

اثر نسبت عرض نوار کاشت به عرض نوار نکاشت بر شوری ناحیه ریشه در زهکشی خشک

مسعود سطلانی^۱، علی رحیمی خوب^{۲*}، عباس ستوده‌نیا^۳

۱. دانشجوی دکتری، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران

۲. استاد، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران

۳. دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۳/۱۰ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۸/۱۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۸/۲۳)

چکیده

حجم بالای زه آب خروجی از سامانه‌های زهکشی و کیفیت نامطلوب آن‌ها، دو چالش بزرگ پیش روی بهره‌برداران این سامانه‌ها است. در این میان، در مناطقی که سطح زمین به نسبت مقدار آب موجود زیاد است، زهکشی خشک می‌تواند با هزینه‌های کمتر و همچنین سازگاری بیشتر با محیط‌زیست، به حل این مشکل کمک کند. در این تحقیق نسبت عرض نوار کاشت به کاشته‌نشده به‌عنوان یکی از عوامل مهم در کارایی زهکشی خشک مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از دو لایسیمتر تحقیقاتی در پردیس ابوریحان دانشگاه تهران در سال ۱۳۹۴، عملکرد دو نسبت عرض کاشت به کاشته‌نشده متفاوت ۱:۱ و ۱:۲ (کاشت: کاشته‌نشده) بر کاهش شوری خاک ناحیه ریشه مورد ارزیابی قرار گرفت. در این آزمایش از چمن اسپرت در قسمت کاشت استفاده شد. بافت خاک لومی و شوری آب آبیاری ۳ dS/m بود. نتایج این تحقیق نشان داد که در شرایط آزمایش، با افزایش سهم قسمت کاشت و استفاده بیشتر از زمین، تعادل نمک در ناحیه ریشه همچنان حفظ شده و عرض کاشت به کاشته‌نشده ۲ به ۱ قابل قبول بود. ولی با افزایش این نسبت، مقدار نمک جمع شده در ناحیه کاشته‌نشده افزایش یافت که در این صورت مدیریت بهتری برای جمع‌آوری نمک لازم خواهد بود. همچنین نتایج هرکدام از لایسیمترها به‌طور جداگانه نشان داد زهکشی خشک توانایی انتقال نمک از قسمت کاشت به قسمت کاشته‌نشده را دارد و پس از مدتی، غلظت نمک در ناحیه ریشه به تعادل خواهد رسید. شوری قسمت کاشت در ناحیه توسعه ریشه برای هر دو لایسیمتر در انتهای آزمایش، از ۶ dS/m فراتر نرفت که این مقدار حدود دو برابر شوری آب آبیاری بود.

واژه‌های کلیدی: حرکت آب و نمک، شوری خاک، زهکشی خشک، عرض نوار تبخیر

مقدمه

شور شدن خاک تهدیدی جدی برای اراضی تحت آبیاری و امنیت غذایی است. برنامه بین‌المللی فناوری و پژوهش در آبیاری و زهکشی (IPTRID) این‌گونه تخمین زده است که بین ۱۰ تا ۱۵ درصد مناطق فاریاب جهان از مشکل شوری در درجه‌های مختلف رنج می‌برند، به‌طوری‌که سالانه بین ۰/۵ تا ۱ درصد از مناطق آبیاری از بین می‌رود و نزدیک به نیمی از این مناطق برای طولانی‌مدت در خطر شور شدن هستند (CISEAU, 2006).

برای مقابله با شور شدن خاک، فناوری‌های زیادی در قرن گذشته توسعه یافته است که زهکشی مصنوعی یکی از مهم‌ترین آن‌هاست. زهکشی زیرزمینی با کاهش تبخیر از آب زیرزمینی و نیز با خروج نمک از ناحیه ریشه، به کاهش تجمع نمک در این

ناحیه کمک می‌کند. این روش به‌عنوان یک اقدام مؤثر برای کنترل شوری شناخته شده است و به‌عنوان جزء اصلی و ضروری طرح‌های آبیاری در نظر گرفته می‌شود؛ هرچند که زهکشی مصنوعی در سال‌های اخیر از نظر محیط زیستی و اقتصادی مورد سؤال قرار گرفته است.

اجرا و نگهداری سامانه‌های زهکشی پرهزینه است و در بیشتر مناطق ممکن است هزینه نگهداری و بهره‌برداری از سامانه زهکشی از ارزش زمین برای تولید پنبه، غلات و سبزی‌ها بیشتر شود. بنابراین کشاورزان علاقه‌ای به پرداخت هزینه این طرح‌ها ندارند (Konukcu et al., 2006; Wichelns and Oster, 2006).

زهکشی کشاورزی، به‌خودی‌خود، ممکن است به محیط‌زیست زیان برساند (DPIPWEA, 2003; Dougherty and Hall, 1995). اگر پیامدهای محیط زیستی غیرقابل قبول باشد و یا زیان‌های آن بیشتر از فواید قابل‌انتظار باشد، ممکن است اجرای زهکشی مصنوعی به تعویق بیفتد و یا لغو شود.

* نویسنده مسئول : akhob@ut.ac.ir

مثال‌های فرضی زهکشی خشک در مقیاس مزرعه‌ای در سن جواکین کالیفرنیا در ایالات متحده آمریکا (Khouri, 1998) و حوزه پایین ایندوس در پاکستان (DPIPWEA, 2003) نشان داده است که زهکشی خشک می‌تواند موازنه آب و نمک را در خاک برقرار کند.

در زهکشی خشک (با رها کردن قسمتی از زمین به‌عنوان نوار نکاشت)، سیستم آب زیرزمینی این امکان را به وجود می‌آورد که آب و املاح اضافی قسمت‌های کشت‌شده به‌مرورزمان به سمت نوارهای نکاشت منتقل شود (Konukcu *et al.*, 2006). (شکل ۱).

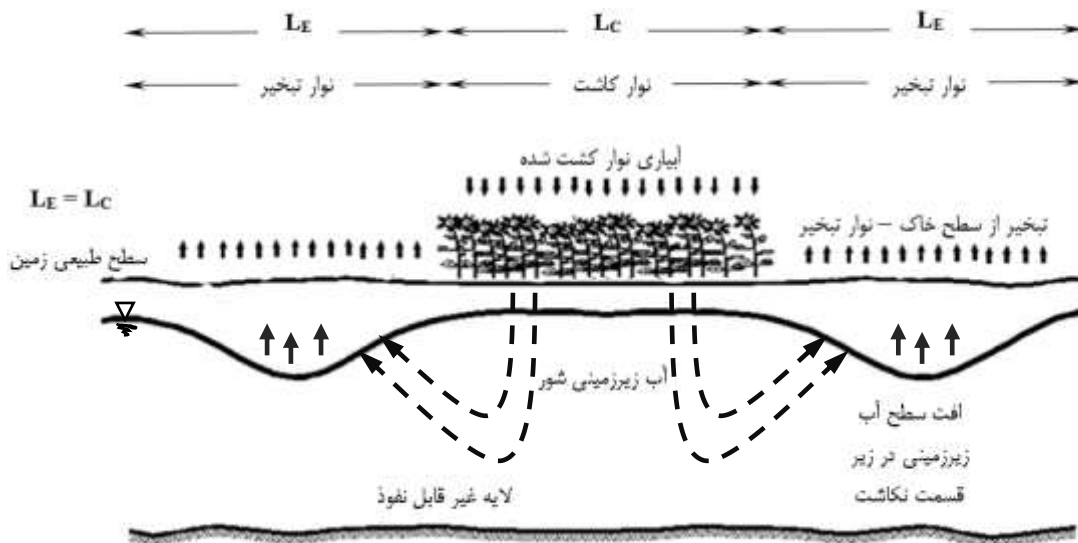
در مناطق خشک که میزان زمین از آب قابل‌دسترس بیشتر است، زهکشی خشک می‌تواند با قطعه‌بندی زمین، آب و املاح اضافی قسمت‌های کشت‌شده را به سمت قسمت‌های نکاشت هدایت کند و از مقدار نمک ناحیه ریشه بکاهد. در این‌گونه دشت‌ها به دلیل کمبود آب، امکان توسعه آبیاری در تمامی اراضی فراهم نبوده و ناگزیر باید بخش‌هایی از اراضی به‌صورت نکاشت رها شود. در کشور ایران با اقلیم خشک و نیمه‌خشک موجود در اکثر نواحی آن، از این‌گونه دشت‌ها به فراوانی می‌توان نام برد. به‌عنوان نمونه، در دشت‌های حاشیه کویر لوت و کویر نمک، از جمله دشت‌های یال جنوبی رشته‌کوه البرز (شامل دشت‌های ورامین، گرمسار، ده نمک، سمنان، جنوب شاهرود، دامغان و ...) شرایط کم‌آبی، شوری آب‌و خاک و بالا بودن سطح ایستابی برقرار است. در این شرایط، اراضی کشت نشده به تدریج شور خواهند شد و از شوری اراضی تحت آبیاری کاسته می‌شود. در واقع این‌گونه می‌توان عنوان کرد که در زهکشی خشک، قسمتی از اراضی برای احیای بخش دیگر قربانی می‌شود (Azari, 2004).

در سال ۲۰۰۸ طی تحقیقی، پارامترهای اثرگذار بر زهکشی خشک مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق از مدل SAHYSMOD برای مدل‌سازی عددی زهکشی خشک استفاده شد و پارامترهای اثرگذار شامل، مقادیر مختلف هدایت هیدرولیکی خاک، عمق لایه غیرقابل نفوذ، عمق اولیه سطح ایستابی، عمق و شوری آب آبیاری، نرخ تبخیر متفاوت از نوار نکاشت و عرض‌های کاشت و نکاشت متفاوت بررسی شدند. نتایج نشان داد هدایت هیدرولیکی خاک تأثیری بر روی شوری خاک نوار کاشت و همچنین سطح ایستابی نداشت. عمق لایه غیرقابل نفوذ نیز تأثیر چندانی بر افت سطح ایستابی نداشت. همچنین پیشنهاد شد برای افزایش کارایی زهکشی خشک، عرض نوارهای کاشت و نکاشت باریک‌تر (کمتر) در نظر گرفته شود و در نهایت، زهکشی خشک برای مناطقی پیشنهاد شد که مقدار آب کم و زمین زیاد باشد (Akram *et al.*, 2008).

از آنجایی که سامانه‌های زهکشی وظیفه خارج کردن و انتقال زه-آب شور زمین‌های فاریاب را بر عهده دارند، بهره‌برداری از آن‌ها، با نگرانی‌های زیست‌محیطی همراه خواهد بود. همچنین اجرای این سامانه‌ها مشکلاتی را در پی خواهد داشت. سختی دسترسی به زهکش‌ها (اصلی و مزرعه)؛ هزینه‌های بالا، شامل اتصال سامانه‌های زهکشی مزارع به زهکش اصلی؛ ممانعت صاحبان زمین‌ها از عبور سامانه‌های انتقال از مزارعشان؛ مشکلات زیست‌محیطی؛ ورود نمک به رودخانه‌ها و عدم دسترسی به تخلیه گاه مناسب در حوضه‌های بسته از جمله این مشکلات است (Konukcu *et al.*, 2006).

بنابراین لازم است به دنبال روش‌های جایگزینی بود که هم بتوانند شوری خاک را کنترل کنند و هم پیامدهای زیان‌بار زیست‌محیطی آن را تا اندازه قابل قبولی به حداقل برسانند. در سال‌های اخیر، تلاش‌هایی برای یافتن راه‌حلی کارا در مقابل محدودیت‌های زیست‌محیطی و عملی در مقابل مسائل اقتصادی صورت گرفته است (Hanson, 1989; Gowing and Wyseure, 1992; Asghar, 1996; Sharma and Tyagi, 2004). در این میان زهکشی خشک به‌عنوان یک راه‌حل پیشنهاد شده است (Wichelns and Oster, 2006; Khouri, 1998; WARDA, 1997) که در آن قسمتی از اراضی به‌صورت آیش (کاشته‌نشده) درمی‌آید و نقش خروجی (sink) آب و املاح اضافی را ایفا می‌کند. در این روش جریان آب زیرسطحی، آب اضافی را از منطقه آبیاری به منطقه نکاشت هدایت می‌کند. چنانچه این منطقه ظرفیت پذیرش آب اضافی آبیاری و تبخیر آن را داشته باشد، سطح ایستابی در منطقه نکاشت در اثر تبخیر چندان بالا نمی‌رود و نمک نیز از منطقه کاشت به ناحیه نکاشت منتقل می‌شود و در آنجا انباشته می‌گردد. مقدار نمک در منطقه آبیاری کم‌وبیش ثابت باقی می‌ماند.

شواهدی وجود دارد که زهکشی خشک می‌تواند به کنترل شوری خاک کمک کند. در دره فرگانا (Fergana) جایی که خروجی برای آب زیرزمینی وجود ندارد، کشاورزها ۳۰ تا ۳۵ درصد از زمین‌های خود را به آیش اختصاص دادند و با موفقیت شوری خاک در مناطق آبیاری را کنترل کردند (Kovda, 1971). در واحه حوضه رودخانه یرکیانگ (Basin Yerqiang River) مشاهده دوساله بیان نمک در زمین‌های پست نشان داد که این زمین‌ها ۲۸ تا ۴۴ درصد از نمک اضافی از آبیاری را دریافت می‌کنند (Shimojima *et al.*, 1996). همچنین زهکشی خشک به‌عنوان یک روش درست از سوی اتحادیه توسعه برنج غرب آفریقا [WARDA] تشخیص داده شد (WARDA, 1997; Gowing and Wyseure, 1992). بررسی‌های عددی بر روی



شکل ۱. نمای شماتیکی از زهکشی خشک و اجزای آن

جغرافیایی (۵۹° ۴۰' ۵۱") انجام شد. پس از تعیین محل مناسب نصب لایسیمترهای تحقیقاتی، نسبت به ساخت و کارگذاری آن در خاک اقدام شد.

مشخصات واحد آزمایشی

در این تحقیق برای بررسی کارایی زهکشی خشک در کاهش شوری خاک منطقه کاشت و تأثیر نسبت عرض کاشت به نکاشت متفاوت، از دو لایسیمتر تحقیقاتی (لایسیمترهای حجمی) با سطح مقطع یک مترمربع و عمق یک متر استفاده شد. لایسیمترها از ورق آهن سیاه به ضخامت دو میلی‌متر تهیه شدند و برای جلوگیری از زنگ‌زدگی آهن از ضدزنگ استفاده شد و برای اطمینان بیشتر، کل سطح داخلی با استفاده از رنگ استخری رنگ‌آمیزی شد. برای نمونه‌برداری خاک در طول آزمایش ابتدا چهار ردیف عمودی بوشن آهنی به فواصل معین در یک‌طرف لایسیمتر کارگذاری شد (شکل ۲) و برای جلوگیری از خروج آب‌و‌خاک از بوشن‌ها، از درپوش آهنی استفاده شد. ولی با توجه به نوع خاک، نمونه‌برداری از بوشن‌های تعبیه‌شده امکان‌پذیر نبود. به همین دلیل نمونه‌برداری به‌صورت عمودی با استفاده از اوگر و از سطح خاک انجام شد.

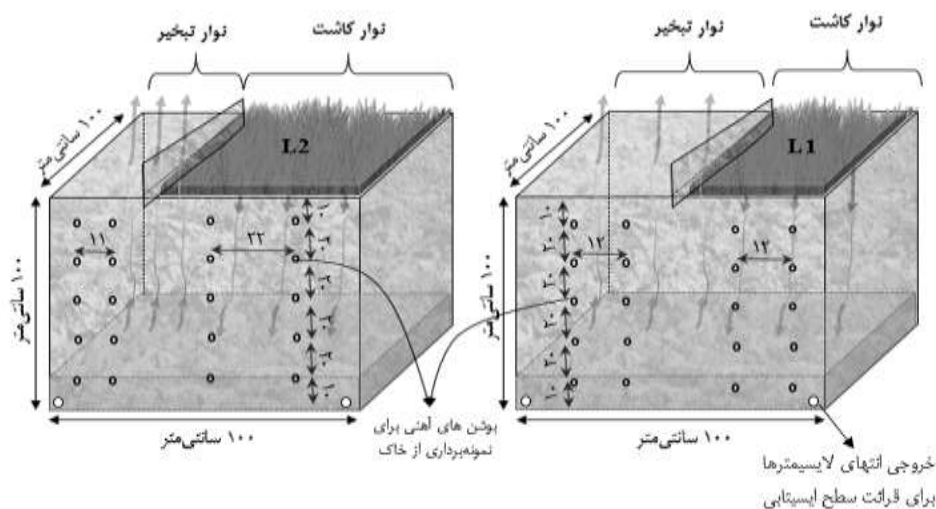
برای بررسی تأثیر نسبت عرض کاشت به نکاشت، دو نسبت ۱ به ۱ و ۲ به ۱ تعیین و مورد بررسی قرار گرفت. نسبت ۱ به ۱ بر مبنای پیشنهاد تحقیق‌های قبلی انتخاب شد و برای بررسی امکان استفاده بیشتر از زمین و کشت بیشتر، نسبت ۲ به ۱ نیز به اجرا درآمد. دو قسمت کاشت و نکاشت با استفاده از یک تیغه آهنی به ارتفاع ۸ سانتی‌متر از یکدیگر جدا شدند که حدود ۶ سانتی‌متر آن در خاک و ۲ سانتی‌متر بیرون از خاک بود.

در سال ۱۳۹۳ طی تحقیقی، زهکشی خشک در لایسیمتری به ابعاد ۲۰ × ۶۰ سانتی‌متر و عمق ۵۰ سانتی‌متر، در شرایط آزمایشگاهی مدل‌سازی شد. بافت خاک شنی لومی و نسبت عرض نوار کاشت به عرض نوار نکاشت ۱: ۱ بود. در این تحقیق طی ۷۰ روز انجام آزمایش، از هیچ گیاهی در نوار کاشت استفاده نشد و سطح خاک این قسمت پس از هر بار آبیاری با استفاده از پلاستیک پوشانده شده بود. نتایج این تحقیق نشان داد که در شرایط آزمایش، کمترین میزان تبخیر در حدود ۲/۷ میلی‌متر در روز بود که در مقایسه با ضریب زهکشی متداول در طراحی سامانه‌های زهکشی مقدار قابل قبولی بوده و با کمترین ریسک روبرو بود (Doosti et al., 2014).

به‌کارگیری زهکشی خشک، اگرچه می‌تواند مفید باشد، ولی در عمل محدودیت‌هایی هم دارد که بررسی‌ها و تحقیقات میدانی، اطلاعات بیشتری از امکانات و محدودیت‌های کاربرد آن را در اختیار قرار می‌دهد. نتایج تحقیق‌های گذشته نشان داده است که در زهکشی خشک می‌توان با رها کردن نیمی از زمین به کاهش شوری ناحیه ریشه کمک کرد. هدف این تحقیق بررسی تأثیر افزایش نسبت عرض کاشت به عرض نکاشت بر شوری خاک ناحیه ریشه در زهکشی خشک است.

مواد و روش‌ها

برای بررسی کارایی زهکشی خشک در خروج و انتقال آب و نمک از ناحیه ریشه و تأثیر نسبت عرض کاشت به عرض نکاشت (آیش) تحقیقی در سال ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران (عرض جغرافیایی ۲۹° ۳۵' ۱" و طول



شکل ۲. شمایی از لایسیمترهای تحقیقاتی: قسمت کاشت، نکاشت و سطح ایستابی

استفاده شد. ریشه چمن سطحی بوده و متوسط عمق توسعه ریشه آن در حدود ۱۰ الی ۱۵ سانتی متر است. در ابتدا برای ایجاد ارتباط بین ریشه گیاه و خاک داخل لایسیمترها به مدت یک ماه آبیاری انجام شد و پس از آن با اعمال آب شور، آزمایش شروع گردید. سطح ایستابی داخل لایسیمترها در طی روز بر اثر تبخیر و تعرق قسمت کاشت و تبخیر از قسمت نکاشت افت می کرد. آبیاری به صورت روزانه و برای جبران افت سطح ایستابی در انتهای هر روز انجام می شد.

تهیه آب شور و اندازه گیری آب آبیاری

برای شور کردن آب آبیاری، از آب زهکش روباز منطقه آبیگ قزوین (شوره زار مرکزی دشت قزوین، عرض جغرافیایی ۸° ۵۷' ۳۵" و طول جغرافیایی ۳۹° ۲۴' ۵۰") که از قبل به محل آزمایش منتقل شده بود استفاده می شد. از اختلاط آب چاه موجود در محل اجرای طرح و زه آب جمع آوری شده، آب با شوری ۳ دسی زیمنس بر متر تهیه و به عنوان آب آبیاری استفاده می شد. مقدار آب آبیاری در هر نوبت بر اساس افت سطح ایستابی در شبانه روز گذشته و جبران آن، تعیین و اعمال می شد (شکل ۳). آبیاری به صورت سطحی و با استفاده از ظرف مدرج انجام می شد. هر شب به مقدار کافی آب شور تهیه و آبیاری انجام می گردید. شوری آب آبیاری با دستگاه شوری سنج قابل حمل، اندازه گیری و ثبت می شد. آزمایش از تیرماه ۱۳۹۴ شروع شد و پس از حدود یک ماه (زمان لازم برای استقرار چمن کشت شده)، در تاریخ دهم مرداد، آبیاری با آب شور آغاز شد و اندازه گیری ها به مدت ۷۰ روز ادامه داشت. در شکل زیر مقادیر آب آبیاری برای هر دو لایسیمتر، تبخیر از تشت تبخیر و بارندگی به صورت روزانه نشان داده شده است (شکل ۳).

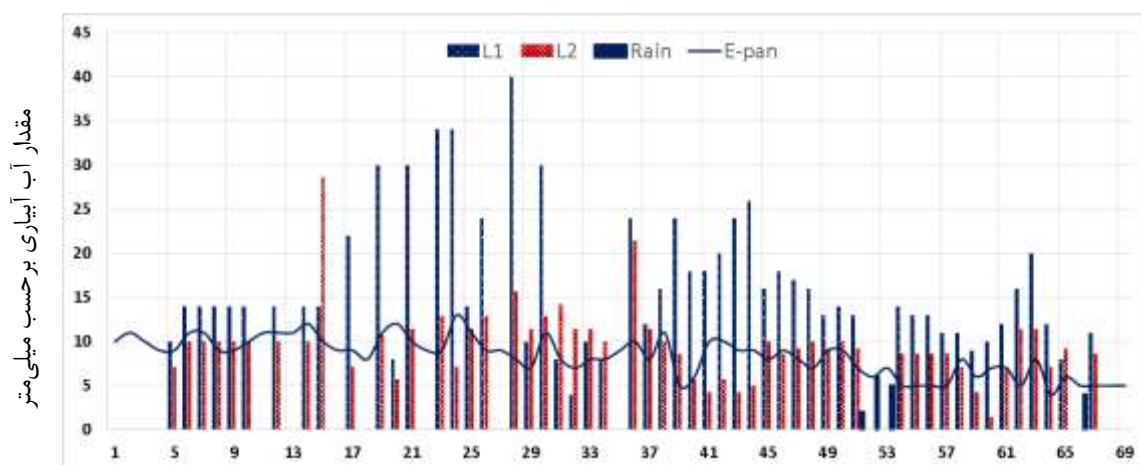
برای جلوگیری از تابش مستقیم آفتاب به بدنه لایسیمترها و اجتناب از ایجاد خطا، ترانشه ای در زمین ایجاد شد و پس از زیرسازی مناسب، لایسیمترها در آن کار گذاشته شدند و به غیر از یک سمت (محل نصب بوشن ها برای دسترسی و داده برداری)، قسمت خارجی لایسیمترها با خاک پر شد. دیواره محل نصب بوشن ها با استفاده از فوم ۲ سانتی متری سفیدرنگ، عایق بندی شد تا میزان خطای ناشی از اثر تابش مستقیم آفتاب به بدنه را کاهش دهد.

برای پر کردن لایسیمترها، نزدیک ۳ تن خاک از الک یک سانتی متری عبور داده شد. برای این منظور از خاک حاصل از حفر ترانشه برای کارگذاری لایسیمترها استفاده شد. عمق ترانشه در حدود ۱/۲ متر بود که به دلیل وجود قلوه سنگ های فراوان، پس از الک کردن به طور کامل مخلوط شد تا خاک همگن شود. برای ایجاد تراکم و جلوگیری از نشست خاک در زمان انجام آزمایش، دو آبیاری سنگین در هر دو قسمت کاشت و نکاشت انجام شد. سپس با استفاده از اوگر (سطح مقطع ۸ سانتی متر و طول ۲۰ سانتی متر) چهار نمونه خاک از هر دو طرف کاشت و نکاشت و از عمق های ۰-۵۰ و ۵۰-۱۰۰ سانتی متر از سطح خاک و به صورت عمودی برداشت شد و برای اندازه گیری شوری خاک به روش گل اشباع به آزمایشگاه خاکشناسی منتقل گردید (جدول ۱). بافت خاک داخل لایسیمترها با استفاده از مثلث بافت خاک، لومی تعیین شد.

برای ایجاد سطح ایستابی، تمام درپوش ها بسته و یک آبیاری سنگین انجام شد. با استفاده از دو پیژومتری که در طرف کاشت و نکاشت نصب شده بود، آبیاری تا زمانی که عمق سطح ایستابی به ۷۰ سانتی متری از سطح خاک برسد، ادامه یافت. از چمن رول اسپرت به عنوان گیاه مرجع، در قسمت کاشت

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شوری خاک

شماره لایسیمتر	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	رطوبت ظرفیت مزرعه رطوبت نقطه پژمردگی رطوبت اشباع (درصد)	متوسط شوری اولیه خاک (dS/m)
L1	۱۹/۷۵	۳۲/۷۵	۴۷/۵	۲۰/۲۱ (درصد حجمی) ۱۰/۱۲ (درصد حجمی) ۴۴/۴۱ (حجمی)	۶/۱
L2	۱۹/۶۵	۳۱/۸۵	۴۸/۵	۲۰/۲۱ (درصد حجمی) ۱۰/۱۲ (درصد حجمی) ۴۴/۴۱ (حجمی)	۵/۹



تعداد روز پس از شروع آبیاری با آب شور

شکل ۳. مقادیر روزانه آب آبیاری بر اساس افت سطح ایستابی در شبانه‌روز گذشته

تبخیر از قسمت نکاشت می‌شود. به همین دلیل اگرچه سطح کاشت لایسیمتر دوم بیشتر است و نیاز آبی بیشتری دارد ولی چون سطح تبخیر آن از قسمت نکاشت کمتر از لایسیمتر اول است، در کل میزان آب مصرفی آن کمتر از لایسیمتر اول بود. شوری خاک ناحیه توسعه ریشه در قسمت کاشت هر دو لایسیمتر در انتهای آزمایش به تعادل رسیده و مقدار آن از ۶ dS/m بیشتر نشده است. این مقدار در حدود دو برابر شوری آب آبیاری (شوری آب آبیاری ۳ dS/m) بود. شوری خاک در قسمت نکاشت برای هر کدام از لایسیمترها شرایط متفاوتی داشت، به طوری که در لایسیمتر اول که نسبت عرض کاشت به نکاشت برابر است مقدار شوری خاک سطحی در لایه نکاشت در انتهای آزمایش در حدود ۱۰ dS/m است ولی در لایسیمتر دیگر که نسبت عرض کاشت به نکاشت بیشتر است، این مقدار به نزدیک ۱۸ dS/m رسیده است. در واقع در لایسیمتر دوم، مقدار زمین بیشتری کشت شده است؛ بنابراین نمک بیشتری هم در قسمت نکاشت تجمع پیدا کرده است. باین وجود، شوری خاک در قسمت کاشت به تعادل رسیده و از مقدار مشخصی (نزدیک دو برابر شوری آب آبیاری) فراتر نرفته است. این موضوع نشان می‌دهد اگرچه افزایش نسبت عرض کاشت به عرض نکاشت باعث شده شوری خاک در قسمت نکاشت بیشتر شود، ولی شوری در قسمت کاشت و در محدوده ریشه، از مقدار معینی

اندازه‌گیری رطوبت و شوری خاک در طول انجام آزمایش

اندازه‌گیری‌ها شامل رطوبت وزنی و شوری خاک به روش گل اشباع بود که در چهار عمق ۰-۲۰، ۲۰-۴۰، ۴۰-۶۰ و ۶۰-۸۰ سانتی‌متری از سطح خاک و از هر دو طرف کاشت و نکاشت انجام شد. در طول انجام آزمایش چهار نمونه‌برداری در روزهای ۱، ۲۱، ۳۵ و ۶۸ از شروع اعمال آب‌شور، انجام گردید.

نتایج و بحث

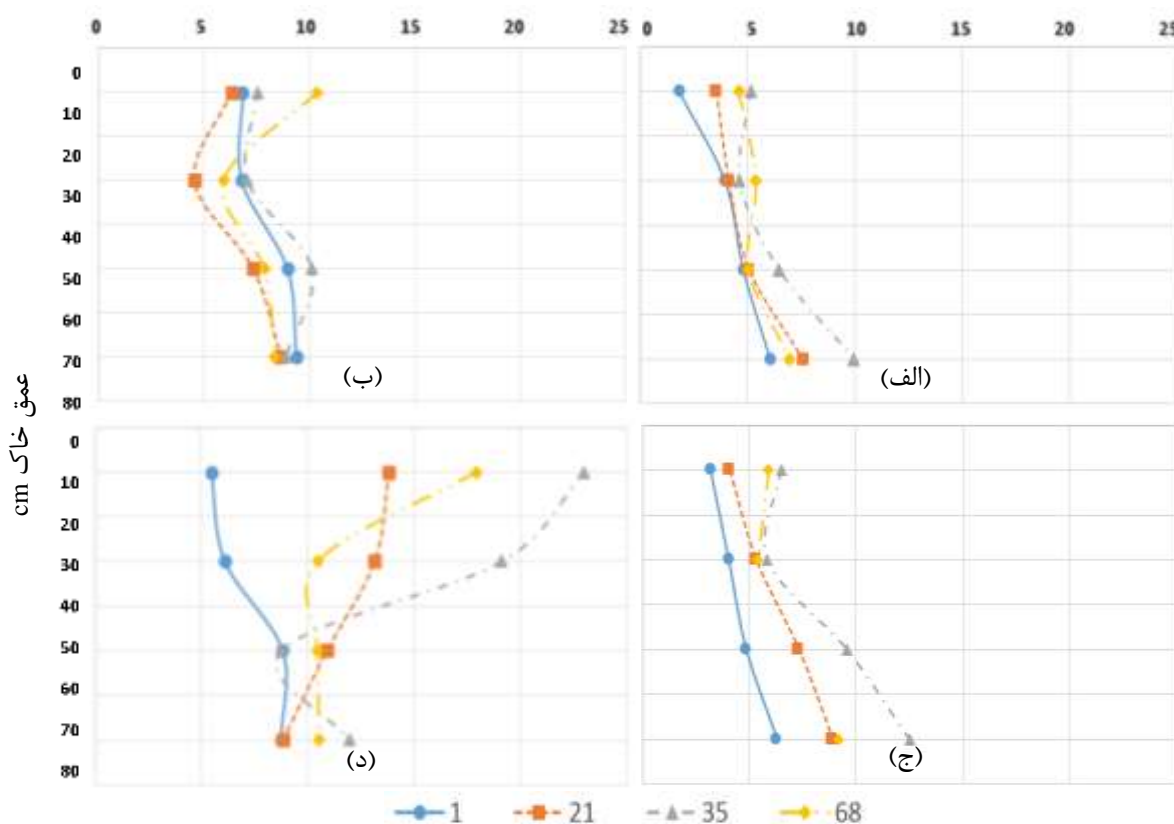
به‌طور کلی در هر دو لایسیمتر، شوری خاک قسمت نکاشت در تمام لایه‌ها از شوری خاک همان لایه‌ها در قسمت کاشت بیشتر بود. همچنین تغییرات شوری در قسمت کاشت از بالا به پایین افزایشی بود که نشان‌دهنده حرکت شوری از سطح به عمق است. تغییرات شوری در قسمت نکاشت در ابتدا از بالا به پایین افزایشی بود ولی پس از چند آبیاری روند تغییرات معکوس شده و از بالا به پایین کاهش پیدا کرده که دلیل آن تجمع نمک در سطح خاک در اثر تبخیر از لایه نکاشت است (شکل ۴). مقدار کل آب آبیاری در لایسیمتر اول ۸۷۷ میلی‌متر در لایسیمتر دوم ۵۱۷ میلی‌متر اندازه‌گیری شد که دلیل مقادیر متفاوت، بزرگ‌تر بودن نوار تبخیر (قسمت نکاشت) در لایسیمتر اول است. در هزکشی خشک آب آبیاری صرف تبخیر و تعرق قسمت کاشت و

نرخ تبخیر از سطح خاک قسمت نکاشت به اندازه‌ای باشد که جریان داخل خاک برقرار بوده و جهت آن از قسمت کاشت به قسمت نکاشت باشد.

شکل (۵) اختلاف شوری عصاره اشباع خاک در لایه‌های مشابه قسمت کاشت و نکاشت را برای هر دو لایسیمتر نشان می‌دهد. به‌طور کلی باگذشت زمان، اختلاف شوری لایه‌های پایینی کم شده و اختلاف شوری لایه‌های سطحی افزایش پیدا کرده است. لایسیمترها پس از ۳۵ روز به تعادل رسیده‌اند و شیب تغییرات اختلاف شوری کاهش پیدا کرده است. در لایسیمتر اول اختلاف شوری لایه سطحی از ۵ dS/m به حدود ۶ dS/m افزایش پیدا کرده درحالی‌که این مقدار برای لایه انتهایی از ۳/۲ به ۱/۳۸ کاهش پیدا کرده است. همچنین در لایسیمتر دوم اختلاف شوری لایه سطحی بین قسمت کاشت و نکاشت از ۲/۲۲ به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر افزایش پیدا کرده درحالی‌که در لایه انتهایی این مقدار از ۲/۴۲ به ۱/۳۶ دسی‌زیمنس بر متر کاهش پیدا کرده است.

بیشتر نشده است. به بیان دیگر، در زهکشی خشک و با شرایط نزدیک به شرایط این آزمایش، می‌توان با افزایش نسبت عرض کاشت به نکاشت از نسبت ۱:۱ به ۱:۲ و حفظ تعادل نمک در محدوده ریشه، مقدار زمین بیشتری را کشت کرد ولی باید توجه داشت که شوری خاک در قسمت نکاشت به مراتب زودتر از حالت اول افزایش می‌یابد. بنابراین با افزایش عرض کاشت، لازم است نمک‌های جمع شده در سطح خاک در قسمت نکاشت زودتر جمع‌آوری شود تا کارایی سامانه زهکشی خشک همچنان برقرار باشد. به عبارت دیگر افزایش نسبت عرض کاشت به نکاشت به منظور بهره‌گیری از زمین بیشتر، به مدیریت بهتری نیاز خواهد داشت زیرا نمک بیشتری به سطح خاک ناحیه نکاشت رسیده و لایه‌ای از نمک ایجاد می‌کند که رنگی نزدیک سفید دارد و در نتیجه، نور و انرژی کمتری را جذب کرده و سرعت تبخیر کاهش می‌یابد و از کارایی سامانه زهکشی خشک کاسته می‌شود. بدیهی است که برای تحقق زهکشی خشک و پایداری جریان از قسمت کاشت به قسمت نکاشت، لازم است همواره

شوری عصاره اشباع خاک dS/m

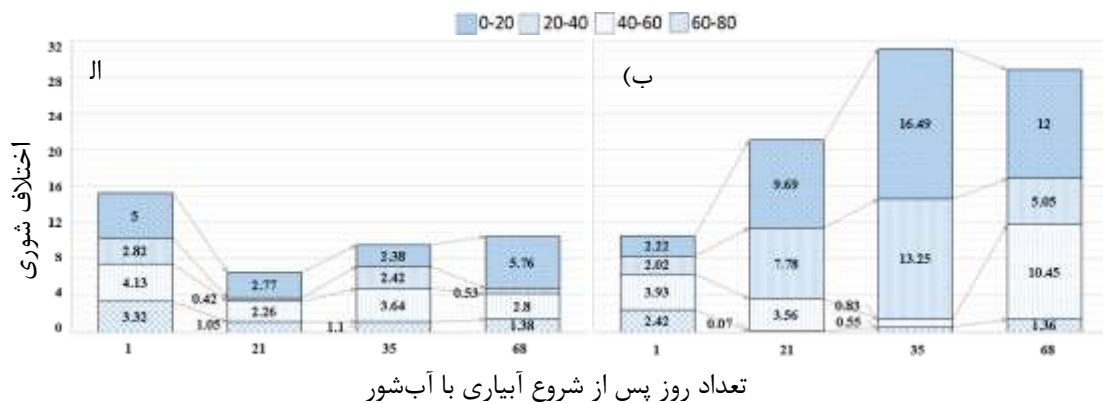


شکل ۴. تغییرات شوری در روزهای ۱، ۲۱، ۳۵ و ۶۸ از شروع آزمایش برای عمق‌های مختلف. الف و ب) به ترتیب قسمت کاشت و قسمت نکاشت لایسیمتر شماره ۱ (نسبت کاشت به نکاشت ۱ به ۱)؛ ج و د) به ترتیب قسمت کاشت و قسمت نکاشت لایسیمتر شماره ۲ (نسبت کاشت به نکاشت ۲ به ۱).

قزوین انجام دادند، یکسان بود و اجرای زهکشی خشک در ابعاد لایسیمتری با حضور گیاه و کشت چمن در قسمت کاشت و کارگذاری لایسیمتر در درون خاک، نتایج مشابهی داشت.

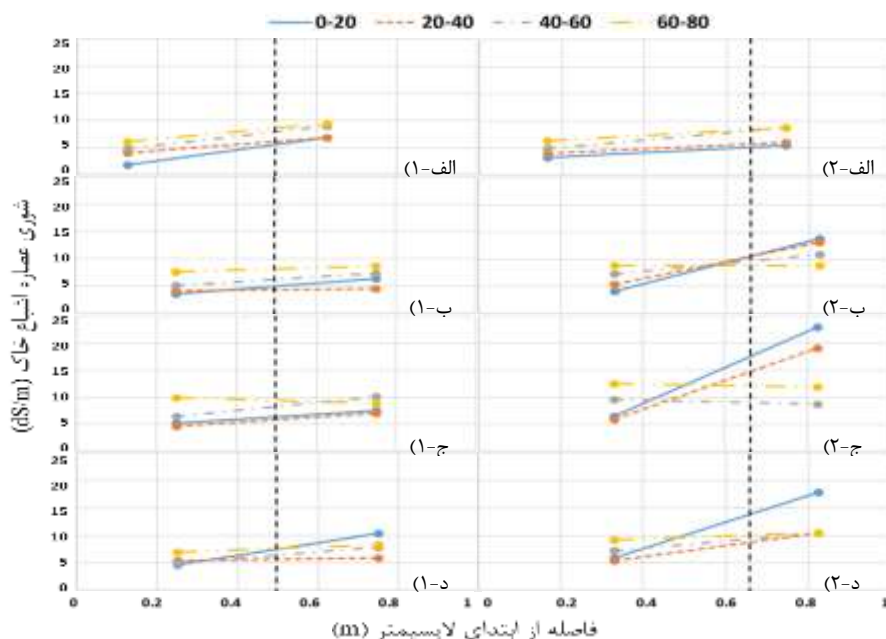
شکل (۶) تغییرات شوری در عرض لایسیمتر را در روزهای ۱، ۲۱، ۳۵ و ۶۸ از شروع آزمایش نشان می‌دهد. محور عمودی مقدار شوری برحسب دسی‌زیمنس بر متر و محور افقی فاصله از ابتدای لایسیمتر (محل نمونه‌برداری) است. خط‌چین رسم شده در هر نمودار محل جداسازی قسمت کاشت و نکاشت را نشان می‌دهد، به طوری که از صفر تا خط‌چین مربوط به قسمت کاشت و از خط‌چین تا عدد یک مربوط به قسمت نکاشت است. همان‌طور که در شکل مشخص است محل اولین نمونه‌برداری (شکل‌های الف) به دلیل اینکه قبلاً از آن برای تعیین بافت خاک استفاده شده بود، متفاوت است.

در مجموع لایسیمتر دوم توانسته است با حفظ تعادل نمک در محدوده ریشه، مقدار نمک بیشتری را به قسمت نکاشت منتقل کند. به همین دلیل شوری عصاره اشباع خاک سطحی برای لایسیمتر دوم در انتهای آزمایش حدود ۱۸ dS/m بود؛ در حالی که این مقدار برای لایسیمتر اول حدود ۱۰ dS/m بود. با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده می‌گردد که با افزایش نسبت عرض کاشت به نکاشت، مدیریت نمک جمع شده در لایه سطحی از حساسیت بیشتری برخوردار است و عدم توجه به جمع‌آوری به موقع و کاهش شوری این ناحیه، می‌تواند باعث کاهش کارایی زهکشی خشک، برهم زدن تعادل نمک و افزایش شوری خاک در ناحیه ریشه شود که در نهایت به کاهش محصول منجر می‌گردد. نتایج این تحقیق با پژوهشی که دوستی و همکاران در سال ۱۳۹۲ در دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)



تعداد روز پس از شروع آبیاری با آب شور

شکل ۵. اختلاف شوری لایه‌های هم عمق بین قسمت کاشت و قسمت نکاشت در روزهای ۱، ۲۱، ۳۵ و ۶۸ آزمایش، الف) لایسیمتر شماره ۱، نسبت کاشت به نکاشت (۱ به ۱)؛ ب) لایسیمتر شماره ۲، نسبت کاشت به نکاشت ۲ به ۱.



شکل ۶. تغییرات شوری در عرض لایسیمتر در روزهای مختلف

* حروف الف، ب، ج، د به ترتیب مربوط روزهای ۱، ۲۱، ۳۵ و ۶۸ از شروع آزمایش، اعداد ۱ و ۲ مربوط به شماره لایسیمتر هستند

در ناحیه توسعه ریشه (که مقدار آن به شوری آب آبیاری بستگی دارد) و افزایش شوری منطقه نکاشت، شرایط مناسبی را برای رشد گیاه ایجاد نماید. تغییرات شوری در نیمرخ خاک و جهت حرکت املاح و رطوبت در خاک با مبانی زهکشی خشک که Gowing and Wyseure در سال ۱۹۹۲ مطرح کردند، همخوانی داشت.

همچنین مقایسه دو لایسیمتر نشان داد، با افزایش قسمت کاشت و استفاده بیشتر از زمین، اگرچه تعادل نمک در ناحیه ریشه همچنان حفظ خواهد شد و با ضریب اطمینان خوبی می‌توان عرض کاشت به نکاشت ۲ به ۱ را قبول کرد ولی باید توجه داشت که با افزایش این نسبت، مقدار نمک جمع شده در ناحیه نکاشت بیشتر خواهد شد و در این صورت مدیریت بهتری برای جمع‌آوری نمک لازم خواهد بود. با توجه به نتایج مثبت افزایش عرض کاشت در زهکشی خشک برای مقیاس کوچک (لایسیمتری) پیشنهاد می‌گردد تیمارهای مشابهی در ابعاد بزرگ اجرا گردد تا در صورت کسب نتایج یکسان با ضریب اطمینان بیشتری افزایش عرض کاشت به عرض نکاشت توصیه گردد.

مقایسه نتایج دو لایسیمتر نشان می‌دهد، اگرچه شرایط قسمت نکاشت در ابتدای آزمایش برای هر دو لایسیمتر تقریباً یکسان بوده است ولی در انتهای آزمایش شوری تمام لایه‌های قسمت نکاشت در لایسیمتر دوم بیشتر از لایسیمتر اول بود. همچنین مشاهده می‌گردد که در لایسیمتر دوم مقدار نمک بیشتری از قسمت کاشت به قسمت نکاشت انتقال یافته است درحالی‌که شوری خاک ناحیه ریشه برای هر دو لایسیمتر تقریباً برابر است. بنابراین مشاهده می‌گردد با افزایش عرض کاشت در زهکشی خشک، تجمع شوری در قسمت نکاشت بیشتر خواهد شد که در این صورت لازم است مدیریت بهتری برای جمع‌آوری نمک جمع شده در سطح خاک انجام گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج هرکدام از لایسیمترها به‌طور جداگانه نشان داد زهکشی خشک توانایی انتقال نمک از قسمت کاشت به قسمت نکاشت را دارد و پس از مدتی، تغییرات نمک در ناحیه ریشه به تعادل خواهد رسید. درحالی‌که مقدار شوری در ناحیه نکاشت (ناحیه تبخیر) به‌طور مداوم در حال افزایش است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت زهکشی خشک می‌تواند با ثابت نگه‌داشتن شوری

REFERENCES

- Akram, S. Kashkouli, H.A and Akram, M. (2008). Salinity and water table control in dry drainage. In: Proceeding of 10th International Drainage Workshop of ICID working group on drainage, 6-11 July, Helsinki, Tallinn. Pp. 385-386.
- Asghar, M.N., (1996). Computer simulation of salinity control by means of an evaporative sink. Ph.D. Thesis. University of Newcastle upon Tyne, UK.
- Azari, A. (2004). Drainage by a capillary flow and evaporation, 3th Workshop on Drainage and Environment, Iranian National Committee on Irrigation and Drainage, 14 Oct, Iran, Tehran, pp.49-58. (In Farsi).
- CISEAU. (2006). Extent of salinization and strategies for salt-affected land prevention and rehabilitation. Electronic Conference on Salinization, http://www.dgroups.org/groups/fao/salinization-conf/index.cfm?op=dsp_info.
- DPIPWEA (Department of Primary Industries, Parks, Water and Environment of Australia), (2003). Environmental Best Practice Guidelines. Minimizing Environmental Harm from Agricultural Drainage Channels. Tasmania: DPIWE, 1-3.
- Doosti, A., Sotoodehnia, A., Liaghat, A.M. and Daneshkar Arasteh, P. (2014). Simulation of dry drainage to determine the ratio of the width of non-cropped to cropped strip. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 45(1), 47-54. (In Farsi).
- Dougherty, T. C. and Hall, AW. (1995). FAO irrigation and drainage paper 53: Environmental impact assessment of irrigation and drainage projects. Rome: FAO, 43-45.
- Gowing J W and Wyseure G C L. (1992). Dry-drainage, a sustainable and cost-effectible solution to water logging and salinization. In: Proceedings of 5th International Drainage workshop, 8-15 Feb, Lahore, Pakistan: International Committee on Irrigation and Drainage, pp.6.26-6.34.
- Hanson, B.R., (1989). A system approach to drainage reduction in the San Joaquin Valley. *Agriculture Water Management*. 16, 97-108.
- Khouri, N. (1998). Potential of dry drainage for controlling soil salinity. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 25(2), 195-205.
- Konukcu, F. Gowing, J. W. and Rose, D. A. (2006). Dry drainage: A sustainable solution to waterlogging and salinity problems in irrigation areas? *Agricultural Water Management*, 83(1-2), 1-12.
- Kovda, V. A. (1971). Origin of saline soils and their regime. Jerusalem: Israel Program for Scientific Translations, 168-172.
- Shimajima, E. Yoshioka, R. and Tamagawa, I. (1996). Salinization owing to evaporation from bare-soil surfaces and its influences on the evaporation. *Journal of Hydrology*, 178(1-4), 109-136.
- Sharma, D.P. and Tyagi, N.K., (2004). On-farm

management of saline drainage water in arid and semi-arid regions. *Irrigation and Drainage*, 53, 87-103.

WARDA (West Africa Rice Development Association). (1997). Annual Report, pp.36-44.

Wichelns, D. and Oster, J. D. (2006). Sustainable irrigation is necessary and achievable, but direct costs and environmental impacts can be substantial. *Agricultural Water Management*, 86(1-2). 114-127.