

مقاله علمی - پژوهشی

مدیریت زهاب‌های حاصل از آبیاری زراعت نیشکر در دشت خوزستان

فائزه رجب‌زاده^{۱*} و ابراهیم پذیرا^۲

چکیده

با توجه به محدود بودن منابع آبی کشور و خشک‌سالی‌های اخیر و نیز، اثرات سوء زیست‌محیطی ناشی از رهاسازی غیراصولی زهاب‌های حاصل از کشاورزی، مدیریت و بهره‌برداری بهینه از این‌گونه آب‌ها امری ضروری است. در این پژوهش امکان استفاده مجدد از زهاب‌های حاصل از کشت نیشکر در دشت خوزستان برای کشت جو و اکالیپتوس و تخلیه نهایی به تالاب‌های مصنوعی و یا حوضچه‌های تبخیری، به‌صورت برنامه شبیه‌سازی موردبررسی قرار گرفت. در این راستا، با استفاده از آزمون‌های شوری‌زدایی، بهترین مدل تجربی شوری‌زدایی خاک‌ها در محدوده مطالعاتی تعیین شد. با استفاده از مدل تجربی شوری‌زدایی، نسبت به تهیه یک مدل شبیه‌سازی، به‌منظور تعیین میزان شوری نهایی خاک (EC_f) به ازای کاربرد تراوش‌های عمقی حاصل از آبیاری زراعت نیشکر اقدام شد. سپس، بر اساس میزان زهاب نیشکر و نیاز آبی جو و اکالیپتوس، مساحت زمین‌های قابل‌کشت این گیاهان تعیین شد. همچنین، با تهیه یک برنامه محاسباتی، مساحت حوضچه تبخیری و یا تالاب‌های مصنوعی، برای تخلیه زهاب باقیمانده از کلیه زراعت‌ها تعیین شد. نتایج نشان داد، با استفاده از زهاب یک هکتار زراعت نیشکر در سال دوم کشت، می‌توان ۰/۵ هکتار جو کشت کرد و با استفاده از باقیمانده زهاب یک هکتار نیشکر و زهاب ۰/۵ هکتار جو، می‌توان ۰/۲۲ هکتار اکالیپتوس کاشت. در نهایت، مساحت محدوده‌های مورد زهکشی برای ایجاد یک هکتار حوضچه تبخیری (بیان آبی صفر)، تالاب (ارتفاع سطح ایستابی ۰/۲۵+ متر) و تالاب (ارتفاع سطح ایستابی ۰/۵+ متر)، با استفاده از مقادیر زهاب باقیمانده از زراعت نیشکر، جو و اکالیپتوس برابر با ۰/۴۳۴۸ متر در طول یک سال زراعی به ترتیب برابر با ۵/۷۱۵، ۱۲/۶۱ و ۱۹/۵۱ هکتار به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: آبخوبی، تالاب مصنوعی، حوضچه تبخیری، زهاب زراعت نیشکر

مقدمه

ماندایی شدن و پیدایش مشکلات شوری اراضی در مقیاس وسیع و برداشت بی‌رویه از منابع آب می‌شود، بلکه موجبات محروم شدن بهره‌وران پایین‌دست از آب کافی و آلوده شدن منابع آب مناسب با جریان آلوده برگشتی از آبیاری و تلفات نفوذ عمقی را فراهم می‌سازد (Ashour et al., 2021). در کشاورزی آبی، برای مهار و تنظیم شوری و ماندایی شدن خاک‌ها، زهکشی اراضی از اهمیت زیادی برخوردار است؛ اما گاهی به دنبال این منافع، شبکه‌های زهکشی اثرات منفی زیست‌محیطی نیز دارند. ازجمله، تخلیه زهاب باکیفیت نامناسب به آب‌های موجود در طبیعت، سبب تخریب برخی از زیست‌بوم‌ها شده و در کاربری‌های مفید آب‌های پذیرنده محدودیت ایجاد می‌کند (Shaban, 2020). در حال حاضر افکار عمومی به سمتی است

افزایش جمعیت و تقاضا برای آب و غذا از یک‌سو و اثرات سوء زیست‌محیطی زهاب‌های کشاورزی بر زیست‌بوم‌های طبیعی و منابع آبی پذیرنده از سوی دیگر، نظر متخصصان را به استفاده مجدد از این‌گونه آب‌ها جلب نموده است. استفاده بیش‌ازحد و نامناسب از آب در کشاورزی فاریاب نه‌تنها منجر به

^۱ استادیار گروه زراعت، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
(* نویسنده مسئول: faizehrajabzadeh@yahoo.com)

^۲ استاد گروه خاکشناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۲۵

استفاده مؤثر از زهاب بسیار مفید است، اما هزینه‌های انتقال و تخلیه زهاب به حوضچه‌های تبخیری بالا می‌باشد (Jorgensen et al., 1992).

مختاران و همکاران (۱۳۹۹)، برای قسمتی از جنوب و جنوب غرب خوزستان که با محدودیت تأمین آب شیرین روبرو است، استفاده از زهاب نیشکر را راه‌حل مناسبی برای کشت گیاه کینوا در بهار و تابستان معرفی کردند. همچنین، شریفی‌پور و همکاران (۱۳۹۹) نشان دادند که از زهاب‌های با کیفیت مناسب در جنوب خوزستان، می‌توان برای کشت گیاهان مقاوم به شوری و توسعه منابع طبیعی برای جلوگیری از طوفان‌های گردوغبار استفاده کرد. لئی، به‌منظور مدیریت زهاب در یک سامانه آگروفستری در کالیفرنیا، از زهاب یک محصول حساس به شوری برای آبیاری پنبه که مقاوم به شوری است، استفاده کرد. این چرخه چند بار تکرار شد و زهاب حاصل به حوضچه‌های تبخیری تخلیه گردید. نتایج نشان داد، مزیت اصلی این سامانه ورود کمتر آب به حوضچه تبخیری و هدر رفت کمتر آب می‌باشد (Letey et al., 2005). گراتان و همکاران، به‌منظور کاهش حجم زهاب، نسبت به استفاده متوالی از زه آب برای آبیاری ده محصولات مقاوم به شوری اقدام کردند (Grattan et al., 2004). در پژوهشی دیگر، به‌منظور افزایش سطح زیر کشت و کاهش حجم زهاب، برای آبیاری گندم از زهاب استفاده شد، به‌طوری‌که ۸۰ درصد عملکرد محصول گندم حاصل شد (Arun and Priyanka, 2021).

با توجه به توضیحات فوق و محدود بودن منابع آبی، یکی از اقدامات لازم جمع‌آوری زهاب‌های کشاورزی و کاربرد مجدد در برنامه‌های اصلاحی و زراعی است. لذا، در این تحقیق به ارائه یک راهکار مناسب مدیریتی برای استفاده مجدد و دفع زهاب‌های حاصل از آبیاری زراعت نیشکر در بخشی از اراضی میانی استان خوزستان پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد بررسی، بخشی از اراضی میانی استان خوزستان در جنوب غرب ایران است. این اراضی بین طول

که شبکه‌های زهکشی به‌گونه‌ای طراحی شوند که حفظ حیات ساکنین زیست‌بوم‌ها تضمین شده و فعالیت‌های کشاورزی، کیفیت آب را زایل نکنند (Khairy et al., 2022; Yazar et al., 2017). ایران نیز از جمله کشورهایی است که در حال حاضر با این مشکلات روبرو است و بسیاری از تالاب‌ها و رودخانه‌ها در اثر ورود زهاب زمین‌های کشاورزی هم‌جوار آلوده شده‌اند (مختاران و همکاران، ۱۳۹۹).

با توجه به این‌که در مناطق خشک و نیمه‌خشک که اغلب مسائل شور و سدیمی بودن خاک‌ها مطرح است و برای اصلاح آن‌ها از طریق آبشویی به مقادیر قابل‌توجهی آب نیاز است، با توجه به کمبود منابع آبی، استفاده مجدد از زهاب‌های حاصل از زهکشی این خاک‌ها چه به‌صورت مستقیم و یا غیرمستقیم اجتناب‌ناپذیر است (Tanji and Kielen, 2002). در بعضی از این مناطق که دارای سطح ایستابی کم عمق می‌باشد، اگر از این آب‌ها استفاده نشود، با نفوذ عمقی، سبب خیز سطح ایستابی و بروز مشکلات شوری خاک می‌شود و یا این‌که احتمال نفوذ این آب‌ها به سفره‌های آب زیرزمینی با کیفیت مناسب و خطر آلوده شدن این آب‌ها وجود دارد (Moursi et al., 2022). در این راستا، یکی از اقدامات لازم جمع‌آوری آب‌های برگشتی حاصل از کشاورزی و استفاده مجدد از آن‌ها در امور زراعی و باغی می‌باشد. هدف اصلی استفاده مجدد از زهاب، کاهش مقادیر زهاب است به‌طوری‌که همزمان بتوان آب اضافی قابل‌دسترسی را برای آبیاری و یا مصارف دیگر تأمین کرد (رجب‌زاده و پذیرا، ۱۳۹۹). استفاده مجدد تنها در صورتی مفید است که زهاب از کیفیت خوب و قابل قبولی برخوردار باشد (Ashu and Lee, 2018).

در مطالعه‌ای توسط جرجنسن و همکاران، از زهاب حاصل از کشت هویج، برای آبیاری پنبه استفاده شد. زهاب پنبه که حجم آن کمتر شده و از لحاظ نمک و عناصر سمی مانند سلینیم غلیظتر شد، برای آبیاری اوکالیپتوس استفاده گردید و زهاب حاصل برای آبیاری نوعی هالوفیت به نام آترپلیکس به کار رفت. زهاب نهایی با غلظت بالا به حوضچه‌های تبخیری تخلیه گردید. نتایج نشان داد، این روش برای کاهش حجم و

برای بررسی امکان ارائه این گزینه‌ها، ابتدا فرایند "شوری-زدایی" خاک‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور "مدل تجربی شوری‌زدایی" به شرح رابطه ۱ برای خاک‌های منطقه پردازش شده به دست آمد (رجب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰).

$$\frac{[(EC_f - EC_{eq}) / (EC_i - EC_{eq})]}{= 0.222 \exp [-1.047(f/\theta_v) / (D_{lw}/D_s)]} \quad (1)$$

که در آن: EC_i و EC_f ، به ترتیب مقادیر شوری عصاره اشباع خاک قبل و پس از عملیات آشویی، EC_{eq} ، شوری تعادلی عصاره اشباع خاک، (D_{lw}/D_s) ؛ نسبت عمق آب آشویی به عمق خاکی که اصلاح آن مورد نظر است، f ؛ ضریب راندمان آشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک و θ_v ؛ میزان رطوبت حجمی خاک طی فرایند آشویی می‌باشد.

سپس با استفاده از رابطه ۱، یک مدل "شبیه‌سازی" تحت عنوان فرایند آشویی^۳ تهیه شد. این مدل قادر است میزان شوری نهایی عصاره اشباع خاک (EC_f) را به ازای کاربرد تراوش‌های عمقی حاصل از آبیاری زراعت نیشکر با دقت نسبی پیش‌بینی نماید. داده‌های ورودی مدل شامل، شوری اولیه (EC_i) (دسی زیمنس بر متر) برای نیمرخ خاک به ضخامت ۱/۵ متر، راندمان آشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها (f)، شوری تعادلی عصاره اشباع خاک برابر ۲/۲ دسی زیمنس بر متر، شوری متوسط آب آبیاری برابر ۱/۳۷ دسی زیمنس بر متر، میزان رطوبت حجمی (θ_v)، مقادیر تراوش‌های عمقی ماهیانه حاصل از آبیاری زراعت نیشکر (متر) (جدول ۳) می‌باشد.

در این مدل، فرض شده که فرایند شوری‌زدایی فقط توسط تراوش‌های عمقی آب آبیاری انجام می‌شود و نیز برای تعیین شوری نهایی لایه‌های خاک در انتهای هر ماه، ستون خاک تا عمق ۱/۵ متری به شش لایه ۰/۲۵ متری تفکیک گردیده است و شوری نهایی لایه‌های خاک در انتهای هر ماه به‌عنوان شوری اولیه در ابتدای ماه بعد منظور شده است.

بدین ترتیب، با توجه به میزان شوری نهایی عصاره اشباع خاک (EC_f) حاصل از مدل فرایند آشویی و با در نظر گرفتن

جغرافیایی "۴۸°۴۰'۵۰" تا "۴۸°۵۱'۰۵" طول شرقی و "۳۱°۲۴'۲۵" تا "۳۱°۳۷'۱۰" عرض شمالی واقع شده است و از شمال به رودخانه دز، از شرق به رودخانه کارون، از غرب به راه‌آهن اهواز-تهران و از جنوب به شهر اهواز محدود می‌گردد. خاک‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس طبقه‌بندی جامع وزارت کشاورزی آمریکا^۱ به‌طور عمده رسی‌سیلتی و از نظر رده‌بندی تیپیک هاپلوسالید^۲ می‌باشد، محدودیت عمده این زمین‌ها شوری و سدیمی بودن و سطح بالای آب زیرزمینی است.

برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ و ۲ آمده است.

در این تحقیق، به‌منظور مدیریت زهاب‌های حاصل از آبیاری زراعت نیشکر، امکان جمع‌آوری و استفاده مجدد این آب‌ها، به‌صورت چهار گزینه زیر مورد بررسی قرار گرفت:

- گزینه اول

جمع‌آوری زهاب نیشکر و استفاده مجدد برای کشت جو و استفاده از باقیمانده زهاب نیشکر و جو برای آبیاری اوکالیپتوس و تخلیه زهاب نهایی به تالاب مصنوعی و یا حوضچه تبخیری.

- گزینه دوم

جمع‌آوری زهاب نیشکر و استفاده مجدد برای کشت جو و تخلیه نهایی به تالاب مصنوعی و یا حوضچه تبخیری.

- گزینه سوم

جمع‌آوری زهاب نیشکر و استفاده برای کشت اوکالیپتوس و تخلیه نهایی به تالاب مصنوعی و یا حوضچه تبخیری.

- گزینه چهارم

جمع‌آوری زهاب نیشکر و استفاده برای کشت اوکالیپتوس و استفاده از باقیمانده زهاب نیشکر و اوکالیپتوس برای آبیاری جو و تخلیه نهایی به تالاب مصنوعی و یا حوضچه تبخیری. امکان اجرای این مدل‌ها برای یک قطعه با مساحت هزار هکتار از زمین‌های مورد کشت نیشکر از منطقه مورد مطالعه، با راندمان آبیاری قابل‌دستیابی ۶۵ درصد، مورد بررسی قرار گرفت.

¹United State Department of Agriculture (USDA)

²Typic Haplosalid

³Leaching Process

توسط مقادیر آب خالص مورد نیاز و با توجه به راندمان آبیاری ۶۵ درصد برای نیشکر و ۵۳ درصد برای جو و اوکالیپتوس، نیاز آبی ناخالص، منشأ و میزان تراوش‌های عمقی با مدنظر داشتن موارد کنترل بیلان آب و نمک در محدوده توسعه ریشه گیاهان، محاسبه گردید (جدول ۳ تا ۵).

با توجه به اطلاعات حاصل و منظور نمودن ۲۸ درصد تلفات عمقی آب آبیاری برای نیشکر، ۳۸ درصد تلفات عمقی آب آبیاری برای جو و اوکالیپتوس، میزان آب مصرفی، موارد کاربرد آب آبیاری و نیز شدت تخلیه زهکشی محاسبه گردید (جدول ۳ تا ۵).

این نکته که حداکثر پتانسیل عملکرد محصول جو و اوکالیپتوس به ترتیب تا مقادیر شوری عصاره اشباع خاک ۸/۰ و ۶/۰ دسی زیمنس بر متر حاصل می‌گردد (Maas and Hoffman, 1977)، می‌توان بیان نمود که با استفاده از زهاب حاصل از سال اول (پلنت) و دوم (راتون اول) کشت نیشکر، کاشت جو و اوکالیپتوس امکان‌پذیر است یا این امکان وجود ندارد.

در مرحله بعد، نسبت به جمع‌آوری اطلاعاتی در خصوص نیاز آبی خالص نیشکر، جو و اوکالیپتوس برای ماه‌های مختلف سال زراعی با استفاده از نرم‌افزار CropWat اقدام شد. سپس

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی خاک‌های منطقه مورد مطالعه

عمق سطح ایستایی	هدایت هیدرولیکی	عمق لایه غیرقابل نفوذ	سرعت نفوذ پایه اراضی	کلاس شوری و قلیائیت اراضی		بافت	
متر	متر در روز	متر	سانتیمتر در ساعت	قبل از آیشویی	پس از آیشویی	قبل از آیشویی	پس از آیشویی
۳/۶۵	۱/۰۳	۱/۸	۰/۱۴	S ₂ A ₁	S ₄ A ₃	رسی-سیلتی	

جدول ۲- برخی خصوصیات شیمیایی لایه‌های مختلف نیمرخ خاک‌های منطقه مورد مطالعه

زمان نمونه‌برداری	عمق خاک	هدایت الکتریکی	pH	آهک	گچ	C.E.C	Ex.Na ⁺	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	Na ⁺
نمونه‌برداری	سانتی‌متر	دسی‌زیمنس بر متر		درصد	میلی‌اکی‌والانت در صد گرم خاک خشک	میلی‌اکی‌والانت در صد گرم خاک خشک	میلی‌اکی‌والانت در لیتر	میلی‌اکی‌والانت در لیتر	میلی‌اکی‌والانت در لیتر
۰-۲۵	۱۰۴/۷	۷/۲	۲۹/۲	۰/۴۲	۱۰/۴	۵/۵	۶۹۶/۰	۲۵۳۵/۰	
۲۵-۵۰	۴۰/۹	۷/۷	۳۰/۳	۰/۲۷	۱۱/۶	۴/۸	۲۸۵/۶	۶۹۶/۰	
قبل از آیشویی	۵۰-۷۵	۲۴/۴	۷/۹	۳۰/۷	۰/۱۸	۱۱/۴	۱۷۴/۴	۴۶۲/۰	
۷۵-۱۰۰	۳۲/۶	۸/۰	۳۲/۶	۰/۰۷	۱۲/۵	۴/۲	۱۳۲/۸	۳۵۸/۰	
۱۰۰-۱۲۵	۳۰/۷	۷/۹	۳۴/۴	۰/۰۶	۱۱/۲	۳/۶	۱۳۲/۴	۳۳۸/۰	
۱۲۵-۱۵۰	۲۹/۶	۸/۰	۳۴/۸	۰/۰۹	۱۲/۲	۴/۵	۱۲۰/۸	۳۰۹/۰	

جدول ۳- موارد کاربرد آب آبیاری و میزان تلفات آب کاربردی برای کشت نیشکر در منطقه مورد مطالعه

ردیف	ماه‌های سال	حجم آب مصرفی در هکتار مترمکعب	عمق آب مصرفی در هکتار متر	عمق آب مصرفی* متر		شدت تخلیه زهکشی میلی‌متر در روز	حجم آب زهکشی مترمکعب در روز در هکتار
				نیاز آبی گیاه (۷۲ درصد)	تراوش‌های عمقی (۲۸ درصد)		
۱	فروردین	۳۵۰۷/۵	۰/۳۵	۰/۲۵	۰/۱۰	۳/۱۶	۳۱/۶
۲	اردیبهشت	۴۳۲۸/۸	۰/۴۳	۰/۳۱	۰/۱۲	۳/۹۰	۳۹/۰
۳	خرداد	۴۳۴۷/۰	۰/۴۴	۰/۳۱	۰/۱۲	۳/۹۳	۳۹/۳
۴	تیر	۳۷۵۹/۵	۰/۳۸	۰/۲۷	۰/۱۱	۳/۴۰	۳۴/۰
۵	مرداد	۱۷۶۴/۱	۰/۱۸	۰/۱۳	۰/۰۵	۱/۵۹	۱۵/۹
۶	شهریور	۱۴۵۶/۱	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۰۴	۱/۳۲	۱۳/۲
۷	مهر	۱۴۱۵/۱	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۰۴	۱/۳۳	۱۳/۳
۸	آبان	۸۵۹/۵	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۸۰	۸/۰
۹	آذر	۳۳۱/۱	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۳۱	۳/۱
۱۰	دی	۴۱۱/۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۳۷	۳/۷
۱۱	بهمن	۱۰۵۷/۰	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۰۳	۱/۰۰	۱۰/۰
۱۲	اسفند	۲۲۵۱/۰	۰/۲۳	۰/۱۶	۰/۰۶	۲/۱۷	۲۱/۷
	جمع کل	۲۵۴۸۸/۲	۲/۵۵	۱/۸۳۵	۰/۷۱	-	-

*میزان تلفات عمقی ۲۳ درصد هدر رفت غیرقابل اجتناب در روش آبیاری سطحی و ۵ درصد برای سایر تلفات عمقی منظور شده است.

جدول ۴- موارد کاربرد آب آبیاری و میزان تلفات آب کاربردی برای کشت جو دانه‌ای در منطقه مورد مطالعه

ردیف	ماه‌های سال	حجم آب مصرفی در هکتار مترمکعب	عمق آب مصرفی در هکتار متر	عمق آب مصرفی* متر		شدت تخلیه زهکشی میلی‌متر در روز	حجم آب زهکشی مترمکعب در روز در هکتار
				نیاز آبی گیاه (۶۲ درصد)	تراوش‌های عمقی (۳۸ درصد)		
۱	فروردین	۲۰۰۰/۰	۰/۲	۰/۱۲	۰/۰۸	۲/۴۵	۲۴/۵
۲	اردیبهشت	۲۸۳/۰	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۳۵	۳/۵
۳	خرداد	-	-	-	-	-	-
۴	تیر	-	-	-	-	-	-
۵	مرداد	-	-	-	-	-	-
۶	شهریور	-	-	-	-	-	-
۷	مهر	-	-	-	-	-	-
۸	آبان	-	-	-	-	-	-
۹	آذر	-	-	-	-	-	-
۱۰	دی	-	-	-	-	-	-
۱۱	بهمن	۲۲۶/۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۲۹	۲/۹
۱۲	اسفند	۸۶۸/۰	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۳	۱/۱۴	۱۱/۴
	جمع کل	۳۳۷۷/۰	۰/۳۳۸	۰/۲۰۹	۰/۱۲۸	-	-

*میزان تلفات عمقی ۲۸ درصد، هدر رفت غیرقابل اجتناب در روش آبیاری سطحی و ۱۰ درصد برای سایر تلفات عمقی منظور شده است.

جدول ۵- موارد کاربرد آب آبیاری و میزان تلفات آب کاربردی برای کشت اوکالیپتوس در منطقه مورد مطالعه

ردیف	ماه‌های سال	حجم آب مصرفی در هکتار مترمکعب	عمق آب مصرفی در هکتار متر	عمق آب مصرفی* متر		شدت تخلیه زهکشی میلی‌متر در روز	حجم آب زهکشی مترمکعب در روز در هکتار
				تراوش‌های عمقی (۳۸ درصد)	نیاز آبی گیاه (۶۲ درصد)		
۱	فروردین	۸۲۱/۰	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۳	۱/۰۱	۱۰/۱
۲	اردیبهشت	۱۴۱۹/۰	۰/۱۴	۰/۰۹	۰/۰۵	۱/۷۴	۱۷/۴
۳	خرداد	۱۸۶۴/۰	۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۰۷	۲/۲۹	۲۲/۹
۴	تیر	۲۴۱۱/۰	۰/۲۴	۰/۱۵	۰/۰۹	۲/۹۶	۲۹/۶
۵	مرداد	۲۲۴۵/۰	۰/۲۲	۰/۱۴	۰/۰۹	۲/۷۵	۲۷/۵
۶	شهریور	۱۷۵۹/۰	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۰۷	۲/۱۶	۲۱/۶
۷	مهر	۱۳۷۷/۰	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۰۵	۱/۶۲	۱۶/۲
۸	آبان	۲۷۲/۰	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۳۴	۳/۴
۹	آذر	۱۷/۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۲	۰/۲
۱۰	دی	-	-	-	-	-	-
۱۱	بهمن	-	-	-	-	-	-
۱۲	اسفند	۴۱۹/۰	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۵۵	۵/۵
	جمع کل	۱۲۵۰۴/۰	۱/۲۵۲	۰/۷۸	۰/۴۷۱	-	-

*میزان تلفات عمقی ۲۸ درصد، هدر رفت غیرقابل اجتناب در روش آبیاری سطحی و ۱۰ درصد برای سایر تلفات عمقی منظور شده است.

مقادیر محاسبه شده با استفاده از مدل شبیه سازی فرایند آبشویی است (مختاران و همکاران، ۱۳۹۲؛ برمکی و همکاران، ۱۳۹۲). بدین منظور نسبت به محاسبه شوری واقعی زهاب‌های خروجی برای حالتی بافاصله‌های زهکشی ۴۵، ۵۵، ۶۵ و ۱۰۲ متر اقدام گردید. فواصل زهکش‌های زیرزمینی گفته شده با فرض غیرهمگام (ناپایدار) بودن جریان، با روش تعادل دینامیکی برای زمین‌های محدوده مورد مطالعه محاسبه شد. شوری زهاب‌های خروجی متأثر از دو بخش جریان‌های ورودی بخش‌های بالایی و پایینی زهکش‌های زیرزمینی با استفاده از رابطه ۲ به دست آمد (برمکی و همکاران، ۱۳۹۲).

$$EC_d = a \cdot EC_t + b \cdot EC_b \quad (2)$$

که در آن: EC_t ، شوری زهاب ورودی از بخش بالایی محل نصب زهکش‌ها به زهکش‌های زیرزمینی (دسی زیمنس بر متر)، EC_b ، شوری زهاب ورودی از بخش پایین محل نصب زهکش‌ها به زهکش‌های زیرزمینی (دسی زیمنس بر متر) و

سپس چهار گزینه به شرط زیر مورد آزمون قرار گرفتند: در گزینه اول، امکان اجرای این مدل برای هزار هکتار از زمین‌های مورد کشت نیشکر، مورد بررسی قرار گرفت. به طوری که از زهاب حاصل از مزارع نیشکر برای آبیاری زراعت جو و سپس از زهاب حاصل از زراعت جو و زهاب باقیمانده از زراعت نیشکر برای آبیاری اوکالیپتوس استفاده شده و زهاب باقیمانده از کلیه زراعت‌ها که حجم آن کم شده، اما غلظت نمک افزایش داشته، به حوضچه تبخیری و یا تالاب مصنوعی ریخته شود.

برای بررسی امکان ارائه این گزینه، ابتدا نسبت به اجرای مدل شبیه سازی فرایند آبشویی برای بررسی فرایند شوری زدایی نمک‌های محلول در لایه‌های مختلف نیمرخ خاک اقدام شد. بر اساس اجرای این مدل، چگونگی تغییرات میزان شوری نهایی عصاره اشباع تا عمق ۱/۵ متری از سطح خاک در سال اول و دوم کشت نیشکر به دست آمد.

با توجه به بالا بودن سطح آب زیرزمینی شور در منطقه، مقداری شوری از لایه‌های زیرین وارد لوله‌های زهکشی شده و شوری نهایی زهاب خروجی از زهکش، در واقعیت بیشتر از

(جدول ۳) بر نیاز آبی جو در یک هکتار (جدول ۴) (در ماهی که جو حداکثر نیاز آبی را دارد)، مساحت زمین‌های قابل کشت جو که امکان آبیاری با زهاب یک هکتار زراعت نیشکر را دارند و همچنین، با استفاده از تقسیم باقیمانده زهاب جو و نیشکر (جدول ۷) بر نیاز آبی اوکالیپتوس در یک هکتار (جدول ۵) (در ماهی که اوکالیپتوس حداکثر نیاز آبی را دارد)، مساحت زمین‌های قابل کشت اوکالیپتوس که امکان آبیاری با باقیمانده زهاب جو و نیشکر را دارند، مشخص شد.

در ادامه، با تهیه "برنامه محاسباتی" تحت عنوان حوضچه تبخیری نسبت به تعیین مساحت حوضچه تبخیری و یا تالاب‌های مصنوعی، برای تخلیه زهاب باقیمانده از کلیه زراعت‌ها اقدام شد. با استفاده از این برنامه برای سه حالت حوضچه تبخیری (بیان آبی صفر) (حوضچه‌ای که میزان آب ورودی و خروجی آن برابر باشد)، تالاب (با ارتفاع سطح ایستابی ۰/۲۵+ متر) (حوضچه‌ای که عمق آب استغراقی به روی آن ۰/۲۵ متر باشد) و تالاب (با ارتفاع سطح ایستابی ۰/۵+ متر) به مساحت یک هکتار، مقادیر آب موردنیاز و مساحت زمین‌های مورد زهکشی محاسبه شد. مساحت زمین‌های مورد زهکشی، از تقسیم زهاب سالیانه قابل ورود به حوضچه برای برقراری بیان‌های گفته‌شده به مقادیر زهاب باقیمانده از زراعت‌ها در طول یک سال زراعی به دست آمد.

داده‌های ورودی برای اجرای این برنامه محاسباتی، مقادیر تراوش‌های عمقی ماهیانه، ارقام بارندگی ماهیانه، مقادیر تبخیر از سطح آب استغراقی بر روی حوضچه تبخیری یا تالاب و نیز مقادیر نفوذ عمقی (تراوش از سطح خاک حوضچه یا تالاب به درون خاک) است. میزان بارندگی (بر اساس ارقام طولانی‌مدت بارش در منطقه)، میزان تبخیر از سطح حوضچه و یا سطح آب استغراقی تالاب‌ها (با اعمال ضریب تعدیل به ارقام تشتک کلاس A) و میزان نفوذ عمقی از کف حوضچه (معادل ۱/۵ میلی‌متر در روز برای خاک‌های سنگین بافت و بایر در منطقه) در طول یک سال زراعی مقادیری ثابت و به ترتیب برابر با ۰/۲۱۳۰۳، ۲/۱۵۰۵ و ۰/۵۴۷۵ متر منظور گردید؛ بنابراین، آنچه شرایط موردنظر را برای برقراری بیان آبی (صفر، ۰/۲۵+ و

EC_d، شوری نهایی زهاب خروجی از زهکش‌های زیرزمینی است. همچنین، ضرایب a و b با استفاده از روابط ۳ و ۴ به دست آمد.

$$a = \frac{\frac{4kh^2}{L^2}}{\frac{8KDh + 4kh^2}{L^2}} = \frac{4kh^2}{4kh(2D + h)} = \frac{h}{(2D + h)} \quad (3)$$

$$b = \frac{\frac{8kDh}{L^2}}{\frac{8KDh + 4kh^2}{L^2}} = \frac{8kDh}{4kh(2D + h)} = \frac{2D}{(2D + h)} \quad (4)$$

که در آن k هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (متر در روز)، h: ارتفاع سطح ایستابی بالای لایه محدودکننده در حد وسط دو خط زهکش (متر)، D: ارتفاع سطح آب درون زهکش‌های بالای لایه محدودکننده (ضخامت لایه آبدار در بخش زیرین محل استقرار زهکش) (متر) و L؛ فاصله زهکش‌ها (متر) است. با جایگزینی روابط ۳ و ۴ در رابطه ۲ نتیجه کلی زیر به دست می‌آید.

$$EC_d = \left\{ \left[\frac{h}{(2D + h)} \right] \cdot EC_t + \left[\frac{2D}{(2D + h)} \right] \cdot EC_b \right\} \quad (5)$$

بدین ترتیب، نسبت به محاسبه شوری نهایی زهاب به ازای هر یک از فواصل زهکش اشاره‌شده و نیز متوسط شوری نهایی زهاب در هزار هکتار از زمین‌های مورد مطالعه، در سال اول و دوم کشت نیشکر اقدام شد.

با توجه به مقادیر شوری نهایی زهاب حاصل از کشت نیشکر در سال اول و دوم، بعد از اعمال ضرایب محاسبه‌شده و با یادآوری این نکته که حداکثر پتانسیل عملکرد محصول جو و اوکالیپتوس به ترتیب تا مقادیر شوری عصاره اشباع خاک ۸/۰ و ۶/۰ دسی زیمنس بر متر حاصل می‌گردد (Maas and Hoffman, 1977)، امکان کشت جو و اوکالیپتوس با استفاده از زهاب حاصل از سال اول و دوم کشت نیشکر بررسی شد. سپس، با استفاده از تقسیم زهاب یک هکتار زراعت نیشکر

زیست‌محیطی ناشی از رهاسازی زهاب حاصل از زراعت نیشکر به رودخانه کارون، برخی گزینه‌های مدیریت زهاب موردبررسی قرار گرفت.

گزینه اول، جمع‌آوری زهاب‌های حاصل از کشت نیشکر، استفاده مجدد برای جو و سپس اوکالیپتوس و تخلیه نهایی به حوضچه تبخیری و یا تالاب مصنوعی:

بر اساس اجرای مدل شبیه‌سازی فرایند آبیاری برای بررسی فرایند شوری‌زدایی نمک‌های محلول در لایه‌های مختلف نیمرخ خاک، چگونگی تغییرات میزان شوری نهایی زهاب تا عمق ۱/۵ متری از سطح خاک برای سال اول کشت نیشکر در شکل ۱ ارائه شده است.

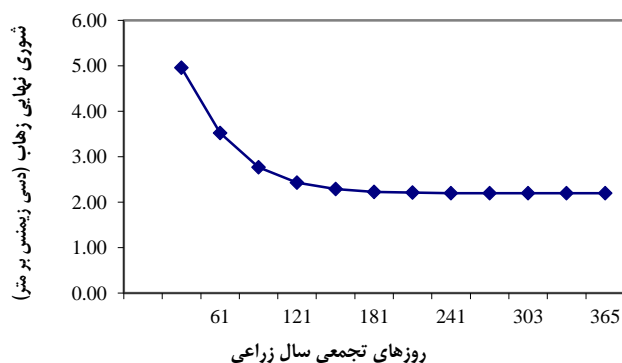
نتایج بررسی‌ها در سال دوم کشت نیشکر نشان داد، شوری نهایی زهاب تا عمق ۱/۵ متری خاک و در تمامی ماه‌ها برابر شوری تعادلی عصاره اشباع خاک و برابر ۲/۲ دسی‌زیمنس بر متر است.

۵۰/۰+ متر) تأمین می‌کرد، مقادیر زهاب‌های حاصل از آبیاری بود. همچنین، با کاربرد مساحت‌های تعیین‌شده به‌عنوان ارقام مینا، نسبت به محاسبه بیلان آبی و اجزاء مربوطه با استفاده از برنامه محاسباتی اقدام شد. گزینه‌های دوم، سوم و چهارم نیز مشابه گزینه اول موردبررسی قرار گرفتند. در نهایت بهترین گزینه مدیریت زهاب، بر اساس موارد زیر انتخاب شد:

در کدام گزینه، زهاب نهایی کمتری به حوضچه تبخیری و یا تالاب تخلیه می‌گردد. به عبارتی، به ازای مساحت بیشتری از زمین‌های مورد زهکشی کدام گزینه، نیاز به یک هکتار حوضچه تبخیری و یا تالاب می‌باشد که در این صورت مساحت زمین‌هایی که به این وسیله غیرقابل استفاده می‌شود، کمتر از سایر گزینه‌ها است. در کدام گزینه، بخش زیادتری از زمین‌ها که به دلیل کمبود آب بدون استفاده مانده و یا از آن‌ها استفاده بهینه نمی‌شود، وارد چرخه تولید کشاورزی می‌گردد.

نتایج و بحث

در این پژوهش، با توجه به کمبود منابع آب با کیفیت مناسب برای کشاورزی فاریاب و نیز جلوگیری از اثرات نامطلوب



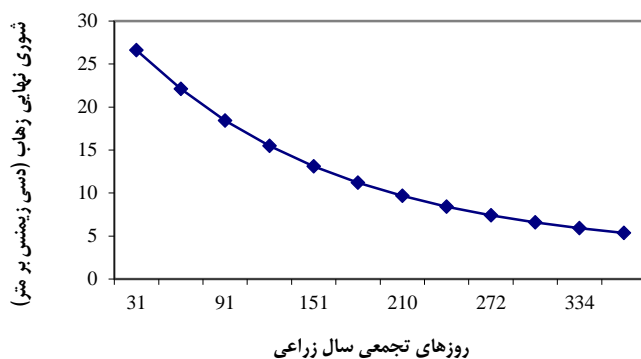
شکل ۱- تغییرات شوری نهایی زهاب تا عمق ۱/۵ متری (سال اول کشت نیشکر)

زهکش، در واقعیت بیشتر از مقادیر محاسبه‌شده در شکل ۱ است. نتایج محاسبه ضرایب برای تعیین مقدار شوری که به-وسیله زهاب از بالا (C_t) و پایین (C_b) زهکش‌های زیرزمینی وارد زهکش می‌شود (با استفاده از روابط ۳ و ۴)، نشان داد که این ضرایب برای حالتی با فاصله زهکش ۴۵ متر، به ترتیب

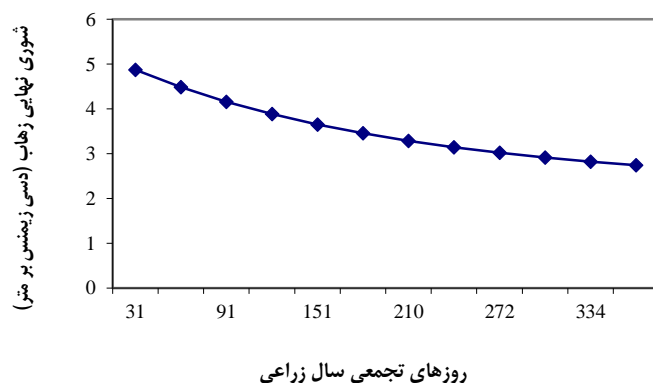
همان‌طور که گفته شد، برای دستیابی به شوری نهایی و واقعی زهاب، با در نظر گرفتن خاک در شرایط کمی بیشتر از ظرفیت زراعی، چنین فرض شد که با توجه به بالا بودن سطح آب زیرزمینی شور در منطقه، مقداری از شوری زیر زهکش‌های زیرزمینی وارد زهکش شده و شوری نهایی زهاب خروجی از

است. در ادامه، نتایج محاسبه شوری نهایی زهاب و واقعی به ازای هر یک از فواصل زهکش اشاره شده در سال اول و دوم کشت نیشکر در شکل های ۲ و ۳ آمده است.

معادل ۰/۲۷ و ۰/۷۳، برای فاصله زهکش ۵۵ متر، معادل ۰/۱۸۵ و ۰/۸۱۵، برای فاصله زهکش ۶۵ متر، معادل ۰/۱۶ و ۰/۸۴ و برای فاصله زهکش ۱۰۲ متر، معادل ۰/۱۱ و ۰/۸۹



شکل ۲- تغییرات شوری نهایی زهاب تا عمق ۱/۵ متری بعد از اعمال ضرایب محاسبه شده (سال اول کشت نیشکر)



شکل ۳- تغییرات شوری نهایی زهاب تا عمق ۱/۵ متری بعد از اعمال ضرایب محاسبه شده (سال دوم کشت نیشکر)

کشت جو و اوکالیپتوس در نظر گرفته شده است، استفاده کرد. در مرحله بعد، نتایج تعیین مساحت زمین های قابل کشت جو و اوکالیپتوس، نشان داد با استفاده از زهاب یک هکتار زراعت نیشکر می توان ۰/۵ هکتار جو کشت کرد و با استفاده از باقیمانده زهاب یک هکتار نیشکر و زهاب ۰/۵ هکتار جو، می توان ۰/۲۲ هکتار اوکالیپتوس کاشت. مندرجات جداول ۶ و ۷ به ترتیب تغییرات بیلان آبی در ترکیب یک هکتار زراعت نیشکر و ۰/۵ هکتار زراعت جو و تغییرات بیلان آبی در ترکیب یک

بررسی مقادیر شوری نهایی زهاب حاصل از کشت نیشکر در سال اول و دوم (شکل های ۲ و ۳) با در نظر گرفتن این نکته که حداکثر پتانسیل عملکرد محصول جو و اوکالیپتوس در مقادیر شوری به ترتیب ۸/۰ و ۶/۰ دسی زیمنس بر متر به دست می آید، نشان داد که با استفاده از زهاب حاصل از سال دوم کشت نیشکر می توان اقدام به کشت جو و اوکالیپتوس کرد. به منظور مدیریت بهتر زهاب، می توان از زهاب سال اول کشت نیشکر برای آماده سازی و اصلاح خاک و زمین هایی که برای

هکتار زراعت نیشکر، ۰/۵ هکتار جو (گیاه دوم) و ۰/۲۲ هکتار اوکالیپتوس (گیاه سوم) را نشان می‌دهد.

جدول ۶- تغییرات بیلان آبی در ترکیب یک هکتار زراعت نیشکر (گیاه اصلی) و ۰/۵ هکتار زراعت جو (گیاه دوم) در سال زراعی (مترمکعب)

ردیف	عوامل مورد بررسی	مقدار در دسترس	مقدار در دسترس	مقدار در دسترس	مقدار در دسترس	مقدار در دسترس	مقدار در دسترس	مقدار در دسترس	مقدار در دسترس	مقدار در دسترس	مقدار در دسترس	مقدار در دسترس	مقدار در دسترس
۱	حجم آب مصرفی نیشکر	۳۵۰۷	۴۳۳۹	۴۳۴۷	۳۷۵۹	۱۷۶۴	۱۴۵۶	۱۴۱۵	۸۵۹	۳۳۱	۴۱۱	۱۰۵۷	۲۲۵۱
۲	حجم زهاب نیشکر	۹۸۰	۱۲۱۰	۱۲۲۰	۱۰۵۳	۴۹۴	۴۰۸	۳۴۰	۲۴۰	۹۳	۱۱۰	۳۰۰	۶۳۰
۳	حجم آب مصرفی جو	۹۸۰	۱۴۲	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۴۳۴
۴	باقیمانده زهاب نیشکر	-	۱۰۶۸	۱۲۲۰	۱۰۵۳	۴۹۴	۴۰۸	۳۴۰	۲۴۰	۹۳	۱۱۰	۱۳۷	۱۹۶
۵	حجم زهاب جو	۳۷۲	۵۴	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱۶۵
۶	باقیمانده زهاب نیشکر و جو	۳۷۲	۱۱۲۲	۱۲۲۰	۱۰۵۳	۴۹۴	۴۰۸	۳۴۰	۲۴۰	۹۳	۱۱۰	۱۸۰	۳۶۱

جدول ۷- تغییرات بیلان آبی در ترکیب یک هکتار زراعت نیشکر (گیاه اصلی)، ۰/۵ هکتار زراعت جو (گیاه دوم) و ۰/۲۲ هکتار زراعت اوکالیپتوس (گیاه سوم) در سال زراعی (مترمکعب)

ردیف	عوامل مورد بررسی	مقدار در دسترس	مقدار در دسترس	مقدار در دسترس	مقدار در دسترس	مقدار در دسترس	مقدار در دسترس	مقدار در دسترس	مقدار در دسترس	مقدار در دسترس	مقدار در دسترس	مقدار در دسترس	مقدار در دسترس	مقدار در دسترس
۱	باقیمانده زهاب نیشکر و جو	۳۷۲	۱۱۲۲	۱۲۲۰	۱۰۵۳	۴۹۳	۴۰۸	۴۰۰	۲۴۰	۹۳	۱۱۰	۱۸۰	۳۶۱	
۲	حجم آب مصرفی اوکالیپتوس	۱۸۱	۳۱۳	۴۱۰	۵۳۰	۴۹۳	۴۸۷	۲۸۱	۶۰	۴	-	-	۹۲	
۳	باقیمانده زهاب	۱۹۲	۸۱۰	۸۱۰	۵۲۳	-	۲۱	۱۱۹	۱۸۰	۸۹	۱۱۰	۱۸۰	۲۶۹	
۴	حجم زهاب اوکالیپتوس	۶۹	۱۱۹	۱۵۶	۲۰۲	۱۸۸	۱۴۷	۱۰۷	۲۳	۲	-	-	۳۵	
۵	باقیمانده زهاب نیشکر، جو و اوکالیپتوس	۲۶۰	۹۲۹	۹۶۶	۷۲۴	۱۸۸	۱۶۸	۲۲۶	۲۰۳	۹۱	۱۱۰	۱۸۰	۳۰۴	

محاسباتی و کاربرد مساحت‌های گفته شده در جدول ۸ و شکل-های ۴ و ۵ نشان داده شده است.

با توجه به جدول ۸، در شرایط ایجاد حوضچه تبخیری سالیانه حجم آبی معادل ۰/۲۶۹۸ مترمکعب در هکتار از طریق تبخیر سطحی و نفوذ عمقی هدر می‌رود که ۰/۲۴۸۵ مترمکعب آن باید از طریق جمع‌آوری و دفع زهاب‌های محدود مورد زهکشی برابر با ۵/۷۱۵ هکتار جبران گردد. به ازای هر ۵/۷۱۵ هکتار از زمین‌های مورد کشت، به مساحتی حدود ۱/۰ هکتار زمین برای تخلیه زهاب‌ها نیاز خواهد بود که شرایط مطلوبی را از نظر کاربری اراضی (حتی بایر و درجه شش از نظر قابلیت آبیاری و کشاورزی) حاصل نمی‌نماید. در حالت ایجاد تالاب (با ارتفاع سطح ایستابی ۰/۲۵+ متر) (شکل ۴) سالیانه

در نهایت، نتایج برنامه محاسباتی با عنوان حوضچه تبخیری برای تعیین مساحت حوضچه تبخیری و یا تالاب‌های مصنوعی، به‌منظور تخلیه زهاب باقیمانده از کلیه زراعت‌ها نشان داد که مساحت محدوده‌های مورد زهکشی برای ایجاد یک هکتار حوضچه تبخیری (بیلان آبی صفر)، تالاب (ارتفاع سطح ایستابی ۰/۲۵+ متر) و تالاب (ارتفاع سطح ایستابی ۰/۵+ متر)، با استفاده از مقادیر زهاب باقیمانده از زراعت نیشکر، جو و اوکالیپتوس برابر با ۰/۴۳۴۸ متر در طول یک سال زراعی به ترتیب برابر با ۵/۷۱۵، ۱۲/۶۱ و ۱۹/۵۱ هکتار است. به‌عبارت‌دیگر، آب‌های زهکشی مساحت‌های گفته شده باید جمع‌آوری و به یک هکتار حوضچه تبخیری و یا تالاب‌های مربوطه تخلیه و دفع گردد. نتایج محاسبه بیلان آبی و اجزاء مربوطه با استفاده از برنامه

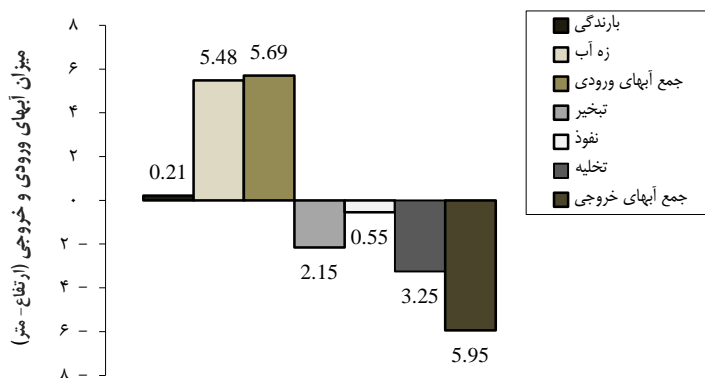
همچنین، در حالت ایجاد تالاب (با ارتفاع سطح ایستابی $+0/5$ متر) (شکل ۵) به ازای هر $19/51$ هکتار از زمین های مورد کشت به مساحتی حدود یک هکتار زمین برای تخلیه زهاب ها نیاز خواهد بود. با برقراری بیلان آبی ($+0/25$ و $+0/50$ متر)، به دلیل جلوگیری از تغلیظ نمک های محلول در زهاب ها که به تالاب تخلیه می شوند، به تدریج کیفیت آب های استغراقی بر روی زمین های تالاب بهبودی حاصل نموده و تالاب به صورت زنده و فعال از نظر بیولوژیکی درمی آید.

در این شرایط از نظر کاربری اراضی (حتی بایر و درجه شش از نظر قابلیت آبیاری و کشاورزی) ایجاد تالاب (با ارتفاع سطح ایستابی $+0/5$ متر) شرایط بسیار مطلوب تری را حاصل می نماید.

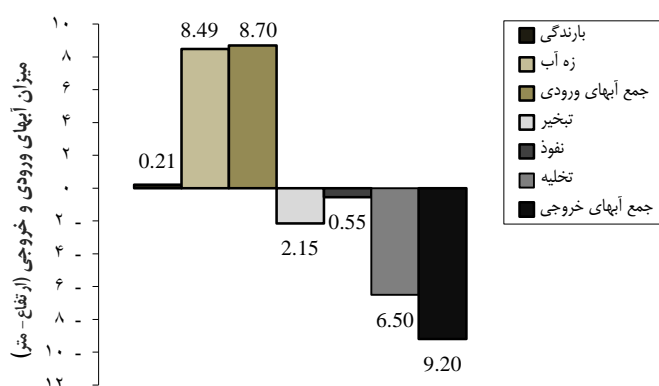
حجم آبی معادل $59462/0$ مترمکعب از طریق تبخیر سطحی و نفوذ عمقی و تخلیه آب از تالاب به منظور کنترل سطح ایستابی $+0/25$ متر در سطح زمین های تالاب خارج می شود که از این مقدار $54831/0$ مترمکعب آن باید از طریق جمع آوری زهاب های محدوده مورد زهکشی برابر با $12/61$ هکتار برای تخلیه به یک هکتار زمین تأمین شود که با احتساب مقادیر بارندگی، جمع کل آب های ورودی به $56961/0$ مترمکعب در سال بالغ می گردد و با کسر جمع کل آب های خروجی از تالاب ($59462/0$ مترمکعب)، $2500/0$ مترمکعب از جمع کل آب های ورودی صرف نگهداشت عمق آبی برابر با $+0/25$ متر در طول سال به روی سطح تالاب خواهد شد.

جدول ۸- کمیت های بیلان آبی برای جمع آوری و تخلیه آب های زهکشی، محدوده مورد زهکشی $5/715$ هکتار برای ایجاد یک هکتار حوضچه تبخیری (بیلان صفر)

ردیف	ماه	میزان آب های ورودی از حوضچه تبخیری (ارتفاع- متر)			میزان آب های خروجی از حوضچه تبخیری (ارتفاع- متر)			بیلان (متر)			
		بارندگی ماهیانه	زه آب	تغذیه آب	جمع کل	تبخیر	نفوذ عمقی		تخلیه آب	جمع کل	افزایش
۱	فروردین	$0/01973$	$0/1488$	-	$0/1686$	$0/20757$	$0/0465$	-	$0/25407$	$0/0855$	-
۲	اردیبهشت	$0/00851$	$0/5308$	-	$0/5393$	$0/29646$	$0/0465$	-	$0/34296$	$0/1964$	-
۳	خرداد	$0/00202$	$0/5519$	-	$0/5539$	$0/32713$	$0/0465$	-	$0/37363$	$0/1802$	-
۴	تیر	$0/000176$	$0/4139$	-	$0/4140$	$0/29162$	$0/0465$	-	$0/33812$	$0/0759$	-
۵	مرداد	$0/00021$	$0/1074$	-	$0/1074$	$0/25373$	$0/0465$	-	$0/30023$	$0/1928$	-
۶	شهریور	$0/000056$	$0/0961$	-	$0/0961$	$0/21351$	$0/0465$	-	$0/26001$	$0/1639$	-
۷	مهر	$0/00483$	$0/1290$	-	$0/1338$	$0/19976$	$0/0450$	-	$0/19476$	$0/0609$	-
۸	آبان	$0/02357$	$0/1160$	-	$0/1395$	$0/07852$	$0/0450$	-	$0/12352$	$0/0160$	-
۹	آذر	$0/04195$	$0/0518$	-	$0/0938$	$0/04562$	$0/0450$	-	$0/09062$	$0/0032$	-
۱۰	دی	$0/04808$	$0/0629$	-	$0/1109$	$0/0638$	$0/0450$	-	$0/10138$	$0/0096$	-
۱۱	بهمن	$0/03517$	$0/1029$	-	$0/1380$	$0/0858$	$0/0450$	-	$0/13458$	$0/0035$	-
۱۲	اسفند	$0/02892$	$0/1736$	-	$0/2025$	$0/14066$	$0/0435$	-	$0/18416$	$0/0138$	-
	مجموع (سالانه)	$0/21303$	$2/4850$	-	$2/698$	$2/1505$	$0/5475$	-	$2/698$	$0/5031$	$2/698$



شکل ۴- کمیت‌های بیلان آبی برای جمع‌آوری و تخلیه آب‌های زهکشی، محدوده مورد زهکشی ۱۲/۶۱ هکتار برای ایجاد یک هکتار تالاب (سطح ایستابی +۰/۲۵ متر)



شکل ۵- کمیت‌های بیلان آبی برای جمع‌آوری و تخلیه آب‌های زهکشی، محدوده مورد زهکشی ۱۹/۵۱ هکتار برای ایجاد یک هکتار تالاب (سطح ایستابی +۰/۵ متر)

استفاده از مقادیر زهاب باقیمانده از زراعت نیشکر و جو (۰/۶۰۵۴ متر)، به ترتیب برابر با ۴/۱۰، ۹/۰۶ و ۱۴/۰۲ هکتار به دست آمد. گزینه سوم، جمع‌آوری زهاب نیشکر و استفاده مجدد برای اوکالیپتوس و تخلیه نهایی به حوضچه تبخیری و یا تالاب مصنوعی:

نتایج اجرای این مدل نشان داد، با استفاده از زهاب یک هکتار زراعت نیشکر می‌توان ۰/۲۲ هکتار اوکالیپتوس کشت کرد و مساحت محدوده‌های مورد زهکشی برای برقراری بیلان آبی (صفر، +۰/۲۵ و +۰/۵۰ متر)، با استفاده از مقادیر زهاب باقیمانده از زراعت نیشکر و اوکالیپتوس (۰/۵۴۳۲ متر) به ترتیب برابر با ۴/۵۷، ۱۰/۱ و ۱۵/۶۲ هکتار تعیین شد.

گزینه چهارم، جمع‌آوری زهاب نیشکر و استفاده مجدد برای

گزینه دوم، جمع‌آوری زهاب نیشکر و استفاده مجدد برای

جو و تخلیه به حوضچه تبخیری و یا تالاب مصنوعی:

همان‌طور که در گزینه اول شرح داده شد، بررسی مقادیر شوری نهایی زهاب حاصل از کشت نیشکر در سال اول و دوم (شکل‌های ۲ و ۳)، نشان داد که با استفاده از زهاب حاصل از سال دوم کشت نیشکر می‌توان اقدام به کشت جو کرد.

نتایج تعیین مساحت زمین‌های قابل کشت جو که امکان آبیاری توسط زهاب‌های حاصل از یک هکتار زراعت نیشکر (جدول ۴) را دارند، نشان داد که با استفاده از این مقادیر می‌توان ۰/۵ هکتار را به زیر کشت جو برد. مطابق نتایج برنامه محاسباتی حوضچه تبخیری، مساحت محدوده‌های مورد زهکشی، برای برقراری بیلان آبی (صفر، +۰/۲۵ و +۰/۵۰ متر) در واحد سطح با

۰/۲۵+ متر) و تالاب (ارتفاع سطح ایستابی ۰/۵+ متر)، با استفاده از مقادیر زهاب باقیمانده از زراعت نیشکر، جو و اوکالیپتوس برابر با ۰/۴۳۴۸ متر در طول یک سال زراعی به ترتیب برابر با ۵/۷۱۵، ۱۲/۶۱ و ۱۹/۵۱ هکتار به دست آمد. لازم به ذکر است که بهتر است کیفیت زهاب مصرفی، با کیفیت آب کارون در طول دوره کشت (مخصوصاً در زمان دبی پایه کارون) مقایسه و سپس مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

برمکی، م.، پذیرا، ا.، همایی، م. و هدایت، ن. ۱۳۹۲. مدلی کاربردی برای برآورد غلظت زهاب‌های خروجی از سامانه‌های زهکشی زیرزمینی در زمین‌های تحت آبیاری برای شرایط جریان‌های ماندگار. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۷ (۴): ۴۵۳-۴۶۵.

رجب زاده، ف.، پذیرا، ا. و مهدیان، م. ح. ۱۳۹۰. بررسی و تعیین یک مدل تجربی برای آبشویی خاک‌های شور و سدیمی بخش میانی استان خوزستان. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۱۸ (۳): ۸۴-۶۱.

رجب‌زاده، ف. و پذیرا، ا. ۱۳۹۹. زه‌آب‌های کشاورزی، چالش‌ها و راهکارهای مصرف بهینه آن. چاپ اول. فصل چهارم. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی. ۶۰-۸۷.

شریفی‌پور، م.، لیاقت، ع.، ناصری، ع. ع.، نوذری، ح.، حاجیشاه، م.، زرشناس، م.، هویزه، ح. و نصری، م. ۱۳۹۹. مدیریت زهاب شبکه‌های آبیاری و زهکشی جنوب غربی استان خوزستان. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۵ (۲): ۵۳۹-۵۲۵.

عزیزی، م.، الباجی، م. و برومندنسب، س. ۱۳۹۶. ارزیابی آبیاری معمولی و سریالی با زهاب بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب مصرفی ذرت، سویا و آفتابگردان. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۸ (۳): ۶۸۸-۶۷۹.

مختارن، ع.، ناصری، ع. ع. و کشکولی، ح. ع. ۱۳۹۲. تعیین ضخامت فصل مشترک آب شور-شیرین در اراضی تحت آبیاری و آب زیرزمینی شور و کم عمق. دوازدهمین کنفرانس

اوکالیپتوس و سپس جو و تخلیه نهایی به حوضچه تبخیری و یا تالاب مصنوعی:

بررسی‌ها نشان داد، با استفاده از زهاب یک هکتار زراعت نیشکر می‌توان ۰/۲۲ هکتار را به زیر کشت اوکالیپتوس برد و با استفاده از باقیمانده زهاب نیشکر و زهاب ۰/۲۲ هکتار زراعت اوکالیپتوس، ۰/۴۴ هکتار جو کشت کرد. مساحت محدوده‌های مورد زهکشی برای برقراری بیلان آبی (صفر، ۰/۲۵+ و ۰/۵۰+ متر)، با استفاده از مقادیر زهاب‌های باقیمانده از کلیه زراعت‌ها (۰/۴۴۷۸ متر)، به ترتیب برابر با ۵/۵۵، ۱۲/۲۵ و ۱۸/۹۵ هکتار به دست آمد. به عبارت دیگر، آب‌های زهکشی مساحت‌های گفته‌شده باید جمع‌آوری و به یک هکتار حوضچه تبخیری و یا تالاب‌های مربوطه تخلیه و دفع گردد. عزیزی و همکاران (۱۳۹۶)، از زهاب کشت‌های ذرت، سویا و آفتابگردان به‌طور متوالی برای آبیاری کشت بعدی استفاده کردند. نتایج نشان‌دهنده برتری سیستم آبیاری با استفاده از زهاب نسبت به آبیاری معمولی در میزان صرفه‌جویی آب با کیفیت مطلوب، به میزان ۴۵/۵۹ درصد و افزایش بهره‌وری آب به میزان حداقل ۲ برابر بود.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد، گزینه اول، استفاده از زهاب نیشکر برای آبیاری جو و سپس استفاده از باقیمانده زهاب نیشکر و جو برای آبیاری اوکالیپتوس و تخلیه زهاب باقیمانده از کلیه زراعت‌ها به حوضچه تبخیری و یا تالاب بهترین حالت برای مدیریت زهاب می‌باشد. با توجه به کمبود منابع آبی، در این گزینه، زهاب نهایی کمتری به حوضچه تبخیری و یا تالاب تخلیه‌شده و هدر رفت زهاب کمتر است و همچنین، بخش زیادتری از زمین‌ها که به دلیل کمبود آب بدون استفاده مانده را می‌توان وارد چرخه تولید کشاورزی نمود. به‌طوری‌که با استفاده از زهاب یک هکتار زراعت نیشکر در سال دوم کشت، می‌توان ۰/۵ هکتار جو کشت کرد و با استفاده از باقیمانده زهاب یک هکتار نیشکر و زهاب ۰/۵ هکتار جو، می‌توان ۰/۲۲ هکتار اوکالیپتوس کاشت. در نهایت، مساحت محدوده‌های مورد زهکشی برای ایجاد یک هکتار حوضچه تبخیری (بیلان آبی صفر)، تالاب (ارتفاع سطح ایستابی

- O. W. and Ramadan, M. 2022. Drainage water reuse strategies: Case of El-Bats drain, Fayoum Governorate, Egypt. *Ain Shams Engineering Journal*. 13(5): 101681.
- Letey, J. 2005. Model describes sustainable long-term recycling of saline agricultural drainage water. *California Agriculture*. 57 (1): 24-27.
- Maas, E. V. and Hoffman, G. J. 1977. Crop Salt Tolerance-Current Assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*. 103: 115-134.
- Moursi, H., Youssef, M. A. and Chescheir, G. M. 2022. Development and application of DRAINMOD model for simulating crop yield and water conservation benefits of drainage water recycling. *Agricultural Water Management*. 266: 107592.
- Shaban, M. 2020. Drainage water reuse in the Nile Delta of Egypt: Fitting density functions and assessing temporal trends. *Irrigation and Drainage*. 69(4): 788-805.
- Tanji, K. K. and Kielen, N. C. 2002. *Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas*. FAO Irrigation and Drainage Papers. No. 61. Rome, Italy.
- Yazar, A., Metin, S., Yeşim, B., Çiğdem, İ. and Servet, T. 2017. Effect of planting times and saline irrigation of Quinoa using drainage water on yield and yield components under the mediterranean environmental conditions. *International Journal of Research in Agriculture and Forestry*. 4(8): 8-16.
- هیدرولیک ایران، تهران: دانشگاه تهران. ۸-۷ آبان. مختاران، ع، طاوسی، م، ورجاوند، پ. و سپهری صادقیان، س. ۱۳۹۹. بررسی اثرات استفاده از زهاب مزارع نیشکر جنوب خوزستان در کشت گیاه کینوا بر عملکرد محصول و تغییرات شوری و سدیمی خاک. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۴ (۳): ۳۵۵-۳۳۷.
- Arun, G. and Priyanka, T. 2021. Reuse of canal & drainage water in irrigation for wheat crop by using hydrus 2D software - A case study. *Water and Energy International*. 63(12): 6-11.
- Ashour, E., Zeidan, B. and Elshemy, M. 2021. Assessment of agricultural drainage water reuse for irrigation in El-Behira Governorate, Egypt. *Water Science*. 35(1): 135-153.
- Ashu, A and Lee, S. 2018. Reuse of agriculture drainage water in a mixed land-use watershed. *Agronomy*. 9(6): 1-18.
- Grattan, S. R., Grieve, C. M., Poss, J. A., Robinson, P. H., Suarez, D. L. and Benes, S. E. 2004. Evaluation of salt-tolerant forages for sequential water reuse systems: I. Biomass production. *Agricultural Water Management*. 70(2): 109-120.
- Jorgensen, G. S., Solomon, K. H. and Cervinka, V. 1992. "Agroforestry systems for on farm drain water management," in *Drainage and water table control: Proc. Sixth International Drainage*, American Society of Agricultural Engineers. 484-490.
- Khairy, S., Shaban, M., Negm, A. M., Eldeen,

Management of Drainage Waters from Sugarcane Cultivation in Khuzestan Plain

F. Rajabzadeh^{1*} and E. Pazira²

Abstract

Due to the limited water resources and recent droughts, as well as the adverse environmental effects resulting from the unprincipled release of agricultural drainage waters, the management and optimal utilization of agricultural drainage waters is essential. In this study, the possibility of reusing drainage water from sugarcane cultivation in Khuzestan plain for barley and eucalyptus cultivation and final discharge to artificial wetlands or evaporation ponds was investigated as a simulation program. In this regard, using desalination tests, the best empirical model of soil desalination was determined in the study area. Using an empirical desalination model, a simulation model was prepared to determine the final values of salinity of soil (EC_f) for applying the depth percolation from irrigation of sugarcane. Then, based on the amount of sugarcane drainage water and water requirement of barley and eucalyptus, the area of arable land of these plants was determined. Also, by preparing a calculation program, the area of evaporative ponds or artificial wetlands was determined to drain the remaining drainage water from all crops. The results showed that using the drainage water of one hectare of sugarcane in the second year of cultivation, 0.5 hectares of barley can be cultivated and using the remaining drainage water of one hectare of sugarcane and drainage water of 0.5 hectare of barley, 0.22 hectare of eucalyptus planting. Finally, the area of drainage areas to create one hectare of evaporation pond (zero water balance), wetland (water level + 0.25 m) and wetland (water level height + 0.5 m), using the remaining drainage water amounts of sugarcane, barley and eucalyptus equal to 0.4348 m during a crop year was obtained equal to 5.715, 12.61 and 19.51 ha, respectively.

Keywords: Artificial ponds, Drainage water of sugarcane cultivation, Evaporation ponds, Leaching

¹ Assistant professor, Department of Agronomy, shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran (*Corresponding Author Email: faizehrajabzadeh@yahoo.com)

² Professor, Department of Soil Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 7 April 2022

Accepted: 15 May 2022