ns	۰/۱۰ ns	۰/۰۰۸ ns	۰/۰۰۰۰۲ ns	۰/۲۱ ns	۱۰۳/۵۴ ns	۲۴/۰۸ ns	۰/۰۴ ns	۱۴۳/۵۲ **
H × M × P	۳	۱۱۱/۴۷ns	۰/۰۹ns	۰/۱۴ns	۰/۰۰۴ns	۰/۰۱ns	۰/۰۰۳ ns	۰/۸۷**	۲۶۸/۲۹*	۵۵۴/۰۶ns	۹۳/۱۵ns	۶۰/۶۴ *
خطا	۳۰	۱۹۷/۱۰	۰/۲۰	۰/۴۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۱۶	۹۰/۱۶	۲۸۵/۵۴	۳۶/۹۱	۱۹/۶۴
ضریب تغییرات (درصد)		۲۴/۳۴	۱۸/۵۹	۲۲/۸۴	۱۷/۳۴	۱۴/۳۷	۱۵/۱۱	۱۶/۹۳	۱۳/۱۴	۱۶/۹۰	۱۳/۹۱	۸/۲۴

ns و ** به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و معنی‌داری در سطح ۱ درصد را نشان می‌دهد.

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454]
[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر مایکوریزا، فسفر و اسید هیومیک برای کلونیزاسیون ریشه و محتوای برخی عناصر در ذرت شیرین

سطوح تیمار		کلونیزاسیون ریشه (درصد)	نیتروژن اندام هوایی (درصد)	نیتروژن دانه (درصد)	فسفر اندام هوایی (درصد)	پتاسیم اندام هوایی (درصد)	آهن دانه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
مایکوریزا	عدم کاربرد	۲۴/۸^{b}	۲/۱۶^{b}	ns	۰/۹۲^{b}	ns	۷۵/۸^{b}
	کاربرد	۵۶/۸^{a}	۲/۷۵^{a}	ns	۱/۲۲^{a}	ns	۱۱۱^{a}
فسفر (کیلوگرم بر هکتار)	۰	ns	۱/۸۹^{c}	۱/۸۰^{c}	۰/۸۵^{c}	۱/۵۲^{b}	۵۹/۴^{b}
	۵۰	ns	۲/۷۰^{a}	۳/۲۲^{ab}	۱/۰۳^{b}	۱/۶۲^{b}	۷۲/۳^{b}
	۱۰۰	ns	۲/۹۹^{a}	۳/۵۳^{a}	۱/۲۳^{a}	۱/۸۷^{a}	۱۴۰^{a}
	۲۰۰	ns	۲/۲۳^{b}	۲/۸۶^{b}	۱/۱۶^{ab}	۱/۶۸^{ab}	۱۲۷^{a}
اسید هیومیک	عدم کاربرد	ns	ns	۲/۵۲^{b}	ns	ns	۹۳/۴^{b}
	۲۰ لیتر در هکتار	ns	ns	۳/۱۸^{a}	ns	ns	۱۰۶^{a}

در هر ستون و هر تیمار میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

هوایی و اثرات اصلی فسفر و اسید هیومیک بر درصد نیتروژن دانه ذرت شیرین در سطح احتمال خطای یک درصد دارد (جدول ۲). مقایسه میانگین نشان داد با افزایش سطوح فسفر تا سطح ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، انباشتگی نیتروژن در اندام هوایی ذرت شیرین افزایش و سپس در سطح ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت. بیشترین و کم‌ترین درصد نیتروژن اندام هوایی با میانگین‌های ۱/۸۹ و ۲/۹۹ درصد از سطوح صفر و ۱۰۰ کیلوگرم فسفر حاصل شد. اثر مایکوریزا نیز بر درصد نیتروژن اندام هوایی نشان‌دهنده افزایش ۲۷/۳ درصدی در مقایسه با عدم کاربرد مایکوریزا بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر سطوح فسفر بر میزان نیتروژن دانه نشان داد کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار با افزایش ۴۴/۷ درصدی نسبت به تیمار عدم کاربرد فسفر همراه بود. همچنین کاربرد اسید هیومیک نیز درصد نیتروژن دانه را در ذرت شیرین نسبت عدم کاربرد اسید هیومیک به‌میزان ۲۷/۳ درصد افزایش داد (جدول ۳).

فسفر اندام هوایی و دانه: اثر اصلی فسفر و مایکوریزا بر درصد فسفر اندام هوایی و برهم‌کنش فسفر در مایکوریزا بر درصد فسفر دانه در سطح احتمال خطای یک درصد در ذرت شیرین معنی‌دار بود (جدول ۲). کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از کود فسفر و اعمال قارچ مایکوریزا به‌ترتیب عامل افزایش ۴۴/۷ و ۳۲/۶ درصدی فسفر اندام هوایی نسبت به تیمارهای عدم کاربرد شد (جدول ۳). از سوی دیگر بیشترین درصد فسفر دانه (۱/۸۷ درصد) در سطح کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار + کاربرد مایکوریزا به‌دست آمد که با سطح عدم کاربرد فسفر و عدم کاربرد مایکوریزا که از کم‌ترین درصد فسفر دانه برخوردار بود، اختلاف ۱/۱ برابری را نشان داد (جدول ۴).

پتاسیم اندام هوایی و دانه: اثر فسفر بر درصد پتاسیم اندام هوایی و برهم‌کنش سه‌گانه فسفر در مایکوریزا دراسید هیومیک بر درصد پتاسیم دانه در سطح احتمال خطای یک درصد در ذرت شیرین معنی‌دار شدند (جدول ۲). کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار سبب افزایش ۲۳/۰ درصدی محتوای پتاسیم اندام هوایی شد (جدول ۳). بیشترین درصد پتاسیم دانه (۳/۲۴ درصد) نیز از سطح کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به‌همراه کاربرد مایکوریزا و کاربرد اسید هیومیک حاصل شد و

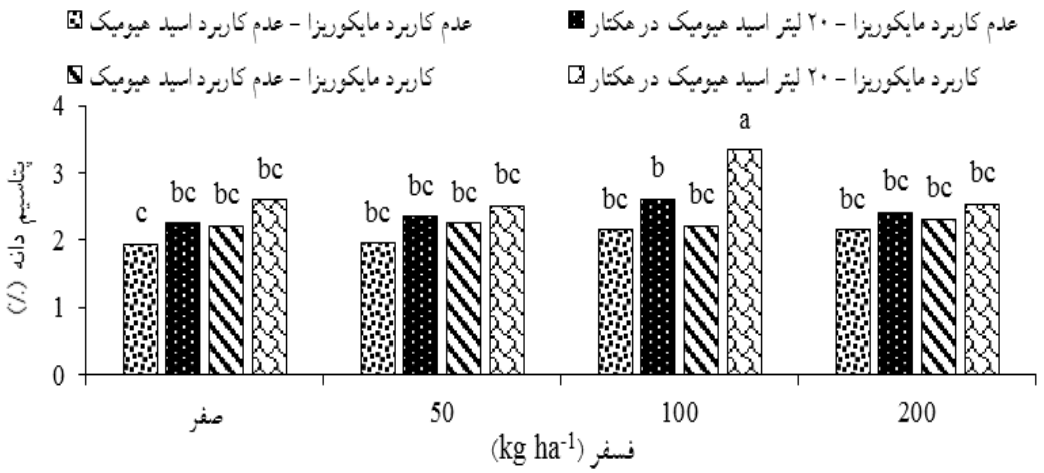
[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454]

جدول ٤. مقایسه میانگین اثر مایکوریزا در فسفر برای فسفر و آهن دانه و روی اندام هوایی در ذرت شیرین

فسفر(کیلوگرم بر هکتار)	مایکوریزا	فسفر دانه (درصد)	آهن دانه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	روی اندام هوایی(میلی‌گرم بر کیلوگرم)
۰	عدم کاربرد	۰/۸۹^{e}	۵۳/٦^{d}	۱۸/٤^{d}
	کاربرد	۱/۰٤^{de}	٦۵/۲^{cd}	۲٤/۱^{cd}
۵۰	عدم کاربرد	۱/۰۵^{de}	٦۰/۳^{d}	۲۸/۵^{c}
	کاربرد	۱/۲۸^{c}	۸٤/۲^{c}	٦۰/٦^{a}
۱۰۰	عدم کاربرد	۱/۲۳^{cd}	۱۱۵^{b}	٤٦/۰^{b}
	کاربرد	۱/۸۷^{a}	۱٦۵^{a}	٦۷/۷^{a}
۲۰۰	عدم کاربرد	۱/۱۱^{cde}	۱۲۵^{b}	٤۰/٦^{b}
	کاربرد	۱/۵۹^{b}	۱۲۹^{b}	٦۳/٤^{a}

در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.



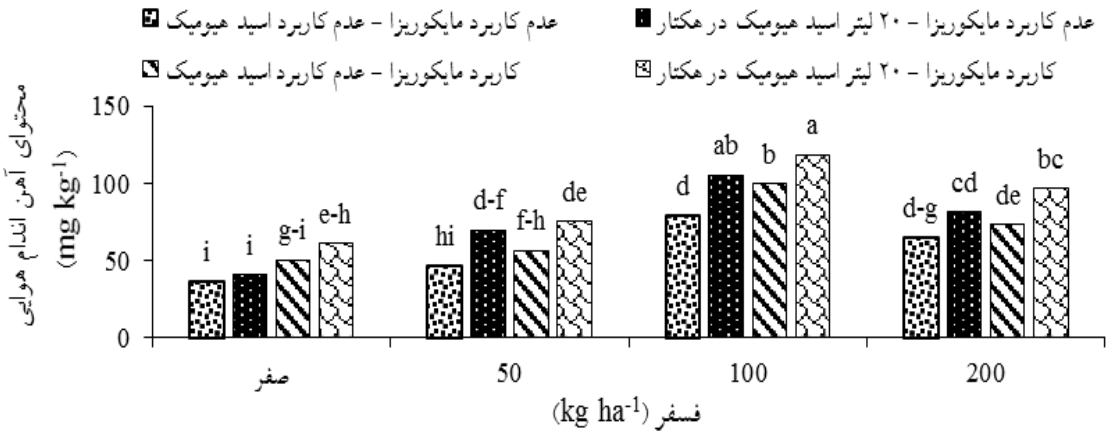
شکل ۲. مقایسه میانگین برهم‌کنش فسفر، مایکوریزا و اسید هیومیک برای درصد پتاسیم دانه در ذرت شیرین. میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

کم‌ترین میزان (۱/۹٤ درصد) مربوط به تیمار شاهد بود (شکل ۲).

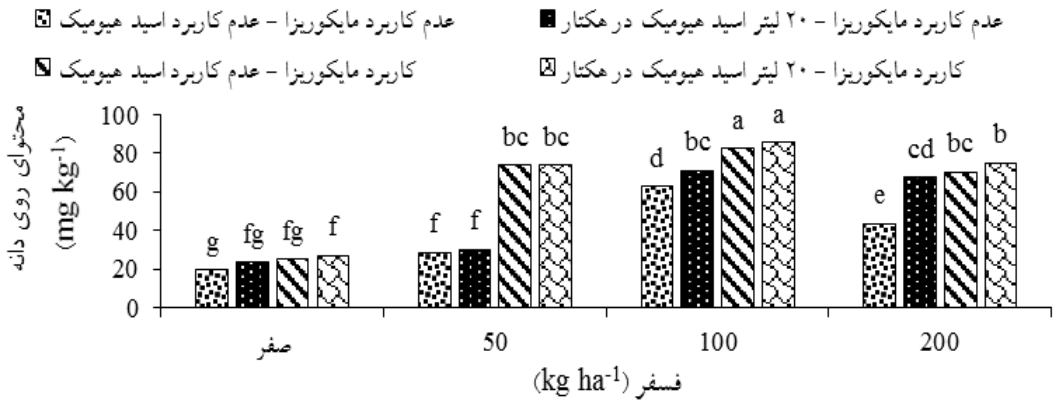
آهن اندام هوایی و دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده معنی‌داری برهم‌کنش سه‌گانه فسفر × مایکوریزا × اسید هیومیک بر محتوای آهن اندام هوایی و معنی‌داری برهم‌کنش دوگانه فسفر × مایکوریزا بر محتوای آهن دانه در سطح احتمال خطای یک درصد می‌باشد (جدول ۲). مشاهده شد که مصرف فسفر تا سطح ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اثر افزایشی بر محتوای آهن اندام هوایی داشته است و کاربرد مایکوریزا و اسید هیومیک نیز در این روند افزایشی تاثیر مثبتی بر جای گذاشته‌اند. بیشترین محتوای آهن اندام هوایی (با میانگین ۱۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در شرایط کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار + مایکوریزا + اسید هیومیک و کم‌ترین آن نیز (با میانگین ۳٦/٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار شاهد حاصل شد (شکل ۳). بیشترین محتوای آهن دانه نیز با میانگین ۱٦۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در سطح ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار و کاربرد مایکوریزا به‌دست آمد که نسبت به عدم کاربرد این تیمارها افزایش ۲/۱ برابری را

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454]



شکل ۳. مقایسه میانگین برهم‌کنش فسفر، مایکوریزا و اسید هیومیک برای محتوای آهن اندام هوایی در ذرت شیرین. میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.



شکل ٤. مقایسه میانگین برهم‌کنش فسفر، مایکوریزا و اسید هیومیک برای محتوای روی دانه در ذرت شیرین. میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

نشان داد (جدول ٤). محتوای آهن دانه همچنین تحت اعمال محلولپاشی اسید هیومیک نیز به میزان ۱٤/۱ درصد افزایش یافت (جدول ۳).

روی اندام هوایی و دانه: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) معنی‌داری برهم‌کنش فسفر و مایکوریزا بر محتوای روی اندام هوایی و معنی‌داری برهم‌کنش فسفر، مایکوریزا و اسید هیومیک بر محتوای روی دانه را به‌ترتیب در سطح احتمال خطای یک و پنج درصد در ذرت شیرین نشان می‌دهد. بیشترین محتوای روی اندام هوایی با میانگین ٦۷/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم از تیمار ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار + کاربرد مایکوریزا حاصل شد که با سطوح ۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار + کاربرد مایکوریزا در یک گروه آماری قرار گرفت و نسبت به شاهد با افزایش ۲/٦۸ برابری همراه بود (جدول ٤). همچنین بیشترین محتوای روی دانه با میانگین ۸۵/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شرایط تیمار ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار + کاربرد مایکوریزا + کاربرد اسید هیومیک و کم‌ترین آن نیز با میانگین ۱۹/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار شاهد حاصل شد (شکل ٤).

ارتفاع بوته: مطابق با جدول ۵ برهم‌کنش فسفر در مایکوریزا و همچنین اثر اصلی اسید هیومیک در سطح احتمال خطای یک

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]
[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454]

جدول ۵. نتایج حاصل از تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر فسفر، مایکوریزا و اسید هیومیک بر ارتفاع و اجزای عملکرد ذرت شیرین

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد ردیف در بلال	تعداد دانه در ردیف
تکرار	۲	٤٤/۳^{ns}	۰/٤۳^{ns}	۱۳/۵^{ns}
فسفر(P)	۳	۱۹۲۰ **	۷/۲۵**	۳۷/٦ ^{ns}
مایکوریزا (M)	۱	۲۸۰٦**	۰/۷۵ ^{ns}	۲۵/۵ ^{ns}
اسید هیومیک (H)	۱	۲۵٤۸**	۰/۰۸ ^{ns}	۷/۵۲^{ns}
M × P	۳	٤۷۲**	۳/۹۱ ^{ns}	۸/۹۰ ^{ns}
H × P	۳	۸/۵٦^{ns}	۰/٤۷ ^{ns}	۱۱/۳ ^{ns}
H × M	۱	۱٤/٤^{ns}	۰/۷۵ ^{ns}	۰/۱۸ ^{ns}
H × M × P	۳	۷٦/۵^{ns}	۳/۵۸^{ns}	۵۸/٦*
خطا	۳۰	۱۰۳	۱/۵۷	۱٦/۰۷
ضریب تغییرات (درصد)		۷/٦٤	۸/٤۲	۱۰/۱

^{ns} و ** به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد را نشان می‌دهد.

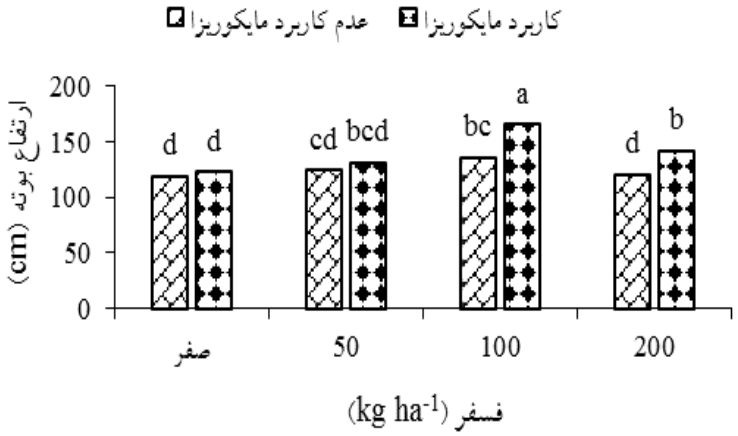
ادامه جدول ۵. نتایج حاصل از تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر فسفر، مایکوریزا و اسید هیومیک بر عملکرد و شاخص برداشت ذرت شیرین

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد بلال تر	عملکرد بلال خشک	عملکرد دانه کنسروی	عملکرد زیستی خشک	شاخص برداشت بلال خشک	شاخص برداشت دانه کنسروی زراعی	شاخص برداشت دانه کنسروی اقتصادی
تکرار	۲	٦۲٤٦۱۸۷۷^{ns}	۱۳۵۲۵۵^{ns}	۱۳۷۳٦۲۸۹^{ns}	۸٤۱۰۰۷^{ns}	۰/٤۷^{ns}	۳/۱٤^{ns}	۲/۸۰^{ns}
فسفر(P)	۳	٤۵٤۰۳۸۰۹۷**	۹۹٤۷۸۳۲**	۱۷۸۰۷۲٤۰۲**	۷٤۸۸۸٤۱^{ns}	۳۹۵ **	٤۹/۳**	۲۱۳**
مایکوریزا (M)	۱	۳٤۲۱۳۹۱٤۲*	۳۲۳۸۸۵۱٦*	۲۱۵۸٦۳۲۰۹**	٤۳٦٤۰۱^{ns}	٤۷/۳ ^{ns}	۸۱/۲**	۳۲۷**
اسید هیومیک (H)	۱	۱٤۱۸۲۰۸۹^{ns}	۱۲۲۳۹۳۳۱**	۳۸۵۷٤۷۰۵*	۱۲۳۰۳۹۸۱^{ns}	۱۷٦ *	٤۲/۲**	۱۱٤*
M × P	۳	۲۱۳۰۹۲٦٤۲*	٦٦۱٦۰۳^{ns}	٦۱۲۲۲۳۹۲**	۵٦۹۱۷۷٤^{ns}	۱۲/۲ ^{ns}	۳۰/۷**	۸۵/۸*
H × P	۳	۱۱۲٦۹۹٤۹^{ns}	۱۳۳۹۹٤۰^{ns}	۱٤۵۸۲۲٤۰ ^{ns}	۳۹۷۷۳٦۰^{ns}	۸٤/۵ *	۹/۵٤^{ns}	۵۷/٦^{ns}
H × M	۱	۹۹٤۲۳۸٦۸^{ns}	۳۵۷۲۵۷۲^{ns}	٤۲٦۷۵۲۲^{ns}	۱۵۹۹۹۰۳۱*	۰/۰٦ ^{ns}	۷/۸۲^{ns}	۲۷/۷^{ns}
× M × P H	۳	۵٦۱۷۱۱٦٤^{ns}	۱۰۲۳۲۵۰^{ns}	۵۳۹۳٤۵۹^{ns}	۷۱۲۲۳۸۷^{ns}	۳٤/۵ ^{ns}	۷/۱۰^{ns}	۳۳/٤^{ns}
خطا	۳۰	۵۸۱۲۸۰٤٤	٤۹۷۳۹۳	۷۵۸٦۹۳٦	۲۹۹٦۵۹٤	۲۷/۲	۳/٤۷	۲۲/۹
ضریب تغییرات (درصد)		۱۷/۰	۱۰/۵	۱٤/٦	۹/۲۹	۱٤/۳	۱۳/۸	۱۱/۵

^{ns} و ** به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و معنی‌داری در سطح ۱ درصد را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454]



شکل ۵.مقایسه میانگین برهم‌کنش فسفر و مایکوریزا برای ارتفاع بوته در ذرت شیرین. میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

جدول ٦. مقایسه میانگین اثر مایکوریزا، فسفر و اسید هیومیک ارتفاع بوته، تعداد ردیف در بلال، عملکرد بلال خشک

	سطوح تیمار	ارتفاع (سانتی‌متر)	تعداد ردیف در بلال	عملکرد بلال خشک (کیلوگرم بر هکتار)
مایکوریزا	عدم کاربرد	۱۲٤^{b}	ns	٦٤۳۸^{b}
	کاربرد	۱۳۹^{a}	ns	٦۹٥٤^{a}
فسفر (kg.ha^{-1})	۰	۱۲۰^{c}	۱٤/۰^{c}	٥٥٥۱^{c}
	٥۰	۱۲۷^{bc}	۱٤/٥^{bc}	٦۹۲۲^{bc}
	۱۰۰	۱٥۰^{a}	۱٥/۷^{a}	۷۷٤۹^{a}
	۲۰۰	۱۳۱^{b}	۱٥/۲^{ab}	٦٥٦۹^{b}
اسید هیومیک	عدم کاربرد	۱۲٥^{b}	ns	٦۱۹۳^{b}
	۲۰ لیتر در هکتار	۱۳۹^{a}	ns	۷۲۰۳^{a}

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

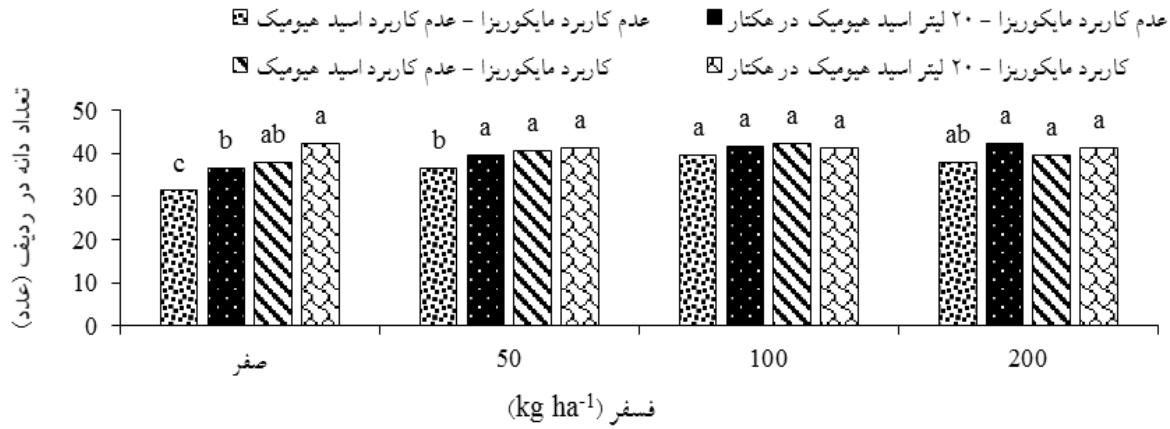
درصد بر ارتفاع بوته ذرت شیرین معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش نشان داد بیشترین ارتفاع بوته با میانگین ۱٦٥ سانتی‌متر از تیمار کاربرد تلفیقی ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار + مایکوریزا و کم‌ترین ارتفاع بوته با میانگین ۱۱۹ سانتی‌متر از تیمار عدم کاربرد فسفر و مایکوریزا حاصل شد (شکل ۵). اثر اسید هیومیک بر ارتفاع بوته نیز حاکی از افزایش ۱۱/٦ درصدی در مقایسه با تیمار عدم کاربرد بود (جدول ٦).

اجزای عملکرد

تعداد ردیف در بلال: اثر اصلی فسفر در سطح احتمال خطای یک درصد بر تعداد ردیف در بلال ذرت شیرین معنی‌دار شد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین تعداد ردیف در بلال (۱٥/۷ عدد) از تیمار کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار نشان نداد. کم‌ترین تعداد ردیف در

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454]



شکل ٦. مقایسه میانگین برهم‌کنش فسفر، مایکوریزا و اسید هیومیک برای تعداد دانه در ردیف در ذرت شیرین. میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

بلال نیز از تیمار شاهد (عدم کاربرد فسفر) با میانگین ١٤ به‌دست آمد (جدول ٦).

تعداد دانه در ردیف: نتایج تجزیه واریانس (جدول ٥) معنی‌داری برهم‌کنش سه‌گانه فسفر، مایکوریزا و اسید هیومیک در سطح احتمال خطای پنج درصد بر تعداد دانه در ردیف را نشان داد. مقایسه میانگین داده‌ها حاکی از آن است که در هر یک از سطوح فسفر، کاربرد مایکوریزا + محلول پاشی ٢٠ لیتر در هکتار اسید هیومیک بیشترین میزان تعداد دانه در ردیف را سبب شده است. با این وجود در سطح ١٠٠ و ٢٠٠ کیلوگرم فسفر در هکتار بین سطوح تیماری مورد بررسی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و تنها در سطوح صفر و ٥٠ کیلوگرم فسفر در هکتار اثر مثبت اسید هیومیک، مایکوریزا و ترکیب آن‌ها مشاهده شد (شکل ٦).

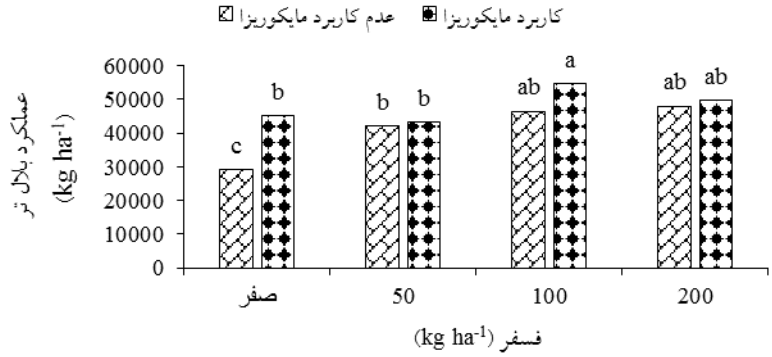
عملکرد بلال تر و عملکرد بلال خشک:

تجزیه واریانس نشان داد برای عملکرد بلال تر برهم‌کنش فسفر و مایکوریزا در سطح احتمال خطای پنج درصد و برای عملکرد بلال خشک اثرات اصلی فسفر و اسید هیومیک در سطح احتمال خطای یک درصد و اثر اصلی مایکوریزا در سطح احتمال خطای پنج درصد در ذرت شیرین معنی‌دار شدند (جدول ٥). بیشترین عملکرد بلال تر با میانگین ٥٤٦٥٠ کیلوگرم در هکتار از تیمار کاربرد تلفیقی ١٠٠ کیلوگرم فسفر در هکتار به‌همراه مایکوریزا حاصل شد. همچنین کم‌ترین عملکرد بلال تر با میانگین ٢٩٠٦٢ کیلوگرم در هکتار از تیمار عدم کاربرد فسفر و مایکوریزا حاصل شد (شکل ٧). مقایسه میانگین اثر فسفر بر عملکرد بلال خشک نشان دهنده روند صعودی تا سطح ١٠٠ کیلوگرم فسفر در هکتار بود. بیشترین عملکرد بلال خشک با میانگین ٧٧٤٩ کیلوگرم در هکتار از سطح ١٠٠ کیلوگرم فسفر در هکتار و کم‌ترین آن نیز با میانگین ٥٥٥١ کیلوگرم در هکتار از تیمار عدم کاربرد فسفر حاصل شد (جدول ٦). مطابق جدول ٦ کاربرد مایکوریزا به‌طور معنی‌داری عملکرد بلال خشک را به میزان ٨ درصد نسبت به عدم کاربرد مایکوریزا افزایش داد. اعمال محلول‌پاشی ٢٠ لیتر در هکتار از اسید هیومیک نیز موجب بهبود ١٦/٣ درصدی این صفت نسبت به عدم کاربرد اسید هیومیک شد.

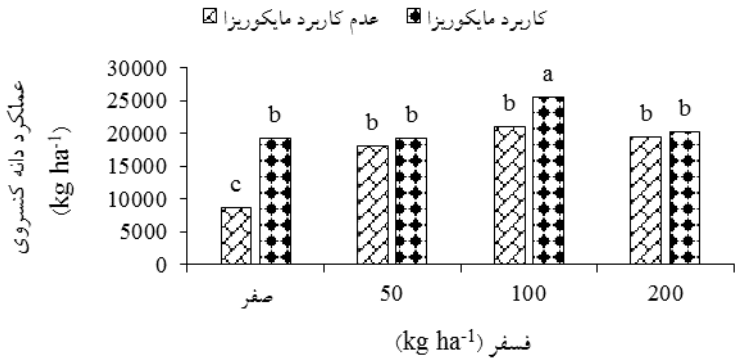
عملکرد دانه کنسروی: نتایج تجزیه واریانس (جدول ٥) معنی‌داری برهم‌کنش فسفر و مایکوریزا در سطح احتمال خطای یک درصد و اثر اصلی اسید هیومیک در سطح احتمال خطای پنج درصد بر عملکرد دانه کنسروی در ذرت شیرین را نشان می‌دهد. بیشترین میزان عملکرد دانه کنسروی (٢٥٤٨٨ کیلوگرم

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454]



شکل ۷. مقایسه میانگین برهم‌کنش فسفر و مایکوریزا برای عملکرد بلال تر در ذرت شیرین. میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.



شکل ۸. مقایسه میانگین برهم‌کنش فسفر و مایکوریزا برای عملکرد دانه کنسروی در ذرت شیرین. میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر اسید هیومیک برای عملکرد دانه کنسروی و شاخص برداشت دانه کنسروی زراعی و اقتصادی در ذرت شیرین

اسید هیومیک (لیتر در هکتار)	عملکرد دانه کنسروی (کیلوگرم بر هکتار)	شاخص برداشت دانه کنسروی زراعی (کیلوگرم بر هکتار)	شاخص برداشت دانه کنسروی اقتصادی (کیلوگرم بر هکتار)
عدم کاربرد	۱۷۹۸۳^{b}	۱۲/۵^{b}	۴۰/۲^{b}
۲۰ لیتر در هکتار	۱۹۷۷۶^{a}	۱۴/۴^{a}	۴۲/۳^{a}

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

بر هکتار) در سطح کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار + کاربرد مایکوریزا به‌دست آمد که با سطح عدم کاربرد فسفر و عدم کاربرد مایکوریزا که از کم‌ترین درصد فسفر دانه برخوردار بود، اختلاف ۱/۹۴ برابری را نشان داد (شکل ۸). اثر اسید هیومیک بر عملکرد دانه کنسروی نیز نشان داد با کاربرد ۲۰ لیتر در هکتار اسید هیومیک، این صفت به میزان ۹/۹۷ درصد در مقایسه با عدم کاربرد اسید هیومیک افزایش یافت (جدول ۷).

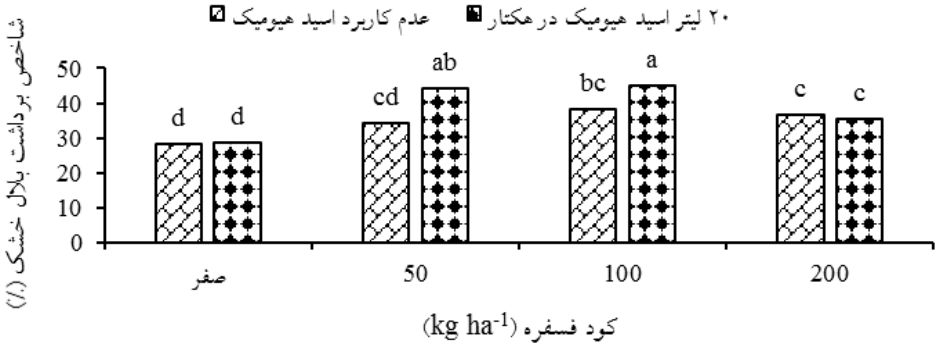
[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454]

جدول ۸. مقایسه میانگین اثر مایکوریزا × فسفر برای عملکرد زیستی خشک در ذرت شیرین

اسید هیومیک	مایکوریزا	عملکرد زیستی خشک (کیلوگرم بر هکتار)
عدم کاربرد	عدم کاربرد	۱۷۶۳۱^{b}
	کاربرد	۱۸۴۵۲^{ab}
کاربرد ۲۰ لیتر در هکتار	عدم کاربرد	۱۸۵۹۳^{a}
	کاربرد	۱۹۷۹۷^{a}

در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.



شکل ۹. مقایسه میانگین برهم‌کنش فسفر و اسید هیومیک برای شاخص برداشت بلال خشک در ذرت شیرین. میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

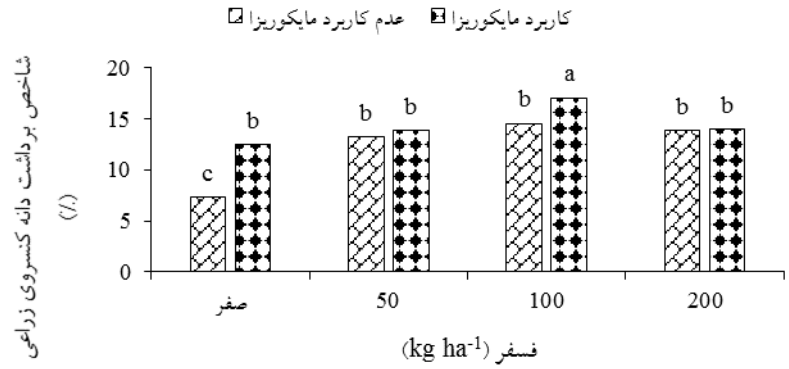
عملکرد زیستی خشک: مطابق با جدول تجزیه واریانس برهم‌کنش مایکوریزا و اسید هیومیک در سطح احتمال خطای پنج درصد بر عملکرد زیستی خشک در ذرت شیرین معنی‌دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین بیانگر آن است که محلول پاشی ۲۰ لیتر اسید هیومیک در هکتار + کاربرد مایکوریزا موجب افزایش ۱۲/۲ درصدی عملکرد زیستی خشک نسبت به سطح عدم کاربرد اسید هیومیک + عدم کاربرد مایکوریزا شد که از کم‌ترین میزان برخوردار بود (جدول ۸).

شاخص برداشت بلال خشک و دانه کنسروی زراعی و اقتصادی:

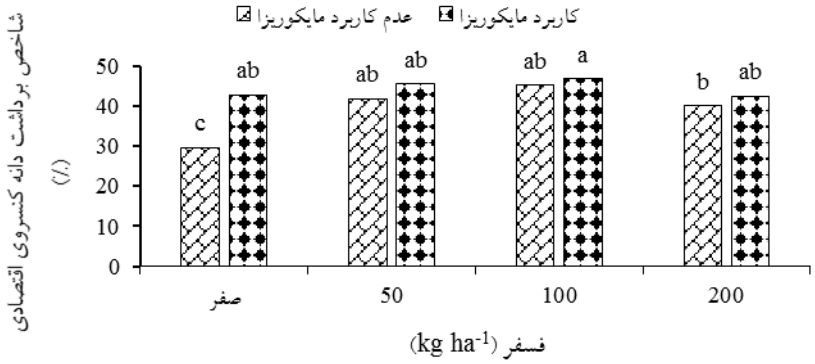
برهم‌کنش فسفر و اسید هیومیک در سطح احتمال خطای پنج درصد بر شاخص برداشت بلال خشک، برهم‌کنش فسفر و مایکوریزا و اثر اصلی اسید هیومیک در سطح احتمال خطای یک درصد بر شاخص برداشت دانه کنسروی زراعی و برهم‌کنش فسفر و مایکوریزا و همچنین اثر اصلی اسید هیومیک در سطح احتمال خطای پنج درصد بر شاخص برداشت دانه کنسروی اقتصادی در ذرت شیرین معنی‌دار شد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین و کم‌ترین شاخص برداشت بلال خشک با اختلاف ٥٦/٧ درصد به تیمارهای ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار + محلول پاشی اسید هیومیک و عدم کاربرد فسفر + عدم کاربرد اسید هیومیک تعلق داشت (شکل ۹). بیشترین محتوای شاخص برداشت دانه کنسروی زراعی و اقتصادی نیز با میانگین‌های ۱۷/۱ و ٤٦/٨ درصد در سطح کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار + مایکوریزا به‌دست آمد که با سطح عدم کاربرد فسفر و عدم کاربرد مایکوریزا که از کم‌ترین میزان برخوردار بود، افزایش ۱۳۳ و ۵۸/۲ درصدی را نشان داد (شکل ۱۰ و ۱۱). همچنین مشاهده شد که کاربرد اسید هیومیک، شاخص برداشت دانه کنسروی زراعی و اقتصادی را

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454]



شکل ۱۰. مقایسه میانگین برهم‌کنش فسفر و مایکوریزا برای شاخص برداشت دانه کنسروی زراعی در ذرت شیرین. میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.



شکل ۱۱. مقایسه میانگین برهم‌کنش فسفر و مایکوریزا برای شاخص برداشت دانه کنسروی اقتصادی در ذرت شیرین. میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

نسبت عدم کاربرد اسید هیومیک به‌میزان ۱۵/۱ و ۵/۱۹ درصد افزایش داد (جدول ۷).

بحث

کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار یکی از شاخص‌های کلیدی در ارزیابی اثربخشی این همزیستی در گیاهان زراعی است. قلعه‌قافی و همکاران (۱۹) گزارش کردند که گیاهان ذرت تلقیح‌شده با قارچ‌های مایکوریزا، میزان کلونیزاسیون ریشه‌ای بالاتری نسبت به گیاهان شاهد بدون مایکوریزا نشان دادند. در این فرآیند، شبکه هیف‌های قارچی به‌منزله امتداد سامانه ریشه‌ای عمل کرده و نقش ریشه‌های ثانویه را ایفا می‌کنند. این هیف‌ها، به‌دلیل قطر بسیار اندک (حدود ۲ تا ۵ میکرومتر)، قادر به نفوذ در منافذ بسیار ریز خاک هستند؛ منافذی که حتی تارهای کشنده گیاه نیز معمولاً توان ورود به آن‌ها را ندارند. به‌واسطه این ویژگی، قارچ‌ها توان جذب مؤثرتر آب و عناصر غذایی را داشته و درنتیجه، نسبت همزیستی گیاه با مایکوریزا در مقایسه با تیمارهای فاقد قارچ به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد (۱).

کاربرد سطوح مختلف کودهای فسفر، مایکوریزا و ترکیبات هیومیکی تأثیر قابل‌توجهی بر جذب عناصر ماکرو و میکرو در اندام‌های هوایی و دانه گیاهان دارد. گزارش شده است که

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454]

افزایش نیتروژن در گیاهان، در پی مصرف کود فسفر، احتمالاً ناشی از بهبود دسترسی به فسفر و تسهیل در جذب و انتقال نیتروژن به گیاه است (١٤). این یافته با نتایج صادقی و همکاران (٤٨) در مورد گیاه کلزا هم‌راستا بوده است. آن‌ها اشاره کرده‌اند که مصرف کود فسفره با بهبود رشد ریشه و افزایش سطح جذب، موجب ارتقاء جذب نیتروژن در کلزا می‌شود. در همین زمینه، تلقیح گیاهان با قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار با بهبود خصوصیات هیدرولیکی ریشه، سامانه‌ای کارآمد برای جذب آب و عناصر غذایی فراهم می‌آورد که می‌تواند به افزایش جذب نیتروژن در اندام هوایی کمک کند. اگرچه در این پژوهش تأثیر معنی‌داری از مایکوریزا بر نیتروژن دانه مشاهده نشد، اما بوستانی و فرخ‌نژاد (١١) نشان دادند که کاربرد مایکوریزا در ذرت باعث افزایش معنی‌دار نیتروژن دانه می‌شود. از سوی دیگر، اسید هیومیک از طریق تحریک جذب نیترات (NO_3^-)، افزایش بیان ناقل‌های نیتروژن در سطح غشاء سلولی و تغییر در توازن کاتیونی، جذب نیتروژن را بهبود می‌بخشد. علاوه بر آن، اثرات شبه‌هورمونی مشابه جیبرلین نیز می‌تواند در این روند مؤثر باشد (٤).

داده‌های این پژوهش حاکی از آن است که کاربرد کود فسفر تا سطح ١٠٠ کیلوگرم در هکتار، منجر به افزایش درصد فسفر در اندام هوایی و دانه شد، اما در سطح ٢٠٠ کیلوگرم، این روند متوقف شد. این پدیده را می‌توان ناشی از تثبیت فسفات‌های غیرآلی به‌صورت کمپلکس‌های فسفات آهن و فسفات آلومینیوم دانست که انتقال فسفر به اندام‌های هوایی را محدود می‌سازد (١٤). در این میان، مایکوریزا با افزایش جذب و تخلیه فسفر از طریق میسیلیوم‌ها در ناحیه ریزوسفر، نقش مهمی ایفا می‌کند (٣٣). همچنین با تأثیر غیرمستقیم بر ویژگی‌های ریزوسفر مانند تغییر pH و الگوی گسترش سامانه ریشه‌ای، جذب فسفر را افزایش می‌دهد. پژوهشگران گزارش داده‌اند کاربرد ٦٠ کیلوگرم در هکتار مایکوریزا + ٥٠ درصد کود شیمیایی فسفر، موجب افزایش ٢٩/٤ درصدی محتوای فسفر دانه ذرت شد (٢٣). از دیگر اثرات هم‌افزایی مصرف فسفر، می‌توان به افزایش جذب پتاسیم اشاره کرد. بر اساس نتایج صادقی و همکاران (٤٨)، افزایش سطوح فسفر با تحریک رشد ریشه موجب جذب بیشتر پتاسیم می‌شود. در این پژوهش نیز به‌نظر می‌رسد کاربرد سطح ١٠٠ کیلوگرم فسفر در هکتار باعث رشد بیشتر ریشه و افزایش ظرفیت تبادلی آن و در نهایت جذب پتاسیم بیشتر شده است. در کنار آن، قارچ مایکوریزا از طریق تولید پروتون، سیدروفورها و کمپلکس‌سازی با کاتیون‌های فلزی در آزادسازی پتاسیم از کانی‌ها مؤثر بوده است. مطابق گزارش بوستانی و فرخ‌نژاد (١١)، مایکوریزا منجر به افزایش غلظت پتاسیم در اندام هوایی و دانه ذرت شد. از طرف دیگر، ترکیبات هیومیکی با بهبود رشد سامانه ریشه‌ای و تأمین رطوبت لازم، فعالیت آنزیمی و شبه‌هورمونی را افزایش داده و جذب عناصر غذایی را تسهیل می‌کنند؛ چنانکه کیانی و همکاران (٣٠) نیز افزایش درصد پتاسیم برگ ذرت را در پاسخ به مصرف اسید هیومیک گزارش دادند. با این حال، کود دهی فسفر از سطح ١٠٠ به ٢٠٠ کیلوگرم در هکتار منجر به کاهش جذب آهن شد. این کاهش ممکن است ناشی از اثر آنتاگونیستی فسفر بر جذب آهن باشد. در سطوح بالای فسفر، رقابت بین فسفر و سیترات، به‌عنوان عامل انتقال آهن، مانع از انتقال مؤثر آهن به اندام‌های گیاه می‌شود (٣٢). از سوی دیگر، قارچ مایکوریزا از طریق ترشح سیدروفورها و کلاته‌کردن آهن در شرایط کمبود این عنصر در خاک، توانایی گیاه در جذب آهن را افزایش می‌دهد (٢٦). این سازوکار موجب افزایش غلظت آهن در اندام هوایی و دانه می‌شود. همچنین، کیانی و همکاران (٣٠) بیان کردند که مولکول‌های اسید هیومیک (ناشی از مصرف ٤ لیتر در هکتار) با عبور از غشاء سلولی و احیای آهن در آپوپلاست، در دسترس بودن آهن را برای گیاه افزایش می‌دهند.

فسفر با بهبود رشد ریشه و ساقه، جذب نیتروژن را نیز تسهیل می‌کند و این امر می‌تواند به افزایش دسترسی گیاه به سایر عناصر از جمله روی منجر شود. مایکوریزا نیز در این خصوص مؤثر بوده و طبق گزارش قلعه‌قافی و همکاران (١٩)، جذب عناصر کم‌تحرک مانند روی را در گیاهان تلقیح‌شده

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454]

افزایش می‌دهد. رجالی و همکاران (۴۳) نیز به این نتیجه رسیدند که گسترش شبکه میسیلیومی مایکوریزا در پیرامون ریشه، جذب روی در گندم را افزایش می‌دهد. در کنار این‌ها، ترکیبات هیومیکی با تحریک فعالیت میکروبی، افزایش نفوذپذیری غشاء و تقویت سامانه‌های آنزیمی، به جذب مؤثرتر عناصر میکرو از جمله روی کمک می‌کنند. بر اساس یافته‌های پژوهشگران، اسید هیومیک با کاهش علائم کلروز، بهبود جذب روی، و افزایش رشد ریشه‌ها نقش بسزایی در تغذیه گیاه دارد (۴۷).

در پژوهشی که بر گیاه ذرت انجام شد، بیشترین ارتفاع بوته از تیمار با کاربرد ۱۷۲ کیلوگرم فسفر و کمترین آن از تیمار فاقد فسفر به‌دست آمد (۹). محققان این مطالعه افزایش ارتفاع بوته را به اثر مثبت فسفر بر گسترش سامانه ریشه‌ای و بهبود جذب عناصر غذایی، به‌ویژه نیتروژن، نسبت دادند. یافته‌های پژوهش حاضر نیز با نتایج مذکور هم‌راستا بوده و نشان می‌دهد که کاربرد فسفر می‌تواند به‌صورت غیرمستقیم از طریق ارتقاء توان جذب مواد غذایی، موجب رشد بیشتر اندام‌های هوایی شود. علاوه بر آن، قارچ‌های مایکوریزا نیز با تولید و ترشح ترکیبات محرک رشد و هورمون‌های تنظیم‌کننده مانند سیتوکینین، می‌توانند نقش مهمی در افزایش ارتفاع بوته ایفا کنند (۴۱). افزایش ۶۱/۶ درصدی ارتفاع کنجد درپی کاربرد ۵ کیلوگرم در هکتار مایکویزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی توسط مرادی شهدادی و همکاران (۳۷) مورد تأیید قرار گرفته است. از سوی دیگر، اسید هیومیک نیز با افزایش محتوای نیتروژن در گیاه، تأثیر مثبتی بر رشد و افزایش ارتفاع در گونه‌هایی مانند تریتیکاله داشته است (۳۶). در همین راستا، محلول‌پاشی اسید هیومیک به‌واسطه تحریک تولید هورمون‌های رشد نظیر اکسین، سیتوکینین و جیبرلین، در افزایش رشد عمودی گیاه نقش مؤثری ایفا می‌کند (۵).

پژوهشگران افزایش تعداد ردیف در بلال در شرایط مصرف فسفر را به افزایش مواد پرورده اختصاص‌یافته به مقصد نسبت داده‌اند. در این راستا آزمایشی روی ذرت نشان داد که مصرف کود فسفره، موجب افزایش معنی‌دار تعداد ردیف دانه در بلال نسبت به عدم کاربرد آن شده است که دلیل این برتری، به بهبود کارایی جذب فسفر نسبت داده شده است (۶). در این پژوهش نیز اعمال کود فسفره با افزایش جذب عناصر ماکرو از جمله فسفر همراه شد. به‌دلیل نقش موثر فسفر در فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاهان مانند فتوسنتز و تبدیل قند به نشاسته، افزایش جذب فسفر (جدول ۲) با تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به بلال در مرحله پر شدن دانه باعث کاهش طول کچلی بلال و افزایش تعداد دانه در ردیف بلال می‌شود (۱۶). به‌نظر می‌رسد حضور مایکوریزا در محیط ریشه با فراهمی نیتروژن و جذب فسفر نامحلول موجود در خاک (جدول ۲) در مرحله رشد زایشی ذرت شیرین منجر به اختصاص مواد فتوسنتزی بیشتری به تولید دانه در بلال شده است. توکلی اوجانی و همکاران (۵۷) اظهار داشتند همزیستی مایکوریزایی با گیاه ذرت، شیره پرورده کافی را به دانه‌ها انتقال داده و به‌دنبال آن تعداد دانه در ردیف بلال افزایش می‌یابد. محلول‌پاشی اسید هیومیک نیز موجب تحریک جذب عناصر غذایی، بهبود انتقال مواد مغذی به دانه‌ها و افزایش تقسیم سلولی در بافت‌های زایشی می‌شود. ویسی و همکاران (۵۸) گزارش دادند بالاترین تعداد دانه در طبق گیاه آفتابگردان در سطح ۵۰ درصد کود شیمیایی با کاربرد ۸ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و قارچ *F. mosseae* حاصل شد. با این وجود باید اشاره داشت که در این آزمایش سطوح بالای فسفر، نیاز گیاه به این عنصر را به‌طور کامل برآورده نموده و مازاد فسفر موجود در خاک، اثرات مکمل اسید هیومیک و مایکوریزا را کاهش داده است.

افزایش مصرف فسفر به‌واسطه افزایش قدرت رویشی و زایشی گیاه، اجزای عملکرد و تولید بلال بیشتر موجب افزایش عملکرد بلال در ذرت شیرین می‌شود. همچنین می‌توان بیان نمود فسفر عنصر کلیدی است که باعث ذخیره و انتقال انرژی شیمیایی در گیاه، تسریع در رشد و رسیدگی محصول می‌شود، به‌همین دلیل تأثیر مستقیمی بر عملکرد بلال گیاه دارد (۴۲). در این رابطه افزایش عملکرد بلال به‌واسطه افزایش مصرف فسفر

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454]

در گیاه ذرت توسط توجه و همکاران (٥٦) نیز مورد اشاره قرار گرفته است. در گیاهان مایکوریزایی نیز جذب بیشتر فسفر و عناصر کم مصرف از طریق رابطه همزیستی، در مسیر فرآیند تثبیت نیتروژن مولکولی به فرم آمونیوم بر عملکرد تأثیرگذار می‌باشد. همین امر موجب ذخیره مواد غذایی بیشتر در دانه و در نهایت عملکرد بلال بیشتر می‌شود (٥٧). کیانی و همکاران (٣٠) در گیاه ذرت دریافتند که استفاده از اسید هیومیک می‌تواند اثرات مثبتی را بر عملکرد دانه و بلال ذرت و برخی از صفات زراعی مرتبط با عملکرد دانه داشته باشد، این پیامد می‌تواند در نتیجه اثرات فیزیولوژیکی مواد هیومیکی بر گسترش و دوام سطح برگ بیشتر و در نتیجه عملکرد اقتصادی بالاتر باشد.

کاربرد فسفر با افزایش جذب عناصری نظیر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و آهن که از اجزای اصلی تشکیل دهنده ساختار کلروفیل برگ هستند، می‌تواند آسیمیلاسیون بیشتری تولید کند. بنابراین افزایش عملکرد دانه کنسروی در اثر افزایش فراهمی عناصر غذایی تا حد بهینه طبیعی به‌نظر می‌رسد (٦). قابلیت حل‌شدن فسفات‌های غیرقابل حل توسط ریزجانداران از طریق تولید اسیدهای آلی، کلات کردن اگزواسیدها از قندها و تبادل واکنش‌هایی در محیط رشد ریشه، از جمله سازوکارهایی است که در افزایش جذب عناصر غذایی و درنتیجه افزایش عملکرد دانه کنسروی موثر هستند (٢٨). کاربرد تلفیقی مایکوریزا و فسفر (٥٠ درصد مقدار مورد نیاز) عملکرد دانه کنجد را به میزان ٣٧/٣ درصد افزایش داده است (٣٧). کارا و اویگر (٢٧) نیز گزارش کردند کاربرد اسید هیومیک با اثرگذاری بر تأمین بهتر عناصر غذایی، شرایط لازم برای بهبود تولید را فراهم کرده، درنتیجه منجر به افزایش عرضه مواد پرورده به بلال شده است. این امر از طریق فرآیند نورساخت موجب افزایش تعداد دانه در بلال، وزن صد دانه و در نهایت عملکرد دانه کنسروی در واحد سطح شد.

با توجه به اثر مثبت نیتروژن و فسفر در عملکرد زیستی و تشکیل بلال بیشتر، می‌توان نتیجه گرفت که تأمین فسفر کافی برای گیاه، یکی از راهکارهای افزایش عملکرد زیستی محسوب شده و دلیل دیگر را می‌توان به نقش بسیار مهم فسفر در تأمین انرژی در ساختار ATP دانست، زیرا برای تثبیت نیتروژن انرژی زیادی مورد نیاز است (٣١). همچنین اسید هیومیک نیز با افزایش جذب عناصر ماکرو و میکرو باعث افزایش رشد اندام هوایی و عملکرد زیستی می‌شود (١٥). زیرا بدیهی است زمانی که عناصر غذایی به مقدار کافی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، به دنبال آن فتوسنتز به‌خوبی انجام شده و تجمع مواد پرورده در مقاصد گیاه، به میزان کافی صورت می‌گیرد (٥٠). در این رابطه مطرح شده است که وزن خشک شاخساره بادرنجبویه تحت ٤٠٠ میلی‌گرم اسید هیومیک + *F. mosseae* با افزایش ٢٠/٣ درصدی همراه بوده است (٢٢).

ایجاد تعادل در عناصر غذایی می‌تواند ضمن افزایش رشد رویشی در رشد زایشی نیز مؤثر باشد و با ایجاد مقصد فراوان (دانه)، فرآورده‌های فتوسنتزی تولیدی حاصل از رشد رویشی به موقع به دانه‌ها منتقل شده و درنهایت باعث افزایش شاخص برداشت شود (٧)، بنابراین به‌نظر می‌رسد با توجه به افزایش بیشتر عملکرد دانه نسبت به عملکرد زیستی تحت تأثیر سطوح فسفر، شاخص برداشت در مقادیر بالاتر کود فسفاته افزایش یافته است. در پژوهشی روی گیاه ذرت، توکلی اوجانی و همکاران (٥٧) مشاهده نمودند با کاربرد قارچ مایکوریزا نسبت به تیمار عدم کاربرد، شاخص برداشت ١/٥٥ برابر شد. آن‌ها بیان نمودند دلیل این امر احتمالاً می‌تواند ناشی از افزایش بیشتر عملکرد اقتصادی تحت تأثیر کاربرد مایکوریزا نسبت به عملکرد زیستی بوده باشد. در پژوهش حاضر نیز مشاهده می‌شود که با کاربرد قارچ مایکوریزا عملکرد دانه کنسروی نسبت به عدم کاربرد آن افزایش یافته است در این پژوهش، بالا بودن شاخص برداشت بلال در تیمار اسید هیومیک حاکی از آن است که گیاه در این شرایط، احتمالاً توان خود را صرف رشد زایشی کرده و رشد رویشی خود را کاهش داده است؛ درنتیجه عملکرد دانه مطلوبی را تولید نموده است. این عوامل منجر به تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به بلال و دانه‌های کنسروی شده و شاخص برداشت را بهبود بخشیده‌اند. از سوی دیگر، افزایش

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454]

سطح فسفر از ۱۰۰ به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار باعث کاهش شاخص برداشت بلال خشک و دانه کنسروی (زراعی و اقتصادی) شد. این کاهش می‌تواند به اثرات منفی تجمع فسفر در محیط ریشه و ایجاد اختلال در تعادل عناصر غذایی مرتبط باشد.

نتیجه‌گیری کلی

یافته‌های این پژوهش اهمیت مدیریت متعادل مصرف فسفر را به‌همراه استفاده از مایکوریزا و اسید هیومیک در بهبود صفات محتوای عناصر ماکرو و میکرو و عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت شیرین (هیبرید RS-360) نشان داد. با افزایش سطوح فسفر تا سطح ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به صفات مورد مطالعه افزوده شد. همچنین با توجه به یافته‌های این پژوهش، اثر مایکوریزا و محلول‌پاشی اسید هیومیک نیز بر صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود و در شرایط کاربرد فسفر، اعمال این دو عامل روند افزایشی را از خود نشان دادند. مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر به‌همراه قارچ مایکوریزا و محلول‌پاشی ۲۰ لیتر در هکتار اسید هیومیک، در شرایط آزمایش باعث بهبود عملکرد بلال تر، بلال خشک و دانه کنسروی در ذرت شیرین شد. با توجه به ضرورت تولید ذرت شیرین در کشور و لزوم توجه به کشت این گیاه در نظام‌های کم‌نهاده، به‌نظر می‌رسد قارچ مایکوریزا و اسید هیومیک می‌توانند کارآیی مصرف فسفر را در ذرت شیرین با به‌کارگیری سازوکارهای جذب بهتر، بالا برده و به عملکرد بیشتر برساند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه یاسوج به جهت حمایت مادی از این پژوهش قدردانی می‌نمایند.

فهرست منابع

1. Abdalla, M., M. Bitterlich, J. Jansa, D. Püschel and M. A. Ahmed. 2023. The role of arbuscular mycorrhizal symbiosis in improving plant water status under drought. *Journal of Experimental Botany* 74(16): 4808-4824.
2. Adhya, T. K., N. Kumar, G. Reddy, A. R. Podile, H. Bee and B. Samantaray. 2015. Microbial mobilization of soil phosphorus and sustainable P management in agricultural soils. *Current Science* 108(7): 1280-1287.
3. Ahmadzadeh, M., E. Sedaghati, R. Saberi Riseh, A. Rahimi, A. Mohammadi Mirik and N. Hatami. 2022. Effect of mycorrhizal fungi accompanied by some microorganisms and chemical compounds on growth and photosynthesis indices of corn. *Journal of Sol Biology* 10 (1): 33-47. (In Farsi).
4. Ampong, K., M. S. Thilakaranthna and L. Y. Gorim. 2022. Understanding the role of humic acids on crop performance and soil health. *Frontiers in Agronomy* 4: 848621.
5. Arambam, S. 2024. Effect of humic acid on growth, yield and soil properties in rice: A review. *International Journal of Plant & Soil Science* 36(6): 26-35.
6. Bahamin, S., A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati and S. A. Beheshti. 2019. Effect of biological and chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus on quantitative and qualitative productivity of maize under drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 12(1): 123-139. (In Farsi).
7. Bastami, A., M. Majidian, G. R. Mohsenabadi and D. Bakhshi. 2015. Effects of fertilizer treatments on yield quantity and quality of coriander. *Journal of Crops Improvement* 17(1): 93-193. (In Farsi).
8. Bezuglova, O. and A. Klimenko. 2022. Application of humic substances in agricultural industry. *Agronomy* 12(3): 584.
9. Bian, Q., Z. Dong, Y. Zhao, Y. Feng, Y. Fu, Z. Wang and J. Zhu. 2024. Phosphorus supply under micro-nano bubble water drip irrigation enhances maize yield and phosphorus use efficiency. *Plants* 13(21): 3046.
10. Biermann, B. and R. G. Linderman. 1981. Quantifying vesicular-arbuscular mycorrhizae: A proposed method towards standardization. *New Phytologist* 87: 63-67.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454]

11. Boostani, H. and E. Farrokhnejad. 2018. Effect of plant growth promoting rhizobacteria, mycorrhizae fungi and salinity stress on the uptake of some nutrients by corn (*Zea mays L.*). *Plant Process and Function* 7(24): 39-52. (In Farsi).
12. Chapman, H. D. and P. F. Pratt. 1961. Methods of analysis for soils, plants and waters. *Soil Science* 93(1): 68.
13. Charkhab, A., M. Mojaddam, S. Lak, T. Sakinejad and M. R. Dadnia. 2021. The effect of biochar and humic acid rates on some phophysiological characteristics and grain yield SC704 corn (*Zea mays L.*) hybrid under water deficit stress. *Journal of Crop Ecophysiology* 58(15): 171-192. (In Farsi).
14. Chen, H., L. Gao, M. Li, Y. Liao and Q. Liao. 2023. Fertilization depth effect on mechanized direct-seeded winter rapeseed yield and fertilizer use efficiency. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 103(5): 2574-2584.
15. El-Sheshtawy, A. A., M. A. Hager and S. S. Shawer. 2019. Effect of bio-fertilizer, phosphorus source and humic substances on yield, yield components and nutrients uptake by barley plant. *Journal of Biological Chemistry and Environmental Sciences* 14: 279-300.
16. Fallah Nosratabad, A. and S. Shariati. 2022. Investigating the combined application of different levels of triple superphosphate and native phosphate-solubilizing Pseudomonas bacteria on growth indices of maize. *Agricultural Engineering* 44(4): 463-483. (In Farsi).
17. FAO. 2023. World Food and Agriculture–Statistical Yearbook. Rome. Available online at: https://doi.org/10.4060/cc8166en.
18. Galindo-Castaneda, T., K. M. Brown and J. P. Lynch. 2018. Reduced root cortical burden improves growth and grain yield under low phosphorus availability in maize. *Plant, Cell and Environment* 41(7): 1579-1592.
19. Ghale Ghafi, R., H. HajiAbaee, F. Nabhani, S. Mohammadpour and Z. Ardanji Kalate Siyahdasht. 2024. Influence of the method of inoculating maize seeds with arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobacteria under different fertilization conditions. *Journal of Crops Improvement* 26(3): 487-501. (In Farsi).
20. Ghorashi, L. A., G. Haghnia, A. Lakzian and R. Khorasani. 2012. Effect of phosphorus and organic matter on availability and iron uptake in maize (*Zea mays L.*). *Journal of Agroecology* 4(1): 12-19. (In Farsi).
21. Ghorbani, S., H. R. Khazaee, M. KafiBannayan, M. Aval and M. Sadeghi Shoa. 2014. The effect of foliar application of different levels of humic acid on yield, yield components, and growth indices of corn. *Journal of Crop Research* 5 (4): 325-337. (In Farsi).
22. Hamzeh Mohamadabadi, M., A. R. Ladan Moghaddam, E. Danaee and V. Abdossi. Effect of mycorrhiza fungus, humic acid, and salicylic acid on morphological and biochemical characteristics and nutrient uptake of lemon balm (*Melissa officinalis* L. cv Citronella). *Journal of Soil and Plant Interactions* 15(3): 35-51. (In Farsi).
23. Heidari, A., M. Nasri and F. Ghooshchi. 2014. The study of symbiosis of mycorrhiza and phosphorus fertilizer on yield and yield components of corn in Robat Karim region. *Agronomic Research in Semi Desert Regions* 11(3): 161-170. (In Farsi).
24. Hosseinian, M., A. Ahmadi, B. Motesharezadeh and J. Nabati. 2021. Morpho-physiological and functional response of corn to combined application of chemical fertilizers and rhizobactria plant growth promoting. *Iranian Journal of Field Crop Science* 52(2): 109-120. (In Farsi).
25. Jones, J. 2001. Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis. CRC Press, LLC. USA.
26. Kamayestani, N., P. Rezvani Moghaddam, M. Jahan and F. Ranjbar. 2018. Effect of nutrient management on growth indices of anise (*Pimpinella anisum L.*). *Journal of Agroecology* 10(2): 299-312. (In Farsi).
27. Kara, B. and V. Uygur. 2020. Organic or conventional agriculture? A study on yield and nutritional status of sweet corn. *Maydica Electronic Publication* 55: 13-22.
28. Keshavarz, A., S. A. Kazemeini, M. J. Bahrani, H. Razi and M. Zarei. 2024. Influence of nitrogen management on sweet corn growth, canned yield, and soil properties under various irrigation regimes and tillage systems. *Iran Agricultural Research* 42(1): 109-120.
29. Khalili, N., R. Ghorbani Nasrabadi, M. Baranimotlagh and R. Khodadadi. 2023. The effect of humic acid and inoculation of actinomycetes isolates on phosphorus solubilization in laboratory condition and phosphorus content in maize (*Zea mays*). *Journal of Soil Management and Sustainable Production* 13(2): 75-94. (In farsi).
30. Kiani, S., M. Mojaddam, S. Lak, M. Alavi Fazel and A. Shokuhfar. 2020. The effect of density and foliar application of humic acid on quantitative yield and nutrient uptake of maize (*Zea mays L.*) under drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 13(4): 1135-1148. (In Farsi).
31. Li, Y., H. Zeng, F. Xu, F. Yan and W. Xu. 2022. H^+-ATPases in plant growth and stress responses. *Annual Review of Plant Biology* 73(1): 495-521.
32. Li, Z., H. Xu, Y. Li, X. Wan, Z. Ma, J. Cao, Z. Li, F. He, Y. Wang, L. Wan, Z. Tong and X. Li.. 2018. Analysis of physiological and miRNA responses to Pi deficiency in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Plant Molecular Biology* 96: 473-492.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454]

33. Lin, L., Y. Chen, L. Qu, Y. Zhang and K. Ma. 2020. Cd heavy metal and plants, rather than soil nutrient conditions, affect soil arbuscular mycorrhizal fungal diversity in green spaces during urbanization. *Science of the Total Environment* 726: 138594.
34. Liu, M., C. Wang, F. Wang and Y. Xie. 2019. Maize (*Zea mays*) growth and nutrient uptake following integrated improvement of vermicompost and humic acid fertilizer on coastal saline soil. *Applied Soil Ecology* 142: 147-154.
35. Manal, F. M., A. T. Thalooth, A. G. Amal, H. M. Magda and T. A. Elewa. 2016. Evaluation of the effect of chemical fertilizer and humic acid on yield and yield components of wheat plants (*Triticum aestivum*) grown under newly reclaimed sandy soil. *International Journal of ChemTech Research* 9(8): 154-161.
36. Mohammadi Kale Sarlou, S., R. Seyed Sharifi and H. Narimani. 2022. Effects of vermicompost, humic acid and seed inoculation with Flabacterium on yield, chlorophyll fluorescence indices and some physiological traits of triticale under soil salinity conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 15(4): 953-974. (In Farsi).
37. Moradi Shahdadi, M., M. Dejam, M. Madandoust and M. R. Baziar. 2024. The effect of chemical and biological fertilizers on yield, yield components and protein content of sesame grain (*Sesamum indicum* L.) under different irrigation regimes. *Iranian Journal of Field Crops Research* 22(4): 441-456. (In Farsi).
38. Nadeem, S. M., M. Ahmad, M. Zahir, Z. A. Javaid and A. Ashraf. 2014. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnology Advent* 32: 429-448.
39. Paranhos, J., W. Foshee, T. Coolong, B. Heyes, M. Salazar-Gutierrez, K. Kesheimer and A. L. B. R. da Silva. 2023. Characterization of sweet corn production in subtropical environmental conditions. *Agriculture* 13(6): 1156.
40. Peterson, J. R., J. Flanaganand and K. T. Shmact. 2002. PAM application method and electrolyte source effects on plot-scale runoff and erosion. *Trans ASAE* 45(6): 1859-1867.
41. Rahimi, A., B. Dovlati, R. Amirnia and S. Heydarzade. 2020. Effect of application of mycorrhizal fungus and Azotobacter on physiological characteristics of *Trigonella foenum-graecum L.* under water stress conditions. *Journal of Plant Biological Sciences* 11(4): 1-18. (In Farsi).
42. Rasouli-Sadaghiani, M. H., R. Ebrahimi Karimabad and R. Vahedi. 2020. Investigating the effect of phosphate solubilizing microorganisms of insoluble phosphorus on phosphorus acquisition and utilization efficiency in corn (*Zea mays L.*). *Journal of Water and Soil Science* 24(3): 119-129. (In Farsi).
43. Rejali, F., A. Esmaeili Zad and K. Saqafi. 2019. Effect of symbiosis interaction of Mycorrhizae Arbuscular on mineral uptake in wheat (Pishtaz cultivar). *Iranian Journal of Field Crop Science* 49 (4): 51-63. (In Farsi).
44. Rivero, J., D. Álvarez, V. Flors, C. Azcón-Aguilar and M. J. Pozo. 2018. Root metabolic plasticity underlies functional diversity in mycorrhiza-enhanced stress tolerance in tomato. *New Phytoloist* 220:1322-1336.
45. Rodriguez, H., R. Fraga, T. Gonzalez and Y. Bashan. 2006. Genetics of phosphate solubilization and its potential applications for improving plant growth promoting bacteria. *Plant and Soil* 287: 15-21.
46. Saali, O. R., E. Zeidali, M. R. Ardakani, Z. Tahmasebi, H. R. Dorri and M. Barary. 2020. Investigation of biochar and mycorrhizal symbiosis in reduction water stress in corn (*Zea mays L*). *Environmental Stresses in Crop Sciences* 13 (4): 1231-1243. (In Farsi).
47. Sabzevari, S. and H. Khazaie. 2016. The effect of foliar application with humic acid on growth, yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agroecology* 1: 53-63.
48. Sadeghi, M., M. Movahhedi Dehnavi, A. Yadavi and F. Ebrahimi. 2024. Evaluation of the macronutrients uptake and phosphorus efficiency traits of rapeseed (*Brassica napus*) under phosphorus fertilizer management. *Iranian Journal of Field Crop Science* 55(2): 123-139. (In Farsi).
49. Salama, D. M., S. A. Osman, E. A. Shaaban, M. S. Abd Elwahed and M. E. Abd El-Aziz. 2023. Effect of foliar application of phosphorus nanoparticles on the performance and sustainable agriculture of sweet corn. *Plant Physiology and Biochemistry* 203: 108058.
50. Shahriary, A. and H. Omidi. 2020. Investigation of the morphological and yield traits of maize (*Zea mays L.*) hybrids affected by humic acid application. *Journal of Plant Ecophysiology* 43(12): 58-73. (In Farsi).
51. Sharifi, S., S. Shi, H. Obaid, X. Dong and X. He. 2024. Differential effects of nitrogen and phosphorus fertilization rates and fertilizer placement methods on P accumulations in maize. *Plants* 13(13): 1778.
52. Sims, J. T. and A. N. Sharpley. 2005. Phosphorus: Agriculture and the Environment. American Society of Agronomy, Wisconsin, USA.
53. Steffan, J. J., E. C. Brevik, L. C. Burgess and A. Cerda. 2018. The effect of soil on human health: an overview. *European Journal of Soil Science* 69: 159-171.
54. Taiz, L., E. Zeiger, I. M. Moller and A. Murphy. 2015. Plant Physiology and Development. Sunderland, MA.
55. Tanhaei, R., A. R. Yadavi, M. Movahhedi Dehnavi and A. Salehi. 2018. Effects of Mycorrhizal Fungi and Biofertilizer on Yield and Yield Components of Red Bean (*Phaseolus vulgaris L.*) in Drought Stress Conditions. *Jouirnal of Agricultural Science and Sustainable Production* 28(3): 277-291. (In Farsi).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454]

56. Tavajjoh, M., N. Karimian, A. Ronaghi, J. Yasrebi, R. Hamidi and V. Olama. 2016. Yield, yield components and seed quality of two rapeseed cultivars as affected by different levels of phosphorus and boron under greenhouse conditions. *Journal of Soil and Plant Interactions.* 6(4): 99-113. (In Farsi).
57. Tavakoli Oujani, K., V. Rashidi, M. Yarnia, A. Tarinejad and B. Mirshekari. 2019. Study of some physiological traits, grain yield and its components in maize cultivars under drought stress conditions and mycorrhiza application. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 12(4): 1165-1178. (In Farsi).
58. Veysi, H., G. Heidari and Y. Sohrabi. 2016. The effect of mycorrhizal fungi and humic acid on yield and yield components of sunflower. *Journal of Agroecology* 8(4): 567-582.
59. Vierheilig, H., A. P. Coughlan, U. R. S. Wyss and Y. Piché. 1998. Ink and vinegar, a simple staining technique for arbuscular-mycorrhizal fungi. *Applied and environmental microbiology* 64(12): 5004-5007.
60. Yadav, A. and Z. Yousefpur. 2015. Effect of nitrogen and phosphorus sources on soil chemical properties and elements concentration in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Water and Soil* 29(1): 210-224. (In Farsi).
61. Yousefpoor, Z., A. Yadavi, H. R. Balouchi and H. Farajee. 2014. Evaluation of some physiological, morphological and phonological characteristics in sunflower (*Helianthus annuus* L.) influenced by biological and chemical sources of nitrogen and phosphorus. *Journal of Agroecology* 6(3): 508-519. (In Farsi).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.22454]