تلفات نیترات در اراضی شالیزاری زهکشی شده دوکشتی برنج و کلزا

سمانه دوستی پاشاکلایی ، علی شاهنظری [۱] * و مهدی جعفری تلوکلایی

دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

dostipasha @yahoo.com

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

aliponh@yahoo.com

دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

mehdijafari_89@yahoo.com

چکیده

با نصب زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری، امکان کشت زمستانه و مدیریت آب در فصل کشت برنج فراهم می‌شود. با توجه به شرایط متفاوت کشت و عملیات کشاورزی، اتخاذ تدابیر مناسب برای کاهش هدر رفت عناصر غذایی از اراضی شالیزاری دارای زهکشی زیرزمینی، ضمن افزایش بهره‌وری مصرف این مواد، منجر به کاهش آلودگی منابع آب پذیرنده نیز خواهد شد. برای بررسی اثرات زهکشی زیرزمینی بر غلظت نیترات خروجی و نیترات موجود در لایه‌های مختلف، تحقیقی از خرداد ۱۳۹۴ تا اردیبهشت ۱۳۹۵ (طی یک فصل کشت برنج و یک فصل کشت کلزا) در اراضی شالیزاری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. تیمارهای مختلف زهکشی زیرزمینی، سه نوع سیستم زهکشی زیرزمینی معمولی شامل سیستم زهکشی با فاصله ۳۰ متر و عمق نصب ۰/۹ متر، سیستم زهکشی با فاصله ۳۰ متر و عمق نصب ۰/۶۵ متر، سیستم زهکشی با فاصله ۱۵ متر و عمق نصب ۰/۶۵ متر؛ و یک سیستم زهکشی دو عمقی (سیستم زهکشی با فاصله ۱۵ و اعماق نصب ۰/۶۵ و ۰/۹ متر به‌صورت یک در میان) بودند. از زه‌آب زهکش‌های این تیمارها و همچنین از آب پیزومترها در اعماق ۰/۴، ۰/۹، ۲ و۵ متر برای تعیین میزان نیترات، نمونه‌هایی تهیه شد.نتایج نشان داد که غلظت و میزان کل نیترات خروجی در فصل کشت برنج به‌ترتیب ۳۳٪ تا ۸۰٪ و ۹۱٪ تا ۹۹٪ کمتر از فصل کشت کلزا بود. همچنین، غلظت نیترات زه‌آب زهکش‌های با عمق ۰/۹ متر بیشتر از مقدار آن در زه‌آب زهکش‌های با عمق ۰/۶۵ متر بود. از طرف دیگر، نیترات موجود در آب برای تمامی تیمارها، در لایه‌های بالایی خاک، بین ۱ تا ۱۸/۳ میلی‌گرم بر لیتر بیشتر از نیترات در لایه‌های پایین‌تر بود. به‌طور کلی در هر دو فصل کشت برنج و کلزا، تیمار زهکشی با فاصله بیشتر و عمق کم، نیترات کمتری را آبشویی کرده‌اند.

واژه‌های کلیدی: پیزومتر،دبی زهکش، عمق خاک، عمق زهکش، فاصله زهکش.

۱- آدرس نویسنده مسئول: ساری، گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

*- دریافت: آذر ۱۳۹۵و پذیرش: اسفند ۱۳۹۵

مقدمه

در راستای افزایش بهره‌وری و دستیابی به حداکثر محصول در ٤٦٠ هزار هکتار اراضی شالیزاری ایران (فائو، ٢٠١٤)، توجه به اثرات منفی بر منابع طبیعی اساسی، آب و خاک، برای توسعه کشاورزی و محیط زیست پایدار ضروری است. در کشاورزی نوین، استفاده از کودهای شیمیایی به‌عنوان بهترین راه تغذیه گیاه در جهت بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاه، امری اجتناب ناپذیر است. متاسفانه کمبود آگاهی در زمینه مصرف صحیح و متناسب کودهای شیمیایی، کشاورزان را به سمت مصرف بی‌رویه و نامتناسب این کودها کشانده است. در مناطق مرطوب، مانند نواحی شمالی ایران، به دلایل گوناگون از جمله آبشویی، استفاده از کودهای نیتروژنه کاربرد بیشتری دارد (ابیانه و همکاران، ١٣٨٩). از طرف دیگر، با توجه به تراکم کشت و خرده مالکی شالیکاران، برای دستیابی به حداکثر عملکرد در واحد سطح (نجفی، ١٣٨٧)، مقدار قابل توجهی از کود در این اراضی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نتیجه، مقدار زیادی از مواد غذایی به‌وسیله تلفات آب، از شالیزارها خارج می‌شود (یون و همکاران، ٢٠٠٦). خروج این مواد موجب تشدید آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی و در عین حال موجب تخریب ساختمان خاک و در نتیجه کاهش حاصلخیزی خاک‌های کشور می‌شود (ملکوتی و نفیسی، ١٣٧٣).

همچنین، در شمال کشور به دلیل بارندگی زیاد و عمدتا شدید در پاییز و زمستان، سنگینی بافت خاک‌ها و عدم توانایی زهکش‌های موجود در تخلیه زه‌آب‌ها، اراضی شالیزاری تنها یک بار در سال به زیر کشت می‌روند و اکثر زمین‌های استان در نیمه دوم سال، بدون استفاده می‌مانند (درزی و همکاران، ٢٠١٣). برای استفاده بهینه از منابع موجود خاک، حفظ اراضی شالیزاری برای کشت برنج و جلوگیری از تغییر کاربری آن‌ها، باید به کشت دوم بعد از برداشت برنج روی آورد تا به‌عنوان یکی از روش‌های افزایش درآمد مورد توجه قرار گرفته و ضمن ایجاد اشتغال، افزایش تولید و پایداری اراضی شالیزاری را موجب شد (ربیعی و همکاران، ٢٠٠٤). برای مهیا کردن شرایط کشت دوم در اراضی شالیزاری، بهبود وضعیت زهکشی بسیار حیاتی است.

در نصب سیستم‌های زهکشی زیرزمینی، ضروری است توجه بیشتری به کیفیت تخلیه زه‌آب‌ها معطوف گردد. در اراضی مسطح کشاورزی، عمده زه‌آب تولید شده از طریق زهکش‌های زیرزمینی خارج می‌شود (آذری و لیاقت، ١٣٨١). زهکشی زیرزمینی در مقایسه با زهکشی سطحی، جریان آب از داخل خاک را افزایش داده و مقدار حداکثر رواناب سطحی را کاهش می‌دهد (یون و همکاران، ٢٠٠٦). بنابراین، سیستم‌های زهکشی زیرزمینی نقش مهمی در انتقال مواد شیمیایی محلول کشاورزی مانند نیترات دارند (کالیتا و همکاران، ٢٠٠٦). کودهای نیتراته به دلیل عدم جذب مناسب توسط گیاه و خاک و شسته شدن توسط آب، بیشترین آلودگی منابع آب را سبب می‌شوند (شامروخ و کروپسیکلس، ٢٠٠١). در حال حاضر یکی از مهمترین آلاینده‌های آب‌های زیرزمینی، نیترات است. نیترات به دلیل قابلیت حلالیت بسیار بالا و عدم نگهداشت توسط خاک، در صورت کاربرد زیاد و همچنین آبیاری بیش از حد به راحتی به خارج از ناحیه ریشه حرکت می‌کند، بخش عظیمی از این تخلیه‌ها از طریق زهکشی انجام شده که به دلیل عملکرد نامناسب زهکش‌ها و یا مدیریت مزرعه بوده است که باعث آلودگی آب‌های سطحی و یا بخشی با عبور از لایه‌های خاک وارد آب‌های زیرزمینی شده و آلودگی منابع آب زیرزمینی را در پی خواهند داشت (احمدیان و حیدرپور، ١٣٩٠).

مطالعه‌ای (جکسون و همکاران ١٩٧٣)، نشان داد که حرکت نیترات در خاک، سریع است و می‌تواند به‌راحتی از پروفیل خاک، شسته و آبشویی گردد و به دنبال آن از طریق زهکش‌های زیرزمینی به آب‌های سطحی انتقال یابد. برو و همکاران (١٩٩٨) در تحقیقات متعددی

که انجام دادند به این نتیجه رسیدند که زهکشی زیرزمینی آلودگی و تلفات نیترات را افزایش داده است. سینگ و همکاران (۲۰۰۷)، تاثیر زهکشی زیرزمینی بر تجمع نیتریت در خاک رسی ساحلی هند را بررسی کردند. سیستم‌های مختلف زهکشی به فواصل ۱۵، ۲۵، ۳۵ و ۵۵ متر در منطقه مورد مطالعه نصب شدند. فرم‌های مختلف نیتروژن در چهار لایه خاک (۱۵-۰، ۳۰-۱۵، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر) اندازه‌گیری شد. غلظت نیتریت لایه‌های مختلف خاک منطقه با فاصله زهکش ۲۵ متر، بیشتر از مقادیر متناظر در تیمارهای با فواصل ۱۵، ۳۵ و ۵۵ متر بود بعد از سه سال کشت، بیشترین مقدار تجمع نیتریت در لایه ۳۰-۱۵ سانتی‌متری خاک مشاهده شد.

در سال‌های اخیر، به منظور بهره‌برداری بهتر از منابع محدود خاک حاصلخیز و پتانسیل‌های اقلیمی استان مازندران و ایجاد شرایط مناسب برای کشت دوم، نصب سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در شالیزارهای یکپارچه‌سازی شده این استان، در حال گسترش می‌باشد (درزی و همکاران، ۱۳۹۱). در این راستا، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به‌عنوان یک مرکز پیشرو، اقدام به احداث پایلوت زهکشی زیرزمینی با فواصل و اعماق متفاوت در اراضی شالیزاری یکپارچه‌سازی شده این دانشگاه نمود تا جوانب مثبت و منفی آن مورد بررسی قرار گیرد. در این تحقیق، اثر سیستم‌های مختلف زهکشی بر میزان نیترات در لایه‌های متفاوت و بررسی روند تغییرات زمانی تلفات نیترات در زمان کشت برنج و کلزا بررسی می‌شود. همچنین عمق و فاصله زهکش‌های زیرزمینی دو پارامتر مهم در طراحی سیستم‌های زهکشی زیرزمینی می‌باشند که نقش تعیین کننده‌ای در مقدار و کیفیت زه‌آب‌های خارج شده از لوله‌های زهکشی دارند که در این تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرد تا اثر این پارامترها بر میزان خروج نیترات بررسی گردد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق از خرداد ۱۳۹۴ تا اردیبهشت ۱۳۹۵ در پایلوت اراضی شالیزاری تجهیز و نوسازی شده دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سطح چهار هکتار انجام شد. عرض و طول جغرافیایی منطقه به ترتیب ۳۶/۳۹ درجه شمالی و ۵۳/۰۴ درجه شرقی بوده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۵- متر می‌باشد. اقلیم منطقه با روش دومارتن، از نوع مرطوب تعیین شد (بخت‌فیروز، ۱۳۹۰). طبق آمار هواشناسی ۱۰ ساله (۹۴-۱۳۸۵)، متوسط بارندگی منطقه، ۶۴۳ میلی‌متر و متوسط دمای هوا ۱۷/۶ درجه سانتی‌گراد است. در سال ۱۳۹۴، ۷۲۶ میلی-متر بارندگی رخ داد که ۸۳ میلی‌متر بیشتر از میانگین بلند مدت ۱۰ ساله بود. بخش اعظم این بارندگی‌ها (حدود ۷۰ درصد)، در فصول پاییز و زمستان رخ داد. داده‌های بارندگی روزانه در طول دوره مطالعه در پایلوت زهکشی در جدول (۱) ارایه شد. در مجموع، ۷۱۹/۵ میلی‌متر بارندگی در مدت تحقیق صورت گرفت. همچنین، تغییرات مکانی سطح آب زیرزمینی براساس اندازه‌گیری-های انجام شده در چاه عمیق کنار مزرعه، از عمق دو متر تا حدود ۱۰ سانتی‌متر در نوسان بود.

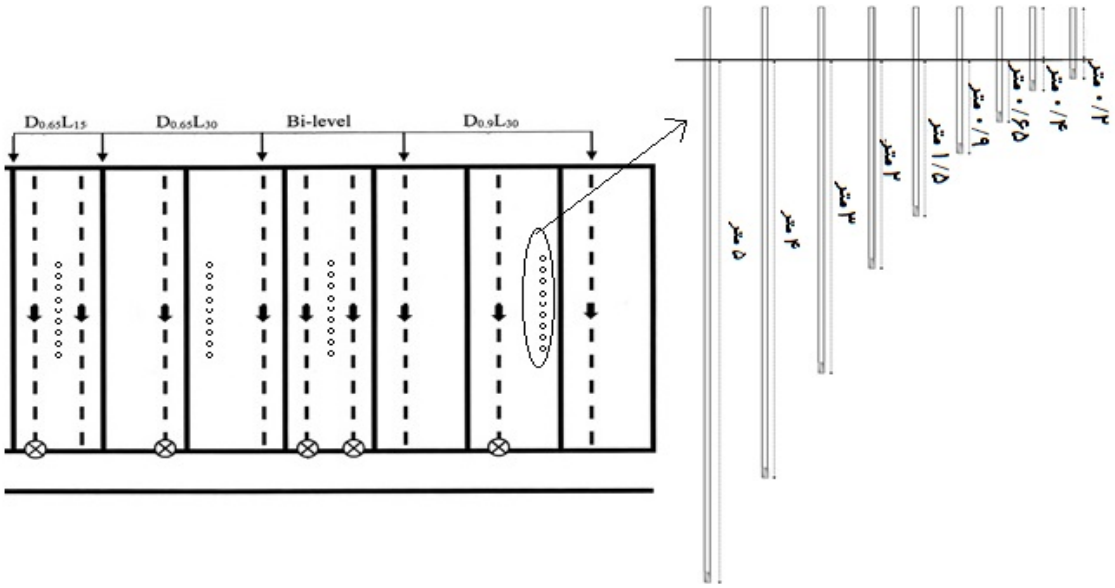
اراضی پایلوت، دارای کرت‌های تجهیز و نوسازی شده به ابعاد ۱۰۰ متر در ۳۰ متر می‌باشند. زهکش‌های زیرزمینی در اعماق و فواصل مختلف در سال ۱۳۹۰ در این اراضی نصب شدند تا امکان کشت دوم میسر شود. در این مزرعه سه نوع سیستم زهکشی زیرزمینی معمولی شامل سیستم زهکشی با فاصله ۳۰ متر و عمق نصب ۰/۹ متر ($D_{0.90}L_{30}$)، سیستم زهکشی با فاصله ۳۰ متر و عمق نصب ۰/۶۵ متر ($D_{0.65}L_{30}$) سیستم زهکشی با فاصله ۱۵ متر و عمق نصب ۰/۶۵ متر ($D_{0.65}L_{15}$) و یک سیستم زهکشی دو عمقی (Bilevel) (سیستم زهکشی با فاصله ۱۵ و اعماق نصب ۰/۶۵ متر (Bilevel-S) و ۰/۹ متر (Bilevel-D) به‌صورت یک در میان)، همگی با پوشش معدنی (شن و ماسه دانه‌بندی شده) نصب شدند. جزییات بیشتر در خصوص پوشش

معدنی در مقاله جعفری و همکاران (۱۳۹۲) آورده شد. شکل (۱) قابل مشاهده است.

شماتیک مزرعه مورد مطالعه و تیمارهای زهکشی در

جدول ۱- داده‌های روزانه بارندگی (میلی‌متر) در طول دوره مطالعه در پایلوت زهکشی

ردیف	تاریخ	بارندگی	تاریخ	بارندگی	تاریخ	بارندگی	تاریخ	بارندگی
۱	۱۷ خرداد	۳/۳	۱۶ مهر	۵۰/۲	۲۸ آبان	۰/۳	۶ بهمن	۵/۹
۲	۱۰ تیر	۰/۴	۱۷ مهر	۳/۸	۱۲ آذر	۱۲/۵	۷ بهمن	۲۳/۶
۳	۱۲ تیر	۲/۱	۱۸ مهر	۳۰/۷	۱۳ آذر	۸/۸	۱۳ بهمن	۶/۳
۴	۲۲ تیر	۰/۶	۱۹ مهر	۰/۴	۱۴ آذر	۰/۳	۱۸ بهمن	۵/۰
۵	۲۶ تیر	۱/۷	۲۲ مهر	۱۳/۳	۱۵ آذر	۹/۰	۱۹ بهمن	۳۰/۷
۶	۲۷ تیر	۴/۸	۲۴ مهر	۰/۵	۱۶ آذر	۱۱/۹	۲۰ بهمن	۶/۱
۷	۲۸ تیر	۷۳/۰	۲۵ مهر	۱۳/۶	۱۸ آذر	۰/۸	۲۷ بهمن	۲/۴
۸	۲۹ تیر	۱/۲	۶ آبان	۴/۶	۲۴ آذر	۴/۲	۲۹ بهمن	۴/۰
۹	۱۷ مرداد	۰/۲	۷ آبان	۳/۴	۲۷ آذر	۰/۴	۱ اسفند	۱/۲
۱۰	۱۸ مرداد	۱/۸	۸ آبان	۰/۴	۳۰ آذر	۷/۴	۹ اسفند	۷/۷
۱۱	۳۱ مرداد	۱/۶	۹ آبان	۲۴/۷	۱۲ دی	۲۲/۲	۱۰ اسفند	۷۲/۷
۱۲	۲ شهریور	۰/۷	۱۰ آبان	۲/۱	۱۶ دی	۰/۲	۱۱ اسفند	۰/۶
۱۳	۳ شهریور	۹/۳	۱۹ آبان	۹/۸	۱۹ دی	۲۳/۸	۲۲ اسفند	۱/۵
۱۴	۴ شهریور	۲/۸	۲۰ آبان	۳/۱	۲۰ دی	۳/۱	۲۵ اسفند	۲/۲
۱۵	۵ شهریور	۳/۳	۲۱ آبان	۳/۴	۲۵ دی	۳/۲	۲۶ اسفند	۳/۸
۱۶	۱۰ شهریور	۸۰/۱	۲۲ آبان	۳/۰	۲۶ دی	۰/۳	۲۷ اسفند	۱/۷
۱۷	۲۵ شهریور	۱/۷	۲۳ آبان	۲۸/۷	۳ بهمن	۰/۲	۱۲ فروردین	۳/۲
۱۸	۲۶ شهریور	۱۳/۵	۲۶ آبان	۱۲/۱	۴ بهمن	۰/۹	۲۶ فروردین	۴/۵
۱۹	۲۷ شهریور	۰/۹	۲۷ آبان	۴/۸	۵ بهمن	۴/۰	۶ اردیبهشت	۷/۳



شکل ۱- آرایش سیستم‌های زهکشی در مزرعه آزمایشی و موقعیت نصب تجهیزات مختلف (◄- - - خطوط زهکش، ○ پیزومترها، ⊗ محل اندازه‌گیری دبی زهکش و نمونه‌برداری، ═══ مرز کرت‌ها)

بافت خاک لایه‌های مختلف تا عمق ۱۵۰ سانتی‌متری غالبا از نوع سیلتی‌رس و از ۱۵۰ تا ۳۰۰ سانتی‌متر، رسی بود. در سال ۱۳۹۲، در کرت‌های مختلف، در وسط فاصله دو زهکش و به موازات زهکش‌ها، نه

پیزومتر در عمق‌های ۰/۲، ۰/٤، ۰/٦٥، ۰/۹، ۱/٥، ۲، ۳، ٤ و ٥ متری (شکل ۱) به فاصله یک متر از هم نصب شدند. پیزومترهای نصب شده در مزرعه، از یک لوله فولادی با قطر خارجی چهار سانتی‌متر تشکیل شده که انتهای لوله مسدود می‌باشد. ۱۰ سانتی‌متر انتهای لوله در جدار سوراخ‌دار شده است. روی لوله‌های پیزومتر نیز درپوش-هایی برای جلوگیری از ورود آب سطحی یا باران قرار داده شد.

پس از آماده‌سازی زمین، برنج رقم طارم محلی (دیلمانی) در کلیه تیمارهای مورد مطالعه کشت شد. آبیاری اراضی به روش غرقابی و با استفاده از چهار حلقه چاه سطحی به عمق حدود ۲۰ متر انجام شد. کلیه عملیات زراعی نظیر شخم، نشاکاری، کوددهی، سمپاشی، وجین و برداشت برنج مطابق با روش متداول و مورد استفاده زارعین منطقه انجام شد. در جدول (۲) خلاصه‌ای از عملیات‌های کشاورزی در فصل کشت برنج آورده شد.

برای جلوگیری از هدر رفت آب در طول فصل کشت برنج، انتهای لوله‌های زهکش با استفاده از درپوش مسدود شد. تفاوت مدیریت اراضی مورد مطالعه نسبت به مدیریت متداول در شالیزارهای منطقه، اعمال عملیات مدیریت زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل کشت برنج بود. برای دو مرحله زهکشی میان‌فصل، ۲۷ و ۳۸ روز پس از نشاکاری (در مرحله حداکثر پنجه‌دهی و قبل از گلدهی)، آبیاری در کلیه تیمارها قطع و با برداشتن درپوش زهکش-ها، امکان زهکشی آزاد فراهم شد. این مرحله از زهکشی به مدت پنج روز ادامه یافت و پس از ظهور ترک‌های کوچک سطحی، با بستن درپوش زهکش‌ها، مجددا عملیات آبیاری آغاز شد. برای اعمال زهکشی پایان فصل، حدود هفت روز قبل از برداشت، آبیاری متوقف و زهکش‌ها باز شدند.

جدول ۲- خلاصه فعالیت‌های زراعی در فصل کشت برنج (۱۳۹۴)

تاریخ	عملیات زراعی یا مدیریتی	توضیحات
۱۲ و ۱۳ خرداد ۹۴	کوددهی	۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل، ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به صورت سرک
۱۴ خرداد ۹۴	نشاء برنج	به صورت دستی
۲۵ خرداد ۹۴	سمپاشی	۳/۵ تا ۴ لیتر در هکتار بوتا کلر
۱۰ تیر ۹۴	سمپاشی	۲۰ کیلوگرم در هکتار دیازینون گرانوله
۱۱ تیر ۹۴	آغاز اولین دوره زهکشی	مدت زهکشی پنج روز بود.
۲۰ تیر ۹۴	سمپاشی	۱۵ کیلوگرم در هکتار دیازینون گرانوله
۲۲ تیر ۹۴	آغاز دومین دوره زهکشی	مدت زهکشی پنج روز بود.
۱۰مرداد ۹۴	سمپاشی	۱/۵ تا ۲ لیتر در هکتار محلول دیازینون (برای مبارزه با کرم ساقه خوار)، یک لیتر در هکتار هینوزان برای مبارزه با بیماری بلاست
۲۳ مرداد ۹۴	آغاز زهکشی پایان‌فصل	تمام کرت‌ها. مدت زهکشی پنج روز.
۳۰ مرداد تا ۶ شهریور ۹۴	برداشت برنج	

پس از برداشت برنج، کشت کلزا مطابق با روش متداول در منطقه، به‌صورت دستی و توسط زارعین با تجربه در تاریخ ۱۱ مهر انجام شد. دو بار در تاریخ‌های پنج مهر و سه آذر، ۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب کود سوپرفسفات تریپل و کود اوره به‌صورت سرک به تیمارهای تحت کشت کلزا داده شد. در تاریخ ۲۰ اردیبهشت برداشت صورت گرفت.

نمونه‌برداری‌ها و اندازه‌گیری‌ها

برای بررسی نیترات، آزمایشات مورد نیاز این تحقیق شامل دو بخش بود که در فصل کشت برنج و فصل کشت کلزا انجام شد. در فصل کشت برنج، دو بار در زهکشی میان‌فصل اول، سه بار در زهکشی میان‌فصل دوم و دو بار در زهکشی پایان‌فصل از زه‌آب خروجی از زهکش‌های مختلف نمونه‌برداری شد. همچنین، اندازه-

گیری دبی زهکش به‌صورت دستی و با استفاده از ظرف مدرج و زمان‌سنج در محل تخلیه زه‌آب زهکش‌ها به درون نهر جمع‌کننده، روزانه یکبار انجام شد. برای تعیین نیترات لایه‌های مختلف، نمونه‌هایی از آب پیزومترها در اعماق ۰/٤، ۰/۹، ۲ و ۵ متر در شش روز بعد کاشت و ۱۲ روز قبل برداشت برنج تهیه شد.

در فصل کشت کلزا با توجه به نیاز گیاه به تهویه خاک، زهکش‌ها همواره باز بودند. بنابراین، بعد از هر بارندگی که باعث اشباع شدن خاک شد، نمونه‌هایی از زه‌آب هر یک از سیستم‌های زهکشی و پیزومترها در اعماق ۰/٤، ۰/۹، ۲ و ۵ متر تهیه شد. با توجه به اینکه مصرف کودهای شیمیایی اثر زیادی بر میزان نیترات زه‌آب دارند، بلافاصله یک روز بعد از کوددهی، آزمایشات لازم انجام شد. نمونه‌ها با ظروف مخصوص نمونه‌برداری برداشت شده و سپس در فلاسک یخ نگهداری شده و به سرعت به آزمایشگاه منتقل شدند. در مجموع، هفت بار از پیزومترها (چهار بار در فصل پاییز، دو بار در فصل زمستان و یکبار در فصل بهار) و ۱۲ بار از زه‌آب زهکش‌ها (شش بار در فصل پاییز و شش بار در فصل زمستان) نمونه‌برداری شد. در زمان‌های نمونه‌برداری، عمق آب موجود در پیزومترها با استفاده از دستگاه عمق‌سنج (ELE) اندازه‌گیری شد. همچنین، اندازه‌گیری نیترات نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل HACHDR-4000 در طول موج ۲۲۰ نانومتر و با سل کوارتزی در آزمایشگاه معتمد آب منطقه‌ای مازندران انجام شد.به این ترتیب که با افزودن یک سی‌سی اسید کلریدریک نرمال، میزان نیترات نمونه را در دستگاه در طول موج ذکر شده قرائت می‌کنند. خلاصه نمونه‌برداری‌ها و اندازه‌گیری‌های انجام شده در فصول کشت برنج و کلزا در جدول (۳) آورده شد.

همچنین در ابتدا و انتهای هر فصل کشت از خاک عمق‌های ۳۰-۰، ٦۰-۳۰ و ۹۰-٦۰ سانتی‌متر نمونه‌هایی تهیه شد و مقدار نیترات آن در آزمایشگاه تعیین شد.

جدول ۳- خلاصه‌ای از نمونه‌برداری‌های انجام شده در فصول کشت برنج و کلزا

ردیف	فصل کشت برنج	فصل کشت کلزا
۱	اندازه‌گیری دبی خروجی از زهکش‌ها به صورت روزانه در زمان‌های زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل	اندازه‌گیری دبی خروجی از زهکش‌ها به صورت روزانه
۲	میزان نیترات خروجی از زه‌آب زهکش‌ها در زمان زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل	اندازه‌گیری میزان نیترات خروجی از زه‌آب زهکش‌ها بعد از هر بارندگی
۳	اندازه‌گیری میزان نیترات پیزومتر در اعماق ۰/۴، ۰/۹، ۲ و ۵ متری در زمان زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل	اندازه‌گیری میزان نیترات پیزومترها در اعماق ۰/۴، ۰/۹، ۲ و ۵ متری بعد از هر بارندگی
۴	اندازه‌گیری میزان نیترات آب آبیاری	اندازه‌گیری سطح آب موجود در پیزومترها بعد از هر بارندگی

آنالیز داده‌ها

بعد از جمع‌آوری داده‌ها، روند تغییرات نیترات خروجی از زهکش‌ها در دو فصل کشت متفاوت، تاثیر زهکش‌های زیرزمینی با اعماق و فواصل مختلف در خروج نیترات و میزان نیترات در لایه‌های مختلف بررسی شده و با مشخص کردن نیترات در اعماق مختلف به بررسی حرکت نیترات به لایه‌های پایین‌تر پرداخته شد، تا اثر زهکش زیرزمینی و تیمارهای مختلف آن و نوع کشت بر میزان نیترات خروجی و نیترات وارد شده به آب زیرزمینی مشخص شود.

تلفات نیترات از طریق زهکشی در طول هر دو فصل کشت، از مجموع حاصل‌ضرب غلظت نیترات در نمونه زه‌آب یک دوره زمانی خاص در حجم آب از دست رفته در آن دوره به‌صورت زیر محاسبه شد (گائو و همکاران، ۲۰۰٤):

$$L = \sum(C_{di} \times V_{di}) \qquad (۱)$$

که در آن:

L تلفات زهکشی نیترات از کرت (میلی‌گرم)، C_{di} غلظت نیترات زه‌آب خروجی از زهکش‌ها در دوره زمانی i (میلی‌گرم در لیتر) و V_{di} حجم زه‌آب در طول دوره i

(لیتر) می‌باشد.

نتایج و بحث

اثر سیستم‌های زهکشی بر دبی خروجی و حجم زه‌آب

در جدول (٤) مقادیر میانگین روزانه عمق آب و کل حجم آب خروجی مربوط به فصول کشت برنج و کلزا نشان داده شد. عمق آب خروجی از مقدار دبی روزانه زهکش بر سطح تحت زهکشی آن زهکش بدست آمد. در فصل کشت برنج، عمق زه‌آب زهکش Bilevel-D بیشتر از مقدار آن در تیمارهای دیگر بود که دلیل آن عمق بیشتر زهکش و کارایی بالای زهکش‌های دو عمقی در تخلیه زه‌آب می‌باشد. از میان خطوط زهکش با عمق ۰/٦٥ متر، در اکثر مواقع عمق آب خروجی زهکش $D_{0.65}L_{15}$ بیشتر از زهکش‌های $D_{0.65}L_{30}$ و Bilevel-S بود. فاصله زیاد بین دو زهکش در تیمار $D_{0.65}L_{30}$ و تخلیه بخش بیشتری از زه‌آب توسط زهکش عمیق (Bilevel-D) در تیمار دو عمقی از دلایل کمتر بودن دبی این دو زهکش نسبت به تیمار $D_{0.65}L_{15}$ بودند. همچنین کل حجم آب خروجی در تیمار Bilevel-D و $D_{0.65}L_{15}$ در فصل برنج، بیشتر از بقیه تیمارها بود، که با نتایج جعفری و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد.

در فصل کشت کلزا، بیشترین میانگین عمق آب خروجی به‌ترتیب مربوط به تیمارهای Bilevel-S و Bilevel-D بود. در این فصل کل حجم آب خروجی از تیمار دو عمقی بیشتر از تیمارهای دیگر بود که رابطه مستقیم با مقادیر بالای دبی در این تیمار دارد. به‌طور کلی هم در فصل برنج و هم در فصل کلزا، عمق آب خروجی زهکش‌های با فاصله ۱۵ متر بیشتر از مقدار آن در زهکش‌های با فاصله ۳۰ متر بود. سنگین بودن خاک در اراضی شالیزاری و کم بودن هدایت هیدرولیکی در لایه‌ی زیر لایه سطحی (عمق ۰/٤ و ۰/٦٥) (جعفری و همکاران، ۲۰۱٦) باعث شده‌اند تا زهکش‌های با فاصله بیشتر، شدت تخلیه کمتری داشته باشند. در فصل کشت کلزا به دلیل دوره کشت طولانی‌تر و باز بودن همیشگی زهکش‌ها، مقدار کل آب خروجی از زهکش‌ها بیشتر از مقدار آن در فصل کشت برنج بود. در تیمار دو عمقی، در فصل کشت برنج خاک همواره اشباع بوده و با توجه به بسته بودن زهکش، مقطع خاک کاملا پر از آب است. با برداشتن درپوش زهکش‌ها، به دلیل بار ایستابی بیشتر روی زهکش عمیق، شدت و مقدار بیشتری از آب توسط این زهکش خالی شده است. اما در فصل کشت کلزا، زهکش‌ها همواره باز بوده است در زمان‌های اولیه نفوذ آب، به دلیل نزدیکتر بودن زهکش کم‌عمق به جبهه پیشروی آب، مقدار بیشتری از آن به زهکش کم‌عمق رسیده و تخلیه شده و با توجه به سنگین بودن خاک آب با شدت و مقدار کمتری به زهکش عمیق رسیده است.

جدول ۴- عمق آب خروجی از زهکش‌ها به صورت روزانه و کل آب خروجی در فصول کشت برنج و کلزا

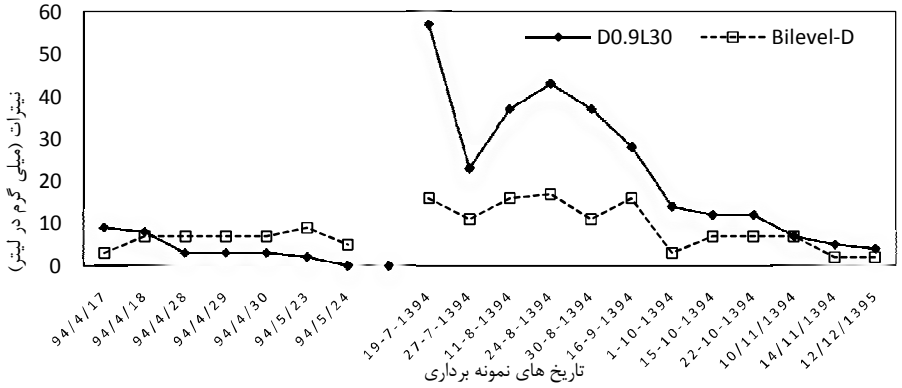
تیمار	فصل کشت برنج		فصل کشت کلزا	
	عمق آب خروجی (میلی‌متر بر روز)	کل آب خروجی (میلی‌متر)	عمق آب خروجی (میلی‌متر بر روز)	کل آب خروجی (میلی‌متر)
$D_{0.9}L_{30}$	۱/۱۵	۹/۲۰	۱/۲۴	۸۱/۵۲
Bilevel-S	۰/۹۳	۷/۴۲	۳/۶۰	۲۳۷/۵۶
Bilevel-D	۲/۲۵	۲۰/۲۵	۲/۴۵	۱۶۱/۴۰
$D_{0.65}L_{30}$	۰/۶۹	۸/۲۹	۱/۳۶	۹۰/۰۱
$D_{0.65}L_{15}$	۱/۵۷	۱۳/۱۶	۱/۶۴	۱۰۸/۴۷

اثر سیستم‌های زهکشی بر غلظت نیترات خروجی

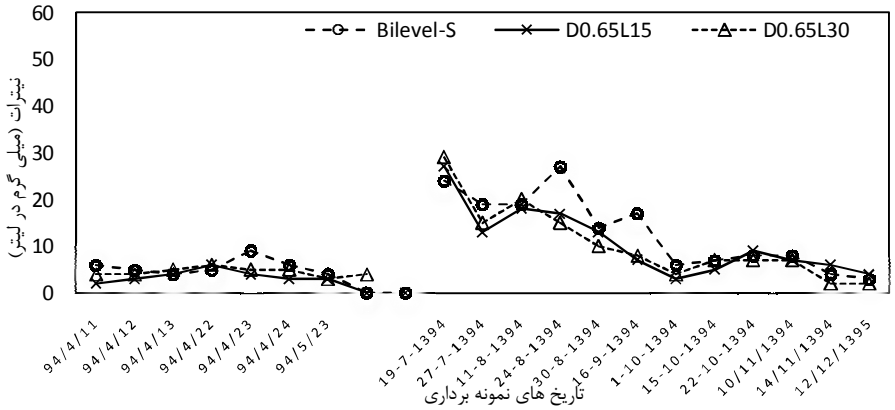
روند تغییرات غلظت نیترات زه‌آب زهکش‌های با عمق ۰/۹ متر مربوط به فصول کشت برنج و کلزا در شکل (۳) ارایه شد. همچنین، شکل (٤) غلظت نیترات زه‌آب زهکش‌های با عمق ۰/٦٥ متر را نشان می‌دهد. در فصل کشت برنج، بیشترین غلظت نیترات زه‌آب زهکش-

های زیرزمینی با عمق ۰/۹ متر، در زمان اولین دوره زهکشی میان فصل و بیشترین غلظت نیترات زه‌آب زهکش‌های زیرزمینی با عمق ۰/٦٥ متر، در زمان دومین دوره زهکشی میان فصل مشاهده شد. استفاده از کود در ابتدای فصل، دلیل بر بیشتر بودن نیترات در زهکشی‌های میان‌فصل نسبت به پایان فصل بودند. در فصل کشت کلزا، حداکثر غلظت نیترات زه‌آب زهکش‌های زیرزمینی در زهکشی اوایل فصل رخ داد و در ادامه فصل، غلظت نیترات زه‌آب روندی کاهشی داشت. در ۹ آذر ۱۳۹٤، کود اوره به مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار در تیمارهای مختلف مصرف شد که در نتیجه آن مقدار نیترات زه‌آب در اواسط فصل افزایش یافت. در ادامه، حجم بالای بارش در فصل زمستان باعث آبشویی نیترات از خاک و خروج آن شد که کاهش آن را در انتهای فصل به همراه داشت.

حداکثر و حداقل مقدار غلظت نیترات خروجی در زمان زهکشی برنج برابر نه و دو میلی‌گرم در لیتر بود که به‌ترتیب در زه‌آب زهکش‌های Bilevel-D و $D_{0.65}L_{15}$ مشاهده شد. این مقادیر در زمان زهکشی کلزا برابر ۵۷ و ۲ میلی‌گرم در لیتر بود که به‌ترتیب در زه‌آب زهکش‌های $D_{0.9}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{30}$ مشاهده شد. در مجموع، غلظت نیترات زه‌آب زهکش‌های با عمق ۰/۹ متر بیشتر از مقدار آن در زه‌آب زهکش‌های با عمق ۰/٦٥ متر بود. روند تغییر غلظت نیترات زه‌آب زهکش‌های زیرزمینی در زمان زهکشی فصل برنج نسبت به زهکشی فصل کلزا متفاوت بود، به‌طوری‌که حداکثر غلظت نیترات در فصل برنج در زه‌آب زهکشی زیرزمینی Bilevel-D و در فصل کلزا در زهکشی $D_{0.9}L_{30}$ مشاهده شد. این تفاوت را می‌توان ناشی از شرایط متفاوت اشباع بودن خاک در فصول کشت برنج و کلزا، فاصله متفاوت در دو تیمار و دبی بیشتر Bilevel-D نسبت به $D_{0.9}L_{30}$ دانست.

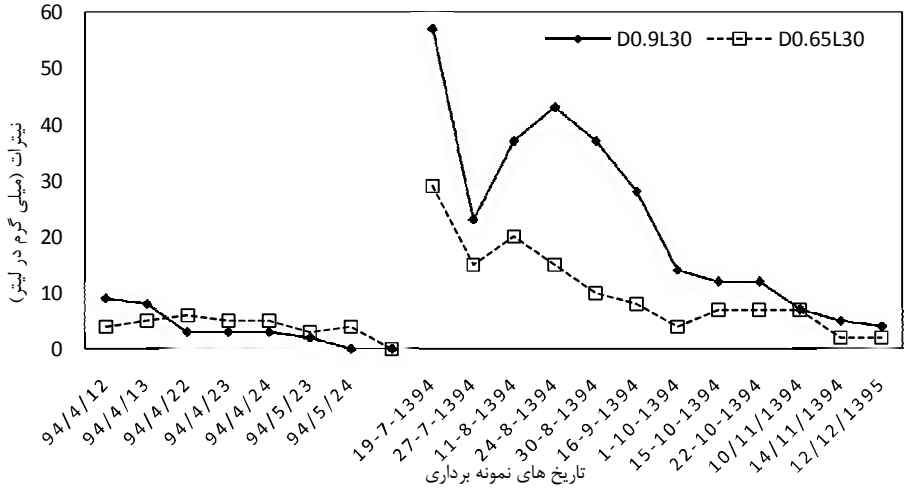


شکل ۳- غلظت نیترات زه‌آب زهکش‌های با عمق ۰/۹ متر ($D_{0.9}L_{30}$ و Bilevel-D)



شکل ۴- غلظت نیترات زه‌آب زهکش‌های با عمق ۰/۶۵ متر ($D_{0.65}L_{30}$، Bilevel-$D_{0.65}$ و $D_{0.65}L_{15}$)

در شکل (۵) غلظت نیترات زه‌آب زهکش‌های با فاصله ۳۰ متر نشان داده شد. مقایسه غلظت نیترات زه-آب زهکش‌های $D_{0.9}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{30}$ در فصل کشت کلزا نشان می‌دهد که برای یک فاصله ثابت بین زهکش‌ها، با افزایش عمق زهکش، غلظت نیترات زه‌آب افزایش می-یابد. این روند، عکس روند مشاهده شده در فصل کشت برنج می‌باشد. کم بودن دبی زهکش $D_{0.9}L_{30}$ نسبت به $D_{0.65}L_{30}$ سبب افزایش تلفات نیترات شد که دلیل آن غلظت بیشتر نیترات در دبی کمتر است. همچنین زهکش عمیق با تخلیه پروفیل بزرگتری از خاک، نیترات بیشتری را خارج نموده است. دامنه تغییرات غلظت نیترات این دو تیمار زهکشی از ۲ تا ۵۷ میلی‌گرم بر لیتر بود. بیکر (۱۹۸۰) غلظت نیترات زه‌آب را ۰/۶ تا ۶۱/۲ میلی‌گرم در لیتر و گیلیام و همکاران (۱۹۹۹)، متوسط غلظت نیترات زه‌آب زهکش‌های زیرزمینی را بین ۸ تا ۲۰ میلی‌گرم در لیتر گزارش کردند. نوع خاک، مقدار کود مصرفی و شرایط هیدولوژیکی مهم‌ترین عوامل موثر بر میزان نیترات خروجی از سیستم‌های زهکشی می‌باشند. در همین راستا، کوددهی در ابتدای فصل برنج و کلزا باعث افزایش نیترات زه‌آب شد. چون با افزایش کود مصرفی، پتانسیل تلفات نیتروژن افزایش می‌یابد (کلادیکو و همکاران، ۲۰۰۴).



شکل ۵- غلظت نیترات زه‌آب زهکش‌های با فاصله ۳۰ متر ($D_{0.9}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{30}$)

میانگین غلظت نیترات زه‌آب و مقدار کل نیترات خروجی در زمان‌های زهکشی فصل برنج و فصل کلزا در جدول (۵) ارایه شد. در فصل برنج، میانگین غلظت نیترات زه‌آب زهکش‌های با عمق ۰/۹ متر بیشتر از مقادیر متناظر برای زهکش‌های با عمق ۰/۶۵ متر بود. روند مذکور با یک استثنا (زهکش کم عمق در زهکشی دو عمقی) همراه بود. نتایج یک مطالعه شبیه‌سازی درباره تاثیر عمق و فاصله زهکش‌ها بر تلفات نیترات از مزرعه غیرشالیزاری (اسکگز و چشیر، ۲۰۰۳) نشان داد که افزایش غلظت نیترات زه‌آب با افزایش عمق زهکش همسو است.

در فصل کشت کلزا، متوسط غلظت نیترات زه-آب تیمارهای مختلف از ۹/۶ تا ۲۳/۳ میلی‌گرم بر لیتر بود. در تحقیقی در اراضی غیرشالیزاری، غلظت نیترات زه‌آب زهکش زیرزمینی ۲۰ میلی‌گرم در لیتر گزارش شد (فوگیل و بلچر، ۱۹۹۱). در فصل کشت کلزا، متوسط غلظت نیترات زه‌آب از روند خاصی پیروی نمی‌کرد. هر چند با مقایسه زهکش‌های معمولی ($D_{0.9}L_{30}$، $D_{0.65}L_{15}$ و $D_{0.65}L_{30}$) می‌توان دریافت که زهکش‌های کم‌عمق، نیترات خروجی کمتری داشتند. نصب سیستم‌های زهکشی زیرزمینی کم‌عمق ممکن است تلفات نیتروژن را مشابه روش زهکشی کنترل شده کاهش دهد (اسکگز و چشیر، ۲۰۰۳). با نصب زهکش در عمق کم، ضخامت

ناحیه اشباع زیر زهکش بیشتر شده و منطقه بیشتری برای دنیتریفیکاسیون فراهم می‌شود.

مقدار کل نیترات خروجی از طریق زه‌آب زهکش‌های زیرزمینی در فصل برنج، به‌ترتیب در تیمارهای Bilevel-D و $D_{0.65}L_{15}$ بیشتر بقیه تیمارها بود. غلظت بالای نیترات در تیمار Bilevel-D در فصل کشت برنج (شکل ۳ و جدول ۵) و دبی بیشتر در $D_{0.65}L_{15}$ باعث بیشتر شدن مقدار کل نیترات خروجی از این تیمارها نسبت به تیمارهای هم‌عمق شد. میزان کل نیترات خروجی از زهکش‌ها در فصل کلزا از ۹/۳ تا ۳۱/۷ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. در نتایج برخی محققین؛ غلظت نیترات خروجی را سه تا شش (تابوچی و همکاران، ۱۹۷۵)، ۹ تا ۱۲ (چو و همکاران، ۲۰۰۲)، ۷/٥٤ (شین و کوان، ۱۹۹۰)، ۸/۹۸ تا ۱۱/۹ (یون و همکاران، ۲۰۰٦) کیلوگرم در هکتار گزارش کرده‌اند.

کمترین مقدار کل نیترات خروجی در فصول کشت برنج و کلزا به‌ترتیب در تیمارهای $D_{0.90}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{30}$ مشاهده شد که به دلیل غلظت پایین‌تر و دبی کمتر در زمان تخلیه بود. علاوه بر این، مقدار خروج نیترات در فصل کشت کلزا در تیمارهای $D_{0.65}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{15}$ کمتر از مقدار آن در تیمار $D_{0.90}L_{30}$ بود که نشان می‌دهد زهکش‌های با عمق ۰/۹ متر پروفیل خاک را بیشتر تخلیه کرده و اثرات زیست محیطی شدیدتری نسبت به زهکش‌های کم‌عمق دارند. در تحقیقی یک ساله در خاک لوم سیلتی، اثر دو سیستم زهکشی با عمق ۰/٦۱ و فاصله ۱۵ متر و عمق ۱/۲۲ و فاصله ۳۰ متر بر تلفات نیترات بررسی شد (کوکه و همکاران، ۲۰۰۲). نتایج نشان داد که تلفات نیترات از سیستم کم‌عمق، ۵۱ درصد کمتر از مقدار آن در سیستم عمیق بود. مقایسه مقدار کل تخلیه نیترات در هر دو فصل، در تیمارهای با عمق یکسان اما با فاصله متفاوت زهکشی نشان می‌دهد که تیمارهای با فاصله زیاد سبب کاهش نیترات آب خروجی از زهکش‌ها می‌شوند. همچنین، مقدار خروج نیترات در فصل کشت کلزا در تیمارهای $D_{0.90}L_{30}$ بیشتر از مقدار آن در تیمار $D_{0.65}L_{15}$ بود در آزمایشی مزرعه‌ای در کارولینای شمالی، اثر دو سیستم زهکشی کم‌عمق با فاصله کم (عمق ۰/۷۵ متر با فاصله ۱۲/۵ متر) و عمیق با فاصله زیاد (عمق ۱/۵ متر با فاصله ۲۵ متر) بر تلفات نیترات در سال ۲۰۰۲ بررسی شد (بورچل، ۲۰۰۳). به‌طور متوسط، تلفات نیترات از سیستم کم‌عمق و فاصله کم برابر ۲۷ کیلوگرم در هکتار بود که به میزان ۱۰ کیلوگرم کمتر از مقدار آن در سیستم عمیق با فاصله زیاد بود.

جدول ۵- میانگین غلظت نیترات زه‌آب (میلی‌گرم در لیتر) و کل نیترات خروجی (کیلوگرم در هکتار) از زهکش‌ها در فصول کشت برنج و کلزا

تیمار	فصل کشت برنج		فصل کشت کلزا	
	میانگین غلظت نیترات	کل نیترات خروجی	میانگین غلظت نیترات	کل نیترات خروجی
$D_{0.9}L_{30}$	۴/۷	۰/۳۴۰	۲۳/۳	۱۸/۱۲۳
Bilevel-S	۵/۶	۰/۴۰۴	۱۳/۰	۳۱/۶۶۲
Bilevel-D	۶/۴	۱/۲۹۳	۹/۶	۱۴/۴۸۱
$D_{0.65}L_{30}$	۴/۵	۰/۳۴۶	۱۰/۵	۹/۲۹۷
$D_{0.65}L_{15}$	۳/۶	۰/۴۷۴	۱۰/۸	۱۱/۳۳۶

اثر سیستم‌های زهکشی بر غلظت نیترات در لایه‌های مختلف

در جدول (٦) متوسط غلظت نیترات آب اعماق ۰/٤، ۰/۹، ۲ و ۵ متری در تیمارهای مختلف برای هر دو فصل کشت برنج و کلزا، ارایه شد. در فصل کشت برنج، کمترین و بیشترین میزان غلظت نیترات در عمق ۰/٤ متری خاک برابر سه و نه میلی‌گرم در لیتر بود که به‌ترتیب مربوط به تیمارهای Bilevel (هر دو دوره زهکشی میان-فصل) و $D_{0.9}L_{30}$ (دومین دوره زهکشی میان‌فصل) می-باشند. افزایش تخلیه نیترات توسط تیمار Bilevel، سبب

کاهش نیترات در خاک و کاهش تخلیه نیترات توسط تیمار $D_{0.9}L_{30}$ سبب افزایش نیترات در خاک شد.

در فصل کشت کلزا، غلظت نیترات در عمق ۰/٤ متری در اکثر مواقع از سال، به مقدار قابل توجهی بیشتر از مقدار متناظر در نمونه‌های فصل کشت برنج بود. کوددهی در ابتدا و میانه فصل و جذب کمتر نیتروژن توسط گیاه به دلیل بودن در مرحله اولیه رشد، عوامل مهمی در افزایش غلظت نیترات عمق ۰/٤ متر بود. بر این اساس، تعیین زمان صحیح مصرف کود اوره، با توجه به مرحله رشد و قابلیت بالای آبشویی نیترات، نقش بسیار زیادی در کنترل تلفات مواد غذایی و جلوگیری از آلودگی آب زیرزمینی دارد.

در فصل کشت برنج، غلظت نیترات در عمق ۰/۹ متری در تمامی تیمارها به جز تیمار $D_{0.65}L_{30}$، در میان فصل دوم نسبت به میان‌فصل اول افزایش یافت. افزایش میزان تخلیه نیترات در برخی تیمارها و تاخیر در حرکت نیترات و رسیدن آن به لایه‌های زیر لایه سطحی از دلایل اصلی افزایش نیترات در عمق ۰/۹ متری در میان-فصل دوم بودند. در فصل کشت کلزا، غلظت نیترات در عمق ۰/۹ متری در اکثر مواقع از سال، همانند نمونه‌های مربوط به عمق ۰/٤ متر، به مقدار قابل توجهی بیشتر از مقدار متناظر در نمونه‌های فصل کشت برنج بود. جذب کمتر توسط گیاه کلزا نسبت به برنج و اشباع نبودن همیشگی خاک با تاثیر بر آبشویی نیترات (در شرایط غیراشباع به دلیل حرکت آب از حفرات ریزتر، شستشوی مواد مغذی بیشتر انجام می‌شود)، عوامل مهمی در افزایش غلظت نیترات در عمق ۰/۹ متر بود.

در فصل کشت برنج، غلظت نیترات در عمق دو متری از میان‌فصل اول به میان‌فصل دوم تا حدودی کاهش یافت، اما غلظت نیترات در عمق پنج متری در میان‌فصل دوم نسبت به میان‌فصل اول در تیمارهای $D_{0.9}L_{30}$، $D_{0.65}L_{30}$ و Bilevel افزایش یافت و تنها در تیمار $D_{0.65}L_{15}$ کاهش یافت. حرکت نیترات از عمق دو متری به عمق پنج متری، باعث کاهش میزان نیترات در عمق دو متری و افزایش آن در عمق پنج متری شد. همچنین، کاهش نفوذ نیترات از لایه‌های بالا به عمق دو متر به دلیل تخلیه شدن توسط زهکش را می‌توان علت دیگر کاهش نیترات در عمق دو متری دانست. در فصل کشت کلزا، غلظت نیترات در عمق‌های دو متری و پنج متری در اکثر مواقع از سال، به مقدار قابل توجهی بیشتر از مقدار متناظر در نمونه‌های فصل کشت برنج بود. افزایش نفوذ آب به لایه‌های پایین‌تر به دلیل بهبود ساختمان خاک در فصل کشت کلزا و آبشویی نیترات همراه با آن، باعث افزایش میزان نیترات در عمق‌های دو و پنج متری در فصل کلزا شد.

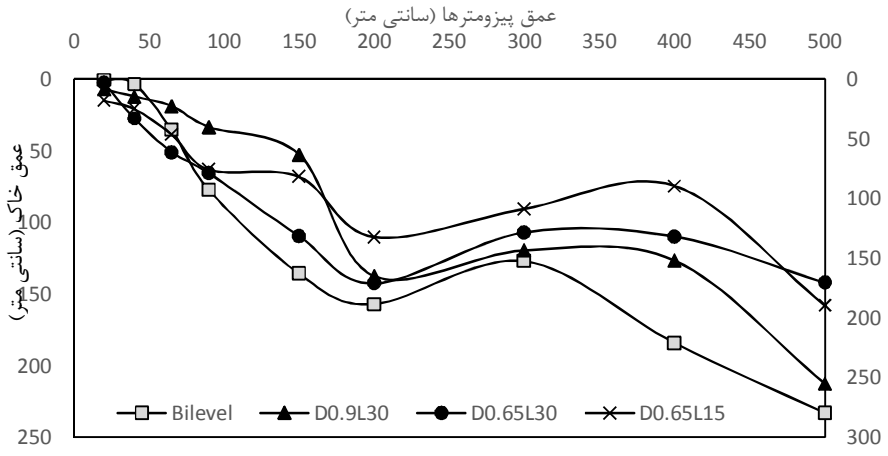
در تیمارهای با فاصله ۳۰ متر ($D_{0.9}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{30}$)، متوسط غلظت نیترات عمق ۰/٤ متر در هر دو فصل برنج و کلزا بیشتر از مقدار آن در دیگر عمق‌ها بود، که میانگین مقادیر نیترات در اعماق مختلف به جز عمق پنج متر در فصل کشت برنج، در تیمار $D_{0.65}L_{30}$ بیشتر از مقدار آن در تیمار $D_{0.9}L_{30}$ بود. تخلیه بیشتر نیترات توسط زهکش $D_{0.9}L_{30}$ می‌تواند دلیل کاهش نیترات در لایه‌های سطحی باشد. برخلاف این نتایج، بورچل (۲۰۰۳) گزارش کرد که غلظت نیترات آب زیرزمینی اعماق ۱۲۰-۹۰ و ۱۸۰-۱۵۰ سانتی‌متر در سیستم زهکشی کم‌عمق با عمق زهکش ۰/۷۵ متر و فاصله زهکش ۱۲/۵ متر (به‌ترتیب ۲۲/۹ و ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر) کمتر از مقادیر آن (به‌ترتیب ۳۹/۱ و ۱۵/۵ میلی‌گرم در لیتر) در سیستم زهکشی عمیق با عمق زهکش ۱/۵ متر و فاصله ۲۵ متر بود. در تیمارهای با فاصله ۱۵ متر (Bilevel و $D_{0.65}L_{15}$)، میانگین غلظت نیترات در عمق ۰/۹ متری در فصل کشت برنج بیشتر از دیگر عمق‌ها بود. اما در فصل کشت کلزا، مقدار نیترات در عمق ۰/٤ متری برای این تیمارها بیشتر از مابقی عمق-ها بود. این امر می‌تواند به نوعی نشان‌دهنده نقش موثر سیستم زهکشی زیرزمینی با توجه به شرایط اشباع یا کاربری زمین در جذب یا کاهش غلظت نیتروژن و جلوگیری از آلودگی آب زیرزمینی باشد.

در فصل کشت برنج، بیشترین مقادیر نیترات در عمق ۰/٤ متر مربوط به تیمارهای با فاصله ۳۰ متر، بیشترین مقادیر نیترات در عمق ۰/۹ متر مربوط به تیمارهای با فاصله ۱۵ متر، در عمق دو متری مربوط به تیمار دو عمقی و در عمق پنج متر مربوط به تیمارهای $D_{0.9}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{15}$ بود. در فصل کشت کلزا، روند تغییرات متوسط غلظت نیترات آب با افزایش عمق، در تمام تیمارها کاهش یافت، که با نتیجه تحقیق (یون و همکاران، ۲۰۰٦) مطابقت دارد. بیشترین غلظت نیترات در عمق‌های ۰/٤، ۰/۹ و پنج متری در تیمار Bilevel و در عمق دو متری در تیمار $D_{0.65}L_{30}$ مشاهده شد. همچنین کمترین مقادیر نیترات در اعماق مختلف مربوط به تیمار $D_{0.9}L_{30}$ بود که نشان می‌دهد زهکش‌های با فاصله بیشتر و عمیق، می‌تواند خطر آبشویی نیتروژن و آلودگی آب زیرزمینی را در مقایسه با عمق و فاصله کمتر، کاهش دهد.

جدول ۶- میانگین غلظت نیترات آب (میلی‌گرم در لیتر) در اعماق مختلف در فصول کشت برنج و کلزا

تیمار	فصل کشت برنج				فصل کشت کلزا			
	عمق ۰/۴ متر	عمق ۰/۹ متر	عمق ۲ متر	عمق ۵ متر	عمق ۰/۴ متر	عمق ۰/۹ متر	عمق ۲ متر	عمق ۵ متر
$D_{0.9}L_{30}$	۴/۵	۳	۳	۴/۵	۱۳/۹	۸/۰	۸/۰	۶/۰
Bilevel	۱/۵	۷/۰	۵/۰	۳/۵	۲۵/۳	۱۵/۷	۷/۸	۷/۰
$D_{0.65}L_{30}$	۶/۰	۴/۵	۴/۰	۱/۵	۱۳/۳	۹/۵	۱۰/۶	۶/۸
$D_{0.65}L_{15}$	۳/۵	۴/۵	۲/۵	۴/۵	۲۲/۲	۱۱/۱	۸/۰	۴/۹

در شکل ٦، میانگین سطح آب در پیزومترهای واقع در عمق‌های مختلف در تیمارها مختلف را نشان می‌دهد. سطح آب در پیزومترهای بالاتر از عمق دو متر بیشتر از عمق‌های پایین‌تر از دو متر بوده است که نشان می‌دهد که جریان آب به سمت پایین بوده است. سطح آب در پیزومترها در لایه‌های بالایی بیشتر از لایه‌های پایین‌تر از عمق دو متر بوده است که نشان می‌دهد به دلیل بار هیدرولیکی حرکت آب به لایه‌های پایین‌تر در جریان است.



شکل ۶- میانگین سطح آب در پیزومترهای واقع در عمق‌های مختلف در تیمارهای مختلف

در جدول (۷)، مقادیر نیترات در عمق‌های مختلف خاک در تیمارهای مختلف در ابتدا و انتهای فصل‌های کشت آورده شده است. نتایج نشان داد که مقادیر نیترات در لایه سطحی در انتهای فصل کشت نسبت به ابتدای آن افزایش یافت، که به مصرف کود و تجمع نیترات در این لایه در طول زمان برمی‌گردد. اما مقدار آن در عمق‌های ٦۰-۳۰ و ۹۰-٦۰ در عمق‌های مختلف کاهش یافت. کاهش نیترات در این لایه‌ها را می-

توان متاثر از تخلیه زهکش‌ها از این عمق‌ها و نفوذ آن به لایه‌های پایین‌تر دانست.

جدول ۷- مقدار نیترات (میلی‌گرم بر لیتر) در عمق‌های مختلف خاک در زمان‌های مختلف

تیمار	عمق	ابتدای کشت برنج	انتهای کشت برنج و ابتدای کشت کلزا	انتهای کشت کلزا
$D_{0.9}L_{30}$	۰-۳۰	۱۴/۸	۱۲/۴	۱۵/۱
	۳۰-۶۰	۸/۲	۷/۲	۶/۴
	۶۰-۹۰	۲۱/۱	۵/۸	۶/۹
Bi-level	۰-۳۰	۱۰/۲	۱۳/۱	۱۴/۱
	۳۰-۶۰	۸/۸	۷/۵	۷/۴
	۶۰-۹۰	۱۳/۶	۷	۵/۲
$D_{0.65}L_{30}$	۰-۳۰	۱۰	۱۵/۱	۱۶/۶
	۳۰-۶۰	۷/۸	۷/۲	۶/۱
	۶۰-۹۰	۱۴/۷	۶/۳	۵/۴
$D_{0.65}L_{15}$	۰-۳۰	۷/۴	۱۹/۵	۱۸/۳
	۳۰-۶۰	۸/۲	۸	۶/۷
	۶۰-۹۰	۱۹/۴	۶/۶	۶/۳

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی هم در فصل برنج و هم در فصل کلزا، دبی در واحد سطح زهکش‌های با فاصله ۱۵ متر بیشتر از مقادیر آن در زهکش‌های با فاصله ۳۰ متر بود. در فصل کلزا، مقادیر نیترات زه‌آب بیشتر از مقدار آن در فصل برنج بود، که در هر دو فصل، غلظت نیترات زه‌آب زهکش‌های با عمق ۰/۹ متر بیشتر از مقدار آن در زه‌آب زهکش‌های با عمق ۰/٦۵ متر بود. همچنین، در زهکش-های با عمق یکسان، میزان کل نیترات خروجی در زهکش‌های با فاصله کمتر، بیشتر از زهکش‌های با فاصله زیاد بود. روند تغییرات نیترات خروجی از زهکش‌ها نشان داد که در ابتدای هر فصل کشت، مقدار نیترات خروجی به دلیل کوددهی بالا بوده و با نزدیک شدن به انتهای فصل کشت، مقدار نیترات خروجی به دلیل جذب نیتروژن توسط گیاه و همچنین آبشویی نیترات خاک، کاهش می-یابد.

غلظت نیترات در عمق‌های مختلف در اکثر مواقع از فصل کشت کلزا، به مقدار قابل توجهی بیشتر از مقدار متناظر در نمونه‌های فصل کشت برنج بود. نیترات موجود در آب برای تمامی تیمارها، در لایه‌های بالایی خاک بیشتر از نیترات در لایه‌های پایین‌تر بود. در تیمارهای با فاصله ۳۰ متر ($D_{0.9}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{30}$)، متوسط غلظت نیترات در عمق ۰/٤ متر در هر دو فصل برنج و کلزا بیشتر از مقدار آن در دیگر عمق‌ها بود. در فصل کشت برنج، بیشترین مقادیر نیترات در عمق ۰/۹ متر و در فصل کشت کلزا، بیشترین مقدار نیترات در عمق‌های ۰/٤ و ۰/۹ متر مربوط به تیمارهای با فاصله ۱۵ متر بود. در انتهای هر فصل کشت مقدار نیترات عمق‌های مختلف کاهش یافت، اما نیترات در لایه‌ی پنج متری با کمی افزایش همراه بود.

به طور کلی، تعیین زمان صحیح مصرف کود اوره و یا تقسیط مصرف آن به زمان‌های مختلف، با توجه به مرحله رشد و قابلیت بالای آبشویی نیترات، نقش بسیار زیادی در کنترل تلفات مواد غذایی و جلوگیری از آلودگی آب زیرزمینی دارد. به‌طور کلی در هر دو فصل کشت برنج و کلزا، تیمار $D_{0.65}L_{30}$ (فاصله زیاد و عمق کم) از لحاظ کیفیت زه‌آب خروجی شرایط بهتری نسبت به بقیه خطوط داشت و غلظت نیترات خروجی از آن کمتر از بقیه تیمارها بود.

فهرست منابع

۱. آذری، الف. و ع. لیاقت. ۱۳۸۱. زهکشی؛ کمیت و کیفیت جریان برگشتی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، چاپ اول.

۲. ابیانه، ا.، ح. نوری، ع. لیاقت، و. کرمی، و ح. نوری. ۱۳۸۹. واسنجی آبشویی و نوسانات سطح ایستابی در اراضی شالیزار با استفاده از مدلDRAINMOD-N. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ٤٩: ٦٠-٥٧.

۳. احمدیان، ا. و م. حیدرپور. ۱۳۹۰. بررسی عملکرد پوشال جو در کاهش نیترات زهکش‌های زیرزمینی تحت شرایط جریان ناپایدار. یازدهمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

٤. بخت‌فیروز، ع. ۱۳۹۰. بررسی اثر سامانه‌های زهکشی بر گسیل گاز متان و دی‌اکسید کربن از شالیزارها. پایان-نامه کارشناسی‌ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. ۵۰ ص.

۵. درزی، ع.، س.م. میرلطیفی، ع. شاهنظری، ف. اجلالی، م.ح. مهدیان. ۱۳۹۱. تاثیر زهکشی سطحی و زیرزمینی بر عملکردو اجزای عملکرد برنج در اراضی شالیزاری. مجله پژوهش های آب در کشاورزی، ج (۱)۲٦: ۷۰-٦۱.

٦. جعفری تلوکلایی، م.، ع. شاهنظری، و م. ضیاتبار احمدی. ۱۳۹۲. بررسی اثر دو نوع پوشش زهکشی بر دبی زهکش‌های زیرزمینی در مزارع شالیزاری استان مازندران. نشریه آب و خاک، ۲۷(۱): ۱۳۰-۱۲۳.

۷. ملکوتی، م. و م. نفیسی.۱۳۷۳. حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. ٤٩٤ ص.

۸. نجفی، غ. ۱۳۸۷. نقش مدیریت منابع آب در حوزه آبریز رودخانه هراز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۱۸٦ صفحه.

9. Baker, J.L. 1980. Agricultural areas as nonpoint sources of pollution. p. 275-310. In Environmental impact of nonpoint source pollution. Overcash M.R. and Davidson J.M. (ed.) Ann Arbor Science Publication, Inc., Ann Arbor, MI.

10. Breve, M.A., R.W. Skaggs, J.A. Parsons, and J.W. Gilliam. 1998. Using the DRAINMOD-N model to study effects of drainage system design and management on crop productivity, profitability and NO3-N losses in drainage water. Agricultural water management, 35:227-243.

11. Burchell, M.R. 2003. Practices to reduce nitrate-nitrogen losses from drained agricultural lands. PhD diss. Raleigh, N.C., North Carolina State University.

12. Cho J.Y., Han K.W., Choi J.K., Kim Y.J. and Yoon K.S. 2002. N and P losses from a paddy field plot in Central Korea. Soil Sci. Plant Nutrition. 48:301–306.

13. Cooke R., Nehmelman J. and Kalita P. 2002. Effect of tile depth on nitrate transport from tile drainage systems. ASAE Paper No. 022017.

14. Darzi-Naftchali, A., S.M. Mirlatifi, A. Shahnazari, F. Ejlali, and M.H. Mahdian. 2013. Effect of subsurface drainage on water balance and water table in poorly drained paddy fields. Agricultural water management, 130:61-68.

15. FAO. 2014. FAO Statistical Year Book. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Bangkok, 195 p.

16. Fogiel, A., and H.W. Belcher. 1991. Review of water table management impacts on water quality. Rep Land Improve. Contract. Am. Agric. Eng. Dept., Michigan State University, East Lansing, MI.

17. Gilliam, J.W., Baker J.L. and Reddy K.R. 1999. Water quality effects of drainage in humid regions. In Agricultural Drainage, 801-830. Agronomy Monograph 38. R.W. Skaggs and J. van Schilfgaarde, eds. Madison, Wisc. ASA, CSSA, and SSSA.

18. Guo, H.Y., Wang X.R., Wu Z.H. and Zhang Z. 2004. Case study on nitrogen and phosphorus emissions from paddy field in Taihu region. Environmental Geochemistry and Health, (26): 209-219.
19. Jackson W.A., Asmussen L.E., Hauser E.W. and White A.W. 1973. Nitrate in surface and subsurface flow a small agricultural watershed. Journal of Environmental Quality, 2(4): 480-482.
20. Jafari-Talukolaee M., Shahnazari A., Z. Ahmadi M. and Darzi-Naftchali A. 2015. Drain Discharge and Salt Load in Response to Subsurface Drain Depth and Spacing in Paddy Fields. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 141(11): 1-6.
21. Jafari-Talukolaee M., Ritzema H., Darzi-Naftchali A. and Shahnazari A. 2016. Subsurface Drainage to Enable the Cultivation of Winter Crops in Consolidated Paddy Fields in Northern Iran. Sustainability, 8 (249): 1-19.
22. Kalita, P.K., Algoazany A.S., Mitchell J.K., Cooke R.A.C. and Hirschi M.C. 2006. Subsurface water quality from a flat tile-drained watershed in Illinois, USA. Agriculture, Ecosystems and Environment, 115: 83–193.
23. Kladivko, E.J., Frankenberger J.R., Jenkins B.J. and Fausey N.R. 2004. Nitrate losses to subsurface drains as affected by winter cover crop, fertilizer N rates, and drain spacing. ASAE Paper No. 701P0304.
24. Rabiee, M., Karimi M.M. and Safa F. 2004. Effect of planting dates on grain yield and agronomic characteristics of rapeseed cultivars as a second crop after rice at Kouchesfahan. Iranian J. Agric. Sci. 35(1):177-187. (In Persian).
25. Shamrukh, M.M. and Coropciogles Y. 2001. Modeling the effect of chemical fertilizers on ground water quality in the Nile valley aquifer, Egypt, Ground water, 39(1), pp59-67.
26. Shin D.S. and Kwun S.K. 1990. Input/output of nitrogen and phosphorus in a paddy field. Korean J. Environ. Agric., 9: 133-141.
27. Singh M., Pabbi S., Bhattacharya A.K. and Singh A.K. 2007. Nitrite accumulation in coastal clay soil of India under inadequate subsurface drainage Agricultural Water Management (91): 78-85.
28. Skaggs, R.W. and Chescheir G.M. 2003. Effects of subsurface drain depth on nitrogen losses from drained lands. Trans. ASAE, 46(2): 237-244.
29. Tabuchi T., Takamura S., Kubota H. and Suzuki S. 1975. The water quality and load of rivers during manuring period. Trans JSIDRE, 58:8–13.
30. Yoon, K.S., Choi J.K., Son J.G. and Cho J.Y. 2006. Concentration profile of nitrogen and phosphorus in leachate of a paddy plot during the rice cultivation period in southern Korea. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 37: 1957–1972.