

## شبیه‌سازی زهکش خشک به منظور تعیین نسبت عرض نکاشت به کاشت در کشت نواری

احمد دوستی<sup>\*</sup>، عباس ستوده‌نیا<sup>۱</sup>، عبدالمجید لیاقت<sup>۲</sup>، پیمان دانش کارآراسته<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد

۲ و ۴. استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

۳. استاد، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۱۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۲/۱)

### چکیده

زهکشی خشک، نوعی سیستم طبیعی است که به وسیله تبخیر از مناطق نکاشت، به‌عنوان یک روش ممکن برای کنترل سطح ایستابی و شوری مناطق زهدار استفاده می‌شود. در این روش، بخشی از زمین تحت کشت به‌صورت آیش رها شده و باقی زمین برای تولیدات کشاورزی استفاده می‌شود. چنانچه از این روش به‌صورت نوارهای موازی بهره‌گیری شود، تعیین نسبت کاشت به نکاشت یکی از مبانی طراحی این سیستم خواهد بود. در این زمینه، یک مدل فیزیکی از جنس پلکسی‌گلاس به طول ۶۰ سانتی‌متر، عرض ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر طراحی و ساخته شد. طول این مدل توسط یک دیواره در عمق ۵ سانتی‌متری خاکی با بافت شن‌لومی به دو قسمت تقسیم شد و نیمی از آن آبیاری شد و نیمی دیگر به‌صورت نکاشت رها شد و در طول انجام آزمایش مقدار آبیاری و تبخیر اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها کمترین میزان تبخیر را ۲/۷ میلی‌متر بر روز نشان داد و این مقدار زمانی ثبت شد که سطح خاک پوشیده از نمک شده بود. این عدد نزدیک به ضریب زهکشی متداول در طراحی سیستم‌های زهکشی است. بنابراین، با کمترین ریسک می‌توان نسبت ۵۰ درصد کاشت به ۵۰ درصد نکاشت را توصیه کرد. از سویی متوسط میزان تبخیر از سطح خاک در طول آزمایش شش میلی‌متر بر روز بود، بنابراین احتمال می‌رود که با یک مدیریت جمع‌آوری به‌موقع نمک روی سطح خاک، بتوان نسبت کاشت را بیشتر از ۵۰ درصد افزایش داد.

**کلیدواژگان:** تبخیر از سطح خاک شور، زهکشی خشک، کنترل شوری، مقدمه

### مقدمه

رشد جمعیت سبب شده است طرح‌های توسعه بهره‌برداری از منابع طبیعی به اجرا گذارده شود. با توجه به استفاده بی‌رویه از منابع، تخریب‌ها و مسائل و مشکلات ناشی از اجرای طرح‌های توسعه که موجب خطرات زیست‌محیطی شده است، بحث توسعه پایدار مطرح خودنمایی کرده است. توسعه‌ای که بدون کاهش توانایی نسل‌های آتی در برآوردن نیازهایشان، نیازهای نسل کنونی را تأمین کند تا انسان بتواند در تعادلی پایدار با طبیعت زندگی کند.

یکی از مقتضیات اولیه رسیدن به کشاورزی پایدار، توازن آب، هوا و نمک در ناحیه ریشه گیاهان است. دستیابی به چنین بیلانی از طریق زهکشی کافی و مناسب مقدور است. زهکشی می‌تواند به دو صورت طبیعی و یا مصنوعی انجام شود. اغلب اراضی، پتانسیل طبیعی زهکشی سطحی و زیرزمینی دارند. چنانچه زهکشی طبیعی کافی نباشد، زهکشی مصنوعی برای افزایش ظرفیت زهکشی لازم است. طرح‌های آبیاری به زهکشی

در جهان میزان مصرف غذا به حدی رو به افزایش است که نحوه تأمین آن در چند دهه آتی سؤال‌برانگیز خواهد بود. کشاورزی فاریاب حدود یک‌سوم غذا و مواد سلولزی جهان را تولید می‌کند و پیش‌بینی می‌شود که تا سال 2040 این مقدار به ۵۰ درصد برسد. این امر کم و بیش دشوار خواهد بود، زیرا بسیاری از زمین‌های تحت آبیاری، به‌دلیل شوری و غرقابی شدن ناشی از آبیاری بی‌رویه و مدیریت ضعیف کشاورزی، تخریب می‌شوند یا به‌سرعت رو به تخریب می‌روند (Ghassemi et al., 1995). در برخی مناطق، پایداری کشاورزی فاریاب بر اثر این روند تخریب تهدید می‌شود (Rhoades, 1996). در همین حال، کشاورزی فاریاب در بسیاری مکان‌ها، نیز در حال تقلیل کیفیت و آلوده‌سازی منابع آب است. درواقع افزایش نیازهای بشری بر اثر

\* نویسنده مسئول: Doosti.1988@gmail.com

زهکشی خشک فاقد زهاب خروجی است و نیازی به تخلیه‌گاه ندارد و به دنبال آن انتشار آلودگی به پایین‌دست و تخلیه‌گاه نهایی انجام نمی‌شود. از طرفی نیاز به هزینه اولیه زیادی برای احداث ندارد و هزینه‌های بهره‌برداری کمی خواهد داشت.

Konukcu *et al.* (2006) معتقدند، زهکشی خشک می‌تواند به لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی یک روش جایگزین برای زهکشی سنتی باشد. با شبیه‌سازی الگوی کشت گندم در کنار رودخانه سند پاکستان، نشان داده شد که اگر قسمت آبیاری و خشک برابر باشند و عمق سطح ایستابی ۱/۵ متر باشد، زهکشی خشک می‌تواند نتیجه مطلوبی بدهد. Khouri (1998) قوانین و اصول طراحی و مدیریت یک طرح زهکشی خشک را در قالب مطالعات عددی روی یک نمونه مزرعه فرضی بحث کرده و معتقد است فاکتورهای محدودکننده در زهکشی خشک شامل بافت خاک، شرایط آب و هوایی، الگوی کشت و فاکتورهای اقتصادی است. Azari (2004) بر این باور است که با توجه به جنبه مثبت تبخیر از سطح ایستابی در کاهش افت سطح سفره آب زیرزمینی، در صورتی که به گونه‌ای شور شدن خاک و تجمع نمک در سطح خاک، پذیرفته شود، می‌تواند در خدمت اهداف زهکشی قرار گیرد و نیازهای زهکشی از طریق احداث شبکه زهکشی را منتفی سازد یا کاهش دهد. در این روش در خاک‌های با هدایت هیدرولیک بالا و ضخامت مناسب، کشت‌وکار در روی نوارهایی به عرض مثلاً ۱۰۰ متر به انجام می‌رسد که در حد فاصل آن‌ها نوارهایی به عرض مثلاً ۳۰ متر به‌طور دائمی در شرایط آیش رها می‌شوند. در صورتی که میزان هدایت هیدرولیکی یا ضخامت خاک نسبتاً کم باشد، نوارهای ذکر شده می‌تواند کم‌عرض‌تر انتخاب شود و مثلاً به ترتیب به ۵۰ و ۱۵ متر کاهش داده شود. نسبت عرض نوارهای کشت به نوارهای آیش بسته به شرایط آب و هوایی خاک، از ۱/۵ تا ۸ برابر گزارش شده است (Azari, 2004).

به نظر JingWei *et al.* (2009)، زهکشی خشک در کاهش شوری در قسمت آبیاری در منطقه Hetao واقع در شمال چین بسیار موفق بوده است و می‌تواند جایگزین مناسبی برای مناطقی که زهکشی مصنوعی اجرا نشده یا هزینه‌های آن قابل تأمین نیست، باشد. در یک مطالعه پنج‌ساله روی بیش از ۳۰۰۰ هکتار از ارضی این منطقه که کشاورزان به‌صورت تجربی ۳۰ تا ۳۵ درصد از ارضی خود را به‌عنوان بخش نکاشت رها می‌کردند، عملکرد زهکشی خشک پس از سه سال کاهش پیدا کرده است. تعادل آب و نمک نشان می‌دهد که آب اضافی منتقل شده به

زیرزمینی نیازمندند تا سطح آب زیرزمینی را کنترل کنند و نیز از پدیده غرقاب شدن و شوری خاک جلوگیری به عمل آید. سیستم‌های سنتی زهکشی زیرزمینی مشتمل بر دو نوع‌اند که عبارت‌اند از: سیستم‌های عمودی (چاه) و سیستم‌های افقی (لوله زهکشی) (Akram, 2006).

سیستم‌های زهکشی زیرزمینی جذب آب از خاک، انتقال آن به جمع‌کننده‌ها و سپس به زهکش‌های اصلی و در نهایت دفع زهاب به رودخانه‌ها، دریاها و حوضچه‌های تبخیری را دنبال می‌کند. جذب آب از منطقه اطراف ریشه گیاهان و خروج نمک هم‌زمان اتفاق می‌افتد. چنین سیستم‌هایی در صورت طراحی، نصب و نگهداری مناسب می‌توانند نقش کارآمدی در پایین آوردن سطح آب زیرزمینی و نیز جلوگیری از شوری اراضی تحت آبیاری داشته باشند. با این وجود سیستم‌های یادشده اشکالاتی نیز دارند. این سیستم‌ها اصولاً نیاز به نگهداری و بهره‌برداری دارند و سرمایه اولیه برای احداث چنین زهکش‌هایی بسیار است. علاوه بر این، زهاب خروجی از این زهکش‌ها غالباً شور و گاهی نیز آلوده است و تخلیه آن به آب‌های سطحی (رودخانه، دریاچه، تالاب و مانند آن‌ها) مشکلات زیست‌محیطی را به دنبال دارد (Akram, 2006).

بنابراین، روش‌های دیگر برای کنترل سطح ایستابی که ترجیحاً کم‌هزینه و از نظر محیط‌زیست قابل قبول باشند نسبت به روش‌های متداول ارجحیت دارند. از گزینه‌های جایگزین مناسب در این زمینه، زهکشی خشک است که کم‌هزینه است و می‌تواند با محیط‌زیست و حفاظت از آن سازگار باشد. می‌توان گفت زهکشی خشک یک سیستم طبیعی است. به عبارتی زهکشی خشک نوعی قطعه‌بندی اراضی است که در نواحی خشک با شرایط کم‌آبی با هدف خارج کردن و دفع آب و املاح اضافی از اراضی تحت کشت به سمت اراضی کشت‌نشده مجاور به انجام می‌رسد. منظور از نواحی خشک با شرایط کم‌آبی، عبارت از دشت‌هایی است که وسعت اراضی در آن‌ها بیش از میزان آب در دسترس برای توسعه آبیاری است، به عبارت دیگر، میزان خاک بیشتر از آب در دسترس است. بنابراین، در این گونه دشت‌ها امکان توسعه آبیاری در تمامی اراضی فراهم نیست و ناگزیر باید بخش‌هایی از اراضی به‌صورت نکاشت رها شود. در این شرایط، وضعیت مناسبی برای هدایت آب و املاح اضافی ناشی از آبیاری، به اراضی مجاور که به‌دلیل کمبود آب امکان آبیاری آن‌ها فراهم نیست، ایجاد می‌شود. در این صورت اراضی مجاور به تدریج شور خواهند شد و از شوری اراضی تحت آبیاری کاسته می‌شود. درحقیقت در این روش، بخشی از اراضی، قربانی اراضی دیگر می‌شود (Azari, 2004).

دوستی و همکاران: شبیه سازی زهکش خشک به منظور تعیین نسبت ... ۴۹

زهکشی خشک و توان تبخیری این سیستم از اهداف مطالعه شده این پژوهش بوده است.

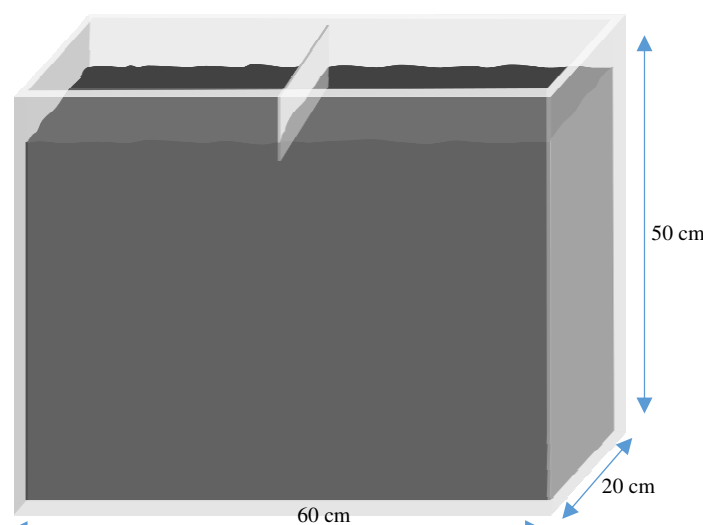
### مواد و روش‌ها

این پژوهش در گروه مهندسی آب دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین، خارج از محوطه آزمایشگاه و در فضای باز انجام شد. این منطقه در طول جغرافیایی  $36^{\circ}19'$  شمالی و  $50^{\circ}$  شرقی، عرض جغرافیایی  $19^{\circ}36'$  شمالی و ارتفاع ۱۳۷۸ متر از سطح دریا واقع شده است.

به منظور کنترل و اندازه‌گیری دقیق مقدار آبیاری، تبخیر، شوری، دما و سایر شرایط محیطی مؤثر در فرایند آزمایش، مدلی فیزیکی به طول ۶۰ سانتی‌متر، عرض ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر طراحی شد. برای فراهم آوردن امکان مشاهده تغییرات و حرکت آب در خاک از ورقه‌ای با جنس پلکسی گلاس استفاده شد که با وجود وزن کم، استحکام بالایی داشته و تبادل دمای کمتری نسبت به ورق گالوانیزه داشته باشد. شکل ۱ شماتیک مدل فیزیکی است، کف و دیواره‌های مدل با نصب یک ورق دیگر تقویت شده و با چسب مخصوص پلکسی، درز و منافذ آن کاملاً گرفته شد تا در طول انجام آزمایش، آب و املاح از آن خارج نشود. همچنین کف و دور باکس با عایق حرارتی پوشیده شد تا به شرایط واقعی نزدیک‌تر باشد و تبادل گرما با بدنه مدل به کمترین مقدار ممکن برسد تا تأثیرات جانبی بر تبخیر کاهش یابد.

منطقه آیش به طور متوسط چهار برابر مقداری است که به وسیله زهکشی مصنوعی انتقال می‌یابد و مقدار نمک منتقل شده به وسیله زهکشی خشک هفت برابر مقداری است که به وسیله زهکشی مصنوعی بود. با این حال تجمع نمک اندکی در منطقه آبیاری اتفاق می‌افتد و شوری خاک تا حد زیادی افزایش می‌یابد. مشاهدات طولانی‌تر و متراکم‌تر هنوز هم نیاز است تا اثر زهکشی خشک ثابت شود. Akram (2006) زهکشی زیستی و خشک را روش مناسبی دانسته که فاقد زهاب هستند و هزینه‌های احداث کمی دارند. Greenwood *et al.* (1992) زهکشی خشک را روشی مناسب برای کنترل شوری در شالیزارها در غرب آفریقا دانستند و توسط انجمن گسترش برنج غرب آفریقا (WARDA) نیز این روش تأیید شد.

در ایران، اگرچه پژوهشی مستند در زمینه زهکشی خشک به دست نیامده است، ولی زارعین واقفانند که اگر بنا به دلایلی اراضی خود را در یک فصل کشت، نکارند و درعین حال زارع همسایه آن‌ها، به کشت زمین خود ادامه دهد، سال دیگر با زمین شور شده‌ای روبه‌رو خواهند بود که میزان محصول آن به شدت افت خواهد کرد. معمولاً به خوبی می‌دانند که بخش اعظم نمک‌های تجمع یافته در زمین خود، همان نمک‌های زمین مجاور است. از این رو زارع این نواحی، تنها وقتی که از کشت و کار زمین خود به کلی صرف‌نظر کرده باشد، آن را رها می‌کند. در غیر این صورت مجبور است همه ساله زمین خود را به زیر کشت و آبیاری ببرد (Azari, 2004). شناخت حرکت آب و املاح در



شکل ۱. تصویر شماتیک مدل آزمایشگاهی

گرفته شد. از یک ترازوی دقیق ۱۰۰ کیلوگرمی با دقت بالا برای اندازه‌گیری میزان تبخیر استفاده شد. به وسیله یک شاسی و

عمق تیغه جداکننده ناحیه خشک از ناحیه آبیاری خاک ۵ سانتی‌متر و نسبت ناحیه آبیاری به خشک برابر یک در نظر

به‌وسیله منبع تعبیه‌شده به‌صورت تدریجی اشباع شد. سپس مدل به‌مدت چند روز رها شد، تا خاک حالتی طبیعی‌تر برای انجام آزمایش پیدا کند. چگالی ظاهری خاک در شروع آزمایش ۱/۵۱۶ گرم بر سانتی‌مترمکعب اندازه‌گیری شد.

آب مورد نیاز برای آبیاری مدل در طول مدت انجام آزمایش‌ها از آب شرب شهر قزوین تأمین شد. مقدار EC آن ۰/۶۶ دسی‌زیمنس بر متر و مقدار pH آن برابر ۷/۰۳ اندازه‌گیری شد. آبیاری با فواصل یک یا دو روز، از سطح خاک و براساس جبران کمبود رطوبت نسبت به نقطه ظرفیت زراعی در منطقه توسعه ریشه و ایجاد سطح ایستابی در عمق ۱۵ سانتی‌متری از کف مدل انجام شد. به‌علت اینکه در این آزمایش گیاهی کشت نشده بود، بعد از هر آبیاری به‌منظور ساده‌سازی روی ناحیه کاشت به‌وسیله پلاستیک پوشانده شد تا از تبخیر در این قسمت جلوگیری شود و تبخیر فقط از منطقه نکاشت صورت گیرد و میزان تبخیر از این ناحیه به‌وسیله ترازوی دقیق محاسبه شد.

### نتایج و بحث

آبیاری در تمام مدت آزمایش از سطح خاک و براساس ثابت نگه‌داشتن سطح ایستابی در عمق ۱۵ سانتی‌متری از کف انجام شد. حجم آبیاری در هر نوبت به‌دلیل شیوه مدیریت سطح ایستابی متفاوت بود. در کل ۵۰ نوبت آبیاری در طول آزمایش انجام شد که در تمامی آبیاری‌ها سعی شد تا عمق سطح ایستابی ثابت بماند. با گذشت زمان به‌دلیل تجمع نمک در سطح خاک، میزان تبخیر کاهش پیدا کرده و در نتیجه مقدار حجم آبیاری نیز کاهش یافته است. در شکل ۲ مقدار حجم آبیاری در روزهایی که آبیاری انجام شده، نشان داده شده است.

یکی از فاکتورهای مهم اندازه‌گیری در این پژوهش، مقدار تبخیر بوده است. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، به کمک یک ترازوی ۱۰۰ کیلوگرمی دقیق، این مقدار تبخیر به‌صورت روزانه و قبل از آبیاری اندازه‌گیری شد. پس از هر آبیاری، روی قسمت آبیاری‌شده پوشیده می‌شد، در نتیجه میزان کاهش وزن نشان‌دهنده میزان تبخیر از قسمت خشک است. البته در یک دوره ده‌روزه پوشش قسمت آبیاری برداشته و تبخیر از هر دو سمت آبیاری و خشک انجام شد که مشاهدات و نتایج متفاوت و جالبی را نشان داد. از ۲۱ تا ۳۱ امین روز آزمایش پوشش قسمت آبیاری برداشته شد که مقدار تبخیر به‌شدت افزایش یافت، که طبیعتاً مقدار بیشتر این تبخیر در قسمت آبیاری اتفاق افتاده است. پس از انجام هر آبیاری به‌تدریج آب و املاح و نمک در خاک شسته می‌شود و به‌دلیل گرادیان هیدرولیکی و تبخیر

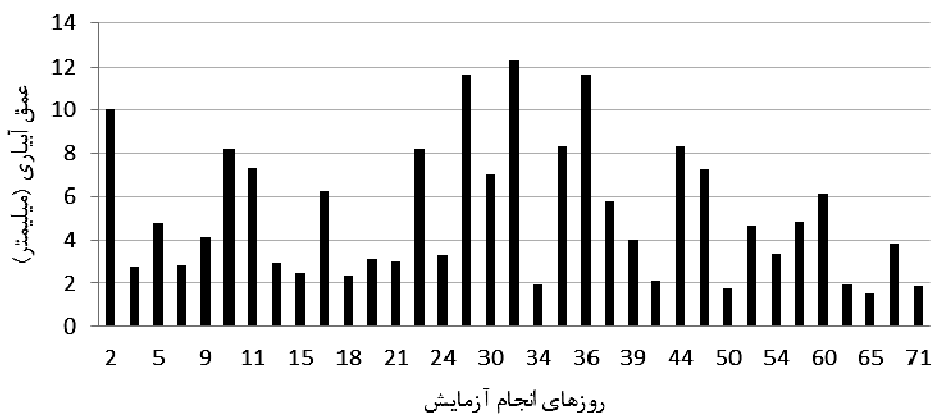
تسمه که طراحی و ساخته شد، مدل آزمایشی به‌منظور اندازه‌گیری روی ترازو قرار داده می‌شد و بعد از اندازه‌گیری، بار روی ترازو به‌وسیله اهرم تعبیه‌شده بالا آورده می‌شد. بر روی دیواره پشتی به‌منظور تهیه نقاط مناسب برای نمونه‌برداری از شوری و رطوبت خاک، سوراخ‌هایی به قطر یک سانتی‌متر در دو ستون (منطقه آبیاری و منطقه خشک) به ارتفاع‌های ۲۰ و ۳۵ سانتی‌متر از کف مدل و با فواصل ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر تعبیه شد (چهار نقطه در اعماق خاک قسمت آبیاری و خشک به‌علاوه دو برداشت سطحی از این دو قسمت، جمعاً شش نقطه نمونه‌برداری شوری و رطوبت) همچنین، بر روی دیواره جلویی به‌منظور اندازه‌گیری دمای خاک در دو ستون به ارتفاع ۱۵، ۲۵ و ۳۵ سانتی‌متر از کف مدل و با فواصل ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر سوراخ‌هایی ایجاد شد. دماسنج‌های دیجیتالی کالیبره‌شده برای ثبت دما در اعماق خاک قرار داده شد (شش نقطه در اعماق خاک قسمت آبیاری و خشک به‌علاوه دو نقطه سطحی از این دو قسمت، جمعاً هشت نقطه نمونه‌برداری دمای خاک). دو عدد پیرومتر در کف مدل برای کنترل سطح ایستابی ایجاد شد.

خاک مورد نیاز برای آزمایش از لایه زیرسطحی مزرعه‌ای در منطقه اسماعیل‌آباد قزوین با شوری کم برداشت و به محل آزمایشگاه منتقل شد. سپس به‌صورت یکنواخت با اسپری کردن آب شور، مخلوط کردن خاک و گذراندن از سرنده به شوری مورد نظر رسید. سپس، منحنی دانه‌بندی ذرات خاک، منحنی مشخصه رطوبتی، بافت و شوری خاک تعیین شد. بافت خاک با استفاده از مثلث بافت خاک USDA، در محدوده شن‌لومی واقع شد. با استفاده از منحنی مشخصه رطوبتی، رطوبت خاک در نقطه اشباع ۴۰/۹۲ درصد، در نقطه ظرفیت زراعی ۲۲/۹۸ درصد و در نقطه پژمردگی دائم ۱۱/۱۶ درصد حجمی به دست آمد. میزان شوری عصاره اشباع خاک نیز، ۴۴/۳ دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد. خاک پس از انتقال به آزمایشگاه از الک دو میلی‌متری عبور داده شد تا خاکی همگن ایجاد و برای ریختن داخل مدل، مهیا شود. ابتدا فیلتر دانه‌بندی‌شده در کف مدل ریخته شد، پیرومترها در کف مدل و در قسمت فیلتر قرار گرفت. خاک به‌صورت لایه‌های ۱۰ سانتی‌متری به داخل مدل ریخته و به‌وسیله چکش استاندارد به تراکمی نزدیک به شرایط مزرعه رسانده شد.

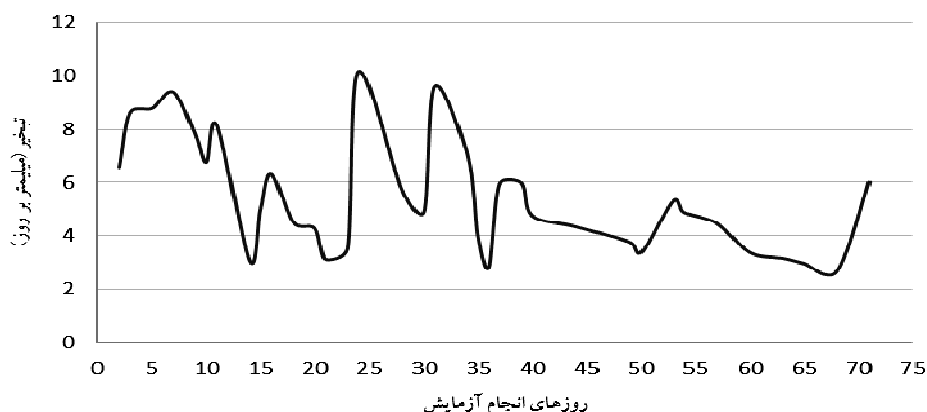
هم‌زمان با این عملیات، با رسیدن به سطوح در نظر گرفته‌شده برای نصب دماسنج، دماسنج‌های دیجیتالی از پیش تهیه‌شده در محل‌های مورد نظر نصب شد. در اشباع کردن خاک، برای جلوگیری از حبس شدن هوا در داخل آن، مدل از زیر و

ظرفیت تبخیر افزایش می یابد و نمک بیشتری به سطح انتقال پیدا می کند. در طول این آزمایش شش بار نمونه برداری از خاک برای اندازه گیری شوری خاک انجام گرفت و بعد از نمونه برداری، لایه ای از خاک که شامل نمک انباشته شده در قسمت خشک بود جمع آوری شد.

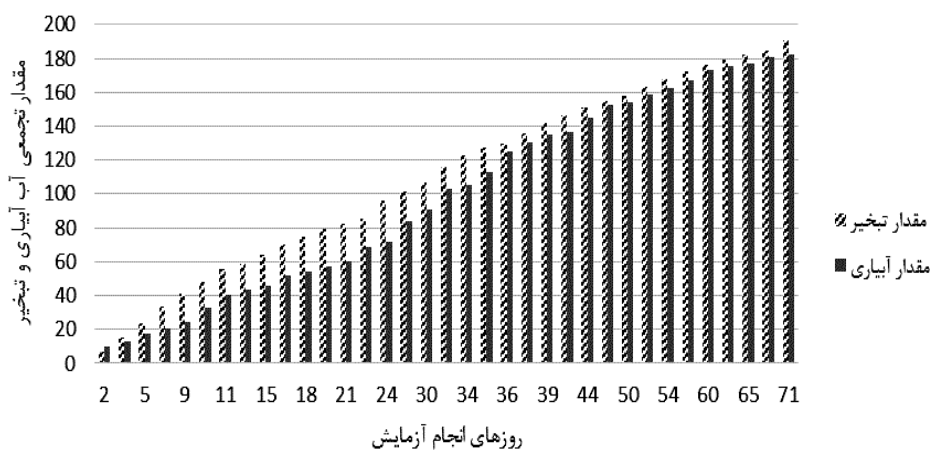
به سمت قسمت خشک می رود، آب اضافی تبخیر می شود و نمک روی سطح تجمع پیدا می کند، با افزایش نمک روی سطح خاک، مقدار تبخیر کاهش می یابد. سیستم زهکشی خشک تا زمانی نتیجه مطلوب خواهد داد که نمک انباشته شده روی سطح نکاشت به موقع جمع آوری شود. با جمع آوری این نمک دوباره



شکل ۲. حجم آبیاری در روزهای انجام آزمایش



شکل ۳. شدت تبخیر در طول انجام آزمایش

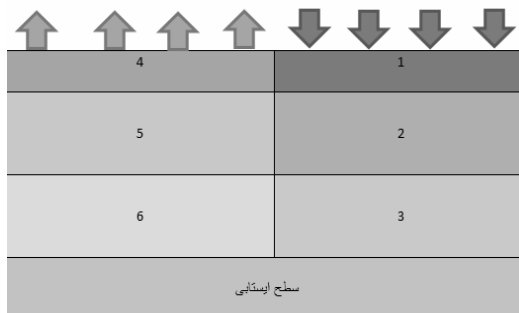


شکل ۴. مقایسه مقدار تجمعی آبیاری و تبخیر

همچنین در قسمت آبیاری با گذشت زمان از شوری خاک کاسته شده است. البته زمانی که روی سطح آبیاری (کاشت) پوششی قرار نداشت، مشاهده شد که نمک به سمت این قسمت حرکت کرد و شوری این منطقه افزایش یافت که پس از ۱۰ روز، دوباره پوشش روی این قسمت قرار داده شد و سیستم به تدریج به روال قبل بازگشت.

در اینجا می‌توان به یک نکته کلیدی هم اشاره داشت، اگر نمک جمع شده روی سطح خشک به موقع جمع‌آوری نشود، نمک از این سطح به قسمت آبیاری حرکت خواهد کرد، این بدان معنی است که در صورت غفلت در جمع‌آوری به موقع نمک، ممکن است محصول در قسمت کاشت با تنش شوری مواجه شود. بنابراین، سیستم زهکشی خشک ضمن سادگی، نیازمند مدیریت بالایی از نظر کنترل شوری در سطح نکاشت (تبخیری) است.

شکل ۹ مقدار اختلاف شوری را در لایه‌های مختلف نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در لایه سطحی بیشترین تفاوت شوری و در لایه سوم که در نزدیکی سطح ایستایی قرار دارد کمترین تفاوت شوری در طول آزمایش وجود دارد.

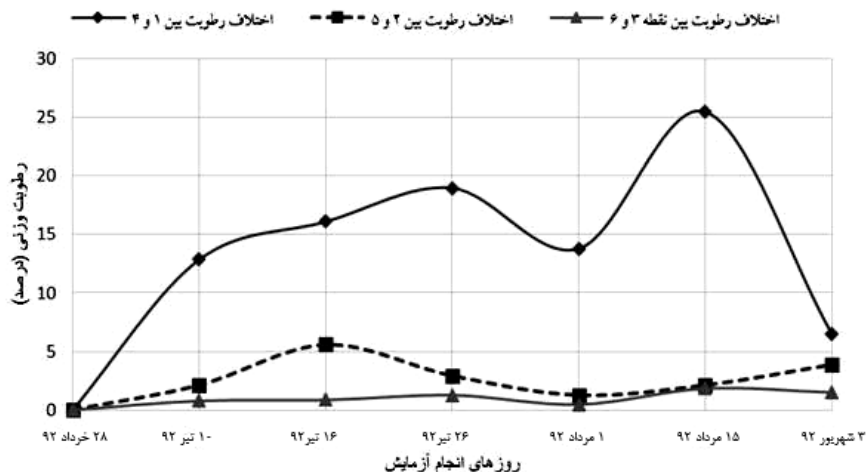


شکل ۵. شماتیک محل نمونه‌گیری رطوبت و شوری خاک

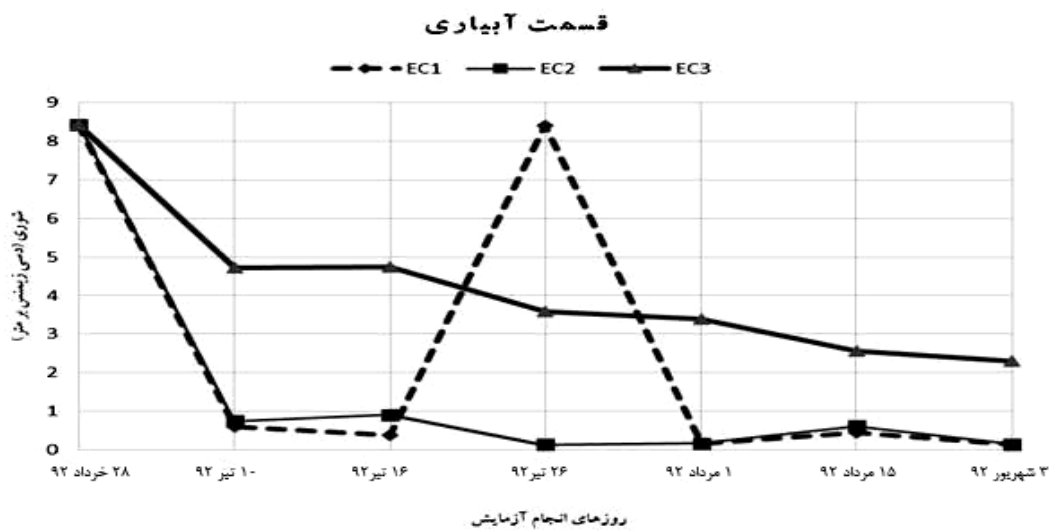
پس از گذشت ۱۵، ۲۱، ۳۱، ۳۷، ۵۰ و ۷۰ روز از زمان شروع آزمایش، نمونه‌برداری و جمع‌آوری نمک انجام شد. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، میزان تبخیر پس از هر بار جمع‌آوری نمک افزایش پیدا کرده است. در شکل ۴ مقدار تجمعی آب آبیاری و مقدار تجمعی تبخیر در روزهای انجام آزمایش مقایسه شده است.

در طول زمان آزمایش، شش نمونه‌گیری از خاک در شش نقطه انجام شد، شکل ۵ نمایش شماتیک از محل برداشت نمونه‌ها را نشان می‌دهد. در نقاط ۳ و ۶ مقدار رطوبت تقریباً با یکدیگر برابر است، زیرا این نقاط نزدیک به سطح ایستایی هستند. در شکل ۶ اختلاف رطوبت بین منطقه خشک و آبیاری در طول انجام آزمایش نشان داده شده است، بیشترین تفاوت رطوبت در سطح، یعنی نقاط ۱ و ۴ است. چرا که از سطح ۴ دائماً تبخیر صورت گرفته و سطح ۱ هم پوشش داشته است. شوری (۱:۵) اولیه خاک ۸/۴۳ دسی‌زیمنس بر متر بود. بعد از آبیاری‌های متوالی، از شوری قسمت آبیاری به تدریج کاسته و به شوری قسمت خشک افزوده شد. این افزایش شوری در سطح خاک تا زمانی ادامه می‌یابد که از نمک اشباع شود، در این زمان باید لایه روی خاک برداشته شود. همان طور که پیش‌تر اشاره شد، مدت ۱۰ روز پس از شروع آزمایش، پوشش قسمت آبیاری برداشته شد. در نتیجه میزان تبخیر افزایش یافت که بیشتر این تبخیر از ناحیه آبیاری اتفاق افتاد و به دلیل آن شوری از قسمت خشک به سمت قسمت آبیاری منتقل شد. شکل ۷ تغییرات شوری را در قسمت آبیاری و شکل ۸ تغییرات شوری را در قسمت خشک نشان می‌دهد.

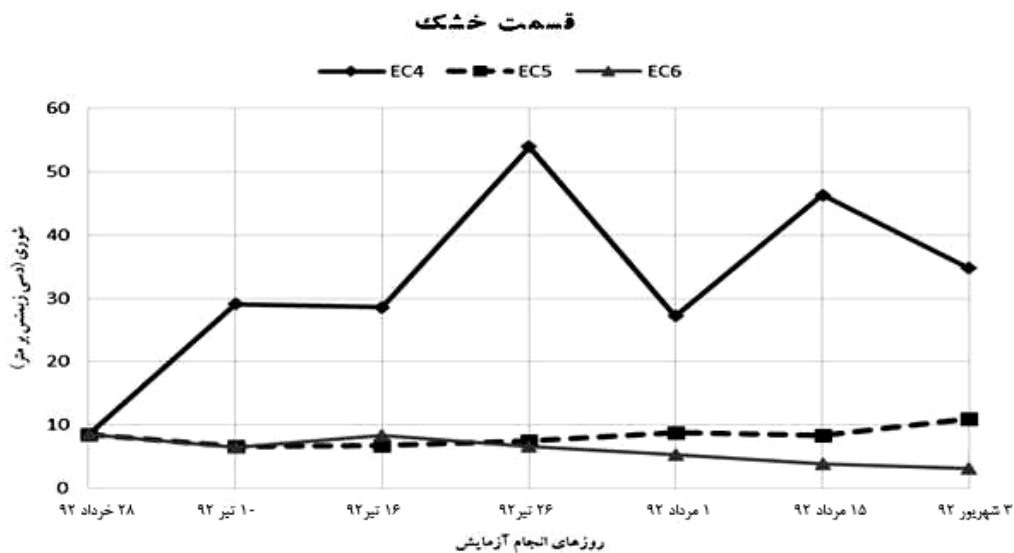
مشاهده می‌شود در قسمت خشک، مقدار شوری در لایه سطحی خاک به تدریج افزایش یافته است و در هر نوبت اندازه‌گیری، خاک و نمک روی این سطح جمع‌آوری شد.



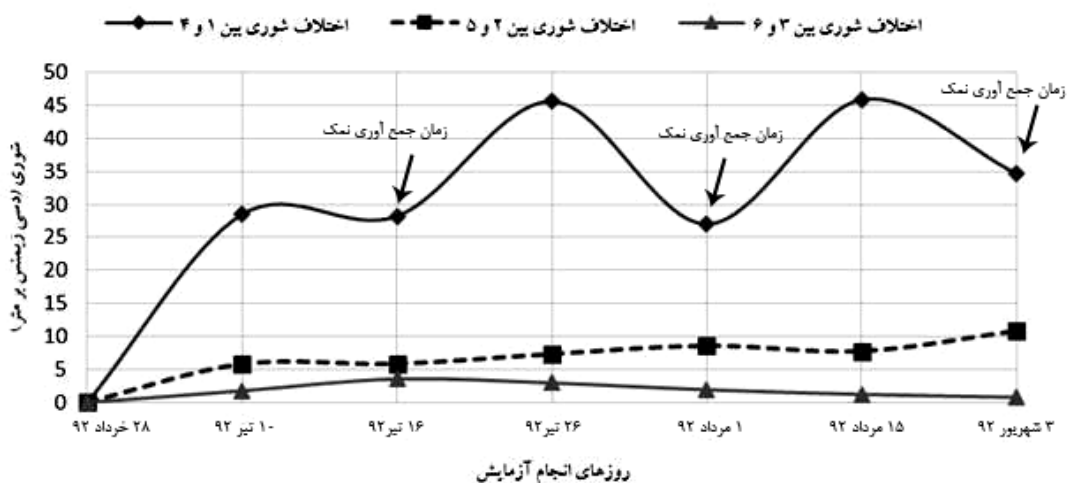
شکل ۶. تغییر رطوبت در روزهای مختلف نمونه‌گیری



شکل ۷. تغییرات شوری قسمت آبیاری در روزهای انجام آزمایش



شکل ۸. تغییرات شوری قسمت خشک در آزمایش



شکل ۹. تغییرات شوری لایه‌های مختلف خاک در طول آزمایش

## نتیجه‌گیری

شرایطی که ۵۰ درصد زمین به‌عنوان بخش نکاشت یا زهکشی رها می‌شود، مقدار مطلوب ضریب زهکشی در حالت معمول به دست می‌آید و درواقع با کمترین ریسک می‌توان ۵۰ درصد از زمین را تحت کشت قرار داد. از سویی بیشترین مقدار تبخیر، عددی نزدیک به ۱۰ میلی‌متر در روز بود، بنابراین احتمال می‌رود که با یک مدیریت جمع‌آوری به‌موقع نمک روی سطح خاک، بتوان نسبت کاشت را بیشتر از ۵۰ درصد افزایش داد.

## سپاس‌گزاری

از زحمات ارزشمند و بی‌دریغ کارشناسان محترم گروه، آقای مهندس غلامرضا بابایی و آقای مهندس رضا سعیدی و همچنین دوستان گرامی آقای مهندس محمدحسن قره‌داغی و خانم مهندس الهام نوروزپور و خانم مهندس مریم درخشان در مراحل اجرایی طرح، تشکر و قدردانی می‌شود.

پژوهش حاضر نشان می‌دهد زهکشی خشک را می‌توان به‌عنوان یک روش نوین زهکشی به‌منظور خارج‌ساختن آب و نمک اضافی از زمین پذیرفت که با هزینه‌ی احداث و بهره‌برداری به‌مراتب کمتری نسبت به زهکشی سنتی می‌توان آن را اجرا کرد و از نکات برجسته‌ی این سیستم زهکشی پایین‌بودن اثرات مخرب زیست‌محیطی آن نسبت به روش‌های سنتی است. امروزه به‌طور متداول در پروژه‌های زهکشی، ضریب زهکشی را حدود سه میلی‌متر در روز در نظر می‌گیرند، حال در این پروژه نیمی از زمین را به‌عنوان زمین قابل‌کشت قرار داده و آبیاری روی آن انجام شد و نیمی دیگر به‌عنوان زهکش رها شد. با گذشت زمان به‌دلیل جمع‌شدن نمک روی سطح خشک، شدت تبخیر کاهش پیدا می‌کند. کمترین مقدار تبخیر در دوره‌های آزمایش ۲/۷ میلی‌متر در روز بوده که البته در اواخر آزمایش اتفاق افتاد و بیشترین مقدار تبخیر هم ۱۰/۱۵ میلی‌متر در روز بود. یعنی در

## REFERENCES

- Ghassemi, F.; Jakeman, A.J.; Nix, H.A. (1995) 'Salination of Land and Water Resources. Human Causes, Extent, Management and Case Studies' CAB International.
- Rhoades, J.D (1996) 'Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids' Vol. Number 5 in the *Soil Science Society of America Book Series*.
- Akram S (2006) 'Effects of climate, water, soil and plant on the depth of water table in bio-drainage using SAHYSMOD mathematical model' Fourth Workshop on Drainage and Environment. (In Farsi)
- Azari A (2004) 'Drainage by a capillary flow and evaporation' Technical Workshop on drainage. pp. 58-4. (In Farsi)
- Konukcu, F. Growing, J.W Rose, D.A. (2006) 'Dry drainage: A sustainable solution to waterlogging and salinity problems in irrigation areas?' *Agricultural Water Management* 83 1-12
- Khouri, N (1998) 'Potential of dry drainage for controlling soil salinity' *Canadian Journal of Civil Engineering*, 25(2): 195-205, 10.1139/197-076
- JingWei Wu, LiRong Zhao, JieSheng Huang (2009) 'On the effectiveness of dry drainage in soil salinity control' *Science in China Series E: Technological Sciences*, 52(11), 3328-3334.
- Wu J W, Zhao L R, Huang J S, et al. On the effectiveness of dry drainage in soil salinity control. *Sci China Ser E-Tech Sci*, 2009, 52(11): 3328—3334
- Greenwood E A N, Milligan A, Biddiscombe E F, Rogers A L, Beresford J D, Watson G D and Wright K D (1992). Hydrologic and salinity changes associated with tree plantations in a saline agricultural catchment in southwestern Australia. *Agricultural Water Management* 22, 307-323.