

اثر زهکشی زیرزمینی ترانشه‌دار بر کیفیت زه‌آب و انتقال املاح در خاک در زهکشی میان و پایان فصل برنج

فاطمه محمدپور^۱ و مریم نوابیان^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۰

چکیده

طراحی و مدیریت صحیح سامانه‌های آبیاری و زهکشی منجر به کاهش افت کیفیت زه‌آب و در نتیجه حفاظت از منابع آب و خاک می‌شود. در اراضی شالیزاری به دلیل وجود رس زیاد و لایه غیرقابل نفوذ، نوع زهکش و پوشش دور آن تأثیر زیادی بر حرکت آب در خاک و در نتیجه انتقال املاح دارد. بنابراین شناخت فرآیند انتقال املاح در چنین شرایطی می‌تواند منجر به طراحی و مدیریت اصولی زهکشی در اراضی شالیزاری شود. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر زهکشی زیرزمینی ترانشه‌دار بر کیفیت زه‌آب در زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل برنج انجام شد. همچنین انتقال املاح در اعماق و نقاط مختلف خاک نسبت به موقعیت زهکش مورد بررسی قرار گرفت. به منظور انجام این آزمایش مخزنی با طول و عرض ۳۰۰ و ۶۰ سانتی‌متر و ارتفاع یک متر ساخته شد. لوله زهکش از جنس پلی‌اتیلن و با قطر ۱۰ سانتی‌متر در ترانشه‌شن و ماسه به عرض ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر کارگذاری شد. گیاه برنج در مخزن کاشته و کود فسفات و ازته مطابق عرف اراضی شالیزاری اعمال شد. شیوه آبیاری غرقاب دائم با عمق پنج سانتی‌متر اجرا و در مرحله پنجه‌زنی و برداشت محصول به ترتیب زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل انجام شد. در طول آزمایش از محلول خاک در اعماق و فواصل مختلف و هم‌چنین زه‌آب زهکش نمونه‌برداری و پارامترهای شیمیایی از جمله هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذب سدیم (SAR)، غلظت نیترات و آمونیوم در آزمایشگاه قرائت شد. نتایج نشان داد میانگین هدایت الکتریکی زه‌آب خروجی در میان‌فصل (۵۶۷ میکروزیمنس بر سانتی‌متر)، ۵۱ درصد بیش‌تر از هدایت الکتریکی زه‌آب پایان‌فصل (۲۸۹ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) بود. زهکشی پایان‌فصل نسبت به میان‌فصل در زمان مشابه به ترتیب ۳ و ۴۵ درصد بیش‌تر آب و املاح را از پروفیل خاک خارج کرد. غلظت نیترات و آمونیوم در زه‌آب پایان‌فصل نسبت به میان‌فصل به ترتیب ۳۹ و ۱۲ درصد کاهش داشت. نتایج حاکی از اثرگذاری لایه‌سخت بر تجمع املاح بود به طوری که در پایان آزمایش تجمع املاح و نیترات محلول خاک در بالای این لایه نسبت به عمق کارگذاری زهکش به ترتیب با افزایش ۱۱ و ۴۷ درصدی همراه بود.

واژه‌های کلیدی: آمونیوم، پوشش معدنی، کیفیت زه‌آب، نیترات، هدایت الکتریکی

مقدمه

از کودها و آفت‌کش‌ها و در نتیجه انتقال املاح بیش‌تر در خاک شده است. از آن‌جا که انتقال املاح و آلودگی تحت تأثیر حرکت آب در خاک است، طراحی و مدیریت نادرست سامانه‌های آبیاری و زهکشی که عامل اصلی تولید حجم بالای زه‌آب می‌باشد، فعالیت‌های کشاورزی را به یکی از بزرگترین منابع آلاینده آب تبدیل کرده است، به طوری که فائو در سال ۱۹۹۰ خواستار اخذ راهکارهای مناسبی در جهت کاهش تأثیر نامطلوب فعالیت‌های کشاورزی بر روی کیفیت آب شد (FAO., 1990). زهکشی زیرزمینی راهکاری است که علی‌رغم کنترل سطح ایستابی، با ایجاد شرایط انتقال املاح در خاک منجر به تسهیل در آیشویی املاح از پروفیل خاک و منطقه توسعه ریشه گیاه می‌شود. این درحالی است که مدیریت و بهره‌برداری نادرست از زهکش می‌تواند با تخلیه زه‌آب حاوی املاح منجر به آلودگی منابع

آلودگی محیط زیست به‌عنوان یک معضل جهانی مطرح می‌باشد که به دلایل مختلفی از جمله استفاده بیش از حد از انواع کود، مواد معدنی، آفت‌کش‌ها و هم‌چنین فرسایش خاک به وجود می‌آید. انتقال املاح درون خاک تأثیر مستقیمی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی و سطحی دارد. این درحالی است که تأمین و تضمین تولید غذای مورد نیاز بشر سبب توسعه‌ی سامانه‌های آبیاری و زهکشی و استفاده مداوم

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گرایش آبیاری و زهکشی گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان

۲- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان و عضو وابسته پژوهشی گروه مهندسی آب و محیط زیست پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر دانشگاه گیلان

* - نویسنده مسئول: (Email: Navabian@guilan.ac.ir)

آب شود.

در سال‌های اخیر با افزایش آگاهی درباره اهمیت استفاده بهینه از منابع محدود آب و خاک، احداث زهکش‌های سطحی و زیرزمینی به‌عنوان راهکاری برای بهبود بهره‌برداری از اراضی شالیزاری مورد توجه قرار گرفته است (درزی و همکاران، ۱۳۹۱). زهکشی شالیزاری، در حقیقت نوعی از زهکشی کنترل‌شده می‌باشد که از طریق زهکش‌های زیرزمینی سطح ایستابی پایین می‌آید و توسط چاهک‌های کنترل جریان زهکشی زیرزمینی را می‌توان تنظیم نمود (پذیرا، ۱۳۸۷). زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل کشت برنج دو عملیات مهم مدیریت آب در شالیزارها می‌باشند که به ترتیب سبب افزایش عملکرد محصول و ایجاد شرایط مناسب‌تر برای برداشت می‌شوند. هم‌چنین اعمال زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل از طریق سامانه‌های زهکشی زیرزمینی در مقایسه با زهکشی سطحی، اثرات زیست محیطی کم‌تری از لحاظ دفع فسفر به منابع آب دارا می‌باشد (درزی و همکاران، ۱۳۹۱). به‌طور کلی زهکشی کنترل‌شده می‌تواند با افزایش راندمان مصرف کود ازته، زمینه را برای کاهش مقدار کود مصرفی فراهم آورد که این خود باعث کاهش نیترات آب‌شویی شده و کاهش خسارات ناشی از آن به محیط زیست می‌شود (مولوی و همکاران، ۱۳۹۰). بنابراین زهکشی کنترل‌شده بر انتقال املاح و خروج آن از اراضی، تأثیر به‌سزایی دارد. به‌دلیل اثر پیچیده و متقابل عمق، فاصله، قطر و پوشش دور زهکش بر روی عملکرد گیاه، بازده اقتصادی طرح، انتقال املاح و در نتیجه مسائل زیست‌محیطی، ضرورت انتخاب بهینه‌ی پارامترهای طراحی زهکش‌ها به‌نحوی که حداکثر بازده فنی و اقتصادی با حداقل اثرات سوء زیست‌محیطی را در بر داشته باشد، وجود دارد.

انتقال املاح یک فرآیند مهم از حرکت مواد مغذی و نمک به سمت ریشه گیاهان و هم‌چنین حرکت مواد کشاورزی-شیمیایی به آب‌های زیرزمینی می‌باشد (Shao et al., 1998; Van der zeeand, 2013). درک رفتار آب در خاک و املاح محلول در آن برای افزایش کارایی استفاده از کود و حفاظت از آب‌های زیرزمینی ضروری است. انتقال املاح در خاک تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند خصوصیات هیدرولیکی، شیمیایی، فیزیکی، بیولوژیکی و شرایط پایین و بالادست پروفیل خاک قرار می‌گیرد به‌طوری‌که بررسی پدیده انتقال آب و املاح در خاک به‌دلیل تغییرات مکانی و زمانی بسیار پیچیده می‌باشد (Huang et al., 1995; Seuntjens et al., 2002; Mallants., 2014). از آن‌جا که انتقال املاح بستگی زیادی به حرکت آب در خاک دارد (زهکشی عامل تشدیدکننده حرکت آب در خاک است)، ارزیابی فرآیندهای انتقال املاح خاک می‌تواند اثرات قابل توجهی برای مدیریت کوددهی و کیفیت آب زیرزمینی داشته باشد (Wang Jiao and Shao Ming'an., 2018). نوآبیان و لیاقت

(۱۳۸۵) یک مدل بهینه برای عمق و فاصله زهکش به‌منظور به‌حداقل رساندن شوری زه‌آب ارائه نمودند. نتایج نشان دادند که بهینه‌سازی عمق و فاصله زهکش‌ها تأثیر مثبتی در به‌حداقل رساندن شوری زه‌آب داشت. باهسسی و همکاران (Bahceci et al., 2006) پژوهشی را به‌منظور شبیه‌سازی تأثیر عمق‌های مختلف زهکش بر مقدار زه‌آب، شوری ناحیه ریشه و عمق سطح ایستابی در یک خاک لومی رسی برای اراضی شالیزاری انجام دادند. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد زمانی که زهکش در عمق ۱/۲ متری کارگذاری شود، میزان شوری برای ۸۰ درصد خاک به‌حدی کم‌تر از ۲/۷۲ و ۲/۶۳ دسی‌زیمنس بر متر برای کشت اول و کشت دوم بعد از یک دوره ۱۰ ساله خواهد رسید. هورنباکل و همکاران (Hornbuckle et al., 2007) سامانه زهکشی چند عمقی را برای بهسازی کیفیت زه‌آب در یک خاک با بافت سنگین (لومی رسی تا رسی) ارزیابی کردند. آن‌ها بیان داشتند که شوری زه‌آب در زهکش‌های کم عمق نسبت به زهکش‌های عمیق بسیار کم‌تر (۴/۷ در مقابل ۳۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر) بود.

اصلائی و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای اثر نصب لوله‌های زهکشی در اعماق مختلف و با فواصل مختلف بر کیفیت زه‌آب در شرایط ماندگار و غیرماندگار را با استفاده از مدل آزمایشگاهی و مدل عددی Visual MODFLOW بررسی نمودند. نتایج نشان داد که با افزایش فاصله و عمق نصب زهکش‌ها، بر مقدار هدایت الکتریکی زه‌آب، میزان pH، مقدار کل جامدات محلول (TDS)، جریان زهکشی و مقدار نیتروژن خارج شده افزوده می‌شود. جینز (Jaynes., 2012) مطالعه‌ای به‌منظور بررسی اثر مدیریت زهکشی بر روی کاهش نیترات خاک در یک منطقه با بافت خاک لوم رسی انجام داد. نتایج نشان داد که غلظت نیترات باقی‌مانده خاک در سامانه‌های مختلف زهکشی با افزایش عمق خاک با روندی کاهشی همراه بود. امین صالحی و همکاران (Amin Salehi et al., 2017) اثر عمق زهکش بر روی کیفیت زه‌آب خروجی اراضی شالیزاری را با استفاده از مدل HYDRUS-2D مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش عمق زهکش از ۴۰ به ۶۰ سانتی‌متر، میانگین غلظت نیترات، بار نیترات و حجم زه‌آب به ترتیب ۱۱، ۱۸ و ۴ درصد افزایش می‌یابد. هم‌چنین آن‌ها تأثیر حضور و عدم حضور لایه سخت بر غلظت نیترات و حجم زه‌آب را بررسی کردند. نتایج بیان‌گر افزایش غلظت نیترات خروجی و کاهش ۲۱ درصدی حجم زه‌آب در حضور لایه سخت بود.

در مطالعه‌ای تأثیر عمق و فاصله زهکش زیرزمینی بر تلفات نیتروژن در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با بافت خاک رسی سیلتی و رسی برای کشت دوم بررسی شد، نتایج نشان داد که افزایش فاصله زهکش‌ها از ۱۵ متر به ۳۰ متر سبب کاهش غلظت نیترات زه‌آب و افزایش عمق نصب لوله‌های زهکش از ۰/۶۵ متر به

در دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان ایجاد شد. مخزن با خاک اراضی شالیزاری که ابتدا هوا خشک و سپس از الک پنج میلی‌متر عبور داده شد، تا ارتفاع ۸۵ سانتی‌متری پر شد. در فاصله‌ی ۱۸۰ سانتی‌متری از دیواره مخزن ترانشه‌ای با عرض ۲۰ و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر ایجاد و زهکش لوله‌ای از جنس پلی‌اتیلن با قطر ۱۰ سانتی‌متر در عمق ۶۵ سانتی‌متری با شیب طولی ۰/۱ درصد در مقطع عرضی مخزن کارگذاری شد. سطح زیرین و کناره‌های لوله زهکش به ضخامت پنج و سطح بالای زهکش به ارتفاع ۳۵ سانتی‌متری با شن و ماسه پوشانده شد و در ادامه با خاک عبوری از الک پنج میلی‌متری، مخزن پر و هم‌سطح با سایر نقاط شد. پوشش شن و ماسه دور زهکش و در ترانشه براساس منحنی دانه‌بندی خاک و به روش ایلری (ناصری و مهدی نژادیانی، ۱۳۸۹) انتخاب شد (شکل ۱).

به‌منظور ایجاد شرایطی مشابه با شرایط اراضی شالیزاری، لایه سخت (Hardpan) به‌طور مصنوعی با خاک عبور داده شده از الک دو میلی‌متری و در فاصله ۱۷ سانتی‌متری از سطح خاک با تراکم معادل جرم مخصوص ظاهری ۱/۳ گرم بر سانتی‌مترمکعب و به ضخامت سه سانتی‌متری ایجاد شد. شکل (۲) شمایی از مخزن و موقعیت زهکش و لایه سخت را نشان می‌دهد. برخی مشخصات شیمیایی و فیزیکی خاک مورد استفاده در آزمایش به‌ترتیب در جداول (۱) و (۲) آمده است. برای اعمال زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل و کنترل خروج زه‌آب در قسمت خروجی زهکش، یک عدد شیر تخلیه نصب شد. به‌منظور کنترل تغییرات سطح ایستابی، در جهت عمود بر زهکش و در فواصل معینی شش عدد پیرومتر از جنس لوله PVC تا عمق زهکش، کارگذاری شد. جهت اندازه‌گیری پارامترهای شیمیایی محلول خاک تعدادی عصاره‌گیر به‌صورت افقی در اعماق و فواصل مشخص از زهکش کارگذاری شد. شکل (۲) موقعیت پیرومترها و عصاره‌گیرها را نشان می‌دهد. به‌منظور آماده‌سازی شرایط کشت برنج و ایجاد شرایط اشباع، خاک به مدت پنج روز در حالت غرقاب نگهداری شد. براساس عملیات زراعی عرف منطقه، نشاء برنج رقم طارم زودرس از خزانه به مخزن خاک منتقل و با فواصل ۲۵ در ۲۲ سانتی‌متر در مخزن کشت شد. پس از استقرار گیاه برنج عملیات آبیاری به صورت غرقاب دائم با ارتفاع متوسط آب پنج سانتی‌متر بر روی خاک انجام شد. تثبیت ارتفاع آب سطحی با استفاده از مخزن آب و شناور انجام شد. خصوصیات آب آبیاری در جدول (۱) آمده است. هم‌چنین روند تغییرات EC و SAR آب آبیاری در شکل (۳) آورده شده است.

کوددهی مطابق دستورالعمل منطقه (۹۰ کیلوگرم در هکتار برای کود اوره و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار برای کود فسفات) در مراحل مختلف انجام شد. کود فسفات پیش از فصل کاشت و دو سوم کود اوره در مرحله اول رشد گیاه در ۳۶ لیتر آب حل و به‌صورت یکنواخت روی سطح خاک پخش شد. به‌منظور افزایش سرعت نفوذ (به‌دلیل

۰/۹ متر سبب افزایش غلظت نیترات زه‌آب می‌شود (علی‌بخشی و همکاران، ۱۳۹۲).

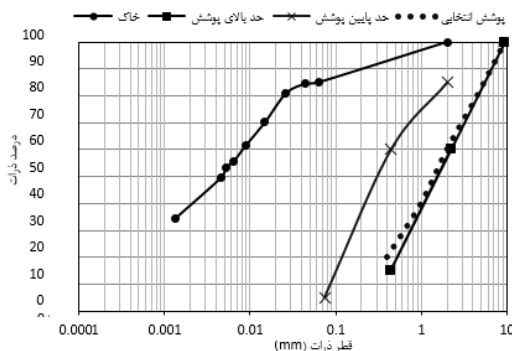
به‌منظور بررسی تأثیر عمق زهکش با پوشش ژئوتکستایل (450PP) بر عملکرد فنی و کیفی زهکش در اراضی شالیزاری دانشگاه گیلان برای کشت دوم در شرایط زهکشی آزاد، مقایسه‌ای بین زهکش‌ها در دو عمق ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متری انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش عمق نصب زهکش، حجم و شوری زه‌آب خروجی نیز افزایش یافت و بنابراین آثار سوء زیست‌محیطی زهکش نصب شده در عمق پایین‌تر در شرایط وجود سطح ایستابی کم‌عمق، بیش‌تر گزارش شد (مودنی و همکاران، ۱۳۹۵). مومن‌نژاد (۱۳۹۵) اثر عمق زهکش زیرزمینی با پوشش ژئوتکستایل (450PP) بر روی غلظت کل املاح در اعماق مختلف یک خاک لوم‌سیلتی (۴۰، ۵۰ و ۷۰ سانتی‌متری) در شرایط اراضی شالیزاری را مورد بررسی قرار داد. نتایج حاکی از روند کاهش غلظت املاح خاک پس از اعمال زهکشی بود به‌طوری‌که میزان این کاهش برای اعماق ۴۰، ۵۰ و ۷۰ سانتی‌متر به‌ترتیب ۳۴، ۴۵ و ۵۰ درصد بود. در مطالعه‌ای تأثیر فاصله از زهکش زیرزمینی با پوشش ژئوتکستایل (450PP) بر غلظت نیترات و فسفات خاک برای کشت دوم در اراضی شالیزاری گیلان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش فاصله از زهکش غلظت نیترات عصاره‌گیرهای خاک نیز افزایش یافت اما غلظت فسفر در فواصل و اعماق مختلف نسبت به زهکش دارای تغییر معنی‌داری نبود (معماری، ۱۳۹۶). مرور بر مطالعات نشان داد طراحی (تعیین عمق و فاصله زهکش و انتخاب پوشش دور زهکش) سامانه زهکشی زیرزمینی می‌تواند بر عملکرد زهکش در خروج املاح از خاک و دز نتیجه تخریب محیط زیست اثرگذار باشد. از آن‌جا که زهکشی اراضی شالیزاری در شمال ایران در آغاز راه و در حال توسعه است، بنابراین انجام پژوهش‌هایی به‌منظور بررسی عملکرد سیستم‌های زهکشی با طراحی‌های مختلف به‌منظور دستیابی به زهکشی با حداقل آثار مخرب زیست‌محیطی ضروری است. بنابراین آگاهی از چگونگی انتقال املاح مختلف در محیط خاک تحت تأثیر فرآیند زهکشی به‌منظور طراحی صحیح سامانه‌های زهکشی و مدیریت کود و سموم لازم است. هدف از این پژوهش بررسی روند انتقال املاح شامل شوری و غلظت آمونیوم و نیترات در نقاط مختلف خاک در حضور زهکش زیرزمینی دارای ترانشه‌شن و ماسه در زهکشی میان و پایان‌فصل برنج در نظر گرفته شد.

مواد و روش‌ها

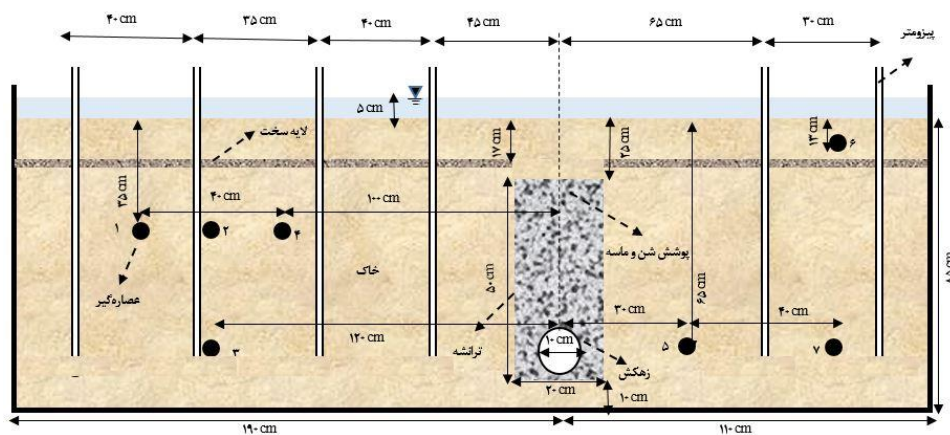
به‌منظور دستیابی به اهداف این مطالعه، یک خط زهکش زیرزمینی در مقیاس مدل فیزیکی اراضی شالیزاری (مخزنی مکعبی از جنس آهن به طول سه، عرض ۰/۶ و ارتفاع یک متر) در سال ۱۳۹۶

انجام شد. معیار عرف اراضی شالیزاری برای پایان زهکشی میان فصل، مشاهده درز و ترک بر روی سطح خاک می باشد. در این آزمایش نیز بعد از مشاهده درز و ترکها زهکش بسته و غرقاب بر روی سطح خاک ایجاد شد.

وجود سدیم بالا و ایجاد پراکندگی در سطح خاک، ۱۵ گرم کلسیم سولفات محلول در آب نیز بعد از کوددهی به مخزن اضافه شد. مابقی کود اوره در اوایل مرحله پنجه زنی گیاه به خاک افزوده شد. تاریخ عملیات زراعی انجام شده در طول آزمایش در جدول (۳) آمده است. زهکشی میان فصل در اواسط دوره پنجه زنی به مدت پنج روز



شکل ۱- منحنی دانه بندی خاک و پوشش دور زهکش (شن و ماسه)



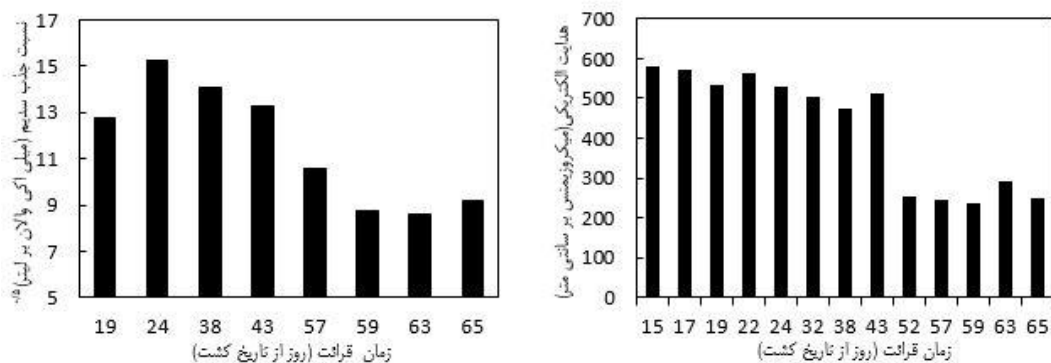
شکل ۲- نمای مخزن و موقعیت زهکش، پیزومترها و عصاره گیرها

جدول ۱- میانگین خصوصیات شیمیایی عصاره خاک و آب آبیاری مورد استفاده در آزمایش

EC _e (μS/cm)	pH	NO ₃ ⁻ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	SAR (meq/l) ^{0.5}	
۳۹۰	۷/۱۸	۰/۲۴۵	۲/۹۹	۱۲/۳۸	خاک
۴۳۰/۰۶	۷/۰۵	۰/۶	۱/۰۴	۱۲/۰۲	آب آبیاری

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکی خاک مورد استفاده در آزمایش

عمق خاک (سانتی متر)	بافت خاک	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)
۰-۱۷	رس سیلتی	۴۰/۱۹	۴۹/۹۷	۹/۸۴	۱/۲۵
۱۷-۲۰	رس سیلتی	۴۰/۱۹	۴۹/۹۷	۹/۸۴	۱/۳
۲۰-۸۵	لوم سیلتی	۱۷/۴۵	۶۳/۱۰	۱۹/۴۵	۱/۳۵



شکل ۳- تغییرات هدایت الکتریکی (الف) و نسبت جذب سدیم (ب) آب آبیاری در طول دوره آزمایش

جدول ۳- تاریخ عملیات زراعی در طول دوره آزمایش

توضیحات	عملیات زراعی	تاریخ
۱۸ گرم به صورت محلول در آب	کوددهی فسفات	۹۶/۴/۲۷
-	انتقال نشاء به مخزن	۹۶/۴/۳۰
۱۲ گرم به صورت محلول در آب (همراه با کلسیم سولفات)	کوددهی اوهره (مرحله اول)	۹۶/۵/۲
۶ گرم به صورت محلول در آب	کوددهی اوهره (مرحله میان فصل)	۹۶/۶/۵
به مدت پنج روز	زهکشی میان فصل	۹۶/۶/۱۱
اعمال مجدد آبیاری غرقاب	پایان زهکشی میان فصل	۹۶/۶/۱۶
-	زهکشی پایان فصل	۹۶/۷/۳

بررسی روند تغییرات کیفی زه‌آب در زهکشی میان فصل و پایان فصل

روند تغییرات هدایت الکتریکی زه‌آب برای زهکشی میان فصل و پایان فصل در شکل ۴- الف نشان داده شده است. میانگین هدایت الکتریکی زه‌آب خروجی در میان فصل ۵۶۷ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بود که به ترتیب ۱۰ و ۱۱ درصد از میانگین هدایت الکتریکی آب آبیاری (۵۱۷/۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) در مدت زمان قبل از زهکشی میان فصل و میانگین هدایت الکتریکی محلول خاک در روز قبل از زهکشی (۵۰۷/۹ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) بیش تر بود. هم‌چنین میانگین هدایت الکتریکی زه‌آب در زهکشی پایان فصل ۲۸۹/۷۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بود که در مقایسه با میانگین هدایت الکتریکی آب آبیاری قبل از شروع زهکشی پایان فصل (۲۵۴/۶ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) به میزان ۱۴ درصد افزایش و حدود ۷۰ درصد نسبت به میانگین هدایت الکتریکی محلول خاک در روز قبل از زهکشی (۳۷۶/۲ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) کاهش داشت. مقایسه هدایت الکتریکی زه‌آب میان و پایان فصل نسبت به میانگین هدایت الکتریکی خاک قبل از انجام عملیات زهکشی نشان می‌دهد که زهکشی پایان فصل املاح کم‌تری را از پروفیل خاک خارج کرد. این در حالی است که حجم زه‌آب اندازه‌گیری شده حدود سه درصد بیش‌تر از زهکشی میان فصل بود. بنابراین

به منظور بررسی انتقال آب و املاح در خاک تحت تأثیر زهکش زیرزمینی ترانشه‌دار، نمونه برداری از عصاره گیاه و قرائت پیژومترها در طول فصل رشد گیاه انجام شد. برای قرائت هدایت الکتریکی از دستگاه EC سنج، اسیدیته از pH متر و برای قرائت سدیم، منیزیم، کلسیم، نیترات و آمونیوم از دستگاه یون کروماتوگرافی استفاده شد. با محاسبه مقادیر سدیم، کلسیم و منیزیم موجود در عصاره‌ها مقدار نسبت جذب سدیم (SAR) با استفاده از رابطه (۱) به دست آمد (Oster and Garrison., 1980).

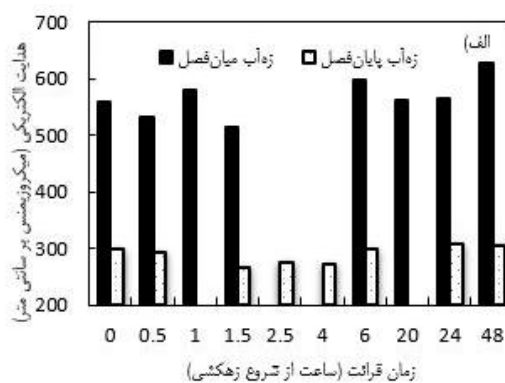
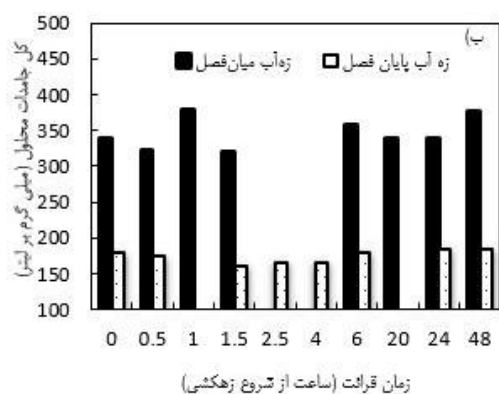
$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (1)$$

که در آن غلظت یون‌های سدیم، کلسیم و منیزیم بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشند.

نتایج و بحث

به منظور بررسی اثر زهکشی بر روی انتقال املاح در نقاط مختلف پروفیل خاک و در نهایت خروج آن از زهکش، روند تغییرات شوری، کل جامدات محلول، نیترات و آمونیوم زه‌آب و محلول خاک نسبت به زمان در طول مدت آزمایش رسم شد.

هدایت الکتریکی زه آب با گذشت زمان افزایش یافت. تغییرات کل جامدات محلول زه آب در شکل ۴- ب نشان داده شده است. همان طور که در شکل مشخص است روند تغییرات TDS از روند تغییرات هدایت الکتریکی زه آب پیروی نمود. نسبت میان هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول زه آب در زهکشی میان و پایان فصل به ترتیب ۰/۶۱ و ۰/۶۰۲ به دست آمد که این مقدار در هر دو مورد بیش تر از ضریب ۰/۵۵، نسبت تجربی جهانی برای محدوده هدایت الکتریکی ۸۰۰-۳۰۰ میکروزیمنس بر سانتی متر (Rusydi., 2018) و متناسب با نسبت آب آبیاری مورد استفاده در این آزمایش ۰/۶۰۵ بود.



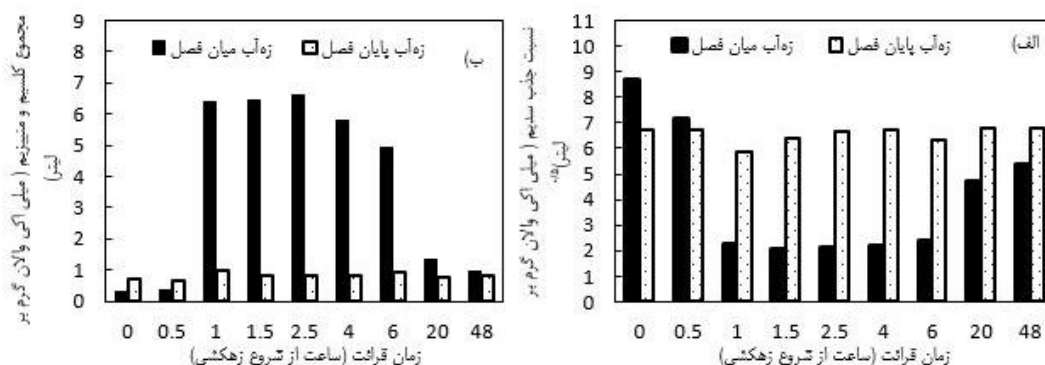
شکل ۴- روند تغییرات هدایت الکتریکی (الف) و کل جامدات محلول (ب) زه آب

منیزیم خروجی زه آب در میان فصل ۳/۶۶ میلی‌اکی والان بر لیتر به دست آمد که ۷۸ درصد بیش تر از میانگین غلظت آن در زه آب پایان فصل می‌باشد.

نسبت جذب سدیم زه آب در هر دو فصل زهکشی در مقایسه با تغییرات نسبت جذب سدیم آب آبیاری در بازه زمانی قبل از هر فصل زهکشی با کاهش محسوسی همراه بود. کم تر بودن نسبت جذب سدیم زه آب نسبت به آب آبیاری فرآیند جذب عناصر تأثیرگذار بر نسبت جذب سدیم (کلسیم، منیزیم و سدیم) در پروفیل خاک را نشان می‌دهد. معماری (۱۳۹۶) در مطالعه ارزیابی عملکرد زهکشی زیرزمینی با پوشش ژئوتکستایل (450PP) برای کشت دوم در اراضی شالیزاری تحت شرایط غیراشباع خاک و زهکشی آزاد مشاهده کرد که با گذشت زمان مقدار SAR روند افزایشی داشته است به طوری که در انتهای دوره نسبت به ابتدای دوره مقدار SAR پنج درصد افزایش مشاهده کرد. حسین زاده (۱۳۹۳) نیز در خصوص پوشش دور زهکش شن و ماسه با ضخامت ۱۰ سانتی متر، افزایش ۶۸ درصدی SAR را گزارش کرد.

احتمال گرفتگی پوشش دور زهکش و تأثیر بر روند خروج زه آب و املاح کاهش می‌یابد. از سوی دیگر در زهکشی میان فصل ساختمان خلل و فرج خاک با ایجاد درز و ترک در خاک تغییر یافته و خلل و فرج درشت تر در خاک توسعه می‌یابد که کم تر بودن راندمان شست و شوی املاح از خاک در خلل و فرج درشت، می‌تواند عامل کاهش خروج املاح از زهکش شده باشد. همان طور که در شکل مشخص است تغییرات هدایت الکتریکی زه آب نسبت به زمان با نوسان همراه بود اما به طور کلی دارای روند صعودی بود که علت آن را می‌توان افزایش شست و شوی بیش تر املاح از خاک و انتقال آن به سمت زهکش با گذشت زمان دانست. حسین زاده (۱۳۹۳) در مطالعه ارزیابی عملکرد پوشش های آلی (سبوس برنج) و معدنی دور زهکش در شرایط مشابه اراضی شالیزاری مشاهده کرد که مقدار

مقادیر SAR زه آب خروجی در شکل ۵- الف نشان داده شده است. مقادیر SAR زه آب میان فصل پس از کاهش شدید در یک ساعت اول زهکشی در سایر زمان ها تقریباً با تغییرات کمی همراه بود و در ساعات انتهایی زهکشی مقدار SAR زه آب روند صعودی (افزایش ۱۳۹ درصدی نسبت به یک ساعت اول زهکشی) داشت در حالی که میزان SAR در پایان فصل با نوسان کمی (افزایش ۱۶ درصدی نسبت به یک ساعت اول زهکشی) همراه بود. دامنه تغییرات نسبت جذب سدیم زه آب در میان فصل از ۸/۶۷ - ۲/۰۹ و در پایان فصل ۶/۸۲ - ۶/۳۱ ریشه میلی اکی والان بر لیتر بود. کم تر بودن میزان نسبت جذب سدیم در زهکشی میان فصل نسبت به پایان فصل را می‌توان به دلیل استفاده از کلسیم سولفات در مرحله اول کوددهی اوره و افزایش غلظت کلسیم خاک دانست به طوری که این بیش تر بودن غلظت کلسیم در خاک در زهکشی میان فصل پس از حدود یک ساعت اول منجر به حضور بیش تر این کاتیون در زه آب و در نتیجه کاهش SAR زه آب شد. شکل ۵- ب مجموع کلسیم و منیزیم خروجی از زهکش را نشان می‌دهد. میانگین غلظت مجموع کلسیم و

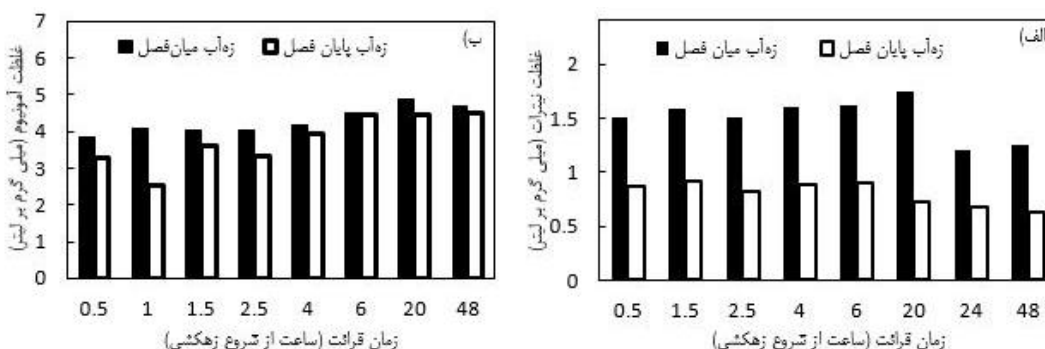


شکل ۵- روند تغییرات نسبت جذب سدیم (الف) و مجموع کلسیم و منیزیم (ب) زه‌آب

در نوع پوشش دور زهکش دانست به طوری که در پوشش ژئوتکستایل به دلیل مقاومت بیش‌تر در خروج زه‌آب تفاوت بیش‌تری در غلظت نیترات زه‌آب نسبت به زمان مشاهده شد.

تغییرات غلظت آمونیوم در زهکشی میان فصل در محدوده ۴/۸۵-۳/۸۲ و در پایان فصل ۴/۴۸-۲/۵۱ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد. همان‌طور که در شکل ۶- ب مشخص است غلظت خروجی آمونیوم در طول هر دو زهکشی میان و پایان فصل تقریباً از روندی صعودی برخوردار بود. میانگین غلظت آمونیوم خروجی از زهکش در میان فصل و پایان فصل به ترتیب ۴/۲۷ و ۳/۷۵ به دست آمد که ۱۲ درصد در زهکشی میان فصل بیش‌تر بود. بالا بودن غلظت آمونیوم زه‌آب می‌تواند به علت بالا بودن مقادیر جامدات معلق (TSS) خروجی از زهکش و انتقال آمونیوم توسط ذرات فرسایش یافته به سمت زهکش باشد. محدوده تغییرات مقادیر TSS زه‌آب در میان فصل و پایان فصل به ترتیب ۳۲۰-۱۴۲ و ۲۲۶-۸۵ میلی‌گرم بر لیتر بود.

روند تغییرات غلظت نیترات و آمونیوم خروجی از زهکش در میان فصل و پایان فصل در شکل ۶ (الف و ب) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است مقدار نیترات زه‌آب در پایان فصل نسبت به میان فصل کاهش یافته است. میزان نیترات خروجی در ابتدا و انتهای زهکشی میان فصل به ترتیب ۱/۵ و ۱/۲۵۳ میلی‌گرم بر لیتر و در پایان فصل به ترتیب ۰/۸۷۶ و ۰/۶۲۵ میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد. تفاوت ۴۷ درصدی میانگین غلظت نیترات در زه‌آب میان فصل و پایان فصل را می‌توان به مقادیر نیترات خاک قبل از زهکشی نسبت داد به طوری که مطابق با روند تغییرات نیترات در خاک (شکل ۹) بعد از زهکشی میان فصل نیترات‌زدایی در شرایط غیرهوازی منجر به کاهش نیترات خاک شد (به غیر از عصاره‌گیر بالای لایه سخت (عصاره‌گیر شماره ۶) که می‌تواند تحت تاثیر نیترات آبیاری باشد). امین‌صالحی (۱۳۹۴) درصد کاهش غلظت نیترات زه‌آب در دوره زهکشی را در زهکش‌های با پوشش ژئوتکستایل (450PP) با عمق ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر به ترتیب ۷۸ و ۶۴ درصد گزارش کرد. تفاوت زیاد درصد کاهش غلظت نیترات زه‌آب را می‌توان



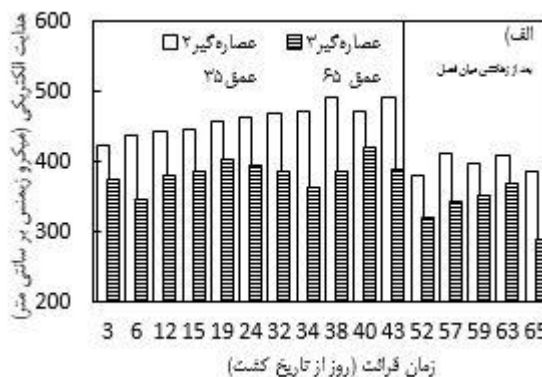
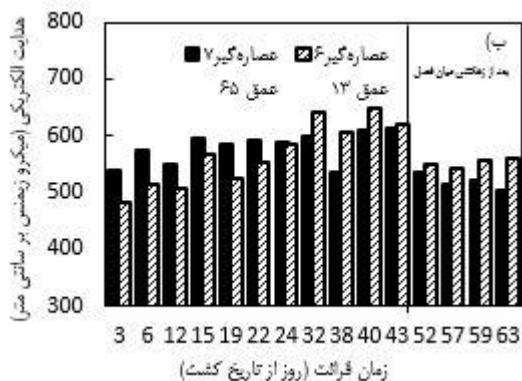
شکل ۶- غلظت نیترات (الف) و آمونیوم (ب) زه‌آب

بررسی روند تغییرات خصوصیات شیمیایی خاک در عمق‌های مختلف

به منظور بررسی اثر زهکشی بر املاح خاک در اعماق مختلف، روند تغییرات هدایت الکتریکی خاک در عصاره‌گیرهای با فاصله یکسان ولی در عمق‌های مختلف در شکل ۷ (الف و ب) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۷-الف مشخص است در هدایت الکتریکی عصاره‌گیرها قبل و بعد از زهکشی میان فصل تفاوت وجود دارد که بیان‌گر آبشویی و خروج املاح از زهکش می‌باشد. البته این روند کاهش تحت تأثیر کاهش هدایت الکتریکی آب آبیاری در این مقطع زمانی نیز می‌باشد. در مقایسه بین عصاره‌گیرها، عصاره‌گیر ۲ که در عمق کم‌تری قرار دارد دارای هدایت الکتریکی بالاتری بود. با انجام عملیات زهکشی هدایت الکتریکی محلول خاک نسبت به قبل از زهکشی در عمق ۳۵ و ۶۵ سانتی‌متری به ترتیب ۲۳ و ۱۷ درصد با

کاهش همراه بود.

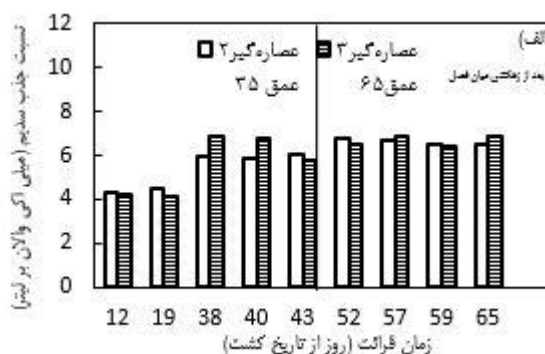
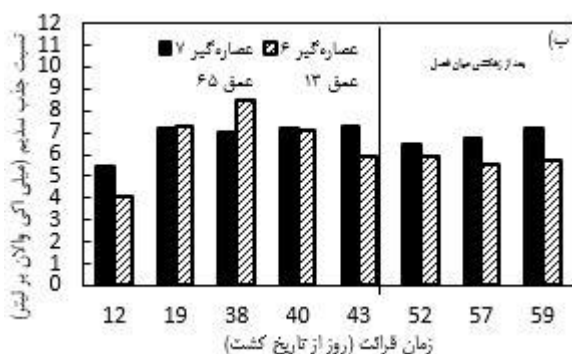
مقایسه هدایت الکتریکی بالای لایه سخت و عمق ۶۵ سانتی‌متری خاک (عصاره‌گیرهای ۶ و ۷) در شکل ۷-ب نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشهود است تا قبل از زهکشی میان فصل مقادیر هدایت الکتریکی در هر دو عصاره‌گیر به خصوص عصاره‌گیر بالای لایه سخت رو به افزایش است. با اعمال زهکشی میان فصل در هر دو عصاره‌گیر روند کاهش هدایت الکتریکی خاک مشاهده شد اما به‌طور میانگین عصاره‌گیر عمق ۶۵ سانتی‌متر ۵/۸۵ درصد نسبت به عصاره‌گیر بالای لایه سخت کاهش هدایت الکتریکی نشان داد. مقایسه این دو عصاره‌گیر که در یک فاصله از زهکش قرار دارند نشان‌دهنده اثر لایه سخت بر خروج املاح در فرآیند زهکشی است.



شکل ۷- مقایسه تغییرات هدایت الکتریکی در عمق‌های ۳۵ و ۶۵ سانتی‌متر (الف) و بالای لایه سخت و عمق ۶۵ (ب)

جزئی مشاهده شده با توجه به نوسانات pH خاک می‌تواند تحت تأثیر فرآیند انحلال و ترسیب پی در پی کلسیم و منیزیم و در نتیجه اثر بر میزان SAR خاک باشد.

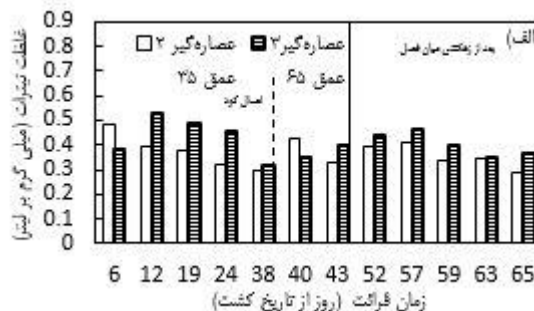
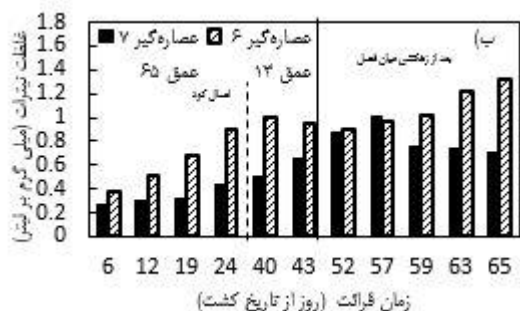
مقادیر SAR خاک در عصاره‌گیرهای مورد بررسی در شکل (۸) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که زهکشی میان فصل تأثیر چندانی بر مقدار SAR در اعماق مختلف خاک نداشته و تغییرات



شکل ۸- روند تغییرات نسبت جذب سدیم عصاره‌های خاک در اعماق ۳۵ و ۶۵ سانتی‌متر (الف) و در اعماق ۱۳ و ۶۵ سانتی‌متر (ب)

با غلظت بیش‌تری همراه بود (شکل ۹-ب). این تفاوت در پایان دوره رشد به حداکثر میزان خود رسید به طوری که در پایان فصل غلظت نیترات در بالای لایه سخت ۴۷ درصد بیش‌تر از عصاره‌گیر زیرین خود بود. در عصاره‌گیر بالای لایه سخت به دلیل نزدیکی به اتمسفر و وجود اکسیژن محلول میزان نیترات تولیدی از فرم آمونیومی نیتروژن در طول دوره آزمایش روند صعودی داشت. مقایسه روند تولید نیترات قبل و بعد از زهکشی میان فصل در این عصاره‌گیر (با شیب ۰/۱۴ و ۰/۳۱) نشان از اثرگذاری زهکشی میان فصل و ورود اکسیژن به داخل خلل و فرج خاک و در نتیجه افزایش سرعت فرآیند نیترات‌زایی دارد. در عصاره‌گیر ۷ هر چند تولید نیترات با شیب ۰/۰۸ قبل از زهکشی میان فصل روی داد اما اثر زهکشی میان فصل و تسریع در فرآیند نیترات‌زایی بسیار محسوس بود و باعث افزایش ۳۴ درصدی غلظت نیترات خاک شد. نکته قابل توجه روند نزولی نیترات در این عصاره‌گیر از روز ۵۷ به بعد بود که اثر نبود اکسیژن و تشدید فعالیت نیترات‌زایی و در نتیجه کاهش نیترات به میزان ۲۴ درصد را نشان داد. امین‌صالحی (۱۳۹۴) نشان داد که افزایش عمق زهکش باعث افزایش غلظت نیترات محلول خاک می‌شود. معماری (۱۳۹۶) در زهکشی زیرزمینی با پوشش ژئوتکستایل مشاهده نمود که غلظت نیترات در عصاره‌گیرهای هم‌تراز با عمق زهکش بیش‌تر از عصاره‌گیرهای با عمق کم‌تر بود.

روند تغییرات غلظت نیترات عصاره‌های خاک در شکل (۹) نشان داده شده است. غلظت نیترات خاک نسبت به عمق و وجود لایه سخت تغییرات داشت. شکل ۹-الف مربوط به تغییرات غلظت نیترات خاک در اعماق ۳۵ و ۶۵ سانتی‌متری می‌باشد. همان‌طور که در شکل مشخص است غلظت نیترات در طول آزمایش در عمق ۶۵ سانتی‌متری بیش‌تر از عمق ۳۵ بود. پس از اعمال اولین مرحله کوددهی غلظت نیترات ابتدا در عمق کم‌تر و سپس در عمق ۶۵ سانتی‌متری روند صعودی نشان داد که ناشی از آبشویی نیترات و نفوذ آن به عمق‌های بیش‌تر می‌باشد. سپس از روز ۱۲ تا قبل از اعمال مرحله دوم کود به دلیل شرایط بی‌هوازی کاهش غلظت نیترات مشاهده شد. غلظت نیترات تحت اعمال کود در روز ۴۰ مجدداً روند صعودی در پیش گرفت که این روند تا بعد از زهکشی میان فصل در اثر ایجاد شرایط تهویه مناسب برای انجام عمل نیترات‌زایی ادامه داشت. از روز ۵۷ به بعد (پس از بستن زهکش در پایان زهکشی میان فصل) در اثر نبود اکسیژن در خاک و افزایش فعالیت باکتری‌های بی‌هوازی، غلظت نیترات محلول خاک در عصاره‌گیر ۲ و ۳ به ترتیب ۱۸ و ۱۳ درصد کاهش یافت. انجام زهکشی میان فصل افزایش ۱۸ و ۸ درصدی غلظت نیترات را به ترتیب برای عصاره‌گیرهای ۲ و ۳ نسبت به قبل از زهکشی نشان داد. نیترات عصاره‌گیر بالای لایه سخت (عصاره‌گیر ۶) در مقایسه با عصاره‌گیر عمق ۶۵ سانتی‌متری (عصاره‌گیر ۷) در بیش‌تر دوره‌ی رشد



شکل ۹- روند تغییرات غلظت نیترات عصاره‌های خاک در اعماق ۳۵ و ۶۵ سانتی‌متر (الف) و در اعماق ۱۳ و ۶۵ سانتی‌متر (ب)

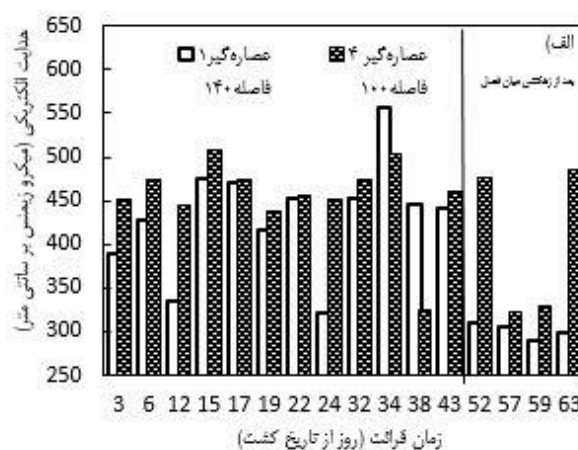
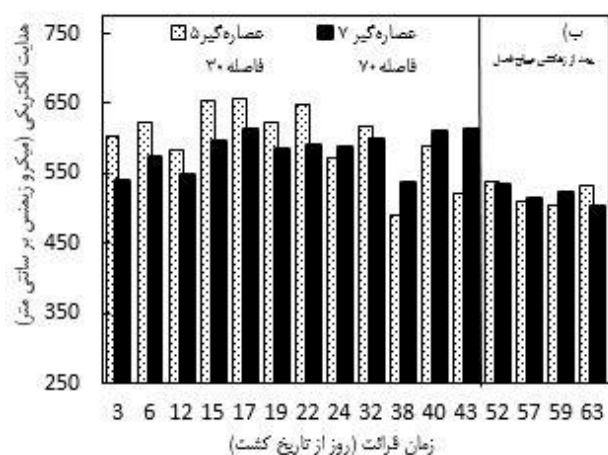
به دلیل تفاوت مقدار اولیه املاح در این نقاط بود. بعد از انجام زهکشی میان فصل در عصاره‌گیر ۷ (شکل ۱۰-ب) به دلیل فاصله بیش‌تر از زهکش کاهش هدایت الکتریکی (۱۳ درصد) و در عصاره‌گیر نزدیک‌تر به زهکش (عصاره‌گیر ۵) افزایش هدایت الکتریکی (سه درصد) مشاهده شد. که این مسئله به دلیل شستشوی املاح و بیان‌گر حرکت آن‌ها در جهت خطوط جریان به سمت زهکش می‌باشد. پس از اتمام زهکشی میان فصل و شروع غرقاب مجدد در مخزن و بعد از پنجاه و

بررسی روند تغییرات خصوصیات شیمیایی خاک در فواصل مختلف از زهکش

به منظور بررسی اثر فاصله از زهکش بر شوری خاک، هدایت الکتریکی عصاره‌گیرها با فواصل مختلف از زهکش در شکل (۱۰) نشان داده شده است. روند تغییرات عصاره‌گیرهای ۱ و ۴ و همچنین به طور مشابه عصاره‌گیرهای ۵ و ۷ تا قبل از زهکشی میان فصل مشابه بود، میزان تفاوت بین مقدار هدایت الکتریکی آن‌ها

عصاره گیر ۱) و افزایش سه درصدی هدایت الکتریکی عصاره گیر نزدیک به زهکش (عصاره گیر ۴) مشاهده شد. بعد از انجام زهکشی میان فصل تجمع املاح در عصاره گیر ۱ که در دورترین موقعیت نسبت به سایر عصاره گیرها از زهکش و ترانشه بود، بسیار کم تر اتفاق افتاد. معماری (۱۳۹۶) نیز بیشترین هدایت الکتریکی محلول خاک را در عصاره گیر با فاصله بیش تر نسبت به زهکش مشاهده کرد.

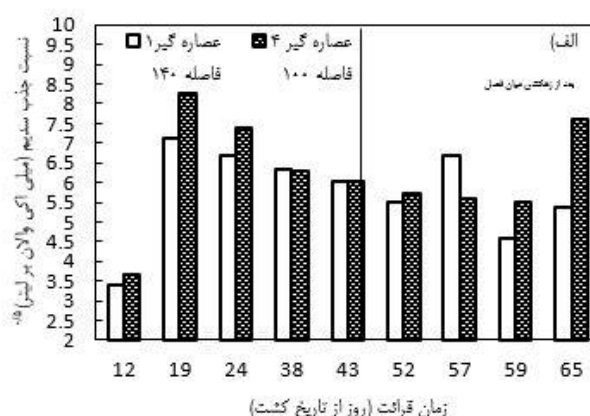
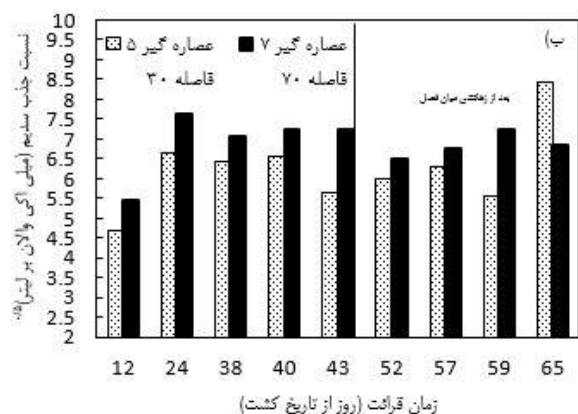
دومین روز با ورود آب آبیاری با هدایت الکتریکی کم تر، عصاره گیر نزدیک به ترانشه زهکش به دلیل شکسته بودن لایه سخت بالای ترانشه با روند کاهش شوری مواجه شد اما به مرور زمان مجدداً تجمع املاح در خاک روی داد. برای عصاره گیرهای ۱ و ۴ (شکل ۱۰- الف) نیز همین روند ولی با شدت بیش تری به دلیل عمق کم تر نسبت به عصاره گیرهای ۵ و ۷ وجود داشت به طوری که بعد از زهکشی میان فصل کاهش ۳۰ درصدی هدایت الکتریکی در عصاره گیر دورتر



شکل ۱۰- مقایسه تغییرات هدایت الکتریکی در فواصل ۱۰۰ و ۱۴۰ سانتی متر (الف) و ۳۰ و ۷۰ سانتی متری از زهکش (ب)

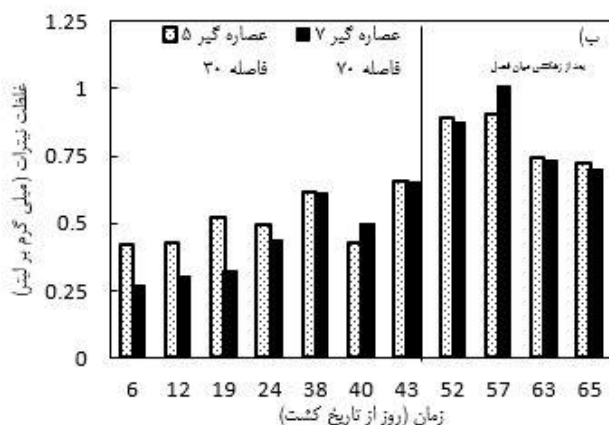
حداکثر میزان SAR در عصاره گیر نزدیک ترانشه (۸/۴۴) ریشه میلی اکی والان بر لیتر) در زمان بیشترین مقدار pH محلول خاک (۷/۴۹) در طول آزمایش مشاهده شد که می توان علت آن را نفوذ آب آبیاری با اسیدیته ۷/۶۸ به دلیل شکسته بودن لایه سخت در بالای ترانشه به عمق خاک دانست.

تغییرات نسبت جذب سدیم محلول خاک نسبت به فاصله از زهکش در شکل (۱۱) نشان داده شده است. روند تغییرات SAR عصاره گیرها تا قبل از زهکشی مشابه بود. همان طور که در شکل مشهود است زهکشی میان فصل تأثیر چندانی بر مقدار SAR در فواصل مختلف خاک نداشت. به طور کلی نوسانات مشاهده شده در مقادیر SAR تحت تأثیر تغییرات pH خاک می باشد به طوری که



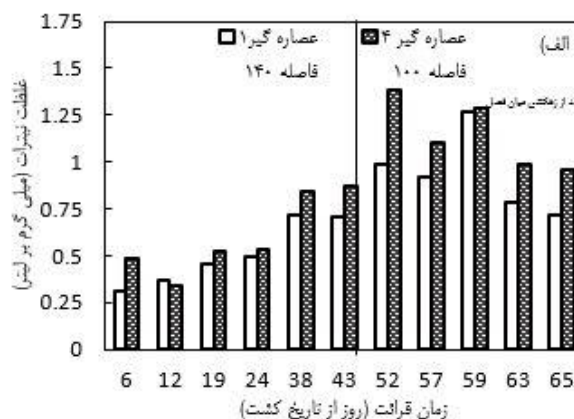
شکل ۱۱- تغییرات نسبت جذب سدیم عصاره های خاک در فواصل ۱۰۰ و ۱۴۰ سانتی متر (الف) و ۳۰ و ۷۰ سانتی متری از زهکش (ب)

به بعد در اثر ایجاد اشباع کامل و ایجاد شرایط بی‌هوایی با تشدید فعالیت نیترات‌زدایی کاهش ۳۹ و ۲۴ درصدی نیترات خاک در هر دو عصاره‌گیر ۱ و ۴ مشاهده شد. در مقایسه بین عصاره‌گیر ۵ و ۷ (شکل ۱۲-ب) تولید نیترات در هر دو عصاره‌گیر در بیش‌تر روزهای آزمایش، روند صعودی داشت. این میزان افزایش در عصاره‌گیر ۵ و ۷ تا قبل از شروع زهکشی با شیبی برابر با ۰/۱۰۷ و ۰/۱۰۱ همراه بود. زهکشی میان‌فصل باعث افزایش ۳۵ و ۳۴ درصدی غلظت نیترات خاک به ترتیب برای عصاره‌گیرهای ۵ و ۷ شد که این روند افزایشی برای هر دو عصاره‌گیر تا روز ۵۷ ادامه داشت. از این روز به بعد غلظت نیترات محلول خاک با روندی نزولی همراه بود که عصاره‌گیر دورتر از زهکش میزان کاهش بیش‌تری (۲۷ درصد) را در مقایسه با عصاره‌گیر ۵ نشان می‌دهد. معماری (۱۳۹۶) اظهار داشت که با افزایش فاصله از زهکش غلظت نیترات محلول خاک افزایش می‌یابد.



شکل ۱۲- تغییرات غلظت نیترات عصاره‌های خاک در فواصل ۱۰۰ و ۱۴۰ سانتی‌متر (الف) و ۳۰ و ۷۰ سانتی‌متری از زهکش (ب)

روند تغییرات غلظت نیترات خاک نسبت به فاصله از زهکش در شکل (۱۲) نشان داده شده است. غلظت نیترات عصاره‌گیرهای خاک در کل دوره نسبت به آغاز فصل رشد افزایش داشت. تا قبل از انجام زهکشی میان‌فصل غلظت نیترات خاک در تمام عصاره‌گیرها با روند صعودی همراه بود. در مقایسه بین عصاره‌گیر ۱ و ۴ (شکل ۱۲-الف) غلظت نیترات عصاره‌گیر نزدیک‌تر به زهکش تا قبل از زهکشی از مقدار بیش‌تری (با شیب ۰/۱۴) برخوردار بود. مقایسه روند تولید نیترات قبل و بعد از زهکشی میان‌فصل در این عصاره‌گیر و افزایش ۵۹ درصدی آن نشان از افزایش سرعت نیترات‌زایی در اثر انجام زهکشی میان‌فصل و ورود اکسیژن به داخل خلل و فرج خاک دارد. در عصاره‌گیر ۱ (دورتر) تولید نیترات با شیب ۰/۱ قبل از زهکشی میان‌فصل روی داد اما زهکشی میان‌فصل باعث تسریع در فرآیند نیترات‌زایی و افزایش غلظت نیترات خاک (۴۰ درصد) شد. از روز ۵۹



نتیجه‌گیری

عمق خاک و همچنین افزایش فاصله نسبت به زهکش (در اعماق و فواصل مورد بررسی در این آزمایش) با شدت کم‌تری همراه بود. همچنین وجود لایه سخت عامل تأثیرگذاری بر حرکت املاح به سمت زهکش و باعث تجمع بیش‌تر املاح در بالای این لایه می‌باشد به طوری که هدایت‌الکتریکی محلول خاک در بالای لایه سخت در آخر فصل کشت با افزایش هفت درصدی نسبت به اولین روز نمونه‌برداری همراه بود. زهکشی میان‌فصل تأثیر چندانی بر میزان SAR محلول خاک نداشت و تغییرات SAR بیش از هر چیزی وابسته به SAR و pH آب آبیاری بود. انجام زهکشی میان‌فصل باعث افزایش نیترات در بیش‌تر نقاط خاک شد. بیش‌ترین تجمع نیترات در عمق و فاصله کم‌تر نسبت به زهکش مشاهده شد. اما به طور کلی غلظت نیترات زه‌آب در زهکشی پایان‌فصل نسبت به میان‌فصل کم‌تر بود که اهمیت مدیریت کود اوره در مرحله دوم را

این آزمایش به منظور بررسی اثر زهکش زیرزمینی ترانشه‌دار حاوی شن و ماسه بر انتقال املاح در خاک و خروج آن توسط زهکش در خاک با بافت سنگین در زهکشی میان و پایان‌فصل برنج در مدل فیزیکی اراضی شالیزاری انجام شد. نتایج نشان داد که با گذشت زمان هدایت‌الکتریکی زه‌آب خروجی در زهکشی میان و پایان‌فصل به دلیل کاهش حجم زه‌آب و همچنین حرکت املاح به سمت زهکش با روندی صعودی همراه بود. هدایت‌الکتریکی زه‌آب وابسته به هدایت‌الکتریکی آب آبیاری و خاک قبل از انجام زهکشی بود اما به طور کلی زهکشی پایان‌فصل کم‌تر از زهکشی میان‌فصل توانست املاح را از پروفیل خاک خارج کند. بررسی هدایت‌الکتریکی در محلول خاک نشان داد که تجمع املاح در پروفیل خاک با افزایش

مودنی، س.م.ر.، نوایان، م.، اسمعیلی ورکی، م. ۱۳۹۵. ارزیابی عملکرد زهکش زیرزمینی در مقیاس مدل فیزیکی کشت دوم در اراضی شالیزاری (مطالعه موردی: گیاه تربتیگاله). مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۷: ۲. ۴۰۵-۳۹۷.

مولوی، ح.، پارسی نژاد، م.، لیاقت، ع. ۱۳۹۰. کنترل شوری و تلفات در زه آب تحت مدیریت سطح ایستابی. مجله مدیریت آب و آبیاری. ۲۸-۱۵.

مومن نژاد، ز. ۱۳۹۵. مقایسه کارایی مدل‌های SWAP و DRAINMOD در شبیه‌سازی عملکرد زهکش زیرزمینی کنترل شده در مقیاس مدل فیزیکی اراضی شالیزاری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان.

ناصری، ع. و مهدی نژادیانی، ب. ۱۳۸۹. طراحی پوشش برای زهکش‌های زیرزمینی. دانشگاه شهید چمران. ۷۰۶ صفحه.

نوایان، م و لیاقت، ع. ۱۳۸۵. طراحی بهینه دستگاه‌های زهکشی براساس مسائل زیست‌محیطی با استفاده از الگوریتم ژنتیک. همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۴-۱۲ اردیبهشت ماه، دانشگاه شهید چمران اهواز.

Amine Salehi, A., Navabian, M., Esmaeili Varaki, M and Pirmoradian, N. 2017. Evaluation of HYDRUS-2D model to simulate the loss of nitrate in subsurface controlled drainage in a physical model scale of paddy fields. Paddy and Water Environment. 15: 433-442.

Bahceci, I., Dinc, N., Tari, A.F., Agar, A.I and Sonmez, B. 2006. Water and salt balance studies, using SaltMod, to improve subsurface drainage design in the Konya-Cumra Plain, Turkey. Agricultural Water Management. 85: 261-271.

FAO. 1990. Water and Sustainable Agricultural Development: A strategy for the implementation of the Mar del Plata Action Plan for the 1990s. FAO, Rome.

Hornbuckle, J. W., Christen, E. W and Faulkner, R. D. 2007. Evaluating a multilevel subsurface drainage system for improved drainage water quality. Agricultural Water Management. 89: 208-216.

Huang, K., Toride, N and Van Genuchten, M. T. 1995. Experimental investigation of solute transport in large, homogeneous and heterogeneous, saturated soil columns. Transport in Porous Media. 18.3: 283-302.

Jaynes, D., 2012. Changes in yield and nitrate losses from using drainage water management in central Iowa, United States. Soil and Conservation. 67.6: 485-494.

Mallants, D. 2014. Field-scale solute transport

نشان می‌دهد و محاسبه نیاز کودی می‌تواند در کاهش نیتروژن خروجی از زهکش موثر باشد.

مقایسه نتایج کیفیت زه آب و غلظت املاح در خاک در مطالعه حاضر با سایر پژوهش‌های انجام شده در پوشش دور زهکش ژئوتکستایل و مواد آلی نشان داد، اگرچه روند تغییرات می‌تواند یکسان باشد اما شدت و میزان خروج املاح می‌تواند تحت تأثیر پوشش دور زهکش و در نتیجه مقاومت ورودی آب به داخل زهکش باشد.

منابع

اصلانی، ف.، ناظمی، ا.ح.، صدرالدینی، س.ع.، ا.، فاخری فرد، ا.، قربانی، م.ع. ۱۳۸۹. برآورد عمق و فاصله مناسب زهکش‌های زیرزمینی بر اساس کیفیت زه آب. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۱: ۲. ۱۳۹-۱۴۶.

امین صالحی، آ. ۱۳۹۴. بهینه‌سازی عمق زهکش برای کاهش تلفات نیترات از زهکش زیرزمینی کنترل شده در شرایط اراضی شالیزاری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان.

پذیرا، ا. ۱۳۸۷. زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری. پنجمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست. آبان ماه، تهران.

حسین زاده، م. ۱۳۹۳. ارزیابی عملکرد پوشش‌های مختلف زهکش‌های زیرزمینی تحت شرایط اراضی شالیزاری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان.

درزی نفت‌چالی، ع.، میر لطیفی، س. م.، شاهنظری، ع.، اجاللی، ف.، مهدیان، م.ح. ۱۳۹۱. تأثیر زهکش سطحی و زیر زمینی بر تلفات فسفر از اراضی شالیزاری در فصل کشت برنج. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۳. ۶. ۲۲۵-۲۱۵.

علی‌بخشی، ح.، شاهنظری، ع.، طهماسبی، ر. ۱۳۹۲. تأثیر عمق و فاصله زهکش‌های زیرزمینی بر تلفات نیترات در اراضی شالیزاری در فصل کشت کلزا. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۰. ۶. ۲۳۷-۲۵۲.

قانع، ا. ۱۳۹۴. ارزیابی عملکرد پوشش مصنوعی در زهکشی زیرزمینی اراضی شالیزاری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان.

معماری، ن. ۱۳۹۶. ارزیابی مدل HYDRUS-2D در شبیه‌سازی عملکرد زهکش زیرزمینی در زراعت گیاه لوبیا Phaseolus vulgaris (L) به‌عنوان کشت دوم در اراضی شالیزاری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان.

- properties affecting field-scale cadmium transport in a heterogeneous soil profile. *Journal of Hydrology*. 264.1-4: 185–200.
- Shao, M., Horton, R. and Miller, R. K. 1998. An approximate solution to the convection-dispersion equation of solute transport in soil. *Soil Science*. 163.5: 339–345.
- Suarez, D. L. 1981. Relation between pHc and Sodium Adsorption Ratio (SAR) and on alternative method of estimating SAR of soil or Drainage water. *Soil Science Society of America Journal*. 45.3: 469-475.
- van der Zee, S. E. A. T. M., Leijnse, A. 2013. Solute transport in soil. In: Soriano M C H. *Soil Processes and Current Trends in Quality Assessment*. 34–86.
- Wang, J and Shao, M.a. 2018. Solute transport characteristics of a deep soil profile in the Loess Plateau, China. *Journal of Arid Land*. 10.4: 628-637.
- parameters derived from tracer tests in large undisturbed soil columns. *Soil Research*. 52.1: 13–26.
- Oster, J. D and Garrison, S. 1980. The Gapon Coefficient and the Exchangeable Sodium Percentage-Sodium Adsorption Ratio Relation. *Soil Science Society of America Journal*. 44.22: 258-260.
- Rhoades, J. D. 1986. Mineral-weathering correction for estimating the sodium hazard of irrigation waters. *Soil Science Society of America Journal*. 32.5: 648-652.
- Rusydi, A. F. 2018. Correlation between conductivity and total dissolved solids in various type of water: A review. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 118.1: 12-19.
- Seuntjens, P., Mallants, D and Šimůnek, J. 2002. Sensitivity analysis of physical and chemical

The Effect of Trenched Subsurface Drainage on the Drain Water Quality and Solute Transport in Soil in Mid and end Season Drainage of Rice

F. Mohamadpour¹, M. Navabian^{2*}

Received: Nov.12, 2018

Accepted: Jun.10, 2019

Abstract

Proper design and management of irrigation and drainage systems improves the quality of drainage and conserve soil and water resources. In paddy fields, due to the high clay and impenetrable layer, the type of drainage and its envelope have a great effect on the movement of water in the soil and, consequently, solute transport. So, recognition of solute transport in this condition can lead to effective design and management of drainage to achieve proper drain water quality in paddy fields. So a box with dimensions 300×60×100 cm (in length, width and height) was considered. A Polyethylene drain pipe with 10 cm in diameter was laid in the sand and gravel trench with 20 cm width and 50 cm height. The rice transplant was transferred to the box and applied phosphate and urea fertilizer according to paddy fields custom. Flood irrigation method with 5 cm above the soil was performed and mid and end season drainage was applied at tillering and harvesting stages, respectively. During experiment, the soil solution and drain water was sampled and chemical parameters including electro conductivity (EC), sodium adsorption ratio (SAR) and nitrate and ammonium concentration was measured. Results showed that mean EC of mid season drainage (567 ds/m) was 51% more than mean EC of end season drainage. Nitrate and ammonium concentration of drain water of end season drainage reduced 12 and 39% than mid season drainage, respectively. The results indicated that hardpan layer has an effect on the accumulation of solute, so that at the end of the experiment, the accumulation of solute and nitrate on the top of this layer comparing with drain depth were 11 and 47 percent, respectively.

Keywords: Ammonium, Electro conductivity, Mineral envelope, Nitrate, Water quality

1- M. Sc. Student of Water Engineering. Department., Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan

2- Associated Professor. of Water Engineering. Department., Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan and Department. of Water Engineering. and Environment, Caspian Sea Basin Research Center, University of Guilan, Rasht, Iran

(*- Corresponding Author, Email: Navabian@guilan.ac.ir)