

شبیه‌سازی اثر پوشش بر توزیع رطوبت و املاح خاک با استفاده از دو مدل HYDRUS-2D و AquaCrop

هادی رضانی اعتدالی^{۱*}، شیما کریمی^۲، محدثه السادات فخار^۳

- ۱- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران
- ۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری زهکشی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران
- ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران

* نویسنده مسئول: ramezani@eng.ikiu.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۱/۱۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۷/۱۱

چکیده

یکی از اهداف اصلی بخش کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، حفظ رطوبت و بهبود بهره‌وری مصرف آب است. تبخیر از سطح خاک یک مهم‌ترین عوامل تلفات غیرمفید در آبیاری است. مالچ‌پاشی یکی از مهم‌ترین اقدامات زراعی در کاهش تبخیر و حفظ رطوبت و اصلاح محیط فیزیکی خاک است. استفاده از مالچ در خارج از فصل کشت، مانع شوری لایه سطحی خاک می‌شود. هدف از انجام این پژوهش، بررسی تأثیر مالچ گیاهی بر انتقال املاح، رطوبت، دما و شوری خاک در خارج از فصل کشت است که با استفاده از دو لایسی‌متر آزمایشگاهی به طول ۱ متر و عرض ۰/۵ متر و ارتفاع ۱ متر مورد بررسی قرار گرفت. طی دوره شبیه‌سازی ۱۲۲ روزه، مقادیر رطوبت و شوری از ۵ عمق پروفیل خاک (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متر) اندازه‌گیری شده است. برای مقایسه میانگین هر تیمار با یکدیگر از آزمون t در دو مدل نرم‌افزار HYDRUS-2D و AquaCrop استفاده شد. به‌منظور بررسی هر یک از مدل‌ها از شاخص آماری RMSE، MBE، MAE و R² استفاده شده است. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که مدل HYDRUS-2D توانایی خوبی در مدل‌سازی رطوبت در عمق ۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متری داشته اما برای عمق ۰ تا ۱۰ و ۴۰ تا ۵۰ سانتی‌متری عملکرد خوبی در شبیه‌سازی انجام‌شده نداشته است. همچنین نتایج مدل AquaCrop نشان می‌دهد که این مدل توانایی خوبی در مدل‌سازی رطوبت در عمق‌های انجام‌شده نداشته و مدل HYDRUS-2D نسبت به مدل AquaCrop توانایی تخمین بهتر و دقت نسبی قابل‌قبول‌تری از رطوبت را در عمق‌های ۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متری برای شبیه‌سازی انتقال املاح دارد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، تیمار کنترل، شوری، مالچ، مدل‌سازی.

مقدمه

سال به‌عنوان آب‌های تجدیدپذیر (آب‌های زیرزمینی) مورد بهره‌برداری قرار گیرد (رسول‌زاده و رئوف، ۱۳۹۲). زمانی که حداقل بخشی از سطح خاک، بدون پوشش باشد تبخیر مستقیماً از این سطح صورت می‌پذیرد در غیاب یک پوشش گیاهی سطح خاک در معرض تابش و باد واقع شده و تبخیر به‌طور کامل از سطح خاک انجام می‌شود. تبخیر رطوبت خاک علاوه بر اتلاف آب، خطر شور شدن خاک را نیز به همراه خواهد

بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا به‌دلیل کمبود نزولات جوی و نرخ بالای تبخیر، با مشکل شدید کم‌آبی مواجه هستند (Li et al., 2000). بر اساس گزارش معاونت امور آب وزارت نیرو، میزان حجم بارش در ایران به‌طور متوسط حدود ۴۰۰ میلیارد مترمکعب در سال است که ۲۷۰ میلیارد مترمکعب آن تبخیر و تعرق و ۱۳۰ میلیارد مترمکعب آن در

شن بسیار مؤثرتر است و عده‌ای از پژوهشگران این اتفاق نظر را داشتند که به‌منظور ایجاد یک اثر حائل، لایه‌ی مالچ باید درشت‌تر از خاک زیر آن باشد. از طرف دیگر Ashrafuzzaman et al. (2011) بین مالچ‌های مختلف آلی از لحاظ حفظ رطوبت خاک تفاوت معنی‌داری مشاهده نکردند. از سوی دیگر، دمای خاک و چگونگی تغییرات آن نسبت به زمان و مکان یکی از مهم‌ترین عواملی است که نه‌تنها تبادل ماده و انرژی را در خاک تحت تأثیر قرار می‌دهد، بلکه می‌توان گفت میزان جهت کلیه فرآیندهای فیزیکی خاک به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم وابسته به دما است (Grifoll et al., 2005) دمای خاک در فرآیندهای تبخیر و تعرق، تهویه خاک، جوانه‌زنی بذر، رشد گیاه، توسعه ریشه‌ها و فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک، انتقال و انحلال آلاینده‌ها و علف‌کش‌ها، شور شدن خاک، نفوذ و هدایت هیدرولیکی تأثیر دارد (Nassar and Horton, 1999) مالچ‌ها به طرق مختلفی از جمله جلوگیری از تابش مستقیم خورشید به سطح زمین، ایجاد مانع فیزیکی برای ورود بخار آب به اتمسفر و جلوگیری از تماس مستقیم سطح خاک با هوای آشفته و در نتیجه از طریق کاهش گرادیان فشار بخار، می‌توانند مقدار تبخیر را کاهش دهند (Bristow and Horton, 1996). مدل‌سازی گرما و جریان آب با در نظر گرفتن اثر مالچ بر بخشی از سطح خاک را انجام دادند، نتایج نشان داد که تأثیرات چشمگیر اثر مالچ بر محیط فیزیکی نزدیک سطح خاک بودند. اگرچه همیشه شبیه‌سازی‌های مدل با اندازه-گیری‌ها به‌طور کاملاً یکسان مطابقت نمی‌کردند، اما روندی مشابه داشتند. در طول دوره آیش، با کاهش ذخیره رطوبت خاک به‌واسطه تبخیر، حرکت آب و املاح به سطح خاک، در اثر نیروی کاپیلاری رخ می‌دهد. با ادامه این شرایط، املاح در خاک تجمع پیدا کرده و سبب افزایش شوری خاک خواهند شد. با توجه به تأثیر مالچ در حفظ و نگهداری رطوبت خاک و کاهش تبخیر از سطح خاک که در بیشتر تحقیقات موضوع اصلی مورد مطالعه بود، بنابراین هدف از این تحقیق بررسی تأثیر مالچ گیاهی بر انتقال املاح، رطوبت و دما در پروفیل خاک در شرایط استفاده از آب شور و سطح ایستابی ثابت می‌باشد.

داشت. این خطر در نواحی خشک که باران سالیانه اندک، آب آبیاری شور و سطح سفره آب زیرزمینی بالا باشد محسوس‌تر می‌باشد. پوشاندن سطح با مالچ و یا مواد بازتابشی، می‌تواند از شدت تأثیر عوامل خارجی چون تابش و باد بر روی سطح خاک بکاهد. (قهرمان، ۱۳۸۹). مناطق خشک، با بارندگی بسیار اندک، دارای نرخ بهره‌وری زیستی بسیار پایین هستند. در چنین نواحی برداشت آب و تکنیک‌های استفاده از خاک که باعث تطبیق حفظ و نگهداری آب با نتایج کشاورزی رضایت‌بخش می‌باشد، بسیار توصیه شده است. برخی از این فنون هنوز در بسیاری از نقاط دنیا وجود دارند. یکی از روش‌ها استفاده از مالچ یا پوشش لایه سطحی خاک با مواد غیرآلی است (تجدور و همکاران، ۲۰۱۳). مدل‌های شبیه‌سازی اجازه تعیین تأثیر طولانی‌مدت شوری در مزارع و باغ‌ها برای شرایط مرزی متفاوت را می‌دهد. آزمایش‌های طولانی‌مدت مزرعه‌ای هم یکی از راه‌های گسترش به‌کارگیری روش‌های مناسب آبیاری است، ولی این روش، پرهزینه و زمان‌گیر است و همچنین نیازمند مکانی مناسب برای انجام آزمایش‌ها می‌باشد (Hutson et al., 1990). در پژوهشی شیری و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی و ارزیابی کیفی شوری و تأثیرات آن بر آب آبیاری پرداختند که نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بررسی تغییرات شوری نقش مهمی در تأمین نیازهای آبی در بخش‌های کشاورزی دارد.

بیشتر پژوهش‌ها افزایش مقدار رطوبت خاک را بر پایه شرایطی همچون وجود مالچ به‌خصوص ضخامت، نوع و اندازه دانه با کاهش تبخیر، مرتبط می‌دانند (Benoit and Kirkham, 1963; Modaihsh et al., 1985; Groenevelt et al., 1989; Kemper, 1994). در بسیاری از پژوهش‌ها اتفاق نظر بر این است که مالچ سطحی از زیرسطحی بسیار مؤثرتر است (Groenevelt et al., 1989). در تحقیقی اسلامی و فرزام‌نیا (۱۳۸۸) بر روی درختان پسته بارور به‌منظور بررسی تأثیر مالچ و شخم زدن در حفظ و نگهداری رطوبت خاک و کاهش تبخیر از سطح خاک انجام دادند. نتایج نشان داد اثر مالچ در حفظ رطوبت خاک در سطح ۱ درصد و عمق در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است.

در پژوهشی Groenevelt et al. (1989) با مقایسه خاکستر آتشفشانی، زئولیت و مالچ‌های شنی به این نتیجه رسیدند که

مواد و روش‌ها

صورت (پنج عمق و در سه نقطه) و در مجموع ۳۰ سوراخ در لایسی متر ایجاد شد. این سوراخ‌ها توسط مته‌های با قطر ۹ میلی‌متر و برای عبور سنسور دستگاه اندازه‌گیری رطوبت و شوری ایجاد شد. زهکش‌ها در عمق ۱۵ سانتی‌متری از کف لایسی‌متر و به فاصله ۲۵ سانتی‌متر از یکدیگر قرار گرفتند. پس از نصب زهکش‌ها در عمق ۱۵ سانتی‌متری از کف لایسی‌متر، اطراف آن‌ها توسط شن و ماسه بادی پوشانده شد. خاک مورد استفاده به منظور تعیین منحنی دانه‌بندی ذرات خاک، تعیین منحنی مشخصه رطوبتی، بافت خاک و شوری خاک مورد آزمایش قرار گرفت؛ که نتایج آن به شرح ذیل می‌باشد.

این پژوهش در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) در قزوین انجام شد. در این پژوهش یک لایسی‌متر آزمایشگاهی به طول ۲ متر، عرض ۰/۵ متر و ارتفاع ۱ متر برای شبیه‌سازی شرایط مزرعه‌ای مورد استفاده قرار گرفت. لایسی‌متر از وسط توسط دیوارهای به دو قسمت کاملاً مجزا تقسیم شد. در یک قسمت تیمار کنترل و در قسمت دیگر تیمار مالچ کاه و کلش گندم به ضخامت ۱ تا ۲ سانتی‌متر اعمال شد. در تیمار با مالچ در پنج عمق و در هر عمق در سه نقطه (مجموعاً ۱۵ سوراخ) و در تیمار کنترل هم به همین

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک منطقه.

بافت	تخلخل مؤثر (%)	هدایت هیدرولیکی (m/day)	چگالی ظاهری (g/cm ³)
شن لومی	۱۱	۱/۲۷	۱/۵۱۶

اشباع و غیراشباع در حالت افقی، عمودی و شعاعی است. این مدل در بسیاری از پژوهش‌های مزرعه‌ای و آزمایشگاهی برای شبیه‌سازی حرکت آب و املاح در خاک، بهینه‌سازی و برآورد معکوس ویژگی‌های هیدرولیکی خاک مورد استفاده قرار گرفته و نتایج آن تا حدی رضایت‌بخش بوده است. به طوری که لطیفی و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از HYDRUS-2D به بررسی اثر تبخیر بر سطح ایستایی و ضریب زهکشی در سه بافت خاک مختلف پرداختند که نتایج حاصل نشان از دقت بالای نرم‌افزار داشت.

نرم‌افزار AquaCrop

با استفاده از نرم‌افزار سعی بر ایجاد تعادل بین سه فاکتور دقت، سادگی و قدرت دارد. از جمله قابلیت‌های مدل، ارزیابی کمبود آب و محصول قابل حصول در شرایط کمبود آب، مقایسه محصول قابل انتظار با محصول واقعی در مزرعه، ارزیابی تولید گیاهان در شرایط فاریاب، توسعه برنامه آبیاری برای دستیابی به تولید بیشتر تحت سناریوهای مختلف اقلیمی، ارزیابی کم‌آبیاری و آبیاری مازاد، انجام تحلیل‌های مربوط به سناریوهای اقلیمی در آینده، بهینه کردن کمبود مقدار آب در

آب مورد استفاده برای آزمایش ترکیبی از آب شرب شهری و آب زهکشی شده منطقه‌ای در قزوین بود که پس از رسیدن به شوری ۱۰ $\frac{ds}{m}$ برای تغذیه باکس استفاده شد. مخازن آب توسط آب شور پر شدند. پس از گذشت چند روز، سطح ایستایی مورد نظر تشکیل و اندازه‌گیری رطوبت، شوری و دما به وسیله سنسور دلتاتی در روزهای مشخص، انجام شد. حرکت آب توسط نیروی موئینگی باعث پایین افتادن سطح ایستایی در طول دوره آزمایش می‌شد بنابراین برای قرار دادن سطح ایستایی در نقطه مورد نظر تزریق آب به باکس در روزهای مشخص به صورت دستی به منبع تغذیه صورت گرفت. در پایان دوره ۱۲۱ روزه از تمام نقاطی که سنسور در آن قرار داشت نمونه‌برداری شده و با استفاده از پمپ خلأ عصاره‌گیری شدند و مقدار شوری با EC متر اندازه‌گیری شد.

معرفی مدل

نرم‌افزار HYDRUS-2D

یک مدل تحت ویندوز و پرترفدار برای تجزیه و تحلیل جریان آب، انتقال املاح و گرما در شرایط دوبعدی است و قادر به برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی و انتقال املاح به روش مدل-سازی معکوس است. این مدل قادر به شبیه‌سازی در شرایط

نرم افزار HYDRUS-2D از تعدادی مدل مختلف از جمله مدل ون گنوختن-معلم به منظور پیش بینی توزیع رطوبت خاک استفاده می کند. نرم افزار HYDRUS-2D دارای زیر مدلی به نام رزتا برای پیش بینی پارامترهای ورودی مدل ون گنوختن-معلم می باشد.

هرچه تعداد ورودی های این مدل بیشتر باشد، خروجی ها دقت بالاتری خواهند داشت. در این مطالعه از مدل ورودی پنجم که شامل اطلاعات بافت خاک، وزن مخصوص ظاهری، مقدار رطوبت حجمی در فشار ۳۳ و ۱۵۰۰ کیلو پاسکال می باشد، استفاده شده است.

در مدل AquaCrop نیز مقادیر اندازه گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع، رطوبت حجمی در نقطه اشباع، نقطه پژمردگی و ظرفیت زراعی به عنوان ورودی های پارامترهای هیدرولیکی خاک در نظر گرفته شد شرایط آب و هوایی از جمله دما، رطوبت، سرعت باد، حداکثر ساعات آفتابی روز و سایر بر میزان تبخیر از سطح خاک مؤثر می باشند.

با استفاده از داده های دریافتی ایستگاه هواشناسی شهر قزوین تبخیر تعرق مرجع (ET₀) از معادله فائو پنمن مونتیت محاسبه شد و نتایج حاصل با برخی پارامترهای دیگر آب و هوایی برای محاسبه تبخیر از سطح خاک (E) به عنوان ورودی های نرم افزار AquaCrop استفاده گردید. پس از پایان آزمایش، با استفاده از نرم افزار HYDRUS-2D و AquaCrop شبیه سازی توزیع رطوبت، املاح و دما در شرایط مشابه با آزمایش ها انجام گرفت. در جدول های (۲) و (۳) شاخص های آماری مربوط به اعماق مختلف مدل HYDRUS-2D برای تیمارهای کنترل و مالچ ارائه شده است.

دسترس، ارزیابی بهره وری آب واقعی در مزرعه و در مقیاس های بزرگ تر، پشتیبانی از تصمیم های مبنی بر اختصاص آب و سایر تصمیم های دولتی مرتبط با آب است.

ارزیابی نتایج مدل ها

به منظور بررسی دقت برآورد هر یک از مدل ها از شاخص های آماری خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)، متوسط خطای سوگیری (MBE)، متوسط خطای مطلق (MAE) و ضریب تعیین (R²) استفاده شد. روابط مربوط به شاخص های RMSE، MBE، MAE و R² به صورت زیر می باشد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{t} \sum_{i=1}^t (P_i - O_i)^2} \quad (1)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^t P_i - O_i}{t} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^t |P_i - O_i|}{t} \quad (3)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^t (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^t (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (4)$$

که در روابط فوق P_i و O_i مقادیر مشاهداتی و تخمینی در زمان i و t تعداد داده ها هستند.

نتایج

به منظور بررسی اثر مالچ بر رطوبت و شوری خاک، میانگین مقادیر اندازه گیری شده توسط سنسور دلتاتی در طول دوره آزمایش، برای تیمار کنترل در ۵ عمق ۰ تا ۵۰ سانتی متر انجام شد.

با توجه به کاربرد نرم افزار HYDRUS-2D، AquaCrop در این پژوهش برای پیش بینی انتقال رطوبت، املاح و دما نیاز به آگاهی از پارامترهای هیدرولیکی خاک به عنوان ورودی مدل ها می باشد.

جدول ۲- شاخص های آماری رطوبت مدل HYDRUS-2D (تیمار کنترل).

عمق (سانتیمتر)	R ²	RMSE (درصد رطوبت)	MAE
۱۰ - ۰	۰/۴۹	۰/۱۰	۰/۰۸
۲۰ - ۱۰	۰/۷۳	۰/۰۲	۰/۰۱
۳۰ - ۲۰	۰/۷۲	۰/۰۵	۰/۰۴
۴۰ - ۳۰	۰/۵۶	۰/۰۰۱	۰/۰۳
۵۰ - ۴۰	۰/۱۹	۰/۰۳	۰/۰۳

جدول ۳- شاخص‌های آماری رطوبت مدل HYDRUS-2D (تیمار مالچ).

عمق (سانتیمتر)	R ²	RMSE (درصد رطوبت)	MAE
۱۰-۰	۰/۳۶	۰/۰۱	۰/۰۹
۲۰-۱۰	۰/۵۲	۰/۰۲	۰/۰۱
۳۰-۲۰	۰/۷۴	۰/۰۵	۰/۰۴
۴۰-۳۰	۰/۶۶	۰/۰۳	۰/۰۳
۵۰-۴۰	۰/۴۴	۰/۰۳	۰/۰۳

در جدول‌های (۴) و (۵) شاخص‌های آماری مربوط به عمق-های مختلف مدل AquaCrop برای تیمارهای کنترل و مالچ ارائه شده است. در شکل (۴) نمودار پراکنش داده‌های رطوبت مشاهداتی تیمار کنترل و مالچ و شبیه‌سازی آن‌ها با استفاده از مدل نشان داده شده است. HYDRUS-2D توانایی خوبی در مدل‌سازی رطوبت عمق‌های (۱۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۴۰ سانتیمتر) داشت اما برای عمق‌های ۰ تا ۱۰ سانتیمتر و ۴۰ تا ۵۰ سانتیمتر تطابق خوبی میان مقادیر رطوبت شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده وجود نداشت. در طول دوران شبیه‌سازی، برای حفظ سطح ایستایی در فاصله ۱۵ سانتیمتری از کف، ارتفاع آن توسط پیژومترها اندازه‌گیری شد. جبران مقدار افت سطح ایستایی از طریق تزریق آب زیرزمینی توسط زهکش-ها به مدل جبران گردید؛ که مقدار نوسانات عمق سطح ایستایی در طول دوره شبیه‌سازی ۱۲۲ روزه در بازه‌های بین ۷۵ تا ۸۵ سانتی‌متری بوده است.

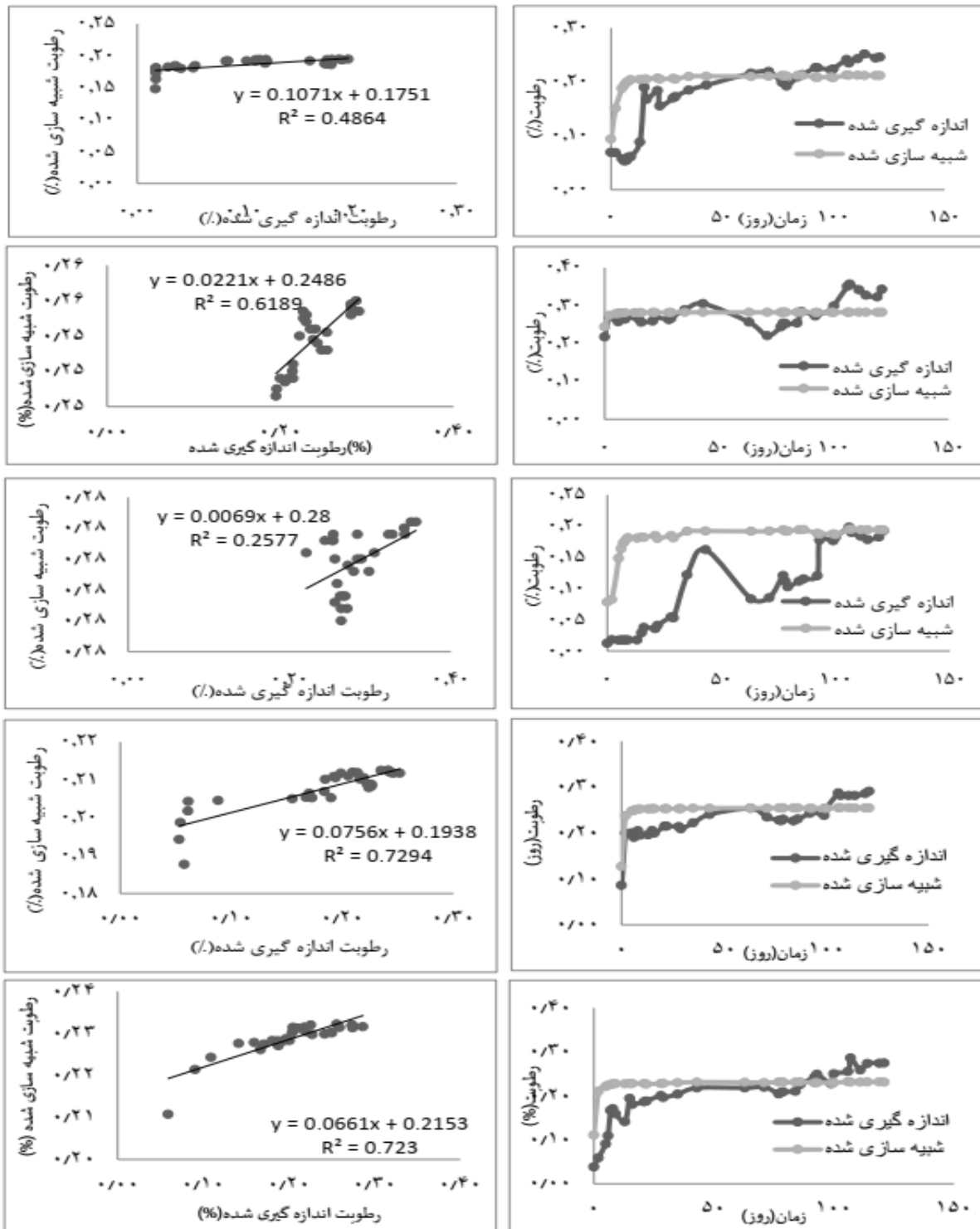
در شکل (۱) نمودار پراکنش داده‌های رطوبت مشاهداتی تیمار کنترل و شبیه‌سازی آن‌ها با استفاده از مدل نشان داده شده است. HYDRUS-2D توانایی خوبی در مدل‌سازی رطوبت عمق‌های (۱۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۴۰ سانتیمتر) داشت اما برای عمق‌های ۰ تا ۱۰ سانتیمتر و ۴۰ تا ۵۰ سانتیمتر تطابق خوبی میان مقادیر رطوبت شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده وجود نداشت. در طول دوران شبیه‌سازی، برای حفظ سطح ایستایی در فاصله ۱۵ سانتیمتری از کف، ارتفاع آن توسط پیژومترها اندازه‌گیری شد. جبران مقدار افت سطح ایستایی از طریق تزریق آب زیرزمینی توسط زهکش-ها به مدل جبران گردید؛ که مقدار نوسانات عمق سطح ایستایی در طول دوره شبیه‌سازی ۱۲۲ روزه در بازه‌های بین ۷۵ تا ۸۵ سانتی‌متری بوده است.

جدول ۴- نتایج شاخص‌های آماری مربوط به درصد رطوبت در عمق‌های مختلف مدل AquaCrop (تیمار کنترل).

عمق (سانتیمتر)	R ²	RMSE	MAE
۱۰-۰	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۰۶
۲۰-۱۰	۰/۲۷	۰/۱۰	۰/۰۸
۳۰-۲۰	۰/۴۶	۰/۱۱	۰/۱۰
۴۰-۳۰	۰/۴۵	۰/۱۰	۰/۰۹
۵۰-۴۰	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۰۶۳

جدول ۵- نتایج شاخص‌های آماری مربوط به درصد رطوبت به عمق‌های مختلف مدل AquaCrop (تیمار مالچ).

عمق (سانتیمتر)	R ²	RMSE	MAE
۱۰-۰	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۷
۲۰-۱۰	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۰۱
۳۰-۲۰	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۱
۴۰-۳۰	۰/۳۲	۰/۱۰	۰/۰۹
۵۰-۴۰	۰/۳۰	۰/۰۹	۰/۰۸



شکل ۱- پراکنش داده‌های رطوبت مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده با مدل HYDRUS در عمق ۰ تا ۵۰ سانتی‌متری از تیمار کنترل.

نبودند نمی‌توان انتظار داشت مدل شبیه‌سازی انتقال املاح را با دقت بالایی انجام دهد. نتایج نشان داد مدل شوری سطح خاک را کمتر از مقدار واقعی تخمین می‌زند؛ بنابراین قابل‌ذکر است که شبیه‌سازی انتقال املاح در سطح خاک مرتبط با نحوه شبیه‌سازی رطوبت در نرم‌افزار بوده زیرا مقادیر رطوبت نزدیک به سطح خاک را کمتر از مقادیر واقعی در نظر گرفته و برابر با مقداری ثابت نشان می‌دهد، بنابراین اگر رطوبت لایه سطحی خاک در طول دوره شبیه‌سازی مدل شامل درصد پایینی باشد، انتقال املاح به‌درستی صورت نمی‌گیرد. درنهایت می‌توان به این نتیجه رسید که نرم‌افزار AquaCrop برای شبیه‌سازی حرکت آب و املاح از طریق نیروی موئینگی در ناحیه غیراشباع از دقت نسبی برخوردار نیست.

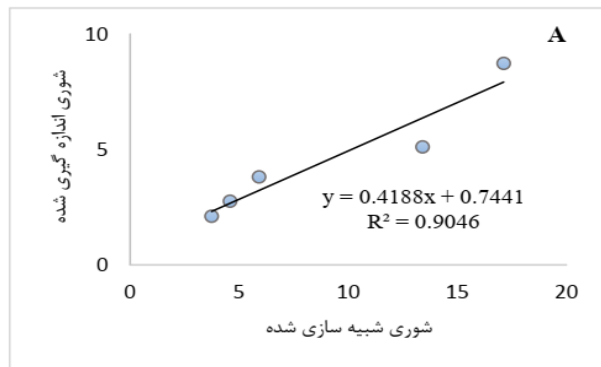
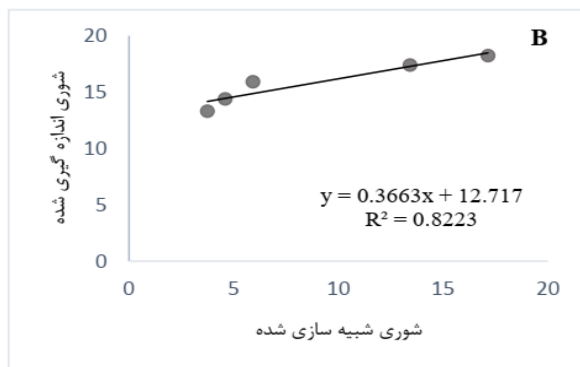
جدول (۶) و (۷) مقادیر شوری اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل HYDRUS-2D و AquaCrop در پایان دوره آزمایش در هر دو تیمار کنترل و مالچ می‌باشد. با مقایسه مقادیر شوری میان دو تیمار کنترل و مالچ طی اندازه‌گیری‌ها و شبیه‌سازی‌ها در عمق‌های خاک، تأثیر مالچ در کاهش تجمع نمک قابل‌توجه است. با توجه به معادلات تجربی انتقال املاح در نرم‌افزار AquaCrop که بر مبنای معادله بیلان آب و نمک در خاک می‌باشند، مدل شوری عمق‌های پایین خاک را بسیار بیشتر از اندازه‌گیری‌های تجربی و برابر شوری آب زیرزمینی شبیه‌سازی کرد. با در نظر گرفتن اینکه حرکت رو به بالای املاح در اثر صعود موئینگی از آب زیرزمینی شور در پاسخ به تبخیر از سطح خاک صورت می‌گیرد و همچنین نتایج شبیه‌سازی حرکت آب در خاک مدل که رضایت‌بخش

جدول ۶- مقایسه مقادیر شوری اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با مدل AquaCrop.

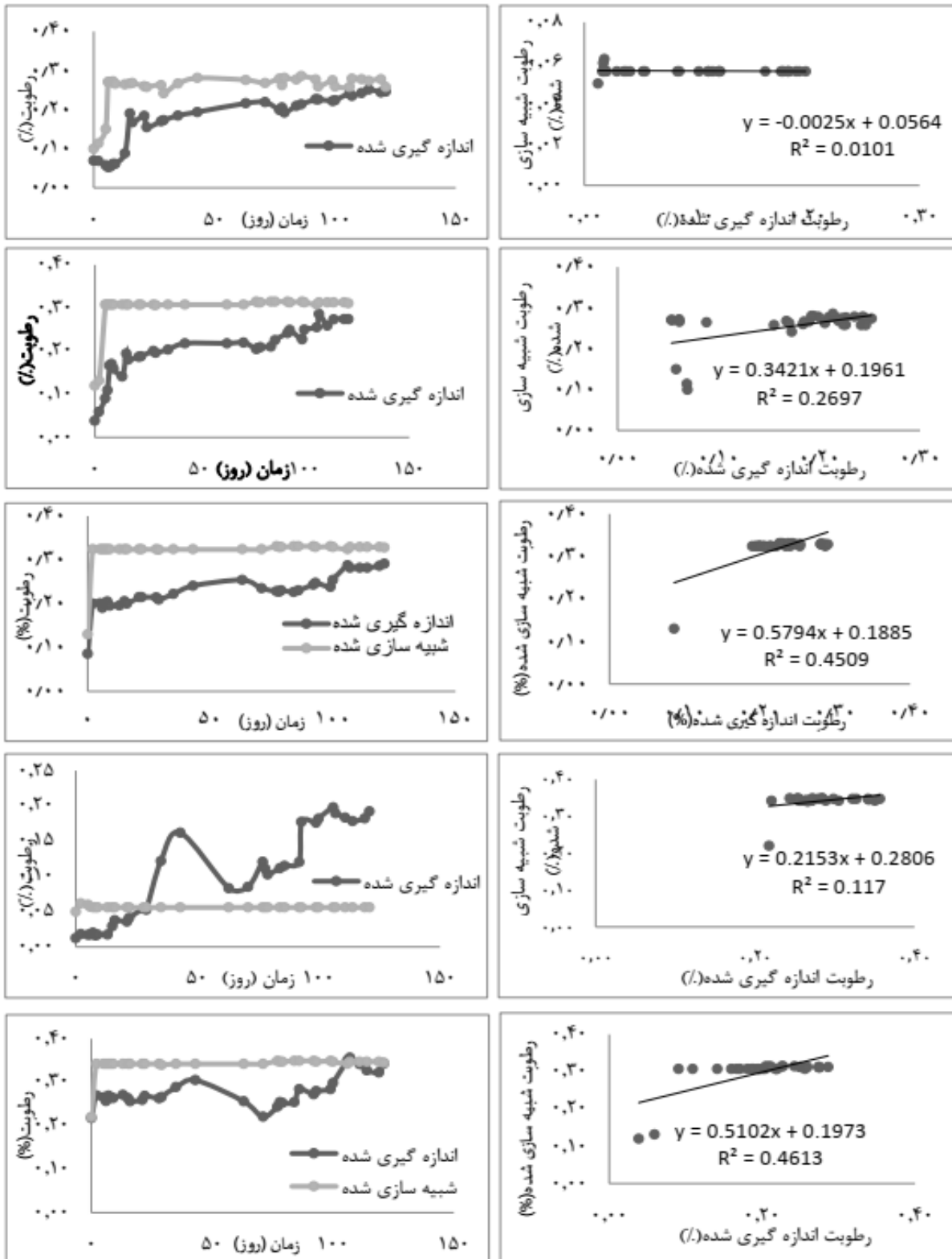
عمق (سانتیمتر)	مقادیر شوری روز آخر (ds/m)			
	تیمار کنترل		تیمار مالچ	
	مشاهدات	شبیه‌سازی	مشاهده	شبیه‌سازی
۱۰-۰	۱۷/۱۳	۳/۳	۹/۱۳	۱/۹
۲۰-۱۰	۱۳/۴۱	۱۷/۴	۶/۴۹	۱۰
۳۰-۲۰	۵/۹۲	۱۵/۹	۵/۲	۹/۸
۴۰-۳۰	۴/۵۹	۱۴/۴	۴/۶۸	۹/۵
۵۰-۴۰	۳/۷۴	۱۳/۳	۴/۰۷	۹/۴

جدول ۷- مقایسه مقادیر شوری اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با مدل HYDRUS-2D.

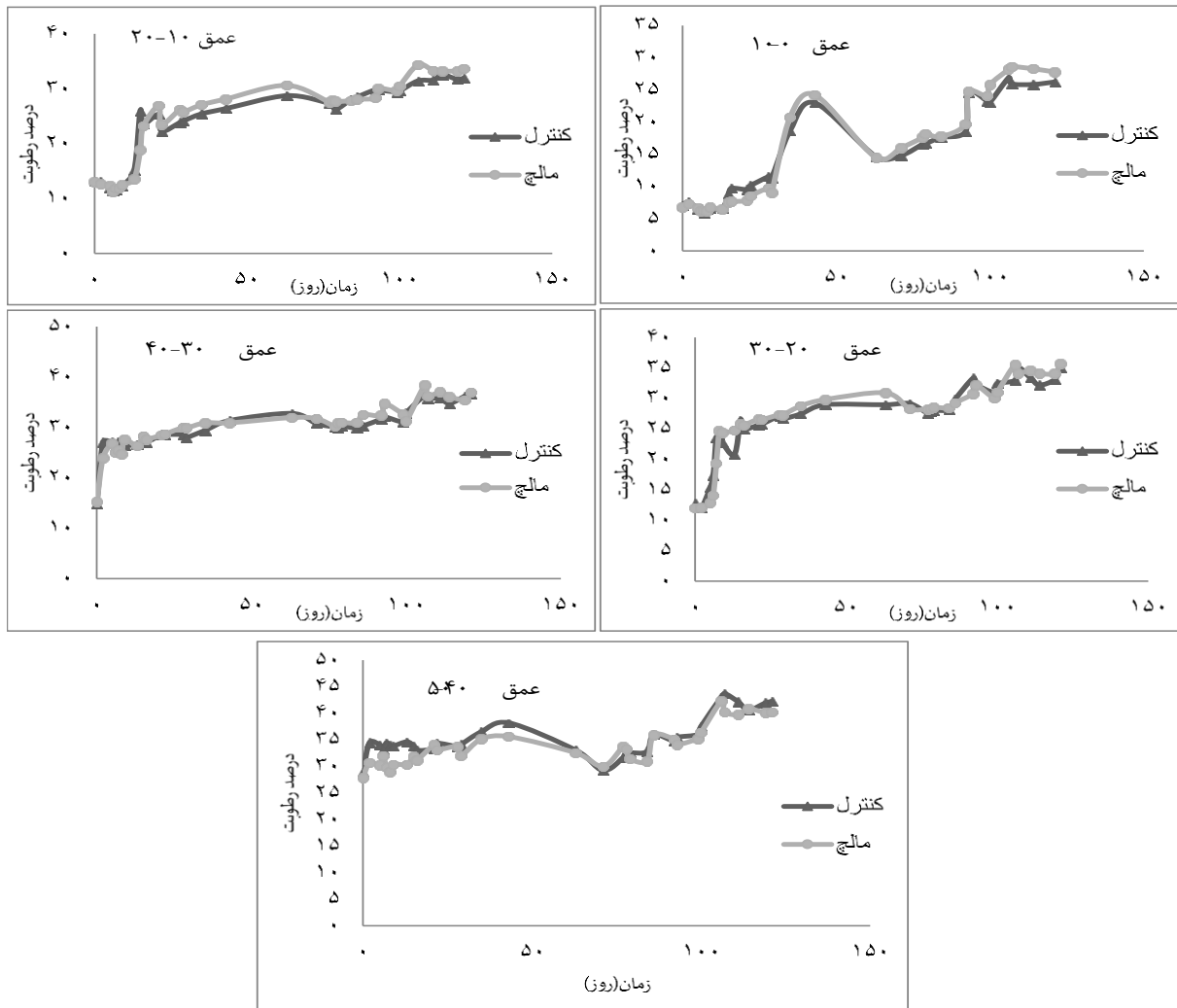
عمق (سانتیمتر)	مقادیر شوری روز آخر (ds/m)			
	تیمار کنترل		تیمار مالچ	
	مشاهدات	شبیه‌سازی	مشاهده	شبیه‌سازی
۱۰-۰	۱۷/۱۳	۸/۷۳	۹/۱۳	۶/۰۲
۲۰-۱۰	۱۳/۴۱	۵/۱	۶/۴۹	۴/۶
۳۰-۲۰	۵/۹۲	۳/۸	۵/۲	۳/۱
۴۰-۳۰	۴/۵۹	۲/۷۵	۴/۶۸	۲/۴
۵۰-۴۰	۳/۷۴	۲/۱	۴/۰۷	۲/۱



شکل ۲- مقایسه شوری‌های اندازه‌گیری‌ها و شبیه‌سازی‌های انجام‌یافته با مدل (A) HYDRUS-2D و (B) AquaCrop در تیمار کنترل.



شکل ۳- پراکنش داده‌های رطوبت مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده با مدل AquaCrop در عمق ۰ تا ۵۰ سانتیمتری تیمار کنترل.



شکل ۴- تغییرات رطوبت نسبت به زمان برای عمق بین ۰ تا ۵۰ سانتی متر.

سطح خاک و کاهش تبخیر به وضوح نشان می‌دهد و هر چه دوران اندازه‌گیری طولانی‌تر شود تأثیر مثبت مالچ وضوح بیشتری خواهد داشت. شبیه‌سازی صورت گرفته با نرم‌افزارها نشان داد مدل HYDRUS-2D نسبت به مدل AquaCrop توانایی تخمین بهتری از رطوبت عمق‌های ۱۰ تا ۴۰ سانتیمتری خاک دارد و برای سایر عمق‌ها تخمین قابل قبولی نداشت در مقابل مدل AquaCrop مدل مناسبی با شرط مرزی آب زیرزمینی و شرایط مشابه با این آزمایش نبود. با توجه به نحوه تخمین رطوبت مدل AquaCrop و ارتباط حرکت املاح با رطوبت، نرم‌افزار شوری سطح خاک را بسیار پایین‌تر از مقدار واقعی تخمین زد. در مقایسه با مدل AquaCrop، مدل HYDRUS-2D دقت نسبی قابل قبولی برای شبیه‌سازی انتقال املاح داشت. مقایسه مقادیر

به‌منظور بررسی اثر مالچ بر رطوبت و شوری خاک، میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده توسط سنسور دلتاتی در طول دوره آزمایش، برای هر دو تیمار کنترل و مالچ در ۵ عمق (۰ تا ۱۰، ۱۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۳۰، ۳۰ تا ۴۰، ۴۰ تا ۵۰ سانتیمتر) و سه تکرار، مورد مقایسه قرار گرفت. با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌گردد مقدار رطوبت در تمامی عمق‌ها روندی افزایشی دارد. در عمق بین ۰ تا ۱۰ و ۴۰ تا ۵۰ سانتی‌متر پس از روز ۴۳ ام کاهش در مقدار رطوبت و پس از تقریباً ۲۰ روز مجدداً افزایش تدریجی رطوبت ملاحظه می‌گردد و علت را می‌توان نوسانات و پایین افتادن سطح ایستایی دانست.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق نشان داد حضور مالچ در طی بازه زمانی طولانی‌تر اثر عمده خود را در ذخیره رطوبت

- Bristow, K. L. and Horton, R. 1996. Modeling the Impact of Partial surface Mulch on Soil Heat and Water Flow. *Theoretical and Applied Climatology*, 54: 85-98.
- Groenevelt, P.H., Van Straaten, P., Rasiah, V. and Simpson, J. 1989. Modifications in evaporation by rock mulches. *Soil Technology*, 2: 279-285.
- Grifoll, J., Gasto, J. M., Cohen, Y. 2005. Non-isothermal soil water transport and evaporation. *Advanced Water Resource*, 28, 1254-1266.
- Hutson, J.L., Dudley, L.M. and Wagenet, R.J. 1990. Concepts of modeling transient root zonal salinity. In: Tanji, K.K. (Editor), *Agricultural Salinity Assessment and Management*. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 71, New York: 482-503.
- Kemper, W.D., Nicks, A.D. and Corey, A.T. 1994. Accumulation of water in soils under gravel and sand mulches. *Soil Science Society of America Journal*, 58: 56-63.
- Modaihsh, A.S., Horton, R. and Kirkham, D. 1985. Soil water evaporation suppression by sand mulches. *Soil Science*, 139(4): 357-361.
- Nassar, I.N. and R. Horton. 1999. Heat, water, and solute transfer in unsaturated porous media: I. Theory development and transport coefficient evaluation. *Transport in Porous Media*, 27, 39-55.
- Tejedor, M., Jimenez, C. and Diaz, J. 2003. Volcanic materials as mulches for water conservation. *Geoderma*, 117: 283-295.
- Li, X.Y., Gong, J.D., Wei, X.H., 2000. In-situ rainwater harvesting and gravel mulch combination for corn production in the dry semi-arid region of China. *Journal of Arid Environment*, 46: 371-382.
- شوری عمق‌های هر دو تیمار مالچ و کنترل چه توسط اندازه-گیری‌ها و چه توسط شبیه‌سازی با هر دو نرم‌افزار نشان داد در سطح بدون پوشش تجمع بیشتری از نمک‌ها صورت می‌گیرد. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از خاک‌پوش آلی از طریق حفظ و ذخیره رطوبت و همچنین تعدیل درجه حرارت در نیم‌رخ خاک، باعث افزایش بهره‌وری از آب در منطقه شده به همین منظور پیشنهاد می‌گردد در پژوهش‌های آتی تأثیر مالچ و نوسانات سطح آب زیرزمینی و میزان شوری و مقدار تبخیر از سطح خاک و وضعیت رشد گیاهان در مدت‌زمان طولانی‌تر و افزایش تعداد نقاط اندازه‌گیری به-خصوص نزدیک سطح خاک بررسی گردد.
- ### منابع
- اسلامی، الف، فرزام‌نیا، م. ۱۳۸۸. اثر انواع مالچ بر افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک و عملکرد درختان پسته، آبیاری و زهکشی ایران، ۲(۳): ۷۹-۸۷.
- شیری، ن، کاظمی، م، و شیرینی، ج. ۱۳۹۹. بررسی تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت تبریز با استفاده از روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و IDW هیدروژئولوژی، انتشار آنلاین.
- رسول‌زاده، ا. س.، و رئوف، م. ۱۳۹۲. مبانی و روش‌های آبیاری. انتشارات عمیدی. ۲۹۸ ص.
- قهرمان، ب. ۱۳۸۹. فیزیک خاک و محیط‌زیست، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۹۹۸ ص.
- لطیفی، م، سلطانی، م، و رضانی‌اعتدالی، ه. ۱۳۹۹. بررسی اثر تبخیر بر سطح ایستابی و ضریب زهکشی با استفاده از نرم‌افزار HYDRUS-2D (مطالعه موردی: زهکش حائل دشت قزوین). هیدروژئولوژی، ۶(۲): ۶۷-۷۸.
- Ashrafuzzaman, M., Abdulhamid, M., Ismail, M.R., Sahidullah, S.M., 2011. Effect of plastic and straw mulch on growth and yield of chilli (*Capsicum annum L.*). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 54, 321-330.
- Benoit, G.R., Kirkham, D. 1963. The effect of soil surface conditions on evaporation of soil water. *Soil Science Society of America Proceedings*, 27: 495-498.