

مقاله علمی-پژوهشی

مقایسه عملکرد و شبیه‌سازی حرکت، جذب آب و الگوی پخش ریشه ذرت دانه‌ای در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی، زیرسطحی و مالچ پلاستیکی

فاطمه زینالی^۱، سینا بشارت^{۲*}، جواد بهمنش^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۱۷

چکیده

اهمیت ریشه و الگوی جذب آب از خاک توسط آن یکی از عوامل مؤثر در رشد و نمو گیاهان زراعی است. نحوه توزیع ریشه در خاک تحت شرایط مختلف زراعی متفاوت بوده و اعمال مدیریت‌های مناسب منجر به افزایش جذب آب توسط ریشه و افزایش کارایی مصرف آب و در نهایت عملکرد محصول خواهد شد. بدین منظور مطالعه‌ای با هدف بررسی تأثیر روش‌های آبیاری قطره‌ای زیر سطحی (Sb)، آبیاری قطره‌ای سطحی (S) و آبیاری قطره‌ای سطحی همراه با مالچ پلاستیکی (Sm)، که در مطالعات محدودی مورد توجه قرار گرفته است، بر روی عملکرد و کارایی مصرف آب و شبیه‌سازی حرکت آب و جذب ریشه با مدل HYDRUS-2D و خصوصیات آن در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه انجام شد. بر اساس نتایج به دست آمده مشخص شد که تیمار (Sm) و (S) به ترتیب دارای بیشترین میزان عملکرد و کارایی مصرف آب به ترتیب به میزان ۳۶/۶ تن بر هکتار و ۲/۱ کیلوگرم بر مترمکعب بودند. همچنین بیشترین میزان حجم و وزن ریشه مربوط به تیمار (S) به ترتیب به میزان ۳۲۵/۶ گرم و ۲۵۱/۸ میلی‌لیتر بود. بر اساس شبیه‌سازی‌های صورت گرفته مشخص شد که تغییرات رطوبت در تیمار (S) بیشتر در سطح خاک اتفاق افتاده است ولی در تیمار (Sb) این تغییرات در عمق خاک و در تیمار (Sm) در یک عمق مشخص که فاصله کمی از سطح خاک دارد، دیده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بیان آب، رقم ماکسیم، شعاع ریشه، مدل HYDRUS-2D

مقدمه

روشی مناسب برای این امر است. مصرف بهینه آب در کشاورزی نیازمند یک برنامه‌ریزی صحیح و دقیق آبیاری است (Xu et al., 2010). از آنجایی که گیاهان معمولاً در طول دوره رشد خود با شرایط محیطی مختلف چالش برانگیزی از قبیل کمبود آب و تنش خشکی رو به رو می‌شوند (Luu and Maurel, 2005)، صرفه‌جویی در مصرف آب می‌تواند یک راهکار بهینه برای به عمل آوردن محصولات تحت شرایط خشکی می‌باشد.

استفاده از سامانه سامانه آبیاری تحت فشار یکی از روش‌هایی است که علاوه بر حفظ یا افزایش عملکرد محصول، مقدار آب مصرفی را کاهش و کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهد. سامانه‌های آبیاری قطره‌ای به صورت گسترده در مناطق با کمبود آب مورد استفاده قرار گرفته و باعث بهبود کارایی مصرف آب آبیاری در بخش کشاورزی می‌گردد. امروزه با توسعه تکنولوژی و ساخت و توسعه تجهیزات با کیفیت، هزینه اجرای سامانه‌های قطره‌ای کاهش یافته است (Wang et al., 2021). آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نیز به‌عنوان

افزایش جمعیت جهانی، تقاضا برای غذا و فشار برای تأمین انرژی باعث افزایش فشار به منابع آب شیرین در سطح جهان شده است. کشاورزی به عنوان بزرگترین بخش مصرف کننده آب به شمار رفته به طوری که ۷۰ الی ۷۵ درصد از منابع آب شیرین در این بخش مصرف می‌گردد (Zhang et al., 2017). به کارگیری روش‌های مختلف برای صرفه‌جویی در مقدار آب مصرفی در این بخش را می‌توان یکی از راهکارهای مناسب به منظور حفظ منابع آبی شیرین محدود دانست که در نهایت بهبود راندمان و مدیریت آب مصرفی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

*- نویسنده مسئول: (Email: s.besharat@urmia.ac.ir)

به عملیات اجرایی و هزینه‌بر بودن مطالعات میدانی بررسی بیلان آب و حرکت آب در خاک در اراضی کشاورزی برطرف شده و استفاده از مدل‌های مختلف در این زمینه می‌تواند بسیار مؤثر واقع گردد (Forkusta et al., 2009; Simunek et al., 2011). در حال حاضر مدل HYDRUS-2D قادر به شبیه‌سازی صحیح فرآیند انتقال آب در خاک‌های غیر اشباع تحت شرایط مرزی مختلف بوده و بنابراین به عنوان ابزار مهمی برای شبیه‌سازی بیلان آب اراضی کشاورزی به شمار می‌رود (Tang et al., 2011). از مدل HYDRUS-2D عمدتاً برای ارزیابی طرح‌های مختلف آبیاری، مطالعات جذب آب ریشه و تغذیه آب‌های زیرزمینی و تجزیه و تحلیل انتقال آلاینده‌های کشاورزی استفاده می‌شود (Simunek et al., 2016). اگرچه این مدل به صورت گسترده برای محصولات مختلف، سامانه‌های آبیاری و مالچ مورد استفاده قرار گرفته است اما ذرت یکی از مهم‌ترین محصولاتی بوده که به ندرت استفاده از HYDRUS-2D تحت آبیاری قطره‌ای و کاربرد مالچ پلاستیکی مورد مطالعه قرار گرفته است. مدلسازی آبیاری قطره‌ای یکی از کاربردهای مدل HYDRUS-2D بوده و اسکاچ و همکاران نتایج حاصل از مطالعه مربوط به آبیاری قطره‌ای را شبیه‌سازی (Skaggs et al., 2004) و نتایج حاصل از آن را به صورت موفقیت آمیز با نتایج مطالعات میدانی (Simunek et al., 2016) مقایسه کردند. در مطالعه هه و همکاران حرکت آب در لایه‌های مختلف خاک و توزیع تبخیر-تعرق با استفاده از مدل HYDRUS-2D مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که HYDRUS-2D به طور کلی قادر به شبیه‌سازی تبخیر واقعی (Ea)، تعرق (Ta) و تبخیر-تعرق (ETa) در یک مزرعه ذرت تحت آبیاری قطره‌ای با مالچ می‌باشد (He et al., 2018). باریده و بشارت (۱۳۹۵) به ارزیابی مدل HYDRUS-2D در توزیع رطوبت و جذب ریشه در آبیاری جویچه‌ای پرداختند. نتایج نشان داد که مدل در برآورد توزیع رطوبت دقت خوبی را دارد. فراستی و شاکری (۱۳۹۷) نفوذ آب در خاک را با استفاده از نرم‌افزار HYDRUS-1D شبیه‌سازی کردند و مشخص شد که همبستگی متوسطی بین داده‌های مزرعه‌ای و شبیه‌سازی وجود دارد. با این وجود، مطالعات دیگری در این زمینه برای بهبود جذب آب ریشه و افزایش دقت مدل HYDRUS-2D مورد نیاز هستند. بر اساس بررسی مطالعات انجام شده در کمتر مطالعه‌ای سه روش آبیاری قطره‌ای سطحی، آبیاری قطره‌ای سطحی به همراه مالچ و قطره‌ای زیر سطحی به صورت هم‌زمان مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. همچنین تحقیقات محدودی در خصوص شبیه‌سازی این سه روش آبیاری به صورت هم‌زمان به خصوص قطره‌ای زیرسطحی و قطره‌ای سطحی با مالچ انجام شده است. بنابراین این مطالعه با هدف بررسی عملکرد و کارایی مصرف آب و شبیه‌سازی حرکت آب و جذب ریشه و خصوصیات ریشه در سه روش آبیاری قطره‌ای سطحی، قطره‌ای سطحی همراه با مالچ پلاستیکی و قطره‌ای زیرسطحی در مزرعه

یک تکنیک پیشرفته‌تر در بسیاری از مناطق برای آبیاری محصولاتی چون ذرت مورد استفاده قرار می‌گیرد (Wang et al., 2015; Enciso et al., 2021). هر چند آبیاری قطره‌ای باعث کاهش مصرف آب و افزایش کارایی آن می‌گردد، با این وجود از آنجایی که همواره مقادیر قابل توجهی از آب در ردیف‌های آبیاری از طریق تبخیر مستقیم و نیز تعرق به وسیله علف‌های هرز روییده در آن‌ها تلف می‌گردد، به نظر می‌رسد استفاده از یک ورقه پلاستیکی (مالچ) در بین ردیف‌های آبیاری بتواند ضمن حفظ رطوبت خاک از طریق کاهش تبخیر، مانع از رشد علف‌های هرز و در نتیجه کاهش آب مصرفی شود (جلینی، ۱۳۹۰). مالچ پلاستیکی می‌تواند منجر به افزایش دمای خاک و بهبود رطوبت خاک (Liu et al., 2015). کاهش تبخیر از سطح خاک (Li et al., 2013)، بهبود رشد گیاه و افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب گردد (Mbah et al., 2009; Yaghi et al., 2013). استفاده توأمان از مالچ‌های پلاستیکی و آبیاری قطره‌ای از طریق افزایش دمای خاک باعث رشد سریع محصولات کشاورزی در مراحل اولیه رشد می‌گردند (Zhao et al., 2015). مطالعه دیگری که توسط Wang et al. (2011a) صورت گرفت نشان داد که استفاده از پوشش‌های مالچ به طور معنی‌داری میزان تبخیر در مراحل اولیه رشد سیب‌زمینی را کاهش داده و میزان آب موجود در خاک را در حد بالایی نگه می‌دارد ولی در مراحل انتهایی رشد وجود پوشش مالچ باعث افزایش بیش از اندازه دمای خاک شد که کاهش عملکرد را به دنبال داشت.

با وجود راهکارهای مختلف تشریح شده در فوق، راهکارهای مختلف دیگری برای بهبود کارایی جذب آب و مواد غذایی و در نتیجه افزایش عملکرد محصول به ازای آب مصرفی کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. محققین مختلفی به منظور افزایش تولید گیاهان زراعی از جمله ذرت در محیط‌های نامساعد مطالعات زیادی بر روی خصوصیات فیزیولوژیکی بیومس هوایی گیاه مانند تغییر در زاویه برگ‌ها، شکل قرارگیری برگ‌ها، بیومس هوایی بیشتر و مقاومت در برابر انواع بیماری‌ها انجام داده‌اند (Ku et al., 2015; Humri et al., 2019; Mazaheri et al., 2010). با این وجود یک محدودیت عمده در بهبود کارایی جذب آب و مواد غذایی، پیچیدگی سیستم ریشه بوده (York et al., 2013) که در برابر شرایط محیطی مختلف بسیار انعطاف‌پذیر و حساس می‌باشد (Lynch, 2018; Bao et al., 2014). Morris et al., 2017. با افزایش ظرفیت جذب توسط ریشه عملکرد گیاه و کارایی مصرف آب می‌تواند بهبود یابد و همچنین آلودگی آب‌های زیرزمینی نیز می‌تواند کاهش یابد (Feddes and Raats, 2004; Palta et al., 2007). با وجود اهمیت ویژه در مطالعات خصوصیات ریشه و حرکت آب در خاک، بررسی پارامترهای میدانی آن نیازمند صرف زمان، هزینه و دشوار بوده و ولی امروزه به دلیل پیشرفت مدل‌های مختلف در این زمینه مشکلات ناشی مربوط

تحت کشت گیاه ذرت انجام گرفت.

عملیات زراعی

پس از تسطیح و آماده‌سازی زمین اقدام به کشت ذرت در عمق ۵ الی ۷ سانتی‌متری در تاریخ ۱۶ تیر به‌صورت دستی با قرار دادن دو الی سه بذر در هر چاله شد. فاصله ردیف‌های کشت ۵۰ سانتی‌متر و فاصله هر گیاه روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. هر کرت شامل سه ردیف لوله آبیاری و شش ردیف ذرت بود به طوری‌که هر لوله به صورت یک در میان دو ردیف ذرت را آبیاری می‌کرد. میزان آب مصرفی تیمارها با کنتور حجمی در ورودی هر کرت اندازه‌گیری شد. تمام عملیات زراعی و میزان آبیاری در همه تیمارها بطور یکسان انجام پذیرفت. پس از جوانه‌زنی بذرها در تیمار آبیاری قطره‌ای سطحی با مالچ، سوراخ‌هایی در مالچ پلاستیکی در محل جوانه‌زنی بذرها جهت رشد بوته و جلوگیری از پوسیدگی جوانه‌ها ایجاد شد. وجین علف‌های هرز در چند نوبت در طول دوره رشد به صورت دستی و بدون استفاده از هرگونه علف‌کش شیمیایی صورت گرفت. میزان کود استفاده شده بر اساس آزمایش‌های خاک شامل کود دامی پوسیده به میزان ۳/۴ کیلوگرم بر مترمربع، کود اوره به میزان ۱۵ کیلوگرم بر مترمربع در ۳ نوبت آبیاری و کود سوپرفسفات تریپل به میزان ۱۳ کیلوگرم بر مترمربع به صورت مخلوط با خاک مورد استفاده قرار گرفت. پس از استقرار کامل گیاهان اقدام به تنک کردن گیاهان اضافی شد به‌صورتی که گیاهان در تمامی کرت‌ها با در نظر گرفتن وجود یک بوته در هر نقطه از محل کاشت و فاصله ۳۰ سانتی‌متری بین گیاهان تنک شدند و در نهایت در تاریخ ۵ آبان برداشت محصول صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مطالعه در سال ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه با عرض جغرافیایی ۳۷/۶۷ درجه و طول جغرافیایی ۴۴/۹۷ درجه و ارتفاع از سطح دریا معادل با ۱۳۶۴ متر و در مساحتی بالغ بر ۷۰۰ مترمربع انجام شد. منطقه مورد مطالعه با متوسط بارش سالانه ۳۰۸ میلی‌متر و حداکثر و حداقل دمای بلندمدت ۱۸/۱ و ۵/۴ درجه سانتی-گراد دارای اقلیم نیمه‌خشک است.

قبل از انجام مطالعه اقدام به نمونه‌برداری از خاک مزرعه در سه عمق عمق (۰-۳۰) سانتی‌متری، (۳۰-۶۰) سانتی‌متری و (۶۰-۹۰) سانتی‌متری به طور زیگزاگ در طول قطر زمین انتخابی از ۱۵ نقطه مختلف بصورت تصادفی توسط مته نمونه‌برداری به صورت دستی شد. سپس نمونه‌ها با هم مخلوط گردیدند و یک نمونه مرکب از هر عمق در نظر گرفته شد و در آزمایشگاه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج تجزیه نمونه خاک زمین مورد آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. آب موردنیاز برای آبیاری تیمارهای تحت مطالعه از چاه موجود در مزرعه تأمین شد. که خصوصیات شیمیایی آن در جدول ۲ ارائه شده است. همچنین رطوبت در نقاط ظرفیت زراعی^۱ و نقطه پژمردگی دائم^۲ از طریق اندازه‌گیری با صفحات فشاری به‌دست آمد.

تیمارهای تحت مطالعه

این مطالعه به منظور بررسی عملکرد و کارایی مصرف آب و شبیه‌سازی حرکت آب و جذب ریشه و خصوصیات آن در سه روش آبیاری سطحی، قطره‌ای سطحی و زیرسطحی همراه با کاربرد مالچ پلاستیکی در ذرت دانه‌ای رقم ماکسیما بصورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای در نظر گرفته‌شده در این مطالعه شامل آبیاری قطره‌ای زیر سطحی (Sb)، آبیاری قطره‌ای سطحی (S) و آبیاری قطره‌ای سطحی همراه با مالچ پلاستیکی (Sm) بود. بدین‌منظور کرت‌هایی با طول ۲۰ متر و عرض ۳ متر ایجاد و در هر کرت ۳ لوله آبیاری با فاصله ۱ متری از هم در سطح زمین در تیمارهای آبیاری قطره‌ای سطحی و آبیاری قطره‌ای سطحی با مالچ پلاستیکی و در تیمار آبیاری قطره‌ای زیر سطحی در عمق ۳۰ سانتی-متری از سطح زمین کار گذاشته شد. لوله‌های بکار رفته در این مطالعه دارای قطر ۲۰ میلی‌متر، ضخامت ۱/۰۵ میلی‌متر و قطر چکان‌های خودشوینده و تنظیم‌کننده فشار به فاصله ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر و شدت آبدهی دو لیتر در ساعت بودند.

جدول ۱- برخی از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه

نوع آزمایش	عمق نمونه‌برداری		
	۹۰-۶۰	۶۰-۳۰	۳۰-۰
شوری (ds/m)	۰/۸۵	۰/۹۵	۰/۹
اسیدیته (بی‌بعد)	۸/۲	۸/۲	۸/۳
درصد شن	۱۰	۱۰	۱۴
درصد سیلت	۳۶	۳۸	۳۸
درصد رس	۵۴	۵۲	۴۸
کلاس بافت	clay	clay	clay
ازت کل (درصد)	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۹
فسفر قابل جذب (ppm)	۱/۵	۲/۸	۵/۹۷
پتاسیم قابل جذب (ppm)	۶۰	۳۰۰	۴۴۲
درصد رطوبت حجمی (FC)	-	۳۸/۳	۳۷/۲
درصد رطوبت حجمی (PWP)	-	۲۲/۵	۲۱/۸

1- Filed Capacity

2- Permanent Wilting Point

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب آبیاری

اسیدیته (pH)	شوری (ds/m)	SAR (meq/lit) ^{-0.5}	(meq/lit)						
			CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	Mg ⁺²	Ca ⁺²	Na ⁺
۷/۳	۰/۶۵	۰/۱۶	-	۵/۸	۰/۴	۰/۸	۳/۷	۳/۳	۰/۳



شکل ۱- مزرعه مورد مطالعه تحت مدیریت‌های اعمال شده

اندازه‌گیری‌های میدانی

برای اندازه‌گیری خصوصیات ریشه در طول دوره رشد گیاه (۴۴، ۵۴، ۶۶، ۸۲ و ۱۰۸ روز پس از کاشت) در ۴ مرحله از تکرارهای هر تیمار به طور تصادفی چند نمونه برداشته شد که این خصوصیات شامل عمق ریشه، شعاع ریشه، وزن ریشه و حجم ریشه (به روش ارشمیدس) بود. برای اندازه‌گیری خصوصیات ریشه اطراف ریشه را به مساحت ۱ متر مربع به وسیله بیل خالی کرده سپس به آرامی به طوری که به ریشه‌ها آسیبی نرسد با قلم و دست، خاک اطراف ریشه و همچنین چسبیده به ریشه‌ها تخلیه و تمیز شد سپس به آزمایشگاه منتقل شده و بعد از شست‌وشو در صافی‌های پلاستیکی با آب خصوصیات وزن و حجم اندازه‌گیری شد. همچنین برای اندازه‌گیری

عمق و شعاع ریشه پروفیلی به عمق یک متری زده شد تا عمق توسعه ریشه و شعاع نسبی ریشه‌ها در هر تیمار به دست آید. به‌منظور اندازه‌گیری رطوبت خاک نمونه‌هایی به صورت دستی با اگر در که در عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر برداشت شد. این اندازه‌گیری‌ها در زمان‌های زمان قبل و بعد از آبیاری صورت گرفت. برای تحلیل تغییرات رطوبت در دو نقطه کنار گیاه و کنار لوله اندازه‌گیری رطوبت نیز انجام شد. این اندازه‌گیری‌ها در قسمت بعدی برای واسنجی و اعتبار سنجی پارامترهای ورودی نرم‌افزار استفاده شده است.

پس از کامل شدن دوره رشد و رسیدگی فیزیولوژیکی به‌منظور تعیین عملکرد ۴ ردیف از وسط هر کرت جهت نمونه برداری انتخاب

می‌باشند. ویژگی‌های هیدرولیکی خاک توسط رابطه ون گنوختن - معلم بیان شده است:

$$K(h) = S_e^1 \left[1 - \left(1 - S_e^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \quad (4)$$

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + |\alpha h|^n)^m}, & h < 0 \\ \theta_s, & h \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}, \quad m = 1 - \frac{1}{n} \quad (6)$$

که در آن θ_s مقدار رطوبت اشباع، θ_r مقدار رطوبت باقی مانده و l ، n و α پارامترهای شکل می‌باشند. نتایج به‌دست‌آمده از آزمایشات خاک، وارد مدل ROSETTA شد. شرایط اولیه بر اساس اندازه‌گیری - های انجام‌شده در مزرعه وارد مدل گردید. شرط مرزی بالا به صورت جریان ثابت و اتمسفریک و شرط مرزی پایین زهکش آزاد در نظر گرفته شد.

تحلیل نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد انجام شد سپس با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون، ارتباط بین اجزای عملکرد با یکدیگر و سطح معنی‌داری آن - ها تعیین و اقدام به تهیه جدول ماتریس همبستگی بین صفات شد و در ادامه رسم نمودارها با استفاده از برنامه Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفاتی نظیر شعاع ریشه، عمق ریشه، وزن ریشه، حجم ریشه، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب تحت شرایط مطالعه موردنظر در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی

میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییرات
کارایی مصرف آب	عملکرد دانه	حجم ریشه	وزن ریشه	عمق ریشه	شعاع ریشه		
۰/۰۰۱ ^{ns}	۴/۳۹ ^{ns}	۱۹۰ ^{ns}	۱۰۱/۹ ^{ns}	۹/۳ ^{ns}	۵/۴ ^{ns}	۲	بلوک
۲۸۵ ^{**}	۵۲/۷۱ ^{**}	۱۳۵۴۷ ^{**}	۱۸۶۹۹ ^{**}	۷۰/۳ ^{ns}	۱۸۷/۴ [*]	۲	روش آبیاری
۴۲/۱	۲/۸۲	۲۵۸	۲۷/۴	۳۰/۱	۱۱/۴	۴	خطا
۱۸/۰۶	۵/۱۶	۸/۷	۲/۲	۱۰/۱	۹/۴۵		ضریب تغییرات

مقدار ۴۲/۳ سانتی متر و کمترین مقدار آن در تیمار (Sb) به مقدار ۲۷ سانتی‌متر به دست آمد. در بین تیمارهای (Sm) و (S) اختلاف معنی داری وجود ندارد اما بین این دو تیمار (Sm) و (S) با تیمار (Sb) اختلاف معنی‌دار بود. در تیمار (S) به دلیل اینکه لوله‌های آبیاری در سطح خاک کشیده شده بود ریشه برای جذب آب به صورت افقی و

شدند. بدین‌صورت که فاصله ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای هر کرت و یک ردیف از هر طرف کرت به عنوان اثر حاشیه‌ای در نظر گرفته شد. نمونه‌ها به‌طور تصادفی از سطح یک مترمربع به صورت کف‌بر برداشت و با استفاده از روابط زیر میزان عملکرد دانه (قنبری و همکاران، ۱۳۹۱) و کارایی مصرف آب (Liu et al., 2015b) محاسبه شدند.

$$y = \frac{S_A \times K_S \times G_w \times P_a}{10^5} \quad (1)$$

در این رابطه y عملکرد دانه بر حسب تن در هکتار، S_A تعداد بوته در واحد سطح، K_S تعداد دانه در بلال و G_w وزن هزار دانه بر حسب گرم، P_a تعداد بلال در بوته می‌باشد.

$$WUE = \frac{Y}{ET} \quad (2)$$

که در آن WUE کارایی مصرف آب بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب، Y میزان عملکرد کل کیلوگرم در هکتار و ET تبخیر- ترقط طی فصل زراعی می‌باشد.

مدل HYDRUS-2D

شبیه‌سازی حرکت رطوبت خاک با استفاده از مدل-HYDRUS-2D انجام گرفت. معادله ریچاردز، معادله حاکم بر جریان آب در یک محیط همگن و ایزوتروپیک خاک است که به شرح زیر می‌باشد (Simunek et al., 2006).

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r K(h) \frac{\partial h}{\partial r} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h) \frac{\partial h}{\partial z} + K(h) \right] \quad (3)$$

مقدار رطوبت حجمی، θ که در این معادله h بار فشاری آب، t زمان، x مختصات افقی، z مختصات عمودی و K هدایت هیدرولیکی

شعاع ریشه

نتایج حاصل از آنالیز واریانس جدول ۳ نشان می‌دهد اثر بلوک روی شعاع ریشه معنی‌دار نیست. اثر روش‌های آبیاری روی این شاخص در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار گزارش شد. مقایسه مقادیر میانگین شکل ۲ نشان داد بیشترین شعاع ریشه در تیمار (Sm) به

خطوط لوله‌های آبیاری قطره‌ای که عامل اصلی توزیع رطوبت در لایه‌های سطحی و افقی خاک بوده میزان وزن ریشه‌ها کاهش می‌یابد (Zuo et al., 2013)، که با دلیل کاهش وزن ریشه در تیمار (Sb) نسبت به تیمار (S) در این مطالعه هم‌خوانی دارد.

حجم ریشه

نتایج حاصل از آنالیز واریانس جدول ۳ نشان داد اثر بلوک روی حجم ریشه معنی‌دار نبوده اما اثر روش‌های آبیاری روی این شاخص در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار گزارش شد. مقایسه مقادیر میانگین شکل ۲ نشان داد که بیشترین حجم ریشه در تیمار (S) به مقدار ۲۵۱/۸ میلی‌لیتر و کمترین مقدار آن در تیمار (Sm) به مقدار ۱۱۷/۴ میلی‌لیتر گزارش شد. در بین سطوح آبیاری از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود داشت (شکل ۲). همانند وزن ریشه، حجم ریشه در تیمار (S) بیشتر از دو تیمار دیگر بود. دلیل این امر ناشی از وجود تهویه مناسب در تیمار (S) نسبت به تیمار (Sm) و رطوبت بیشتر در لایه‌های بالایی در تیمار (S) نسبت به تیمار (Sb) عنوان کرد. لی و همکاران نیز در مطالعه خود دلیل بالا بودن حجم ریشه در تیمارهای آبیاری قطره‌ای را وجود تهویه کافی عنوان کرده‌اند که با نتایج این مطالعه هم‌خوانی دارد (Li et al., 2017).

عملکرد دانه

نتایج حاصل از آنالیز واریانس جدول ۳ نشان داد که اثر بلوک روی عملکرد دانه معنی‌دار نیست. اثر روش‌های آبیاری روی این شاخص در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. مقایسه مقادیر میانگین شکل ۳ نشان داد بیشترین عملکرد دانه در تیمار (Sm) به مقدار ۳۶/۶ تن در هکتار با اختلاف معنی‌دار نسبت به دو تیمار دیگر و کمترین مقدار آن در تیمار (S) به مقدار ۲۸/۳ تن در هکتار به دست آمد (شکل ۳). هر سه سطح تیمار دارای اختلاف معنی‌دار با یکدیگر هستند. دانگ - لیانگ و همکاران بیشترین عملکرد دانه را ۶/۸ تن در هکتار و کمترین آن را ۲/۸۸ تن در هکتار گزارش کردند (Dong et al., 2020). ژانگ و همکاران در مطالعه‌ای دو ساله با مقایسه شرایط بدون مالچ و کاربرد مالچ پلاستیکی تحت آبیاری قطره‌ای گزارش کردند که در شرایط استفاده از مالچ میزان عملکرد دانه به ترتیب در سال اول و دوم به میزان ۲۸/۳ و ۸۷/۵ درصد در مقایسه با شرایط بدون مالچ افزایش یافت. ایشان دلیل این امر را افزایش دمای خاک و میزان رطوبت خاک در مراحل اولیه رشد عنوان کردند که با نتایج به‌دست آمده در این مطالعه مطابقت دارد (Zhang et al., 2017).

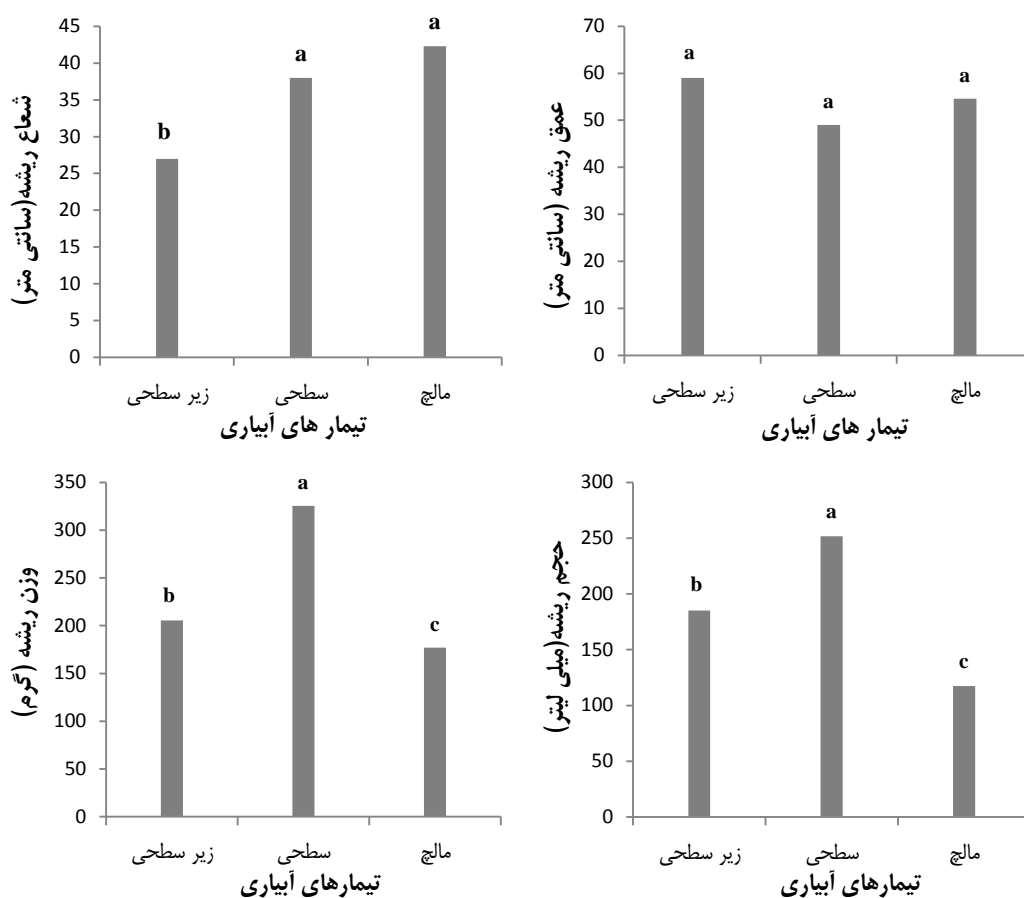
در پهنا گسترش پیدا کرده است ولی در آبیاری زیرسطحی لوله‌ها در عمق ۳۰ سانتی‌متری قرار داشته و ریشه برای جذب آب، بیشتر در عمق رشد کرده است. همچنین در مورد (Sm) که شعاع ریشه در آن بیشتر از (Sb) بود به نظر می‌رسد به دلیل نحوه کارگذاری لوله‌ها در سطح خاک در این تیمار ریشه به صورت افقی بیشتر از آبیاری قطره‌ای زیر سطحی رشد داشته است. نتایج به‌دست آمده در این مطالعه با نتایج لی و همکاران هم‌خوانی دارد (Li et al., 2017).

عمق ریشه

نتایج حاصل از آنالیز واریانس جدول ۳ نشان داد اثر بلوک و روش‌های آبیاری روی عمق ریشه معنی‌دار نیست. مقایسه مقادیر میانگین ارائه شده در شکل ۲ نشان داد بیشترین عمق ریشه در تیمار (Sb) به مقدار ۵۹ سانتی‌متر و کمترین مقدار آن در تیمار آبیاری (S) به مقدار ۴۹ سانتی‌متر بدست آمد اما در بین تیمارهای آبیاری از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در (Sb) به دلیل اینکه لوله‌های آبیاری در عمق ۳۰ سانتی‌متری زمین کار گذاشته شده بود ریشه برای جذب آب، بیشتر در عمق رشد کرده است ولی در (S) به دلیل اینکه لوله‌های آبیاری در سطح خاک کشیده شده بود ریشه برای جذب آب به صورت افقی و در پهنا گسترش پیدا کرده است. همچنین در مورد تیمار (Sb) که عمق ریشه در آن بیشتر از (Sm) بود به نظر می‌رسد مالچ پلاستیکی به دلیل اینکه تبخیر از سطح را کاهش داده در نتیجه میزان رطوبت در لایه سطحی خاک بیشتر بوده و لذا تجمع ریشه‌های تیمار (Sm) بیشتر در لایه سطحی خاک اتفاق می‌افتد.

وزن ریشه

نتایج حاصل از آنالیز واریانس جدول ۳ نشان داد اثر بلوک روی وزن ریشه معنی‌دار نبوده اما اثر روش‌های آبیاری روی این شاخص در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار گزارش شد. مقایسه مقادیر میانگین شکل ۲ نشان داد بیشترین وزن ریشه در تیمار (S) به مقدار ۳۲۵/۶ گرم و کمترین مقدار آن در تیمار (Sm) به مقدار ۱۷۷ گرم گزارش شد. در بین تیمارهای آبیاری از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود دارد (شکل ۲). وزن ریشه در تیمار (S) نسبت به تیمار (Sm) و (Sb) بیشتر است. در (S) به دلیل تهویه مناسب، وزن ریشه بیشتر از تیمارهای (Sm) و (Sb) بوده و همچنین در تیمار (Sb) به دلیل اینکه در خاک سطحی رطوبت کم بوده در نتیجه نسبت به (S) ریشه دارای وزن کمتری بود و در تیمار (Sm) به دلیل وجود مالچ پلاستیکی تهویه خاک مناسب نبوده و ریشه رشد خوبی نداشت است. ژو و همکاران در مطالعه خود بر روی سیستم ریشه ذرت تحت آبیاری قطره‌ای گزارش کردند که با افزایش عمق و ایجاد فاصله بیشتر از



شکل ۲- میانگین خصوصیات ریشه تحت روش‌های مختلف آبیاری

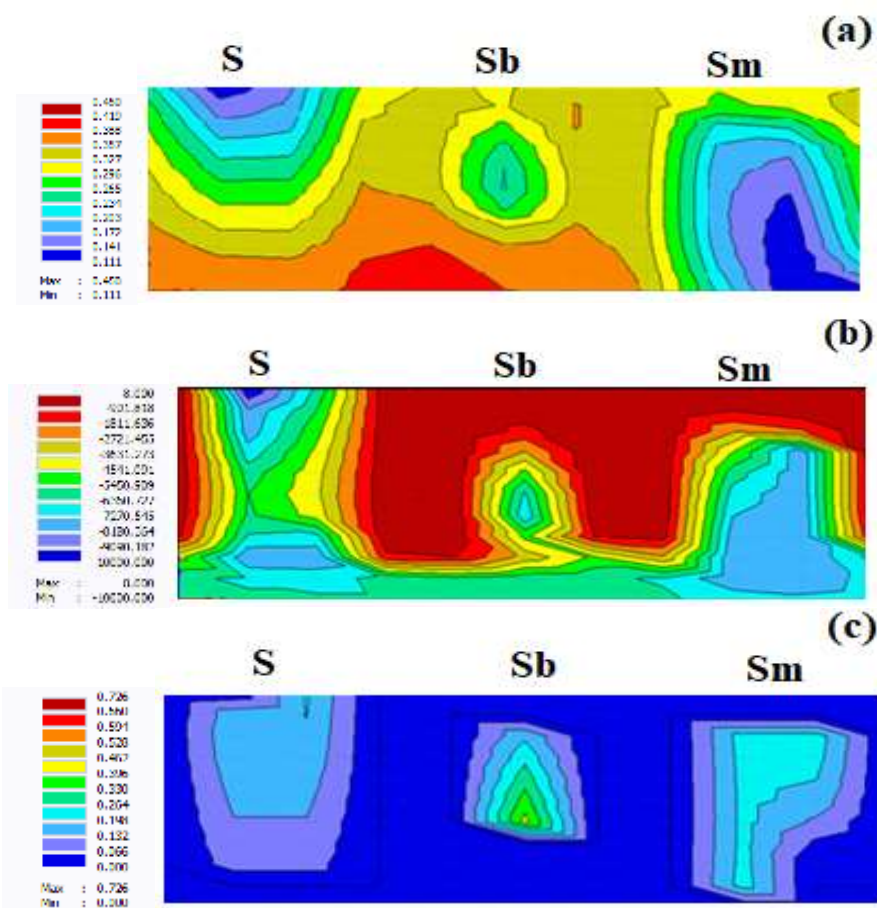
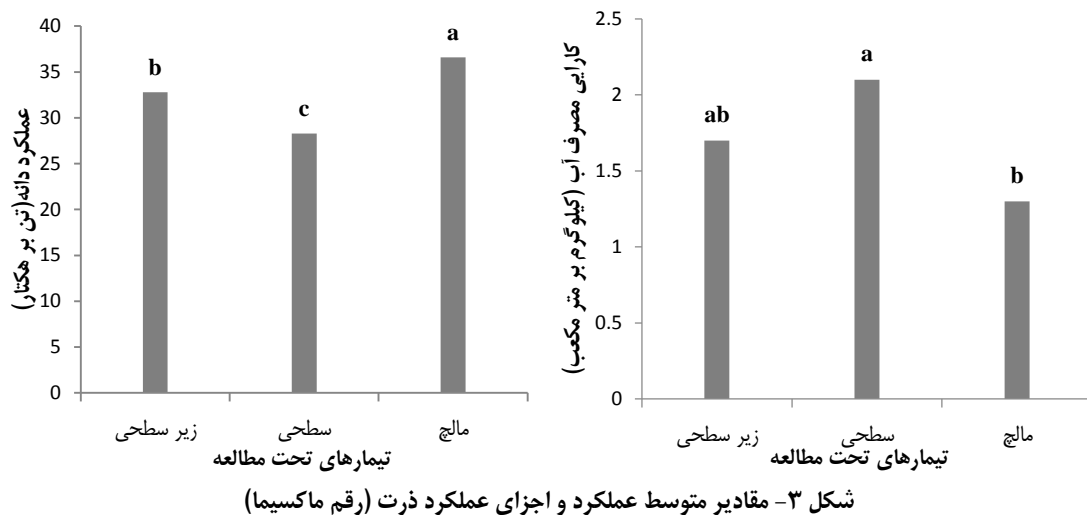
سامانه قطره‌ای زیرسطحی در مقایسه با قطره‌ای سطحی بیشتر گزارش شد که با نتایج این مطالعه مطابقت ندارد (Thamer et al., 2021).

شبیه‌سازی رطوبت خاک

در شکل ۴ شبیه‌سازی نرم افزار HYDRUS-2D را به ترتیب برای رطوبت، پتانسیل و جذب ریشه نشان می‌دهد. بر اساس نتایج رطوبت و پتانسیل می‌توان زمان رسیدن تنش به ریشه را مشخص نمود. بدیهی است با معلوم بودن ناحیه فعال جذب ریشه از نظر عمق شکل ۴- c می‌توان تغییرات رطوبت در این ناحیه‌ها را به صورتی کنترل نمود که بیشترین کارایی مصرف آب حاصل گردد. همانطور که در شکل ۴- a و ۴- b نشان داده شده است تغییرات رطوبت در تیمارهای آبیاری، متفاوت گزارش شد. بر این اساس تغییرات رطوبت در تیمار (S) بیشتر در سطح خاک اتفاق افتاده است ولی در تیمار (Sb) این تغییرات در عمق خاک و در تیمار (Sm) در یک عمق مشخص که فاصله کمی از سطح خاک دارد دیده می‌شود.

کارایی مصرف آب

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۳ مشخص شد که اثر بلوک روی کارایی مصرف آب معنی‌دار نبوده اما اثر روش‌های آبیاری روی این شاخص در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار گزارش شد. مقایسه مقادیر میانگین کارایی مصرف آب نشان داد بیشترین کارایی مصرف آب در تیمار (S) و کمترین آن مربوط به تیمار (Sb) بود (شکل ۳). ژانگ و همکاران با انجام مطالعه‌ای طی سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ به مقایسه شرایط بدون مالچ و کاربرد مالچ پلاستیکی تحت آبیاری قطره‌ای پرداختند. بر اساس نتایج به‌دست آمده مشخص شد که استفاده از مالچ میزان کارایی مصرف آب را به ترتیب در سال اول و دوم به میزان ۲۳ و ۹۱ درصد در مقایسه با شرایط بدون مالچ افزایش داد که این امر ناشی از افزایش دمای خاک و میزان رطوبت خاک در مراحل اولیه رشد بوده که با نتایج به‌دست آمده در این مطالعه مطابقت دارد (Zhang et al., 2017). مقدار عددی کارایی مصرف آب در مطالعه حاضر بین تیمارهای قطره‌ای سطحی و زیرسطحی دارای اختلاف بوده اما این اختلاف معنی‌دار گزارش نشد (شکل ۲). تامر و همکاران در مطالعه خود گزارش کردند که میزان کارایی مصرف آب



که با نتایج سوربون و همکاران همخوانی دارد (Thorburn et al., 2015). نتایج شبیه‌سازی با نرم‌افزار HYDRUS-2D در مطالعات مختلف نشان داده است که این نرم‌افزار را می‌توان برای شرایط

با توجه به نمودارهای تغییرات رطوبت در نقاط مختلف محیط ریشه، متوسط تغییرات رطوبت در عمق ۸۵ سانتی‌متر دارای نوسانات حداقل و بیشترین نوسانات به عمق صفر تا ۵۰ سانتی‌متر مربوط بود

جلینی، م. ۱۳۹۰. بررسی اثر سطوح مختلف آب و مالچ پلاستیک بر عملکرد و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی در روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی. نشریه آب و خاک. ۲۵(۵): ۱۰۳۲-۱۰۲۵.

فراستی، م. و شاکری، ح. ۱۳۹۷. شبیه‌سازی نفوذ آب در خاک با استفاده از نرم‌افزار Hydrus1D و داده‌های صحرائی. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۵(۳): ۱۲۸-۱۱۳.

قنبری، ا.، روشنی، ح. و توسلی، ا. ۱۳۹۱. اثر تاریخ کاشت بر برخی خصوصیات زراعی و عملکرد دانه ارقام گندم زمستانه. نشریه علمی-پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۲(۲۲): ۱۴۴-۱۲۷.

لیاقت، ع.م.، پورغلام آمیجی، م. و مشهوری‌نژاد، پ. ۱۳۹۷. اثر آبیاری سطحی و زیرسطحی با آب شور و مالچ بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت و توزیع املاح در خاک. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۳۲(۴): ۶۶۱-۶۷۴.

Bao, Y., Aggarwal, P., Robbins, N.E., Sturrock, C.J., Thompson, M.C., Tan, H.Q., Tham, C., Duan, L., Rodriguez, P.L., Vernoux, T., Mooney, S.J., Bennett, M.J. and Dinneny, J.R., 2014. Plant roots use a patterning mechanism to position lateral root branches toward available water. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 111 (25): 9319-9324.

Cai, Y., Wu, P., Zhang, L., Zhu, D., Chen, J.W.S. and Zhao, X. 2017. Simulation of soil water movement under subsurface irrigation with porous ceramic emitter. *Agricultural Water Management*. 192: 244-256.

Dong-Liang, Q., Tian-Tian, H. and Xue, S. Effects of nitrogen application rates and irrigation regimes on grain yield and water use efficiency of maize under alternate partial root-zone irrigation. *Journal of Integrative Agriculture*. 19(0): 2-16.

Enciso, J., Jifon, J., Anciso, J. and Ribera, L. 2015. Productivity of onions using subsurface drip irrigation versus furrow irrigation systems with an internet based irrigation scheduling program. *International Journal of Agronomy*. 2015:1-6.

Feddes, R., Raats, P. 2004. Parameterizing the Soil-Water-Plant Root System. *Unsaturated-Zone Modeling: Progress, Challenges, and Applications* 6. Wageningen UR Frontis, pp. 95-141.

Forkutsa, I., Sommer, R., Shirokova, Y.I., Lamers, J.P.A., Kienzler, K. and Tischbein, B. 2009. Modeling irrigated cotton with shallow groundwater in the Aral Sea Basin of Uzbekistan: I. Water dynamics. *Irrigation Science*. 27: 331-346.

Hurni, S., Scheuermann, D., Krattinger, S.G., Kessel, B., Wicker, T., Herren, G., Fitze, M.N., Breen, J.,

مختلف آبیاری مورد استفاده قرار داد تا بدین صورت می‌توان میزان کارایی مصرف آب، تلفات آبیاری و در نهایت عملکرد محصول را افزایش داد. محمدی و همکاران نتیجه‌گیری کردند با کاهش دبی جریان و افزایش مدت زمان آبیاری در جذب آب ریشه افزایش میزان تلفات آب کاهش می‌یابد (Mohammadi et al., 2019). همچنین کای و همکاران در تحقیقی دریافتند با کاهش مدت زمانی آبیاری می‌توان تلفات ناشی از نفوذ عمقی را در آبیاری کاهش داد. نتایج این تحقیق نشان داد مدیریت هم‌زمان دبی و مدت زمان آبیاری یک راهکار مناسب در کاهش میزان تلفات عمقی و توزیع مناسب رطوبت در منطقه توسعه ریشه گیاه در آبیاری قطره‌ای بود (Cai et al., 2017).

شبیه‌سازی در دوره‌های مختلف آبیاری انجام گرفت ولی در این بخش فقط بحرانی‌ترین حالت و بیشترین تغییرات به‌وجودآمده نشان داده شده است تا مقایسه بهتری بین تیمارها بتوان انجام داد. با وجود میزان رطوبت و آبیاری که در تیمارهای مختلف انجام شده است با این وجود تغییرات رطوبت و پتانسیل نسبت به عمق متفاوت ثبت شده است که این امر ناشی از تغییرات رشد ریشه در تیمارها مختلف می‌تواند باشد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه تأثیر روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی و قطره‌ای سطحی همراه با مالچ بر روی عملکرد و کارایی مصرف آب و خصوصیات ریشه و الگوی جذب آب توسط آن مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان ادعای داشت که انتخاب سامانه‌های آبیاری مناسب متناسب با نوع خاک و گیاه و اطلاع از نحوه توزیع رطوبت توسط سیستم آبیاری در خاک منجر به کاهش تلفات ناشی از تبخیر و نفوذ عمقی شده و از طرفی می‌توان از حداقل رطوبت ممکن قابل‌دسترس حداکثر مقدار عملکرد را به دست آورد. از آنجایی که کشاورزان در کشوری مانند ایران همواره در طول فصل رشد گیاهان با کمبود منابع آبی مواجه می‌گردند ارائه چنین راهکارهایی می‌تواند منجر به صرفه‌جویی حداکثری در مصرف آب و افزایش سهم آب مولد (تعرق) گردد.

منابع

باریده، ر. و بشارت، س. ۱۳۹۵. اندازه‌گیری و ارزیابی مدل HYDRUS-2D در توزیع رطوبت و جذب ریشه در آبیاری جویچه‌ای. اولین کنفرانس بین‌المللی آب، محیط‌زیست و توسعه پایدار. گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه محقق اردبیلی، مهرماه ۱۳۹۵.

- Morris, E.C., Griffiths, M., Golebiowska, A., Mairhofer, S., Burr-Hersey, J., Goh, T., von Wangenheim, D., Atkinson, B., Sturrock, C.J., Lynch, J.P., Vissenberg, K., Ritz, K., Wells, D.M., Mooney, S.J. and Bennett, M.J. 2017. Shaping 3D root system architecture. *Current Biology*. 27 (17): 919–930.
- Palta, J.A., Fillery, I.R.P. and Rebetzke, G.J. 2007. Restricted-tillering wheat does not lead to greater investment in roots and early nitrogen uptake. *Field Crops Research*. 104 (1-3): 52–59.
- Šimůnek, J., van Genuchten, M.T. and Šejna, M. 2011. The HYDRUS software package for simulating two- and three-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. Technical Manual, Version 2. PC Progress, Prague, Czech Republic.
- Šimůnek, J., van Genuchten, M.T., Šejna, M., 2016. Recent developments and applications of the HYDRUS computer software packages. *Vadose Zone*. 15: 25.
- Skaggs, T., Trout, T., Šimůnek, J. and Shouse, P. 2004. Comparison of HYDRUS-2D simulations of drip irrigation with experimental observations. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 130: 304–310.
- Tang, Y. 2011. Application of HYDRUS-1D/2D in process of soil water infiltration simulation. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*. 39: 22390–22393.
- Thamer, T.Y., Nassif, N. and Almaeini, A.H. 2021. The productivity of Maize (*Zea mays* L.) water using efficacy and consumptive use under different irrigation systems. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*. 9(1): 90-103.
- Thorburn, P.J., Bristow, K.L. and Cook, F.J. 2015. Improving Trickle Irrigation: Better Matching Trickle Systems Design to Soils. *Acta horticulture*. 123:34-46.
- Wang, F.X., Wu, X., Shock, C.C., Chu, L., Gu, X. and Xue, X. 2011a. Effects of drip irrigation regimes on potato tuber yield and quality under plastic mulch in arid Northwestern China. *Field Crops Research*. 122: 78–84.
- Wang, T.C., Wei, L., Wang, H.Z., Ma, S.C. and Ma, B.L. 2011b. Responses of rainwater conservation, precipitation-use efficiency and grain yield of summer maize to a furrow-planting and straw-mulching system in Northern China. *Field Crops Research*. 124 (2): 223–230.
- Wang, D., Li, G., Mo, Y., Zhang, D., Xu, X., Wilkerson, C.J. and Hoogenboom, G. 2021. Evaluation of subsurface, mulched and non-mulched surface drip irrigation for maize production and economic benefits in northeast China. *Irrigation science*. 39: 159-171.
- Xu, D., Gong, S. and Li, Y. 2010. Overview of recent Presterl, T., Ouzunova, M. and Keller, B. 2015. The maize disease resistance gene *Htn1* against northern corn leaf blight encodes a wall-associated receptor-like kinase. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 112 (28): 8780–8785.
- Ku, L.X., Zhao, W.M., Zhang, J., Wu, L.C., Wang, C.L., Wang, P.A., Zhang, W.Q. and Chen, Y.H., 2010. Quantitative trait loci mapping of leaf angle and leaf orientation value in maize (*Zea mays* L.). *Theoretical and Applied Genetics*. 121: 951–959.
- Li, S.X., Wang, Z.H., Li, S.Q., Gao, Y.J. and Tian, X.H., 2013. Effect of plastic sheet mulch, wheat straw mulch, and maize growth on water loss by evaporation in dryland areas of China. *Agricultural Water Management*. 116: 39–49.
- Li, X., Simunek, J., Shi, H., Yan, J., Peng, Z. and Gong, X. 2017. Spatial distribution of soil water, soil temperature, and plant roots in adrip-irrigated intercropping field with plastic mulch. *European Journal of Agronomy*. 83:47-56.
- Liu, Y., Li, Y. and Li, J. 2015. Effects of nitrogen management on the growth and yield of mulched and drip-irrigated maize in Northeast Black Soil Regions. *Trans. CSAM* 10. (46): 93–104 (in Chinese with English abstract).
- Liu, E.K., Mei, X.R., Yan, C.R., Gong, D.Z. and Zhang, Y.Q. 2015b. Effects of water stress on photosynthetic characteristics, dry matter translocation and WUE in two winter wheat genotypes. *Agriculture Water Management*. 167: 75-85.
- Luu, D.T., Maurel, C. 2005. Aquaporins in a challenging environment: molecular gears for adjusting plant water status. *Plant Cell Environment*. 28: 85-96.
- Lynch, J.P. 2018. Rightsizing root phenotypes for drought resistance. *Journal of Experimental Botany*. 69(13): 1–14.
- Mazaheri, M., Heckwolf, M., Vaillancourt, B., Gage, J.L., Burdo, B., Heckwolf, S., Barry, K., Lipzen, A., Ribeiro, C.B., Kono, T.J.Y., Kaeppler, H.F., Spalding, E.P., Hirsch, C.N., Robin Buell, C., de Leon, N. and Kaeppler, S.M. 2019. Genome-wide association analysis of stalk biomass and anatomical traits in maize. *BMC Plant Biol*. 19: 1–17.
- Mbah, C.N., Nwite, J.N., Njoku, C., Ibeh, L.M. and Igwe, T.S. 2009. Physical properties of an ultisol under plastic film and no-mulches and their effect on the yield of maize. *Journal of American Science*. 5: 25–30.
- Mohammadi, A., Besharat, S. and Abbasi, F. 2019. Effects of irrigation and fertilization management on reducing nitrogen losses and increasing corn yield under furrow irrigation. *Agricultural Water Management*. 213: 1116-1129.

- return of super high yield spring maize under drip irrigation and plastic mulching in arid areas of China. *Field Crop Research*. 211: 137-146.
- Zhao, P., Li, S., Li, F., Du, T., Tong, L. and Kang, S. 2015. Comparison of dual crop coefficient method and Shuttleworth–Wallace model in evapotranspiration partitioning in a vineyard of northwest China. *Agricultural Water Management*. 160: 41–56.
- Zuo, Q., Zhang, R. and Shi, J. Characterization of the root length density distribution of wheat using a generalized function. *Enhancing Understanding and Quantification of Soil–Root Growth Interactions, (enhancing under)*, 93-117.
- study on improvement approaches and methods for crop water productivity. *Journal of Hydraulic Engineering*. 41 (6): 631–639 (in Chinese with English abstract).
- Yaghi, T., Arslan, A. and Naoum, F. 2013. Cucumber (*Cucumis sativus*: L.) water use efficiency(WUE) under plastic mulch and drip irrigation. *Agricultural Water Management*. 128: 149–157.
- York, L.M., Nord, E.A. and Lynch, J.P. 2013. Integration of root phenes for soil resource acquisition. *Front. Plant Science*. 4: 1–15.
- Zhang, G., Liu, C., Xiao, C., Xie, R., Ming, B., Hou, P., Liu, G., Xu, W., Shen, D., Wang, K. and Li, S. 2017. Optimizing water use efficiency and economic

Comparison of Yield and Water Flow Simulation, Maize Root Uptake and Pattern of Maize Root Distribution in Surface and Subsurface Drip Irrigation Systems and Plastic Mulch

Fateme Zeynali¹, Sina Besharat^{2*}, Javad Behmanesh³
Received: Apr. 29, 2021 Accepted: May. 07, 2021

Abstract

The importance of roots and the pattern of water uptake from soil is one of the effective factors in the growth and development of crops. The distribution of roots in the soil is different under various agronomic conditions and the application of appropriate management will lead to increased water uptake by the roots and increase water use efficiency and ultimately crop yield. For this purpose, a study was conducted to investigate the effect of subsurface drip irrigation (Sb), surface drip irrigation (S) and surface drip irrigation with plastic mulch (Sm) which has been considered in limited studies, on water use efficiency, yield and simulation of water movement and root water uptake by HYDRUS-2D model and its characteristics was conducted as a randomized complete block design with three replicated at Research Field of Agriculture Faculty of Urmia University in 2018-2019 growing season. Results showed that the treatment (Sm) and (S) had 36.6 tons per hectare and 2.1 kg per cubic meter, respectively. Also, the highest volume and weight of roots was obtained from treatment (S), respectively, 325.6 gr and 251.8 ml. Based on the simulations, it was found that changes in soil moisture in treatment (S) occurred more at the soil surface, but in treatment (Sb) these changes in soil depth and in treatment (Sm) at a certain depth that a small distance It can be seen from the surface of the soil.

Key words: HYDRUS-2D model, Maxima cultivar, Root radius, Water balance

1- MSc Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

2- Associate Professor of Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

3- Professor of Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

(*- Corresponding Author Email: s.besharat@urmia.ac.ir)