

## بررسی تأثیر عمق اختلاط بر کیفیت زه آب خروجی از زهکش در اراضی با آب زیرزمینی کم عمق و شور

مینا شکیبا<sup>1\*</sup>، عبدالمجید لیاقت، فرهاد میرزایی

کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی فارغ التحصیل از دانشگاه تهران؛

minashkb@yahoo.com

استاد گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه تهران؛

aliaghat@ut.ac.ir

استادیار گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه تهران؛

fmirzaei@ut.ac.ir

### چکیده

دفع زه آب خروجی از زهکش با شوری بالا و اثر مخرب آن بر محیط زیست همواره به صورت یکی از چالش‌های اساسی در طرح‌های زهکشی و مسائل زیست‌محیطی در کشور مطرح می‌باشد. بنابراین بایستی با تجزیه و تحلیل شبکه جریان و تعیین مسیرهای واقعی خطوط جریان آب و املاح به سمت زهکش سعی در کاهش حجم زه آب تولیدی و بهبود کیفیت آن نمود. در این تحقیق به منظور تعیین عمق اختلاط و بررسی عوامل مؤثر بر آن به عنوان پارامتر مؤثر بر شوری زه آب خروجی، از یک مدل فیزیکی از جنس پلاکسی گلاس استفاده شد. عمق اختلاط، دورترین خط جریان در زیر محل نصب لوله زهکش می‌باشد. برای انجام آزمایش‌ها ابتدا به آب داخل منبع آب زیرزمینی در مدل فیزیکی، پرمنگنات پتاسیم و NaCl اضافه شد تا ECL آب به 20 دسی‌زیمنس بر متر برسد. با تغییر در دبی ورودی و اعمال سطح ایستابی‌های مختلف، تغییرات عمق اختلاط با عکس‌برداری اندازه‌گیری و ثبت شد. نتایج به دست آمده نشان داد که با افزایش دبی آب آبیاری و ارتفاع سطح ایستابی عمق اختلاط افزایش یافته و باعث افزایش شوری زه آب خروجی می‌شود. به عنوان نمونه وقتی سطح ایستابی از 8 سانتیمتر به 23 سانتیمتر افزایش می‌یابد مقدار نمک خروجی در حدود 80 درصد افزایش می‌یابد. در مرحله بعد به منظور اعتبار سنجی مدل با استفاده از داده‌های صحرایی اندازه‌گیری شده در اراضی تحقیقاتی مرکز تحقیقات نیشکر واحد امیرکبیر خوزستان مقایسه بین شوری پیش بینی شده توسط مدل و شوری اندازه‌گیری شده صورت گرفت. نتایج تأثیر عمق اختلاط را بر شوری زه آب خروجی از زهکش نشان می‌داد.

واژه‌های کلیدی: محیط زیست، شوری زه آب، عمق اختلاط، سطح ایستابی

1. آدرس نویسنده مسؤول: اصفهان شهر جدید بهارستان خیابان آزادی مجتمع مسکونی میلاد کوچه دهم پلاک 17

\* دریافت: اردیبهشت، 1391 و پذیرش: اردیبهشت، 1392

## مقدمه

زهکشی به روش زیستی، زهکشی خشک و زهکشی کنترل شده را نام برد. استفاده از روش های مختلف برای مدیریت زه‌آب خروجی از زهکش در سرتاسر جهان همچون آبشویی دوره‌ای محیط ریشه برای کاهش غلظت نمک زه‌آب (3)، استفاده متناوب از آب شور و شیرین برای آبیاری محصولات با ترکیب کشت گونه های مقاوم و حساس به شوری (13)، استفاده مجدد از زه‌آب بصورت کاربرد آب شیرین برای آبیاری محصولات حساس به شوری و زه‌آب خروجی از آن برای آبیاری محصولات مقاوم به شوری (6) در سرتاسر جهان نیز از جمله اقدامات انجام شده در این زمینه می باشد.

در مدیریت زه‌آب، کاهش حجم و املاح زه‌آب و بهبود کیفیت آن از اهداف اصلی است. در طراحی عمق و فاصله زهکش‌ها، بایستی شبکه جریان تجزیه و تحلیل شده و مسیرهای واقعی خطوط جریان آب به سمت زهکش‌ها و انتقال املاح و نیز سهم هر کدام از لایه های زیر در جریان تعیین گردد. بخشی از جریان به سمت زهکش از ناحیه زیر زهکش است که در مناطق خشک و نیمه خشک شوری آب زیرزمینی در این ناحیه بیشتر و تأثیر آن بر کیفیت زه‌آب قابل توجه می باشد. امروزه از معادلات و مدل‌های زهکشی گوناگونی در طراحی و مدیریت سامانه های زهکشی استفاده می شود. در معادلات مربوط به محاسبه عمق و فاصله زهکش‌ها از عمق معادل استفاده می شود. عمق معادل به صورت تابعی از عمق لایه غیر قابل نفوذ، شعاع زهکش و فاصله زهکش‌ها ارائه شده است. در مدل های مدیریت آبیاری و زهکشی عمق معادل به عنوان عمق اختلاط آب نفوذ یافته از ناحیه بالا با آب های زیرزمینی در ناحیه زیر زهکش قلمداد می گردد. در چند سال اخیر تحقیقات گسترده ای در زمینه تأثیر طراحی سامانه های زهکش‌ها بر کیفیت زه‌آب خروجی انجام گردید و نتایج نشان داده است که زه‌آب زهکش های عمیق تر نسبت به زهکش‌های کم عمق از کمیت بیشتر و کیفیت پایین تری برخوردارند. بررسی آیارز و همکاران (2)

رشد روز افزون جمعیت، تأمین غذا، محدودیت منابع آب و توزیع نامناسب زمانی و مکانی آن و نیز خشکسالی های مکرر، آلودگی آب های سطحی و زیرزمینی نگرش جامع مدیریت منابع آب و خاک را ایجاب می کند. بر اساس بر آورد موسسه مدیریت بین-المللی آب<sup>1</sup> (IWMI.2001) بسیاری از کشورهای خاورمیانه و کشورهای شمال آفریقا و شمال چین و آفریقای جنوبی در سال 2025 با مشکل کمبود آب روبرو خواهند بود و این در حالی است که در بسیاری از این نقاط مشکلات شدید زیست محیطی ناشی از فعالیت های کشاورزی به صورت تهدیدی جدی برای منابع آب و خاک دیده می شود. در این میان زهکشی که یک نیاز مهم جهت توسعه آبیاری در نواحی خشک و نیمه خشک و افزایش تولید بشمار می رود با تولید زه‌آب حجیم با کیفیت نامطلوب اثرات مخربی بر محیط زیست باقی می گذارد (1).

تا چندی پیش مدیریت زه‌آب ها کمتر مورد توجه قرار می گرفت و تحقیقات زهکشی بر مسائل طراحی متمرکز بود. پس از کنفرانس سران جهان در سال 1992، کمیته بین‌المللی آبیاری و زهکشی توجه خود را بر مدیریت زه‌آب ها متمرکز و بر حفاظت و استفاده مجدد از منابع آب شیرین در مفهوم مدیریت جامع منابع تأکید نمود. از سوی دیگر بانک جهانی تعریف جدید و جامعی از زهکشی بصورت زیر ارائه نمود.

"زهکشی فرآیند خارج کردن آب سطحی اضافی و مدیریت سفره آب زیرزمینی کم عمق از طریق نگهداشت دفع و مدیریت کیفیت آب برای رسیدن به منافع دلخواه اقتصادی و اجتماعی است، در حالیکه محیط زیست حفظ شود". پس باید شیوه های معمول به روش های سازگار با محیط زیست تغییر داده شود در این راستا می توان افزایش کارایی مصرف آب و استفاده از زه‌آب و پساب فاضلاب ها و روش های جدید سازگار با محیط همانند

مدیریت زه آب است. در حدود 200000-180000 هکتار از اراضی تحت آبیاری در کشور مجهز به سامانه زهکشی می باشند که 120000-150000 هکتار آن در استان خوزستان واقع شده است (1).

در استان خوزستان تخلیه حجم قابل توجهی از زه آب های کشاورزی به رودخانه ها و آب های سطحی سبب کاهش کیفیت آب پایین دست گردیده است. برای مثال با شروع بهره برداری از طرح توسعه نیشکر در خوزستان و تخلیه زه آب های شور به رودخانه کارون در تالاب شادگان و اراضی سطحی مشکلات زیست محیطی فراوانی ایجاد شده است. استان خوزستان دارای آب زیرزمینی کم عمق و شور می باشد که به عنوان عامل تأثیرگذار بر کیفیت زه آب خروجی می باشد. شوری آب زیرزمینی تحت تأثیر مدیریت آبیاری متغیر بوده و روندی کاهشی طی می کند و تا رسیدن به حالت تعادل با شوری آب آبیاری ادامه می یابد. تحقیقات نودری و همکاران (11) بر روی شوری زه آب کشت و صنعت امیرکبیر یکی از طرح های هفت گانه توسعه نیشکر، زمان رسیدن به تعادل را 15 سال برآورد نمودند. در این فاصله زمانی، زه آب تولیدی با شوری نسبتا بالا باعث مشکلات در پایین دست گردیده و دفع آن همواره به عنوان یکی از مشکلات اساسی در طرح های زهکشی مطرح می باشد. بنابراین آگاهی از کمیت و کیفیت زه آب تولید شده به منظور مدیریت و کنترل آن امری ضروری می باشد.

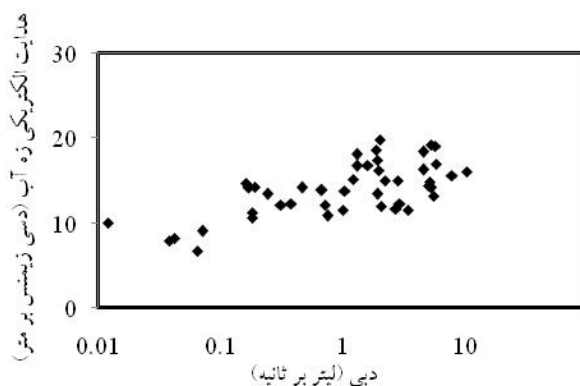
پذیرا و همکاران (12) شوری بالای زه آب خروجی از زهکش در خوزستان را ناشی از وجود لایه های افقی حاوی نمک و نترات در خاک و سطح ایستایی کم عمق و شور در زیر لوله های زهکش بیان کردند و پیشنهاد دادند که شوری زه آب خروجی از زهکش در دو بخش بررسی گردد، الف) بخش بالا که کیفیت آن متأثر از آبیاری و فعالیت های کشاورزی است ب) بخش پایین که کیفیت آن تحت تأثیر شوری آب زیرزمینی است. پذیرا و همکاران (12) همچنین کاهش عمق نصب زهکش را در جهت بهبود کیفیت زه آب خروجی از زهکش مؤثر دانستند.

نشان داد که زهکش های عمیق تر نسبت به زهکش هایی که در عمق کمتر نصب شده اند کیفیت زه آب پایین تری دارند. تحقیقات گریسمر (7) در دره سن جواکین کالیفرنیا که دارای آب زیرزمینی کم عمق شور بود نشان داد که با افزایش عمق و فاصله زهکش ها کیفیت زه آب خروجی کاهش می یابد. گوتنجس و همکاران (8) بیان کردند که معادلات مرسوم که برای طراحی سیستم های زهکشی جهت مصون نگه داشتن خاک در برابر ماندابی و شور شدن مورد استفاده قرار می گیرد، جهت مدیریت کیفیت زه آب ها کافی نمی باشد و این معادلات باید به روابطی که جابجایی و تغییرات شیمیایی در محلول خاک نواحی اشباع را در نظر می گیرند، ارتباط داده شوند. دورال و فیو (5) در یکی از مطالعات خود گزارش کردند که وقتی زهکش ها در عمق 1/8 متری نصب شوند، 30 درصد از جریان وارده به داخل آن ها از آب زیرزمینی خواهد بود و اگر عمق نصب به 2/6 متری برسد، این میزان 60 درصد خواهد بود. همچنین شوری زه آب ها خارج شده از زهکش هایی که در عمق 2 متری نصب شده اند بیش از شوری زه آب های خارج شده از زهکش هایی است که در عمق 1/7 متری هستند. کریستین و اسکهان (4) با بررسی های مزرعه ای در نواحی جنوب شرق استرالیا، تأثیر اصلاح پارامترهای طراحی و مدیریت سیستم های زهکشی زیرزمینی را بر کمیت و کیفیت زه آب ها مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج بدست آمده نشان داد که با تغییر عمق زهکشی از زیاد به کم تلفات آبیاری کاهش می یابد و کاهش حجم زه آب ها سبب کاهش بار نمک خارج شده از طریق زهکش ها می گردد.

ایران نیز یکی از کشورهای مواجه با کمبود منابع آب است. علاوه بر آن با مشکل ناشی از شوری اراضی کشاورزی روبروست. از 25 میلیون هکتار اراضی قابل کشت در کشور حدود 30 درصد دارای مشکل شوری می باشند که از سامانه های آبیاری و زهکشی برای مقابله با مشکل شوری و احیای اراضی کمک گرفته می شود. که در این بین تولید حجم عظیمی از زه آب با کیفیت نامطلوب و دفع آن به عنوان یکی از نگرانی ها در زمینه محیط زیست و

استدلال شد که به علت افزایش عمق آبشویی در اثر افزایش سطح ایستابی به دلیل آبیاری، جریان حجم بیشتری از آب زیرزمینی به سمت زهکش حرکت نماید. به گونه ای که در هنگام آبیاری، آب به سمت لایه های زیرین زهکش که دارای شوری بیشتری هستند حرکت کرده و همراه خود آب حاوی شوری به مراتب بیشتر از شوری پروفیل بالای زهکش را به سمت زهکش ها می برد.

تحقیقات نوذری و همکاران (11) در خوزستان نشان داد با افزایش دبی زه آب خروجی شوری زه آب نیز بیشتر می شود (شکل 1). نتایج آن تحقیق نشان داد در زمانی که آبیاری صورت می گیرد شوری زه آب خروجی بیشتر از شوری در فواصل بین آبیاری ها است. همچنین نتایج آزمایشات کیفیت زه آب خروجی نشان داد که شوری زه آب خروجی بیش از شوری آب آبیاری و آب زیرزمینی در لایه های نزدیک به زهکش می باشد. لذا



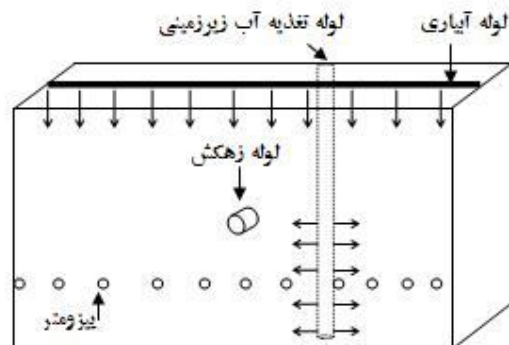
شکل 1- تغییرات هدایت الکتریکی زه آب خروجی در برابر دبی

## مواد و روش ها

### شرح مدل آزمایشگاهی

یک مدل فیزیکی از جنس پلاستیکی گلاس به ابعاد طول 1/86 متر، عرض 0/20 متر و ارتفاع 0/90 متر ساخته شد و جهت اطمینان از عدم نشت به طور کامل آب بندی شد. جهت تعیین موقعیت سطح ایستابی در خاک، پیزومترهایی در جداره مدل نصب گردید (شکل 2). به منظور ایجاد یک محیط همگن و یکنواخت، مدل با خاک ماسه ساحلی ریزبافت با رنگ روشن پر شد.

لذا هدف از تحقیق حاضر یافتن دلیل افزایش شوری زه آب خروجی در زمان آبیاری و بررسی تأثیر عمق اختلاط بر کیفیت زه آب خروجی از زهکش و پیدا کردن رابطه ای برای عمق اختلاط است. لذا با انجام آزمایش هایی تأثیر بار سطح ایستابی بر عمق نفوذ آب آبیاری از ناحیه بالای زهکش به زیر زهکش و اختلاط آن با آب زیرزمینی با کیفیت نامطلوب بررسی شد تا به عنوان گامی مؤثر در طراحی و مدیریت سامانه های زهکشی و بهبود کیفیت زه آب خروجی از آن استفاده گردد. در مرحله بعد برای بررسی اعتبار مدل فوق، از داده های صحرائی جمع آوری شده در اراضی زیرکشت نیشکر استفاده شد.



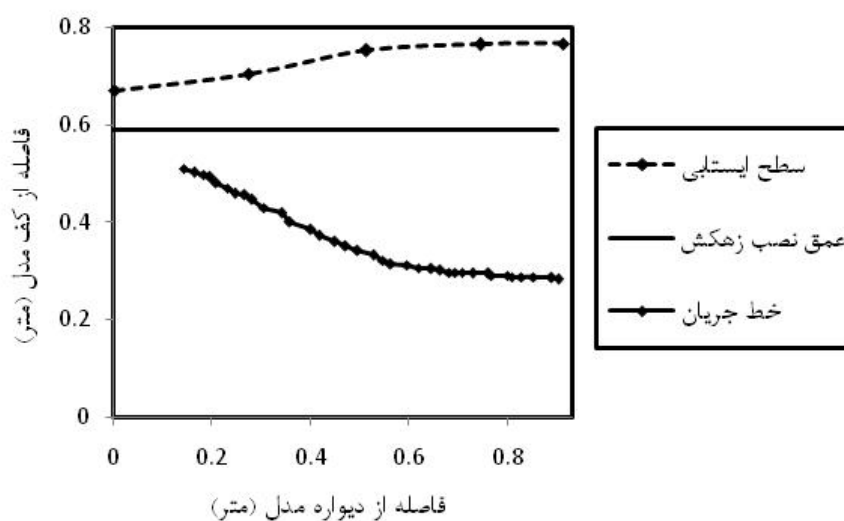
شکل 2- شکل شماتیک از مدل فیزیکی

با عکس برداری در فواصل زمانی کوتاه بعد از ثابت شدن سطح ایستابی، خط جریان تعیین می گردید. بعد از شستشوی محیط متخلخل، با تغییر دبی ورودی، سطح ایستابی در عمق دیگری تثبیت می شد و عمق شستشوی ماده رنگی در شرایط جدید اندازه گیری می گردید و به همین ترتیب آزمایش در 10 دبی مختلف (0/010، 0/015، 0/017، 0/021، 0/025، 0/029، 0/033، 0/045، 0/0625 و 0/0666 لیتر بر ثانیه) تکرار و داده ها در مورد شاخص های ارتفاع سطح ایستابی، میزان عمق شستشوی ماده رنگی، میزان دبی خروجی زهکش و شوری زه آب خروجی جمع آوری شدند. با ایجاد اعماق سطوح ایستابی مختلف، مسیردورترین خط جریان با عکس برداری و رقومی کردن آن توسط نرم افزار گرافر 7 و انتقال مقادیر به نرم افزار اکسل ترسیم شد. دورترین خط جریان عمق اختلاط نامیده شد. شکل (3) عمق اختلاط را به ازای یک دبی مشخص و شکل (4) خط جریان و سطح ایستابی را پس از رقومی شدن توسط نرم افزار گرافر 7 نشان می دهد.

کف مدل به منزله لایه غیر قابل نفوذ در نظر گرفته شد. در یک طرف مدل یک لوله تغذیه جانبی آب زیرزمینی تا عمق 5 سانتی متری از کف تعبیه شد. در قسمت فوقانی مدل نیز از سامانه آبیاری قطره ای و از آب آبیاری با شوری 1 دسی زیمنس بر متر استفاده گردید. ابتدا لوله زهکش در عمق 0/32 متری از سطح خاک نصب شد. از فیلتر ژئوتکستایل برای پوشش سطح جانبی لوله زهکش استفاده شد. برای انجام آزمایش ها ابتدا به داخل منبع تأمین آب زیرزمینی، پرمنگنات پتاسیم به عنوان ماده رنگی و NaCl اضافه گردید تا شوری آب به 20 دسی زیمنس بر متر مشابه با شوری آب زیرزمینی در اراضی کشت و صنعت امیرکبیر برسد. با استفاده از لوله تغذیه، ابتدا سطح آب زیرزمینی تا زیر زهکش تثبیت می شد، به طوری که فاصله زیر زهکش تا کف مدل به طور یکنواخت رنگی شود. سپس با انجام آبیاری با دبی ثابت و مشخص از بالای سطح خاک در مدل، سطح ایستابی در بالای زهکش در زیر سطح خاک تثبیت می شد. با توجه به الگوی جریان به سمت زهکش ها، ابتدا نفوذ آب از سطح خاک به طرف سطح ایستابی عمود و رو به پایین و عمودی بوده پس از ورود آب به منطقه اشباع، خطوط جریان به صورت افقی به سمت زهکش ها جریان می یافت و در اطراف زهکش نیز به صورت شعاعی وارد لوله می شد. از آنجائی که دیواره مدل شفاف است مشاهده خطوط جریان به سهولت میسر می شد.



شکل 3- تصویر عمق اختلاط به ازای دبی مشخص



شکل 4 - تصویر سطح ایستابی و عمق اختلاط به ازای دبی مشخص

$$Y = 1.028X + 0.032$$

که در آن

$Y =$  عمق اختلاط (متر)

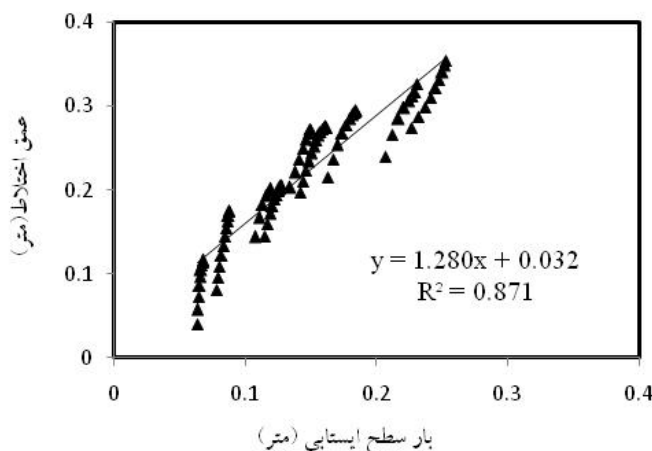
$X =$  بار هیدرولیکی (متر)

بنابراین در هنگام آبیاری و با افزایش بار هیدرولیکی، عمق اختلاط افزایش می یابد و جریانات عمودی به عمق بیشتری در زیر زهکش نفوذ می کنند و حجم ناحیه شسته شده افزایش می یابد.

## نتایج و بحث

### 1. اثر بار هیدرولیکی بالای زهکش بر روی عمق اختلاط

به منظور بررسی اثر بار هیدرولیکی بالای زهکش بر عمق اختلاط، بار هیدرولیکی در مقابل عمق اختلاط به ازای دبی های مختلف رسم گردید. همانطور که در شکل (5) مشاهده می کنید با افزایش بار هیدرولیکی، عمق اختلاط افزایش می یابد و رابطه این دو به صورت یک تابع خطی بصورت زیر می باشد.



شکل 5- نمودار رابطه بار هیدرولیکی و عمق اختلاط

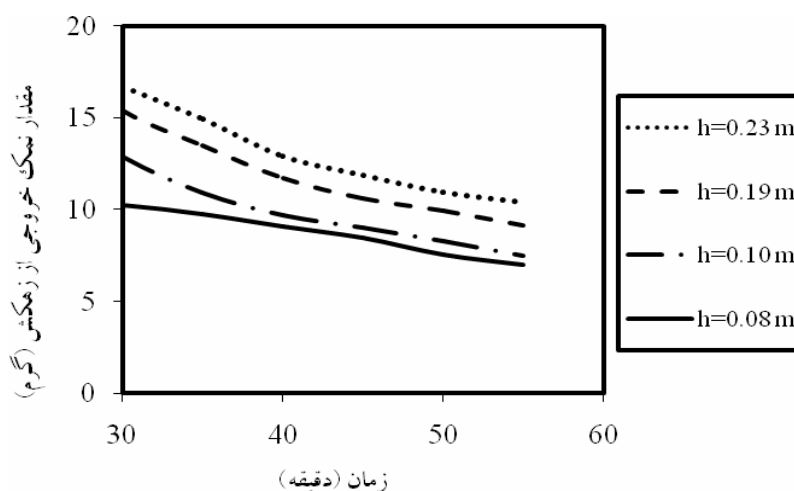
یعنی 80 درصد افزایش می یابد. با مقایسه مقادیر شوری زه آب خروجی در مقایسه با شوری آب آبیاری و شوری ناحیه بالای زهکش می توان تأثیر شوری ناحیه زیر زهکش را بر زه آب خروجی از زهکش مشاهده کرد. تحقیقات ژوری و همکاران (10)، در شبیه سازی عملیات استفاده مجدد از زه آب جهت آبیاری زمین های کشاورزی نشان داد که مقدار زیادی از آب زهکشی به آب زیرزمینی تعلق دارد.

با توجه به تحقیقات نوذری و همکاران (11) در خوزستان، که افزایش شوری زه آب خروجی از زهکش را در زمان آبیاری نشان می دهد می توان اینطور استدلال کرد که در هنگام آبیاری افزایش بار هیدرولیکی سبب افزایش عمق اختلاط گردیده و در نتیجه آب به سمت لایه های زیرین زهکش که دارای شوری بیشتری نسبت به لایه های رویی زهکش هستند جریان یافته که باعث افزایش شوری زه آب خروجی از زهکش می شود.

با کاهش عمق نصب زهکش ها و با ثابت فرض نمودن عمق سطح ایستابی نسبت به زمین، بار هیدرولیکی کاهش یافته لذا میتوان بیان نمود که عمق اختلاط نیز کاهش می یابد و کیفیت زه آب در اراضی با آب زیرزمینی کم عمق و شور بهتر می شود. لذا از عوامل بهبود کیفیت زه آب خروجی از زهکش در اثر کاهش عمق نصب زهکش را می توان کاهش عمق اختلاط ذکر نمود.

## 2. تأثیر بار هیدرولیکی بالای زهکش بر شوری زه آب خروجی

برای بررسی تأثیر بار هیدرولیکی بالای زهکش و عمق اختلاط بر شوری زه آب خروجی، مقادیر نمک خروجی از زهکش به ازای سطح ایستابی های مختلف (h)، در شکل 6 رسم شد. بعد از ثابت شدن سطح ایستابی با نمونه برداری از زه آب خروجی در فواصل زمانی مشخص و تعیین شوری آن بوسیله EC متر، نمودار مقادیر نمک خروجی از زهکش به ازای سطح ایستابی های مختلف رسم گردید. همان طور که مشاهده می شود، با افزایش بار هیدرولیکی بین دو زهکش، بر میزان نمک خروجی از زهکش افزوده می شود. با توجه به رابطه خطی بین عمق سطح ایستابی و عمق اختلاط، افزایش شوری در زه آب خروجی ناشی از افزایش عمق اختلاط می باشد. با توجه به یکسان بودن میزان شوری آب زیرزمینی در ابتدای هر دو آزمایش (برابر با 20 دسی زیمنس بر متر) پس می توان نتیجه گرفت که با افزایش بار هیدرولیکی بین دو زهکش، حجم ناحیه ای از زیر زهکش که با آب نفوذ یافته از بالای زهکش اختلاط می یابد، افزایش یافته و باعث افزایش میزان نمک خروجی توسط زه آب شده است. به عنوان نمونه از روی شکل 5 وقتی با ر هیدرولیکی در وسط دو زهکش از 8 سانتیمتر به 23 سانتیمتر برسد مقدار نمک از حدود 8 گرم به حدود 14 گرم



شکل 6- مقادیر نمک خروجی از زهکش به ازای بار هیدرولیکی مختلف در طول آزمایش

$$[2] \quad \frac{d}{D} = 0.143 - 27.1\left(\frac{h}{K}\right)^4 + 2.34\left(\frac{q}{K}\right)$$

$$[3] \quad d = h \frac{0.143 - 27.1\left(\frac{h}{K}\right)^4 + 2.34\left(\frac{q}{K}\right)}{0.0539 - 6.81\left(\frac{h}{L}\right)^4 + 1.83\left(\frac{q}{K}\right)}$$

که در آن :

$h$  = ارتفاع سطح ایستابی از لبه پایین لوله زهکش در

فواصل مختلف از طرفین لوله زهکش بر حسب متر

$D$  = فاصله لوله زهکش از لایه نفوذناپذیر (کف مدل

آزمایشگاهی) بر حسب متر

$q$  = ضریب زهکشی بر حسب متر مکعب بر ثانیه

$K$  = هدایت هیدرولیکی اشباع خاک بر حسب متر در ثانیه

$x$  = فاصله از دیواره مدل بر حسب متر

$L$  = فاصله بین دو زهکش (عرض مدل آزمایشگاهی) بر

حسب متر

$d$  = عمق اختلاط بر حسب متر

### اعتبار سنجی مدل

به منظور اعتبار سنجی مدل از داده های جمع آوری

شده از مزرعه 25 هکتاری ARC1-18 واقع در اراضی

تحقیقاتی مرکز تحقیقات نیشکر واحد امیر کبیر که یکی از

واحدهای هفت گانه طرح توسعه نیشکر می باشد، استفاده

### 3. تعیین عمق اختلاط در فاصله مشخص از زهکش

اطلاعات جمع آوری شده از آزمایشات در قالب داده

های بی بعد مؤثر بر سطح ایستابی و عمق معادل، برای

عمق نصب 32 سانتی متری زهکش با استفاده از نرم افزار

کامپیوتری Mini-tab و تحلیل آماری مورد بررسی قرار

گرفت. برای بدست آوردن رابطه توسط نرم افزار Mini-

tab پارامترها بصورت داده های بی بعد وارد نرم افزار

شده و بهترین معادله با توجه به بالاترین ضریب

همبستگی بین پارامترها انتخاب شد.

با استفاده از تحلیل آماری و بی بعد کردن سطح

ایستابی، دبی خروجی از زهکش و فاصله از دیواره مدل،

معادله 1 استخراج گردید. مشابهاً معادله 2 با بی بعد کردن

عمق اختلاط، دبی خروجی و فاصله زهکش تا کف مدل

به دست آمد. رابطه سطح ایستابی و عمق اختلاط (معادله

3) نیز از ترکیب دو معادله فوق حاصل شد. طبق نتایج

آماری، ضرایب معادله از اطمینان 99 درصد برخوردار

می باشد.

$$[1] \quad \frac{h}{D} = 0.0539 - 6.81\left(\frac{h}{L}\right)^4 + 1.83\left(\frac{q}{K}\right)$$



که در آن  $C_a$ ،  $C_b$  و  $C_c$  به ترتیب غلظت زه آب، غلظت جریان به سمت زهکش از بالا و پایین زهکش و  $Q_d$  دبی خروجی از زهکش می باشد.  $C_b$  با استفاده از پروفیل شوری اندازه گیری شده توسط نودری (11) و عمق اختلاط محاسبه شد. بدین منظور عمق اختلاط با استفاده از رابطه (3) برای مقادیر مختلف بار سطح ایستابی محاسبه و شوری با توجه به پروفیل شوری در ناحیه عمق اختلاط مشخص شد. سپس  $C_b$  بصورت میانگین شوری در عمق محل نصب زهکش و عمق اختلاط محاسبه شد. به همین ترتیب  $C_a$  نیز متوسط شوری در سطح خاک و شوری در محل نصب زهکش در نظر گرفته شد. شوری زه آب با استفاده از رابطه (5) محاسبه شد و با شوری اندازه گیری شده مقایسه گردید. همانطور که در شکل (7) مشاهده می شود روند تغییرات شوری زه آب شبیه سازی شده در طول دوره تحقیق مشابه با روند تغییرات شوری زه آب اندازه گیری شده می باشد. علاوه بر آن ضریب همبستگی بین داده ها 0/90 بدست آمد. تفاوت ناچیز بین دو منحنی را می توان ناشی از حرکت به سمت بالا توسط جریان کاپیلاری در خاک و یا مقدار نمک جذب شده توسط گیاه در اراضی تحت کشت نیشکر واحد امیرکبیر در خوزستان دانست.

شد. در طی دوره آبیاری نیشکر، دبی خروجی زهکش ها، بار سطح ایستابی، شوری زه آب و پروفیل شوری لایه های زیر زهکش تا عمق لایه غیر قابل نفوذ ثبت شده بود. که برای اعتبار سنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت. مقایسه بین شوری زه آب خروجی شبیه سازی شده و اندازه گیری شده

برای ارزیابی مدل مقایسه ای بین شوری زه آب خروجی اندازه گیری شده توسط نودری (11) در خوزستان و شبیه سازی شده به کمک مدل و پروفیل شوری انجام گرفت.

به دلیل تفاوت قابل ملاحظه بین شوری لایه های خاک در بالا و پایین زهکش، همانطور که در رابطه 4 مشاهده می شود، جریان با استفاده از معادله هوگات (9) به جریان در ناحیه بالای زهکش و جریان در ناحیه زیر زهکش تفکیک شد.

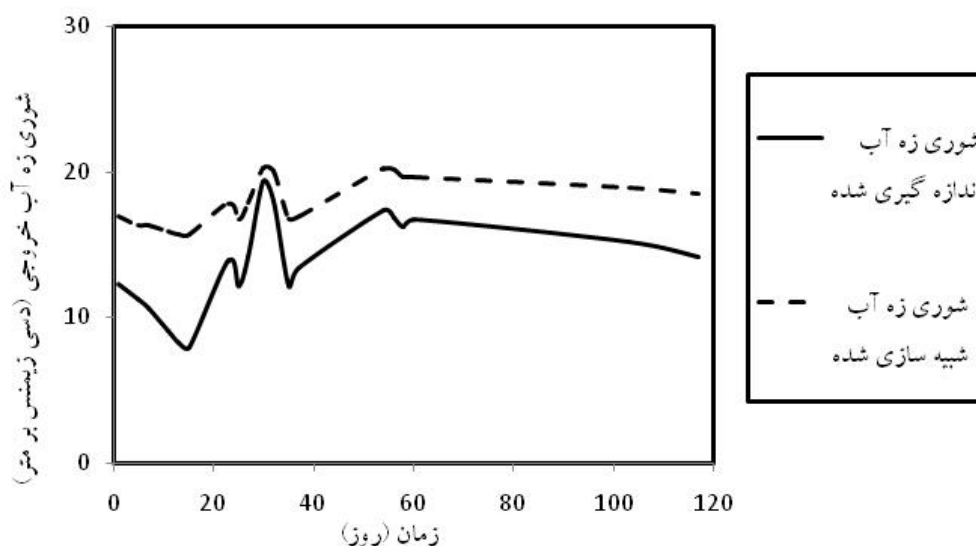
(4)

$$q = (8K_b d_e h / L^2) + (4K_a h^2 / L^2)$$

که در آن  $L$  فاصله بین دو زهکش،  $K_b$  هدایت هیدرولیکی لایه های بالای زهکش،  $K_a$  هدایت هیدرولیکی لایه های زیرین زهکش،  $d_e$  عمق اختلاط،  $h$  ماکزیمم بار هیدرولیکی در وسط دو زهکش و  $q$  شدت آبیاری و یا بارندگی می باشد.

با لحاظ میانگین وزنی، شوری زه آب خروجی از زهکش ناحیه بالای زهکش و زیرین زهکش به این صورت که با معادل قرار دادن جرم شوری سمت چپ و راست معادله 5. یعنی ضرب کردن غلظت  $C_a$  در سمت چپ و  $C_b$  در سمت راست معادله 4 معادله 5 به صورت زیر بدست می آید.

$$q_a c_a = (8K_b d_e h / L^2) c_b + (4K_a h^2 / L^2) c_a \quad (5)$$



شکل 7- شوری زه آب خروجی از زهکش در زمان داده برداری

#### شاخص های آماری

تعیین کارایی و دقت مدلها با استفاده از شاخص های آماری امکان پذیر است (11). تعدادی شاخص های آماری وجود دارد. در تحقیق حاضر از شاخص باقیمانده میانگین مربع خطاها (RMSE) و شاخص توافق (d) برای مقایسه مقادیر اندازه گیری و برآورد شده از مدل استفاده شده است.

$$RMSE = \left[ \left( \frac{1}{N} \right) \sum_{i=1}^N ((O_i) - (P_i))^2 \right]^{0.5}$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N ((P_i) - (O_i))^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i| + |O_i|)^2}$$

که در آن:

$$P_i = P_i - \bar{O}$$

$$O_i = O_i - \bar{O}$$

$P_i$  و  $O_i$  به ترتیب مقادیر داده های شبیه سازی و مشاهده شده و N تعداد داده ها و  $\bar{O}$  میانگین مقادیر داده های مشاهده شده است. شاخص توافق بین صفر و یک متغیر بوده و هر چه این مقدار به یک نزدیک باشد بیانگر دقت

بیشتر و نزدیکی مشاهدات و پیش بینی هاست. در تحقیق حاضر این شاخص مقدار 0/7 بدست آمد که نشان دهنده دقت خوب مدل در برآورد و پیش بینی است. هر چه میزان RMSE نیز کوچکتر باشد بیانگر دقت و نزدیکی داده های اندازه گیری شده و پیش بینی شده است مقدار این شاخص نیز برابر 4/5 است که در محدوده قابل قبول قرار دارد.

در محاسبه شوری زه آب خروجی از زهکش، عمق اختلاط به عنوان عامل مؤثر در زیر ناحیه زهکش است. نتایج فوق را به این صورت می توان بیان کرد که در مناطقی که تغییرات شدید در شوری لایه های زیرین زهکش دیده می شود مانند استان خوزستان، تغییرات عمق اختلاط تأثیر چشمگیری در شوری زه آب خروجی دارد.

در این تحقیق عمق اختلاط به عنوان عمق مؤثر در ناحیه زیر زهکش بر کیفیت زه آب خروجی از زهکش معرفی شد. عمق اختلاط بر خلاف عمق معادل متأثر از بار سطح ایستابی بین دو زهکش می باشد و به طوری که

مورد مقایسه قرار گرفت که نشان از شبیه سازی خوب با همبستگی 0/9 بین آن دو است.

در این تحقیق به بررسی عمق اختلاط و پارامترهای مؤثر بر آن پرداخته شد. با افزایش سطح ایستابی، عمق خطوط اختلاط افزایش می یابد که در مناطقی با آب زیرزمینی کم عمق و بسیار شور (مانند شرایط در استان خوزستان)، باعث افزایش شوری زه آب خروجی می شود. شوری بالای زه آب خروجی از زهکش در زمان آبیاری در خوزستان گزارش شده است که نتایج تحقیق حاضر با آن همخوانی دارد. لذا توصیه می شود در چنین مناطقی عمق نصب و فاصله زهکش ها کمتر در نظر گرفته شود تا به تبع آن، ارتفاع سطح ایستابی و عمق اختلاط کاهش یابد و در نتیجه از خروج نمک های اعماق پایین تر جلوگیری به عمل آید.

با افزایش بار سطح ایستابی، عمق اختلاط (عمق ناحیه شسته شده توسط جریانات نفوذی) افزایش می یابد.

### نتیجه گیری

نتایج نشان می دهد که عمق اختلاط به صورت یک تابع خطی از بار هیدرولیکی است و در هنگام آبیاری افزایش بار هیدرولیکی سبب افزایش عمق اختلاط گردیده و در نتیجه آب به سمت لایه های زیرین زهکش که دارای شوری بیشتری نسبت به لایه های رویی زهکش هستند جریان یافته که باعث افزایش شوری زه آب خروجی از زهکش می شود. از نتایج بسیار ارزشمند تحقیق حاضر حصول یک معادله برای عمق اختلاط است که برای اولین بار در تحقیق حاضر ارائه می شود که تابع تقریباً همه عوامل هیدرولیکی و هیدرودینامیکی مؤثر در جریان آب به سمت زهکش ها است. شوری زه آب اندازه گیری شده با شوری برآورد شده از معادله ارائه شده

### فهرست منابع:

1. اکرم، م. 1383. روند تحولات زهکشی. سومین کارگاه فنی زهکشی کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران.
2. نوذری، ح.، لیاقت، ع. و خلقی، م. 1388. مدیریت شوری و بهره برداری از زه آب کشاورزی با استفاده از تحلیل پویایی سیستم. پایان نامه دکتری. دانشکده کشاورزی تهران.
3. Ayars, J.E., Patton, S.H and Shoneman, R.A. 1987. Drain water quality from arid irrigated lands, 5 th Nal Drain. Symp, Chicago, USA.
4. Biggar, J.W., Rolston D.E. and Nielsen D.R. 1984. Transport of salts by water, California.
5. Christen, E and Skehan, D. 2001. Design and Management of Subsurface horizontal drainage to reduce salt load. Irrigation and Drainage Engineering, ASCE. 127:148-155.
6. Deverel, S.J and Fio, J.L. 1990. Ground-Water flow and solute movement to drain laterals, Western San Joaquin, California. Water Resources Research. 27:233-246.
7. Drainage Reuse Technical Committee. 1999. Task 1. Drainage reuse. Final report of the technical subcommittee of the University of California Salinity/Drainage Program to the San Joaquin Valley Drainage Implementation Program. California Dep. Of Water Resources, Sacramento, California.
8. Grismer, M.E. 1993. Subsurface drainage system design and drain water quality. J. Irrigation and drainage engineering. ASCE. 119:537-543.
8. Guitijens, J.C., Ayars, J.E. and Grismer, M.E. 1997. Drainage design for water quality management: Overview. J. Irrigation and Drainage engineering. ASCE. 123:148-153.
9. Hooghoudt, S.B. 1936. Bijdragen tot de kennis van enige natuurkundige grootheden van de grond, Verslagen Landbouwkundig onderzoek. 42 :449-541, The Hague ( in Dutch)
10. Jurry, W.A., Tuli, A. and Letey, J. 2003. Effect of travel time on management of a sequential reuse drainage operation. Soil Soc. Am. J. 67: 1122-1126.

11. Pazira, E. Homae, M. 2010. Salt leaching efficiency of subsurface drainage system at presence of diffusing saline water table boundary, 17th Word Congress of the International Commission of Agricultural Engineering (CIGR ), June 2010, Qeuebec City, Canada.
12. Rhoades, J.D., BinghamL, F.T., Letey, j., Dedrick, A.R., Bean M., Hoffman G.J., Alves W.J., Swain R.V., Pacheco P.G., and Lemert, R.D. 1988. Reuse of drainage water for irrigation: Results of Imperial valley study. Hilgardia. 56:1-1.