تاثیر کم‌آبیاری تنظیم‌شده با آب مغناطیسی بر خواص کمی، کیفی و بهره‌وری آب نخودفرنگی

امیرحسین یداللهی، مجتبی خوش‌روش[1] و محمدعلی غلامی سفیدکوهی

دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
amir.hyr@gmail.com
دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
khoshravesh_m24@yahoo.com; m.khoshravesh@sanru.ac.ir
دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
magholamis@yahoo.com

دریافت: مهر ۱۴۰۰ و پذیرش: آذر ۱۴۰۰

چکیده

هدف از این پژوهش تاثیر کم‌آبیاری تنظیم‌شده با آب مغناطیسی بر خصوصیات کمی و کیفی نخودفرنگی (Pisum sativum L.) می‌با شد. پژوهش حا ضر در مزرعه‌ای واقع در رو ستای آغوزبن شهر ستان بابل ا ستان مازندران انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمار شاهد شامل آبیاری کامل در تمام مراحل ر شد گیاه و با آب معمولی (غیر مغناطیسی) بود. فاکتور ا صلی شامل نوع آب (آب غیر مغناطیسی (W1) و آب مغناطیسی (W2)) و فاکتور فرعی شامل سطح آبیاری (I1= ٪۱۰۰)، (I2=٪۸۰) و (I3=٪۶۰) آب موردنیاز گیاه) بود. برای آبیاری از سیستم آبیاری قطره‌ای با لوله‌های تیپ استفاده شد. نتایج نشان داد که اثر نوع آب آبیاری و سطح آبیاری و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر پارامترهای غلاف در بوته، دانه در غلاف، عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین میزان غلاف در بوته، دانه در غلاف و عملکرد دانه در تیمار W2I1 به‌ترتیب به میزان ۱۳/۲ عدد، ۷/۵ عدد و ۸/۴۷۲ تن در هکتار و بیشترین میزان بهره‌وری مصرف آب در تیمار W2I3 به میزان ۳/۷ کیلوگرم بر متر مکعب مشاهده شد. آبیاری با آب مغناطیسی به‌طور متوسط باعث افزایش عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب به‌ترتیب به‌میزان ۸/۶٪ و ۸/۷٪ ن سبت به تیمار آب غیرمغناطیسی شد. همچنین اثر نوع آب آبیاری و سطح آبیاری تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر روغن، عملکرد روغن، پروتئین، عملکرد پروتئین و زمان جوانه‌زنی داشت اما بر روی زمان ر سیدن اثر معنی‌داری ندا شت. افزایش ۲۰٪ سطح آبیاری از I3 به I2 و از I2 به I1 در تیمار آب غیر مغناطیسی به‌ترتیب باعث افزایش ۱۴/۵٪ و ۱۸٪ و در تیمار آب مغناطیسی باعث افزایش ۱۴/۲٪ و ۱۳/۶٪ عملکرد دانه شد. سریعترین زمان جوانه‌زنی نیز مربوط به تیمار W2I2 با ۱۰/۳ روز بعد از کا شت رخ داد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که آبیاری با آب مغناطیسی می‌تواند یک راه‌کار منا سب برای افزایش عملکرد، بهبود خصو صیات کیفی و افزایش بهره‌وری مصرف آب گیاه نخودفرنگی باشد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، صرفه‌جویی آب، عملکرد روغن

[1] – آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

مقدمه

با توجه به رشد جمعیت و کمبود منابع آبی، تأمین امنیت غذایی یکی از مشکلات اساسی کشورهای درحال‌توسعه به‌ویژه ایران به شمار می‌رود. همچنین عدم وجود دانش کافی و فرهنگ مناسب در اکثر کشاورزان ایران و برداشت بی‌رویه از ذخایر آب زیرزمینی، موجب بحران شدید کمبود آب شده‌است. در شرایطی که محدودیت استفاده از منابع آبی وجود دارد، استفاده از روش کم‌آبیاری و بالا بردن راندمان مصرف آب امری ضروری به شمار می‌آید. استراتژی مدیریت کم‌آبیاری، به معنی کاربرد آب کمتر از نیاز آبی محصول به‌منظور به حداکثر رساندن عملکرد گیاه و مهم‌تر از آن رسیدن به سود حداکثر با توجه به میزان آب در دسترس است (رودنیک و همکاران، ۲۰۱۷). یکی از انواع این روش‌ها، کم‌آبیاری تنظیم شده[۲] (RDI) است. کم‌آبیاری تنظیم شده یک روش مدیریتی است که با اعمال تنش‌های رطوبتی در سطوح مختلف آبیاری و در زمان‌های مشخص از دوره رشد بتوان عملکرد محصول را حفظ کرد و به حداکثر استفاده از مصرف آب رسید؛ در این روش رشد گیاه در مراحل زایشی و رویشی کنترل می شود (سپاسخواه و همکاران، ۱۳۸۵). در این روش، میزان آبیاری گیاهان در زمان‌های مشخص از دوره رشد که به تنش رطوبتی حساسیت کمتری دارند، کاهش می‌یابد و گیاه تحت کم آبیاری قرار می‌گیرد. میزان تنش آبی باید به اندازه‌ای باشد که تلفات کاهش عملکرد ناچیز باشد و کم‌آبیاری نباید در مواقعی که گیاه به تنش خشکی حساسیت بالایی دارد اعمال شود. هدف از این روش افزایش کارایی مصرف آب، حفظ رشد زایشی و رویشی است. در صورت مدیریت صحیح، به‌ویژه در مناطقی که کمبود (محدودیت) بیشتری از آب وجود دارد، فواید زیادی را به‌همراه خواهد داشت (روهنده و همکاران، ۱۳۹۴).

از روش‌های نوینی که مقدار کل آب مصرفی برای آبیاری را کاهش می‌دهد، استفاده از فن‌آوری آب مغناطیسی است که عملکرد محصول در واحد حجم آب مصرفی را افزایش می‌دهد. آب مغناطیسی، آبی است که از یک میدان مغناطیسی که طبق محاسبات معینی ایجاد شده، عبور کرده و در نتیجه باعث تغییر و بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی آن می‌شود (خوش‌روش و کیانی، ۱۳۹۴)؛ به عبارت دیگر عبور آب از یک میدان مغناطیسی سبب تغییر در سختی، وزن مخصوص، گرانروی، شوری، هدایت الکتریکی، کشش سطحی، قابلت حل نمک‌ها، تغییر ساختار خوشه‌ای، زنجیره پیوند هیدروژنی مولکول‌ها، افزایش اثرات دوقطبی مولکول‌های آب، تغییر در ضریب شکست نور، اسیدیته آب، زاویه تماس آب با دیواره، میزان ترکنندگی و قدرت حل‌کنندگی آب می شود (ایمانی و نیکبخت، ۱۳۹۴؛ حیدرپور و همکاران، ۱۳۹۵).

قدمی فیروزآبادی و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی اثر کم آبیاری تنظیم‌شده و کم آبیاری ناقص ریشه بر عملکرد، فلورسانس کلروفیل و پارامترهای رشد آفتابگردان با تیمارهای آبیاری کامل[۳] (FI)، کم‌آبیاری تنظیم شده در دو سطح ۷۵ و ۵۵ درصد و آبیاری ناقص ریشه (PRD[۴]) در دو سطح ۷۵ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی در یافتند که تیمارهای آبیاری اثر متفاوت و معنی‌داری بر وزن خشک ساقه، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه و کارایی فتوسنتز داشتند و تیمار آبیاری کامل بیشترین عملکرد را با ۵۱۴۸ کیلوگرم در هکتار داشت که با تیمار PRD ۷۵ تفاوت معنی‌داری نداشت. تیمار FI ۷۵ بیشترین شاخص سطح برگ را دارا بود که با تیمارهای PRD ۷۵، DI ۷۵ و PRD ۵۵ تفاوت معنی‌داری نداشت.

مهرابی گوهری و اسدی (۱۳۹۶) با بررسی عملکرد گوجه‌فرنگی تحت تأثیر کم‌آبیاری تنظیم‌شده و آبیاری ناقص ریشه، آزمایشی را در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار در جیرفت انجام دادند. تیمارها شامل آبیاری کامل، کم آبیاری تنظیم شده و آبیاری ناقص ریشه

[۲]- Regulated Deficit Irrigation

[۳]- Full Irrigation

[۴]- Partial Rootzone Drying

در دو سطح ۷۵ و ۵۵ درصد بود. نتایج آن‌ها نشان داد که تیمار آبیاری کامل دارای بیشترین عملکرد محصول (۶۵/۲۰۲ تن در هکتار) بود. همچنین وزن میوه و عملکرد در آبیاری ناقص ریشه در سطح ۷۵ درصد به‌ترتیب برابر ۷/۱۶۹ گرم و ۵۹/۱۹۵ تن در هکتار به‌دست آمد و بیشترین کارایی مصرف آب مربوط به تیمار کم‌آبیاری ناقص ریشه با سطح ۷۵ درصد بود. عملکرد کم‌آبیاری تنظیم‌شده در سطح ۷۵ درصد نسبت به کم‌آبیاری ناقص ریشه ۱/۱۶ درصد کاهش یافت. گرگینی شبانکاره و خراسانی‌نژاد (۱۳۹۶) گزارش کردند که اعمال کم‌آبیاری بر روی گیاه نعنا فلفلی منجر به کاهش ارتفاع و وزن تر و خشک بوته شد.

ماهشواری و گریول (۲۰۰۹) تأثیر میدان مغناطیسی را به‌صورت سه تیمار آب‌شور (۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، آبیاری معمولی (۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و آب بازیافتی (۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، روی عملکرد گیاهان لوبیا، کرفس و نخود در شرایط گلخانه‌ای مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که آب مغناطیسی نسبت به آب غیر مغناطیسی در تیمار آب بازیافتی و آب‌شور، باعث افزایش محصول کرفس به میزان ۱۲ و ۲۳ درصد و افزایش بهره‌وری آب به میزان ۱۲ و ۲۴ درصد شد. در لوبیا نیز افزایش عملکرد محصول و بهره‌وری آب بدون تأثیر معنی‌دار در هر سه تیمار آب مغناطیسی مشاهده شد. عبدالقدوس و هوزاین (۲۰۱۰) گزارش کردند که آبیاری با آب مغناطیسی سبب جذب بیشتر و راحت‌تر آب از خاک شده که در نتیجه جذب مواد غذایی از خاک بیشتر و بهتر صورت خواهد گرفت که موجب افزایش رشد و عملکرد کمی و کیفی گیاه خواهد شد.

رستگار و همکاران (۱۳۹۴) اثر آب مغناطیسی بر جوانه‌زنی و خصوصیات رشد اولیه بذر گوجه‌فرنگی را به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از این بود که آب‌مغناطیسی توانست افزایش چشم‌گیری بر سرعت و درصد جوانه‌زنی، وزن تر گیاهچه، رشد رویشی و ترکیبات شیمیایی مانند کلروفیل نسبت به تیمار شاهد ایجاد کند. همچنین جوانه‌زنی در بذر شاهد ۹۳ درصد بوده اما در بذر آبیاری شده با آب مغناطیسی ۹۴/۶ درصد بوده است. سورندران و همکاران (۲۰۱۶) اثرات آب مغناطیسی بر گیاه نخود گاوی را مورد بررسی قرار دادند. تیمارهای آزمایش شامل نوع آب (مغناطیس و غیرمغناطیس) و کیفیت آب (آب نرمال و آب سخت ۱۵۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ ppm) بود. نتایج نشان داد که تیمار آب مغناطیسی باعث بهبود در رشد گیاه و مولفه‌های عملکرد شد. حداکثر عملکرد در آب مغناطیسی برای آب نرمال و شور به‌ترتیب به میزان ۲۵/۸ و ۱۷ درصد افزایش نسبت به تیمار غیر مغناطیسی داشت. شاهین و همکاران (۲۰۱۶) تأثیر آبیاری با آب مغناطیسی را بر پارامترهای رشد و بهره‌وری عملکرد خیار بررسی کردند و نشان دادند که تیمارهای مغناطیسی در مقایسه با تیمار شاهد، درصد جوانه‌زنی، ارتفاع بوته، عملکرد و درصد ماده خشک برگ خیار را افزایش بخشید. قدمی فیروزآبادی و همکاران (۱۳۹۵) اثر آبیاری با آب مغناطیسی بر عملکرد دانه و بیوماس گیاه سویا رقم DPX را در شرایط کم آبیاری و شوری آب مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که آب مغناطیسی مقدار عملکرد دانه، بیوماس، ارتفاع گیاه، درصد روغن و درصد پروتئین در تمامی تیمارهای خشکی و شوری را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. بیشترین میزان عملکرد دانه برابر ۵/۵ تن در هکتار از تیمار ۱۰۰ در صد نیاز آبی مربوط به تیمار آب مغناطیسی بود. عابدین‌پور و روحانی (۱۳۹۸) به بررسی اثر شوری و آب مغناطیسی بر عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه زیره سبز پرداختند و نشان دادند که آبیاری با آب مغناطیسی سبب افزایش عملکرد نسبت به تیمار غیرمغناطیسی شد. همچنین آب مغناطیس شده سبب افزایش کارایی مصرف آب به میزان ۱۷/۴، ۱۰/۳، ۶/۵ و ۸/۸ درصد به‌ترتیب در تیمارهای آب شور ۱۰، ۸، ۶ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر شده بود. بابالو و همکاران (۲۰۱۸) اثر آبیاری با آب مغناطیسی بر پارامترهای رشد و ترکیبات شیمیایی برنج را مورد بررسی قرار دادند

و گزارش کردند که آبیاری با آب مغناطیسی باعث افزایش پروتئین کل می‌شود. مهادی حسن و همکاران (۲۰۱۹) اثر آب مغناطیسی بر رشد و وضعیت فیزیولوژیکی گز روغنی را مورد بررسی قرار دادند. این آزمایش در گلخانه و با تیمارهای نوع آب (غیرمغناطیسی و آب مغناطیسی) و رژیم آبیاری شامل ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه (به‌عنوان شاهد)، ۵۰ در صد ظرفیت مزرعه (به‌عنوان تنش خشکی متوسط) و ۲۰ درصد ظرفیت مزرعه (به‌عنوان تنش خشکی شدید) انجام شد. نتایج نشان داد که تنش خشکی کاهش قابل توجهی در ارتفاع بوته، سطح برگ، محتوای نسبی آب، کلروفیل و محتوای یون، تعرق، هدایت روزنه‌ای و راندمان مصرف آب ایجاد کرد. همچنین تیمارهای آبیاری با آب مغناطیسی باعث کاهش تجمع یون‌ها از جمله سدیم شد و توانست اثرات ناشی از تنش خشکی را در این گیاه کاهش دهد.

نخودفرنگی با نام عمومی Pea و نام علمی Pisum sativum L. متعلق به خانواده بقولات[۵] است. گیاهان این خانواده از دسته میوه‌های غلاف‌دار بوده و تثبیت نیتروژن از ویژگی‌های این گیاهان است (عباس‌پور شاهمرس، ۱۳۹۵). نخودفرنگی در میان حبوبات به‌عنوان یک منبع مغذی حاوی پروتئین شناخته‌شده، به‌راحتی برای مدت طولانی انبار می‌شود و توسط انسان و دام می‌تواند به‌عنوان غذای فرآوری شده، پخته‌شده و در بعضی مناطق به‌صورت خام مصرف شود. با توجه به مشکلاتی همچون کمبود منابع آب و تأمین امنیت غذایی در کشور، پژوهش های مختلفی برای افزایش بهره‌وری آب و بالا بردن کیفیت غذا در ایران انجام شده ا ست. برخی از این پژوهش‌ها شامل کم‌آبیاری و آبیاری با آب مغناطیسی است که راه‌کار مغناطیس نمودن آب می‌تواند به‌عنوان یک گزینه مناسب برای افزایش عملکرد کمی و کیفی محصول مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به بررسی منابع انجام شده، تاکنون پژوهشی در مورد اثر توأم کم‌آبیاری تنظیم‌شده و آب مغناطیسی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه نخودفرنگی انجام نشده است. هدف از این پژوهش بررسی اثر سطوح مختلف آب مغناطیسی بر عملکرد کمی و کیفی و بهره‌وری آب گیاه نخودفرنگی است.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه‌ای به مساحت ۱۳۶ مترمربع واقع در روستای آغوزبن شهرستان بابل واقع در استان مازندران انجام شد. اقلیم منطقه بر اساس روش لیتین اسکی که یکی از دقیق‌ترین روش‌ها برای محاسبه اقلیم است، معتدل نیمه‌مرطوب است (داودی و همکاران، ۱۳۹۳). جدول ۱ اطلاعات هواشناسی منطقه را در طول دوره رشد گیاه نشان می‌دهد.

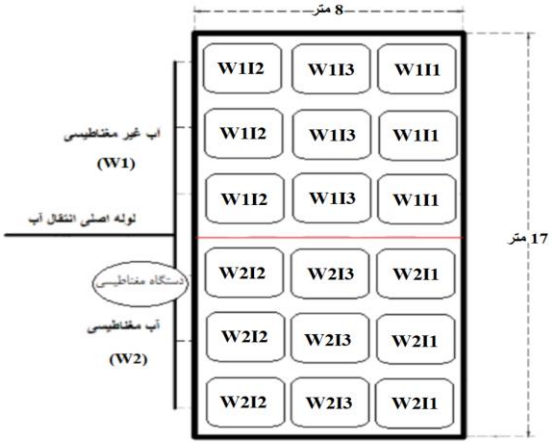
جدول ۱- اطلاعات هواشناسی منطقه در طول دوره رشد گیاه

ماه	متوسط دما (C؟)	متوسط رطوبت نسبی (٪)	بارندگی (mm)	تبخیر (mm)
آبان	۱۶/۵	۷۹	۶۲/۱	۵۷/۵
آذر	۹/۲	۸۴	۱۱۷/۴	۱۸/۴
دی	۷/۸	۸۰	۷۵/۳	۲۴/۲
بهمن	۹/۶	۸۱	۴۶/۶	۲۱
اسفند	۹	۸۰	۶۵/۳	۲۷/۶
فروردین	۱۵/۹	۷۶	۱۱/۷	۹۰/۷

در مزرعه مورد مطالعه، گیاه نخود فرنگی هلندی رقم Wolf Rossen seeds استفاده شد که رقمی دانه درشت، پفکی و زودرس به شمار می‌آید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی

[۵]- Leguminoseae

با سه تکرار (R) اجرا شد. تیمار شاهد شامل آبیاری کامل (FI) در تمام مراحل رشد گیاه و با آب معمولی (غیر مغناطیسی) بود. فاکتور اصلی شامل نوع آب (آب غیر مغناطیسی (W1) و آب مغناطیسی (W2)) و فاکتور فرعی شامل سطح آبیاری در سه سطح (۱۰۰ درصد FI (I1)، ۸۰ درصد FI (I2) و ۶۰ درصد FI (I3)) بود. در این طرح فاصله کشت روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر و فاصله ردیف‌ها از هم ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. همچنین مساحت هر کرت چهار مترمربع (۲×۲ متر) تعیین شد و کرت‌ها با فاصله یک متر از یکدیگر جهت جلوگیری از ورود آب کرت‌های مجاور، قرار داشتند. شکل ۱ جانمایی تیمارها در مزرعه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- جانمایی تیمارها در مزرعه مورد مطالعه

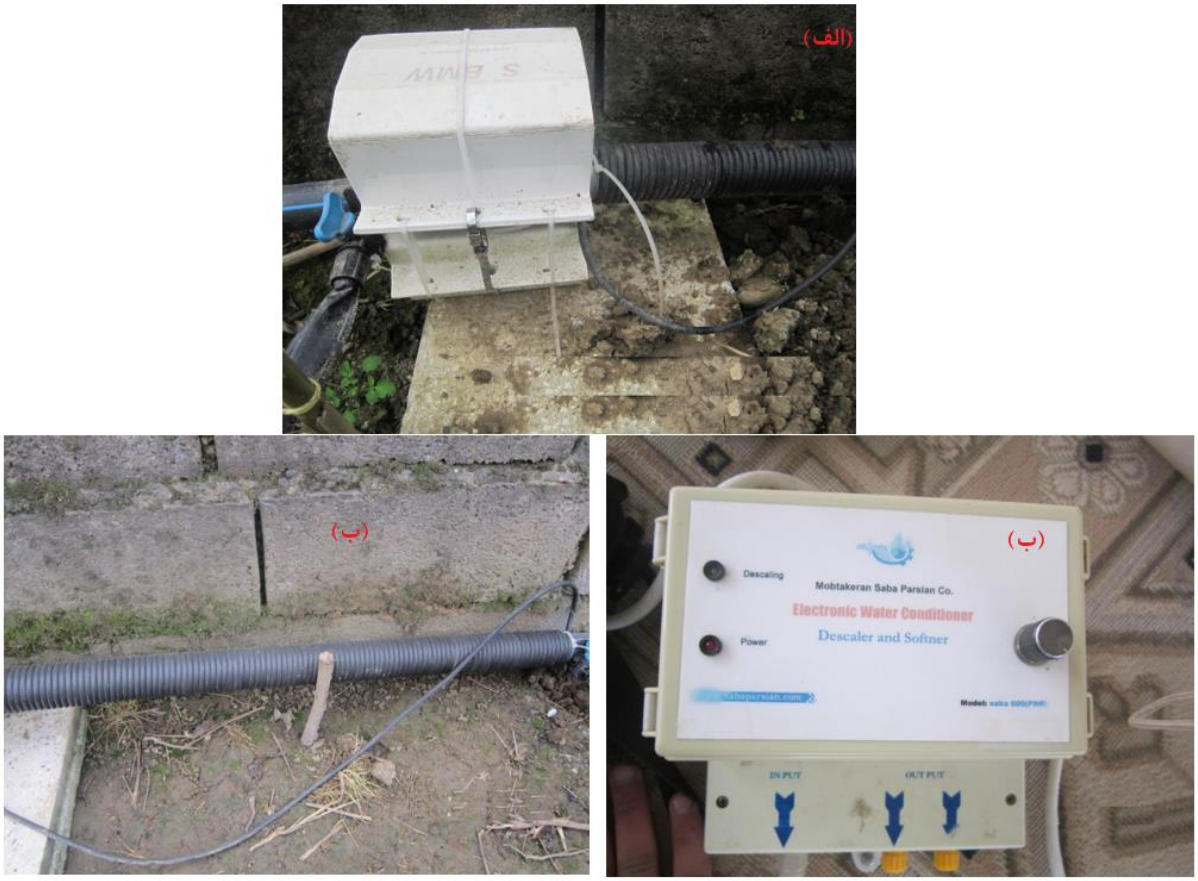
برای آبیاری از سیستم آبیاری قطره‌ای با لوله‌های تیپ استفاده شد. دور آبیاری پنج روز در نظر گرفته شد و نیاز آبی در هر نوبت بر اساس پایش رطوبت خاک و رسیدن به مقدار ظرفیت زراعی صورت گرفت. پس از اندازه‌گیری رطوبت خاک در هر نوبت، آبیاری براساس نوع هر تیمار تا ۱۰۰ درصد، ۸۰ درصد و ۶۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی زمین انجام شد. قبل از هر نوبت آبیاری، رطوبت خاک در عمق‌های ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰ و ۸۰-۶۰ سانتی‌متری از سطح زمین توسط دستگاه رطوبت‌سنج Sentek مدلDiviner اندازه‌گیری شد. به‌منظور واسنجی دستگاه رطوبت‌سنج Sentek، با تهیه ۲۳ نمونه از نواحی و اعماق مختلف زمین در فواصل زمانی متفاوت پس از آبیاری، مقدار رطوبت در آزمایشگاه اندازه‌گیری و معادله واسنجی دستگاه استخراج شد. خصوصیات فیزیکی خاک مزرعه مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه‌شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک محل مورد آزمایش

عمق	درصد ذرات خاک			بافت خاک	FC	PWP	جرم مخصوص ظاهری
(سانتی‌متر)	رس	سیلت	شن		(درصد حجمی)		(گرم بر سانتی‌متر مکعب)
۰-۲۰	۱۷	۳۹	۴۴	لوم	۳۶/۵۷	۲۰	۱/۳۸
۲۰-۴۰	۲۰	۳۶	۴۴	لوم	۳۵/۸۸	۲۰	۱/۳۸
۴۰-۶۰	۲۴	۳۲	۴۴	لوم	۳۵	۱۸/۲	۱/۴
۶۰-۸۰	۲۴	۳۰	۴۶	لوم	۳۴/۵۴	۱۶/۹۲	۱/۴۱

کم‌آبیاری تنظیم‌شده از زمان چهار برگی شدن و استقرار کامل گیاه آغاز و تا شروع مرحله گل‌دهی گیاه ادامه پیدا کرد و بعد از شروع مرحله گل‌دهی، آبیاری به‌صورت کامل صورت گرفت. لازم به ذکر است که آبیاری با آب مغناطیسی در تمام طول دوره رشد گیاه اعمال شد. به‌منظور مغناطیس کردن آب آبیاری از روش ترکیبی آهنربای دائمی و جریان الکتریسیته استفاده شد (شکل ۲). در حالت آهنربای دائمی، مگنت‌هایی در

خروجی منبع آب و به‌وسیله بست‌های محکمی به دور لوله پلی‌اتیلن نصب شدند و با ایجاد یک میدان مغناطیسی قوی سبب تغییر در خواص فیزیکی آب آبیاری شد.



شکل ۲- دستگاه مغناطیس (الف) و الکترومغناطیس (ب) نصب‌شده بر روی لوله

در حالت جریان الکتریسیته، رشته سیم پیچ‌شده به دور لوله پلی‌اتیلن قرار گرفت. دو سر سیم به خروجی‌های یک میکروپروسسور متصل شده و با وصل شدن ورودی میکروپروسسور به برق جریان متغیر که توسط میکروپروسسور ایجاد شده وارد سیم پیچ می‌شود و با عبور جریان الکتریسیته از سیم، یک میدان مغناطیسی قوی متناسب با تعداد دور سیم پیچ ایجاد می‌شود. با عبور جریان آب و به علت قطبی بودن آب، آنیون‌ها و کاتیون‌های آب بر اثر اعمال نیروی القایی به یکدیگر نزدیک شده و به‌هم می‌چسبند.

به‌منظور بررسی صفات کمی و کیفی، نمونه‌برداری از وسط هر کرت به مساحت یک مترمربع (۱×۱) انجام شد. پارامترهایی که در این پژوهش اندازه‌گیری شدند، شامل خصوصیات کمی گیاه (عملکرد دانه، زیست‌توده، تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته)، خصوصیات کیفی (پروتئین و روغن)، تعیین زمان زودرسی و بهره‌وری مصرف آب می‌باشند. برای تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SAS (نسخه 9.4) استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون LSD مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به تجزیه واریانس داده‌های به‌دست آمده از پارامترهای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب نشان داد که اثر نوع آب آبیاری تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی غلاف در بوته، دانه در غلاف، عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب داشت. اثر سطح آبیاری هم تواند تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک در صد بر روی پارامترهای مذکور بگذارد. همچنین اثر متقابل نوع

آب آبیاری و سطوح آبیاری اثر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر غلاف در بوته، دانه در غلاف، عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب داشت.

جدول ۳ مقایسه میانگین اثر نوع آب آبیاری و سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب را نشان می‌دهد. بیشترین میانگین میزان غلاف در بوته، دانه در غلاف و عملکرد دانه مربوط به سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی است و بیشترین میانگین میزان بهره‌وری مصرف آب مربوط به سطح آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی است. لو و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان دادند که کم‌آبیاری تنظیم‌شده باعث کاهش عملکرد گوجه‌فرنگی شد اما کیفیت میوه بهبود یافت. RDI باعث کاهش عملکرد گوجه‌فرنگی با اختلاف میانگین ۱۸/۶۱ تن در هکتار، افزایش کارایی مصرف آب با اختلاف ۲/۳۳ کیلوگرم در مترمکعب شد. همچنین RDI توانست مقدار ویتامین C را در گوجه‌فرنگی افزایش دهد.

میانگین میزان غلاف در بوته، دانه در غلاف، عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای آب مغناطیسی نسبت به تیمارهای آب غیر مغناطیسی بیشتر است و بین تیمارهای آب مغناطیسی و آب غیر مغناطیسی و همچنین بین سطوح مختلف آبیاری اختلاف معنی‌دار وجود دارد. نتایج این بخش از پژوهش با یافته‌های نیکبخت و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد. آن‌ها نشان دادند که گیاه ذرت تحت تیمار آب مغناطیسی، ۹/۵ درصد سطح برگ، ۱۰/۶۸ درصد محتوای کلروفیل برگ، ۸/۳ درصد وزن تر و ۹ درصد بهره‌وری مصرف آب را نسبت به تیمار آب معمولی افزایش داد.

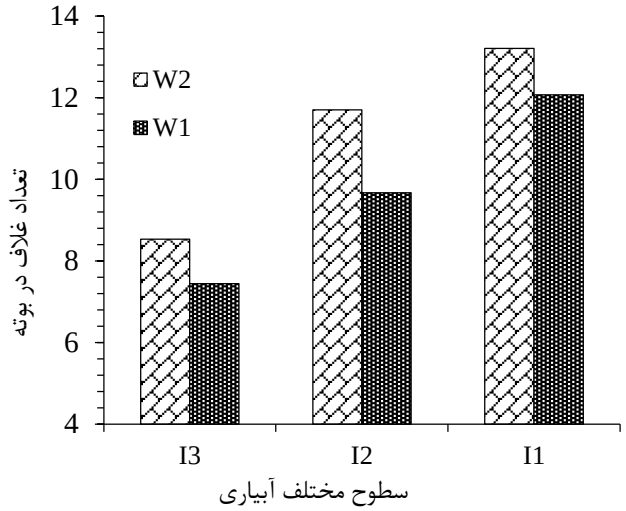
جدول ۳- مقایسه میانگین اثر نوع آب آبیاری و سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب

فاکتور		غلاف در بوته تعداد	دانه در غلاف تعداد	عملکرد دانه $t\ ha^{-1}$	بهره‌وری مصرف آب $Kg\ m^{-3}$
نوع آب آبیاری	مغناطیسی	۱۱/۱۵a	۶/۴۹a	۷/۴۸a	۳/۴a
	غیر مغناطیسی	۹/۷۳b	۵/۷۵b	۶/۹۰b	۳/۱۲b
سطوح مختلف آبیاری	۱۰۰	۱۲/۶۴a	۷/۳۳a	۸/۲۴a	۳/۰۶c
	۸۰	۱۰/۶۸b	۶/۲۸b	۷/۱۲b	۳/۱۹b
	۶۰	۷/۹۹c	۴/۷۶c	۶/۲۲c	۳/۵۲a

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیست

تعداد غلاف در بوته

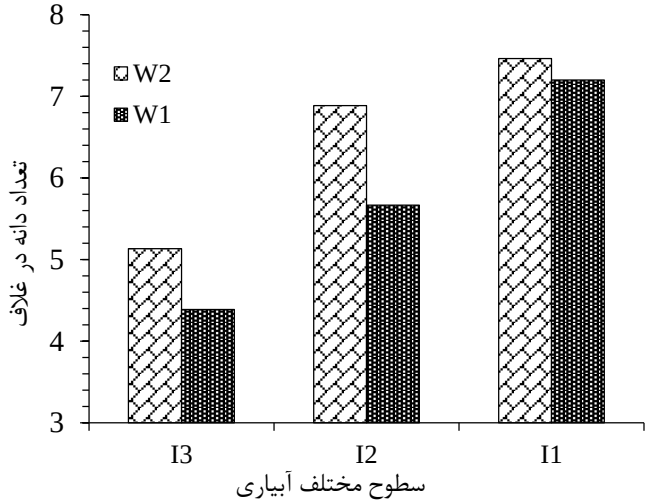
شکل ۳ روند تغییرات غلاف در بوته در تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین تعداد غلاف در بوته در تیمارهای W2I1 و W1I3 به‌ترتیب به تعداد ۱۳/۲ و ۷/۴ مشاهده شد. در تیمار آبیاری مغناطیسی، با افزایش ۲۰ درصدی سطوح آبیاری از ۶۰ به ۸۰ درصد و از ۸۰ به ۱۰۰ درصد، تعداد غلاف در بوته به‌ترتیب ۳۷/۱ و ۱۲/۸ درصد رشد داشته و در تیمار آبیاری غیرمغناطیسی با افزایش سطح آبیاری از ۶۰ به ۸۰ درصد و از ۸۰ به ۱۰۰ درصد، تعداد غلاف در بوته به‌ترتیب ۲۹/۸ و ۲۴/۸ درصد افزایش یافت. تریپاتی و باستیا (۲۰۱۲) نشان دادند که اعمال کم‌آبیاری در گیاه کنجد، باعث کاهش معنی‌دار تعداد کپسول در بوته و عملکرد دانه شد که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد. تیمار آب مغناطیسی توانست در هر یک از سطوح آبیاری ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد به‌ترتیب باعث افزایش ۱۴/۶، ۲۱ و ۹/۴ درصدی تعداد غلاف‌ها نسبت به تیمار آب غیرمغناطیسی شود. با عبور آب از میدان مغناطیسی، پیوندهای هیدروژنی و واندروالس بین مولکول‌های آب شکسته شده و در نتیجه کشش سطحی آب کاهش و حلالیت آب افزایش می‌یابد و با افزایش قدرت حلالیت آب، باعث افزایش فتوسنتز و رشد بذرهای آبیاری شده با آب مغناطیسی شده و جذب مواد غذایی از خاک نیز بیشتر خواهد شد و در نهایت افزایش کمیت محصول را سبب می‌شود. پادلئونی و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که تعداد غلاف و عملکرد لوبیا با اعمال آب مغناطیسی افزایش یافت.



شکل ۳- روند تغییرات تعداد غلاف در بوته در تیمارهای مختلف

تعداد دانه در غلاف

بر اساس نتایج ارائه‌شده در شکل ۴، آب مغناطیسی توانست تعداد دانه‌ها در غلاف را نیز افزایش دهد به‌طوری که بیشترین تعداد دانه در تیمار W2I1 به میزان ۷/۵ عدد مشاهده شد. همچنین کمترین تعداد دانه در غلاف در تیمار W1I3 به میزان ۴/۴ عدد م شاهد شد. در تیمار آبیاری مغناطیسی با افزایش سطح آبیاری به I2 و I1، تعداد دانه در غلاف به‌ترتیب ۳۴/۱ و ۸/۳ درصد افزایش یافت و در تیمار آبیاری غیرمغناطیسی با افزایش سطح آبیاری به I2 و I1 به‌ترتیب ۲۹ و ۲۷ درصد افزایش یافت. نتایج این بخش با یافته‌های گزارش شده از پژوهش کویاگو کروز و همکاران (۲۰۱۹) مبنی بر کاهش وزن میوه و تعداد میوه در هر خوشه گوجه گیلاسی گلخانه‌ای در اثر کم‌آبیاری تنظیم‌شده مطابقت دارد. با توجه به شکل ۴، تیمار آب مغناطیسی در هر یک از سطوح I3، I2 و I1 به‌ترتیب سبب افزایش ۱۶/۹، ۲۱/۵ و ۳/۶ در صدی تعداد دانه در غلاف نسبت به تیمار آب غیرمغناطیسی شده است.

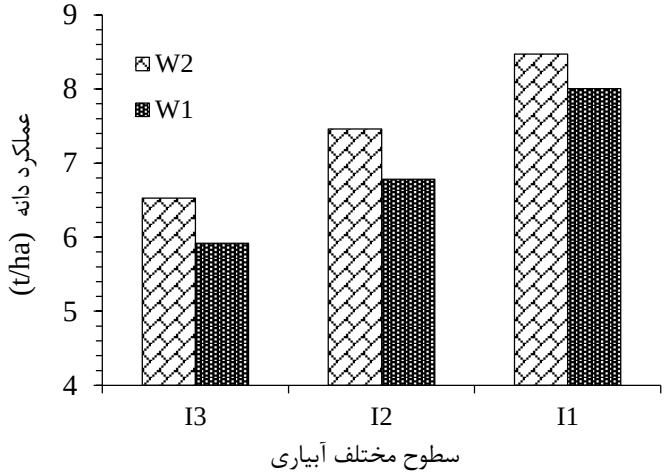


شکل ۴- روند تغییرات تعداد دانه در غلاف در تیمارهای مختلف

عملکرد دانه

با توجه به شکل ۵ بیشترین عملکرد دانه در هر یک از سطوح آبیاری، مربوط به تیمار آبیاری مغناطیسی است و بیشترین و کمترین عملکرد به‌ترتیب در تیمارهای

W2I1 و W1I3 به مقدار ۸/۴۷۲ و ۵/۹۲۰ تن در هکتار مشاهده شد. تیمارهای آبیاری مغناطیسی در هر یک از سطوح آبیاری I3، I2 و I1 نسبت به تیمارهای آبیاری غیرمغناطیسی به‌ترتیب به‌میزان ۱۰/۲، ۹/۹ و ۵/۸ درصد افزایش عملکرد دانه داشته است که از لحاظ آماری معنی‌دار است. همچنین با افزایش ۲۰ درصدی سطح آبیاری از I3 به I2 و از I2 به I1 در تیمار آب غیر مغناطیسی به‌ترتیب باعث افزایش ۱۴/۵ و ۱۸ درصدی و در تیمار آب مغناطیسی باعث افزایش ۱۴/۲ و ۱۳/۶ درصدی عملکرد دانه شده‌است. آب مغناطیسی باعث عبور آسان آب و مواد از غشای سلول گیاهی می‌شود (الگذری، ۲۰۰۶) که در نتیجه می‌تواند باعث جذب آب و افزایش عملکرد شود. قدمی فیروزآبادی و همکاران (۱۳۹۵) نیز نشان دادند که در شرایط آب مغناطیسی، مقدار عملکرد دانه، بیوماس و ارتفاع گیاه سویا رقم DPX در تمامی تیمارهای خشکی و شوری به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

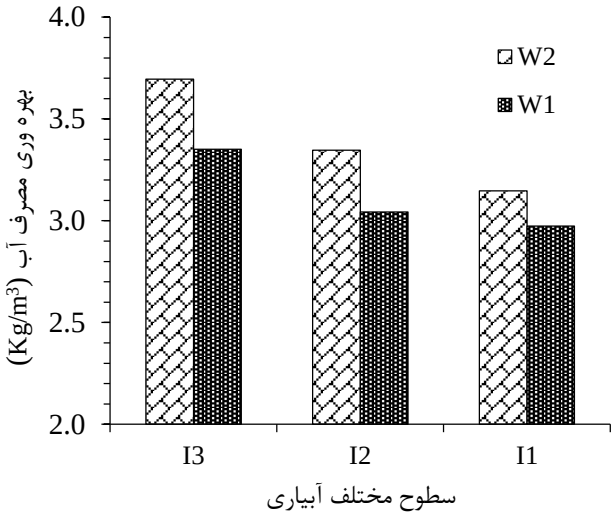


شکل ۵- روند تغییرات عملکرد دانه در تیمارهای مختلف

بهره‌وری مصرف آب

در شکل ۶ روند تغییرات بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای مختلف ارائه شد. با توجه به افزایش عملکرد در تیمار آبیاری مغناطیسی، بهره‌وری مصرف آب نیز در این تیمار بیشتر از تیمار آبیاری غیرمغناطیسی است به‌طوری‌که بیشترین میزان بهره‌وری در تیمار W2I3 به مقدار $Kg\ m^{-3}$ ۳/۷ و کمترین میزان بهره‌وری در تیمار W1I1 به مقدار $Kg\ m^{-3}$ ۲/۹۷ مشاهده شد. با افزایش ۲۰ درصدی سطح آبیاری از ۶۰ به ۸۰ و از ۸۰ به ۱۰۰ درصد در آبیاری مغناطیسی به‌ترتیب ۹/۵ و ۶ درصد و در آبیاری غیرمغناطیسی به‌ترتیب ۹/۳ و ۲/۳ درصد کاهش بهره‌وری مصرف آب مشاهده شد. همچنین تیمار آب مغناطیسی توانست در هر یک از سطوح آبیاری ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب به‌طور معنی‌داری باعث افزایش ۱۰/۳، ۱۰ و ۵/۹ درصدی بهره‌وری مصرف آب نسبت به تیمار آب غیرمغناطیسی شود. با توجه به شکل ۶، مقدار بهره‌وری تیمار W2I1 بیشتر از تیمار W1I2 و همچنین مقدار بهره‌وری تیمار W2I2 با تیمار W1I3 برابر شده که نشان‌دهنده اثر آب مغناطیسی بر افزایش بهره‌وری مصرف آب است. نتایج این بخش از پژوهش با یافته‌های مهرابی گوهری و اسدی (۱۳۹۶) مطابقت دارد. آن‌ها با بررسی عملکرد گوجه‌فرنگی تحت تأثیر کم‌آبیاری تنظیم‌شده نشان دادند که اعمال کم‌آبیاری در سطح ۷۵ درصد با افزایش ۱۴ درصدی کارایی مصرف آب و صرفه‌جویی ۲۵ درصدی آب یک روش مناسب برای افزایش بازده آبیاری در کشت گوجه‌فرنگی است. نیکبخت و رضایی (۱۳۹۶) نشان دادند که میانگین بهره‌وری مصرف آب در تیمار مخلوط آب و پساب مغناطیسی ۳۰ درصد بیشتر از تیمار

شاهد بود.



شکل ۶- روند تغییرات بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای مختلف

نتایج مربوط به تجزیه واریانس داده‌های به‌دست آمده از پارامترهای وزن‌تر و وزن خشک نشان داد که اثر نوع آب آبیاری تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی وزن تر، عملکرد وزن تر، وزن خشک و عملکرد وزن خشک داشت. اثر سطح آبیاری نیز توانست تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر روی پارامترهای وزن تر، عملکرد وزن تر، وزن خشک و عملکرد وزن خشک بگذارد. همچنین اثر متقابل نوع آب آبیاری و سطوح آبیاری اثر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر وزن تر، عملکرد وزن تر، وزن خشک و عملکرد وزن خشک داشت.

مقایسه میانگین اثر نوع آب آبیاری و سطوح مختلف آبیاری بر زیست‌توده در جدول ۴ ارائه شد. بیشترین میزان وزن تر، عملکرد وزن تر، وزن خشک و عملکرد وزن خشک مربوط به سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی است. میانگین میزان وزن تر، عملکرد وزن تر، وزن خشک و عملکرد وزن خشک در تیمارهای آب مغناطیسی نسبت به تیمارهای آب غیر مغناطیسی بیشتر است و بین تیمارهای آبیاری مغناطیسی و آبیاری غیرمغناطیسی و همچنین بین سطوح مختلف آبیاری اختلاف معنی‌دار وجود دارد. آب مغناطیسی با تأثیر بر متابولیسم سلول‌های مریستمی باعث افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود فعالیت‌های فتوسنتزی و صعود کاپیلاری در مکانیسم انتقال مواد در بافت‌های زنده شده و در نتیجه باعث افزایش ارتفاع بوته و قطر ساقه خواهد شد و تا حدی اثر منفی تنش خشکی را کاهش می‌دهد (مجد و شبرنگی، ۲۰۰۹).

پژوهش جمالی و همکاران (۱۳۹۹) پیرامون تأثیر سطوح مختلف آبیاری و آب مغناطیسی بر رشد و عملکرد گیاه دارویی نعنا فلفلی نشان داد که استفاده از آب مغناطیسی در شرایط کم‌آبی باعث افزایش رشد گیاه شده و نسبت به تیمار شاهد عملکرد خشک و تر اندام هوایی نعنا فلفلی را بهبود بخشید. گاو و همکاران (۲۰۱۷) نیز با بررسی اثر آبیاری با آب مغناطیسی بر رشد پنبه نشان دادند که آبیاری با آب مغناطیسی باعث افزایش ۲۹ درصدی وزن خشک پنبه نسبت به تیمار شاهد شد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر نوع آب آبیاری و سطوح مختلف آبیاری بر زیست‌توده

فاکتور		وزن تر بوته g	عملکرد وزن تر بوته $t\ ha^{-1}$	وزن خشک بوته g	عملکرد وزن خشک بوته $t\ ha^{-1}$
نوع آب آبیاری	مغناطیس	۲۷۱/۶۲a	۴۸/۸۹a	۴۴/۵۵a	۸/۰۲a
	غیر مغناطیس	۲۴۴/۰۲b	۴۳/۹۲b	۳۸/۵۴b	۶/۹۳b
سطوح مختلف آبیاری	۱۰۰	۳۱۷/۳۵a	۵۷/۱۲a	۵۲/۰۷a	۹/۳۷a
	۸۰	۲۵۲/۹۸b	۴۵/۵۴b	۳۹/۷۶b	۷/۱۶b
	۶۰	۲۰۳/۱۲c	۳۶/۵۶c	۳۲/۷۹c	۵/۹۰c

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیست

وزن تر

بیشترین میزان وزن تر اندام هوایی گیاه در تیمار W2I1 برابر ۳۴۲/۱۶ گرم و کمترین میزان در تیمار W1I3 برابر ۲۰۰/۶۰ گرم مشاهده شد. در آبیاری مغناطیسی با افزایش ۲۰ درصدی سطح آبیاری از ۶۰ به ۸۰ درصد و ۸۰ به ۱۰۰ درصد، مقدار وزن تر گیاه به‌ترتیب به مقدار ۲۹/۹ و ۲۸/۱ درصد رشد داشته و در آبیاری غیرمغناطیسی با افزایش سطح آبیاری از ۶۰ به ۸۰ درصد و ۸۰ به ۱۰۰ درصد، مقدار وزن تر اندام هوایی گیاه به‌ترتیب ۱۹/۱ و ۲۲/۴ درصد افزایش یافت. با کم‌آبیاری، رشد و توسعه سلول‌های ساقه و برگ باعث محدود و کوچک شدن اندازه اندام گیاه شده و در نتیجه ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد. کاهش مواد فتوسنتزی در دسترس اندام هوایی و کاهش جذب مواد غذایی نیز باعث کاهش ارتفاع و سطح برگ شده که در نهایت عملکرد تر و خشک اندام هوایی کاهش می‌یابد (عزیز و یوسف، ۲۰۱۰). تیمار آب مغناطیسی توانست در سطوح آبیاری ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌طور معنی‌داری باعث افزایش ۱۱/۸ و ۱۶/۹ درصدی وزن تر اندام هوایی گیاه نسبت به تیمار آب غیرمغناطیسی شود. نتایج این بخش از پژوهش با یافته‌های خطاب و همکاران (۲۰۱۴) مبنی بر افزایش سطح برگ، غلاف‌های سبز و همچنین افزایش معنی‌داری ارتفاع بوته، تعداد برگ و وزن تر مطابقت دارد.

عملکرد وزن تر

با افزایش سطح آبیاری، عملکرد وزن تر اندام هوایی گیاه افزایش‌یافته و بیشترین عملکرد وزن تر اندام هوایی گیاه در هر یک از سطوح آبیاری مربوط به تیمار آبیاری مغناطیسی است. بیشترین و کمترین عملکرد وزن تر اندام هوایی به‌ترتیب در تیمارهای W2I1 و W1I3 به مقدار $61/588\ t\ ha^{-1}$ و $36/108\ t\ ha^{-1}$ مشاهده شد. تیمارهای آبیاری مغناطیسی در هر یک از سطوح آبیاری I3، I2 و I1 نسبت به تیمارهای آبیاری غیرمغناطیسی به‌ترتیب به میزان ۲/۵، ۱۱/۸ و ۱۶/۹ درصد افزایش عملکرد وزن تر داشته است. با افزایش ۲۰ درصدی سطح آبیاری از I3 به I2 و I2 به I1 در تیمار آب غیر مغناطیسی به‌ترتیب باعث افزایش ۱۹/۱ و ۲۲/۴ درصدی و در تیمار آب مغناطیسی باعث افزایش ۲۹/۹ و ۲۸/۱ درصدی عملکرد وزن تر شده‌است. کاهش عملکرد وزن تر در تیمارهای کم آبیاری به‌دلیل کاهش وزن اندام هوایی گیاه و همچنین تطابق گیاه با شرایط تنشی با کاهش سطح سبزینگی و تنفسی خود است. با افزایش میزان آبیاری، اثرگذاری آب مغناطیسی بر عملکرد وزن تر اندام هوایی بیشتر شد. ناشیر (۲۰۰۸) با کاربرد آب مغناطیسی برای گیاه نخود نشان دادند که ارتفاع گیاه افزایش یافت که تأثیر مستقیم در افزایش عملکرد وزن تر دارد.

وزن خشک

بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی گیاه در تیمار W2I1 به مقدار ۵۵/۵۹ گرم مشاهده شد. کمترین مقدار وزن خشک اندام هوایی گیاه در تیمار W1I3 به میزان ۳۱/۱۴ گرم مشاهده شد. مقدار وزن خشک اندام هوایی در تیمار آب مغناطیسی با افزایش سطح آبیاری به I2 و I1 به‌ترتیب ۲۶/۶ و ۲۷/۴ درصد افزایش یافت و در تیمار آب غیرمغناطیسی با افزایش سطح آبیاری به I2 و I1 به‌ترتیب

۱۵/۳ و ۳۵/۲ درصد افزایش یافت. تیمار آب مغناطیسی در هر یک از سطوح I3، I2 و I1 به‌ترتیب باعث افزایش ۱۰/۶، ۲۱/۵ و ۱۴/۵ درصدی وزن خشک اندام هوایی گیاه نسبت به تیمار آب غیرمغناطیسی شد. وزن خشک اندام هوایی از وزن تر اندام هوایی نشأت گرفته و دارای همبستگی مثبت است. اسدی و همکاران (۱۳۹۸) با بررسی تأثیر کم‌آبیاری تنظیم‌شده بر ویژگی‌های کمی رزماری نشان دادند که بیشترین شاخص سطح برگ و وزن خشک اندام هوایی (۶/۳۸۷۴ کیلوگرم در هکتار) در تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

عملکرد وزن خشک

با افزایش سطح آبیاری، عملکرد وزن خشک گیاه افزایش یافت. همچنین با اعمال آبیاری مغناطیسی، عملکرد وزن خشک اندام هوایی گیاه نیز افزایش یافت؛ به‌طوری‌که بیشترین و کمترین عملکرد وزن خشک اندام هوایی به‌ترتیب مربوط به تیمارهای W2I1 و W1I3 با $t\ ha^{-1}$ ۱۰/۰۰۶ و $t\ ha^{-1}$ ۵/۶۰۵ است. تیمارهای آبیاری مغناطیسی در هر یک از سطوح آبیاری I3، I2 و I1 نسبت به تیمارهای آبیاری غیرمغناطیسی به‌ترتیب به‌میزان ۱۰/۶، ۲۱/۵ و ۱۴/۵ درصد افزایش عملکرد وزن خشک داشتند. با افزایش ۲۰ درصدی سطح آبیاری از I3 به I2 و I2 به I1 در تیمار آب غیر مغناطیسی، به‌ترتیب باعث افزایش ۱۵/۳ و ۳۵/۲ درصدی عملکرد وزن خشک و در تیمار آب مغناطیسی باعث افزایش ۲۶/۶ و ۲۷/۴ درصدی عملکرد وزن خشک شده‌است. نتایج مربوط به تجزیه واریانس پارامترهای کیفی و زودرسی محصول نشان داد که اثر نوع آب آبیاری تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر روغن، عملکرد روغن، پروتئین، عملکرد پروتئین و زمان جوانه‌زنی داشت اما بر روی زمان رسیدن اثر معنی‌داری نداشت. اثر سطح آبیاری هم توانست تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر روی پارامترهای روغن، عملکرد روغن، پروتئین، عملکرد پروتئین و تأثیر معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر زمان جوانه‌زنی بگذارد اما بر روی زمان رسیدن اثر معنی‌داری نداشت. همچنین اثر متقابل نوع آب آبیاری و سطح آبیاری اثر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر روغن، عملکرد روغن و پروتئین و اثر معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد پروتئین داشت اما بر زمان جوانه‌زنی و رسیدن اثر معنی‌دار نداشت.

جدول ۵ مقایسه میانگین اثر نوع آب آبیاری و سطوح مختلف آبیاری بر خصوصیات کیفی و زودرسی محصول را نشان می‌دهد. بیشترین میزان روغن و پروتئین مربوط به تیمار آبیاری مغناطیسی است و در بین سطوح مختلف آبیاری نیز بیشترین میزان عملکرد روغن و عملکرد پروتئین مربوط به سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی است. همچنین بیشترین میزان میانگین زمان جوانه‌زنی و زمان رسیدن به‌ترتیب مربوط به آبیاری غیرمغناطیسی و سطح آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی است. میانگین میزان روغن، عملکرد روغن، پروتئین و عملکرد پروتئین در تیمارهای آب مغناطیسی نسبت به تیمارهای آب غیر مغناطیسی بیشتر است و میانگین میزان زمان جوانه‌زنی و زمان رسیدن در تیمارهای آبیاری غیرمغناطیسی نسبت به آبیاری مغناطیسی بیشتر است. بین تیمارهای آبیاری مغناطیسی و آبیاری غیرمغناطیسی در همه‌ی پارامترها به‌غیراز پارامتر زمان رسیدن اختلاف معنی‌داری وجود دارد. همچنین بین سطوح مختلف آبیاری در همه‌ی پارامترها به‌غیراز زمان جوانه‌زنی و زمان رسیدن اختلاف معنی‌داری وجود دارد. نتایج این پژوهش با یافته های شاهین و همکاران (۲۰۱۶) و بابالو و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر نوع آب آبیاری و سطوح مختلف آبیاری بر خصوصیات کیفی و زودرسی

فاکتور		روغن %	عملکرد روغن t ha^{-1}	پروتئین %	عملکرد پروتئین t ha^{-1}	زمان رسیدن day	زمان جوانه‌زنی day
نوع آب آبیاری	مغناطیس	۴/۲۵a	۰/۳۲a	۲۱/۵۴a	۱/۶۱a	۱۴۶/۷۸a	۱۱/۵۶b
	غیر مغناطیس	۳/۸۶b	۰/۲۷b	۱۹/۵۸b	۱/۳۵b	۱۴۷/۰۰a	۱۵/۱۱a
سطوح مختلف آبیاری	۱۰۰	۴/۱۹a	۰/۳۴a	۱۹/۶۵c	۱/۶۲a	۱۴۵/۸۳a	۱۲/۸۳a
	۸۰	۴/۰۶b	۰/۲۸۹b	۲۰/۷۶b	۱/۴۸b	۱۴۷/۰۰a	۱۲/۸۳a
	۶۰	۳/۹۱c	۰/۲۴c	۲۱/۲۷a	۱/۳۳c	۱۴۷/۸۳a	۱۴/۳۳a

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیست

روغن

با افزایش سطح آبیاری، میزان روغن در دانه‌های نخودفرنگی افزایش یافت. همچنین اعمال تیمار آبیاری مغناطیسی سبب افزایش معنی‌دار روغن در دانه شد. بیشترین درصد روغن دانه در تیمار W2I1 به مقدار ۴/۳۹ درصد و کمترین درصد روغن دانه در تیمار W1I3 به مقدار ۳/۷۳ درصد مشاهده شد. آبیاری مغناطیسی در هر یک از سطوح آبیاری I3، I2 و I1 به‌ترتیب باعث افزایش روغن دانه به میزان ۹/۷، ۱۰/۶ و ۱۰/۱ درصد نسبت به تیمار آبیاری غیرمغناطیسی شد. در تیمار آبیاری مغناطیسی نیز با افزایش ۲۰ درصدی سطح آبیاری از ۶۰ به ۸۰ و ۸۰ به ۱۰۰ درصد، مقدار روغن دانه به‌ترتیب به مقدار ۴/۴ و ۲/۹ درصد رشد داشته و در رژیم آبیاری غیرمغناطیسی با افزایش سطح ۲۰ درصدی آبیاری از ۶۰ به ۸۰ و ۸۰ به ۱۰۰، مقدار روغن دانه به‌ترتیب ۳/۵ و ۳/۴ درصد افزایش یافت. زارعی سیاه‌بیدی و همکاران (۱۳۹۹) با اعمال کم-آبیاری بر گیاه آفتابگردان دریافتند که تیمارهای آبیاری بر میزان روغن دانه اثر معنی‌داری داشته به‌طوری‌که بیشترین میزان روغن دانه مربوط تیمار آبیاری کامل بود.

عملکرد روغن

با اعمال تیمار آبیاری مغناطیسی در هر سطح، عملکرد روغن نیز افزایش یافت به‌طوری‌که بیشترین میزان عملکرد روغن دانه در تیمار W2I1 به مقدار ۰/۳۷۲ تن در هکتار و کمترین میزان در تیمار W1I3 به مقدار ۰/۲۲۱ تن در هکتار مشاهده شد. با افزایش ۲۰ درصدی سطح آبیاری از ۶۰ به ۸۰ درصد و ۸۰ به ۱۰۰ درصد، در آبیاری مغناطیسی به‌ترتیب ۱۹/۳ و ۱۶/۹ درصد و در آبیاری غیرمغناطیسی ۱۸/۵ و ۲۲ درصد افزایش راندمان عملکرد روغن مشاهده شد. استفاده از آبیاری مغناطیسی به‌صورت میانگین سبب افزایش ۱۹/۷ درصدی عملکرد روغن دانه نسبت به تیمار آبیاری غیرمغناطیسی شد. تیمارهای آبیاری مغناطیسی در هر یک از سطوح آبیاری I3، I2 و I1 نسبت به تیمارهای آبیاری غیرمغناطیسی به‌ترتیب به‌میزان ۲۰/۹، ۲۱/۷ و ۱۶/۵ درصد افزایش عملکرد روغن دانه داشته است.

پروتئین دانه

پروتئین دانه با کاهش سطح آبیاری در کم‌آبیاری تنظیم‌شده افزایش یافت. یکی از علل افزایش پروتئین دانه، آبیاری با آب مغناطیسی است. بیشترین و کمترین درصد پروتئین دانه به‌ترتیب در تیمارهای W2I3 و W1I1 و به میزان ۲۲/۳۵ و ۱۸/۷۳ درصد مشاهده شد. با کاهش سطح آبیاری در تیمارهای I2 و I3 در آبیاری مغناطیسی میزان پروتئین به‌ترتیب ۵/۵ و ۳ درصد و در آبیاری غیرمغناطیسی به‌ترتیب ۵/۸ و ۱/۹ درصد افزایش یافت. تیمار آب مغناطیسی در هر یک از سطوح I3، I2 و I1 به‌ترتیب سبب افزایش ۱۰/۶، ۹/۵ و ۹/۸ درصدی پروتئین نسبت به تیمار آب غیرمغناطیسی شد. استفاده از آبیاری مغناطیسی به-صورت میانگین سبب افزایش ۹/۹ درصدی پروتئین دانه نسبت به تیمار آبیاری غیرمغناطیسی شد. نتایج ضرابی و همکاران (۱۳۹۶) با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد. آن‌ها با بررسی آب مغناطیسی بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه ذرت تحت شرایط تنش خشکی نشان

دادند که بیشترین مقدار پروتئین کل مربوط به تیمار آب مغناطیسی و در شرایط ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد. گرگینی شبانکاره و همکاران (۱۳۹۴) نشان دادند که اعمال تنش خشکی بر روی گیاه دارویی بادرشبو از یک طرف سبب کاهش خصوصیات رشدی و از طرف دیگر سبب افزایش میزان درصد اسانس در ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه شده است.

عملکرد پروتئین دانه

عملکرد پروتئین دانه (حاصل‌ضرب میزان پروتئین دانه در عملکرد دانه) با بیشتر شدن سطوح آبیاری افزایش یافت و این افزایش به‌دلیل زیاد بودن اختلاف عملکرد دانه در اثر بیشتر شدن سطح آبیاری است. بیشترین عملکرد پروتئین دانه در تیمار W2I1 به مقدار ۱/۷۴۲ تن در هکتار و کمترین عملکرد پروتئین دانه در تیمار W1I3 به مقدار ۱/۱۹۶ تن در هکتار است. تیمارهای آبیاری مغناطیسی در هر یک از سطوح آبیاری I3، I2 و I1 نسبت به تیمارهای آبیاری غیرمغناطیسی به‌ترتیب به‌میزان ۲۲، ۲۰/۴ و ۱۶/۲ درصد افزایش عملکرد پروتئین دانه داشته است که از لحاظ آماری معنی‌دار است. همچنین با افزایش سطح آبیاری از I3 به I2 و I2 به I1 در تیمار آب غیر مغناطیسی به‌ترتیب باعث افزایش ۱۲/۴ و ۱۱/۵ درصدی عملکرد پروتئین دانه و در تیمار آب مغناطیسی باعث افزایش ۱۰/۹ و ۷/۶ درصدی عملکرد پروتئین دانه شده‌است.

زمان جوانه‌زنی

آبیاری مغناطیسی توانست اثر معنی‌داری بر جوانه‌زنی گیاه بگذارد و باعث زود جوانه‌زدن گیاه شود اما سطح آبیاری تأثیر معنی‌داری بر جوانه‌زنی گیاه نداشت. کمترین زمان جوانه‌زنی مربوط به تیمار W2I2 با ۱۰/۳ روز بعد از کاشت و بیشترین زمان جوانه‌زنی مربوط به تیمارهای W1I1 و W2I2 با ۱۵/۳ روز بعد از کاشت است. تیمار آب مغناطیسی در هر یک از سطوح I3، I2 و I1 به‌ترتیب سبب کاهش ۱۳، ۳۲/۶ و ۲۸/۳ درصدی زمان جوانه‌زنی نسبت به تیمار آب غیرمغناطیسی شده است. به‌طور متوسط آبیاری مغناطیسی سبب کاهش ۳۲/۲ درصدی در زمان جوانه‌زنی شده است. آب مغناطیسی بسیار آسان‌تر از آب معمولی توسط غشای بذر جذب‌شده و به قسمت‌های درونی بذر راه یافته و علاوه بر جذب بهتر، فرایندهای متابولیکی که منجر به جوانه‌زنی می‌شود، شروع می‌شود (بلو و همکاران، ۱۹۹۸). زارعی و همکاران (۱۳۹۹) با عنوان تأثیر آب مغناطیسی بر رشد و جوانه‌زنی بذر پنج رقم گندم نشان دادند که آب مغناطیسی تأثیر معنی‌داری بر جوانه‌زنی و کلیه شاخص‌های رشد نسبت به تیمار شاهد داشت. واشید و ناگاراجان (۲۰۱۰) نیز نشان دادند که میدان مغناطیسی بر سرعت رشد و درصد سبز شدن دانه‌های آفتاب‌گردان تأثیر مثبتی داشت و باعث ۹ تا ۵۷ درصد افزایش در سرعت جوانه‌زنی شد.

زمان رسیدن دانه

سطوح مختلف آبیاری و تیمار آبیاری مغناطیسی نتوانست اثر معنی‌داری بر زمان رسیدن دانه بگذارد. بیشترین زمان رسیدن دانه مربوط به تیمار W2I3 با ۱۴۹ روز بعد از کاشت و کمترین زمان مربوط به تیمار W2I1 با ۱۴۵ روز بعد از کاشت است. تیمار آب مغناطیسی در سطح آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی سبب افزایش ۱/۶ درصدی در زمان رسیدن شده است اما در سطوح آبیاری ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه سبب کاهش ۰/۹ و ۱/۸ درصدی در زمان رسیدن شده است. همچنین با افزایش سطح آبیاری از I3 به I2 و I2 به I1 در تیمار آب مغناطیسی باعث کاهش ۱/۸ و ۰/۹ درصدی در زمان رسیدن محصول شده است.

نتیجه‌گیری

کم‌آبی یکی از عوامل مهم محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان است و تأمین امنیت غذایی برای رشد روزافزون جمعیت جهان، نیازمند تخصیص منابع آب فراوان به بخش کشاورزی است؛ بنابراین بایستی از

کمترین مقدار آب، بیشترین بهره‌وری لازم صورت گیرد. در این پژوهش اثر سطوح مختلف کم آبیاری تنظیم‌شده با اعمال میدان مغناطیسی بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه نخودفرنگی بررسی شد. بیشترین و کمترین عملکرد به‌ترتیب در تیمارهای W2I1 و W1I3 به مقدار ۸/۴۷۲ و ۵/۹۲۰ تن در هکتار مشاهده شد. با توجه به افزایش عملکرد در تیمار آبیاری مغناطیسی، بهره‌وری مصرف آب نیز در این تیمار بیشتر از تیمار آبیاری غیرمغناطیسی است به‌طوری‌که بیشترین میزان بهره‌وری در تیمار W2I3 به مقدار $Kg\ m^{-3}$ ۳/۷ و کمترین میزان بهره‌وری در تیمار W1I1 به مقدار $Kg\ m^{-3}$ ۲/۹۷ مشاهده شد. بیشترین و کمترین در صد پروتئین دانه به‌ترتیب در تیمارهای W2I3 و W1I1 و به میزان ۲۲/۳۵ و ۱۸/۷۳ درصد مشاهده شد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کاربرد آب مغناطیسی توانست تأثیر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد، خصوصیات کیفی و بهره‌وری مصرف آب گیاه نخودفرنگی داشته باشد. همچنین با اعمال آب مغناطیسی، اثرات منفی ناشی از کم‌آبی را تا حد قابل قبولی کاهش داد و باعث بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاه نخودفرنگی شد. استفاده از آب مغناطیسی در شرایط کم‌آبی یک راه‌کار مناسب برای بالا بردن عملکرد است. بر اساس یافته‌های این پژوهش، تیمار W2I2 از لحاظ اقتصادی مناسب‌تر است زیرا با حفظ عملکرد در حد قابل قبول، سبب کاهش مصرف آب نیز می‌شود.

فهرست منابع

۱. اسدی، ر.، حسن‌پور، ف.، مهربانی، م.، باقی‌زاده، ا. و کاراندیش، ف. ۱۳۹۸. ارزیابی خصوصیات کمی گیاه رزماری با استفاده از دو سیستم آبیاری قطره‌ای تحت تأثیر اعمال کم‌آبیاری. آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳(۴): ۱۰۲۷-۱۰۳۸.

۲. ایمانی، م. و نیکبخت، ج. ۱۳۹۴. اثر دور آبیاری با آب مغناطیس بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب ذرت رقم ماکسیما. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان.

۳. جمالی، ص.، انصاری، ح. و صفری‌زاده ثانی، ع. ۱۳۹۹. تأثیر سطوح مختلف آبیاری و آب مغناطیسی بر رشد و عملکرد گیاه دارویی نعنا فلفلی. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۴(۳): ۴۴۸-۴۳۲.

۴. حیدرپور، م.، خوش‌روش، م. و مشاوری، ی. ۱۳۹۵. اثر آب‌شور مغناطیسی شده بر اصلاح آب‌وخاک در آبیاری قطره‌ای. پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک. ۲۳(۲): ۱۹۳-۱۷۹.

۵. خوش‌روش، م. و کیانی، ع. ۱۳۹۴. اثر آب‌شور مغناطیسی شده بر نفوذپذیری و هدایت الکتریکی بافت‌های مختلف خاک. آبیاری و زهکشی ایران. ۹(۴): ۶۵۴-۶۴۶.

۶. داودی، م.، بای، ن. و ابراهیمی، ا. ۱۳۹۳. طبقه‌بندی اقلیمی استان مازندران بر اساس روش لیتین اسکی. اطلاعات جغرافیایی سپهر. ۲۲(۸۸): ۱۰۵-۱۰۰.

۷. رستگار، س. و صادقی لاری، ع. ۱۳۹۴. اثر آب مغناطیسی بر جوانه‌زنی و خصوصیات رشد اولیه بذر گوجه-فرنگی. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۹(۳): ۴۱۷-۴۰۹.

۸. روهنده، م.، قیصری، م.، لندی، ا. و غلامی، م. ۱۳۹۴. تأثیر آبیاری ناقص ریشه بر رشد و عملکرد درختان بالغ زیتون. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان.

۹. زارعی سیاه‌بیدی، ا.، رضایی زاد، ع. و دانشیان، ج. ۱۳۹۹. اثر کم‌آبیاری برعملکرد دانه و اجزای عملکرد هیبرید-های آفتابگردان. نشریه علوم زراعی ایران. ۲۲(۱): ۱۴-۱.

۱۰. زارعی، س.، کسرایی، م. و نعمت‌اللهی، م. ۱۳۹۹. بررسی اثر آب مغناطیسی بر رشد و جوانه‌زنی بذر پنج رقم گندم. ماشین‌های کشاورزی. ۱۰(۲): ۲۹۸-۲۸۹.

۱۱. سپاسخواه، ع.، توکلی، ع. و موسوی، ف. ۱۳۸۵. اصول و کاربرد کم‌آبیاری. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۲۱۰ صفحه.

۱۲. ضرابی، م.، مفاخری، س.، و کاویانی، ع. ۱۳۹۶. اثر آبیاری با آب معمولی و مغناطیسی بر خصوصیات مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه ذرت تحت شرایط تنش خشکی. فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۹(۳۵): ۵۴-۳۹.

۱۳. عابدین‌پور، م. و روحانی، ا. ۱۳۹۸. تاثیر شوری و آب مغناطیسی بر عملکرد و کارآیی مصرف آب گیاه زیره سبز (مطالعه موردی: منطقه کاشمر). تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۰(۴): ۸۱۷-۸۰۷.

۱۴. عباس‌پور شاهمرس. ۱۳۹۵. اثرات متقابل مقادیر مختلف آهن و سیلیسیم در محلول غذایی بر روی عملکرد گیاه نخودفرنگی و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیداتو. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه. ۱۰۶ صفحه.

۱۵. قدمی فیروزآبادی، ع.، خوش‌روش، م.، شیرازی، پ. و زارع ابیاته، ح. ۱۳۹۵. اثر آبیاری آب مغناطیسی بر عملکرد دانه و بیوماس گیاه سویا رقم DPX در شرایط کم‌آبیاری و شوری آب. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۰(۱): ۱۴۳-۱۳۱.

۱۶. قدمی فیروز آبادی، ع.، رائینی سرجاز، م.، شاهنظری، ع. و زارع ابیانه، ح. ۱۳۹۴. مدیریت مصرف آب و تغییرات رطوبت خاک در آبیاری کامل، کم‌آبیاری تنظیم‌شده و کم‌آبیاری ناقص ریشه (PRD) در گیاه آفتابگردان. پایان‌نامه دکتری، دانشکده مهندسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۱۷. گرگینی شبانکاره، ح.، اصغری‌پور، م. ر. و فاخری، ب. ۱۳۹۴. ارزیابی تاثیر کودهای زیستی بر رشد و اسانس باردشبویه تحت تیمار کم آبی. اکوفیزیولوژی گیاهی. ۲۳: ۱۹۴-۱۸۵.

۱۸. گرگینی شبانکاره، ح. و خراسانی نژاد، س. ۱۳۹۶. اثر کاربرد سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر برخی ویژگی های مورفوفیزیولوژیکی و اسانس گیاه دارویی نعناع فلفلی تحت رژیم های کم آبی. تولید گیاهان زراعی. ۱۰(۴): ۷۴-۵۹.

۱۹. مهرابی گوهری، م. و اسدی، ر. ۱۳۹۶. بررسی عملکرد گوجه‌فرنگی تحت تاثیر کم‌آبیاری تنظیم شده و آبیاری ناقص ریشه. مدیریت آب و آبیاری. ۷(۲): ۲۷۱-۲۵۷.

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

21. Abdul Qados, A. M. S. and Hozayn, M. 2010. Magnetic water technology, a novel tool to increase growth, yield and chemical constituents of lentil (Lens esculenta) under greenhouse condition. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science. 7(4): 457-462.

22. Algozari, H. 2006. Effect of magnetizing of water and fertilizers on the some chemical parameters of soil and growth of maize. M.Sc. Thesis, University of Baghdada, Iraq and Signaling. New-York. USA Elsevier.

23. Azooz, M.M. and M.M. Youssef. 2010. Evaluation of heat shock and salicylic acid treatments as inducers of drought stress tolerance in hassawi wheat. American Journal of Plant Physiology. 5(2): 56-70.

24. Babaloo, F., Majd, A., Arbabian, S., Sharifnia, F. and Ghanati, F. 2018, the effect of magnetized water on some characteristics of growth and chemical constituent in rice. EurAsian Journal of BioSciences. 12: 129-137.

25. Belov, G. D., N. G. Sidorevich and V.T. Golovarev. 1988. Irrigation of Farm crops with water treated with magnetic field. Soviet Agricultural Sciences, USA.
26. Coyago-Cruz, E. D. R., Melendez-Martinez, A. J., Moriana, A., Giron, I., Martin-Palomo, M. J., Galindo, A., Lopez, D. P., Torrecillas, A., Beltran, E. and Correl, M. 2019. Yield response to regulated deficit irrigation of greenhouse cherry tomatoes. Agricultural Water Management. 213: 212-221.
27. Gao, Y., Sun, Y., Zhang, R. and Chu, G. 2017. Effects of magnetic water irrigation on the growth, N uptake and antioxidant enzyme activities of cotton seedlings. Journal of Agricultural Science and Technology. 7(1): 25-33.
28. Khattab, Entsar K.A., Mona M. Abdel-Wanes, Amal Z. Hegazi and A.E. Arafa. 2014. Magnetic treatment of irrigation water for improving vegetative growth, fresh and dry yield of bean (Phaseolus Vulgaris L.) grown under plastic house. Egyptian Journal of Agricultural Research. 92(4): 1395-1411.
29. Lu, J., Shao, G., Cui, J., Wang, X. andKeabetswe, L. 2019. Yield, fruit quality and water use efficiency of tomato for processing under regulated deficit irrigation: A meta-analysis, Agricultural Water Management. PR China. 222: 301-312.
30. Mahadi Hasan, M., Alharby, H., Hajar, A., Hakeem, K. and Alzahrani, Y. 2019. The effect of magnetized water on the growth and physiological conditions of moringa species under drought stress. Journal of Environmental Studies. 28(3): 1-11.
31. Maheshwari, B. L. and Grewal, H. S. 2009. Magnetic treatment of irrigation water: its effecs on vegetable crop yield and water productivity. Agricultural Water Management. 96(8): 1229-1236.
32. Majd, A., and Shabrangi, A. 2009. Effect of seed pretreatment by magnetic fields on seed germination and ontogeny growth of agricultural plants. Progress in Electromagnetic Research Symposium, Beijing, China, March 23-27.
33. Nashir, S. H. 2008. The effect of magnetic water on growth of chickpea. Engineering and Technology. 26(9): 16-20.
34. Nikbakht, J., Khandeh Rouyan, M., Tavakoli, A. and Tahheri, M. 2014. The effect of magnetic water deficit on yield and water use efficiency of corn. Journal of Water Research in Agriculture. 24(4), 551-563.
35. Podleoeny, J., Pietruszewski, S. and Podleoena, A. 2004. Efficiency of the magnetic treatment of broad bean seeds cultivated under experimental plot conditions. International Agro physics. 18: 65-71.
36. Rudnick, d., Irmak, S. and Ray, C. 2017. Deficit irrigation management of corn in the high plants: 29th Annual Central Plains Irrigation Conference, Burlington, Colorado, Feb 21-22.
37. Shahin M. M., Mashhour A. M. A. and E. S. E. A bd-Elhady. 2016. Effect of magnetized irrigation water and seeds on some water properties, growth parameter and yield productivity of cucumber plants. Current Science International. 5(2): 152-164.
38. 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.
39. Tripathy, S., Bastia, D.K. 2012. Irrigation and nutrient management for yield augmentation of summer sesame (sesamum indicum L). Journal of Crop and Weed. 8(2): 53-57
40. Vashisth, A. and S. Nagarajann. 2010. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. Journal of Plant Physiology. 167(2): 149-156.

Effect of Regulated Deficit Irrigation with Magnetized Water on Quantitative, Qualitative Properties and Water Productivity of Green Pea

A. H. Yadollahi, M. Khoshravesh[1], and M. A. Gholami Sefidkouhi

M Sc Student of Irrigation and Drainage, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

amir.hyr@gmail.com

Associate Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.

khoshravesh_m24@yahoo.com; m.khoshravesh@sanru.ac.ir

Associate Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.

magholamis@yahoo.com

Received: October 2021, and Accepted: November 2021

Abstrac

The crisis of water scarcity is the main reason for the reduction of crops and the lack of human food needs in the countries located in arid and semi-arid regions. One of the methods used to increase the yield and water productivity is the use of low irrigation and magnetized water technology. The purpose of this study was to investigate the effect of regulated deficit irrigation with magnetized water on quantitative and qualitative characteristics of pea (Pisum sativum L.). The present research was performed on a farm located in Aghuzbon Village, Mazandaran Province, Iran. The experiment was performed as a factorial experiment in a randomized complete block design with three replications. The control treatment included full irrigation (FI) at all stages of the plant growth with normal water (non-magnetized). The main factor included non-magnetized water (W1) and magnetized water (W2), and the sub-factor included irrigation levels (I1=100%, I2=80%, and I3= 60% of crop water requirement). For irrigation, the trickle irrigation system with tape pipes was used. The results showed that the effect of irrigation water type and irrigation level as well as their interaction on parameters of pod per plant, seed per pod, grain yield, and water use efficiency were significant ($p<1\%$). The highest pods per plant, seed per pod and grain yield in W2I1 treatment were 13.2, 7.5, and 8.472 t. ha^{-1}, respectively, and the highest water use efficiency was observed in the W2I3 as 3.7 $kg.m^{-3}$. On average, irrigation with the magnetized water increased grain yield and water productivity by 8.6% and 8.7%, respectively, compared to the non-magnetized water treatment. Also, the effect of type of irrigation water and irrigation level on oil, oil yield, protein, protein yield and germination time had a significant effect at 1% probability level, but had no significant effect on the ripening time. Also, 20% increase in irrigation level from I3 to I2 and from I2 to I1 in non-magnetized water treatment caused increase of the grain yield by 14.5% and 18%, respectively, while in magnetized water treatment, yield increased by 14.2% and 13.6%, respectively. The fastest germination time was related to W2I2 with 10.3 days after planting. In general, it can be concluded that irrigation with magnetized water can be a good way to increase yield, improve quality characteristics, and increase water use efficiency of green pea plant.

Keywords: Drought stress, Water saving, Oil yield

[1] - Corresponding author: Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.