نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران | شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijmapr.2021.342982.2794
جلد ۳۷، شماره ۲، صفحه ۲۲۸-۲۱۴ (۱۴۰۰) | شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0905.1400.37.214.106.2.1575.1576

اثر تیمار آب آبیاری مغناطیسی بر خصوصیات رشدی و عملکردی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) تحت تنش کمبود آب

حسین حمامی[1*] و نرگس ایمانی[2]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

پست الکترونیک: hhammami@birjand.ac.ir؛ homamihossein@gmail.com

۲- دانش‌آموخته کارشناسی، گروه زراعت و علوم خاک، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۹ | تاریخ اصلاح نهایی: بهمن ۱۳۹۹ | تاریخ پذیرش: بهمن ۱۳۹۹

چکیده

کمبود آب یکی از مهم‌ترین چالش‌های بخش کشاورزی به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک دنیاست. با توجه به پتانسیل بالای برخی از گیاهان دارویی برای کشت در شرایط تنش‌زای محیطی، کشت این گیاهان در زمین‌های کم‌بهره می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. از این رو به منظور کاهش اثرات منفی کمبود آب بر رشد گیاه چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.)، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند در سال ۱۳۹۶ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل مقدار آب آبیاری در چهار سطح (۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و تیمار آبیاری با آب مغناطیسی در سه سطح (آب غیرمغناطیسی (شاهد)، آب مغناطیسی شده با یک، و دو بار عبور از میدان مغناطیسی) بود. نتایج آزمایش نشان داد که اثرات تیمارهای مقدار آب آبیاری بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده و تیمارهای آبیاری مغناطیسی بر تمامی صفات به‌استثنای تعداد برگ معنی‌دار بودند. همچنین، اثرات متقابل تیمارهای مقدار آب آبیاری × آبیاری مغناطیسی بر صفات ارتفاع گیاه، تعداد غوزه در بوته، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و وزن خشک کاسبرگ معنی‌دار بدست آمد. کاهش مقدار آب آبیاری از ۱۰۰٪ به ۴۰٪ ظرفیت زراعی باعث کاهش عدد اسپد، قطر ساقه، تعداد برگ و وزن تازه ریشه به ترتیب به میزان ۳۴/۷٪، ۲۳٪، ۴۰/۶٪ و ۲۷/۶٪ شد. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل مقدار آب آبیاری × آبیاری مغناطیسی نشان داد که آبیاری با آب دو بار مغناطیسی شده باعث بهبود تمامی صفات در مقایسه با آبیاری با آب معمولی شد. بنابراین به نظر می‌رسد که کاربرد آبیاری مغناطیسی می‌تواند به‌عنوان یکی از راهکارهای کاهش اثرات منفی ناشی از کمبود آب مدنظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آب مغناطیسی، تنش خشکی، کاسبرگ، گیاه دارویی.

مقدمه

چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) گیاهی دارویی متعلق به خانواده پنیرک (Malvaceae) است که در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری رشد مناسبی دارد و به‌صورت یکساله و یا چندساله رشد می‌کند (Sonar *et al*., 2013). این گیاه بومی غرب آفریقا و هند است و در بسیاری از نواحی دیگر دنیا مانند آسیا، آمریکای مرکزی و استرالیا کشت می‌گردد (Sonar *et al*., 2013). در ایران نیز در برخی مناطق مانند منطقه دلگان استان سیستان و بلوچستان با سطح کشت حدود ۳۰۰ هکتار و عملکرد حدود ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار کشت می‌شود (Fallahi *et al*., 2017). این گیاه به‌منظور بهره‌برداری از برگ، بذر، فیبر ساقه و کاسبرگ کشت می‌شود. کاسبرگ حاوی مواد باارزش زیادی مانند ویتامین‌های مختلف، مواد معدنی، پلی‌ساکاریدها، آنتوسیانین‌ها، بتاکاروتن، آسکوربیک اسید و اسید سیتریک است (Fallahi *et al*., 2017). کاربردهای درمانی بسیاری در مورد چای ترش گزارش شده است، به‌عنوان مثال کاربرد آن برای درمان دندان درد، عفونت‌های ادراری، سرفه، اختلالات صفراوی، فشار خون بالا، چربی خون بالا، محافظت از کبد، مشکلات قلبی و عروقی و بهبود سیستم ایمنی تأیید شده است (Riaz & Chopra, 2018).

خشکی یا کمبود آب که در نتیجه کمبود بارندگی و یا کمبود آب آبیاری روی می‌دهد یکی از مهمترین عواملی است که باعث کاهش تولید محصولات کشاورزی در دنیا شده و امنیت غذایی را در معرض خطر قرار می‌دهد (Zhang *et al*., 2018؛ Shirinbayan *et al*., 2019). خشکی باعث افزایش تولید اکسیژن‌های فعال (Pinheiro & Chaves, 2010؛ Gill & Tuteja, 2010) و کاهش قابلیت آب برگ (Farooq *et al*., 2009)، کاهش فتوسنتز (Pinheiro & Chaves, 2010)، کاهش سطح برگ (Zhou *et al*., 2020)، بسته شدن روزنه‌ها (Gill & Tuteja, 2010)، کاهش فعالیت آنزیم‌های دخیل در تولید ATP (Adenosine triphosphate) (Pinheiro & Chaves, 2010) و در نهایت کاهش رشد ریشه و اندام‌های هوایی شده که در نهایت باعث کاهش عملکرد تولیدی توسط گیاهان می‌شود (Farooq *et al*., 2009؛ Farooq *et al*., 2012). ازاین‌رو یافتن رهیافت‌هایی برای کاهش اثرهای منفی خشکی بر رشد گیاهان بسیار ضروریست. از آنجا که چای ترش دارای دوره رشد طولانی بوده و همچنین در نقاط گرمسیر با بارندگی کم کشت می‌شود، بنابراین مواجه شدن با شرایط خشکی در طول دوره رشد این گیاه بسیار محتمل است. بنابراین جستجوی روش‌های مناسب و کم‌هزینه برای کاهش اثرهای خشکی بر رشد این گیاه برای حصول عملکرد مناسب ضروریست. یکی از روش‌ها استفاده از ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی است. واکنش متفاوت ژنوتیپ‌های مختلف چای ترش به تنش خشکی گزارش شده است. ژنوتیپ‌های مقاوم چای ترش در شرایط خشکی دارای قدرت رشد بیشتری می‌باشند. در شرایط تنش خشکی ارقام مقاوم دارای رشد بیشتر، زیست‌توده تولیدی بیشتر، فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتر و تولید ترکیب‌های تعدیل‌کننده اثر تنش مانند پرولین در مقایسه با ارقام حساس هستند که سبب بهبود عملکرد در این شرایط می‌شود (Mohamed *et al*., 2015).

روش‌های بسیاری برای کاهش اثرهای منفی خشکی بر رشد گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. ازجمله این روش‌ها می‌توان پیش‌تیمار بذر و یا محلول‌پاشی روی سطح سبز گیاهان با ترکیب‌های مختلف مانند استریگولاکتان‌ها (Strigolactones) (Min *et al*., 2019)، گلایسین بتائین (Glycinebetaine) (Iqbal *et al*., 2008)، ملاتونین (Melatonin) (Ye *et al*., 2016)، آبسیزیک اسید (Abscisic acid) (Mohammadi *et al*., 2017)، سالیسیلیک اسید (Salicylic acid) (Dianat *et al*., 2016)، محلول‌پاشی با ترکیب‌های سیلیکونی (Ali & Hassan, 2017)، مغناطیسی کردن بذر (Vashisth & Nagarajan, 2010)، استفاده از آبیاری مغناطیسی (Surendran *et al*., 2016) را نام برد. در این میان یکی از روش‌های بهبود رشد

گیاه در شرایط کمبود آب، استفاده از آبیاری با آب مغناطیسی است (Surendran *et al*., 2016). خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب مانند قابلیت هدایت الکتریکی (Ghadami Firouzabadi *et al*., 2016)، ظرفیت حل‌کنندگی (Moosa *et al*., 2015)، کشش سطحی (Parsa *et al*., 2013)، اسیدیته (El-Sayed & El-Sayed, 2014؛ Garcia-Reina & Pascual, 2001) و لزجت (Chang & Weng, 2006) در حالت مغناطیسی شده در مقایسه با آب معمولی تغییر می‌کند که باعث افزایش کارآیی مصرف آب می‌شود. علاوه‌براین آب مغناطیسی شده باعث تغییر قابلیت هدایت الکتریکی (Maheshwari & Grewal, 2009)، تحرک عناصر غذایی در خاک (Hozayn & Abdul-Qados, 2010) و ظرفیت نگهداری آب در خاک (Al-Khazan *et al*., 2011) می‌شود که سبب بهبود رشد گیاه می‌گردد.

آبیاری با آب مغناطیسی از طریق افزایش جوانه‌زنی و بهبود یکنواختی سبز شدن (Rifna *et al*., 2019)، افزایش سطح برگ (El-Zawily *et al*., 2019)، افزایش محتوای کلروفیل و رنگدانه‌ها (Abdul-Qados & Hozayn, 2010)، افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه (Baghel *et al*., 2018)، کاهش نشت یونی (Surendran *et al*., 2016)، افزایش بهره‌وری آب (Maheshwari & Grewal, 2009) و در نهایت افزایش سرعت رشد و تولید زیست‌توده گیاه (El-Zawily *et al*., 2019) در شرایط کمبود و عدم کمبود آب می‌گردد. خشکی به‌عنوان یکی از مهمترین مسائلی است که در جهان رو به گسترش است. با توجه به اینکه حدود ۹۰٪ مساحت ایران طبق شاخص دمارتین (de Martonne) و شاخص پینا (Pinna) دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک است (Tabari *et al*., 2014)، بنابراین مطالعه در زمینه روش‌های بهبود تولید در شرایط تنش خشکی ضروریست. با توجه به قابلیت بالای برخی از گیاهان دارویی برای کشت در شرایط تنش‌زای محیطی، کشت گیاهان دارویی در این مناطق می‌تواند به‌عنوان گیاهان ارزشمند، مورد توجه قرار گیرد.

از آنجا که تاکنون تحقیقات کمی در زمینه اثر آبیاری مغناطیسی در شرایط رطوبتی مختلف خاک و همچنین ارزیابی واکنش گیاه دارویی به تیمار آب مغناطیسی انجام شده است، بنابراین این مطالعه با هدف بررسی واکنش‌های رشدی و عملکردی گیاه چای ترش به کاربرد آب مغناطیسی در شرایط مختلف رطوبتی خاک انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر آبیاری مغناطیسی بر خصوصیات رشدی و عملکرد کاسبرگ چای ترش آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند در سال ۱۳۹۶ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح آبیاری (شامل: آبیاری براساس ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) و سه سطح آبیاری با آب مغناطیسی (شامل: آبیاری با آب معمولی، یک‌بار عبور از میدان مغناطیسی و دو بار عبور از میدان مغناطیسی) بود. خاک گلدان‌های آزمایشی از محلی نزدیک گلخانه تهیه شده که خصوصیات آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

درصد اندازه ذرات			بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری ($g.cm^{-3}$)	هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته	کربن آلی (٪)	فسفر قابل‌جذب ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل‌جذب ($mg.kg^{-1}$)
رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)							
۱۳/۳	۴۲/۶	۴۴/۱	لوم	۱/۳۸	۲/۵۸	۷/۳	۰/۵۱۱	۱۱/۰۱	۲۸۵/۴

قبل از پر کردن گلدان‌ها، ابتدا میزان آب در ظرفیت زراعی خاک تعیین شد. برای این منظور ابتدا مقدار آب مورد نیاز برای تهیه گل اشباع از خاک خشک شده به مدت ۴۸ ساعت در آون محاسبه شد. ابتدا ظرف توزین شده و بعد خاک خشک به میزان ۱۰۰ گرم به داخل آن ریخته شد. سپس آب به خاک اضافه شد تا گل اشباع تشکیل شود (گل دارای سطح براق و پس از ایجاد شیار و ضربه به لبه‌های ظرف شیار بسته شد). پس از تهیه گل اشباع، ظرف به داخل آون به مدت ۴۸ ساعت منتقل و بعد دوباره توزین شد و مقدار آب مورد نیاز برای ایجاد حالت اشباع محاسبه شد. برای تعیین ظرفیت زراعی به یک ظرف زهکش‌دار، آب به میزان ایجاد حالت اشباع اضافه شد و ظرف در محیط آزمایشگاه و در سایه قرار داده شد. سپس هر ۱۲ ساعت توزین شده تا زمانی که وزن نمونه در ۳ بار اندازه‌گیری ثابت شد. وزن آب محاسبه شد و به‌عنوان آب مورد نیاز برای ایجاد ظرفیت زراعی تعیین گردید (Klute, 1986؛ Romano & Santini, 2002).

برای اجرای آزمایش در شرایط گلخانه، ابتدا خاک‌ها در سایه خشک شدند و بعد خاک‌ها در آون به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند تا تقریباً به‌صورت کامل خشک شوند. سپس گلدان‌ها (سطل ۷: دارای قطر دهانه ۲۳ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۱/۵ سانتی‌متر) با خاک به میزان شش کیلوگرم پر شدند. تمامی گلدان‌ها روز قبل از کاشت به میزان وزن لازم تا ظرفیت زراعی آبیاری شدند و در زیر آنها زیر گلدانی پلاستیکی قرار داده شد. سپس تعداد ۱۰ عدد بذر چای ترش رقم سابداریفا در لایه سطحی خاک قرار داده شده و با ۲۰۰ گرم خاک خشک برای هر گلدان سطح بذرها پوشانده شد (تاریخ کاشت ۲۰ اردیبهشت ۱۳۹۶). پس از جوانه‌زنی و استقرار گیاه (مرحله چهار برگی کامل) گیاهان هر گلدان به سه عدد تنک شدند. پس از استقرار گیاه (چهار برگی کامل و شروع ظهور برگ پنجم) تیمارهای آبیاری شروع شد. تنک در طی فصل رشد در چهار مرحله (پس از تنک کردن و به‌ترتیب ۳، ۶ و ۹ هفته پس از تنک کردن) انجام گردید و برای هر گلدان از ۲۵۰CC محلول کود کامل N:P:K (۲۰:۲۰:۲۰) استفاده شد. آبیاری‌ها براساس تیمارها (درصد ظرفیت زراعی) و هر دو روز یک‌بار با وزن کردن گلدان‌ها تا پایان فصل رشد انجام شد. به‌منظور اعمال تیمار مغناطیسی از دستگاه مغناطیسی استفاده شد. در تمامی آبیاری‌های انجام‌شده طی فصل رشد تیمار آب معمولی، یک و دوبار عبور داده شده از میدان مغناطیسی اعمال شد.

دو هفته قبل از برداشت گیاهان (تاریخ برداشت ۲۰ آبان ۱۳۹۶) تعداد برگ‌های گیاهان هر گلدان شمارش شد و عدد اسپد به کمک دستگاه اسپد (Minolta SPAD-502) اندازه‌گیری شد (در هر گلدان ۱۰ اندازه‌گیری از جدیدترین برگ‌های بالغ گیاهان هر گلدان اندازه‌گیری و بعد میانگین گرفته شد). قبل از برداشت ارتفاع گیاهان از سطح خاک تا انتهایی‌ترین بخش ساقه با استفاده از دو خط‌کش فلزی (۱۰۰ و ۵۰ سانتی‌متری) اندازه‌گیری شد. برداشت کاسبرگ‌های رسیده از گیاهان هر گلدان از دو هفته قبل از برداشت گیاهان و در چند مرحله انجام شد. سپس گیاهان از سطح خاک بریده شده و وزن شدند. ریشه‌های موجود در هر گلدان به دقت با شستشو از خاک جدا شده و پس از خروج آب سطحی (۱۰ دقیقه در سایه) به‌وسیله ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شدند. سپس به‌منظور تعیین وزن خشک، نمونه‌های حاوی ریشه و اندام‌های هوایی به آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت منتقل شد. سپس نمونه‌ها دوباره به‌وسیله ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شدند. صفت‌های اندازه‌گیری شده، وسیله اندازه‌گیری و واحد اندازه‌گیری در جدول ۲ نشان داده شده است.

برای انجام تجزیه‌وتحلیل از نرم‌افزار SAS 9.1 استفاده شد. برای مقایسه میانگین‌ها نیز از روش LSD محافظت شده در سطح احتمال ۵٪ استفاده گردید.

جدول ۲- صفات اندازه‌گیری شده چای ترش

	صفت‌های اندازه‌گیری شده				
	ارتفاع گیاه	عدد اسپد	تعداد غوزه	تعداد برگ	قطر ساقه
وسیله یا روش اندازه‌گیری	خط‌کش	دستگاه spad	شمارش	شمارش	کولیس دیجیتال
واحد	سانتی‌متر	میانگین ۱۰ اندازه‌گیری در گلدان	تعداد در بوته	تعداد در بوته	میانگین در گلدان

نتایج

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان‌دهنده اثر معنی‌دار سطوح آبیاری بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده چای ترش شامل ارتفاع گیاه، عدد اسپد، تعداد غوزه در بوته، تعداد برگ در بوته، قطر ساقه، وزن تازه اندام هوایی، وزن تازه و خشک اندام هوایی، وزن تازه و خشک ریشه و وزن خشک کاسبرگ است (در سطح معنی‌داری ۱٪) (جدول ۳). اثر آبیاری مغناطیسی بر تعداد برگ در بوته معنی‌دار نیست. در حالی‌که سایر صفت‌ها شامل ارتفاع گیاه، تعداد غوزه در بوته، قطر ساقه، وزن تازه اندام هوایی، وزن تازه و خشک اندام هوایی، وزن تازه اندام هوایی و ریشه و وزن خشک کاسبرگ در سطح معنی‌داری ۱٪ معنی‌دار بودند و عدد اسپد در سطح معنی‌داری ۵٪ تحت تأثیر آبیاری مغناطیسی قرار گرفت.

اثرهای ساده سطوح آب آبیاری بر عدد اسپد، تعداد برگ، قطر ساقه و وزن تازه ریشه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر متقابل سطوح آبیاری در نوع آبیاری بر عدد اسپد، تعداد برگ، قطر ساقه و وزن تازه ریشه غیرمعنی‌دار است. ازاین‌رو به بررسی اثرهای ساده تیمارهای سطوح آبیاری بر این صفات پرداخته شد. نتایج مقایسه میانگین اثرهای ساده تیمارهای سطوح آبیاری بر صفت‌های عدد اسپد، تعداد برگ، قطر ساقه و وزن تازه ریشه در جدول ۴ نشان داده شده است. کاهش مقدار آب آبیاری از ۱۰۰٪ به ۴۰٪ ظرفیت زراعی باعث کاهش عدد اسپد، قطر ساقه، تعداد برگ و وزن تازه ریشه به‌ترتیب به میزان ۳۴/۷٪، ۲۳٪، ۴۰/۶٪ و ۲۷/۶٪ شد. کاهش میزان آبیاری به ۸۰٪ ظرفیت زراعی باعث کاهش معنی‌دار تعداد برگ و قطر ساقه در مقایسه با شاهد (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) گردید. در حالی‌که برای عدد اسپد و وزن تازه ریشه کاهش معنی‌دار از میزان آبیاری ۶۰٪ ظرفیت زراعی در مقایسه با شاهد مشاهده شد.

اثرهای ساده آبیاری مغناطیسی بر عدد اسپد، تعداد برگ، قطر ساقه و وزن تازه ریشه

با توجه به عدم معنی‌داری اثرهای متقابل سطوح آبیاری در نوع آبیاری بر عدد اسپد، تعداد برگ، قطر ساقه و وزن تازه ریشه اثرهای ساده آبیاری مغناطیسی مورد بحث قرار گرفت. مقایسه‌های میانگین اثرهای ساده آبیاری مغناطیسی بر عدد اسپد، تعداد برگ، قطر ساقه و وزن تازه ریشه در جدول ۵ نشان داده شده است. تیمار آبیاری با آب یک‌بار مغناطیسی شده در مقایسه با آب معمولی باعث افزایش معنی‌دار قطر ساقه و وزن تازه ریشه شد. در حالی‌که تیمار آبیاری با آب دو بار مغناطیسی شده در مقایسه با آب معمولی اثر معنی‌داری بر عدد اسپد نشان داد. تعداد برگ نیز تحت تأثیر معنی‌دار آبیاری با آب مغناطیسی قرار نگرفت.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات (**Mean squares**)) صفات اندازه‌گیری شده چای ترش تحت سطوح مختلف آب آبیاری و آبیاری مغناطیسی

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	عدد اسپد	تعداد غوزه در بوته	تعداد برگ در بوته	قطر ساقه	وزن تازه اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تازه ریشه	وزن خشک ریشه	وزن خشک کاسبرگ
سطوح آبیاری	۳	۶۳۴۹/۷۰ **	۳۱۲/۶۰ **	۵۹۷/۱۴ **	۱۹۲/۲۵ **	۳۵/۶۰ **	۴۸۸/۲۷ **	۲۴/۴۶ **	۵۸/۳۶ **	۴/۸۶ **	۵۷۷/۳۱ **
نوع آبیاری	۲	۶۹۷/۱۹ **	۴۹/۰۱ *	۳۳۵/۰۸ **	۳۰/۵۳ ns	۱۷/۸۴ **	۱۸۵/۸۶ **	۹/۳۰ **	۵۴/۷۸ **	۶/۴۲ **	۱۰۷/۲۱ **
سطوح آبیاری × نوع آبیاری	۶	۸۵/۶۸ **	۸/۱۱ ns	۱۳/۵۳ *	۱۰/۹۷ ns	۴/۲۵ ns	۱۹/۵۸ *	۰/۸۸۹ **	۴/۷۹ ns	۰/۷۶ **	۵/۶۷ *
خطا	۲۴	۱۸/۸۹	۱۰/۳۸	۴/۴۱	۱۴/۳۳	۲/۴۲	۵/۵۰	۰/۲۶	۲/۵۴	۰/۱۸	۲/۰۷
ضریب تغییرات (٪)	_	۴/۰۱	۹/۷۶	۹/۳۸	۱۷/۴۵	۹/۲۰	۶/۹۵	۶/۸۸	۹/۴۴	۸/۹۹	۷/۷۷

ns، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۵٪ و ۱٪ است.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرهای ساده صفات وزن تازه، قطر ساقه، تعداد برگ و عدد اسپد چای ترش تحت تأثیر تیمار آبیاری

تیمار آبیاری	عدد اسپد	تعداد برگ در گیاه	قطر ساقه (میلی‌متر)	وزن تازه ریشه (گرم در گلدان)
۱۰۰٪ ظرفیت زراعی	۴۰/۰۱ a	۲۷/۱۱ a	۱۹/۵۴ a	۱۹/۳۱ a
۸۰٪ ظرفیت زراعی	۳۴/۹۲ ab	۲۳/۱۱ b	۱۷/۳۴ b	۱۸/۷۰ a
۶۰٪ ظرفیت زراعی	۳۰/۹۹ bc	۲۰/۴۴ b	۱۵/۷۹ c	۱۵/۵۳ b
۴۰٪ ظرفیت زراعی	۲۶/۱۲ c	۱۶/۱۱ c	۱۵/۰۴ c	۱۳/۹۸ c

اعداد میانگین در هر ستون که حداقل دارای یک حرف مشابه می‌باشند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرهای ساده صفات وزن تازه، قطر ساقه، تعداد برگ و عدد اسپد چای ترش تحت تیمار آبیاری مغناطیسی

تیمار آبیاری	عدد اسپد	تعداد برگ در گیاه	قطر ساقه (میلی‌متر)	وزن تازه ریشه (گرم در گلدان)
آب معمولی	۳۱/۱۳ b	۱۹/۹۲ a	۱۵/۷۰ a	۱۴/۶۶ c
یک‌بار عبور از میدان	۳۲/۷۵ ab	۲۳/۰۰ a	۱۷/۹۲ b	۱۷/۰۵ b
دو بار عبور از میدان	۳۵/۱۵ a	۲۲/۱۷ a	۱۷/۳۰ b	۱۸/۹۲ a

اعداد میانگین در هر ستون که حداقل دارای یک حرف مشابه می‌باشند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند.

اثرهای متقابل معنی‌دار سطوح آب آبیاری در آبیاری با آب مغناطیسی در صفات اندازه‌گیری شده

نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل سطوح آب آبیاری در آبیاری با آب مغناطیسی شده در جدول ۳ نشان داده شده است. اثرهای متقابل برای ارتفاع گیاه، تعداد غوزه در بوته، وزن تازه و خشک اندام هوایی، وزن تازه ریشه و وزن خشک کاسبرگ در سطح ۱٪ معنی دار بود. بنابراین برای آنالیز تکمیلی پس از تجزیه واریانس، برش‌دهی در صفت‌های دارای اثر متقابل معنی دار انجام شد. نتایج تجزیه واریانس برش‌دهی اثرهای متقابل سطوح آب آبیاری در آبیاری با آب مغناطیسی شده در جدول ۶ نشان داده شده است. با توجه به نتایج برش دهی اثر آبیاری مغناطیسی در تمام سطوح آبیاری در صفت های ارتفاع گیاه، تعداد غوزه در بوته و وزن خشک کاسبرگ معنی‌دار است. نتایج برش‌دهی نشان داد که وزن تازه اندام هوایی و وزن خشک اندام هوایی در سطوح آبیاری ۴۰٪ و ۶۰٪ ظرفیت زراعی معنی‌دار است، در حالی‌که این صفت ها در سطوح آبیاری ۸۰٪ و ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی تحت تأثیر معنی دار آبیاری مغناطیسی گرفتند. در مورد وزن خشک ریشه نیز نتایج برش دهی به‌ترتیب اثر غیر معنی‌دار در سطح آبیاری ۴۰٪ ظرفیت زراعی و معنی دار در سطوح آبیاری ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی را نشان داد.

نتایج مقایسه میانگین‌های اثرهای متقابل سطوح آبیاری در نوع آبیاری در جدول ۷ نشان داده شده است. نتایج اثرهای متقابل در صفت ارتفاع گیاه نشان داد که در تمامی سطوح آبیاری تیمار آب دو بار مغناطیسی شده از سایر تیمارها اثر معنی‌دار و بیشتری داشت. با توجه به مقایسه میانگین حاصل از روش برش‌دهی، به استثنای تیمار سطح آبیاری ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی در بقیه سطوح آبیاری اختلافی در بین تیمار آبیاری با آب معمولی و آب یک‌بار مغناطیسی شده مشاهده نشد (حروف بزرگ). بیشترین مقدار ارتفاع گیاه در تیمار سطح آبیاری ۱۰۰٪ و آب دو بار مغناطیسی شده مشاهده شد و کمترین مقدار ارتفاع در تیمار آبیاری با آب معمولی در سطح ۴۰٪ ظرفیت زراعی مشاهده شد. ارتفاع گیاه در تیمارهای ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی در تیمارهای آب دو بار مغناطیسی شده در مقایسه با آب معمولی به‌ترتیب ۶/۲، ۱۱، ۶/۹ و ۵۰/۳ درصد افزایش یافت.

جدول ۶- تجزیه واریانس برش‌دهی اثرهای متقابل سطوح آب آبیاری در آبیاری با آب مغناطیسی شده در صفات اندازه‌گیری شده چای ترش

سطوح آبیاری	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	تعداد غوزه در بوته	وزن تازه اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	وزن خشک کاسبرگ
۴۰٪ ظرفیت زراعی	۲	۸۸/۱۱*	۶۴/۱۱**	۱۳/۰۷ ns	۰/۷۱ ns	۰/۴۷ ns	۲۸/۲۳**
۶۰٪ ظرفیت زراعی	۲	۱۲۷/۰۰**	۷۵/۴۴**	۱۰/۰۹ ns	۰/۵۷ ns	۰/۶۷*	۵۴/۳۳**
۸۰٪ ظرفیت زراعی	۲	۱۶۵/۳۳**	۱۲۶/۳۳**	۶۹/۶۰**	۳/۵۵**	۱/۰۳**	۵۵/۶۳ **
۱۰۰٪ ظرفیت زراعی	۲	۶۷۳/۷۸**	۱۰۹/۷۸**	۱۵۱/۸۴**	۷/۱۴**	۶/۵۲**	۳۶/۰۳**

ns، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۵٪ و ۱٪ است.

در سطح آبیاری ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی تعداد غوزه در بوته در تیمارهای آبیاری با آب یک‌بار عبور از میدان مغناطیسی و دو بار عبور از میدان مغناطیسی به‌ترتیب ۱۶/۹٪ و ۴۰٪ در مقایسه با آب معمولی افزایش یافت (جدول ۷). در شرایط استفاده از آب یک‌بار مغناطیسی شده در تیمارهای آبیاری با مقدار ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب ۳۰، ۶۷/۵ و ۱۴۶/۶ درصد افزایش تعداد غوزه در بوته مشاهده شد که همگی در مقایسه با آبیاری با آب معمولی معنی‌دار بودند (جدول ۷). این در حالیست که آبیاری با آب دو بار مغناطیسی شده در تیمارهای آبیاری با مقدار ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب ۴۲/۹، ۶۷/۵ و ۲۴۰ درصد افزایش تعداد غوزه در بوته مشاهده شد که همگی در مقایسه با تیمار آبیاری معمولی معنی‌دار بودند. نتایج مقایسه میانگین برش‌دهی در صفت تعداد غوزه در بوته نشان داد که در تمامی تیمارهای آبیاری با آبهای یک‌بار و دو بار مغناطیسی شده اثر معنی‌داری در مقایسه با آبیاری با آب معمولی دارد.

نتایج مقایسه میانگین اثرهای متقابل سطوح آبیاری در نوع آبیاری نشان داد که آبیاری با آب مغناطیس شده در شرایط آبیاری با ۱۰۰٪ و ۸۰٪ ظرفیت زراعی اثر معنی‌داری بر وزن تازه و خشک چای ترش ندارد. نتایج برش‌دهی اثرهای متقابل عدم تأثیر معنی‌دار آبیاری مغناطیسی بر وزن تازه و خشک چای ترش را در شرایط ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی نشان داد. در حالی‌که این نتایج در مورد تیمار ۸۰٪ ظرفیت زراعی وجود نداشت و اختلاف معنی‌داری بین آبیاری دو بار مغناطیسی شده در مقایسه با آب معمولی وجود داشت. در تیمارهای آبیاری ۶۰٪ و ۴۰٪ ظرفیت زراعی نتایج اثرهای متقابل سطح آبیاری در آبیاری مغناطیسی با آب دو بار مغناطیسی شده برای مقایسه میانگین اثرهای معمولی و برش‌دهی در مقایسه با آب معمولی معنی‌دار بود.

در تمامی سطوح آبیاری تیمار دو بار مغناطیسی شده باعث افزایش وزن خشک ریشه در مقایسه با تیمار آبیاری معمولی شد. آب دو بار مغناطیسی شده در ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به آب معمولی به‌ترتیب باعث ۳۱، ۱۹، ۱۶ و ۱۲۶ درصد افزایش در وزن خشک ریشه شد. بیشترین میزان وزن خشک ریشه در تیمار سطح آبیاری ۸۰٪ ظرفیت زراعی و آبیاری با آب دو بار مغناطیسی شده مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین برش‌دهی نشان داد که آبیاری مغناطیسی در هر دو سطح در تیمار آبیاری ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک ریشه در مقایسه با آبیاری معمولی شده است. در حالی‌که در تیمارهای ۸۰٪ و ۴۰٪ ظرفیت زراعی آبیاری دو بار مغناطیسی شده اثر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه داشت. در تیمار آبیاری ۶۰٪ ظرفیت زراعی اختلافی بین آبیاری معمولی و مغناطیسی مشاهده نشد.

نتایج مقایسه میانگین اثرهای متقابل سطوح آبیاری در آبیاری مغناطیسی نشان داد که وزن خشک کاسبرگ به استثنای تیمار ۶۰٪ ظرفیت زراعی در بقیه سطوح آبیاری در هر دو تیمار آبیاری با آب یک‌بار و دو بار مغناطیسی شده بیشتر از آبیاری با آب معمولی است. استفاده از آب دو بار مغناطیسی شده در تیمارهای آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک کاسبرگ‌ها به‌ترتیب به میزان ۲۴/۶، ۴۷/۶ و ۱۴۳ درصد شد. نتایج مقایسه میانگین حاصل از برش‌دهی نشان داد که در تمام سطوح آبیاری وزن خشک کاسبرگ با استفاده از آبیاری دو بار مغناطیسی شده در مقایسه آبیاری با آب معمولی افزایش معنی‌داری را نشان داد.

بحث

نتایج این مطالعه نشان داد که کاهش محتوای آب خاک نسبت به ظرفیت زراعی باعث کاهش صفت‌های رویشی و زایشی گیاه چای ترش شامل ارتفاع گیاه، عدد اسپد، تعداد غوزه در بوته، تعداد برگ در بوته، قطر ساقه، وزن تازه اندام هوایی، وزن تازه و خشک اندام هوایی، وزن تازه و خشک ریشه و وزن خشک کاسبرگ در مقایسه با تیمار آبیاری در حد ظرفیت زراعی می‌شود. اثر منفی کمبود رطوبت خاک به عنوان یکی از محدودیت‌های بسیار تأثیرگذار بر خصوصیات رشدی گیاهان مختلف ثابت شده است (Farooq *et al*., 2009). نتایج بررسی انجام‌شده توسط Mirshekari و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که کاهش قابلیت آب باعث کاهش رشد چای ترش شده و وزن تازه و خشک اندام هوایی و ریشه این گیاه در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در مطالعات دیگر نیز کاهش تعداد غوزه در بوته، عملکرد کاسبرگ و زیست‌توده تولیدی در گیاه چای ترش در نتیجه کاهش آبیاری از ۱۰۰٪ نیاز آبی به ۶۰٪ نیاز آبی گزارش شده است (Parsa Motlagh *et al*., 2020). با توجه به اثرهای منفی ناشی از کمبود محتوای آب خاک بر رشد و عملکرد گیاهان، یافتن رهیافت‌های نوین با کمترین اثرهای منفی بر محیط‌زیست ضروریست. استفاده از آبیاری مغناطیسی می‌تواند تا حدودی اثرهای منفی ناشی از کمبود آب را در گیاهان کاهش دهد (Surendran *et al*., 2016). بهبود جوانه‌زنی بذرها و افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده ذخایر غذایی بذر در تیمار با آب مغناطیسی گزارش شده است (Rifna *et al*., 2019). افزایش پایداری غشای سلولی در نتیجه تیمار آبیاری با آب مغناطیسی گزارش شده است (Surendran *et al*., 2016). افزایش بهره‌وری آب به‌ویژه در مناطق دارای کمبود آب مورد نیاز برای آبیاری محصولات کشاورزی ازجمله مسائلی است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد توجه قرار می‌گیرد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که کاربرد آب مغناطیسی می‌تواند باعث افزایش بهره‌وری آب در گیاهان زراعی شود (Maheshwari & Grewal, 2009). بهبود تولید ماده خشک توسط گیاهان در شرایط استفاده از آب مغناطیسی نه تنها در شرایط کمبود آب مورد نیاز برای رشد متعادل گیاه بلکه در شرایط عدم کمبود آب نیز گزارش شده است (El-Zawily *et al*., 2019).

جدول ۷- اثر متقابل سطوح مختلف آب آبیاری و آبیاری مغناطیسی بر صفت‌های اندازه‌گیری شده چای ترش

تیمار		ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	تعداد غوزه در بوته	وزن تازه اندام هوایی (گرم در گلدان)	وزن خشک اندام هوایی (گرم در گلدان)	وزن خشک ریشه (گرم در گلدان)	وزن خشک کاسبرگ (گرم در گلدان)
سطوح آبیاری (ظرفیت زراعی)	نوع آبیاری						
٪۱۰۰	آب معمولی	۱۲۸/۶۷ b (B)	۲۵/۶۷ c (C)	۳۹/۷۰ ab (A)	۸/۷۹ ab (A)	۳/۷۷ f (C)	۲۳/۴۱ c (B)
	یک‌بار عبور از میدان	۱۲۶/۳۳ b (C)	۳۰ b (B)	۴۳/۱۵ a (A)	۹/۶۳ a (A)	۴/۴۴ d-f (B)	۲۸/۱۴ ab (AB)
	دو بار عبور از میدان	۱۳۶/۶۷ a (A)	۳۵/۶۷ a (A)	۴۳/۴۷ a (A)	۹/۶۳ a (A)	۴/۹۴ b-d (A)	۲۹/۱۶ a (A)
٪۸۰	آب معمولی	۱۱۷/۶۷ cd (B)	۲۱ d (B)	۳۴/۶۲ cd (B)	۷/۶۲ cd (B)	۴/۹۳ b-d (B)	۱۷/۶۱ d (C)
	یک‌بار عبور از میدان	۱۲۳/۶۷ bc (B)	۲۷/۳۳ (bc) (A)	۳۷/۴۰ bc (AB)	۸/۲۸ bc (AB)	۵/۴۸ a-c (AB)	۲۳/۰۹ c (B)
	دو بار عبور از میدان	۱۳۰/۶۷ ab (A)	۳۰ b (A)	۳۸/۰۸ bc (A)	۸/۴۴ bc (A)	۵/۸۷ a (A)	۲۵/۹۹ b (A)
٪۶۰	آب معمولی	۱۰۶ e (B)	۱۴/۳۳ ef (B)	۲۶/۱۴ g (B)	۵/۷۸ f (B)	۴/۸۷ c-e (A)	۱۵/۰۲ e (B)
	یک‌بار عبور از میدان	۱۰۴/۶۷ e (B)	۲۶/۶۷ bc (A)	۳۱/۹۴ de (AB)	۷/۱۲ de (AB)	۵/۳۷ a-c (A)	۱۷/۴۴ de (A)
	دو بار عبور از میدان	۱۱۳/۳۳ d (A)	۲۴ cd (A)	۳۵/۷۰ cd (A)	۷/۹۴ b-d (A)	۵/۶۵ ab (A)	۱۷/۳۵ de (A)
٪۴۰	آب معمولی	۵۸/۳۳ h (B)	۵ g (C)	۱۶/۸۲ h (C)	۳/۷۳ g (C)	۲/۳۰ g (B)	۴/۸۵ h (C)
	یک‌بار عبور از میدان	۶۷/۶۷ g (B)	۱۲/۳۳ f (B)	۲۷/۷۸ fg (B)	۶/۱۴ f (B)	۴/۱۹ ef (A)	۸/۲۳ g (B)
	دو بار عبور از میدان	۸۷/۶۷ f (A)	۱۷ e (A)	۳۰/۱۵ ef (A)	۶/۶۰ ef (A)	۵/۲۰ a-c (A)	۱۱/۷۸ f (A)

میانگین‌های هر ستون که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند.

حروف کوچک نشان‌دهنده مقایسه میانگین اثرهای متقابل اصلی و حروف بزرگ (داخل پرانتز) نشان‌دهنده مقایسه میانگین حاصل از برش‌دهی است.

افزایش معنی دار قطر ساقه، سطح برگ و زیست‌توده برگ گیاهچه‌های یک‌ساله انگور (*Vitis vinifera*) در نتیجه استفاده از آب مغناطیسی برای آبیاری گزارش شده است (Liu *et al*., 2020). افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata*) (۱۰/۴٪) و عملکرد دانه (۲۵/۸٪) در شرایط استفاده از آب مغناطیسی برای آبیاری در مقایسه با آب معمولی (غیر مغناطیسی) گزارش شده است (Surendran *et al*., 2016). افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی، سطح برگ، قطر ساقه و همچنین زیست‌توده تولیدی به‌وسیله ریشه در گیاهچه‌های یک‌ساله انگور در نتیجه استفاده از آب مغناطیسی گزارش شده است (Dianat *et al*., 2016؛ Iqbal *et al*., 2008). آبیاری با آب مغناطیسی در شرایط تنش کمبود آب باعث افزایش محتوای آب سلول ها می‌شود و از عوامل اصلی افزایش رشد سلول‌هاست، بنابراین در این شرایط رشد سلول‌ها افزایش می‌یابد که در نهایت این اثر باعث افزایش ارتفاع گیاه در تیمارهای آبیاری با آب مغناطیسی در مقایسه با آب معمولی در شرایط کمبود آب می‌گردد (Liu *et al*., 2020؛ Surendran *et al*., 2016). رشد و توسعه بیشتر ریشه در شرایط آبیاری با آب مغناطیسی نیز گزارش شده است (Liu *et al*., 2020). افزایش رشد رویشی باعث بهبود شرایط در طی دوره زایشی گیاه می‌شود. نتایج بررسی اثر آبیاری مغناطیسی بر گیاه لوبیا چشم‌بلبلی بهبود رشد رویشی و در نهایت بهبود رشد زایشی و عملکرد را نشان داد (Iqbal *et al*., 2008؛ Shirinbayan *et al*., 2019). نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که افزایش رشد سلول‌ها، زیست‌توده تولیدی، بهبود فعالیت آنزیم ها و در نهایت افزایش عملکرد گیاهان در نتیجه استفاده از آب مغناطیسی برای آبیاری روی می‌دهد (Da Silva & Dobránszki, 2014). در این مطالعه نیز افزایش ارتفاع گیاه، افزایش زیست‌توده اندام هوایی و ریشه و همچنین تعداد کاسبرگ در گیاه در تیمارهای آب مغناطیسی در مقایسه با آب معمولی در سطوح مختلف آبیاری مشاهده شد. یکی از عواملی که نشان‌دهنده بهبود رشد گیاه در تیمار با آب مغناطیسی بود افزایش اندازه سلول‌هاست که در نهایت منجر به افزایش رشد گیاه می شود. آبیاری مغناطیسی علاوه‌بر اینکه باعث افزایش اندازه سلول‌ها می‌شود باعث افزایش تقسیم سلولی نیز می‌شود که در نهایت منجر به بهبود رشد گیاه می‌گردد (Da Silva & Dobránszki, 2014). انتقال آب در گیاه تحت تأثیر تیمار آب مغناطیسی قرار می‌گیرد. خصوصیات هیدرولیکی آب و همچنین تغییرات آوندهای چوب باعث افزایش محتوای آب در گیاه شده و در نهایت بهبود رشد گیاه در این شرایط مشاهده می‌شود (Kim *et al*., 2014). افزایش محتوای آب گیاه، بهبود زیست‌توده تولیدی توسط گیاه در اندام هوایی و ریشه و بهبود تولید رنگدانه‌های مختلف در نتیجه استفاده از آب مغناطیسی در گیاه کتان گزارش شده است (Hozayn & Abdul-Qados, 2010).

به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که می‌توان با استفاده از آبیاری با آب مغناطیسی شده در شرایط آبیاری براساس ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی به بهبود رشد و عملکرد کاسبرگ گیاه چای ترش رسید. علاوه‌براین نتایج این بررسی نشان داد که در شرایطی که گیاه چای ترش تحت شرایط تنش کمبود آب قرار می‌گیرد می‌توان با استفاده از آبیاری مغناطیسی تا حدودی از اثرهای منفی ناشی از کمبود آب کاست. با توجه به ایجاد تنش کم‌آبی در اغلب مناطق تحت کشت چای ترش، استفاده از آبیاری دو بار مغناطیسی شده و آبیاری در حد ۸۰٪ ظرفیت زراعی نه تنها می‌توان از کاهش عملکرد چای ترش ممانعت کرد، بلکه می‌توان از آب صرفه‌جویی شده برای کشت سایر محصولات استفاده کرد. با توجه به شرایط کشور ایران که معمولاً در طی فصل رشد محصولات کشاورزی کمبود آب و یا تنش خشکی روی می‌دهد، به نظر می‌رسد رهیافت کاربرد آبیاری با آب مغناطیسی می‌تواند به‌عنوان یکی از روش های مؤثر در افزایش تولید در شرایط تنش خشکی مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

نویسندگان از همکاری صمیمانه جناب آقای مهندس مهران صفایی (مسئول محترم گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی) که زمینه را برای انجام این آزمایش فراهم نمودند کمال تقدیر و تشکر را دارند.

منابع مورد استفاده

- Abdul-Qados, A.M.S. and Hozayn, M., 2010. Response of growth, yield, yield components and some chemical constituents of flax for irrigation with magnetized and tap water. World Applied Sciences Journal, 8: 630-634.
- Al-Khazan, M., Abdullatif, B.M. and Al-Assaf, N., 2011. Effects of magnetically treated water on water status, chlorophyll pigments and some elements content of Jojoba (*Simmondsia chinensis* L.) at different growth stages. African Journal of Environmental Science and Technology, 5: 722-731.
- Ali, E.F. and Hassan, F.A.S., 2017. Water stress alleviation of roselle plant by silicon treatment through some physiological and biochemical responses. Annual Research & Review in Biology, 21: 1-17.
- Baghel, L., Kataria, S. and Guruprasad, K.N., 2018. Effect of static magnetic field pretreatment on growth, photosynthetic performance and yield of soybean under water stress. Photosynthetica, 56: 718-730.
- Chang, K.T. and Weng, C.I., 2006. The effect of an external magnetic field on the structure of liquid water using molecular dynamics simulation. Journal of Applied Physics, 100: 043917-043926.
- Dianat, M., Saharkhiz, M.J. and Tavassolian, I., 2016. Salicylic acid mitigates drought stress in *Lippia citriodora* L.: effects on biochemical traits and essential oil yield. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 8: 286-293.
- Da Silva, J.A.T. and Dobránszki, J., 2014. Impact of magnetic water on plant growth. Environmental and Experimental Biology, 12: 137-142.
- El-Sayed, H. and El-Sayed, A., 2014. Impact of magnetic water irrigation for improve the growth, chemical composition and yield production of broad bean (*Vicia faba* L.) plant. American Journal of Experimental Agriculture, 4: 476-496.
- El-Zawily, A.E.S., Meleha, M., El-Sawy, M., El-Attar, E.H., Bayoumi, Y. and Alshaal, T., 2019. Application of magnetic field improves growth, yield and fruit quality of tomato irrigated alternatively by fresh and agricultural drainage water. Ecotoxicology and Environmental Safety, 181: 248-254.
- Fallahi, H.R., Ramazani, S.H.R., Ghorbany, M. and Aghhavani-Shajari, M., 2017. Path and factor analysis of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) performance. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 6: 119-125.
- Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A. and Siddique, K.H.M., 2012. Drought stress in plants: An overview: 1-36. In: Aroca, R., (Ed.). Plant Responses to Drought Stress from Morphological to Molecular Features. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 466p.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S.M.A., 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development, 29: 185-212.
- Garcia-Reina, F. and Pascual, L.A., 2001. Influence of a stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds. Part I: Theoretical considerations. Bioelectromagnetism, 22: 589-595.
- Ghadami Firouzabadi, A., Khoshravesh, M., Shirazi, P. and Zare Abyaneh, H., 2016. Effect of irrigation with magnetized water on the yield and biomass of soybean var. DPX under water deficit and salinity stress. Iranian Journal of Water Research, 30: 131-143.
- Gill, S.S. and Tuteja, N., 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry, 48: 909-930.
- Hozayn, M. and Abdul-Qados, A.M.S., 2010. Magnetic water application for improving wheat (*Triticum aestivum* L.) crop production. Agriculture and Biology Journal of North America, 1: 677-682.
- Iqbal, N., Ashraf, M. and Ashraf, M.Y., 2008. Glycinebetaine, an osmolyte of interest to improve water stress tolerance in sunflower (*Helianthus annuus* L.): water relations and yield. South African Journal of Botany, 74: 274-281.
- Kim, H.K., Park, J. and Hwang, I., 2014. Investigating water transport through the xylem network in vascular plants. Journal of experimental botany, 65: 1895-1904.
- Klute, A., 1986. Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods, the American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, 1188p.
- Liu, X., Wang, L., Wei, Y., Zhang, Z., Zhu, H., Kong, L., Meng, S., Song, C., Wang, H. and Ma, F., 2020. Irrigation with magnetically treated saline water influences the growth and photosynthetic capability of *Vitis vinifera* L. seedlings. Scientia Horticulturae, 262: 109056.
- Maheshwari, B.L. and Grewal, H.S., 2009. Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable

sabdariffa L. Biomedicine & Pharmacotherapy, 102: 575-586.
- Rifna, E.J., Ramanan, K.R. and Mahendran, R., 2019. Emerging technology applications for improving seed germination. Trends in Food Science & Technology, 86: 95-108.
- Romano, N. and Santini, A., 2002. Methods of Soil Analysis, Part 4-Physical Methods; Chapter Water Retention and Storage: Field. Soil Science Society of America: Madison, WI, USA.
- Shirinbayan, S., Khosravi, H. and Malakouti, M.J., 2019. Alleviation of drought stress in maize (*Zea mays*) by inoculation with Azotobacter strains isolated from semi-arid regions. Applied Soil Ecology, 133: 138-145.
- Sonar, B.A., Kamble, V.R. and Chavan, P.D., 2013. Native AM fungal colonization in three *Hibiscus* species under NaCl induced salinity. Journal of Pharmacy and Biological Sciences, 5: 7-13.
- Surendran, U., Sandeep, O. and Joseph, E.J., 2016. The impacts of magnetic treatment of irrigation water on plant, water and soil characteristics. Agricultural Water Management, 178: 21-29.
- Tabari, H., Talaee, P.H., Nadoushani, S.M., Willems, P. and Marchetto, A., 2014. A survey of temperature and precipitation based aridity indices in Iran. Quaternary International, 345: 158-166.
- Vashisth, A. and Nagarajan, S., 2010. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. Journal of Plant Physiology, 167: 149-156.
- Ye, J., Wang, S., Deng, X., Yin, L., Xiong, B. and Wang, X., 2016. Melatonin increased maize (*Zea mays* L.) seedling drought tolerance by alleviating drought-induced photosynthetic inhibition and oxidative damage. Acta Physiologiae Plantarum, 38: 48.
- Zhang, J., Zhang, S., Cheng, M. and Jin, J., 2018. Effect of drought on agronomic traits of rice and wheat: A Meta-Analysis. Journal of Environmental Research and Public Health, 15: 839-853.
- Zhou, H., Zhou, G., He, Q., Zhou, L., Ji, Y. and Zhou, M., 2020. Environmental explanation of maize specific leaf area under varying water stress regimes. Environmental and Experimental Botany, 171: 103932.

crop yield and water productivity. Agricultural Water Management, 96: 1229-1236.
- Min, Z., Li, R., Chen, L., Zhang, Y., Li, Z., Liu, M., Ju, Y. and Fang, Y., 2019. Alleviation of drought stress in grapevine by foliar-applied strigolactones. Plant Physiology and Biochemistry, 135: 99-110.
- Mirshekari, M., Einali, A. and Valizadeh, J., 2017. Physiological and biochemical responses of *Hibiscus sabdariffa* to drought stress in the presence of salicylic acid. Iranian Journal of Plant Biology, 32: 21-38.
- Mohamed, B.B., Sarwar, M.B., Hassan, S., Rashid, B., Aftab, B. and Husnain, T., 2015. Tolerance of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) genotypes to drought stress at vegetative stage. Advancements in Life Sciences, 2: 74-82.
- Mohammadi, M.H.S., Etemadi, N., Arab, M.M., Aalifar, M., Arab, M. and Pessarakli, M., 2017. Molecular and physiological responses of Iranian perennial ryegrass as affected by trinexapac ethyl, paclobutrazol and abscisic acid under drought stress. Plant Physiology and Biochemistry, 111: 129-143.
- Moosa, G.M., Khulaef, J.H., Khraibt, A.C., Shandi, N.R. and Al-Braich, M.S.K., 2015. Effect of magnetic water on physical properties of different kind of water, and studying its ability to dissolving kidney stone. Journal of Natural Sciences Research, 5: 85-94.
- Parsa, M., Aliverdi, A. and Hammami, H., 2013. Effect of the recommended and optimized doses of haloxyfop-P-methyl or imazethapyr on soybean-*Bradyrhizobium japonicum* symbiosis. Industrial Crops and Products, 50: 197-202.
- Parsa Motlagh, B., Rezvani Moghadam, P., Ghorbani, R. and Azami Sardooei, Z., 2020. Yield and water use efficiency assessment of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as affected by nutritional different resources and regimes of irrigation water. Environmental Stresses in Crop Sciences, 12(4): 1225-1236.
- Pinheiro, C. and Chaves, M.M., 2010. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data?. Journal of Experimental Botany, 62: 869-882.
- Riaz, G. and Chopra, R., 2018. A review on phytochemistry and therapeutic uses of *Hibiscus*

Effects of magnetic irrigation water treatment on growth and yield characteristics of *Hibiscus sabdariffa* L. under water deficit stress

H. Hammami[1*] and N. Imani[2]

1*- Corresponding author, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
E-mail: hhammami@birjand.ac.ir; homamihossein@gmail.com
2- Department of Agronomy and soil science, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

Received: May 2020 Revised: January 2021 Accepted: January 2021

Abstract

Water deficit is one of the most important challenges for the agriculture, especially in the arid and semi-arid regions of the world. Due to the high potential of some medicinal plants for cultivation under environmental stresses, cultivation of these plants in the low-yield fields can be considered. Therefore, to reduce the negative effects of water deficit on the growth of *Hibiscus sabdariffa* L., a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications in the research greenhouse of agriculture faculty, Birjand University in 2017. The experimental treatments included the amount of irrigation water at four levels (100, 80, 60, and 40% of the field capacity) and irrigation treatment with magnetic water at three levels (non-magnetic water (control), magnetized water with one, and two times passing through the magnetic field). The results showed that the effects of irrigation water amount treatments on the all measured traits and magnetic irrigation treatments on the all traits except leaf number were significant. Also, the interaction effects of irrigation water amount × magnetic irrigation treatments were significant on the plant height, number of bolls per plant, fresh and dry weight of aerial parts, dry weight of roots, and dry weight of sepals. Reducing the amount of irrigation water from 100 to 40% of field capacity caused a decrease in the spade number, stem diameter, number of leaves, and fresh root weight by 34.7%, 23%, 40.6%, and 27.6%, respectively. The mean comparison of interaction effects of irrigation water amount × magnetic irrigation treatments showed that irrigation with double-magnetized water improved all the traits compared to the irrigation with non-magnetic water. Therefore, it seems that the application of magnetic irrigation can be considered as one of the strategies to reduce the negative effects of water deficit.

Keywords: Magnetic water, water stress, sepals, medicinal plant.