نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۴، آذر - دی ۱۳۹۹، ص. ۱۵۴۹-۱۵۳۸

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 14, Oct.-Nov. 2020, p. 1538-1549

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی تأثیر آب مغناطیسی بر جوانه‌زنی بذر و خصوصیات رشدی گیاه اسفناج (*Spinacia oleracea*) در شرایط کم‌آبیاری

بهاره شاهدی[۱]، حسین بانژاد[۲*]، مرتضی گلدانی[۳]، مصطفی قلی‌زاده[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۲۳

چکیده

آب مغناطیسی با افزایش تحریک بذر برای جوانه‌زنی و افزایش سرعت و قدرت رشد گیاه باعث افزایش تولید خالص گیاه می‌شود. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر آب مغناطیسی بر بهره‌وری آب و جوانه‌زنی و عملکرد گیاه اسفناج (*Spinacia oleracea*) تحت شرایط کم‌آبیاری در دو شرایط آزمایشگاهی و گلخانه‌ای به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. در آزمایش اول تیمارها شامل سه سطح آب مغناطیسی (آب معمولی به عنوان تیمار شاهد، آب مغناطیسی با شدت ۰/۳ تسلا، آب مغناطیسی با شدت ۰/۶ تسلا) و ۷ پتانسیل رطوبتی (پتانسیل ۰، ۰/۱-، ۰/۳-، ۱-، ۳-، ۶- و ۹- بار) و در آزمایش دوم چهار سطح کم‌آبیاری شامل آبیاری ۱۰۰ درصد، آبیاری ۸۰ درصد، آبیاری ۶۰ درصد و آبیاری ۴۰ درصد بود. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از تیمار خشکی باعث کاهش صفات جوانه‌زنی گیاه شامل شاخص بنیه بذر، درصد و سرعت جوانه‌زنی، وزن تر و خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه شد. استفاده از آب مغناطیسی باعث افزایش عملکرد گیاه اسفناج و کاهش اثرات منفی ناشی از کم‌آبیاری شد. به‌طور کلی نتایج حاکی از افزایش ۲۵ و ۳۱ درصدی صفات وزن تر و خشک اندام هوایی، افزایش ۴۱ درصدی سطح برگ، افزایش ۳۶ و ۲۰ درصدی وزن تر و خشک ریشه، افزایش ۲۴ درصدی حجم ریشه، افزایش ۱۱ درصدی محتوی نسبی آب برگ، کاهش ۳۳ درصدی پرولین، افزایش شاخص بهره‌وری آب بود. استفاده از کم‌آبیاری نیز باعث بهبود صفات وزن تر و خشک اندام هوایی و شاخص بهره‌وری آب شد.

واژه‌های کلیدی: اسفناج، بهره‌وری‌آب، پلی‌اتیلن‌گلایکول، کم‌آبیاری، میدان مغناطیسی

مقدمه

رشد روزافزون جمعیت جهانی و محدودیت منابع غذایی، باعث نیاز بیشتر به تولیدات کشاورزی در کشورها شده است. کم‌آبیاری روش مدیریتی زراعی است که تنش رطوبتی مدیریت شده را برای افزایش تولید محصول به ازای آب مصرفی واحد اعمال می‌کنند (کرمی و همکاران، ۱۳۹۷). یکی از روش‌هایی که در سال‌های اخیر به منظور افزایش بهره‌وری مصرف آب در کشاورزی پیشنهاد شده است، عبور دادن آب آبیاری از یک میدان مغناطیسی است (نیکبخت و طالعی، ۱۳۹۸). آب مغناطیسی اثرات مستقیم و غیر مستقیم بر خواص فیزیکی و شیمیایی آب، رشد و بهره‌وری محصول، آبیاری و کاربرد آب، و دسترسی بهینه به مواد مغذی دارد (Zúñiga et al., 2016; Gholizadeh, 2019). سبزیجات بخش مهمی از تولیدات کشاورزی به حساب می‌آیند. اسفناج نیز یکی از مهم‌ترین سبزی‌های برگی است که دارای ارزش غذایی بالایی می‌باشد.

آب مغناطیسی در حال حاضر در دهها کشور در کشاورزی بخاطر افزایش محصول و افزایش سرعت جوانه‌زنی استفاده می‌شود(Hozayn and Qados,. 2010). میدان مغناطیسی با افزایش تحریک بذر برای جوانه‌زنی و افزایش نرخ سرعت و قدرت رشد گیاه باعث افزایش تولید خالص محصول می‌گردد (Da Silva and Dobr_Anszki, 2016). آب مغناطیسی باعث افزایش درصد و

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۴- استاد گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: banejad@um.ac.ir

سرعت جوانه‌زنی و وزن خشک گیاهچه در گیاه گندم و جو و شلغم شد (Massah et al., 2019; Najafi et al., 2013; Ul Haq et al., 2016). آب مغناطیسی شده از طریق جذب راحت‌تر و سریع‌تر توسط گیاه، آسیب ناشی از کم‌آبی را به حداقل می‌رساند و سبب بهبود عملکرد گیاهان می‌شود (Al-Khazan et al., 2011; Yinan .et al,. 2005). گلدانی و همکاران (۱۳۹۵) و متانت و همکاران (۱۳۹۷) دریافتند که آب مغناطیسی باعث افزایش صفات عملکردی گیاه لوبیا و تربچه شد. میدان‌های مغناطیسی می‌توانند بر رشد ریشه‌های گیاهان مختلف تاثیر مثبت بگذارند (Belyavskaya, 2004). میدان مغناطیسی باعث افزایش معنی‌داری صفت‌های ارتفاع گیاه، سطح برگ، وزن تر و خشک ساقه و ریشه و شاخص برداشت، کلروفیل a، RWC و کارایی مصرف آب گیاه گندم و موز شد (Selim and Selim, 2019; Mahmoud et al., 2019; El-.Kholy et al., 2015). استفاده از آب مغناطیسی باعث افزایش معنی‌دار میزان محصول، کلروفیل b و غلظت عناصر میکرو و ماکرو در گیاه کاهو می‌شود (Zlotopolski, 2017). آب مغناطیسی باعث افزایش نرخ جذب آب و افزایش عملکرد و سطح برگ گیاه گوجه‌فرنگی می‌شود (Yusuf and AO, 2017; Yusuf et El-Zawily et al., 2019; al., 2019).

اصلانی و همکاران (۱۳۹۸) دریافتند که کم‌آبیاری باعث کاهش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای، RWC، کلروفیل، عملکرد بوته و افزایش مقدار پرولین در گوجه‌فرنگی شد. زند (۱۳۹۵) دریافتند که کم‌آبیاری باعث کاهش تولید زیست توده، ارتفاع گیاه و طول و عرض برگ نعناء شد. صادقی پور و آقایی (۱۳۹۳) و احمد و الکادر دریافتند که اثر متقابل تنش خشکی و آب مغناطیسی باعث افزایش معنی‌دار کیفیت و میزان محصول، شاخص برداشت و افزایش کارایی مصرف آب در گیاه سیب زمینی و ماش شد (Ahmed and EL-Kader, 2016).

عالی نژادیان بید آبادی و همکاران (۱۳۹۷) و ژانگ و همکاران دریافتند که کم‌آبیاری باعث کاهش صفات عملکردی اسفناج از جمله سطح برگ، وزن برگ و گیاه، تعداد برگ و ارتفاع گیاه و کارایی مصرف آب شد (Zhang et al., 2015). میدان مغناطیسی نیز باعث افزایش کلروفیل a و b و شاخص عملکرد در گیاه اسفناج شد (Biketi, 2018; Alpsoy and Unal, 2019). با توجه به محدودیت منابع آبی در کشور ایران و لزوم حفظ امنیت غذایی، یافتن رهیافتی نو جهت صرفه‌جویی و افزایش کارایی مصرف آب، امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. با توجه به اینکه در مطالعات گذشته اثر همزمان کم‌آبیاری و آب مغناطیسی در عملکرد گیاه اسفناج مورد آزمایش قرار نگرفته بود، از این رو این پژوهش با هدف بررسی اثر توامان کم‌آبیاری و آب مغناطیسی در عملکرد گیاه و بذر اسفناج مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با مختصات جغرافیایی ´۳۰ °۳۶ شمالی و ´۵۲ °۵۹ شرقی در طی سال‌های ۱۳۹۷–۱۳۹۸ انجام گرفت. آزمایش اول به منظور بررسی تاثیر آب مغناطیسی و تنش خشکی بر شاخص‌های بذر اسفناج (*Spinacia oleracea*) به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۲۱ تیمار و ۴ تکرار انجام شد. تیمارهای آب مغناطیس شامل: ۱) آب مقطر معمولی، ۲) آب مقطر مغناطیسی شده با میدان ۰/۳ تسلا و ۳) آب مقطر مغناطیسی شده با میدان ۰/۶ تسلا بود. سطوح رطوبتی نیز شامل ۷ پتانسیل ۰، ۰/۱–، ۰/۳–، ۱–، ۳ –، ۶ – و ۹ – بار بود. در این آزمایش به منظور مغناطیسی کردن آب آبیاری از دستگاه مغناطیس کننده سیالات موجود در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی استفاده شد (شکل ۱–الف). آب مورد استفاده در آزمایش آب مقطر به عنوان استاندارد بین المللی انتخاب شد. برای انجام آزمایش ۲۵ عدد بذر اسفناج رقم توده نیشابور پس از ضدعفونی و شستشو با هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد در پتری‌دیش ۸ سانتی‌متری و بر روی کاغذ صافی قرار گرفتند. جهت اعمال تیمار خشکی از پلی‌اتیلن‌گلیکول ۶۰۰۰ طبق جداول استاندارد ارائه شده برای تهیه محلول با پتانسیل‌های ذکر شده استفاده شد (Michael and Kaufman, 1976). نمونه‌های تهیه شده (شکل ۱–ب) به مدت ۲۱ روز و در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد درون ژرمیناتور قرار گرفتند (Jones and Hampton, 2010). تعداد بذرهای جوانه‌زده به صورت روزانه شمارش شد. پس از طی دوره ۲۱ روزه بذرها مورد آزمایش صفات قرار گرفتند. این صفت‌ها شامل طول ریشه‌چه و ساقه‌چه که با استفاده از کولیس با دقت اندازه‌گیری ۰/۰۲ * ۱۲۵ ± میلی‌متر، وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه به وسیله ترازوی دیجیتال مدل gf-300 و با دقت اندازه‌گیری ۰/۰۲ ± گرم انجام گرفت. درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر نیز از روابط زیر بدست آمد (متانت، ۱۳۹۷). در این روابط Vg سرعت جوانه‌زنی، Ni تعداد بذرهای جوانه‌زده تا روز i ام، Pg درصد جوانه‌زنی، Ti تعداد کل بذرها، Vi شاخص بنیه بذر و Ls میانگین طول ساقه‌چه می‌باشد.

$$V_g = \sum(N_i \times 100)/i \qquad (۱)$$

$$P_g = (N_i \times 100)/T_i \qquad (۲)$$

$$V_i = (L_s \times P_g)/100 \qquad (۳)$$

شکل ۱- الف) شمای دستگاه مغناطیسی کننده سیالات ب) پتری‌دیش‌های حاوی بذر برای تست جوانه‌زنی

آزمایش دوم نیز به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۱۲ تیمار و در ۳ تکرار انجام شد. تیمارها شامل سه سطح آب مغناطیسی شامل ۱) آب معمولی به عنوان تیمار شاهد، ۲) آب مغناطیسی با شدت ۰/۳ تسلا، ۳) آب مغناطیسی با شدت ۰/۶ تسلا و چهار سطح کم‌آبیاری شامل ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و۴۰ درصد نیاز آبی گیاه بود. بذرها در گلدان‌های ۷ کیلویی کشت شدند. برای تعیین نیاز آبی از تشت تبخیر کلاس A و ضریب Kc اسفناج استفاده شد (علیزاده، ۱۳۹۲). تیمار مغناطیسی در کیله مراحل کشت اعمال شد و تیمار کم‌آبیاری نیز پس از مرحله پنج‌برگی گیاه اعمال شد. پس از گذشت دوماه گیاهان برداشت شدند و نمونه ها پس از ریشه‌شویی به آزمایشگاه منتقل شد و صفات اندازه‌گیری شد. صفات مورد اندازه‌گیری شامل وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه گیاه که به وسیله ترازوی دیجیتال مدل gf-300 و با دقت اندازه‌گیری ۰/۰۲ ± گرم انجام گرفت. حجم ریشه‌ها به روش ارشمیدس تعیین شد. قطر ریشه و قطر و طول دمبرگ با استفاده از کولیس با دقت اندازه‌گیری ۰/۰۲ * ۱۲۵ ± میلی‌متر، سطح برگ گیاه با استفاده از دستگاه Area measurement system با مدل Delta-T Devices Ltd، شاخص سبزینگی و هدایت روزنه‌ای نیز به ترتیب به وسیله دستگاه کلروفیل‌متر مدل spad-502 و دستگاه پرومتر مدل sc-1 از برگ‌های جوان و توسعه یافته گیاه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری RWC[1] نیز مقداری از برگ تازه هر نمونه انتخاب و پس از توزین به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر غوطه‌ور ماندند تا به شرایط آماس برسند و سپس با اندازه‌گیری وزن خشک و استفاده از فرمول ۴ بدست آمد (Ritchie et al., 1990).

$$RWC = \left[(Fw - Dw)/(Sw - Dw)\right] \times 100 \qquad (۴)$$

Fw وزن تازه برگ، Dw وزن خشک برگ بعد از قرار گرفتن در آون و Sw وزن اشباع برگ بعد از قرار گرفتن در آب مقطر می‌باشد.

برای اندازه‌گیری پرولین از دستگاه‌های هموژنایزر، سانتریفیوژ، حمام بن‌ماری و اسپکتروفتومتر و برای تهیه نمونه از موادی همچون سولفوسالیسیلیک اسید، ناین هیدرین و اسید استیک و تولوئن استفاده شد. پس از قرائت اعداد از دستگاه اسپکتروفتومتر با استفاده از فرمول ۵ میزان پرولین اندازه‌گیری شد (Bates et al., 1973).

$$\frac{\mu mol\ Prolin}{gr\ Fw} = \left(\frac{\mu g\ prolin}{ml} \times \frac{mg\ toloen}{115.5\left(\frac{\mu g}{\mu mol}\right)} \right) \Big/ \frac{gr\ sample}{5} \qquad (۵)$$

برای اندازه‌گیری کلروفیل a و b و کارتنوئید از دستگاه‌های هموژنایزر، سانتریفیوژ و اسپکتروفتومتر استفاده شد. برای تهیه نمونه نیز از استون ۸۰ درصد استفاده شد. پس از قرائت اعداد از دستگاه اسپکتروفتومتر با استفاده از روابط زیر میزان کلروفیل a، b و کارتنوئید اندازه‌گیری شد (Arnon, 1967).

$$Chlorophyll\ a = 12.21 \times A_{663} - 2.61 \times A_{646} \qquad (۶)$$

$$Chlorophyll\ b = 20.13 \times A_{646} - 5.03 \times A_{663} \qquad (۷)$$

$$Carotenoides = \begin{pmatrix} 1000(A_{470}) - 3.27(mg\ chl.a) \\ -104(mg\ chl.b) \end{pmatrix} \Big/ 229 \qquad (۸)$$

کارایی مصرف آب در هر گلدان نیز از رابطه زیر محاسبه گردید (نظری و لیاقت، ۱۳۹۶):

$$\text{کارایی مصرف آب} = \left(\frac{Y}{V}\right) \qquad (۹)$$

1- Relative water content

Y وزن خشک محصول به کیلوگرم و V کل آب مصرفی به متر مکعب می‌باشد.

آنالیز داده‌ها به کمک نرم‌افزار آماری spss 16.0 انجام گرفت. برای رسم نمودارها و جداول نیز از نرم‌افزار Excell 2016 استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون LSD و در سطح احتمال پنج و یک درصد انجام شد.

نتایج و بحث

صفات بذر

نتایج نشان می‌دهد که آب مغناطیسی تاثیر معنی‌داری بر شاخصه‌های بذر اسفناج ندارد (جدول ۱). نتیجه بدست آمده مشابه نتایج جانعلی زاده قزوینی و همکاران (۱۳۹۵) بر درصد جوانه‌زنی بذر نخود و کنجد می‌باشد. تنش خشکی نیز باعث کاهش صفت‌های شاخص بنیه بذر، درصد و سرعت جوانه‌زنی، وزن تر و خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه و طول ساقه‌چه و ریشه‌چه شده است (جدول ۲). مرجانی و همکاران (۱۳۸۵) بیان کردند کاهش جذب آب توسط بذر باعث کاهش ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها و در نتیجه اختلال در رشد گیاه‌چه (ریشه‌چه و ساقه‌چه) شده است. نتایج بدست آمده با نتایج فرهادی و همکاران (۱۳۹۶) بر گیاه شنبلیله و شمسایی و همکاران (۱۳۹۵) بر گیاه مرزه مطابقت دارد.

وزن تر و خشک اندام هوایی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است. تیمار با آب مغناطیسی ۰/۶ تسلا باعث افزایش ۳۵ و ۲۴ درصدی وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه شد(جدول ۵). میدان مغناطیسی با اثرگذاری بر جذب مواد مغذی می‌تواند توانایی گیاه برای فتوسنتز و تولید ماده‌ی غذایی را افزایش دهد (نیکبخت و رضایی، ۱۳۹۶). کم‌آبیاری باعث کاهش ۱۰ درصدی وزن تر اندام هوایی در تیمار با آبیاری ۴۰ درصد شده است(جدول ۶). تنش خشکی سبب کاهش محتوای آب و چروکیدگی سلول‌ها می‌شود و فشار تورژسانس در مقابل دیواره سلولی کاهش می‌یابد و با کاستن از اندازه اندام، نهایتاً کاهش رشد و توسعه سلول به ویژه در ساقه و برگ را به همراه دارد (Azooz and Youssef, 2010; Tiaz and Zeiger, 2006). نتایج نشان می‌دهد استفاده از آب مغناطیسی توانسته اثر کم‌آبیاری را تا حدودی جبران کند. لین و یوتوات (Lin and Yotvat, 1990) اثرات مثبت تیمار مغناطیسی بر پارامترهای رشد تحت سطوح مختلف خشکی را ناشی از تأثیر میدان مغناطیسی بر جذب یون‌ها و متعاقب آن بهبود پروسه تغذیه جذب آب و فرآیندهای شیمیایی می‌دانند. نتایج بدست آمده با نتایج و مطالعات الزویلی و همکاران (El-Zawily et al., 2019) بر گیاه گوجه‌فرنگی، آلپسوی و اونال (Alpsoy and Unal, 2019) بر گیاه اسفناج، سزین و همکاران (Sezen et al., 2019) بر گیاه فلفل قرمز مطابقت دارد.

وزن تر و خشک ریشه

کم‌آبیاری باعث کاهش وزن تر و خشک ریشه می‌شود(جدول ۶). تنش خشکی سبب کاهش ماده خشک در ریشه می‌گردد. در شرایط تنش خشکی محدودیت‌های تغذیه‌ای که از طریق کاهش جذب عناصر ایجاد می‌شود، رشد و سرعت توسعه ریشه را کاهش می‌دهد (Gregory, 2006). در شرایط بدون تنش ریشه‌ها قطورتر هستند در صورتیکه در شرایط تنش با اینکه ریشه‌ها طول مناسبی دارند اما به دلیل اینکه نازک هستند، دارای وزن کمی می‌باشند که موجب کاهش عملکرد ریشه نسبت به شرایط بدون تنش می‌شوند (کوهزاددهمیانی، ۱۳۹۲). نتایج بدست آمده با نتایج تحقیقات زارع میرک آباد و همکاران (۱۳۹۷) بر گیاه ذرت و پرنیان (۱۳۹۲) بر گیاه اسفناج مطابقت دارد.

حجم و قطر ریشه

آب مغناطیسی باعث افزایش حجم ریشه و تیمار کم‌آبیاری نیز باعث کاهش حجم و قطر ریشه شد (جداول ۵ و ۶). متانت (۱۳۹۷) بیان کرد که آب مغناطیسی با افزایش تقسیم سلولی منجر به افزایش حجم ریشه می‌شود. با افزایش میزان تنش خشکی، آماس سلولی و انعطاف‌پذیری سلول‌های در حال رشد کاهش یافته که به تبع آن رشد و توسعه سلولی و اندام گیاه کاهش می‌یابد (صفری‌زاده ثانی، ۱۳۹۸). نتایج بدست آمده منطبق بر نتایج کوهزاددهمیانی (۱۳۹۲) و محمدیان (۱۳۹۵) بر گیاه اسفناج و فلفل سبز می‌باشد.

تعداد و سطح برگ

تیمارهای آزمایش تاثیری بر تعداد برگ گیاه ندارد (جدول ۳). تیمار کم‌آبیاری نیز باعث کاهش سطح برگ شد(جدول ۶). کاهش جذب مواد و عناصر غذایی در شرایط کمبود آب، رشد و توسعه برگ‌ها را محدود می‌کند. متعاقب کاهش سطح برگ، جذب نور نیز کم شده و ظرفیت کل فتوسنتزی گیاه کاهش می‌یابد. تنش خشکی همچنین سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ و کوچک شدن اندازه سلول‌ها، کاهش تقسیم سلول‌های مریستمی و در نتیجه کند شدن رشد برگ، تسریع پیری و در پی آن ریزش برگ‌ها می‌شود (انجیلی و همکاران، ۱۳۹۷). نتایج بدست آمده با مطالعات و زند (۱۳۹۵) بر گیاه نعناء و ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2015) بر گیاه اسفناج مطابقت دارد.

جدول ۱- تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای آزمایش بر صفات بذر اسفناج

منابع تغییرات	درجه آزادی	شاخص بنیه بذر	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	وزن تر ساقه‌چه	وزن تر ریشه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه
تنش خشکی	۶	۰/۰۰۱ **	۰/۵۶۸ **	۴۶۷/۶۳ **	۰/۰۰۴ **	۰/۰۰۰۰۰۱ **	۰/۰۰۰۰۲ **	۰/۰۰۰۰۰۰۰۹ **	۳۷/۲۱ **	۱۴/۹۶ **
آب مغناطیسی	۲	۰/۰۰۰۰۳ ns	۰/۰۱۲ ns	۱۹/۷۱ ns	۰/۰۰۰۰۶ ns	۰/۰۰۰۳ ns	۰/۰۰۰۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۰۰۰۰۲ ns	۰/۴۳۹ ns	۰/۳۴ ns
آب مغناطیسی * تنش خشکی	۱۲	۰/۰۰۰۰۴ ns	۰/۰۲ ns	۸/۹ ns	۰/۰۰۰۱ *	۰/۰۰۰۳ ns	۰/۰۰۰۰۰۰۶ ns	۰/۰۰۰۰۰۰۰۷ ns	۰/۴۶۵ ns	۰/۴۵ ns
خطا	۶۳	۰/۰۰۰۰۲۹۴	۰/۰۲	۱۲/۹۴	۰/۰۰۰۰۴۴	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۰۰۴	۰/۴۹	۰/۵

ns، *، ** به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج درصد و معنی‌داری در سطح یک درصد می‌باشد.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر ساده تنش خشکی بر صفات بذر اسفناج

تیمار	شاخص بنیه بذر	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	وزن تر ساقه‌چه	وزن تر ریشه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه
پتانسیل ۰	۰/۰۲۳ a	۰/۶۱۳ a	۱۷/۴۲ a	۰/۰۳۹۹ a	۰/۰۱۰۳ a	۰/۰۰۲ c	۰/۰۰۰۵ a	۳/۷۹ a	۲/۸ a
پتانسیل منفی ۰/۱ بار	۰/۰۲۱ a	۰/۵۵۳ a	۱۴/۲۲ b	۰/۰۳۷۸ a	۰/۰۱۳۱ a	۰/۰۰۲۷ ab	۰/۰۰۰۶ a	۳/۸۱ a	۲/۰۸ b
پتانسیل منفی ۰/۳ بار	۰/۰۱۹ a	۰/۵۱۷ a	۱۲/۷۳ b	۰/۰۴۱۴ a	۰/۰۱۲۷ a	۰/۰۰۳ a	۰/۰۰۰۶ a	۳/۶۹ a	۲/۸۳ a
پتانسیل منفی ۱ بار	۰/۰۱۳ b	۰/۵۸۷ a	۱۳/۹۷ b	۰/۰۲۲۲ b	۰/۰۱۰۳ a	۰/۰۰۲۳ bc	۰/۰۰۰۵ a	۲/۱۴ b	۱/۹۸ b
پتانسیل منفی ۳ بار	۰/۰۰۵ c	۰/۳۶۳ b	۷/۹۷ c	۰/۰۰۴۷ c	۰/۰۰۲۱ b	۰/۰۰۰۴ d	۰/۰۰۰۱ b	۰/۸۷۲ c	۱/۲۶ c
پتانسیل منفی ۶ بار	۰ d	۰/۲۵ b	۳/۸۹ d	۰ c	۰ b	۰ d	۰ b	۰ d	۰/۳۶۷ d
پتانسیل منفی ۹ بار	۰ d	۰/۰۲ c	۰/۱۸ e	۰ c	۰ b	۰ d	۰ b	۰ d	۰/۰۱۷ d

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم معنی‌داری در مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد است.

جدول ۳- تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای آزمایش بر صفات اسفناج (قسمت اول)

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	حجم ریشه	قطر ریشه	تعداد برگ	سطح برگ
آب مغناطیسی	۲	۸/۴ *	۰/۱۹۸ **	۰/۰۶۱ ns	۰/۰۰۰۱۳ ns	۱۷/۱۹ *	۱/۴۲ ns	۰/۵۸۳ ns	۱۱۲۷/۶ ns
کم‌آبیاری	۳	۳۹/۱۴ **	۰/۶۰۹ **	۰/۷۵۲ **	۰/۰۰۷۰۱ **	۷۶/۶۷ **	۲/۳۱ **	۹/۴۳ ns	۹۱۶۵/۹ **
آب مغناطیسی * کم‌آبیاری	۶	۳/۹۵ ns	۰/۰۹۲ *	۰/۰۲۲ ns	۰/۰۰۱۱ ns	۳/۶۴ ns	۰/۴۶۸ ns	۳/۹۹ ns	۵۱۴/۴ ns
خطا	۲۴	۲/۱۴	۰/۰۳۲	۰/۰۲۲	۰/۰۰۱۱	۳/۲۵	۰/۵۴۵	۳/۵۶	۵۱۵/۴

ns، *، ** به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج درصد و معنی‌داری در سطح یک درصد می‌باشد.

جدول ٤- تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای آزمایش بر صفات اسفناج (قسمت دوم)

منابع تغییرات	درجه آزادی	طول دمبرگ	قطر دمبرگ	شاخص سبزینگی	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئید	پرولین	RWC	هدایت روزنه‌ای
آب مغناطیسی	۲	۲/۲۹ *	۰/۱۴ ns	۴۳/۰۳ *	۰/۲۵۵ *	۰/۰۹۷ **	۰/۰۴۷ **	۱۶۳۵۰۰۰۰ *	۰/۰۲۲ *	۱۱/۵۴ ns
کم‌آبیاری	۳	۳/۴۷ **	۲/۷۲ *	۹/۷۳ ns	۰/۰۹۵ ns	۰/۰۰۶ ns	۰/۰۲۴ *	۲۶۸۵۰۰۰۰ **	۰/۰۴۷ **	۳/۴۱ ns
آب مغناطیسی * کم‌آبیاری	۶	۰/۹۴ ns	۰/۴۵ ns	۳۰/۴۷ ns	۰/۰۹۶ ns	۰/۰۲۴ ns	۰/۰۱۲ ns	۳۸۷۰۶۴۸/۷ ns	۰/۰۰۷ ns	۲۷/۱۴ ns
خطا	۲۴	۰/۵۹	۰/۷۱	۱۲/۵۸	۰/۰۴۶	۰/۰۱۱	۰/۰۰۷	۴۴۹۳۴۲۳/۰۳	۰/۰۰۴	۱۱/۱۳

ns، *، ** به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج درصد و معنی‌داری در سطح یک درصد می‌باشد.

جدول ٥- مقایسه میانگین اثر ساده آب مغناطیسی در نمونه‌برداری گیاه اسفناج

تیمار	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	حجم ریشه	طول دمبرگ	پرولین	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئید	شاخص سبزینگی	RWC
آب معمولی	۶/۴۳ b	۰/۸۰۶ b	۷/۷۵ b	۳/۵ b	۱۰۲۶۹ a	۱/۱۲ a	۰/۴۷۷ a	۰/۴۴۳ a	۴۶/۹۳ ab	۰/۶۸۹ b
آب مغناطیس ۰/۳ تسلا	۷/۶ ab	۰/۹۵۶ ab	۷/۳۳ b	۴/۱ ab	۹۲۷۴ ab	۱/۱۷ a	۰/۵۲۵ a	۰/۳۴۶ b	۴۹/۷۵ a	۰/۷۵۷ a
آب مغناطیس ۰/۶ تسلا	۸/۰۶ a	۱/۰۶ a	۹/۵۹ a	۴/۴ a	۷۹۴۲ c	۰/۸۹۵ b	۰/۳۵۱ b	۰/۳۲۷ b	۴۶/۱۵ b	۰/۷۶۷ a

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم معنی‌داری در مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد است.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر ساده کم‌آبیاری در نمونه‌برداری گیاه اسفناج

تیمار	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	حجم ریشه	قطر ریشه	سطح برگ	طول دمبرگ	قطر دمبرگ	پرولین	کارتنوئید	RWC
آبیاری ۴۰ درصد	۴/۲۶ b	۰/۵۵۸ b	۰/۳۹۶ c	۰/۰۸۵ c	۴/۵۵ b	۳/۳۱ b	۴۵/۷ b	۳/۲ b	۴/۸ b	۱۱۶۰۴ a	۰/۳۵۶ b	۰/۶۵۳ c
آبیاری ۶۰ درصد	۸/۷۲ a	۱/۱۳ a	۰/۸۰۴ b	۰/۱۲۸ ab	۸/۶۷ b	۴/۳۱ a	۱۰۴/۶ a	۴/۱ a	۵/۸۳ a	۹۱۵۲ b	۰/۴۴۸ a	۰/۷۵۱ b
آبیاری ۸۰ درصد	۸/۳۱ a	۱/۰۲ a	۰/۷۵۹ b	۰/۱۱۵ b	۸ b	۳/۹۵ ab	۱۰۷/۹ a	۴/۷ a	۵/۶۱ ab	۸۰۷۵ b	۰/۳۵۶ b	۰/۷۱۹ b
آبیاری ۱۰۰ درصد	۸/۱۸ a	۱/۰۵ a	۱/۱ a	۰/۱۵۴ a	۱۱/۶۷ a	۴/۴۴ a	۱۱۴/۵ a	۴/۱ a	۶/۰۶ a	۷۸۱۷ b	۰/۳۲۹ b	۰/۸۲۸ a

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم معنی‌داری در مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد است.

طول و قطر دمبرگ

تیمار مغناطیسی باعث افزایش طول دمبرگ و تیمار کم‌آبیاری نیز باعث کاهش طول و قطر دمبرگ شده اند (جداول ۵ و ۶). آب مغناطیسی بر آنزیم‌های رشد و افزایش جذب مواد مغذی موثر است و سبب افزایش تقسیم سلولی می‌شود. آلکایر و همکاران (Alkhire et al., 1993) و کوهزاددهمیانی (۱۳۹۲) نیز مشاهده کردند که تنش خشکی باعث کاهش طول برگ و طول دمبرگ در گیاه نعناء و اسفناج شد.

کلروفیل a ، b و کارتنوئید و شاخص سبزینگی

آب مغناطیسی باعث افزایش کلروفیل a و b و شاخص سبزینگی و کاهش کارتنوئید شد (جدول ۵). آبیاری با آب مغناطیسی باعث افزایش جذب عناصر میکرو و مواد مغذی مورد نیاز برای تشکیل رنگدانه‌ها مانند نیتروژن و منیزیم و افزایش آنزیم و پلاستیدها می‌شود (Alzubaidy, 2014). همچنین افزایش غلظت جیبرلیک اسید ناشی از میدان مغناطیسی باعث افزایش کلروفیل b می‌شود (Selim Dalia, 2013). نتایج بدست آمده با نتایج ضرابی و همکاران (۱۳۹۶) و بیکتی (Biketi, 2018) بر گیاه ذرت و اسفناج مطابقت دارد. کوهزاددهمیانی (۱۳۹۲) و صفری‌زاده ثانی (۱۳۹۸) نیز دریافتند که تنش خشکی بر میزان کلروفیل a و b گیاه اسفناج و فلفل دلمه‌ای تاثیر معنی‌داری ندارد.

پرولین

تیمارهای آب مغناطیسی و کم‌آبیاری به ترتیب باعث کاهش و افزایش پرولین شدند (جداول ۵ و ۶). یکی از مهم‌ترین موادی که در تحت تنش خشکی افزایش می‌یابد اسید آمینه پرولین است. پرولین می‌تواند بدون آسیب به ساختار یا اختلال در متابولیسم سلولی، در مقادیر بالایی در سلول‌های گیاهی تجمع یابد و به ایجاد تعادل اسمزی، پایداری غشا و خنثی سازی رادیکال‌های آزاد کمک کند (Demiralay et al., 2013). نتایج مشابه نتایج و مطالعات زند (۱۳۹۵) بر گیاه نعناء و عثمان و همکاران (Osman et al., 2014) بر گیاه گلابی می‌باشد.

محتوای نسبی آب برگ و هدایت روزنه‌ای

آب مغناطیسی و کم‌آبیاری به ترتیب باعث افزایش و کاهش RWC شدند(جداول ۵ و ۶). محتوای نسبی آب با هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق و فتوسنتز ارتباط داشته و گیاهانی که قادر باشند محتوای نسبی آب خود را نسبت به شرایط تورژسانس کامل در حد مطلوبی حفظ کنند، عملکرد بهتری در شرایط تنش از خود نشان می‌دهند. میدان مغناطیسی باعث تغییر در خواص فیزیکی و شیمیایی آب از قبیل پیوند هیدروژنی، کشش سطحی، رسانایی و pH می‌شود که این تغییرات ممکن است در افزایش RWC موثر باشد (Khalil and Leila., 2016). نتایج این قسمت مشابه نتایج ماهشواری و گروال (Maheshwari and Grewal, 2009) و السید (El Sayed, 2014) بر گیاه کرفس و باقلا بود. هدایت روزنه‌ای نیز برای هیچ تیماری معنی‌دار نشد (جدول ۴). نتیجه مشابه ضرابی و همکاران (۱۳۹۶) بر گیاه ذرت است.

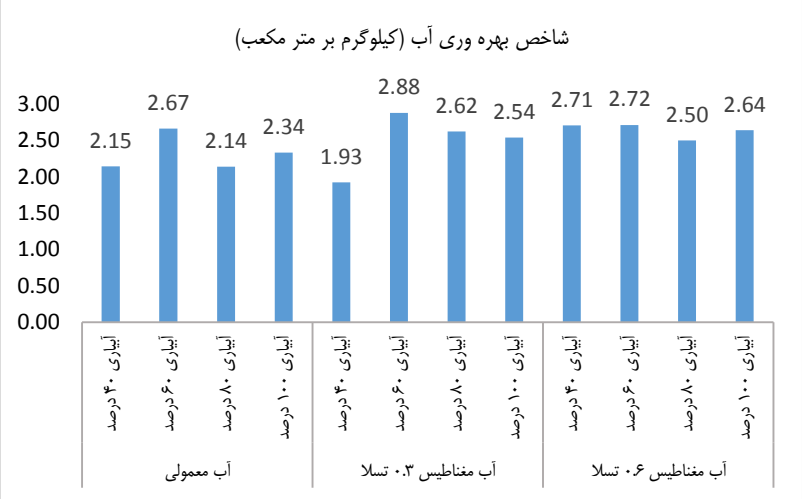
شاخص بهره‌وری آب

نتایج نشان می‌دهد تیمارهای مغناطیسی عموماً از شاخص بهره-وری آب بالاتری برخوردارند (شکل ۱). با اعمال میدان مغناطیسی به دلیل منظم‌تر شدن مولکول‌های آب و اشغال فضای کمتر توسط آن‌ها و افزایش توانایی جذب آب توسط گیاه، کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد (Belyavskaya, 2004). همچنین افزایش جذب آب و مواد غذایی محلول توسط ریشه، باعث افزایش تولید ماده‌ی غذایی و در نهایت عملکرد گیاه می‌شود (نیکبخت و رضایی، ۱۳۹۶). نتایج بر مطالعات سلیم و سلیم (Selim and Selim, 2019) و السید (El Sayed, 2014) بر گیاه گندم و باقلا و نتایج رجبی فخرآباد (۱۳۹۵) مبنی بر افزایش شاخص بهره‌وری در شرایط کم آبیاری در گیاه اسفناج منطبق است.

نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده در این پژوهش نشان می‌دهد استفاده از آب مغناطیسی باعث افزایش عملکرد اسفناج شد بطوری‌که منجر به افزایش صفات وزن تر و خشک اندام هوایی، حجم ریشه، شاخص سبزینگی و طول دمبرگ اسفناج شد. استفاده از آب مغناطیسی باعث کاهش اثرات منفی ناشی از کم‌آبیاری در گیاه اسفناج می‌شود بطوری‌که استفاده از این تیمار باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ و کاهش پرولین شد. همچنین استفاده از روش کم‌آبیاری باعث افزایش عملکرد گیاه اسفناج در اندام هوایی گیاه شد. همچنین این تیمار باعث افزایش شاخص بهره‌وری آب شد بطوری‌که تیمار با کم‌آبیاری ۶۰ درصد بالاترین شاخص را در بین تیمارهای آبیاری دارد. اثر متقابل تیمارهای مغناطیسی و کم‌آبیاری بر قسمت ریشه‌ای گیاه اسفناج پررنگ‌تر بوده است بطوری‌که مشاهده می‌شود بیشترین وزن تر و خشک ریشه و بیشترین حجم ریشه مربوط به تیمار حداکثر میزان آبیاری و آب مغناطیس ۰/۶ تسلا می‌باشد که افزایش بیش از دو برابری نسبت به تیمار شاهد دارد. پیشنهاد می‌شود که در راستای نتایج این پژوهش در آینده شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی

امتحان شود و به اثرات آب مغناطیسی بر غلظت عناصر جذب شده گیاه توجه شود و می‌توان از آب چاه که در عمل مورد استفاده قرار می‌گیرد نیز استفاده کرد.



شکل ۱- شاخص بهره‌وری آب در تیمارهای آزمایش

منابع

اصلانی، ش.، برزگر، ط. و نیکبخت، ج. ۱۳۹۸. اثر اسید هیومیک بر شاخص‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد گوجه‌فرنگی تحت شرایط کم‌آبیاری، مجله به‌زراعی کشاورزی، ۲۱ (۲): ۲۳۲-۲۲۱.

انجیلی، م.، اسماعیل پور، ب.، فاطمی، ح. و جلیل وند، پ. ۱۳۹۷. تاثیر قارچ میکوریزا بر رشد و عملکرد فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annum*.L) تحت شرایط تنش خشکی، فصلنامه علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، ۹ (۳۴): ۳۹-۵۳.

پرنیان، پ. ۱۳۹۲. بررسی اثر تنش شوری و خشکی بر جوانه‌زنی، صفات کمی اسفناج، عناصر غذایی در گیاه و برخی از خصوصیات خاک. پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه لرستان.

جانعلی زاده قزوینی، م.، نظامی، الف.، خزاعی، ح. ر.، فیضی، ح. و گلدانی، م. ۱۳۹۵. اثر میدان‌های مغناطیسی بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه کنجد (*Sesamum indicum* L.)، نشریه پژوهش‌های بذر ایران، ۳ (۱): ۱-۱۳.

رجبی فخر آباد، ع. ۱۳۹۵. بررسی اثر سطوح مختلف شوری و آب آبیاری بر عملکرد اسفناج. پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه گرگان.

زارع میرک آباد، ر.، سهرابی، ت. و متشرع زاده، ب. ۱۳۹۷. اثر کم‌آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهری بر عملکرد ذرت، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۹ (۳): ۵۰۵-۵۱۴.

زند. الف. ۱۳۹۵. تاثیر استفاده از مویان و کودهای زیستی بر خصوصیات رشد، عملکرد و برخی تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نعناء تحت شرایط کم‌آبیاری. پایان نامه دوره دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد.

شمسایی، م.، سودایی زاده، ح. و تجملیان، م. ۱۳۹۵. تاثیر اعمال تنش خشکی روی گیاه مادری بر برخی شاخص‌های جوانه‌زنی بذرهای تولیدی مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.)، مجله مدیریت بیابان، ۴ (۸): ۲۷-۳۵.

صادقی پور، الف.، و آقایی، پ. ۱۳۹۳.بررسی اثر تنش خشکی و کاربرد آب مغناطیسی بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش، مجله پژوهش‌های به زراعی، ۶ (۱): ۸۰-۸۶.

صفری زاده ثانی، ع. ۱۳۹۸. تاثیر آب مغناطیسی و پرایم بذر بر شاخص‌های رشد فلفل دلمه‌ای تحت شرایط کم‌آبیاری. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

ضرابی، م. م.، مفاخری، س. و کاویانی، ع. ۱۳۹۶. مقایسه اثر آبیاری با آب معمولی و مغناطیسی بر خصوصیات مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه ذرت تحت شرایط تنش خشکی. فصلنامه علمی

پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی، ۹ (۳۵): ۳۹-۵۴.

عالی نژادیان بیدآبادی، الف.، حسنی، م. و ملکی، ع. ۱۳۹۷. تاثیر مقدار و شوری آب بر شوری خاک و رشد و غلظت عناصر غذایی اسفناج در گلدان، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۹ (۳): ۶۴۱-۶۵۱.

علیزاده، امین. ۱۳۹۲. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ سی و ششم. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.

فرهادی، ح.، عزیزی، م. و نعمتی، س.ح. ۱۳۹۶. بررسی خصوصیات جوانه‌زنی توده‌های گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.). تحت تاثیر تنش شوری و خشکی، نشریه علوم باغبانی، ۳۱(۱)، ۴۹-۶۰.

کرمی، س.، هادی، ه.، تاج بخش شیشوان، م.، و مدرس ثانوی، س.ع. م. ۱۳۹۷. اثر سطوح مختلف نیتروژن و زئولیت بر محتوای کلروفیل وکیفیت و عملکرد علوفه تاج خروس تحت تنش کم‌آبیاری. مجله به‌زراعی کشاورزی، ۲۰(۱): ۶۷-۸۴.

کوهزاد دهمیانی، م. ۱۳۹۲. تأثیر تنش خشکی بر روی خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی دو رقم وارداتی و یک توده بومی اسفناج. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

گلدانی، م.، جوادی، م. و نظامی، الف. ۱۳۹۵. تاثیر آب مغناطیسی و تنش شوری بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)، مجله پژوهش‌های حبوبات ایران، ۷ (۱): ۸۱-۹۲.

متانت، م. ۱۳۹۷. تاثیر آب مغناطیسی در جهت بهبود آب مصرفی و عملکرد گیاه تربچه (*Raphanus sativum*). پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

متانت، م.، بانژاد، ح.، قلی زاده، م.، و گلدانی، م. ۱۳۹۷. بررسی تأثیر شدت‌های مختلف آب مغناطیسی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه تربچه، مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۲ (۱۲): ۴۷۲-۴۸۰.

محمدیان، م.، فتاحی، ر. الف. و نوری امام زاده ای، م.ر. ۱۳۹۵. بررسی تاثیر آب شور مغناطیسی شده بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه فلفل سبز، فصلنامه علوم و مهندسی آبیاری، ۳۹ (۱): ۱۳۰-۱۲۱.

مرجانی، ع.، فارسی، م. و رحیمی زاده، م. ۱۳۸۵. بررسی تحمل به خشکی ده ژنوتیپ نخود دیم در مرحله جوانه‌زنی با استفاده از پلی‌اتیلن‌گلایکول ۶۰۰۰. ویژه نامه علمی – پژوهشی علوم کشاورزی، ۱۲ (۱): ۱۸-۲۸.

نظری، ب. و لیاقت، ع. مبانی و شاخص های بهره‌وری آب در کشاورزی. ۱۳۹۶. ماهنامه برزگر. ۱۱۲۰: ۵۶.

نیکبخت، ج. و رضایی، الف. ۱۳۹۶. تاثیر سطوح مختلف پساب و آب مغناطیسی شده بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در آبیاری ذرت و برخی خصوصیات فیزیکی خاک، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۸ (۱): ۶۳-۷۵.

نیکبخت، ج.، طالعی، الف. ۱۳۹۸. تاثیر آب مغناطیسی بر خصوصیات هیدرولیکی آبیاری قطره ای- نواری و عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت، فصلنامه حفاظت منابع آب و خاک، ۸(۴): ۲۱-۳۶.

Ahmed, M.E.M., and EL-KADER, N.I.A.B.D. 2016. The influence of magnetic water and water regimes on soil salinity, growth, yield and tubers quality of potato plants. Middle East Journal of Agriculture Research, 5(2): 132-143.

Alkhire, T.B.H., Simon, J.E., Palevitch, D., and Putievsky, E. 1993. Water management for Midwestern peppermint (*Mentha piperita* L.) growing in highly organic soil, Indiana, USA. Acta Horticulturae, 344: 544-556.

Al-Khazan, M., Mohamed Abdullatif, B. 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(9): 722-731.

Alpsoy, H.C., and Unal, H. 2019. Effect of stationary magnetic field on seed germination and crop yield in spinach (*Spinacia oleracea* L.). Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences, 72(5).

Alzubaidy, N.A. 2014. Research Article Effect Of Magnetic Treatment Of Seeds And Irrigation Water At Different Intensities In The Growth And Production Of Maize., International Journal Of Recent Scientific Research. 5.10: 1923-1925.

Arnon, A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal. 23: 112-121.

Azooz, M.M. and M.M. Youssef. 2010. Evaluation of

treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Eur. J. Agron, 24: 291-295.

Hozayn, M., and Qados, AMSA. 2010. Irrigation with magnetized water enhances growth, chemical constituent and yield of chickpea. Agriculture and Biology Journal of North America. 1(4): 671-676.

Khalil, S.E., and Leila, B.H.A. 2016. Effect of magnetic treatment in improving growth, yield and fruit quality of Physalis pubescens plant grown under saline irrigation conditions. International Journal of ChenTech Research, 9(12): 246-258.

Lin, I.J., and Yotvat, J. 1990. Exposure of irrigation and drinking water to amagnetic field with controlled power and direction. Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 83: 525-526.

Maheshwari, B.L., and Grewal, H.S. 2009. Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity. Agricultural water management, 96(8): 1229-1236.

Mahmoud, M. H., Salim, M. A., El-Monem, A., Amany, A., & El-Mahdy, A. A. (2019). Effect of Magnetic Brackish-Water Treatments on Morphology, Anatomy and Yield Productivity of Wheat (Triticum Aestivum. Alexandria Science Exchange Journal, 40(OCTOBER-DECEMBER), 604-617.

Massah, J., Dousti, A., Khazaei, J., & Vaezzadeh, M. (2019). Effects of water magnetic treatment on seed germination and seedling growth of wheat. Journal of Plant Nutrition, 42(11-12), 1283-1289.

Michael B.E. and Kaufman, M.R. 1976. The osmotic potential of polyethylenglycol-6000. Plant Physiology, 51: 914-916.

Najafi, S., Heidari, R., and Jamei R. 2013. Influence of the magnetic field stimulation on some biological characteristics of Phaseolus vulgaris in two different times. Glob J Sci, EngTechnol. 11: 51-58.

Osman, E.A.M., El-Latif, K.A., Hussien, S.M., and Sherif, A.E.A. 2014. Assessing the effect of irrigation with different levels of saline magnetic water on growth parameters and mineral contents of pear seedlings. Global Journal of Scientific Researches, 2(5), 128-136.

Ritchie, S.W., Nguyen, H.T., and Holaday, A.S. 1990. Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop science, 30(1): 105-111.

heat shock and salicylic acid treatments as inducers of drought stress tolerance in hassawi wheat. American Journal of Plant Physiology. 5(2): 56-70.

Bates, L.S., Waldern, R.P., and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies authors and affiliations. Plant and soil, 39: 205-207.

Belyavskaya, N.A. 2004. Biological effects due to weak magnetic field on plants. Adv. Space Res. 34:1566–1574.

Biketi, S. 2018. Investigation of the effect of long term exposure of magnetic field on the elemental composition and chlorophyll concentration in spinach beet (*Beta vulgaris* subsp. vulgaris) (Doctoral dissertation, Egerton University).

Da Silva, J.A.T., and Dobr_anszki J. 2016. Magnetic fields: How is plant growth and development impacted? Protoplasma 253 (2):231–48.

Demiralay, M., Saglam, A., and Kadioglu, A. 2013. Salicylic acid delays leaf rolling by inducing antioxdant enzymes and modulating osmoprotectant content in Ctenanthe setosa under osmotic stress. Turkish Journal of Biology, 37(1): 49-59.

El-Kholy, M.F., Samia, S., and Farag, A.A. 2015. Effect of magnetic water and different levels of NPK on growth, yield and fruit quality of Williams banana plant. Nat. Sci, 13(7): 94-101.

El Sayed, H.E.S.A. 2014. Impact of magnetic water irrigation for improve the growth, chemical composition and yield production of broad bean (*Vicia faba* L.) plant. Journal of Experimental Agriculture International, 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.

Gholizadeh, M. 2019. U.S. Patent No. 10,507,450. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Gregory, P.J. 2006. Plant Roots (Growth, Activity and Interaction with Soils). Blackwell Publishing, pp: 150-173.

Jones, S., and Hampton, J. 2010. International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Asociation. Bassersdorf, Switzerland.Kaya M.D., Okcu G., Atak M., Cıkılı Y., and Kolsarıcı O. 2006. Seed

Yusuf, K.O., and and AO, O. 2017. Effect of magnetic treatment of water on evapotranspiration of tomato. Arid Zone Journal of Engineering, Technology and Environment, 13(1): 86-96.

Yusuf, K.O., Sakariyah, S.A., and Baiyeri, M.R. 2019. Influence of Magnetized Water and Seed on Yield and Uptake of Heavy Metals of Tomato. Notulae Scientia Biologicae, 11(1): 122-129.

Zhang, J., Sha, Z., Zhang, Y., Bei, Z., and Cao, L. 2015. The effects of different water and nitrogen levels on yield, water and nitrogen utilization efficiencies of spinach (*Spinacia oleracea* L.). Canadian Journal of Plant Science, 95(4): 671-679.

Zlotopolski, V. 2017. Magnetic Treatment Reduces Water Usage in Irrigation Without Negatively Impacting Yield, Photosynthesis and Nutrient Uptake in Lettuce. International Journal of Applied Agricultural Sciences, 3(5): 117-122.

Zúñiga, O., Benavides, J.A., Ospina-Salazar, D.I., Jiménez, C.O., and Gutiérrez, M.A. 2016. Magnetic treatment of irrigation water and seeds in agriculture. Ingeniería y Competitividad, 18(2): 217-232.

Selim, A.F.H., and Selim, D.A. 2019. Physio-Biochemical Behaviour, Water Use Efficiency and Productivity of Wheat Plants Exposed to Magnetic Field. Journal of Plant Production, 10(2): 185-191.

Selim Dalia A.H. 2013. Physiological response of wheat plants to magnetic technologies under salt stress conditions. Ph.D. Thesis, Minufiya University, Faculty of Agriculture, Egypt.

Sezen, S.M., Yazar, A., and Tekin, S. 2019. Physiological response of red pepper to different irrigation regimes under drip irrigation in the Mediterranean region of Turkey. Scientia Horticulturae, 245, 280-288.

Tiaz, L. and Zeiger, E. 2006. Plant physiology, Accedez directement, New York.

Ul Haq, Z., Iqbal, M., Jamil, Y., Anwar, H., Younis, A., Arif, M. and Hussain, F. 2016. Magnetically treated water irrigation effect on turnip seed germination, seedling growth and enzymatic activities. Information processing in agriculture, 3(2), 99-106.

Yinan, Y., Yuan, L., Yongqing, Y. and Chunyang, L. 2005. Effect of seed pretreatment by magnetic field on the sensitivity of Cucumber (*Cucumis sativus*) seedlings to ultraviolet-B radiation. Environmental and Experimental Botany, 54: 286-294.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 14, Oct.-Nov. 2020, p. 1538-1549

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۴، آذر - دی ۱۳۹۹، ص. ۱۵۴۹-۱۵۳۸

Evaluation of the Effect of Magnetic Water on Seed Germination and Growth Characteristics of Spinach (*Spinacia oleracea*) under Dificit Irrigation Conditions

B. Shahedi[1], H. Banejad[2*], M. Goldani[3], M. Gholizadeh[4]
Recived: Aug.07, 2020 Accepted: Sep.13, 2020

Abstract

Magnetic water increases net plant production by increasing seed stimulation for germination and increasing plant growth rate and strength. This study aimed to investigate the effect of magnetic water on water productivity, germination and yield of (*Spinacia oleracea*) under dificit irrigation in both laboratory and greenhouse as a factorial experiment in a completely randomized design at Ferdowsi University of Mashhad. In the first experiment, the treatments included three levels of magnetic water (normal water as a control treatment, magnetic water with an intensity of 0.3 Tesla, magnetic water with an intensity of 0.6 Tesla) and 7 moisture potentials (potential 0, -0.1, -0.3, -1, -3, -6 and -9 bar) and in the second experiment, four levels of dificit irrigation were included: 100% irrigation, 80% irrigation, 60% irrigation and 40% irrigation. The results show that the use of drought treatment reduced plant germination traits including seed vigor index, germination and speed percentage, wet and dry weight of stems and roots, length of stems and roots. The use of magnetic water increased the yield of spinach and reduced the negative effects of deficit irrigation. Overall, the results showed a 25 and 31% increase in shoot fresh and dry weight, 41% increase in leaf area, 36% and 20% increase in fresh and dry root weight, 24% increase in root volume, 11% increase in relative leaf water content, decrease Proline was a 33% increase in water productivity index. The use of low irrigation also improved the fresh and dry weight traits of shoots and water productivity index.

Keywords: Dificit irrigation, Magnetic field, Polyethylene glycol, Spinach, Water productivity

1- M.Sc. Student Irrigation and Drainage Engineering Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Associate Professor Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Associate Professor Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
4- Professor Department of Chemistry, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: Banejad@um.ac.ir)