



Effect of Rubber Powder on Some Growth Characteristics of Wheat (cv. Barzegar) Under Salinity Stress

Fatemeh Afzalinejad¹, Mohsen Hamidpour^{1*} , Somayeh Ghasemi² ,
Pejman Khodayegan³ and Abdolreza Akhgar¹

1- Department of Soil Science, College of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan

2- Department of Soil Science, College of Agriculture, Yazd University, Yazd

3- Department of Plant Protection, College of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan

* Corresponding author, Email: M.Hamidpour@vru.ac.ir

(Received: 8 January 2025; Revised: 13 May 2025; Accepted: 26 May 2025)

Abstract

Background and Objective: Salinity is one of the most significant abiotic stresses limiting agricultural production in arid and semi-arid regions, inhibiting plant growth and productivity. Zinc is crucial for plants to resist environmental stresses. Utilizing rubber powder as a zinc source is an effective strategy for promoting plant growth in saline soils. This study aimed to investigate the effect of rubber powder on the growth and development of wheat plants in saline condition.

Methods: The experiment was conducted as a factorial study with two factors: salinity at three levels (control, 1000, and 2000 mg NaCl per kg of soil) and zinc (from the rubber powder source) at three levels (0, 10, and 20 g rubber powder per kg of soil, equivalent to 0, 570, and 1140 mg zinc per kg of soil), organized in a completely randomized design in a greenhouse.

Results: As the concentration of NaCl increased, the shoot dry weight decreased compared to the control. At a salinity level of zero, the application of 10 grams of rubber powder per kilogram of soil resulted in the highest shoot dry weight (an increase of 22.8% compared to the control). At a salinity level of 1000 mg of NaCl per kilogram of soil, an increase in the amount of rubber powder led to a 45.2% increase in the shoot dry weight compared to the control. At the level of 2000 mg of NaCl, the application of rubber powder had no significant effect on the shoot dry weight. Additionally, the results indicated that the application of rubber powder under salinity stress resulted in increases in total chlorophyll (32.9%), zinc concentration (411.9%), iron concentration (17.8%), lead concentration (88.0%), and cadmium concentration (56.9%) in wheat plants.

Conclusion: These findings suggest that further research is needed to evaluate the effects of rubber powder as a soil amendment on the environment and human health more precisely.

Keywords: Growth indicators, Slow-release fertilizer, Tension, Zinc.

How to Cite: Afzalinejad, F., Hamidpour, M., Ghasemi, S., Khodayegan, P., Akhgar, A.R., 2025. Effect of rubber powder on some growth characteristics of wheat (cv. Barzegar) under salinity stress. J. Soil Plant Interact. 16(1), 71–87 (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.47176/jspi.16.1.03206>



Copyright © 2025 Isfahan University of Technology, Published by IUT 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.



اثر پودر لاستیک بر برخی صفات رویشی گندم (رقم برزگر) تحت تنش شوری

فاطمه افضل‌نژاد^۱، محسن حمیدپور^{۱*}، سمیه قاسمی^۲، پژمان خدایگان^۳ و عبدالرضا اخگر^۱

۱- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، ایران

۲- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یزد، ایران

۳- گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، ایران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: M.Hamidpour@vru.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۹؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۲/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۳/۵)

چکیده

پیشینه پژوهش و هدف: شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی محدودکننده تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است، که مانع رشد و بهره‌وری گیاهان می‌شود. عنصر روی در ایجاد مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی مهم است. هدف از این پژوهش بررسی تاثیر پودر لاستیک (به عنوان منبعی از روی) بر رشد و نمو گیاه گندم رقم برزگر تحت تنش شوری بود.

روش‌ها: در این راستا، آزمایشی به صورت فاکتوریل با دو تیمار شوری (از منبع کلرید سدیم) در سه سطح ۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک و روی (از منبع پودر لاستیک) در سه سطح ۰، ۱۰ و ۲۰ گرم پودر لاستیک در کیلوگرم خاک (معادل با ۰، ۵۷۰، ۱۱۴۰ میلی گرم روی در کیلوگرم خاک) در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه اجرا شد.

نتایج: با افزایش غلظت کلرید سدیم، وزن خشک شاخساره نسبت به شاهد کاهش یافت. در سطح شوری صفر، کاربرد ۱۰ گرم پودر لاستیک در کیلوگرم خاک، بیشترین وزن خشک شاخساره (۲۲/۸ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد) را در پی داشت. در سطح غلظت ۱۰۰۰ میلی گرم کلرید سدیم در کیلوگرم خاک، با افزایش مقدار پودر لاستیک، وزن خشک شاخساره به میزان ۴۵/۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. در سطح ۲۰۰۰ میلی گرم کلرید سدیم، کاربرد پودر لاستیک اثر معنی‌داری بر وزن خشک شاخساره نداشت. هم‌چنین نتایج نشان داد که کاربرد پودر لاستیک در شرایط تنش شوری، سبب افزایش کلروفیل کل (۳۲/۹ درصد)، غلظت روی (۴۱۱/۹ درصد)، غلظت آهن (۱۷/۸ درصد)، غلظت سرب (۸۸ درصد) و غلظت کادمیوم (۵۶/۹ درصد) در گندم شد.

نتیجه‌گیری کلی: این یافته‌ها نشان می‌دهد که برای استفاده از پودر لاستیک به عنوان اصلاح‌کننده خاک، به پژوهش‌های بیشتری برای ارزیابی دقیق‌تر پیامدهای آن بر محیط‌زیست و سلامت انسان نیاز است.

واژه‌های کلیدی: تنش، روی، شاخص‌های رشد، کود کندها.



مقدمه

افزایش جمعیت جهان و نیاز به تولید محصولات کشاورزی برای تامین غذا، سبب استفاده بیش از حد از زمین‌های کشاورزی شده است. از طرف دیگر، افزایش کمیت غذای تولیدی بدون در نظر گرفتن کیفیت آن باعث شیوع کمبود عناصر ریزمغذی و بروز دشواری‌هایی برای سلامتی انسان و جانداران شده است (Welch and Graham, 2004). با افزودن کودهای شیمیایی دارای عناصر پرمصرف و استفاده کمتر از کودهای آلی و برداشت گیاه، کمبود عناصر کم‌مصرف در حال تشدید است. حدود ۴۰ درصد از جمعیت جهان دچار کمبود عناصر کم‌مصرف است (Bouis; 1996, Graham and Welch, 1999). یکی از عناصر کم‌مصرف مهم در سلامت انسان و گیاه، عنصر روی است که فعالیت‌های بیوشیمیایی زیادی را در سوخت‌وساز بدن انسان و رشد و نمو گیاهان بر عهده دارد. با توجه به این‌که بسیاری از اکسیدان‌ها در حضور عناصر کم‌مصرف فعال می‌شوند (Alloway, 2008). به نظر می‌رسد وجود عنصر روی، برای ایجاد مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی مهم است. کمبود روی در گیاه ممکن است باعث کاهش نسخه‌برداری mRNA، افزایش تخریب اسیدهای نوکلئیک، کاهش مقدار پروتئین و انباشته شدن آمینواسیدها شود (Peak et al., 1980). به‌طور کلی، غلظت روی مورد نیاز در بافت‌های گیاهی کم و به مقدار ۱ تا ۱۴۴ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر است، اما همین مقدار کم، تاثیر قابل توجهی بر رشد گیاه و سلامت انسان دارد (Alloway, 2008). کمبود روی سبب اختلال در انجام برخی وظایف مهم روی در مقیاس سلولی و در نتیجه کاهش شدید رشد و نمو گیاه می‌شود (Brown et al., 1993). در زمین‌های زیر کشت غلات، کمبود عناصر کم‌مصرف به‌ویژه روی، گسترش جهانی دارد. استفاده از کودهای آلی با تامین عناصر ریزمغذی گیاه توانسته است تا حدودی بر عملکرد اکثر محصولات زراعی تاثیر بسزایی داشته باشد. با وجود این، سالانه مقدار زیادی از عناصر کم‌مصرف توسط گیاه از خاک برداشت می‌شود ولی به تأمین مجدد آن‌ها در خاک توجه کمی شده است. مقدار قابل جذب روی در اغلب خاک‌ها به‌ویژه در

خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، به دلیل pH بالا، مقدار زیاد آهک و کمبود ماده آلی خاک، کم است (Aghili et al., 2014). یکی دیگر از معضلات جدی کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مسئله شوری و تجمع املاح در خاک است که باعث کاهش عملکرد و کاهش سطح زیرکشت می‌گردد (Jalili et al., 2011). شوری آب و خاک از عوامل عمده محدودکننده تولید کشاورزی و امنیت غذایی مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده و سبب کاهش ۲۰ تا ۵۰ درصدی محصول غلات مهم شامل، گندم، برنج و ذرت در سرتاسر جهان شده است (Subiramani et al., 2020). در این بین گندم به‌عنوان منبع اصلی غذا برای ۴۰ درصد مردم جهان، بیشترین سطح کشت در جهان را به خود اختصاص داده و در کشورهای در حال توسعه با تامین ۶۰ درصد کالری مورد نیاز روزانه، دارای جایگاه مهمی در سبد تغذیه انسان است (Giraldo et al., 2019). مهم‌ترین آثار تنش شوری بر رشد گیاه شامل پیامدهای تنش اسمزی، اختلال در تعادل یونی گیاه و سمیت یون‌های ویژه است (Evelin et al., 2009). آثار منفی شوری بر رشد گیاه توسط سمیت یون‌هایی مانند کلرید و سدیم، تولید اتیلن، پلاسمولیز، کاهش جذب عناصر غذایی، فتوستز و جوانه‌زنی بذرها و رشد آن‌ها، و عدم گل‌دهی و تشکیل میوه اعمال می‌شود (Evelin et al., 2009).

لاستیک‌های فرسوده ماشین دارای مقدار نسبتاً زیادی اکسید روی (یک تا پنج درصد) هستند (Liu et al., 2018). از اکسید روی برای افزایش پایداری لاستیک در حین فرایند تولید لاستیک استفاده می‌شود (Liu et al., 2018). امروزه اهمیت بازیافت لاستیک‌ها و قطعات لاستیکی فرسوده، بر کسی پوشیده نیست. دفن یا انبار کردن لاستیک‌ها فرسوده با توجه به هزینه‌های زیادی که برای تولید هر حلقه لاستیک صرف می‌شود و نیز به‌دلیل خطرهای دشواری‌های زیست‌محیطی ناشی از تجمع آن‌ها در محیط، در بسیاری از کشورهای پیشرفته ممنوع است. از سوی دیگر نتایج برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهد این ضایعات با وجود داشتن درصد زیاد روی، دارای مقدار بسیار ناچیزی از ناخالصی فلزات سنگین (از جمله سرب و کادمیوم) هستند (Chaney, 2007).

جدول ۱. غلظت عناصر سنگین موجود در پودر لاستیک مورد استفاده

Table 1. Concentration of heavy elements in the used rubber powder

عناصر Elements				غلظت Concentration
کادمیوم (%) Cd	سرب (%) Pb	آهن (%) Fe	روی (%) Zn	
0.00001	Nd	0.28	7.11	کل (اکسید) (Oxid) Total
0.000009	Nd	0.2	5.7	کل (عنصر) (Element) Total

(جدول ۱). آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، به منظور بررسی اثر پودر لاستیک به عنوان منبع روی، بر رشد گیاه گندم در شرایط تنش شوری در سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل روی از منبع پودر لاستیک در سه سطح (۰، ۱۰ و ۲۰ گرم پودر لاستیک در کیلوگرم خاک معادل با ۰، ۵۷۰، ۱۱۴۰ میلی گرم روی در کیلوگرم خاک) و شوری از منبع کلرید سدیم در سه سطح (۰ یا آب مقطر، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک) بود. خاکی با مقدار روی بحرانی کمتر از حد مورد نیاز گیاه از لایه ۰ تا ۳۰ سانتی متری از یکی از مناطق یزد تهیه شد. برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، خاک ابتدا هوا-خشک شده و سپس از الک ۲ میلی متری عبور داده شد و غلظت عناصر روی و آهن قابل جذب پس از عصاره-گیری با DTPA توسط دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی (Avanta GBC) اندازه گیری شد (Lindsay and Norvell., 1978). لازم به ذکر است که میزان سرب و کادمیوم خاک مورد بررسی نیز در عصاره DTPA تهیه شده، اندازه گیری شد. همچنین سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با روش‌های استاندارد اندازه گیری شده و مقادیر آن‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

کشت گیاه گندم، رقم برزگر (رقم متحمل به شوری) در گلدان‌های دو کیلوگرمی انجام شد. پیش از آغاز کشت، محلول

کمبود مواد آلی در خاک‌ها از یک سو و تولید انبوه پسماندها و دشواری‌های زیست محیطی حاصل از آن از سوی دیگر، ایجاب می کند که این مواد به گونه‌ای مطلوب و آگاهانه به عنوان تامین کننده روی در کشاورزی مورد استفاده قرار گیرند (Norouzi et al., 2015; Rahimi et al., 2015). استفاده از لاستیک و خاکستر حاصل از آن به عنوان کود روی برای گیاهان مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (Taheri et al., 2011; Nasirizadeh et al., 2023). Taheri et al. (2011) نشان دادند که استفاده از پودر لاستیک و خاکستر لاستیک در خاک‌های آهکی به عنوان منبع روی، باعث آزادسازی تدریجی این عنصر و بهبود تغذیه گیاه گوجه فرنگی شد. با توجه به اهمیت بازیافت لاستیک‌های فرسوده و امکان به کارگیری آن‌ها در بخش کشاورزی، در این پژوهش تاثیر پودر لاستیک با هدف تامین عنصر روی در شرایط تنش شوری در رقم برزگر گندم، که دارای سازگاری و عملکرد زیاد در مناطق دارای آب و خاک شور است (Amini et al., 2022)، بررسی شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، پودر لاستیک با اندازه کوچک‌تر از ۰/۶ میلی متر از کارخانه یزد تایر استان یزد تهیه شد. غلظت برخی عناصر موجود در خاکستر لاستیک به وسیله ^{1}XRF تعیین گردید

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی

Table 2. Physical and chemical properties of the studied soil

کادمیوم	سرب	آهن	روی	گنجایش تبادل کاتیونی (CEC)	کربنات کلسیم معادل (CCE)	رسانایی الکتریکی (EC _e)	واکنش	ماده آلی (OM)	بافت
غلظت فراهم (میلی گرم در کیلوگرم)									
Cd	Pb	Fe	Zn	Cation exchange capacity (CEC)	Calcium carbonate equivalent (CCE)	Electrical conductivity (EC _e)	pH	Organic matter (OM)	Texture
Available concentration (mg kg ⁻¹)				cmol _c kg ⁻¹	(%)	(dS/m)		(%)	
0.03	0.25	0.7	0.6	6.5	32	3.9	7.3	0.05	Sandy loam

نمونه‌ها، پنج میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال به آن‌ها افزوده و درون بالن ۵۰ میلی‌لیتری صاف و با آب مقطر به حجم رسانده شد. سپس غلظت عناصر سدیم، پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر و غلظت عناصر روی، آهن، سرب و کادمیوم در عصاره‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی (GBC Avanta) اندازه‌گیری شد.

تمامی تجزیه‌های آماری داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چند دامنه-ای دانکن در سطوح احتمال ۵ و ۱٪ انجام گرفت و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

وزن خشک شاخساره و ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که آثار اصلی شوری و پودر لاستیک و همچنین برهم‌کنش شوری و پودر لاستیک بر وزن خشک شاخساره در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). با افزایش غلظت کلرید سدیم به ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، وزن خشک شاخساره نسبت به شاهد کاهش یافت (شکل ۱). در سطح شوری صفر، کاربرد ۱۰ گرم پودر لاستیک در کیلوگرم خاک، بیشترین وزن خشک شاخساره (۲۲/۸ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد) را در پی داشت. در این سطح شوری با کاربرد ۲۰ گرم پودر لاستیک در کیلوگرم خاک، وزن خشک شاخساره نسبت به تیمار ۱۰ گرم پودر لاستیک در کیلوگرم خاک کاهش یافت. احتمالاً این کاهش وزن خشک گیاه در اثر افزایش غلظت روی در خاک و ایجاد مسمومیت روی در بخش‌های مختلف گیاه است. دلیل دیگر رقابت بین عناصر ضروری به‌ویژه عناصر کم‌مصرف و روی می‌تواند باشد. بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده غلظت عناصر کم‌مصرف مانند آهن با افزایش غلظت روی در گیاه کاهش می‌یابد (Klug and Rhodes., 1978). در پژوهشی دیگر بیان شد برخی از عناصر کم-مصرف مانند آهن و روی در جذب و انتقال به قسمت‌های مختلف گیاه با یکدیگر رقابت می‌کنند. به‌طوری که غلظت زیاد

غذایی دارای ۵۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع اوره، ۵۰ میلی‌گرم فسفر از منبع KH_2PO_4 و ۵ میلی‌گرم آهن از منبع سکوسترین به خاک افزوده شد. تعداد ۸ بذر جوانه زده در عمق ۳ سانتی‌متری در تاریخ آبان ماه ۱۴۰۲ کشت شد. پس از جوانه‌زنی بذرهای در مرحله چهار برگی شدن گیاه، بوته‌های اضافی حذف شد و در هر گلدان ۶ بوته نگهداری شد. آبیاری گلدان‌ها تا چهار هفته پس از کشت، با آب مقطر انجام شد و در هفته پنجم، تنش شوری به-صورت تدریجی در سه نوبت آبیاری و با غلظت‌های آب مقطر، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک از منبع کلرید سدیم اعمال شد (با توجه به تیمار مورد نظر مقادیر معینی کلرید سدیم در آب مقطر حل شد و ۲۵۰ میلی‌لیتر آب به گلدان‌ها در سه نوبت افزوده شد). در طول دوره کشت، آبیاری به‌صورت یک روز در میان انجام شد و رطوبت آنها در حدود ۷۰ درصد گنجایش مزرعه به روش وزنی حفظ شد.

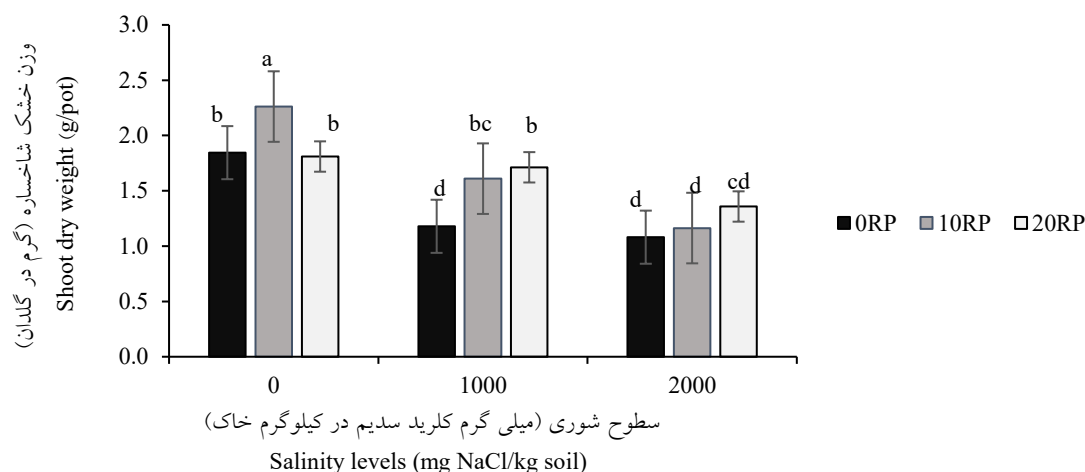
سه ماه پس از کاشت، گیاهان برداشت شدند. لازم به ذکر است شوری خاک پس از برداشت گیاهان اندازه‌گیری شد و رسانایی الکتریکی خاک برای تیمارهای شاهد، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم کلرید سدیم در کیلوگرم خاک به‌ترتیب معادل ۶، ۹/۶ و ۱۵/۸ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد. پس از برداشت، گیاهان از ناحیه طوقه به دو قسمت ریشه و شاخساره تفکیک شدند. میزان کلروفیل کل با استفاده از روش Porra (2002) و میزان پرولین نمونه‌ها به‌روش نین‌هیدرین‌اسید (Bates et al., 1973) اندازه‌گیری شد. در پایان دوره رشد، بوته‌ها از یک سانتی‌متری بالای سطح خاک قطع شد، و شاخساره و ریشه‌ها از هم تفکیک شدند. پس از شست‌وشو با آب معمولی، وزن خشک ریشه‌ها و شاخساره پس از خشک‌کردن نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد. به‌منظور بررسی تأثیر تنش شوری، اندازه‌گیری قندهای محلول به روش Irigoyen et al. (1992) انجام شد. برای اندازه‌گیری عناصر غذایی در گیاه یک گرم شاخساره پودر شده از هر نمونه در بوته چینی ریخته و به مدت پنج ساعت در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس درون کوره قرار داده شد تا خاکستر سفید حاصل شود. پس از سرد شدن

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر شوری، پودر لاستیک و برهم‌کنش آن‌ها بر برخی صفات گیاه گندم

Table 3. Analysis of variance for some traits of wheat plant affected by salinity, rubber powder and their interaction.

میانگین مربعات (Mean of squares)									
نسبت سلیم به پتاسیم Na/K	کادمیوم Cd _{plant}	سرب Pb _{plant}	آهن Fe _{plant}	روی Zn _{plant}	قند Sugar	پروکلین Proline	کلروفیل کل Total chlorophyll	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight
df	df	df	df	df	df	df	df	df	df
666**	3.80**	295**	1631472**	3663**	0.33**	0.91**	424**	3.83**	5.44**
27.4*	0.175*	16.6**	477932**	168984**	0.00023	0.014**	16.5**	0.56**	0.99**
48.6**	0.114*	67.2**	69603**	3546**	0.00052**	0.032**	65.2**	0.10	0.48**
7.72	0.039	1.28	6684	143	0.00012	0.0004	0.62	0.11	0.12
16.8	14.1	11.9	9.51	12.6	6.7	6	4.07	30.7	22
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
منابع تغییرات (Sources of variation)									
شوری (Salinity)									
پودر لاستیک (Rubber powder)									
شوری × پودر لاستیک (Salinity × Rubber powder)									
خطا (Error)									
ضریب تغییرات (CV)									

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده آثار معنی‌دار در سطوح احتمال یک و پنج درصد است.
* and ** indicate significant effects at 1 and 5% probability levels, respectively.



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش شوری و پودر لاستیک بر وزن خشک شاخساره گیاه گندم. ستون‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری ندارند (آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد). RP نشان‌دهنده پودر لاستیک در سه سطح ۰، ۱۰ و ۲۰ گرم در کیلوگرم خاک است.

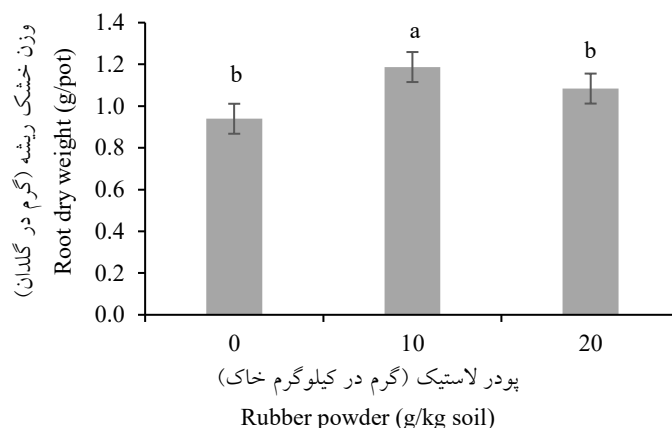
Fig. 1. Mean comparison of the interactive effect of salinity and rubber powder on shoot dry weight of wheat plant. The bars with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$). RP means rubber powder at three levels of 0, 10, and 20 g per kg of soil.

گرم پودر لاستیک در کیلوگرم خاک وزن خشک ریشه گیاه به‌طور معنی‌داری (۲۱ درصد) افزایش یافت. ولی کاربرد ۲۰ گرم پودر لاستیک در کیلوگرم خاک اثر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه نداشت (شکل ۲).

همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، شوری سبب کاهش معنی‌دار وزن خشک ریشه شده است به‌گونه‌ای که در سطح ۲۰۰۰ میلی‌گرم کلرید سدیم، وزن خشک ریشه ۷۸/۳۵ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافته است. تنش شوری با اختلال اسمزی، سمیت سیتوپلاسمی ناشی از جذب بیش از حد یون‌هایی مانند سدیم و عدم توازن عناصر غذایی، و تنش اکسیداتیو ناشی از تولید گونه‌های فعال اکسیژن، موجب اختلال در فرایندهای فیزیولوژیک و متابولیک گیاه شده که نتیجه آن کاهش فتوسنتز و کاهش رشد و نمو خواهد بود (Isayenkov and Maathius, 2019). نتایج پژوهش‌های (Malakoti et al, 2005) نشان داد که مصرف روی در شرایط شور، وزن خشک شاخساره گندم را ۴/۵ برابر بیش از شرایط غیرشور افزایش داد. یافته‌های (Nasirizadeh et al. (2023) نیز نشان داد کاربرد روی از منبع پودر لاستیک تا سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم باعث افزایش وزن خشک گیاه ذرت می‌شود. افزایش وزن خشک ریشه

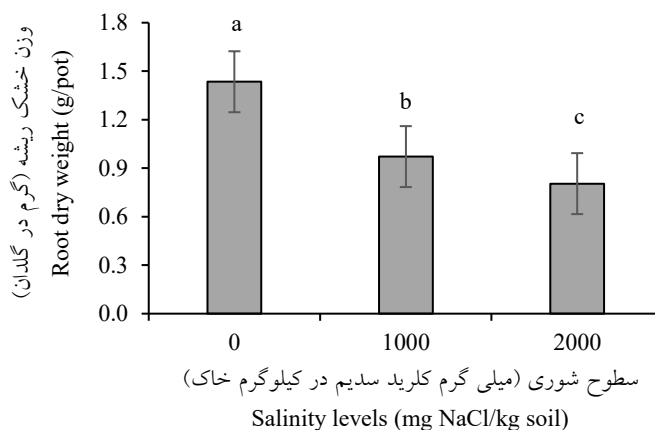
روی مانع از جذب و انتقال آهن در گیاه می‌شود (Neue et al., 1998). کاربرد پودر لاستیک به‌عنوان منبع روی در سطح شوری ۱۰۰۰ میلی‌گرم کلرید سدیم در کیلوگرم خاک، باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک شاخساره در مقایسه با تیمار بدون کاربرد پودر لاستیک شد. در سطح شوری ۱۰۰۰ میلی‌گرم کلرید سدیم در کیلوگرم خاک با افزایش مقدار پودر لاستیک، وزن خشک شاخساره به میزان ۴۵/۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. در سطح ۲۰۰۰ میلی‌گرم کلرید سدیم، کاربرد پودر لاستیک اثر معنی‌داری بر وزن خشک شاخساره نداشت (شکل ۱). افزایش وزن خشک شاخساره با افزودن پودر لاستیک در سطح شوری ۱۰۰۰ میلی‌گرم کلرید سدیم و تیمار غیرشور، ممکن است به‌دلیل افزایش فراهمی عنصر روی در خاک، بهبود شرایط فیزیکی خاک و افزایش رشد ریشه باشد.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، وزن خشک ریشه گیاه گندم به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر کاربرد سطوح مختلف پودر لاستیک و شوری قرار گرفت اما برهم‌کنش این دو، تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه نداشت (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین، وزن خشک ریشه گیاه گندم تحت تیمار پودر لاستیک نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت. به‌طوری که با افزودن ۱۰



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر پودر لاستیک بر وزن خشک ریشه گیاه گندم. ستون‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری ندارند (آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد).

Fig. 2. Mean comparison of the effect of rubber powder on the root dry weight of wheat plant. The bars with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$).



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر شوری بر وزن خشک ریشه گیاه گندم. ستون‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری ندارند (آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد).

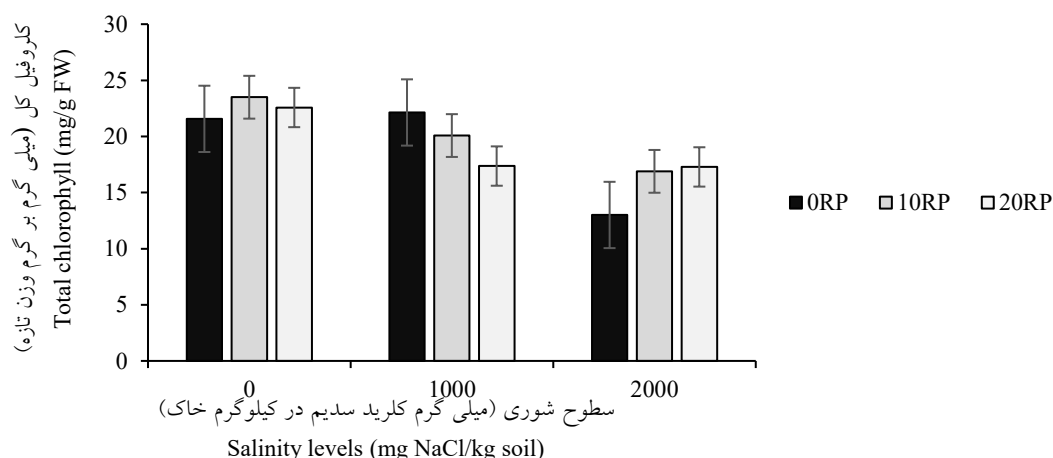
Fig. 3. Mean comparison of the effect of salinity on the root dry weight of wheat plant. The bars with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). با توجه به شکل ۴، در سطح شوری صفر میلی‌گرم کلرید سدیم در کیلوگرم خاک با افزایش پودر لاستیک تا سطح ۱۰ گرم در کیلوگرم خاک غلظت کلروفیل کل به میزان ۸/۹۵ درصد افزایش یافت. در سطح شوری ۱۰۰۰ میلی‌گرم کلرید سدیم در کیلوگرم خاک، با افزایش پودر لاستیک تا سطح ۲۰ گرم در کیلوگرم خاک غلظت کلروفیل کل به میزان ۲۱/۶ درصد کاهش پیدا کرد. در سطح شوری ۲۰۰۰ میلی‌گرم کلرید سدیم در کیلوگرم خاک، با افزایش پودر لاستیک

و شاخصاره گیاه در تیمارهای پودر لاستیک را می‌توان به اثر پودر لاستیک به‌عنوان منبع روی نسبت داد. بر اساس نتایج (2008) Taheri et al، کاربرد پودر لاستیک به‌منظور تامین نیاز گوجه‌فرنگی به روی سبب افزایش وزن خشک گیاه نسبت به تیمار شاهد شد.

کلروفیل کل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که آثار اصلی و برهم‌کنش شوری و پودر لاستیک بر غلظت کلروفیل کل در گیاه گندم در سطح



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش شوری و پودر لاستیک بر کلروفیل کل گیاه گندم. ستون‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری ندارند (آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد). RP نشان‌دهنده پودر لاستیک در سه سطح ۰، ۱۰ و ۲۰ گرم در کیلوگرم خاک است.

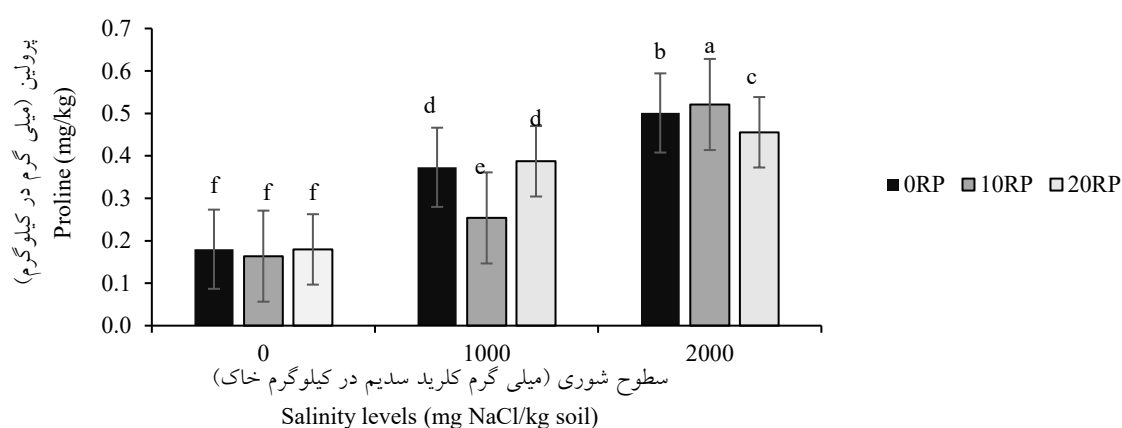
Fig. 4. Mean comparison of the interactive effect of salinity and rubber powder on total chlorophyll of wheat plant. The bars with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$). RP means rubber powder at three levels of 0, 10, and 20 g per kg of soil.

در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها، شوری موجب افزایش مقدار پرولین و قندهای محلول شد. با کاربرد پودر لاستیک در سطح ۱۰ گرم در کیلوگرم در تنش شوری ۲۰۰۰ میلی‌گرم کلرید سدیم در کیلوگرم خاک، میزان پرولین نسبت به تیمار شاهد ۲۱۸/۳ درصد افزایش یافته است (شکل ۵). همچنین، با کاربرد ۱۰ گرم پودر لاستیک در کیلوگرم خاک در سطح شوری ۱۰۰۰ میلی‌گرم کلرید سدیم میزان قندهای محلول نسبت به تیمار شاهد ۱۶۲/۱ درصد و در سطح شوری ۲۰۰۰ میلی‌گرم کلرید سدیم با کاربرد ۲۰ گرم پودر لاستیک در کیلوگرم میزان قندهای محلول نسبت به تیمار شاهد ۳۰۸/۹ درصد افزایش یافته است (شکل ۶). در زمان تنش، گیاهان به حفظ پتانسیل آب درون سلول به‌منظور حفظ تورژسانس و جذب آب برای رشد نیاز دارند که این عمل توسط تنظیم‌کننده‌های اسمزی از جمله پرولین و قندهای محلول انجام می‌شود (Peng et al., 2007). پرولین به‌دلیل آن‌که منبع مهمی از کربن و نیتروژن است در جلوگیری از غیرفعال‌شدن پروتئین‌ها نقش حیاتی داشته و رادیکال‌های آزاد را از بین می‌برد (Xiao et al., 2009). Rostamei et al. (2020) اظهار داشتند که استفاده از عنصر روی و آهن، از راه افزایش ترکیبات اسمولیت درون‌سلولی

تا سطح ۲۰ گرم در گلدان، غلظت کلروفیل کل به میزان ۳۲/۹ درصد افزایش نشان داد. کلروفیل نقش کلیدی در فرایند فتوسنتز ایفا می‌کند. میزان کلروفیل می‌تواند توانایی گیاه در تحمل به تنش‌های محیطی و میزان خسارتی که تنش به گیاه وارد می‌کند را نشان دهد (Skorzynska-Polit and Baszynski, 1997). در پژوهش Nasirizadeh et al. (2023)، با افزایش پودر لاستیک تا سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی، میزان کلروفیل برگ ذرت افزایش پیدا کرد. کمبود روی، غلظت کلروفیل و توان فتوسنتزی برگ‌ها را کاهش داده و موجب تخریب کلروپلاست می‌شود. از سوی دیگر، تجزیه ذرات لاستیک در خاک‌های تیمار شده با پودر لاستیک تأیر می‌تواند با آزادسازی ترکیبات اسیدی موجب کاهش احتمالی pH شود. افزایش فراهمی روی و سایر عناصر باعث افزایش رشد و توسعه گیاه، افزایش محتوای کلروفیل برگ و در نهایت سبب بهبود فتوسنتز می‌شود (Tavallali et al., 2009).

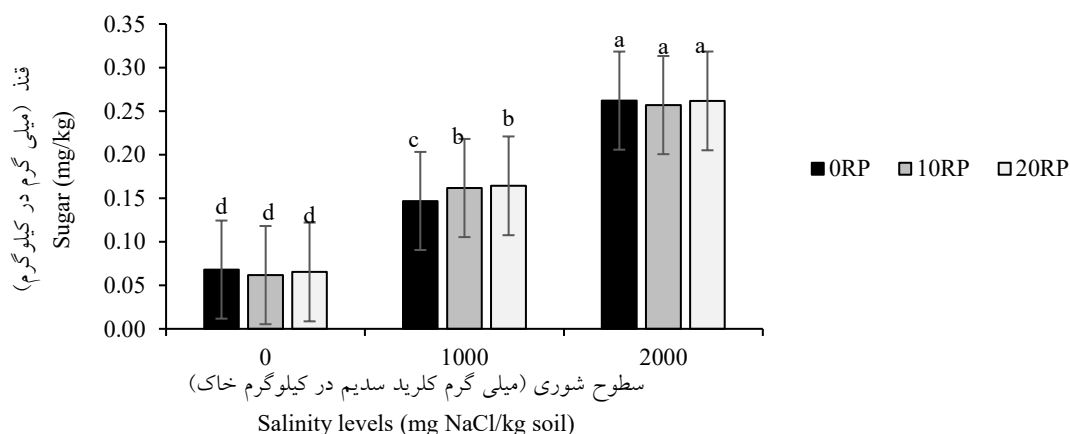
پرولین و قند

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، آثار اصلی و برهم‌کنش شوری و پودر لاستیک بر مقدار پرولین و اثر اصلی تنش شوری و اثر برهم‌کنش شوری و پودر لاستیک بر قندهای محلول گیاه گندم



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر برهم کنش شوری و پودر لاستیک بر پرولین گیاه گندم. ستون‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری ندارند (آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد). RP نشان‌دهنده پودر لاستیک در سه سطح ۰، ۱۰ و ۲۰ گرم در کیلوگرم خاک است.

Fig. 5. Mean comparison of the interactive effect of salinity and rubber powder on proline of wheat plant. The bars with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$). RP means rubber powder at three levels of 0, 10, and 20 g per kg of soil.



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر برهم کنش شوری و پودر لاستیک بر قند گیاه گندم. ستون‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری ندارند (آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد). RP نشان‌دهنده پودر لاستیک در سه سطح ۰، ۱۰ و ۲۰ گرم در کیلوگرم خاک است.

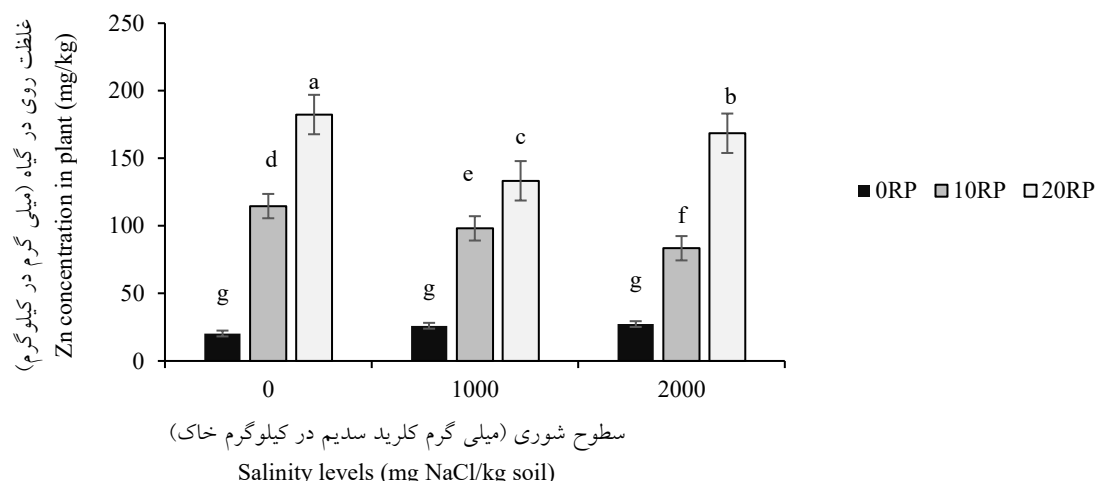
Fig. 6. Mean comparison of the interactive effect of salinity and rubber powder on sugar of wheat plant. The bars with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$). RP means rubber powder at three levels of 0, 10, and 20 g per kg of soil.

غلظت روی و آهن در شاخساره گیاه گندم در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، با افزایش مقدار پودر لاستیک غلظت روی در گیاه در سه سطح تنش شوری افزایش پیدا کرد و در سطح تنش شوری ۱۰۰۰ میلی‌گرم کلرید سدیم کمترین غلظت روی در گیاه شاهد مشاهده شد. با کاربرد پودر لاستیک در سطح ۲۰ گرم در گلدان میزان غلظت روی (۱۳۳/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) در شاخساره ۴۱۲ درصد افزایش یافت (شکل ۷).

(پرولین آزاد و قندهای محلول) و کاهش پتانسیل آب سلول‌های گیاه، موجب جذب آب در شرایط شور می‌گردد. در پژوهش‌های بسیاری نیز تجمع قندهای محلول تحت تنش شوری در گیاه گزارش شده است (Evelin et al., 2009).

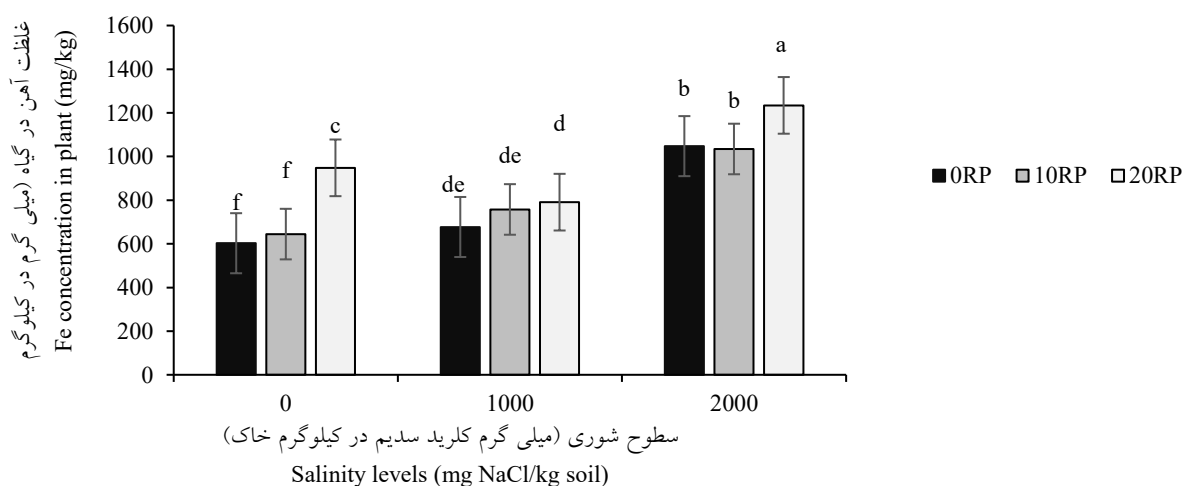
روی و آهن

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، آثار اصلی و هم‌چنین اثر برهم‌کنش شوری و کاربرد سطوح مختلف پودر لاستیک بر



شکل ۷. مقایسه میانگین اثر برهم کنش شوری و پودر لاستیک بر غلظت روی در شاخساره گیاه گندم. ستون‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری ندارند (آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد). RP نشان‌دهنده پودر لاستیک در سه سطح ۰، ۱۰ و ۲۰ گرم در کیلوگرم خاک است.

Fig. 7. Mean comparison of the interactive effect of salinity and rubber powder on the shoot Zn concentration of wheat plant. The bars with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$). RP means rubber powder at three levels of 0, 10, and 20 g per kg of soil.

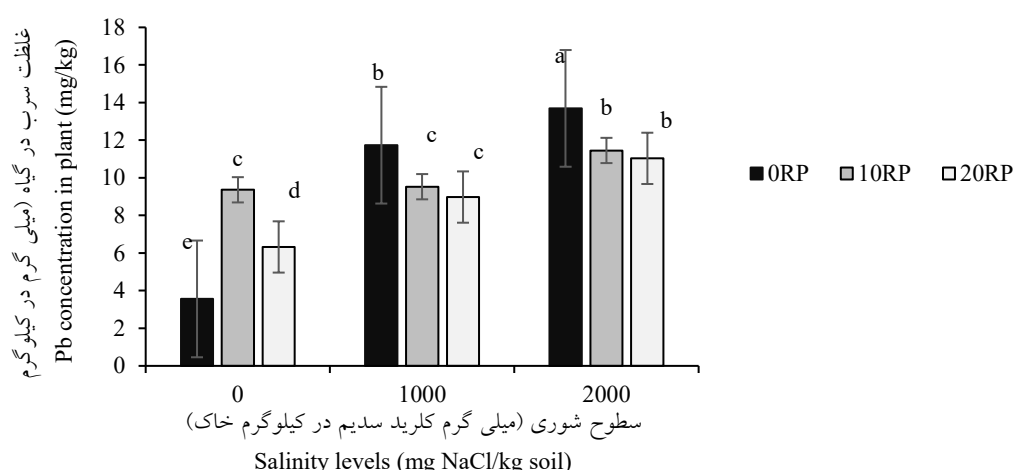


شکل ۸. مقایسه میانگین اثر برهم کنش شوری و پودر لاستیک بر غلظت آهن در شاخساره گیاه گندم. ستون‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری ندارند (آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد). RP نشان‌دهنده پودر لاستیک در سه سطح ۰، ۱۰ و ۲۰ گرم در کیلوگرم خاک است.

Fig. 8. Mean comparison of the interactive effect of salinity and rubber powder on the shoot Fe concentration of wheat plant. The bars with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$). RP means rubber powder at three levels of 0, 10, and 20 g per kg of soil.

با تاثیر بر پایداری و حفظ ساختار غشاء سلولی، از جذب و انتقال بیش از حد عناصر ایجادکننده سمیت در شرایط شور، از جمله سدیم، جلوگیری و توزیع آن را در گیاه متعادل می‌کند (Cakmak and Marschner, 1988). وجود مقادیر زیاد روی (حدود ۷ درصد) در ترکیب پودر لاستیک، موجب افزایش آزادسازی روی

همچنین در سطوح تنش شوری ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی گرم کلرید سدیم، با افزایش پودر لاستیک تا سطح ۲۰ گرم در گلدان غلظت آهن در گیاه گندم به ترتیب ۱۶/۸ و ۱۷/۸ درصد افزایش پیدا کرد (شکل ۸). افزودن روی به خاک در شرایط شور از انتقال برخی عناصر غذایی از جمله آهن به شاخساره جلوگیری می‌کند. روی



شکل ۹. مقایسه میانگین اثر برهم کنش شوری و پودر لاستیک بر غلظت سرب در شاخساره گیاه گندم. ستون‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری ندارند (آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد). RP نشان‌دهنده پودر لاستیک در سه سطح ۰، ۱۰ و ۲۰ گرم در کیلوگرم خاک است.

Fig. 9. Mean comparison of the interactive effect of salinity and rubber powder on the shoot Pb concentration of wheat plant. The bars with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$). RP means rubber powder at three levels of 0, 10, and 20 g per kg of soil.

لاستیک علاوه بر افزایش روی قابل جذب خاک، با کاهش pH سبب افزایش فراهمی آهن خاک برای گیاه می‌شود (Khoshgofarmanesh et al., 2008).

سرب و کادمیوم

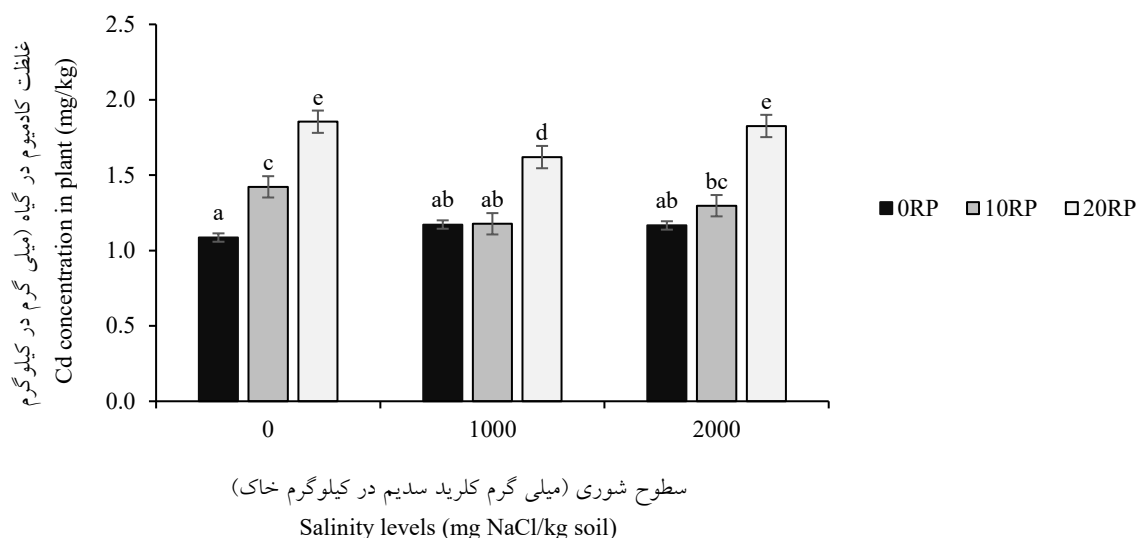
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای شوری و پودر لاستیک و برهم‌کنش آن‌ها تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر غلظت سرب در شاخساره گیاه گندم داشتند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش بین تنش شوری و کاربرد پودر لاستیک بر غلظت سرب در شاخساره نشان می‌دهد که با افزایش تنش شوری در سطوح ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم کلرید سدیم در کیلوگرم خاک، مقدار غلظت سرب شاخساره به ترتیب ۵۷/۱ و ۸۷/۹۸ نسبت به نمونه شاهد (تیمار بدون شوری) افزایش یافت. با افزایش پودر لاستیک در سطح ۲۰ گرم در گلدان به- ترتیب غلظت سرب در شاخساره ۲۳/۴۶ و ۱۹/۴۱ کاهش یافت (شکل ۹).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی شوری در سطح احتمال ۵ درصد و اثر پودر لاستیک و همچنین اثر برهم- کنش روی و شوری بر غلظت کادمیوم شاخساره گیاه گندم در

از پودر لاستیک و در نتیجه افزایش روی فراهم خاک می‌شود. کاربرد روی می‌تواند آثار منفی کلرید سدیم را از راه کاهش جذب و یا انتقال یون‌های سدیم و کلرید کاهش داده و در نتیجه رشد گیاه را افزایش دهد (Alpaslan et al., 1999).

گزارش شده است که سمیت روی معمولاً در غلظت‌های بیشتر از ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک برگ رخ می‌دهد. به‌طور کلی غلظت روی در گیاهان در دامنه ۲۵ تا ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک برگ گزارش شده است. کمبود روی بسته به نوع گیاه در غلظت‌های کمتر از ۱۰ تا ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک برگ مشاهده می‌شود (Havline et al., 2014). در پژوهش حاضر، غلظت روی قابل استخراج با DTPA حدود ۰/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، و غلظت روی در برگ گیاهان در تیمار شاهد حدود ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. حد بهینه عنصر روی در شاخساره گندم در دامنه ۷۰-۱۸ میلی‌گرم در کیلوگرم است.

در پژوهش Yadegari et al. (2023) گزارش شد که مقدار روی قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک با کاربرد سطوح ۰/۵ و ۱ درصد وزنی خاکستر لاستیک به ترتیب ۹۵ و ۱۷۵ برابر نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. گزارش شده است پودر



شکل ۱۰. مقایسه میانگین اثر برهم کنش شوری و پودر لاستیک بر غلظت کادمیوم شاخساره گیاه گندم. ستون‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری ندارند (آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد). RP نشان‌دهنده پودر لاستیک در سه سطح ۰، ۱۰ و ۲۰ گرم در کیلوگرم خاک است.

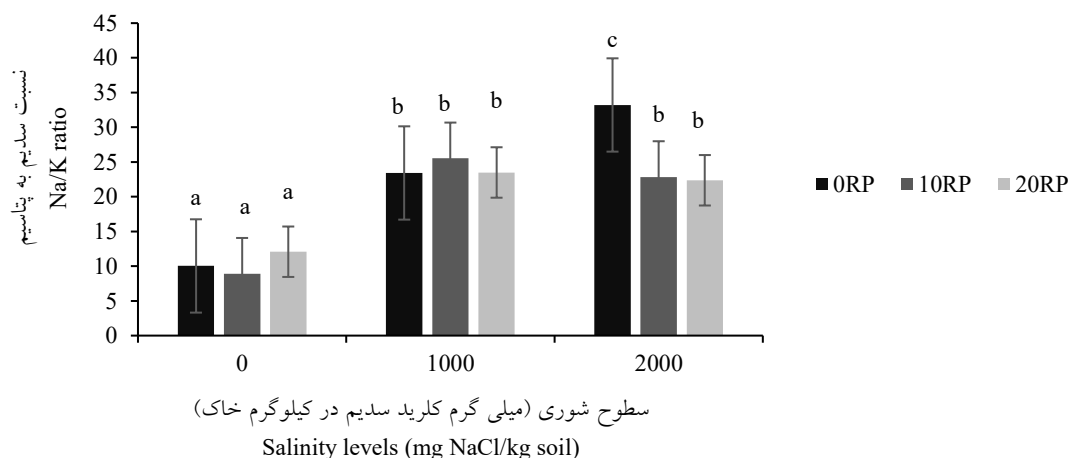
Fig. 10. Mean comparison of the interactive effect of salinity and rubber powder on the shoot Cd concentration of wheat plant. The bars with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$). RP means rubber powder at three levels of 0, 10, and 20 g per kg of soil.

محلول فلزات سنگین (کادمیوم و سرب) با کلرید نیز می‌تواند حلالیت و جذب این عناصر را افزایش دهد. همچنین تنش شوری باعث آسیب به غشاء سلولی ریشه شده و نفوذپذیری غشاء را افزایش می‌دهد؛ در نتیجه، جذب یون‌های فلزی بیشتر می‌شود.

نسبت سدیم به پتاسیم

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر اصلی شوری در سطح احتمال ۱ درصد و اثر اصلی لاستیک و اثر برهم کنش شوری و پودر لاستیک بر نسبت سدیم به پتاسیم گیاه گندم در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). در سطوح شوری ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم کلرید سدیم در کیلوگرم خاک، نسبت سدیم به پتاسیم در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب ۱۳۳/۵ و ۱۵۲/۷ درصد افزایش یافت. در سطح شوری ۱۰۰۰ میلی‌گرم کلرید سدیم، افزودن ۱۰ گرم پودر لاستیک موجب افزایش نسبت سدیم به پتاسیم (۸/۹۵ درصد) شد (شکل ۱۱). همچنین در سطح شوری ۲۰۰۰ میلی‌گرم کلرید سدیم افزودن ۲۰ گرم پودر لاستیک موجب

سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در هر سه سطح شوری، افزودن ۲۰ گرم پودر لاستیک به هر گلدان منجر به افزایش غلظت کادمیوم شد (شکل ۱۰). در پژوهش Taheri et al. (2011) نیز این نکته تأکید شده است که کودهای روی تولیدشده از ضایعات پلیمری فرسوده به میزان کمتری از کودهای رایج در بازار، کادمیوم دارد. (Yadegari et al. (2023 گزارش کردند که به دلیل مقادیر کم سرب و کادمیوم در لاستیک، غلظت کادمیوم شاخساره کمتر از حد تشخیص دستگاه جذب اتمی بود. همچنین این پژوهشگران نشان دادند که تیمار خاکستر لاستیک، و برهم‌کنش آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر غلظت سرب گیاه نداشت. این نتایج با یافته‌های Nasirizadeh et al. (2023) هم‌خوانی دارد. افزایش حلالیت فلزات سنگین در خاک شور به افزایش قدرت یونی محللول خاک و تشکیل کمپلکس‌های محللول نسبت داده شده است (Acosta et al. 2011). با افزایش شوری خاک، قدرت یونی محللول افزایش می‌یابد و با افزایش قدرت یونی محللول خاک، حلالیت فلزات سنگین افزایش می‌یابد. تشکیل کمپلکس‌های



شکل ۱۱. مقایسه میانگین اثر برهم کنش شوری و پودر لاستیک بر نسبت سدیم به پتاسیم شاخساره گیاه گندم. ستون‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری ندارند (آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد). RP نشان‌دهنده پودر لاستیک در سه سطح ۰، ۱۰ و ۲۰ گرم در کیلوگرم خاک است.

Fig. 11. Mean comparison of the interactive effect of salinity and rubber powder on the shoot Na/K of wheat plant. The bars with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$). RP means rubber powder at three levels of 0, 10, and 20 g per kg of soil.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کاربرد پودر لاستیک با افزایش فراهمی عناصر روی و آهن در خاک، منجر به افزایش معنی‌دار وزن خشک ریشه و شاخساره گندم شد. افزایش شوری خاک اثر منفی بر بسیاری از شاخص‌های رویشی، فیزیولوژیک و ترکیب شیمیایی گندم داشت، اما استفاده از پودر لاستیک توانست تا حدودی مقاومت گیاه در برابر شوری را افزایش دهد. برای استفاده از این ماده به‌عنوان یک ترکیب کودی، نیاز است پژوهش‌های بیشتری به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر تاثیر آن بر محیط‌زیست و سلامت انسان انجام شود.

تشکر و سپاسگزاری

از معاونت آموزشی و پژوهشی دانشگاه ولی عصر رفسنجان و دانشگاه یزد برای انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ نوع تضاد منفعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارد.

کاهش نسبت سدیم به پتاسیم به میزان ۳۲/۷ درصد گردید (شکل ۱۱). در شرایط تنش شوری که غلظت سدیم در ریزوسفر زیاد است، جذب پتاسیم با مشکل مواجه شده و در نهایت نسبت پتاسیم به سدیم در شیره سلولی کاهش می‌یابد. از این رو در این شرایط، ساخت پروتئین‌ها، انتقال انرژی، فعالیت‌های آنزیمی، تحرک سلول‌های محافظ روزنه و فتوسنتز که نیازمند پتاسیم است با اختلال مواجه شده که منجر به کاهش رشد گیاه می‌شود (Rubio et al., 2020). در گیاهان دچار کمبود روی، پایداری غشاء کاهش یافته و نفوذپذیری آن افزایش می‌یابد (Cakmak, 2000) که این امر منجر به افزایش جذب و تجمع یون سدیم در بافت‌های گیاه می‌شود. Aktas et al. (2006) گزارش کردند که کاربرد روی در سطوح مختلف شوری موجب افزایش وزن خشک شاخساره، غلظت روی و پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم در فلفل شد. همچنین کاربرد روی نسبت سدیم به پتاسیم را در گیاه سویا تحت تنش شوری افزایش داد (Weisany et al., 2014).

References

منابع مورد استفاده

1. Acosta, J.A., Jansen, B., Kalbitz, K., Faz, A., Martínez-Martínez, S., 2011. Salinity increases mobility of heavy metals in soils. *Chemosphere* 85(8), 1318–1324. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.07.046>.
2. Aghili, F., Gamper, H.A., Eikenberg, J., Khoshgoftarmanesh, A.H., Afyuni, M., Schulin, R., Jansa, J., Frossard, E., 2014. Green manure addition to soil increases grain zinc concentration in bread wheat. *Plos One* 9, 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101487>.
3. Aktas, H., Abak, K., Ozturk, L., Cakmak, I., 2006. The effect of zinc on growth, and shoot concentration of sodium and potassium in pepper plants under salinity stress. *Turk. J. Agric. For.* 30, 407–412.
4. Alloway, B.J., 2008. Zinc in Soil and Crop Nutrition. Online Book Published by the International Zinc Association, Brussels, Belgium and Paris, France.
5. Amini, A., Akbari Moghadam, H., Saberi, M.H., Tabatabaei, M.T., Azarm, D.A., Ravari, Z., Afshari, F., Zakari, A., Hoseini, M.A., Malhipor, A., Safavi, S.F., Ebrahimnejad, Sh., Tajali, H., Dehghan, M.H., Dalvand, M., Abdi, H., Mehrabi, R., Vahabzade, M., Hagiakhondimeibodi, H., 2022. Barzegar, a new irrigated bread wheat cultivar, with high adaptability and yield stability, suitable for moderate climate saline lands. *Res. Achievem. Field Hort. Crop.* 11(1), 1–14. (In Persian with English abstract)
6. Alpaslan, M., Inal, A., Gunes, A., Cikili, Y., 1999. Effect of zinc treatment on the alleviation of sodium and chloride injury in tomato grown under salinity. *Turk. J. Bot.* 23, 1–6.
7. Bates, L.S., Waldren R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil.* 39, 205–207.
8. Bouis, H., 1996. Enrichment of food staples through plant breeding: a new strategy for fighting micronutrient malnutrition. *Nutr. Rev.* 54, 131–137.
9. Brown, P.H., Cakmak, I., Zhang, Q., 1993. Form and function of zinc in plants. In: Robson, A.D. (Ed.), *Zinc in Soils and Plants*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 93–106.
10. Chaney, R.L., 2007. Effect of ground rubber vs. ZnSO₄ on spinach accumulation of Cd from Cd-mineralized California soil. Abstract, Proceedings of the Water Environment Federation, April 16–18, Weftech, Denver, Colorado. p. 993.
11. Cakmak, I., Marschner, H., 1988. Zinc-dependent changes in ESR signals, NADPH oxidase and plasma membrane permeability in cotton roots. *Physiol. Plant.* 73, 132–186.
12. Cakmak, I., Kalayci, M., Ekiz, H., Braun, H.J., Yilmaz, A., 1999. Zinc deficiency as a practical problem in plant and human nutrition in Turkey. A NATO-Science for stability project. *Field Crops Res.* 60, 175–188.
13. Cakmak, I., 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. *New Phytol.* 146, 185–205.
14. Evelin, H., Kapoor, R., Giri, B., 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. *Ann. Bot.* 104(7), 1263–1280.
15. Giraldo, P., Benavente, E., Manzano-Agugliaro, F., Gimenez, E., 2019. Worldwide research trends on wheat and barley. A bibliometric comparative analysis. *Agronomy* 9(7), 352. <https://doi.org/10.3390/agronomy9070352>.
16. Graham, R.D., Welch, R.M., 1996. Breeding for Staple Food Crops with High Micronutrient Density 3. International Food Policy Research Institute, Washington.
17. Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., Nelson, W.L., 2014. *Soil Fertility and Fertilizers; An Introduction to Nutrient Management*. 6th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
18. Irigoyen, J.J., Emerich, D.W., Sanchez-Diaz, M., 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiol. Plant.* 84, 67–72.
19. Isayenkov, S.V., Maathuis, F.J.M., 2019. Plant salinity stress: many unanswered questions remain. *Front. Plant Sci.* 10, 1–11.
20. Jalili, F., Khavazi, A., Pazira, A., Asadi Rahmani, H., 2011. Effects of fluorescent pseudomonads with ACC deaminase activity on growth characteristics of canola (*Brassica napus* L.) under salinity condition. *Water Soil. Sci.* 21(2), 175–191.
21. Khoshgoftarmanesh, A.H., 2008. Evaluation of Plant Nutritional Status and Optimal Fertilizer Management. Second ed. Isfahan University of Technology Publishing Center. (In Persian)
22. Klug, A., Rhodes, D., 1987. Zinc fingers: a novel protein motif for nucleic acid recognition. *Trends Biochem. Sci.* 12, 464–469.
23. Lindsay, W.L., Norwell, W.A., 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron and manganese and copper. *Soil Sci. Soc Am. J.* 42, 421–428.
24. Liu, X., Wang, J., Gheni, A., ElGawady, A.A., 2018. Reduced zinc leaching from scrap tire during pavement applications. *Waste Manag.* 81, 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.045>.
25. Mlakoti, M.J., Keshavarz, P., Karimian, N.A., 2005., A Comprehensive Method for Diagnosing and Recommending

Optimal Fertilizer for Sustainable Agriculture. Tarbiat Modares, Tehran, pp. 755. (In Persian)

26. Nasirzadeh, A., Hamidpour, M., Abbaszadeh-Dahaji, P., Akhgar, A., Kariman, K., 2023. Zinc-solubilizing *Pseudomonas* strains improve zinc nutrition of maize plants grown in sand amended with tire waste powder. J. Plant Nutr. 46(14), 3450–3468. <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2206424>.
27. Neue, H.U., Quijano, C., Senadhira, D., Setter, T., 1998. Strategies for dealing with micronutrient disorders and salinity in lowland rice system. Field Crops Res. 50, 139–155.
28. Norouzi, M., Khoshgoftarmanesh, A.H., Afyuni, M., 2015. Influence of some organic fertilizers on chemical forms of zinc in soil solid phase in relation to zinc uptake in wheat. J. Water Soil Sci. 18(70), 81–90.
29. Peack, N.H., Grunes, D.L., Welch, R.M., MacDonald, G.E., 1980. Nutritional quality of vegetable crops as affected by phosphorus and zinc fertilizers. Agron. J. 72, 528–534.
30. Peng, Y.L., Gao, Z.W., Liu, G.F., Sheng, L.X., Wang, D.L., 2007. Ecophysiological characteristics of alfalfa seedling in response to various mixed salt-alkaline stresses. J. Integr. Plant Biol. 50, 29–39.
31. Porra, R.J., 2002. The cheque red history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. Photosynth. Res. 73, 149–156.
32. Rostami, M., Javadi, A., Hosseinizadeh, S.M., 2020. Induction of resistance to salinity stress in the produced seeds of wheat after foliar application of nano-zinc oxide and nano-iron oxide. J. Plant Res. 33(3), 593–606. (In Persian with English abstract)
33. Rahimi S., Afyuni M., Khoshgoftarmanesh A.H., Noruzi, M., 2015. Assessment of soil quality index with zinc fertilizer and its concentration wheat grain. J. Soil Water. 19(71), 47–57. (In Persian with English abstract)
34. Skorzynska-Polit, E., Baszynski, T., 1997. Differences in sensitivity of the photosynthetic apparatus in Cd-stressed runner bean plants in relation to their age. Plant Sci. 128(1), 11–21.
35. Subiramani, S., Ramalingam, S., Muthu, T., Nile, S.H. Venkidasamy, B., 2020. Development of abiotic stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria (PGPR). In: Kumar, M., Etesami, H., Kumar, V. (Eds.), Phyto-Microbiome in Stress Regulation. Springer, Cham, pp. 125–145.
36. Taheri S., Khoshgoftarmanesh A.H., Shariatmadari H., Chaney R.L., 2011. Kinetics of zinc release from ground tire rubber and rubber ash in a calcareous soil as alternatives to Zn fertilizers. Plant Soil. 341, 89–97. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0624-7>.
37. Tavallali, V., Rahemi, M., Kholdebarin, B., 2009. Ameliorative effect of zinc on pistachio (*Pistacia vera* L. Badami) seedling. Turk. J. Agric. For. 34, 349–359.
38. Welch, R.M., Graham, R.D., 2004. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. J. Exp. Bot. 55, 353–364.
39. Weisany, W., Sohrabi, Y., Ahmadi, H., Abasi, H., 2013. Effect of zinc application on growth, absorption and distribution of mineral nutrients under salinity stress in soybean (*Glycine max* L.). J. Plant Nutr. 37, 22555–2269.
40. Xiao, X.W., Yang, F., Zhang, S., Korpelainen, H., Li, C.Y., 2009. Physiological and proteomic responses of two contrasting *Populus cathayana* populations to drought stress. Physiol. Plant. 136, 150–168.
41. Yadegari, F., Hamidpour, M., Tajabadi Pour, A., Abbaszadeh-Dahaji, P., 2024. Effect of organic ligands on the growth and chemical composition of corn and the release of elements in a soil treated with rubber ash. J. Soil Plant Interact. 15(1), 35–40.