

اثر مغناطیسی کردن آب آبیاری بر ویژگی‌های الکوی رطوبتی در آبیاری قطره‌ای سطحی

جعفر نیکبخت*^۱ و مرضیه عبدالهی سیاهکلرودی^۲

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۳/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۹/۲۴

^۱ استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان.

^۲ دانش‌آموخته آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان.

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Nighbakht.jaefar@znu.ac.ir

چکیده

در این پژوهش اثر مغناطیسی کردن آب آبیاری بر خصوصیات پیاز رطوبتی در آبیاری قطره‌ای سطحی بررسی شد. آزمایش به صورت طرح کامل تصادفی در سه تکرار بر روی خاک با بافت لوم رسی و قطره‌چکان میکروفلاپر با دبی ۴ لیتر در ساعت در گلخانه مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۱ اجرا شد. آزمایش در یک جعبه فلزی به ابعاد ۸۰×۸۰×۸۰ سانتی‌متر که یک دیواره آن از شیشه شفاف ساخته شده بود انجام شد. جهت ایجاد میدان مغناطیسی از دو عدد مغناطیس ثابت با شدت ۰/۱ تسلا که دور لوله پلی‌اتیلن ۱۶ میلی‌متر نصب شده بود استفاده گردید. خصوصیات پیاز رطوبتی شامل عرض خیس شده سطح خاک، قطر دایره عظیمه پیاز رطوبتی و عمق رخداد آن و طول گسترش پیاز رطوبتی در خاک در زمان‌های ۱، ۳، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه که در قسمت شفاف جعبه مشاهده می‌شد اندازه‌گیری گردید. مقادیر اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد آنالیز آماری قرار گرفت. با توجه به نتایج تیمار، آب مغناطیسی باعث افزایش عرض خیس شده سطح خاک و قطر دایره عظیمه پیاز رطوبتی گردید. بیشترین اختلاف مشاهده شده بین عرض خیس شده سطح خاک در تیمارهای آب مغناطیسی و آب معمولی ۷/۹ سانتی‌متر و برای قطر دایره عظیمه پیاز رطوبتی ۶/۳۲ سانتی‌متر بود که در زمان ۱۲۰ دقیقه پس از شروع آزمایش رخ داد. اختلاف‌های بیان شده از نظر آماری معنی‌دار ($P \leq 5\%$) بود. گسترش بیشتر عرض پیاز رطوبتی آب مغناطیسی نسبت به تیمار آب معمولی در خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی باعث کاهش عمق پیاز رطوبتی در تیمار اول در خاک شد. با توجه به نتایج، حداکثر عمق پیاز رطوبتی در تیمار آب معمولی ۲۲/۵۲ سانتی‌متر و آب مغناطیسی ۲۲/۲۵ سانتی‌متر بود که از نظر آماری تفاوت معنی‌دار ($P \leq 5\%$) نداشتند. با توجه به نتایج این پژوهش، در صورت استفاده از آب مغناطیسی در سیستم آبیاری قطره‌ای می‌توان فاصله قطره‌چکان‌ها را از یکدیگر بیش‌تر گرفت.

واژه‌های کلیدی: آب مغناطیسی، آبیاری قطره‌ای، ویژگی‌های پیاز رطوبتی

Effect of Magnetization of Irrigation Water on the Properties of Soil Wetting Pattern in Surface Drip Irrigation

J Nikbakht^{1*} and M Abdollahi Siahkalroudi²

Received: 7 October 2013, Accepted: 21 January 2014

¹- Assist. Prof., Dept. of Water Eng., Faculty of Agric., Univ. of Zanjan, Iran

²- Former Student of Irrig. and Drain., Faculty of Agric., Univ. of Zanjan, Iran

*Corresponding Author Email: Nikbakht.jaefar@znu.ac.ir

Abstract

In this research, the effect of magnetization of irrigation water on the properties of soil wetting zone in surface drip irrigation was studied. The study was carried out as a complete randomized design with 3 replications on a clay loam soil in a greenhouse at the University of Zanjan in 2012. A microfloppe dripper with 4 lit/hr discharge was used in the test. The experiments were done in a metal box with dimensions of 80 × 80 × 80 cm with a glass wall at one side. To create a magnetic field, two fixed magnetized poles with 0.1 tesla intensity were installed on a 16 mm polyethylene pipe. The Wetted soil dimentions including wetted width on the soil surface, maximum wetted width in the soil and its depth and the maximum length of wetted zone in the soil were measured at 1, 3, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 and 120 minutes after starting the experiment. The measured values were statically analyzed by SAS software. The magnetic water treatment increased the wetted width on the soil surface and maximum width of the wetted zone. The maximum difference between the produced wetted widths by the magnetic water and nonmagnetic water treatments was 7.9 cm on the soil surface and was 6.32 cm in the soil for the maximum length of wetted zone that occured at 120 minutes after starting the experiment. The mentioned differences were statistically significant ($P \leq 5\%$). More expansion of the wetted zone width in the soil by magnetic water treatment relative to nonmagnetic water treatment caused a decrease in the maximum depth of wetted zone in the soil of the former treatment. As a result, the maximum depths of wetted zone in the soil at the end of the test (time of 120 minutes) were 22.52 and 22.25 cm for nonmagnetic water and magnetic water treatments, respectively. These values had not statistically significant difference ($P \leq 5\%$). According to the results of this study, the distance between drippers can be increased by applying magnetic water in drip irrigation system.

Keywords: Drip irrigation, Magnetic water, Properties of soil wetting zone

مقدمه

آبیاری قطره‌ای به کلیه روش‌هایی گفته می‌شود که در آن‌ها آب به مقدار کم (در حدود ۱ تا ۱۰ لیتر در ساعت) و به آرامی در کنار گیاه ریخته می‌شود. به همین دلیل این روش‌ها را آبیاری با حجم کم نامیده‌اند (شریف‌نیا ۱۳۸۷). در این سیستم آبیاری، ابعاد پیاز رطوبتی و میزان رطوبت ذخیره شده در آن، تأثیر به‌سزایی در کمیت و کیفیت محصول دارد. چنانچه ابعاد پیاز رطوبتی کم‌تر از حد مطلوب باشد، باعث می‌شود گیاه نتواند آب کافی جذب کند و همین امر منجر به کاهش عملکرد گیاه خواهد شد. علاوه بر این، کوچک بودن ابعاد پیاز رطوبتی باعث می‌شود ریشه گیاه توسعه کافی پیدا نکند و کشاورز مجبور شود دائماً با آبیاری‌های مکرر، رطوبت خاک را در منطقه خیس شده در حد بالایی حفظ کند (وجدانی و همکاران ۱۳۸۷). بنابراین مطالعه پیاز رطوبتی از اهمیت خاصی در آبیاری قطره‌ای برخوردار است. اژدری (۱۳۸۶) با استفاده از مدل HYDRUS-2D نحوه توزیع رطوبت در جهات عمودی و افقی در ناحیه توسعه ریشه گیاه ترب را بررسی کرد. در این تحقیق داده‌های حاصل از تجزیه‌های آزمایشگاهی و صحرایی در اجرای مدل استفاده شد. نتایج حاصل از اجرای مدل نشان داد که با انتخاب دور آبیاری مناسب (۴۸ ساعت در تحقیق ایشان) و آب‌دهی مناسب برای قطره‌چکان در تمام طول فصل زراعی، رطوبت خاک در ناحیه ریشه در حد ظرفیت مزرعه حفظ شده و کاهش آن در طول ۴۸ ساعت تدریجی خواهد بود که این حالت باعث حفظ رطوبت لازم برای گیاه در حد مطلوب می‌شود. تحقیقی توسط آینه‌چی و همکاران (۲۰۰۹) به منظور شبیه‌سازی الگوی خیس‌شدگی خاک تحت منبع نقطه‌ای در دانشکده مهندسی آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. این تحقیق با استفاده از یک جعبه از جنس پرسپکس با سه نوع خاک لوم شنی رسی، لوم و شنی و سه دبی ۳/۴۶، ۲/۱۷ و ۱/۲۸ لیتر در ساعت با سه تکرار انجام شد. عمق، عرض خیس‌شده و حجم خیس‌شده در دوره زمانی ثابت آزمایش (یک ساعت) ثبت شد. نتایج نشان داد که

عرض و عمق خیس‌شده تحت تأثیر دبی قطره‌چکان‌ها بودند به طوری که با افزایش دبی قطره‌چکان‌ها و به تبع آن افزایش حجم آب توزیع شده در زمان ثابت، عمق و عرض خیس‌شده خاک افزایش یافت. هم‌چنین با توجه به نتایج، الگوی خیس‌شدگی خاک تحت تأثیر خصوصیات فیزیکی خاک نیز بود. در خاک لوم شنی رسی با $K = 32.1 \text{ Cm/day}$ نسبت به خاک لومی با $K = 23.8 \text{ Cm/day}$ عرض خیس‌شده خاک، بیش‌تر و عمق خیس‌شده خاک کم‌تر بود. در پژوهشی دیگر نصیری و همکاران (۱۳۹۰) اثر دبی قطره‌چکان نقطه‌ای و زمان آبیاری را بر ابعاد پیاز رطوبتی در منطقه کرمان بررسی کردند. در این پژوهش که بر روی خاک با بافت لوم شنی و با سه دبی قطره‌چکان شامل ۴، ۸ و ۲۴ لیتر بر ساعت انجام شد، حجم آب آبیاری ثابت بود. ۲۴ ساعت پس از قطع آبیاری، با ایجاد برش عمودی در زیر محل نصب قطره‌چکان‌ها، ابعاد پیاز رطوبتی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که به ازای یک حجم ثابت آب آبیاری، با کاهش زمان آبیاری (افزایش دبی قطره‌چکان)، شعاع خیس‌شده روی سطح خاک افزایش یافت که این حالت باعث کاهش عمق خاک خیس‌شده (عمق پیاز رطوبتی) شد. هم‌چنین نتایج نشان داد که افزایش تداوم آبیاری (به ازای مقادیر متفاوت دبی قطره‌چکان)، باعث افزایش پیش‌روی جبهه رطوبتی در جهات افقی و عمودی گردید. تحقیقی توسط بدر و ابوعرب (۲۰۱۳) به منظور ارزیابی وضعیت رطوبت خاک تحت آبیاری قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیرسطحی در مزرعه تحقیقاتی در سازمان انرژی اتمی در مصر انجام شد. در این پژوهش رطوبت در عمق‌های مختلف پیاز رطوبتی با نوترون‌متر اندازه‌گیری شد. اطلاعات ارائه شده نشان داد که میزان رطوبت خاک و یکنواختی توزیع آن در پروفیل خاک در آبیاری قطره‌ای سطحی تا حدود زیادی به فاصله بین قطره‌چکان‌ها بستگی دارد تا فاصله لاترال‌ها. بر اساس نتایج، در این روش آبیاری، توزیع رطوبت در فواصل ۳۰ سانتی‌متری از قطره‌چکان‌ها نسبت به فواصل ۵۰ سانتی‌متری بهتر بود. بر اساس نتایج پژوهش، ایشان نصب قطره‌چکان نصب قطره‌چکان در عمق ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک

مغناطیسی کردن آب آبیاری بر الگوی توزیع آب در آبیاری قطره‌ای تنها پژوهش حاصل بعد از انجام جستجو در پایگاه‌های علمی مربوط به پژوهش خوش‌روش و همکاران (۲۰۱۱) بود. در این پژوهش اثر مغناطیسی کردن آب آبیاری بر الگوی توزیع آب نسبت به زمان در آبیاری قطره‌ای مورد بررسی قرار گرفت. پژوهش بر اساس آزمایش فاکتوریل دو عاملی شامل نوع آب در دو سطح (مغناطیسی و غیر مغناطیسی) و کیفیت آب در ۳ سطح (معمولی، ۲۰۰ میلی‌گرم و ۴۰۰ میلی‌گرم کربنات کلسیم محلول) در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی و در ۳ تکرار انجام گرفت. اندازه‌گیری رطوبت خاک در اطراف قطره‌چکان‌ها در روزهای اول، دوم و سوم بعد از انجام آبیاری نشان داد در آبیاری با آب مغناطیسی تغییرات رطوبت نسبت به آب معمولی اندک بود. این حالت در آب با کیفیت‌های متفاوت نیز مشاهده شد. تحقیق حاضر به منظور بررسی تأثیر عبور دادن آب آبیاری از میدان مغناطیسی بر خصوصیات پیاز رطوبتی در آبیاری قطره‌ای سطحی انجام شد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار بر روی خاک با بافت لومرسی در خردادماه سال ۱۳۹۱ در گلخانه مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان با طول شرقی $15^{\circ} 24' 48''$ و عرض شمالی $37^{\circ} 40' 36''$ و ارتفاع ۱۵۹۴ متر از سطح دریا انجام شد. برای انجام پژوهش، یک عدد جعبه فلزی با یک دیواره شفاف (از جنس شیشه به ضخامت ۱۰ میلی‌متر) به ابعاد $80 \times 80 \times 80$ سانتی‌متر به عنوان مدل فیزیکی ساخته شد. در کف مدل، سوراخ‌هایی به عنوان زهکش تعبیه شد. برای اینکه جعبه بالاتر از سطح زمین قرار گیرد پایه‌هایی به اندازه نیم متر در زیر آن تعبیه گردید. برای بررسی‌های دقیق‌تر، قبل از ریختن خاک در مدل، از طریق عبور دادن خاک از سرند شماره ۱۰ (۲ میلی‌متر)، سنگریزه‌ها، کلوخه‌ها و نیز بقایای گیاهی، از آن جدا شد. سپس خاک روی زمین پهن شد تا هوا-خشک گردد. به منظور نزدیک کردن خاک ریخته شده در مدل فیزیکی به شرایط طبیعی، خاک به صورت لایه به لایه با لایه‌هایی

(منطقه فعال ریشه اکثر محصولات گیاهی) در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی را توصیه نمودند. در خاک‌های شنی برای صرفه‌جویی بیش‌تر در توزیع آب، عمق ۱۵ سانتی‌متری جهت نصب قطره‌چکان مورد توصیه قرار گرفت. شان و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقی هم‌پوشانی منطقه خیس‌شده خاک در آبیاری قطره‌ای با دبی‌ها، قطره‌چکان‌ها، حجم آبیاری و فاصله قطره‌چکان‌های متفاوت را شبیه‌سازی کرده و با مقادیر اندازه‌گیری شده مورد مقایسه قرار دادند. با توجه به نتایج، اختلاف میزان رطوبت خاک و خصوصیات جبهه خیس‌شده برای مقادیر شبیه‌سازی شده و داده‌های مشاهده شده اندک بود. در شرایط غیر همگنی بافت خاک، توزیع رطوبت در جهات عمودی و افقی در خاک‌های لوم و سیلت بر عکس بافت شنی لومی تقریباً یکسان بودند.

در سال‌های اخیر روند شور شدن خاک‌ها به دلیل استفاده از آب‌هایی با کیفیت پایین افزایش یافته و سطح زمین‌های قابل کشت به علت تجمع بیش از حد نمک کاهش یافته است. بنابراین اصلاح آب آبیاری با کیفیت پایین جهت استفاده در آبیاری ضروری است. اخیراً برای حل این مشکل، این نوع آب‌ها را از میدان مغناطیسی عبور داده سپس جهت آبیاری از آن استفاده می‌کنند. آب عبور یافته از میدان مغناطیسی به مرور باعث اصلاح خاک می‌گردد. آب مغناطیسی آبی است که از میدان آهنرباهای دائمی یا ثابت عبور می‌کند. عبور آب از میدان مغناطیسی سبب می‌شود تا مولکول‌های آب از حالت بی‌نظمی به صورت مرتب درآمده و نوع پیوند اکسیژن-هیدروژن از حالت مثلثی به شکل یک خط تغییر کند. در این شرایط سیالیت آب افزایش یافته و خاصیت ترکنندگی آن بیشتر می‌شود (کیانی و همکاران ۱۳۸۷، ران و همکاران ۲۰۰۹، ژیانو فنگ و بو ۲۰۰۸). اثرات مثبت مغناطیسی کردن آب آبیاری بر رشد گیاه و عملکرد محصول توسط محققینی همچون خنده‌رویان و همکاران (۱۳۹۱)، ماهشواری و گروال (۲۰۰۹) و ناشیر (۲۰۰۸) و بر گرتگی قطره‌چکان توسط ترابی و همکاران (۱۳۹۲)، عرب و همکاران (۱۳۸۸) و احمدآلی و همکاران (۲۰۰۹) مورد بررسی قرار گرفته است. در زمینه اثر

متصل شده بود استفاده گردید. در هر آزمایش جهت اندازه‌گیری خصوصیات پیاز رطوبتی از پیش‌روی جبهه رطوبتی در قسمت شفاف مدل در فواصل زمانی معین از شروع آزمایش تا اتمام آن، عکس‌برداری شد. سپس عکس‌ها به نرم‌افزار AutoCAD انتقال یافته و خصوصیات پیاز رطوبتی شامل عرض خیس شده خاک در سطح، حداکثر عرض خیس شده خاک در داخل آن (قطر دایره عظیمه پیاز رطوبتی) و نیز عمق آن و حداکثر عمق خیس شده خاک (طول عمودی پیاز رطوبتی) تعیین شد. داده‌های حاصل جهت بررسی دقیق‌تر با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل آماری شد.

نتایج و بحث

جدول ۱ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده را نشان می‌دهد. جدول ۲ تجزیه شیمیایی آب چاه در شرایط طبیعی و قبل از عبور از میدان مغناطیسی و پس از عبور از میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد. همچنین برای بررسی بهتر نتایج، تغییر خصوصیات شیمیایی آب چاه در اثر عبور از میدان مغناطیسی در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در پژوهش.

رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	کلاس بافت خاک	کربنات کلسیم (mg/g)	چگالی حقیقی (g/cm ³)	چگالی ظاهری (g/cm ³)	EC (ds/m)	pH
۳۷	۲۸	۲۵	لوم رسی	۱۳۲/۵	۲/۶۴	۱/۱۸	۱/۴۹۲	۷/۴۲

کاهش مقادیر کلر و سدیم به میزان ۲۵/۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر (به ترتیب) گردید. مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌ها قبل از عبور از میدان مغناطیسی به ترتیب ۴۱۲/۱۵ و ۷۷۷/۴ میلی‌گرم در لیتر بود که بعد از عبور از میدان مغناطیسی به ترتیب ۳۵۳/۰۹ و ۷۱۷/۴ میلی‌گرم در لیتر شد. مقادیر فوق به ترتیب ۵۹/۰۶ میلی‌گرم در لیتر برای کاتیون‌ها و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر برای آنیون‌ها کاهش داشت. کاهش آنیون‌ها موجب افزایش pH آب گردید (جدول ۲ و ۳).

جدول ۴ نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده پیاز رطوبتی را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۴، اثر مغناطیسی کردن آب آبیاری بر عرض خیس شده

به ضخامت ۱۵ سانتی‌متری در داخل جعبه ریخته شده و با یک وزنه مکعب شکل با وزن ۵ کیلوگرم تا اندازه‌های متراکم گردید. جهت ممانعت از ایجاد جریان ترجیحی در مرز تماس خاک و دیواره شفاف جعبه، قبل از ریختن خاک در داخل جعبه، روی شیشه یک لایه بسیار نازک گریس زده شد. پس از ریختن خاک در مدل و آماده‌سازی آن، قطره‌چکان نصب شده بر روی لوله پلی‌اتیلن ۱۶ میلی‌متر، در سطح خاک استقرار می‌یافت. در این پژوهش از قطره‌چکان تنظیم‌کننده فشار از نوع میکرو فلاپر با دبی ۴ لیتر بر ساعت استفاده شد. زمان آبیاری در کلیه آزمایش‌ها ثابت و برابر ۱۲۰ دقیقه در نظر گرفته شد. بنابراین حجم آب توزیع شده در کلیه آزمایش‌ها ۸ لیتر بود. به منظور ایجاد فشار لازم و انتقال آب از منبع به قطره‌چکان از پمپ کولر استفاده شد. همچنین به منظور جلوگیری از ایجاد خطا به دلیل گرفتگی قطره‌چکان، پس از هر آزمایش، قطره‌چکان مورد استفاده در طول آزمایش تعویض شده و از قطره‌چکان جدید برای آزمایش بعدی استفاده شد. برای تولید آب مغناطیسی، از دو عدد آهنربای ثابت با شدت میدان حدود ۰/۱ تسلا که به دور لوله پلی‌اتیلن ۱۶ میلی‌متری

با توجه به مقادیر جداول ۲ و ۳، ملاحظه می‌شود که عبور دادن آب چاه از میدان مغناطیسی موجب کاهش مقدار کلیه کاتیون‌ها و آنیون‌های اندازه‌گیری شده، گردید. این حالت (کاهش مقادیر آنیون و کاتیون) باعث کاهش مقدار هدایت الکتریکی آب به اندازه ۰/۰۹ ds/m شد. با عبور آب از یک میدان مغناطیسی، برخی از یون‌های فعال با یکدیگر ترکیب شده و ذرات کلوئیدی تشکیل می‌دهند. این شرایط باعث کاهش EC آب می‌شود (نیکبخت و همکاران ۱۳۹۰). بیش‌ترین و کمترین کاهش در مقدار یون‌های اندازه‌گیری شده به ترتیب در کاتیون‌های کلسیم و منیزیم به مقدار ۴۱/۱۱ و ۷/۹۵ میلی‌گرم در لیتر بود. همچنین این شرایط باعث

آبیاری تا دقیقه ۶۰ اثر معنی‌داری نشان نداد اما برای زمان‌های ۷۰ و ۸۰ دقیقه این اثر در سطح ۵ درصد و برای زمان‌های ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه در سطح ۱ درصد اثر معنی‌دار داشت. برای پارامتر عمق رخداد دایره عظیمه از ابتدا تا انتهای آزمایش، آب مغناطیسی در هیچ سطح آماری معنی‌دار نشد. نتایج میانگین صفات مورد ارزیابی با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد در جدول ۵ آورده شده است.

خاک در سطح آن تا دقیقه ۸۰ از شروع آبیاری در هیچ سطح آماری معنی‌دار نبود اما در زمان ۹۰ دقیقه این پارامتر در سطح ۵ درصد و در زمان ۱۲۰ دقیقه از شروع آزمایش، در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. اثر مغناطیسی کردن آب آبیاری بر طول عمودی پیاز رطوبتی تا دقیقه ۳ معنی‌دار نبود. از دقیقه ۵ تا ۴۰ در سطح ۱ و ۵ درصد معنی‌دار شد اما از دقیقه ۵۰ تا انتهای آزمایش این پارامتر معنی‌دار نشد. پارامتر قطر دایره عظیمه پیاز رطوبتی در اثر مغناطیسی کردن آب

جدول ۲. تجزیه شیمیایی آب چاه قبل و پس از عبور از میدان مغناطیسی.

HCO ₃ ⁻ (mg/L)	CO ₃ ²⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	EC (ds/m)	pH
قبل از عبور از میدان مغناطیسی								
۱۹۵/۲	۰/۰	۵۸۲/۲	۱۰۴/۷	۲۵۸/۴۵	۰/۰	۵۰/۰	۲/۳۵	۶/۵
بعد از عبور از میدان مغناطیسی								
۱۷۰/۸	۰/۰	۵۴۶/۷	۹۵/۷۵	۲۱۷/۳۴	۰/۰	۴۰/۰	۲/۲۶	۶/۸

جدول ۳. تغییر خصوصیات شیمیایی آب چاه قبل و پس از عبور از میدان مغناطیسی.

HCO ₃ ⁻ (mg/L)	CO ₃ ²⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	EC (ds/m)	pH
۲۴/۴	۰/۰	۲۵/۵	۷/۹۵	۴۱/۱۱	۰/۰	۱۰/۰	۰/۰۹	۰/۳*

*علامت منفی بیان‌گر افزایش است

با مقدار ۴۳/۸۹ سانتی‌متر از نظر آماری در رده اول (a) و تیمار آب معمولی ۳۵/۹۹ سانتی‌متر در رده دوم (b) قرار دارد.

برای بررسی‌های دقیق‌تر، اختلاف مقادیر میانگین‌های اندازه‌گیری شده بین آب مغناطیس شده و غیرمغناطیسی محاسبه شد (جدول ۶). با توجه به مقادیر جدول ۶ ملاحظه می‌شود که در کلیه زمان‌ها، مقادیر اختلاف عرض خیس شده خاک در سطح آن بزرگ‌تر از صفر است. همان طوری که قبلاً نیز بیان شد این حالت بیانگر بیش‌تر بودن عرض خیس شده خاک در سطح آن در آب مغناطیسی نسبت به آب معمولی است. بیش‌ترین اختلاف عرض خیس شده خاک در زمان دقیقه ۱۲۰ مشاهده شد.

با توجه به جدول ۵ ملاحظه می‌شود که در این پژوهش عرض خیس شده خاک در سطح آن در تمام زمان‌های اندازه‌گیری شده برای تیمار آب مغناطیسی بیش‌تر از آب غیر مغناطیس شد. با توجه به مقادیر جدول، تا دقیقه ۷۰ از شروع آزمایش اختلاف بین عرض خیس شده در سطح خاک برای دو تیمار آب مغناطیسی و آب معمولی از نظر آماری معنی‌دار نبود و هر دو در یک سطح آماری (a) قرار گرفتند. از دقیقه ۸۰ تا آخر آزمایش (دقیقه ۱۲۰) این اختلاف معنی‌دار شد. شکل ۱ میانگین عرض خیس شده سطح خاک را برای آب معمولی و مغناطیس شده در زمان اتمام آزمایش (دقیقه ۱۲۰) را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که مقدار عرض خیس شده خاک در تیمار آب مغناطیسی

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات مورد ارزیابی.

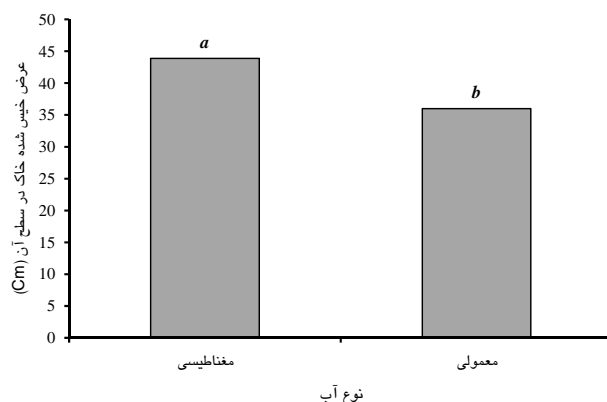
زمان اندازه‌گیری	منابع تغییر	درجه آزادی	قطر دایره عظیمه پیاز رطوبتی	عمق قطر دایره عظیمه پیاز رطوبتی	طول پیاز رطوبتی	عرض پیاز رطوبتی در سطح خاک
۱ دقیقه	نوع آب	۱	۲/۴۴ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}	۰/۶۱ ^{ns}	۴/۹۸ ^{ns}
	خطا	۴	۱/۴۲	۰/۱۰۵	۰/۴۷	۳/۰۸
۳ دقیقه	ضرب تغییرات	—	۱۱/۲۶	۴۴/۴۶	۲۰/۱۹	۱۷/۶۵
	نوع آب	۱	۰/۱۲۳ ^{ns}	۰/۰۳۲ ^{ns}	۰/۴۱ ^{ns}	۱/۷۸ ^{ns}
۵ دقیقه	خطا	۴	۳/۰۱	۰/۳۶	۰/۰۹۸	۶/۰۷
	ضرب تغییرات	—	۱۱/۸۶	۵۹/۲۳	۵/۵۹	۱۸/۰۰
۱۰ دقیقه	نوع آب	۱	۱/۲۴ ^{ns}	۰/۰۲۲ ^{ns}	۱/۹۲۶ ^{**}	۴/۲۶ ^{ns}
	خطا	۴	۲/۷۰	۰/۵۳	۰/۰۸۴	۷/۱۳
۱۵ دقیقه	ضرب تغییرات	—	۹/۹۹	۵۲/۶۲	۴/۷۰	۱۷/۰۱
	نوع آب	۱	۴/۹۵ ^{ns}	۰/۴۵ ^{ns}	۴/۱۸ [#]	۸/۵۲ ^{ns}
۲۰ دقیقه	خطا	۴	۱۳/۳۵	۰/۱۵	۰/۱۹	۱۷/۹۲
	ضرب تغییرات	—	۱۷/۲۴	۲۹/۱۰	۵/۵۶	۲۰/۹۱
۳۰ دقیقه	نوع آب	۱	۹/۳۲ ^{ns}	۰/۱۹ ^{ns}	۶/۹۱ ^{**}	۱۲/۷۳ ^{ns}
	خطا	۴	۱۵/۶۶	۰/۱۷	۰/۲۷	۱۶/۹۰
۴۰ دقیقه	ضرب تغییرات	—	۱۶/۶۳	۲۸/۸۰	۵/۵۸	۱۸/۴۴
	نوع آب	۱	۵/۹۴ ^{ns}	۰/۰۴۶ ^{ns}	۹/۵۲ [*]	۷/۵۲ ^{ns}
۵۰ دقیقه	خطا	۴	۱۱/۷۷	۰/۵۹	۰/۶۰	۱۸/۶۱
	ضرب تغییرات	—	۱۳/۵۴	۳۵/۱۱	۷/۲۸	۱۸/۳۴
۶۰ دقیقه	نوع آب	۱	۱۱/۶۴ ^{ns}	۱/۷۹ ^{ns}	۱۰/۷۴ [*]	۱۳/۶۸ ^{ns}
	خطا	۴	۱۸/۳۵	۱/۶۵	۱/۱۶	۲۶/۵۲
۷۰ دقیقه	ضرب تغییرات	—	۱۵/۴۷	۴۰/۵۷	۸/۳۵	۱۹/۲۲
	نوع آب	۱	۱۱/۷۶ ^{ns}	۳/۵۱ ^{ns}	۱۷/۴۰ [*]	۱۴/۶۹ ^{ns}
۸۰ دقیقه	خطا	۴	۱۴/۰۶	۳/۲۰	۱/۴۶	۲۰/۲۷
	ضرب تغییرات	—	۱۱/۷۲	۶۰/۱۳	۸/۷۲	۱۶/۳۳
۹۰ دقیقه	نوع آب	۱	۱۹/۷۷ ^{ns}	۰/۵۸ ^{ns}	۲۰/۷۵ ^{ns}	۴۰/۱۳ ^{ns}
	خطا	۴	۳/۶۲	۵/۶۸	۴/۴۵	۷/۷۴
۱۰۰ دقیقه	ضرب تغییرات	—	۵/۵	۵۷/۹۰	۱۲/۷۷	۸/۸۵
	نوع آب	۱	۹/۳۷ ^{ns}	۴/۵۹ ^{ns}	۲۲/۷۳ ^{ns}	۲۰/۱۳ ^{ns}
۱۱۰ دقیقه	خطا	۴	۳/۲۲	۳/۳۳	۴/۲۴	۵/۱۰
	ضرب تغییرات	—	۴/۸۹	۴۰/۵۳	۱۱/۶۵	۶/۷۹
۱۲۰ دقیقه	نوع آب	۱	۲۱/۴۷ [*]	۱/۸ ^{ns}	۲۳/۳۲ ^{ns}	۳۱/۰۹ ^{ns}
	خطا	۴	۱/۲۹	۵/۰۵	۵/۱۴	۴/۴۳
۱۳۰ دقیقه	ضرب تغییرات	—	۲/۹۹	۵۲/۲۱	۱۲/۱۰	۶/۱۴
	نوع آب	۱	۲۴/۰۴ [*]	۱۲/۱ ^{ns}	۲۹/۱۲ ^{ns}	۴۰/۶۱ ^{ns}
۱۴۰ دقیقه	خطا	۴	۱/۰۶	۶/۴۷	۵/۵۸	۴/۶۹
	ضرب تغییرات	—	۲/۶۰	۵۹/۹۷	۱۱/۹۵	۶/۱۳
۱۵۰ دقیقه	نوع آب	۱	۲۶/۶۷ ^{**}	۰/۰۲۱ ^{ns}	۲۱/۳۵ ^{ns}	۴۵/۰۴ [*]
	خطا	۴	۱/۱۶	۶/۶۱	۳/۹۱	۲/۶۵
۱۶۰ دقیقه	ضرب تغییرات	—	۲/۶۳	۵۵/۶۸	۹/۴۳	۴/۴۴
	نوع آب	۱	۵۹/۹۱ ^{**}	۱۳/۷۴ ^{ns}	۱۵/۹۷ ^{ns}	۹۳/۶۹ ^{**}
۱۷۰ دقیقه	خطا	۴	۲/۸۰	۴/۰۳	۴/۴۶	۳/۷۰
	ضرب تغییرات	—	۳/۷۴	۳۶/۸۵	۸/۸۴	۴/۸۱

* و ** نشان دهنده معنی‌داری در سطح ۵ درصد و ۱ درصد و n.s. نشان‌دهنده عدم معنی‌داری است.

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد.

زمان اندازه‌گیری	تیمار آب	قطر دایره عظیمه پیاز رطوبتی	عمق قطر دایره عظیمه پیاز رطوبتی	طول پیاز رطوبتی	عرض پیاز رطوبتی در سطح خاک
۱ دقیقه	آب مغناطیسی	۱۱/۲۵ ^a	۰/۸۲ ^a	۳/۰۸ ^a	۱۰/۸۶ ^a
	آب معمولی	۹/۹۷ ^a	۰/۶۳ ^a	۳/۷۲ ^a	۹/۰۴ ^a
۳ دقیقه	آب مغناطیسی	۱۴/۷۷ ^a	۱/۰۹ ^a	۴/۹۹ ^a	۱۴/۲۳ ^a
	آب معمولی	۱۴/۴۸ ^a	۰/۹۴ ^a	۵/۵۲ ^a	۱۳/۱۴ ^a
۵ دقیقه	آب مغناطیسی	۱۶/۹۰ ^a	۱/۱۱ ^a	۵/۶۱ ^b	۱۶/۵۴ ^a
	آب معمولی	۱۵/۹۹ ^a	۱/۲۳ ^a	۶/۷۴ ^a	۱۴/۸۵ ^a
۱۰ دقیقه	آب مغناطیسی	۲۲/۱۰ ^a	۱/۰۹ ^a	۷/۱۷ ^b	۲۱/۴۴ ^a
	آب معمولی	۲۰/۲۸ ^a	۱/۶۴ ^a	۸/۸۴ ^a	۱۹/۰۵ ^a
۱۵ دقیقه	آب مغناطیسی	۲۵/۰۳ ^a	۱/۶۴ ^a	۸/۳۹ ^b	۲۳/۷۵ ^a
	آب معمولی	۲۲/۵۴ ^a	۱/۲۷ ^a	۱۰/۵۳ ^a	۲۰/۸۳ ^a
۲۰ دقیقه	آب مغناطیسی	۲۶/۳۳ ^a	۲/۱۰ ^a	۹/۴۰ ^b	۲۴/۶۳ ^a
	آب معمولی	۲۴/۳۴ ^a	۲/۲۷ ^a	۱۱/۹۲ ^a	۲۲/۳۹ ^a
۳۰ دقیقه	آب مغناطیسی	۳۰/۵۴ ^a	۲/۰۰ ^a	۱۱/۵۸ ^b	۲۸/۲۸ ^a
	آب معمولی	۲۷/۷۵ ^a	۳/۰۹ ^a	۱۴/۲۵ ^a	۲۵/۲۶ ^a
۴۰ دقیقه	آب مغناطیسی	۳۳/۳۸ ^a	۲/۲۱ ^a	۱۳/۰۲ ^b	۳۰/۴۶ ^a
	آب معمولی	۳۰/۵۸ ^a	۳/۷۴ ^a	۱۶/۴۳ ^a	۲۷/۲۳ ^a
۵۰ دقیقه	آب مغناطیسی	۳۶/۳۹ ^a	۳/۲۰ ^a	۱۴/۶۷ ^a	۳۴/۰۲ ^a
	آب معمولی	۳۲/۷۷ ^a	۳/۸۱ ^a	۱۸/۳۹ ^a	۲۸/۸۳ ^a
۶۰ دقیقه	آب مغناطیسی	۳۷/۹۳ ^a	۲/۱۴ ^a	۱۵/۷۰ ^a	۳۵/۰۵ ^a
	آب معمولی	۳۵/۴۳ ^a	۳/۸۹ ^a	۱۹/۶۲ ^a	۳۱/۳۹ ^a
۷۰ دقیقه	آب مغناطیسی	۳۹/۹۴ ^a	۲/۵۲ ^a	۱۶/۷۷ ^a	۳۶/۵۲ ^a
	آب معمولی	۳۶/۱۶ ^b	۳/۶۲ ^a	۲۰/۷۷ ^a	۳۱/۹۶ ^a
۸۰ دقیقه	آب مغناطیسی	۴۱/۶۶ ^a	۳/۲۰ ^a	۱۷/۵۶ ^a	۳۷/۹۴ ^a
	آب معمولی	۳۷/۶۶ ^b	۴/۰۷ ^a	۲۱/۹۷ ^a	۳۲/۷۴ ^b
۹۰ دقیقه	آب مغناطیسی	۴۳/۱۵ ^a	۳/۸۵ ^a	۱۹/۱۰ ^a	۳۹/۳۷ ^a
	آب معمولی	۳۸/۹۳ ^b	۳/۹۷ ^a	۲۲/۸۷ ^a	۳۳/۸۹ ^b
۱۲۰ دقیقه	آب مغناطیسی	۴۷/۸۷ ^a	۶/۹۶ ^a	۲۲/۲۵ ^a	۴۳/۸۹ ^a
	آب معمولی	۴۱/۵۵ ^b	۳/۹۴ ^a	۲۵/۵۲ ^a	۳۵/۹۹ ^b

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌دار ندارند



شکل ۱- متوسط عرض خیس شده خاک در سطح آن در دقیقه ۱۲۰.

جدول ۶- اختلافات صفات مورد ارزیابی برای آب معمولی و مغناطیسی در زمان‌های اندازه‌گیری شده.

زمان (min)	اختلاف قطر دایره عظیمه پیاز رطوبتی (cm)	اختلاف عمق دایره عظیمه (cm)	اختلاف طول عمودی پیاز رطوبتی (cm)	اختلاف عرض خیس شده خاک در سطح آن (cm)
۱	۱/۲۸	۰/۲	-۰/۶۴	۱/۸۲
۳	۰/۲۹	۰/۱۵	-۰/۵۳	۱/۰۹
۵	۰/۹۱	-۰/۱۲	-۱/۱۳	۱/۶۹
۱۰	۱/۸۲	-۰/۵۵	-۱/۶۷	۲/۳۹
۱۵	۲/۴۹	۰/۳۷	-۲/۱۴	۲/۹۲
۲۰	۱/۹۹	-۰/۱۷	-۲/۵۲	۲/۲۴
۳۰	۲/۷۹	-۱/۰۹	-۲/۶۷	۳/۰۲
۴۰	۲/۸	-۱/۵۳	-۳/۴۱	۳/۱۳
۵۰	۳/۶۲	-۰/۶۲	-۳/۷۲	۵/۱۹
۶۰	۲/۵	-۱/۷۵	-۳/۹۲	۳/۶۶
۷۰	۳/۷۸	-۱/۰۸	-۴	۴/۵۶
۸۰	۴/۰۰	-۰/۸۷	-۴/۴۱	۵/۲
۹۰	۴/۲۲	-۰/۱۲	-۳/۷۷	۵/۴۸
۱۲۰	۶/۳۲	۳/۰۲	-۳/۲۷	۷/۹

با توجه به مقادیر جدول ۵ ملاحظه می‌گردد که در تمام زمان‌های اندازه‌گیری شده، میانگین قطر دایره عظیمه پیاز رطوبتی در تیمار آب مغناطیسی بیشتر از آب معمولی بود. این مسئله به وضوح از مثبت بودن مقادیر این پارامتر در جدول ۶ نیز معلوم است. با توجه به جدول ۵، از زمان شروع آبیاری تا انتهای دقیقه ۶۰، بیش‌تر بودن میانگین دایره عظیمه پیاز رطوبتی تیمار آب مغناطیسی از آب معمولی از نظر آماری معنی‌دار نبود و هر دو در یک رده آماری (a) قرار گرفتند. اما از دقیقه ۷۰

آبیاری تا اتمام آن، این اختلاف معنی‌دار شد و تیمار آب مغناطیسی در رده a و تیمار آب معمولی در رده b قرار گرفت. با توجه به جدول ۶ در این پارامتر بیش‌ترین اختلاف بین میانگین مقادیر دو تیمار، در زمان اتمام آبیاری (دقیقه ۱۲۰) ملاحظه شد به طوری که میانگین قطر دایره عظیمه تیمار آب مغناطیسی ۶/۳۲ سانتی‌متر (۱۳/۲ درصد) بیش‌تر از تیمار آب معمولی گردید. کم‌ترین اختلاف اندازه‌گیری شده برای این پارامتر با

هر دو تیمار در یک رده آماری (a) قرار گرفت. بیشترین اختلاف به اندازه ۳/۰۲ سانتی‌متر در زمان دقیقه ۱۲۰ بود. عمق قطر دایره عظیمه پیاز رطوبتی در این زمان، برای آب مغناطیسی ۶/۹۶ سانتی‌متر بود و برای آب معمولی این عمق در ۳/۹۴ سانتی‌متر از سطح خاک مشاهده شد. به دلیل ارتباط و تأثیرپذیری کلیه پارامترهای مورد بررسی پیاز رطوبتی از یکدیگر، از آوردن بحث مربوط به کلیه پارامترها در داخل هر مطلب خودداری شده و به صورت جداگانه در ادامه مطلب آورده می‌شود.

شکل پیاز رطوبتی به خصوصیات فیزیکی خاک و نیروهای غالب موثر بر توزیع آب در خاک بستگی دارد. در خاک‌های سنگین، به دلیل وجود مواد ریزدانه زیاد در آن، گسترش پیاز رطوبتی بیشتر در جهت افقی صورت می‌گیرد. علت این امر بیشتر بودن تخلخل موئینه نسبت به تخلخل درشت است. بنابراین نیروهای غالب در این نوع بافت خاک، نیروهای موئینه ناشی از پتانسیل ماتریک است. در این شرایط، هنگامی که آبیاری شروع می‌شود و آب روی خاک قرار می‌گیرد ابتدا لایه سطحی خاک در اثر نیروهای موئینه خیس شده به مرور که رطوبت لایه سطحی خاک به سمت اشباع شدن گرایش پیدا کرد اثر پتانسیل ماتریک و نیروهای موئینه کاهش یافته و نیروهای غالب نیروی ثقل خواهد بود. در این حالت رطوبت خاک به صورت پیوستونی به سمت اعماق حرکت می‌کند (قاسمی و همکاران ۱۳۹۰، قوام ۱۳۸۷). عبور آب از میدان مغناطیسی باعث می‌شود مولکول‌های آب از حالت بی‌نظمی خارج شده و چیدمان منظم پیدا کند. بنابراین بر پیوستگی مولکول‌های آب افزوده می‌شود (احمدی ۱۳۸۹، ران و همکاران ۲۰۰۹، ژیاو فنگ و بو ۲۰۰۸). در این حالت به علت آزاد شدن مولکول‌های آب در گیر با یکدیگر در اثر نیروی بین مولکولی، شرایط بی‌نظمی مولکول‌های آب تا حد زیادی کاهش یافته و نیروهای مولکول‌های آب با نیروهای ماتریک ذرات کلئیدی خاک هم‌سو می‌گردد. در نتیجه خاصیت ترکنندگی ذرات کلئیدی خاک توسط مولکول‌های آب افزایش می‌یابد. این شرایط سبب کاهش اثر نیروی ثقل و

مقدار ۰/۲۹ سانتی‌متر در دقیقه ۳ پس از شروع آبیاری بود.

با توجه به مقادیر جداول ۴ و ۵، برخلاف دو پارامتر بررسی شده قبلی که در آن‌ها مقادیر میانگین مربوط به تیمار آب مغناطیسی بیش‌تر از تیمار آب معمولی بود، حداکثر عمق خیس شده یا طول پیاز رطوبتی تیمار آب مغناطیسی در کلیه زمان‌های ثبت شده کم‌تر از تیمار آب معمولی بود. منفی بودن مقادیر اختلاف میانگین طول پیاز رطوبتی تیمار آب مغناطیسی از آب معمولی بیانگر این مسئله است. همچنین تا دقیقه ۳ از شروع آبیاری اختلاف بین مقادیر میانگین تیمار آب مغناطیسی و معمولی از نظر آماری معنی‌دار نبود و هر دو مقدار در یک رده آماری a قرار گرفت. اما از دقیقه ۵ تا ۴۰ اختلاف بین دو تیمار آب آبیاری برای این پارامتر از نظر آماری معنی‌دار شد به طوری که تیمار آب معمولی در رده a قرار گرفت و تیمار آب مغناطیسی در یک رده آماری پایین‌تر (b) قرار گرفت. حداکثر اختلاف در بین مقادیر معنی‌دار مربوط به دقیقه ۴۰ و به مقدار ۲/۴۱- سانتی‌متر بود. از دقیقه ۵۰ تا ۱۲۰ (اتمام آبیاری)، با وجود اختلاف بین مقادیر میانگین طول پیاز رطوبتی برای دو تیمار آب آبیاری، اما این اختلاف همانند دقیقه‌های ۱ و ۳ معنی‌دار نبود. حداکثر اختلاف در بین کلیه مقادیر میانگین طول پیاز رطوبتی برای این پارامتر مربوط به دقیقه ۸۰ به میزان ۴/۴۱ سانتی‌متر بود اما این اختلاف معنی‌دار نبود.

عمق قطر دایره عظیمه پیاز رطوبتی همانند سه پارامتر مورد بررسی قبلی دارای روند تغییرات منظم و مشخصی نبود (جداول ۴ و ۵). اختلاف بین میانگین تیمارهای آب آبیاری مربوط به این پارامتر برای زمان‌های ۱، ۳، ۱۵ و ۱۲۰ دقیقه مثبت بود که حاکی از بیش‌تر بودن مقادیر تیمار آب مغناطیسی در مقایسه با تیمار آب معمولی بود اما برای سایر زمان‌های اندازه‌گیری، این اختلاف منفی بود. با توجه به جدول ۵، در هیچ یک از زمان‌های اندازه‌گیری پارامترهای پیاز رطوبتی، اختلاف بین دو تیمار آب برای عمق قطر دایره عظیمه پیاز رطوبتی، از نظر آماری معنی‌دار نبود و مقدار

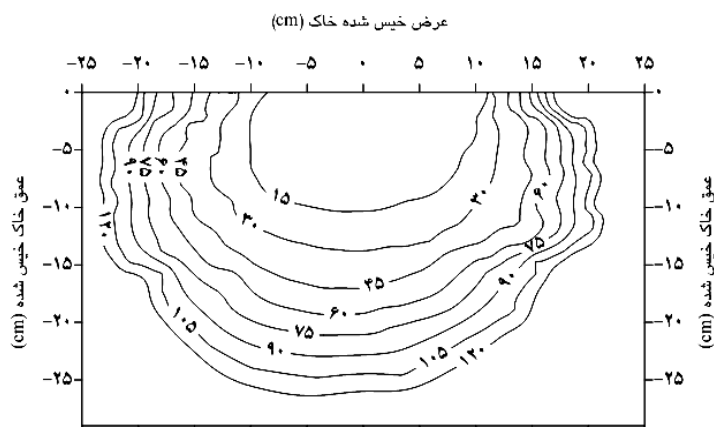
عرض منحنی تغییرات پیش‌روی جبهه رطوبتی برای تیمار آب مغناطیسی از تیمار آب معمولی بیش‌تر است اما عمق آن کم‌تر است.

یکی از عوامل که در طراحی آبیاری قطره‌ای مدنظر قرار می‌گیرد درصد خیس شده خاک (PW) است. مقدار PW رابطه مستقیم با قطر دایره عظیمه پیاز رطوبتی دارد. بنابراین هر چقدر مقدار قطر دایره عظیمه بیش‌تر گردد مقدار PW بیش‌تر شده و توزیع آب در پای گیاه یکنواخت‌تر می‌شود. همچنین با بزرگ‌تر شدن قطر دایره عظیمه پیاز رطوبتی می‌توان فاصله قطره‌چکان‌ها و نیز لوله‌های لاترال را بیش‌تر گرفت. این حالت باعث می‌شود که اولاً تعداد قطره‌چکان و لوله فرعی مورد لزوم در طرح آبیاری قطره‌ای کاهش یابد که در نهایت باعث کاهش هزینه‌های نهایی طرح می‌گردد، ثانیاً با افزایش قطر دایره عظیمه سطح گسترش عرضی ریشه گیاه نیز افزایش می‌یابد که این شرایط باعث می‌شود علاوه بر پایداری و مقاومت گیاه در برابر بادهای شدید، سطح خاک مرطوب قابل دسترس گیاه برای جذب مواد غذایی نیز بیش‌تر شود و گیاه رشد بهتری داشته باشد.

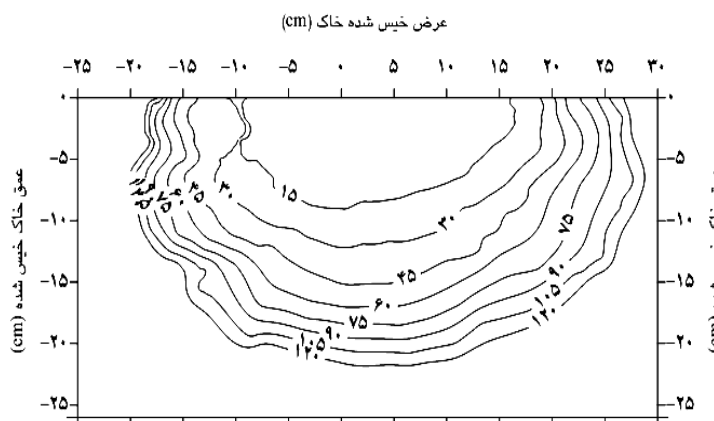
با توجه به شکل ۴، ۷۰ درصد توسعه ریشه گیاهان و به تبع آن ۷۰ درصد جذب آب و مواد غذایی مورد نیاز گیاه از نصف عمق توسعه ریشه‌ها صورت می‌گیرد. همچنین ۹۰ درصد توسعه ریشه گیاهان در ۷۵ درصد عمق توسعه ریشه‌ها خواهد بود. بنابراین هر چقدر گسترش افقی پیاز رطوبتی نسبت به گسترش عمودی بیش‌تر شود، جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه گیاه بیش‌تر می‌شود. این حالت موجب افزایش رشد گیاه می‌شود.

نفوذ آب به اعماق خاک می‌گردد. بنابراین در اثر وقوع این حالت، در شرایط یکسان از نظر بافت خاک، گسترش افقی پیاز رطوبتی در اثر آبیاری با آب مغناطیسی بیش‌تر از آب معمولی خواهد بود (کیانی و همکاران ۱۳۸۷، ژیاثو فنگ و بو ۲۰۰۸). با توجه به مقادیر عرض پیاز رطوبتی در سطح خاک و همچنین قطر دایره عظیمه آن (جدول ۵) و مطالب ذکر شده فوق، بیش‌تر بودن این پارامترها برای تیمار آب مغناطیسی نسبت به آب معمولی کاملاً قابل توجیه است. همان طوری که در بند مواد و روش‌ها نیز بیان شد در این پژوهش شرایط آزمایش در کلیه تکرارها شامل نوع قطره‌چکان، زمان کل آبیاری (حجم آب آبیاری) و فشار کارکرد سیستم برای تمام تیمارها ثابت بود. بنابراین در زمان‌های اندازه‌گیری خصوصیات پیاز رطوبتی می‌توان بیان کرد که حجم آب ورودی به خاک برای کلیه تکرارهای هر دو تیمار نوع آب ثابت بود. با افزایش مقدار عرض پیاز رطوبتی در سطح خاک و داخل آن (گسترش عرضی پیاز رطوبتی)، حجم آب نفوذی به اعماق خاک کاهش می‌یابد. این شرایط موجب می‌شود تا در شرایط ثابت بودن حجم آب توزیع شده، طول نهایی (عمق) پیاز رطوبتی در آب مغناطیسی نسبت به آب معمولی کاهش یابد (جدول ۵). با توجه به جدول ۵، به عنوان نمونه در دقیقه ۳۰، متوسط طول پیاز رطوبتی تیمار آب مغناطیسی ۱۱/۵۸ سانتی‌متر بود در حالی که این مقدار برای آب معمولی ۱۴/۲۵ سانتی‌متر (۲/۶۷ سانتی‌متر اختلاف) بود.

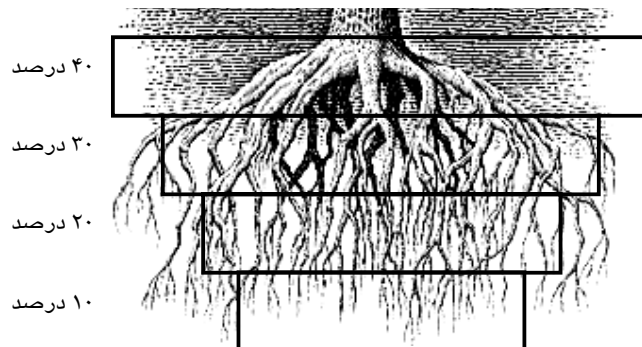
برای درک بهتر مطالب فوق، تغییرات جبهه رطوبتی نسبت به زمان برای هر دو تیمار آب آبیاری ترسیم گردید (شکل‌های ۲ و ۳). با توجه به شکل ۲ و مقایسه آن با شکل ۳ ملاحظه می‌شود که برای هر زمان،



شکل ۲- پیشروی جبهه رطوبتی نسبت به زمان در آبیاری قطره‌ای سطحی با آب معمولی.



شکل ۳- پیشروی جبهه رطوبتی نسبت به زمان در آبیاری قطره‌ای سطحی با آب مغناطیسی.



شکل ۴. توزیع جذب آب از خاک توسط ریشه‌های گیاه (علیزاده ۱۳۸۴).

سختی بالا از میدان مغناطیسی اثر منفی کربنات کلسیم کاهش می‌یابد. همچنین حلالیت آب مغناطیسی بیش‌تر از آب معمولی است (احمدی ۱۳۸۹، نصیری و همکاران ۱۳۹۰، خوش‌روش و همکاران ۲۰۱۲). این شرایط باعث افزایش جذب آب و مواد مغذی لازم برای گیاه می‌شود که در نتیجه آن عملکرد گیاه و تولید محصول افزایش

علاوه بر موارد فوق، با عبور آب حاوی یون کلسیم فعال از میدان مغناطیسی، هسته‌سازی و تبلور کربنات کلسیم در آب افزایش می‌یابد. در اثر رسوب کربنات کلسیم در محلول، میزان این یون در آب کاهش می‌یابد (نیکبخت و همکاران ۱۳۹۰). این حالت به وضوح در جدول ۲ ملاحظه می‌شود. بنابراین با عبور آب با

خارج می‌شود. بنابراین، با وجود این که افزایش عرض پیاز رطوبتی در سطح خاک موجب افزایش سطح تبخیر می‌شود ولی همان‌طور که بیان شد عبور دادن آب از میدان مغناطیسی موجب تغییر در آرایش مولکول‌های آب شده و این مولکول‌ها از طرف بار مثبت به ذرات کلوئیدی خاک می‌چسبند. این شرایط احتمال دارد موجب کاهش میزان تبخیر آب از سطح خاک گردد اما به دلیل عدم بررسی این مسئله به صورت تحقیقاتی، نمی‌توان به طور قطعی در خصوص آن اظهار نظر کرد. بنابراین به علت عدم وجود نتیجه‌ای از کاهش تبخیر آب مغناطیسی از سطح خاک یا عدم تغییر آن نمی‌توان به افزایش عرض پیاز رطوبتی در سطح خاک در تیمار آب مغناطیسی به عنوان عیب نگریست.

می‌یابد. چنانچه افزایش عملکرد محصول در اثر استفاده از آب مغناطیسی در اکثر پژوهش‌های صورت گرفته مورد تأیید است (احمدی ۱۳۸۹، نصیری و همکاران ۱۳۹۰، خنده‌رویان و همکاران ۱۳۹۱، ماهشواروی و گروال ۲۰۰۹، ناشیر ۲۰۰۸).

کاهش طول پیاز رطوبتی باعث می‌شود میزان آب زهکشی و خروج آب از دسترس گیاه کاهش یابد. این حالت نیز باعث کاهش میزان آب مصرفی در عملیات آبیاری شده و کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهد. بنابراین استفاده از آب مغناطیسی می‌تواند باعث ایجاد مزایای فوق و رفع معایب آبیاری قطره‌ای گردد. افزایش سطح خیس شده زمین باعث افزایش سطح تبخیر شده و بخشی از آب آبیاری از این طریق از دسترس گیاه

منابع مورد استفاده

- احمدی پ، ۱۳۸۹. تأثیر میدان مغناطیسی بر روی آب و کاربردهای زراعی آب مغناطیسی. صفحه‌های ۱ تا ۱۲. اولین کنفرانس بین‌المللی مدلسازی گیاه، آب، خاک و هوا، آبان ماه ۱۳۸۹، مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی دانشگاه باهنر کرمان.
- اژدری خ، ۱۳۸۶. شبیه‌سازی حرکت آب در خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای در انواع خاک‌های مختلف. پژوهش کشاورزی (آب، خاک و گیاه در کشاورزی)، جلد هشتم، شماره ۱-ب. صفحه‌های ۱۳۵ تا ۱۴۷.
- ترابی د، نیکبخت ج و محمدی م، ۱۳۹۲. اثر مغناطیسی کردن آب آبیاری بر گرفتگی قطره‌چکان‌ها و یکنواختی توزیع آب در آبیاری قطره‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان.
- خنده‌رویان م، نیکبخت ج، توکلی ا و طاهری م، ۱۳۹۱. اثر کم‌آبیاری پیوسته با آب مغناطیسی بر کارایی مصرف آب و عملکرد ذرت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان.
- شریف‌نیا ر، ۱۳۸۷. تعیین رابطه‌ای برای برآورد حجم خاک مرطوب و سطح خیس‌شده در آبیاری قطره‌ای در اراضی شیب‌دار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
- عرب ع، مصطفی‌زاده فرد ب و کیانی ع، ۱۳۸۸. تأثیر آب مغناطیسی بر گرفتگی و یکنواختی پخش آب قطرچکان‌ها در آبیاری قطره‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- علیزاده ا. ۱۳۸۴. رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات دانشگاه امام رضا، چاپ پنجم، ۴۷۰ ص.
- قاسمی م، قربانی ب و خوش‌روش م، ۱۳۹۰. بررسی ابعاد هندسه جبهه رطوبتی در آبیاری قطره‌ای، تحت منبع نقطه‌ای. صفحه‌های ۱ تا ۸، دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، اردیبهشت ماه ۱۳۹۰، شرکت آب منطقه‌ای زنجان، زنجان.
- قوام ح، ۱۳۸۷. بررسی تأثیر نوع خاک بر میزان آبدهی و پیاز رطوبتی در سیستم‌های آبیاری تراوا. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
- کیانی ع، خوش‌روش م، مصطفی‌زاده ب و موسوی سف، ۱۳۸۷. استفاده از روش آبیاری مغناطیسی برای اصلاح آب و خاک و کاهش بحران آب. صفحه‌های ۱ تا ۱۰. اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب، اسفند ماه ۱۳۸۷، زابل.

نصیری ش، نشاط ع و کهنوجی م، ۱۳۹۰. تعیین معادله‌های تجربی برآورد ابعاد پیاز رطوبتی تحت آبیاری قطره‌ای در خاک‌های متوسط - شنی (مطالعه موردی دشت قائم‌آباد، کرمان). مجله مهندسی منابع آب، جلد چهارم، صفحه‌های ۸۷ تا ۹۸.

نیکبخت ج، خنده‌رویان م و توکلی زانیانی ا، ۱۳۹۰. مغناطیسی کردن آب راه‌کاری نوین موثر برای استفاده از آب‌های غیر متعارف در آبیاری. صفحه‌های ۱ تا ۱۱. دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، اردیبهشت ماه ۱۳۹۰، شرکت آب منطقه‌ای زنجان، زنجان.

وجدانی ن، بناوند ع، مکوندی ک و سخائی‌راد ح، ۱۳۸۷. تعیین فاصله بهینه بین قطره‌چکان‌ها در آبیاری قطره‌ای با استفاده از اندازه‌گیری ابعاد پیاز رطوبتی. صفحه‌های ۱ تا ۸، دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، بهمن ماه ۱۳۸۷، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی آب.

Ahmad Aali KH, Liaghat A and Dehghanisani H, 2009. The effect of acidification and magnetic field on emitter clogging under saline water application. *Journal of Irrigation Science*, 1(1): 132-141.

Ainechee G, Boroomand-Nasab S and Behzad M, 2009. Simulation of soil wetting pattern under point source trickle irrigation. *Journal of Applied Sciences* 9: 1170-1174.

Badr AE and Abuarab ME, 2013. Soil moisture distribution patterns under surface and subsurface drip irrigation systems in sandy soil using neutron scattering technique. *Irrigation Science* 31(3): 317-332.

Khoshravesh M, Mostafazadeh-Fard B, Mousavi SF and Kiani AR, 2011. Effects of magnetized water on the distribution pattern of soil water with respect to time in trickle irrigation. *Soil Use and Management*, 27(4): 515-522.

Maheshwari BL and Grewal HS, 2009. Magnetic treatment of irrigation water: Its effect on vegetable crop yield and water productivity. *Agricultural Water Management*, 96: 1229-1236.

Nashir SH, 2008. The effect of magnetic water on growth of chickpea. *Eng. and Tech*, 26(9): 16-20.

Ran C, Hongwei Y, Jinsong H and Wanpeng Z, 2009. The effects of magnetic fields on water molecular hydrogen bonds. *Journal of Molecular Structure*, 938: 15-19.

Shan Y, Wang Q and Wang CH, 2011. Simulated and measured soil wetting patterns for overlap zone under double points sources of drip irrigation. *African Journal of Biotechnology*, 10(63): 13744-13755.

Xiao-Feng P and Bo D, 2008. The changes of macroscopic features and microscopic structures of water under influence of magnetic field. *Physica B*, 403: 3571-3577.