

مقاله علمی-پژوهشی

تأثیر میدان مغناطیسی بر الگوی توزیع آب شور تحت زمان در آبیاری قطره‌ای

میلاذ سعیدی عباس آباد^۱، سودابه گلستانی کرمانی^{۲*}، مهدی مهبجی نصرآبادی^۳، محمد ذونعمت کرمانی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۵

چکیده

اعمال میدان مغناطیسی جهت بهبود اثر شوری بر گستردگی الگوی توزیع رطوبت در خاک که منجر به بهبود راندمان آبیاری می‌شود، از موضوعاتی است که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته و می‌تواند نقش موثری در مدیریت منابع آبی بخش کشاورزی به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک داشته باشد. از این رو در پژوهش حاضر تاثیر اعمال میدان مغناطیسی بر ابعاد الگوی توزیع رطوبت در خاک در شرایط کاربرد آب شور در سیستم آبیاری قطره‌ای بررسی شد. بدین منظور ابتدا یک مدل فیزیکی در آزمایشگاه آبیاری دانشگاه شهید باهنر کرمان (سال ۱۴۰۰) ساخته شد و آزمایش‌ها در قالب طرح اسپلیت پلات بر پایه زمان با پنج سطح میدان مغناطیسی (۹۴۰۰، ۷۶۰۰، ۵۶۰۰، ۳۶۰۰، ۱۵۰۰ MF=گوس در مقایسه با نمونه شاهد) و پنج سطح شوری (۱۲، ۹، ۶، ۳، ۱/۵ S=دسی‌زیمنس بر متر) با سه تکرار بر روی سه بافت خاک رسی شنی، لومی رسی شنی و شنی لومی انجام شد و صفات حداکثر قطر سطح، عمق، قطر و عمق نظیر قطر دایره عظیمه الگوی توزیع رطوبت در ۱۰ بازه زمانی ۳۰ دقیقه ثبت و بررسی شد. تجزیه و تحلیل مقادیر ثبت شده نشان داد که در بازه‌های زمانی نیم ساعته، اثر سه طرفه مغناطیس × شوری × زمان بر صفات عمق، حداکثر قطر سطح و قطر دایره عظیمه الگوی توزیع رطوبت در هر سه بافت در سطح ۱ درصد معنی دار شد. نتایج بدست آمده نشان داد که شوری باعث کاهش صفات و اعمال میدان مغناطیسی باعث تعدیل اثر شوری (در سطوح پایین) و بهبود صفات در مقایسه با تیمار شاهد شد. به طوری که بیشترین گسترش عمق الگوی توزیع رطوبت در ۳۰ دقیقه اول در بافت شنی لومی (۲۵/۵ سانتیمتر) تحت تیمار MF_{9400S₉} مشاهده شد که نسبت به حداکثر مقدار ثبت شده در بافت رسی شنی و لومی رسی شنی به ترتیب ۳۹/۷۲ و ۲۰ درصد افزایش داشت. همچنین حداکثر قطر سطح و قطر دایره عظیمه الگوی توزیع رطوبت در ۳۰ دقیقه اول در بافت رسی شنی (به ترتیب به مقدار ۴۶/۷۵ و ۵۵/۵ سانتیمتر) تحت تیمار MF_{9400S₃} مشاهده شد که نسبت به حداکثر مقدار مشاهده شده در بافت شنی لومی ۲۹/۸۶ و ۲۴/۷۱ درصد و در بافت لومی رسی شنی ۱۲/۶۵ و ۱۱ درصد افزایش داشت.

واژه‌های کلیدی: آب شور مغناطیسی شده، بافت خاک، مدل آزمایشگاهی، ویژگی‌های پیاز رطوبتی

مقدمه

میلیمتر (۷۲ درصد کمتر از میانگین جهانی) که ۷۵ درصد آن فقط در ۲۵ درصد از مساحت کشور رخ میدهد، با تنش شدید آبی مواجه است (Madani, 2014; AQUASTAT, 2016) که آثار خود را در قالب خشک شدن دریاچه‌ها و رودخانه‌ها، کاهش سطح آب زیر زمینی، کاهش کیفیت منابع آبی، فرونشست زمین، اختلال در تامین آب، کاهش محصول، بروز طوفان‌های نمک و شن، افزایش مهاجرت و تخریب اکوسیستم‌ها آشکار می‌کند (Karandish and Hoekstra, 2017). در حال حاضر الگوهای مصرف آب در کشور دارای ۷۸ درصد عدم پایداری و ۳۴ درصد ناکارآمدی است که نتیجه آن، در معرض تنش آبی قرار گرفتن بخش وسیعی از کشور در ماه‌های اردیبهشت تا آبان است (Karandish, 2021). عواملی مانند رشد جمعیت، شهرنشینی و افزایش سطح زیر کشت در کنار تغییر پارامترهای اقلیمی، محدودیت دسترسی به آب کافی برای پاسخگویی به نیازهای

کمبود آب به عنوان یک مساله جدی جهانی از بزرگترین چالش‌هایی است که همه کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، درجات مختلفی از آن را تجربه کرده‌اند (Pathak et al., 2014). ایران به عنوان دومین کشور بزرگ خاور میانه با متوسط بارندگی سالیانه ۲۲۸

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر

کرمان، کرمان، ایران

۲- نویسنده مسئول و استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر

کرمان، کرمان، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید باهنر کرمان،

کرمان، ایران

۴- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان. کرمان. ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: s.golestani@uk.ac.ir)

به طوری که برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی آن از جمله نقطه جوش، کشش سطحی، ویسکوزیته، EC، pH، TDS تغییر می‌کند- (Lipus et al., 2001; Ji et al., 2007; XiaoFeng and Bo, 2008; Abdelghany et al., 2022). اثر این تغییرات در بهبود عملکرد بخش کشاورزی در برخی از تحقیقات مورد بررسی قرار گرفته است از جمله نیکبخت و عبدالمهدی سیاهکلودی (۱۳۹۳) نشان دادند که کاربرد آب مغناطیسی باعث افزایش قطر سطح خیس شده و قطر دایره عظیمه الگوی توزیع رطوبت در بافت لوم رسی شده است. مصطفی‌زاده فرد و همکاران و خوش روش و همکاران در تحقیقات خود افزایش رطوبت خاک در شرایط کاربرد آب مغناطیسی را تایید کردند (Mostafazadeh-Fard et al., 2011; Khoshravesh et al., 2011). سوردنانت و همکاران و اسماعیل نژاد و همکاران در تحقیقات خود بیان کردند که اعمال میدان مغناطیسی باعث تغییر TDS و pH و کاهش کشش سطحی آب و ویسکوزیته برشی آب می‌گردد (Surendran et al., 2016; Esmailnezhad et al., 2017). ال- اوگیدی و همکاران بیان کردند که کاربرد آب مغناطیسی منجر به افزایش شعاع خیس شده سطح تا ۶/۲ درصد و کاهش عمق خیس شده تا ۶/۳ درصد در پروفیل خاک همگن شده است. اما در خاک‌های لایه‌ای در شرایطی که شن روی رس باشد شعاع خیس شده سطحی تا ۱/۸ درصد کاهش و عمق خیس شده تا ۷ درصد افزایش یافته است (Al-Ogaidi et al., 2017). خوش‌روش و همکاران در تحقیقات خود نشان دادند که در شرایط کاربرد آب مغناطیسی، گرفتگی قطره‌چکان کاهش و ضریب یکنواختی توزیع آب در مقایسه با نمونه غیرمغناطیسی افزایش یافته است (Khoshravesh et al., 2018). حسن و همکاران تغییر کیفیت آب در شرایط قرار گرفتن در معرض میدان مغناطیسی را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که اکسیژن محلول، pH و رسانایی به ترتیب ۱۷/۳، ۱/۶ و ۳ درصد افزایش معنی‌دار و سطح آمونوم، هدایت ویژه، کل مواد جامد محلول، پتانسیل کاهش اکسیژن و کل‌ریدها به ترتیب به میزان ۲۵/۳، ۱/۱، ۱/۴، ۰/۱، ۱۶/۹، ۳/۴ درصد کاهش معنی‌دار داشت (Hassan et al., 2018). همچنین برخی از محققین اثرات مثبت کاربرد آب مغناطیسی شده را بر بهبود محصول و برخی از ویژگی‌های خاک تایید کردند (Yi et al., 2023; Kishore et al., 2023; al., 2023; Khaskhoussy et al., 2023; Rawaa et al., 2023). اما صدقاتی و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیقات خود نشان دادند که استفاده از دستگاه‌های مغناطیسی کننده هیچ تاثیر مثبتی بر کاهش اثرات منفی آب شور بر خاک و محصول ندارد. جمع‌بندی مطالب مطرح شده نشان می‌دهد که کاربرد میدان مغناطیسی بسته به شدت میدان، مدت در معرض بودن و نوع دستگاه مغناطیس در مواردی منجر به بهبود عملکرد نهاده‌های موثر در کشاورزی شده است (Lin et al., 2020). اما تکرار پذیری چنین نتایجی در موارد مختلف و با

اساسی را تشدید کرده و ادامه روند کنونی مصرف آب، پایداری و امنیت تولید غذا را نیز با چالش مواجه خواهد کرد. (Li et al., 2020; Al-Mana et al., 2021; Khoshravesh et al., 2018; Fitton et al., 2019). لذا در چنین شرایطی و جهت رسیدن به توسعه پایدار در بخش کشاورزی، ارائه استراتژی‌ها و فناوری‌های امن، غیرشیمیایی و کاربردی که منجر به اصلاح الگوی مصرف، کاهش حجم آب مصرفی و استفاده حداکثری از پتانسیل تمامی منابع آبی موجود به ویژه آب‌های شور و بی‌کیفیت با حداقل کردن اثرات منفی آن شود، ضروری است (Abdelghany et al., 2022; Elhindi et al., 2020). سیستم‌های آبیاری تحت فشار همواره به عنوان یکی از راهکارهای بهبود بهره‌وری در بخش کشاورزی مورد توجه بوده‌اند، اما از جمله مشکلات متداول در بهره‌برداری از این نوع سیستم‌ها مانند آبیاری قطره‌ای (علیرغم راندمان بالا) تاثیر پذیری از کیفیت آب و عدم برآورد ابعاد الگوی توزیع رطوبت در اطراف ریشه گیاه است که منجر به تخمین نامناسب دور آبیاری یا مدت آبیاری و یا فاصله قطره‌چکان‌ها و در نهایت، نفوذ عمقی آب از ناحیه ریشه گیاه و شستشوی املاح می‌شود و تخمین دقیق آن با توجه به بافت خاک، نقش مهمی در بهبود عملکرد سیستم و کاهش آب مصرفی دارد. همچنین کاربرد آب شور و نامتعارف در این سیستم‌ها به دلیل محدودیت در تامین آب شیرین و حصول نتایجی مانند رسوب املاح و تغییر یکنواختی توزیع و یا عدم اطمینان از تاثیر املاح بر ابعاد الگوی توزیع رطوبت در خاک با محدودیت‌هایی مواجه است و در این راستا، برخی مطالعات اثرات مفید اعمال میدان‌های مغناطیسی بر تغییر صفات آب و امکان کاربرد این نوع منابع آبی در سیستم‌های تحت فشار را گزارش کرده‌اند که می‌تواند منجر به افزایش بهره‌وری شود (Toledo et al., 2008; Yadollahpour et al., 2014). در پالایش آب از طریق اعمال میدان مغناطیسی که جزء روش‌های تصفیه فیزیکی به شمار می‌رود، چیزی به آب اضافه یا کم نمی‌شود. بلکه آرایش بارهای الکتریکی مولکول‌های آب تغییر می‌کند. مولکول‌های آب ذراتی دوقطبی هستند و یکی از تغییراتی که در اثر عبور آب از میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود، نحوه آرایش بار الکتریکی مولکول‌های آب است. از آنجا که به‌طور طبیعی بین نیروهای خالص مولکول‌های آب اختلاف کمی وجود دارد، مولکول‌های آب به‌صورت کاملاً تصادفی قرار دارند و در صورتی که یک جسم دارای قدرت مغناطیسی با یکی از قطب‌هایش، مثلاً قطب مثبت به آب نزدیک شود، مولکول‌های آب با قطب منفی به منبع مغناطیس نزدیک‌تر و مولکول‌های با بار مثبت از آن دور می‌شوند (Esmailnezhad et al., 2017). این روند باعث می‌شود تا مولکول‌های آب از حالت بی‌نظمی به‌صورت مرتب درآمده و نوع پیوند اکسیژن-هیدروژن از حالت مثلثی به شکل یک خط تغییر کند. بنابراین با اعمال میدان مغناطیسی می‌توان آب را به مایعی با اثرات خاص تبدیل کرد،

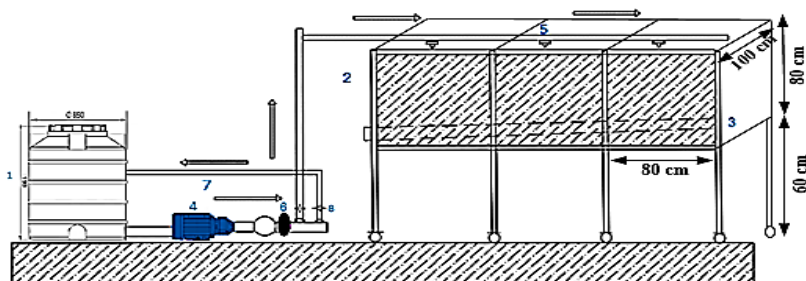
زمان‌های مختلف پرداخته شود.

مواد و روش‌ها

ساخت مدل آزمایشگاهی

به منظور بررسی الگوی توزیع رطوبت در خاک در شرایط کاربرد آب شور مغناطیسی، ابتدا یک مدل فیزیکی در آزمایشگاه آبیاری دانشگاه شهید باهنر کرمان (سال ۱۴۰۰) ساخته شد که شامل بخش‌های مختلف از جمله منبع تامین آب، مخزن خاک، سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و ... می‌باشد که نمای شماتیک آن در شکل (۱) نشان داده شده است.

توجه به شرایط حاکم محدود بوده و در برخی از موارد نیز چنین نتایجی تایید نشده و یا اینکه تغییرات حاصله از نظر آماری معنی‌دار نبوده است (Algarra et al., 2008; Lebrowska et al., 2011; Zieliński et al., 2017). از آنجا که تحقیقات محدودی در خصوص اثر آب شور مغناطیسی انجام شده و از طرفی مناطقی که با کاهش کمیت و کیفیت منابع آب مواجه هستند اغلب ناگزیر به استفاده از همه منابع آبی موجود به خصوص آب شور و نامتعارف در بخش‌هایی مانند کشاورزی بوده و استفاده مداوم این منابع می‌تواند منجر به کاهش نفوذ پذیری و توزیع رطوبت در خاک و در نتیجه افزایش زمان آبیاری و کاهش راندمان شود، لذا در پژوهش حاضر سعی شده است به بررسی اثر میدان‌های مختلف مغناطیسی بر ابعاد الگوی توزیع رطوبت در بافت‌های مختلف خاک در شرایط کاربرد آب شور تحت



شکل ۱ - نمای شماتیک مدل آزمایشگاهی ساخته شده شامل: ۱- مخزن آب ۲- مخزن خاک با صفحه شفاف شطرنجی شده در جلو ۳- لوله زهکش ۴- پمپ آب ۵- قطره چکان ۶- مغناطیس ۷- لوله تنظیم فشار ۸- شیر تنظیم جریان

جابجایی راحت مدل فراهم شود. برای تامین آب در مدل، از یک سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی با قطره‌چکان ۴ لیتر بر ساعت و فشار کاری ۱ اتمسفر استفاده شد. هر کدام از قطره‌چکان‌ها دقیقاً در مرکز بخش‌های سه‌گانه و در مجاورت صفحه شفاف قرار گرفتند تا الگوی رطوبتی ایجاد شده قابل رویت و اندازه‌گیری باشد.

معرفی تیمارهای اعمال شده

برای ایجاد میدان مغناطیسی ثابت (MF^1) و بررسی اثر آن بر ابعاد الگوی توزیع رطوبت در خاک، از مغناطیس‌های ساخت شرکت پایا تجارت اسپادانا با ۵ شدت مختلف (۱۵۰۰، ۳۶۰۰، ۵۶۰۰، ۷۶۰۰، ۹۴۰۰ گوس) که بر روی لوله ۱۶ میلیمتری نصب گردید، استفاده شد. همچنین از ۵ تیمار مختلف آب با سطوح شوری (S) (۱۲، ۹، ۶، ۳، ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر) استفاده شد. جهت ساخت تیمارهای مختلف آب شور از روابط (۱ - ۳) استفاده شد و با اضافه کردن کلرید سدیم،

برای ساخت مدل آزمایشگاهی، ابتدا یک سازه فلزی به ابعاد $2/4 \times 0/8$ متر ساخته شد که به ۳ قسمت مساوی تقسیم شد. برای ساخت اسکلت مدل، از میله فلزی به مقطع 4×4 سانتی‌متر مربع استفاده گردید. در ابتدا میله‌ها به اندازه ۸۰ سانتی‌متر برش داده شد و سپس با استفاده از دستگاه جوش، سه قسمت مساوی (باکس) ساخته شد که ابعاد آن روی شکل (۱) مشخص است. به منظور پوشش دیواره‌های جانبی مدل از یک ورق فلزی از جنس آهن گالوانیزه به ضخامت ۸ میلی‌متر استفاده شد و به منظور ایجاد درب جهت تخلیه باکس‌ها، یک ورق ۸ میلی‌متری به صورت کشویی در قسمت زیرین مدل تعبیه گردید. در قسمت جلویی بخش‌های سه‌گانه مدل و به منظور مشاهده الگوی توزیع رطوبت و ثبت اطلاعات، یک ورق پلکسی گلس شفاف در ابعاد 80×80 سانتی‌متر که به اندازه‌های 5×5 سانتی‌متر شطرنجی شده بود، نصب و آب‌بندی شد (Kandelous and Simunek, 2010). همچنین با استفاده از میله‌های ۶۰ سانتی‌متری با مقطع 4×4 سانتی‌متر مربع، ۸ عدد پایه در کف مدل نصب شد و در زیر هر یک از این پایه‌ها چرخ قرار داده شد تا در صورت نیاز، امکان

مورد نظر، کنترل هر سطح با استفاده از دستگاه EC سنج انجام شد. به منظور بررسی ابعاد الگوی توزیع رطوبت در بافت‌های مختلف خاک از سه بافت (Loamy Sand)، (Sandy Clay) و (Sandy Clay Loam) برای هر یک از قسمت‌های سه‌گانه مدل آزمایشگاهی استفاده گردید که برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها در جدول (۱) ارائه شده است.

سطح شوری مورد نظر حاصل شد.
 (۱) $EC < 5 \text{ (ds.m}^{-1}\text{)}$ $TDS = 640 \times EC$
 (۲) $5 < EC < 10 \text{ (ds.m}^{-1}\text{)}$ $TDS = 800 \times EC$
 (۳) $EC > 10 \text{ (ds.m}^{-1}\text{)}$ $TDS = 920 \times EC$
 در روابط فوق EC شوری آب بر حسب دسی‌زیمنس بر متر و TDS غلظت کلرید سدیم مورد استفاده بر حسب میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. لازم به ذکر است جهت اطمینان از حصول سطح شوری

جدول ۱- برخی از صفات خاک های مورد استفاده

| وزن مخصوص ظاهری (gr.cm^{-3}) | k (cm.day^{-1}) | pH | EC (dS.m^{-1}) | کلاس بافت خاکی | سیلت (%) | رس (%) | شن (%) |
|--|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|-------------|-----------|-----------|
| ۱/۵۵ | ۷۷/۰۸ | ۸/۱۷ | ۴/۸۳ | Loamy Sand | ۸ | ۱۱ | ۸۱ |
| ۱/۴۲ | ۱۳/۴۱ | ۸/۲۶ | ۴/۵۲ | Sandy Clay | ۱۰ | ۳۸ | ۵۲ |
| ۱/۴۶ | ۱۴/۷۸ | ۸/۳۱ | ۹/۶۳ | Sandy Clay Loam | ۲۲ | ۲۷ | ۵۱ |

توزیع شد. با اشباع شدن لایه سطحی خاک حرکت افقی و عمودی رطوبت از طریق صفحه شطرنجی شده شفاف قابل مشاهده بود و چهار صفات حداکثر قطر سطح خیس شده، عمق الگوی توزیع رطوبت، قطر دایره عظیمه الگوی توزیع رطوبت و عمق نظیر قطر دایره عظیمه در ۱۰ بازه زمانی نیم ساعته و در سه تکرار قرائت و ثبت شد که نمایی از مدل و شماتیک پارامترهای اندازه‌گیری شده در شکل (۲) ارائه شده است. پس از انجام هر آزمایش، خاک داخل هر بخش از مدل به صورت جداگانه تخلیه و به صورت یک لایه نازک روی پلاستیک و به مدت ۷۲ ساعت هوا خشک گردید تا اثر رطوبت ذخیره شده در خاک برای انجام آزمایش بعدی حذف گردد و پس از آن با رعایت تراکم، مجدد در مدل آزمایشگاهی قرار داده شد. اطلاعات جمع‌آوری شده با استفاده از نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین مقادیر ثبت شده با استفاده از آزمون دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

برای هر یک از بخش‌های سه‌گانه مدل و به منظور حذف هرگونه عامل تاثیرگذار در نتایج، ابتدا اقدام به جدا کردن قلوه سنگ‌ها و بقایای گیاهی از نمونه‌های خاک شد. سپس خاک از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و پس از هوا خشک شدن به مدت ۷۲ ساعت، به هر بخش از مدل منتقل شد. همچنین جهت ایجاد تراکم یکسان، خاک به صورت لایه به لایه با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر به درون هر بخش ریخته و هر لایه با ۱۵ ضربه یک وزنه ۵ کیلوگرمی کوبیده شد تا شرایط یکسان ایجاد گردد (نیکبخت و عبدالهی سیاهکلرودی، ۱۳۹۳; Vanclouster et al., 1995). در مجموع در هر بافت خاک ۹۰ آزمایش (با لحاظ کردن سه تکرار) انجام شد.

پارامترهای اندازه‌گیری شده

در پژوهش حاضر تیمارهای آب شور از طریق قطره‌چکان قرار گرفته در مرکز هر کدام از بخش‌های سه‌گانه مدل، روی سطح خاک



شکل ۲- نمایی از الگوی توزیع رطوبت در مدل آزمایشگاهی و صفات اندازه‌گیری شده

نتایج و بحث

تأثیر اعمال میدان مغناطیسی بر ابعاد الگوی توزیع آب شور در بافت رسی شنی

بررسی مقادیر ثبت شده در جدول تجزیه واریانس (۲) نشان داد اثر متقابل مغناطیس×شوری×زمان در بازه زمانی ۳۰ دقیقه روی پارامترهای عمق، حداکثر قطر سطح و قطر دایره عظیمه الگوی توزیع رطوبت در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد. اما اثر متقابل مغناطیس×شوری×زمان روی عمق نظیر قطر دایره عظیمه معنی دار نشد. همچنین بررسی اثر اصلی تیمارهای مذکور نشان داد که اثر میدان مغناطیسی بر پارامتر عمق در سطح احتمال ۱ درصد و بر حداکثر قطر سطح خیس شده در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار شد. اثر زمان بر هر چهار صفت مورد بررسی در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد و اثر شوری بر هیچ یک از صفات مورد نظر معنی دار نشد.

مقایسه میانگین عمق، حداکثر قطر سطح و قطر دایره عظیمه الگوی توزیع رطوبت ثبت شده در بازه‌های زمانی ۳۰ دقیقه نشان داد که بیشترین مقدار افزایش این صفات در ۳۰ دقیقه اول مشاهده شد که البته با گذشت زمان، نرخ افزایش صفات نسبت به مقادیر ثبت شده در بازه زمانی قبلی کاهش یافت.

برای ارائه خلاصه نتایج مقایسه میانگین، ۱۰ تیمار برتر و ۱۰ تیمار ضعیف که به ترتیب دارای بیشترین و کمترین تغییر صفات اندازه‌گیری شده طی بازه‌های زمانی ۳۰ دقیقه ابتدایی و انتهایی بودند،

در جدول (۳) ارائه شده است. مقایسه ۱۰ تیمار برتر و ۱۰ تیمار ضعیف نشان داد بیشترین افزایش عمق الگوی توزیع رطوبت در ۳۰ دقیقه اول در تیمار MF₉₄₀₀S₃ به مقدار ۱۸/۲۵ سانتی‌متر مشاهده شد که نسبت به مقدار ثبت شده در تیمار شاهد MF₀S_{1.5} (۱۶/۲۵ سانتی‌متر) و تیمار MF₀S₃ (تیمار شاهد بدون اعمال میدان با شوری مشابه) به ترتیب ۱۲/۳۰ و ۲۱/۶۶ درصد افزایش داشت. همچنین نسبت به مقدار ثبت شده در تیمار MF₉₄₀₀S₁₂ (تیمار با میدان مغناطیسی مشابه و بالاترین سطح شوری) ۱۵ درصد افزایش داشت. کمترین افزایش این صفت در ۳۰ دقیقه نهم در تیمار MF₇₆₀₀S₃ به مقدار ۰/۵ سانتی‌متر مشاهده شد که نسبت به مقدار ثبت شده در تیمارهای MF₀S_{1.5} و MF₀S₃ به ترتیب ۱/۳۷ و ۲ سانتی‌متر کاهش داشتند. حداکثر قطر سطح الگوی توزیع رطوبت نیز در ۳۰ دقیقه اول در تیمار MF₉₄₀₀S₃ و به مقدار ۴۶/۷۵ سانتی‌متر مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با مقادیر ثبت شده در تیمار MF₀S_{1.5} (۴۵ سانتی‌متر) نداشت و نسبت به مقدار ثبت شده در تیمار MF₀S₃ (۳۰ سانتی‌متر) ۵۵/۸۳ درصد و در مقایسه با مقدار ثبت شده در تیمار MF₉₄₀₀S₁₂ (۲۲/۵ سانتی‌متر) ۱۰۷ درصد افزایش داشت. همچنین بیشترین قطر دایره عظیمه در ۳۰ دقیقه اول در تیمار MF₉₄₀₀S₃ و به مقدار ۵۵/۵ سانتی‌متر مشاهده شد که در مقایسه با مقادیر ثبت شده در تیمارهای MF₀S_{1.5} (۴۷ سانتی‌متر) و MF₀S₃ (۴۱ سانتی‌متر) به ترتیب ۱۸ و ۳۵/۳۶ درصد افزایش داشت و در مقایسه با مقدار ثبت شده در تیمار MF₉₄₀₀S₁₂ (۴۲ سانتی‌متر) ۳۲/۱۴ درصد افزایش داشت.

جدول ۲ - تجزیه واریانس ابعاد الگوی توزیع آب شور در بازه زمانی ۳۰ دقیقه در بافت رسی شنی

| منبع تغییرات | درجه آزادی | عمق | عمق نظیر قطر دایره عظیمه | حداکثر قطر سطح | قطر دایره عظیمه |
|-------------------|------------|----------|--------------------------|----------------|-----------------|
| مغناطیس | ۵ | **۴۴/۲۰ | ns۷/۰۸ | *۱/۳۸ | ns۰/۳۰ |
| شوری | ۴ | ns۴/۲۱ | ns۰/۶۴ | ns۰/۶۹ | ns۰/۱۹ |
| شوری×مغناطیس | ۲۰ | ns۴/۸۷ | ns۰/۳۱ | ns۰/۶۹ | ns۰/۱۳ |
| خطا | ۳۰ | **۴/۱۰ | ns۰/۳۷ | ns۰/۲۳ | ns۰/۱۴ |
| زمان | ۹ | **۷۸۹/۲۰ | **۳۵۳/۱۳ | **۷۰۰/۷۱ | **۱۰۳۳۸/۹۳ |
| مغناطیس×زمان | ۴۵ | **۲/۱۳ | **۱/۷۵ | **۳۰/۰۸ | **۲۳/۲۳ |
| شوری×زمان | ۳۶ | **۷/۲۱ | ns۰/۲۱ | **۸/۵۱ | **۲۱/۸۰ |
| مغناطیس×شوری×زمان | ۱۸۰ | **۲/۵۵ | ns۰/۱۷ | **۷/۰۲ | **۴/۴۲ |
| خطا | ۲۷۰ | ۰/۸۹ | ۰/۱۴ | ۱/۴۹ | ۲/۱۸ |
| ضریب تغییرات | | ۲۰/۵۴ | ۱۷/۷۴ | ۱۵/۵۱ | ۱۸/۵۶ |

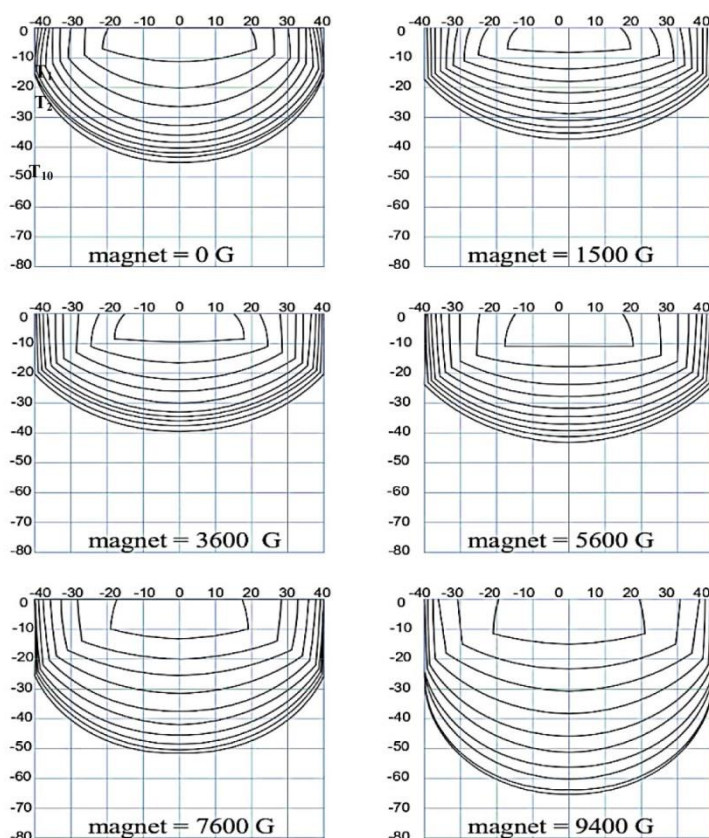
** و *** و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵٪ و ۱٪ و عدم معنی‌داری را نشان می‌دهد.

این صفت مشاهده می‌شود که کمترین مقدار آن در تیمارهای MF₃₆₀₀S₉، MF₀S₉، MF₇₆₀₀S₃ مشاهده شد. در حالی که در صفات قطر سطح و قطر دایره عظیمه الگوی توزیع رطوبت،

مقایسه مقادیر ۱۰ تیمار ضعیف ارائه شده در جدول (۳) نشان می‌دهد که فقط در صفت عمق الگوی توزیع رطوبت، در آخرین بازه‌های زمانی اندازه‌گیری شده (بازه هشتم، نهم و دهم) افزایش کند

میزان یون سدیم افزایش می‌یابد (پیرسته و همکاران، ۱۳۹۶؛ جهان تیغ و جهان تیغ، ۱۴۰۱). سدیم به دلیل شعاع هیدراته بزرگی که دارد باعث پراکنده شدن و فروپاشی ذرات خاک می‌شود. فروپاشی ذرات خاک، باعث ایجاد پوسته سخت و سله در سطح خاک می‌شود که در نتیجه انتقال آب در خاک مختل خواهد شد (تقی‌زاده قصاب و همکاران، ۱۳۹۸). در واقع در شرایط شوری برهم‌کنش EC و SAR سبب ایجاد انقباض و انبساط در خاک شده که یکی از عوامل مهم در تغییر رفتار خاک است و بر نفوذ پذیری و گسترده‌گی رطوبت تاثیر دارد (تقی‌زاده قصاب و همکاران، ۱۳۹۶). اما به نظر می‌رسد استفاده از میدان مغناطیسی با تغییر آرایش مولکول‌های آب باعث افزایش خاصیت ترکندگی و سیالیت و تعدیل اثر تخریبی سدیم شده و توانسته است در مقایسه با تیمارهای بدون میدان، منجر به افزایش بیشتر صفات سطح خیس شده گردد. در مجموع در انتهای بازه زمانی پنج ساعت اثر میدان مغناطیسی بر دو صفت عمق و حداکثر قطر سطح الگوی توزیع رطوبتی در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار شد و بیشترین مقدار صفات (۵۸/۹۵۰ و ۷۹/۹۵۰ سانتی‌متر) در تیمار MF₉₄₀₀ مشاهده شد.

اختلاف آماری معنی‌داری در مقدار ثبت‌شده بازه‌های زمانی انتهایی و در بین تیمارهای مورد بررسی دیده نشد. در اشکال (۳-۴) گسترش الگوی توزیع رطوبت در ۱۰ بازه زمانی ۳۰ دقیقه (اولین خط کانتور مربوط به اولین بازه زمانی T₁ و آخرین خط کانتور مربوط به آخرین بازه زمانی T₁₀) تحت بیشترین و کمترین سطح شوری ارائه شده است. مقایسه الگوهای توزیع رطوبتی در اشکال (۳-۴) نشان داد که در هر دو سطح حداقل و حداکثر شوری، روند افزایش صفت عمق الگوی توزیع رطوبت در تیمارهای MF₃₆₀₀، MF₅₆₀₀، MF₇₆₀₀ با نرخ کمتر و روند افزایش صفات قطر سطح و قطر دایره عظیمه با نرخ بیشتر نسبت به تیمار MF₀ مشاهده شده است که این روال در سایر سطوح شوری نیز دیده شد. همچنین تحلیل مقادیر ثبت‌شده نشان می‌دهد که استفاده از آب شور باعث کاهش ابعاد الگوی توزیع رطوبت در مقایسه با تیمار شاهد شده است. به طوری که عمق، قطر سطح و قطر دایره عظیمه ثبت شده در اولین بازه زمانی ۳۰ دقیقه در تیمار MF₀S₁₂ به ترتیب ۱۱/۲۵ و ۳۹/۲۵ و ۴۲/۵۰ سانتی‌متر ثبت شد که نسبت به مقدار ثبت شده در تیمار MF₀S_{1.5} (۱۶/۲۵) و ۴۵ و ۴۷ سانتی‌متر) کاهش معنی‌دار داشت. نتایج تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد با افزایش سطح شوری آب آبیاری، هدایت الکتریکی خاک و

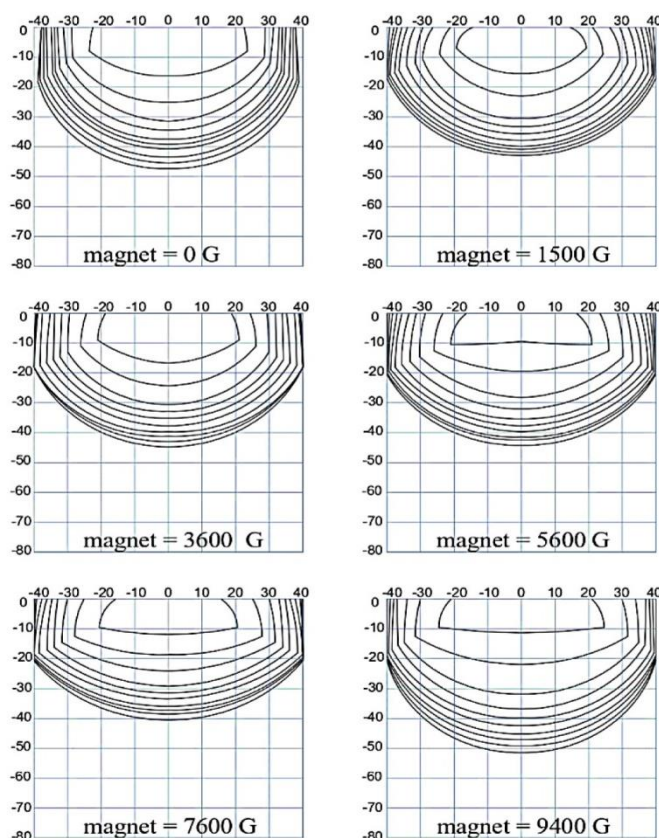


شکل ۳ - الگوی توزیع رطوبت در شوری (۱۲ ds.m⁻¹) در بافت رسی شنی

جدول ۳ - مقایسه میانگین ۱۰ تیمار برتر و ۱۰ تیمار ضعیف با حداکثر و حداقل شدت تغییر صفات اندازه گیری شده در ۳۰ دقیقه در بافت رسی شنی

| قطر دایره عظیمه (cm) | شوری ($ds.m^{-1}$) | میدان مغناطیسی (G) | زمان (min) | قطر سطح (cm) | شوری ($ds.m^{-1}$) | میدان مغناطیسی (G) | زمان (min) | عمق (cm) | شوری ($ds.m^{-1}$) | میدان مغناطیسی (G) | زمان (min) |
|----------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------|----------------------|-------------------------|--------------------------|---------------|----------------------|-------------------------|--------------------------|---------------|
| ۵۵/۵۰ ^a | ۳ | ۹۴۰۰ | $T_1=30$ | ۴۶/۷۵ ^b | ۳ | ۹۴۰۰ | $T_1=30$ | ۱۸/۲۵ ^a | ۳ | ۹۴۰۰ | $T_1=30$ |
| ۵۱/۵۰ ^b | ۹ | ۹۴۰۰ | $T_1=30$ | ۴۵/۰۰ ^a | ۱/۵ | نمونه شاهد | $T_1=30$ | ۱۷/۲۵ ^{ab} | ۹ | ۹۴۰۰ | $T_1=30$ |
| ۵۰/۵۰ ^{bc} | ۶ | ۹۴۰۰ | $T_1=30$ | ۴۴/۲۵ ^{ab} | ۳ | ۷۶۰۰ | $T_1=30$ | ۱۷/۲۵ ^{ab} | ۳ | ۱۵۰۰ | $T_1=30$ |
| ۵۰/۰۰ ^{b-d} | ۶ | ۷۶۰۰ | $T_1=30$ | ۴۲/۲۵ ^{bc} | ۱/۵ | ۹۴۰۰ | $T_1=30$ | ۱۶/۷۵ ^{a-c} | ۱/۵ | ۳۶۰۰ | $T_1=30$ |
| ۵۰/۰۰ ^{b-d} | ۳ | ۷۶۰۰ | $T_1=30$ | ۴۰/۰۰ ^{cd} | ۹ | ۷۶۰۰ | $T_1=30$ | ۱۶/۲۵ ^{a-d} | ۹ | ۷۶۰۰ | $T_1=30$ |
| ۴۹/۵۰ ^{b-e} | ۹ | ۷۶۰۰ | $T_1=30$ | ۳۹/۷۵ ^{c-e} | ۹ | ۹۴۰۰ | $T_1=30$ | ۱۶/۲۵ ^{a-d} | ۱/۵ | نمونه شاهد | $T_1=30$ |
| ۴۹/۵۰ ^{b-e} | ۱/۵ | ۹۴۰۰ | $T_1=30$ | ۳۹/۵۰ ^{d-f} | ۶ | ۹۴۰۰ | $T_1=30$ | ۱۶/۰۰ ^{v-e} | ۶ | ۵۶۰۰ | $T_1=30$ |
| ۴۸/۰۰ ^{c-f} | ۶ | ۵۶۰۰ | $T_1=30$ | ۳۹/۵۰ ^{d-f} | ۶ | ۷۶۰۰ | $T_1=30$ | ۱۵/۵۰ ^{b-f} | ۶ | ۷۶۰۰ | $T_1=30$ |
| ۴۷/۰۰ ^{d-f} | ۱/۵ | نمونه شاهد | $T_1=30$ | ۳۹/۲۵ ^{d-f} | ۱۲ | نمونه شاهد | $T_1=30$ | ۱۵/۵۰ ^{b-f} | ۱/۵ | ۱۵۰۰ | $T_1=30$ |
| ۴۶/۵۰ ^{e-h} | ۹ | نمونه شاهد | $T_1=30$ | ۳۹/۰۰ ^{d-f} | ۱۲ | ۹۴۰۰ | $T_1=30$ | ۱۵/۲۵ ^{b-f} | ۶ | ۳۶۰۰ | $T_1=30$ |
| ده تیمار ضعیف | | | | | | | | | | | |
| ۰/۰۰ ⁿ | ۳ | ۵۶۰۰ | $T_9=30$ | ۰/۰۰ ^b | ۶ | ۵۶۰۰ | $T_8=30$ | ۱/۰۰ ^{d-f} | ۳ | ۵۶۰۰ | $T_{10}=30$ |
| ۰/۰۰ ⁿ | ۱/۵ | ۹۶۰۰ | $T_{10}=30$ | ۰/۰۰ ^b | ۳ | ۹۶۰۰ | $T_{10}=30$ | ۱/۰۰ ^{d-f} | ۱/۵ | ۵۶۰۰ | $T_8=30$ |
| ۰/۰۰ ⁿ | ۱/۵ | ۹۶۰۰ | $T_9=30$ | ۰/۰۰ ^b | ۳ | ۹۶۰۰ | $T_9=30$ | ۱/۰۰ ^{d-f} | ۱/۵ | ۱۵۰۰ | $T_{10}=30$ |
| ۰/۰۰ ⁿ | ۱/۵ | ۹۶۰۰ | $T_8=30$ | ۰/۰۰ ^b | ۳ | ۷۶۰۰ | $T_{10}=30$ | ۱/۰۰ ^{d-f} | ۱/۵ | ۱۵۰۰ | $T_9=30$ |
| ۰/۰۰ ⁿ | ۱/۵ | ۷۶۰۰ | $T_9=30$ | ۰/۰۰ ^b | ۳ | ۷۶۰۰ | $T_{10}=30$ | ۱/۰۰ ^{d-f} | ۱/۵ | ۱۵۰۰ | $T_8=30$ |
| ۰/۰۰ ⁿ | ۱/۵ | ۷۶۰۰ | $T_{10}=30$ | ۰/۰۰ ^b | ۳ | ۵۶۰۰ | $T_9=30$ | ۰/۶۰ ^{e-f} | ۱۲ | ۷۶۰۰ | $T_{10}=30$ |
| ۰/۰۰ ⁿ | ۱/۵ | ۷۶۰۰ | $T_8=30$ | ۰/۰۰ ^b | ۱/۵ | ۹۶۰۰ | $T_{10}=30$ | ۰/۵۰ ^f | ۹ | ۳۶۰۰ | $T_{10}=30$ |
| ۰/۰۰ ⁿ | ۱/۵ | ۵۶۰۰ | $T_9=30$ | ۰/۰۰ ^b | ۱/۵ | ۹۶۰۰ | $T_9=30$ | ۰/۵۰ ^f | ۹ | نمونه شاهد | $T_{10}=30$ |
| ۰/۰۰ ⁿ | ۱/۵ | ۳۶۰۰ | $T_{10}=30$ | ۰/۰۰ ^b | ۱/۵ | نمونه شاهد | $T_{10}=30$ | ۰/۵۰ ^f | ۳ | ۷۶۰۰ | $T_{10}=30$ |
| ۰/۰۰ ⁿ | ۱/۵ | ۳۶۰۰ | $T_9=30$ | ۰/۰۰ ^b | ۱/۵ | ۹۶۰۰ | $T_9=30$ | ۰/۵۰ ^f | ۳ | ۷۶۰۰ | $T_9=30$ |

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند.



شکل ۴ - الگوی توزیع رطوبت در شوری (۱/۵ ds.m⁻¹) در بافت رسی شنی

نظیر قطر دایره عظیمه معنی دار نشد. همچنین اثر شوری بر هیچ کدام از صفات معنی دار نشد و اثر میدان مغناطیسی بر تمامی صفات در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد. اثر زمان نیز بر سه صفت عمق، قطر و عمق نظیر قطر دایره عظیمه در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد و بر صفت قطر سطح الگوی توزیع رطوبت معنی دار نشد.

تاثیر اعمال میدان مغناطیسی بر ابعاد الگوی توزیع آب شور در بافت لومی رسی شنی

تجزیه و تحلیل مقادیر ثبت شده در جدول تجزیه واریانس (۴) نشان می‌دهد که اثر سه طرفه مغناطیس×شوری×زمان بر عمق، قطر سطح و قطر دایره عظیمه الگوی توزیع رطوبت ثبت شده در بافت لومی رسی شنی در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد و بر عمق

جدول ۴ - تجزیه واریانس ابعاد الگوی توزیع آب شور در بازه زمانی ۳۰ دقیقه در بافت لومی رسی شنی

| منبع تغییرات | درجه آزادی | عمق | عمق نظیر قطر دایره عظیمه | حداکثر قطر سطح | قطر دایره عظیمه |
|-------------------|------------|-----------|--------------------------|-----------------------|--------------------|
| مغناطیس | ۵ | **۶۸۳/۵۶ | ۱۰/۸۶* | ۳۶/۶۳** | ۳۰/۳۳* |
| شوری | ۴ | ns۷۰۲/۶۱ | ۰/۶۱ ^{ns} | ۵/۰۹ ^{ns} | ۱/۳۳ ^{ns} |
| شوری×مغناطیس | ۲۰ | ns۵۲۲/۴۳ | ۰/۲۵ ^{ns} | ۲/۷۲ ^{ns} | ۱/۵۰ ^{ns} |
| خطا ۱ | ۳۰ | **۱۴۳/۶۷ | ۰/۱۷ ^{ns} | ۱/۲۶** | ۱/۵۱ ^{ns} |
| زمان | ۹ | **۷۶۸۷/۱۰ | ۵۲۰/۷۲** | ۳۶۸۲/۰۶ ^{ns} | ۶۵۳۵/۴۲** |
| مغناطیس×زمان | ۴۵ | **۶۵۶/۸۲ | ۱/۴۳** | ۱۲/۹۰** | ۱۱/۲۸** |
| شوری×زمان | ۳۶ | **۳۵۵/۴۹ | ۰/۳۹** | ۱۴/۵۵** | ۱۲/۱۰** |
| مغناطیس×شوری×زمان | ۱۸۰ | **۱۴۵/۳۶ | ۰/۱۷ ^{ns} | ۶/۰۱** | ۳/۹۰** |
| خطا ۲ | ۲۷۰ | **۶۸۳/۵۶ | ۰/۱۷ | ۱/۴۱۷ | ۱/۱۴ |
| ضریب تغییرات | | ۲۱/۲۱ | ۱۷/۱۸ | ۱۶/۷۰ | ۱۴/۳۸ |

**و* و ns به ترتیب معنی داری در سطح ۰.۵٪ و ۱٪ و عدم معنی داری را نشان می‌دهد

سانتی‌متر مشاهده شد که نسبت به مقادیر ثبت شده در تیمار $MF_0S_{1.5}$ به ترتیب $25/37$ و $30/76$ و $1/5$ درصد کاهش داشت. رس به دلیل داشتن سطح ویژه زیاد و ویژگی‌های الکترواستاتیکی از نظر فیزیکی و شیمیایی فعال بوده و نقش مهمی در به هم پیوستن ذرات خاک و تشکیل خاکدانه‌ها دارد. به طوری که پس از ماده آلی، یکی از مهم‌ترین عوامل در تشکیل و پایداری ساختمان خاک است (تقی‌زاده قصاب و همکاران، ۱۳۹۶) و به دلیل داشتن سطح کلونیدی، بیشتر تحت تأثیر کیفیت آب قرار می‌گیرد. در نتیجه انتظار می‌رود در شرایط شوری آب و رس با درصد بالاتر، فروپاشی خاکدانه و تخریب منافذ بیشتر و در نهایت کاهش هدایت هیدرولیکی منجر به کاهش گستردگی الگوی توزیع رطوبت شود و اعمال میدان مغناطیسی بتواند تا حدودی این شرایط را تعدیل کند.

تأثیر اعمال میدان مغناطیسی بر ابعاد الگوی توزیع آب شور در بافت شنی لومی

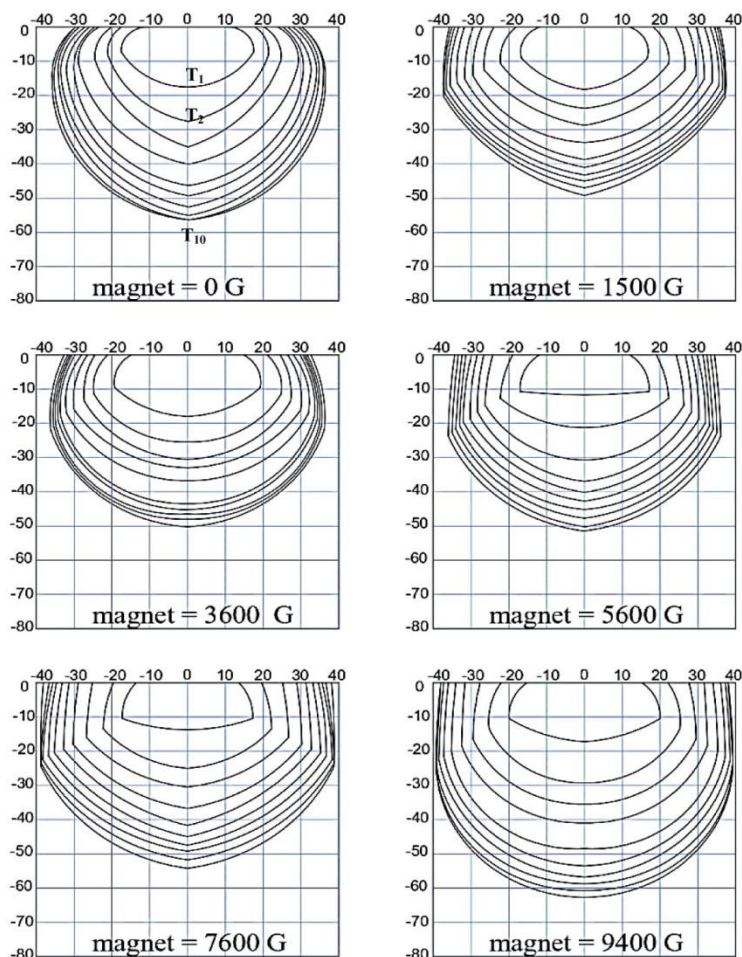
تجزیه و تحلیل مقادیر ثبت شده در جدول تجزیه واریانس (۶) نشان می‌دهد اثر سه طرفه مغناطیس‌شوری×زمان روی عمق، قطر سطح و قطر دایره عظیمه الگوی توزیع رطوبت در بافت شنی لومی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد و بر عمق نظیر قطر دایره عظیمه معنی‌دار نشد. بررسی اثر مغناطیس نیز نشان داد که این عامل بر صفات قطر سطح، قطر و عمق نظیر قطر دایره عظیمه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. شوری بر هیچ‌کدام یک از صفات ثبت‌شده اثر معنی‌دار نداشت و اثر اصلی زمان بر همه صفات اندازه‌گیری شده در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد.

مقایسه میانگین صفات عمق، قطر سطح و قطر دایره عظیمه ثبت‌شده در بازه‌های زمانی نیم ساعته در بافت شنی لومی نشان داد که بیشترین افزایش این صفات در ۳۰ دقیقه اول مشاهده شده است که با گذشت زمان، نرخ افزایش مقادیر ثبت‌شده نسبت به مقادیر ثبت‌شده در بازه زمانی بعدی کاهش یافت. برای ارائه مختصر نتایج مقایسه میانگین، ۱۰ تیمار برتر و ۱۰ تیمار ضعیف که به ترتیب دارای بیشترین و کمترین تغییر صفات اندازه‌گیری شده طی بازه‌های زمانی ۳۰ دقیقه بودند، در جدول (۷) ارائه شده است. مقایسه ۱۰ تیمار برتر نشان داد بیشترین افزایش عمق الگوی توزیع رطوبت در ۳۰ دقیقه اول در تیمار MF_{9400S_9} و به مقدار $25/5$ سانتی‌متر مشاهده شد که نسبت به مقادیر ثبت‌شده در تیمارهای $MF_0S_{1.5}$ ($19/25$ سانتی‌متر) و MF_0S_9 ($21/25$ سانتی‌متر) به ترتیب $32/46$ و 20 درصد و نسبت به مقدار ثبت‌شده در تیمار $MF_{9400S_{12}}$ ($21/5$) $21/5$ سانتی‌متر) $18/60$ درصد افزایش داشت. همچنین حداکثر قطر سطح در تیمار MF_{9400S_3} و به مقدار 36 سانتی‌متر مشاهده شد که نسبت به مقدار مشاهده شده در تیمارهای $MF_0S_{1.5}$ ($27/50$) سانتی‌متر) و

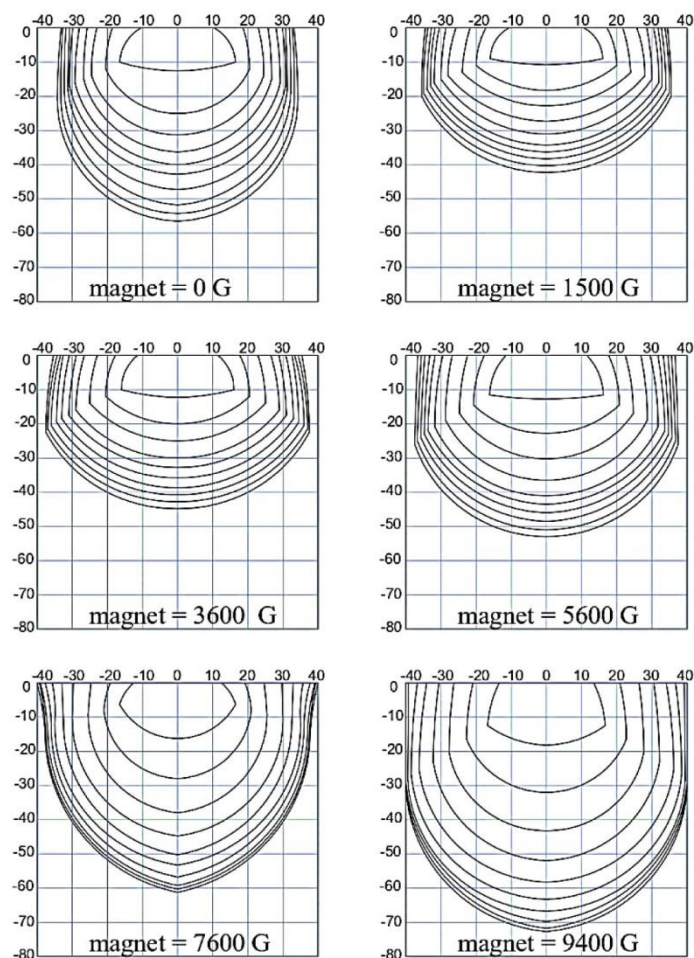
مقایسه میانگین عمق، قطر سطح و قطر دایره عظیمه ثبت‌شده در بازه‌های زمانی ۳۰ دقیقه در بافت لومی رسی شنی نشان داد که بیشترین افزایش این صفات در ۳۰ دقیقه اول مشاهده شد که با گذشت زمان، نرخ افزایش مقادیر ثبت‌شده نسبت به مقادیر ثبت‌شده در بازه زمانی بعدی کاهش یافت. برای ارائه مختصر نتایج مقایسه میانگین، ۱۰ تیمار برتر و ۱۰ تیمار ضعیف که به ترتیب دارای بیشترین و کمترین تغییر صفات اندازه‌گیری شده طی بازه‌های زمانی ۳۰ دقیقه هستند، در جدول (۵) ارائه شده است. مقایسه ۱۰ تیمار برتر نشان داد بیشترین افزایش عمق الگوی توزیع رطوبت در ۳۰ دقیقه اول در تیمار MF_{7600S_3} و به مقدار $21/25$ سانتی‌متر مشاهده شد که نسبت به مقدار مشاهده شده در تیمارهای $MF_0S_{1.5}$ ($16/75$) $16/75$ سانتی‌متر) و MF_0S_3 ($18/75$ سانتی‌متر) و $MF_{7600S_{12}}$ ($10/25$) $10/25$ سانتی‌متر) به ترتیب $26/86$ و $13/35$ و $51/76$ درصد افزایش داشت. حداکثر قطر سطح نیز در ۳۰ دقیقه اول آزمایش در تیمار MF_{9400S_3} و به مقدار $41/5$ سانتی‌متر مشاهده شد که نسبت به مقادیر ثبت‌شده در تیمارهای $MF_0S_{1.5}$ ($21/25$ سانتی‌متر) و MF_0S_3 ($25/75$) $25/75$ سانتی‌متر) به ترتیب $95/30$ و $61/16$ درصد و نسبت به مقدار مشاهده شده در تیمار $MF_{9400S_{12}}$ (تیمار با سطح مغناطیس مشابه و شوری بالا) $53/70$ درصد افزایش داشت. همچنین بیشترین قطر دایره عظیمه در ۳۰ دقیقه اول در تیمار MF_{9400S_3} و به مقدار 50 سانتی‌متر مشاهده شد که در مقایسه با مقادیر ثبت‌شده در تیمارهای $MF_0S_{1.5}$ ($32/50$ سانتی‌متر) و MF_0S_3 ($33/50$ سانتی‌متر) به ترتیب $53/84$ و $49/25$ درصد افزایش داشت. مقادیر ۱۰ تیمار ضعیف ارائه شده در جدول (۵) نشان می‌دهد که فقط در صفت عمق الگوی توزیع رطوبت، در آخرین بازه‌های زمانی اندازه‌گیری شده (بازه هشتم، نهم و دهم) همچنان افزایش کند این صفت مشاهده می‌شود که از نظر آماری معنی‌دار نیست و کمترین مقدار افزایش در بازه زمانی دهم در تیمار $MF_0S_{1.5}$ مشاهده شد، در حالی که در صفات قطر سطح و قطر دایره عظیمه افزایش معنی‌دار بین ۱۰ تیمار ضعیف مشاهده نشد. الگوی توزیع رطوبت در بازه‌های زمانی ۳۰ دقیقه تحت دو سطح کمترین و بیشترین شوری برای بافت لومی رسی شنی در اشکال (۶-۵) ارائه شده است. مقایسه الگوهای توزیع رطوبت در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر نشان می‌دهد که عمق خیس شده با نرخ کمتر در تیمارهای MF_{1500} ، MF_{3600} ، MF_{5600} و قطر سطح و قطر دایره عظیمه با نرخ بیشتر در تیمار MF_{5600} نسبت به تیمار MF_0 افزایش یافته‌اند. بررسی صفات ثبت‌شده در این بافت نیز نشان می‌دهد که افزایش شوری و یون سدیم باعث کاهش ابعاد الگوی توزیع رطوبت شده است. به طوری که بیشترین مقدار عمق، قطر سطح و قطر دایره عظیمه الگوی توزیع رطوبت در ۳۰ دقیقه اول در تیمار MF_0S_{12} به ترتیب به مقدار $12/5$ و $16/25$ و 33

ثبت شده در نه تیمار ضعیف دیگر نداشت. همچنین کمترین مقدار تغییر قطر سطح و قطر دایره عظیمه به ترتیب در تیمارهای $MF_0S_{1.5}$ و $MF_{9400}S_3$ مشاهده شد که اختلاف معنی داری با مقادیر ثبت شده در نه تیمار ضعیف دیگر نداشت. در اشکال (۷-۸) الگوی توزیع رطوبت در بازه های زمانی ۳۰ دقیقه تحت دو سطح کمترین و بیشترین شوری برای بافت شنی لومی ارائه گردید. مقایسه الگوهای توزیع رطوبت در شکل (۷) نشان داد با افزایش شدت میدان مغناطیسی تمامی صفات در مقایسه با نمونه شاهد افزایش پیدا کرد. در سطح شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر صفات قطر سطح و قطر دایره عظیمه با نرخ بیشتر تحت تیمارهای $MF_{1500}, MF_{3600}, MF_{5600}, MF_{7600}$ افزایش یافته و در MF_{9400} بیشترین مقدار همه صفات مورد بررسی در مقایسه با نمونه شاهد ثبت گردید.

MF_0S_3 (۲۰ سانتی متر) به ترتیب ۳۰/۹۰ و ۸۰ درصد افزایش داشت. همچنین نسبت به مقدار ثبت شده در تیمار $MF_{9400}S_{12}$ (تیمار با سطح مغناطیس مشابه و شوری بالا) ۶۷/۴۴ درصد افزایش داشت. بیشترین قطر دایره عظیمه نیز در تیمار $MF_{9400}S_3$ و به مقدار ۴۴/۵ سانتی متر مشاهده شد که نسبت به مقدار ثبت شده در تیمارهای $MF_0S_{1.5}$ (۳۰ سانتی متر) و MF_0S_3 (۲۸ سانتی متر) به ترتیب ۴۸/۳۳ و ۵۸/۹۲ درصد افزایش داشت. همچنین نسبت به مقدار مشاهده شده در تیمار $MF_{9400}S_{12}$ (۳۰ سانتی متر) نیز ۴۸/۳۳ درصد افزایش داشت. تحلیل مقادیر ثبت شده نشان می دهد که اعمال میدان مغناطیسی در سطح شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر توانسته است از کاهش ابعاد الگوی توزیع رطوبت جلوگیری کند. مقایسه مقادیر ثبت شده برای ۱۰ تیمار ضعیف نیز نشان داد که حداقل مقدار تغییر عمق الگوی توزیع رطوبت در بازه زمانی دهم در تیمار $MF_{9400}S_{1.5}$ مشاهده شد که اختلاف معنی داری با مقادیر



شکل ۵- الگوی توزیع رطوبت در شوری (۱/۵ $ds.m^{-1}$) در بافت لومی رسی شنی

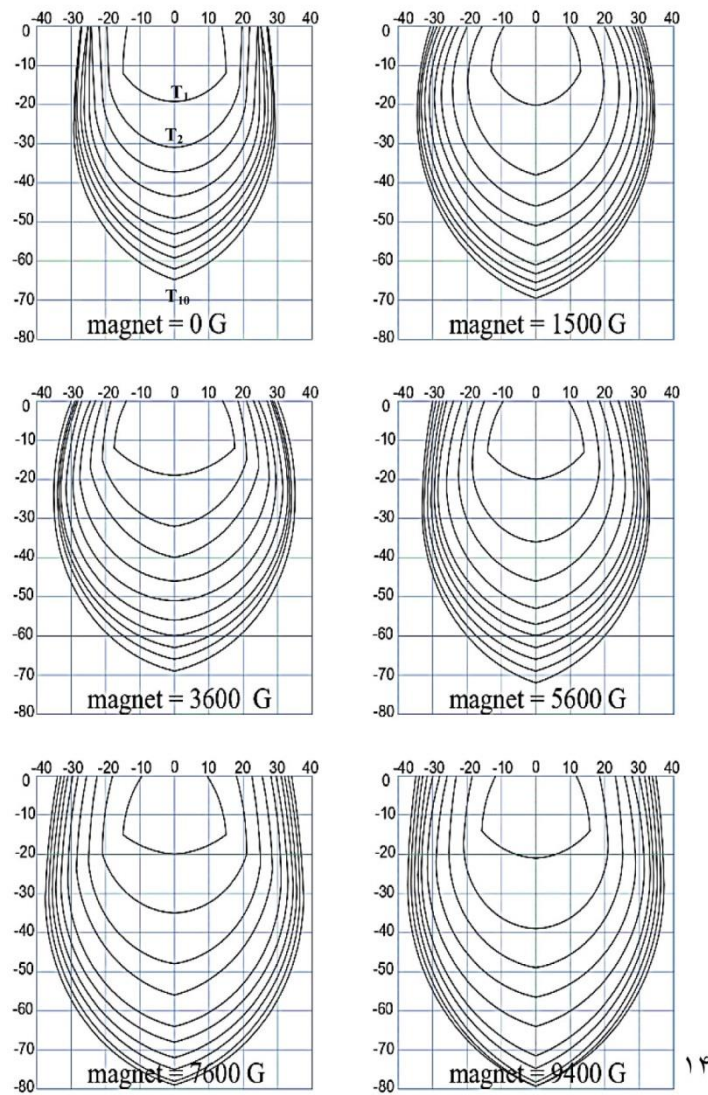


شکل ۶- الگوی توزیع رطوبت در شوری $(ds.m^{-1})$ ۱۲ در بافت لومی رسی شنی

جدول ۶ - تجزیه واریانس ابعاد الگوی توزیع آب شور در بازه زمانی ۳۰ دقیقه در بافت شنی لومی

| منبع تغییرات | درجه آزادی | عمق | عمق نظیر قطر دایره عظیمه | حداکثر قطر سطح | قطر دایره عظیمه |
|-------------------|------------|----------------|--------------------------|----------------|-----------------|
| مغناطیس | ۵ | $ns_{50/29}$ | $**_{15/62}$ | $**_{33/0.1}$ | $**_{33/22}$ |
| شوری | ۴ | $ns_{19/58}$ | $ns_{1/15}$ | $ns_{4/50}$ | $ns_{2/14}$ |
| شوری×مغناطیس | ۲۰ | $ns_{8/17}$ | $ns_{0/38}$ | $ns_{1/50}$ | $ns_{2/0.4}$ |
| خطا ۱ | ۳۰ | $**_{7/64}$ | $ns_{0/19}$ | $ns_{0/89}$ | $ns_{2/55}$ |
| زمان | ۹ | $**_{1859/40}$ | $**_{826/60}$ | $**_{2523/85}$ | $**_{4937/45}$ |
| مغناطیس×زمان | ۴۵ | $**_{9/86}$ | $**_{3/0.8}$ | $**_{9/69}$ | $**_{7/90}$ |
| شوری×زمان | ۳۶ | $**_{11/40}$ | $ns_{0/23}$ | $**_{18/68}$ | $**_{13/31}$ |
| مغناطیس×شوری×زمان | ۱۸۰ | $**_{3/86}$ | $ns_{0/19}$ | $**_{8/24}$ | $**_{5/22}$ |
| خطا ۲ | ۲۷۰ | $1/75$ | $0/21$ | $1/26$ | $1/29$ |
| ضریب تغییرات | | $19/94$ | $16/66$ | $17/46$ | $16/29$ |

و* ns به ترتیب معنی داری در سطح ۵٪ و ۱٪ و عدم معنی داری را نشان می‌دهد



شکل ۷- الگوی توزیع رطوبت در شوری (ds.m⁻¹) ۱/۵ در بافت شنی لومی

نهایی الگوی توزیع رطوبت عمدتاً بستگی به هدایت هیدرولیکی خاک در حالت اشباع و دبی قطره‌چکان دارد. محیط‌های با هدایت هیدرولیکی بالاتر (خاک شنی) نسبت به خاک با هدایت هیدرولیکی کمتر (خاک رسی) شعاع کمتری برای دبی یکسان ایجاد می‌کند (Both, 2004). همچنین الگوی توزیع رطوبت به نیروهای غالب موثر بر توزیع آب در خاک بستگی دارد. در خاک‌های سنگین به دلیل وجود مواد ریز دانه زیاد، گسترش الگوی توزیع رطوبت بیشتر در جهت افقی صورت می‌گیرد که 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 و در خاک‌های با بافت سبک گسترش الگوی توزیع رطوبت در جهت عمودی صورت می‌گیرد که این موضوع به سبب غالب بودن پتانسیل ثقلی بر پتانسیل ماتریک به دلیل کم بودن تخلخل موئینه است. در

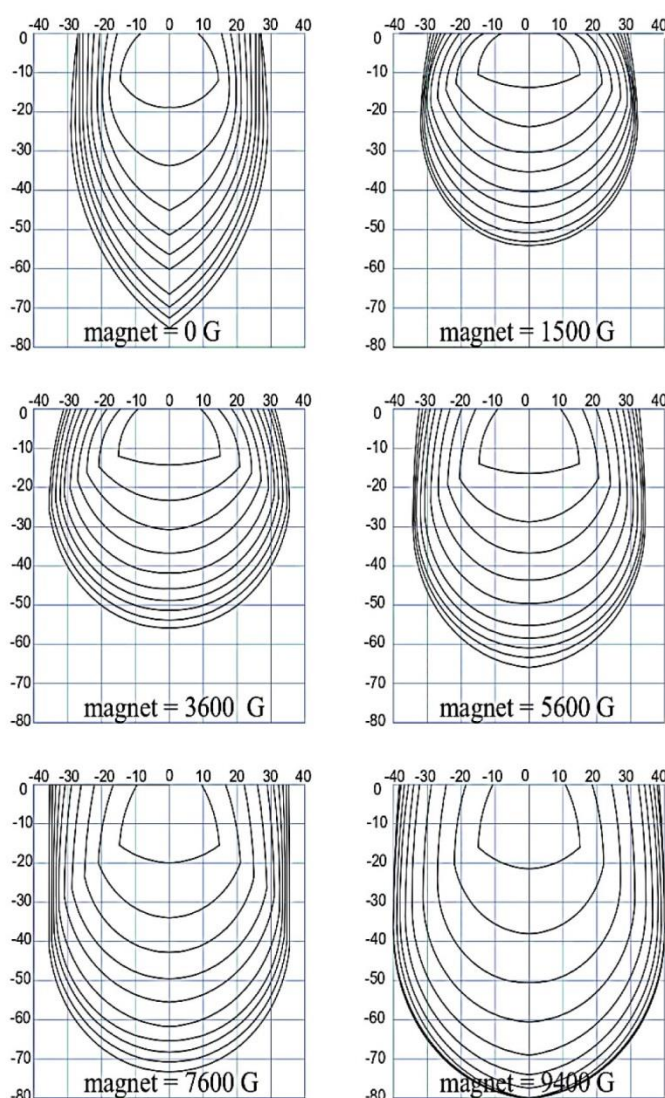
بررسی مقادیر ثبت شده در بافت شنی لومی نیز نشان می‌دهد که افزایش شوری باعث کاهش ابعاد الگوی توزیع رطوبت شده است. به طوری که بیشترین مقدار عمق، قطر سطح و قطر دایره عظیمه الگوی توزیع رطوبت در تیمار MF₀S₁₂ به ترتیب به مقدار ۱۸/۷۵ و ۱۷ و ۲۹ سانتی‌متر مشاهده شد که نسبت به مقدار مشاهده شده در تیمار MF₀S_{1.5} (۱۹/۲۵ و ۲۷/۵ و ۳۰ سانتی‌متر) به ترتیب ۲/۵۹ و ۳۸/۱۸ و ۳/۳۳ درصد کاهش داشت. در مجموع در بازه زمانی پنج ساعت، اثر میدان مغناطیسی بر عمق، عمق نظیر قطر دایره عظیمه، حداکثر قطر سطح و قطر دایره عظیمه در بافت شنی لومی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد که به ترتیب بیشترین مقدار صفات مذکور در MF₉₄₀₀ و به مقدار ۷۹/۵۵۰، ۳۲/۶۹۵، ۷۳/۱۰۰ و ۷۷/۳۰۰ سانتی-متر مشاهده شد.

نتایج تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد در آبیاری قطره‌ای، اندازه

لایه‌های بافت ریزتر رخ می‌دهد که با نتایج این تحقیق همسو می‌باشد. همچنین الگوی توزیع رطوبت در خاک با بافت سبک (شنی لومی) در جهت عمق توسعه بیشتری نسبت به سایر بافت‌های مورد مطالعه داشت که دلیل آن کمتر بودن پتانسیل ماتریک به دلیل کم بودن نیروهای موینه در خاک است.

در زمینه پالایش آب از طریق اعمال میدان مغناطیسی، دو رویکرد متفاوت می‌تواند باعث بهبود کیفیت و در نهایت افزایش بهره‌وری به ویژه در آب‌های بی‌کیفیت شود. اول اینکه کربنات کلسیم معمول‌ترین ماده رسوب‌کننده و محدود کننده مصرف در آب‌های مناطق خشک و نیمه خشک است که سه شکل مختلف کریستالی آن عبارتند از کلسیت، آراگونیت و واتریت.

پژوهش حاضر بیشترین میزان گسترش قطر سطح و قطر دایره عظیمه در خاک با بافت سنگین مشاهده شد که دلیل این امر می‌تواند غالب بودن پتانسیل ماتریک در این بافت باشد. در همین راستا، تهابت و زیانی نشان دادند که حرکت آب در عمق خاک با بافت شنی لومی نسبت به خاک با بافت سنگین به دلیل متوازن بودن نسبی پتانسیل‌های ماتریک و ثقلی بیشتر است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Thabet and Zayani, 2008). همچنین سیال و سکاگز بیان کردند که بافت خاک به دلیل ارتباط با هدایت هیدرولیکی خاک و حفظ آب، تأثیر بیشتری بر هندسه خیس شدگی دارد (Siyal and Skaggs, 2009). به طور کلی گسترش افقی الگوی رطوبتی بیشتر در خاک‌های با بافت ریز و یا در مورد خاک‌های لایه‌ای، در



شکل ۸- الگوی توزیع رطوبت در شوری $12 \text{ (ds.m}^{-1}\text{)}$ در بافت شنی لومی

جدول ۷- مقایسه میانگین ۱۰ تیمار برتر و ۱۰ تیمار ضعیف با حداکثر و حداقل نرخ افزایش صفات اندازه گیری شده در ۳۰ دقیقه در بافت شنی لومی

| قطر دایره عظیمه (cm) | شوری ($ds. m^{-1}$) | میدان مغناطیسی (G) | زمان (min) | میدان مغناطیسی (G) | شوری قطر سطح ($ds. m^{-1}$) | زمان (min) | عمق شوری (cm) | میدان مغناطیسی (G) | زمان (min) |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------------------|---------------|-------------------------------------|--------------------------|---------------------|
| ده تیمار برتر | | | | | | | | | |
| a ^a ۴۴/۵۰ | ۳ | ۹۴۰۰ | T ₁ =۳۰ | ۹۴۰۰ | a ^a ۳۶/۰۰ | ۳ | ۲۵/۵۰ ^a | ۹ | T ₁ =۳۰ |
| b ^b ۴۰/۵۰ | ۹ | ۷۶۰۰ | T ₁ =۳۰ | ۷۶۰۰ | b ^b ۳۰/۰۰ | ۳ | ۲۵/۰۰ ^{ab} | ۶ | T ₁ =۳۰ |
| b ^b ۳۹/۰۰ | ۳ | ۷۶۰۰ | T ₁ =۳۰ | ۷۶۰۰ | bc ^c ۳۵/۰۰ | ۹ | ۲۳/۲۵ ^{a-c} | ۳ | T ₁ =۳۰ |
| c ^c ۳۵/۵۰ | ۹ | ۹۴۰۰ | T ₁ =۳۰ | نمونه شاهد | bc ^c ۲۷/۵۰ | ۶ | ۲۳/۰۰ ^{a-d} | ۶ | نمونه شاهد |
| c ^c ۳۵/۵۰ | ۳ | ۳۶۰۰ | T ₁ =۳۰ | ۹۴۰۰ | b-d ^d ۲۴/۷۵ | ۹ | ۲۲/۵۰ ^{b-e} | ۳ | T ₁ =۳۰ |
| c ^c ۳۵/۰۰ | ۹ | ۵۶۰۰ | T ₁ =۳۰ | ۳۶۰۰ | b-e ^e ۲۵/۰۰ | ۳ | ۲۲/۲۵ ^{b-f} | ۶ | T ₁ =۳۰ |
| c ^c ۳۵/۰۰ | ۹ | ۳۶۰۰ | T ₁ =۳۰ | ۵۶۰۰ | c-e ^e ۲۶/۲۵ | ۹ | ۲۱/۵۰ ^{c-g} | ۱۲ | T ₁ =۳۰ |
| c ^c ۳۵/۰۰ | ۳ | ۵۶۰۰ | T ₁ =۳۰ | ۹۴۰۰ | c-e ^e ۲۳/۵۰ | ۱/۵ | ۲۱/۲۵ ^{c-h} | ۹ | T ₁ =۳۰ |
| c ^c ۳۵/۰۰ | ۱/۵ | ۳۶۰۰ | T ₁ =۳۰ | ۳۶۰۰ | b-f ^f ۲۷/۵۰ | ۱/۵ | ۲۱/۲۵ ^{c-h} | ۹ | T ₁ =۳۰ |
| ده تیمار ضعیف | | | | | | | | | |
| c ^c -d ^d ۱/۰۰ | ۳ | نمونه شاهد | T ₁₀ =۳۰ | ۷۶۰۰ | " ۰/۰۰ | ۹ | s ^s -u ^u ۱/۲۵ | ۳ | T ₈ =۳۰ |
| c ^c -d ^d ۱/۰۰ | ۳ | نمونه شاهد | T ₉ =۳۰ | ۷۶۰۰ | " ۰/۰۰ | ۹ | s ^s -u ^u ۱/۲۵ | ۱/۵ | T ₉ =۳۰ |
| c ^c -d ^d ۱/۰۰ | ۱/۵ | ۵۶۰۰ | T ₉ =۳۰ | ۷۶۰۰ | " ۰/۰۰ | ۹ | t ^t -u ^u ۱/۰۰ | ۱۲ | T ₁₀ =۳۰ |
| c ^c -d ^d ۱/۰۰ | ۱/۵ | ۳۶۰۰ | T ₉ =۳۰ | ۳۶۰۰ | " ۰/۰۰ | ۹ | t ^t -u ^u ۱/۰۰ | ۳ | T ₉ =۳۰ |
| c ^c -d ^d ۱/۰۰ | ۱/۵ | ۳۶۰۰ | T ₈ =۳۰ | ۳۶۰۰ | " ۰/۰۰ | ۹ | t ^t -u ^u ۱/۰۰ | ۱/۵ | T ₉ =۳۰ |
| c ^c -d ^d ۱/۰۰ | ۱/۵ | ۱۵۰۰ | T ₁₀ =۳۰ | نمونه شاهد | " ۰/۰۰ | ۹ | u ^u ۰/۰۰ | ۱۲ | T ₁₀ =۳۰ |
| c ^c -d ^d ۱/۰۰ | ۱/۵ | نمونه شاهد | T ₁₀ =۳۰ | نمونه شاهد | " ۰/۰۰ | ۹ | u ^u ۰/۰۰ | ۱۲ | T ₉ =۳۰ |
| c ^c -d ^d ۱/۰۰ | ۱/۵ | نمونه شاهد | T ₉ =۳۰ | نمونه شاهد | " ۰/۰۰ | ۹ | u ^u ۰/۰۰ | ۶ | T ₁₀ =۳۰ |
| d ^d ۰/۰۰ | ۱۲ | ۹۴۰۰ | T ₁₀ =۳۰ | نمونه شاهد | " ۰/۰۰ | ۱/۵ | u ^u ۰/۰۰ | ۶ | T ₉ =۳۰ |
| d ^d ۰/۰۰ | ۳ | ۹۴۰۰ | T ₁₀ =۳۰ | نمونه شاهد | " ۰/۰۰ | ۱/۵ | u ^u ۰/۰۰ | ۱/۵ | T ₁₀ =۳۰ |

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند

به نظر می‌رسد آب در صورت عبور از تصفیه کننده‌های مغناطیسی در شرایط فوق اشباع تمایل به تشکیل رسوب نرم و جدا شونده از سطوح (آراگونیت) را دارد و در نتیجه امکان کاربرد آن در سیستم‌های آبیاری نوین با راندمان بالا افزایش می‌یابد (Raisen, 1984; Coey and Cass, (2000; Latva et al., 2016).

دوم اینکه بیش از ۷۰ درصد از مولکول‌های آب در دمای محیط، به صورت نامنظم قرار گرفته و بارهای مثبت و منفی آنها در جایگاه طبیعی خود قرار ندارند. در حالی که آرایش بارهای الکتریکی مولکول‌های آب در شرایط قرار گرفتن در میدان مغناطیسی تغییر می‌کند (Abdel-Magid et al., 2017). این تغییرات بسته به شدت میدان مغناطیسی، مدت زمان در معرض قرار گرفتن و نوع مغناطیس به کار برده شده متفاوت هستند. به علاوه در شرایط اعمال میدان مغناطیسی، مولکول‌های آب از حالت بی‌نظمی خارج شده و چیدمان منظم پیدا می‌کنند و بر پیوستگی مولکول‌های آب افزوده می‌شود (Xiao-Feng and Bo, 2008; Ran et al., 2009). در این حالت به علت آزاد شدن مولکول‌های آب درگیر با یکدیگر، نیروهای مولکول‌های آب با نیروهای ماتریک ذرات کلوئیدی خاک همسو می‌گردد. در نتیجه خاصیت ترکندگی مولکول‌های آب افزایش می‌یابد و در عین حال، این شرایط سبب کاهش اثر نیروی ثقل و کاهش نفوذ آب به اعماق خاک می‌گردد. بنابراین در شرایط یکسان از نظر بافت خاک، گسترش افقی الگوی توزیع رطوبت در اثر آبیاری با آب مغناطیسی بیشتر از آب معمولی خواهد بود (Xiao-Feng and Bo, 2008).

بررسی نتایج ارائه شده در این پژوهش نشان می‌دهد افزایش شوری از طریق کاهش پایداری خاکدانه، پراکنده شدن ذرات و تورم رس‌های انبساط پذیر موجب کاهش نفوذ پذیری و ابعاد الگوی توزیع رطوبت در مقایسه با تیمار شاهد شده است و اثر آن در بافت سنگین، بیشتر از بافت‌های سبک بوده است. به طوری که در بافت لومی رسی شنی بیشترین مقدار عمق (۲۱/۲۵ سانتی‌متر) در تیمار MF_{7600S₃}، و بیشترین قطر سطح (۴۱/۵ سانتی‌متر) و قطر دایره عظیمه (۵۰ سانتی‌متر) در تیمار MF_{9400S₃} مشاهده شد که نسبت به مقادیر مشاهده شده در تیمارهای MF_{7600S₁₂} و MF_{9400S₁₂} (تیمار با سطح مغناطیس مشابه و شوری بالا) به ترتیب ۱۰۷/۳۱ و ۵۳/۷۰ و ۴۹/۲۵ درصد افزایش داشت. در بافت شنی لومی نیز بیشترین مقدار عمق (۲۵/۵ سانتی‌متر) در تیمار MF_{9400S₉} و بیشترین قطر سطح و قطر دایره عظیمه (۳۶ و ۴۴/۵ سانتی‌متر) در تیمار MF_{9400S₃} دیده شد که نسبت به مقادیر ثبت شده در تیمار MF_{9400S₁₂} به ترتیب ۱۸/۶۰ و ۶۷/۴۴ و ۴۸/۳۳ درصد افزایش داشت. هرچند اعمال میدان مغناطیسی توانسته است تا حدودی گسترده‌گی ابعاد الگوی توزیع رطوبت را در مقایسه با تیمارهای شاهد بدون میدان افزایش دهد، اما

بیشترین اثرگذاری آن در بافت شنی لومی مشاهده شد که مقادیر عمق، قطر سطح و قطر دایره عظیمه ثبت شده تحت تیمار MF_{9400S₁₂} در مقایسه با تیمار MF_{0S₁₂} به ترتیب ۱۴/۶۶ و ۲۶/۴۷ و ۳/۴۴ درصد افزایش داشت. در بافت رسی شنی و لومی رسی شنی نیز بیشترین تاثیرگذاری میدان مغناطیسی در صفت عمق و قطر سطح الگوی توزیع رطوبت در تیمار MF_{9400S₁₂} و به میزان ۳۳/۳۳ و ۶۶/۱۵ درصد مشاهده شد. این نتایج با نتایج بدست آمده توسط خوش‌روش و کیانی (۱۳۹۴) در مورد بهبود نفوذ پذیری در شرایط کاربرد آب مغناطیسی شور همخوانی دارد. به نظر می‌رسد تحت میدان مغناطیسی مولکول‌های آب که تحت تاثیر پیوند هیدروژنی و نیروی واندروالس با یون‌ها درگیر بودند آزاد شده، آب روان‌تر و خاصیت تر-شوندگی آن بیش‌تر شده و ذرات آب به سهولت به ذرات کلوئیدی و میکرونی خاک می‌چسبند. هم‌چنین وقتی که آب از میدان مغناطیسی عبور می‌کند، تغییراتی در خصوصیات فیزیکی آن رخ می‌دهد و باعث می‌شود گازهای آزاد موجود در آب کاهش یابد. بنابراین مکش ماتریک خاک با آب مغناطیسی افزایش یافته و در نتیجه باعث افزایش نفوذ پذیری شده است (Carbonell et al., 2004)). عبدالقانی و همکاران نیز اثرات مثبت اعمال میدان مغناطیسی در بهبود نفوذ پذیری و خصوصیات خاک در شرایط کاربرد آب شور را تایید کردند که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد (Abdelghany et al., 2022). اما صدقاتی و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیقات خود نشان دادند که اعمال میدان مغناطیسی تاثیری بر افزایش نفوذ پذیری آب شور ندارد که ممکن است به دلیل تفاوت در شرایط انجام تحقیق و تیمارهای اعمال شده باشد.

نتیجه گیری

با توجه به استفاده از منابع آب شور در بخش کشاورزی به عنوان جانشین آب شیرین و تاثیر آن بر صفات خاک و امکان بهبود توزیع رطوبت در خاک تحت اعمال میدان مغناطیسی، در پژوهش حاضر به مطالعه اثر اعمال میدان مغناطیسی (۱۵۰۰، ۳۶۰۰، ۵۶۰۰، ۷۶۰۰ و ۹۴۰۰ گوس در مقایسه با نمونه شاهد) بر ابعاد الگوی توزیع رطوبت در سه بافت مختلف خاک در شرایط کاربرد آبیاری قطره‌ای و آب شور (۱/۵، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) پرداخته شد. بررسی نتایج بدست آمده نشان داد که شوری آب از طریق کاهش پایداری ساختمان خاک، باعث کاهش نفوذ پذیری و ابعاد الگوی توزیع رطوبت در هر سه بافت در مقایسه با تیمار شاهد شده است که در خاک‌های با درصد رس بالاتر، میزان کاهش صفات مشهودتر بود. به طوری که کمترین مقدار عمق الگوی توزیع رطوبت در اولین بازه زمانی ۳۰ دقیقه در خاک رسی شنی تحت تیمار MF_{0S₁₂} و به مقدار ۱۱/۲۵

نیکبخت، ج. و عبدالهی سیاهکلرودی، م. ۱۳۹۳. اثر مغناطیسی کردن آب آبیاری بر ویژگی‌های الگوی رطوبتی در آبیاری قطره‌ای سطحی. نشریه دانش آب و خاک، (۴): ۲۴-۱۵۲-۱۳۹.

Abdelghany, A. E., Abdo, A. I., Alashram, M. G., Eltohamy, K.M., Li, J., Xiang, Y. and Zhang F. 2022. Magnetized saline water irrigation enhances soil chemical and physical properties. *Water*. 14(24):4048. <https://doi.org/10.3390/w14244048>

Abdel-Magid, T. I. M., Mohammed Hamdan, R. M., bukhari abdelgader, A. A., Attaelmnan Omer, M. E. and Rizg-allahahmed, N. M. 2017. Effect of magnetized water on workability and compressive strength of concrete. *Procedia Engineering*. 193: 494-500.

Algarra, R. M., Zamora, L. L., Fos, G. A. and López, P.A. 2008. Magnetized water: science or fraud. *Chemical Education*. 85(10):1416.

Al-Mana, F. A., Algahtani, A. M., Dewir, Y. H., Alotaibi, M. A., Al-Yafarsi, M. A. and Elhindi, K. M. 2021. Water magnetization and application of soil amendments enhance growth and productivity of snapdragon plants. *Hort Science*. 56(12):1464-1470. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI15671-20>

Al-Ogaidi, A. A. M., Wayayok, A., Rowshon, M. K. and Abdullah, A. F. 2017. The influences of magnetized water on soil water dynamics under drip irrigation systems. *Agricultural Water Management*. 180: 70-77.

AQUASTAT; Aqua Statistics of Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2016;

Available online: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm> (accessed on 1 January 2016).

Both, R. L. 2004. Soil moisture distribution and wetting front pattern from a point source. *Proceeding of the Second International Drip Irrigation Congress*. 246-251.

Carbonell, M.V., Martinez, E., Diaz, J. E., Amaya, J. M. and Florez, M. 2004. Influence of magnetically treated water on germination of signal grass seeds. *Seed Science and Technology*. 32: 617619.

Coey, J. M. D. and Cass, S. 2000. Magnetic water treatment. *Journal of Magnetism and Magnetic Material*. 209:71-74.

Elhindi, K. M., Al-Mana, F. A., Algahtani, A. M. and Alotaibi, M.A. 2020. Effect of irrigation with saline magnetized water and different soil amendments on growth and flower production of *Calendula officinalis* L. plants. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 27(11): 3072-3078.

Esmailnezhad, E., Jin Choi, b. H., Schaffie, M.,

سانتی‌متر دیده شد. کمترین مقدار قطر سطح در بافت لومی رسی شنی و شنی لومی تحت تیمار $MF_{0S_{12}}$ (۱۶/۲۵ و ۱۷ سانتی‌متر) دیده شد. کمترین مقدار قطر دایره عظیمه نیز در بافت شنی لومی تحت تیمار $MF_{0S_{12}}$ و به مقدار ۲۹ سانتی‌متر مشاهده شد. اما اعمال میدان مغناطیسی با تغییر صفات آب منجر به بهبود نسبی صفات در مقایسه با تیمارهای بدون میدان مغناطیسی در سطح شوری کمتر از ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر شد. به طوری که تحت تیمار MF_{9400} با شوری مشابه، عمق الگوی توزیع رطوبت در خاک رسی شنی تا ۱۵ سانتی-متر، قطر سطح در بافت لومی رسی شنی و شنی لومی به ترتیب تا ۲۷ و ۲۱/۵ سانتی‌متر و قطر دایره عظیمه در بافت شنی لومی تا ۳۰ سانتی‌متر افزایش یافت. در مجموع با افزایش ابعاد الگوی توزیع رطوبت تحت اعمال میدان مغناطیسی انتظار می‌رود که رشد عمقی ریشه و همچنین حجم ریشه گیاه افزایش یافته و در شرایط افزایش سطح تماس، امکان جذب رطوبت بیشتر وجود دارد که این مطلب همراه با انتخاب گونه‌های گیاهی مقاوم به شوری در مناطق خشک و نیمه خشک منجر به بهبود بهره‌وری مصرف آب خواهد شد.

منابع

پیرسته انوشه، ه.، امام، ی.، کاظمینی، س.ع. و دهقانی، ف. ۱۳۹۶. تأثیر شوری آب آبیاری بر عملکرد جو، رطوبت و شوری خاک در طول فصل رشد و بهره‌وری آب. نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). (۲) ۳۱: ۱۶۷-۱۵۵.

تقی‌زاده قصاب، ا.، صفادوست، آ. و صدقی، م. ۱۳۹۶. تأثیر شوری و سدیم آب آبیاری و بافت خاک بر برخی ویژگی‌های مکانیکی خاک و رطوبت مناسب برای خاک‌ورزی. پژوهش‌های خاک (علوم آب و خاک). (۱) ۳۳: ۱۲۵-۱۱۵.

تقی‌زاده قصاب، ا.، صفادوست، آ. و صدقی، م. ۱۳۹۸. اثر شوری و سدیم بودن آب آبیاری بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک. نشریه مدیریت آب در کشاورزی. (۲) ۶: ۱۴۴-۱۳۳.

جهان‌تیغ، م. و جهان‌تیغ، م. ۱۴۰۱. تأثیر آب شور و نوع آبیاری بر رطوبت و ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز. ۴: ۶۷-۷۸.

خوش‌روش، م. و کیانی، ع. ۱۳۹۴. اثر آب شور مغناطیس شده بر نفوذ پذیری و هدایت الکتریکی بافت‌های مختلف خاک. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. (۴) ۹: ۶۵۴-۶۴۶.

صدقاتی، ن.، حسینی فرد، س.ج. و نیکویی دستجردی، م. ۱۳۹۶. بررسی اثرات استفاده از آب شور مغناطیسی بر خصوصیات شیمیایی و نفوذ پذیری خاک و رشد و عملکرد درختان پسته. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. (۴) ۳۱: ۶۲۳-۶۰۹.

- R., Ahonen, M., Matilainen, J. and Pehkonen, S. 2016. Studies on the magnetic water treatment in new pilot scale drinking water system and in old existing real-life water system. *Journal of Water Process Engineering*. 9: 215–224.
- Lebkowska, M., Rutkowska Narowniak, A., Pajor E. and Pochanke, Z. 2011. Effect of a static magnetic field on formaldehyde biodegradation in wastewater by activated sludge. *Bioresource Technology*. 102: 8777-8782.
- Li, W., Hai, X., Han, L., Mao, J. and Tian, M. 2020. Does urbanization intensify regional water scarcity? Evidence and implications from a megaregion of China. *Cleaner Production*. 244: 1-25.
- Lin, L., Wenbin, J., Xuesong, X. and Pei, X. 2020 A critical review of the application of electromagnetic fields for scaling control in water systems: mechanism, characterization and operation. *NPJ Clean Water*. 3: 25. Doi:10.1038/s41545-020-0071-9
- Lipus, L., Kropce, J. and Crepinsek, L. 2001. Dispersion destabilization in magnetic water treatment. *Colloid and Interface Science*. 236: 60-66.
- Madani, K. 2014. Water management in Iran: What is causing the looming crisis? *Journal of Environmental Studies and Sciences*. 4:315–328.
- Mostafazadeh-Fard, B., Khoshravesh, M., Mousavi, S. F. and Kiani, A.R. 2011. Effects of magnetized water and irrigation water salinity on soil moisture distribution in trickle irrigation. *Irrigation and Drainage Engineering*. 137(6): 398-402.
- Pathak, H., Pramanik, P., Khanna, M. and Kumar, A. 2014. Climate change and water availability in Indian agriculture: impacts and adaptation. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 84 (6): 671–679.
- Raisen, E. 1984. The control of scale and corrosion in water systems using magnetic fields. *Corrosion* 84, National Association of Corrosion Engineers, New Orleans. Paper 117. (https://www.gmxinternational.com/downloads/pdf/c84/Corrosion_84_Paper_117.pdf)
- Ran, C., Hongwei, Y., Jinsong, H. and Wanpeng, Z. 2009. The effects of magnetic fields on water molecular hydrogen bonds. *Molecular Structure*. 938:15-19.
- Rawaa, A., Hichem, H. and Mahmoud, M. 2023. Effects of electromagnetic treated saline water on potatoes (*Solanum tuberosum* L.) physiological and nutritional characteristics. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*. 6(3):247-260. DOI: 10.22077/jhpr.2023.6041.1307
- Siyal, A. A. and Skaggs, T. H. 2009. Measured and simulated soil wetting patterns under porous clay pipe subsurface irrigation. *Agricultural Water Management*. 96: 893-904.
- Gholizadeh, d. M. and Ranjbar, M. 2017. Characteristics and applications of magnetized water as a green technology. *Cleaner Production*.161: 908-921.
- Fitton, N., Alexander, P., Arnell, N., Bajzelj, B., Calvin, K., Doelman, J., Gerber, J.S., Havlik, P. and et al. 2019. The vulnerabilities of agricultural land and food production to future water scarcity. *Global Environmental Change* 58: 101944.
- Hassan, S. M., Ridzwan, A. R., Madlul, N. S. and Umoruddin, N. A. 2018. Exposure effect of magnetic field on water properties in recirculation aquaculture systems (ras). *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*. 49(6):1018-1031.
- Ji, A. C., Xie, X. C. and Liu, W. M. 2007. Quantum magnetic dynamics of polarized light in arrays of micro cavities. *Physical Review Letters*. 99: 183602–183605.
- Kandelous, M. M. and Simunek, J. 2010 Comparison of numerical, analytical, and empirical models to estimate wetting patterns for surface and subsurface drip irrigation. *Irrigation Science*. 28:435-444.
- Karandish, F. 2021. Socioeconomic benefits of conserving Iran's water resources through modifying agricultural practices and water management strategies. *Ambio* 50: 1824-1840. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01534-w>
- Karandish, F. and Hoekstra, A.J. 2017. Informing national food and water security policy through water footprint assessment: the case of Iran. *Water* 9:831.doi:10.3390/w9110831
- Khakhoussy, K., Bouhlel, M., Dahmouni, M. and Hachicha, M. 2023. Performance of different magnetic and electromagnetic water treatment devices on soil and two tomato cultivars. *Scientia Horticulturae*. 322: 112437. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112437>
- 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): 80-89. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0725-7>
- Khoshravesh, M., Mostafazadeh-Fard, B., Mousavi, S. F. and Kiani, A. R. 2011. Effects of magnetized water on the distribution pattern of soil water with respect to time in trickle irrigation. *Soil Use and Management*. 27:15-522. doi: 10.1111/j.1475-2743.2011.00358.x
- Kishore, G., Singh, R. K., Saxena, C. K., Al-Ansari, N., Vishwakarma, D. K. and Heddam, S. 2023. Magnetic treatment of irrigation water and its effect on French bean (*Phaseolus vulgaris*). *Water Reuse*. 0(0): 1-14. doi: 10.2166/wrd.2023.064
- Latva, M., Inkinen, J., Rämö, J., Kaunisto, T., Mäkinen,

- 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.
- Yadollahpour, A., Rashidi, S., Rezaee, Z. and Jalilifar, M. 2014. Magnetic water treatment in environment management, a review of the recent advances and future perspective. *Current World Environment*. 9(3):1008-1016
- Yi, G., Quanjiu, W., Kang, W., Zhang, J., Wei, K. and Yang, L. 2023. Spring irrigation with magnetized water affects soil water-salt distribution, emergence, growth, and photosynthetic characteristics of cotton seedlings in Southern Xinjiang, China. *BMC Plant Biology*. 23: 174. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04199-7>
- Zieliński, M. M., Anna Hajduk, A. and Dębowski, M. 2017. Influence of static magnetic field on removal of biogenic compounds from dairy wastewater in sequencing batch reactor. *Ecological Engineering*. 18(4): 7-12. doi: 10.12912/23920629/74970
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.016>
- Thabet, M. and Zayani, K. h. 2008. Wetting patterns under trickle source in a loamy sand soil of south Tunisia. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*. 3:38-42.
- Toledo, E. J., Ramalho, T. C. and Magriotis, Z. M. 2008. Influence of magnetic field on physical chemical properties of the liquid water: insights from experimental and theoretical models. *Molecular Structure*. 888: 409-415. doi.org/10.1016/j.molstruc.2008.01.010
- Vanclooster, M., Mallants, D., Vanderborght, J., Diels, J., Van Orshoven, J. and Feyen, J. 1995. Monitoring solute transport in a multi-layered sandy lysimeter using time domain reflectometry. *Soil Science Society of America Journal*. 59: 337-344.
- XiaoFeng, P. and Bo, D. 2008. Investigation of changes in properties of water under the action of a magnetic field. *Science in China Series G: Physics, Mechanics & Astronomy*. 51:1621-1632.

Effect of Magnetic Fields on Saline Water Distribution Pattern Under Time in Drip Irrigation

M. Saeidi Abbasabad¹, S. Golestani Kermani^{2*}, M. Mohayjei Nasrabadi³, M. Zounemat-Kermani⁴

Received: Feb.05, 2023

Accepted: Apr.13, 2024

Abstract

The application of magnetic field to improve the effect of salinity on the extent of moisture distribution pattern in the soil, which leads to the improvement of irrigation efficiency, is one of the topics that has received attention in recent years and can play an effective role in the management of water resources in the agricultural sector, especially in dry and semi-dry areas. Therefore, this research investigated the effect of applying a magnetic field on the dimensions of soil moisture distribution pattern using saline water in the drip irrigation system. For this purpose, a physical model was built at the irrigation laboratory of Shahid Bahonar University of Kerman (2022) and experiments were performed as a time-based split-plot design at five levels of magnetic field (MF= 1500, 3600, 5600, 7600 and 9400 Gauss compared to the control sample) and five levels of salinity (S= 1.5, 3, 6, 9 and 12 ds.m⁻¹) at three iterations on three soil textures of sandy clay, sandy clay loam and loamy sand. In the moisture distribution pattern, the maximum wetted width on the soil, maximum depth of wetted zone, maximum wetted width in the soil and maximum depth of wetted width were recorded at ten 30-minute intervals. Analyzing the recorded values indicated the significant effect of magnetic field × salinity × time on the depth of wetted zone, wetted width on the soil and wetted width in the soil at 30-minute intervals in all the three textures. The obtained results showed that salinity reduced the traits and application of magnetic field modified the effect of salinity (at low levels) and improved the traits in comparison with the control treatment. So, in the first 30 minute, the maximum depth of wetted zone was observed in loamy sand texture (25.5 cm) under MF₉₄₀₀S₉ treatment, which is increased by 39.72 and 20% compared to the maximum value recorded in sandy clay and sandy clay loam textures respectively. Also, in the first 30 minutes, the maximum wetted width on the soil and maximum depth of wetted zone were observed in the sandy clay texture under the MF₉₄₀₀S₃ treatment (46.75 and 55.5 cm respectively) which was increased by 29.86% , 24.71% , 12.65% and 11% compare to maximum value recorded in loamy sand and sandy clay loam.

Keywords: Laboratory model, Properties of soil wetting zone, Saline water magnetized, Soil texture

1 - MSc Graduate, Water Engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

2 - Assistant Professor, Water Engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

3 - Assistant Professor, Plant Production and Genetics Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

4 - Associate Professor, Water Engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

(* - Corresponding Author Email: s.golestani@uk.ac.ir)