نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۲ شماره ۳ / سال ۱۴۰۱/ صفحات ۲۳۴-۲۱۹

Some Vegetative Changes and Yield of Wheat Species with Different Ploidy Levels under Magnetic Water and Salinity Stress

Esmaeil Mohammadi Beilankouhi[1], Adel Dabbagh Mohammadi Nasab[2*], Jalil Shafagh Kolvanagh[3], Rouhollah Amini[3]

Received: July 12, 2021 Accepted: October 11, 2021
1- Ph.D. Student 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: : adeldabb@yahoo.com

Abstract

Background and Objective: Irrigation water salinity is one of the most important limiting factors for crop production in arid and semi-arid regions of the world. Solutions have been proposed to reduce this problem, most of which are based on water purification and are expensive. On the other hand, the use of new methods such as magnetic water in increasing the yield of crops is proposed. Therefore, the aim of this study was to evaluate the characteristics of the aerial parts of different species of wheat with different ploidy levels under the application of magnetic water and salinity stress.

Materials and Methods: An experiment as a factorial based on a complete randomized block design with three replications in 2019 in the research farm of the horticulture and landscaping office of Tabriz University was implemented. The first factor is the type of water (normal and magnetic), the second factor is the salinity of irrigation water in three levels of 0, 3 and 6 deciSiemens per meter (sodium chloride) and the third factor is the species and cultivars of wheat includes diploid, tetraploid (durum wheat: Savez, Persian and Dehdasht cultivars) and hexaploid (wheat bread: Chamran and Dehdasht cultivars).

Results: The mean leaf chlorophyll content index, vegetative traits, yield and yield components of species and wheat cultivars decreased significantly in moderate and severe salinity. Magnetizing irrigation water alleviated the negative effects of salinity stress on leaf chlorophyll content index, some vegetative traits, and wheat grain yield. The average of the measured traits showed the significant superiority of Kuhdasht and Chamran cultivars especially in terms of grain yield and shoot biomass compared to other wheat species and cultivars (diploid, Savez, Persian and Dehdasht) in the different salinity levels.

Conclusion: Therefore, based on the results, it can be concluded that pre-treatment of salt water with a specific magnetic field and the use of suitable cultivars such as Kuhdasht and Chamran, will improve wheat yield by about 31.1 and 34.4%, respectively.

Keywords: Grain Yield, Magnetic Water, Salinity Stress, Water Quality, Wheat

برخی تغییرات رویشی و عملکرد گونه‌های گندم با سطوح پلوئیدی مختلف تحت تنش شوری و آب مغناطیسی

اسماعیل محمدی بیلانکوهی[۱]، عادل دباغ محمدی نسب[۲*]، جلیل شفق کلوانق[۳]، روح اله امینی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۱۹

۱- دانشجوی دکتری زراعت، گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشگده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۲- استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۳- دانشیار گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشگده کشاورزی، دانشگاه تبریز
* مسئول مکاتبه: Email: adeldabb@yahoo.com

چکیده

اهداف: شوری آب آبیاری از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا است. راهکارهایی برای کاهش این مشکل پیشنهاد شده‌اند که اغلب این روش‌ها بر پایه تصفیه آب و هزینه‌بر هستند. از طرفی استفاده از شیوه‌های جدید مانند آب مغناطیسی در افزایش عملکرد گیاهان زراعی مطرح می‌باشد. بنابراین، هدف از این پژوهش ارزیابی خصوصیات اندام هوایی گونه‌های مختلف گندم با سطوح پلوئیدی مختلف تحت کاربرد آب مغناطیسی و تنش شوری می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی اداره باغبانی و فضای سبز دانشگاه تبریز اجرا شد. عامل اول نوع آب (معمولی و مغناطیسی)، عامل دوم شوری آب آبیاری در سه سطح صفر، ۳ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر (کلرید سدیم) و عامل سوم گونه‌ها و ارقام گندم شامل دیپلوئید، تتراپلوئید (گندم دوروم ارقام ساوز، پرشین و دهدشت) و هگزاپلوئید (گندم نان ارقام چمران، کوه دشت) می‌باشند.

یافته‌ها: میانگین شاخص کلروفیل برگ، صفات رویشی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه گونه‌ها و ارقام گندم در شوری‌های متوسط و شدید کاهش معنی‌داری پیدا کردند. مغناطیس کردن آب آبیاری موجب تعدیل اثرات منفی تنش شوری بر شاخص کلروفیل برگ، برخی صفات رویشی و عملکرد دانه گندم شد. میانگین صفات اندازه‌گیری شده برتری معنی‌دار ارقام کوهدشت و چمران را به‌ویژه از نظر عملکرد دانه و وزن خشک بخش هوایی در مقایسه با سایر گونه‌های گندم (گونه دیپلوئید و ارقام ساوز، پرشین و دهدشت) در سطوح مختلف شوری نشان داد.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان عنوان کرد که پیش تیمار آب شور با میدان مغناطیسی مشخص و استفاده از ارقام مناسب مانند کوهدشت و چمران، سبب بهبود عملکرد گندم به ترتیب به میزان ۳۱/۱ و ۳۴/۴ درصد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آب مغناطیسی، تنش شوری، عملکرد دانه، کیفیت آب، گندم

مقدمه

شوری آب و خاک از مهم‌ترین عوامل محیطی محدودکننده تولید محصولات زراعی می‌باشد. تقریباً یک‌سوم از زمین‌های آبی و یک‌دوم از زمین‌های مناطق نیمه‌خشک و ساحلی تحت تأثیر شوری قرار گرفته‌اند (فائو ۲۰۱۹). شوری کارآیی و عملکرد صدها گونه از محصولات کشاورزی را در سراسر جهان تحت تأثیر قرار داده است. تولید در نواحی خشک و نیمه‌خشک نیز به‌دلیل تجمع نمک در خاک‌ها کم می‌باشد (هرناندز ۲۰۱۹).

اثر زیان‌آور شوری بالا بر گیاهان را می‌توان به‌صورت کاهش رشد و نمو گیاه و یا افت محصول مشاهده نمود. کاهش رشد گیاه، در نتیجه شوری اغلب به سه مکانیزم فیزیولوژیکی شامل: کاهش فشار تورژسانس سلولی، کاهش فعالیت فتوسنتزی و اثر منفی یون‌های نمک روی مسیرهای متابولیکی نسبت داده می شود (اولین و همکاران ۲۰۱۹). از مهم‌ترین آثار شوری می‌توان به کاهش آب قابل استفاده گیاه، ایجاد مسمومیت توسط برخی یون‌های سمی، فعالیت کم عناصر غذایی ضروری، نسبت زیاد سدیم به پتاسیم، سدیم به کلسیم، منیزیم به کلسیم و کلر به نیترات، ناهنجاری‌های تغذیه‌ای، کاهش رشد و کیفیت محصول اشاره نمود (عیسی‌نژاد و همکاران ۲۰۱۶).

داداش‌زاده و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که شوری به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای می‌تواند دوره پر شدن دانه، وزن دانه، تعداد دانه در بوته و در نتیجه عملکرد دانه را در ارقام جو کاهش دهد که این کاهش با افزایش شوری شدت می‌یابد. نصیر خان و همکاران (۲۰۰۷) دریافتند که کاهش کلروفیل تحت تنش شوری می‌تواند وزن خشک بوته و به‌طور کلی عملکرد دانه را کاهش دهد.

در ایران مشابه سایر نقاط جهان، گندم (*Triticum aestivum* L.) از نظر سطح زیر کشت و میزان تولید، مهم‌ترین محصول کشاورزی بوده و منبع عمده تأمین کالری و پروتئین مورد نیاز جمعیت کشور است، به‌طوری که حدود ۴۰ درصد پروتئین مصرفی و ۴۵ درصد کالری دریافتی روزانه هر فرد از نان تأمین می‌شود و نیز به‌دلیل سازگاری بیشتر با شرایط اقلیمی، زراعی و محدودیت‌های آب و بارندگی، کشت و کار گندم در بیشتر نقاط کشور محور فعالیت‌های کشاورزی است (قمرنیا و همکاران ۲۰۱۳).

گندم یکی از مهم‌ترین محصولات مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران به شمار می‌رود، در این مناطق شوری خاک و منابع آب مشکل اساسی است (سینگ و همکاران ۲۰۱۹). انتخاب ارقام گندم مقاوم می‌تواند یکی از راهکارهای تولید موفق در شرایط شوری محسوب گردد. در این راستا، فرهودی و خدارحم‌پور (۲۰۱۵) با اعمال تنش شوری کلرید سدیم در دو سطح ۰ و ۱۰ دسی-زیمنس بر متر بر ۱۹ رقم گندم، ارقام کارچینا ۶۶، نیک-نژاد، ماهوتی، مهدوی، سرخ‌تخم و طبسی را به عنوان ارقام دارای تحمل بالا از این نظر معرفی کردند. سعادتیان و همکاران (۲۰۱۱) اثر پنج سطح ۰، ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی-زیمنس بر متر شوری بر چهار رقم گندم (الوند، توس، سایسون و نوی) را بررسی و عنوان نمودند که تنش شوری بر وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، سنبله در بوته و عملکرد دانه اثر منفی دارد. همچنین، در سطوح شاهد و شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر رقم سایسون و در سطوح بالاتر رقم توس در اغلب صفات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد دانه نسبت به سایر ارقام برتری معنی-دار نشان دادند.

پژوهشگران روش‌های مختلفی برای افزایش رشد گیاهان در مواجهه با شرایط شوری به‌کار می‌برند، یکی از این راه‌کارها، استفاده از ارقام مقاوم به شوری است. با وجود این، تلاش‌ها برای افزایش تحمل به شوری گیاهان از این طریق کاملاً مؤثر نیست. بنابراین، باید از راه‌کارهای دیگری که امروزه کاربرد فراوانی پیدا کرده است، مانند افزایش مقاومت گیاه از ابتدای رویش با به‌کارگیری شیوه‌های تقویت‌کننده گیاه مانند مغناطیسی کردن آب آبیاری استفاده نمود (خلیل و ابولیلا 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،

گرانروی، 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 (گروال و ماهشواری ۲۰۱۱).

میدان‌های مغناطیسی موجب تغییر در بار الکتریکی مولکول‌های آب (کاتیون‌ها و آنیون‌ها) شده و سبب افزایش تعداد مولکول‌های آب در واحد حجم، گرانروی و قدرت حلالیت و نیز کاهش درجه سختی آب و کشش سطحی می‌شود (پانگ و دنگ ۲۰۰۸) و به همان اندازه گرمای تبخیر را کاهش داده و در نتیجه بخار شدن سریع آب را درپی دارد (هوزاین و کادوس ۲۰۱۱). ژیائوفنگ و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی اثرات میدان مغناطیسی بر گرانروی آب آمونیومی گزارش کردند که با مغناطیس کردن آب، گرانروی آب آمونیومی بیشتر شده و راحت‌تر جذب گیاه می‌شود. ران و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی اثرات میدان مغناطیسی روی پیوندهای هیدروژنی مولکول‌های آب دریافتند که کشش سطحی آب کاهش و گرانروی آب افزایش پیدا می‌کند.

میدان الکترومغناطیسی به‌دلیل بالا بردن تعداد مولکول‌های آب در واحد حجم، بر حلالیت بی‌کربنات‌ها و کربنات‌ها در آب اضافه کرده و در نتیجه توانایی گیاه برای جذب کاتیون‌ها و آنیون‌ها را افزایش می‌دهد و مقدار بیشتری از نمک‌ها به‌ویژه بی‌کربنات‌ها توسط گیاه جذب می‌شوند و هرچه کشش سطحی آب بیشتر روند کاهشی پیدا کند، آب با سهولت بیشتر وارد دیواره سلولی می‌شود و در نتیجه تقسیم سلولی در مناطق رشد گیاه بیشتر شده و موجب رشد سریع‌تر گیاه می‌شود (زوتوپولسکی ۲۰۱۷).

محمدیان و همکاران (۲۰۱۶) اثر آب مغناطیسی و شوری ۰/۳، ۲/۴ و ۳/۲ دسی‌زیمنس بر متر را بر عملکرد و اجزای عملکرد فلفل سبز بررسی نمودند. نتایج این بررسی افزایش ۱۲، ۱۹ و ۳۳ درصدی عملکرد کل میوه به ترتیب در آب شور مغناطیسی با سطوح مختلف شوری را نشان داد. همچنین عابدین‌پور و روحانی (۲۰۱۹) گزارش کردند که آبیاری با آب مغناطیس موجب افزایش عملکرد زیره سبز تحت سطوح مختلف شوری شد. کیلیک و همکاران (۲۰۰۸) دریافتند که آب مغناطیسی موجب افزایش تقسیم سلولی و رشد در پالونیا و نیز تحریک سنتز پروتئین، افزایش سیتوکینین و اکسین و بیوسنتز کلروپلاست می‌شود.

صادقی (۲۰۱۰) گزارش داد که بر اثر مغناطیسی کردن آب مقطر، آب زیرزمینی و آب شور با شدت‌های مغناطیس ۴۰۰ ، ۵۰۰ و ۶۰۰ گوس، بیش‌ترین وزن تر گندم تحت تأثیر مغناطیس ۴۰۰ گوس به دست آمد. 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 (دهوی و الخیری، ۲۰۱۱). بابانژاد و همکاران (۲۰۱۳) اثر آب مغناطیسی و شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد ریحان را بررسی و گزارش کردند که آب مغناطیسی باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد شده است. در نخود تحت تیمار آب مغناطیسی نسبت به شاهد افزایش در طول ریشه، ارتفاع بوته، طول نیام، وزن تر و خشک ریشه و وزن تر و خشک بخش هوایی را به همراه داشت (ناوروز و هرو ۲۰۱۰).

این مطالعه با هدف بررسی تأثیر آب مغناطیسی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه دو گونه و ارقام گندم در شرایط شور صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

مشخصات محل اجرای آزمایش مزرعه‌ای

این پژوهش در سال ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی اداره باغبانی و فضای سبز دانشگاه تبریز به اجرا در آمد. 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 میانگین دما و بارندگی در شش ماه اول سال ۱۳۹۸ را در محل اجرای آزمایش نشان می‌دهد.

جدول ۱- میانگین بارندگی و دما طی سال زراعی 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

به‌منظور بررسی وضعیت خاک قطعه زمین مورد نظر در مزرعه، نمونه خاکی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه شد و جهت انجام تجزیه‌های مربوط به بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی ارسال گردید. نتایج حاصل از تجزیه خاک در جدول ۲ درج شده است.

جدول ۲- نتایج تجزیه خاک

عمق (cm)	pH گل اشباع	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی (٪)	کربنات کلسیم معادل (٪)	نیتروژن کل (٪)	عناصر قابل‌جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)					اجزای معدنی خاک (٪)			کلاس بافت خاک
						P	K	Cu	Fe	Zn	رس	سیلت	شن	لوم
۰-۳۰	۷/۹۱	۱/۴۴	۱/۵	۸/۲۸	۰/۱۳	۱۵/۸	۲۷۱	۰/۷۹	۲/۵	۰/۷۶	۱۵	۲۳	۶۲	شنی

طرح آزمایشی مورد استفاده و عملیات مزرعه‌ای

این تحقیق به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۸ اجرا شد. عامل اول نوع آب (معمولی و مغناطیسی)، عامل دوم شوری آب آبیاری در سه سطح صفر، ۳ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر (کلرید سدیم) و عامل سوم شش نوع گندم شامل دیپلوئید، تتراپلوئید (گندم دوروم ارقام ساوز، پرشین و دهدشت) و هگزاپلوئید (گندم نان ارقام چمران و کوه دشت) می‌باشند. در این آزمایش هر لوله نایلونی به قطر ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع یک متر به‌عنوان یک واحد آزمایشی در نظر گرفته شد. هر لوله با ۲۰ کیلوگرم خاک پر شد. گودال بزرگی برای جایگذاری لوله‌های نایلونی در مزرعه مورداستفاده قرار گرفت. 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 واحد کاشته شد و پس از استقرار گیاهچه‌ها، به یک بوته در هر واحد تنک شدند. اختصاص تیمارها به واحدهای آزمایشی به‌صورت تصادفی انجام پذیرفت. بذور قبل از کاشت با سم بنومیل به نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند. کاشت بذور در اواسط اردیبهشت‌ماه به‌صورت دستی انجام شد. به دلیل مطلوب بودن وضعیت ماده آلی و عناصر غذایی خاک، در این پژوهش کوددهی انجام نشد.

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. برای ایجاد میدان مغناطیسی در سیستم آبیاری از آهنرباهای دائمی با شدت میدان مغناطیسی ۴۰۰ میلی تسلا استفاده شد.

در زمان رسیدگی سنبله‌ها (اواسط مردادماه) که برای ارقام و گونه‌ها تقریبا همزمان بود (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.

صفات مورد بررسی

شاخص کلروفیل برگ

برای اندازه‌گیری شاخص کلروفیل برگ از کلروفیل سنج (SPAD) استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها قبل از آبیاری و در ابتدای گلدهی گندم انجام شد و محتوای کلروفیل برگ‌های بالغ و سالم بالایی، میانی و پایینی همه بوته‌های واحدها ثبت گردید. در نهایت، میانگین آن‌ها به عنوان شاخص کلروفیل برگ هر واحد آزمایشی در نظر گرفته شد.

صفات مورفولوژیکی

ارتفاع بوته‌ها از ناحیه طوقه تا انتهای سنبله، همزمان با برداشت اندازه‌گیری شده و پس از میانگین‌گیری، برای هر بوته برحسب سانتی‌متر ثبت گردید. ارتفاع پنجه‌ها از ناحیه طوقه تا انتهای سنبله هر پنجه اندازه‌گیری و میانگین داده‌ها برای ارتفاع پنجه ثبت شد. تعداد برگ‌ها در بوته شمارش و طول برگ پرچم با خط‌کش اندازه‌گیری شد.

صفات مربوط به اجزای عملکرد و عملکرد دانه

پس از رسیدگی، بوته هر لوله نایلونی کف‌بر شده و تعداد سنبله در بوته شمارش و ثبت شد. سپس دانه‌ها از سنبله جدا گردیدند و تعداد دانه در سنبله، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه تعیین گردیدند. میانگین عملکرد دانه بوته هر لوله نایلونی به‌عنوان عملکرد دانه برای هر بوته در نظر گرفته شد.

تجزیه‌های آماری

پیش از تجزیه واریانس، آزمون نرمال بودن و یکنواختی واریانس خطای داده‌ها انجام گردید تا در صورت نیاز، تبدیل مناسب صورت گیرد. تجزیه واریانس داده‌ها در قالب طرح فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام گرفت. از نرم‌افزارهای MSTAT-C و SPSS Ver.۲۱ (برحسب نیاز) برای انجام تجزیه‌های آماری استفاده شد. میانگین داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C و بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه گردید. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

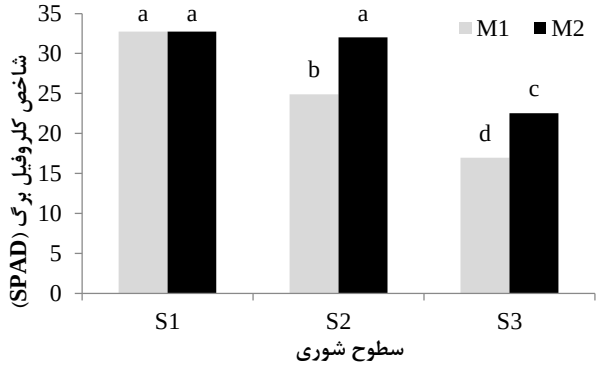
شاخص کلروفیل برگ

شاخص کلروفیل برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر آب مغناطیسی، سطوح مختلف شوری، گونه‌های گندم و اثر متقابل آب مغناطیسی × شوری قرار گرفت (جدول ۳). کاربرد آب مغناطیسی اثر بارزی در افزایش شاخص کلروفیل برگ در سطوح تنش شوری ۳ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر داشت (شکل ۱). بیشترین شاخص کلروفیل برگ (۲۵/۴۹) از رقم کوهدشت حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با رقم چمران نداشت (جدول ۴). در شرایط شوری فعالیت آنزیم گلوتامیل‌کیناز از آنزیم گلوتامات‌لیگاز (اولین آنزیم مسیر بیوسنتز کلروفیل) بیشتر می‌شود تا پیش‌ساز گلوتامات بیشتر به مصرف اسیدآمینه‌ها به‌ویژه پرولین برسد، بنابراین بیوسنتز کلروفیل با محدودیت مواجه می‌شود (اولین و همکاران ۲۰۱۹). عبدالقدوس و هوزایین (۲۰۱۰) افزایش محتوای کلروفیل برگ در گیاهانی که با آب مغناطیسی آبیاری شدند را به اثر آب مغناطیسی در افزایش محرک‌های رشد مانند IAA و ایجاد تغییرات اساسی در فرایندهای سلولی مانند بیان ژن مرتبط دانستند.

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

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات										
		شاخص کلروفیل برگ	ارتفاع بوته	ارتفاع پنجه	پنجه در بوته	تعداد برگ در بوته	طول برگ پرچم	طول سنبله	سنبله در بوته	دانه در سنبله	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	وزن کل بوته
تکرار	۲	۱۷/۱۸	۱۱/۰۴	۸/۴۶	۵/۳۲	۱۴۸/۶۷	۰/۰۳۲	۰/۲۳۷	۸/۱۲	۲۱/۱۴	۲/۳۵	۰/۶۱۱	۵/۰۶۷
آب مغناطیسی (A)	۱	۴۸۴/۴ **	۲۰۴۷/۹ **	۶۱۵/۶۶ **	۳۰/۴۳ **	۱۰۲/۰۸	۲۲/۷۱	۱/۰۳	۱۷/۹۲ *	۱۲۸/۹ *	۱/۹۴	۱۷/۸۴ **	۹۶/۷۱ **
شوری (B)	۲	۱۵۷۵/۷ **	۸۴۸/۲۸ **	۴۷۹/۸۶ **	۱۲۶/۱ **	۲۹۷۵/۲ **	۲۰۶/۶ **	۴/۷۹ **	۹۰/۸۱ **	۶۴۹/۳ **	۳۲/۲۵ **	۴۱/۰۳ **	۲۴۳/۴۵ **
A × B	۲	۱۲۵/۷ **	۱۹/۷۴	۲/۲۱	۱/۴۱	۲۰/۵۲	۳/۶۱	۰/۳۱	۱/۹۲	۲۳/۴۶	۰/۲۲	۰/۶۶	۷/۶۲۳
گونه‌های گندم (C)	۵	۴۶/۵۶ **	۸۸/۲۵۹ **	۱۹۱/۵۱ **	۶۴/۸۱ **	۱۳۵۲/۳ **	۴۵/۲۵ **	۱۸/۱۱ **	۵۳/۳۷ **	۵۳۹/۲ **	۲۳۹/۶ **	۲۶/۵۲ **	۹۹/۸۴ **
A × C	۵	۰/۶۸	۳۵/۲۶	۱۰/۶۹	۱/۴۵	۸۳/۳۹	۳۳/۸ **	۲/۶۳ **	۵/۶۸	۷/۷۴	۰/۰۳۹	۰/۶۱۱	۳/۵۵
B × C	۱۰	۱/۲۲	۱۱۳/۸۳ **	۱۰/۲۶	۱۳/۶۵ **	۱۷۶/۱۲ **	۱۴/۱۱	۰/۴۸	۷/۴۹ *	۴۹/۱۲ **	۰/۲۳۵	۲/۶۶۶ **	۱۳/۹۵ **
A × B × C	۱۰	۰/۳۱	۳۳/۷۶	۲۰/۱۸	۶/۴۵	۱۱۸/۳	۱۴/۹۲	۱/۰۴	۵/۵۱	۱۷/۹۹	۰/۱۱۳	۱/۰۵۶	۶/۳۵۱
اشتباه آزمایش	۷۰	۵/۵۵	۲۶/۲۳	۲۴/۴۶	۳/۳۲	۶۱/۷۸	۹/۷۳	۰/۶۲	۲/۹۲	۱۸/۴۳	۱/۴۰۶	۰/۵۴۲	۳/۴۶۱
ضریب تغییرات (٪)	–	۸/۷	۱۰/۹	۱۵/۱	۲۹/۶	۲۸/۶	۲۴/۱	۱۵/۳	۲۸/۸	۲۸/۲	۲/۹۷	۲۷/۳	۲۵/۵

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می باشد.



شکل ۱- شاخص کلروفیل برگ تحت سطوح مختلف شوری در واکنش به تیمار آب مغناطیسی

S_1، S_2 و S_3: به ترتیب سطوح شوری ۰، ۳ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر

M۱ و M۲: به ترتیب آبیاری با آب معمولی و آب مغناطیسی

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

جدول ۴- میانگین شاخص کلروفیل برگ، ارتفاع پنجه و وزن هزار دانه گونه‌های مختلف گندم

گونه گندم	شاخص کلروفیل برگ (SPAD)	ارتفاع پنجه (cm)	وزن هزار دانه (g)
کوه‌دشت	۲۹/۶۴ a	۳۴/۵ a	۴۴/۹۸ a
چمران	۲۸/۰۹ ab	۲۹/۳۹ b	۴۳/۳۹ b
دهدشت	۲۶/۶۵ bc	۳۶/۳۱ a	۳۹/۴۸ c
ساوز	۲۶/۴۱ c	۳۵/۷۲ a	۳۹/۱۴ c
پرشین	۲۵/۵۸ c	۳۰/۷۷ b	۳۷/۵۳ d
دیپلوئید	۲۵/۴۹ c	۲۹/۰۷ b	۳۵/۱۸ e

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

ارتفاع بوته

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به ارتفاع بوته نشان داد که اثر کاربرد آب مغناطیسی شده، تنش شوری، گونه‌های گندم و اثر متقابل شوری × گونه‌های گندم بر این صفت از نظر آماری معنی‌دار گردید (جدول ۳). کاربرد آب مغناطیسی ارتفاع بوته گونه‌های گندم را به‌طور میانگین ۲۰/۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۵). بر اساس نتایج مربوط به مقایسه میانگین داده‌ها، با افزایش تنش شوری، ارتفاع بوته همه گونه‌های گندم کاهش یافت، به‌طوری‌که کمترین ارتفاع بوته از گندم دیپلوئید تحت شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد (جدول ۶). ژو و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کرد که کاهش ارتفاع گیاه تحت تأثیر تنش شوری ناشی از کاهش سطح برگ و تعداد برگ و یا از بین رفتن سطح فتوسنتز کننده است که به اختلال در رشد گیاه منجر می‌شود. هرناندز (۲۰۱۹) عامل اصلی کاهش ارتفاع در اثر تنش شوری را، کاهش فتوسنتز عنوان کردند. گروال و ماهشواری (۲۰۱۱) گزارش کردند که مغناطیسی شدن آب موجب تسریع رد شدن آب از دیواره ریشه و در نتیجه افزایش جذب آب و مواد معدنی می‌شود. کلیک و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که آب مغناطیس فرآیندهای بیوشیمیایی گیاه از جمله تشکیل پروتئین، سیتوکنین و اکسین و بیوسنتز کلروپلاست را افزایش می‌دهد که این فرآیندها اثر مثبتی بر شاخص‌های رشدی گیاه خواهند داشت.

جدول ۵- میانگین صفات مورد بررسی گندم تحت تیمار آب مغناطیسی

آب مغناطیسی (m T)	ارتفاع بوته (cm)	ارتفاع پنجه (cm)	تعداد پنجه در بوته	تعداد سنبله در بوته	تعداد دانه در سنبله	عملکرد دانه ($g.plant^{-1}$)	وزن خشک بخش هوایی ($g.plant^{-1}$)
۰	۴۲/۲۵ b	۳۰/۲۴ b	۵/۶۲ b	۵/۵۱ b	۱۴/۱ b	۲/۲۸ b	۶/۳۳ b
۴۰۰	۵۰/۹۶ a	۳۵/۰۱ a	۶/۶۹ a	۶/۳۳ a	۱۶/۲۸ a	۳/۰۹ a	۸/۲۳ a

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

جدول ۶- میانگین صفات مورد بررسی گونه‌های مختلف گندم تحت تنش شوری

سطوح شوری ($dS.m^{-1}$)	گونه گندم	ارتفاع بوته (cm)	تعداد پنجه در بوته	تعداد برگ در بوته	تعداد سنبله در بوته	تعداد دانه در سنبله	عملکرد دانه ($g.plant^{-1}$)	وزن خشک بخش هوایی ($g.plant^{-1}$)
۰	کوه‌دشت	۵۲ b	۸/۳۸ b	۳۲/۱۷ cd	۸/۱۶۷ bc	۲۲/۸۵ ab	۵/۱۵ b	۱۴/۰۱ a
	چمران	۵۱/۳۳ b	۹/۸۳ b	۴۳/۸۳ ab	۹/۶۶۷ ab	۲۷/۵۶ a	۶/۶ a	۱۴/۳۵ a
	دهدشت	۴۷/۸۳ bcd	۴/۵ defg	۲۱/۳۳ efg	۴/۶۶۷ fgh	۲۷/۱۲ a	۳/۷۳ cd	۷/۵۵ c
	ساوز	۴۸ bcd	۴/۸۳ defg	۲۵/۳۳ def	۴ fgh	۱۶/۵۶ cde	۳/۶۴ cd	۷/۰۵ c
	پرشین	۴۹/۳۳ bcd	۹ b	۴۹/۱۷ ab	۹ abc	۱۲/۶۷ ef	۱/۹۹ fghi	۶/۳۹ cd
	دیپلوئید	۵۹/۷۲ a	۱۲/۶۷ a	۵۳/۳۳ a	۱۰/۵ a	۱۱/۹۶ ef	۲/۰۸ fgh	۱۰/۷۲ e
۳	کوه‌دشت	۵۰/۶۷ bc	۷/۸۳ bc	۲۵/۱۷ def	۷ cde	۱۹/۶۱ bcd	۴/۳۶ bc	۱۱/۵۷ b
	چمران	۴۲/۸۳ def	۵/۵ defg	۲۵/۶۷ def	۵/۵ defg	۲۰/۷۳ bc	۳/۰۳ df	۷/۴۸ c
	دهدشت	۴۶ bcde	۳/۵ efg	۱۵/۶۷ efg	۴ fgh	۱۴/۷۲ de	۲/۶۱ ef	۵/۹۶ cd
	ساوز	۴۶/۱۷ cde	۳/۳۳ fg	۱۵/۵ fg	۳/۳۳ gh	۱۵/۱۹ cde	۲/۰۶ fgh	۵/۳۸ cde
	پرشین	۴۸/۸۳ bcd	۸/۳۳ b	۴۰/۸۳ bc	۷/۶۶ bcd	۸/۵۳ fg	۱/۱۲ hij	۶/۲۲ cd
	دیپلوئید	۴۶/۳۳ cde	۶ cd	۲۶/۵ de	۵/۸۳ def	۷/۵۸ fg	۱/۳۶ hij	۵/۴۹ cde
۶	کوه‌دشت	۴۷/۸۳ bcd	۵/۸۳ ced	۲۱ efg	۵/۸۳ def	۱۷/۶ bcde	۳/۰۹ de	۷/۸۱ c
	چمران	۳۸/۳۳ fg	۴/۳۳ defg	۲۱/۸۳ efg	۵/۱۶ efgh	۱۶/۸۵ cde	۲/۴۳ efj	۵/۸۶ cd
	دهدشت	۴۰ efg	۳/۱۶ g	۱۱/۸۳ g	۳/۱۶ h	۸/۵۶ fg	۱/۶۶ fghij	۴/۴۶ de
	ساوز	۴۴/۱۷ def	۳/۳۳ fg	۱۶ efg	۳/۱۶ h	۱۳/۰۲ ef	۱/۵۶ ghij	۳/۳۷ e
	پرشین	۴۵/۵ bcde	۵/۶۶ cdef	۲۴/۸۳ def	۵/۳۳ efgh	۷/۵۶ fg	۱/۰۸ ij	۴/۳۴ de
	دیپلوئید	۳۴/۱۷ g	۴/۸۳ defg	۲۳/۸۳ def	۴/۶۶ fgh	۴/۸۵ g	۰/۸۷ j	۳/۱۱ e

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

ارتفاع پنجه

اثر آب مغناطیسی، تنش شوری و گونه‌های گندم بر ارتفاع پنجه معنی‌دار به‌دست آمد. اثر متقابل این تیمارها برای این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۳). آبیاری با آب مغناطیسی ارتفاع پنجه را نسبت به شاهد (عدم کاربرد آب مغناطیسی) ۱۵/۷ درصد افزایش داد (جدول ۵). تشدید تنش سمیت ناشی از شوری به کاهش ارتفاع پنجه در بوته منجر شد (جدول ۷). ارتفاع پنجه‌های گونه‌های ساوز و دهدشت و کوه‌دشت به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر گونه‌ها بود (جدول ۴). سینگ و همکاران (۲۰۱۹) برای کاهش ارتفاع بوته تحت تنش شوری دو دلیل عنوان نمودند: ۱- شوری فتوسنتز گیاه را کاهش می‌دهد که در حقیقت کربوهیدرات موردنیاز برای رشد را محدود می‌کند. ۲- شوری رشد ریشه و ساقه را به علت کاهش فشار تورمی در بافت‌های درحال‌توسعه در نتیجه پتانسیل پایین آب در محیط رشد ریشه کاهش می‌دهد. نصیرخان و همکاران (۲۰۰۷) دریافتند که تنش شوری از طریق کاهش تکثیر سلولی و کاهش مدت تجمع ماده خشک باعث کوتاه شدن میانگره‌ها شده و ارتفاع بوته و در نتیجه وزن خشک برگ و اندام هوایی را کاهش می‌دهد. بنا به نظر سیوریتیپ و همکاران (۲۰۱۰) علت اصلی کاهش ارتفاع و رشد گیاهان در اثر تنش شوری کاهش فتوسنتز می‌باشد. در شرایط تنش بین اندام هوایی و ریشه برای جذب مواد فتوسنتزی رقابت به وجود می‌آید و روی این اندام‌ها تأثیر می‌گذارد (چوخامپائینگ ۲۰۱۱). آب مغناطیسی اثرات تحریکی در افزایش جذب و آسیمیلاسیون مواد غذایی دارد. همچنین آب مغناطیسی موجب عبور راحت‌تر آب از غشای سلولی گیاهان می‌شود که نتیجه آن افزایش در شاخص‌های رشدی است (آلیکامانووا ۲۰۰۷).

جدول ۷- میانگین صفات مورد بررسی گندم تحت تنش شوری

سطوح شوری ($dS.m^{-1}$)	ارتفاع پنجه (cm)	طول برگ پرچم (cm)	طول سنبله (cm)	وزن هزار دانه (g)
۰	۳۶/۴۷ a	۱۵/۵۴ a	۵/۴۸ a	۴۱/۰۲ a
۳	۳۲/۲۱ b	۱۲/۵ b	۵/۲۶ a	۳۹/۶۱ b
۶	۲۹/۲ c	۱۰/۸۲ c	۴/۷۷ c	۳۹/۲۲ b

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

پنجه در بوته

بر اساس نتایج مندرج در جدول تجزیه واریانس (جدول ۳)، تعداد پنجه در بوته به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر آب مغناطیسی، سطوح شوری، گونه‌های گندم و اثر متقابل شوری × گونه‌های گندم قرار گرفت. کاربرد آب مغناطیسی اثر بارزی در افزایش تعداد سنبله در بوته داشت، به‌طوری‌که بیشترین مقدار این صفت (۶/۶۹ پنجه در بوته) از سیستم آبیاری با استفاده از آهنرباهای دائمی با شدت میدان مغناطیسی ۴۰۰ میلی تسلا حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با شاهد داشت (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر متقابل دو جانبه شوری × گونه‌های گندم حاکی از آن است که با افزایش غلظت نمک در آب آبیاری، تعداد پنجه در بوته گونه‌های گندم کاهش یافت (جدول ۶). داشتن تعداد پنجه نسبتاً زیاد و تأثیر کمتر شوری بر کاهش تعداد پنجه ارقام کوهدشت و پرشین مبین تحمل بیشتر این ارقام به شرایط تنش است. بر این اساس، در ارزیابی ارقام گندم جهت تنش شوری می‌توان از این صفت استفاده کرد. لذا حفظ پنجه‌های بیشتر می‌تواند یک سازوکار تحمل به شوری در گندم باشد (فرهودی و خدارحم پور ۲۰۱۵). بهاتی و همکاران (۲۰۰۴) نیز در طی غربال ۵۰ لاین گندم در شرایط تنش شوری، کاهش این صفت را با افزایش شوری گزارش

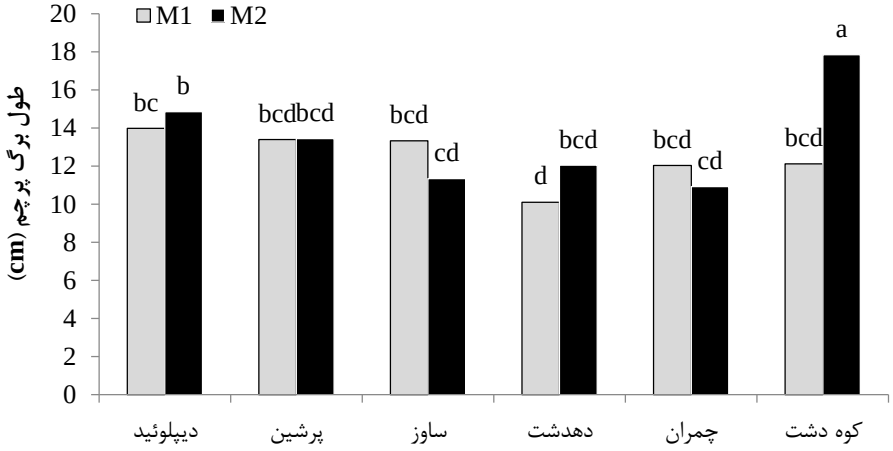
نمودند و دلیل آن را اثرات سمی نمک بر رشد گیاه عنوان نمودند. سینگ و همکاران (۲۰۱۹) افزایش تحمل به شوری گندم را مستلزم افزایش ظرفیت پنجه‌زنی گیاه در شرایط تنش عنوان کرد. با توجه به کاهش بیشتر تعداد پنجه در ژنوتیپ‌های حساس به شوری این شاخص به‌عنوان صفتی ساده و مناسب جهت ارزیابی تحمل به شوری ارقام گندم در برنامه‌های اصلاحی عنوان‌شده است (ال‌هنداوی و همکاران ۲۰۰۵).

برگ در بوته

تعداد برگ در بوته به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر شوری، گونه‌های گندم و اثر متقابل شوری × گونه‌های گندم قرار گرفت (جدول ۳)، ولی اثر آب مغناطیسی و سایر اثرات متقابل برای این صفت معنی‌دار نگردید. افزایش غلظت نمک در آب آبیاری با مقادیر ۳ و ۶ دسی-زیمنس بر متر منجر به کاهش تعداد برگ در همه گونه-های گندم شد (جدول ۶). با توجه به نقش ویژه برگ به‌عنوان واحد فتوسنتزی در گیاه، تعداد برگ کمتر در ارقام حساس می‌تواند نشانگر ظرفیت فتوسنتزی کمتر این ارقام در شرایط تنش باشد. مهنا و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که در خاک‌های شور ابتدا رشد رویشی و توسعه برگ‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد. کاهش رشد و نمو گیاهان در خاک‌های شور مربوط به بالا بودن فشار اسمزی ناشی از وجود یون‌های سدیم، کلر، منیزیم و سولفات‌ها است که درنهایت منجر به کاهش قابلیت استفاده آب موجود برای گیاه می‌شود (عابدین پور و روحانی ۲۰۱۹). کاهش تعداد برگ می‌تواند به دلیل پیری زودرس برگ‌ها، ریزش و نکروزه‌شدن آن‌ها نیز حادث گردد. در شرایط شور با افزایش غلظت نمک‌ها در محلول غذایی، پتانسیل اسمزی محلول کاهش‌یافته و به دنبال آن فشار تورژسانس سلول نیز کاهش می‌یابد. خروج آب از سلول‌ها مانع از رشد آن‌ها می‌گردد. همچنین با کوچک-شدن و ریزش برگ‌ها منبع تولید مواد پرورده در گیاه کاهش چشمگیری پیدا می‌کند. این دلایل به‌نوبه خود، هم تعداد و هم‌اندازه سلول‌ها را کاهش می‌دهد (عیسی‌نژاد و همکاران ۲۰۱۶).

طول برگ پرچم

اثر تنش شوری، گونه‌های گندم و اثر متقابل آب مغناطیسی × گونه‌های گندم بر طول برگ پرچم معنی‌دار به‌دست آمد (جدول ۳). به‌طور کلی، آبیاری با آب مغناطیسی منجر به افزایش طول برگ پرچم گونه‌های گندم شد، ولی اثر تیمار آبیاری در افزایش طول برگ پرچم در رقم کوهدشت نسبت با سایر گونه‌های گندم بارزتر بود (شکل ۲). بیشترین طول برگ پرچم (۱۵/۵۴ سانتی‌متر) از تیمار شاهد (آبیاری با آب غیر شور) به دست آمد. تیمار تنش شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر کمترین طول برگ پرچم (۱۰/۸۲ سانتی‌متر) را به خود اختصاص داد (جدول ۷). یکی از پاسخ‌های فوری به تنش شوری، کاهش سطح برگ است. به نظر می‌رسد، کاهش سطح برگ و سایر اندام‌های گیاهی در اثر افزایش شوری، به علت کاهش میزان هورمون‌های رشد نظیر اکسین، اسید جیبرلیک و سیتوکینین و افزایش مواد بازدارنده رشد باشد، که بیانگر آن است که سلول‌های برگ در شرایط تنش شوری به بیشینه رشد خود نمی-رسند. (چوخامپائینگ ۲۰۱۱). در شرایط شوری آماس سلولی در برگ کاهش می‌یابد و از این طریق می‌تواند بر گسترش برگ و رشد بخش هوایی تأثیر بگذارد. کاهش سطح برگ از جمله مکانیزم‌های مهم مقاومتی گیاه در جهت مدیریت مصرف آب تحت تنش‌هایی مانند خشکی و شوری است. گزارش شده است که آب مغناطیسی اثر معنی‌داری بر متابولیسم سلول و به‌ویژه سلول‌های مریستمی در گیاهان دارد (بلیاسکایا ۲۰۰۴). با کاهش کشش سطحی، آب به‌سادگی وارد دیواره سلولی می‌شود و درنتیجه در تقسیم سلولی در مناطق رشد گیاه تسریع به عمل‌آورده و موجب رشد سریع‌تر گیاه می‌شود (آلدسکوی و ابراهیم ۲۰۰۱).



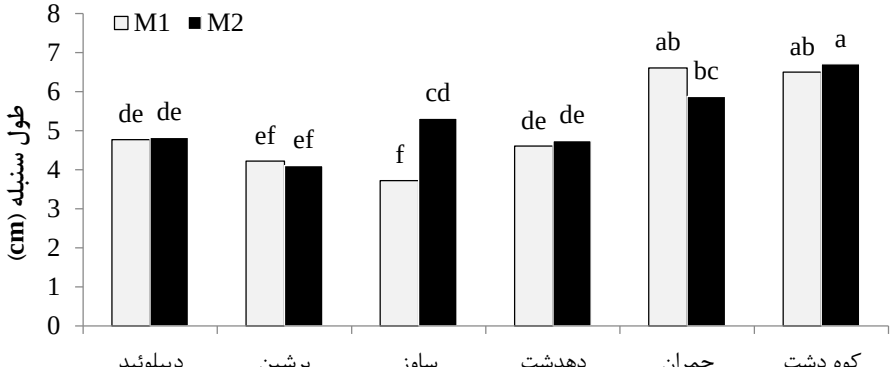
شکل ۲- طول برگ پرچم گونه‌های مختلف گندم تحت کاربرد آب مغناطیسی

M۱ و M۲: به ترتیب آبیاری با آب معمولی و آب مغناطیسی

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

طول سنبله

اثر شوری آب آبیاری، گونه‌های گندم و اثر متقابل آب مغناطیسی × گونه‌های گندم بر طول سنبله معنی‌دار به‌دست آمد (جدول ۳). به‌طور کلی، آبیاری با آب مغناطیسی منجر به افزایش طول سنبله گونه‌های گندم شد، ولی اثر تیمار آبیاری در افزایش طول سنبله در رقم ساوز بارزتر بود (شکل ۳). بیشترین طول سنبله (۵/۴۸ سانتی‌متر) از تیمار شاهد (آبیاری با آب غیر شور) به دست آمد که با سطح شوری ۳ دسی‌زیمنس بر متر از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشت. تیمار تنش شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر کمترین طول سنبله (۴/۷۷ سانتی-متر) را به خود اختصاص داد (جدول ۷). از آنجایی که گیاه ظرفیت مخزن خود را متناسب با ظرفیت منبع تنظیم می‌نماید، احتمالاً بر اثر وقوع تنش شدید در مرحله رویشی ظرفیت منبع کاهش یافته و گیاه برای این‌که بتواند بین منبع و مخزن تعادل برقرار کند، تعداد گل‌ها و نیام‌های تولیدی خود را کاهش می‌دهد (ژو و همکاران ۲۰۱۸). در گیاهان تحت تیمار آب مغناطیسی نسبت به شاهد افزایش در طول ریشه، ارتفاع بوته، طول نیام، وزن تر و خشک ریشه و وزن تر و خشک بخش هوایی را به همراه داشت (ناوروز و هرو ۲۰۱۰). اثر میدان مغناطیسی بر تقسیم سلولی و سنتز پروتئین در گره‌های گیاه پالونیا گزارش گردیده است (کلیک و همکاران ۲۰۰۸).



شکل ۳- طول سنبله گونه‌های مختلف گندم تحت کاربرد آب مغناطیسی

M۱ و M۲: به ترتیب آبیاری با آب معمولی و آب مغناطیسی

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

تعداد سنبله در بوته

بر اساس نتایج مندرج در جدول تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثر آب مغناطیسی، شوری، گونه‌های گندم و نیز اثر متقابل شوری × گونه‌های گندم بر تعداد سنبله در بوته از نظر آماری معنی‌دار گردید. کاربرد آب مغناطیسی اثر بارزی در افزایش تعداد سنبله در بوته داشت، به‌طوری‌که بیشترین مقدار این صفت (۶/۳۳ سنبله در بوته) از سیستم آبیاری با استفاده از آهنرباهای دائمی با شدت میدان مغناطیسی ۴۰۰ میلی تسلا حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با شاهد داشت (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر متقابل دو جانبه شوری × گونه‌های گندم حاکی از آن است که با افزایش غلظت نمک در آب آبیاری، تعداد سنبله در بوته گونه‌های گندم کاهش یافت، به‌طوری که کمترین تعداد سنبله در بوته (۳/۱۶) در تیمار تنش شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر برای ارقام ساوز و دهدشت حاصل شد (جدول ۶). طبق گزارش سیوریتیپ و همکاران (۲۰۱۰) تنش اعمال شده از یک طرف موجب تسریع گلدهی و کاهش طول دوره گلدهی شده و از طرف دیگر سبب رشد رویشی کمتر و در نتیجه تولید مواد فتوسنتزی کمتر می‌گردد و تحت این شرایط گیاه بقای خود را با هزینه کاهش تعداد نیام تضمین می‌کند. عنوان شده است که با کاهش کشش سطحی بر اثر مغناطیس شدن آب آبیاری، آب به‌سادگی وارد دیواره سلولی می‌شود و در نتیجه در تقسیم سلولی در مناطق رشد گیاه تسریع به عمل آورده و باعث رشد سریع‌تر گیاه می‌شود (آلدسکویی و ابراهیمی ۲۰۰۱). بابانژاد و همکاران (۲۰۱۳) اثر آب مغناطیسی و شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد ریحان را بررسی و گزارش کردند که آب مغناطیسی باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد شده است.

تعداد دانه در سنبله

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به تعداد دانه در سنبله نشان داد که اثر کاربرد آب مغناطیسی شده، تنش شوری، گونه‌های گندم و اثر متقابل شوری × گونه‌های گندم بر این صفت از نظر آماری معنی‌دار گردید (جدول ۳). کاربرد آب مغناطیسی تعداد دانه در سنبله گونه‌های گندم را به‌طور میانگین ۱۵/۴ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۵). بر اساس نتایج مربوط به مقایسه میانگین داده‌ها، با افزایش تنش شوری، تعداد دانه در سنبله گونه‌های گندم کاهش یافت، به‌طوری‌که کمترین مقدار این صفت (۴/۸۵ دانه در سنبله) از گندم دیپلوئید تحت شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد (جدول ۶). در شرایط شوری میزان سدیم برگ افزایش و محتوای آب و کلروفیل کاهش می‌یابند. این شرایط موجب افت سرعت فتوسنتز و ساخت مواد پرورده گردیده و به همین دلیل نه‌تنها تعداد گل کمتری در سنبله تشکیل شد، بلکه تعدادی از گل‌ها نیز ریزش کردند که در نهایت سبب کاهش تعداد دانه در سنبله گردید. تیمارهای مغناطیس باعث کاهش اثرات تنش شوری در گیاه ریحان شده است که دلیل آن می‌تواند احتمالاً به دلیل خنثی شدن بار کاتیون‌های عناصر غذایی توسط میدان مغناطیسی و باقی ماندن آن‌ها در محلول خاک و در نتیجه جذب سریع‌تر آن‌ها توسط گیاه باشد (بسنت و هارشان ۲۰۰۹).

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه گندم در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر شوری و گونه‌های گندم قرار گرفت. اثر تیمار آب مغناطیسی و نیز اثر متقابل عوامل مورد بررسی برای این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۳). با افزایش غلظت نمک در آب آبیاری، وزن هزار دانه گندم کاهش نشان داد، به‌طوری‌که میانگین وزن هزار دانه تحت سطوح شوری ۳ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب ۳/۴۳ و ۴/۳۸ درصد کمتر از شاهد (آبیاری با آب غیر شور) بود (جدول ۷). رقم کوهدشت بیشترین وزن هزار دانه (۴۴/۹ گرم) را در بین گونه‌های مورد بررسی داشت و کمترین مقدار این صفت مربوط به گونه دیپلوئید (۳۵/۱ گرم) بود (جدول ۴). این نتایج حاکی از تفاوت ژنتیکی بالای گونه‌های گندم مورد مطالعه از نظر وزن هزار دانه می‌باشد. شمس الدین سعید و فرح بخش (۲۰۰۷) گزارش کردند که در تیمار شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر وزن هزار بذر

کلزا ۶۷ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. آن‌ها دلیل این امر را اختصاص بخشی از مواد فتوسنتزی تولید شده برای تعدیل فشار اسمزی مورد نیاز گیاه، کاهش فتوسنتز، کاهش رشد بر اثر افزایش پتانسیل اسمزی و کاهش طول دوره پر شدن دانه‌ها دانستند. شهیدی و همکاران (۲۰۱۰) به این نتیجه رسیدند که اختلال در انتقال کربوهیدرات به دانه ممکن است مهم‌ترین دلیل کاهش وزن بذر و افزایش تعداد گلچه سقط شده در جو در شرایط تنش باشد، همچنین وزن بذر به مقدار زیادی به‌وسیله دوره پر شدن دانه تعیین می‌شود. بنابراین تنش‌های محیطی که تمایل به کوتاه کردن دوره پر شدن دانه دارند، به‌طور معنی‌داری وزن بذر را کاهش می‌دهند. افزایش هرکدام از اجزای عملکرد به سهم خود در افزایش عملکرد دانه مؤثر است. به دلیل این‌که رقم چمران دارای وزن هزار دانه بیشتری نسبت به سایر گونه‌های گندم بود، بنابراین، یکی از دلایل عملکرد بالای این رقم، داشتم وزن هزار دانه بیشتر در مقایسه با سایر گونه‌ها است.

عملکرد دانه

عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر آب مغناطیسی، سطوح مختلف شوری، گونه‌های گندم و اثر متقابل شوری × گونه‌های گندم قرار گرفت (جدول ۳). سمیت نمک موجب افت عملکرد دانه در همه گونه‌های گندم شد، با این وجود بیشترین عملکرد دانه (۶/۶ گرم در بوته) از رقم چمران تحت تیمار شاهد (آبیاری با آب غیر شور) حاصل شد (جدول ۶). کاربرد آب مغناطیسی اثر بارزی در افزایش عملکرد دانه گندم داشت و میانگین این صفت را نسبت به شاهد ۱۶/۵ درصد افزایش داد (جدول ۵). کاهش اساسی در محتوای کلروفیل (شکل ۱)، تعداد برگ در بوته (جدول ۶) ، تعداد سنبله در بوته (جدول ۶)، تعداد دانه در سنبله (جدول ۶) و وزن هزار دانه (جدول ۷) در شرایط تنش شوری، در مجموع عملکرد دانه گندم را به شکل منفی تحت تأثیر قرار دادند. بر اساس نتایج به دست آمده، ارقام چمران و کوهدشت دارای بیشترین عملکرد دانه بودند که با توجه به برتری این ارقام در صفات مربوط به اجزای عملکرد، منطقی به نظر می‌رسد.

یکی از عوامل کاهش عملکرد، جذب سدیم توسط ریشه و انتقال و توزیع آن در بخش‌های هوایی گیاه به‌ویژه در برگ‌های پیر قبل از دوره گلدهی بوده که منجر به مرگ برگ و در نهایت کاهش انتقال مواد پرورده به نقاط ذخیره‌ای از جمله دانه می‌باشد. چون وزن نهایی دانه از طریق دوره و سرعت پر شدن دانه تعیین می‌شود، لذا تنش‌های محیطی از جمله خشکی و شوری با ایجاد محدودیت در منبع، باعث کاهش وزن دانه می‌شوند (محمدیان و همکاران ۲۰۱۶). استیکن و توران (۲۰۰۴) گزارش کردند که آب مغناطیسی باعث افزایش عملکرد توت‌فرنگی شده است. بسنت و هارشان (۲۰۰۹) عنوان نمودند که با مغناطیسی شدن آب آبیاری، افزایش در میزان عملکرد محصول کرفس و نخودفرنگی مشاهده شد. یکی از دلایل افزایش عملکرد در گونه‌های گندم با مغناطیس کردن آب شاید به دلیل افزایش سرعت جذب آب حاوی مواد غذایی در گیاه باشد. اندام‌زایی، تولید سطح برگ بیشتر با افزایش تعداد برگ، جلوگیری از برهم خوردن تنظیم اسمزی و یونی و همچنین ممانعت از اختلال‌های متابولیسمی در هنگام تنش توسط گیاه دلایل ایجاد مقاومت به تنش شوری بر اثر تیمار آب مغناطیسی است (خلیل و ابولیلا ۲۰۱۶).

وزن خشک بخش هوایی

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳)، اثر آب مغناطیسی، تنش شوری، گونه‌های گندم و اثر متقابل شوری × 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 ۵). مقایسه میانگین اثر تنش شوری حاکی از آن است که با افزایش غلظت نمک در آب آبیاری، وزن خشک بخش هوایی گونه‌های مختلف گندم کاهش یافت، به‌طوری که بیشترین مقدار این صفت از ارقام کوه-دشت و چمران تحت تیمار شاهد (آبیاری با آب غیر شور) حاصل شد (جدول ۶). کاهش وزن تر و خشک گیاه تحت شوری را می‌توان به سمّیت 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 (محمدیان و همکاران ۲۰۱۶). 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. صادقی (۲۰۱۰) گزارش داد که بر اثر مغناطیسی کردن آب مقطر، آب زیرزمینی و آب شور با شدت‌های مغناطیس ۴۰۰ ، ۵۰۰ و ۶۰۰ گوس، بیش‌ترین وزن تر گندم تحت تأثیر مغناطیس ۴۰۰ گوس به دست آمد. 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 (دهوی و الخیری، ۲۰۱۱).

نتیجه‌گیری

در این آزمایش، میانگین شاخص کلروفیل برگ، صفات رویشی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه گونه‌ها و ارقام گندم در شوری‌های سدیمی متوسط و شدید کاهش معنی‌داری پیدا کردند. مغناطیس کردن آب آبیاری سبب تعدیل اثرات منفی تنش شوری بر شاخص کلروفیل برگ، ارتفاع بوته و پنجه و عملکرد دانه گندم شد، پس این روش به شکل مؤثری گونه‌ها و ارقام گندم را در برابر آسیب ناشی از تنش شوری محافظت کرده است. از نظر تولید محصول، برتری ارقام کوهدشت و چمران نسبت به سایر گونه‌ها مشهود بود. بنابراین، در مناطقی که دسترسی به آب غیر شور امکان‌پذیر نیست، استفاده از آب شور مغناطیسی و کاشت ارقام مقاوم مانند کوهدشت و چمران که از رشد و عملکرد قابل قبولی برخوردار هستند، برای بهبود عملکرد گندم منطقی به نظر می‌رسد.

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

منابع مورد استفاده

Abdul Qados AMS and Hozayn M. 2010. Magnetic water technology, a navel tool to increase growth, yield and chemical constituents of Lentil (*Lens esculenta*) under greenhouse condition. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 7(4): 457-462.

Abedinpour M and Roohani E. 2019. The effect of salinity and magnetic water on yield and water use efficiency of cumin (Case study: Kashmar region). Iranian Journal of Soil and Water Research, 50(4): 807-818. (In Persian).

Aldesuquy HS and Ibrahim AH. 2001. Interactive effect of seawater and growth bio-regulators on water relations, absicisic acid concentration, and yield of wheat plants. Journal of Agronomy and Crop Science, 187: 185-193.

Alikamanollu S, Taycrh O, Atak C and Rzakoulieva A. 2007. Effect of magnetic field and gamma radiation on *Paulownia tomentosa* tissue culture. Biotechnology & Biotechnological Equipment, 21(1): 49-53.

Azarakhshi M, Farzadmehr L, 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 Water Management, 66: 1-16. (In Persian).

Babanejad H, Mokari Gahroodi E, Esnaashari M and Liaghat AM. 2013. Assessment of the interaction of magnetic water and salinity on yield and components of basil plant. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 2(7): 178-183. (In Persian).

Basant LM and Harshan SG. 2009. Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity. Journal of Agricultural Water Management, 96: 1229-1236.

Belyavskaya A. 2004. Biological effects due to weak magnetic field of plants. Advances in Space Research, 34: 66-74.

Bhatti MA, Zulfiqar A, Bakhsh A, Razaq E and Jamali R. 2004. Screening of wheat lines for salinity tolerance. International Journal of Agriculture and Biology, 6: 627-628.

Celik O, Atak C and Rzakulieva A. 2008. Stimulation of rapid regeneration by a magnetic field in paulownia node cultures. Journal of Central European Agriculture, 9: 297-304.

Chookhampaeng S. 2011. The effect of salt stress on growth, chlorophyll content proline content and antioxidative enzymes of pepper (*Capsicum Annuum* L.) seedling. European Journal of Scientific Research, 49: 103-109.

Dadashzadeh S, Seyed Sharifi R and Farzaneh S. 2018. Modeling of some components of grain filling period of barley (*Hordeum vulgare* L.) under salinity stress levels. Iranian Journal of Field Crops Research, 16(2): 493-509. (In Persian).

Dhawi F and Al-Khayri JM. 2011. Magnetic field induced biochemical and growth changes in date palm seedlings. In: Jain S, Al-Khayri J and Johnson D (eds). Date palm biotechnology. Springer, Dordrecht.

El-Hendawy SE, Yuncai H, Yakoutb G, Awad A, Hafiz S and Schmidhalter U. 2005. Evaluating salt tolerance of wheat genotypes using multiple parameters. European Journal of Agronomy, 22: 243-253.

Esanejad N, Omidi H and Paraver A. 2016. Effect of safflower seeds priming with abscisic and gibberellic acid on germination indices in salinity stress condition. Agroecology Journal, 11(4): 1-11. (In Persian).

Esitken A and Turan M. 2004. Altering magnetic field effects on yield and plant nutrient element composision of strawberry. Acta Agriculturae Scandinavica, 54: 135-139.

Evelin H, Devi TS, Gupta S and Kapoor R. 2019. Mitigation of salinity stress in plants by arbuscular mycorrhizal symbiosis: Current understanding and new challenges. Frontiers in Plant Science, 10: 470-491.

FAO. 2019. Agricultural production statistics. Available online at: http://faostat3.fao.org/compare/E.

Farhoudi R and Khodarahmpour Z. 2015. An evolution of 19 wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars regarding the response to salinity stress. Journal of Plant Process and Function, 4(11): 67-78. (In Persian).

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. Journal of Water and Irrigation Management, 2(2): 69-83. (In Persian).

Grewal H and Maheshwari B. 2011. Magnetic treatment of irrigation water and snow pea and chickpea seeds enhances early growth and nutrient contents of seedlings. Bioelectromagnetics, 32: 58-65.

Hernandez JA. 2019. Salinity tolerance in plants: Trends and perspectives. International Journal of Molecular Sciences, 20: 2408-2428.

Hozayn M and Qados A. 2011. Irrigation with magnetized water: a novel tool for improving crop production in Egypt. World Environmental and Water Resources Congress, 2011: 4206-4222.

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 ChemTech Research, 9: 246-258.

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.

Mehanna HT, Fayed TA and Rashedy AA. 2010. Response of two grapevine rootstock to some salt tolerance treatments under saline water condition. Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants, 2: 93-106.

Mohammadian M, Fatahi R and Nouri Emamzadei MR. 2016. Investigation the effect of magnetic salt water on yield and yield components of green pepper. Engineering and Irrigation Sciences, 39(1): 121-130. (In Persian).

Nasir-Khan M, Siddique MH, Mohammad F, Masroor M, Khan A and Naeem M. 2007. Salinity induced changes in growth, enzyme activities, photosynthesis, proline accumulation and yield in linseed genotypes. World Journal of Agricultural Sciences, 3: 685-695.

Nawroz ART and Hero FHK. 2010. Impact of magnetic application on the parameters related to growth of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Jordan Journal of Biological Sciences, 3: 175-184.

Pang X and Deng B. 2008. The changes of macroscopic features and microscopic structure of water under influence of magnetic field. Physica B: Condensed Matter, 403: 71-77.

Ran C, Hongwei Y, Jinsong H and Wanpeng Z. 2009. The effects of magnetic fields on water molecular hydrogen bonds. Journal of Molecular Structure, 93: 15-19.

Saadatian B, Ahmadvand G and Soleymani F. 2011. Investigation of growth indices and yield of two wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in competition with rye (*Secale cereale* L.) and wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) weeds. Journal of Agroecology, 3(4): 454-467. (In Persian).

Sadeghi H. 2010. Design, construction and evaluation of magnetic water supply device for agricultural purposes. M.Sc. Thesis, University of Tehran, Faculty of Agricultural Biosystems Engineering. (In Persian).

Shahidi R, Kamkar B, Latifi N and Galeshi S. 2010. Effect of different salinity levels and exposure times on individual's seed yield and yield components of hull-less barley (*Hordeum vulgare* L.). Electronic Journal of Crop Production, 3(2): 49-63. (In Persian)

Shamsaddin Saied M, Farahbakhsh H and Maghsoodi Mude AA. 2007. Effects of salt stress on germination, vegetative growth and some physiological characteristics of canola. Journal of Soil and Water Sciences, 11(41): 191-203. (In Persian).

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.

Sivritepe N, Sivritepe O, Celik H and Katkat V. 2010. Salinity responses of grafted grapevines: Effects of scion and rootstock genotypes. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 38: 193-201.

Xiaofeng N, Kai D and Fu X. 2011. Experimental study on the effect of magnetic field on the heat conductivity and viscosity of ammonia-water. Energy and Buildings, 43: 1164-1163.

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.

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.