مجله تحقیقات آب و خاک ایران (۴۳) ۳، ۱۳۹۱ (۲۸۸-۲۸۱)

بررسی آزمایشگاهی تاثیر عمق نصب زهکش بر شوری زهاب خروجی از نیمرخ خاک رس سیلتی

فهیمه رضی[۱]، عباس ستوده نیا[۲]، پیمان دانش کار آراسته[۳] و مجتبی اکرم[۴]

[۱،] کارشناس ارشد، [۲،۳] استادیاران دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره) و [۴] مهندسین مشاور کاماب پارس

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۵/۱۸- تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۷/۱۹)

چکیده

ایران پس از چین، هند و پاکستان بیشترین مساحت اراضی شور و سدیمی را در آسیا دارا می‌باشد. بنابراین زهکشی جزء غیر قابل تفکیک کشاورزی فاریاب در بسیاری از نقاط ایران به حساب می‌آید. عمق نصب زهکش‌ها یکی از چالش های مهم در طراحی و اجرای شبکه های زهکشی از دیدگاه اقتصادی و زیست محیطی است. در این مقاله برای بررسی این موضوع، از یک مدل آزمایشگاهی بهره گرفته شده است. زهکش‌ها در اعماق ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۸۵ متری در یک تانک شن به ابعاد ۰/۵×۱×۲ متر حاوی سه لایه خاک با بافت رس سیلتی هر یک به ضخامت ۰/۳ متر با هدایت های الکتریکی عصاره اشباع به ترتیب از بالا ۳۱/۲،۱۲/۷ و ۶۷/۵ دسی زیمنس بر متر نصب شده و کمیت و کیفیت آب خروجی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که بیشینه هدایت الکتریکی آب خروجی با افزایش عمق نصب زهکش‌ها افزایش می‌یابد. بیشترین شوری خارج شده از زهکش‌های نصب شده در عمق های ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۸۵ متری به ترتیب برابر ۴۳/۱، ۵۵/۶ و ۱۳۱/۸ دسی زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد. عمق آب تخلیه شده در هر آزمایش برای رسیدن به شوری بیشینه به ترتیب برای سه عمق برابر با ۲۲/۵، ۲۵/۵ و ۲۷ میلی متر اندازه گیری شد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که کاهش عمق نصب زهکش‌ها موجب بهبود کیفیت آب خروجی و کاهش مقدار آن می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: زهکش زیرزمینی، شوری زهاب، عمق نصب زهکش، مقدار زهاب

مقدمه

شور و سدیمی بودن اراضی ایران، کشاورزی را در بسیاری از نقاط کشور با محدودیت مواجه ساخته است. اما نیاز به تأمین غذا و نیز بهره گیری مناسب از اراضی، کشاورزان و دستگاه های اجرایی را برآن داشته است تا با اعمال آبشویی اقدام به اصلاح اراضی مسئله دار نمایند. در نواحی خشک و نیمه خشک، همواره آبیاری اساسی‌ترین منبع تأمین کننده آب مورد نیاز گیاه می‌باشد که برآیند آن به مصرف رساندن آب و به جا گذاشتن نمک‌ها در حجم کمتری از آب می‌باشد. از ۲۶۰میلیون هکتار اراضی تحت آبیاری دنیا ۲۰ تا ۳۰ میلیون هکتار بواسطه آبیاری شور شده اند (FAO, 2002). ازاین مقدار به طور سالانه بخشی مجهز به سامانه‌های زهکشی می‌شوند و با توجه به نرخ رشد اراضی فاریاب، ۴۰ تا ۶۰ درصد این اراضی فاقد این سامانه باقی می‌مانند (Smedema et al., 2000). در ایران، حدود ۲۹ درصد از ۸/۳ میلیون هکتار اراضی فاریاب دچار مشکل شوری هستند که ۰/۶درصد آن دارای سامانه های زهکشی زیرزمینی برای کنترل شوری و آب ماندگی است (IRNCID, 2009).

چنانچه ذکر شد، رشد جمعیت و نیاز روز افزون به تولید مواد غذایی منجر به افزایش اراضی فاریاب شده و توجه به محدودیت منابع آبی جدید، بهره گیری مجدد و باز استفاده از زهاب زهکش‌ها امری اجتناب ناپذیر خواهد بود. استفاده بی‌رویه از آب در آبیاری علاوه بر مشکلات زهدار شدن و شور شدن اراضی فاریاب، سبب انتقال و انتشار زهاب شور و آلوده به مواد شیمیایی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی به منابع خاک و آب پایین دست می‌گردد.

بنابرآنچه گفته شد، در مناطق خشک و نیمه خشکی مانند ایران، مهمترین اولویت، رهایی از شوری خاک و جلوگیری از شوری مجدد آن در اثر آبیاری می‌باشد. اما در این راستا توجه به این نکته ضروری است که در بسیاری از نواحی ایران به خصوص مناطقی با خاک‌های شور، شرایط زهکشی طبیعی مناسبی وجود ندارد و نیز عملکرد محصول در خاک‌هایی با زهکشی ضعیف کم است. از طرف دیگر، گرچه شبکه‌های زهکشی موجب کنترل شوری و احیای اراضی می‌شوند اما اثرات ناخواسته زیست محیطی ناشی از حجم بسیار بالای زهاب در سال‌های اخیر تبدیل به چالشی بزرگ در مناطق دارای شبکه‌های زهکشی ایران شده است. مسئله مهم دیگر، رهایی از زهابی است که غلظت املاح در آن می‌تواند تا چندین برابر غلظت املاح در آب آبیاری باشد. از آنجا که تخلیه گاه نهایی زهکش‌ها معمولا رودخانه‌ها، تالاب‌ها، حوضچه‌های تبخیری و یا دریا هستند که تعدادی از آن‌ها زیستگاه موجودات بسیاری به

* نویسنده مسئول: razi.fahimeh@gmail.com

شمار می‌آیند، تأثیر کیفیت زهاب تخلیه شده بر حیات این جانداران می‌باید مورد توجه قرار گیرد. حال اگر این رودخانه‌ها تأمین کننده آب شرب و یا کشاورزی باشند مسائل اجتماعی نیز طرح های زهکشی را تحت تأثیر قرار خواهد داد. نظایر این رویدادها را می‌توان در حوضه رودخانه‌های کارون و زاینده رود به وضوح دید. بنابراین، کشاورزی پایدار جز با رعایت مسائل زیست محیطی امکان پذیر نمی‌باشد (Azari et al., 2002).

در حال حاضر، اکثر سامانه‌های زهکش لوله‌ای نصب شده در نواحی خشک و نیمه خشک دنیا، عمیق‌تر از نیاز فنی زهکشی نصب می‌گردند (Smedema, 2007). نصب زهکش های عمیق با افزایش عمق سطح ایستابی به کنترل شوری کمک نموده و تهویه منطقه ریشه را بهبود می‌بخشد. اما از طرفی افزایش عمق نصب زهکش لوله‌ای سبب زهکشی بیش از حد شده و آبی که در شرایط کم آبی می‌تواند قابل استفاده گیاه باشد را از خاک تخلیه می‌نماید. بدین ترتیب، پیامدهای منفی ناشی ازخشکسالی افزایش می‌یابد (Hornbuckle et al., 2005). بنابراین، تعیین عمق مناسب نصب زهکش‌ها از چالش های مهم طراحی سامانه های زهکشی است و در حال حاضر هیچ گونه اجماعی در این زمینه نه تنها در ایران، بلکه در سطح جهانی وجود ندارد. استانداردهای طراحی و زهکشی در برخی کشورها مانند ایالات متحده و پاکستان همچنان توصیه به هر چه عمیق‌تر بودن زهکش‌ها دارد (ASAE, 2003; Kahlown and Khan, 2004) که علت آن این پندار است که اراضی‌ای که دارای زهکش‌های کم عمق هستند، دارای پتانسیل شور شدن مجدد منطقه ریشه به واسطه صعود موئینگی و برجای ماندن املاح در اثر تبخیر از سطح خاک در ناحیه ریشه می‌باشند.

نصب زهکش‌های عمیق علاوه بر تخلیه و زهکشی مازاد، نیمرخ بزرگتری از خاک را شسته و نمک‌های محبوس در اعماق خاک را همراه با زهاب وارد تخلیه گاه نهایی می‌نمایند. خارج کردن این میزان نمک از اعماق زیر ناحیه توسعه ریشه نه تنها منافعی برای کشاورزی ندارد بلکه این امر منجر به تخریب کیفی پهنه آبی پذیرنده زهاب که ممکن است یک رودخانه، دریاچه، تالاب یا دریا باشد، می‌شود (Hornbukle et al., 2007). کاهش عمق زهکش علاوه بر کنترل بیش زهکشی و تامین رطوبت برای منطقه ریشه، با کاهش میزان املاح تخلیه شده از خاک، منجر به بهبود کیفیت زهاب زهکش‌ها شده، امکان استفاده مجدد از زهاب زهکش‌ها در آبیاری را فراهم می‌آورد (Christen et al., 2001; Christen and Skehan, 2001).

تجربیات موفقی در اقلیم‌های مشابه ایران در دست است که زهکش‌های کم عمق نه تنها موثر واقع شده‌اند بلکه اثرات نامطلوب زیست محیطی کمتری بر جای نهاده‌اند. در این ارتباط می‌توان به تجربیات مصر در دره و دلتای رود نیل و تجربیات هند در نواحی خشک و نیمه خشک گجرات و راجستان اشاره کرد. در مصر، عمق کنترل سطح ایستابی یک متر و عمق نصب زهکش‌ها یک و نیم متر طراحی و اجرا شده است و در هند در ایالت راجستان عمق نصب زهکش‌ها یک تا یک و نیم متر و در ایالت گجرات یک متر منظور شده است (Ritzema, 2009).

در نواحی خشک و نیمه خشک استرالیا سیستم‌های زهکشی تک عمق با سیستم‌های چند عمق مقایسه شده است. نتایج نشان داده که تولید زهاب در سیستم‌های چند عمق کمتر از سیستم‌های تک عمق و عمیق می‌باشد. علاوه بر آن از آنجا که با توجه به عمق ریشه گیاه معمولا آبشویی می‌باید تا عمق ۰/۸ متری انجام شود، آبشویی با عمق بیشتر نه تنها فایده‌ای برای گیاه ندارد بلکه موجب شوری بیشتر آب زهکشی و ایجاد مشکل در پایین دست می‌شود(Hornbukle et al., 2007). بررسی عملکرد سیستم زهکشی زیرزمینی کم عمق (کمتر از یک و نیم متر) در خوزستان نشان داد که کاهش عمق نصب زهکش موجب تولید زهاب کمتر شده و اثرات منفی زیست محیطی کاهش می‌یابد (Naseri and Arvahi, 2009). بررسی‌های انجام شده حاکی از این است که زهکش‌های عمیق نیتروژن بیشتری را می‌شویند و از منطقه ریشه و دسترس گیاه خارج می‌کنند (Smedma, 2007). نتایج انجام شده در پاکستان نشان می‌دهد که افزایش عمق زهکش از یک به یک و نیم متر موجب افزایش محصول شده و افزایش عمق از این مقدار، تاثیری در افزایش محصول ندارد. اصلانی و همکاران در مطالعه‌ای اثر نصب لوله‌های زهکشی در اعماق مختلف و با فواصل مختلف بر کیفیت زهاب در شرایط ماندگار و غیر ماندگار را با استفاده از مدل آزمایشگاهی و مدل عددی ویژوال مادفلو (Visual MODFLOW) بررسی نمودند. نتایج آزمایش‌های آنان نشان داد که با افزایش عمق نصب زهکش‌ها، بر مقدار هدایت الکتریکی زهاب، میزان pH، مقدار TDS، جریان زهکشی و مقدار نیتروژن خارج شده افزوده می‌شود(Aslani et al., 2010).

در تحقیق حاضر مسائل زهکشی خوزستان در این ارتباط به طور خاص مورد توجه قرار گرفته است. خوزستان زادگاه زهکشی زیرزمینی در ایران است. دشت خوزستان تقریبا مسطح بوده و شیب زمین در بسیاری نقاط و به ویژه در جنوب کم و حتی نزدیک به صفر است. بنابراین، برای اجرای زهکش زیرزمینی در این منطقه نیاز به ایجاد شیب مصنوعی با استفاده از افزایش تدریجی عمق زهکش‌ها وجود دارد. در بسیاری از سامانه‌های طراحی و اجرا شده طرح‌های نیشکر، عمق

زهکش‌های جانبی مزرعه‌ای در ابتدای خط لوله، دو تا دو و نیم متر بوده و در تخلیه‌گاه نهایی به حدود پنج و نیم متر می‌رسد. با توجه به مشکلات زیست محیطی و اجتماعی تخلیه زهاب‌های کشاورزی با کیفیت بسیار نامطلوب در رود کارون و تالاب شادگان، لزوم بهینه سازی عمق زهکش‌ها از دیدگاه محیط زیست با هدف کاهش تخلیه بار آلودگی به تخلیه گاه نهایی به موازات اصلاح کیفیت خاک زراعی، ممانعت از آب ماندگی و شوری منطقه ریشه و افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی ضروری به نظر می‌رسد. در این مقاله بررسی کاهش عمق نصب زهکش‌ها برای کاهش حجم زهاب و بهبود کیفیت آن از طریق یک مدل آزمایشگاهی مدنظر بوده است. علاوه بر آن تأثیر آبشویی بر اصلاح شوری خاک مورد بررسی قرار گرفته است.

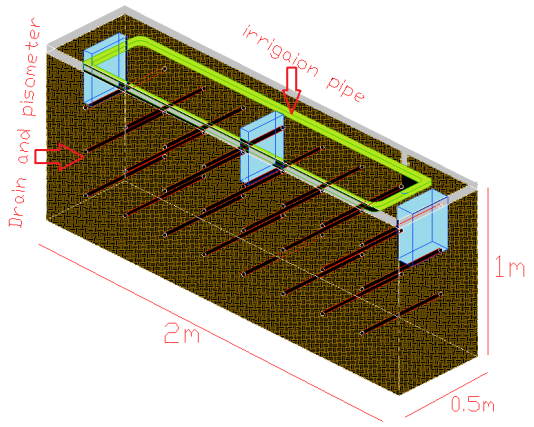
مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر در خرداد ماه سال ۹۰ برای شبیه‌سازی مزرعه به صورت آزمایشگاهی در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره) از یک محفظه مکعب مستطیلی شکل به طول دو متر، عرض نیم متر و ارتفاع یک متر استفاده شد. در دیواره پشتی محفظه سه ردیف دوتایی سوراخ در اعماق ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۸۵ متری و با فواصل یک متری از هم ایجاد گردید. این سوراخها محل نصب لوله‌های زهکش می‌باشد. خاک مورد استفاده با توجه به نوع خاک موجود در منطقه مورد مطالعه (خوزستان) از جنس رس سیلتی (Silty-Clay) انتخاب شد. با توجه به ابعاد محفظه به صورت عملی تنها استفاده از سه لایه خاک امکان‌پذیر بود. بنابراین، از سه لایه، هر یک به ارتفاع تقریبی ۰/۳ متر و با ضریب تراکم نزدیک به ۰/۹استفاده شد به طوری که لوله‌های زهکشی در مرکز لایه‌های خاک قرار گیرند. سه لایه خاک به ترتیب از بالا دارای شوری‌هایی برابر با ۱۲/۷، ۳۱/۲ و ۶۷/۵ دسی زیمنس بر متر بودند. بنابراین پروفیل ناهمگنی از نظر هدایت الکتریکی به دست آمد. خاک قبل از ریخته شدن در جعبه آزمایش، به شوری‌های ذکر شده رسانده شده بود. مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع سه لایه خاک بااستفاده از منحنی مشخصه رطوبتی خاک و تعیین پارامترهای معادله ون گنوختن- معلم محاسبه، و به ترتیب از بالا برابر با ۰/۱۶، ۰/۱۸ و ۰/۲ متر بر روز به دست آمد. در جدول (۱) خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده نشان داده شده است.

از لوله‌هایی گالوانیزه سوراخدار، به قطر ۰/۰۲۱ متر و به طول ۰/۴۵ متر به عنوان زهکش استفاده شد. برای جلوگیری از گرفتگی سوراخ‌های لوله، از یک توری پارچه‌ای که درون آن با ۰/۰۱ متر ماسه پر شده بود به عنوان پوشش دور لوله استفاده گردید. به این ترتیب مجموع قطر لوله و فیلتر به ۰/۰۴۱ متر رسید. برای تعیین موقعیت سطح ایستابی به منظور بررسی عملکرد زهکش‌ها از مجموعه ای از پیزومترها استفاده شد که روی تابلویی در پشت محفظه نصب شده بودند. متوسط هدایت الکتریکی آب آبیاری برابر با ۱/۵ دسی زیمنس بر متر بود. مخازن آب در ارتفاع ۰/۷ متری از سطح خاک و در نزدیکی محفظه قرار داده شد. شکل (۱) مجموعه مدل آزمایشگاهی و طرح نمادین آن را نشان می‌دهد. برای بررسی تاثیر عمق بر کمیت و کیفیت زهاب خروجی، سه آزمایش در سه عمق انجام شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

بافت	لایه	ضخامت(m)	تراکم	شوری(dS/m)	هدایت هیدرولیکی (m/day)
رس سیلتی	۱	۰/۳	۰/۹	۱۲/۷	۰/۱۶
	۲	۰/۳	۰/۹	۳۱/۲	۰/۱۸
	۳	۰/۳	۰/۹	۶۷/۵	۰/۲



شکل۱- شمایی از مدل آزمایشگاهی

قبل از شروع آزمایش، لایه‌های خاک موجود در محفظه با استفاده از لوله‌های پیزومتر تعبیه شده در جعبه آزمایش به صورت جداگانه از کف هر لایه با استفاده از آب آبیاری اشباع شدند. به این ترتیب که ابتدا پیزومترهای لایه آخر باز شده و آب را به داخل لایه پایینی خاک هدایت نمودند و پس از اشباع کامل این لایه، پیزومترهای این لایه بسته شده و پیزومترهای لایه بالاتر باز شده و این کار تا پایان اشباع هر سه لایه ادامه یافت. پس از اشباع لایه‌های خاک، آزمایش‌های مربوط به اثر عمق نصب زهکش بر کیفیت آب خروجی انجام شد. در آزمایش اول زهکش‌های موجود در عمق ۰/۲۵ متری که با فاصله یک متر از هم قرار گرفته بودند مورد استفاده قرار گرفت.

آزمایش‌ها تا رسیدن به بیشینه مقدار شوری

در هر آزمایش دو زهکش که به فاصله یک متر از هم قرار داشتند شروع به تخلیه زهاب نموده و دبی آب خروجی از

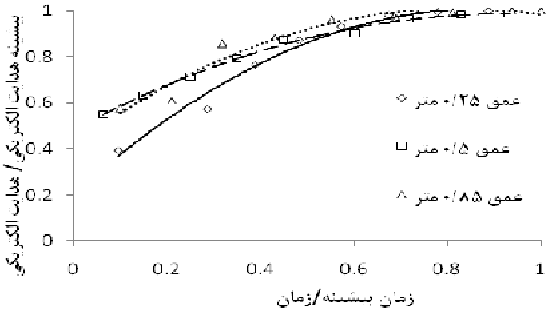
زهکش‌ها اندازه‌گیری شد. زمانی که دبی به حد ثابتی رسید و دبی آب ورودی با دبی خروجی برابر گردید، جریان ماندگار در نظر گرفته شد. برای اندازه گیری دبی ورودی از ظرفی که حجم مشخصی داشت استفاده شد آب آبیاری قبل از ورود به جعبه آزمایش از این ظرف مدرج می‌گذشت و زمان نیز ثبت می‌شد. برای اندازه‌گیری دبی خروجی نیز از روش ظرف مدرج و ثبت زمان استفاده شد. با ماندگار شدن جریان، نمونه‌گیری از آب خروجی از زهکش‌ها آغاز شد. قرائت همزمان EC به این منظور انجام شد که زمان پایان آزمایش مشخص گردد چرا که زمان پایان آزمایش زمانی در نظر گرفته شده بود که مقدارEC به بیشترین مقدار خود رسیده و در آن حد ثابت شود. فاصله زمانی بین دو نمونه‌گیری یک ساعت بود. فرض بر این بود که زمانی که اختلاف EC دو نمونه پیاپی به کمتر از پنج درصد رسید مقدار EC ثابت شده و به عنوان پایان آزمایش تلقی گردد. ورود آب به جعبه، از بالا و از طریق لوله آبیاری سوراخ دار که روی خاک قرار گرفته بود به صورت یکنواخت صورت گرفت. برای آزمایش دوم با ثابت نگه داشتن فاصله، عمق زهکش تغییر داده شد. این بار، زهکش‌هایی که در عمق ۰/۵ متری قرار داشتند مورد استفاده قرار گرفتند و مراحل آزمایش عینا تکرار گردید. آزمایش سوم که آخرین آزمایش تأثیر عمق نصب زهکش بر کیفیت آب خروجی بود مربوط به زهکش‌هایی بود که در عمق ۰/۸۵ متری نصب شده بودند. آزمایش سوم نیز همانند دو آزمایش دیگر انجام شد و پس از ثابت شدن مقدار EC به اتمام رسید. در حین انجام آزمایش‌ها، آبشویی صورت گرفته و شوری موجود در خاک توسط آب آبیاری که کیفیت بهتری داشت شسته شد. به همین دلیل مقدار شوری لایه‌های خاک پس از هر آزمایش دستخوش تغییر می‌شد. بنابراین، شوری خاکی که در آزمایش‌های دوم و سوم شسته می‌شد با شوری اولیه خاک در آزمایش اول متفاوت بود. به همین سبب پس از انجام هر آزمایش برای بررسی مقدار شوری باقی مانده در لایه‌ها از خاک نمونه‌برداری شد و شوری آب خاک مورد بررسی قرار گرفت.

آزمایش‌ها تا رسیدن به شوری تعادلی

پس از اتمام آزمایش‌های سری اول، برای بررسی اثر آبشویی بر اصلاح شوری خاک، از زهکش‌های نصب شده در عمق ۰/۲۵ متری استفاده گردید. آزمون آبشویی مطابق آن چه در گذشته صورت گرفته بود تکرار شد با این تفاوت که آزمایش تا زمانی که شوری آب خروجی از زهکش ها به حالت تعادل یعنی دو برابر شوری آب آبیاری برسد، ادامه یافت. این آزمایش ۷۷ روز به طول انجامید.

نتایج و بحث

منحنی‌های بی‌بعد مربوط به پارامترهای اندازه‌گیری شده ترسیم شد. نمودار نسبت EC زهاب تخلیه شده به بیشینه مقدار EC در مقابل نسبت زمان نمونه‌برداری به زمان رسیدن به بیشینه مقدار EC برای هر سه عمق نصب زهکش در شکل (۲) نشان داده شده است. منحنی برازش داده شده به این نقاط، برای هر سه عمق تعیین شد.



شکل ۲- تغییرات نسبت EC زهاب به EC بیشینه مقدارشوری زهاب در مقابل زمان به زمان رسیدن به بیشینه مقدار شوری زهاب برای سه عمق نصب زهکش

همان گونه که در شکل (۲) ملاحظه می‌شود در ابتدای آبشویی با گذشت زمان روند افزایشی در EC زهاب تخلیه شده مشاهده می‌گردد که روندی غیرخطی دارد. در این منحنی‌ها مشاهده می‌شود که EC زهاب خروجی با زمان افزایش و به چندین برابر زهاب اولیه می‌رسد که حاکی از انحلال و تخلیه سریع املاح موجود در خاک است. در مجموع تغییرات شوری با زمان در هرسه آزمایش تقریبا مشابه است با این تفاوت که شیب منحنی در آزمون اول بیشتر از دو آزمایش بعدی است که علت آن تخلیه املاح بیشتر در آزمایش اول است. از آنجا که دو آزمایش بعدی بلافاصله بعد از آزمایش اول انجام شده و در این آزمایش‌ها لایه فوقانی به علت تخلیه املاح طی آزمایش اول، شوری کمتری داشته است، شیب منحنی‌ها در مقابل زمان، کاهش کمتری نشان می‌دهد. با عنایت به کاهش میزان جرم نمک موجود در پروفیل در حال شستشو طی آزمایش اول، لایه‌های سطحی‌تر کمتر در انحلال شرکت نموده اما پروفیل عمیق‌تر خاک بیشتر در انحلال و سپس در تخلیه املاح مشارکت می کند. آزمایش سوم با دو آزمایش قبلی اندکی متفاوت است زیرا لایه سوم به مراتب شورتر از دو لایه فوقانی بوده و تا لحظه شروع آزمایش سوم، لایه اول دو بار و لایه دوم یک بار شستشو شده اند. بدین سبب و با توجه به شوری زیاد لایه سوم و انحلال و انتقال املاح لایه های فوقانی به لایه سوم، در آزمایش سوم آب شورتری در لایه سوم در فرآیند انحلال مشارکت کرده و با توجه به ظرفیت حلالیت آب، انحلال کمتری

در لایه سوم روی خواهد داد. لذا، غلظت زهاب در این آزمایش به مراتب بیشتر از دو آزمایش دیگر بوده و زمان رسیدن به شوری بیشینه آن نیز کوتاه‌تر بدست آمد. افزایش عمق نصب زهکش با ثابت بودن فاصله زهکش‌ها منجر به افزایش نرخ تخلیه زهاب گردید و نیز حجم آب تخلیه شده برای رسیدن به شوری بیشینه در این عمق بیشتر از دو آزمایش قبل بود. پیزومترهای نصب شده در جعبه آزمایش نشان داد که علیرغم کاهش عمق معادل، بار آبی روی هر زهکش افزایش یافته و از آنجا که توان بار آبی در معادله هوخهات دو و توان عمق معادل یک می باشد، اثر بار آبی بیشتر بوده و منجر به افزایش نرخ تخلیه زهاب می‌گردد. عمق آب تخلیه شده در هر آزمایش برای رسیدن به شوری بیشینه به ترتیب برای سه عمق برابر با ۲۲/۵، ۲۵/۵ و ۲۷ میلی متر اندازه گیری شد. بنابراین با توجه به افزایش هدایت الکتریکی زهاب تخلیه شده و نیز حجم زهاب با افزایش عمق نصب زهکش می توان گفت نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر با نتایج تحقیق اصلانی و همکاران مطابقت دارد.

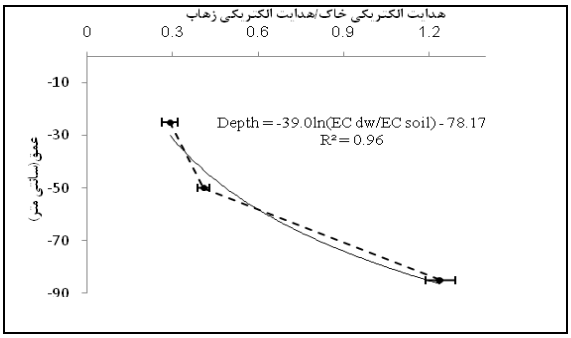
جدول (۲) مشخصات توابع برازش داده شده به نقاط که توسط نرم افزار دیتافیت نسخه ۹ (DataFit version 9) به دست آمده است را برای سه آزمایش در سه عمق مختلف نصب زهکش نشان می‌دهد. مقدار ۱۲/۰۷ برای ضریب جمله توانی مربوط به آزمایش اول، حاکی از شتاب افزایشی شدت تغییرات شوری بیشینه در آزمایش اول است و مقدار ۰/۹۲به عنوان توان جمله توانی نشان از این نکته دارد که ارتباط بین شوری بی بعد با زمان نسبتا خطی است. این رفتار در آزمایش دوم کاملا تغییر یافته و توان ۰/۲۵ حکایت از شتاب کاهشی تغییرات نرخ شوری بی بعد با زمان دارد. در آزمایش سوم، توان ۰/۵ نشان می‌دهد که تغییرات شوری با زمان، آهنگ تندتری نسبت به آزمایش دوم گرفته است که قبلا در خصوص علل آن صحبت شد.

جدول ۲- نتایج برازش منحنی به پارامترهای اندازه گیری شده و جدول آنالیز واریانس توابع حاصله

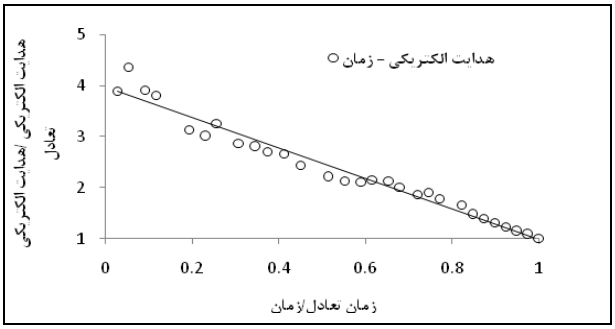
عمق زهکش(متر)	$EC/EC_{max} = a(T/T_{max})^b + c(T/T_{max})$					
۰.۲۵	نتایج رگرسیون (α=0.05)					
	متغیر	مقدار	حد پایین	حد بالا	احتمال(t)	(Radj^2)
	a	۱۲/۰۷	-۷۶/۵۴	۱۰۰/۸۶	۰/۷۵	۰/۹۵
	b	۰/۹۲	۰/۳۴	۱/۴۹	۰/۰۰۸	
	c	-۱۱/۰۵	-۹۹/۷۱	۷۷/۶۰	۰/۷۷	
	آنالیز واریانس					
	منبع	DF	مجموع مربعات	میانگین مربع	F-ratio	احتمال (F)
	رگرسیون	۲	۰/۳۶	۰/۱۸	۷۷/۸۹	۰/۰۰۰۰۵
	خطا	۶	۰/۰۱	۰/۰۰۲		
	کل	۸	۰/۳۸			
۰.۵	نتایج رگرسیون (α=0.05)					
	متغیر	مقدار	حد پایین	حد بالا	احتمال(t)	(Radj^2)
	a	۱/۰۶	۰/۷۹	۱/۳۳	۰/۰۰۰۰۴	۰/۹۸
	b	۰/۲۵	۰/۱۴	۰/۳۵	۰/۰۰۰۸	
	c	-۰/۰۴	-۰/۲۹	۰/۳۴	۰/۷۲	
	آنالیز واریانس					
	منبع	DF	مجموع مربعات	میانگین مربع	F-ratio	احتمال (F)
	رگرسیون	۲	۰/۲۳	۰/۱۲	۲۲۳/۹۶	۰/۰۰۰۰۱
	خطا	۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۵		
	کل	۹	۰/۲۳			
۰.۸۵	نتایج رگرسیون (α=0.05)					
	متغیر	مقدار	حد پایین	حد بالا	احتمال(t)	(Radj^2)
	a	۲/۰۳	۰/۱۲	۳/۹۳	۰/۰۴	۰/۹۲
	b	۰/۵	۰/۱۷	۰/۸۳	۰/۰۱	
	c	-۱/۰۲	-۲/۹۷	۰/۹۳	۰/۲۵	
	آنالیز واریانس					
	منبع	DF	مجموع مربعات	میانگین مربع	F-ratio	احتمال (F)
	رگرسیون	۲	۰/۲۱	۰/۱	۴۵/۲۲۱	۰/۰۰۰۲
	خطا	۶	۰/۰۱	۰/۰۰۲		
	کل	۸	۰/۲۲			

چنانچه در شکل (۲) مشاهده شد، در آزمایش اول نرخ تغییرات در لایه اول به شدت زیاد است که علت آن شستشوی قابل ملاحظه املاح در لایه اول در تماس با آب آبیاری با کیفیت بالا می‌باشد. در آزمایش دوم در واقع دو لایه آبشویی شده و با توجه به تجمع املاح انتقال یافته از لایه بالایی به لایه میانی از شدت شستشو کاسته شده است. اما در لایه سوم به لحاظ وجود املاح بسیار زیاد در لایه سوم و همچنین تاثیر بار هیدرولیکی روی زهکش‌ها بر دبی تخلیه، مجددا نرخ انتشار املاح افزایش یافته است.

شکل (۳) نسبت بیشینه شوری زهاب به شوری اولیه خاک که در واقع میانگین وزنی شوری‌های اولیه لایه‌های خاک است را در مقابل افزایش عمق نصب زهکش نشان می‌دهد. از آنجا که با افزایش عمق نصب زهکش‌ها، شوری زهاب خارج شده از زهکش‌ها افزایش می‌یابد، نسبت این شوری به شوری اولیه خاک نیز افزایش خواهد یافت. در این شکل، خط چین، منحنی است که نقاط را به هم متصل می کند و روند خطی تغییرات شوری با عمق را پیشنهاد می‌نماید. در حالی که خط پر، بهترین منحنی برازش داده شده به نقاط را نشان می‌دهد که از فرم لگاریتمی تبعیت می کند. نتایج بدست آمده با نتایج سایر محققین در این زمینه مانند Ayars et al. (2006) و Hornbukle et al. (2005& 2007) مطابقت دارد(Hornbukle et al., 2005; Ayars et al., 2006; Hornbukle et al., 2007).



شکل ۳- تغییرات نسبت بیشینه شوری زهاب به شوری اولیه خاک با افزایش عمق نصب زهکش (خط چین ارتباط خطی میان شوری و عمق و خط پر فرم غیرخطی و لگاریتمی برای این ارتباط را پیشنهاد می نمایند).



شکل ۴- نسبت هدایت الکتریکی زهاب خروجی به هدایت الکتریکی حالت تعادل در مقابل زمان رسیدن به تعادل برای آزمایش طولانی مدت آبشویی

در آزمایش بررسی اثر زهکشی بر آبشویی نیمرخ خاک از ۲۹ داده به دست آمده در طول آزمایش استفاده گردید و منحنی بی‌بعدی برای این منظور ترسیم شد. شکل (۴) منحنی مربوط به EC را در آزمایش آبشویی نشان می‌دهد.

نتایج مندرج در شکل (۵) نشان می‌هد که با گذشت زمان مقدار شوری آب خروجی در گام‌های زمان اولیه افزایش و سپس کاهش یافته است. کاهش مقدار شوری آب خروجی حاکی از تأثیر مثبت آبشویی بر اصلاح خاک می‌باشد. به عبارت دیگر با گذشت زمان نمک موجود در خاک توسط آب آبشویی شسته شده و مقدار آن کاهش یافته است. آب مورد استفاده برای آزمایش آبشویی از منبع آب آبیاری تأمین شده و مقدار هدایت الکتریکی آن برابر با یک و نیم دسی زیمنس بر متر بود. بنابراین، زمان پایان آزمایش زمانی بود که شوری آب خروجی به دو برابر مقدار شوری آب آبیاری یعنی برابر با سه دسی زیمنس بر متر رسید. این آزمایش که۷۷ روز به طول انجامید حاکی از بهبود وضعیت کیفی خاک مورد آزمایش با استفاده از زهکش کم عمق در این مدت می باشد که نشان دهنده بهبود کیفیت خاک در راستای اهداف کشاورزی توام با بهبود و کاهش کیفیت زهاب خروجی در راستای اهداف زیست محیطی است.

معادله برازش داده به نقاط این نمودار از درجه یک تبعیت نموده و در جدول (۳) فرم معادله به همراه ضریب آن و آنالیز واریانس مربوطه حاصل از نرم افزار دیتافیت نشان داده شده است. شیب منفی حکایت از تاثیر زمان بر آبشویی به صورت معکوس دارد. بدیهی است هرچه مدت آبشویی افزایش یابد، زهاب با کیفیت مطلوب‌تری از زهکش تخلیه خواهد شد. بدین ترتیب، در دراز مدت مشکلات تخلیه گاه‌های نهایی از لحاظ زیست محیطی و اجتماعی نیز کاهش خواهد یافت.

بیلان نمک

جدول(۴) مقدار نمک ورودی به محفظه خاک از طریق آب لازم برای شور کردن خاک و نیز آب آبیاری و آبشویی را نشان می‌دهد.

جدول(۵)مقدار نمک خارج شده از باکس را در طول آزمایش اثر عمق و نیز آزمایش آبشویی نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج به دست آمده جرم کل نمک ورودی به محفظه، از حاصل جمع ردیف های جدول ۴ برابر با ۱۸/۶۳ کیلوگرم و جرم کل نمک خروجی از محفظه خاک، از حاصل جمع ردیف های جدول ۵ برابر با ۹/۶ کیلوگرم است. بنابراین مقدار نمک باقیمانده در خاک از حاصل تفریق دو مقدار به دست آمده از جداول ۴ و ۵، برابر با ۹/۰۳ کیلوگرم می‌باشد. برای اندازه‌گیری شوری از سه نقطه هر لایه خاک (کنار دو

زهکش نصب شده در هر لایه و وسط دو زهکش) نمونه‌گیری انجام شد. با اندازه‌گیری شوری و رطوبت باقیمانده در لایه‌های خاک که پس از پایان تمامی آزمایش‌ها صورت گرفت؛ جرم نمک باقیمانده در محفظه خاک برابر با ۹/۰۶ کیلوگرم به دست آمد. بین مقدار نمک باقیمانده در خاک پس از اندازه‌گیری شوری و رطوبت و حاصل تفریق نمک ورودی و خروجی از محفظه، ۰/۳۳ درصد اختلاف وجود دارد که می‌تواند ناشی از خطای اندازه‌گیری باشد که البته قابل صرف‌نظر نمودن است.

جدول ۳- نتایج برازش منحنی به مقادیر EC اندازه گیری شده

EC/ECeq = a(T/Teq)+b					
نتایج رگرسیون (α=0.05)					
متغیر	مقدار	حد پایین	حد بالا	احتمال(t)	(Ra^2)
a	-۲/۹۴	-۳/۱۶	۰/۲۲	۰/۰۰۰۰۱	۰/۹۶
b	۳/۹۲	۰/۱۴	۳/۷۹	۰/۰۰۰۰۱	
آنالیز واریانس					
منبع	DF	مجموع مربعات	مجذور میانگین	F Ratio	احتمال(F)
رگرسیون	۱	۲۳/۲۲	۲۳/۲۲	۷۴۵/۹۹	۰/۰۰۰۱
خطا	۲۷	۰/۸۴	۰/۰۳		
کل	۲۸	۲۴/۰۶			

جدول۴- جرم نمک ورودی به محفظه خاک

نحوه ورود نمک	Msalt(kg)
برای شور کردن خاک	۱۶/۳۵
برای آبیاری وآبشویی	۲/۲۸

جدول۵- جرم نمک خروجی از محفظه خاک

نحوه خروج نمک	Msalt(kg)
آزمایش اثر عمق	۲/۴۹
آزمایش آبشویی	۶/۰۷
کنارگذر	۱/۰۴

راندمان آبشویی

پس از پایان همه آزمایش‌ها به منظور محاسبه راندمان آبشویی، از لایه‌های خاک موجود در محفظه آزمایش نمونه آب خاک اشباع گرفته شد. نتایج به دست آمده در جدول (۶) آورده شده است.

جدول ۶- شوری اولیه و نهایی لایه‌های خاک قبل و بعد از آزمایش‌ها

شماره لایه	EC(dS/m)	
	شوری اولیه	شوری نهایی
لایه اول	۱۲/۷	۱/۸
لایه دوم	۳۱/۲	۷/۵
لایه سوم	۶۷/۵	۴۹

محاسبه راندمان آبشویی به صورت جرمی صورت گرفت به این معنا که جرم کل نمک وارد شده به محفظه خاک، نمک خروجی و نمک باقیمانده در محفظه محاسبه شده و از تقسیم جرم نمک خروجی به نمک وارد شده راندمان آبشویی محاسبه گردید. با صرف‌نظر نمودن از خطای به وجود آمده در میزان نمک تجمع یافته در خاک، راندمان آبشویی برابر با ۵۱/۵ درصد به دست آمد.

نتیجه گیری

تحقیق حاضر نشان داد که با کاهش عمق زهکش می‌توان از نگرانی‌های ناشی از کیفیت زهاب کاست. بیشترین شوری خارج شده از زهکش‌های نصب شده در عمق‌های ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۸۵ متری به ترتیب برابر ۴۳/۱، ۵۵/۶ و ۱۳۱/۸ دسی زیمنس بر متر به دست آمد که در مقایسه با شوری اولیه ۱۲/۷، ۳۱/۲ و ۶۷/۵ دسی زیمنس بر متر در اعماق ۰/۲۵ تا ۰/۸۵ متری حاکی از شدت تخلیه بیشتر املاح از اعماق کمتر می‌باشد. در آزمایش‌های صورت گرفته شیب منحنی شوری نسبی زهاب تخلیه شده در مقابل زمان رسیدن به شوری بیشینه نیز در آزمایش مربوط به اعماق نصب زهکش کم عمق، بیشتر از اعماق نصب بیشتر بود که مجددا حکایت از شدت بیشتر تخلیه املاح از زهکش کم عمق دارد و شیب کمتر این منحنی‌ها نشان دهنده انتقال املاح از لایه های بالاتر به اعماق می‌باشد. آزمایش‌ها همچنین نشان داد که نسبت شوری زهاب به شوری اولیه خاک در مقابل افزایش عمق نصب زهکش افزایش می‌یابد که خود نشان از تخلیه املاح بیشتر و شستشوی نیمرخ بزرگ تری از خاک می‌باشد. آنچه می بایستی مورد توجه قرار گیرد، عمق کنترل سطح ایستابی به ازای ثابت نگه داشتن فاصله زهکش‌ها است که بر تهویه خاک منطقه ریشه موثر خواهد بود. از طرف دیگر می‌باید به احتمال صعود املاح در ناحیه شستشو شده به واسطه صعود موئینگی و اثر بالا کشنده تبخیرکنندگی اتمسفر توجه نمود. عمق آب تخلیه شده در هر آزمایش نیز برای

رسیدن به شوری بیشینه به ترتیب برای سه عمق برابر با ۲۲/۵، ۲۵/۵ و ۲۷ میلی متر اندازه‌گیری شد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که کاهش عمق نصب زهکش‌ها موجب بهبود کیفیت آب خروجی و کاهش حجم آن می‌گردد. از طرف دیگر، با افزایش حجم زهاب خروجی ضمن نیاز به تاسیسات بزرگ‌تر که هزینه احداث، بهره برداری و نگه داری بیشتری نیز دارند، با تخلیه املاح مازاد از ناحیه زیر منطقه توسعه ریشه، محیط زیست منابع پذیرنده زهاب را نیز در معرض خطر و نابودی قرار می‌دهند. نتایج نشان داد که نسبت بی بعد شوری به شوری حداکثر با زمان بی بعد ارتباط غیر خطی داشته و با گذشت زمان از شدت تغییرات شوری کاسته می‌شود. این درحالی است که نسبت بی بعد شوری به شوری تعادل در مقابل زمان بی بعد از رابطه خطی پیروی می نماید که حاکی از تغییرات ثابت زمانی است. از طرف دیگر، نسبت شوری زهاب خروجی به شوری اولیه خاک نیز با عمق به صورت غیر خطی افزایش نشان داد که فرم لگاریتمی برازش داده شده نشان دهنده تاثیر عمق کارگذاری زهکش بر کیفیت زهاب خروجی است و مجددا بر این نکته که با افزایش عمق نصب، کیفیت زهاب به شدت کاهش یافته و بر محیط زیست تخلیه گاه نهایی تاثیر سوء بیشتری برجای خواهد نهاد، تاکید می‌نماید.

REFERENCES

ASAE. (2003). Design, construction and maintenance of subsurface drainage in arid and semi-arid areas. Engineering Practice in ASAE. ASE-EP 461.1. MI. USA.

Aslani, F., Nazemi, A., Sadreddini, A., Fakherifard, A. and Ghorbani, M.A. (2010). Underground drainage depth and distance estimates based on drainage water quality. *Journal of Soil and Water Research*. 41(2), 139-146. (In Farsi)

Ayars, J.E., Christen, E.W. and Hornbuckle, J.W. (2006). Controlled drainage for improved water management in arid regions irrigated agriculture. *Journal of Agricultural Water Management*. 86, 128-139.

Azari, A., Akram, M. and Pazira, E. (2002). Attitude problems and implementation of underground drainage in Iran. Publication No. 59. Tehran. Iran. (In Farsi)

Christen, E.W., Ayars, J.E., and Hornbuckle, J.W. (2001). Subsurface drainage design and management in irrigated areas of Australia. *Journal of Irrigation Science*. 21, 35-43.

Christen, E.W. and Skehan, D. (2001). Design and management of subsurface horizontal drainage to reduce salt loads. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 127(3), 148-155.

FAO. (2002). Agricultural drainage water management in arid and semi-arid area. Irrigation and Drainage Paper No. 61. FAO. Rome. Italy.

Hornbuckle, J.W., Christen, E.W., Ayars, J.E., and Faulkner, R.D. (2005). Controlled water table management as a strategy for reducing salt loads from subsurface drainage under perennial agriculture in semi-arid Australia. *Journal of Irrigation and Drainage Systems*.19, 145-159.

Hornbuckle, J.W., Christen, E,W., and Faulkner, R.D. (2007). Evaluating a multi-level subsurface drainage system for improved drainage water quality. *Journal of Agricultural water management*. 89, 208-216.

Kahlown, M.A. and Khan, A.D. (2004). Tile drainage manual. Pakistan Council of Research in Water Resources (PCRWR).Islamabad. Pakistan.

IRNCID. (2009). Khuzestan and challenges in the years leading underground drainage. Drainage and Environmental working group of the IRNCID. Proceedings of the 6th Technical workshop on Drainage and Environmental in IRNCID. 5 Jan., Khuzestan, Iran, pp. 1-22. (In Farsi)

Naseri, A. and Arvahi, A. (2009). Underground drainage systems in the design of new foundations and their impact on local procedures. In: Proceeding 6th Technical workshop Drainage and Environmental, 5 Jan., Khuzestan, Iran, pp. 67-82. (In Farsi)

Ritzema, H.P. (2009). Drain for grain: making water management worth its salt. CRC Press/Balkema. the Netherlands.

Smedema, L.K., Abdel-Dayem, S. and Ochs, W.J. (2000). Drainage and agricultural development. *Journal of Irrigation and Drainage Systems*. 14(3), 223-235.

Smedema, L.K. (2007). Revising currently applied drain depths for water logging and salinity control of irrigated land in the (semi) arid zone. *Journal of Irrigation and Drainage*. 56, 379–387.