نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره1، جلد10، فروردین - اردیبهشت 1395، ص. 103-94

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 10, Apr.-May. 2016, p. 94-103

شبیه‌سازی حرکت آب و انتقال املاح در خاک با استفاده از مدل هایدروس جهت تعیین عمق بهینه کارگذاری قطره‌چکان

شهلا مرادی کشکولی[1*]، سیدرضا هاشمی[2]، عباس خاشعی سیوکی[2] و علی شهیدی[3]

تاریخ دریافت: 1394/11/12 تاریخ پذیرش: 1395/2/15

چکیده:

آبیاری با آب‌های شور و حرکت املاح به سطح خاک توسط جریان مویینگی می‌تواند باعث تجمع املاح شود. تحقیق کنونی با هدف شبیه‌سازی حرکت آب و املاح در خاک با استفاده از مدل هایدروس، جهت تعیین عمق مناسب کارگذاری قطره‌چکان در باغ انگور واقع در روستای امیرآباد از توابع شهرستان بیرجند در سال 1394 انجام شد. در فاصله بین سه دور آبیاری نمونه‌های خاک از اعماق 0، 30، 60 و 90 سانتی‌متری برداشت شده و رطوبت آن‌ها در آزمایشگاه تعیین گردید سپس مقادیر رطوبت در مدل هایدروس یک‌بعدی وارد شد. مقادیر پارامترهای هیدرولیکی خاک با استفاده از روش مدل‌سازی معکوس تعیین شدند. خروجی‌های مدل هایدروس یک‌بعدی وارد مدل هایدروس سه‌بعدی شده و مدل اجرا گردید. نتایج نشان داد که مقادیر شاخص‌های RMSE وMAE به ترتیب برابر 9 و 6 درصد بوده و با توجه به پروفیل رطوبت و املاح به‌دست آمده از مدل هایدروس سه‌بعدی، عمق 32 سانتی‌متر برای نصب قطره‌چکان پیشنهاد گردید. برای بررسی صحت این عمق، سناریوهایی در مدل هایدروس دوبعدی درنظر گرفته شده و مدل اجرا گردید. در این سناریوها قطره‌چکان در عمق 15، 20 و 25 سانتی‌متری زیر سطح خاک درنظر گرفته شدند. با توجه به پروفیل‌های املاح به‌دست آمده در انتهای دوره شبیه‌سازی برای این عمق‌ها، مقدار تجمع املاح برای زمانی‌که قطره‌چکان در عمق 25 سانتی‌متری خاک قرار می‌گیرد، در سطح خاک به صفر می‌رسد که این سناریو نتایج حاصل از مدل هایدروس سه‌بعدی را تایید نمود لذا عمق 25 تا 32 سانتی‌متر بهترین عمق برای کارگذاری قطره‌چکان تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی: آب‌های شور، باغ انگور، پروفیل املاح، عمق نصب قطره‌چکان

مقدمه

تجمع نمک در آبیاری زیرسطحی یک نگرانی مهم در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است جایی که تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه بسیار بیش‌تر از بارندگی است (Hanson Bendixen., 1995؛ Hanson.,2003). نمک‌هایی که در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نزدیک سطح زمین تجمع می‌کنند، روی عملکرد گیاهان تأثیر منفی دارند. پیش‌بینی حرکت و تجمع نمک در آبیاری زیرسطحی به تولید کنندگان اجازه می‌دهد که آب اضافی برای آبشویی نمک در نظر بگیرند. آبیاری زیرسطحی می‌تواند تبخیر و نفوذ عمقی را کاهش داده، رواناب سطحی را حذف کرده و کیفیت و بازارپسندی میوه را افزایش دهد (Ayars et al., 1999). آبیاری با آب شور در آبیاری زیرسطحی در مقایسه با آبیاری سطحی راندمان کاربرد آب را افزایش می‌دهد (Seifert et al.,1975). سیستم‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌منظور استفاده مؤثرتر از آب و به‌عنوان یک روش بسیار دقیق در انتقال آب به مکان‌های مورد نظر در خاک با تناوب و زمان کاربرد معین برای رشد بهینه گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرند. آگاهی از الگوی حرکت رطوبت خاک در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نقش عمده‌ای در تعیین مقادیر مناسب عمق نصب لترال زیر سطح خاک، فاصله قطره‌چکان‌ها و فشار سیستم برای تأمین مقدار آب مورد نیاز به گیاه دارد. در چند دهه اخیر، مطالعات زیادی برای توصیف جریان آب از منابع نقطه‌ای و خطی در خاک برای طراحی و مدیریت سیستم‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی صورت گرفته است، اما نحوه توزیع آب بین دو قطره‌چکان کم‌تر مورد بررسی قرار گرفته است مدل‌های عددی بسیاری برای شبیه‌سازی جریان در ناحیه‌ای با

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند
2 – استادیار، گروه مهندسی علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند
3- دانشیار گروه مهندسی علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند
(نویسنده مسئول: (Email: Shahlamoradi79@yahoo.com

درجه اشباع متغیر توسعه یافته‌اند. در بسیاری از مطالعات اخیر از مدل عددی هایدروس برای ارزیابی جریان آب از منبع نقطه‌ای قطره‌چکان منفرد و خطی استفاده شده است. اسکری و همکاران اثرات سطح ایستابی بالا و شوری به کار رفته را در میزان آب مصرفی درخت نخل مورد بررسی قرار دادند که به این منظور از بسته نرم‌افزاری هایدروس یک‌بعدی استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل هایدروس یک‌بعدی به‌درستی تعرق درخت نخلی را که از آب زیرزمینی شور استفاده می‌کرد شبیه‌سازی نمود(Askri et al., 2014). لی و همکاران با به‌کارگیری مدل هایدروس یک‌بعدی حرکت آب را در یک مزرعه آزمایشی برنج ارزیابی کردند که در این پژوهش شبیه‌سازی حرکت آب با هایدروس به‌درستی انجام شده است (Li et al., 2014). نگلیک و همکاران تأثیر بافت، میزان دبی قطره‌چکان و شرایط رطوبت اولیه خاک را بر اندازه الگوی خیس‌شدگی به‌صورت عددی بررسی کردند که به این منظور از مدل هایدروس دو و سه‌بعدی استفاده شد و نتایج حاکی از آن است که این مدل به خوبی ابعاد الگوی خیس‌شدگی را شبیه‌سازی کرده است(Naglic et al., 2014). چن و همکاران با استفاده از مدل هایدروس دوبعدی حرکت آب و نمک را در آبیاری شیاری با آب شور شبیه‌سازی کردند. این محققین گزارش کردندکه مدل به خوبی حرکت آب و املاح را در این شرایط شبیه‌سازی کرده است هم‌چنین نتایج شبیه‌سازی بیانگر این می‌باشد که بلافاصله پس از انتهای آبیاری، افزایش ذخیره آب خاک در زیر کف شیار تا حدودی برابر این میزان در زیر حاشیه بالایی شیار می‌باشد در صورتی‌که حرکت آب به سمت پایین به علت لایه‌های میانی در خاک محدود شود(Chen et al., 2014). عبدالرشید و همکاران خصوصیات هیدرولیکی خاک را در خاک زیر درخت نخل با استفاده از روش معکوس در مدل هایدروس دو و سه‌بعدی، تخمین زدند. حل معکوس با استفاده از داده‌های نفوذسنج نشان داد که این روش، به عنوان روشی بسیار مفید برای گسسته‌سازی سریع خصوصیات هیدرولیکی خاک زیر درخت نخل است(Abdrashid et al., 2015). چن و همکاران تأثیر تغییرات زمانی شاخص سطح برگ را بر پیش‌بینی‌های رطوبت خاک با استفاده از داده‌های سنجش از دور پوشش گیاهی بررسی کردند در این پژوهش پیش‌بینی‌ها با استفاده از دو مدل IBIS و هایدروس انجام شد (Chen et al., 2015). پوریزدان‌خواه و همکاران (1393) رطوبت خاک تحت یک منبع خطی در خاک سنگین را با استفاده از مدل هایدروس دوبعدی شبیه‌سازی کردند. این محققین بیان کردند که با وجود بافت سنگین و ناهمگن خاک در منطقه، مدل توانست مقادیر رطوبت را در الگوی خیس‌شده به خوبی شبیه‌سازی کند. کرمی و همکاران (1394) شبیه‌سازی آبشویی خاک شور را با استفاده از مدل هایدروس دوبعدی انجام داد. نتایج حاصل از این تحقیق نشانگر آن است که این نرم‌افزار به خوبی توزیع شوری در خاک را شبیه‌سازی کرده است. با توجه به شور بودن خاک کشاورزی و کیفیت پایین آب‌های در دسترس و مشکل تجمع شوری در خاک که یکی از مشکلات عمده در مناطق خشک و نیمه-خشک است و با توجه به اینکه اگر تجمع نمک در مجاورت بذر در زمان جوانه زدن زیاد باشد، استقرار گیاه با مشکل مواجه می‌شود، شبیه‌سازی حرکت نمک و املاح در خاک آبیاری شده این امکان را فراهم می‌کند که عمق بهینه برای کارگذاری قطره‌چکان را تعیین کرده و با تغییر میزان دبی قطره‌چکان و دور آبیاری از کاهش محصول و افزایش شوری جلوگیری کرد. هدف از این تحقیق، شبیه-سازی حرکت آب و املاح در خاک با مدل هایدروس جهت تعیین عمق بهینه کارگذاری قطره‌چکان در آبیاری زیرسطحی و علاوه بر این، سنجش دقت و صحت مدل هایدروس در شبیه‌سازی‌های مورد نظر است. تاکنون مطالعات زیادی در مورد شبیه‌سازی حرکت آب در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی انجام شده است اما در ارتباط با شبیه‌سازی همزمان حرکت آب و انتقال املاح در خاک با استفاده از مدل هایدروس و تغییر عمق کارگذاری قطره‌چکان جهت تعیین عمق مناسب کارگذاری در آبیاری قطره‌ای، مطالعات محدودی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های صحرایی تحقیق کنونی در باغ انگور واقع در روستای امیرآباد از توابع شهرستان بیرجند انجام شد. موقعیت منطقه موردمطالعه در شکل 1 و ویژگی‌های آب آبیاری مورد استفاده در جدول 1 ارائه شد. به‌منظور مشخص کردن بافت خاک مورد آزمایش، سه نمونه از این خاک در عمق‌های 30-0 ، 60-30 و 90-60 سانتی‌متر برداشت و پس از هوا خشک شدن، از الک دو میلی‌متری عبور داده شد سپس این نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شده و بافت آن به روش هیدرومتری تعیین گردید. نتایج آزمایش هیدرومتری بافت به شرح جدول 2 می‌باشد. به‌منظور تعیین رطوبت خاک، در فاصله بین سه دور آبیاری به مدت 21 روز از سطح خاک و عمق‌های 30، 60 و 90 سانتی‌متری با آگر نمونه‌هایی برداشت شد. این نمونه‌ها، به آزمایشگاه منتقل شده و رطوبت آن‌ها به روش وزنی تعیین گردید. مقادیر رطوبت خاک به‌منظور شبیه‌سازی رطوبت مورد استفاده قرار گرفت.

مدل هایدروس

در مدل هایدروس یک‌بعدی حرکت یک‌بعدی آب در خاک با استفاده از حل عددی رابطه ریچاردز به‌صورت رابطه 1 بیان می‌شود.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial}(K(\theta)(\frac{\partial h}{\partial X} + \cos\alpha)) - S \quad (1)$$

که در آن θ رطوبت حجمی خاک (L^3L^{-3})، t زمان (T)، $K(\theta)$ هدایت آبی غیراشباع (LT^{-1})، h مکش ماتریک (L)، α زاویه بین مسیر جریان و محور عمودی (برای حرکت عمودی آب در خاک $\alpha = 0$، برای حرکت افقی $\alpha = 90$ و برای سایر مسیرها $0 < \alpha < 90$ می‌باشد)، S برداشت آب توسط ریشه $(L^3\,L^{-3}T^{-1})$ و X فاصله (L) است.

در این مدل برای توصیف مشخصات هیدرولیکی خاک نظیر منحنی رطوبتی و هدایت آبی غیراشباع روابط متعددی تعریف شده است. معمول‌ترین آن‌ها رابطه ون‌گنوختن- معلم (1980) به شرح رابطه‌های 2 تا 4 است:

$$m = 1 - 1/n \qquad (2)$$

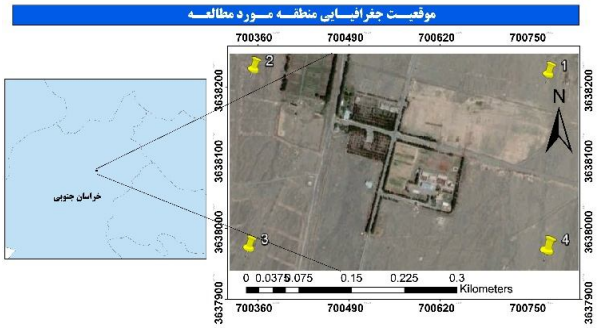
$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1+(\alpha h)^n)^m} \qquad (3)$$

$$K(h) = \mathrm{K_s S_e}^{l}(1-(1-S_e^{\frac{1}{m}})^m)^2 \qquad (4)$$

که در آن‌ها θ_r رطوبت باقی‌مانده، θ_s رطوبت اشباع، α، m و n پارامترهای تجربی، $K(s)$ هدایت اشباع آبی و S_e اشباع نسبی است. برداشت آب توسط ریشه ترم S در معادله 1 بر اساس حجم آب برداشت‌شده توسط گیاه در واحد حجم خاک در واحد زمان تعیین می‌شود. در این مدل، S بر اساس رابطه فدس و همکاران (1978) به‌صورت زیر تعریف شده است:

$$S(h) = \alpha(\mathrm{h})\,\mathrm{S}_p \qquad (5)$$

که در آن، $\alpha(\mathrm{h})$ تابع تنش آبی و S_p شدت پتانسیل جذب آب می‌باشد



شکل1- موقعیت منطقه مورد مطالعه

معادله جابه‌جایی- پخشیدگی املاح (Convection-Dispersion Equation) یا CDE

به طورکلی جابه‌جایی و انتشار نمک‌ها در خاک‌ها با سه مکانیسم انتقال توده‌ای، پخشیدگی مولکولی و انتشار مکانیکی انجام می‌گیرد.

با در نظر گرفتن تأثیر همزمان این سه فرآیند بر حرکت نمک‌ها در خاک و در شرایط غیرهمگام، معادله 6 به دست می‌آید:

$$\frac{\partial(\theta C)}{\partial t} = -\frac{\partial(v\theta C)}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z}(D_e \frac{\partial C}{\partial z}) \qquad (6)$$

که در آن، C غلظت نمک‌ها در محلول آب خاک (M/L^3)، z فاصله (L)، v سرعت جریان و θ رطوبت حجمی خاک است. رابطه بالا به رابطه جابه‌جایی-پخشیدگی (CDE) در خاک برای نمک‌ها و یون‌های غیر واکنش‌گر معروف است که در آن D_e، ضریب انتشار هیدرودینامیکی می‌باشد. این رابطه، برای بررسی حرکت نمک‌ها در محیط‌های همگن مناسب است. برای جریان همگام آب که لزوماً به معنای جریان همگام نمک‌ها نیست، مقادیر v، θ و D_e ثابت بوده و رابطه بالا به شکل زیر در می‌آید:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -v\frac{\partial(C)}{\partial z} + D\frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \qquad (7)$$

که در آن، $D = \frac{D_e}{\theta}$ است.

برآورد پارامترهای هیدرولیکی با استفاده از مدل هایدروس یک‌بعدی

برای برآورد پارامترهای هیدرولیکی خاک معادله ون گنوختن- معلم، پروفیل مورد نظر در سه لایه درنظر گرفته شد و پارامترها با استفاده از روش مدل‌سازی معکوس در مدل هایدروس یک‌بعدی به‌دست آمد. برای حل عددی معادلات حاکم از روش اجزای محدود خطی نوع گالرکین و برای بهینه‌سازی پارامترها از روش مارکوارت - لونبرگ استفاده شد (Simunek et al., 1999). کندلوس و سیمونک گزارش کردند که برای برآورد پارامترهای هیدرولیکی در شرایط مزرعه روش حل معکوس مناسب‌تر و مدل رُزِتّا برای شرایط آزمایشگاهی مناسب‌تر است (Kandelous and Simunek., 2010). برای انجام روش حل معکوس ابتدا می‌بایست مقادیر اولیه به مدل داده شود و برای این منظور از تخمین‌های مدل رُزِتّا که احتیاج به درصد اجزای خاک (شن، رس و سیلت) داشت، استفاده شد.

برای اجرای روش حل معکوس، برای مرز بالا و پایین پروفیل به ترتیب شرایط مرزی اتمسفری و هد فشار متغیر درنظر گرفته شد. پارامترهای هیدرولیکی خاک به‌دست آمده با استفاده از روش مدل‌سازی معکوس در جدول 3 آورده شد.

جدول1- ویژگی‌های آب آبیاری

Cl^- (meq/L)	$CO3^{2-}$ (meq/L)	mg^{2+} (meq/L)	Ca^{2+} (meq/L)	$HCO3^-$ (meq/L)	Na^+ (meq/L)	pH -	EC ($\mu mohs/cm$)
2/2	0	2/5	8/4	4/4	4/19	8/8	2000

جدول 2- نتایج آزمایش هیدرومتری بافت خاک موردمطالعه

عمق خاک (cm)	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	بافت خاک
0-30	57/12	28	14/88	لوم شنی
30-60	73/13	16	10/88	لوم شنی
60-90	75/12	12	12/88	لوم شنی

مقادیر مشاهداتی رطوبت به عنوان داده‌های مورد نیاز برای روش حل معکوس وارد مدل هایدروس یک‌بعدی شد. پس از برآورد پارامترهای هیدرولیکی خاک، به‌منظور شبیه‌سازی حرکت آب و املاح، پارامترها وارد مدل هایدروس سه‌بعدی شده و مدل اجرا گردید.

شرایط اولیه و مرزی در مدل هایدروس سه‌بعدی

برای حل عددی معادله ریچاردز لازم است شرایط اولیه و مرزی به مدل معرفی شود. شرایط اولیه جریان بر اساس میزان رطوبت تعریف شده و شرایط مرزی به گونه‌ای درنظر گرفته شد که مرز بالا و پایین به‌ترتیب دارای شرایط مرزی اتمسفری و هد فشار متغیر بود. در این مطالعه پارامترهای واکنش املاح در نظر گرفته نمی‌شوند به عبارت دیگر فرض می‌شود که آبی که وارد پروفیل خاک می‌شود، بدون واکنش با دانه‌های خاک از پروفیل خواهد شد و از طرفی چون معادله کلی حاکم بر انتقال املاح، مقدار املاح موجود در آب را مدل می‌کند فرض می‌شود که در ابتدای دوره شبیه‌سازی مقدار املاح موجود در آب در کل پروفیل خاک برابر صفر است که بدان معنا می‌باشد که شوری خاک قبل از شروع دوره شبیه‌سازی در نتایج خروجی تأثیری نخواهد داشت برای مرز بالا و پایین دامنه انتقال به ترتیب شرایط مرزی نوع اول (دریچلت) و سوم (مختلط) در نظر گرفته شد. با توجه به شار تجمعی املاح برای واکنش‌های مرتبه صفر در مدل هایدروس سه‌بعدی، عمق مناسب برای کارگذاری قطره‌چکان تعیین شد.

شرایط اولیه و مرزی در مدل هایدروس دوبعدی

شرایط اولیه بر اساس میزان رطوبت تعریف گردید و شرایط مرزی برای جریان به صورتی تعریف شد که فقط در محل قطره‌چکان، شار مرزی متغیر با زمان که از تقسیم کردن دبی قطره‌چکان (مترمکعب بر ساعت) بر مساحت خیس‌شده (سانتی‌مترمربع) بر حسب سانتی‌متر بر روز به‌دست می‌آید، در نظر گرفته شده و بقیه قسمت‌های دامنه بدون شار تعریف شد. شرایط اولیه املاح همانند مدل تعریف شده در هایدروس سه‌بعدی و شرایط مرزی آن برای گره‌های نشان‌دهنده قطره‌چکان، شرایط مرزی نوع اول درنظر گرفته شد.

سناریوهای بررسی‌شده در مدل هایدروس دوبعدی

به‌منظور بررسی نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی در مدل هایدروس سه‌بعدی، سه سناریو در مدل هایدروس دوبعدی تعریف شد که در سناریوی اول، دوم و سوم قطره‌چکان به‌ترتیب در عمق‌های 15، 20 و 25 سانتی‌متر زیر سطح خاک درنظر گرفته شده و مدل برای 21 روز اجرا گردید و پروفیل املاح در اطراف آن‌ها بررسی شد.

آنالیزحساسیت

با بررسی تأثیر تغییر پارامترهای ورودی بر نتایج خروجی، می‌توان پارامترهای کم‌ترین هد فشار مجاز در سطح خاک، تلورانس میزان رطوبت و تلورانس هد فشار را به‌عنوان پارامترهای حساس در مدل، معرفی کرد. برای ارزیابی و مقایسه مقادیر رطوبت خاک شبیه‌سازی اندازه‌گیری‌شده، از شاخص‌های مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مطلق خطا (MAE) استفاده شد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{n}} \times \frac{100}{\overline{O}} \quad (8)$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i) \quad (9)$$

که در این روابط، O_i مقدار مشاهده‌شده، P_i مقدار پیش‌بینی‌شده، $\overline{O}$ متوسط مقدار مشاهدات و n تعداد داده‌های به کار رفته است.

نتایج و بحث

در ابتدا اطلاعات لازم جهت مدل‌سازی معکوس به مدل معرفی‌شده و فرض شد که املاح هیچ‌گونه واکنشی با ذرات خاک نداشته باشند و مدل برای یک دوره آبیاری (8 روزه) با 10 تکرار، برای هر سه لایه خاک به طور همزمان، اجرا گردید پس از اجرای مدل، مقادیر بهینه پارامترهای هیدرولیکی خاک مورد مطالعه به شرح جدول 3، تعیین شد. مقادیر مشاهداتی رطوبت به عنوان داده‌های مورد نیاز برای حل معکوس در نظر گرفته شد. پس از تعیین پارامترهای هیدرولیکی مدل با حل معکوس، مقادیر رطوبت با مدل شبیه‌سازی شد که نتایج به شرح جدول 4 است

جدول 3- پارامترهای هیدرولیکی خاک تعیین شده با روش مدل‌سازی معکوس

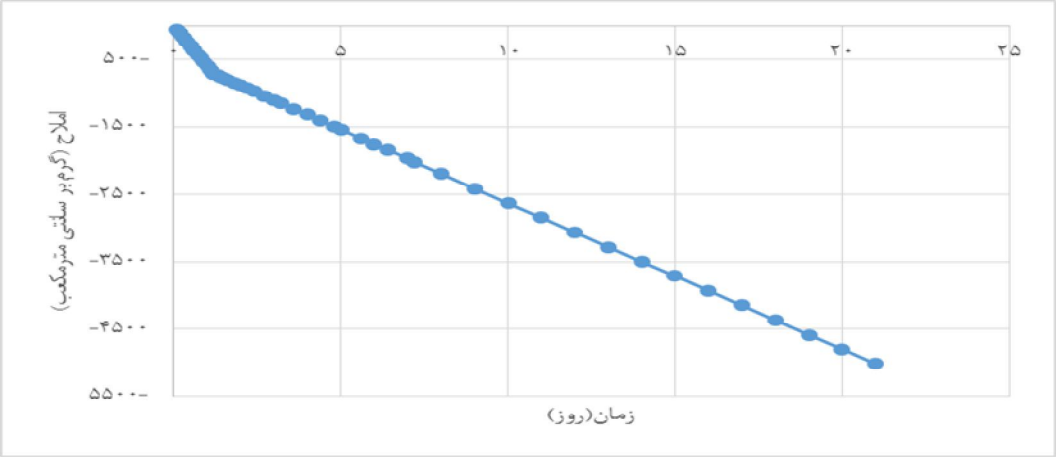
عمق خاک (cm)	پارامترهای هیدرولیکی خاک					
	$Q_r(cm^3/cm^3)$	$Q_s(cm^3/cm^3)$	α	n	$K_s(cm/day)$	l
0-30	0/0498	0/4081	0/0224	1/366	20/29	0/5
30-60	0/0454	0/3616	0/0232	1/100	16/21	-1
60-90	0/0502	0/600	0/0371	1/880	62/57	-1

جدول4- مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده رطوبت در مدل هایدروس یک‌بعدی

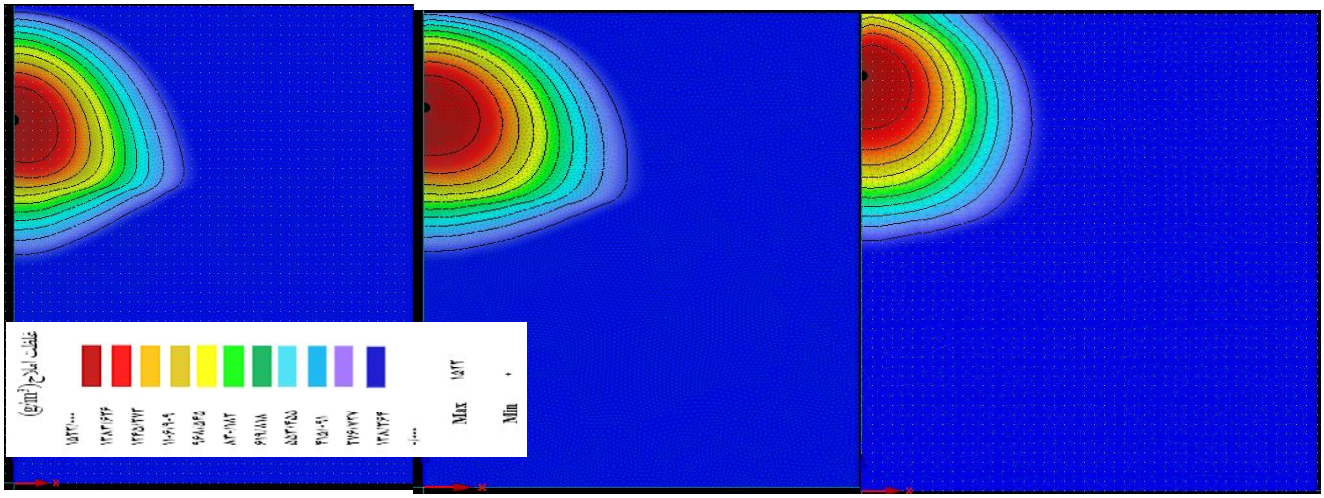
زمان (روز)	مقادیرمشاهداتی رطوبت (درصد)	مقادیرشبیه‌سازی‌شده رطوبت با مدل(درصد)
1	5/61	16/37
2	34/32	15/56
3	17/17	15/16
4	17/13	15/22
5	14/04	14/11
6	13/51	13/74
7	7/61	13/28
8	6/06	13/00

با در نظر گرفتن مقادیر مشاهداتی رطوبت در جدول 4 می‌توان بیان کرد که در ابتدای دوره شبیه‌سازی، با توجه به اینکه مدل هیچ‌گونه پیش‌فرضی از داده‌های ورودی ندارد، بنابراین در دو روز اول دوره شبیه‌سازی مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی مدل تفاوت دارند که این تفاوت را می‌توان با توجه به گرم شدن مدل در ابتدای دوره شبیه‌سازی توجیه کرد اما در روز هفتم و هشتم نیز این تفاوت دیده می‌شود چون مقادیر محاسباتی در این مدل در هر گام زمانی به گام زمانی قبلی وابسته است لذا مدل در این دو روز نیز مقادیر رطوبت را به خوبی شبیه‌سازی نکرده است. با توجه به شاخص‌های RMSE و MAE که به ترتیب برابر 9 و 6 درصد بود، می‌توان بیان کرد که مدل هایدروس مقادیر پارامترها را به خوبی برآورد کرده و هم‌چنین مقادیر رطوبت به خوبی شبیه‌سازی‌شده است که این نتیجه با نتایج به‌دست آمده از پژوهش راموس و همکاران، ابراهیمیان و همکاران ، تفته و سپاسخواه ، دباخ و همکاران ، لی و همکاران، خرمی و همکاران (1391) مطابقت خوبی دارد پژوهشگران مذکور نیز شبیه‌سازی رطوبت با استفاده از مدل هایدروس را مناسب ارزیابی کردند(Ramos et al., 2011؛ Ebrahimian et al. , 2011؛ Tafteh and Sepaskhah., 2012؛ Dabach et al., 2013؛ Li et al., 2014). تغییرات شار تجمعی جرم (بر حسب گرم بر روز) در برابر زمان در شکل 2 آورده شده است. همان‌طور که در شکل پیداست، عدد صفر در این نمودار نشان‌دهنده سطح خاک است، در روز دوم نمودار تغییر شیب داشته است که در این زمان مقدار شار تجمعی جرم تقریباً 900 گرم بر روز بوده است. اگر این مقدار در زمان دو روز ضرب شود مقدار جرم برابر 1800 گرم است که با توجه به اینکه جرم برابر چگالی ضرب در حجم است اگر این مقدار بر چگالی سیال (آب) که برابر یک گرم بر سانتی‌مترمکعب است، تقسیم شود مقدار حجم املاح برابر 1800 سانتی‌مترمکعب خواهد بود حال اگر این مقدار را بر مساحت خیس شده قطره‌چکان که تقریباً 40 سانتی‌متر مربع است، تقسیم شود، مکان مناسب برای کارگذاری قطره‌چکان برابر 32 سانتی‌متر برای گیاه موردنظر به دست خواهد آمد.

پروفیل املاح در سناریوی اول در انتهای دوره شبیه‌سازی در شکل 3 - الف آورده شده است. همانطور که در شکل دیده می‌شود اگر قطره‌چکان در عمق 15 سانتی‌متری قرار بگیرد، پس از دوره شبیه‌سازی در سطح خاک تجمع املاح وجود دارد بنابراین باید قطره‌چکان در عمق بیش‌تری نصب شود. با توجه به پروفیل املاح در انتهای دوره شبیه‌سازی در عمق 20 سانتی‌متر که در شکل 3-ب نشان داده شد در انتهای دوره شبیه‌سازی میزان تجمع املاح در سطح خاک نسبت به حالت قبل کم‌تر شده اما هم‌چنان در سطح خاک املاح تجمع یافته اند پس توصیه می‌شود که عمق کارگذاری قطره‌چکان بیش‌تر باشد. شکل 3-ج نشانگر تغییرات پروفیل املاح در انتهای دوره شبیه‌سازی در سناریوی سوم است. با توجه به شکل می‌توان بیان کرد در انتهای دوره میزان تجمع املاح در سطح خاک به صفر می‌رسد. با استفاده از نتایج به‌دست آمده از مدل هایدروس سه‌بعدی، عمق نصب قطره‌چکان 32 سانتی‌متر پیشنهاد شد که درستی این ادعا در این سناریو ثابت شده است. در واقع با توجه به این سناریو باید عمق نصب قطره‌چکان بیش‌تر از 25 سانتی‌متر باشد که پیشنهاد می‌شود که این عمق بین 25 تا 32 سانتی‌متر در نظر گرفته شود.



شکل 2- تغییرات شار جرم تجمعی املاح در دوره شبیه‌سازی



الف ب ج

شکل3- پروفیل املاح در انتهای دوره شبیه‌سازی الف)در سناریوی اول ب) سناریوی دوم و ج) سناریوی سوم

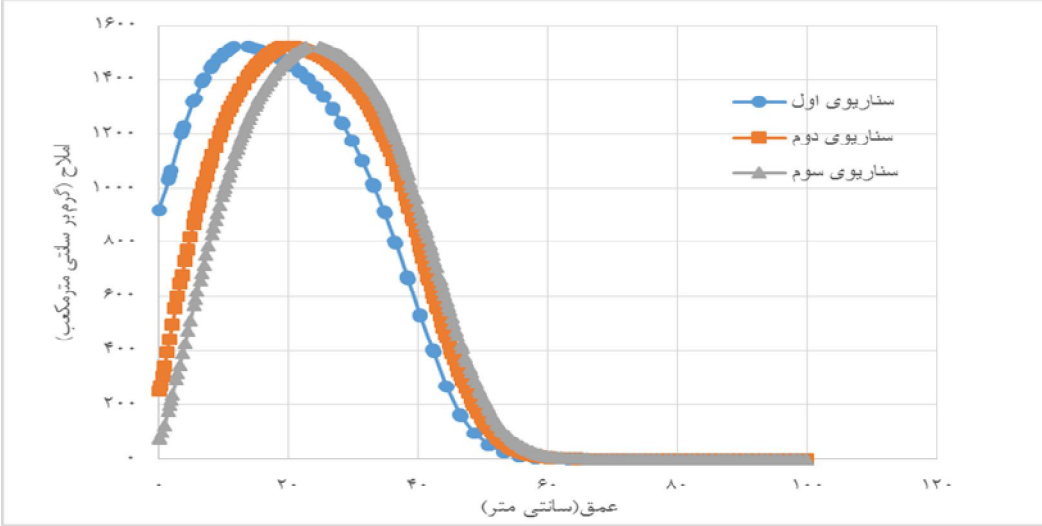
تغییرات املاح نسبت به عمق در سناریوهای مدل هایدروس دوبعدی

تغییرات پروفیل املاح نسبت به عمق در سناریوهای مختلف در شکل 4 آورده شده است. این پروفیل نشان‌دهنده میزان تغییرات املاح موجود در آب آبیاری در انتهای دوره شبیه‌سازی است. همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود وقتی قطره‌چکان در عمق 15 سانتی‌متر در زیر سطح خاک قرار بگیرد، میزان تجمع املاح در سطح خاک در انتهای دوره تقریباً برابر 900گرم بر سانتی‌متر مکعب است و در عمق 15 سانتی‌متر که محل نصب قطره‌چکان میزان املاح بیش-ترین مقدار را به خود اختصاص داده است و پس از آن با پیش‌روی در عمق، از میزان تجمع املاح کاسته می‌شود تا این‌که در عمق 60 سانتی‌متر مقدار تجمع املاح در خاک به صفر می‌رسد. به دلیل اینکه در این پژوهش فرض شد که مقدار املاح اولیه موجود در خاک برابر صفر باشد در واقع مقدار شوری خاک قبل از دوره شبیه‌سازی در نتایج خروجی تأثیری ندارد، با توجه به اینکه مقدار املاح همراه با آب آبیاری وارد پروفیل مورد نظر می‌شوند، بنابراین می‌توان بیان کرد که مدل به خوبی توانسته است انتقال املاح در خاک را شبیه‌سازی کند. با توجه به تغییرات املاح نسبت به عمق در سناریوی دوم، مقدار املاح موجود در سطح خاک وقتی قطره‌چکان در عمق 20 سانتی‌متری زیر سطح خاک قرار گرفته است تقریباً 250 گرم بر سانتی‌مترمکعب است و در عمق 20 سانتی‌متر که محل قرارگیری قطره‌چکان است، مقدار املاح موجود در خاک به ماکزیمم مقدار خود می‌رسد و در عمق تقریباً 60 سانتی‌متری مقدار املاح به صفر می-رسد. تغییرات املاح نسبت به عمق در سناریوی سوم نیز در شکل دیده می‌شود. مقدار املاح موجود در سطح خاک وقتی قطره‌چکان در عمق 25 سانتی‌متری زیر سطح خاک قرار گرفته است بسیار ناچیز

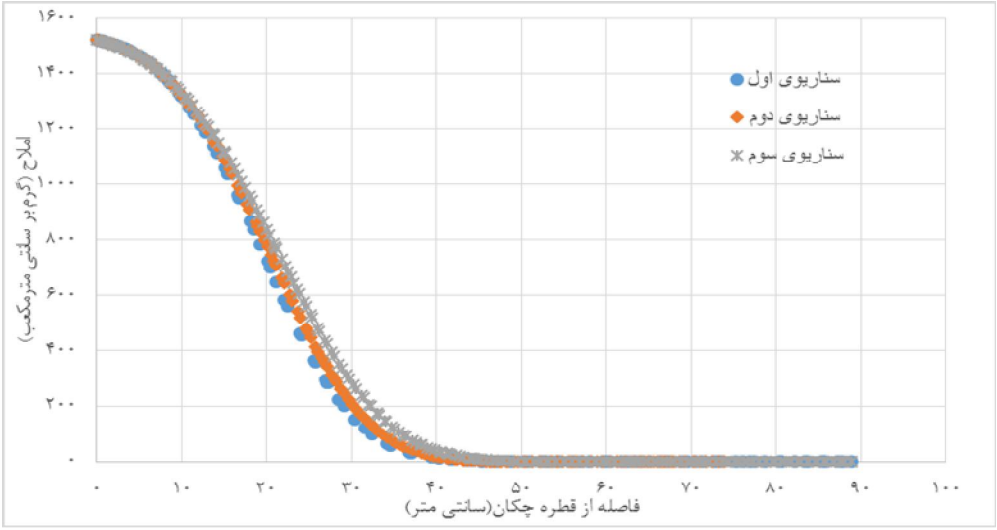
است و در عمق 25 سانتی‌متر مقدار املاح موجود در خاک به ماکزیمم مقدار خود می‌رسد و در عمق تقریباً 60 سانتی‌متری مقدار املاح به صفر می‌رسد. در دامنه‌ای که برای هایدروس دوبعدی تعریف شد فقط در گره‌های نشان‌دهنده قطره‌چکان جریان همراه با املاح، به دامنه وارد می‌شود بنابراین در سطح خاک املاح برابر صفر است و با کم شدن فاصله از قطره‌چکان میزان املاح افزایش می‌یابد به صورتی که بیش‌ترین مقدار املاح مربوط به محل قرارگیری قطره‌چکان بوده پس از آن از مقدار املاح کاسته می‌شود. همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود روند تغییرات املاح در هر سه سناریو نسبت به عمق تقریباً مشابه بوده است فقط در قسمتی که نشان‌دهنده قطره‌چکان است در واقع به ترتیب در عمق‌های 15، 20 و 25 سانتی‌متر این سه نمودار با هم تفاوت دارند. با توجه به شکل می‌توان بیان کرد که اگر عمق کارگذاری قطره‌چکان 25 سانتی‌متر یا بیش‌تر باشد، تغییرات املاح در خاک تفاوت چندانی نخواهد داشت که این درستی عمق پیشنهادی بین 25 تا 32 سانتی‌متر را تایید می‌کند.

تغییرات املاح در فواصل مختلف از قطره‌چکان در سناریوهای مختلف

تغییرات املاح در فواصل مختلف از قطره‌چکان در طول پروفیل در سناریوهای مختلف در شکل 5 آورده شده است. مقدار املاح در محل قطره‌چکان برابر 1522 گرم بر سانتی‌مترمکعب است و با دور شدن از قطره‌چکان این مقدار املاح کاهش می‌یابد. در این سناریوها مقدار املاح در فاصله 40 سانتی‌متری از قطره‌چکان به صفر می‌رسد.



شکل 4- مقایسه تغییرات املاح نسبت به عمق در سناریوهای تعریف شده



شکل 5- تغییرات املاح در فواصل مختلف از قطره‌چکان در سناریوهای مختلف

نتیجه‌گیری

در این تحقیق شبیه‌سازی حرکت آب و انتقال املاح در پروفیل خاک انجام شد. به این منظور برای بهینه کردن پارامترهای هیدرولیکی خاک معادله ون گنوختن-معلم، پروفیل مورد نظر به صورت یک خاک سه لایه در نظر گرفته شد و با استفاده از روش مدل‌سازی حل معکوس در مدل هایدروس یک‌بعدی، پارامترهای معادله تعیین شد. پس از اجرای مدل با توجه به شاخص‌های RMSE و MAE که به ترتیب برابر 9و 6 درصد بود، می‌توان بیان کرد که مدل هایدروس مقادیر پارامترهای مورد نظر در معادله ون گنوختن-معلم را به خوبی برآورد کرده و هم‌چنین مقادیر رطوبت به خوبی شبیه‌سازی شده است. سپس پروفیل رطوبت و املاح با توجه به مدل سه‌بعدی تعریف شده هایدروس تعیین شد و با توجه به پروفیل املاح، عمق نصب قطره‌چکان برابر 32 سانتی‌متر پیشنهاد گردید. برای بررسی درستی این عمق نصب، سناریوهایی در مدل هایدروس دوبعدی اجرا شد. با توجه به این سناریوها، وقتی قطره‌چکان در عمق 25 سانتی‌متری خاک قرار می‌گیرد میزان تجمع املاح در سطح خاک به حداقل مقدار ممکن (صفر) می‌رسد. بنابراین بهترین عمق نصب قطره‌چکان بین 25 تا 32 سانتی‌متر در نظر گرفته شد. پروفیل املاح املاح نسبت به فاصله‌های مختلف از قطره‌چکان و هم‌چنین نسبت به عمق در هر سه سناریو رسم گردید و با توجه به آن‌ها مشخص شد که در هر سه سناریو املاح تا عمق 60 سانتی‌متری و تا فاصله 40 سانتی‌متری از قطره‌چکان توسعه می‌یابد.

منابع

پور یزدان‌خواه،ه.، خالدیان،م.ر.، بیگلویی،م.ح و شاهین رخسار،پ. 1393. شبیه‌سازی توزیع رطوبت تحت یک منبع خطی در خاک سنگین با استفاده از مدل هایدروس دوبعدی. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. 28,3: 599-611.

خرمی،م. 1391. شبیه‌سازی حرکت دوبعدی آب در خاک تحت آبیاری قطره‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه فردوسی مشهد.110صفحه.

کرمی،م.، فراستی،م و ملکی،ر. 1394. شبیه‌سازی آبشویی خاک شور با استفاده از نرم‌افزار هایدرس دوبعدی. نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). 29,1: 49-57.

AbdRashid,N.S., Askari,M., Tanaka,T., Simunk,J and van Genuchten,M.Th. 2015. Inverse estimation of soil hydraulic properties under oil palm trees. Geoderma: 241–242: 306–312.

Askri,B., Ahmed,A.T., Abichaou,T and Bouhlila,R. 2014. Effects of shallow water table, Salinity and frequency of irrigation water on the date palm water use. Journal of Hydrology .513. 81–90.

Ayars,J.E., C.J. Phene,R.B., Hutmacher,K.R., Davis,R.A., Schoneman,S.S., Vail and Mead,R.M. 1999. Subsurface drip irrigation of row crops: A review of 15 years of research at the Water Management Research. Laboratory. Agriculture Water Management. 42:1–27.

Chen,M., Willgoose,G. R and Saco,P.M. 2014. Spatial prediction of temporal soil moisture dynamics using hydrus-1D. Hydrology Pricess. 28:171-185.

Chen,M., Willgoose,G.R and Saco,P.M. 2015. Investigating the impact of leaf area temporal variability on soil moisture prediction using remote sensing vegetation data. Journal of Hydrology.522: 274–284.

Dabach,Sh., Lazarovitch,N., Simunk,J and Shani,U. 2013. Numerical investigation of irrigation schedualing based on soil water status. Irrigation Science. 31: 27-36.

Droogers,P., Salemi,H.R and Maman poush,A. 2000. Exploring basin scale salinity problems using Hand book No. 60. US Government Printing Office, Washington D.C.

Ebrahimian,h., Liaghat,A., Parsinejad,M., Palyan,E., Abbasi,F and Navabian,M. 2011. Simulation of 1D surface and 2D subsurface water flow and nitrate transport in alternate and convential furrow fertigation .Irrigation Science.31: 301-316.

Hanson,B.R and Bendixen,W.E. 1995. Drip irrigation controls soil salinity under row crops. California Agriculture. 4919–23.

Kandelous,M.M and Simunek,J. 2010. Numerical simulations of water movement in a subsurface drip irrigation system under field and laboratory conditions using HYDRUS-2D. Agricultural Water Management. 97.7: 1070–1076.

Hanson.B.R., Grattan,S.R and Fulton,A. 2003. Agricultural salinity and drainage. California Univ. Davis, California. 57:4:132–137.

Li,Y., Simunk,J., Jing,L., Zhang,Zh and Lixiao,Ni. 2014. Evaluation of water movement and water losses in a direct-seeded-rice field experiment using hydrus-1D. Agriculture water management. 142: 38-46.

Naglic,B., Kechavarzi,C., Coulon,F and Pinater,M. 2014. Numerical investigation of the influenced of texture, surface drip emitter discharge rate and initial soil moisture condition on wetting pattern size. Irrigation Science. DOI: 10.1007/s00271-014-0439-z

The HYDRUS-2D software package for simulating two-dimensional movement of water, heat and multiple solutes in variably saturated media, Version 2.0. Report.PP:203.

Tafteh,A and Sepaskhah,A. 2012. Application of HYDRUS-1D model for simulating water and nitrate leaching from continuous and alternate furrow irrigated rapeseed and maize fields. Agricultural Water Management. 113:19–29.

Ramos,T.B., Simunk,J., Gonclves,M.C., Martins,J.C., Prazeres,A., Castanheria,N.L and Pereira,L.S. 2011. Field evaluation of a multicomponent solute transport model in soils irrigated with saline waters. Journal of hydrology .407:129-144.

Siefert,W.J.J.r., Hiler,E.A and Howell,T.A. 1975. Trickle irrigation with water of different salinity levels. Trans. ASAE 18:89–94.

Simunek,J., Sejna,M and van Genuchten,M.T. 1999.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 10, Apr.-May. 2016, p. 94-103

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره1، جلد10، فروردین - اردیبهشت 1395، ص. 103-94

Simulation of movement of water and solutes in soil by HYDRUS model to determine the suitable depth of dripper

Sh. Moradi Kashkooli*[1], S.R. Hashemi[2], A. Khashei suiki[2] and A. Shahidi[3]
Recived: Feb.1, 2016 Accepted: May.5, 2016

Abstract

Irrigation with saline waters and solute transport to soil surface by capillary can accumulate solutes. Current study have been carried out to simulate the water flow and solute transport in soil by Hydrus model in order to determine the suitable depth of dripper in the grape garden that was located in Amirabad village in Birjand city in 2015.Samples were taken from the 0, 30, 60 and 90 cm of soil during the 3 irrigation interval and then the amount of soil sample moisture have been determined in the laboratory then the amount of moisture have been entered in Hydrus- 1D model. The amount of soil hydraulic parameters have been determined by inverse solution. Outputs of Hydrus- 1D have been entered in Hydrus- 3D model and the model have been executed. Results indicated that the amounts of Root Mean Square Weighted Error (RMSE), Mean Weighted Absolute Error (MAE) were 9 and 6 percent, respectively. According to the moisture and salinity profiles obtained from Hydrus-3D model, it was suggested to place dripper in depth of 32 cm. In order to check the accuracy of suggested depth Some Scenarios have been considered in Hydrus-2D model. In this scenarios, the dripper have been placed in the depths of 15, 20 and 25 cm. According to the obtained concentration profiles at the end of the simulation period for the mentioned depths, when the dripper have been placed in the depth of 25 cm, the amount of solute accumulation reaches to zero at the soil surface that confirms the results obtained by Hydrus-3D so it is better to place dripper in the depth of 25-32 cm.

Keywords: Saline waters, Grape Garden, The depth of placing dripper, Solute profile

1- MSc Student of Irrigation and Drainage, of Science and Water Engineering Department, Agriculture faculty, University of Birjand
2- Assistant professor, of Science and water engineering department, Agriculture faculty, University of Birjand
3- Associate professor of Science and water engineering department, Agriculture faculty, University of Birjand
(*-Corresponding Author Email: Shahlamoradi79@yahoo.com)