

تأثیر آب مغناطیسی بر خصوصیات هیدرولیکی آبیاری قطره‌ای- نواری و عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت

جعفر نیکبخت^{۱*} و امیر طالعی^۲

(۱) دانشیار و عضو هیات علمی گروه مهندسی آب دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

* نویسنده مسئول مکاتبات: Nikbakht.jaefar@znu.ac.ir

(۲) دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۲۷

چکیده

در پژوهش حاضر تأثیر عبور آب آبیاری از میدان مغناطیسی ثابت بر گرفتگی خروجی‌های نوارهای آبیاری و خصوصیات هیدرولیکی سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری و همچنین عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت رقم ماکسیمما بررسی شد. پژوهش در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار با دو تیمار عبور و عدم عبوری آب آبیاری از میدان مغناطیسی از خرداد تا مهر ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان انجام گرفت. میدان مغناطیسی با استفاده از سیم‌لوله با شدت ۰/۱ تسلا ایجاد شد. در انتهای فصل کشت سیستم آبیاری مورد ارزیابی هیدرولیکی قرار گرفت. همچنین عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج، به‌دلیل گرفتگی روزنه‌های نوارهای آبیاری در سیستم غیر مغناطیسی متوسط q_a ، E_u ، U_C و D_u ، به‌ترتیب ۱۸، ۳، ۲ و ۳ درصد کم‌تر و C_v به میزان ۳ درصد بیش‌تر از سیستم مغناطیسی شد (اختلاف‌ها معنی‌دار). اعمال تیمار آب مغناطیسی بر گیاه ذرت باعث افزایش وزن تر کل، وزن خشک کل و سطح برگ کل (به‌ترتیب ۱۱، ۱۰ و ۱۳ درصد) شد که از نظر آماری اختلاف‌ها معنی‌دار بود. با توجه به مصرف مقدار ثابت آب برای هر دو تیمار آب مغناطیسی و غیر مغناطیسی (۵۱۹۳ مترمکعب در هکتار)، افزایش عملکرد تر کل ذرت در تیمار آب مغناطیسی باعث افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب این تیمار به میزان ۱/۷ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب مصرفی (۱۱ درصد) شد.

کلید واژه‌ها: آب مغناطیسی؛ ارزیابی هیدرولیکی؛ کارایی مصرف آب؛ گرفتگی روزنه

مقدمه

در اکثر نواحی ایران به‌دلیل محدودیت منابع آب نسبت به زمین، باید از هر راه‌کاری که باعث افزایش تولید محصول به ازای واحد آب مصرفی می‌شود استفاده گردد تا بهره‌وری مصرف آب افزایش پیدا کند. یکی از راه‌کارهایی که در سال‌های اخیر در این راستا بکار می‌رود استفاده از آب عبور یافته از یک میدان مغناطیسی ثابت

برای آبیاری می‌باشد (نیکبخت و همکاران، ۱۳۹۲؛

هاشم‌آبادی، ۱۳۹۶).

Vashisth و Nagarajan (۲۰۱۰) با قرار دادن بذره‌های آفتابگردان در میدان مغناطیسی با قدرت ۵۰ تا ۲۵۰ میلی تسلا به مدت ۴ ساعت (هر یک ساعت ۵۰ میلی تسلا) به‌شدت میدان مغناطیسی افزوده می‌شد (مشاهده کردند درصد جوانه‌زنی (۵ تا ۱۱ درصد)، سرعت جوانه‌زنی (۹-

۱۵ درصد)، طول ساقه (۶-۴۱ درصد)، طول ریشه (۱۶-۸۰ درصد)، وزن خشک گیاهیچه (۵-۱۳ درصد) و ارتفاع کل (۱۲-۵۷ درصد) نسبت به بذره‌های شاهد افزایش یافت. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد قرار گرفتن بذرها در میدان مغناطیسی با شدت‌های ۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی تسلا نسبت به سایر شدت‌ها در افزایش پارامترهای جوانه‌زنی مؤثرتر بود. بر اساس نتایج پژوهش نیکبخت و همکاران (۱۳۹۲)، وزن تر کل و بهره‌وری مصرف آب در تیمار آب مغناطیسی به ترتیب ۳۱/۵۶ تن در هکتار و ۱۴/۲۲ کیلوگرم بر مترمکعب بود که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۸/۳۱ و ۹ درصد بیش‌تر شد (تفاوت معنی‌دار). صادقی پور و آقای (۱۳۹۳) طی پژوهشی مشاهده کردند در شرایط بدون اعمال تنش آبی عملکرد دانه ماش آبیاری شده با آب معمولی ۶/۸۱ گرم بر بوته و در تیمار آب مغناطیسی ۹/۷۰ گرم بر بوته (تفاوت معنی‌دار) بود. تحت شرایط تنش خشکی این مقادیر به ترتیب ۲/۵۶ و ۴/۵۵ گرم بر بوته (به ترتیب آب معمولی و آب مغناطیسی) حاصل شد. جوانه‌زنی بذره‌های آبیاری شده با آب مغناطیسی در دو رقم گوجه‌فرنگی (سانسید و صادین) ۹۴/۶ درصد بود درحالی‌که درصد جوانه‌زنی بذره‌های این دو رقم در تیمار شاهد ۹۰ و ۹۳ درصد (به ترتیب سانسید و صادین) به دست آمد (رستگار و همکاران، ۱۳۹۴). بر اساس نتایج پژوهش صورت گرفته در دانشگاه فردوسی مشهد، قرار دادن بذر نخود در میدان مغناطیسی ۲۶ درصد و آبیاری با آب مغناطیسی ۲۵ درصد ماده خشک را افزایش داد. همچنین اعمال میدان مغناطیسی بر روی آب آبیاری و بذر نخود به ترتیب باعث افزایش ۲۷ و ۱۹ درصدی عملکرد دانه نخود شد (محمودی و همکاران، ۱۳۹۵). Issa و همکاران (۲۰۱۶) طی پژوهشی مشاهده کردند آبیاری بوته‌های خیار با آب مغناطیسی به همراه محلول پاشی آمینوآلکسین (در ۴ سطح متفاوت) نسبت به تیمار آب معمولی باعث ایجاد اختلاف معنی‌دار در متوسط تعداد برگ در بوته (۶/۱۵ درصد)، سطح برگ

(۳۰ درصد)، وزن خشک ساقه (۳۹/۴۵ درصد)، تعداد گل (۸/۰۴ درصد)، تعداد میوه در بوته (۲۲ درصد) و وزن میوه در بوته (۳/۴۰ درصد) شد. نتایج پژوهش صورت گرفته توسط ضرابی و همکاران (۱۳۹۶) نشان داد که گیاهان ذرت آبیاری شده با آب مغناطیسی در شرایط بدون تنش دارای بیش‌ترین قطر ساقه (۱/۸۷ سانتی‌متر)، بالاترین عرض برگ (۵/۹۲ سانتی‌متر)، بالاترین ارتفاع بوته (۱۲۶ سانتی‌متر)، بیش‌ترین شاخص سبزینه برگ (۴۵/۹۷)، بالاترین درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ (به ترتیب ۴/۰۵، ۰/۳۹ و ۳/۷۸ درصد) بودند. نتایج تحقیق گلدانی انجام‌یافته توسط Yusuf و Ogunlela (۲۰۱۷) نشان داد که عملکرد بوته‌های گوجه‌فرنگی آبیاری شده با آب مغناطیسی در سطوح آبیاری ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۵۰ درصد بعد از ۱۳۰ روزه ترتیب ۵۸۷/۸، ۴۴۱/۹، ۴۱۰/۷ و ۳۱۲/۴ گرم در هر بوته بود که با عملکرد تیمار آب معمولی (به ترتیب ۴۳۹/۹، ۳۷۹/۵، ۳۷۴/۶ و ۲۳۶/۶ گرم در هر بوته) اختلاف معنی‌دار داشت. در این آزمایش تغییرات عملکرد تیمار آب مغناطیسی نسبت به آب معمولی ۹/۶۴ تا ۳۳/۶۲ درصد (افزایش معنی‌دار) بود. هاشم‌آبادی (۱۳۹۶) طی تحقیقی بر روی گیاه زیتنی پروانش مشاهده کرد کم‌ترین زمان تا گل‌دهی (۴۵/۲۰ روز)، بیش‌ترین شمار گل (۱۷/۹۶ گل)، بیش‌ترین شمار برگ (۱۶۵/۸۸) بیش‌ترین شمار شاخه (۱۷/۴۴)، بیش‌ترین ارتفاع بوته (۲۱/۷۱ سانتی‌متر)، همچنین بیش‌ترین قطر ساقه گل دهنده (۶/۹۵ میلی‌متر) و کمترین نشت یونی (۵۵/۹۶ درصد) در تیمار آبیاری با آب شهر مغناطیس شده با دور آبیاری دو روز یک‌بار بود. در پژوهش انجام‌یافته توسط Cheikh و همکاران (۲۰۱۸) مشاهده شد عبور آب از میدان مغناطیسی باعث کاهش pH آن از ۸/۲ به ۷/۶۲ در شدت میدان ۰/۵ تسلا و ۷/۵۴ در شدت میدان ۰/۲۹ تسلا گردید. در این تحقیق، تغییرات درصد جوانی بذره‌های خیار بعد از چهار روز در تیمار شدت میدان ۰/۵ تسلا بین ۳۰ تا ۸۰ درصد، در تیمار شدت میدان ۰/۲۹

نتایج آزمایش صورت گرفته بر روی ۵ نوع قطره‌چکان میکروفلاپر، نتافیم، کرونا، آکسیوس و ایران دریپ، هر کدام با دو آبدهی متفاوت (۸ یا ۶ یا ۴ یا ۲ لیتر در ساعت) نشان داد با افزایش دبی قطره‌چکان، گرفتگی آن کاهش یافت به طوری که قطره‌چکان‌های نتافیم با آبدهی ۸ لیتر در ساعت کم‌ترین گرفتگی را داشت. هم‌چنین اسیدشویی باعث کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها حتی در شرایط اعمال کودآبیاری شد. متوسط دبی قطره‌چکان‌های تیمار اسیدشویی (۶/۱۶۰ لیتر در ساعت) با تیمارهای آبیاری با آب معمولی و کودآبیاری (به ترتیب ۵/۹۷ و ۵/۹۷۳ لیتر در ساعت) اختلاف معنی‌دار داشت اما این اختلاف بین دو تیمار اسیدشویی و کودآبیاری و اسیدشویی (۶/۰۸۱ لیتر بر ساعت) معنی‌دار نشد (غلامی سفیدکوهی و برزگر آخته‌خانه، ۱۳۹۳).

اخیراً یکی از روش‌هایی که برای ممانعت از گرفتگی شیمیایی قطره‌چکان‌ها و ادوات سیستم‌های آبیاری قطره‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد، عبور دادن آب از میدان مغناطیسی ثابت می‌باشد. در این شرایط علاوه بر پاک‌سازی رسوبات ته‌نشسته بر جدار داخلی لوله‌ها، از رسوب مجدد روی جدار داخلی لوله‌ها در آینده نیز جلوگیری می‌گردد (کیانی و همکاران، ۱۳۹۴). ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۲) پس از نصب یک دستگاه الکترومغناطیس در ابتدای سیستم آبیاری قطره‌ای با قدمت ۵ سال کارکرد، با ارزیابی قطره‌چکان‌های انتخابی بعد از ۶ ماه کارکرد سیستم با شرایط جدید، مشاهده کردند میانگین دبی از ۶/۲ به ۶/۷ لیتر در ساعت (به ترتیب قبل و بعد از نصب دستگاه مغناطیس)، ضریب تغییرات از ۱۷ به ۱۱ درصد، راندمان پخش از ۵۹/۶ به ۶۳/۶ درصد، ضریب یکنواختی توزیع از ۸۵/۶ به ۹۱/۴ درصد و ضریب تغییرات دبی از ۵۱/۷ به ۴۴/۴ درصد تغییر یافت که نشان‌دهنده بهبود عملکرد سیستم آبیاری بود. Shaker و همکاران (۲۰۱۴) طی پژوهشی ۲ ساله (۲۰۰۶ و ۲۰۰۷) در دانشگاه خارطوم سودان تأثیر عبور آب معمولی و

تسلا از ۲۳ تا ۵۳ درصد و در تیمار آب معمولی بین ۷ تا ۴۰ درصد بود.

یکی دیگر از راه‌کارهای افزایش بهره‌وری مصرف آب آبیاری، ارتقاء راندمان توزیع آب در سطح مزرعه از طریق تبدیل سیستم‌های آبیاری سنتی به روش‌های نوین آبیاری مانند آبیاری قطره‌ای می‌باشد. در این روش آبیاری، به دلیل کنترل بیش‌تر بر توزیع آب در سطح مزرعه، علاوه بر افزایش راندمان توزیع آب، صرفه‌جویی فراوانی در مصرف آب صورت می‌گیرد (نیکبخت و کرمی، ۱۳۹۷). یکی از مشکلات اساسی در این روش آبیاری گرفتگی ناشی از رسوب مواد شیمیایی بر جدار داخلی لوله‌ها و نیز خروجی قطره‌چکان‌ها می‌باشد که باعث کاهش دبی قطره‌چکان‌ها و در نتیجه یکنواختی پخش آب توسط سیستم می‌شود (قرچه و همکاران، ۱۳۹۴). فیلتراسیون، کلرزنی، اسیدشویی و شستشوی لترال‌های آبیاری از جمله روش‌های مناسب و توصیه‌شده برای جلوگیری از گرفتگی قطره‌چکان‌ها می‌باشند (عسگری و همکاران، ۱۳۹۳).

نتایج دو آزمایش جداگانه صورت گرفته توسط زرداری و فتحی (۱۳۹۱) در دانشگاه سنندج بر روی چهار نوع قطره‌چکان و عسگری و همکاران (۱۳۹۳) در دانشگاه صنعتی اصفهان بر روی ۳ نوع قطره‌چکان نشان داد در شرایط استفاده از پساب تصفیه‌شده برای آبیاری، شستشوی سیستم آبیاری با آب معمولی میزان گرفتگی قطره‌چکان‌ها را کاهش می‌دهد. Karaca و Ucan (۲۰۱۳) طی تحقیقی در کشور ترکیه اثر تزریق مقادیر مختلف اسیدکلریدریک (HCL) با غلظت‌های ۲/۵، ۵، ۱۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ ppm برای رفع گرفتگی قطره‌چکان‌ها ناشی از رسوب کربنات کلسیم را بررسی کردند. نتایج نشان داد که اسید با غلظت‌های ۲/۵، ۵ و ۱۰ ppm تأثیری در رفع گرفتگی قطره‌چکان‌ها نداشته و بیش‌ترین درصد رفع گرفتگی قطره‌چکان‌ها به مقدار ۴۰/۹۱ درصد برای ۲۵ درصد قطره‌چکان‌های گرفته، در غلظت ۱۰۰۰ ppm بود.

دبی (۱۵/۰۸ و ۱۷/۸۵ درصد) شد (اعداد بزرگتر مربوط به تیمار آب مغناطیسی می‌باشد).

با توجه به نتایج پژوهش‌های بررسی شده، گرفتگی شیمیایی قطره‌چکان‌ها باعث کاهش دبی خروجی قطره‌چکان و نیز یکنواختی پخش آب در سطح مزرعه شده و به تبع آن نیاز آبی گیاه تحت آبیاری به‌طور کامل تأمین نگشته و گیاه دچار تنش کم‌آبی خواهد شد. هدف پژوهش حاضر ارزیابی هیدرولیکی سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری تحت شرایط عبور و عدم عبور آب آبیاری از میدان مغناطیسی و تأثیر آن بر عملکرد و کارایی مصرف آب در گیاه ذرت بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر از خردادماه تا مهر ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان با موقعیت جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۴ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۵۷۰ متر از سطح دریا بر روی گیاه ذرت رقم ماکسیما (Zea Maze Cv. Maxima) انجام گرفت. پژوهش در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار با دو تیمار عبور و عدم عبوری آب آبیاری از میدان مغناطیسی انجام گرفت. سیستم آبیاری مورد استفاده برای تأمین نیاز آبی گیاهان قطره‌ای-نواری^۱ بود. آب مورد استفاده در پژوهش از آب چاه دانشگاه تأمین می‌شد. جدول ۱ نتایج تجزیه شیمیایی آب آبیاری و جدول ۲ مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه را نشان می‌دهد. جهت کشت بذرها و شروع آزمایش، ابتدا زمین موردنظر با ادوات خاک‌ورزی شخم زده شده و سپس تسطیح گردید. کرت‌های مورد آزمایش با عرض ۲/۵ متر و طول ۵ متر در نظر گرفته شد و در هر کرت ۴ ردیف کشت بافاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر ایجاد شد. بذرها ذرت بافاصله ۲۰ سانتی‌متر از یکدیگر در عمق ۳ الی ۵ سانتی‌متری کشت گردید. بین کرت‌ها در هر تکرار یک

پساب تصفیه شده از میدان مغناطیسی بر گرفتگی قطره‌چکان‌ها و عملکرد هیدرولیکی سیستم آبیاری قطره‌ای را مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج متوسط دبی قطره‌چکان‌ها ۳/۴۶، ۲/۶۵، ۳/۷۵ و ۳/۳۳ لیتر در ساعت و متوسط یکنواختی توزیع آب ۸۹، ۷۱، ۹۶/۵ و ۸۷ درصد به ترتیب برای آب معمولی، پساب تصفیه شده، آب معمولی مغناطیسی و پساب مغناطیسی به دست آمد. فنبری و همکاران (۱۳۹۵) با عبور دادن آب با دو سطح شوری (۰/۶ و ۲ دسی زمینس بر متر) از میدان مغناطیسی مشاهده کردند میانگین ضریب تغییرات، ضریب کریستیانسن، یکنواختی پخش آب و درصد گرفتگی از ۳/۲۷، ۹۶/۷۳، ۹۵/۳ و ۵/۵۴ درصد (به ترتیب) برای تیمار آب غیر مغناطیسی به ۲/۸۴۵، ۹۷/۱۵۵، ۹۵/۹ و ۴/۴۷۵ درصد در تیمار مغناطیسی ارتقاء یافت که این مقادیر از نظر آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشتند. صمدی و همکاران (۱۳۹۵a,b) عملکرد شش نوع قطره‌چکان کرونا، نتافیم، پایا، آکسیوس، پلیرود، ایریتک در یک دوره آبیاری تحت دو تیمار عبور و عدم عبور آب چاه از میدان الکترومغناطیس را ارزیابی کردند. بر اساس نتایج، میانگین آبدهی قطره‌چکان‌ها و ضریب یکنواختی سیستم برای تیمار آب عبوری از میدان الکترومغناطیس ۴ لیتر بر ساعت و ۷۶/۸۴ درصد و برای تیمار عدم عبوری ۳/۶۷ لیتر بر ساعت و ۷۴/۷۷ درصد بود که نشان‌دهنده بهبود عملکرد و کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها در اثر عبور آب آبیاری از میدان الکترومغناطیس بود. طی تحقیقی Khoshravesh و همکاران (۲۰۱۸) مشاهده کردند عبور آب آبیاری با ۳ غلظت متفاوت کربنات کلسیم (صفر، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) از میدان مغناطیسی، باعث ایجاد اختلاف معنی‌دار بین میانگین دبی (۳/۷۸ و ۳/۸۴ لیتر در ساعت)، یکنواختی چارک پائین (۹۲/۲۶ و ۸۴/۴۳ درصد)، ضریب کریستیانسن (۹۴/۸۳ و ۸۹/۰۶ درصد)، یکنواختی توزیع آب (۹۴/۹۴ و ۸۴/۴۳ درصد) و تغییرات

استفاده شد. نیاز آبی گیاهان ذرت با استفاده از داده‌های بهنگام پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک زنجان و روش فائو (رابطه ۱) استخراج شد. مقادیر تبخیر-تعرق گیاه مرجع بر اساس روش فائو-پنمن-مانیت ۵۶ (رابطه ۲) محاسبه شد. دور آبیاری در نظر گرفته شده در این پژوهش ۳ روزه بود. بنابراین با تجمیع نیاز آبی روزانه گیاه، نیاز آبیاری در هر دور محاسبه می‌شد (نیکبخت و رضایی، ۱۳۹۶).

متر و بین تکرارها ۱/۵ متر فاصله در نظر گرفته شد. سپس در کنار هر ردیف کشت یک نوار آبیاری با قطر ۱۶ میلی‌متر و فاصله روزنه‌های ۲۰ سانتی‌متر قرار داده شد. در طول دوره رشد گیاه، عملیات مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت مکانیکی (به کمک بیل و بیلچه و نیز وجین دستی)، کود دهی با روش کودآبیاری و مبارزه با بیماری‌ها با سم‌پاشی انجام گرفت. جهت ایجاد میدان مغناطیسی ثابت، از سیم‌لوله و تبدیل‌کننده برق متناوب به ثابت

جدول ۱. نتایج تجزیه شیمیایی آب چاه مورد استفاده.

pH	EC ($ds.m^{-1}$)	SAR ($meq.L^{-1}$) ^{0.5}	سدیم ($mgr.L^{-1}$)	پتاسیم ($mgr.L^{-1}$)	کلسیم ($mgr.L^{-1}$)	منیزیم ($mgr.L^{-1}$)	کلر ($mgr.L^{-1}$)	کربنات ($mgr.L^{-1}$)	بی‌کربنات ($mgr.L^{-1}$)
۶/۵	۲/۳۵	۰/۶۶	۵۰/۰	۰/۰	۲۵۸/۴۵	۱۰۳/۷	۵۸۲/۲	۰/۰	۱۹۵/۲

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه.

رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	کلاس بافت خاک	کربنات کلسیم (mg/g)	چگالی حقیقی (g/cm^3)	چگالی ظاهری (g/cm^3)	SAR ($meq.L^{-1}$) ^{0.5}	EC (ds/m)	pH
۳۷	۳۸	۲۵	لوم رسی	۱۳۲/۵	۲/۶۴	۱/۱۸	۲/۱۱	۱/۴۹۲	۷/۴۲

پارامترهای اندازه‌گیری شده در این پژوهش شامل دو بخش صفات گیاهی و پارامترهای ارزیابی هیدرولیکی سیستم بود. صفات گیاهی در انتهای دوره رشد گیاه اندازه‌گیری شد. با توجه به این‌که ذرت کاشته شده در این پژوهش علوفه‌ای و سیلویی بود، بنابراین بهترین زمان برداشت آن زمانی است که دانه ذرت در اوایل مرحله خمیری است. برداشت در این زمان تأثیر خوبی بر کیفیت علوفه و نهایتاً کیفیت سیلو خواهد داشت. پس از حذف گیاهان اثر حاشیه از هر کرت ۶ بوته به‌تصادف انتخاب و از محل طوقه جدا شد. سپس ارتفاع بوته‌ها تا نوک گل نر با کمک متر، قطر ساقه بوته در محل طوقه با کمک کولیس دیجیتال، سطح کل برگ‌ها به روش اسکن، وزن تر و وزن خشک کل گیاه (پس از خشک شدن بوته‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون الکتریکی با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد) با کمک ترازوی دقیق اندازه‌گیری و ثبت

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T + 273)} u_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (2)$$

ET_0 تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن (میلی‌متر در روز)، K_c ضریب گیاهی و ET_c تبخیر-تعرق گیاه ذرت (میلی‌متر در روز)، R_n تابش خالص ورودی به سطح گیاه (مگا ژول بر مترمربع بر روز)، G شار گرمای خاک (مگا ژول بر مترمربع بر روز)، T میانگین روزانه دمای هوا در ارتفاع دو متری (درجه سلسیوس)، u_2 میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)، e_a فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)، e_d فشار بخار واقعی (کیلو پاسکال)، $e_a - e_d$ کمبود فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)، Δ شیب منحنی فشار بخار (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس) و γ ضریب ثابت سایکرومتری (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس) می‌باشد (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷).

$$q_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i \quad (5)$$

$$S_q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - q_a)^2}{n-1}} \quad (6)$$

در اینجا: C_v : ضریب تغییرات (درصد)؛ S_q : انحراف معیار دبی قطره‌چکان‌ها (لیتر در ساعت)؛ q_a : میانگین آبدهی قطره‌چکان‌ها (لیتر در ساعت)؛ n : تعداد قطره‌چکان‌های مورد آزمایش؛ q_i : آبدهی هر قطره‌چکان (لیتر در ساعت) می‌باشد (نیکبخت و کرمی، ۱۳۹۶). هر چه ضریب تغییرات زیادتر باشد مقدار اشتباه زیادتر خواهد بود. بنابراین دقت آزمایش کاهش می‌یابد.

یکنواختی خروج آب، E_u ، یکی از اساسی‌ترین عوامل تأثیرگذار بر بازده کاربرد آب در آبیاری قطره‌ای است. تعیین یکنواختی خروج آب هم در طراحی و هم در مدیریت یک سیستم آبیاری قطره‌ای مفید است. در این تحقیق، برای یکنواختی خروج آب از رابطه ۷ استفاده شد (نیکبخت و کرمی، ۱۳۹۶).

$$E_u = 100 \left(\frac{q_{Lq}}{q_a} \right) \quad (7)$$

E_u : یکنواختی خروج آب (درصد)؛ q_{Lq} : میانگین یک‌چهارم کمترین دبی قطره‌چکان‌ها (لیتر در ساعت)؛ q_a : متوسط دبی قطره‌چکان‌های مورد آزمایش (لیتر در ساعت) می‌باشد (نیکبخت و کرمی، ۱۳۹۶).

کریستیانسن در سال ۱۹۴۲ برای ارزیابی یکنواختی پخش آب در آبپاش‌های آبیاری بارانی رابطه ۵ را ارائه نمود که بعداً با گسترش سیستم‌های آبیاری قطره‌ای، برای ارزیابی این سیستم‌ها نیز مورد استفاده قرار گرفت.

$$U_C = 100 \left(1 - \left(\frac{1}{nq_a} \right) \sum_{i=1}^n |q_i - q_a| \right) \quad (8)$$

U_C : ضریب یکنواختی کریستیانسن

q_i (Christiansen's Uniformity coefficient) (درصد)،

گردید. هم‌چنین مقدار بهره‌وری مصرف آب از رابطه ۳ محاسبه شد.

$$\text{بهره‌وری مصرف آب} = \frac{\text{Mass Weight}}{\text{Water Used}} \quad (3)$$

در رابطه ۳، Mass Weight عملکرد علوفه (کیلوگرم) و Water Used مقدار آب مصرفی (مترمکعب) هست (نیکبخت و همکاران، ۱۳۹۲). مقدار آب مصرفی در طول دوره رشد برای هر دو تیمار آب مغناطیسی و غیر مغناطیسی ۵۱۹۳ مترمکعب در هکتار بود.

جهت تعیین تأثیر عبور آب آبیاری از میدان مغناطیسی بر پارامترهای هیدرولیکی سیستم آبیاری، پس از اتمام نمونه‌برداری گیاهی، سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری مورد ارزیابی هیدرولیکی قرار گرفت. به این منظور پس از تنظیم فشار ورودی بر روی ۱/۰ بار، با توجه به تعداد کل روزنه‌های موجود در هر ردیف کشت (۲۵ عدد) و در نظر گرفتن هر ۳ روزنه به‌عنوان یک واحد آزمایش، حجم آب خروجی از روزنه‌های ابتدا، یک‌سوم، دوسوم و انتهای نوارها، از طریق بشر ۲۵۰ و ۱۰۰ میلی‌متری مدرج در مدت‌زمان ۲۰ ثانیه اندازه‌گیری شده، سپس دبی روزنه‌ها محاسبه گردید (نیکبخت و کرمی، ۱۳۹۶، گوازی و معروف‌پور، ۱۳۹۶). درنهایت با کمک روابط ۴ تا ۹ سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری مورد ارزیابی هیدرولیکی قرار گرفت.

برای یک کارخانه امکان‌پذیر نیست که دو محصول مشابه را تولید کند، این موضوع در ساخت قطره‌چکان‌ها نیز مصداق دارد (علیزاده، ۱۳۷۶؛ Dutta, 2008). بنابراین در شرایط فشار یکسان، دبی خروجی از قطره‌چکان‌های ساخت یک کارخانه که حتی تحت عنوان یک مدل تولیدشده‌اند، متفاوت است (گوازی و معروف‌پور، ۱۳۹۶). در این پژوهش مقدار C_v از طریق معادلات ۴ تا ۶ محاسبه شد:

$$C_v = \left(\frac{S_q}{q_a} \right) * 100 \quad (4)$$

در نهایت پس از جمع‌آوری داده‌ها، جهت تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SPSS 22.0 و برای انجام محاسبات و رسم نمودارهای لازم از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات پارامترهای محاسبه‌شده برای ارزیابی سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری مورد استفاده در پژوهش حاضر در جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۴ مشاهده می‌گردد که عبور آب آبیاری از میدان مغناطیسی باعث تأثیر معنی‌دار بر مقادیر متوسط دبی قطره‌چکان‌ها (در سطح ۰/۱ درصد)، ضریب تغییرات، یکنواختی توزیع آب، ضریب یکنواختی کریستیانسن (در سطح ۱ درصد) و یکنواختی پخش آب (در سطح ۵ درصد) شد. نتایج مقایسه میانگین‌های پارامترهای ارزیابی سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری مغناطیسی و غیر مغناطیسی با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد در شکل‌های ۱ تا ۵ نشان داده شده است.

دبی قطره‌چکان‌های مورد آزمایش برحسب لیتر در ساعت، q_a دبی متوسط قطره‌چکان‌های مورد آزمایش برحسب لیتر در ساعت و n تعداد قطره‌چکان‌ها می‌باشد (نیکبخت و کرمی، ۱۳۹۶).

وقتی ضریب یکنواختی کریستیانسن بزرگ‌تر از ۷۰ درصد باشد اطلاعات به دست آمده از انجام آزمایش دارای توزیع نرمال خواهد بود و اندازه‌گیری‌ها نسبت به میانگین قرینه می‌باشند (نیکبخت و کرمی، ۱۳۹۶). در این صورت یکنواختی توزیع آب از رابطه ۹ محاسبه می‌شود.

$$D_u = 100 \left(\frac{q_m}{q_a} \right) \quad (9)$$

که در آن D_u یکنواختی توزیع آب (Distribution uniformity) (درصد)؛ q_m میانگین یک‌دوم کمترین دبی قطره‌چکان‌ها (لیتر در ساعت) می‌باشد (نیکبخت و کرمی، ۱۳۹۶).

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات پارامترهای ارزیابی سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری.

D_u (%)	U_C (%)	E_u (%)	C_v (%)	q_a (lit/hr)	درجه آزادی	منابع تغییرات
۱/۵۵ ^{ns}	۰/۸ ^{ns}	۳/۰۸۳ ^{ns}	۱/۳۵ ^{ns}	۰/۰۱۱ ^{ns}	۲	تکرار
۱۰/۰۸۳*	۱۲/۰۰**	۵۲/۰۸۳**	۲۴/۰۸۳**	۰/۷۶۵**	۱	عبور از میدان مغناطیسی
۴/۴۱۷	۴/۰۰	۱۷/۴۱۷	۷/۴۱۷	۰/۰۷۲	۲	خطا
۰/۹۶۷	۰/۹۲۲	۱/۹۵۵	۳۲/۷۱	۳/۷۸۷	--	ضریب تغییرات

ns، *، ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌دار می‌باشد.

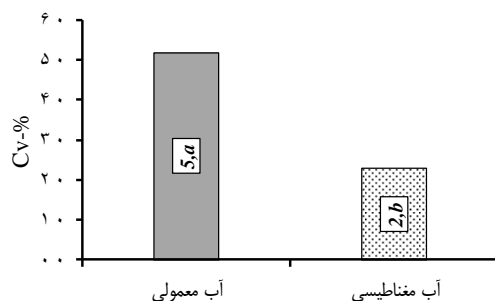
کربنات کلسیم دارای ۳ ساختار کلسیت، آراگونیت و واتریت می‌باشد. کلسیت بسیار فعال و چسبنده بوده و عامل اصلی ایجاد رسوبات سخت در مجاری عبور آب می‌باشد. آراگونیت متخلخل و سوزنی شکل بوده و قدرت چسبندگی کمی دارد و رسوبات ایجاد شده با این ساختار به راحتی زدوده می‌شود. واتریت دارای بلورهای کروی

همان‌طور که در بخش مقدمه نیز بیان شد، یکی از مشکلات سیستم‌های آبیاری قطره‌ای گرفتگی شیمیایی روزنه‌های خروجی قطره‌چکان‌ها می‌باشد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک گرفتگی شیمیایی به دلیل رسوب کربنات کلسیم موجود در آب آبیاری ایجاد می‌شود (اشرفی و همکاران، ۱۳۹۲). رسوبات تشکیل شده توسط

مقایسه با سیستم آبیاری مغناطیسی به میزان ۳ درصد افزایش و مقادیر E_u ، U_C و D_u به میزان ۳، ۲ و ۳ درصد (به ترتیب) کاهش یافت که اختلاف‌های ذکر شده بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. تمام نتایج اخیر اثبات‌کننده تأثیر عبور آب آبیاری از میدان مغناطیسی در ارتقاء خصوصیات هیدرولیکی سیستم آبیاری به دلیل ممانعت از ایجاد گرفتگی شیمیایی روزه‌های نوارهای آبیاری می‌باشد.

نوارهای آبیاری عموماً فقط برای یک دوره رشد و آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد و به دلیل گرفتگی در انتهای دوره آبیاری جمع گشته و دور ریخته می‌شود که این شرایط علاوه بر مسائل زیست‌محیطی، باعث تحمیل هزینه برای زارع و افزایش هزینه‌های تولید محصول می‌شود. بنابراین از نتایج دیگری که از این بخش پژوهش می‌توان به دست آورد قابلیت استفاده از نوارهای آبیاری در دوره‌های رشد متوالی و آبیاری می‌باشد.

نتایج این بخش از پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌های ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۲)، Shaker و همکاران (۲۰۱۴)، قنبری و همکاران (۱۳۹۵) و صمدی و همکاران (۱۳۹۵ a,b) که در همه آن‌ها عبور آب آبیاری از میدان مغناطیسی باعث ارتقاء خصوصیات هیدرولیکی سیستم آبیاری به دلیل ممانعت از رسوب کربنات کلسیم در خروجی قطره‌چکان‌ها شده بود هم‌خوانی داشت.

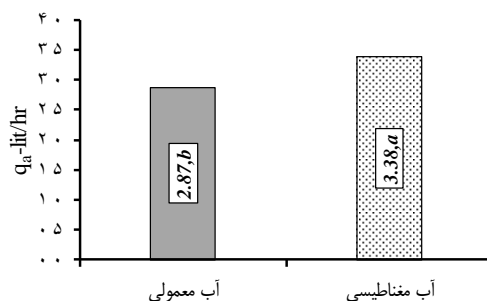


شکل ۲. میانگین‌های ضریب تغییرات دبی سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری

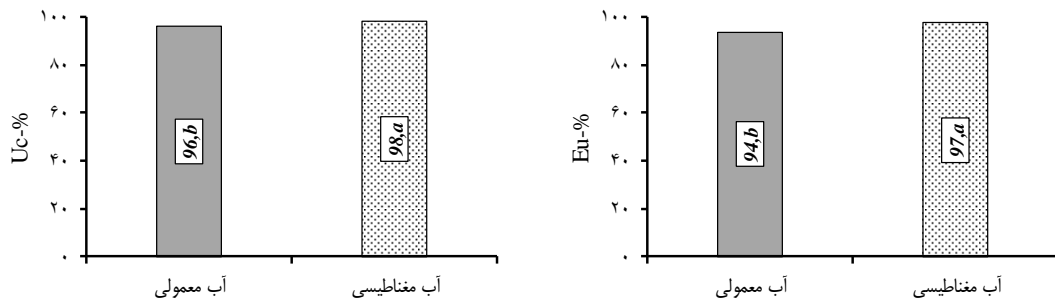
بوده که نسبت به دو شکل دیگر رسوبات کربنات کلسیم دارای پایداری بالاتری می‌باشد و بندرت یافت می‌شود (نیکبخت و همکاران، ۱۳۹۰). با توجه به نتایج پژوهش‌های صورت گرفته، عبور آب از میدان مغناطیسی ساختار رسوبات کربنات کلسیم را از حالت کلسیت به آراگونیت تغییر می‌دهد. بنابراین از این روش برای ممانعت از گرفتگی مجاری عبور آب در اثر رسوب کربنات کلسیم استفاده می‌شود (نیکبخت و همکاران، ۱۳۹۰؛ اشرفی و همکاران، ۱۳۹۲).

تأثیر عبور و عدم عبور آب آبیاری از میدان مغناطیسی بر رسوب کربنات کلسیم در خروجی نوارهای آبیاری و کاهش میزان دبی متوسط سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری به‌وضوح از نتایج شکل ۱ قابل استنتاج است. با توجه به شکل ۱، در تیمار غیر مغناطیسی، متوسط دبی سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری به میزان ۰/۵۱ لیتر در ساعت (۱۸ درصد) کم‌تر از دبی سیستم آبیاری قطره‌ای مغناطیسی بود که این اختلاف از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد.

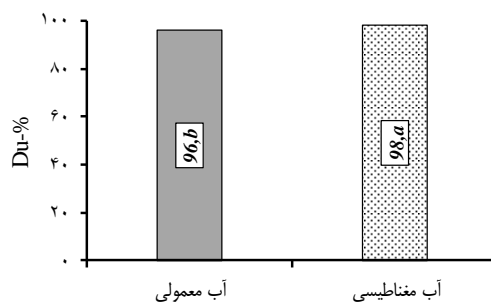
گرفتگی روزه‌ها و کاهش دبی آن‌ها می‌تواند باعث افزایش غیریکنواختی توزیع آب در کل سیستم آبیاری قطره‌ای گردد. این شرایط به‌وضوح از نتایج شکل‌های ۲ تا ۵ قابل استنتاج است. با توجه به شکل‌های ۲ تا ۵، در نتیجه گرفتگی روزه‌ها و کاهش دبی خروجی از آن‌ها سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری غیر مغناطیسی در



شکل ۱. میانگین‌های دبی متوسط سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری



شکل ۳. میانگین‌های یکنواختی خروج آب سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری
شکل ۴. میانگین‌های ضریب یکنواختی کریستیانسن سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری



شکل ۵. میانگین‌های یکنواختی توزیع آب سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری

جدول ۵ نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات اندازه‌گیری شده در ذرت رقم ماکسیما می‌دهد. بر اساس نتایج جدول ۵، عبور آب آبیاری از میدان مغناطیسی باعث تأثیر معنی‌دار بر مقادیر وزن‌تر، کارایی مصرف آب محاسبه شده بر اساس وزن تر کل (در

سطح احتمال ۰/۱ درصد)، وزن خشک کل گیاه، کارایی مصرف آب و وزن خشک (در سطح ۱ درصد) و سطح برگ کل گیاه (در سطح ۵ درصد) شد، اما اعمال تیمار آب مغناطیسی تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه و قطر ساقه در محل طوقه نداشت.

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات اندازه‌گیری شده در ذرت رقم ماکسیما

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر کل (T/ha)	وزن خشک کل (T/ha)	کارایی مصرف آب (وزن تر) (kg/m ³)	ارتفاع (cm)	قطر ساقه (cm)	سطح برگ (m ²)
تکرار	۲	۶/۷۱ ^{ns}	۰/۴۵ ^{ns}	۰/۲۵ ^{ns}	۰/۸۷/۳۳ ^{ns}	۲/۳۱ ^{ns}	۱۲۱۹۱۴/۲۳ ^{ns}
عبور از میدان مغناطیسی	۱	۱۱۸/۱۰ ^{**}	۴/۷۳ ^{**}	۴/۳۹ ^{**}	۰/۷۰ ^{ns}	۰/۴۸ ^{ns}	۵۷۷۶۷۹/۳۰ [*]
خطا	۲	۱۲/۲۰	۰/۹۰	۰/۴۵	۴۴۲/۱۶	۳/۶۰	۱۴۰۳۴۶۲۰/۷۱
ضریب تغییرات	—	۰/۸۷	۰/۹۲	۰/۸۷	۱۲/۵۹	۲/۷۴	۴/۵۲

ns، *، ** و ns به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌دار می‌باشد

فتوستتوز توسط گیاه افزایش می‌یابد. در نتیجه عملکرد و تولید محصول بیش‌تر می‌گردد (Issa et al., 2016). عامل دیگری که می‌تواند در افزایش عملکرد ذرت آبیاری شده با آب عبوری از میدان مغناطیسی مؤثر باشد، بیش‌تر بودن یکنواختی توزیع آب سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری مغناطیسی نسبت به تیمار غیر مغناطیسی باشد (شکل‌های ۱ تا ۵). گرفتگی روزنه‌ها باعث عدم تأمین کامل نیاز آبی گیاهان تحت آبیاری و وارد آمدن تنش خشکی به آن‌ها گردد.

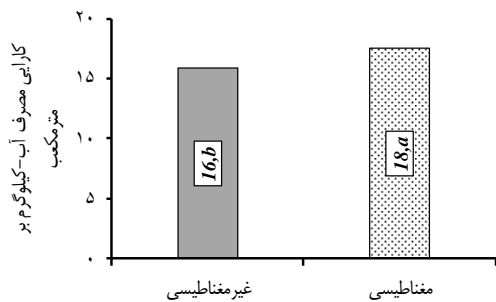
نتایج پژوهش‌های زیادی اثبات‌کننده افزایش عملکرد گیاهان متفاوت تحت تأثیر آب مغناطیسی می‌باشد که از آن جمله می‌توان به نتایج پژوهش‌های نیکبخت و همکاران (۱۳۹۲)، صادقی‌پور و آقایی (۱۳۹۳)، محمودی و همکاران (۱۳۹۵)، محمدیان و همکاران (۱۳۹۵)، Issa و همکاران (۲۰۱۶)، Yusuf و Ogunlela (۲۰۱۷)، نیکبخت و رضایی (۱۳۹۶) و El-Gindy و همکاران (۲۰۱۸) اشاره داشت که در همه پژوهش‌های ذکر شده نتایج استفاده از آب عبور یافته از میدان مغناطیسی باعث افزایش عملکرد گیاه شد.

در سال‌های اخیر به دلیل محدودیت منابع آب قابل‌دسترس و نیز مصرف بیش از ۷۰ درصد آب شیرین قابل‌دسترس در بخش کشاورزی و همچنین در نظر گرفتن افزایش تقاضای آب توسط سایر بخش‌ها (شهری، صنعت و ...)، چالش تخصیص آب محدود توسط مسئولین آب بیش‌تر شده است. بنابراین در این شرایط هر فن‌آوری که باعث گردد میزان تولید محصول به ازای مصرف حجم معینی آب افزایش یابد، می‌تواند به‌عنوان یک راه‌کار مدیریتی مؤثر در استفاده بهینه از آب تخصیصی به بخش کشاورزی محسوب گردد. با توجه به نتایج پژوهش حاضر مشاهده شد که با عبور آب آبیاری از میدان مغناطیسی با وجود مصرف مقدار ثابت آب برای هر دو تیمار آب مغناطیسی و غیر مغناطیسی (۵۱۹۳ مترمکعب در هکتار)، میزان محصول تولیدشده در تیمار

با توجه به نتایج مقایسات میانگین‌های وزن‌تر کل بوته ذرت رقم ماگسیما تحت تأثیر تیمار آب مغناطیسی با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد (شکل ۶)، متوسط وزن‌تر کل بوته ذرت آبیاری شده با آب مغناطیسی ۸/۹ تن در هکتار (۱۱ درصد) نسبت به تیمار آب غیر مغناطیسی افزایش داشت که این اختلاف معنی‌دار بود.

در اثر نیروی القایی توسط میدان مغناطیسی، پیوندهای هیدروژنی و واندروالسی بین مولکول‌های آب شکسته شده، در نتیجه خوشه‌های مولکول‌های آب شکسته می‌گردد و مولکول‌های آب آزاد می‌شوند. این حالت سبب کاهش فضای اشغال‌شده توسط مولکول‌های آب گردیده و نیروی کشش سطحی آب کاهش می‌یابد. با کاهش نیروی کشش سطحی آب، سیالیت آن افزایش یافته و خاصیت تر کنندگی آب بیشتر می‌شود. در این شرایط حلالیت عنصرهای قابل‌دسترس برای گیاه نیز بیش‌تر شده، در نتیجه جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه گیاه افزایش می‌یابد (نیکبخت و رضایی، ۱۳۹۶؛ هاشم‌آبادی، ۱۳۹۶). با افزایش جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه گیاه، میزان پروتئین بافت‌ها افزایش یافته در نتیجه فعالیت هورمون‌هایی که باعث رشد، تقسیم و کشیدگی سلول‌ها می‌گردد بیش‌تر می‌شود. پس تعداد برگ‌ها و سطح برگ گیاه افزایش می‌یابد. علاوه بر توانایی آب مغناطیسی در کاهش مقاومت دیواره سلولی در برابر کشیدگی سلول در فرایند رشد، غلظت اکسیژن محلول در آب مغناطیسی که می‌تواند نقش مهمی در حلالیت بیش‌تر مواد ریزمغذی در آب ایفاء کند نیز افزایش می‌یابد. نفوذ راحت و زیاد این مواد از طریق دیواره‌های سلولی همراه با آب (به دلیل افزایش سیالیت آب مغناطیسی) و همچنین افزایش انتقال مواد غذایی به شاخه‌های گیاه، باعث گسترش سلول، گسترش برگ‌ها، کشیدگی و افزایش سطح برگ و در نهایت افزایش وزن خشک ساقه می‌گردد. با افزایش تعداد و سطح برگ، میزان دریافت نور خورشید و عمل

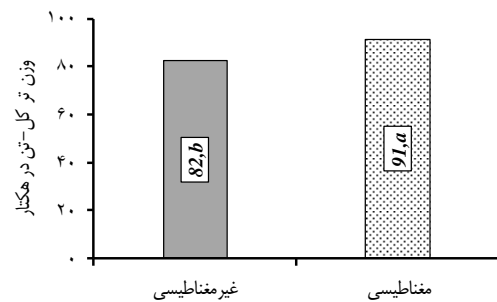
(به ترتیب) نسبت به تیمار شاهد شد. در آزمایش نیکبخت و همکاران (۱۳۹۲) و نیکبخت و رضایی (۱۳۹۶) کارایی مصرف آب مغناطیسی در وزن تر گیاه ذرت به ترتیب ۱/۲۸ و ۴/۷ کیلوگرم در مترمکعب بیش‌تر از تیمار غیر مغناطیسی شد. El-Gindy و همکاران (۲۰۱۸) طی تحقیقی نتیجه گرفتند کارایی مصرف آب مغناطیسی در تولید شلغم در شدت میدان‌های ۱۰۰۰ و ۴۰۰۰ گوس به ترتیب ۷۷/۵ و ۶۰ درصد بیش‌تر از تیمار شاهد شد.



شکل ۷. میانگین‌های کارایی مصرف آب (وزن تر) ذرت رقم ماگسیما

مغناطیسی بیش‌تر شد (شکل ۶). حالت اخیر باعث ایجاد اختلاف معنی‌دار و افزایش کارایی مصرف آب در تیمار آب مغناطیسی به میزان ۱/۷ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب مصرفی (۱۱ درصد) شد (شکل ۷). در نتیجه با این راه‌کار سود حاصل از فروش محصول تولیدی در این تیمار بیش‌تر خواهد بود.

در پژوهش Mahashwari و Grewal (۲۰۰۹) عبور آب با شوری ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و پساب تصفیه‌شده از میدان مغناطیسی باعث افزایش کارایی مصرف آب در گیاه کرفس به میزان ۱۱، ۲۴ و ۱۲ درصد



شکل ۶. میانگین‌های وزن تر کل ذرت رقم ماگسیما

بذرهای نخود (محمودی و همکاران، ۱۳۹۵)، ۳۹ درصدی وزن خشک کل ذرت (نیکبخت و رضایی، ۱۳۹۶)، ۳۶ درصدی (آب با شوری ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نمک) دانه‌های لوبیا چشم‌بلبلی (Surendran et al., 2016) شد.

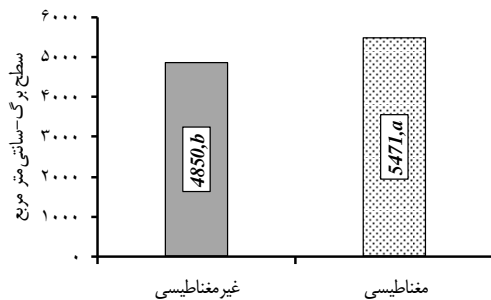
تأثیر عبور آب آبیاری از میدان مغناطیسی بر افزایش سطح کل برگ ذرت به‌خوبی از نتایج مقایسه میانگین‌های سطح کل برگ ذرت رقم ماگسیما (شکل ۹) قابل استنتاج می‌باشد. بر اساس شکل ۹، میانگین سطح کل برگ گیاهان تیمار آب مغناطیسی ۶۲۱ سانتی‌متر مربع (۱۳ درصد) نسبت به تیمار شاهد بیش‌تر بود که این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار شد.

افزایش سطح برگ گیاه تحت تیمار آب مغناطیسی نسبت به تیمار شاهد در تحقیقات نیکبخت و همکاران (۱۳۹۲) به میزان ۹/۵ درصد (گیاه ذرت)، صادقی‌پور

تأثیر عبور آب آبیاری از میدان مغناطیسی بر میانگین وزن خشک کل ذرت در شکل ۸ مشاهده می‌شود به‌طوری‌که میانگین وزن خشک کل تیمار آب مغناطیسی ۱/۸ تن در هکتار نسبت به تیمار غیر مغناطیسی (۱۰ درصد) بیش‌تر شد (اختلاف در سطح ۵ درصد معنی‌دار). همان‌طور که اشاره شد آبیاری با آب مغناطیسی سبب افزایش جذب آب و املاح و در نتیجه فتوسنتز در گیاه می‌شود. با افزایش فتوسنتز، ماده غذایی بیشتری در گیاه تولید می‌شود که این امر تجمع ماده خشک گیاه را افزایش خواهد داد (نیکبخت و همکاران، ۱۳۹۲).

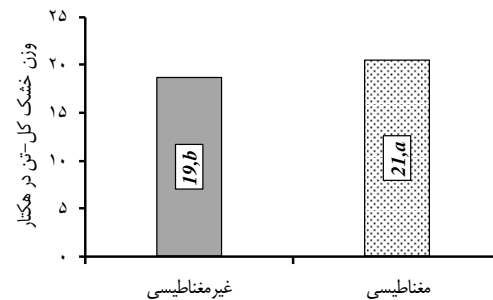
استفاده از آب مغناطیسی برای آبیاری نسبت به آب غیر مغناطیسی باعث افزایش ۲۳ درصدی وزن خشک گیاه ریحان (بانژاد و همکاران، ۱۳۹۲)، ۴۲ درصدی دانه ماش (صادقی‌پور و آقایی، ۱۳۹۳)، ۲۷ درصدی وزن

لیتر (گیاه لوبیا چشم‌بلبلی) و Issa و همکاران (۲۰۱۶) به میزان ۳۰ درصد (گیاه خیار) به دست آمد.



شکل ۹. نتایج مقایسه میانگین‌های سطح برگ ذرت رقم ماگسیما.

(۱۳۹۴) در شرایط تنش ۲۰ درصد و در شرایط عدم تنش ۱۹ درصد، Surendran و همکاران (۲۰۱۶) ۷ درصد در آب غیر شور و ۶ درصد در آب شور ۱۰۰۰ میلی‌گرم در



شکل ۸. میانگین‌های وزن خشک کل ذرت رقم ماگسیما.

نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش، ارزیابی تأثیر عبور و عدم عبور آب آبیاری از میدان مغناطیسی بر هیدرولیک سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری و نیز عملکرد و کارایی مصرف آب در گیاه ذرت بود. پژوهش از خردادماه تا مهر ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان، در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام گرفت. در انتهای فصل سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری مورد ارزیابی هیدرولیکی قرار گرفت. نتایج نشان داد در اثر عبور آب آبیاری از میدان مغناطیسی به دلیل کاهش گرفتگی روزنه‌های نوارهای آبیاری ناشی از رسوب کربنات کلسیم، متوسط دبی، E_u ، U_C و D_u در سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری به ترتیب ۱۸، ۳، ۲ و ۳ درصد بیش‌تر از سیستم آبیاری قطره‌ای غیر مغناطیسی شد و مقدار C_v ، ۳ درصد کم‌تر شد که این اختلاف‌ها از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود.

در بخش بررسی گیاهی نتایج نشان داد میانگین وزن‌تر گیاهان آبیاری شده با آب مغناطیسی و آب معمولی به ترتیب ۹۱ و ۸۲ تن در هکتار حاصل شد (۹ تن در

هکتار اختلاف). با توجه به مصرف مقدار ثابت آب برای آبیاری هر دو تیمار آب مغناطیسی و غیر مغناطیسی (۵۱۹۳ مترمکعب در هکتار)، کارایی مصرف آب دو تیمار به ترتیب ۱۸ و ۱۶ کیلوگرم بر مترمکعب آب مصرفی (به ترتیب آب مغناطیسی و آب غیر مغناطیسی) حاصل شد که کارایی مصرف آب مغناطیسی ۲/۰ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب مصرفی (۱۱ درصد) بیش‌تر بود. بر اساس نتایج این پژوهش، از این فن‌آوری می‌توان در کشاورزی استفاده به عمل آورد بدون این‌که خسارتی به محیط‌زیست وارد آورد. در پژوهش‌های صورت گرفته توسط Vashisth و Nagarajan (۲۰۱۰)، نیکبخت و همکاران (۱۳۹۲)، صادقی‌پور و آقایی (۱۳۹۳)، محمدیان و همکاران (۱۳۹۵)، محمودی و همکاران (۱۳۹۵)، Issa و همکاران (۲۰۱۶)، نیکبخت و رضایی (۱۳۹۶)، Yusuf و Ogunlela (۲۰۱۷) و Cheikh و همکاران (۲۰۱۸) ضمن مشاهده افزایش صفات اندازه‌گیری شده در تیمار آب مغناطیسی، بر اثرات مثبت این فن‌آوری در کشاورزی بدون اثر سوء بر محیط‌زیست تأکید شده است.

منابع مورد استفاده

- ابراهیمی، م.، شریفان، ح.، هزارجریبی، ا.، حسام، م. و طاهرپور، م.ر. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر آب مغناطیس شده در رفع انسداد قطره‌چکان‌های نوع میکروفلاپر. اولین همایش ملی بحران آب. ۲۵ و ۲۶ اردیبهشت. دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان-اصفهان.
- اشرفی، س.ف.، نصری، ع.ع. و بهزاد، م. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر آب مغناطیسی بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک. علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی). ۳۶(۴): ۱۹-۲۸.
- بانژاد، ح.، مکاری قهرودی، ا.، اثنی‌عشری، م. و لیاقت، ع.م. ۱۳۹۲. بررسی اثر متقابل آب مغناطیسی و شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ریحان. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۷(۲): ۱۷۸-۱۸۳.
- رستگار، س.، صادقی لاری، ع. و سالاری، م. ۱۳۹۴. اثر آب مغناطیسی بر جوانه‌زنی و خصوصیات رشد اولیه بذر گوجه‌فرنگی. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۲۹(ب): ۴۰۹-۴۱۷.
- زرداری، م. و فتحی، پ. ۱۳۹۱. تأثیر شستشوی هفتگی بر عملکرد هیدرولیکی قطره‌چکان‌ها در شرایط استفاده از پساب تصفیه شده. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۲(۱): ۵۰-۵۹.
- صادقی‌پور، ا. ۱۳۹۴. بررسی واکنش‌های فیزیولوژیک ماش (*Vigna radiata L.*) به آبیاری با آب مغناطیسی تحت تنش خشکی. مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی، ۷(۲۲): ۷۱-۸۵.
- صادقی‌پور، ا. و آقایی، پ. ۱۳۹۳. بررسی اثر تنش خشکی و کاربرد آب مغناطیسی بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش. مجله پژوهش‌های به‌زراعی. ۶(۱): ۷۹-۸۶.
- صمدی، م.، خوش‌روش، م. و غلامی سفیدکوهی، م.ع. ۱۳۹۵a. ارزیابی اثر کاربرد الکترومغناطیس بر گرفتگی قطره‌چکان‌ها. دومین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۲-۴ شهریور، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- صمدی، م.، خوش‌روش، م. و غلامی سفیدکوهی، م.ع. ۱۳۹۵b. اثر الکترومغناطیس بر ضریب یکنواختی توزیع آب قطره‌چکان‌ها در آبیاری قطره‌ای. پنجمین همایش علمی پژوهشی مدیریت جامع منابع آب، ۲۷-۲۸ مهر، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- 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.
- عسگری، ع.، قیصری، م. و صفریان، ف. ۱۳۹۳. تأثیر شستشوی لترال‌های آبیاری بر گرفتگی قطره‌چکان‌های PCJ و UniRam هنگام کاربرد پساب تصفیه شده. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۴(۲): ۲۳-۳۴.
- علیزاده، ا. ۱۳۷۶. اصول و عملیات آبیاری قطره‌ای. آستان قدس رضوی، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). چاپ اول، مشهد.
- غلامی سفیدکوهی، م.ع. و برزگر آخته‌خانه، ع. ۱۳۹۳. تأثیر مدیریت آبیاری و نوع قطره‌چکان بر گرفتگی قطره‌چکان در منطقه ساری. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۲۸(ب): ۳۸۵-۳۹۴.
- قرچه، ش.، دلبری، م. و گنجی، ف. ۱۳۹۴. تأثیر کود آبیاری بر گرفتگی برخی قطره‌چکان‌ها در آبیاری قطره‌ای. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۹(۲): ۲۶۳-۲۷۳.
- قنبری، ص.، کاویانی، ع. و نوری قیداری، م.ح. ۱۳۹۵. بررسی اثر متقابل آب مغناطیسی و شوری بر گرفتگی قطره‌چکان در آبیاری نواری (تیپ). چهارمین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های کاربردی در علوم کشاورزی، ۱۹ آذرماه، تهران.

- کیانی، ع.ر.، هزارجریبی، ا.، دهقان، ط. و خوش‌روش، م. ۱۳۹۴. تأثیر آب مغناطیسی و شوری آب بر گرفتگی قطره‌چکان‌ها در آبیاری قطره‌ای. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۹(۱): ۴۸-۵۸.
- گوازی، ف. و معروف‌پور، ع. ۱۳۹۶. ارزیابی مشخصه‌های هیدرولیکی چند نوع از نوارهای آبیاری قطره‌ای نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۱(۱): ۱۵۹-۱۶۹.
- محمدیان، م.، فتاحی، ر.ا. و نوری امامزاده‌ئی، م.ر. ۱۳۹۵. بررسی تأثیر آب شور مغناطیسی شده بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه فلفل سبز. علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی-پژوهشی)، ۳۹(۱): ۱۲۱-۱۳۰.
- محمودی، ق.، قنبری، ع.، راستگو، م.، قلیزاده، م. و طهماسبی، ا. ۱۳۹۵. بررسی اثر میدان مغناطیسی بر رشد و عملکرد نخود (*Cicer arietinum L.*) در شرایط آب و هوایی مشهد. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، ۱۴(۲): ۳۸۰-۳۹۱.
- نیکبخت، ج. و رضایی، ا. ۱۳۹۶. تأثیر 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. و کرمی، ص. ۱۳۹۶. تأثیر اتصال دو به دوی انتهای لاترال‌های سیستم آبیاری قطره‌ای بر مشخصات هیدرولیکی سیستم. مدیریت آب و آبیاری، ۷(۱): ۱۷-۲۸.
- نیکبخت، ج. و کرمی، ص. ۱۳۹۷. ارزیابی هیدرولیکی اتصال حلقوی و دو به دوی انتهای لاترال‌های سیستم آبیاری قطره‌ای. نشریه آبیاری و زهکشی،
- نیکبخت، ج.، خنده‌رویان، م. و توکلی، ا. ۱۳۹۰. مغناطیسی کردن آب راه‌کاری نوین و مؤثر برای استفاده از آبهای غیر متعارف در آبیاری. دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، زنجان.
- نیکبخت، ج.، خنده‌رویان، م.، توکلی، ا. و طاهری، م. ۱۳۹۲. اثر کم‌آبیاری با آب مغناطیسی بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب ذرت. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۲۷(ب/۴): ۵۵۱-۵۶۳.
- وزیری، ژ.، سلامت، ع.، انصاری، م.، مسچی، م.، حیدری، ن. و دهقانی سانچ، ح. ۱۳۸۷. تبخیر-تعرق گیاهان (دستورالعمل محاسبه آب مورد نیاز گیاهان). (ترجمه). انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، چاپ اول، تهران.
- هاشم‌آبادی، د. ۱۳۹۶. تغییر فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز تحت تأثیر انواع آب و دور آبیاری در گیاه زیتنی پروانش. علوم باغبانی ایران، ۸۴(۱): ۴۹-۵۹.
- Cheikh, O., Elaoud, A., Ben Amor, H. and Hozayn, M. 2018. Effect of permanent magnetic field on the properties of static water and germination of cucumber seeds. *International Journal of Multidisciplinary and Current Research*, 6: 108-116.
- Dutta, D.P. 2008. Characterization of drip emitters and computing distribution uniformity in a drip irrigation system at low pressure under uniform land slopes. M.Sc. Thesis, Texas A&M University, USA. 123p.
- El-Gindy, A.M., Arafa, Y.E., Abd El-Hady, M., Mansour, H.A. and Abdelghany, A.E. 2018. Effect of drip irrigation system salinity and magnetic water treatment on turnip yield and yield characters. *World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 4(1): 89-96.
- Issa, F.H., Shanoon R.W. and El Kaaby, E.J. 2016. Effect of magnetized water with spraying (Amino Alexine) on growth and yield of (*Cucumis Sativus L.*) growth in plastic house. *Journal of University of Duhok*, 19(1): 418-424 (Special Issue).
- Karaca, O.F. and Ucan, K. 2013. Elimination of lime causing clogging in emitters by chemical methods in drip irrigation. *African Journal of Agricultural Research*, 8(13): 1136-1143.
- Khoshravesh, M., Mirzaei, S.M.J., Shirazi, P. and Norooz Valashedi, R. 2018. Evaluation of dripper clogging using magnetic water in drip irrigation. *Applied Water Science* 8(81): 1-8.
- Mahashwari, 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: 1229-1236.
- Shaker, B.A., Saeed, A.B. and Ahmed Al-Khalifa, B.A. 2014. Effect of magnetizing technology on the drip irrigation system hydraulic performance and emitter clogging. *Journal of Agri-Food and Applied Sciences*, 2(9): 292-295.

- 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.
- 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.
- Yusuf, K.O. and Ogunlela, A.O. 2017. Effects of deficit irrigation on the growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum*) irrigated with magnetised water. *Environmental Research, Engineering and Management*. 73(1): 59-68.

Effect of magnetized water on hydraulic properties of tape irrigation system and maize yield and water use efficiency

Jaefar Nikbakht¹ and Amir Talei²

1) Associate Professor, Department of Water Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

* Corresponding author: Nikbakht.jaefar@znu.ac.ir

2) M.Sc. Student of Irrigation and Drainage, University of Zanjan, Zanjan, Iran..

Received: 25-08-2018

Accepted: 29-04-2019

Abstract

In this research, effect of irrigation water crossing from fixed magnetized field on tape nozzle clogging and hydraulic properties of tape irrigation system as well as yield and water use efficiency in maize cv. Maxima were studied. The research was done from June to October in Research Farm of Zanjan University based on the complete randomized blocks in three replications with two treatments, irrigation water crossing and no crossing from field magnetic. Magnetic field was created by wire-tube method with an intensity of 0.1 Tesla. At the end of the growing season, drip irrigation system was evaluated. In addition, yield and yield components of maize were measured. Based on the results, at no magnetic irrigation system, mean of q_a , E_u , U_c and D_u decreased as 18%, 3%, 2% and 3% (respectively) and C_v increased 3% compared with magnetic irrigation system (significant differences). Calcite deposits in tape nozzles and their clogging caused it. Using magnetized water for maize watering increased total wet weight, total dry weight and leaf area (as 11%, 10% and 13%, respectively) comparing no magnetized watered crops and the differences were statically significant. As same water used for both magnetic and no magnetic treatments (5193 cubic meter per hectare), increasing of maize total wet weight in magnetic water caused significant increasing in water use efficiency as 1.7 kg/m³ (11%).

Keywords: hydraulic evaluation; magnetized water; nozzle clogging; water use efficiency