



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۳ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۲

صفحه‌های ۱۴۵-۱۳۵

تأثیر مدیریت سطح ایستابی بر کمیت و کیفیت زهاب خروجی از زهکش‌های زیرزمینی

محمود مشعل^{۱*}، جواد کامرانی^۲، فرهاد میرزایی اصلی^۳

۱. استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت - ایران
۲. کارشناس ارشد گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت - ایران
۳. استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج - ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۲/۲۱

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۱/۱۲/۲۱

چکیده

نگرانی در مورد آلودگی نیتراتی آب‌های سطحی و سیستم‌های پایین‌دست سبب توسعه سیستم‌های مدیریت آب کشاورزی با هدف کاهش تلفات نیترات در زهاب زهکشی زیرزمینی با استفاده از آبیاری زیرسطحی از طریق خطوط زهکشی موجود، در طول فصل رشد و کنترل زهاب‌ها خارج از فصل رشد شد. هدف اصلی این پژوهش، بررسی تأثیر زهکشی کنترل‌شده بر مقدار زهاب خروجی و تلفات نیترات از طریق شبیه‌سازی یک مدل فیزیکی به شرایط نسبتاً واقعی مزرعه است. طرح شامل شش تیمار، یک تیمار زهکشی آزاد (FD) با خروجی زهکش در عمق ۸۰ سانتی‌متری از سطح خاک و دو تیمار زهکشی کنترل‌شده (CD_1 ، CD_2) بود. سطح ایستابی در زهکش‌های کنترل‌شده به ترتیب در عمق ۴۵ و ۲۵ سانتی‌متری از سطح خاک بود. هر یک از تیمارهای زهکشی دارای دو سطح اعمال کود نیترات (اوره) N_1 (۱۰۰ درصد) و N_2 (۵۰ درصد) بود. نتایج نشان داد از نظر مقدار زهاب خروجی، بین تیمارهای زهکشی تفاوت معناداری وجود دارد ($F=45/42$ ، $P < 0/0001$). تیمارهای زهکش کنترل‌شده (CD_1 و CD_2) در مقایسه با تیمار FD، به ترتیب ۵۷/۹ و ۸۰/۵ درصد حجم زهاب را کاهش دادند و تیمار CD_2 در مقایسه با تیمار CD_1 مقدار زهاب را ۵۳/۸ درصد کاهش داد. در سطح ۱۰۰ درصد اعمال کود نیترات، زهکش‌های کنترل‌شده (CD_1 و CD_2) در مقایسه با تیمار زهکشی آزاد (FD) تلفات نیترات را به ترتیب ۵۵/۸ و ۸۲/۵ درصد کاهش دادند. در سطح ۵۰ درصد اعمال کود نیترات، کاهش تلفات نیترات از زهکش‌های کنترل‌شده به ترتیب ۳۰/۳ و ۷۰/۴ درصد بود. زهکشی کنترل‌شده نقش مؤثری در بهبود کاهش مواد مغذی در خاک و کاهش خروج نیترات دارد.

کلیدواژه‌ها: تحلیل آماری، زهکشی آزاد، زهکشی کنترل‌شده، لایسیمتر، نیترات.

مقدمه

توسعه کشاورزی با توجه به رشد جمعیت جهانی در ۵۰ سال آینده ضروری است. نیازهای غذایی نقش مهمی در تغییرات جهانی محیط زیست خواهد داشت (۱۹). معمولاً از کودهای معدنی برای افزایش بازده تولیدات کشاورزی استفاده می‌شود. این کار سبب ورود بارهای مغذی از زمین‌های تحت کشت به آب‌های مجاور می‌شود (۶). مقدار تلفات کود به صورت عمقی در اراضی شالیزار که به صورت غرقابی یا متناوب با دور کوتاه آبیاری می‌شوند، تا حد زیادی افزایش می‌یابد که خود سبب افزایش آلودگی آب‌های زیرزمینی و کاهش بهره‌وری مصرف کود می‌شود (۲).

با بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در مزرعه، مقدار زهکشی کاهش می‌یابد و بخش بزرگی از خاک مستغرق می‌شود که در نتیجه، زمان مانداب در خاک افزایش می‌یابد و به طور بالقوه، آب بیشتر از طریق تبخیر و تعرق خارج می‌شود. شدت زهکشی از طریق کاهش جریان تخلیه کاهش می‌یابد و بسته به نوع سیستم مدیریت زهکشی و شرایط مکان، رواناب سطحی و نشست جانبی و عمقی ممکن است افزایش پیدا کند. شرایط بی‌هوازی در خاک مستغرق، فرایندهای شیمیایی و بیولوژیکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در برخی پژوهش‌ها، ترکیب نیترات‌سازی (دنیتریفیکاسیون) برای کاهش غلظت $\text{NO}_3\text{-N}$ در جریان زیرسطحی از پلات‌های زهکشی کنترل‌شده یافت شده است (۹، ۱۱، ۱۸). در پژوهش‌های دیگر، کاهش مقادیر آب زهکشی به جای کاهش غلظت $\text{NO}_3\text{-N}$ سبب می‌شود بارهای نیتروژن (ازت) تا حد زیادی کاهش یابد (۹، ۱۴، ۲۳).

تکنیک جدید مدیریت سطح ایستابی برای کاهش آثار زیست‌محیطی خارج از محل زهکشی کنترل‌شده، در ایالات متحده آمریکا و کانادا بررسی شده است (۱۳، ۱۵).

بنابر تجزیه و تحلیل مطالعات میدانی در ۱۴ خاک کارولینای شمالی در ۱۲۵ داده مکان-سال، در پی زهکشی کنترل‌شده، مجموع تلفات ازت سالانه در مزرعه حدود ۴۵ درصد (۱۰ کیلوگرم بر هکتار) و مجموع تلفات فسفر حدود ۳۵ درصد (۰/۱۲ کیلوگرم بر هکتار) کاهش یافت و جریان زهآب حدود ۳۰ درصد کاهش پیدا کرد (۸).

تلفات نیترات از زهکش‌های کنترل‌شده در سراسر کمربند کشت ذرت واقع در بالای غرب ایالات متحده در دور سه‌ساله (۲۰۰۶ تا ۲۰۰۹) بررسی شد (۲۵). طرح در یک سیستم کشت چرخه‌ای ذرت - سویا در نزدیکی دلند، در شرق ایلینوی مرکزی، با سیستم‌های زهکشی آزاد (FD) و زهکشی کنترل‌شده (CD) اجرا شد. نتایج نشان داد زهکشی کنترل‌شده با میانگین تلفات سه‌ساله ۵۷/۲ کیلوگرم ازت بر هکتار در سال از FD در مقایسه با ۱۷ کیلوگرم ازت بر هکتار در سال برای CD تا حد زیادی خروج ازت را کاهش داد.

مقدار زیاد نیترات در زهآب‌ها نشان‌دهنده کاربرد نامناسب کود و بازده اندک کوددهی است که علاوه بر افزایش هزینه‌ها، سبب آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی می‌شود و رشد جلبک‌ها را در دریاچه‌ها و تالاب‌ها افزایش می‌دهد (۱۷). تأثیرات مثبت تطابق زهکشی کنترل‌شده در مناطق خشک و نیمه‌خشک از طریق کاهش زهآب‌ها و ذخیره آب آبیاری در چندین پژوهش نشان داده شده است (۴، ۱۰). کنترل سطح ایستابی، ابزار مناسبی برای مدیریت خاک و کاهش تجمع نیترات در آب‌های سطحی و زیرزمینی در خاک‌های با سطح ایستابی بالاست (۱، ۲۴).

با توجه به پژوهش‌های کم صورت‌گرفته در زمینه تأثیر کنترل سطح ایستابی بر کاهش تلفات نیترات و شست‌وشوی املاح از مزارع و همچنین مشخص نبودن حد تأثیر آن بر خروج املاح در شرایط و اقلیم‌های مختلف، پژوهش بیشتر در این زمینه ضرورت می‌یابد. در

مدیریت آب و آبیاری

تأثیر مدیریت سطح ایستایی بر کمیت و کیفیت زهآب خروجی از زهکش‌های زیرزمینی

از بشکه پلاستیکی با سطح مقطع دایره‌ای استفاده شد. قطر دهانه هر یک ۵۰ و ارتفاع آنها ۹۰ سانتی‌متر بود. برای هر یک از لایسیمترها یک لوله زهکشی قرار داده شد. ابتدا، پایین هر لایسیمتر سوراخی به قطر دو سانتی‌متر برای قرار دادن شیر زهکشی در ارتفاع پنج سانتی‌متری از کف لایسیمتر تعبیه شد. به‌منظور سهولت فرایند زهکشی و خروج زهآب، داخل همه لایسیمترها شن درشت (بادامی) به ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر از کف ریخته شد. سپس به ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر، خاک مزرعه داخل لایسیمترها ریخته شد. برای اجتناب از ورود ذرات خاک به پایین و اختلاط آنها بین دو لایه از گونی کنفی استفاده شد. لایسیمترها با خاک مزرعه و بدون اجرای عملیات تراکمی خاصی بر روی خاک، از خاک دست‌خورده تا ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر پر شدند. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ و مدل فیزیکی (لایسیمترها) برای تیمارهای زهکشی در شکل ۱ ارائه شده است.

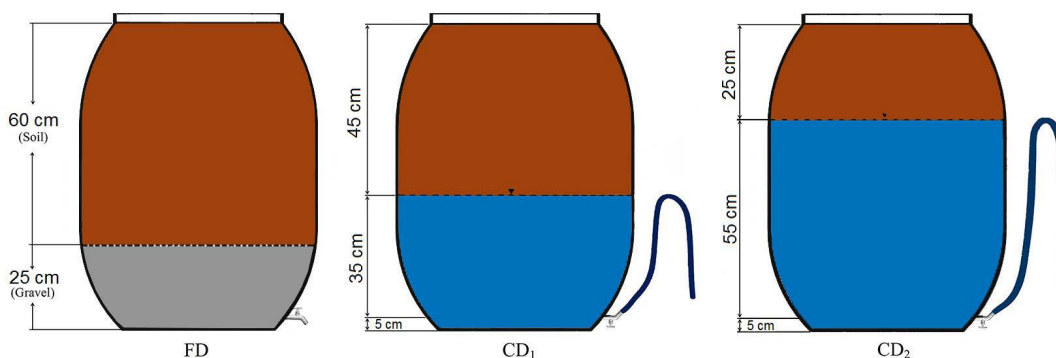
این پژوهش، هدف بررسی تأثیر زهکشی کنترل‌شده بر مقدار تلفات نیترات و زهآب خروجی از طریق شبیه‌سازی یک مدل فیزیکی به شرایط نسبتاً واقعی مزرعه از نظر گیاه، خاک و کیفیت آب آبیاری است.

مواد و روش‌ها آماده‌سازی طرح

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران واقع در شهرستان پاکدشت انجام گرفت. شهرستان پاکدشت در طول جغرافیایی $35^{\circ} 28' 50''$ شمالی و عرض جغرافیایی $51^{\circ} 41' 3''$ شرقی واقع شده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۰۳۰ متر است. این منطقه دارای تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های ملایم و میانگین بارندگی سالانه ۱۷۰ میلی‌متر، میانگین درجه حرارت ۳۴ درجه سانتی‌گراد و تبخیر سالانه ۱۶۲۰ میلی‌متر است. در اجرای این پژوهش، آزمایش‌ها در قالب پژوهش‌های لایسیمتری انجام گرفت. برای تهیه لایسیمتر

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

عمق خاک (cm)	بافت خاک	شن (%)	ماسه (%)	لای (%)	رس (%)	اسیدیته	هدایت الکتریکی (dS/m)
۰-۶۰	لوم رسی شنی	۱۲	۳۴	۲۸	۲۶	۷/۴	۲/۶
۶۰-۸۰	سنگریزه	-	-	-	-	-	-



شکل ۱. مدل فیزیکی تیمارهای زهکشی (لایسیمترها)

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۳ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۲

جدول ۲. تبخیر و تعرق ماهانه (نیاز خالص آبیاری) شبیه‌سازی شده گیاه ذرت در طول دوره رشد

ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر
۳/۱	۹/۲	۹/۴	۳/۲
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۰/۳۶	۱/۰۷	۱/۰۹	۰/۳۷

به نتایج جدول ۲، بیشترین تبخیر و تعرق در ماه اگوست به اندازه ۹/۴ میلی‌متر در روز برآورد شده است. از آنجا که دور آبیاری هفت روز در نظر گرفته شد، با توجه به سطح لایسیمتر (۰/۱۹۶ مترمربع) مقدار آب آبیاری در این دوره ۱۳ لیتر برآورد شد.

طرح آماری و تیمارها

این پژوهش در قالب طرح آماری فاکتوریل اجرا شد. در این طرح از شش تیمار به شرح زیر استفاده شد: یک تیمار به صورت زهکشی آزاد (تیمار FD) که خروجی زهکش در عمق ۸۰ سانتی‌متری از سطح خاک قرار داشت، به عنوان تیمار شاهد انتخاب شد. دو تیمار نیز به صورت زهکشی کنترل شده که سطح ایستابی به دلیل زهکش‌های کنترل شده به ترتیب در فاصله ۴۵ سانتی‌متری (تیمار CD₁) و ۲۵ سانتی‌متری (تیمار CD₂) از سطح خاک قرار گرفت، در نظر گرفته شد. شکل ۲ طرح شماتیک این تیمارها را نشان می‌دهد.

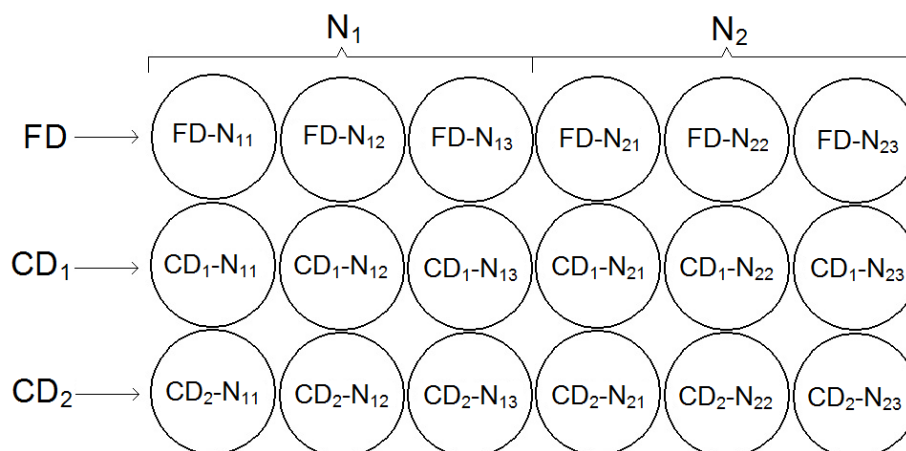
برای اعمال کود بر هر یک از تیمارهای زهکشی از دو سطح اعمال کود نیترات استفاده شد. در سطح اول (N₁) ۱۰۰ درصد کود مصرفی معادل ۴۰۰ کیلوگرم بر هکتار و در سطح دوم (N₂) ۵۰ درصد کود مصرفی معادل ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار استفاده شد. هر یک از سطوح اعمال کود نیترات شامل سه تکرار بود. بنابراین، با توجه به تعداد تیمارها و سطح اعمال کود در مجموع تعداد ۱۸ لایسیمتر در این طرح آماده شد و مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۲).

برای ثابت نگه داشتن سطح ایستابی در خاک داخل لایسیمترها، خروجی زهکش‌ها باید به نحوی کنترل شود. به این منظور در محل خروجی زهکش یک شیر تعبیه شد که از داخل و بیرون به طور کامل آب‌بندی شد. در مورد تیمارهای زهکشی کنترل شده این شیر از بیرون به یک لوله عمودی شفاف یا شیلنگ تراز که به وسیله یک طناب از بالای لایسیمتر در تراز سطح ایستابی مورد نظر نگه داشته می‌شد، متصل بود. برای تیمار زهکشی کنترل شده CD₁، شیلنگ تراز در ارتفاع ۳۵ سانتی‌متری بالاتر از خروجی زهکش، و برای تیمار زهکشی کنترل شده CD₂، شیلنگ تراز در ارتفاع ۵۵ سانتی‌متری بالاتر از خروجی زهکش تنظیم شد.

در این طرح آزمایشی، از ذرت به عنوان گیاه مورد کشت استفاده شد. کشت ذرت در این پژوهش در تاریخ ۱۳۹۱/۳/۱۳ انجام گرفت و محصول در تاریخ ۱۳۹۱/۵/۳۱ برداشت شد. مصرف مواد غذایی، به ویژه ازت و فسفر، توسط گیاه ذرت در مقایسه با سایر گیاهان زراعی در سطح بالاتری قرار دارد. متوسط برداشت ازت (N) از خاک توسط این محصول ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار است.

برای محاسبه نیاز آبی محصول در طول دوره رشد از داده‌های هواشناسی سال ۹۰-۱۳۸۹ خورشیدی که از ایستگاه هواشناسی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران به دست آمد، استفاده شد. برای این کار، نرم‌افزار Cropwat 8.0 به کار گرفته شد و نیاز آبی محصول در طول دوره رشد به دست آمد که نتایج در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه

تأثیر مدیریت سطح ایستابی بر کمیّت و کیفیت زهآب خروجی از زهکش‌های زیرزمینی



شکل ۲. طرح شماتیک تیمارهای آزمایش

از دستگاه اسپکتروفتومتر^۱، مدل Perkin Elmer Lambda 25 استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری

برای تجزیه و تحلیل آماری پارامترهای مورد نظر از نرم افزار SAS 9.1 استفاده شد. برای تعیین تأثیر تیمارهای زهکشی بر مقدار زهآب و غلظت نیترات خروجی، تجزیه و تحلیل ANOVA Repeated Measures روی داده‌ها انجام گرفت. در این تجزیه و تحلیل از آزمون Tukey استفاده شد. از این آزمون به منظور بررسی تفاوت هر یک از زوج میانگین‌ها استفاده می‌شود. نتایج در سطح پنج درصد خطا ($\alpha = 0/05$) ارزیابی شد.

نتایج و بحث

زهآب

در این پژوهش، ۱۴ سری داده اندازه‌گیری مقدار زهآب خروجی با فاصله زمانی هفت‌روزه برای هر لایسیمتر

با توجه به شکل ۲، لایسیمترها در تیمارهای زهکشی به صورت زیر نامگذاری شدند:

$$A-N_{bc} \quad (1)$$

در این رابطه، A بیانگر تیمارهای زهکشی (FD, CD₁ و CD₂)، N تیمار اعمال نیترات و b سطح اعمال کود نیترات است و مقدار یک یا دو را دارد. اگر $b=1$ ، نشان‌دهنده سطح ۱۰۰ درصد اعمال کود نیترات (N₁) و اگر $b=2$ ، نشان‌دهنده سطح ۵۰ درصد اعمال کود نیترات (N₂) است. c شماره تکرار در سطح b است.

اندازه‌گیری نیترات

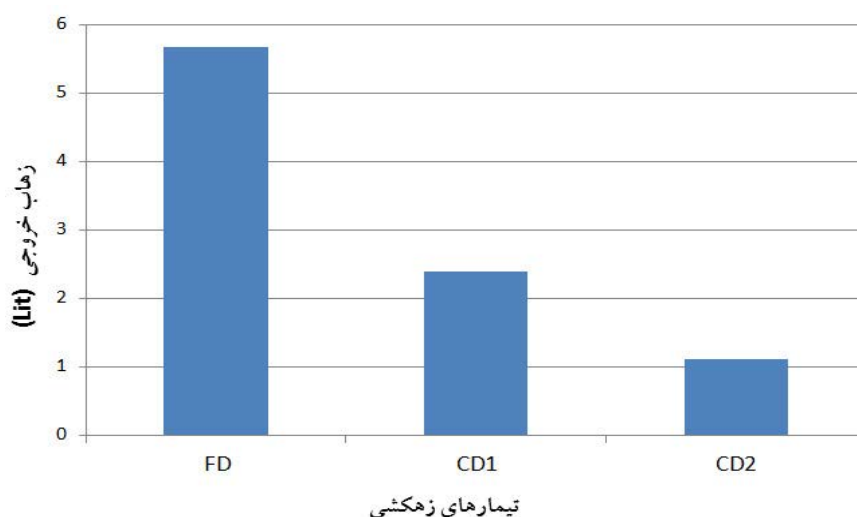
منبع نیترات، کود اوره با نسبت‌های ۱۰۰ درصد (۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) و ۵۰ درصد (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود. در تاریخ‌های ۱۳۹۱/۳/۱۹، ۱۳۹۱/۴/۲ و ۱۳۹۱/۴/۱۶ کود اوره همراه با آب آبیاری به زمین داده شد. در هر سری اندازه‌گیری نیترات در زهآب، ۳۰۰-۱۰۰ سی‌سی نمونه زهآب از هر لایسیمتر برای اندازه‌گیری نیترات در آزمایشگاه برداشت شد. برای اندازه‌گیری نیترات در زهآب

1. Spectrofotometer

شد. نتایج نشان داد کل زهآب خروجی از مزرعه ۳۵ درصد کاهش یافته است (۱۲). نتایج پژوهش دیگری در کرج نشان داد حجم زهآب خروجی از تیمارهای زهکشی کنترل شده با سطح ایستابی ۳۰ و ۵۰ سانتی متر به ترتیب، ۴۱ و ۴۱ درصد نسبت به زهکشی آزاد کاهش یافته است (۳). پژوهشی مشابه در خاک سیلتی لوم در سال‌های ۱۹۹۲ و ۱۹۹۳ میلادی انجام گرفت. نتایج نشان داد در سال ۱۹۹۲، تیمارهای زهکشی کنترل شده ۰/۲۵ و ۰/۵ متری جریان تخلیه را به ترتیب ۵۸/۷ و ۶۵/۳ درصد کاهش داده‌اند و در سال ۱۹۹۳ به ترتیب ۴۰/۹ و ۹۵ درصد در مقایسه با زهکشی آزاد، کاهش دبی تخلیه وجود داشته است (۱۳).

به دست آمد (شکل ۳). اختلاف تیمارهای زهکشی از نظر مقدار زهآب خروجی در سطح پنج درصد، معنادار بود (جدول ۳). تیمار CD₁ در مقایسه با تیمار FD، حجم زهآب را حدود ۵۷/۹ درصد کاهش داده بود ($P < 0/0001$) و این کاهش برای تیمار CD₂ در مقایسه با تیمار FD حدود ۸۰/۵ درصد بود ($P < 0/0001$). تیمار CD₂ در مقایسه با تیمار CD₁، حجم زهآب را ۵۳/۸ درصد کاهش داد ($P = 0/0202$).

زهکشی کنترل شده تأثیر معناداری بر کل زهآب خروجی دارد و به هدررفت کمتر آب خاک در فصول بارندگی منجر می‌شود (۲۲). در یک پژوهش تأثیر زهکشی کنترل شده در عمق ۶۰ سانتی متری یک مزرعه برنج بررسی



شکل ۳. مقایسه میانگین زهآب خروجی از تیمارهای زهکشی

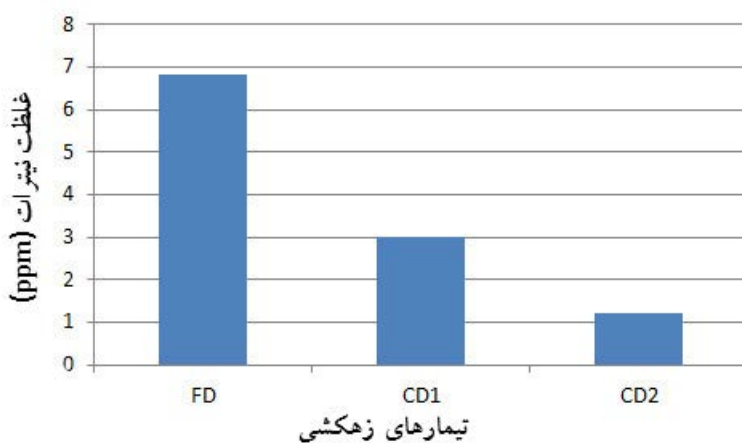
جدول ۳. نتایج تجزیه و تحلیل آماری زهآب و نیترات خروجی (در سطح N₁ و N₂) بین تیمارهای زهکشی

		زهآب	نیترات خروجی در سطح N ₁	نیترات خروجی در سطح N ₂
F-Value		۴۵/۴۲	۳۱/۲۳	۵/۸۴
Chi-Square		۳۳/۹	۰/۹۱	۱/۲۱
		P-Value	P-Value	P-Value
FD	CD ₁	<0/0001	0/0019	0/2361
FD	CD ₂	<0/0001	0/0002	0/0139
CD ₁	CD ₂	0/0202	0/0473	0/0814

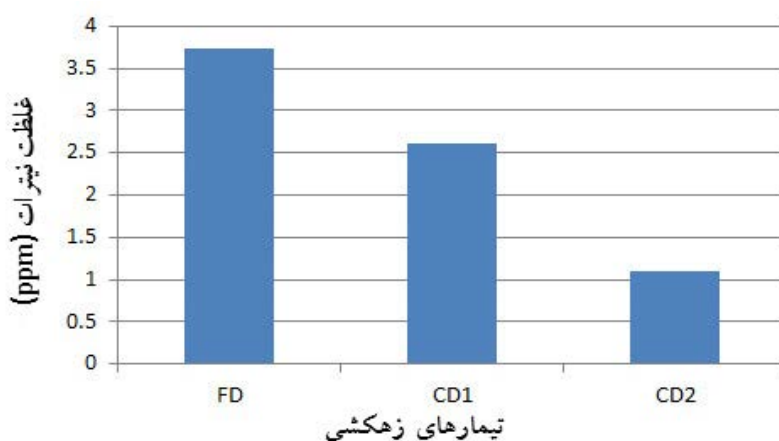
نیتрат خروجی از تیمارهای زهکشی

داده‌های مقدار نیترات خروجی از تیمارهای زهکشی FD، CD₁ و CD₂ (شکل‌های ۴ و ۵) جداگانه برای دو سطح ۱۰۰ درصد و ۵۰ درصد اعمال کود نیترات (N₁ و N₂) با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل شد. در سطح ۱۰۰ درصد اعمال کود نیترات مشاهده می‌شود که در مقایسه تیمار CD₁ با تیمار FD غلظت نیترات در جریان خروجی ۵۵/۸ درصد کاهش یافته است (P = ۰/۰۰۱۹). از سوی

دیگر، تیمار CD₂ در مقایسه با تیمار FD غلظت نیترات در جریان خروجی را ۸۲/۵ درصد کاهش داده است (P = ۰/۰۰۰۲). یعنی به‌طور کلی می‌توان گفت تیمارهای زهکشی کنترل‌شده غلظت نیترات در جریان خروجی را نسبت به زهکشی آزاد کاهش داده‌اند. اما در مقایسه تیمارهای زهکشی کنترل‌شده، کاهش غلظت نیترات ۶۰/۳ درصدی در تیمار CD₂ نسبت به تیمار CD₁ وجود داشت (P = ۰/۰۴۷۳).



شکل ۴. مقایسه مقدار میانگین نیترات خروجی از تیمارهای زهکشی در سطح ۱۰۰ درصد اعمال کود نیترات (N₁)



شکل ۵. مقایسه مقدار میانگین نیترات خروجی از تیمارهای زهکشی در سطح ۵۰ درصد اعمال کود نیترات (N₂)

خاک را کاهش می‌دهد (۲۱). در پژوهشی، تأثیر زهکشی کنترل شده بر کیفیت زهآب‌های زهکشی زیرزمینی که سطح ایستابی در عمق ۶۰ سانتی متری از سطح خاک کنترل می‌شد، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد زهکش‌های کنترل شده غلظت $\text{NO}_3\text{-N}$ در زهکش‌ها را ۷۳ درصد در تابستان و ۳۲ درصد در زمستان کاهش داده‌اند (۲۰). در پژوهشی مشابه تلفات نیترات از زهکش‌های کنترل شده در مقایسه با زهکشی آزاد حدود ۴۲/۹۳ درصد کمتر بود (۱۲). محققان نیز دریافتند که شرایط آب‌وهوایی نقش زیادی در تنظیم دینامیک ازت در خاک دارد (۷). همچنین نتایج پژوهش‌های دیگر نشان داد زهکشی کنترل شده به همراه آبیاری زیرزمینی با سطح ایستابی متغیر، مقدار هدررفت ازت را ۶۳ درصد کاهش می‌دهد، درحالی‌که تثبیت سطح ایستابی در عمق ۶۰ سانتی متر، ۶۶ درصد از هدررفت ازت می‌کاهد. این تفاوت ممکن است به علت کاهش زهآب در تیمار سطح ایستابی متغیر باشد (۵).

زهکشی کنترل شده از خارج شدن عناصر غذایی و دیگر آلاینده‌های موجود در زهآب جلوگیری می‌کند که پژوهشگران این کاهش را ناشی از کاهش حجم زهآب خروجی و افزایش دنیتریفیکاسیون دانستند (۱۶، ۲۷). در پژوهشی در کرج مشاهده شد در تیمارهای سطح ایستابی ۳۰ و ۵۰ سانتی متر به ترتیب، تلفات ازت نیتراتی ۹۰ و ۸۲ درصد نسبت به زهکشی آزاد کاهش یافت (۳). در پژوهشی مشابه که در خاک سیلتی لوم در سال‌های ۱۹۹۲ و ۱۹۹۳ میلادی انجام گرفت، نتایج نشان داد تیمارهای زهکشی کنترل شده (۰/۲۵ و ۰/۵ متر) غلظت نیترات در جریان تخلیه شده را به ترتیب ۷۵/۹ و ۶۸/۹ درصد در مقایسه با زهکش آزاد کاهش دادند و این کاهش در سال ۱۹۹۳، به ترتیب ۶۲/۳ و ۹۵/۷ درصد بود (۱۳).

در این پژوهش، در سطح ۱۰۰ درصد اعمال کود نیترات، درصد تلفات نیترات و مقدار زهآب خروجی در یک سطح قرار دارند. به عبارت دیگر مقدار تلفات نیترات، رابطه مستقیم و نزدیکی با مقدار زهآب داشته است. این می‌تواند به این دلیل باشد که بیشتر اندازه‌گیری‌های نیترات خروجی در زهآب در فاصله زمانی ۱۲ ساعت بعد از کوددهی همراه با آبیاری بوده و زمان کافی برای فرایند دنیتریفیکاسیون وجود نداشته است. از این رو بیشترین تأثیر زهکشی کنترل شده بر کاهش تلفات نیترات در ساعات اولیه بعد از آبیاری بوده و آن هم به دلیل کاهش حجم زهآب خروجی همراه با نیترات محلول در آن است.

در سطح ۵۰ درصد اعمال کود نیترات، تیمارهای CD_1 و CD_2 در مقایسه با تیمار FD، به ترتیب ۳۰/۳ و ۷۰/۴ درصد غلظت نیترات در جریان خروجی را کاهش داده‌اند (به ترتیب $P = ۰/۲۳۶۱$ و $P = ۰/۰۱۳۹$). تیمار CD_2 در مقایسه با تیمار CD_1 غلظت نیترات در جریان خروجی را ۵۷/۶ درصد کاهش داده است ($P = ۰/۰۸۱۴$). اگرچه اختلاف تیمار CD_1 در مقایسه با تیمار FD و تیمار CD_2 در مقایسه با تیمار CD_1 معنادار نشده‌اند، همان طور که مشاهده می‌شود، هر یک به مقدار شایان توجهی تلفات نیترات را کاهش داده‌اند.

در سطح ۵۰ درصد اعمال کود نیترات، برخی تیمارها معنادار نشده‌اند. این می‌تواند به دلیل استفاده از سطح پایین کود آورده باشد. از سویی هم کشت و هم کنترل سطح آب می‌تواند جذب ازت را افزایش و مقدار ازتی را که ممکن است به دلیل آبشویی از دست برود، کاهش دهند (۲۶)، لذا تغییرات تلفات نیترات از تیمارهای زهکشی اندک بوده است و بنابراین تفاوت معناداری مشاهده نشد.

زهکشی کنترل شده بر کمیت و کیفیت زهآب‌ها تأثیرگذار است (۱۳) و به طور معناداری مقدار نیتروژن

نتیجه‌گیری

مدیریت آب کشاورزی با بهبود در کاهش مواد مغذی در رواناب در حال حرکت به سمت افزایش نظارت بر محیط زیست است. زهکشی کنترل‌شده می‌تواند نقش مؤثری در بهبود کاهش مواد مغذی در منطقه ریشه گیاه و کاهش خروج نیترات، بر اساس افزایش زمان نگهداشت مواد مغذی در منطقه ریشه گیاه و کاهش بارها و غلظت‌های جریان خروجی از جمله مقدار نیترات محلول در زهاب داشته باشد. از سویی، زهکشی کنترل‌شده می‌تواند سبب کاهش آلودگی نیتراتی سیستم‌های پایین‌دست به دلیل کاهش بار و غلظت نیترات خروجی در زهاب شود. این پژوهش، بررسی تأثیر زهکشی کنترل‌شده بر مقدار زهاب خروجی و تلفات نیترات را از طریق شبیه‌سازی یک مدل فیزیکی به شرایط نسبتاً واقعی مزرعه ارائه کرده است. در این پژوهش، ۱۴ سری داده اندازه‌گیری مقدار زهاب خروجی با فاصله زمانی هفت‌روزه برای هر لایسیمتر به‌دست آمد. نتایج نشان داد:

۱- در زهکشی کنترل‌شده با افزایش ارتفاع سطح ایستابی به اندازه ۲۰ سانتی‌متر، زهاب حدود ۵۳/۸ درصد کاهش یافته است؛

۲- در سطح ۱۰۰ درصد اعمال کود نیترات، در زهکشی کنترل‌شده با افزایش سطح ایستابی به اندازه ۲۰ سانتی‌متر، تلفات نیترات حدود ۶۰/۳ درصد کاهش یافته است؛

۳- در سطح ۵۰ درصد اعمال کود نیترات، در زهکشی کنترل‌شده با افزایش ارتفاع سطح ایستابی به اندازه ۲۰ سانتی‌متر، تلفات نیترات حدود ۵۷/۶ درصد کاهش یافته است؛

۴- از آنجا که با افزایش زهاب، مقدار نیترات خروجی نیز افزایش یافته است، می‌توان گفت مقدار نیترات‌شویی رابطه مستقیمی با مقدار زهاب دارد.

منابع

۱. مولوی، ح؛ پارسی‌نژاد، م؛ لیاقت، ع (۱۳۹۰). کنترل شوری و تلفات نیترات در زهاب تحت مدیریت سطح ایستابی. مدیریت آب و آبیاری، ۱: ۲۸-۱۵.
۲. نوری، ح؛ زارع ابیانه، ح؛ لیاقت، ع؛ نوری، ح (۱۳۸۷). بررسی آلودگی آب‌های زیرزمینی در اراضی شالیزاری (پژوهش مورد: کاپیک). پنجمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست، شماره ۱۳۰: ۱۸۸-۱۷۹.
۳. نوری، ح؛ لیاقت، ع؛ چایی‌چی، م (۱۳۸۶). «بهبود کیفیت آب زهکشی با استفاده از مدیریت سطح ایستابی در یک منطقه نیمه‌خشک ایران»، آبیاری و زهکشی ایران، ۱: ۴۸-۴۱.
4. Abbott CL, Abdel-Gawad S, Wahba MS and Cascio AL (2001) Field testing of controlled drainage, and verification of the Wasim Simulation Model. HR Wallingford Report No. OD/TN102, UK.
5. Borin M, Bonaiti G and Giardini L (2001) Controlled drainage and wetland to reduce agriculture pollution: A lysimetric study. J Environ Qual, 30: 1330-1340.
6. Donner S (2003) The impact of cropland cover on river nutrient levels in the Mississippi River Basin. Global Ecology Biogeogr, 12: 341-355.
7. Elmi A, Madramootoo C and Hamel C (2000) Influence of water table and nitrogen management on residual soil NO_3^- and denitrification rate under corn production in sandy loam soil in Quebec. Agriculture, Ecosystems and Environment, 79: 187-197.

8. Evans RO, Parsons JE, Stone K and Wells WB (1992) Water table management on a watershed scale. *J. Soil Water Conserv*, 47: 58–64.
9. Gilliam JW, Skaggs RW and Weed SB (1979) Drainage control to diminish nitrate loss from agricultural fields. *J. Environ. Qual*, 8: 137–142.
10. Khalil BM, Abdel-Gawad ST and Millette JA (2004) Impact of controlled drainage on rice production, irrigation water requirement and soil salinity in Egypt. In: Cooke R (Ed) *Drainage VIII Proceedings of the Eighth International Symposium*, Sacramento, CA, USA. 21–24 March 2004. ASAE Publication Number 701P0304, pp. 443–452.
11. Kliewer BA and Gilliam JW (1995) Water table management effects on denitrification and nitrous oxide evolution. *Soil Science Soc. Am. J*, 59: 1694–1701.
12. Kornay MA (1997) Fertilizer losses as affected by drainage parameters. PhD Thesis, University of Ain Shams, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science.
13. Lalonde V, Madramootoo CA, Trenholm L and Broughton RS (1996) Effects of controlled drainage on nitrate concentrations in subsurface drain discharge. *Agriculture Water Management*, 29: 187–199.
14. Skaggs RW and Gilliam JW (1981) Effects of drainage system design and operation on nitrate transport. *Trans. ASAE*, 24: 929–934.
15. Skaggs RW, Breve MA and Gilliam JW (1994) Hydrologic and water quality impacts of agricultural drainage. *Crit. Rev. Environmental Science Technology*, 24: 1–32.
16. Skaggs RW, Evans RO and Gilliam JW (1999) Effects of controlled drainage/subirrigation on crop yield and water quality. *J. Irrigation Drainage Engineering*, 125(5): 272–281.
17. Stewart L, Charlesworth P, Bristow K and Thorburn P (2005) Estimating deep drainage and nitrate leaching from the root zone under sugarcane using APSIM-SWIM. *Agricultural Water Management*. 81:315-334.
18. Tan CS, Drury CF, Soutani M, van Wesenbeeck IJ, Ng HYF, Gaynor JD and Welacky TW (1998) Controlled drainage and subirrigation effects on crop yield and water quality. In: *Drainage in the 21st Century, Food Production and the Environment. Proceedings of the Seventh International Drainage Symposium*, March 8–10, Orlando, Fl. ASAE, 2950 Niles Rd, St. Joe, MI, pp, 676–683.
19. Tilman D, Cassman KG, Matson PA, Naylor R and Polasky S (2002) Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418: 671-677.
20. Wahba MAS and El-ganainy M (2001) Controlled drainage effects on water quality under semi-arid condition in Western delta of Egypt. *Irrigation And Drainage*, 50: 295-308.
21. Westrom I and Messing I (2007) Effects of Controlled drainage on N & P losses and N dynamics in loamy sand with spring crops. *Agriculture Water Management*, 87: 229-240.

22. Wesstrom I, Messing I and Linner H (2003) The effect of Controlled drainage on subsurface outflow from level agricultural fields. *Hydrological Processes*, 17: 1525-1538.
23. Wesstrom I, Messing I, Linner H and Lindstrom J (2001) Controlled drainage –effects on drain outflow and water quality. *Agriculture Water Management*, 47: 85–100.
24. Willis GH, Southwick LM, Fouss JL and Brown LC (1998) Nitrates in runoff and leachate from controlled water table plots on Mississippi river alluvial soil. *Drainage in the 21 st century: food production and the environment*, proceeding of the seventh international drainage symposium, Orlando. Florida. USA, 559-566.
25. Woli Krishna P, David Mark B, Cooke Richard A, McIsaac Gregory F and Mitchell Corey A (2010) Nitrogen balance in and export from agricultural fields associated with controlled drainage systems and denitrifying bioreactors. *Ecological Engineering*, 36(2010): 1558-1566.
26. Zhou X, Madramootoo CA and Mackenzie AF (2000) Corn yield and fertilizer N recovery in water-table-controlled corn-rye-grass systems. *European Journal of Agronomy*, 12: 83–92. s
27. Zucker LA, and Brown LC (1998) *Water Quality Impacts and Subsurface Drainage Studies in the Midwest*. Agricultural Drainage. Ohio State University Extension Bulletin 871.