تحقیقات آب و خاک ایران، دورهٔ ۴۵، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۳، (ص ۲۹۷-۲۹۳)

تعیین زمان بهینه‌ماند در مدیریت سطح ایستابی به منظور کاهش تلفات نیتروژن در اراضی کشاورزی زه‌دار

محمدحسن قره‌داغی[1]*، پیمان دانش‌کار آراسته[2]، عبدالمجید لیاقت[3]، عباس ستوده‌نیا[4]

۱. دانش آموخته کارشناس ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ فنی و مهندسی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)

۲ و ۴. استادیار دانشکدهٔ فنی و مهندسی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)

۳. استاد دانشکدهٔ مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۱۳ ـ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۳/۱۷)

چکیده

مدیریت سطح ایستابی یکی از راه‌حل‌های عمده در مدیریت جامع منابع آب معرفی شده است. این روش می‌تواند نقشی مهم در حفظ آب، بالابردن راندمان آبیاری، حفظ مواد غذایی خاک، و در نهایت حفظ کیفیت آب‌های سطحی پایین‌دست و آب‌های زیرزمینی ایفا کند. در این زمینه، مطالعه‌ای آزمایشگاهی دربارهٔ اثر مدیریت سطح ایستابی بر کنترل آب‌شویی و تخلیهٔ نیتروژن در خاک لوم شنی انجام شد. سطح ایستابی در عمق ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک با سه زهکش با عمق نصب ۸۰ سانتی‌متر کنترل شد و حجم و کیفیت زه‌آب خروجی از نظر ترکیبات مختلف نیتروژن شامل نیتریت، نیترات، آمونیوم، و آمونیاک در زمان‌های ماند ۲ و ۴ و ۵ روز در مدل فیزیکی ارزیابی شد. نتایج نشان داد کاهش ۲۹/۴ درصدی زه‌آب خروجی در مدت زمان ماند ۵ روز و کاهش ۲۷/۲ درصدی غلظت نیترات خروجی در مدت زمان ۴ روز نسبت به زهکشی آزاد است. همچنین با مقایسهٔ آماری نتایج، بهترین زمان کنترل سطح ایستابی ۴ روز (معادل ۸۰ درصد حداکثر زمان ممکن ماندابی) به‌دست آمد. با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر، مدت زمان ماند در سیستم‌های نوین زهکشی یکی از متغیرهای مدیریتی است و در صورت استفادهٔ صحیح و به‌هنگام از این شیوهٔ مدیریتی، با افزایش کارایی مصرف آب و کود، می‌توان به توسعهٔ کشاورزی پایدار و بهبود شرایط منابع آب و محیط زیست امیدوار بود.

کلیدواژگان: چرخهٔ نیتروژن، زهکشی کنترل‌شده، مدل فیزیکی زه‌آب.

مقدمه

امروزه، با رشد جمعیت و کاهش سرانهٔ آب، افزایش بهره‌وری در استفاده از منابع آب و جلوگیری از ایجاد آلودگی در آن ضروری به‌نظر می‌رسد. به منظور تأمین غذای کافی و مناسب و دست‌یابی به امنیت غذایی، افزایش محصول از طریق تأمین نیازهای اساسی گیاه به وسیلهٔ استفاده از کودهای اصلی و ریزمغذی‌ها اجتناب‌ناپذیر است. نیتروژن یکی از عناصر غذایی مهم مورد نیاز گیاه است؛ ولی مصرف بیش از حد آن موجب آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌شود. از این رو، ایجاد توازن و مصرف به‌اندازهٔ کودها نیازمند به‌کارگیری مدیریتی ویژه است. برای جلوگیری از خروج ترکیبات حاوی نیتروژن موجود در محیط توسعهٔ ریشه، که هم تهدیدی برای منابع آبی و اکوسیستم پایین‌دست به‌شمار می‌آید و هم باعث تلفات نیتروژن می‌شود، استفاده از روش‌های نوین زهکشی، از جمله زهکشی کنترل‌شده، به منزلهٔ یکی از شیوه‌های مدیریت سطح ایستابی توصیه می‌شود. با استفاده از این شیوهٔ زهکشی و مدیریت سطح ایستابی، با ایجاد زمان ماند مناسب، فرصت کافی برای جذب بیشتر گیاهی نیتروژن و فعالیت باکتری‌های نیترات‌زدا ایجاد می‌شود. با افزایش فرآیند نیترات‌زدایی، نیترات به شکل‌های اکسیدی و گازی تبدیل می‌شود و از این طریق آلودگی آب‌های زیرزمینی را کاهش می‌دهد. در بسیاری مواقع، در سیستم‌های زهکشی سنتی، زهکشی بیش از اندازهٔ مورد نیاز صورت می‌گیرد و علاوه بر هدررفت مقادیر قابل توجه نهاده‌ها (کود)، حجم زه‌آب خروجی آلوده افزایش می‌یابد. دفع این حجم از زه‌آب تولیدی در تخلیه‌گاه‌ها، علاوه بر تحمیل هزینه‌های اقتصادی، از نظر زیست‌محیطی نیز مشکلاتی پدید می‌آورد. بنابراین، با توجه به محدودیت منابع آبی و اهمیت محیط زیست، بازنگری در کارایی مصرف آب و مدیریت کیفیت زه‌آب خروجی ضروری به‌نظر می‌رسد. در سیستم‌های مدیریت سطح ایستابی، علاوه بر عمق کنترل سطح ایستابی، مدت زمان اجرای کنترل سطح ایستابی نیز بر کیفیت و نوع یون‌های محلول در زه‌آب خروجی از زه‌کش‌ها مؤثر است. در اجرای زهکشی کنترل‌شده، به منزلهٔ

* نویسندهٔ مسئول: MH_Gharahdaghi@ut.ac.ir

یکی از این سیستم‌ها، کیفیت آب در محیط اشباع طی مدت زمان کنترل تغییر می‌کند.

زهکشی کنترل‌شده یکی از راه‌حل‌های عمده در مدیریت جامع منابع آب است (Alizadeh, 2008) و می‌توان آن را تلفیق آبیاری و زهکشی نام نهاد. این نوع مدیریت می‌تواند نقش مهمی در حفظ آب، بالابردن راندمان آبیاری، حفظ مواد غذایی خاک، و در نهایت حفظ کیفیت آب‌های سطحی پایین‌دست و آب‌های زیرزمینی داشته باشد (Akram and Akram, 2004). همچنین، با افزایش راندمان مصرف کود، زمینه برای کاهش مقدار کود مصرفی فراهم می‌آید و باعث کاهش آب‌شویی نیترات می‌شود که شیوه‌ای مناسب در جهت ارتقای سطح کارایی سیستم‌های زهکشی مرسوم به لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی است (Molavi *et al*., 2011). Skaggs *et al*. (1994) زهکشی کنترل‌شده را روشی بالقوه برای کاهش نیترات در فرآیند نیترات‌زدایی معرفی کردند. آن‌ها همچنین اعلام کردند این نوع مدیریت سطح ایستابی، با فراهم‌کردن محیط بی‌هوازی، زمینه را برای فرآیند نیترات‌زدایی هموار می‌کند. Jebellie *et al*. (1999) بر این باورند که کنترل و مدیریت سطح ایستابی، علاوه بر کاهش غلظت نیتروژن نیتراتی، باعث تبدیل سایر ترکیبات شیمیایی در اثر فعالیت‌های بیولوژیکی به ترکیبات بی‌ضرر می‌شود. زهکشی کنترل‌شده راهبردی سودمند در افزایش عملکرد و حفاظت از محیط زیست معرفی شده است (Singh *et al*., 2007). Maderamootoo *et al*. (1993)، با بررسی مدیریت سطح ایستابی، اثر معناداری در کاهش بار املاح در زه‌آب خروجی مشاهده کردند. همچنین Evans *et al*. (1995) گزارش کردند، در صورت اجرای صحیح مدیریت سطح ایستابی، میزان کاهش نیتروژن و فسفات در زه‌آب خروجی ۵۰ درصد است. Randall and Mulla (2001) طی پژوهشی به این نتیجه رسیدند که مقدار و نوع کود مصرفی، روش و زمان کوددهی، نوع عملیات زراعی، و کنترل سطح ایستابی از شیوه‌های مدیریتی مؤثر در کاهش نیتروژن نیتراتی در زه‌آب خروجی هستند. Jia and Evans (2006) زهکشی زیستی و زهکشی کنترل‌شده را بهترین راه‌کار مدیریتی برای کاهش ریسک انتقال مواد غذایی به آب‌های سطحی معرفی کردند. Ale *et al*. (2010) گزارش کردند عمق سطح آب زیرزمینی، فاصلهٔ زهکش‌ها، مدت ماند، و زمان اجرای زهکشی کنترل‌شده اثر قابل توجهی بر تلفات نیترات در زه‌آب خروجی و عملکرد محصول دارد. طبق تحقیقی که در آرکانزاس امریکا اجرا شد، کاهش نیترات خروجی از زهکش‌ها در اجرای سیستم زهکشی کنترل‌شده نسبت به سیستم زهکشی آزاد ۹۶ تا ۹۸ درصد گزارش شد (Kronger *et al*., 2011). Fang *et al*. (2012) در چین با انجام‌دادن تحقیقی به ترکیب نتایج آزمایش‌های زهکشی کنترل‌شده و مدل، به منظور تعیین اثر متقابل کاربرد نرخ‌های مختلف نیتروژن و شرایط آب‌وهوایی در کاهش تلفات نیترات موجود در زه‌آب زیرزمینی، پرداختند. نتایج نشان داد زهکشی کنترل‌شده همراه کاهش استفاده از ترکیبات نیتروژنه می‌تواند اثرگذاری قابل ملاحظه‌ای بر کاهش تلفات نیتروژن و ورود آن به محیط زیست داشته باشد. Kröger *et al*. (2012) بیان کردند زهکشی کنترل‌شده و جلوگیری از تخلیهٔ بیش از اندازهٔ زه‌آب توسط سازه‌های کنترل راهبردی برای افزایش ظرفیت نگهداری هیدرولیکی زهکش‌های سطحی، بهبود شرایط فرآیندهای بیوشیمیایی، و کاهش بار زهکش‌های مرسوم است.

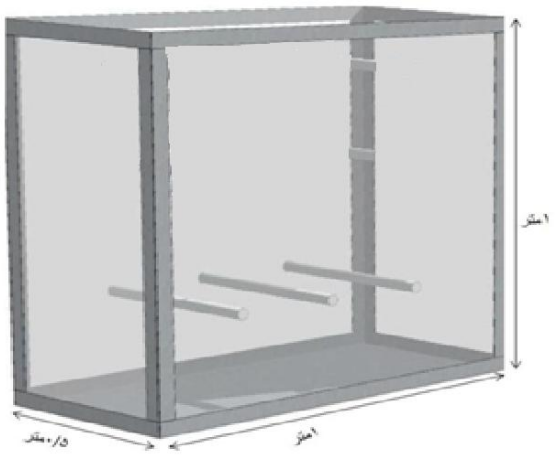
با بررسی پژوهش‌های انجام‌شده می‌توان نتیجه گرفت زهکشی کنترل‌شده یکی از شیوه‌های مدیریتی بسیار مناسب، به منظور افزایش راندمان آبیاری و جلوگیری از آب‌شویی بی‌رویهٔ نمک‌های موجود در نیم‌رخ خاک و کاهش حجم و غلظت زه‌آب خروجی، است. تحقیقات پیشین به بررسی اثر مدیریت سطح ایستابی از جنبهٔ عمق کنترل سطح ایستابی و مقایسهٔ آن با زهکشی معمول پرداخته‌اند؛ در حالی که مدت زمان کنترل سطح ایستابی (مدت زمان ماند) نیز یکی از راه‌کارهای مدیریت سطح ایستابی است و توجه به آن ضروری به‌نظر می‌رسد. از این رو، اثر آن در یک مدل فیزیکی ارزیابی شد. در مطالعهٔ حاضر، به ارزیابی تأثیر مدیریت سطح ایستابی به وسیلهٔ زهکش کنترل‌شده بر ترکیبات نیتروژن‌دار در زه‌آب خروجی توجه شد. شناخت چگونگی تغییرات ترکیبات مختلف نیتروژن در این نوع سیستم‌های مدیریت سطح ایستابی می‌تواند به برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری در زمینهٔ مدت زمان مناسب کنترل سطح ایستابی کمک کند.

مواد و روش‌ها

مدل فیزیکی

به منظور کنترل و اندازه‌گیری دقیق بیلان آب و محتوای نیتروژن، دما، و سایر شرایط محیطی مؤثر در فرآیند آزمایش، مدلی فیزیکی به طول ۱۰۰ سانتی‌متر، عرض ۵۰ سانتی‌متر، و ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر آماده شد. در دیوارهٔ جلوی مدل، برای فراهم‌آوردن امکان مشاهدهٔ تغییرات و حرکت آب در خاک، از ورقه‌ای با جنس پلکسی‌گلاس و برای سایر وجوه مدل از ورقه‌هایی آهنی با جنس گالوانیزه استفاده شد. روی دیوارهٔ

پشتی، به منظور تدارک نقاط مناسب برای نصب زهکش‌ها، سوراخ‌هایی در یک ردیف به فاصلهٔ ۸۰ سانتی‌متر از بالای مدل و با فواصل ۲۵ سانتی‌متر از یک‌دیگر ایجاد شد. شکل ۱ نشان‌دهندهٔ شماتیک مدل فیزیکی است.



شکل ۱. تصویر شماتیک مدل آزمایشگاهی

محل اجرا

پژوهش حاضر در آزمایشگاه تحقیقات هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین انجام شد. این منطقه در طول جغرافیایی ´۱°۵۰ شرقی، عرض جغرافیایی ´۱۹°۳۶ شمالی، و ارتفاع ۱۳۷۸ متر از سطح دریا واقع شده است.

خاک

خاک مورد نیاز آزمایش از لایهٔ زیر سطحی مزرعه‌ای در منطقهٔ اسماعیل‌آباد واقع در مرکز دشت قزوین برداشت و به محل آزمایشگاه منتقل شد. بافت خاک در محدودهٔ شن لومی و میزان شوری عصارهٔ اشباع آن ۰/۳ دسی‌زیمنس بر متر (dS/m) اندازه‌گیری شد. تجزیهٔ شیمیایی خاک از نظر گونه‌های مختلف نیتروژن بررسی شد (جدول ۱). به دلیل عدم نیاز به تغییرات نیتروژن آلی در معادلات بیلان نیتروژن، از کاشت گیاه صرف‌نظر شد. خاک، پس از انتقال به آزمایشگاه، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد تا خاکی همگن ایجاد و برای ریختن به داخل مدل مهیا شود. خاک به صورت لایه‌های ۱۰ سانتی‌متری به داخل مدل ریخته و با چکش استاندارد به تراکمی نزدیک به شرایط موجود در طبیعت رسانده شد. هم‌زمان با این عملیات، با رسیدن به سطح درنظرگرفته‌شده برای نصب زهکش، لوله‌های زهکش ازپیش‌تهیه‌شده در محل‌های مورد نظر نصب شد. پس از پرشدن مدل با خاک، به هر زهکش یک پیزومتر متصل شد. در اشباع‌کردن خاک، برای جلوگیری از حبس‌شدن هوا داخل آن، مدل از زیر و توسط منبع تعبیه‌شده به صورت تدریجی اشباع شد. چگالی ظاهری خاک در شروع آزمایش ۱/۵۱۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب و هدایت هیدرولیکی آن ۱/۲۷ متر بر روز اندازه‌گیری شد.

جدول ۱. مقادیر انواع ازت حاصل از تجزیهٔ شیمیایی خاک (میلی‌گرم در لیتر)

شاخص	نیتریت	نیترات	آمونیاک	آمونیوم
مقدار	۰/۵۲۵	۱۷/۵۴	۰/۰۱۲	۰/۰۱۳

آب آبیاری

آب مورد نیاز برای آبیاری مدل در طول مدت آزمایش از آب شرب شهر قزوین تأمین شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی آب آبیاری در جدول ۲ می‌آید.

جدول ۲. مشخصات فیزیکی و شیمیایی آب آبیاری

شاخص	EC (dS/m)	pH	نیتریت (میلی‌گرم در لیتر)	نیترات (میلی‌گرم در لیتر)	آمونیوم (میلی‌گرم در لیتر)
مقدار	۰/۶۶	۷/۰۳	۰/۰۰۳	۲۵/۴۲	۰/۰۳

در هر یک از تیمارهای زمان ماند، آبیاری در ۵ مرتبه و با فواصل ۵ روز از سطح خاک و بر اساس جبران کمبود رطوبت نسبت به نقطهٔ ظرفیت زراعی در منطقهٔ توسعهٔ ریشه و ایجاد سطح ایستابی در عمق ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک صورت گرفت. با توجه به بررسی‌های به‌عمل‌آمده، برای تأمین منبع نیتروژن، کود نیترات آمونیوم با الگوی توزیع ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. بهترین شیوهٔ مصرف این کود تقسیط در کوددهی و استفاده از روش کودآبیاری است. در هر یک از آبیاری‌های دوم و چهارم میزان ۵ گرم از کود نیترات آمونیوم در مخزن آبیاری حل و همراه آب آبیاری بر سطح خاک توزیع شد. جدول ۳ نشان‌دهندهٔ مقدار نیتروژن ورودی در هر نوبت کود آبیاری است.

جدول ۳. تجزیهٔ شیمیایی ۱ گرم کود نیترات آمونیوم (بر حسب میلی‌گرم)

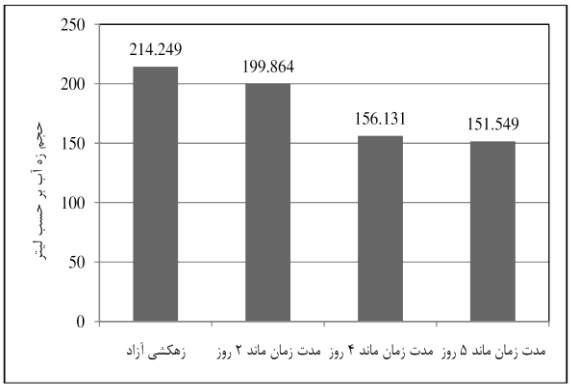
شاخص	نیتریت	نیترات	آمونیاک	آمونیوم
مقدار	۰	۱۵۹/۶	۰/۶	۰/۶

این پژوهش به بررسی آثار زهکشی کنترل‌شده به منزلهٔ یکی از راه‌کارهای مدیریت سطح ایستابی بر حجم و کیفیت زه‌آب خروجی در مدت‌های زمان ماند ۲ و ۴ و ۵ روز پرداخته است. به این منظور سه آزمایش جداگانه، هر یک با ۵ دور آبیاری و فواصل ۵ روز و در مجموع طی ۷۵ روز، انجام گرفت. پس از هر آبیاری، در هر یک از این سه آزمایش، سطح ایستابی در تراز ۵۰ سانتی‌متری روی زهکش‌هایی به عمق ۸۰

سانتی‌متر به‌ترتیب در مدت زمان ۲ و ۴ و ۵ روز با استفاده از رایزر کنترل و تثبیت شد. این سازوکار سطح ایستابی را در تراز مورد نظر کنترل کرد و زه‌آب اضافی خارج شد. در روز پایانی کنترل سطح ایستابی رایزر برداشته شد و زهکشی به صورت آزاد انجام گرفت و زه‌آب خروجی داخل مخزن جمع‌آوری شد. این اقدامات در ۴ دورهٔ آبیاری بعد نیز تکرار شد. به منظور بررسی چگونگی تغییرات کیفیت آب کنترل‌شده در نیم‌رخ خاک با مدیریت سطح ایستابی در حالت‌های زهکشی کنترل‌شده با مدت زمان کنترل ۲ روز (معادل ۴۰ درصد دورهٔ کنترل)، زهکشی کنترل‌شده با مدت زمان کنترل ۴ روز (معادل ۸۰ درصد دورهٔ کنترل) و زهکشی کنترل‌شده با مدت زمان کنترل ۵ روز (معادل ۱۰۰ درصد دورهٔ کنترل) در شرایطی یکسان پایش شد. به این ترتیب، در طول هر یک از این آزمایش‌ها، حجم و کیفیت نمونه‌های جمع‌آوری‌شده به لحاظ یون‌های نیتریت، نیترات، و آمونیوم ارزیابی شد. این اندازه‌گیری‌ها با دستگاه فتومتر Palintest مدل 7100 انجام شد. برای بررسی معناداری اختلاف بین نتایج سناریوهای مختلف مدیریت سطح ایستابی، از آزمون آماری دانکن با نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

یافته‌ها و بحث

آبیاری در سراسر مدت آزمایش از سطح خاک و بر اساس ایجاد سطح ایستابی در ارتفاع ۵۰ سانتی‌متری روی زهکش‌ها صورت گرفت. حجم آبیاری در هر نوبت به دلیل تغییرات در کمبود رطوبت متفاوت بود. در کل ۵ نوبت آبیاری با میزان ۲۲۵ لیتر در طول هر یک از آزمایش‌ها انجام شد. مطابق روش اتخاذشده به‌ازای دوره‌های کنترل ۲ و ۴ و ۵ (معادل ۴۰ و ۸۰ و ۱۰۰ درصد دورهٔ کنترل) اندازه‌گیری‌ها صورت گرفت که نتایج حاصل در شکل ۲ می‌آید.



شکل ۲. حجم زه‌آب خروجی در حالت‌های مختلف بر حسب لیتر

همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، مدیریت سطح ایستابی در مدت زمان ۵ روز موجب کاهش زه‌آب خروجی به میزان ۲۹/۴ درصد نسبت به حالت زهکشی آزاد می‌شود و هر چه مدت زمان کنترل سطح ایستابی افزایش یابد درصد کاهش حجم نیز افزایش می‌یابد و موجب تخلیهٔ کمتر زه‌آب به منابع پذیرندهٔ پایین‌دست می‌شود. بنابراین، می‌توان گفت کنترل سطح ایستابی در حد لازم از خروج بیش از اندازهٔ آب از نیم‌رخ خاک جلوگیری می‌کند و از این راه باعث کاهش حجم زه‌آب خروجی می‌شود. بیلان خروجی جرمی هر یک از پارامترها از حاصل‌ضرب حجم زه‌آب در غلظت آن به‌دست آمد (جدول ۴). مطابق نتایج، تغییرات کیفی زه‌آب تخلیه‌شده از نیم‌رخ خاک روندی ثابت ندارد و مقادیر نیترات، آمونیاک، و آمونیوم با گذشت زمان تا روز چهارم کنترل سطح ایستابی کاهش می‌یابد و پس از آن تا روز پنجم روندی افزایشی نشان می‌دهد. مقدار نیتریت با روندی معکوس با سایر پارامترها تغییر کرد و در اواسط دورهٔ کنترل بیشترین مقدار خود را داشت. به بیان دیگر، از ابتدای دوره تا روز چهارم دورهٔ کنترل شرایط برای فرآیند نیترات‌زدایی مهیا شد و بعد از آن شرایط به گونه‌ای بود که عکس آن (نیترات‌زایی) اتفاق افتاد و نیتریت به نیترات تبدیل شد. بیشترین تغییرات در بیلان تبدیل نیتریت و نیترات است که علت آن فرآیند نیترات‌زدایی و تبدیل نیترات به نیتریت تا روز چهارم و اکسیداسیون نیتریت به نیترات از روز چهارم به بعد است. گفتنی است نیتریت بسیار ناپایدار است و به‌سرعت به نیترات تبدیل می‌شود. مقایسهٔ آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح معنادار ۵ درصد برای ترکیبات مختلف نیتروژن انجام شد که در جدول ۴ می‌آید. تفاوت معناداری در مقادیر نیتریت، نیترات، آمونیاک، و آمونیوم در حالت مدت زمان ماند ۴ روز نسبت به دو حالت دیگر مشاهده شد. با توجه به هدف مدیریت سطح ایستابی در کاهش حداکثری میزان آلودگی وارده به منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و اهمیت آلایندگی یون‌های نیترات، آمونیاک، و آمونیوم مدت زمان ماند ۴ روز، که بیشترین اثر کاهشی بر این یون‌ها را دارد، مناسب‌ترین زمان کنترل سطح ایستابی محسوب می‌شود.

بر اساس یافتهٔ این پژوهش، کنترل سطح ایستابی در مدت زمان ۴ روز، معادل ۸۰ درصد حداکثر زمان ممکن کنترل، بیشترین تأثیر را در کاهش گونه‌های حاوی نیتروژن آلوده‌کنندهٔ منابع آب دارد و به منزلهٔ زمان بهینهٔ کنترل سطح ایستابی برای کاهش این آلاینده‌ها توصیه می‌شود.

جدول ۴. بیلان خروجی جرمی ترکیبات نیتروژن‌دار در مدت زمان‌های ماند متفاوت (میلی‌گرم)

حالت	نیتریت	نیترات	آمونیاک	آمونیوم
مدت زمان ماند ۲ روز	۳۵۴٫۷۰۶ b	۷۷۷۱٫۱۶۰ a	۴۳٫۶۳۸ a	۴۶٫۴۶۷ a
مدت زمان ماند ۴ روز	۷۲۱٫۷۹۷ a	۵۶۵۹٫۱۵۳ b	۱۸٫۹۹۷ c	۲۰٫۱۴۸ c
مدت زمان ماند ۵ روز	۳۳۶٫۴۹۶ b	۷۲۵۶٫۶۱۷ a	۲۵٫۳۷۴ b	۲۶٫۷۵۳ b

a و b و c در یک ردیف با حروف متفاوت تفاوت معنادار دارند (P< ۰٫۰۵).

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان‌دهندهٔ تأثیر مثبت مدیریت سطح ایستابی بر کاهش حجم زه‌آب خروجی و غلظت یون‌های نیتریت، نیترات، آمونیاک، و آمونیوم موجود در آن است. این اثر در محورهای زیر قابل بررسی است. زهکشی کنترل‌شده با کنترل سطح ایستابی در حد لازم از خروج بیش از اندازهٔ آب از نیم‌رخ خاک جلوگیری می‌کند و حجم زه‌آب خروجی را در شرایط این تحقیق تا ۲۹٫۴ درصد کاهش می‌دهد. در صورت وجود گیاه، مقداری از رطوبت و نیتروژن موجود مصرف می‌شود و در نتیجه حجم و غلظت زه‌آب کاهش می‌یابد. یکی دیگر از اهداف این نوع مدیریت سطح ایستابی کاهش تلفات نیتروژن است که با کاهش حجم و غلظت زه‌آب خروجی حاصل می‌شود. بررسی همهٔ حالت‌های آزمایش نشان‌دهندهٔ تأثیر معنادار این شیوه بر کاهش غلظت انواع ترکیبات نیتروژن‌دار در زه‌آب خروجی است. با کنترل سطح ایستابی در مدت زمان ۸۰ درصد حداکثر ممکن، بیشترین تأثیر در کاهش گونه‌های حاوی نیتروژن آلایندهٔ منابع آب ایجاد می‌شود که مدت زمان بهینهٔ کنترل سطح ایستابی برای کاهش این آلودگی‌ها در شرایط این تحقیق است. از آنجا که شوری آب و خاک و نیز عمق توسعهٔ ریشه بر چرخهٔ نیتروژن و در نتیجه زمان ماند بهینه تأثیرگذار است پیشنهاد می‌شود تحقیقات آتی در این زمینه صورت گیرد.

سپاس‌گزاری

بدین وسیله از زحمات ارزشمند و همکاری کارشناسان محترم گروه مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره) قزوین، آقای مهندس غلامرضا بابایی و آقای مهندس رضا سعیدی، و دوستان گرامی آقای مهندس احمد دوستی و خانم مهندس الهام نوروزپور، در مراحل اجرایی این تحقیق، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

REFERENCES

Akram, M. and Akram, S. (2004). ‘Controlled drainage: A way for improving the irrigation efficiency in drained lands of Iran’. *Third technical workshop of drainage*.

Ale, S., Bowling, L. C., Frankenberger, J. R., Brouder, S. M., and Kladivko, E. J. (2010). ‘Climate variability and drain spacing influence on drainage water management system operation’. *Vadose Zone Journal*. 9, 43–52.

Alizade. A. (2008). ‘*Modern land drainage: Planning design and management of agricultural drainage systems*’. University of Imam Reza. (In Farsi)

Evans, R. O., Skaggs, R. W., and Gilliam, J. W. (1995). ‘Controlled versus conventional drainage effects on water quality’, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 121, 271–276.

Fang, Q. X., Malone, R. W., Ma, L., Jaynes, D. B., Thorp, K. R., Green, T. R., and Ahuja, L. R. (2012). ‘Modeling the effects of controlled drainage, N rate and weather on nitrate loss to subsurface drainage’, *Agricultural Water Management*, 103, 150-161.

Jebellie S. J., Prasher, S. O., and Clemente, R. S. (1999). ‘Effect of subirrigation on the mobility of atrazine’, *Transaction of ASAE*, 42(2), 391-402.

Jia, Z. and Evans, R. O. (2006). ‘Effect of controlled drainage and vegetative buffers on drainage water quality from wastewater irrigation fields’, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, 132(2),159-170.

Kröger, R., Pierce, S. C., Littlejohn, K. A., Mooreb, M. T., .and Farris, J. L. (2012). ‘Decreasing nitrate-N loads to coastal ecosystems with innovative drainage management strategies in agricultural landscapes: An experimental approach’, *Agricultural Water Management*, 103, 162-166.

Kronger, R., Moore, M. T., Farris, J. L., and Gopalan, M. (2011). ‘Evidence for the use of low-grade weirs in drainage ditches to improve nutrient reductions from agriculture’, *Water Air and Soil Pollution*, 221,223-234.

Maderamootoo, C. A., Dodds, G. T., and Papadopoulos, A. (1993). ‘Agronomic and environmental benefits of water table management’, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 119(6), 1052-1065.

Molavi, H., Parsi nejad, M., and Liaghat, A. M. (2011). ‘Control of salinity and nitrate losses in drainage water under water table Management’, *Journal of Water and Irrigation Management*, 1, 15-28. (In Farsi)

Randall, G. W. and Mulla, D. J. (2001). ‘Nitrate nitrogen in surface waters as influenced by climatic conditions and agricultural practices’, *Journal of Environment Quality*, 30, 337–344.

Singh, R., Helmers, M., Crumpton, W. G., and Lemke, D. W. (2007). ‘Predicting effects of drainage water management in Iowa’s subsurface drained landscapes’, *Agricultural Water Management*, 92, 162–170.

Skaggs, R. W., Breve, M. A., and Gilliam, J. W. (1994). ‘Hydrologic and water quality of agricultural drainage’, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 24, 1-32.