

شبیه سازی آبشویی خاک شور با استفاده از نرم افزار Hydrus2D

ملیحه کرمی، معصومه فراستی¹ و رامین ملکی

کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران؛ mali_karami@yahoo.com

استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی کرمانشاه؛ farasati2760@gmail.com

کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی کرمانشاه؛ raminnmaleki85@gmail.com

دریافت: 93/2/17 و پذیرش: 94/1/26

چکیده

تجمع و حرکت املاح در خاک و مدلسازی این حرکت در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. تحقیق حاضر برای شبیه سازی آبشویی از خاک شور با استفاده از مدل HYDRUS2D در زمایهای مختلف آبشویی صورت گرفت. نمونه‌ها از سه فاصله 0، 20 و 40 سانتیمتری از قطره چکان و از اعماق 0-20، 20-40، 40-60 و 60-80 سانتیمتری از سطح خاک تهیه شدند. نتایج بدست آمده نشان داد که از بین اعماق اندازه‌گیری شده، عمق 20-40 سانتیمتری با دارا بودن مقدار شوری کمتر (5/70 میلی گرم بر سانتی متر مکعب) به عنوان عمق عملکرد بهتر بدست آمد. عمق 60 تا 80 سانتیمتری با شوری 10/87 میلی گرم بر سانتی متر مکعب دارای مقدار نمک بیشتری نسبت به بقیه اعماق مورد نظر بود. شوری خاک با گذشت زمان و انجام عملیات آبیاری کاهش یافت تا اینکه در آبیاری آخر، شوری خاک در قسمت آبیاری شده زیر قطره چکان (با شوری 2/13 میلی گرم بر سانتی متر مکعب) به یک پانزدهم مقدار اولیه رسید. حرکت نمک‌ها در خاک و آبشویی آن با استفاده از نرم افزار HYDRUS نشان داد که این نرم افزار به خوبی توزیع شوری در خاک را شبیه سازی می‌کند.

واژه‌های کلیدی: توزیع شوری، حرکت نمک‌ها، قطره چکان

¹ نویسنده مسئول، آدرس: کرمانشاه دانشکده کشاورزی گروه مهندسی آب

مقدمه

در ایران حدود 50 درصد از ارضی کشاورزی شور هستند و یا با مشکلاتی مرتبط با شوری مواجهند (دروگوز و همکاران، 2000). منبع اصلی املاح در خاک، مواد معدنی اولیه در پوسته زمین است. همچنین آبیاری با آب های شور و آب های زیرزمینی و حرکت املاح به سطح خاک توسط جریان موئینگی می تواند باعث تجمع املاح شود. املاح خاک به دلیل اهمیت آن ها از نظر شوری، حاصلخیزی و آلودگی آب های زیرزمینی دارای اهمیت خاص است (دروگوز و همکاران، 2000).

تغییرات شوری در پروفیل خاک، در خاک با بافت درشت بیشتر از خاک با بافت ریز می باشد. درجه شوری در منطقه توسعه ریشه ها نسبت به عمق متغیر است. علاوه بر این، شوری خاک در زمان های مختلف از جمله در فاصله بین دو آبیاری متغیر می باشد (کلوتیر، 1988). روش آبیاری یکی از عواملی است که توزیع نمک در خاک را کنترل می کند (هیئت اجرایی کمیته آبیاری و زهکشی، 1382). از آنجایی که کیفیت آب آبیاری در حال کاهش است، لذا استفاده از روش قطره ای در این شرایط بسیار سودمند می باشد (مکسینگ لیو و همکاران، 2013).

برخلاف مزایای موجود در آبیاری قطره ای، این روش مشکلاتی را نیز دربردارد. یکی از مهمترین این موارد تجمع نمک در سطح خاک و نزدیک گیاه می باشد که خطر بالقوه ای برای گیاه فراهم می سازد (هیئت اجرایی کمیته آبیاری و زهکشی، 1382). یتایو و رینولدز (1977) به ارزیابی حرکت آب و نمک از یک منبع نقطه ای به صورت مزرعه ای پرداخت. نتایج بیان نمک نشان داد که توزیع نمک از یک منبع جریان آب نقطه ای در نقطه استقرار منبع بیشتر است و به طور شعاعی و نیز عمقی کاهش می یابد. دلیل آن تبخیر بیشتر (شدیدتر) و رسوب نمک زیادتر در آن نقطه است و در جریان های شدیدتر (دبی جریان زیادتر) این نمک به نقاط دورتر منتقل می شود چون تغذیه آب بیشتر از میزان تبخیر از سطح خاک است و فرصت انتقال نمک وجود دارد. با افزایش حجم آب کاربردی و نیز غلظت اولیه محلول تا عمق و فاصله شعاعی مشخصی غلظت املاح در خاک افزایش می یابد. خارج از این محدوده اختلاف در غلظت نمک ها چندان قابل ملاحظه نبوده است.

نگنز و همکاران (2007) تحقیقی بر روی شوری خاک و محصول گوجه آبیاری شده به روش قطره ای تحت رژیم های مختلف آبیاری با آب شور انجام دادند. نتایج نشان داد که کمترین مقدار شوری در زیر قطره چکان و بیشترین مقدار آن در حاشیه پیاز رطوبتی

وجود دارد. مکسینگ لیو و همکاران (2013) طی دو سال آزمایش اثر رژیم سیستم قطره ای بر توزیع آب و نمک بررسی کردند. نتایج نشان داد که تعداد دفعات آبیاری و کیفیت آب تأثیر معناداری بر رطوبت خاک، شوری و میزان آب مصرفی گیاه داشت و عملکرد پنبه با کاهش دفعات آبیاری و کیفیت آب کاهش یافت. آنتونوپولوس (2001) گزارش داد که مدل های کامپیوتری در درک درست روابط بین مقدار و زمان به کارگیری آب و مواد غذایی، مقدار جذب مواد غذایی توسط ریشه گیاه، مقدار عملکرد و آلودگی های خاک و آب زیرزمینی نقش دارند. سینک و همکاران (2006) با شبیه سازی و مدل نمودن حرکت آب توزیع شده از قطره چکان های زیرزمینی به این نتیجه رسیدند که برای مدیریت مطلوب یک سیستم آبیاری قطره ای مدل سازی لازم است. روفال و همکاران (2006) با مقایسه آبیاری قطره ای سطحی و زیرزمینی با به کارگیری آب شور و شیرین گزارش دادند که استفاده از مدل های کامپیوتری در اخذ نتایج درست حرکت آب در خاک بسیار مؤثر می باشد. باترز و همکاران (1989 الف، 1989 ب) طی دو مقاله حرکت بر مید (Br) را در مزرعه و زیر کشت گندم و سورگوم تحت شرایط غیراشباع بررسی کردند. یکی از مهمترین مشکلات کاربرد مدل های انتقال املاح در خاک به خصوص در شرایط مزرعه، تغییرات مکانی بسیار زیاد پارامترها است.

برای شبیه سازی جریان حرکت املاح از نرم افزار HYDRUS-2D استفاده شده است. این مدل معادله جریان آب و املاح را در محیط متخلخل بصورت عددی حل نموده و توزیع آب و مواد محلول را به صورت های مختلف شبیه سازی می کند. با توجه به اینکه در زمینه شبیه سازی آبخوئی شوری خاک توسط نرم افزار HYDRUS تحقیقات محدودی صورت گرفته است. در این مطالعه، نحوه آبخوئی شوری در خاک تحت تأثیر قطره چکان مورد بررسی قرار گرفته و با استفاده از نرم افزار HYDRUS-2D شبیه سازی شده است. سپس با مقادیر اندازه گیری شده مقایسه و کارایی مدل HYDRUS-2D در آبخوئی شوری مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش ها

در این تحقیق در 4 نقطه از مزرعه در اعماق 0-20، 20-40، 40-60 و 60-80 سانتی متری نمونه برداری انجام شد. بافت خاک توسط دستگاه مسترسایزر¹، هدایت الکتریکی آب آبیاری و عصاره اشباع خاک با دستگاه هدایت سنج² اندازه گیری شد. به دلیل انجام پروژه در

¹ Master sizer

² Conductivity meter

ریچاردز را برای جریان آب به صورت اشباع در محیط متخلخل و همچنین معادله جریان محلول را در محیط متخلخل حل کند و همچنین قادر به شبیه سازی در شرایط اشباع و غیراشباع بوده و توانایی تخمین خصوصیات خاک به روش معکوس را دارد. همچنین مدل فوق برای شبیه سازی حرکت آب و املاح درحالت غیر اشباع، نیمه اشباع و اشباع کامل در محیط متخلخل به کار می‌رود این مدل می‌تواند جریان آب و املاح را در یک صفحه افقی و عمودی و به صورت سه بعدی شبیه‌سازی کند. مدل HYDRUS حرکت املاح را درحالت غیرخطی و غیرتعادلی برای فازهای جامد و مایع حل می‌کند و معادله ریچاردز را با بکارگیری روش گالرکین به صورت عددی حل می‌کند (سیمونک و همکاران، 1999).

شرایط اولیه و انتهایی داده شده به مدل

شرایط اولیه توزیع شوری در خاک عبارت بود از میزان شوری خاک قبل از اعمال آبشویی که شوری عمق های 0.20، 0.40، 60 و 80 سانتی متری به مدل معرفی گردید. در این محدوده فرض بر این بود که از جوانب جریانی صورت نمی‌گیرد و مرز انتهایی مرز زهکش آزاد است. مدل مذکور در حل معادله جریان و انتقال املاح شرایط مرزی مناسبی را در ارتباط با اتمسفر و بخش زهکش در نظر می‌گیرد.

پارامترهای هیدرولیکی خاک

این پارامترها توسط مدل ROSSETA که مدلی واقع شده در HYDRUS-2D است و بر اساس شبکه عصبی کار می‌کند تعیین می‌شود که با وارد کردن دادهای بافت خاک، درصد دانه بندی خاک، درصد رطوبت درحد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم پارامترهای هیدرولیکی خاک را تخمین می‌زند که مقدار عددی این پارامترها برای اجرای مدل HYDRUS ضروری می‌باشد. این پارامترها در جدول 1 ارائه شده است.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه فیزیکی خاک نشان داد بافت خاک در اعماق مختلف 0-20، 20-40، 40-60 و 60-80 یکسان و با توجه به مثلث بافت خاک، خاک مورد مطالعه لومی سیلتی بود. با توجه به درصدهای مختلف ذرات شن، سیلت و رس، برای هر یک از عمق‌های ذکر شده پارامترهای هیدرولیکی جداگانه به دست آمد (جدول 1).

محیط خاک و آب بدون حضور گیاه و با توجه به تبخیر از سطح خاک به عنوان مبنای کار، از زمینی که دور از رویش گیاهان و سایه نخلها باشد استفاده گردید. ابتدا به منظور اجرای تحقیق، یک شخم سطحی روی کل زمین زده شد. سپس علف‌های هرز جمع‌آوری و سطح زمین صاف و آماده عملیات لوله‌گذاری گردید. آزمایش‌ها در سطح 180 متر مربع انجام شد.

برای شروع آزمایش دبی خروجی واقعی قطره چکان‌ها با توجه به فشار سیستم مورد نظر اندازه‌گیری شد که دبی متوسط قطره چکان 5/33 لیتر در ساعت به دست آمد. نیاز آبیاری بر اساس تبخیر روزانه محاسبه شد که اطلاعات مربوط به تبخیر از نزدیکترین ایستگاه هواشناسی دریافت گردید. با توجه به میزان 72 میلیمتر تبخیر روزانه، زمان آبیاری بعدی تعیین شد. زمان نمونه‌برداری به این ترتیب بود که نمونه‌برداری از خاک بعد از دو مرحله آبیاری انجام گرفت. برای بررسی توزیع نمک از فواصل و اعماق مختلف در مجاورت خروجی قطره چکان‌ها توسط مته بسیار باریک نمونه‌برداری انجام شد. بدین ترتیب که در زیر قطره چکانها و فواصل 20 و 40 سانتیمتری از آنها از اعماق 0-20، 20-40، 40-60 و 60-80 سانتیمتری از سطح خاک نمونه برداری انجام گرفت. از آنجایی که الگوی خیس شدگی برای منبع قطره‌ای، در هر زمان می‌تواند تقریباً به شکل نیم بیضی باشد (کلوتیر، 1988). اندازه‌گیری‌ها در یک جهت خروجی‌ها انجام شد و با فرض همگن بودن شرایط زمین مورد نظر، نتایج بدست آمده قابل تعمیم در همه جهات در نظر گرفته شد. این تحقیق به صورت کرت‌های سه بارخرد شده در زمان با سه تکرار انجام شد. نتایج بدست آمده با استفاده از نرم افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال 1 درصد مقایسه شدند. برای تعیین خصوصیات شیمیایی خاک، شوری عصاره اشباع خاک با دستگاه هدایت سنج الکتریکی تعیین گردید. آبشویی شوری در خاک توسط نرم افزار HYDRUS2D شبیه‌سازی شد و در نهایت آبشویی شوری در خاک توسط قطره چکان و نرم افزار HYDRUS2D مقایسه گردید.

شرح مدل HYDRUS

مدل HYDRUS یکی از مدل‌های پیشرفته در ارتباط با حرکت یک بعدی آب، املاح و گرما و خاک می‌باشد. این مدل یک مدل عناصر محدود است که معادله

جدول 1- پارامترهای هیدرولیکی تولید شده توسط مدل HYDRUS2D

پارامتر	θ_r	θ_s	α	n	K_s	l
لایه اول	0/0831	0/4692	0/0071	0/5713	0/3925	0/5
لایه دوم	0/0738	0/4529	0/0056	1/6305	0/6038	0/5
لایه سوم	0/0673	0/4353	0/0047	1/6601	0/6975	0/5
لایه چهارم	0/0744	0/4415	0/0054	1/6137	0/5542	0/5

محاسبه گردید. میزان شوری عصاره اشباع نمونه‌ها در آزمایشگاه کیفیت آب تعیین گردید. جدول 2 میزان شوری اولیه خاک را قبل از انجام آبیاری نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده در تاریخ‌های 31 فروردین، 23 اردیبهشت، 18 خرداد، 14 تیر به ترتیب اولین، چهارمین، هفتمین و آخرین نمونه برداری پس از آبیاری در تکرار اول، دوم و سوم به ترتیب در جدول 3 تا 5 ارائه شده است. با توجه به اینکه در نرم افزار HYDRUS داده‌های غلظت باید بر حسب میلی‌گرم بر سانتی مترمکعب (mg/cm^3) وارد شوند بنابراین جدول‌های ارائه شده نیز بر این اساس ارائه شده‌اند.

که در این جدول θ_s رطوبت اشباع خاک، θ_r رطوبت باقی مانده خاک، α و n ضرایب مربوط به توابع هیدرولیکی خاک هستند و K_s ضریب نفوذپذیری خاک در حالت اشباع می‌باشد که توسط شبکه عصبی تخمین زده می‌شود. پس از مشخص شدن شوری اولیه خاک، عملیات آبیاری انجام گرفت. چون مبنای کار بر اساس مقدار تقریبی 72 میلی‌متر تبخیر بود با توجه به مجموع مقادیر تبخیر در روزهای 15 تا 23 فروردین که معادل 72/4 میلی‌متر شد، در روز 24 فروردین عملیات آبیاری و اولین نمونه برداری در تاریخ 31 فروردین انجام شد. به همین ترتیب برای روزهای بعد نیز زمان آبیاری‌ها

جدول 2- میزان شوری اولیه خاک در اعماق مختلف خاک (mg/cm^3)

نوع خروجی	فاصله عمودی (cm)			فاصله افقی (cm)
	D_3	D_2	D_1	
	36/03	31/42	39/36	0-20
	26/34	35/04	33/20	20-40
	28/06	39/60	38/12	40-60
	32/81	29/73	35/47	60-80
	30/07	33/70	42/34	0-20
	33/49	35/39	36/80	20-40
	32/76	30/46	40/36	40-60
	37/11	33/11	34/77	60-80
	44/64	43/79	43/01	0-20
	38/82	26/35	36/86	20-40
	31/82	36/90	36/06	40-60
	37/19	39/23	43/90	60-80

• حرف D علامت قطره چکان و اندیس‌ها تکرار را نشان می‌دهند.

جدول 3- میزان شوری نقاط مختلف خاک در تکرار اول (mg/cm^3)

فاصله عمودی (cm)	فاصله افقی (cm)	اولین نمونه برداری	چهارمین نمونه برداری	هفتمین نمونه برداری	آخرین نمونه برداری
20-0	0	6/63	4/06	2/84	1/26
40-20	0	6/41	3/94	2/88	1/47
60-40	0	7/37	4/80	3/62	2
80-60	0	10/98	8/12	4	2/10
20-0	20	6/69	6	3/05	1/31
40-20	20	6/56	4/83	3/16	1/12
60-40	20	7/49	4/91	3/67	2/11
80-60	20	13/36	10/12	5/54	2/21
20-0	40	11/25	9/56	6/57	2/24
40-20	40	10/17	7/93	6	2/59
60-40	40	12/42	9/28	6/20	3/09
80-60	40	19/15	14/28	9/73	4/22

شوری، اختلاف معنی‌داری را در سطح آماری 1% نشان دادند، مقادیر شوری از نمونه‌های هفتم تا دهم (آخرین نمونه برداری) با میانگین شوری 2/13 میلی‌گرم بر سانتی متر مکعب، انتقال نمک روند ملایمتری را پیموده به‌طوریکه میانگین‌های شوری، در سطح آماری 1% اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند.

توجه به نتایج مندرج در جدول‌های 3 تا 5، مشاهده گردید که شوری خاک با گذشت زمان و انجام عملیات آبیاری کاهش یافته است. به عنوان نمونه در عمق 20 سانتی متری در نمونه برداری اول با میانگین شوری 15/10 میلی‌گرم بر سانتی متر مکعب تا هفتم با میانگین شوری 4/42 میلی‌گرم بر سانتی متر مکعب انتقال نمک در اثر آبیاری به حدی چشمگیر بود که مقادیر متوالی میانگین

جدول 4- میزان شوری نقاط مختلف خاک در تکرار دوم (mg/cm^3)

فاصله عمودی (cm)	فاصله افقی (cm)	اولین نمونه برداری	چهارمین نمونه برداری	هفتمین نمونه برداری	آخرین نمونه برداری
20-0	0	6/52	4/15	2/15	1
40-20	0	6/13	4/02	2/88	1/53
60-40	0	8/30	4/52	3/55	1/86
80-60	0	10/63	7/17	4/56	2/28
20-0	20	/	4	2/91	1/52
40-20	20	6/29	4/36	2/93	1/94
60-40	20	8/86	4/61	3/59	2/11
80-60	20	12/44	9/38	5/44	2/82
20-0	40	12/03	9/78	5/78	2/31
40-20	40	9/86	7/36	5/61	3
60-40	40	12/93	10/30	6/75	3/18
80-60	40	18/78	15/30	9/51	4

جدول 5- میزان شوری نقاط مختلف خاک در تکرار سوم (mg/cm^3)

آخرین نمونه برداری	هفتمین نمونه برداری	چهارمین نمونه برداری	اولین نمونه برداری	فاصله افقی (cm)	فاصله عمودی (cm)
2/15	4/23	6/93	10/53	0	20-0
2/56	4/15	6/16	9/80	0	40-20
3/31	5/19	11/21	11/12	0	60-40
3/58	11/90	12/11	11/50	0	80-60
2/81	5/01	11/52	11/50	20	20-0
3	4/82	1	9/99	20	40-20
3/54	5/81	11/93	14/38	20	60-40
4/33	6/58	13/08	18/81	20	80-60
4/48	9/60	14/61	19/16	40	20-0
4/24	9/31	11/10	16/30	40	40-20
4/52	12	15/13	20/08	40	60-40
6/90	13/61	22/18	28/56	40	80-60

در تمام فصول گرم و سرد زیاد بود و بطور تدریجی با عمق کاهش یافته است بطوریکه کمترین مقادیر شوری، در تمام فصول در عمق 45-30 سانتیمتری سطح خاک وجود داشت.

نتایج تحقیق حاضر با نتایج ال عمران (2008) مطابقت داشت. زیرا در این پژوهش نیز عمق 60 سانتیمتری به دلایل نزدیکی به پیاز رطوبتی و صعود نمک از خلل و فرج ریز خاک (در زمانی که آبیاری انجام نمی شد)، دارای مقدار نمک بیشتری بود و مقدار شوری آن اختلاف معنی داری با دیگر اعماق داشت. در این تحقیق حرکت آب و نمک در جهت عمودی بیشتر بود و مقدار شوری در فاصله افقی 40 و عمق 80 سانتیمتری منبع به دلیل نزدیکی این نقطه به حاشیه پیاز رطوبتی بیشتر از بقیه فواصل و اعماق اندازه گیری شده بود (جدول 2-4). شکل های 1-3 شبیه سازی حرکت شوری در خاک توسط نرم افزار HYDRUS2D را در تکرارهای مختلف نشان می دهد.

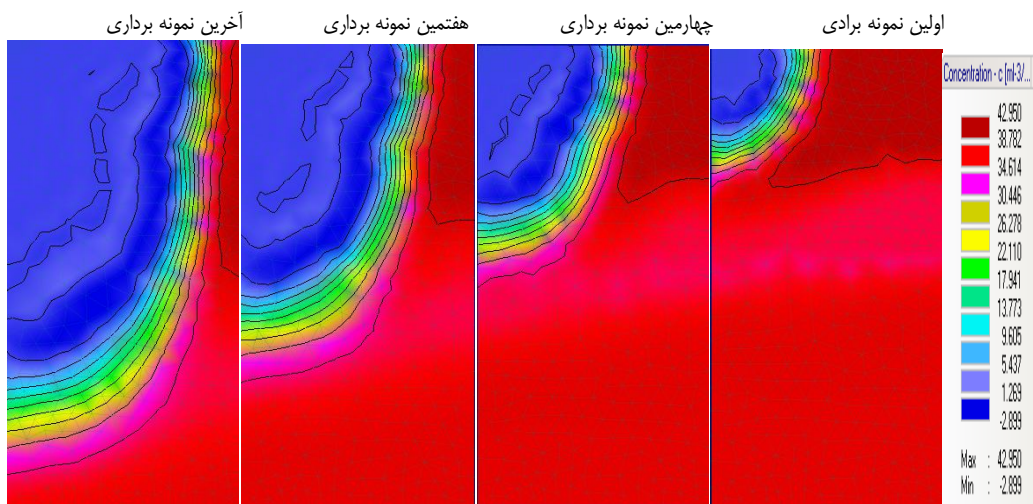
همانطور که از شکل 1 تا 3 مشخص است در اولین نمونه برداری غلظت شوری در لایه بالایی (20-0 سانتیمتر) بیشتر از سایر لایه ها بوده است. با اولین آبیاری حدود 10 سانتیمتر از عمق و فاصله افقی از قطره چکان شوری کاهش یافته است. در چهارمین آبیاری دبی خروجی از قطره چکان توانسته بخشی از خاک را در فاصله عمودی 20 سانتی متری و فاصله افقی 20 سانتی-متری از محل قطره چکان آبشویی کرده و شوری آن را کاهش بدهد. هفتمین آبیاری تا عمق 40 سانتی متری و فاصله 30 سانتی متری از محل قطره چکان آبشویی کرده و

همچنین با افزایش فاصله افقی از قطره چکان غلظت شوری افزایش یافته است، به طوری که میانگین غلظت شوری در زیر قطره چکان 7/89 میلی گرم بر سانتی متر مکعب و در فاصله 40 سانتی متری قطره چکان میانگین شوری 14/15 میلی گرم بر سانتی متر مکعب بود. بین مقادیر میانگین شوری در فواصل مختلف 40 و 20، 0 سانتیمتری از منبع در سطح آماری 1% اختلاف معنی داری وجود داشت.

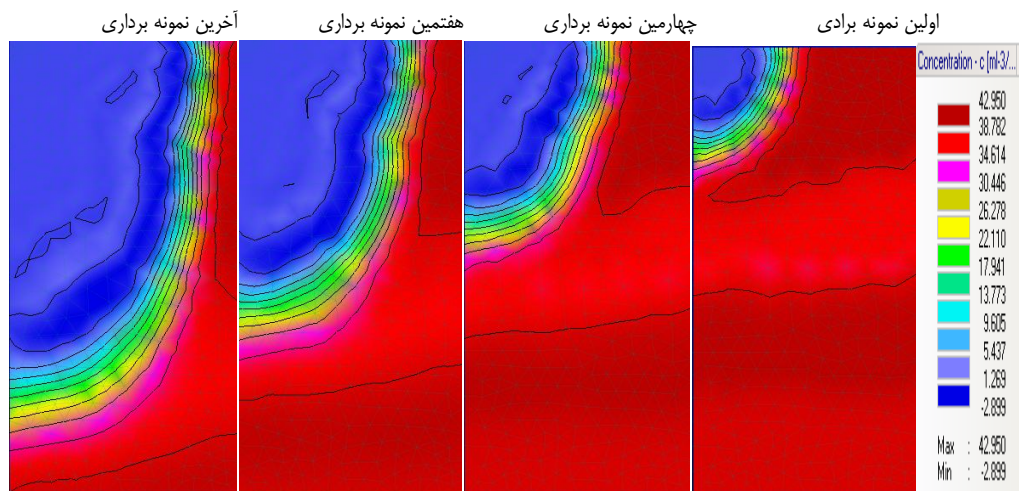
قبل از شروع آزمایش ها (جدول 1)، به دلیل عدم انجام عملیات آبیاری در زمین مورد نظر شوری خاک بسیار شدید بود. با شروع آبیاری شوری خاک بطور ناگهانی به حدود یک چهارم مقدار اولیه خود در زیر قطره چکان رسید، با گذشت زمان و انجام آبیاری های بعدی همچنان شوری در اطراف خروجی روند کاهشی نشان داد. در آبیاری آخر، شوری خاک در قسمت آبیاری شده زیر قطره چکان (با شوری 2/13 میلی گرم بر سانتی متر مکعب) به یک پانزدهم مقدار اولیه (شوری اولیه 35/5 میلی گرم بر سانتی متر مکعب) رسید. عمق 40-20 سانتی متری بدلیل دارا بودن کمترین غلظت شوری با میانگین شوری 9/06، 6/37، 4/90 و 2/45 میلی گرم بر سانتی متر مکعب به ترتیب در اولین، چهارمین، هفتمین و آخرین نمونه برداری در هر سه تکرار به عنوان عمق عملکرد بهتر در بین اعماق اندازه گیری شده، بدست آمد. نتایج با تحقیقات جانیزیکی و همکاران (1957) مطابقت داشته است. عبدالرسول ال عمران (2008) با استفاده از آبی با شوری 2/37 میلی گرم بر سانتی متر مکعب به بررسی تغییرات شوری پرداخت. میزان نمک در سطح خاک

(جهانشاهی و همکاران، 1391). در زیر منبع با افزایش فاصله از منبع در دو راستای افقی و عمودی، بر میزان شوری افزوده شد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که اثر قطره چکان روی عمق بیشتر از فاصله افقی از نقطه خروج آب بود که با تحقیقات فاروک و همکاران (2000) همخوانی داشته است. نگنز و همکاران (2007) در تحقیقی مزرعه‌ای به بررسی تغییرات شوری خاک تحت آبیاری قطره‌ای پرداختند. نتایج نشان داد که کمترین مقدار شوری در زیر قطره‌چکان و بیشترین مقدار آن در نیمه حاشیه پیمز رطوبتی وجود دارد. شوری زیر قطره‌چکان بطور تدریجی در پایین از 1 به 2/3، در زمستان از 0/65 به 1/97، در بهار از 0/75 به 2/55 دسی‌زیمنس بر متر افزایش یافت. بیشترین مقادیر EC_e در فواصل 10 و 20 سانتیمتری از قطره‌چکان‌ها اتفاق افتاد.

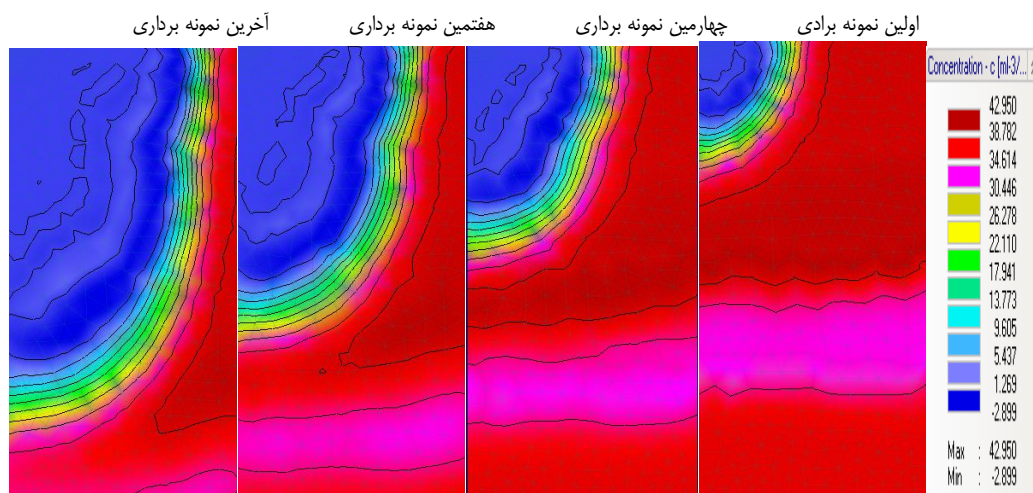
شوری آن را کاهش داده است. در آخرین نمونه‌برداری دبی خروجی از قطره چکان توانسته شوری بخش عمده ی خاک را کاهش داده و تا عمق 60 سانتی‌متری و فاصله 35 سانتی‌متری از محل قطره چکان، خاک را آبشویی کرده و تأثیر قابل ملاحظه‌ای در کاهش شوری داشته است. با توجه به جدول‌های 3-5 و شکل‌های 1-3 ملاحظه شد که با افزایش تعداد دفعات آبیاری شوری خاک بسیار کاهش یافته و نمک‌ها در حین آبیاری‌ها شسته شده و به فواصل دورتر از منبع انتقال یافته‌اند. همچنین عمق 20-40 سانتیمتری داری شوری کمتری نسبت به سایر اعماق بوده است و عمق 0-20 دارای بیشترین غلظت شوری بوده است. همچنین با افزایش فاصله افقی از منبع، بر میزان شوری افزوده شد. نتایج به دست آمده با تحقیقات دیگران مطابقت داشته است



شکل 1- شبیه‌سازی حرکت شوری در خاک توسط نرم افزار HYDRUS2D در تکرار اول



شکل 2- شبیه‌سازی حرکت شوری در خاک توسط نرم افزار HYDRUS2D در تکرار دوم



شکل 3- شبیه سازی حرکت شوری در خاک توسط نرم افزار HYDRUS2D در تکرار سوم

نتیجه گیری

بهتری داشت، طوریکه نتایج شبیه سازی توسط نرم افزار HYDRUS و داده‌های مزرعه‌ای نشان داد اثر قطره چکان روی عمق بیشتر از فاصله افقی از نقطه خروج آب بود. شوری خاک با گذشت زمان و انجام عملیات آبیاری کاهش یافت به طوری که در آبیاری آخر، شوری خاک در زیر قطره چکان به یک پانزدهم مقدار اولیه رسید. بطوریکه در این زمان، مقدار شوری ناحیه آبیاری شده تا حد کم کاهش یافت. در بعضی از نقاط اطراف قطره‌چکان شوری خاک تا حد شوری آب آبیاری کاهش یافت. درکل نتایج نشان داد که با وجود اختلاف بین پیش‌بینی مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده، مدل توانست روند کاهش شوری خاک در اثر آبشویی و افزایش شوری لایه‌های سطحی در اثر صعود مویینه‌ای را به خوبی شبیه‌سازی کند.

با توجه به نتایج بدست آمده قطره چکان در زیر نقطه خروجی عملکرد آبشویی بهتری نسبت به فواصل دورتر داشت و با فاصله گرفتن از منبع، اثر این نوع آبیاری بر انتقال نمک موجود در خاک کاهش یافت. با افزایش فاصله افقی از منبع، بر میزان شوری افزوده شد، به طوریکه در فواصل افقی مختلف ۲۰، ۴۰ سانتیمتری از منبع در این سطح آماری اختلاف معنی‌داری وجود داشت. عمق ۲۰-۴۰ سانتیمتری بدلیل دارا بودن مقدار شوری کمتر به عنوان عمق عملکرد بهتر در بین اعماق اندازه‌گیری شده، بدست آمد. عمق ۶۰-۸۰ سانتیمتری دارای بیشترین مقدار نمک بود. قطره چکان در انتقال نمک تا فاصله ۲۰ سانتیمتری و عمق ۶۰ سانتیمتری از منبع اثر

فهرست منابع:

1. جهانشاهی م. زارع ابیانه ح. نقوی ه. و اسلامی ا. (1391). "بررسی تأثیر دو عمق نصب قطره چکان با دبی‌های یکسان بر توزیع رطوبت در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و شبیه‌سازی آن با مدل HYDRUS-2D". فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. سال سوم شماره دهم.
2. هیئت اجرایی کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. (1382). "مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران". 689 صفحه.
3. Al-Omran, A. 2008. Effect of saline water and drip irrigation on tomato yield in sandy calcareous soils amended with natural conditioners. International Salinity Forum.
4. Antonopoulos, V. Z. 2001. Simulation of water and nitrogen balances of irrigation and fertilized corn-crop soil. Journal of irrigation and drainage engineering 127(2):77-83.
5. Butters, G.L., Jury, W.A. 1989a. Field scale transport of Bromide in an unsaturated soil. 2: Dispersion modeling. Water Resource. Res. 25: 1583-1589.

6. Butters, G.L., Jury, W.A., and Ernest, F.F. 1989b. Field scale Transport of Bromide in an unsaturated soil. I: Experimental methodology and results. *Water Resour. Res.* 25: 1575-1581
7. Clothier B.E., Saver T.J. and Gren S.R. 1988. The movement of ammonium nitrate into unsaturated soil during unsteady absorption. *Soil Sci. Am. J.* 52(2): 340-345.
8. Droogers, P., H.R. Salemi and A. Mamanpoush. 2000. Exploring basin scale salinity problems using Handbook no. 60." US Government Printing Office, Washington D.C.
9. Farouk A.H. 2000. Water quality for micro irrigation, Agro Industrial Management Fresno, California.
10. Fletcher C., and Wilson T.V. 1983. Computer model for moisture distribution in stratified soil under a trickle source. *Trans, ASCE*, 26(6): 1704-1709.
11. Janitzky P. 1957. Salz und Al kalu boden und wege zu ihrer verbesserung, Bd.2, Giessener Abhand L. Komis, Verl. W. Schmitz.Giessen.
12. Meixian L., Jingsong Y., Xiaoming L., Guanming L , Mei Y and Wang J. 2013. Distribution and dynamics of soil water and salt under different drip irrigation regimes in northwest china. *Irrig Sci.* 31:675-688.
13. Nagaz K., Masmoudi M.M. and Mechlia N.B. 2007. Soil Salinity and Yield of Drip-Irrigated Potato under Different Irrigation Regimes with Saline Water in Arid Conditions of Southern Tunisia, *Jornal of Agronomy* 6(2):324-330.
14. Roupael, Y., Mariateresa, C., Elvira, R., Alberto, B. and Giuseppe, C. 2006. Comparison of the subirrigation and drip-irrigation systems for greenhouse zucchini squash production using saline and non-saline nutrient solutions. *J. Agricultural water management* 82:99-117.
15. Simunek, J., R. Kodesova, M. M. Grib and M.Th. van Genuchten. 1999. Estimating hysteresis in the soil water retention function from cone permeameter experiments. *Water Resour. Res.*, 35(5):1329-1345.
16. Singh, D.K., Rajput, T.B.S., Singh, D.K., Sikarwar, H.S., Sahoo, R.N., Ahmad, T. 2006. Simulation of soil wetting pattern with subsurface drip irrigation from line source. *Agric. Water Manage.* 83, 130-134.
17. Yitayew M. and Reynolds C. 1977. The cost saving: The Low-Head gravity-flow bubbler irrigation system advantages, *American Society of Agricultural Engineers*, No. 972184: 3.

