



Improving the Absorption of Elements in Corn Leaf and Seed with Different Applications of Zinc Sulfate with Two Strains of *Pseudomonas* Bacteria under Deficit Irrigation

Fahimeh Khaledi¹ | Hamidreza Balouchi² | Mohsen Movahhedi Dehnavi³ | Amin Salehi⁴

1. Department of Agronomy and Plant Breeding, Yasouj University, Yasouj, Iran.

2. Corresponding Author, Department of Agronomy and Plant Breeding, Yasouj University, Yasouj, Iran. Email: balouchi@yu.ac.ir

3. Department of Agronomy and Plant Breeding, Yasouj University, Yasouj, Iran. Email: movahhedi1354@yu.ac.ir

4. Department of Agronomy and Plant Breeding, Yasouj University, Yasouj, Iran. Email: aminsalehi@yu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: July 30, 2024

Received in revised form:
January 13, 2025

Accepted: December 25, 2024

Published online: June 22,
2025

Keywords:

Nutrient priming,
phosphorus,
water deficit,
zinc deficiency,
Zn-solubilizing bacteria.

ABSTRACT

Using Zn-containing fertilizers such as zinc sulfate and Zn-solubilizing micro-organisms is one of the ways to solve the lack of Zn elements; therefore, a field experiment was carried out during the growing season 2018 and 2019. The experimental factors included two levels of optimal and deficit irrigation (60% of the plant's needs) in the main plots and the application method of ZnSO₄ along with Zn-solubilizing bacteria included without fertilizer, foliar application, soil, and seed priming with three levels without application of bacteria, and two strains of *Pseudomonas* bacteria in subplots. The content of N, K, P, Zn and Fe in the leaves, Zn in seeds and the grain yield of corn were significantly affected by the interaction of deficit irrigation in the combination of ZnSO₄ and solubilizing bacteria. The results showed that applying the combination of ZnSO₄- solubilizing bacteria increased the grain yield by 37% in 2018 and 25% in 2019. The seed priming with ZnSO₄ and *P. aeruginosa* bacteria was superior to other treatments with a mean grain yield of 18708 kg/ha. The deficit irrigation decreased the concentration of P in corn leaf and seed by 39% and 20%, respectively, compared with the condition without stress. Finally, the soil application of ZnSO₄-*P. fluorescens* bacteria showed superiority in increasing the absorption and concentration of elements in the leaf and seed of corn compared with other treatments, and the inoculation of *Pseudomonas* bacteria led to reduce the adverse effects of deficit irrigation and improve the corn's function and yield.

Cite this article: Khaledi, F., Balouchi, H.R., Movahhedi Dehnavi, M., & Salehi, A. (2025). Improving the absorption of elements in corn leaf and seed with different applications of zinc sulfate with two strains of *Pseudomonas* bacteria under deficit irrigation. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 56(2), 41-60. Doi: 10.22059/ijfcs.2024.380099.655093.



© The Authors.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ijfcs.2024.380099.655093>



انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شماره الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

Homepage: <https://ijfcs.ut.ac.ir/>

بهبود جذب عناصر در برگ و دانه ذرت با کاربردهای متفاوت سولفات روی همراه با دو سویه باکتری سودوموناس در شرایط کم آبیاری

فهمیه خالدی^۱ | حمیدرضا بلوچی^۲ | محسن موحدی دهنوی^۳ | امین صالحی^۴

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. رایانامه: balouchi@yu.ac.ir

۳. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. رایانامه: movahhedi1354@yu.ac.ir

۴. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. رایانامه: aminsalehi@yu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۵ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۰۱ کلیدواژه‌ها: باکتری حلال‌ساز روی، پرایمینگ مواد مغذی، فسفر، کم‌آبی، کمبود روی.	استفاده از کودهای حاوی روی مانند سولفات روی و نیز استفاده از ریزجاندانان حلال‌ساز روی یکی از روش‌های مرتفع‌کردن مشکل کمبود عنصر روی در گیاهان می‌باشد؛ بنابراین، آزمایشی مزرعه‌ای طی سال‌های زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل دو سطح آبیاری مطلوب و کم‌آبیاری (۶۰ درصد نیاز گیاه) در کرت‌های اصلی، و روش کاربرد سولفات روی همراه با باکتری حلال‌ساز روی شامل بدون کود، محلول‌پاشی، کاربرد خاکی و پرایمینگ بذر همراه با سه سطح بدون کاربرد باکتری و دو سویه باکتری سودوموناس در کرت‌های فرعی بودند. محتوای نیتروژن، پتاسیم، فسفر، روی و آهن برگ و همچنین محتوای روی دانه‌ها و عملکرد دانه ذرت به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر اثر متقابل کم‌آبیاری در ترکیب سولفات روی- باکتری حلال‌ساز قرار گرفت. همچنین نتایج نشان داد که روش‌های کاربرد ترکیب سولفات روی- باکتری حلال‌ساز عملکرد دانه را حداکثر به میزان ۳۷ درصد در سال ۱۳۹۷ و ۲۵ درصد در سال ۱۳۹۸ افزایش داد و تیمار پرایمینگ سولفات روی و باکتری سودوموناس آثر وینوزا با میانگین عملکرد دانه ۱۸۷۰۸ کیلوگرم در هکتار نسبت به سایر تیمارها برتری داشت. کم‌آبیاری محتوای فسفر برگ و دانه ذرت را به‌ترتیب ۳۹ و ۲۰ درصد نسبت به شرایط بدون تنش کاهش داد. در نهایت، تیمار کاربرد خاکی سولفات روی- باکتری سودوموناس فلورسنس در افزایش جذب و محتوای عناصر در برگ و دانه گیاه ذرت نسبت به سایر تیمارها برتری نشان داد و تلقیح باکتری سودوموناس منجر به کاهش آثار سوء کم‌آبیاری و بهبود کارکرد و عملکرد گیاه شد.

استناد: خالدی، ف.، بلوچی، ح.ر.، موحدی دهنوی، م.، و صالحی، ا. (۱۴۰۴). بهبود جذب عناصر در برگ و دانه ذرت با کاربردهای متفاوت سولفات روی همراه با دو سویه باکتری سودوموناس در شرایط کم‌آبیاری. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۶(۲)، ۴۱-۶۰.

DOI: 10.22059/ijfcs.2024.380099.655093



© نویسندگان

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

ذرت دانه‌ای یکی از سه غله مهم اول دنیا به همراه برنج و گندم محسوب می‌شود، تنوع رویشی و پراکندگی بسیار گسترده‌ای داشته و کشت آن در شرایط آب و هوایی مختلف، در نیمکره شمالی تا عرض جغرافیایی ۵۸ درجه در کانادا و روسیه و در نیمکره جنوبی تا عرض جغرافیایی ۴۲ درجه در نیوزیلند امکان‌پذیر است (Subedi & Ma, 2009). آمار تولید جهانی آن در سال ۲۰۲۲ بالغ بر ۱۱۶۳ میلیون تن از سطح ۲۰۳ میلیون هکتار با متوسط عملکرد ۵۷۱۸ کیلوگرم در هکتار و تولید آن در ایران در این سال ۳۰۰ هزار تن از سطح ۵۰ هزار هکتار با متوسط عملکرد ۶۰۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (FAO, 2022).

کم‌آبی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زنده است که سالانه آسیب فراوانی به گیاهان وارد می‌کند. براساس برآوردهای FAO، تنش خشکی به‌طور مستقیم موجب خسارت ۲۹ میلیارد دلاری طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ در کشورهای در حال توسعه شده است (FAO, 2021). ذرت یکی از گیاهان با نیاز آبی بالا است که بسته به شدت و زمان تنش ممکن است بین ۳۰ تا ۹۰ درصد از کم‌آبی خسارت ببیند، به‌ویژه که این گیاه در مناطق با بارندگی ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر غالباً به صورت دیم کاشته می‌شود که کمتر از سطح بحرانی مورد نیاز برای حصول عملکرد مناسب است (Sah et al., 2020). از دیگر مواردی که تحت تأثیر میزان رطوبت خاک قرار می‌گیرد، جذب مواد غذایی توسط ریشه و انتقال آن به ساقه است که در شرایط کمبود رطوبت از مقدار آن کاسته شده و با اختلال در روند جذب و عناصر غذایی باعث ایجاد و یا تشدید تنش کمبود عناصر غذایی می‌شود (Sajedi et al., 2010). نتایج پژوهش Abaspoor et al. (2014) نشان داد که تنش قطع آبیاری میزان فسفر برگ را در ذرت کاهش داده و کمترین میزان تجمع فسفر برگ مربوط به تیمار قطع آبیاری در مرحله دانه‌بندی بود. این محققان بیان نمودند که ارتباط معکوسی بین میزان تجمع فسفر در برگ ذرت و تنش خشکی وجود داشت و با تشدید شرایط تنش، درصد فسفر برگ کاهش یافت. در رابطه با غلظت پتاسیم در برگ ذرت تحت شرایط تنش خشکی، Abaspoor et al. (2014) گزارش کردند که اعمال تنش قطع آبیاری در ذرت منجر به افزایش تجمع و نگهداری پتاسیم در برگ شد. آن‌ها دلیل این امر را به سازوکار جذب فعال این یون ارتباط دادند. در رابطه با اثر کمبود آب بر میزان جذب و تجمع آهن در دانه ذرت نیز Kiani et al. (2021) گزارش دادند که تیمار قطع آبیاری منجر به کاهش غلظت آهن دانه ذرت شد؛ به‌طوری‌که کمترین مقدار آهن دانه از تیمار تنش قطع آبیاری در مرحله گل تاجی به‌دست آمد. در مجموع، معمولاً غلظت عناصر غذایی در دسترس گیاه و بنابراین میزان جذب و تجمع آنان در گیاه تحت شرایط کم‌آبیاری کاهش می‌یابد که این موضوع خود بیانگر اثر غیر مستقیم میزان رطوبت خاک بر جذب عناصر غذایی است که حتی از اثر مستقیم کمبود آب بر رشد گیاه، از اهمیت بیشتری برخوردار است.

عنصر روی یکی از مهمترین عناصر مورد نیاز گیاهان و از جمله ذرت است که با توجه به اهمیتی که این عنصر در متابولیسم گیاهی و تشکیل پروتئین‌ها از اسیدهای آمینه دارد (Abaspoor et al., 2014)، مقدار غلظت آن در برگ در نهایت بر عملکرد تأثیرگذار خواهد بود. عنصری که تأمین آن به‌ویژه تحت شرایط کمبود آب، نقش مهمی در مقاومت و حفاظت گیاه ایجاد کرده و بدین ترتیب، راهی مناسب برای بهبود عملکرد کمی و کیفی دانه محسوب می‌شود. Abaspoor et al. (2014) مشاهده کردند که محلول‌پاشی سولفات روی بر گیاهان ذرت تحت شرایط تنش کمبود آب، تا حدودی مانع از کاهش فسفر برگ شد؛ اما مقدار فسفر موجود در برگ این گیاهان نتوانست به مقدار تجمع فسفر در شرایط بدون تنش آبیاری برسد. کاربرد سولفات روی موجب افزایش غلظت نیتروژن برنج در شرایط تنش کم‌آبی (Mosaad, 2019)، محتوای روی در دانه ذرت (Klofac et al., 2023؛ Imran & Rehman, 2017) شد و محتوای آهن موجود در برگ و همچنین جذب و محتوای نیتروژن، فسفر در دانه ذرت را افزایش داد (Karimi et al., 2020).

امروزه تأثیر مثبت کودهای زیستی، میکروارگانیسم و باکتری‌های محرک رشد در افزایش فراهمی عناصر و جذب بهتر آن‌ها توسط گیاه بر کمتر کسی پوشیده است. کاربرد باکتری‌های خانواده سودوموناس علاوه بر کاهش مصرف کودهای شیمیایی و افزایش کارایی آن‌ها، باعث افزایش رشد گیاه و نیز افزایش جذب فسفر می‌شوند (Fallah Nosratabad & Shariati, 2022). پژوهش‌های زیادی نیز تأثیر مثبت این باکتری‌ها را نشان داده‌اند که از جمله می‌توان به آزمایش Salehi et al. (2021) اشاره نمود. این محققان در آزمایش خود گزارش کردند که تلقیح گیاه با باکتری سودوموناس فلورسنس سویه ۱۶۹، میزان جذب نیتروژن گیاه

را به طور معنی داری افزایش داد و اذعان نمودند که باکتری با افزایش توانایی ریشه برای تبادل نیتروژن، جذب آب و عناصر غذایی را افزایش داده و به علاوه با افزایش کلونیزاسیون ریشه در نهایت منجر به رشد بیشتر و افزایش نیتروژن اندام‌های هوایی شد. سودوموناس‌ها باکتری‌هایی هوازی و گرم منفی هستند که می‌توانند به صورت انبوه در محیط ریشه تکثیر شوند. سویه‌های مختلف سودوموناس با تحمل تنش‌های محیطی و استفاده از مواد معدنی، اثرات مثبتی بر گیاهان دارند. سودوموناس آتروژینوزا یک باکتری شایع دارای کپسول، گرم منفی، هوازی - بی‌هوازی اختیاری، میله‌ای است که می‌تواند باعث بیماری در گیاهان و جانوران از جمله انسان شود. باکتری سودوموناس آتروژینوزا سیترات، کاتالاز و اکسیداز مثبت است. در خاک، آب، فلور پوست و بیشتر محیط‌های ساخته شده توسط انسان در سراسر جهان یافت می‌شود. نه تنها در جو معمولی، بلکه در محیط‌های کم‌اکسیژن نیز رشد می‌کند، بنابراین در بسیاری از محیط‌های طبیعی و مصنوعی ایجاد کلنی کرده و از طیف گسترده‌ای از مواد آلی به عنوان غذا استفاده می‌کند. مطالعات کمی روی اثر این سویه از باکتری بر رشد و فعالیت گیاهان صورت پذیرفته، اما نتایج برخی مطالعات نشان داد که سودوموناس آتروژینوزا ریزوسفری منجر به افزایش رشد کمی و کیفی گیاه بادرنجبویه شده است (Karami et al., 2022).

سودوموناس فلورسنس یکی از باکتری‌های محرک رشد گیاه است که اغلب در خاک و آب یافت می‌شود و به طور گسترده به عنوان یک عامل مهار زیستی برای پاتوژن‌های گیاهی و همچنین افزایش مقاومت و عملکرد محصولات زراعی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Rafiei et al., 2024). یکی از ویژگی‌های سودوموناس فلورسنس تولید رنگدانه‌هایی است که در برابر نور فرابنفش با طول موج کوتاه (۲۵۴ نانومتر) به‌ویژه تحت شرایط کمبود آهن از خود خاصیت فلورسانس نشان می‌دهند (Leoni et al., 2002). این رنگدانه‌ها که محلول در آب هستند، یکی از انواع مهم سیدروفورها به شمار می‌روند. به عبارت دیگر، ریزموجودات وقتی در شرایط کمبود آهن قرار می‌گیرند، به منظور تأمین آهن مورد نیاز خود، سیدروفور ترشح می‌کنند که این سیدروفورها با تشکیل کمپلکس پایداری ($K_f = 10^{30}$) با آهن (III) نامحلول، آن را به صورت ترکیبی متحرک و قابل دسترس درآورده و بدین ترتیب آن را به درون سلول خود انتقال می‌دهند (Leoni et al., 2002). Abasi et al. (2016) و Khalilzadeh et al. (2022) در ذرت و گندم گزارش کردند که تلقیح با باکتری‌های محرک رشد منجر به افزایش پروتئین محلول برگ شد. Shojaeian Kish et al. (2019) نیز گزارش کردند که کاربرد کود زیستی فسفات بارور - ۴، میزان پروتئین دانه را به طور معنی داری افزایش داد. آن‌ها علت این امر را تأثیر مثبت این کودها از طریق بهبود شرایط رشد گیاه به واسطه نقششان در تولید هورمون‌های گیاهی، توسعه سیستم ریشه و بهبود جذب آب و مواد غذایی دانستند.

تغذیه گیاهان با سولفات روی و نیز تلقیح با ریزموجودات حلال‌ساز روی از روش‌هایی است که می‌تواند عناصر یونی مفید گیاه را تأمین و در نتیجه منجر به افزایش رشد و عملکرد شده و اثرات کم‌آبیاری بر گیاه را کاهش دهد. با توجه به فواید استفاده از باکتری سودوموناس بر کارایی و عملکرد گیاهان (Sultana et al., 2024) و قابلیت حلال‌سازی سویه‌های فلورسنس و آتروژینوزا این گونه از باکتری سودوموناس (Rehman et al., 2018 و Hashemnejad et al., 2021)، این پژوهش با هدف مقایسه روش‌های کاربرد سولفات روی همراه با باکتری‌های حلال‌ساز روی جهت بهبود جذب عناصر در برگ و دانه و تولید این محصول در شرایط کم‌آبیاری انجام شد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

آزمایش مزرعه‌ای جهت بررسی روش‌های مختلف کاربرد سولفات روی و باکتری‌های حلال‌ساز روی بر محتوای عناصر برگ و دانه و عملکرد گیاه ذرت رقم ۵۳۸ (که از ارقام ذرت دانه‌ای میان‌رس است)، در شرایط کم‌آبیاری انجام شد. آزمایش در دو سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸ و در شهرستان نی‌ریز اجرا شد. این شهرستان در عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۱۲ دقیقه شمالی و طول ۵۴ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی (E541716 N290742) و ارتفاع ۱۷۹۵ متری از سطح دریا قرار دارد. خصوصیات آب و هوایی محل اجرای آزمایش در دو سال تکرار آزمایش (۱۳۹۷-۱۳۹۸) در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. خصوصیات آب و هوایی محل اجرای آزمایش در دو سال تکرار آزمایش (۱۳۹۷-۱۳۹۸).

Months a year	Average monthly temperature (°C)		Average maximum temperature (°C)		Average minimum temperature (°C)		Monthly rainfall (mm)		Monthly evaporation (mm)	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
July	34.2	32.0	37.6	38.6	30.9	25.3	1.6	0	377.1	425.7
August	31.0	30.4	37.8	37.6	24.1	25.1	0	0	449.3	420.6
September	29.1	28.7	35.9	35.4	22.4	22.0	0	0	437.4	362.7
October	24.6	22.4	28.8	30.7	16.4	18.0	0	0	291.2	261.7
November	15.2	15.4	20.5	21.1	9.9	9.6	20.8	9.0	121.4	134.8

پژوهش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل تنش کم‌آبیاری در کرت‌های اصلی، شامل دو سطح آبیاری (آبیاری مطلوب و کم‌آبیاری)، و روش کاربرد سولفات روی در چهار سطح (شاهد بدون کود، محلول‌پاشی، کاربرد خاکی و پرایمینگ بذری)، همراه با کاربرد باکتری *لال‌ساز* روی در سه سطح (بدون کاربرد باکتری، باکتری سودوموناس فلورسنس و باکتری سودوموناس آیروزینوزا) در مجموع ۱۲ تیمار در کرت‌های فرعی بود. کاربرد خاکی 10 kg/ha Zn (Rehman et al., 2018) (به صورت پودری)، و پرایمینگ بذر (۰/۵ درصد) با سولفات روی (ZnSO_4) در زمان کاشت، و محلول‌پاشی نیز از منبع سولفات روی (پنج گرم در لیتر) (Aboutalebian & Fakhimi Paydar, 2016) در دو مرحله چهار و هشت برگی صورت گرفت. عامل تلقیح شامل مایه تلقیح حاوی سویه ۱۸۷ *Pseudomonas fluorescens*، مایه تلقیح حاوی سویه *Pseudomonas aeruginosa* MPFM1 و بدون تلقیح بود که از بخش تحقیقات بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب با تراکم باکتری‌ها در مایه تلقیح در حد $10^8 \times 1$ (CFU/g) تهیه شد. سولفات روی از شرکت کنجاله‌ساز به صورت پودری با ۳۴ درصد روی تهیه شد.

جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری صورت گرفت (جدول ۲). مراحل آماده‌سازی زمین شامل شخم، دو دیسک عمود بر هم و ایجاد جوی و پشته توسط فاروئر قبل از کاشت در مردادماه انجام شد. سپس کرت‌هایی با پنج خط کاشت با طول چهار متر به فاصله ۵۰ سانتی‌متری تشکیل شد. فاصله بین بلوک‌ها دو متر و فاصله بین کرت‌های اصلی (تیمار آبیاری)، ۱/۵ متر و کرت‌های فرعی (تیمار کاربرد کود) ۰/۵ متر در نظر گرفته شد. در این آزمایش از ذرت هیبرید ۵۳۸ (میان‌رس) استفاده شد که بذر مورد نیاز از شرکت توسعه کشت ذرت واحد فارس تهیه شد. کود نیتروژن از منبع اوره به میزان ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار و کودهای فسفر و پتاسیم به ترتیب از منبع سوپرفسفات تریپل به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و سولفات پتاسیم پودری به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. یک‌سوم کود نیتروژن و تمام کودهای فسفر و پتاسیم در زمان کاشت و باقیمانده کود نیتروژن طی دو مرحله (شش تا هفت برگی و دو هفته قبل از ظهور گل‌تاجی) در فصل رشد به صورت سرک مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری) در دو سال تکرار آزمایش (۱۳۹۷-۱۳۹۸).

Soil properties	Index value	
	2018	2019
pH	7.6	7.4
Electrical conductivity (dS.m^{-1})	1.27	1.32
Total nitrogen (%)	0.14	0.11
Absorbable phosphorus (ppm)	7.7	8.1
Absorbable potassium (ppm)	268	288
Fe (mg.kg^{-1})	6.9	7.1
Zn (mg.kg^{-1})	0.52	0.57
Soil texture	Clay loam	Clay loam

بذرهای ذرت به صورت کپهای و با قرار دادن دو الی سه بذر سالم روی پشته‌های ۵۰ سانتی‌متری و به فاصله ۳۰ سانتی‌متر از همدیگر روی ردیف‌های کشت در عمق چهار تا شش سانتی‌متری با دست در نیمه اول مردادماه کاشته شد (Mohammadi et al., 2015).

آبیاری به صورت یکنواخت در همه کرت‌ها به روش جوی و پشته انجام و پس از استقرار گیاه، تنش در کرت‌های مربوط اعمال شد. بذور هیدروپرایم به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد که برای تیمار پرایمینگ، بذور به مدت هشت ساعت در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد (دمای اتاق) در آب خیسانده، سپس به صورت سطحی خشک و بلافاصله کشت شد؛ شیوه‌ای که مرسوم به پرایمینگ بذر در مزرعه است و در مقایسه با روش مرسوم پرایمینگ دیگر بذور تا حد رطوبت ابتدایی خود خشک نمی‌شود (Farooq et al., 2008). برای مساحت یک هکتار، پنج لیتر سوسپانسیون میکروبی با یک جمعیت یکنواخت از باکتری (10^8) باکتری زنده و فعال (CUF) در میلی‌لیتر) در محیط مایع، در هر روش کاربرد استفاده شد. برای هیدروپرایمینگ و اسموپرایمینگ، پنج لیتر سوسپانسیون میکروبی در محلول اضافه و بذور پرایم شد. به‌علاوه، در کاربرد خاکی به ازای یک هکتار سطح، پنج لیتر سوسپانسیون میکروبی با سولفات روی مخلوط شده و قبل از کاشت درون خاک مخلوط شد. به‌طور مشابه، در محلول‌پاشی، پنج لیتر از سوسپانسیون میکروبی به همراه سولفات روی به آب‌پاش اضافه و روی برگ‌ها در مرحله چهار تا شش و هشت برگی پاشیده شد (Rehman et al., 2018). در طول فصل رشد، علف‌های هرز مزرعه به‌صورت دستی وجین شدند. آبیاری تمام کرت‌های آزمایشی تا زمان استقرار کامل گیاه (سه تا چهار برگی) به‌طور معمول با توجه به آبیاری رایج منطقه انجام شد. پس از رسیدن گیاهان به مرحله چهار تا شش برگی و پس از تنک‌کردن مزرعه، تیمارهای آبیاری شامل آبیاری مطلوب (تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بر اساس میزان تبخیر و تعرق انجام‌شده از خاک) و کم‌آبیاری (تامین ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) (Zand et al., 2009) پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس A صورت گرفت. جهت تعیین مقدار آب لازم برای آبیاری از رابطه ۱ استفاده شد:

$$I_n = 0.623 \times A \times K_c \times ET_0 \times IE^{-1} \quad \text{رابطه ۱}$$

که I_n مقدار آب آبیاری (m^3)، 0.623 یک ضریب ثابت، A مساحت کرت بر حسب m^2 ، K_c ضریب گیاهی، ET_0 تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه گیاه مرجع (متر) و IE راندمان آبیاری (در آبیاری قطره‌ای ۹۰ درصد) می‌باشد. جهت محاسبه تبخیر تعرق گیاه مرجع (به روش تشت تبخیر کلاس A) (Zareabyaneh et al., 2011) و ضریب تشت (Snyder, 1992) نیز به‌ترتیب از روابط ۲ و ۳ استفاده شد:

$$ET_0 = E_{pan} \times K_p \quad \text{رابطه ۲}$$

که در این رابطه، ET_0 تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع ($mm\ d^{-1}$)، E_{pan} تبخیر از تشت تبخیر کلاس A ($mm\ d^{-1}$) و K_p ضریب تشت (بدون واحد) می‌باشد.

$$K_p = 0.482 + 0.024 \ln(F) - 0.000376U + 0.0045H \quad \text{رابطه ۳}$$

که U میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع دو متری (km/day)، RH میانگین روزانه رطوبت نسبی بر حسب درصد، F فاصله تشت از پوشش گیاهی (m) می‌باشد. مقادیر ضرایب گیاهی ذرت نیز از 0.36 تا 0.58 در اوایل رشد، 0.71 تا 1.13 در اواسط رشد و از 0.98 تا 0.65 در مرحله برداشت متفاوت است (Farshi et al., 1997). قبل و بعد از آبیاری، و در روزهای بعد از آبیاری نیز رطوبت خاک اندازه‌گیری شد.

۲-۱. صفات مورد اندازه‌گیری

نمونه‌گیری جهت اندازه‌گیری محتوای پروتئین محلول برگ و میزان عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی در برگ در زمان گرده‌افشانی که شاخص سطح برگ حداکثر است، انجام شد. در زمان برداشت محتوای عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی در دانه و پروتئین بذر اندازه‌گیری شد. برای تعیین میزان نیتروژن برگ و دانه، از روش Novozamsky et al. (1974) استفاده شد. تعیین نیتروژن در این روش طبق واکنش برتلوت است. در این واکنش یک ترکیب فنولی (در اینجا سالیسیلات) در حضور آمونیاک و هیپوکلرید، یک رنگ سبزآبی تولید می‌کند. در محیط قلیایی، ایندوفنول تشکیل شده، به رنگ سبزآبی در آمده و مقدار جذب آن به‌وسیله دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ۶۶۰ نانومتر تعیین شد. در واقع این روش، اندازه‌گیری غلظت آمونیوم تشکیل‌شده

توسط ترکیبات نیتروژن موجود در نمونه است. برای اندازه‌گیری روی و آهن برگ، ابتدا عصاره نمونه‌ها به روش هضم تر و با استفاده از روش Emami (1996) تهیه شد. برای اندازه‌گیری میزان روی برگ از روش جذب اتمی شعله‌ای استفاده شد. برای کار با دستگاه جذب اتمی (Cottenie, 1980)، پنج میلی‌لیتر از نمونه‌های عصاره‌گیری شده نمونه شاهد و سری محلول‌های استاندارد به لوله آزمایش منتقل شد. استانداردهای روی از استاندارد غلیظ عنصر آماده در بازار ساخته شد. غلظت روی و آهن در ماده خشک گیاهی بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم بر اساس رابطه ۴ به‌دست آمد:

$$\text{رابطه ۴} \quad (a - b) \times v/w \times 100 / D.M$$

که در این رابطه a = غلظت عنصر در نمونه بر حسب میلی‌گرم در لیتر، b = غلظت عنصر در شاهد بر حسب میلی‌گرم در لیتر، v = حجم نهائی عصاره حاصل بر حسب میلی‌لیتر، w = وزن نمونه گیاه هضم‌شده بر حسب گرم و $D.M$ = درصد ماده خشک گونه گیاه در نمونه بود.

همچنین به منظور اندازه‌گیری غلظت فسفر، برگ و دانه گیاه به مدت ۴۶ ساعت در آون با دمای ۶۳ درجه سلسیوس قرار داده و خشک شد. سپس غلظت فسفر برگ و دانه به روش رنگ‌سنجی و با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر قرائت شد. بعد از تهیه استانداردهای فسفر و قرائت جذب نمونه‌ها و استانداردها با دستگاه اسپکتروفتومتر میزان غلظت عنصر فسفر محاسبه و بر اساس میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن نمونه گزارش شد (Emami, 1996). مقدار پتاسیم به روش نشر شعله‌ای با دستگاه فلیم‌فتومتر اندازه‌گیری شد. بعد از تهیه استانداردهای پتاسیم، جذب نمونه‌ها و استانداردها با دستگاه فلیم‌فتومتر مشاهده و میزان غلظت عنصر پتاسیم بر حسب میلی‌گرم بر گرم نمونه برگ یا دانه محاسبه شد. جهت اندازه‌گیری پروتئین محلول برگ و پروتئین دانه، طبق روش Kar & Mishra (1976) عصاره‌گیری از نمونه‌ها انجام شد. سپس نمونه‌ها برای سنجش کمی با دستگاه اسپکتروفتومتر آماده شد. با قرائت جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۹۵ نانومتر و رسم منحنی رگرسیون بین میزان جذب استانداردها (محور x) و غلظت آن‌ها (محور y) و نسبت‌دادن جذب تیمارها با این منحنی استاندارد میزان غلظت پروتئین در نمونه‌ها بر حسب میلی‌گرم بر میلی‌لیتر به‌دست آمد. سپس با توجه به غلظت پروتئین در نمونه و طبق وزن نمونه آسیاب‌شده، غلظت پروتئین در یک گرم نمونه محاسبه شد. در نهایت طبق حجم اولیه محلول، غلظت واقعی پروتئین نمونه بر حسب میلی‌گرم بر گرم نمونه به‌دست آمد. عملیات برداشت، به هنگام رسیدگی فیزیولوژیک دانه‌ها که با تشکیل لایه سیاه در قاعده هر دانه مشخص می‌شود، در نیمه دوم آبان‌ماه انجام شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه و اجزای آن، با رعایت حاشیه، ۱۰ بوته انتخاب و صفات مورد نظر اندازه‌گیری شد.

۲-۲. تجزیه و تحلیل آماری

آزمون نرمال بودن داده‌ها و آزمون یکنواختی واریانس‌ها (آزمون بارتلت) قبل از تجزیه واریانس انجام شد. به دلیل معنی‌دار نشدن آزمون بارتلت تجزیه مرکب دوساله انجام شد. تجزیه واریانس داده‌ها برای صفات مختلف با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام شد. مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD صورت گرفت. شکل‌ها و نمودارهای مربوط به مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

۳. یافته‌های پژوهشی و بحث

تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از معنی‌داری اثر ساده سال بر میزان نیتروژن و پروتئین محلول برگ، میزان روی و آهن دانه و عملکرد دانه ذرت بود. کم‌آبیاری نیز بر همه صفات مورد مطالعه بجز میزان پتاسیم برگ و دانه تاثیر بسیار معنی‌داری داشت. اثر ترکیب سولفات روی - باکتری حلال‌ساز نیز برای همه صفات بجز محتوای نیتروژن، پتاسیم، آهن و پروتئین دانه معنی‌دار بود. جدول تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر تاثیر معنی‌دار برهمکنش‌های سال × کم‌آبیاری برای صفات میزان نیتروژن، آهن و پروتئین برگ و دانه و نیز میزان روی برگ ذرت بود. برهمکنش سال × کاربرد سولفات روی - باکتری حلال‌ساز تنها برای میزان نیتروژن و پروتئین برگ و دانه و نیز میزان روی برگ و عملکرد دانه ذرت معنی‌دار بود. برهمکنش کم‌آبیاری × سولفات روی - باکتری حلال‌ساز نیز فقط برای محتوای نیتروژن، پروتئین، روی و عملکرد دانه ذرت معنی‌دار بود. میزان نیتروژن، روی و پروتئین برگ و دانه ذرت هم تحت تاثیر معنی‌دار برهمکنش سه‌گانه سال × کم‌آبیاری × سولفات روی - باکتری حلال‌ساز قرار گرفت (جدول ۳).

۳-۱. محتوای نیتروژن برگ و دانه

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها حکایت از بیشتر بودن مقدار نیتروژن برگ در شرایط آبیاری کامل و کاربرد سولفات روی-باکتری حلال‌ساز در سال ۱۳۹۸ بود؛ به‌طوری‌که بیشترین (۲۷/۵ میلی‌گرم بر گرم) به تیمار عدم تنش خشکی و کاربرد خاکی سولفات روی باکتری سودوموناس فلورسنس در سال ۱۳۹۸ تعلق داشت که ۱۸/۵ درصد بیشتر از محتوای نیتروژن برگ تیمار شاهد در همان سال بود (جدول ۴). با توجه به شرایط اقلیمی بهتر سال ۱۳۹۸ (جدول ۱)، آبیاری مطلوب و افزایش فراهمی و جذب عناصر با اضافه کردن کود سولفات روی و باکتری حلال‌ساز به محیط رشد گیاه، حصول نتیجه حاضر منطقی به نظر می‌رسد. چرا که هر عاملی که منجر به افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه شود، می‌تواند غلظت آن‌ها را در برگ و اندام‌های گیاه افزایش دهد. بررسی بیشتر نتایج همچنین نشان داد که در بین روش‌های کاربرد سولفات روی-باکتری حلال‌ساز، کاربرد خاکی آن در افزایش میزان نیتروژن گیاه موفق‌تر عمل کرده و کمترین تأثیر را محلول‌پاشی داشته است که با توجه به آن که کودهای به‌کار رفته در خاک و به‌ویژه باکتری‌های حلال‌ساز، عرصه وسیع‌تری برای فراهمی نیتروژن داشتند، کسب این نتیجه محتمل هم به نظر می‌رسید؛ حال آنکه محلول‌پاشی تنها قادر بود جذب گیاه را تحت تأثیر قرار دهد و به عناصر موجود در خاک دسترسی نداشت. در رابطه با کاربرد باکتری‌های محرک رشد در ذرت و تأثیر آن بر مقدار نیتروژن برگ، Mokhtari & Besharati (2013) بیان داشتند که تیمارهای بذر ذرت تلقیح‌شده با باکتری سودوموناس فلورسنس، میزان این عنصر را در گیاه افزایش دادند. همچنین افزایش غلظت نیتروژن گیاه در اثر تلقیح بذر ذرت با باکتری‌های محرک رشد توسط Doroudian & Besharati (2018) هم گزارش شده که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت.

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار محتوای نیتروژن دانه (۲۵/۹ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار عدم تنش خشکی×کاربرد خاکی سولفات روی-باکتری سودوموناس فلورسنس در سال ۱۳۹۸ به‌دست آمد که ۲۷ درصد بیشتر از تیمار شاهد در همان سال بود (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد شرایط اقلیمی مساعد، آبیاری مطلوب و کاربرد سولفات روی به همراه باکتری‌های سودوموناس، توانست شرایط مساعدی جهت فراهمی و جذب نیتروژن فراهم آورده و بدین‌ترتیب حداکثر مقدار نیتروژن را در برگ و اندام‌های هوایی گیاه و در ادامه با انتقال مجدد، در دانه گیاه تولید کند؛ در حالی که در شرایط تنش و بدون کاربرد کودهای ذکر شده این مقدار کاهش یافت. Heidari *et al.* (2023) نیز گزارش کردند که با افزایش میزان آبیاری، میزان تجمع نیتروژن دانه ذرت افزایش یافت. Farid *et al.* (2020) نیز گزارش دادند که آب در تجمع نیتروژن دخالت داشته و شرایط بهتری را از نظر تغذیه در طول دوره پر شدن دانه فراهم می‌آورد؛ چرا که وقتی آب در دسترس کاهش می‌یابد، شدت جریان به سمت ریشه نیز کمتر شده و میزان نیترات حل‌شده در آب که باید توسط گیاه جذب شود نیز کاهش می‌یابد. علیرغم این، نتایج Sajedi *et al.* (2010) حاکی از افزایش مقدار نیتروژن دانه طی شرایط تنش ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه نسبت به تیمار شاهد بود. آنان علت این امر را آبشویی عنصر نیتروژن در شرایط آبیاری مطلوب گزارش کردند که با نتایج این تحقیق مغایر بود. همچنین این محققان پس از گزارش افزایش مقدار نیتروژن دانه در اثر کاربرد سولفات روی، بیان نمودند که با مصرف عنصر روی، گیاه توانایی بیش‌تری برای تنظیم مقدار نیتروژن داشته و بنابراین این عناصر به میزان متعادل توسط ریشه جذب شده و به قسمت‌های هوایی منتقل شدند که با نتایج حاصل از این آزمایش همسو بود. Karimi *et al.* (2020) نیز گزارش کردند که قطع آبیاری و القای تنش خشکی در ذرت منجر به افزایش میزان نیتروژن دانه شد. این محققان بیان کردند که اگرچه غلظت نیتروژن، پتاسیم و فسفر دانه در اثر کمبود آب افزایش یافت، اما جذب کل نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت که این کاهش به دلیل افت شدید عملکرد اتفاق افتاد و هرچه تنش شدیدتر بود، غلظت نیتروژن بیشتر شده و اما به دلیل افت شدیدتر عملکرد، جذب کل نیتروژن کاهش یافت. به نظر می‌رسد این کاهش شدید عملکرد و افزایش غلظت نیتروژن احتمالاً در تنش‌های شدیدتر حادث شود که در مورد پژوهش حاضر صادق نبود.

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر کم آبیاری و روش های کاربرد سولفات روی- باکتری خلال ساز روی بر محتوای عناصر، پروتئین و عملکرد ذرت در دو سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸.

S.O.V	df	Mean squares												
		Nitrogen		Zinc		Phosphorus		Potassium		Iron (Fe)		Soluble leaf protein	Seed protein	Grain yield
		Leaf	Seed	Leaf	Seed	Leaf	Seed	Leaf	Seed	Leaf	Seed			
Year	1	148.5**	16.47 ^{ns}	490.6 ^{ns}	18541.4**	0.17 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.56 ^{ns}	1.675 ^{ns}	1990.1 ^{ns}	3471.2*	52.30**	5.84 ^{ns}	33853002.8**
Replicate (Year)	4	27.8	34.61	651.8	247.8	0.06	0.24	8.25	7.72	3370.2	275.2	11.22	13.41	4549856.9
Drought stress	1	98.3**	62.58**	5695.2**	4853.4*	46.98**	26.31**	0.35 ^{ns}	0.39 ^{ns}	15033.5**	11923.4**	34.16**	137.0**	28872711.1**
Drought stress×Year	1	176.9**	121.55**	9050.3**	1308.0 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.08 ^{ns}	1.00 ^{ns}	0.140 ^{ns}	12100.0**	12167.3**	73.54**	48.52**	33002.8 ^{ns}
Replicate (Year× Drought stress)	4	3.65	6.06	342.4	436.2	0.10	0.13	12.25	3.30	9965.8	786.7	2.02	2.42	1258231.9
Zinc sulfate- solver bacteria	11	25.9*	9.75 ^{ns}	4533.0**	1052.0*	1.28**	0.82**	20.75*	12.60 ^{ns}	1740.2**	1513.2 ^{ns}	10.12*	3.58 ^{ns}	17748150.5**
Year × Zinc sulfate- solver bacteria	11	37.7**	49.41**	2559.9**	650.9 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.06 ^{ns}	17.00 ^{ns}	11.32 ^{ns}	1675.9 ^{ns}	867.7 ^{ns}	14.84**	18.94**	6901866.4**
Drought stress× Zinc sulfate- solver bacteria	11	24.7*	22.12 ^{ns}	1151.6**	580.8 ^{ns}	0.20 ^{ns}	0.17 ^{ns}	14.50 ^{ns}	10.50 ^{ns}	720.7 ^{ns}	536.9 ^{ns}	9.91*	8.70 ^{ns}	35463620.2**
Year × Drought stress× Zinc sulfate- solver bacteria	11	21.4*	25.52*	875.4*	2732.3**	0.01 ^{ns}	0.10 ^{ns}	2.75 ^{ns}	12.52 ^{ns}	512.0 ^{ns}	517.9 ^{ns}	9.00*	10.03*	4474608.8 ^{ns}
Error	88	10.8	12.46	381.0	1060.2	12.29	0.16	9.75	9.50	1393.4	824.8	360.25	4.91	2731976
Coefficient of variation (%)		17.07	18.87	20.54	23.49	15.02	11.53	13.97	14.72	14.94	17.65	16.92	18.93	10.65

^{ns}؛ *؛ **: به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال خطای پنج و یک درصد.

جدول ۴. مقایسه میانگین برهمکنش کم آبیاری و روش های کاربرد ترکیب سولفات روی و باکتری حلال ساز روی بر محتوای نیتروژن و روی ذرت در دو سال ۱۳۸۷ و ۱۳۸۹.

Treatment		Nitrogen content of leaves (mgg ⁻¹)		Nitrogen content of seeds (mgg ⁻¹)		Zinc content of leaves (mgkg ⁻¹)		Zinc content of seeds (mgkg ⁻¹)	
		2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Normal irrigation	Control	20.9 ^{bc}	23.2 ^{bc}	13.9 ^c	20.4 ^{ab}	59.55 ^d	65.57 ^{cd}	60.67 ^b	90.00 ^b
	Zinc priming	15.4 ^c	21.1 ^{bc}	17.5 ^{bc}	19.2 ^b	48.62 ^d	56.80 ^d	65.33 ^b	97.33 ^b
	Zinc foliar	15.3 ^c	21.4 ^{bc}	20.9 ^{ab}	20.6 ^{ab}	120.23 ^{bc}	91.83 ^c	85.33 ^b	92.00 ^b
	Soil application of zinc	18.4 ^{bc}	22.7 ^{bc}	19.7 ^{ab}	22.8 ^{ab}	123.50 ^b	108.73 ^{bc}	66.67 ^b	105.33 ^{ab}
	<i>Pseudomonas fluorescense</i>	17.1 ^c	18.8 ^c	20.2 ^{ab}	21.8 ^{ab}	76.53 ^{cd}	72.70 ^{cd}	96.00 ^b	142.00 ^{ab}
	Zinc with <i>Pseudomonas fluorescense</i> priming	22.5 ^{ab}	21.2 ^{bc}	19.2 ^b	19.6 ^{ab}	78.70 ^{cd}	63.37 ^{cd}	93.00 ^b	118.67 ^{ab}
	Zinc with <i>Pseudomonas fluorescens</i> foliar	17.6 ^c	21.0 ^{bc}	24.7 ^{ab}	23.0 ^{ab}	150.23 ^{ab}	89.10 ^{cd}	74.33 ^b	154.33 ^a
	Soil application of zinc with <i>Pseudomonas fluorescense</i>	21.2 ^{bc}	27.5 ^a	20.1 ^{ab}	25.9 ^a	88.83 ^{bc}	80.33 ^{cd}	111.67 ^{ab}	97.33 ^b
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	15.2 ^c	22.9 ^{bc}	21.5 ^{ab}	19.5 ^b	66.67 ^{cd}	109.3 ^{bc}	130.67 ^{ab}	90.33 ^b
	Zinc with <i>Pseudomonas aeruginosa</i> priming	20.1 ^{bc}	21.1 ^{bc}	23.6 ^{ab}	22.7 ^{ab}	98.40 ^{bc}	90.17 ^{cd}	105.33 ^{ab}	124.00 ^{ab}
	Zinc with <i>Pseudomonas aeruginosa</i> foliar	17.0 ^c	22.4 ^{bc}	23.3 ^{ab}	23.3 ^{ab}	142.12 ^{ab}	79.27 ^{cd}	94.00 ^b	129.00 ^{ab}
	Soil application of zinc with <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	21.2 ^{bc}	22.8 ^{bc}	21.1 ^{ab}	22.8 ^{ab}	80.10 ^{cd}	84.73 ^{cd}	81.00 ^b	139.33 ^{ab}
Deficit irrigation	Control	15.6 ^c	16.4 ^c	13.1 ^c	15.3 ^{bc}	61.73 ^{cd}	105.50 ^{bc}	60.33 ^b	75.00 ^b
	Zinc priming	19.4 ^{bc}	18.3 ^c	17.5 ^{bc}	17.1 ^{bc}	69.40 ^{cd}	108.77 ^{bc}	94.00 ^b	72.33 ^b
	Zinc foliar	14.7 ^{cd}	13.9 ^{cd}	18.4 ^{bc}	16.9 ^{bc}	141.53 ^{ab}	135.57 ^{ab}	75.33 ^b	101.33 ^b
	Soil application of zinc	15.9 ^c	22.3 ^{bc}	17.4 ^{bc}	18.2 ^{bc}	76.53 ^{cd}	129.00 ^{ab}	104.33 ^{ab}	110.67 ^{ab}
	<i>Pseudomonas fluorescense</i>	9.8 ^d	20.7 ^{bc}	18.2 ^{bc}	18.7 ^{bc}	89.00 ^{bc}	127.90 ^{ab}	112.67 ^{ab}	90.33 ^{bc}
	Zinc with <i>Pseudomonas fluorescense</i> priming	16.6 ^c	15.6 ^c	22.0 ^{ab}	18.3 ^{bc}	88.00 ^{cd}	102.77 ^{bc}	71.33 ^b	73.67 ^b
	Zinc with <i>Pseudomonas fluorescens</i> foliar	18.7 ^c	13.5 ^{cd}	19.6 ^{ab}	20.4 ^{ab}	140.63 ^{ab}	136.63 ^{ab}	105.67 ^{ab}	100.67 ^b
	Soil application of zinc with <i>Pseudomonas fluorescense</i>	22.1 ^{bc}	23.7 ^{bc}	20.3 ^{ab}	19.8 ^{ab}	123.53 ^b	77.07 ^{cd}	96.67 ^b	92.33 ^b
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	20.2 ^{bc}	16.9 ^c	19.6 ^{ab}	18.5 ^{bc}	60.10 ^d	104.93 ^{bc}	71.33 ^b	96.67 ^b
	Zinc with <i>Pseudomonas aeruginosa</i> priming	18.2 ^c	20.5 ^{bc}	19.5 ^b	21.6 ^{ab}	97.83 ^{bc}	91.80 ^c	73.33 ^b	134.00 ^{ab}
	Zinc with <i>Pseudomonas aeruginosa</i> foliar	24.0 ^b	16.2 ^c	22.0 ^{ab}	21.1 ^{ab}	109.17 ^{bc}	154.17 ^a	65.33 ^b	126.00 ^{ab}
	Soil application of zinc with <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	20.0 ^{bc}	21.8 ^{bc}	18.6 ^{bc}	21.8 ^{ab}	75.40 ^{cd}	115.33 ^{bc}	76.67 ^b	124.00 ^{ab}

میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون برای هر صفت اختلاف معنی داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

۳-۲. محتوای روی برگ و دانه

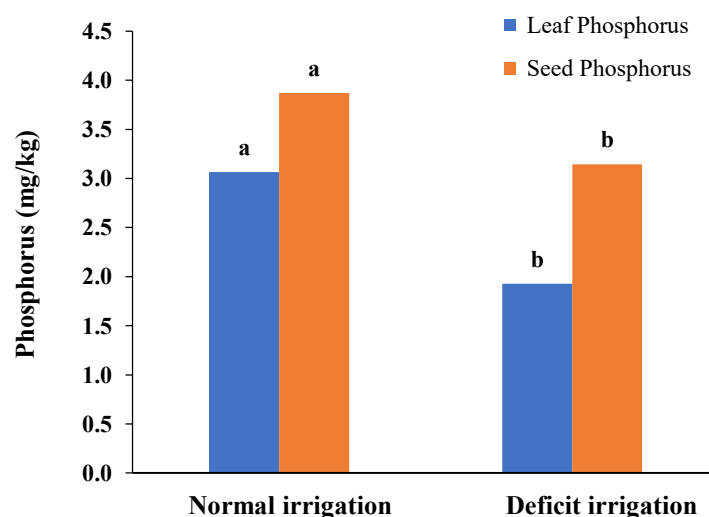
جدول مقایسه میانگین داده ها دلالت بر افزایش محتوای روی برگ تحت تأثیر کاربرد سولفات روی و سویه های فلورسنس و آئروژینوزای باکتری سودوموناس و در شرایط کم آبیاری و به ویژه در سال ۱۳۹۸ بود؛ به این ترتیب که بیشترین (۱۵۴/۱۷ میلی گرم بر کیلوگرم) مقدار برای این عنصر به تیمار کم آبیاری و محلول پاشی سولفات روی- باکتری سودوموناس آئروژینوزا در سال ۱۳۹۸ تعلق داشت که ۱۳۵ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد نشان داد (جدول ۴). نتایج همچنین نشان داد که از بین روش های مصرف، محلول پاشی سولفات روی- باکتری بیشترین تأثیر را در افزایش روی برگ گیاه داشت. Mokhtari & Besharati (2013) نیز افزایش غلظت روی برگ در ذرت را تحت تأثیر باکتری های محرک رشد و کودهای شیمیایی گزارش کردند. Doroudian & Besharati (2018) نیز پس از مشاهده افزایش غلظت روی در اندام های هوایی ذرت بیان کردند که تلقیح گیاه با باکتری های محرک رشد با تغییر مورفولوژی ریشه و افزایش سطح جذب آن، موجب افزایش جذب مواد غذایی می شود. همچنین Abbaszadeh Dahaji *et al.* (2017) بیان داشتند که تلقیح جدایه های باکتری سودوموناس فلورسنس جذب روی گیاه ذرت را به ویژه در ریشه افزایش داد. بنابراین افزایش میزان روی موجود در اندام های هوایی گیاه ذرت در اثر سازوکارهای مختلفی از جمله

ترشحات ریشه‌ای زیاد ذرت، افزایش طول و وزن ریشه و تولید سیدروفورها و هورمون‌های گیاه توسط باکتری‌های محرک رشد است. نتایج Jamali *et al.* (2012) نیز حاکی از افزایش غلظت روی برگ ذرت در شرایط کاربرد سولفات روی و کم‌آبیاری بود. در توجیه این موضوع نیز عنوان کردند که طی شرایط تنش کمبود آب، ریشه‌های پیر غیر فعال شده و تنها نوک ریشه به جذب عناصر غذایی می‌پردازند که در این شرایط، کاتیون‌های دوظرفیتی همچون روی بیشتر از کاتیون‌های تک‌ظرفیتی جذب شده و جذب آنیون‌ها نیز محدود می‌شود.

بررسی جدول مقایسه میانگین داده‌ها نشانگر افزایش محتوای روی دانه تحت تأثیر کاربرد سولفات روی و سویه‌های فلورسنس و آئروژینوزای باکتری سودوموناس و در شرایط آبیاری مطلوب و در سال ۱۳۹۸ داشت؛ به این ترتیب که بیشترین (۱۵۴/۳۳ میلی گرم بر کیلوگرم) مقدار برای این عنصر به ترتیب از تیمار عدم تنش خشکی و محلول‌پاشی سولفات روی - باکتری سودوموناس فلورسنس در سال ۱۳۹۸ به دست آمد که ۷۱/۵ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود (جدول ۴). نتایج همچنین حاکی از تأثیر بیشتر سویه فلورسنس نسبت به سویه آئروژینوزا بود و بین روش‌های مصرف، ارجحیت مشخصی وجود نداشت. نتایج آزمایش Kiani *et al.* (2021) نشان داد که بیشترین غلظت روی دانه از تیمار شاهد و کمترین مقدار آن از تیمار کم‌آبیاری در مرحله گل‌تاجی به دست آمد. این محققان بیان کردند که اگرچه غلظت عناصر در شرایط مطلوب بدون تنش در حد کفایت بود، اما تنش، با محدود کردن جذب آب، جذب و غلظت عناصر، از جمله عنصر روی در دانه را کاهش داد. البته این محققان بیان کردند که با تشدید تنش کمبود آب، علیرغم کاهش جذب کل، غلظت عناصر در دانه به دلیل کاهش حجم دانه افزایش یافت. همچنین Karimi *et al.* (2020) گزارش کردند که تیمار قطع آبیاری منجر به افزایش معنی‌دار غلظت روی در دانه ذرت شد؛ چرا که طی این شرایط اگرچه جذب عناصر کاهش می‌یابد، اما به دلیل بسته شدن روزنه‌ها، میزان تولید و ذخیره مواد فتوسنتزی در گیاه نیز به‌طور شدیدی کاهش می‌یابد. در این آزمایش اگر چه غلظت روی برگ تحت تأثیر تنش افزایش یافت، اما به نظر می‌رسد ادامه تنش میزان دسترسی گیاه را تحت الشعاع قرار داده و گیاه نتوانسته است نیاز خود را در حد کفایت مرتفع و غلظت روی دانه را حفظ کند، بنابراین میزان آن کاهش یافته است.

۳-۳. محتوای فسفر برگ و دانه

نتایج نشان داد که کم‌آبیاری منجر به کاهش ۳۹ درصدی فسفر برگ شده و مقدار میانگین آن را از ۳/۱ میلی گرم بر کیلوگرم به ۱/۹ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک برگ کاهش داده است (شکل ۱).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر کم‌آبیاری بر محتوای فسفر برگ و دانه ذرت بر اساس آزمون LSD.

به نظر می‌رسد کم‌آبیاری با کاهش رطوبت خاک مانع از دسترسی و جذب کافی مواد غذایی و عنصر فسفر شده و بنابراین غلظت آن را در بافت گیاهی و برگ ذرت به‌طور قابل توجهی کاهش داده است. Sajedi *et al.* (2010) نیز کاهش مقدار فسفر گیاه

در اثر تنش خشکی را گزارش کردند که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها همچنین نشان داد که کاربرد ترکیب سولفات روی- باکتری حلال‌ساز در همه روش‌ها موجب افزایش محتوای فسفر برگ شد؛ به‌طوری‌که بیشترین (۲/۸۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مقدار فسفر برگ به تیمار کاربرد خاکی سولفات روی- باکتری سودوموناس فلورسنس مربوط بود که ۵۴/۱ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد کود سولفات روی با افزایش فراهمی عنصر روی و بنابراین رفع محدودیت گیاه برای این عنصر، مسیر را برای جذب مؤثر سایر عناصر نیز هموارتر کرده است. به‌علاوه احتمالاً باکتری‌های به‌کار رفته در تیمارهای آزمایشی توانستند با تولید اسیدهای آلی، حلالیت فسفات‌های معدنی کم‌محلول را افزایش داده و بنابراین موجب افزایش فراهمی و جذب فسفر توسط گیاه شوند. افزایش غلظت فسفر برگ گیاه ذرت تحت تأثیر کاربرد باکتری‌های سودوموناس و دیگر باکتری‌های محرک رشد همچنین توسط Doroudian & Besharati (2018) و Mokhtari & Besharati (2013) گزارش شد.

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که مقدار فسفر دانه نیز همچون فسفر برگ تحت تأثیر کم‌آبیاری کاهش یافت؛ به‌طوری‌که میانگین محتوای فسفر دانه در شرایط عدم وجود تنش (۳/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود، حال آن‌که این مقدار برای فسفر دانه در شرایط کم‌آبیاری به ۳/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم تنزل یافت که بیانگر کاهش ۲۰/۵ درصدی بود (شکل ۱). به نظر می‌رسد همان‌گونه که تنش، با کاهش فراهمی آب و عناصر غذایی منجر به کاهش میزان فسفر برگ شد، این کاهش همچنین در محتوای فسفر دانه نیز نمود پیدا کرده و موجب کاهش آن شد. کاهش محتوای فسفر دانه ذرت تحت تأثیر تنش خشکی توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Karimi *et al.*, 2020). نتایج همچنین برای تأثیر سولفات روی- کاربرد باکتری، حاکی از افزایش انواع شیوه‌های کاربرد این ترکیبات نسبت به شاهد بود؛ به‌طوری‌که کمترین مقدار (۲/۹۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) برای این صفت به تیمار شاهد روی و باکتری تعلق داشت و بیشترین افزایش نیز به تیمار پرایمینگ سولفات روی باکتری سودوموناس آئروژینوزا مربوط بود که میزان فسفر دانه را تا حدود ۳۰ درصد افزایش داد (جدول ۵). دلیل این افزایش را می‌توان افزایش فراهمی و دسترسی گیاه به عناصر غذایی تحت تأثیر کاربرد کود سولفات روی و سوبه‌های فلورسنس و آئروژینوزای باکتری سودوموناس دانست. همچنین Tian & Kolawole (2004) بیان کردند که افزایش جذب فسفر گیاه تحت تأثیر باکتری سودوموناس می‌تواند به دلیل اسیدهای ترشح‌شده از آن و کاهش pH خاک و یا کلاته‌کردن یون‌های کلسیم باشد که موجب می‌شوند فسفر در خاک تثبیت شود. افزایش فسفر دانه گیاه تحت تأثیر باکتری سودوموناس همچنین توسط Boostani & Farrokhnejad (2018) گزارش شد.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر کاربرد سولفات روی- باکتری حلال‌ساز بر محتوای برخی عناصر دانه و برگ ذرت.

Application methods of zinc sulfate and bacteria	Leaf phosphorus (mgkg ⁻¹)	Seed phosphorus (mgkg ⁻¹)	Leaf potassium (mgg ⁻¹)	Leaf iron (mgkg ⁻¹)
Control	1.83 ^c	2.94 ^d	20.05 ^c	137.7 ^{ab}
Zinc priming	2.09 ^{bc}	3.36 ^{bc}	20.8 ^{bc}	132.8 ^b
Zinc foliar	2.23 ^b	3.32 ^c	21.9 ^{abc}	138.6 ^{ab}
Soil application of zinc	2.18 ^b	3.26 ^{cd}	22.15 ^{abc}	131.0 ^b
<i>Pseudomonas fluorescense</i>	2.33 ^b	3.29 ^c	22.3 ^{abc}	154.4 ^{ab}
Zinc with <i>Pseudomonas fluorescense</i> priming	2.64 ^a	3.48 ^{abc}	23.6 ^{ab}	166.1 ^a
Zinc with <i>Pseudomonas fluorescens</i> foliar	2.78 ^a	3.74 ^a	20.9 ^{bc}	163.2 ^a
Soil application of zinc with <i>Pseudomonas fluorescense</i>	2.82 ^a	3.74 ^a	24.45 ^a	142.2 ^{ab}
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	2.74 ^a	3.73 ^a	23.2 ^{abc}	146.4 ^{ab}
Zinc with <i>Pseudomonas aeruginosa</i> priming	2.79 ^a	3.81 ^a	22.35 ^{abc}	139.5 ^{ab}
Zinc with <i>Pseudomonas aeruginosa</i> foliar	2.76 ^a	3.70 ^{ab}	23.5 ^{ab}	163.7 ^a
Soil application of zinc with <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	2.77 ^a	3.74 ^a	24.05 ^{ab}	150.8 ^{ab}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

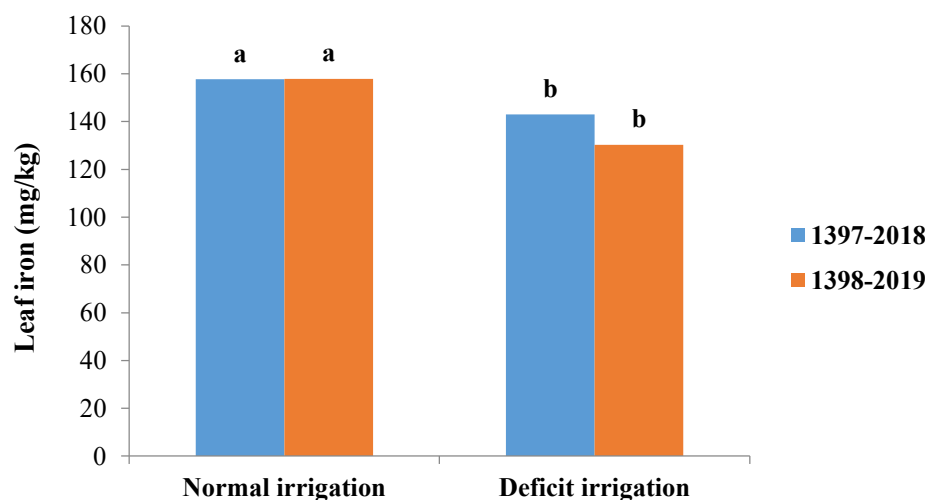
۳-۴. محتوای پتاسیم برگ و دانه

نتایج نشان داد که ترکیب سولفات روی- باکتری حلال ساز منجر به افزایش مقدار پتاسیم برگ گیاه شد؛ به طوری که بیشترین (۲۴/۵ میلی گرم بر گرم) مقدار برای این صفت به تیمار کاربرد خاکی سولفات روی- باکتری سودوموناس فلورسنس مربوط بود که ۲۲/۵ درصد بیشتر از تیمار شاهد روی و باکتری بود (جدول ۵). در بین روش های کاربرد، برای هر دو سویه باکتری، تیمار کاربرد خاکی مؤثرتر بوده و بیشترین مقادیر را به خود اختصاص داد. جذب بیشتر پتاسیم دارای اثر مثبت بر فتوسنتز، افزایش سرعت انتقال آسمیلات ها و رشد گیاه، افزایش محتوای پروتئین گیاه، تنظیم بهتر کارکرد روزنه ها و کاهش تعرق و جذب بیشتر آب می شود؛ بنابراین راه های افزایش آن برای گیاه از طرق مختلف سودمند است (Sajedi *et al.*, 2010). افزایش مقدار عنصر پتاسیم برگ ذرت در شرایط کاربرد عنصر روی در آزمایش Khalesi *et al.* (2021) نیز گزارش شد. Jamali *et al.* (2012) نیز از افزایش پتاسیم برگ ذرت تحت تأثیر سولفات روی خبر دادند؛ اما آنان همچنین گزارش کردند که کمبود آب منجر به کاهش پتاسیم در برگ گیاه ذرت شد که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت نداشت. شاید علت این موضوع شدت تنش و یا مقدار پتاسیم موجود در خاک به عنوان عاملی تأثیرگذار بر این موضوع باشد که در شرایط فراهمی و دسترسی کافی، جذب آن می تواند افزایش یابد؛ کما اینکه گزارش شده است که در شرایط تنش خشکی به علت تر و خشک شدن های متوالی خاک، با رها شدن پتاسیم از بین لایه های رسی غلظت پتاسیم خاک افزایش می یابد و جذب پتاسیم را بیشتر می کند (Logan *et al.*, 1997). حال آنکه در صورت وجود کمبود این عنصر در خاک، تحت تأثیر تنش خشکی، می تواند با کاهش جذب آب مانع جذب عناصر و از جمله عنصر پتاسیم توسط گیاه شود. در آزمایش حاضر به نظر می رسد شدت تنش و یا غلظت پتاسیم موجود در خاک به گونه ای نبوده که کم آبیاری، جذب آن را به طور معنی دار تحت تأثیر قرار دهد.

به نظر می رسد فراهمی مقدار پتاسیم مورد نیاز گیاه به گونه ای بوده که به راحتی فراهم شده و عوامل مختلف تأثیر معنی داری بر آن نداشت. کاربرد کودهای زیستی در آزمایش Sajedi *et al.* (2010) نیز تأثیر معنی داری بر مقدار پتاسیم دانه نداشت. به علاوه Karimi *et al.* (2020) در پژوهش خود با موضوع تأثیر تنش خشکی بر مقدار پتاسیم ذرت بیان داشتند که گیاهان مختلف در رابطه با جذب عناصر واکنش های متفاوتی به تنش نشان می دهند و برای مثال ذرت در زمان تنش با حفظ فشار تورگر توانایی بیشتری نسبت به سویا و برنج برای حفظ غلظت عناصر و افزایش جذب آنان از خاک داشته است.

۳-۵. محتوای آهن برگ و دانه

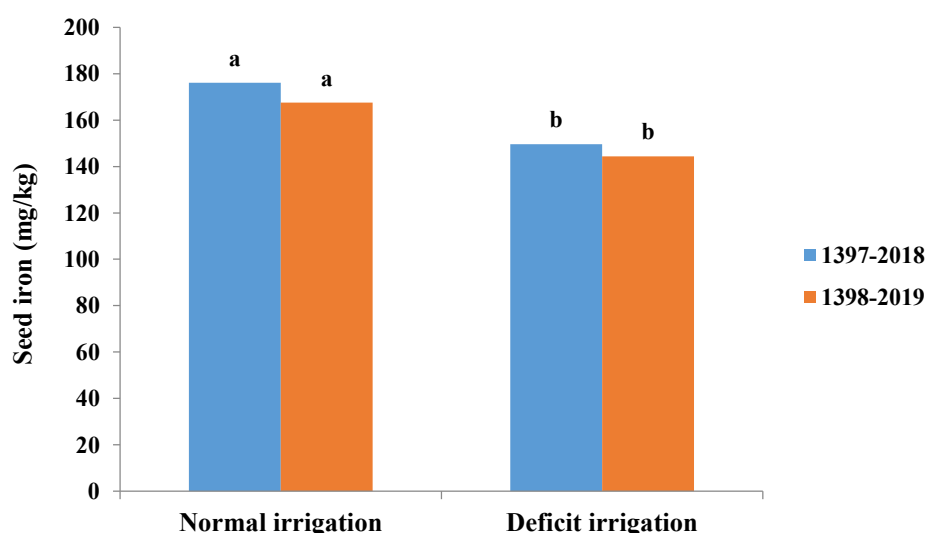
مقایسه میانگین داده ها حاکی از آن بود که بیشترین (۱۵۷/۹۱ میلی گرم بر کیلوگرم) مقدار آهن برگ به تیمار عدم تنش در سال ۱۳۹۸ تعلق داشت که کم آبیاری مقدار آن را ۱۷/۵ درصد کاهش داد (شکل ۲).



شکل ۲. مقایسه میانگین برهمکنش سال × کم آبیاری بر غلظت آهن برگ ذرت بر اساس آزمون LSD.

به نظر می‌رسد جذب آهن در شرایط کم‌آبیاری مختل شده و بنابراین غلظت آن در گیاه کاهش یافت. اما نتایج برای اثر کاربرد سولفات روی - باکتری سودوموناس نشان‌دهنده افزایش این عنصر در گیاه به‌ویژه در تیمارهای حاوی باکتری بود؛ به‌طوری‌که بیشترین (۱۶۶/۱ میلی گرم بر کیلوگرم) محتوای آهن برگ ذرت از تیمار پرایمینگ سولفات روی - باکتری سودوموناس فلورسنس به‌دست آمد که ۲۰/۶ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود (جدول ۵). احتمالاً این افزایش جذب آهن، در نتیجه فعل و انفعالات مثبت باکتری سودوموناس بر حلالیت و فراهمی این عنصر به‌دست آمد، حال آن که به نظر می‌رسد نقش عنصر روی در این فرآیند ناچیز و یا نامشهود بود. در پژوهشی Abbaszadeh dahaji *et al.* (2017) گزارش کردند که کاربرد باکتری محرک رشد سودوموناس فلورسنس منجر به افزایش غلظت آهن در اندام‌های هوایی گیاه شد. Boostani & Farrokhnejad (2018) نیز در تحقیق خود روی ذرت نشان دادند که کاربرد تیمارهای میکروبی موجب افزایش جذب آهن توسط گیاه نسبت به تیمار شاهد شد. آنان علت این امر را به تولید اسید توسط ریزموجودات و حلال‌سازی این عنصر و در نهایت افزایش قابلیت جذب آن برای گیاه عنوان کردند. همچنین Doroudian & Besharati (2018) گزارش کردند که همه سویه‌های سودوموناس قادر به تولید سیدروفور بوده و جذب آهن در اندام هوایی ذرت را افزایش دادند که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشت.

نتایج حاکی از بیشتر بودن آهن دانه در تیمارهای سال ۱۳۹۸ و بدون تنش بود و بیشترین (۱۷۶/۱ میلی گرم بر کیلوگرم) میزان آهن موجود در دانه به تیمار عدم تنش خشکی و در سال ۱۳۹۸ بود، اگرچه اختلاف معنی‌داری بین سال‌ها مشاهده نشد (شکل ۳). با توجه به تشابه نسبی که میان روند آهن دانه با آهن برگ وجود داشت، به‌نظر می‌رسد کمتر بودن جذب آهن توسط گیاه در مراحل اولیه رشد تحت تأثیر تنش در میزان جذب آهن دانه نیز نمایان شد. از آنجایی که بخش قابل توجهی از ذخایر دانه توسط انتقال مجدد تأمین می‌شود، حصول چنین نتیجه‌ای دور از انتظار نبود. در رابطه با اثر کاربرد سولفات روی - باکتری، Mokhtari & Besharati (2013) نیز گزارش کردند که تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر غلظت آهن ذرت معنی‌دار نبود که با نتایج تحقیق پیش رو مطابقت داشت. آنان علت این امر را مرتبط با وجود رقابت میان آهن و روی در محیط ریشه گیاه دانستند و ادعان کردند که افزایش میزان روی مانع جذب آهن می‌شود.



شکل ۳. مقایسه میانگین برهمکنش سال × کم‌آبیاری بر غلظت آهن دانه ذرت بر اساس آزمون LSD.

۳-۶. محتوای پروتئین محلول برگ و دانه

طبق جدول مقایسه میانگین داده‌ها مشاهده شد که مقدار پروتئین محلول برگ در تیمارهای عدم آبیاری کامل و کاربرد توأم سولفات روی - باکتری‌های سودوموناس و در سال ۱۳۹۸ بیشتر بود؛ به‌طوری‌که بیشترین (۱۷/۱۸ میلی گرم بر گرم) مقدار پروتئین محلول برگ به تیمار سال ۱۳۹۸، عدم تنش، ترکیب کاربرد خاکی روی با باکتری سودوموناس فلورسنس تعلق داشت که ۱۸/۷

درصد بیشتر از تیمار شاهد بود، همچنین نتایج حاکی از افزایش ۵۹/۷ درصدی تیمار محلول پاشی سولفات روی - باکتری سودوموناس آئروژینوزا نسبت به تیمار شاهد در شرایط بدون تنش خشکی و در سال ۱۳۹۷ بود (جدول ۶). در رابطه با تیمارهای کم آبیاری نیز، مشاهده شد که تیمار کاربرد خاکی سولفات روی - باکتری سودوموناس فلورسنس در سال ۱۳۹۷، و تیمار محلول پاشی گیاه با ترکیب سولفات روی - باکتری سودوموناس فلورسنس در سال ۱۳۹۸، به ترتیب موجب افزایش ۵۰/۶ و ۴۴/۹ درصدی پروتئین محلول برگ نسبت به شاهد شدند (جدول ۶). با توجه به اینکه نیتروژن عنصر اصلی موجود در اسیدهای آمینه به عنوان واحد سازنده پروتئین ها است، به نظر می رسد هر آن چه موجب افزایش جذب نیتروژن می شود، افزایش پروتئین های موجود در گیاه را نیز به دنبال داشته است. بنابراین آبیاری مطلوب و کاربرد کود سولفات روی به همراه باکتری های محرک رشد در سال دوم با ایجاد شرایط اقلیمی بهتر و با فراهمی بیشتر عنصر نیتروژن برای گیاه و نیز با توجه به نقشی که عنصر روی در سنتز پروتئین ها ایفا می کند، در نهایت موجب افزایش پروتئین های محلول گیاه شد. تأثیر عنصر روی در افزایش غلظت پروتئین توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Jamali et al., 2012). در رابطه با اثر کمبود آب، Zand et al. (2009) بیان داشتند که تنش موجب توقف و کاهش سنتز پروتئین ها می شود، چرا که کاهش دو تا سه اتمسفری پتانسیل آب در برگ های در حال توسعه ذرت، منجر به نقصان قابل توجهی در پلی ریبوزوم ها و مونوریبوزوم ها می شود که خود بیانگر کاهش سنتز پروتئین ها است. همچنین Ghaderi et al. (2020) در توضیح کاهش پروتئین ها تحت شرایط تنش بیان داشتند که طی تنش خشکی یون هایی از قبیل Na^+ و Cl^- به درون لایه های هیدراسیونی پروتئین ها نفوذ کرده و بدین ترتیب در کار این پروتئین ها اختلال ایجاد می کند. در رابطه با اثر باکتری های محرک رشد، Ghanbari et al. (2021) و Khalilzadeh et al. (2022) گزارش کردند که کاربرد این کودها و در شرایط آبیاری مطلوب موجب افزایش محتوای پروتئین در گیاه شد.

جدول مقایسه میانگین داده ها نشان داد که محتوای پروتئین دانه نیز روندی مشابه با پروتئین برگ داشت. به عبارت دیگر، میزان پروتئین دانه با کاربرد سولفات روی - باکتری حلال ساز و در شرایط آبیاری مطلوب در سال دوم افزایش یافت، به طوری که بیشترین (۱۵/۷۸ میلی گرم بر گرم) پروتئین دانه به تیمار عدم تنش خشکی و محلول پاشی سودوموناس فلورسنس در سال ۱۳۹۸ مربوط بود که ۳۵/۹ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود (جدول ۶). این نتیجه را می توان با مساعدتر بودن شرایط اقلیمی سال ۱۳۹۸، بهبود و افزایش جذب نیتروژن و پروتئین سازی گیاه به واسطه نقشی که عنصر روی در اسیدهای آمینه ایفا می کند و همچنین نقش باکتری سودوموناس در افزایش جذب عناصر و نیتروژن، و در نهایت با توجه به فراهمی بیشتر عناصر غذایی در شرایط رطوبتی مطلوب توجیه کرد. پژوهشگران بسیاری افزایش محتوای پروتئین دانه در شرایط کاربرد روی (Davaran Hagh et al., 2016)؛ Zand et al. (2009) و باکتری های محرک رشد (Khalilzadeh et al., 2022) در گیاه را گزارش کردند. بیان شده که احتمالاً باکتری ها با فراهمی نیتروژن اضافی به ویژه در شرایط کم آبی منجر به افزایش پروتئین دانه می شود (Zamber et al., 1984). همچنین در رابطه با کاربرد روی (Mousavi et al., 2013) اظهار نمودند که با توجه به نقشی که عنصر روی در سنتز پروتئین ها بازی می کند، کمبود آن منجر به کاهش محتوای پروتئین دانه و افزایش آن موجب بیشتر شدن مقدار آن می شود. در رابطه با کمبود آب، نتایج متفاوتی گزارش شده است، از جمله Khalilzadeh et al. (2022) که بیشترین محتوای پروتئین دانه گندم را در تیمار آبیاری مطلوب و در شرایط کاربرد باکتری های محرک رشد سودوموناس و ازتوباکتر به دست آوردند و تنش خشکی منجر به کاهش پروتئین دانه شد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشت. Ghanbari et al. (2021) نیز بیان کردند که کمبود آب منجر به کاهش فراهمی عناصر و از جمله نیتروژن شده و بدین طریق نیتروژن دانه را کاهش می دهد. علیرغم این، نتایج آزمایش Noori & Taliman (2022) حاکی از کاهش مقدار پروتئین خام دانه در شرایط تنش خشکی بود که با نتایج این پژوهش مغایرت داشت.

جدول ۶. مقایسه میانگین برهمکنش کم آبیاری و کاربرد ترکیب سولفات روی و باکتری حلال ساز بر پروتئین محلول برگ و پروتئین دانه ذرت در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸.

Application methods of zinc sulfate and bacteria	Soluble leaf protein (mgg ⁻¹)				Seed protein (mgg ⁻¹)			
	2018		2019		2018		2019	
	Normal irrigation	Deficit irrigation	Normal irrigation	Deficit irrigation	Normal irrigation	Deficit irrigation	Normal irrigation	Deficit irrigation
Control	9.39 ^c	9.19 ^d	14.47 ^{ab}	10.26 ^c	8.66 ^{bc}	8.08 ^c	11.61 ^{ab}	8.27 ^c
Zinc priming	9.63 ^c	12.10 ^{bc}	13.21 ^{bc}	11.47 ^{bc}	10.94 ^{bc}	11.37 ^{bc}	11.81 ^b	10.69 ^{bc}
Zinc foliar	9.58 ^c	9.77 ^c	13.40 ^{bc}	9.71 ^c	14.58 ^{ab}	11.47 ^{bc}	12.87 ^{ab}	9.58 ^{bc}
Soil application of zinc	11.52 ^{bc}	9.97 ^c	14.18 ^{ab}	13.94 ^{ab}	12.29 ^{ab}	10.89 ^{bc}	14.27 ^{ab}	10.12 ^{bc}
<i>Pseudomonas fluorescence</i>	11.58 ^{bc}	10.70 ^{bc}	11.76 ^{bc}	12.92 ^{bc}	9.19 ^{ab}	11.37 ^{bc}	13.64 ^{ab}	10.45 ^{bc}
Zinc with <i>Pseudomonas fluorescence</i> priming	14.03 ^{ab}	10.40 ^c	13.26 ^{bc}	9.78 ^c	12.00 ^b	13.79 ^{ab}	12.24 ^{ab}	9.53 ^{bc}
Zinc with <i>Pseudomonas fluorescens</i> foliar	10.98 ^{bc}	11.66 ^{bc}	13.12 ^{bc}	14.81 ^{ab}	15.15 ^{ab}	9.77 ^{bc}	15.78 ^a	12.73 ^{ab}
Soil application of zinc with <i>Pseudomonas fluorescence</i>	13.26 ^{bc}	13.84 ^b	17.18 ^a	9.42 ^{cd}	12.58 ^{ab}	12.68 ^{ab}	12.49 ^{ab}	9.24 ^{bc}
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	13.26 ^{bc}	12.63 ^{bc}	14.28 ^{ab}	10.55 ^{bc}	9.39 ^{bc}	8.66 ^{bc}	12.20 ^{ab}	9.77 ^{bc}
Zinc with <i>Pseudomonas aeruginosa</i> priming	12.58 ^{bc}	11.37 ^{bc}	13.21 ^{ab}	12.82 ^{bc}	10.41 ^{bc}	8.13 ^c	12.87 ^{ab}	10.93 ^{bc}
Zinc with <i>Pseudomonas aeruginosa</i> foliar	15.00 ^{ab}	10.60 ^{bc}	14.01 ^{ab}	10.11 ^c	13.39 ^{ab}	12.56 ^{ab}	13.31 ^{ab}	9.34 ^{bc}
Soil application of zinc with <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	12.48 ^{bc}	9.53 ^c	14.27 ^{ab}	13.60 ^{bc}	13.16 ^{ab}	9.88 ^c	14.22 ^{ab}	13.60 ^{ab}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در ستون‌ها برای هر صفت اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

جدول ۷. مقایسه میانگین برهمکنش سال و کم آبیاری در روش‌های کاربرد سولفات روی و باکتری حلال ساز روی بر عملکرد دانه ذرت.

Application methods of zinc sulfate and bacteria	Grain yield (kg ha ⁻¹)			
	2018	2019	Normal irrigation	Deficit irrigation
Control	13008 ^c	14433 ^{bc}	13400 ^c	12342 ^c
Zinc priming	15408 ^b	15458 ^b	18408 ^a	12458 ^c
Zinc foliar	14692 ^{bc}	13367 ^c	14267 ^{bc}	13792 ^c
Soil application of zinc	15708 ^b	16533 ^{ab}	13942 ^c	18300 ^a
<i>Pseudomonas fluorescence</i>	12830 ^c	14592 ^{bc}	14480 ^{bc}	12942 ^c
Zinc with <i>Pseudomonas fluorescence</i> priming	15092 ^{bc}	17983 ^a	17108 ^{ab}	15967 ^b
Zinc with <i>Pseudomonas fluorescens</i> foliar	14158 ^{bc}	16275 ^{ab}	18092 ^a	15342 ^{bc}
Soil application of zinc with <i>Pseudomonas fluorescence</i>	15567 ^b	14942 ^{bc}	16942 ^{ab}	13567 ^c
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	17808 ^a	17467 ^{ab}	18342 ^a	16933 ^{ab}
Zinc with <i>Pseudomonas aeruginosa</i> priming	16958 ^{ab}	17442 ^{ab}	18708 ^a	15692 ^{bc}
Zinc with <i>Pseudomonas aeruginosa</i> foliar	14850 ^{bc}	16867 ^{ab}	13567 ^c	18150 ^a
Soil application of zinc with <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	14308 ^{bc}	16667 ^{ab}	14325 ^{bc}	15350 ^{bc}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در ستون‌ها برای سال و شرایط تنش اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

۳-۷. عملکرد دانه

مقایسه میانگین داده‌ها برای صفت عملکرد دانه، بیانگر آن بود که عملکرد دانه ذرت با کاربرد انواع روش‌های کاربرد سولفات روی و باکتری سودوموناس افزایش یافت؛ به‌طوری‌که تیمارهای کاربرد توأم سولفات روی- باکتری سودوموناس توانست عملکرد دانه را در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب تا ۳۶/۹ و ۲۴/۶ درصد افزایش دهد (جدول ۷). از سوی دیگر، مقایسه میانگین اثر متقابل خشکی و کاربرد سولفات روی باکتری حلال ساز، نشان داد که بهترین عملکرد دانه از تیمارهای کاربرد سولفات روی-باکتری و در شرایط عدم تنش به‌دست آمد؛ چنانچه بیشترین عملکرد دانه از تیمار پرایمینگ بذر با سولفات روی و باکتری سودوموناس آئروژینوزا و در شرایط آبیاری مطلوب به‌دست آمد که ۳۹/۶ درصد افزایش نسبت به تیمار تنش نشان داد، در حالی که

کمترین مقدار برای این صفت مربوط به تیمار شاهد در شرایط کم آبیاری بود و کاربرد سولفات روی - باکتری سودوموناس توانست تا ۴۸/۳ درصد مقدار آن را افزایش دهد (جدول ۷).

نتایج فوق نشان دهنده اثر مثبت ترکیب سولفات روی باکتری سودوموناس بر تعدیل اثر سوء تنش و بنابراین افزایش عملکرد دانه بود. به نظر می‌رسد این ترکیب با فراهمی بیشتر عناصر و تغذیه بهتر گیاه، شرایط بهتری جهت رشد و مقاومت آن در برابر تنش ایجاد کرد. به علاوه از نتایج می‌توان چنین برداشت نمود که در شرایط بدون تنش، پرایمینگ سولفات روی و باکتری آئروژینوزا، و در شرایط تنش، تیمار کاربرد خاکی سولفات روی و نیز محلول پاشی سولفات روی و باکتری سودوموناس آئروژینوزا مؤثرتر از سایر روش‌ها عمل کرد و تأثیر مثبت بیشتری بر عملکرد دانه ذرت داشت. Mir Mahmudi *et al.* (2014) نیز گزارش کردند که عملکرد دانه تحت تأثیر اعمال باکتری محرک رشد قرار گرفت. آنان معتقد بودند ریزموجودات فراهمی و جذب عناصر غذایی و سوبستراهای رشد گیاه را افزایش می‌دهند. در رابطه با تفاوت سویه‌ها، احتمالاً تفاوت‌های ژنتیکی منجر به تفاوت در نوع کارکرد باکتری در ارتباط با خاک و گیاه شد. در همین ارتباط، Khanizadeh *et al.* (2019) بیان نمودند که درجه تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه، تابع عوامل مختلفی چون نوع گیاه، سویه باکتری، نوع خاک و شرایط محیطی است و بنابراین برای استفاده از این باکتری‌ها به عنوان کودهای زیستی، ابتدا باید ارتباط گیاه، خاک و ریزموجودات خاک مورد ارزیابی قرار گیرد. یافته‌های محققان نشان می‌دهد که با افزایش تنش خشکی، عملکرد دانه کاهش یافته و این کاهش به‌طور عمده به واسطه کم شدن تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه است. همچنین تأثیر مثبت برهمکنش آبیاری و کاربرد کودهای زیستی بر عملکرد دانه، توسط Ghanbari *et al.* (2021) و تأثیر مثبت برهمکنش آبیاری و کاربرد سولفات روی توسط Anees *et al.* (2016) گزارش شده است. تأثیر مثبت عنصر روی بر عملکرد دانه توسط Umar *et al.* (2020) و Ma *et al.* (2019) نیز گزارش شده است.

۴. نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش، می‌توان چنین استدلال کرد که اعمال کم آبیاری منجر به نیاز زمانی بیشتر جهت فراهمی آب و عناصر غذایی و تکمیل دوره رشد گیاه و نیز کاهش غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، آهن و روی در گیاه ذرت می‌شود؛ و علی‌رغم این که کاربرد سولفات روی و به‌ویژه باکتری حلال‌ساز سودوموناس در شرایط تنش، از میزان کاهش جذب و غلظت عناصر در گیاه کاست، اما کماکان این راهکار نتوانست به‌طور کامل خسارت ناشی از تنش را جبران کرده و نیاز گیاه را مرتفع نماید. در رابطه با روش‌های کاربرد سولفات روی - باکتری حلال‌ساز به‌نظر می‌رسد روش کاربرد خاکی به‌ویژه در رابطه با عناصر ماکرو، به‌طور مؤثرتری منجر به افزایش جذب و غلظت عناصر در بافت برگ و در نهایت دانه ذرت شد که این موضوع می‌تواند ناشی از فراهم‌بودن عرصه بزرگتر در خاک برای فعالیت ریزموجودات و باکتری‌های محرک رشد جهت حلال‌سازی عناصر و در اختیار گیاه قرار دادن آن‌ها باشد، به خصوص که در این آزمایش مشاهده شد باکتری‌های محرک رشد در افزایش غلظت عناصر گیاه، تأثیرگذارتر از سولفات روی عمل کردند. در رابطه با سویه‌های باکتری سودوموناس نیز، در این تحقیق مشاهده شد که در رابطه با افزایش جذب و غلظت عناصر موجود در گیاه، گونه سودوموناس فلورسنس موفق‌تر عمل کرد. در نهایت می‌توان گفت از آنجایی که ترکیب سولفات روی - باکتری سودوموناس به روش‌های مختلف موجب تعدیل اثرات کم آبیاری و افزایش مقاومت گیاه و افزایش جذب و غلظت عناصر برگ و دانه گیاه شد، لذا استفاده از این ترکیب در کشت گیاه ذرت و در شرایط کم آبیاری، توصیه می‌گردد. اما در رابطه با عملکرد کل، تیمار پرایمینگ سولفات روی و باکتری سودوموناس آئروژینوزا با میانگین عملکرد دانه ۱۸۷۰۸ کیلوگرم در هکتار نسبت به سایر تیمارها برتری داشت.

۵. منابع

- Abbaszadeh Dahaji, P., Rezaie, D.S., Akhgar, A., & Soltani, A. (2017). The effect of superior *Fluorescent Pseudomonads* as biofertilizer on the growth and nutrition of maize. *Journal of Crops Improvement*, 19(2), 319-333. (In Persian).

- Abasi, R., Siadat, S.A., Bakhshandeh, A., & Mosavi, S.Y. (2016). Effect of plant growth-promoting bacteria on quantitative and qualitative yield of forage maize. *Journal of Crop Production and Processing*, 6(21), 133-145. (In Persian).
- Abaspoor, E., Masoudsinaki, J., Alipoor, Z., & Saeedisar, S. (2014). The effect of cycocel and zinc foliar application on grain corn protein content and water use efficiency in water deficiency condition. *Journal of New Finding in Agricultural*, 8(2), 159-171. (In Persian).
- Aboutalebian, M.A., & Fakhimi Paydar, N. (2016). Response of yield and yield components of corn to phosphate and zinc sulfate fertilizers application methods under water stress. *Iranian Journal of Filed Crop Science*, 47(1), 53-66. (In Persian).
- Anees, M.A., Ali, A., Shakoor, U., Ahmed, F., Hasnain, Z., & Hussain, A. (2016). Foliar applied potassium and zinc enhances growth and yield performance of maize under rainfed conditions. *International Journal of Agriculture and Biology*, 18, 1025-1032.
- Boostani, H., & Farrokhnejad, E. (2018). Effect of plant growth promoting rhizobacteria, mycorrhizae fungi and salinity stress on the uptake of some nutrients by corn (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Process and Function*, 7(24), 39-52. (In Persian).
- Cottenie, A. (1980). Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendation. *FAO Soils Bulletin*, 38(2).
- Davaran Hagh, E., Mirshekari, B., Ardakani, M.R., Farahvash, F., & Rejali, F. (2016). Evaluating maize yield and the quality of response to vermicompost, in *Thiobacillus* and foliar application of Fe and Zn. *Journal of Agroecology*, 8(3), 359-372. (In Persian).
- Doroudian, H., & Besharati, H. (2018). Effect of plant growth promoting rhizobacteria on growth and nutrient uptake of maize (SC.704). *Applied Research in Field Crops*, 31(3), 62-74. (In Persian).
- Emami, A. (1996). Plant decomposition methods. Vol. 1. Technical leaflet No. 982. *Soil and Water. Research Institute*, Tehran, Iran. 128 Pp. (In Persian).
- Fallah Nosratabad, A.R., & Shariati, S. (2022). Investigating the combined application of different levels of triple superphosphate and native phosphate-solubilizing *Pseudomonas* bacteria on growth indices of maize. *Agricultural Engineering (Scientific Journal of Agriculture)*, 44(4), 463-483. (In Persian).
- FAO (2021). The Impact of Disasters and Crises on Agriculture and Food Security. Rome: Food and agriculture organization of the United Nations.
- FAO (2022). FAOSTAT: Crops and livestock products data. Available online at: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- Farid, N., Siadat, S.A., Ghalamboran, M.R., & Moradi Telavat, M.R. (2020). Effect of deficit irrigation and nitrogen fertilizer source on earyield, nitrogen use efficiency and water productivity in sweet corn (*Zea mays* L. cv. Saccharata). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 21(4), 386-398. (In Persian).
- Farooq, M., Basra, S., Rehman, H., & Saleem, B. (2008). Seed priming enhances the performance of late sown wheat (*Triticum aestivum* L.) by improving chilling tolerance. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194(1), 55-60.
- Farshi, A.A. (1997). Estimating required water of country's main plants of farming and gardening.
- Farshi A.A. (1997). Estimating required water of country's main plants of farming and gardening. Farming Education Press. 630 pp. (In Persian).
- Ghaderi, A., Jahanbakhsh Godehkahriz, S., & Raeisi sadati, S.Y. (2020). Study of total protein content, soluble sugar, proline content and *P5CS* gene expression in leaves of three wheat cultivars under drought stress. *Agriculture Biotechnology Journal*, 12(4), 125-144. (In Persian).
- Ghanbari, M., Mokhtassi Bidgoli, A., Ghanaei Pashaki, K., & Talebi Siah Saran, P. (2021). The study of yield and physiological characteristics of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) in response to bio-fertilizers and different irrigation regimes. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(1), 23-37. (In Persian).
- Hashemnejad, F., Barin, M., Khezri, M., Ghoosta, Y., & Hammer, E. (2021). Isolation and identification of insoluble zinc-solubilising bacteria and evaluation of their ability to solubilize various zinc minerals. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, 2501-2509.
- Heidari, N., Alizadeh, Y., & Alizadeh, H. (2023). Combined effect of irrigation regimes and nitrogen levels on yield, radiation and nitrogen use efficiencies in maize. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 33(2), 85-103. (In Persian).
- Imran, M., & Rehim, A. (2017). Zinc fertilization approaches for agronomic biofortification and estimated human bioavailability of zinc in maize grain. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63, 106-116.
- Jamali, J., Enteshari, S., & Hosseini, S.M. (2012). The effect of potassium and zinc elements on biochemical and physiological changes of drought tolerance in corn (CV SC 704). *Crop Physiology*, 4(14), 37-44. (In Persian).
- Kar, M., & Mishra, D. (1976). Catalase, peroxides and polyphenol oxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology*, 57(2), 315-319.

- Karami, E., Doudi, M., Rezayatmand, Z., & Rahimzadeh Torabi, L. (2022). The impact of rhizospheric *Pseudomonas aeruginosa* on the growth of *Melissa officinalis*. *Biotechnological Journal of Environmental Microbiology*, 1(3), 155-164.
- Karimi, A., Ghobadi, M.E., Ghobadi, M., & Nosrati, I. (2020). Study the effect of irrigation termination at different growth stages of corn on content and amount of grain's elements. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(3), 749-762. (In Persian).
- Khalesi, A., Afsharmanesh, G., & Shirzadi, M.H. (2021). Effect of nano zinc and iron chelates ratios on yield and yield components of grain maize (*Zea mays* L.) in intercropping with cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*, 16(1), 115-132. (In Persian).
- Khalilzadeh, R., Seyed Sharifi, R., & Jalilian, J. (2022). Effect of cycocel and biofertilizers on yield and some growing indices of wheat under irrigation withholding condition. *Plant Production and Genetics*, 3(2), 205-224. (In Persian).
- Khanizadeh, P., Hatami, M., Abtahi, F.S., & Hosseini, N. (2019). Stimulatory effect of *Pseudomonas fluorescens* and *P. putida* bacteria on germination features and growth of lemon balm (*Melissa officinalis*). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 32(3), 558-569. (In Persian).
- Kiani, S., Mojaddam, M., Lak, S., Alavi Fazel, M., & Shokuhfa, A. (2021). 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 Persian).
- Klofac, D., Antosovky, J., & Skarpa, P. (2023). Effect of zinc foliar fertilization alone and combined with trehalose on maize (*Zea mays* L.) growth under the drought. *Plants*, 12(2539), 1-15.
- Leoni, L., Ambrosi, C., Petrucca, A., & Visca, P. (2002). Transcriptional regulation of pseudobactin synthesis in the plant growth-promoting *Pseudomonas* B10. *FEMS Microbiology Letters*, 208, 219-225.
- Logan, T.J., Goins, L.E., & Jilindsay, B. (1997). Field assessment of trace element uptake by six vegetables from N-viro soil. *Water Environmental Research*, 69, 28-33.
- Ma, J., Zhang, M., Liu, Z., Chen, H., Li, Y.C., Sun, Y., Ma, Q., & Zhao, C. (2019). Effects of foliar application of the mixture of copper and chelated iron on the yield, quality, photosynthesis, and microelement concentration of table grape (*Vitis vinifera* L.). *Scientia Horticulturae*, 254, 106-115.
- Mir Mahmudi, T., Farzipoor, H., & Jalil, N. (2014). An investigation on the impact of *Azospirillum* and gibberellin hormone on the morphologic traits, yielding components and maize yield of cultivar 370. *Journal of Research in Crop Sciences*, 6(23), 109-128. (In Persian).
- Mohammadi, G., Koohi Mohammad Abadi, Y., Ghobadi, M., & Najaphy, A. (2015). Grain yield and weed control in corn influenced by seed priming and plant density. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25(1), 13-28. (In Persian).
- Mokhtari, M., & Besharati, H. (2013). Effect of phosphate solubilizing bacteria on yield and chemical composition of corn plants. *Iranian Journal of Soil Research*, 27(4), 619-628. (In Persian).
- Mosaad, I. (2019). Influence of integrated in-soil zinc application and organic fertilization on yield, nitrogen uptake and nitrogen use efficiency of rice. *Egyptian Journal of Soil Science*, 59, 241-250.
- Mousavi, S.R., Galavi, M., & Rezaei, M. (2013). Zinc (Zn) importance for crop production –A review. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(1), 64-68.
- Noori, M.S., & Taliman, N.A. (2022). Effect of drought stress and chemical fertilizers on wheat productivity and grain and quality. *Plant Production and Genetics*, 3(1), 43-56. (In Persian).
- Patterson, B., Macrae, E., & Ferguson, I. (1984). Estimation of hydrogen peroxide in plant extracts using titanium (IV). *Annual Biochemical*, 139, 487-492.
- Rafiei, M., Rahimi, A., Azari, A., Sakhafi, S.R., Aein, A., & Khodaygan, P. (2024). Effect of different strains of *Pseudomonas* bacteria on physiological traits and yield components of potato (*Solanum tuberosum* L.) under drought stress conditions. *Plant Process and Function*, 13(60), 265-287. (In Persian).
- Rehman, A., Farooq, M., Naveed, M., Nawaz, A., & Shahzad, B. (2018). Seed priming of Zn with endophytic bacteria improves the productivity and grain biofortification of bread wheat. *European Journal of Agronomy*, 94, 98-107.
- Sah, R.P., Chakraborty, M., Prasad, K., Pandit, M., Tudu, V.K., & Chakravarty, M.K. (2020). Impact of water deficit stress in maize: Phenology and yield components. *Scientific Reports*, 10, 1-5.
- Sajedi, A., Ardakani, M.R., Sajedi, A., & Bahrami, A. (2010). Absorption of some nutrient as affected by mycorrhizae, different levels of zinc and drought stress in maize. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(5), 784-791. (In Persian).
- Salehi, M., Faramarzi, A., Farboodi, M., Mohebipour, N., & Ajalli, J. (2021). Effects of *Funneliformis mosseae* and *Pseudomonas fluorescens* on some growth and nutritional parameters of mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek) under drought stress in a greenhouse condition. *Journal of Soil Biology*, 9(1), 73-85. (In Persian).
- Shojaeian Kish, F., Yadavi, A., Salehi, A., & Movahhedi Dehnavi, M. (2019). Assessment of agronomical traits and photosynthesis pigments of linseed (*Linum usitatissimum* L. cv. Norman) under Irrigation cut-off

- condition and application of mycorrhiza fungi and phosphate bio fertilizer in Yasouj. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(4), 65-81. (In Persian).
- Snyder, R.L. (1992). Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversion. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering of ASCE New York*, 118(6), 977-980.
- Subedi, K.D., & Ma, B.L. (2009). Corn Crop Production: Growth, Fertilization and Yield. Nova science publishers, Inc. 84pp.
- Sultana, R., Jashim, A.I.I., Naiul Islam, S.M., Habibur Rahman, M.D., & Mahbubul Haque, M. (2024). Bacterial endophyte *Pseudomonas mosselii* PR5 improves growth, nutrient accumulation, and yield of rice (*Oryza sativa* L.) through various application methods. *BMC Plant Biology*, 24, 1030.
- Tian, G., & Kolawole, G.O. (2004). Comparison of various plant residues as phosphate rock amendment on Savanna Soils of West Africa. *Journal of Plant Nutrition*, 27(4), 571-583.
- Umar, W., Hameed, M.K., Aziz, T., Maqsood, M.A., Bilal, H.M., & Rasheed, N. (2020). Synthesis, characterization and application of ZnO nanoparticles for improved growth and Zn biofortification in maize. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 67, 1164-1176.
- Yazdani, M., Pirdashti, H., Esmaili, M.A., & Bahmanyar, M.A. (2010). Effect of inoculation phosphate solubilization microorganisms (PSM) and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on nutrient use efficiency in corn (*Zea mays* L.) cultivation. *Electronic Journal of Crop Production*, 3(2), 65-80. (In Persian).
- Zamber, M.A., Konde, B.K., & Sonar, K.R. (1984). Effect of *Azotobacter chroocum* and *Azospirillum brasilense* inoculation under levels of nitrogen on growth and yield of wheat. *Plant and Soil*, 79(1), 61-67.
- Zand, B., Sorooshzadeh, A., Ghanati, F., & Moradi, F. (2009). Effect of zinc and auxin foliar application on grain yield and its components of grain maize under water deficit conditions. *Seed and Plant Journal*, 25(4), 431-448. (In Persian).
- Zareabyaneh, H., Noori, H., Liaghat, A., Noori, H., & Karimi, V. (2011). Comparison of Penman- Monteith FAO method and a class pan evaporation with lysimeter measurements in estimation of rice evapotranspiration in Amol region. *Physical Geography Research*, 43(76), 71-83. (In Persian).