

## بررسی آزمایشگاهی تغییرات زمانی شوری زه آب کشاورزی مربوط به عمق‌های مختلف زهکش

حامد نوذری<sup>۱\*</sup> و عادل زالی<sup>۲</sup>

### چکیده

وجود آب زیرزمینی کم‌عمق با شوری بالا در مناطقی مانند خوزستان سبب خارج شدن زه‌آب با کیفیت پایین از زهکش‌ها می‌شود. یکی از عوامل مؤثر در کیفیت زه‌آب خروجی در این مناطق عمق نصب زهکش است که سبب خروج نمک‌های آب زیرزمینی در اثر جریان‌های شعاعی می‌شود. هدف از انجام این پژوهش، تعیین روند تغییرات شوری زه‌آب خروجی و آب زیرزمینی نسبت به زمان، در عمق‌های مختلف استقرار لوله‌های زهکش است. برای انجام این پژوهش، از یک مدل آزمایشگاهی با ابعاد ۱/۸ در ۱ در ۱/۲ متر استفاده شد. زهکش‌ها در عمق‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متری نصب شدند. شوری آب زیرزمینی حدود ۶۵ دسی‌زیمنس بر متر تنظیم شد و آبیاری به وسیله آب با شوری ۰/۳۲۱ دسی‌زیمنس بر متر و دبی‌های ۰/۱۴، ۰/۱۱ و ۰/۰۷ لیتر بر ثانیه انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش عمق و دبی هر زهکش مقدار نمک خروجی نیز افزایش می‌یابد به طوری که بیشترین مقدار برای عمق نصب ۶۰ سانتی‌متر و دبی ۰/۱۴ لیتر بر ثانیه با مقدار ۹/۳ کیلوگرم و هدایت الکتریکی ۳۹/۶۵ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین مقدار برای عمق نصب ۲۰ سانتی‌متر و دبی ۰/۰۷ لیتر بر ثانیه با مقدار ۳/۰۱ کیلوگرم و هدایت الکتریکی ۲۹/۳۷ دسی‌زیمنس بر متر است.

**واژه‌های کلیدی:** تغییرات شوری، جریان شعاعی، زه‌آب، زهکش عمقی.

**ارجاع:** نوذری ح. و زالی ع. ۱۳۹۵. بررسی آزمایشگاهی تغییرات زمانی شوری زه‌آب کشاورزی مربوط به عمق‌های مختلف زهکش. مجله پژوهش آب ایران. ۱۷-۹: ۲۱.

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان.

\* نویسنده مسئول: [h.nozari@basu.ac.ir](mailto:h.nozari@basu.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۹/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۵/۰۷

## مقدمه

شوری خاک یکی از معضلات مهم در مناطق خشک و نیمه‌خشک با تراز سطح آب کم‌عمق است که تحت تأثیر اقلیم، نوع خاک، نوع گیاه، کیفیت آب آبیاری، نوع مدیریت اعمال شده در آبیاری، تراز سطح آب و شوری آب زیرزمینی قرار دارد. هم‌اکنون در کشور ما نیز حدود ۳۰ درصد از اراضی تحت آبیاری به دلیل شوری بالای آب زیرزمینی و سطح ایستابی کم‌عمق، شور هستند (جرعه‌نوش و همکاران، ۲۰۰۳) که برای استفاده از این اراضی باید آب‌شویی انجام شود. پس برای بهره‌برداری مفید از اراضی کشاورزی که زیر کشت آبی قرار دارند و بیشتر بدون سیستم زهکشی مناسب هستند، تقویت و احداث سیستم‌های زهکشی امری ضروری است. لازم به ذکر است اگر چه این سیستم امکان تولید زراعی در خاک‌های شور و مرطوب را فراهم می‌کند اما با انتقال آلاینده‌های موجود در خاک و آب زیرزمینی به آب‌های سطحی، سبب تخریب برخی از زیست‌بوم‌های آبی می‌شود. نگرش سنتی حاکم بر طراحی سیستم‌های زهکشی، هدف زهکشی را منحصر به افزایش عملکرد گیاه و بهبود شرایط محیط رشد کرده است و اثرات زیست‌محیطی طرح‌های زهکشی را بررسی نمی‌کنند. امروزه این نگرش جایگاه خود را از دست داده است و در نگرش جدید علاوه بر اهداف کشاورزی و تولیدی، اهداف زیست‌محیطی نیز در طرح‌های زهکشی بررسی می‌شوند (جعفری، ۱۳۹۰). بنابراین در طراحی پارامترهای زهکشی (عمق و فاصله زهکش‌ها) باید مسائل زیست‌محیطی نیز مورد توجه قرار گیرد. عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی از عوامل مهم در عملکرد سیستم‌های زهکشی و اثرات زیست‌محیطی این طرح‌ها است. در مناطقی با آب شور کم‌عمق مانند خوزستان، افزایش عمق نصب زهکش‌ها می‌تواند سبب افزایش نمک خروجی از زهکش‌های زیرزمینی شود. کاهش عمق نصب زهکش‌ها نیز پیامدهایی مانند ماندابی شدن، تجمع نمک در ناحیه ریشه و کاهش عملکرد گیاه را در پی دارد (نظری و همکاران، ۱۳۸۷).

رضی و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر عمق نصب زهکش بر شوری زه‌آب خروجی از نیم‌رخ خاک رس سیلتی پرداختند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که هدایت الکتریکی آب خروجی با افزایش عمق نصب زهکش‌ها افزایش می‌یابد. همچنین بیشترین شوری خارج

شده از زهکش‌های نصب شده در عمق‌های ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۸۵ متری به ترتیب برابر ۴۳/۱، ۵۵/۶ و ۱۳۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر است. در نتیجه می‌توان با کاهش عمق نصب زهکش‌ها سبب بهبود کیفیت آب خروجی و کاهش مقدار آن شد. اصلانی و همکاران (۱۳۸۹) به کمک مدل آزمایشگاهی و یک مدل عددی، عمق و فاصله مناسب زهکش‌های زیرزمینی را بر اساس کیفیت زه‌آب خروجی برآورد کردند. پناهی و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی داده‌های جمع‌آوری شده از اراضی توسعه نیشکر واحد امیرکبیر اهواز به این نتیجه رسیدند که وقتی آب آبیاری دارای کیفیت بهتری نسبت به آب زیرزمینی است، در اثر اختلاط آب آبیاری و آب زیرزمینی، با گذشت زمان غلظت شوری آب زیرزمینی کاهش می‌یابد و به شوری آب آبیاری نزدیک‌تر می‌شود.

نتایج بررسی دورال و فیو (۱۹۹۰) نشان داد سهم مشارکت آب زیرزمینی در زه آب خروجی و همچنین شوری زه‌آب خروجی زهکش‌های عمیق نسبت به زهکش‌های کم‌عمق بیشتر است. آیارز و همکاران (۲۰۰۶) برای بهبود مدیریت آب، زهکشی کنترل شده را بررسی کردند. در این بررسی طراحی سیستم زهکشی به همراه سازه‌های کنترل برای کاهش حجم زه‌آب و نمک تخلیه شده پیشنهاد شده است. همچنین در پژوهشی که توسط هورنباکل و همکاران (۲۰۰۷) در استرالیا انجام شد دو سیستم زهکشی چندسطحی و تک‌سطحی از نظر کیفیت زه‌آب خروجی با هم مقایسه شدند. نتایج نشان داد که سیستم زهکشی چندسطحی شستشوی سریع‌تری را از ناحیه ریشه بدون افزایش نمک خروجی از زهکش فراهم می‌کند. از طرف دیگر شوری زه‌آب در زهکش‌های کم‌عمق نسبت به زهکش‌های عمیق بسیار کمتر بوده است که نشان دهنده افزایش شوری خاک با عمق است. نوذری و همکاران (۱۳۸۸) در پژوهشی که در مزارع طرح توسعه نیشکر واحد امیرکبیر خوزستان انجام دادند، نشان دادند که شوری خاک بالای لوله‌های زهکش با آب آبیاری به تعادل رسیده و به طور تقریبی حدود دو برابر شوری آب آبیاری است پس بیان کردند که شوری بالای زه‌آب خروجی فقط می‌تواند در اثر شوری آب زیرزمینی منطقه باشد.

همان‌طور که گفته شد در مناطق خشک و نیمه‌خشک با تراز سطح ایستابی کم‌عمق مانند خوزستان، زه‌آب خروجی

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای انجام آزمایش‌ها یک مدل آزمایشگاهی در آزمایشگاه هیدرولیک گروه آب دانشگاه بوعلی سینا طراحی و ساخته شد. این مدل به صورت محفظه‌ای مکعب شکل به ابعاد  $1/8$  متر طول،  $1$  متر عرض و  $1/2$  متر ارتفاع است (شکل ۱). برای بررسی کمیت و کیفیت زه‌آب و نمک خروجی، از خاکی با بافت شنی و با قطر متوسط  $2/36$  میلی‌متر استفاده شد. برای تعیین موقعیت سطح ایستابی در خاک، پیژومترهایی روی صفحه‌ای که خط مدرجی نصب شده بود آماده شد. همچنین برای تعیین شوری هر لایه از خاک، شبکه‌ای از پیژومتر به عمق‌های مختلف و فاصله‌های  $15$  سانتی‌متر از یکدیگر در مدل نصب شد (شکل ۲). از لوله‌های خرطومی پلاستیکی به قطر  $3$  سانتی‌متر و طول  $100$  سانتی‌متر به عنوان لوله‌های زهکش زیرزمینی موج‌دار استفاده شد. لوله‌های مذکور در سه عمق  $20$ ،  $40$  و  $60$  سانتی‌متری از سطح خاک نصب شدند که فاصله زهکش تا لایه غیرقابل نفوذ نیز به ترتیب برابر با  $85$ ،  $65$ ،  $45$  سانتی‌متر است. لذا به منظور ایجاد فاصله زهکشی  $180$  سانتی‌متر، از یک عدد لوله زهکش در هر یک از اعماق مذکور استفاده شد. با توجه به اینکه در هر متر طول لوله حداقل  $800$  میلی‌متر مربع روزنه لازم است (علیزاده،  $1384$ )، در این پژوهش با محاسبه محیط و سطح لوله زهکش، منافذی به قطر  $1$  میلی‌متر و به صورت متقارن در اطراف لوله ایجاد شد. برای جلوگیری از مسدود شدن منافذ لوله‌های زهکش، از یک توری پلاستیکی به عنوان پوشش دور لوله استفاده شد. برای انجام آبیاری در قسمت فوقانی مدل از یک سیستم آبیاری سطحی و برای اندازه‌گیری دبی ورودی به سیستم نیز از روش حجمی استفاده شد. برای ثابت نگهداشتن دبی ورودی، یک منبع با بار ارتفاعی ثابت طراحی و ساخته شد.

برای انجام آزمایش‌ها، ابتدا عمق مورد نظر برای لوله‌های زهکش انتخاب شد، سپس با پمپ، آب با شوری  $65$  دسی‌زیمنس بر متر از یک مخزن به کف مدل آزمایشگاهی به گونه‌ای پمپاژ می‌شد تا سطح آب زیرزمینی هم‌تراز لوله‌های زهکش شود. پس از آن آبیاری با شوری  $0/321$  دسی‌زیمنس بر متر از قسمت فوقانی مدل و به کمک سیستم آبیاری طراحی شده انجام شد. به محض خروج زه‌آب از زهکش‌ها اندازه‌گیری دبی خروجی و

در مقایسه با آب آبیاری، شوری بسیار بالاتری دارد. پس مدیریت این‌گونه زه‌آب‌ها برای استفاده دوباره در بالا بردن بهره‌وری آب و به حداقل رساندن اثرات مخرب آن‌ها بر تولیدات گیاهی، حاصل‌خیزی خاک و محیط‌زیست، امری حیاتی و ضروری است. همچنین در خوزستان پروژه‌های زیادی در دست اجرا است که بعد از بهره‌برداری، حجم زیادی زه‌آب از آن‌ها تولید خواهد شد. بنابراین شناخت توزیع زمانی زه‌آب خروجی برای مدیریت زه‌آب‌های تولید شده بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

روش‌های مختلفی برای کنترل و مدیریت زه‌آب‌های شور وجود دارد که عبارتند از اختلاط آن‌ها با آب آبیاری، استفاده آن‌ها در پایین دست و کشت گیاهان مقاوم به شوری، تخلیه به رودخانه به اندازه‌ای که به کیفیت آب رودخانه صدمه نزند، تخلیه به حوضچه‌های تبخیر و شیرین کردن زه‌آب‌ها به طور نسبی و استفاده دوباره از آن‌ها (شکیبا و همکاران،  $1392$ ). انتخاب هر یک از روش‌ها یا ترکیبی از آن‌ها و تعیین سهم زه‌آب خروجی به هر یک از این روش‌ها بسیار مشکل است، زیرا کیفیت زه‌آب خروجی در حال تغییر است و این امر تصمیم‌گیری را مشکل می‌کند. بنابراین برای اعمال مدیریت صحیح روی زه‌آب‌های تولید شده باید تغییرات کمی و کیفی با زمان مشخص شود.

تاکنون بررسی‌های زیادی راجع به اثر عمق و فاصله زهکش‌ها بر کمیت و کیفیت زه‌آب خروجی انجام شده است ولی بررسی راجع به اثر کیفیت آب زیرزمینی بر کیفیت زه‌آب خروجی چندان واقع‌گرا نبوده و تغییرات کیفیت زه‌آب خروجی و آب زیرزمینی نسبت به زمان نیز مورد توجه قرار نگرفته است (آمیوفو،  $2009$ ). همچنین تأثیر عمق زهکش و دبی آب آبیاری روی کیفیت آن‌ها و زمان به تعادل رسیدن آب زیرزمینی با آب آبیاری که یکی از موارد بسیار مهم در مدیریت زه‌آب‌ها است، بررسی نشده است. پس هدف از انجام این پژوهش، بررسی تأثیر عمق نصب زهکش در دبی‌های مختلف بر میزان شوری اولیه زه‌آب خروجی و همچنین زمان به تعادل رسیدن آن با آب آبیاری و تعیین روند تغییرات آب زیرزمینی به صورت دینامیک است.

$$EC_{25} = EC_t - 0.02 \times (t - 25) \times EC_t \quad (1)$$

در این معادله  $EC_{25}$  هدایت الکتریکی در دمای ۲۵ درجه سلسیوس،  $EC_t$  هدایت الکتریکی قرائت شده هستند. برای محاسبه مقدار نمک خروجی از هر زهکش از معادله تجربی زیر استفاده شد (الیوت و همکاران، ۲۰۰۴):

$$TDS = 800 \times EC \quad (2)$$

که در آن  $EC$  بر حسب دسی‌زیمنس بر متر و باقیمانده خشک (TDS) بر حسب میلی‌گرم بر لیتر هستند. برای ترسیم نقشه‌های شوری لایه‌های مختلف زیر ناحیه زهکش از نرم‌افزار Surfer.8 و روش کریجینگ استفاده شد.

### نتایج و بحث

تغییرات هدایت الکتریکی زه آب نسبت به زمان برای هر سه عمق نصب زهکش در دبی‌های مختلف آب آبیاری در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به این شکل شوری زه آب زهکش با عمق ۲۰ سانتی‌متری و دبی ۰/۱۴ لیتر بر ثانیه با هدایت الکتریکی ۲۲/۶۸ دسی‌زیمنس بر متر شروع شده و در دقیقه ۷۵ با هدایت الکتریکی ۰/۶۴ دسی‌زیمنس بر متر که دو برابر شوری اولیه آب آبیاری است به تعادل رسید. با افزایش عمق زهکش به ۴۰ سانتی‌متر، شوری زه آب خروجی از ۳۱/۷۹ دسی‌زیمنس بر متر به ۰/۷۱ دسی‌زیمنس بر متر در دقیقه ۱۶۵ رسید. در مورد زهکش با عمق ۶۰ سانتی‌متری نیز هدایت الکتریکی زه آب خروجی با ۳۹/۶۵ دسی‌زیمنس بر متر شروع شده و در دقیقه ۱۶۵ که به عنوان زمان پایان آزمایش در نظر گرفته شد به ۱/۰۲ دسی‌زیمنس بر متر رسید. نتایج نشان داد که با افزایش عمق زهکش، میزان شوری زه آب خروجی افزایش یافته و در تمامی موارد با گذشت زمان شوری زه آب‌ها کم می‌شود. میزان شوری خروجی اولیه برای عمق‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر برای دبی ۰/۱۱ لیتر بر ثانیه به ترتیب برابر با ۲۴/۱۸، ۳۶/۵ و ۴۳/۴۴ دسی‌زیمنس بر متر و برای دبی ۰/۰۷ لیتر بر ثانیه به ترتیب برابر با ۲۹/۳۷، ۴۰/۲۳ و ۵۰/۳۱ دسی‌زیمنس بر متر است.

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت با افزایش عمق نصب زهکش، شوری زه آب خروجی افزایش می‌یابد.

نمونه‌برداری از زه آب‌ها شروع و تا زمانی که غلظت زه آب خروجی به دو برابر شوری آب آبیاری برسد، ادامه یافت. همچنین در تمام مدت آزمایش به کمک شبکه پیزومترهای نصب شده در اعماق و فواصل مختلف، شوری آب زیرزمینی نیز با فاصله‌های زمانی ۵ الی ۱۰ دقیقه قرائت شد. بعد از تمام شدن هر آزمایش قرائت شوری نمونه‌ها با دستگاه  $EC$  متر<sup>۱</sup> انجام گرفت. برای آماده‌سازی مدل برای آزمایش بعدی، عمل آب‌شویی با آب آبیاری و با استفاده از دو شیر خروجی که در کف مدل نصب شده بود انجام و آب‌شویی تا زمانی ادامه پیدا کرد تا شوری خروجی از کف مدل با شوری آب آبیاری برابر شود. سپس دبی آب آبیاری و یا عمق زهکش را تغییر داده و مراحل آزمایش برای شرایط جدید تکرار می‌شد.



شکل ۱- شمای کلی از مدل آزمایشگاهی

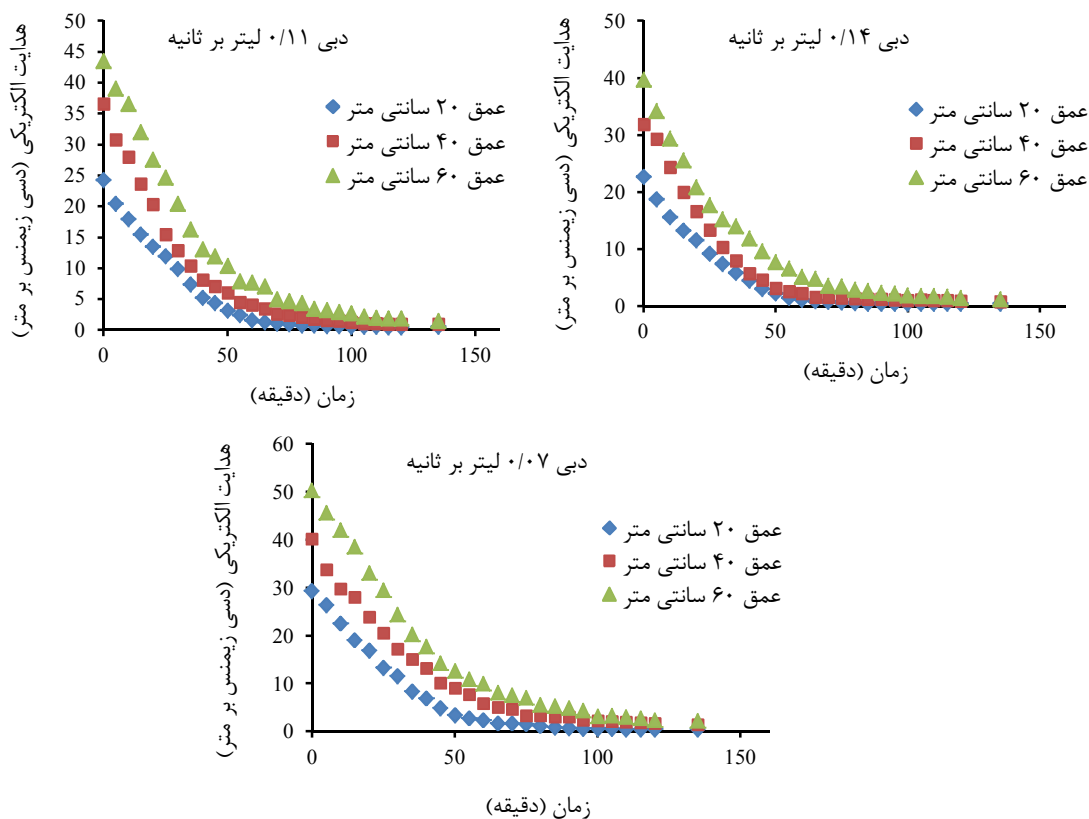


شکل ۲- آرایش نصب پیزومترها

هدایت الکتریکی در دمای ۲۵ درجه سلسیوس ( $EC_{25}$ )، گزارش شده است از معادله (۱) برای تصحیح آن با دما استفاده شد (رویجان و همکاران، ۲۰۱۱):

رسیدند که استفاده از زهکش کم عمق با تعداد لوله زهکش بیشتر نسبت به زهکش عمیق تر با تعداد لوله کمتر، سبب کاهش شوری خروجی از زهکش شده است. همچنین زهکش کم عمق، سبب کاهش جریان از اعماق پایین تر زهکش شده است. آیارز و همکاران (۲۰۰۶) نیز به نتایج مشابهی در این زمینه دست یافتند.

در بیان دلیل آن می توان گفت که با افزایش عمق نصب زهکش، میزان بار آبی افزایش یافته در نتیجه خطوط جریان آب طولانی تر شده و به اعماق بیشتر نفوذ می کند. نفوذ خطوط جریان به اعماق، سبب مشارکت بیشتر آب زیر زمینی با کیفیت پایین در خروج زه آب از زهکش ها می شود. هورنباکل و همکاران (۲۰۰۷) به این نتیجه



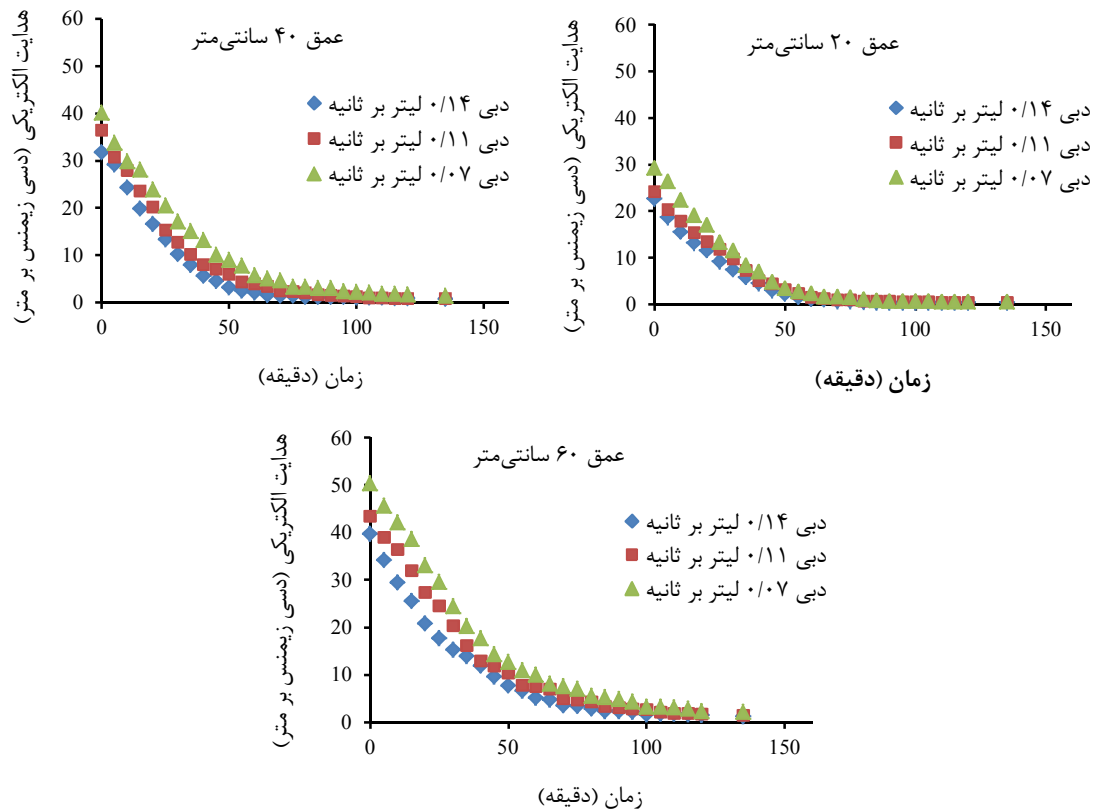
شکل ۳- مقایسه تغییرات زمانی هدایت الکتریکی زه آب خروجی از زهکش های نصب شده در عمق های سه گانه تحت دبی های تغذیه مختلف

الکتریکی آب در لایه های مختلف ناحیه زیر زهکش را برای عمق نصب زهکش ۴۰ سانتی متر در دبی های مختلف، نشان می دهد. با توجه به شکل، با افزایش دبی تغییرات کیفیت آب زیرزمینی نیز سریع تر و تا عمق بیشتری پیشروی کرده است. بنابراین افزایش هدایت الکتریکی زه آب و همچنین افزایش زمان تعادل آن با کاهش دبی، قابل پیش بینی است (جدول ۱). حمزه و همکاران (۱۳۸۹) در بررسی تأثیر زهکش های مطابق بر کمیت و کیفیت زه آب خروجی به این نتیجه رسیدند که با افزایش عمق نصب زهکش ها، به دلیل افزایش میزان شوری خاک و آب زیرزمینی، میزان شوری خروجی از زهکش ها افزایش می یابد. نودری و همکاران (۱۳۸۸)

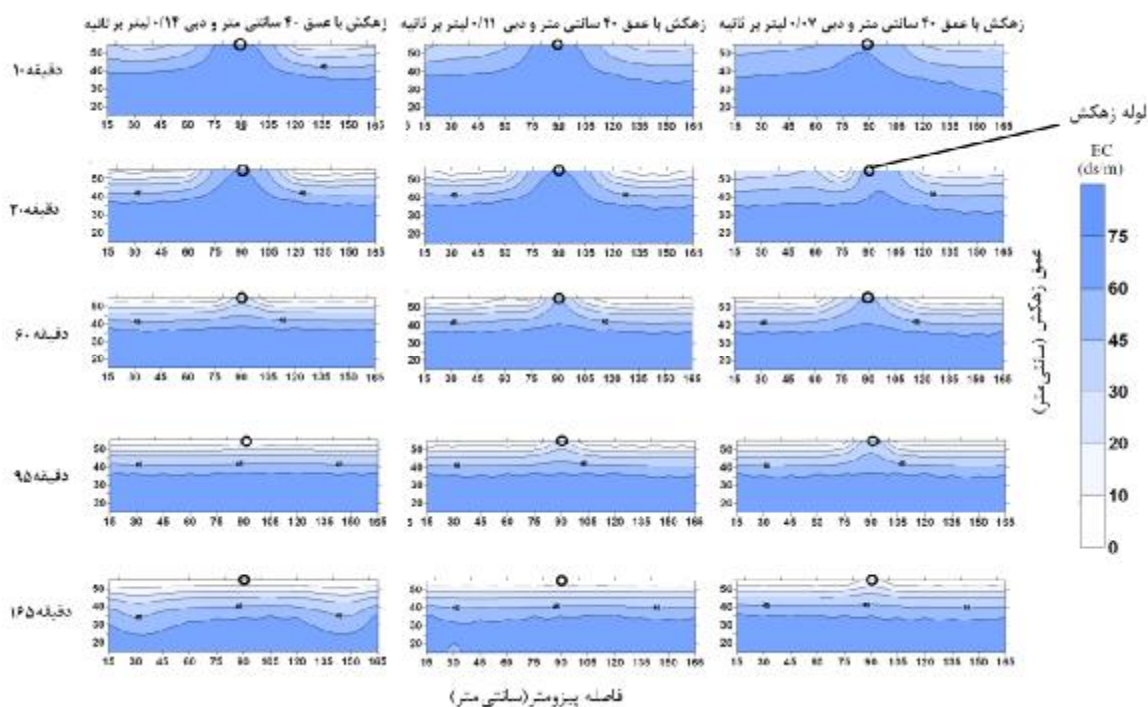
شکل ۴ تغییرات هدایت الکتریکی زه آب خروجی در مقابل زمان برای دبی های ۰/۱۴، ۰/۱۱ و ۰/۰۷ لیتر بر ثانیه در عمق های مختلف را نشان می دهد. با توجه به شکل ۴ در عمق های نصب ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی متر با افزایش دبی زهکش، هدایت الکتریکی زه آب خروجی کم می شود. می توان گفت با کاهش دبی آب آبیاری، حجم آب ورودی با کیفیت بالا به سطح ایستابی، کاهش می یابد. که این کاهش، سبب ترکیب شدن حجم آب شیرین کمتری با آب زیرزمینی شور می شود. در نتیجه هدایت الکتریکی زه آب خروجی افزایش پیدا می کند. همچنین با کاهش دبی زهکش، زمان به تعادل رسیدن هدایت الکتریکی زه آب خروجی نیز طولانی تر می شود. شکل ۵ هدایت

تعادل در عمق‌های مختلف زهکش متفاوت است و با در نظر گرفتن شوری بالای لایه‌های پایین‌تر زهکش، زمان رسیدن به تعادل در لایه‌های عمیق‌تر، افزایش می‌یابد.

حرکت آب و نمک را در سامانه زهکشی زیرزمینی با روش تحلیل پویایی سیستم شبیه‌سازی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که تغییرات شوری و زمان رسیدن به حالت



شکل ۴- مقایسه تغییرات زمانی هدایت الکتریکی زه آب خروجی از زهکش‌ها به ازای دبی‌های مختلف در عمق‌های مختلف نصب زهکش



شکل ۵- هدایت الکتریکی آب در لایه‌های مختلف زیر زهکش با عمق ۴۰ سانتی‌متر

جدول ۱- مقدار شوری خروجی از زهکش‌های مورد بررسی

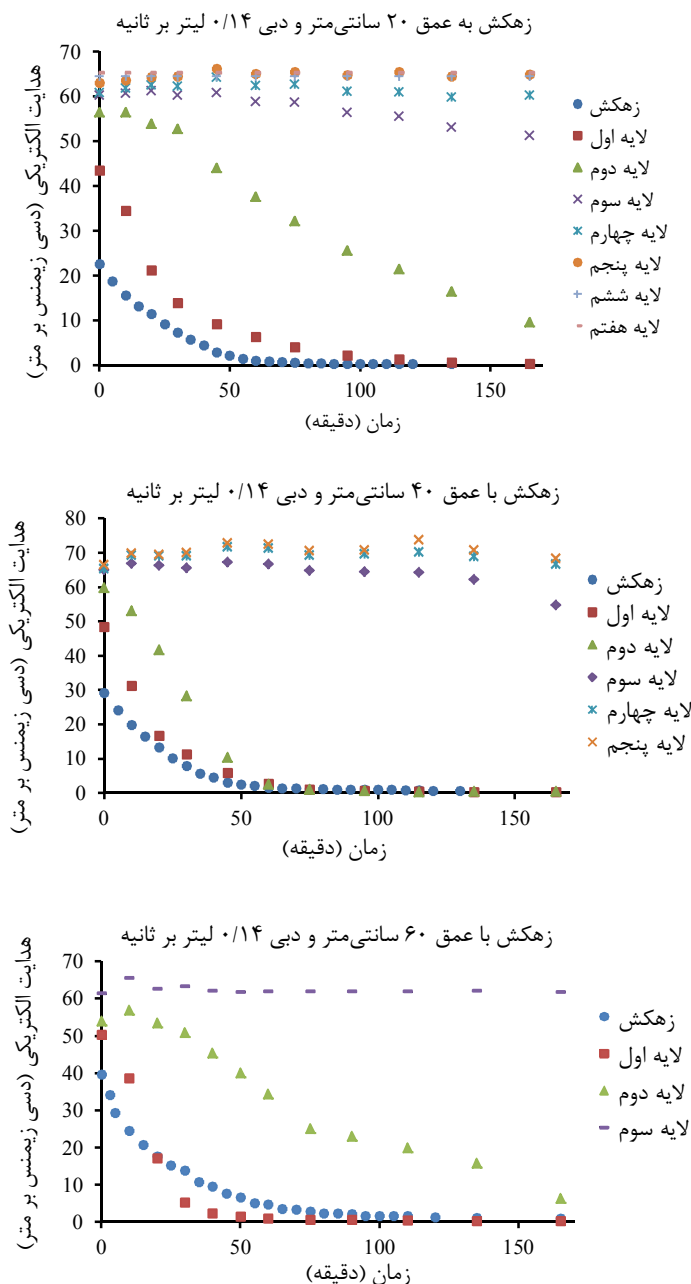
عمق (cm)	دبی (lit/sec)	نمک (Kg)	هدایت الکتریکی (dS/m)	زمان تعادل (دقیقه)
۲۰	۰/۱۴	۴/۲۱	۲۲/۶۸	۷۵
	۰/۱۱	۳/۹۸	۲۴/۱۸	۹۰
	۰/۰۷	۳/۰۱	۲۹/۳۷	۱۰۵
۴۰	۰/۱۴	۶/۴۸	۳۱/۷۹	۱۶۵
	۰/۱۱	۶/۱	۳۶/۵	۱۶۵
	۰/۰۷	۵/۱	۴۰/۲۳	۱۶۵
۶۰	۰/۱۴	۹/۳	۳۹/۶۵	۱۶۵
	۰/۱۱	۸/۵	۴۳/۴۴	۱۶۵
	۰/۰۷	۶/۶۴	۵۰/۳۱	۱۶۵

شکل ۶ تغییرات هدایت الکتریکی لایه‌های مختلف آب زیرزمینی زیر لوله زهکش، برای عمق‌های نصب ۲۰، ۴۰ و ۶۰ با دبی ۰/۱۴ لیتر بر ثانیه، به همراه هدایت الکتریکی زه‌آب خروجی را نشان می‌دهد. در این شکل شماره لایه‌ها به ترتیب از محل نصب لوله زهکش و به فاصله ۱۰ سانتی‌متر از هم، به سمت کف مدل افزایش می‌یابد. به این صورت که لایه اول در فاصله ۱۰ سانتی‌متری زیر لوله زهکش قرار دارد، سپس لایه دوم در فاصله ۲۰ سانتی‌متر و تا لایه هفتم به همین صورت ادامه دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد هدایت الکتریکی زهکش با عمق ۲۰ سانتی‌متر در لایه اول و دوم با گذشت زمان روند نزولی داشته است. لایه دوم در زمان ۱۶۵ دقیقه (زمان پایان آزمایش) با مقدار ۹/۶۳ دسی‌زیمنس بر متر به تعادل نرسیده، ولی لایه اول در زمان ۱۶۵ دقیقه با مقدار ۱/۰۲ به زمان تعادل نزدیک شده است. لایه‌های سوم تا هفتم نیز با گذشت زمان تغییر محسوسی نداشته است. برای عمق نصب ۴۰ سانتی‌متر نیز همانند عمق ۲۰، هدایت الکتریکی لایه‌های اول و دوم با گذشت زمان کاهش یافته است. با این تفاوت که این دو لایه هر دو در زمان ۹۵ دقیقه با مقدار ۰/۶۲ دسی‌زیمنس بر متر به تعادل رسیده است. لایه سوم نیز بعد از گذشت ۱۶۵ دقیقه شروع به کاهش می‌کند. لایه‌های چهارم و پنجم نیز از شروع آزمایش تغییری نکرده و مقدار ثابتی باقیمانده است. در عمق ۶۰ سانتی‌متر هدایت الکتریکی لایه‌های اول و دوم با گذشت زمان شروع به نزول کرده است. لایه اول در ۹۵ دقیقه با مقدار ۰/۶۱ دسی‌زیمنس بر متر به تعادل رسیده است. در حالی که لایه دوم در زمان ۱۶۵ دقیقه با مقدار ۶/۴ دسی‌زیمنس بر متر نیز به تعادل نرسیده است. با توجه به شکل ۶ دیده می‌شود که میزان هدایت

همان‌طور که گفته شد با کاهش دبی زهکش هدایت الکتریکی زه‌آب خروجی افزایش پیدا می‌کند. اما این افزایش هدایت الکتریکی به معنی خطر بیشتر برای محیط‌زیست نیست. زیرا هدایت الکتریکی تابعی از میزان حجم آب است. به این معنی که با افزایش دبی آب آبیاری، میزان اختلاط آب با کیفیت بالا با آب دارای کیفیت پایین بیشتر می‌شود و هدایت الکتریکی کمتری را نشان می‌دهد. اما با توجه به اینکه افزایش دبی، بار آبی روی لوله‌های زهکش را افزایش می‌دهد، لذا نمک موجود در لایه عمیق‌تر زیر زهکش را تحت تأثیر قرار می‌دهد چرا که دامنه جریان شعاعی وسیع‌تر می‌شود و این باعث شستشوی نمک بیشتری می‌شود. برای اثبات این موضوع لازم است میزان حجم زه‌آب خروجی و مقدار باقیمانده خشک (TDS) نسبت به زمان محاسبه شود. با محاسبه مقدار نمک زه‌آب و مقایسه نتایج آن با مقادیر هدایت الکتریکی زه‌آب، می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که با افزایش دبی مقدار نمک افزایش و هدایت الکتریکی کاهش می‌یابد. پس برای بررسی روند شوری زه‌آب خروجی و کنترل خطرات زیست‌محیطی محاسبه مقدار نمک نتیجه درست‌تری خواهد داد.

جدول ۱ مقادیر محاسبه شده نمک بر حسب کیلوگرم را برای زه‌آب خروجی زهکش‌ها نشان می‌دهد. با توجه به جدول با افزایش عمق نصب زهکش نمک خروجی از زهکش افزایش و با کاهش دبی در اعماق مختلف مقدار نمک خروجی کاهش می‌یابد. همچنین بیشترین مقدار نمک برای عمق نصب ۶۰ سانتی‌متر و دبی ۰/۱۴ لیتر بر ثانیه با مقدار ۹/۳ کیلوگرم و کمترین آن برای عمق نصب ۲۰ سانتی‌متر و دبی ۰/۰۷ لیتر بر ثانیه با مقدار ۳/۰۱ کیلوگرم است.

الکتریکی زه آب خروجی، زمان رسیدن به تعادل آن و نیز  
کیفیت زه آب خروجی از لایه‌های زیر ناحیه زهکش با هم  
متفاوت است.



شکل ۶- متوسط تغییرات هدایت الکتریکی آب لایه‌های زیر زهکش و زه آب خروجی

با افزایش دبی زهکش، هدایت الکتریکی زه آب خروجی کاهش و نمک خروجی افزایش می‌یابد. زیرا با افزایش دبی آب آبیاری، میزان اختلاط آب با کیفیت بالا با آب دارای کیفیت پایین بیشتر می‌شود و هدایت الکتریکی کمتری را نشان می‌دهد. اما با توجه به اینکه با افزایش مقدار دبی، بار آبی روی لوله‌های زهکش افزایش پیدا می‌کند، شوری از اعماق آب زیرزمینی به سمت لوله‌های زهکش حرکت

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش به کمک یک مدل آزمایشگاهی تأثیر عمق زهکش و دبی آب آبیاری بر شوری زه آب خروجی بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش عمق نصب زهکش، شدت تخلیه نمک‌ها نیز افزایش می‌یابد. همچنین نتایج تغییر دبی زهکش در عمق ثابت نیز نشان از آن است که در عمق‌های نصب ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر



۶. شکبیا م. لیاقت ع. و میرزایی ف. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر عمق اختلاط بر کیفیت زه آب خروجی از زهکش در اراضی با آب زیرزمینی کم عمق و شور. مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۲۷(۲): ۲۶۷-۲۷۹.
۷. علیزاده ا. ۱۳۸۴. زهکشی جدید (برنامه ریزی، طراحی و مدیریت سیستم های زهکشی)، چاپ اول، مشهد، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). ۴۹۶ ص.
۸. نودری ح. لیاقت ع. ا. و خیاط خلیقی م. ۱۳۸۸. شبیه سازی حرکت آب و نمک ها در سامانه زهکشی زیرزمینی با استفاده از روش تحلیل پویایی سیستم. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۲(۳): ۲۸-۳۹.
۹. نظری ب. لیاقت ع. ا. پارسی نژاد م. و ناصری ع. ع. ۱۳۸۷. بهینه سازی عمق نصب زهکش های زیرزمینی با ملاحظات اقتصادی و زیست محیطی. پنجمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست. ۱۶ آبان ماه، تهران، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
10. Ampofo E. A. 2009. The use of numerical ground water model to improve effectiveness of subsurface drainage system in irrigated field. Phdthesis, university of Southampton, school of civil engineering and the environment. 158 p.
11. Ayars J. E. Christen E. W. and Hornbuckle J. W. 2006. Controlled drainage for improved water management in arid regions irrigated agriculture. Agricultural water management. 86: 128-139.
12. Deveral J. S. and Fio J. L. 1990. Ground-water flow and solute movement to drain laterals, Western San Joaquin Valley, California. Water Resources Research. 27: 233-246.
13. Eliot A. Estella A. Rebecca S. D. Dale W. and Franklyn D. 2004. There lationship of total dissolved solid smeasurement stobulk electrical conductivity in an aquifer contaminated with hydrocarbon, Journal of Applied Geophysics. 56: 281-294.
14. Hornbuckle J. W. Christen E. W. Faulkner R. D. 2007. Evaluating a multi-level subsurface drainage system for improved drainage water quality. agricultural water management. 89: 208-216.
15. Jorenush M. H. and Sepaskhah A. R. 2003. Modelling capillary rise and soil salinity for shallow saline water table under irrigated and non-irrigated conditions. Agricultural Water Management. 61:125-141.
16. Ruijun Ma, McBratney A, Whelan B, Minasny B and Short M, 2011. Comparing temperature correction models or soil electrical conductivity measurement. Precision Agriculture 12: 55-66.

کرده و نمک بیشتری را خارج می کند. بیشترین مقدار نمک خروجی برای عمق نصب ۶۰ سانتی متر و دبی ۰/۱۴ لیتر بر ثانیه با مقدار ۹/۳ کیلوگرم و کمترین مقدار برای عمق نصب ۲۰ سانتی متر و دبی ۰/۰۷ لیتر بر ثانیه با مقدار ۳/۰۱ کیلوگرم است. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش عمق نصب زهکش، میزان بارآبی افزایش یافته در نتیجه خطوط جریان آب طولانی تر شده و به اعماق بیشتری نفوذ می کند، این امر زمان لازم برای رسیدن به حالت تعادل ناحیه زیر زهکش را طولانی ترمی کند.

### منابع

۱. اصلانی ف. ناظمی ا. ح. صدرالدینی س. ع. ا. فاخری فرد ا. و قربانی م. ع. ۱۳۸۹. برآورد عمق و فاصله مناسب زهکش های زیرزمینی بر اساس کیفیت زه آب خروجی. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۱(۲): ۱۳۹-۱۴۶.
۲. پناهی م. ناصری ع. ع. بهنیا ع. ا. و هوشمند ع. ا. ۱۳۸۹. تأثیر شوری آب زیرزمینی بر روی شوری زه آب زهکش های زیرزمینی. سومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، ۱۰ تا ۱۲ اسفند. دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۳. حمزه س. ناصری ع. ع. جعفری س. و کشکولی ح. ع. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر سیستم زهکشی مطبق بر کمیت و کیفیت زه آب خروجی از مزرعه و کاهش اثرات زیست محیطی. سومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، ۱۰ تا ۱۲ اسفند. دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۴. جعفری ج، ۱۳۹۰. شبیه سازی کیفیت و کمیت زه آب خروجی زهکش های زیرزمینی با استفاده از روش تحلیل پویایی سیستم. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز. ۱۱۰ ص.
۵. رضی ف. ستوده نیا ع. دانش کار آراسته پ. و اکرم م. ۱۳۹۱. بررسی آزمایشگاهی تأثیر عمق نصب زهکش بر شوری زه آب خروجی از نیم رخ خاک رس سیلتی. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۳(۳): ۲۸۱-۲۸۸.



