



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۱۱ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۴۰۰

صفحه‌های ۸۴۳-۸۲۹

DOI: 10.22059/jwim.2022.331119.927

مقاله پژوهشی:

شبیه‌سازی تعیین عمق کارگذاری ستون شن در سه بافت خاک برای سامانه آبیاری قطره‌ای درخت سیب

مسعود سلطانی^{۱*}، محدثه السادات فخرآ، حسین ربانی‌ها^۲

۱. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

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

۳. دانشجوی دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۱۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۳۱

چکیده

سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، روش مناسبی برای تأمین آب موردنیاز گیاهان در محیط ریشه می‌باشد. مدیریت این روش متکی بر علم توزیع آب در حجم خاک مرطوب است. مدل‌های شبیه‌سازی می‌تواند در به‌دست‌آوردن این دانش ارزشمند به‌کار گرفته شوند. در این پژوهش شبیه‌سازی ستون شن در منطقه ریشه درخت سیب تحت سامانه آبیاری قطره‌ای به‌منظور تعیین عمق بهینه ستون شن در سه بافت خاک مختلف برای بررسی نحوه جذب آب توسط ریشه، مقدار آب مصرفی، میزان تبخیر و نفوذ عمقی با استفاده از مدل HYDRUS-2D موردبررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد در بافت خاک لوم زمانی که عمق ستون شن در بازه ۱۰-۱۵ سانتی‌متری و در بافت خاک سیلتی لوم ستون شنی به عمق ۵ تا ۱۰ سانتی‌متری قرار گیرد. میزان نفوذ، آب مصرفی و تبخیر نسبت به حالت ماکزیمم به میزان قابل ملاحظه‌ای کم‌تر خواهد بود، به‌طوری‌که میزان نفوذ عمقی در بافت خاک سیلتی لوم به میزان ۵۵ درصد و در بافت خاک لوم ۳۵ درصد نسبت به حالت ماکزیمم کاهش داشته است و در نهایت سناریوهای بررسی شده نشان داد در بافت خاک لوم شنی، به‌دلیل سبک‌بودن بافت خاک استفاده از ستون‌شن وضعیت بهبوددهنده‌ای را ایجاد نخواهد کرد.

کلیدواژه‌ها: جذب ریشه، عمق بهینه، مدیریت آبیاری، نفوذ عمقی، HYDRUS-2D.

Simulation of determining the depth of sand column placement in three soil textures for apple tree drip irrigation system

Masoud Soltani^{1*}, Mohadese Sadat Fakhar², Hossein Rabbaniha³

1. Assistant Professor, Department of Water Sci. and Eng., Faculty of Agricultural and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

2. M.Sc. Student of Irr. & Dra. Eng. Department of Water Sci. and Eng., Faculty of Agricultural and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

3. Ph.D. Student of Irr. and Dra. Eng. Department of Irrigation and Reclamation Eng., College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Received: September, 22, 2021

Accepted: January, 06, 2022

Abstract

Drip irrigation systems are a proper technique to supply water for plants in the root zone. The management of this method relies on the science of water distribution in the volume of wet soil. Simulation models can be used to obtain this valuable knowledge. In this study, simulation of sand column in the root zone of apple tree under drip irrigation system was done to determine the optimal depth of the sand column in three various soil textures to investigate how water is uptake by the roots, water consumption, evaporation rate and deep penetration using the HYDRUS-2D model was examined. The results of this study showed that in the loam soil texture when the depth of the sand column is in the range of 10-15 cm and in the silty loam soil texture of the sand column to a depth of 5 to 10 cm, the rate of infiltration, water consumption and evaporation will be significantly less than the maximum so that the rate of deep penetration in the silty loam soil texture has decreased by 55% and in the loam soil texture by 35% compared to the maximum state. and finally, the studied scenarios showed that in sandy loam soil texture, due to the lightness of soil texture, the use of sand columns will not create an improving situation.

Keywords: Deep percolation, HYDRUS-2D, Irrigation management, Optimal depth, Root uptake.

مقدمه

با افزایش جمعیت، نیاز به غذا و در نتیجه تقاضای آب نیز افزایش می‌یابد (Orzolek, 2017). از آنجاکه رطوبت خاک یک متغیر زمانی و مکانی است، در نظر گرفتن شیوه‌های مدیریت کشاورزی، آبیاری و ارزیابی دقیق پویایی مکانی-زمانی رطوبت در منطقه توسعه ریشه و در مقیاس مزرعه بسیار مهم است (Canone et al., 2017). در آبیاری باغ‌ها با کاهش تلفات و افزایش بازده کاربرد آب، کاهش مصرف آب قابل دستیابی است. بررسی آمار و ارقام توسعه روش‌های آبیاری در ۲۰ سال گذشته، روند رو به رشد استفاده از سامانه‌های میکرو را به‌ویژه در باغ‌های میوه، نشان می‌دهد (Feike et al., 2017). آبیاری زیرسطحی یکی از روش‌های آبیاری است که به‌طور عمده به دلیل کم‌بودن هزینه اجرا و راندمان کاربرد بالا در مناطق خشک استفاده می‌شود (Bainbridge, 2001). آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI) در مقایسه با دیگر سیستم‌های آبیاری، آب و مواد مغذی را به‌طور مستقیم در منطقه توسعه ریشه گیاه افزایش می‌دهد (Mohammad et al., 2014). آبیاری زیرسطحی به دلیل حفظ آب، کنترل علف‌های هرز، به حداقل رساندن روان‌آب و تبخیر و افزایش طول عمر قطره‌چکان‌ها از اهمیت و جایگاه بالایی برخوردار هستند (Camp & Sadler, 2002; O'Brien et al., 1998). طراحی بهینه سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مستلزم آگاهی از الگوی توزیع آب در اطراف قطره‌چکان، نحوه توزیع ریشه گیاه، به حداقل رساندن خیس‌شدگی سطح خاک و نفوذ عمقی است (Kandelous et al., 2011). انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای برای تعیین مدیریت صحیح آبیاری لازم است، اما به دلیل محدودیت‌های اجرایی آزمایش‌های مزرعه‌ای از جمله هزینه زیاد و زمان‌بر بودن، استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی حرکت آب در خاک توصیه می‌شود. علاوه‌براین، استفاده از مدل‌ها

امکان بررسی سناریوهای مختلف و زیادی با ایجاد شرایط گوناگون فراهم می‌آورد. از این‌رو، سال‌های زیادی است که برای تجزیه و تحلیل توزیع رطوبت در خاک تحت سیستم‌های مختلف آبیاری از مدل‌های عددی که بر پایه حل معادله ریچاردز هستند، استفاده می‌شود (Arbat et al., 2008). عملکرد مدل باید در شرایط مختلف ارزیابی شود و در صورت تأیید می‌توان از آن برای طراحی و مدیریت سامانه آبیاری استفاده کرد (Skaggs et al., 2004). اگر الگوی توزیع رطوبت در خاک با الگوی توزیع ریشه مطابقت داشته باشد، مقدار نفوذ عمقی و تبخیر از سطح خاک به حداقل می‌رسند (Subbaiah, 2013). در پژوهشی (Cook et al., 2006) برای بررسی الگوی توزیع رطوبتی خاک با استفاده از سه بافت خاک، دو نوع قطره‌چکان سطحی و زیرسطحی با استفاده از حل عددی، با به‌کارگیری مدل HYDRUS-2D و روش تحلیلی فیلپ دریافتند که هر دو روش مذکور تخمین قابل قبولی از جبهه رطوبتی عرضه می‌دارد اما مدل HYDRUS-2D توانایی و سرعت بیشتری در تعیین شکل جبهه رطوبتی دارد. هم‌چنین در پژوهش دیگری کارایی بالای مدل HYDRUS-2D در تخمین الگوی رطوبتی ایجادشده با استفاده از لوله‌های سفالی ۲۰ متری که در عمق ۴۰ سانتی‌متری کارگذاری شده بودند ارائه شده است (Siyal & Skaggs, 2009). در پژوهشی (Elmaloglou & Diamantopoulos, 2009) که بر روی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی صورت گرفت، دریافتند تغییر در شدت جریان تأثیر چشم‌گیری روی تبخیر و تعرق واقعی نداشته و فقط تأثیر اندکی روی تلفات نفوذ عمقی دارد. در پژوهشی دیگر که برای بررسی توزیع رطوبت خاک در آبیاری سطحی و زیرسطحی برای گیاه پسته با استفاده از نرم‌افزار HYDRUS-2D انجام شد، نتایج نشان داد میزان جذب آب ریشه در آبیاری زیرسطحی به میزان

تکامل پیاز رطوبتی در شرایط خاک‌های غیراشباع، برای شناسایی زمان آبیاری به‌منظور به حداکثر رساندن بهره‌وری استفاده از آب را گزارش کردند (Elnesr & Alazba, 2017). آگاهی از نحوه توزیع آب خاک برای تعیین پارامترهای طراحی مانند عمق بهینه کارگذاری قطره‌چکان به‌منظور تأمین رطوبت موردنیاز در محدوده ریشه گیاه، مؤثر و کارآمد می‌باشد (Mguidiche *et al.*, 2015). در پژوهشی، Nazari *et al.* (2021) به اندازه‌گیری و شبیه‌سازی جریان آب در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در درخت سیب پرداختند که نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد زمانی که قطره‌چکان در شعاع ۶۰ و عمق ۵۰ سانتی‌متری از درخت قرار می‌گیرد، بیش‌ترین میزان جذب آب توسط ریشه رخ خواهد داد. اگرچه تا به حال مطالعات مختلفی در زمینه آبیاری قطره‌ای انجام شده است، اما افزایش اطلاعات در رابطه با اثرات تغییر سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی به زیرسطحی بر الگوی توزیع رطوبت در ناحیه ریشه در شرایط مزرعه و تحت مدیریت باغدار و چگونگی جذب آب توسط ریشه در این شرایط ضروری می‌باشد (Lekakis & Antonopoulos, 2015). در پژوهشی (Wang *et al.*, 2019) برای شبیه‌سازی جذب آب ریشه و حرکت آب خاک درخت سیب از مدل WSPI-WR استفاده کردند که نتایج حاصل از این پژوهش نشان از دقت بالا در شبیه‌سازی جذب آب ریشه و توزیع آب در محل ریشه درخت سیب داشت. این پژوهش با هدف مطالعه و مدل‌سازی توزیع رطوبت در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با ایجاد ستونی از محیط متخلخل شنی و تعیین عمق بهینه کارگذاری این ستون‌ها در سه بافت خاک مختلف با استفاده از نرم‌افزار HYDRUS-2D و اثر آن بر جذب آب توسط ریشه انجام شد، که نتایج حاصل از این مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل خروجی مدل، موردبررسی قرار گرفت.

قابل توجهی بیش‌تر از آبیاری سطحی است. Ataee *et al.* (2019) آزمایش‌های میدانی را با استفاده از یک لوله قطره‌چکان حلقه‌ای شکل بر روی گوجه‌فرنگی و توت‌فرنگی تحت آبیاری زیرسطحی انجام دادند. نتایج شبیه‌سازی عددی با استفاده از HYDRUS نشان داد که این نرم‌افزار یک ابزار قدرتمند برای شبیه‌سازی حرکت آب در قطره‌چکان حلقوی به‌کاررفته در آبیاری زیرسطحی است (Saefuddin *et al.*, 2019). در پژوهشی دیگر توانایی مدل HYDRUS-2D در شبیه‌سازی حجم آب خاک پنبه با دقت بالا و مفیدبودن این شبیه‌سازی‌ها در طراحی مطلوب سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در کشت پنبه در مقایسه با داده‌های تجربی گزارش شد (Zhang *et al.*, 2017). در مطالعه‌ای به پیش‌بینی دقیق حجم آب خاک در منطقه ریشه گیاه سیب‌زمینی و هم‌چنین الگوی توزیع نمک در اطراف قطره‌چکان‌ها تحت سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی گزارش شد، طبق پیش‌بینی مدل بیش‌ترین تجمع املاح در اطراف پیاز رطوبتی مشاهده شد که با نتایج داده‌های اندازه‌گیری‌شده، برآورد نسبتاً نزدیکی را داشتند (Mguidiche *et al.*, 2015). عملکرد مدل HYDRUS-2D در شبیه‌سازی توزیع رطوبت در خاک تا عمق‌های ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری کارگذاری لوله‌های قطره‌چکان‌دار بررسی شده و نتایج نشان داد که دارای دقت بالا و اختلاف ناچیزی در مقایسه با داده‌های واقعی مزرعه است و این شبیه‌سازی به طراحی سامانه قطره‌ای زیرسطحی برای استفاده کارآمد از آب کمک می‌کند (Patel & Rajput, 2008). پژوهش‌های انجام‌شده در نقاط مختلف جهان توانایی مدل HYDRUS-2D در شبیه‌سازی توزیع رطوبت در نزدیکی قطره‌چکان‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مورد استفاده در محصولات باغی تحت شرایط مختلف محیطی نشان دادند و نیز کارآمدی بالای مدل شبیه‌سازی را در تشخیص

مواد و روش‌ها

در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، جریان آب از یک قطره‌چکان به داخل خاک را می‌توان با استفاده از مدل HYDRUS-2D شبیه‌سازی نمود (Simunek et al., 2006; Šimůnek et al., 2016). این پژوهش با استفاده از داده‌های تبخیر-تعرق درخت سیب در منطقه قزوین و با استفاده از شبیه‌سازی عددی در نرم‌افزار HYDRUS-2D انجام شده است. شبیه‌سازی در این پژوهش تحت سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی انجام شد. فاصله کاشت درختان سیب در منطقه طبق مشاهدات ۶×۳ متر بوده و حداکثر مقدار مصرف روزانه آب برای هر درخت نیز تابع شرایط آب‌وهوایی، گسترش شاخه و برگ، تراکم درختان و غیره است شروع گلدهی این محصول از اوایل فروردین‌ماه و زمان برداشت آن در اواخر شهریورماه یا اوایل مهرماه خواهد بود. عوامل موردبررسی شامل سه نوع بافت خاک (لوم، لوم شنی و سیلتی لوم) پنج عمق ستون شن صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متر به‌منظور قرارگیری قطره‌چکان بر روی سطح ستون شن می‌باشد. تعداد قطره‌چکان‌ها برای هر درخت دو عدد و فاصله قطره‌چکان‌ها از یکدیگر ۶۰ سانتی‌متر و در فاصله شعاعی ۳۰ سانتی‌متری از مرکز درخت قرار گرفت. برنامه‌ریزی آبیاری با توجه به شرایط آب‌وهوایی منطقه مورد مطالعه برای محصولات باغی لحاظ گردید. مدت شبیه‌سازی برای یک دوره ۱۹۰ روزه در ماه‌های فروردین تا اوایل مهرماه در نظر گرفته شده است.

منطقه مورد مطالعه

استان قزوین در حوزه مرکزی ایران در مختصات بین ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. ارتفاع منطقه مورد مطالعه برابر با ۱۳۰۴ متر

بالتر از سطح دریا است. براساس نقشه‌های پهنه‌بندی اقلیمی دومارتن بیش‌ترین پهنه استان در اقلیم نیمه‌خشک و خشک سرد قرار دارد (Hedayati & Kakavand, 2012). متوسط بارش سالانه آن ۳۱۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۴ درجه سانتی‌گراد است. در این پژوهش برای محاسبه مقادیر تبخیرتعرق پتانسیل از نرم‌افزار CROPWAT با به‌کارگیری داده‌های هواشناسی ۳۰ ساله ایستگاه سینوپتیک قزوین استفاده شده است که برای محاسبه مقدار تبخیر-تعرق از رابطه پنمن-فائو مانتیث رابطه (۱) استفاده شده است.

$$ET_0 = \frac{0.4084 \times (Rn - G) + \gamma \frac{900}{T_{mean} + 273.2} \times u_2 \times (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma \times (1 + 0.34 \times u_2)} \quad (1)$$

توصیف عددی مدل HYDRUS-2D

این مدل شامل حل عددی معادله ریچاردز برای بررسی حرکت آب در خاک و معادلات انتقال-انتشار برای بررسی حرکت املاح و گرما در خاک است (Simunek et al., 2006). در این مدل حرکت دو بعدی آب در خاک با استفاده از حل عددی معادله ریچاردز شبیه‌سازی شده است که با فرض خاک همروند و یکنواخت از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[k(h) \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[k(h) \frac{\partial}{\partial z} + k(h) \right] \quad (2)$$

در این رابطه θ رطوبت حجمی $[L^3 L^{-3}]$ ، h پتانسیل فشاری آب موجود در خاک $[L]$ ، t زمان $[T]$ ، X ، Y مختصات افقی $[L]$ و K : هدایت آبی $[LT^{-1}]$ می‌باشد. هم‌چنین از مدل شناخته‌شده ون‌گنوختن-معلم ۱۹۸۰ برای شبیه‌سازی منحنی مشخصه و از رابطه (Mualem (1976) برای منحنی هدایت هیدرولیکی غیر اشباع خاک استفاده گردید که به شرح رابطه-های (۳)، (۴)، (۵) و (۶) است.

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + |\alpha h|^n)^m} & h < 0 \\ \theta_s & h \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

شبه‌سازی تعیین عمق کارگذاری ستون شن در سه بافت خاک برای سامانه آبیاری قطره‌ای درخت سیب

جذب آب ریشه

در HYDRUS، جذب آب ریشه به‌عنوان یک جزو تخلیه در معادله ریچاردز، با استفاده از تابع عکس‌العمل تنش که توسط Feddes *et al.* (1978) ارائه شده، مدل‌سازی می‌شود.

$$S(h) = \alpha(h)S_p \quad (7)$$

که در آن S_p مقدار جذب پتانسیل، α ضریب کاهش جذب به دلیل تغییرات مکش خاک و S مقدار جذب آب است.

در این پژوهش پارامترهای تابع عکس‌العمل تنش طبق تحقیقات Feddes *et al.* (1978) مطابق با جدول (۲) مورد استفاده قرار گرفته شد.

که در آن h مکش خاک، h_1 مقدار مکش آستانه شروع جذب آب، h_2 مقدار مکش حد آستانه جذب پتانسیل، h_3 مقدار مکش حد آستانه کاهش جذب نسبت به پتانسیل (مقدار آن بستگی به نرخ تعرق گیاه دارد، اگر نرخ تعرق زیاد باشد نقطه شروع کاهش جذب نسبت به پتانسیل در مکش کم‌تری اتفاق می‌افتد h_3 high و بالعکس) و h_4 مقدار مکشی که جذب آب در آن متوقف می‌شود (شکل ۱).

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

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (5)$$

$$m = 1 - \frac{1}{n}, n > 1 \quad (6)$$

که در آن‌ها S_e درجه اشباع است [-]، θ_r و θ_s به ترتیب رطوبت حجمی باقی‌مانده و اشباع هستند α ، $[L^3/L^3]$ یک پارامتر تجربی است که رابطه معکوس با مقدار مکش ورودی هوا دارد $[LT^{-1}]$ ، n و m ثابت‌های تجربی هستند که بر شکل منحنی مشخصه رطوبتی خاک تأثیر می‌گذارد [-]، که مقدار m توسط رابطه (۶) محاسبه می‌شود، پارامتر (1) فاکتور شکل است و برای بسیاری از خاک‌ها حدود ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود، K_s هدایت هیدرولیکی اشباع و $K(h)$ $[LT^{-1}]$ ، تابع هدایت هیدرولیکی غیراشباع از معادله Van Genuchten (1980) است. $\theta(h)$ و $K(h)$ در روابط (۳) و (۴) با استفاده از پارامترهای منحنی مشخصه رطوبتی خاک θ_r ، θ_s ، n ، α به کمک شبکه عصبی ROSETTA تخمین زده شدند. پارامترهای هیدرولیکی سه بافت خاک مورد استفاده در این پژوهش در جدول (۱) نشان داده شده است.

Table 1. Hydraulic parameter of different soil textures based on the results of ROSETTA model estimation

Soil texture	θ_s ($cm^3 cm^{-3}$)	θ_r ($cm^3 cm^{-3}$)	α (cm^{-1})	n (-)	K_s ($cm \cdot day^{-1}$)	I (-)
Silty-Loam	0.067	0.45	0.02	1.41	10.8	0.5
Loam	0.078	0.43	0.036	1.56	24.96	0.5
Sandy-loam	0.065	0.41	0.075	1.89	106.1	0.5

Table 2. Parameters of stress reaction function for apple tree by (Feddes *et al.*, 1978)

Parameter	h_1	h_2	h_3	h_4
Suction (cm)	-10	-25	-200	-8000

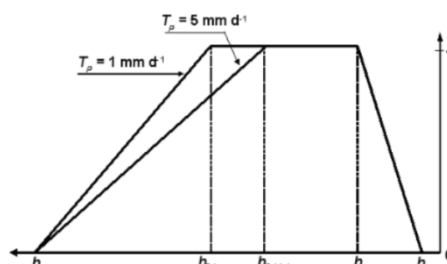


Figure 1. Conceptual diagram of water absorption function Feddes *et al.*, (1978)

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۱۱ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۴۰۰

شرایط اولیه و مرزی

آبیاری با استفاده از تکنیک آبیاری دقیق، که در نرم‌افزار HYDRUS تحت عنوان Triggered Irrigation در دسترس است، انجام شد. در این روش، آبیاری براساس فشار آستانه در یک نقطه‌ی مشاهداتی که کاربر مشخص می‌کند، انجام می‌شود. برای اعمال آبیاری می‌توان از بار فشاری مثبت بر روی سطح خاک (مانند آبیاری کرتی) و یا نرخ آبیاری (مانند شدت آبیاری یا دبی قطره چکان) بهره گرفت. به‌منظور اعمال آبیاری با استفاده از قطره‌چکان و به میزان آب موردنیاز گیاه، می‌توان از این تکنیک استفاده کرد. مقدار فشار آستانه برای شروع آبیاری بین مکش h_2 و h_3 در جدول (۲) و برابر با ۱۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. به بیان دیگر، هنگامی که مقدار فشار خاک در ناحیه ریشه به ۱۵۰ سانتی‌متر برسد آبیاری با مقدار فلاکسی که از قبل مشخص شده، شروع می‌شود و تا مدت زمان مشخص که یک پارامتر مدیریتی است ادامه می‌یابد. شرایط هندسی و مرزی شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار HYDRUS-2D که محل قرارگیری قطره‌چکان با فلاکس متغیر در ستونی از شن و شرایط مرزی بالادست و پایین‌دست محدوده شبیه‌سازی شده در شکل (۳) نشان داده شده است.

در مدل HYDRUS-2D از تابع دو بعدی $b(x,z)$ برای محاسبه تراکم و توزیع ریشه استفاده می‌شود (Vrugt *et al.*, 2002)، که در رابطه (۸) نشان داده شده است. در این رابطه X_m انتشارعرضی ریشه، Z_m حداکثر طول ریشه در جهت‌های x و z از مبدا گیاه و مابقی پارامترهای تجربی هستند

$$b(x,z) = \left(1 - \frac{z}{Z_m}\right) \left(1 - \frac{x}{X_m}\right) e^{-\left(\frac{pz}{Z_m}|z^* - z| + \frac{px}{X_m}|x^* - x|\right)} \quad (8)$$

Table 3. Experimental parameters of apple tree root distribution density (Nazari *et al.*, 2021)

X_m (cm)	Z_m (cm)	x^* (cm)	z^* (cm)	p_x (-)	p_z (-)
150	120	10	30	1.8	1.2

در این پژوهش پارامترهای تجربی تراکم توزیع ریشه طبق پژوهش‌های Nazari *et al.* (2020) مطابق با جدول (۳) تعیین شد. در شکل (۲) نسبت جذب آب توسط ریشه به حالت ماکزیمم در درخت سیب نشان داده شده است. به طوری که اگر مقدار ماکزیمم را برابر با عدد یک فرض کرد حداکثر مقدار جذب که برابر با ۰/۳۲۳ است در ناحیه زرشکی رنگ در وسط شکل خواهد بود و هرچه از ناحیه مرکزی فاصله گرفته شود این مقدار به حداقل مقدار ممکن خواهد رسید به طوری که در نواحی آبی رنگ که ریشه وجود ندارد جذبی اتفاق نخواهد افتاد و برابر با مقدار صفر در نظر گرفته می‌شود.

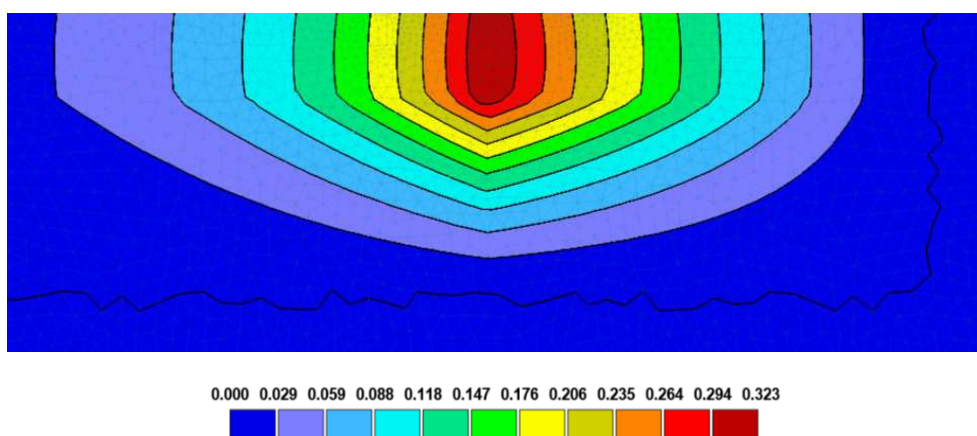


Figure 2. Distribution root in Apple tree and water uptake from soil in HYDRUS-2D model (-)

شبیه‌سازی تعیین عمق کارگذاری ستون شن در سه بافت خاک برای سامانه آبیاری قطره‌ای درخت سیب

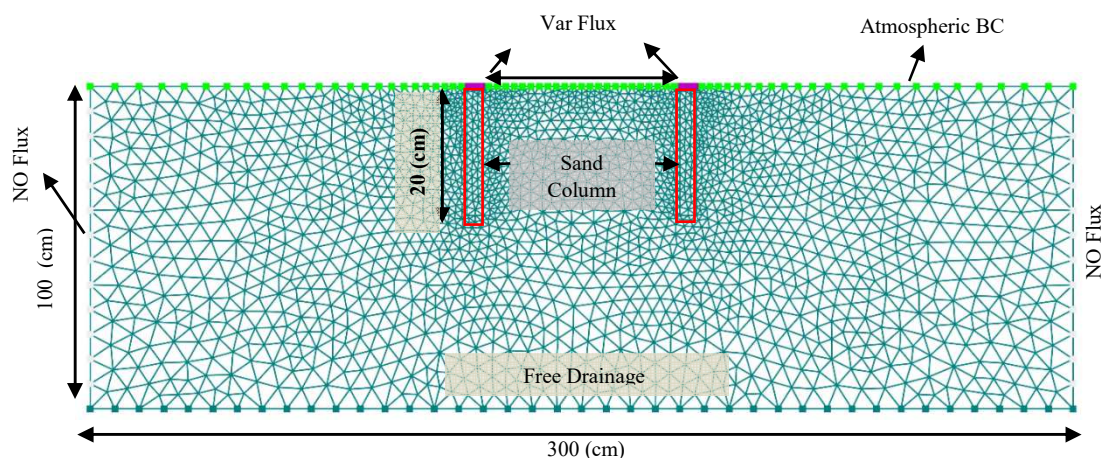


Figure 3. Flow geometry, location of the dropper in the sand column and boundary conditions simulated in HYDRUS-2D software

نتایج و بحث

در این پژوهش مقادیر جذب آب توسط ریشه، آب مصرفی، تبخیر و نفوذ عمقی در سه بافت خاک و پنج عمق ستون شن برای کارگذاری قطره‌چکان بین صفر تا ۴۰ سانتی‌متر شبیه‌سازی صورت گرفت که نتایج حاصل از آن در شکل (۴) قابل ملاحظه است.

با توجه به این‌که کارگذاری قطره‌چکان در خاک در بیش‌تر مواقع سبب گرفتگی قطره‌چکان خواهد شد و از طرفی قرارگیری آن در سطح خاک نیز منجر به بروز تلفات آبی و کاهش راندمان مصرف آب می‌شود، لذا در این پژوهش با ایجاد ستونی از شن در هر بافت خاک و قراردادن قطره‌چکان در سطح آن، تأثیر وجود ستون شن بر روی پارامترهای عنوان شده بررسی شد. با توجه به اثر عمق ستون شن بر روی عوامل نامبرده، باید عمقی از ستون شن انتخاب شود که از مقدار تبخیر کاسته شود، میزان نفوذ عمقی و مقدار آب مصرفی در کم‌ترین مقدار ممکن قرار گرفته و میزان جذب آب توسط ریشه حداکثر باشد. مقایسه و بررسی پارامترهای یادشده منجر به تعیین مناسب‌ترین عمق کارگذاری ستون شن در هر بافت خاک خواهد بود.

نفوذ عمقی در واحد مکان و زمان ثابت نیست، از این‌رو برآورد آن در تعیین عمق کارگذاری قطره‌چکان برای تشخیص عمق بهینه ستون شن جزو موارد مهم محسوب می‌شود. طبق بررسی نتایج شبیه‌سازی‌های صورت‌گرفته در این پژوهش و مقایسه‌های انجام‌شده در بافت‌های مختلف مشخص می‌شود که مقدار تبخیر در بافت خاک لومی در زمانی‌که ستونی از شن به عمق ۴۰ سانتی‌متر ایجاد شده نسبت به زمانی‌که ستون شنی ایجاد نشده است مقدار تبخیر ۲۳ درصد کاهش پیدا کرده است، همچنین با بررسی مقدار آب مصرفی در عمق‌های مختلف ملاحظه می‌شود زمانی‌که ستون شن عمقی برابر با ۱۰ سانتی‌متر ایجاد شده است نسبت به زمانی‌که ستون شنی ایجاد نشده است مقدار آب مصرفی نزدیک به ۳ درصد با افزایش همراه بوده است، درحالی‌که اگر عمق ستون شن را تا ۲۰ سانتی‌متری افزایش دهیم، نه تنها مقدار آب مصرفی به میزان ۳۰۰ سانتی‌متر مربع کاهش مصرف داشته است از طرفی هم مقدار تبخیر نسبت به سطح خاک به مقدار ۹ درصد کاهش داشته است که تقریباً می‌توان حجمی برابر با ۱۴۲ سانتی‌متر کاهش را ملاحظه نمود.

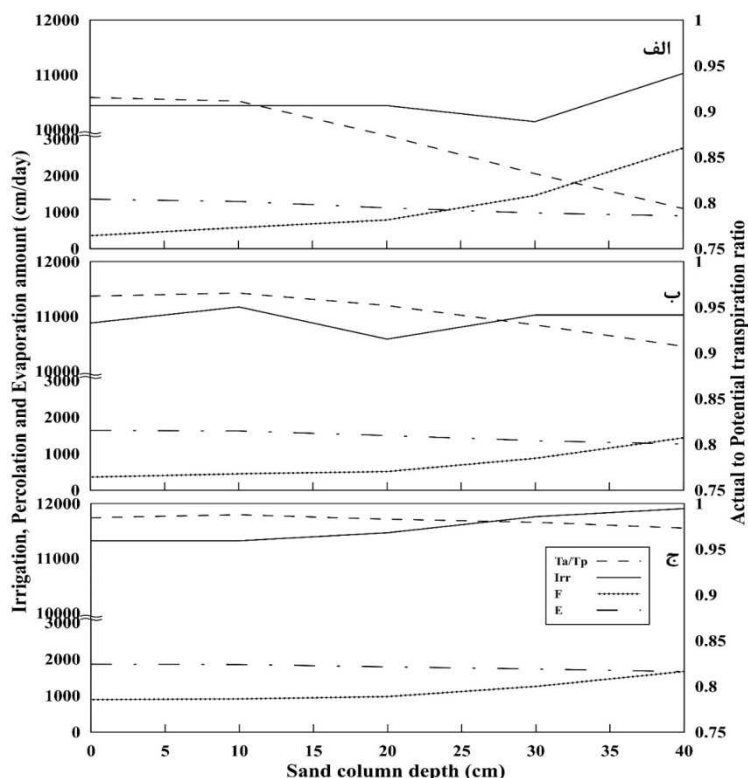


Figure 4. Simulation results of change in the depth of the sand column in three textures a) Sandy-Loam b) Loam and c) Silty-Loam

مقدار آب مصرفی در بعضی از عمق‌ها و میزان تبخیر به صورت پیوسته کاهش پیدا خواهد کرد، اما میزان نفوذ عمقی به نسبت افزایش عمق ستون شن، بیش‌تر خواهد شد. به طوری که این تغییرات در بافت خاک لوم از عمق ۲۰ سانتی‌متری تا عمق ۴۰ سانتی‌متری با شیب نسبتاً زیادی همراه بوده است. بنابراین افزایش عمق ستون به منظور بهبود عملکرد، منوط به بررسی هر چهار پارامتر مطرح شده است. لذا طبق بررسی‌های انجام شده ملاحظه شد، زمانی که عمق ستون از ۲۰ به ۳۰ سانتی‌متری افزایش پیدا کرده، میزان نفوذ عمقی ۱۰۰ درصد افزایش داشته، که با افزایش عمق ستون شن تا ۴۰ سانتی‌متر، مقدار نفوذ بیش‌تر هم شده است، به طوری که این عامل سبب کاهش نسبت آب جذب شده به حالت پتانسیل خواهد شد به همین منظور زمانی که ستون شن عمقی برابر با ۴۰

درحالی که با بررسی نسبت تغییرات تبخیر در عمق ۲۰ نسبت به عمق ۱۰ سانتی‌متری نزدیک به ۹۰ درصد کم‌تر شده است، که این امر موجب افزایش عملکرد سیستم آبیاری خواهد بود. پیشروی عمق ستون شن تا ۴۰ سانتی‌متری ادامه پیدا کرد به طوری که ملاحظه می‌شود هرچه عمق ستون شن افزایش پیدا کرده مقدار تبخیر به نسبت آن کم‌تر شده است که با بررسی‌های صورت گرفته ملاحظه شد نسبت این تغییرات در زمانی که ستون شن ایجاد نشده نسبت به عمق ۳۰ سانتی‌متری به مقدار ۱۷/۲ درصد کاهش و با افزایش ۱۰ سانتی‌متری عمق ستون شن، یعنی در عمقی معادل با ۴۰ سانتی‌متری مقدار تبخیر نسبت به عمق ۳۰ سانتی‌متری، ۲۵ درصد کم‌تر شده است.

اما توجه به دیگر پارامترها از اهمیت بالایی برخوردار خواهد بود، به طوری که با افزایش عمق ستون شن، اگرچه

کم‌تر شده است. زمانی که عمق ستون شن افزایش پیدا کرده با وجود کم‌شدن مقدار تبخیر، اما نسبت آب جذب شده به پتانسیل نیز با شیب بیش‌تری کاهش پیدا خواهد کرد، لذا طبق بررسی‌های صورت‌گرفته از شکل (۴) در بافت خاک لوم‌شنی می‌توان این استنباط را داشت که در بافت خاک لوم‌شنی نباید عمق ستون شن از ۱۰ سانتی‌متر افزایش پیدا کند. زیرا در بافت خاک سبک با افزایش عمق، مقدار نفوذ عمقی به‌شدت افزایش و هم‌چنین نسبت آب جذب‌شده نیز با شیب زیادی کاهش یافته است به‌طوری‌که هرچه از سطح به سمت عمق خاک حرکت کرده نسبت این مقدار بیش‌تر می‌شود.

در بافت خاک سیلتی‌لوم مقدار آب مصرفی تا عمق ۱۰ سانتی‌متری از یک روند ثابتی برخوردار بوده و با افزایش عمق نسبت تغییرات آب مصرفی با شیب بیش‌تری افزایش یافته است، به‌طوری‌که مقدار آب مصرفی در زمانی که ستون شن عمقی برابر با ۱۰ سانتی‌متر دارد نسبت به زمانی که عمق ستون شن ۲۰ سانتی‌متر است به میزان ۱۴۷ سانتی‌متر مربع آب کم‌تر مصرف خواهد شد. این تغییرات با شیب بیش‌تری در عمق ۳۰ و در نهایت در عمق ۴۰ رخ خواهد داشت، به‌طوری‌که مقدار آب مصرفی در ستون شنی به عمق ۴۰ نسبت به عمق ۱۰ سانتی‌متری مقداری نزدیک به ۶۰۰ سانتی‌مترمربع آب بیش‌تری مصرف خواهد شد.

در بافت خاک سیلتی‌لوم، سنگین‌بودن بافت خاک سبب کاهش مقدار تبخیر به‌صورت کاملاً تدریجی و با شیب کم همراه خواهد بود، زیرا در زمانی که ستون شن عمقی برابر با ۱۰ سانتی‌متر دارد، مقدار تبخیر نسبت به زمانی که ستون شن عمقی معادل با ۴۰ سانتی‌متر را داد ۱۰ درصد معادل با ۱۳۲ سانتی‌متر مربع کم‌تر رخ خواهد داد. اما توجه به نفوذ عمقی نیز از اهمیت بالایی برخوردار خواهد بود زیرا اگرچه تبخیر با افزایش عمق کاهش پیدا

سانتی‌متر دارد، به مقدار ۶ درصد مقدار جذب نسبت به سطح خاک کم‌تر شده درحالی‌که این تغییرات در عمق ۲۰ سانتی‌متری نسبت به سطح خاک با تغییرات محسوسی همراه بوده است. بنابراین با بررسی تغییرات مقدار آب مصرفی، تبخیر، نفوذ عمقی می‌توان به این نتیجه رسید در زمانی که ستون شن، عمقی برابر با ۲۰ سانتی‌متری را دارا باشد، نه تنها مقدار آب مصرفی در کم‌ترین مقدار ممکن قرار دارد بلکه میزان تبخیر نیز کاهش داشته است و نسبت آب جذب‌شده به پتانسیل نیز از تغییرات محسوسی نسبت به سطح خاک برخوردار بوده است.

در بافت خاک لوم‌شنی مقدار تبخیر با شیب بیش‌تری نسبت به بافت خاک لوم کاهش پیدا کرده است. در حالی که ستون شن به عمق ۴۰ سانتی‌متر ایجاد شده است، نسبت به زمانی که ستون شن ایجادنشده مقدار تبخیر ۳۴ درصد کاهش پیدا کرده است. خاک لوم‌شنی به‌دلیل سبک‌بودن بافت خاک از تغییرات کم‌تری برخوردار بوده به‌طوری‌که این تغییرات از سطح خاک تا زمانی که ستون شن عمقی برابر با ۲۰ سانتی‌متر را دارا بوده، مقدار آب مصرفی تغییری نداشته و برابر با مقداری ثابت بوده، اما با افزایش عمق ستون تا ۳۰ سانتی‌متری به یک باره مقدار آب مصرفی تا حجم نزدیک به ۳۰۰ سانتی‌متر مربع کم‌تر هم شده است. مقدار تبخیر نیز با افزایش عمق ستون شن کاهش پیدا کرده، به‌طوری‌که برای عمق ستون شن برابر با ۱۰ سانتی‌متر، مقدار تبخیر نسبت به سطح خاک نزدیک به ۵ درصد کم‌تر شده است، اما نسبت این تغییرات با افزایش عمق بیش‌تر هم شده حتی میزان این تغییرات نسبت به بافت خاک لومی بیش‌تر بوده به طوری‌که زمانی که ستون شن عمقی برابر با ۳۰ سانتی‌متر را دارد میزان کاهش تبخیر در بافت خاک لوم‌شنی به مقدار ۱۱ درصد بیش‌تر خواهد بود. هم‌چنین در بافت خاک لوم‌شنی زمانی که ستون شن عمقی برابر با ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متر دارد مقدار تبخیر به‌ترتیب به میزان ۱۷/۶، ۲۸/۱ و ۳۳/۸ درصد

کم‌تری برخوردار خواهیم کرد زیرا با عمیق‌شدن ستون شن، با وجود ثابت‌بودن تقریبی مقدار مصرف آب، نسبت درصد آب جذب‌شده به میزان ۱۲ درصد و مقدار تبخیر با کاهش ۳۴ درصدی و در نهایت میزان نفوذ عمقی افزایش چشم‌گیری خواهد داشت، به طوری که میزان نفوذ عمقی به مقدار هفت برابر افزایش داشته است.

در بررسی نسبت تعرق واقعی به تعرق پتانسیل در هر سه بافت مورد مقایسه در شکل (۵) می‌توان این‌طور اظهار کرد که در بافت خاک سیلتی لوم با تغییرات نسبتاً یکنواختی همراه بوده و مقداری تقریباً برابر با ۹۸ تا ۹۷ درصدی همراه بوده و این بافت خاک با افزایش عمق، از تغییرات چندانی برخوردار نبوده و نگهداشت آب در بافت سنگین به واسطه وجود ذرات ریزدانه بیشتر است. در بافت خاک لومی نسبت تعرق واقعی به پتانسیل نسبت به بافت لوم شنی از مقدار کم‌تری برخوردار بوده، به طوری که از سطح خاک تا عمق ۲۰ سانتی‌متری به مقدار حداکثری خود یعنی مقداری بین ۹۶ تا ۹۵ درصد خواهد رسید و نسبت این تغییرات با افزایش عمق ستون شن کم‌تر شده، به طوری که هرچه عمق ستون شن افزایش پیدا کند نسبت تعرق واقعی به تعرق پتانسیل کم‌تر خواهد شد.

کرده است، اما میزان نفوذ عمقی از عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری با شیب بیش‌تری افزایش خواهد داشت که این میزان برابر با ۴۱/۳ درصد خواهد بود به طوری که میزان نفوذ عمقی در زمانی که ستون شن عمقی برابر با ۴۰ سانتی‌متر را دارد به مقدار ۷۷۰ سانتی‌متر مربع نسبت به سطح خاک افزایش پیدا کرده است. نتیجه به دست آمده از بررسی سناریوها در این بافت خاک نشان داد زمانی که ستون شنی به عمق ۵ تا ۱۰ سانتی‌متری قرار می‌گیرد اثربخشی بیش‌تری در نتایج حاصل خواهد شد.

به طور کلی بررسی خروجی‌ها در شکل (۴) نشان می‌دهد با افزایش عمق ترانشه میزان تبخیر کاهش می‌یابد، به طوری که میزان کاهش بین عمق‌های صفر تا ۴۰ سانتی‌متر در بافت خاک سیلتی لوم، لوم و لوم‌شنی به ترتیب ۱۱، ۲۳ و ۳۴ درصد کاهش یافته است. بافت لوم‌شنی به دلیل این که منافذ درشت‌تری نسبت به دو خاک دیگر دارد، تبخیر از سطح خاک بیش‌تر تحت تأثیر عمق ستون شن قرار گرفته است، زیرا جریان موئینه در این بافت کم‌تر از لوم و بافت لوم نیز کم‌تر از سیلتی لوم است. در بافت لوم‌شنی اگر ستون شن ایجاد نشده و تنها قطره‌چکان بر روی سطح خاک قرار بگیرد، به عملکرد بهتر و تلفات

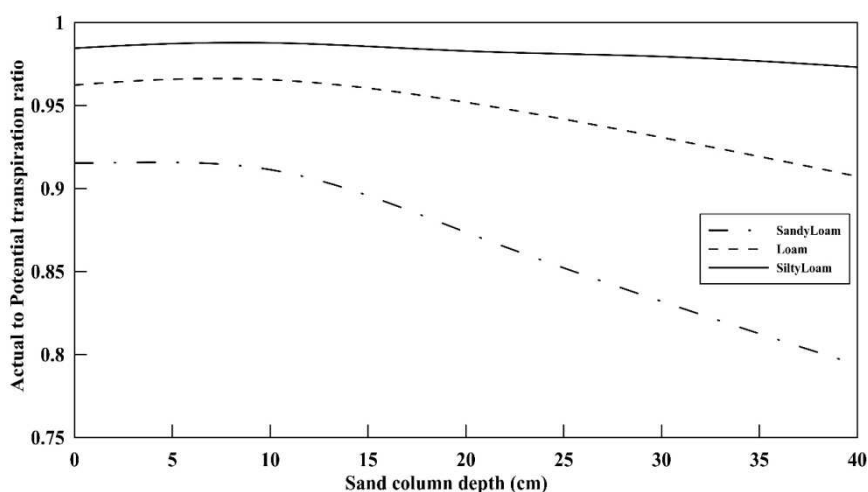


Figure 5. Investigation of water consumption and ratio of actual transpiration to potential transpiration in three simulated soil textures

شبیه‌سازی تعیین عمق کارگذاری ستون شن در سه بافت خاک برای سامانه آبیاری قطره‌ای درخت سیب

با توجه به این‌که عرض ترانشه نیز از موارد اثربخش در کارگذاری قطره‌چکان در ستون شن می‌باشد، به همین منظور در این پژوهش پس از بررسی اثر عمق ستون شن و انتخاب عمق بهینه در هر بافت خاک به مقایسه عرض بهینه در ستون‌های مورد مقایسه پرداخته شد. با توجه به شکل (۶)، به‌طور کلی برای خاک‌هایی با بافت سبک استفاده از ترانشه شن توصیه نمی‌شود زیرا اثربخشی لازم و نتایج قابل ملاحظه‌ای ایجاد نخواهد شد. به همین منظور به بررسی عرض ستون شن در دو بافت خاک لومی و سیلتی لوم تا عرض ۲۰ سانتی‌متر پرداخته شد. نتایج حاصل از بررسی این سناریوها نشان داد در بافت خاک سیلتی لوم زمانی که عرض ترانشه از پنج سانتی‌متری به ۱۰ سانتی‌متری افزایش پیدا می‌کند مقدار آب مصرفی نزدیک ۱۱ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. در همین بازه مقدار نفوذ عمقی با شیب نسبتاً زیادی کاهش یافته است، به‌طوری‌که میزان نفوذ عمقی در عرض ۱۰ سانتی‌متری نسبت به عرض ۵ سانتی‌متری به میزان ۸۲ درصد و مقدار تبخیر نزدیک به ۱۳ درصد کاهش پیدا کرده است.

در خاک لوم شنی چون دارای بافت سبک بوده نسبت جذب در سطح خاک از ۹۱ درصد به ۷۹ درصد در عمق ۴۰ سانتی‌متری کاهش یافته است که می‌توان به این نتیجه رسید که هرچه بافت خاک سبک‌تر باشد نسبت آب جذب‌شده به پتانسیل با شدت بیشتری کاهش می‌یابد و همین‌طور میزان نسبت جذب آب در بافت خاک متوسط و سنگین از مقدار بالاتری نسبت به بافت خاک سبک برخوردار بوده به‌طوری‌که این تغییرات با افزایش عمق بیش‌تر قابل ملاحظه است. به‌طور کلی، نتایج خروجی مدل نشان می‌دهد که هرچه بافت خاک سبک‌تر باشد از تناوب آبیاری بالاتری برخوردار خواهد بود و چون نسبت آب جذب‌شده دارای مقداری کم‌تر بوده به‌منظور افزایش آب قابل جذب توسط گیاه در هر دوره تناوب از حجم آب کم‌تری استفاده می‌شود تا بیش‌تر در دسترس گیاه قرار گرفته شود. هم‌چنین در شکل (۴) قابل ملاحظه است که با افزایش تناوب آبیاری در بافت خاک سبک مقدار تبخیر از تغییرات چندانی برخوردار نبوده، زیرا میزان تبخیر از سطح خاک در بافت خاک لوم شنی نسبت به بافت خاک لوم و سیلتی لوم به‌ترتیب به میزان ۱۷/۲ و ۲۷/۲ درصد کم‌تر خواهد بود.

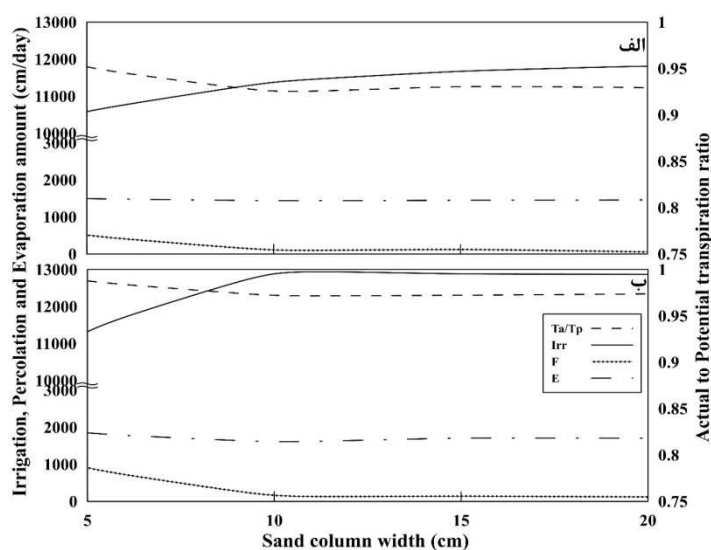


Figure 6. Investigation of the effect of trench width change on the studied parameters, a) Loam and b) Silty-Loam

به دلیل این‌که بافت خاک سبک بوده الزامی به استفاده از ستون شن نخواهد بود. پژوهش‌هایی که در همین زمینه انجام شده است (Soltani *et al.*, 2021). بهترین عمق کارگذاری قطره‌چکان در گیاه ذرت برای سه بافت خاک را مورد بررسی قرار دادند که نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در بافت خاک لوم بهترین عمق به کارگیری قطره چکان در ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متری اتفاق می‌افتد که به نتایج حاصل از این پژوهش نزدیک بوده است. در پژوهشی دیگر (Nazari *et al.*, 2020) دریافتند که حدود ۸۱ درصد جذب آب ریشه در عمق صفر تا ۵۰ سانتی‌متری اتفاق می‌افتد و تنها ۱۹ درصد در عمق زیر ۵۰ سانتی‌متری اتفاق می‌افتد. در پژوهش دیگری (Arbat *et al.*, 2020)، عمق نصب بهینه در سه نوع بافت خاک لوم‌شنی، لوم و رس سیلتی برای محصول برنج ۱۵ سانتی‌متر عنوان شد که در این عمق مقدار جذب آب بیشینه و نفوذ عمقی حداقل می‌شود هم‌چنین پژوهش دیگری در مرکز تحقیقات کشاورزی کرمان دو عمق ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر را به‌منظور تعیین عمق بهینه در بافت خاک لوم آزمایش کردند که در نهایت طبق بررسی‌های انجام‌شده عمق ۳۰ سانتی‌متر به‌عنوان عمق بهینه در بافت خاک لوم مطرح شد. عمق نصب بهینه قطره‌چکان در بافت لوم‌شنی را ۲۰ سانتی‌متر بیان نمود (Jahanshahi *et al.*, 2013). در آبیاری قطره‌ای پیاز رطوبتی به‌عنوان اصلی‌ترین عامل در خیس‌شدگی خاک همواره محسوب می‌شود تعیین و اندازه‌گیری اصولی آن نقش به‌سزایی در بهبود عملکرد سیستم آبیاری خواهد داشت. عوامل مختلفی در تعیین جبهه رطوبتی مؤثر هستند که یکی از این عوامل بافت خاک است. با بررسی‌های صورت‌گرفته در پژوهش مشخص شد هر چه بافت خاک سبک‌تر باشد تغییرات رطوبت در جهت عمودی بیش‌تر خواهد بود که در شکل (۷) سعی شده است که این موضوع به‌صورت بهتری نمایش داده شود.

نسبت آب جذب‌شده نیز از تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای نسبت به عرض ۵ سانتی‌متری برخوردار نبوده است. با افزایش عرض ستون شن ملاحظه می‌شود که مقدار آب مصرفی به نسبت ثابتی باقی مانده و سایر پارامترها هم متناسب با مقدار آب مصرفی از تغییرات نامحسوسی برخوردار بوده است، به طوری‌که میزان تبخیر در زمانی که عرض ترانشه از ۱۵ سانتی‌متری به ۲۰ سانتی‌متری افزایش پیدا می‌کند، تبخیر به مقدار تنها ۴ سانتی‌مترمربع و نفوذ به مقدار ۱۳ درصد کاهش یافته است.

با سبک‌شدن بافت خاک نسبت این تغییرات کم‌تر دیده می‌شود، به طوری‌که در بافت خاک لوم میزان آب مصرفی با افزایش عرض ترانشه از ۵ به ۱۰ سانتی‌متری به میزان ۷ درصد بیش‌تر شده که این تغییرات با افزایش عرض تا عمق ۱۵ و ۲۰ نسبت به عرض ۵ سانتی‌متری به مقدار ۱۰ و ۱۱ درصد بوده که نشان از این دارد که تغییرات آب مصرفی با افزایش عرض ترانشه از نوسان کم‌تری برخوردار است. در همین راستا میزان نفوذ به مقدار قابل توجه ۸۰ درصد کم‌تر شده است. مقدار تبخیر نیز از روند یکنواختی برخوردار بوده و با افزایش عرض کاهشی کم‌تر از ۳ درصد داشته است.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد برای استفاده از یک سیستم آبیاری ایده‌آل در بافت خاک لوم زمانی که عمق ستون شن در بازه ۱۰-۱۵ و عرض ۵-۱۰ سانتی‌متری و هم‌چنین زمانی که قطره‌چکان در بافت خاک سیلتی لوم در ستون شنی به عمق و عرض ۵ تا ۱۰ سانتی‌متری قرار گیرد، میزان نفوذ عمقی، آب مصرفی و تبخیر نسبت به حالت ماکزیمم به میزان قابل‌ملاحظه‌ای کم‌تر خواهد بود در بررسی سایر سناریوها با افزایش عرض ترانشه از بازه ۱۰ سانتی‌متری به بعد روند تمامی موارد بررسی شده یک روند ثابتی داشته و تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای دیده نشد هم‌چنین در بافت خاک لوم‌شنی

شبیه‌سازی تعیین عمق کارگذاری ستون شن در سه بافت خاک برای سامانه آبیاری قطره‌ای درخت سیب

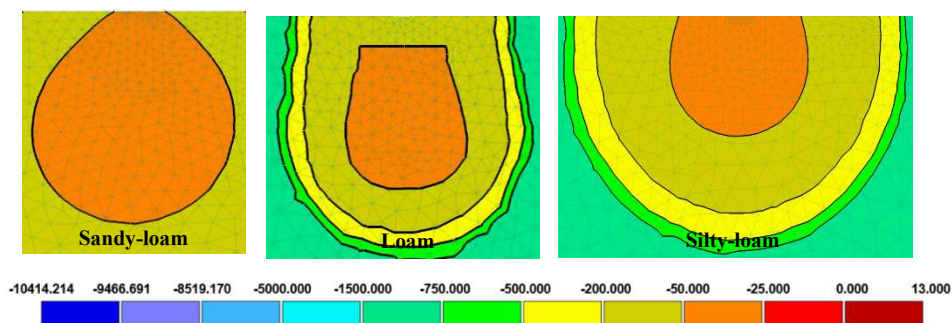


Figure 7. Investigation of the effect of wetting pattern on the texture of Silty-Loam, Loam and Sandy-Loam

با خاک جلوگیری شود. با توجه به این‌که پژوهش صورت‌گرفته در قالب شبیه‌سازی انجام شده است، به همین منظور طبق نتایج شبیه‌سازی حتماً لازم است تا در یک کار میدانی صحت و دقت نتایج مورد ارزیابی قرار گیرد، اما با توجه به نتایج به‌دست‌آمده لازم نیست همه سناریوها در زمین اجرا شود و طبق سناریوهای انجام‌شده، فقط تعداد محدودی از آن‌ها که نتایج خوبی داشتند موردبررسی قرار گیرند.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با استفاده از نسخه دوم بسته نرم‌افزاری HYDRUS-2D و لایسنس اختصاصی گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) انجام شد. بدین ترتیب از حمایت و همکاری انجام شده، تشکر و قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

1. Ashar Jahanshahi, Zareabyaneh, H., Naghavi, H., & Eslami, A. (2013). Assessment of influence of installation depth of emitter with same discharges on moisture distribution in subsurface drip irrigation system and simulation with HYDRUS-2D model. *Irrigation and Water Engineering*, 3(2), 101-113. (In Persian).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از شبیه‌سازی صورت‌گرفته با استفاده از مدل HYDRUS-2D نشان داد که هرچه بافت خاک سنگین‌تر باشد اثربخشی استفاده از ستون شن بیشتر خواهد بود و قابل ذکر است که میزان تغییرات تبخیر و نفوذ در بافت خاک لوم‌شنی به‌علت وجود خلل و فرج درشت دانه، نسبت به دو بافت دیگر بیشتر بوده است که در یک بیان کلی نفوذ عمقی و مقدار آب جذب‌شده عامل حساس و اثرگذار است که نقش مهمی در مدیریت و تصمیم‌گیری سیستم آبیاری دارد و براساس این پژوهش می‌توان دریافت که جبهه رطوبتی با سبک‌شدن بافت خاک، در جهت عمودی بیشتر حرکت خواهد کرد و در بافت خاک سنگین شدت پیشروی افقی نسبت به پیشروی عمودی بیشتر شده است. با توجه به نتایج این پژوهش توصیه می‌شود در طراحی سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، عمق کارگذاری قطره‌چکان با در نظرگرفتن مدیریت مناسب در به‌کارگیری از ترانسه شن، زمان آبیاری با توجه به نوع خاک لحاظ شود. این امر می‌تواند صرفه‌جویی قابل‌ملاحظه‌ای در مصرف آب داشته باشد، به‌ویژه در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند کمک اقتصادی شایانی برای کشاورزان داشته باشد همچنین توصیه می‌شود به‌منظور ایجاد ترانسه شن از لوله‌های PVC استفاده شود تا در شخم سالیانه از مخلوط‌شدن ستون شن

2. Arbat, G., Puig-Bargues, J., Barragan, J., Bonany, J., & De Cartagena, F. R. (2008). Monitoring soil water status for micro-irrigation management versus modelling approach. *Biosystems Engineering*, 100(2), 286-296.
3. Arbat, Gerard, Cufi, S., Duran-Ros, M., Pinsach, J., Puig-Bargués, J., Pujol, J., & Ramírez de Cartagena, F. (2020). Modeling approaches for determining dripline depth and irrigation frequency of subsurface drip irrigated rice on different soil textures. *Water*, 12(6), 1724.
4. Ataee, A., Akbari, M., Neyshabouri, M. R., Zarehagi, D., & Onnabi Milani, A. (2019). Pistachio response to water and salinity distribution in surface and subsurface drip irrigation systems. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 13(1), 115-128.
5. Bainbridge, D. A. (2001). Buried clay pot irrigation: a little known but very efficient traditional method of irrigation. *Agricultural Water Management*, 48(2), 79-88.
6. Camp, C. R., & Sadler, E. J. (2002). Irrigation, deep tillage, and nitrogen management for a corn-soybean rotation. *Transactions of the ASAE*, 45(3), 601.
7. Canone, D., Previati, M., & Ferraris, S. (2017). Evaluation of stemflow effects on the spatial distribution of soil moisture using TDR monitoring and an infiltration model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 143(1), 4016075.
8. Cook, F.J., Fitch, P., Thorburn, P.J., Charlesworth, P.B., & Bristow, K.L. (2006). Modelling trickle irrigation: comparison of analytical and numerical models for estimation of wetting front position with time. *Environmental Modelling & Software*, 21(9), 1353-1359.
9. Elmaloglou, S., & Diamantopoulos, E. (2009). Simulation of soil water dynamics under subsurface drip irrigation from line sources. *Agricultural Water Management*, 96(11), 1587-1595.
10. Elnesr, M.N., & Alazba, A.A. (2017). Simulation of water distribution under surface dripper using artificial neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, 90-99.
11. Feddes, R. A., Kowalik, P. J., & Zaradny, H. (1978). *Water uptake by plant roots. Simulation of field water use and crop yield*. 16-30. New York: Wiley.
12. Feike, T., Khor, L. Y., Mamitimin, Y., Ha, N., Li, L., Abdusalih, N., Xiao, H., & Doluschitz, R. (2017). Determinants of cotton farmers' irrigation water management in arid Northwestern China. *Agricultural Water Management*, 187, 1-10.
13. Hedayati, A., & Kakavand, R. (2012). Climatic zoning of Qazvin Province. *Nivar*, 36(77-76), 59-66. (In Persian).
14. Kandelous, M. M., Šimůnek, J., Van Genuchten, M. T., & Malek, K. (2011). Soil water content distributions between two emitters of a subsurface drip irrigation system. *Soil Science Society of America Journal*, 75(2), 488-497.
15. Lekakis, E. H., & Antonopoulos, V. Z. (2015). Modeling the effects of different irrigation water salinity on soil water movement, uptake and multicomponent solute transport. *Journal of Hydrology*, 530, 431-446.
16. Mguidiche, A., Provenzano, G., Douh, B., Khila, S., Rallo, G., & Boujelben, A. (2015). Assessing Hydrus-2D to Simulate Soil Water Content (SWC) and Salt Accumulation Under an SDI System: Application to a Potato Crop in a Semi-Arid Area of Central Tunisia. *Irrigation and Drainage*, 64(2), 263-274.
17. Mohammad, N., Alazba, A. A., & Šimůnek, J. (2014). HYDRUS simulations of the effects of dual-drip subsurface irrigation and a physical barrier on water movement and solute transport in soils. *Irrigation Science*, 32(2), 111-125.
18. Mualem, Y. (1976). A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resour. Res.* 12(3), 513-522.
19. Nazari, E., Besharat, S., Zeinalzadeh, K., & Mohammadi, A. (2020). Measurement and simulation of the water flow and root uptake in soil under subsurface drip irrigation of apple tree. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 13(6), 1806-1809. (In Persian).
20. Nazari, E., Besharat, S., Zeinalzadeh, K., & Mohammadi, A. (2021). Measurement and simulation of the water flow and root uptake in soil under subsurface drip irrigation of apple tree. *Agricultural Water Management*, 255, 106972. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106972>
21. O'Brien, D. M., Rogers, D. H., Lamm, F. R., & Clark, G. A. (1998). An economic comparison of subsurface drip and center pivot sprinkler irrigation systems. *Applied Engineering in Agriculture*, 14(4), 391-398.

22. Orzolek, M. (2017). *A guide to the manufacture, performance, and potential of plastics in agriculture*. Elsevier.
23. Patel, N., & Rajput, T. B. S. (2008). Dynamics and modeling of soil water under subsurface drip irrigated onion. *Agricultural Water Management*, 95(12), 1335-1349.
24. Saefuddin, R., Saito, H., & Šimůnek, J. (2019). Experimental and numerical evaluation of a ring-shaped emitter for subsurface irrigation. *Agricultural Water Management*, 211, 111-122.
25. Simunek, J., Van Genuchten, M. T., & Sejna, M. (2006). The HYDRUS software package for simulating the two-and three-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. *Technical Manual*, 1.
26. Šimůnek, J., Van Genuchten, M. T., & Šejna, M. (2016). Recent developments and applications of the HYDRUS computer software packages. *Vadose Zone Journal*, 15(7), vzj2016-04.
27. Siyal, A. A., & Skaggs, T. H. (2009). Measured and simulated soil wetting patterns under porous clay pipe sub-surface irrigation. *Agricultural Water Management*, 96(6), 893-904.
28. Skaggs, T. H., Trout, T. J., Šimůnek, J., & Shouse, P. J. (2004). Comparison of HYDRUS-2D simulations of drip irrigation with experimental observations. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 130(4), 304-310.
29. Soltani, M., Rabbaniha, H., & Fakhar, M. S. (2021). *The Effects of Dripper Installation Depth on Increasing the Maize Root Water Uptake Efficiency for Three Various Soil Textures*. 771-782. (In Persian).
30. Subbaiah, R. (2013). A review of models for predicting soil water dynamics during trickle irrigation. *Irrigation Science*, 31(3), 225-258.
31. Van Genuchten, M. T. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44(5), 892-898.
32. Vrugt, J. A., Bouten, W., Gupta, H. V., & Sorooshian, S. (2002). Toward improved identifiability of hydrologic model parameters: The information content of experimental data. *Water Resources Research*, 38(12), 41-48.
33. Wang, Z., Fan, B., & Guo, L. (2019). Soil salinization after long-term mulched drip irrigation poses a potential risk to agricultural sustainability. *European Journal of Soil Science*, 70(1), 20-24.
34. Zarebyaneh, H., Naghavi, H., & Eslami, A. (2013). Assessment of influence of installation depth of emitter with same discharges on moisture distribution in subsurface drip irrigation system and simulation with HYDRUS-2D model. *Irrigation and Water Engineering*, 3(2), 101-113.
35. Zhang, H., Khan, A., Tan, D. K. Y., & Luo, H. (2017). Rational water and nitrogen management improves root growth, increases yield and maintains water use efficiency of cotton under mulch drip irrigation. *Frontiers in Plant Science*, 8, 912.