

Effect of Magnetized Water on Root Traits of Different Wheat Species under Salinity Conditions

Esmaeil Mohammadi Beilankouhi^{1*}, Adel Dabbagh Mohammadi Nassab² , Jalil Shafagh Kolvanagh³,
Rouhollah Amini²

Received: November 14, 2024

Accepted: February 12, 2025

1- Ph.D. in Agronomy, Dept. of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.

2- Prof., Dept. of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.

3- Assoc. Prof., Dept. of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.

* Corresponding Author Email: mohammadi.esmaeil.2020@gmail.com

Abstract

Background and Objectives: Due to the limited availability of suitable water resources in arid and semi-arid regions, saline water is a very important source of irrigation in these areas. Plant stimulation using magnetized water and its modulating effect on water salinity has been considered as a way to increase the quantity and quality of the crop. The aim of this study was to evaluate the root system characteristics of different wheat species under magnetic water application and salinity stress.

Materials and Methods: The experiment was conducted as a factorial based on a randomized complete block design with three replications in 2019 at the Research Farm of the Faculty of Agriculture, University of Tabriz. The factors included magnetized water (0 and 400 milliTesla), salinity levels of irrigation water (Control (distilled water), 3 and 6 dS/m (NaCl)), and the third factor was six wheat genotypes including diploid (*Triticum monococcum*), tetraploid (durum wheat cultivars Savaz, Persian, and Dehdasht), and hexaploid (bread wheat cultivars Chamran, Kohdasht).

Results: Under moderate and severe salinities, mean shoot biomass, crown diameter, root dry weight, root volume, K⁺ concentration, and the K⁺/Na⁺ ratio in roots and shoots decreased, while root area, cumulative root length, and Na⁺ concentration in roots and shoots significantly increased. Magnetized water mitigated salinity stress by increasing crown diameter (14.8%), root dry weight (56.4%), rooting depth (34.6%), root volume (approximately 2-fold), root surface area (67.2%), cumulative root length (75.1%), and root-to-shoot ratio (30.1%). It also enhanced K⁺ concentration (by 14.9% and 8.2%, respectively) and the K⁺/Na⁺ ratio (by 20.5% and 13.1%, respectively) in roots and shoots while reducing Na⁺ concentration in roots and shoots (by 7.9% and 9.8%, respectively). Mean measured traits showed the superiority of Kohdasht and Chamran cultivars over other wheat species across salinity levels.

Conclusion: Shoot and root dry weight, root volume, root surface area, total root length, root to shoot ratio, potassium concentration, and potassium to sodium ratio in roots and shoots were improved by magnetizing irrigation water. In terms of root traits and also biomass production, the superiority of Kohdasht and Chamran cultivars over other varieties under salinity stress with the use of magnetized water was evident. Therefore, in regions where access to non-saline water is not possible, the use of magnetized water and the use of resistant cultivars such as Kohdasht and Chamran, is recommended to improve wheat yield.

Keywords: Magnetic Water, Root System, Salinity Stress, Water Quality, Wheat



This is an open-access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)

Copyright@ 2026 Esmaeil Mohammadi Beilankouhi Email: mohammadi.esmaeil.2020@gmail.com

[https://doi.org/ 10.22034/saps.2025.64517.3311](https://doi.org/10.22034/saps.2025.64517.3311)





اثر آب مغناطیسی بر صفات ریشه گونه‌های مختلف گندم در شرایط شور

اسماعیل محمدی بیلانکوهی^{۱*}، عادل دباغ محمدی نسب^۲، جلیل شفق کلوانق^۳، روح اله امینی^۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۴

- ۱- دکتری زراعت، گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
- ۲- استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
- ۳- دانشیار گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

چکیده

مقدمه و اهداف: به دلیل محدودیت منابع آب مناسب در نواحی خشک و نیمه‌خشک، آب شور منبع بسیار مهمی برای آبیاری در این مناطق می‌باشد. تحریک گیاهان با استفاده از آب مغناطیسی و اثر تعدیل‌کنندگی آن بر شوری آب به‌عنوان راهی برای افزایش کمیت و کیفیت محصول مورد توجه قرار گرفته است. هدف این پژوهش، ارزیابی خصوصیات سیستم ریشه‌ای گونه‌های مختلف گندم تحت کاربرد آب مغناطیسی و تنش شوری بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز اجرا شد. عامل اول نوع آب (معمولی و مغناطیسی)، عامل دوم شوری آب آبیاری (شاهد (آب مقطر)، ۳ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر (کلرید سدیم)) و عامل سوم شش ژنوتیپ گندم شامل دیپلوئید (*Triticum monococcum*)، تتراپلوئید (گندم دوروم ارقام ساوز، پرشین و دهدشت) و هگزاپلوئید (گندم نان ارقام چمران، کوه دشت) بودند.

یافته‌ها: در شوری‌های متوسط و شدید میانگین قطر طوقه، وزن خشک ریشه، حجم ریشه، غلظت پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم در ریشه و اندام هوایی کاهش و سطح ریشه، طول تجمعی ریشه و غلظت سدیم در ریشه و اندام هوایی افزایش معنی‌داری داشتند. آب مغناطیسی اثرات منفی تنش شوری را با افزایش قطر طوقه (۱۴/۸ درصد)، وزن خشک ریشه (۵۶/۴ درصد)، عمق ریشه دوانی (۳۴/۶ درصد)، حجم (تقریباً ۲ برابر)، سطح (۶۷/۲ درصد) و طول تجمعی ریشه (۷۵/۱ درصد)، نسبت ریشه به اندام هوایی (۳۰/۱ درصد)، غلظت پتاسیم (به‌ترتیب ۱۴/۹ و ۸/۲ درصد) و نسبت پتاسیم به سدیم (به‌ترتیب ۲۰/۵ و ۱۳/۱ درصد) در ریشه و اندام هوایی و کاهش غلظت سدیم در ریشه و اندام هوایی (به‌ترتیب ۷/۹ و ۹/۸ درصد) تعدیل کرد. میانگین صفات، برتری ارقام کوه‌دشت و چمران را در مقایسه با سایر گونه‌های گندم در سطوح مختلف شوری نشان داد.

نتیجه‌گیری: وزن خشک اندام هوایی و ریشه، حجم ریشه، سطح ریشه، طول تجمعی ریشه، نسبت ریشه به اندام هوایی، غلظت پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم در ریشه و اندام هوایی با مغناطیس کردن آب آبیاری بهبود یافت. از نظر صفات ریشه و همچنین تولید بیوماس، برتری ارقام کوه‌دشت و چمران نسبت به سایر گونه‌ها تحت تنش شوری با کاربرد آب

مغناطیسی مشهود بود. بنابراین، در مناطقی که دسترسی به آب غیر شور امکان پذیر نیست، کاربرد آب مغناطیسی شده و استفاده از ارقام مقاومی مانند کوهدشت و چمران برای بهبود عملکرد گندم پیشنهاد می شود.

واژه های کلیدی: آب مغناطیسی، تنش شوری، سیستم ریشه ای، کیفیت آب، گندم

مقدمه

کمبود آب در اراضی فاریاب نواحی خشک، مهم ترین عامل محدود کننده تولید در بخش کشاورزی است. اما، به دلیل افزایش جمعیت و تقاضا برای تأمین مواد غذایی، نیاز به استفاده از آب های با کیفیت پایین یا آب های نامتعارف وجود دارد (زوتوپولسکی ۲۰۱۷). به دلیل محدودیت منابع آب مناسب در نواحی خشک و نیمه-خشک، آب شور منبع بسیار مهمی برای آبیاری در این مناطق می باشد (محمدیان و همکاران ۲۰۱۶). از تنش های محیطی که از نظر اثرگذاری بر گیاهان بسیار حائز اهمیت است، تنش شوری است. شوری یکی از تنش های غیرزنده است که در مناطق وسیعی از دنیا وجود دارد و عامل کاهش رشد و تولید گیاهان است و در شرایط طبیعی ممکن است به صورت خفیف، ملایم یا شدید بروز کند. گیاهانی که بتوانند در مناطق شور تولید عملکرد مطلوب نمایند، دارای اهمیت فراوانی هستند. برای این که تولید در بخش کشاورزی پایدار باشد باید اثرات نامطلوب آبیاری با آب شور، کاملاً شناخته شده باشد و فرآیند شوری تحت کنترل درآید (آقامیر و همکاران ۲۰۱۹).

تنش شوری با اثرات اسمزی، تغذیه ای و سمی موجب ممانعت از رشد بسیاری از گونه های گیاهی می-شود. تجمع نمک در منطقه ریشه سبب تشدید تنش اسمزی (اثر اسمزی)، اختلال در توازن یونی سلول از طریق ممانعت از جذب عناصر غذایی ضروری مانند پتاسیم و کلسیم و تجمع سدیم و کلر تا سطوح سمی در داخل سلول (اثر ویژه یونی) می گردد. این تنش سبب تولید گونه های فعال اکسیژن، تغییرات هورمونی، تغییر در متابولیسم هیدرات های کربن، کاهش فعالیت آنزیم های اختصاصی و اختلال در فتوسنتز می گردد، در نتیجه چنین تغییرات متابولیکی، تقسیم و رشد سلولی به تدریج کاهش یافته و یا کاملاً متوقف شده و سبب تسریع در مرگ سلول می شود (ساید و همکاران ۲۰۲۰). عدم تعادل عناصر غذایی در گیاهان تحت تنش شوری به روش های

مختلفی رخ می دهد. عدم تعادل می تواند ناشی از اثر شوری بر قابلیت دسترسی به عناصر غذایی، رقابت در جذب، انتقال یا توزیع عناصر غذایی در داخل گیاه و یا به دلیل عدم تحرک فیزیولوژیکی عناصر غذایی باشد. در نتیجه نیاز درونی گیاه برای عناصر غذایی افزایش می-یابد. شدت اثر تنش شوری بستگی به سطوح شوری، ترکیب عناصر نمک ها، گونه گیاهی، عنصر غذایی مورد نظر و سایر عوامل محیطی دارد (ژو و همکاران ۲۰۱۸). غلظت بالای سدیم کلرید از دو طریق بر رشد و نمو گیاهان اثر منفی دارد: سمیت یونی به دلیل غلظت بالای یون های سدیم و کلر که در سیتوپلاسم سلول رخ می دهد و در چندین فرآیند بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی اختلال ایجاد می کند و تنش اسمزی که از کاهش پتانسیل آب و کاهش فشار آماس ناشی می گردد. اثرات دیگر سدیم کلرید شامل ممانعت از جذب یون پتاسیم، اختلال در عملکرد غشا و تولید گونه های فعال اکسیژن در سلول می باشد (علایی و همکاران ۲۰۱۴).

سلیم و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که محتوای سدیم و وزن خشک اندام های هوایی در برنج ارتباط قوی با عملکرد دانه و اجزای عملکرد دارند. این ارتباط نشان می دهد که در انتخاب گیاهان برای تحمل شوری توانایی مقابله با سدیم و کاهش وزن خشک اندام هوایی می تواند مؤثر باشد، البته ارتباط بین وزن خشک اندام هوایی با عملکرد دانه بیشتر از ارتباط بین محتوای سدیم اندام هوایی با عملکرد دانه بوده است.

در ایران، گندم (*Triticum aestivum* L.) از نظر سطح زیر کشت و میزان تولید، مهم ترین محصول کشاورزی بوده و منبع عمده تأمین کالری و پروتئین مورد نیاز جمعیت کشور است، به طوری که حدود ۴۰ درصد پروتئین مصرفی و ۴۵ درصد کالری دریافتی روزانه هر فرد از نان تأمین می شود و نیز به دلیل سازگاری بیشتر با شرایط اقلیمی، زراعی و محدودیت های آب و بارندگی،

از آنجایی که اغلب در مناطق خشک و نیمه خشک آب مصرفی در کشاورزی دارای مقادیری از املاح محلول است، در طی زمان به‌ویژه در اراضی با زهکشی نامناسب، نمک‌های محلول در خاک تجمع می‌یابند (خوش روش و همکاران ۲۰۱۸). در طی آبیاری‌های مکرر و با گذشت زمان مقدار زیادی نمک به خاک اضافه شده، در نهایت در اثر شوری این اراضی، خاک‌ها تبدیل به سرزمین‌های شور و بی‌حاصل می‌شوند (عبدالرحمن و شلابی ۲۰۱۷).

گزارش شده است که مقدار زیاد شوری خاک را می‌توان با استفاده از سیستم‌های زهکشی مناسب و شسشتوی لایه شور خاک با مقدار کافی آب غیرشور کاهش داد. اما در عمل این روش‌های اصلاحی بسیار پرهزینه یا غیر ممکن هستند. در نتیجه، فناوری‌های ارزان‌تر می‌توانند موثر باشند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که با استفاده از فناوری مغناطیس و عبور آب شور از میدان مغناطیسی می‌توان به بهبود عملکرد گیاهان زراعی در شرایط شور کمک نمود (خلیل و ابولیل ۲۰۱۶). تحریک گیاهان با استفاده از آب مغناطیسی به‌عنوان راهی برای افزایش کمیت و کیفیت محصول مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین، جایگزینی تیمارهای فیزیکی با کودها و مکمل‌های شیمیایی، مقدار سموم را در مواد خام گیاهی کاهش داده و سبب افزایش سلامت محصولات غذایی و محیط می‌گردد (محمدیان و همکاران ۲۰۱۶).

آب مغناطیس آبی است که از یک دستگاه دارای هسته مغناطیس که میدان مغناطیسی ثابتی ایجاد می‌کند، عبور داده شود. در نتیجه اثر میدان مغناطیسی بر آب، خواص فیزیکی و شیمیایی آن مانند سختی، وزن مخصوص، گرانشی، شوری، هدایت الکتریکی، کشش سطحی، زاویه تماس با دیواره، درجه تر کنندگی و قدرت حل‌کنندگی تغییر می‌کند. اثر و خاصیت آب مغناطیسی از ده‌ها دقیقه تا صدها ساعت گزارش شده است (ژائو و همکاران ۲۰۲۲).

میدان‌های مغناطیسی موجب تغییر در بار الکتریکی مولکول‌های آب (کاتیون‌ها و آنیون‌ها) شده و سبب افزایش تعداد مولکول‌های آب در واحد حجم، گرانشی و قدرت حلالیت و نیز کاهش درجه سختی آب و کشش سطحی می‌شود (شبابان و همکاران ۲۰۲۳) و به همان اندازه گرمای تبخیر را کاهش داده و در نتیجه بخار شدن

کشت و کار گندم در بیشتر نقاط کشور محور فعالیت‌های کشاورزی است (قمرنیا و همکاران ۲۰۱۳).

گندم‌های پراکنده در نقاط مختلف جهان که همگی مربوط به جنس *Triticum* بوده و دارای حدود شش هزار گونه می‌باشد، در سه گروه دیپلوئید، تتراپلوئید و هگزاپلوئید طبقه‌بندی می‌شوند. سطوح پلوئیدی گندم به عنوان یک منبع مهم از ژن‌های برتر بوده و مطالعه روی این گونه‌ها به منظور استفاده در فعالیت‌های به‌زراعی به‌ویژه در شرایط تنش‌های محیطی بسیار مطلوب است (سینگ و همکاران ۲۰۱۹). در این میان ریشه به عنوان یک اندام رویشی مهم، تأمین آب و مواد معدنی لازم برای رشد و نمو گیاه را بر عهده دارد. ریشه‌ها در مواجهه با تنش شوری نقش مهمی در تولید مطلوب گندم ایفا می‌کنند. سیستم گسترده ریشه با تحمل شوری گیاه رابطه مستقیمی دارد (ددشانی و همکاران ۲۰۱۹).

انتخاب رقم مناسب بخش مهمی از برنامه به‌زراعی است که جهت جداسازی ارقام دارای ویژگی‌های خاص، همچون تحمل شوری، مورد استفاده قرار می‌گیرد. هرچند که به دلیل شرایط ناهمگون و متغیر مزرعه، برخی آزمایش‌های مربوط به انتخاب و معرفی ارقام متحمل به شوری، در شرایط کنترل شده انجام گرفته است، اما ارزیابی مزرعه‌ای ارقام متحمل به شوری جهت معرفی رقم متحمل و سازگار با شرایط هر منطقه از اهمیت خاصی برخوردار است. معیارهای متفاوتی برای انتخاب ارقام گندم متحمل به شوری به‌کاررفته است. بعضی از پژوهشگران پیشنهاد می‌کنند که علاوه بر عملکرد و اجزای آن، می‌بایست از صفات مرتبط با ریشه برای انتخاب ارقام متحمل به شوری استفاده کرد. برای مثال عمق، حجم، سطح، وزن و نیز طول ریشه از جمله ویژگی‌هایی هستند که به‌عنوان معیارهای انتخاب ژنوتیپ‌های گندم متحمل به شوری به‌کار رفته‌اند (هلمی و همکاران ۲۰۲۳). ددشانی و همکاران (۲۰۱۹) در آزمایشی تحمل شوری ارقام گندم را در تنش شوری ۲۵۰ میلی‌مول کلرید سدیم مقایسه کردند. تحت شرایط شور همبستگی مثبت معنی‌داری بین وزن، حجم و طول ریشه با عملکرد دانه و شاخص‌های مقاومت به تنش شوری مشاهده شد. این همبستگی نشان داد که تحمل گندم به شوری ناشی از توانایی ارقام متحمل در گسترش بیشتر ریشه در خاک است.

برخوردار است. بر این اساس، هدف پژوهش حاضر ارزیابی اثر آب شور مغناطیسی بر صفات ریشه سطوح مختلف پلئوئیدی گندم در شرایط تنش شوری است.

مواد و روش‌ها

مشخصات محل اجرای آزمایش

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تبریز به اجرا درآمد. ارتفاع این منطقه از سطح دریا ۱۳۶۰ متر بوده و در ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۳ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. بر اساس آمار هواشناسی، این منطقه دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم با میانگین بارندگی سالیانه ۲۱۸/۵۴ میلی‌متر است (آذرخشی و همکاران ۲۰۱۳). جدول ۱ میانگین‌های دما و بارندگی در شش ماه اول سال آزمایش را در محل اجرای آزمایش نشان می‌دهد (اداره کل و مرکز تحقیقات هواشناسی کاربردی استان آذربایجان شرقی ۲۰۱۹).

سریع آب را در پی دارد (هلمی و همکاران ۲۰۲۳). سینگ و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی اثرات میدان مغناطیسی ۶۰۰ میلی‌تسلا بر گرانروی آب آمونیومی گزارش کردند که با مغناطیس کردن آب، گرانروی آب آمونیومی بیشتر شده و راحت‌تر جذب گیاه می‌شود. سستیلی و همکاران (۲۰۲۳) با بررسی اثرات میدان مغناطیسی روی پیوندهای هیدروژنی مولکول‌های آب دریافتند که کشش سطحی آب کاهش و گرانروی آب افزایش پیدا می‌کند.

آقامیر و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که تیمار مغناطیس با شدت میدان ۸ تا ۱۰ میلی‌تسلا موجب افزایش وزن و حجم ریشه ذرت در سطوح مختلف آبیاری با آب شور نسبت به شاهد شده است که دلیل آن را کاهش جذب سدیم از خاک و نیز افت محتوای سدیم ریشه و اندام هوایی ذرت عنوان کرده‌اند.

با وجود اینکه انتخاب و استفاده از ارقام مناسب می‌تواند تأثیر بسزایی در بهبود خصوصیات اندام هوایی و افزایش عملکرد گندم داشته باشد، بررسی صفات مرتبط با ریشه در شرایط شور نیز از اهمیت ویژه‌ای

جدول ۱- میانگین بارندگی و دما طی سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸

ماه	بارندگی (mm)	دما (°C)
فروردین	۴۷/۵	۱۸/۵
اردیبهشت	۴۷/۶	۱۹/۶
خرداد	۲۵/۵	۲۸/۲
تیر	۶/۵	۳۳/۱
مرداد	۳/۴	۳۲/۷
شهریور	۵/۶	۲۸/۹

خصوصیات خاک مزرعه

تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی تبریز ارسال گردید. نتایج حاصل از تجزیه خاک در جدول ۲ درج شده است.

به‌منظور بررسی وضعیت خاک قطعه زمین مورد نظر در مزرعه، نمونه خاکی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی-متری تهیه شد و جهت انجام تجزیه‌های مربوط به بخش

جدول ۲- نتایج تجزیه خاک مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تبریز در سال زراعی ۱۳۹۸

کلاس بافت خاک	اجزای معدنی خاک (%)		عناصر قابل جذب (mg.kg ⁻¹)					نیتروژن کل (%)	کربن کلیم معادل (%)	هدایت الکتریکی آلی (dS/m)	pH اشباع	پروفیل (cm)		
	رس	سیلت	Zn	Fe	Cu	K	P							
لوم شنی	۱۵	۲۳	۶۲	۰/۷۶	۲/۵	۰/۷۹	۲۷۱	۱۵/۸	۰/۱۳	۸/۲۸	۱/۵	۱/۴۴	۷/۹۱	۳۰-۰۰

طرح آزمایشی مورد استفاده و عملیات مزرعه‌ای

این تحقیق به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک-های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اول نوع آب (معمولی و مغناطیسی)، عامل دوم میزان شوری آب آبیاری در سه سطح شاهد (آب مقطر)، ۳ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر (کلرید سدیم) و عامل سوم شش ژنوتیپ گندم شامل دیپلوئید (*Triticum monococcum*)، تتراپلوئید (گندم دوروم ارقام ساون، پرشین و دهدشت) و هگزاپلوئید (گندم نان ارقام چمران، کوه دشت) بودند. در این آزمایش هر لوله نایلونی (از نوع پلی‌اتیلن) به قطر ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع یک متر به عنوان یک واحد آزمایشی در نظر گرفته شد. هر لوله با ۲۰ کیلوگرم خاک پر شد. گودال بزرگی برای جایگذاری لوله‌های نایلونی در مزرعه مورد استفاده قرار گرفت. به منظور زهکشی مطلوب و جلوگیری از جمع شدن آب، چند سوراخ در انتهای لوله-های نایلونی برای خارج کردن آب اضافی از بستر کاشت ایجاد شد. پس از قرار دادن لوله‌های نایلونی در داخل گودال سطح لوله‌ها با سطح خاک مزرعه همسان شد. در وسط تکرارها یونولیت قرار داده شد. تعداد پنج بذر در هر لوله نایلونی کاشته شد و پس از استقرار گیاهچه‌ها، برای جلوگیری از رقابت بین بوته‌ای به یک بوته تنک شدند. اختصاص تیمارها به واحدهای آزمایشی به صورت تصادفی انجام پذیرفت. بذور قبل از کاشت با سم بنومیل به نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند. کاشت بذور در ۱۵ اردیبهشت‌ماه به صورت دستی انجام شد. در این آزمایش هیچ‌گونه کوددهی انجام نشد تا اثرات مشاهده‌شده صرفاً به دلیل تیمارهای مورد بررسی باشد. برای اعمال تیمار آبیاری با آب شور، ابتدا آب‌های شور در غلظت‌های مورد نظر در بشکه‌های ۲۰۰ لیتری تهیه شدند و سپس نمونه‌های آب معمولی و شور به درون لوله‌های پلی‌اتیلن با قطر ۱۶ میلی‌متر هدایت شدند. دبی آب ورودی ۰/۰۷۹۳ مترمکعب بر ثانیه بود و بنابراین نمونه‌های آب معمولی و آب شور ۱۰ ثانیه در معرض میدان مغناطیسی قرار گرفتند. برای ایجاد میدان مغناطیسی در سیستم آبیاری از آهنرباهای دائمی با شدت میدان مغناطیسی ۴۰۰ میلی‌تسلا استفاده شد. آبیاری گیاهان هر هفت روز یکبار و در مجموع ۱۲ دفعه آبیاری انجام شد. در زمان رسیدگی اندام هوایی (۲۵

مرداد ماه) که اعمال تنش شوری نیز تا این مرحله ادامه داشت، لوله‌های نایلونی از گودال خارج شده و بوته‌ها به دقت از خاک جدا گشته و برای اندازه‌گیری‌های بعدی به آزمایشگاه انتقال یافتند.

اندازه‌گیری صفات ریشه

ریشه‌ها با استفاده از آب جاری شسته شدند و با استفاده از محلول هگزا متافسفات سدیم، ذرات خاک چسبیده به آن‌ها نیز جدا گردید. سپس ریشه‌ها با کاغذ صافی خشک شدند تا رطوبت سطحی آن‌ها کاملاً گرفته شود. در نهایت پس از جدا کردن ریشه‌ها از محل طوقه، حجم ریشه توسط غوطه‌ور ساختن آن‌ها در آب از طریق تقاضل حجم اولیه آب و با حجم در بعد از غوطه‌ور نمودن در مزور تعیین گردید. عمق ریشه‌دوانی نیز از محل طوقه تا انتهایی‌ترین ناحیه نفوذ ریشه اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری قطر طوقه توسط کولیس دیجیتالی در زمان برداشت انجام گرفت. وزن خشک ریشه با قرار دادن ریشه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آونی با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد و توزین آن‌ها تعیین شد. طول تجمعی و سطح ریشه‌ها با استفاده از روش عکس‌برداری و اسکن و تجزیه و تحلیل تصویر با نرم افزار GSA Image Analyzer اندازه‌گیری شد.

تعیین غلظت سدیم و پتاسیم

یک گرم از هر نمونه گیاهی خشک در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد خاکستر گردید. روی هر نمونه ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک یک نرمال اضافه و به مدت ۲۰ دقیقه روی بن‌ماری گذاشته و روی بوته چینی‌ها با شیشه‌های ساعتی پوشیده شد. در ادامه، نمونه‌ها با استفاده از کاغذ صاف گردیده و در داخل بالن با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس غلظت عناصر سدیم و پتاسیم در این محلول‌ها توسط دستگاه فلیم‌فوتومتر در بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی تبریز اندازه‌گیری شد (وسترن ۱۹۹۰).

تجزیه‌های آماری

پیش از تجزیه واریانس، آزمون نرمال بودن و یکنواختی واریانس خطای داده‌ها انجام گردید تا در صورت نیاز، تبدیل مناسب صورت گیرد. نتایج این آزمون‌ها نشان داد که داده‌ها با مفروضات مدل سازگار بوده و نیازی به تبدیل داده‌ها وجود نداشت. تجزیه واریانس داده‌ها در قالب فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام گرفت. از نرم‌افزار MSTAT-C برای انجام تجزیه‌های آماری استفاده شد. میانگین داده‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه گردید. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

وزن خشک بخش هوایی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳)، اثر آب مغناطیسی، تنش شوری و گونه‌های گندم بر وزن خشک بخش هوایی از نظر آماری معنی‌دار گردید. مغناطیسی شدن آب آبیاری سبب افزایش ۳۴/۶ درصدی وزن خشک بخش هوایی گندم در مقایسه با شاهد (آبیاری با آب معمولی) شد (جدول ۴). مقایسه میانگین

اثر تنش شوری حاکی از آن است که با افزایش غلظت نمک در آب آبیاری، وزن خشک بخش هوایی گونه‌های گندم کاهش یافت، به طوری که کمترین مقدار این صفت (۴/۹۸ گرم در بوته) در تیمار تنش شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد. در بین گونه‌های گندم، وزن خشک بخش هوایی رقم چمران به طور معنی‌داری بیشتر از سایر گونه‌ها بود، ولی تفاوت معنی‌داری از نظر آماری با رقم کوهدشت نداشت (جدول ۵). کاهش وزن تر و خشک گیاه تحت شوری را می‌توان به سمیت یونی در نتیجه افزایش سدیم در ریشه و برگ گیاهان و کاهش محتوای کلروفیل برگ و در نتیجه تسریع پیری و زرد شدن برگ‌ها و افت میزان فتوسنتز گیاه نسبت داد (بن حسن و همکاران ۲۰۲۰). ماهشواری و هارشارن (۲۰۰۹) کاهش pH خاک، افزایش غلظت کلسیم و فسفر در اندام هوایی کرفس و نخودفرنگی و محدودیت بارگیری سدیم و کاهش سمیت آن و کاهش غلظت سدیم در اندام هوایی در تیمار آب مغناطیس را گزارش نمودند. افزایش عملکرد بیولوژیکی و نیز اجزای عملکرد تحت تأثیر آب مغناطیسی به دلیل افزایش جذب آب و مواد غذایی (به دلیل افزایش حلالیت آب) توسط گیاه است (کامل و همکاران ۲۰۲۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در گونه‌های گندم تحت آب مغناطیسی و تنش شوری

طول تجمعی ریشه‌ها	سطح ریشه	میانگین مربعات		عمق ریشه‌دوانی	قطر طوقه	وزن خشک بخش هوایی	درجه آزادی	منابع تغییر
		وزن خشک ریشه	حجم ریشه					
۱۴۶۹۱	۳۵/۷۹	۰/۰۰۵	۰/۲۸	۸۲/۲۱	۱/۲۳	۵/۰۶۷	۲	تکرار
۲۴۳۸۰۲۵ **	۷۶۴۵/۱ **	۰/۳۲۳ **	۳۴/۳۸ **	۴۵۰۴/۴ **	۲۳/۰۱ *	۹۶/۷۱ **	۱	آب مغناطیسی (A)
۱۲۳۶۸۳۴ **	۶۸۴۲ **	۰/۲۲۲ **	۷/۰۷ **	۳۷۶۳/۴ **	۶۹/۴۱ **	۲۴۳/۴۵ **	۲	شوری (B)
۶۵۴۶۹	۱۸۴/۴	۰/۰۰۳	۰/۲۷	۱۳۵/۹	۰/۰۲	۷/۶۲۳	۲	A × B
۵۳۱۰۲۵ **	۱۸۳۰/۶	۰/۲۷۱ **	۲۵/۵۲ **	۱۰۱۵/۶ **	۳۹/۰۷ **	۹۹/۸۴ **	۵	گونه‌های گندم (C)
۲۲۰۵۹۰ **	۴۶۷/۱ **	۰/۰۱۲	۵/۸ **	۵۸۸ **	۲۳/۱۲ **	۳/۵۵	۵	A × C
۶۴۹۶۲ **	۳۲۷/۱ **	۰/۰۰۵	۱/۱۵ **	۱۲۱/۴	۳/۸۴	۱۳/۹۵ **	۱۰	B × C
۱۶۰۳۰	۷۴/۷	۰/۰۰۹	۰/۲۶	۱۵۲/۳	۵/۲۵	۶/۳۵۱	۱۰	A × B × C
۲۱۱۵۱	۶۶/۱	۰/۰۰۵	۰/۲۲	۷۸/۳۲	۳/۴۷	۳/۴۶۱	۷۰	اشتباه آزمایش
۲۶/۴	۲۴/۳	۲۸/۵	۲۶/۲	۲۰/۲	۲۷/۹	۲۵/۵	-	ضریب تغییرات (%)

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

جدول ۴- میانگین صفات مورد بررسی گندم تحت تیمار آب مغناطیسی

نسبت ریشه به اندام هوایی	نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی	غلظت سدیم اندام هوایی (g.kg ⁻¹)	غلظت سدیم ریشه (g.kg ⁻¹)	غلظت پتاسیم اندام هوایی (g.kg ⁻¹)	غلظت پتاسیم ریشه (g.kg ⁻¹)	وزن خشک ریشه (g. plant ⁻¹)	وزن خشک بخش هوایی (g. plant ⁻¹)	آب مغناطیسی (میلی تسلا)
۰/۰۳۱ b	۲/۲۷ b	۱۸/۲۹ a	۲۴/۰۳ a	۲۳/۹۵ b	۱۱/۴۱ b	۰/۱۹۵ b	۶/۳۳ b	۰
۰/۰۴۱ a	۲/۶۷ a	۱۶/۴۹ b	۲۲/۱۵ b	۲۵/۹۳ a	۱۳/۱۲ a	۰/۳۰۵ a	۸/۲۳ a	۴۰۰

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری با هم در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

جدول ۵- میانگین صفات مورد بررسی گونه‌های مختلف گندم تحت تنش شوری

غلظت سدیم ریشه (g.kg ⁻¹)	طول جمععی ریشه‌ها (cm)	سطح ریشه (cm ²)	حجم ریشه (cm ³)	وزن خشک بخش هوایی		سطوح شوری dS.m ⁻¹
				گونه گندم	هوائی (g. plant ⁻¹)	
۹/۹۸ i	۲۰۱/۶ i	۱۲/۸۸ g	۴/۲۶ a	۱۰/۷۲ b	دیپلوئید	۳
۸/۷۳ i	۳۲۸ ghi	۱۶/۱۶ fg	۰/۴۸ h	۶/۳۹ cd	پرشین	
۸/۹۶ i	۲۵۷/۶ hi	۱۱/۳۱ g	۱/۱۸ fg	۷/۰۵ c	ساوز	
۹/۲۶ i	۴۰۵/۴ fgh	۱۹/۸۲ efg	۱/۵۹ ef	۷/۵۵ c	دهدشت	
۸/۲ i	۷۸۳/۳ bc	۴۲/۷۷ c	۲/۰۱ de	۱۴/۳۵ a	چمران	
۸/۴۶ i	۳۴۴ ghi	۱۴/۰۵ g	۴/۰۱ ab	۱۴/۰۱ a	کوه‌دشت	
۳۰/۱۷ ef	۳۱۱/۳ ghi	۲۷/۷ e	۲/۳۱ d	۵/۴۹ cde	دیپلوئید	۶
۲۳/۰۸ gh	۲۵۳/۹ ghi	۲۹/۶۷ de	۰/۳۸ h	۶/۲۲ cd	پرشین	
۲۵/۲۲ g	۴۶۶/۷ efg	۲۰/۳۴ efg	۰/۸۸ gh	۵/۳۸ cde	ساوز	
۲۸/۱۲ f	۵۶۷/۷ def	۳۸/۶۹ cd	۱/۱۳ fg	۵/۹۶ cd	دهدشت	
۲۱/۲ h	۸۳۸/۷ ab	۴۵/۶۲ bc	۲/۰۵ de	۷/۴۸ c	چمران	
۲۳/۰۵ gh	۵۴۴ ef	۴۰/۲۲ c	۳/۵۵ b	۱۱/۵۷ b	کوه‌دشت	
۴۰/۲۳ a	۸۲۴/۸ ab	۴۲/۱۵ c	۱/۹۶ de	۳/۱۱ e	دیپلوئید	۶
۳۳/۷۳ cd	۶۱۱/۶ cde	۴۴/۷۸ c	۰/۳۱ h	۴/۳۴ de	پرشین	
۳۵/۵۵ bc	۴۸۷/۹ efg	۲۵/۵۷ ef	۰/۷۸ gh	۳/۳۷ e	ساوز	
۳۸/۰۷ ab	۷۳۹/۶ bcd	۴۸/۳۳ bc	۰/۸۶ gh	۴/۴۶ de	دهدشت	
۳۱/۲۸ de	۹۷۴/۱ a	۵۴/۹۵ b	۱/۳۸ fg	۵/۸۶ cd	چمران	
۳۲/۱۵ de	۸۷۲/۶ ab	۶۶/۶۱ a	۲/۹۶ c	۷/۸۱ c	کوه‌دشت	

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری با هم در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

قطر طوقه

اثر آب مغناطیسی، تنش شوری، گونه‌های گندم و اثر متقابل آب مغناطیسی × گونه‌های گندم بر قطر طوقه معنی‌دار به دست آمد (جدول ۳). بیشترین قطر طوقه (۸/۰۳ میلی‌متر) از تیمار شاهد (آبیاری با آب غیر شور) به دست آمد. تیمار تنش شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر

کمترین قطر طوقه (۵/۲۵ میلی‌متر) را به خود اختصاص داد (جدول ۶). به‌طور کلی، آبیاری با آب مغناطیسی منجر به افزایش قطر طوقه گونه‌های گندم شد، ولی اثر این تیمار آبیاری در افزایش قطر طوقه در ارقام کوه‌دشت و چمران نسبت به سایر گونه‌های گندم بارزتر بود (جدول ۷). شوری فتوسنتز گیاه را کاهش می‌دهد که در نتیجه

همکاران (۲۰۲۰). ال‌اخراس و همکاران (۲۰۲۴) گزارش کردند که میدان مغناطیسی می‌تواند با اثر مثبت بر تقسیم سلولی و نیز اندازه میتوکندری، تاثیر مثبتی بر رشد ساقه داشته باشد. کربوهیدرات مورد نیاز برای رشد را افت می‌دهد و همچنین به علت کاهش فشار تورمی در بافت‌های در حال توسعه در نتیجه پتانسیل پایین آب در محیط رشد ریشه، شوری رشد و قطر ساقه را کاهش می‌دهد (نصار و

جدول ۶- میانگین صفات مورد بررسی گندم تحت تنش شوری

نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی	غلظت سدیم اندام هوایی (g.kg ⁻¹)	غلظت پتاسیم اندام هوایی (g.kg ⁻¹)	غلظت پتاسیم ریشه (g.kg ⁻¹)	وزن خشک ریشه (g. plant ⁻¹)	عمق ریشه دوانی (cm)	قطر طوقه (mm)	سطوح شوری dS.m ⁻¹
۵/۱۳ a	۵/۷۸ c	۲۹/۱۶ a	۱۴/۰۱ a	۰/۳۳۲ a	۳۳/۶۶ c	۸/۰۳ a	۰
۱/۳۶ b	۱۸/۸ b	۲۵/۰۸ b	۱۲/۱۷ b	۰/۲۴۳ b	۴۳/۵۱ b	۶/۷۱ b	۳
۰/۷۵ c	۲۷/۵۹ a	۲۰/۵۸ c	۱۰/۶۱ c	۰/۱۷۵ c	۵۴/۱۱ a	۵/۲۵ c	۶

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری با هم در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

جدول ۷- میانگین صفات مورد بررسی گونه‌های مختلف گندم تحت تیمار آب مغناطیسی

طول تجمعی ریشه‌ها (cm)	سطح ریشه (cm ²)	حجم ریشه (cm ³)	عمق ریشه دوانی (cm)	قطر طوقه (mm)	گونه گندم	آب مغناطیسی (mtesla)
۳۹۰/۶ de	۲۱/۲۵ fg	۱/۹۱ cd	۴۰/۳۳ cdef	۶/۷۳ b	دیپلوئید	
۳۹۰/۹ de	۲۳/۱۴ fg	۰/۲۳ g	۳۱/۶۷ f	۵/۴۷ bc	پرشین	
۳۳۴/۱ e	۱۵/۱۹ g	۰/۶۷ fg	۲۶/۸۹ ef	۵/۶۱ bc	ساوز	
۲۵۱ de	۲۷/۵۱ ef	۱/۰۵ ef	۳۱ f	۶/۳۷ b	دهدشت	
۵۵۴ c	۲۹/۳۷ def	۱/۵ de	۳۹ def	۶/۰۳ b	چمران	
۳۸۲ de	۳۳/۶ de	۱/۹۵ cd	۴۴/۹۴ bcde	۷ b	کوه‌دشت	
۵۰۱/۳ cd	۳۳/۹ de	۳/۷۸ b	۴۳/۶۷ bcde	۵/۸۲ bc	دیپلوئید	
۴۷۱/۵ cde	۳۷/۲۷ cd	۰/۵۵ g	۳۶/۴۴ ef	۳/۹۵ c	پرشین	
۴۷۴ cde	۲۲/۹۵ fg	۱/۲۲ e	۴۹/۳۳ bc	۶/۶۱ b	ساوز	۴۰۰
۷۹۰/۸ b	۴۳/۷۲ bc	۱/۳۳ e	۴۷/۸۹ bcd	۶/۰۷ b	دهدشت	
۱۱۷۷ a	۶۶/۱۹ a	۲/۱۳ c	۷۲/۷۸ a	۹/۳۲ a	چمران	
۷۹۱/۷ b	۴۶/۹۸ b	۵/۰۶ a	۵۱/۲۲ b	۱۰/۹۷ a	کوه‌دشت	

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری با هم در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

عمق ریشه‌دوانی

اثر آب مغناطیسی، شوری آب آبیاری، گونه‌های گندم و اثر متقابل آب مغناطیسی × گونه‌های گندم بر عمق ریشه دوانی معنی‌دار به دست آمد (جدول ۳). بیشترین عمق نفوذ ریشه (۵۴/۱ سانتی‌متر) از تیمار تنش شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر ثبت گردید. کمترین عمق ریشه

دوانی (۳۳/۶ سانتی‌متر) مربوط به تیمار شاهد (آبیاری با آب غیر شور) بود (جدول ۶). به‌طور کلی، آبیاری با آب مغناطیسی منجر به افزایش عمق نفوذ ریشه‌های گونه‌های گندم شد، ولی اثر تیمار آبیاری در افزایش عمق نفوذ ریشه در ارقام چمران و دهدشت بارزتر بود (جدول ۷). گیاهان عمل اجتناب از تنش شوری را به روش‌های

یون‌ها از ریشه به دیگر بافت‌های نسبت داده شده است (لیو و همکاران ۲۰۱۹).

وزن خشک ریشه

اثر آب مغناطیسی، تنش شوری و گونه‌های گندم بر وزن خشک ریشه معنی‌دار به دست آمد. اثر متقابل این تیمارها برای این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۳). آبیاری با آب مغناطیسی وزن خشک ریشه را نسبت به شاهد (عدم کاربرد آب مغناطیسی) ۵۶/۴ درصد افزایش داد (جدول ۴). تشدید تنش سمیت ناشی از شوری به کاهش وزن خشک ریشه منجر شد (جدول ۶). وزن خشک ریشه رقم کوه‌دشت به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر گونه‌ها بود (جدول ۸). تجمع نمک در منطقه ریشه باعث گسترش تنش اسمزی، اختلال در توازن یونی سلول از طریق ممانعت از جذب عناصر غذایی ضروری نظیر K^+ ، Ca^{2+} ، NO_3^- و تجمع Na^+ و Cl^- تا سطوح سمی در داخل سلول (اثر ویژه یونی)^۱ می‌گردد که نتیجه آن کاهش رشد ریشه است (باشاشا و همکاران ۲۰۲۱). ارقام مقاوم در طی زمان کوتاه‌تری سیستم ریشه‌ای خود را گسترش داده و با جذب مطلوب‌تر آب و مواد غذایی و تولید سطح سبز فتوسنتز کننده، ضمن بهبود روند رشد و نمو، عملکرد مطلوب‌تری دارند. با توجه به دوقطبی بودن مولکول‌های آب، هنگام عبور آب از یک میدان مغناطیسی، با اعمال نیروی القایی ناشی از میدان بخش‌های غیر همنام مولکول و میدان در یک راستا قرار می‌گیرند، در نتیجه مولکول‌های نامنظم آب شکل منظمی به خود گرفته و فضای کمتری را اشغال می‌کنند. لذا در اثر مغناطیس شدن آب، تعداد مولکول‌های آب در واحد حجم افزایش یافته و توانایی آب برای جذب کاتیون‌ها و آنیون‌ها افزایش می‌یابد. افزایش قابلیت حل مواد معدنی و املاح در آب، سبب افزایش عناصر میکرو و ماکرو در خاک و پخش و کشیدگی به‌طرف سلول گیاه در طول ریشه گیاه می‌شود. آبیاری با آب مغناطیسی سبب افزایش جذب املاح و مواد مغذی توسط گیاه و در نتیجه رشد بیشتر گیاه می‌شود. همچنین کاربرد میدان

مختلفی انجام می‌دهند. بعضی از گیاهان عمل رقیق‌سازی نمک را انجام می‌دهند، به این صورت که با استفاده از گسترش عمق نفوذ ریشه، آب فراوان جذب نموده و غلظت نمک را در بافت‌های خود کاهش می‌دهند (عارف و همکاران ۲۰۱۹). باقری‌فرد و قاسم‌نژاد (۲۰۱۴) افزایش عمق نفوذ ریشه به دلیل کاربرد آب مغناطیسی تحت تنش شوری را به بهبود رشد ریشه بر اثر جذب مواد غذایی و آب بیشتر و بهبود خواص فیزیکی آب نسبت داده‌اند.

حجم ریشه

حجم ریشه در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر آب مغناطیسی، تنش شوری، گونه‌های گندم و اثرات متقابل آب مغناطیسی × گونه‌های گندم و شوری × گونه‌های گندم قرار گرفت (جدول ۳). کاربرد آب مغناطیسی شده به‌طور معنی‌داری سبب افزایش حجم ریشه‌های گونه‌های گندم شد، ولی این افزایش در رقم کوه‌دشت و گونه دیپلوئید بیشتر بود (جدول ۷). بر اساس نتایج مربوط به مقایسه میانگین داده‌ها، با افزایش تنش شوری، حجم ریشه همه گونه‌های گندم کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین حجم ریشه از گونه دیپلوئید و رقم چمران تحت شاهد (آبیاری با آب غیر شور) حاصل شد (جدول ۵). اثرات اسمزی نمک در خاک و همچنین اثر سمیت نمک در داخل گیاه باعث کاهش رشد و حجم ریشه در دو مرحله می‌گردد، که ناشی از واکنش سریع به افزایش فشار اسمزی در محیط ریشه و پاسخ آهسته‌تر به تجمع یون سدیم (Na^+) در برگ‌های آن‌ها می‌باشد. در این حالت اگر چنانچه سرعت تجمع نمک در برگ‌های مسن بیشتر از سرعت تشکیل برگ‌های جوان باشد، قابلیت فتوسنتزی گیاه برای تأمین کربوهیدرات مورد نیاز برگ‌های جوان تنزل یافته و در نتیجه میزان رشد گیاه و به‌تبع آن رشد ریشه کاهش می‌یابد (شبابان و همکاران ۲۰۲۳). افزایش حجم ریشه بر اثر کاربرد آب مغناطیسی تحت شرایط تنش شوری به دلیل افزایش ذخیره آب در بافت‌ها و حفظ حالت تورژسانسی و همچنین افزایش انتقال جذب آب و

¹ Specific ion effect

مغناطیسی سبب عبور آسان آب و مواد از غشای سلول گیاهی می شود که سبب رشد ریشه و گیاه به ویژه در شرایط تنش شوری خواهد شد (هاچیچا و همکاران ۲۰۱۸).

جدول ۸- میانگین صفات مورد بررسی گونه های مختلف گندم

گونه گندم	وزن خشک ریشه (g. plant ⁻¹)	غلظت پتاسیم ریشه (g.kg ⁻¹)	غلظت پتاسیم اندام هوایی (g.kg ⁻¹)	غلظت سدیم ریشه (g.kg ⁻¹)	چگالی ریشه (g.cm ⁻³)	نسبت ریشه به اندام هوایی
دیپلوئید	۰/۱۸۲ c	۱۳/۴۲ a	۲۷/۰۲ a	۱۹/۷۴ a	۰/۰۶۸ d	۰/۰۲۶ a
پرشین	۰/۱۲ d	۱۱/۹۳ ab	۲۴/۵۴ c	۱۶/۳ b	۰/۳۱۶ a	۰/۰۲۱ b
ساوز	۰/۱۸۷ c	۱۲/۳۵ ab	۲۴/۹۳ bc	۱۷/۲۵ b	۰/۲۱۴ abc	۰/۰۳۸ a
دهدشت	۰/۲۳۲ c	۱۳/۰۷ a	۲۶/۲۹ ab	۱۸/۸۷ a	۰/۲۹۵ ab	۰/۰۴۱ a
چمران	۰/۳۱۶ b	۱۱/۲۹ b	۲۳/۲۱ c	۱۵/۷۳ b	۰/۱۸۹ bc	۰/۰۳۶ a
کوه دشت	۰/۴۲۶ a	۱۱/۵۲ b	۲۳/۶۵ c	۱۶/۴۵ b	۰/۱۶۵ cd	۰/۰۴۳ a

در هر ستون، میانگین های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی داری با هم در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن ندارند.

سطح ریشه

بر اساس نتایج مندرج در جدول تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثر آب مغناطیسی، شوری، گونه های گندم و نیز اثرات متقابل آب مغناطیسی × گونه های گندم و شوری × گونه های گندم بر سطح ریشه از نظر آماری معنی دار گردید.

کاربرد آب مغناطیسی اثر بارزی در افزایش سطح ریشه گونه های گندم داشت، به طوری که بیشترین مقدار این صفت (۶۶/۱ سانتی متر مربع) از سیستم آبیاری با استفاده از آهنرباهای دائمی با شدت میدان مغناطیسی ۴۰۰ میلی تسلا از رقم چمران حاصل شد (جدول ۷). مقایسه میانگین اثر متقابل دوجانبه شوری × گونه های گندم حاکی از آن است که با افزایش غلظت نمک در آب آبیاری، سطح ریشه گونه های گندم افزایش یافت، به طوری که بیشترین سطح ریشه (۶۶/۶ سانتی متر مربع) در تیمار تنش شوری ۶ دسی زیمنس بر متر برای رقم کوه دشت حاصل شد (جدول ۵). افزایش سطح ریشه از طریق افزایش سطح جذب، در افزایش کارایی آب و مواد غذایی مهم است. بنابراین، ریشه های طولی تر و دارای سطح ریشه بیشتر می توانند امکان تحمل به شوری را فراهم آورند. سطح ریشه می تواند نشان دهنده سطح

تماس گیاه با خاک باشد و احتمال دسترسی به آب بیشتر را مهیا کند. بنابراین، یک عامل مهم در میزان تحمل ب شوری ارقام گندم، چگونگی توسعه سیستم ریشه ای آن-ها است. افزایش سطح ریشه تحت تنش شوری از مکانیزم های پذیرفته شده به منظور افزایش جذب آب و مواد غذایی است (یانگ و همکاران ۲۰۱۶). با توجه به این که آب مغناطیسی اثر معنی دار بر سطح ریشه داشت، می توان نتیجه گرفت که آبیاری با آب مغناطیسی باعث افزایش ریشه دوانی گیاه گردیده است. افزایش ریشه دوانی گیاه سبب افزایش منطقه قابل دسترس گیاه برای جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه شده و در نتیجه رشد بیشتر گیاه را سبب می شود. لیو و همکاران (۲۰۱۹) افزایش طولی شدن سلول و نیز بهبود رشد ریشه در اثر افزایش تجمع عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، آهن و روی را از دلایل افزایش سطح ریشه *Populus euramericana* بر اثر کاربرد آب مغناطیسی تحت تنش شوری عنوان کرده اند.

طول جمعیتی ریشه ها

تجزیه واریانس داده های مربوط به طول جمعیتی ریشه ها نشان داد که اثر کاربرد آب مغناطیسی شده،

و عمق خاک از طریق افزایش طول ریشه‌های خود، به دنبال دوری از فشار اسمزی بالای خاک و تأمین آب است (آکوستاموتوس و همکاران ۲۰۱۷). گزارش شده است که آب مغناطیسی موجب افزایش اندازه و حجم نسبی میتوکندری می‌گردد که نتیجه آن افزایش توسعه ریشه‌ها می‌باشد (مافی ۲۰۱۴).

غلظت پتاسیم ریشه

اثر آب مغناطیسی، تنش شوری و گونه‌های گندم بر غلظت پتاسیم ریشه معنی‌دار به دست آمد. اثر متقابل این تیمارها برای این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۹). آبیاری با آب مغناطیسی غلظت پتاسیم ریشه را نسبت به شاهد (عدم کاربرد آب مغناطیسی) ۱۴/۹ درصد افزایش داد (جدول ۴). تشدید تنش سمیت ناشی از شوری به کاهش غلظت پتاسیم ریشه منجر شد (جدول ۶). غلظت پتاسیم ریشه گونه دیپلوئید و رقم دهدشت به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر گونه‌ها بود (جدول ۸).

تنش شوری، گونه‌های گندم و اثر متقابل آب مغناطیسی × گونه‌های گندم و شوری × گونه‌های گندم بر این صفت از نظر آماری معنی‌دار گردید (جدول ۳). کاربرد آب مغناطیسی طول تجمعی ریشه‌های گونه‌های گندم را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد (آبیاری با آب معمولی) افزایش داد (جدول ۷). بر اساس نتایج مربوط به مقایسه میانگین داده‌ها، با افزایش تنش شوری (۶ دسی‌زیمنس بر متر)، طول تجمعی ریشه‌های گونه‌های گندم افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین مقدار این صفت (۹۷۴/۱ سانتی‌متر) از رقم چمران تحت شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با گونه دیپلوئید و رقم کوه‌دشت تحت این سطح شوری و رقم چمران تحت شوری ۳ دسی‌زیمنس بر متر نداشت (جدول ۵). در این آزمایش تنش شوری موجب افزایش طول تجمعی ریشه‌های ارقام گندم شد که دلیل این امر را چنین می‌توان توجیه نمود که با افزایش شوری خاک به بیش از آستانه تحمل، گیاه با تنش ثانویه خشکی مواجه شده و با افزایش نفوذ در سطح

جدول ۹- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در گونه‌های گندم تحت آب مغناطیسی و تنش شوری

میانگین مربعات									
منابع تغییر	درجه آزادی	پتاسیم ریشه	پتاسیم اندام هوایی	سدیم ریشه	سدیم اندام هوایی	نسبت پتاسیم به سدیم ریشه	نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی	چگالی ریشه	نسبت ریشه به اندام هوایی
تکرار	۲	۰/۷۳	۱۲/۴۹	۶/۲۵	۰/۴۷	۰/۰۲۱	۰/۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۲
آب مغناطیسی (A)	۱	۷۹/۰۵ **	۱۰۵/۲ **	۹۸/۶۱ **	۸۶/۹۴ **	۰/۵۸۶ **	۲/۳۷ **	۰/۰۳۸	۰/۰۰۲۱ *
شوری (B)	۲	۱۰۴/۴ **	۶۶۳/۱ **	۶۳۰۷/۹ **	۴۳۳۶/۴ **	۱۷/۳۱ **	۲۰۲/۸ **	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰۱
A × B	۲	۲/۲۷	۱۶/۲۵	۱۲/۵۳	۱۵/۳۳	۰/۰۴۴ *	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۰۰۰۳
گونه‌های گندم (C)	۵	۱۲/۹۶ *	۳۹/۴۷ **	۱۱۲/۳ **	۴۵/۳۲ **	۰/۰۰۶	۰/۱۸	۰/۱۴۸ **	۰/۰۰۱۱ *
A × C	۵	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۰۰۳	۰/۰۱	۰/۰۲۸	۰/۰۰۰۱
B × C	۱۰	۰/۲۱	۰/۲۵	۱۶/۲۶	۶/۴۸	۰/۰۰۷	۰/۰۸	۰/۰۲۵	۰/۰۰۰۳
A × B × C	۱۰	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۲	۰/۲۷	۰/۰۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱۸	۰/۰۰۰۳
اشتباه آزمایش	۷۰	۴/۵۳	۵/۷۶	۵/۸۳	۵/۳۳	۰/۰۱۲	۰/۱۸	۰/۰۲۴	۰/۰۰۰۳
ضریب تغییرات (%)	-	۱۷/۳	۹/۶	۱۰/۴	۱۳/۲	۱۳/۷	۱۷/۶	۲۴/۴	۲۱/۹

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

غلظت پتاسیم اندام هوایی

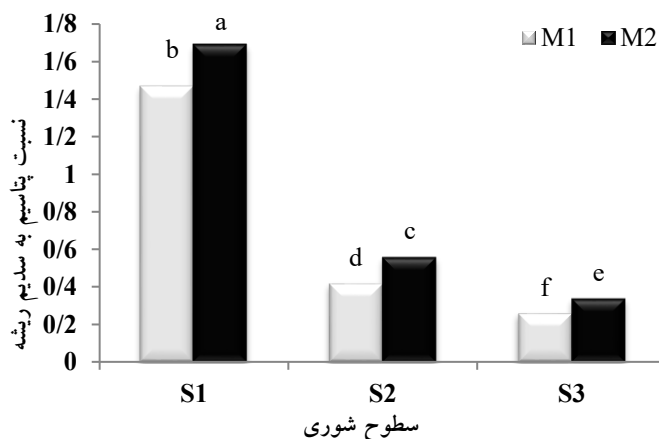
غلظت پتاسیم اندام هوایی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر آب مغناطیسی، سطوح مختلف شوری و گونه‌های گندم قرار گرفت (جدول ۹). کاربرد آب مغناطیسی اثر بارزی در افزایش غلظت پتاسیم اندام هوایی داشت

(جدول ۴). بیشترین غلظت پتاسیم اندام هوایی (۲۹/۱ گرم در کیلوگرم) از تیمار شاهد (آبیاری با آب غیر شور) به دست آمد. تیمار تنش شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر کمترین غلظت پتاسیم اندام هوایی (۲۰/۵ گرم در کیلوگرم) را به خود اختصاص داد (جدول ۶). بیشترین

گندم قرار گرفت (جدول ۹). کاربرد آب مغناطیسی اثر بارزی در کاهش غلظت سدیم اندام هوایی به مقدار ۹/۸ درصد داشت (جدول ۴). تیمار تنش شوری ۶ دسی-زیمنس بر متر محتوای سدیم اندام هوایی را بیش از ۵ برابر در مقایسه با آبیاری با آب غیر شور افزایش داد (جدول ۶). بیشترین غلظت سدیم اندام هوایی از گونه دیپلوئید (۱۹/۷ گرم در کیلوگرم) و رقم دهدشت (۱۸/۸ گرم در کیلوگرم) حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با سایر ارقام داشتند (جدول ۸).

نسبت پتاسیم به سدیم ریشه

آب مغناطیسی، سطوح مختلف شوری و اثر متقابل آب مغناطیسی × شوری اثر معنی‌داری بر نسبت پتاسیم به سدیم ریشه داشتند (جدول ۹). استفاده از سیستم آبیاری با استفاده از آهنرباهای دائمی با شدت میدان مغناطیسی ۴۰۰ میلی تسلا اثر بارزی در افزایش نسبت پتاسیم به سدیم ریشه در سطوح تنش شوری ۳ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر داشت (شکل ۱).



شکل ۱- نسبت پتاسیم به سدیم ریشه تحت سطوح مختلف شوری در واکنش به تیمار آب مغناطیسی

S₁, S₂ و S₃: به ترتیب آبیاری با آب مقطر و سطوح شوری ۳ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر

M₁ و M₂: به ترتیب آبیاری با آب معمولی و آب مغناطیسی

حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ است (آزمون دانکن).

گندم و اثر متقابل این تیمارها برای این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۹). آبیاری با آب مغناطیسی نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی را نسبت به شاهد (عدم کاربرد آب

غلظت پتاسیم اندام هوایی (۲۷/۰۲ گرم در کیلوگرم) از گونه دیپلوئید حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با رقم دهدشت نداشت (جدول ۸).

غلظت سدیم ریشه

غلظت سدیم ریشه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر آب مغناطیسی، سطوح مختلف شوری، گونه‌های گندم و اثر متقابل شوری × گونه‌های گندم قرار گرفت (جدول ۹). کاربرد آب مغناطیسی اثر بارزی در کاهش غلظت سدیم ریشه داشت و میانگین این صفت را نسبت به شاهد ۷/۹ درصد کاهش داد (جدول ۴). سمیت نمک موجب افزایش غلظت سدیم ریشه در همه گونه‌های گندم شد، به‌طوری که بیشترین غلظت سدیم ریشه (۴۰/۲ گرم در کیلوگرم) از گونه دیپلوئید تحت تیمار شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با رقم دهدشت نداشت (جدول ۵).

غلظت سدیم اندام هوایی

غلظت سدیم اندام هوایی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر آب مغناطیسی، سطوح مختلف شوری و گونه‌های

نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی

اثر آب مغناطیسی و تنش شوری بر نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی معنی‌دار به‌دست آمد. اثر گونه‌های

چگالی ریشه

چگالی ریشه به طور معنی داری تحت تأثیر گونه‌های گندم قرار گرفت، اثر آب مغناطیسی، شوری و اثر متقابل عامل‌ها بر این صفت معنی دار نبود (جدول ۹). بیشترین چگالی ریشه (۰/۳۱۶) گرم بر سانتی‌متر مکعب) از رقم پرشین حاصل شد که تفاوت معنی داری با ارقام ساوز و دهدشت نداشت (جدول ۸). به دلیل این‌که تنش شوری و آب مغناطیسی به همان نسبت که به وزن ریشه اثر گذاشتند، حجم ریشه را نیز متأثر ساختند، بنابراین، این تیمارها اثر معنی داری بر چگالی ریشه نداشتند. ولی، برخلاف این نتایج، روبین و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که تنش شوری موجب افت شدید وزن ریشه می‌گردد، در صورتی‌که حجم ریشه کمتر تحت تأثیر این عامل تنش‌زا قرار می‌گیرد و بنابراین، شوری موجب افت چگالی ریشه می‌گردد.

نسبت ریشه به اندام هوایی

اثر آب مغناطیسی و گونه‌های گندم بر نسبت ریشه به اندام هوایی معنی دار به دست آمد. اثر تنش شوری و نیز اثر متقابل تیمارها برای این صفت معنی دار نگردید (جدول ۹). آبیاری با آب مغناطیسی نسبت ریشه به اندام هوایی را در مقایسه به شاهد (عدم کاربرد آب مغناطیسی) ۳۲/۲ درصد افزایش داد (جدول ۴). نسبت ریشه به اندام هوایی رقم پرشین به طور معنی داری کمتر از سایر گونه‌ها بود (جدول ۸). افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی بر اثر کاربرد آب مغناطیسی شده حاکی از آن است که این تیمار بیشتر اثرات مثبت خود بر تعدیل تنش شوری را از طریق بهبود رشد و ساختار ریشه اعمال می‌کند. به دلیل افزایش مولکول‌های آب در واحد حجم بر اثر مغناطیسی شدن آب، بر حلالیت آن اضافه شده و در نتیجه توانایی آب برای جذب کاتیون‌ها و آنیون‌ها افزایش می‌یابد. همچنین، تحت این شرایط حرکت املاح به سمت لایه سطحی خاک و نیز تجمع نمک‌ها در اطراف ریشه به دلیل خنثی شدن بار الکتریکی نمک‌ها کاهش می‌یابد که

مغناطیسی) ۱۲/۷ درصد افزایش داد (جدول ۴). تشدید تنش سمیت ناشی از شوری به کاهش نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی منجر شد (جدول ۶).

در شرایط شوری، انتقال سدیم از ریشه‌ها به اندام هوایی در آوندهای چوبی با تعرق افزایش یافته و در برگ‌های مسن تجمع می‌یابد. ناقل‌های آنتی‌پورتر، کانال‌های غیرانتخابی و ناقل‌های پتاسیمی با قابلیت ترکیب بالای در انتقال سدیم به داخل سلول نقش دارند. بخشی از سدیم پس از جذب در واکوئل قرار می‌گیرد. سمیت متابولیکی سدیم عمدتاً ناشی از رقابت آن با پتاسیم در فرایندهای ضروری سلولی است. غلظت بالای سدیم باعث ایجاد اختلال در فعالیت آنزیم‌ها در سیتوپلاسم و سنتز پروتئین‌ها می‌گردد (آساها و همکاران ۲۰۱۷). کاهش مقدار پتاسیم در اثر شوری را می‌توان به شباهت اندازه شعاع هیدراته یون سدیم و پتاسیم، رقابت برای جذب و اختلال در فعالیت پروتئین‌های انتقال‌دهنده آن نسبت داد (کامل و همکاران ۲۰۲۳). از طرف دیگر، سدیم با ورود به فضای آپوپلاستی و جایگزینی با کلسیم غشای سلول را غیرقطبی کرده و جذب انتخابی یون‌ها را نیز کاهش می‌دهد (لیو و همکاران ۲۰۲۴). همچنین، سدیم کانال‌های جذب پتاسیم را مسدود کرده و نشت پتاسیم را از طریق کانال‌های خارج کننده پتاسیم افزایش می‌دهد (آلمیدا و همکاران ۲۰۱۷). تنظیم جذب و انتقال یون‌ها در سطح گیاه، اندام و داخل سلول برای ایجاد مقاومت گیاهان در برابر شوری ضروری است. به نظر می‌رسد ارقام مقاوم و پر محصول گندم در این تحقیق مانند کوهدشت و چمران نیز از این مکانیزم به منظور مقابله با اثرات منفی تنش شوری استفاده نموده‌اند. ماهشواری و هارشارن (۲۰۰۹) کاهش pH خاک، افزایش غلظت کلسیم، پتاسیم و فسفر در ریشه و اندام هوایی کرفس و نخودفرنگی و محدودیت بارگیری سدیم و کاهش سمیت آن و کاهش غلظت سدیم در این اندام‌ها را دلیل افزایش مقاومت این گیاهان به شوری خاک بر اثر تیمار آب مغناطیسی عنوان نمودند.

در ریشه و اندام هوایی با مغناطیس کردن آب آبیاری بهبود یافت. از نظر آناتومی و رشد و نمو ریشه و همچنین تولید محصول، برتری ارقام کوهدشت و چمران نسبت به سایر گونه ها تحت کاربرد آب مغناطیسی و تنش شوری مشهود بود. بنابراین، در مناطقی که دسترسی به آب غیر شور امکان پذیر نیست، کاربرد آب مغناطیس شده و استفاده از ارقام مقاوم مانند کوهدشت و چمران که از رشد و عملکرد ریشه قابل قبولی برخوردار هستند، برای بهبود عملکرد کندم پیشنهاد می شود.

سپاسگزاری: بدینوسیله از امور پژوهشی دانشکده کشاورزی و دست اندرکاران گلخانه دانشگاه تبریز که در حمایت مالی و اجرایی این پژوهش یاری نمودند، صمیمانه قدردانی می نماید.

نتیجه آن افزایش رشد ریشه و به تبع آن بهبود عملکرد گیاه است (الچیندی و همکاران ۲۰۱۸).

نتیجه گیری کلی

در این پژوهش، شوری آب آبیاری موجب کاهش معنی دار وزن خشک اندام هوایی (۵۱/۸ درصد)، وزن خشک ریشه (۴۷/۲ درصد)، حجم ریشه (۳۸/۶ درصد)، غلظت پتاسیم (به ترتیب ۲۴/۲ و ۲۹/۴ درصد) و نسبت پتاسیم به سدیم (به ترتیب ۸۰/۹ و ۸۵/۲ درصد) در ریشه و اندام هوایی شد، اما سبب افزایش سطح و طول تجمعی ریشه ها و غلظت سدیم در ریشه و اندام هوایی گردید. وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، نفوذ ریشه، حجم ریشه، مساحت و طول تجمعی ریشه و نسبت ریشه به اندام هوایی، غلظت پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم

منابع مورد استفاده

- Abd-Elrahman SH and Shalaby O. 2017. Response of wheat plants to irrigation with magnetized water under Egyptian soil conditions. *Egyptian Journal of Soil Sciences*, 57: 477-488. <https://doi.org/10.21608/ejss.2017.1605.1122>
- Acosta-Motos JR, Ortuño MF, Bernal-Vicente A, Diaz-Vivancos P, Sanchez-Blanco MJ and Hernandez JA. 2017. Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. *Agronomy*, 7: 18. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>
- Aghamir F, Bahrami H, Eshghi S and Malakouti MJ. 2019. The effect of applied magnetics water on nutrients uptake by bean plants in salt conditions. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(6): 1419-1431. (In Persian) <https://doi.org/10.22059/ijswr.2018.226045.667625>
- Alaei SH, Khoshi-Khoui M, Kobraee S and Zji B. 2014. Effect of different salinity levels on essential oil content and composition of *Dracocephalum moldavica*. *Agricultural Communications*, 2: 42-46.
- Al-Akhras MAH, Al-Quraan NA, Abu-Aloush ZA, Mousa MS, AlZoubi T, Makhadmeh GN and Donmez O. 2024. Impact of magnetized water on seed germination and seedling growth of wheat and barley. *Results in Engineering*, 22: 101991. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.101991>
- Almeida DM, Oliveira MM and Saibo N. 2017. Regulation of Na⁺ and K⁺ homeostasis in plants: towards improved salt stress tolerance in crop plants. *Genetics and Molecular Biology*, 40: 326-345. <https://doi.org/10.1590/1678-4685-gmb-2016-0106>
- Arif MR, Islam MT and Robin A. 2019. Salinity stress alters root morphology and root hair traits in *Brassica napus*. *Plants (Basel, Switzerland)*, 8(7): 192. <https://doi.org/10.3390/plants8070192>
- Assaha D, Ueda A, Saneoka H, Al-Yahyai R and Yaish MW. 2017. The role of Na⁺ and K⁺ transporters in salt stress adaptation in glycophytes. *Frontiers in Physiology*, 8: 509. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00509>
- Azarakhshi M, Farzadmehr J, Eslah M and Sahabi H. 2013. An investigation on trends of annual and seasonal rainfall and temperature in different climatologically regions of Iran. *Journal of Range and Watershed Management*, 66(1): 1-16. (In Persian) <https://doi.org/10.22059/jrwm.2013.35324>

- Bagherifard A and Ghasemnezhad A. 2014. Effect of magnetic salinated water on some morphological and biochemical characteristics of artichoke (*Cynara scolymus* L.) leaves. *Journal of Medicinal Plants and By-products*, 2: 161-170. <https://doi.org/10.22092/jmpb.2014.108729>
- Bashasha JA, El-Mugrbi WS and Imryed YF. 2021. Effect of magnetic treatment in improve growth of three wheat cultivars irrigated with seawater. *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Advanced Technology*, 1: 24-32.
- Ben Hassen H, Hozayn M, Elaoud A and Attia Abdd El-monem A. 2020. Inference of magnetized water impact on salt-stressed wheat. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45: 4517-4529. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04506-6>
- Dadshani S, Sharma RC, Baum M, Ogbonnaya FC, Leon J and Ballvora A. 2019. Multidimensional evaluation of response to salt stress in wheat. *PLoS ONE*, 14: 1-24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222659>
- East Azerbaijan Province Meteorological Office and Applied Meteorology Research Center. 2019. <https://eamo.ir/> (In Persian)
- El-Gindy AM, Arafa Y, Abd El-Hady M, Mansour HA and Abdelghany AE. 2018. Effect of drip irrigation system salinity and magnetic water treatment on turnip yield and yield characters. *World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 4(1): 89-96.
- Ghamarnia H, Farmanifard M and Sasani S. 2013. The effects of supplementary irrigation on yield and water use efficiency of three new wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Water and Irrigation Management*, 2(2): 69-83. (In Persian) <https://doi.org/10.22059/jwim.2013.30341>
- Hachicha M, Kahlaoui B, Khamassi N, Misle E and Jouzdan O. 2018. Effect of electromagnetic treatment of saline water on soil and crops. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17: 154-162. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.03.003>
- Helmy AM, Niel EM, Shaban KA and Ramadan MF. 2023. Magnetic treatment of irrigation water and seeds and its effect on the productivity and quality of wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in saline soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 54(12): 1583-1600. <https://doi.org/10.1080/00103624.2023.2177305>
- Kamel YM, Hegab SAM, Youssef MA and El-Gawad A. 2023. Effects of magnetized saline irrigation water and fertilizers on soil prosperities and wheat productivity. *Archives of Agriculture Sciences Journal*, 6(1): 113-141. <https://dx.doi.org/10.21608/aasj.2023.177422.1135>
- Khalil SH and Abou-Leila BH. 2016. Effect of magnetic treatment in improving growth, yield and fruit quality of *Physalis pubescens* plant grown under saline irrigation conditions. *International Journal of Chemistry Technology Research*, 9: 246-258.
- Khoshravesh M, Mirzaei J, Shirazi P and Norooz-Valashedi R. 2018. Evaluation of dripper clogging using magnetic water in drip irrigation. *Applied Water Science*, 8: 81-89. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0725-7>
- Liu X, Zhu H, Meng S, Bi S, Zhang Y, Wang H, Song C and Ma F. 2019. The effects of magnetic treatment of irrigation water on seedling growth, photosynthetic capacity and nutrient contents of *Populus euramericana* under NaCl stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 41: 11. <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2798-1>
- Liu Z, Gao C, Yan Z, Shao L, Chen S, Niu J and Zhang X. 2024. Effects of long-term saline water irrigation on soil salinity and crop production of winter wheat-maize cropping system in the North China Plain: A case study. *Agricultural Water Management*, 303: 109060. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109060>
- Maffei ME. 2014. Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution. *Frontiers in Plant Science*, 5: 445. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00445>
- Maheshwari BL and Harsharn Singh G. 2009. Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity. *Agricultural Water Management*, 96: 1229-1236. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.016>

- Mohammadian M, Fatahi RA and Nouri Emamzadei MR. 2016. Investigation the effect of magnetic salt water on yield and yield components of green pepper. *Irrigation Sciences and Engineering*, 39(1): 121-130. (In Persian) <https://doi.org/10.22055/jise.2016.12017>
- Nassar R, Kamel HA, Ghoniem AE, Alarcón JJ, Sekara A, Ulrichs C and Abdelhamid MT. 2020. Physiological and anatomical mechanisms in wheat to cope with salt stress induced by seawater. *Plants (Basel, Switzerland)*, 9(2): 237. <https://doi.org/10.3390/plants9020237>
- Robin AHK, Cory M, Md Jasim U and Khandaker NB. 2016. Salinity-induced reduction in root surface area and changes in major root and shoot traits at the phytomer level in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 67: 3719-3729. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw064>
- Said AA, Motawea MH, Abdel-rahman MH and Fawzy Y. 2020. The effect of saline water magnetization on physiological and agronomic traits of bread wheat genotypes. *SVU-International Journal of Agricultural Sciences*, 2(2): 384-400. <https://doi.org/10.21608/svuijas.2020.47495.1049>
- Selim DAFH, Zayed M, Ali MM, Eldesouky HS, Bonfill M, El-Tahan AM and Elokkih S. 2022. Germination, physio-anatomical behavior, and productivity of wheat plants irrigated with magnetically treated seawater. *Frontiers in Plant Science*, 13: 923872. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.923872>
- Sestili S, Platani C, Palma D, Dattoli MA and Beleggia R. 2023. Can the use of magnetized water affect the seedling development and the metabolite profiles of two different species: Lentil and durum wheat?. *Frontiers in Plant Science*, 13: 1066088. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1066088>
- Shaban KA, Ahmed MA and El-Sayed HA. 2023. Effect of magnetic irrigation saline water and pre-sowing of grains treated with magnetic field on saline soil fertility and wheat productivity and quality. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*, 23(1): 41-58. <https://doi.org/10.9734/ajaar/2023/v23i1451>
- Singh K, Ram S, Nehra A and Singh KP. 2019. Effect of magnetized water on urea-loading efficiency of mesoporous nano-silica: A seed germination study on wheat crop. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 19(4): 2016-2026. <https://doi.org/10.1166/jnn.2019.16508>
- Singh P, Mahajan M, Singh NK, Kumar D and Kumar K. 2019. Physiological and molecular response under salinity stress in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 19: 521-531. <https://doi.org/10.1007/s13562-019-00521-3>
- Westerman LZ. 1990. *Soil Testing and Plant Analysis*. Soil Science Society of America Journal, INC. Madison, Wisconsin USA. <https://doi.org/10.2136/sssabookser3.3ed>
- Yang H, Hu J, Long X, Liu Z and Rengel Z. 2016. Salinity altered root distribution and increased diversity of bacterial communities in the rhizosphere soil of *Helianthus tuberosus*. *Scientific Reports*, 6: 20687. <https://doi.org/10.1038/srep20687>
- Zhao G, Mu Y, Wang Y and Wang L. 2022. Magnetization and oxidation of irrigation water to improve winter wheat (*Triticum aestivum* L.) production and water-use efficiency. *Agricultural Water Management*, 259: 107254. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107254>
- Zhou Y, Tang N, Huang L, Zhao Y, Tang X and Wang K. 2018. Effects of salt stress on plant growth, antioxidant capacity, glandular trichome density, and volatile exudates of *Schizonepeta tenuifolia* Briq. *International Journal of Molecular Sciences*, 19: 252-265. <https://doi.org/10.3390/ijms19010252>
- Zlotopolski V. 2017. The impact of magnetic water treatment on salt distribution in a large unsaturated soil column. *International Soil and Water Conservation Research*, 5: 253-257. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.05.009>