تحقیقات آب و خاک ایران، دورهٔ ۴۶، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۴ (ص ۲۸۲-۲۷۳)

بررسی تأثیر مدیریت زهکش کنترل‌شده دارای پوشش پوستهٔ برنج بر مقادیر نیترات و نیتریت زه‌آب در شرایط مشابه با اراضی شالیزاری

درسا رنجکش ضیابری[۱]، مریم نوابیان[۲*]، محمدحسن بیگلویی[۳]، مهدی اسمعیلی ورکی[۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان

۲. استادیار گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان

۳. استادیار گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان

۴. استادیار گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۸/۲۸ـ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۲/۳)

چکیده

برای بالابردن عملکرد محصول در اراضی شالیزاری استفاده از عناصر غذایی یا کودهای شیمیایی ضروری است. کاربرد کودهای شیمیایی در اراضی شالیزاری و آب‌شویی این کودها با آب آبیاری و باران به آلودگی آب‌های زیرزمینی این اراضی می‌انجامد. طراحی و مدیریت بهینهٔ سیستم‌های زهکش، از جمله استفاده از زهکش کنترل‌شده، نقشی مهم در کاهش شوری و دیگر آلاینده‌های موجود در زه‌آب دارد. در این پژوهش، اثر زهکش کنترل‌شده دارای پوشش پوستهٔ برنج بر مقادیر نیترات و نیتریت زه‌آب در شرایط مشابه حاکم بر اراضی شالیزاری بررسی شد. بدین منظور، زهکش کنترل‌شده با پوشش پوستهٔ برنج به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر در عمق ۴۰ سانتی‌متری خاک در مدل فیزیکی نصب شد و اثر دو تیمار غلظت کود در دو سطح ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و مدیریت زهکشی در سه سطح بازکردن زهکش تا رسیدن به رطوبت اشباع، رطوبت ظرفیت زراعی، و ۵۰ درصد رطوبت اشباع بر پارامترهای نیترات و نیتریت و اسیدیتهٔ زه‌آب بررسی شد. نتایج نشان داد مدیریت رطوبت ۵۰ درصد اشباع در غلظت کود ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر در کاهش نیترات زه‌آب (۱۲/۰۸ میلی‌گرم بر لیتر) عملکردی بهتر دارد. همچنین، تیمارهای رطوبت ظرفیت زراعی در غلظت کود ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و رطوبت ۵۰ درصد اشباع در غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب بیشترین و کمترین نیتریت خروجی از زه‌آب را نشان دادند. با گذشت زمان اسیدیتهٔ زه‌آب به سمت اسیدیتهٔ نرمال سوق پیدا کرد.

کلیدواژگان: اسیدیته، پوشش کربنی، رطوبت، شوری، کود نیتروژن

مقدمه

زهکشی زیرسطحی آزاد، وقتی هدف تخلیهٔ سریع مقادیر زیادی آب باشد، سیستمی مؤثر است. ولی اگر هدف حفظ آب باشد، این سیستم عملکردی مناسب ندارد. زیرا بیش از ۵۰ درصد بارندگی در این سیستم هدر می‌رود. همچنین تلفات نیتروژن در اراضی دارای این سیستم پرخطر است (Bendoricchio and Giardini, 1994). Breve *et al.* (1998) در دانشگاه کارولینا پژوهش‌های متعددی با مدل DRAINMOD انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که زهکشی زیرزمینی آلودگی و تلفات نیترات را افزایش می‌دهد.

تغییر زهکشی آزاد به زهکشی کنترل‌شده در پاسخ به نگرانی‌های زیست‌محیطی و نیاز به بهبود مدیریت آب انجام شده است (Ayars *et al.*, 2006). در مقایسه با زهکشی سنتی، زهکشی کنترل‌شده، که یک روش مدیریت آب دوست‌دار طبیعت است، مقدار رسوبات و فسفر و نیتروژن آلی و آلاینده‌های همراه رسوبات را کاهش می‌دهد (Westrom *et al.*, 2001). در شرایطی که سطح ایستابی در بازه‌های زمانی معینی در رقوم بالا قرار داشته باشد اثر نیترات‌زدایی افزایش می‌یابد و در کاهش آلودگی نیتروژن- نیترات بسیار مؤثر است. از آنجا که باکتری‌های نیترات‌زدا در شرایط بی‌هوازی فعالیت می‌کنند، می‌توان از آن‌ها در محیط زهکش‌ها برای کاهش نیترات استفاده کرد (Cambardell *et al.*, 1999; Richards *et al.*, 1999). زهکشی کنترل‌شده یکی از راهکارهایی است که این شرایط را فراهم می‌کند و این‌گونه می‌تواند هم با بالابردن نیترات‌زدایی و هم، با کاهش مقدار زه‌آب، تلفات نیترات و عواقب آن را کاهش دهد (Zhuan Xi *et al.*, 2009).

در مناطق مرطوب مشخص شد زهکشی کنترل‌شده با کاهش حجم زه‌آب و بالابردن روند نیترات‌زدایی مقدار نیتروژن خروجی را ۴۰ درصد پایین می‌آورد (Gilliam *et al.*, 1979;

* نویسندهٔ مسئول: Navabian@guilan.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

Skaggs and Gilliam, 1981; Evans *et al*., 1995; Meija and Madramootoo, 1998).

Dinnes (2002) نشان داد زهکشی کنترل‌شده می‌تواند با افزایش فرایند نیترات‌زدایی در شرایط غیر هوازی پروفیل خاک تلفات نیترات را کاهش دهد. Boyer *et al.* (2006) گزارش کردند قابلیت نیترات‌زدایی به پایین‌بودن غلظت اکسیژن خاک، حضور و فعالیت باکتری‌ها، دمای بالا، اسیدیته، و مادهٔ آلی- به مثابهٔ منبع تأمین انرژی باکتری‌ها- بستگی دارد.

Borin *et al.* (2003) طی پژوهشی پنج‌ساله در شش هکتار از اراضی دانشگاه پادووای ایتالیا، که خاک لومی داشت، نشان دادند زهکشی کنترل‌شدهٔ تلفات نیترات را ۷۱ درصد کاهش می‌دهد. کاهش جریان زهکشی کلیدی برای کاهش این تلفات اعلام شد.

عموماً اراضی شالیزاری به صورت غرقابی آبیاری می‌شوند و فقط در زمان برداشت محصول آب آن‌ها را تخلیه می‌کنند. در ایران در حال حاضر زارعان رژیم‌های گوناگون آبیاری را اجرا می‌کنند؛ اما رژیم استغراق دایم، به عمق حدود ۵ تا ۸ سانتی‌متر، در شالیزارهای شمال کشور رواج بیشتری دارد. استفاده از سیستم‌های مدیریت آب کشاورزی، مانند زهکشی کنترل‌شده در اراضی شالیزاری، می‌تواند مفید باشد؛ زیرا از یک سو مصرف آب را کاهش می‌دهد و شرایط کشت بهتری را ایجاد می‌کند و از سوی دیگر نیترات و سایر مواد مغذی حاصل از این اراضی را کاهش می‌دهد (NRCS, 2001).

Abbott *et al.* (2002) نشان دادند با زهکشی کنترل‌شده در اراضی شالیزاری مصر، آب به مقدار زیاد (بیش از ۴۰ درصد) حفظ شد؛ بدون اینکه محصول کاهش یا شوری خاک افزایش یابد. Singh *et al.* (2002) در اراضی شالیزاری مجهز به سیستم زهکشی کنترل‌شده در هند نشان دادند زهکشی زیرزمینی نقشی مثبت در کنترل آلودگی آب‌های زیرزمینی تحت این اراضی دارد. Luo *et al.* (2008)، با بررسی زهکش‌های کنترل‌شدهٔ مزارع برنج در ییِن‌نان[1] چین، در سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۵، نشان دادند با کاهش عمق زهکش از ۱ متر به ۰٫۴ متر میزان زه‌آب حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد کاهش می‌یابد و میزان شوری زه‌آب به‌آرامی بالا می‌رود؛ ولی همچنان زیر آستانهٔ تحمل برنج باقی می‌ماند.

Mathew (2004) اثر زهکشی کنترل‌شده را در قسمتی از اراضی شالیزاری هند، که مشکل سولفات داشتند، بررسی کرد و به این نتیجه رسید که با احداث زهکش‌های زیرزمینی در مدت دو سال مشکل اسیدی‌بودن این اراضی برطرف می‌شود و عملکرد محصول برنج ۴۳ درصد یا ۱٫۱ تن در هکتار افزایش می‌یابد.

Cai *et al.* (2002) برای بررسی مقدار نیترات‌زدایی پژوهشی در اراضی شالیزاری چین تا عمق ۱۵ سانتی‌متری خاک با اسیدیتهٔ ۸٫۸-۸٫۴ انجام دادند. آن‌ها گزارش کردند دما، سرعت باد، تشعشع خورشید، و مقدار کود بیشترین تأثیر را بر نرخ نیترات‌زدایی دارند. آن‌ها مشاهده کردند در شرایط مناسب نیترات‌زدایی، با زیادشدن رشد باکتری‌های نیترات‌زدا، اسیدیتهٔ آب تا ۱۰٫۵ افزایش می‌یابد.

با عنایت به اهمیت پوشش در طرح‌های زهکشی اراضی، توجه به ملاحظات کلی طرح و جنبه‌های اقتصادی و فنی پروژه‌های زهکشی و تجارب بین‌المللی جنبه‌های مهم انتخاب نوع پوشش‌اند (Kabosi *et al*., 2009). مواد متخلخل زیادی، که نفوذپذیری بالایی دارند، اعم از مواد آلی و معدنی و مواد آلیِ ساختهٔ دست بشر، که اقتصادی و به مقدار زیاد موجود است، به منزلهٔ پوشش دور زهکش امتحان شدند (Mowelhi *et al*., 1988). پوستهٔ برنج، که یکی از تولیدات جانبی کارخانه‌های شالی‌کوبی است، به مقدار فراوان یافت می‌شود.

استفاده از پوستهٔ برنج به منزلهٔ پوشش زهکش سابقهٔ علمی ندارد و نخستین بار در پژوهش Ebrahimian *et al.* (2008) و سپس در پژوهش Kabosi *et al.* (2009) بررسی شد. البته Munaf and Zein (1997) به توانایی پوستهٔ برنج در حذف یون‌های کادمیم، زینک، مس، و کروم از پس‌آب اشاره کرده‌اند. Ebrahimian *et al.* (2008) با بررسی پوشش پوستهٔ برنج در اراضی شالیزاری اعلام کردند مقدار هزینهٔ صرفه‌جویی‌شده با استفاده از پوستهٔ برنج نسبت به شن و ماسه تقریباً ۶ درصد کل هزینهٔ طرح است. در این پژوهش گزارش شد اگر خاک منطقه شور و سدیمی نباشد، پوستهٔ برنج ممکن است گزینه‌ای مناسب باشد برای پوشش اطراف لولهٔ زهکش.

پژوهش‌های صورت‌گرفته در گذشته نشان دادند زهکشی کنترل‌شده، روش مدیریتی مناسبی برای کاهش حجم زه‌آب و بالابردن کیفیت آن است. کاربرد این نوع زهکش در اراضی شالیزاری تلفات کود و سموم را کاهش می‌دهد و موجب بالارفتن مقدار محصول می‌شود و امکان کشت دوم را فراهم می‌آورد.

با توجه به اینکه زهکشی اراضی شالیزاری در شمال ایران در آغاز راه و در حال توسعه است، باید پژوهش‌هایی بر عملکرد سیستم‌های زهکشی و تکنیک‌های مدیریتی جدید، مانند زهکشی کنترل‌شده، برای دستیابی به زهکشی با حداقل آثار

1. YinNan

Archive of SID

www.SID.ir

منفی زیست‌محیطی صورت گیرد. پژوهش حاضر با هدف بررسی شیوه‌های مختلف مدیریت زهکشی کنترل‌شده بر هدررفت کود نیترات انجام شد تا مدیریت مناسب برای کاهش تخلیهٔ نیترات و نیتریت به منابع آب و محیط زیست و هدررفت آب از اراضی شالیزاری انتخاب شود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، تأثیر زهکشی کنترل‌شده با پوشش پوستهٔ برنج بر مقادیر نیترات و نیتریت خروجی از زه‌آب در شرایط مشابه با اراضی شالیزاری تحت مدیریت‌های مختلف زهکشی کنترل‌شده و غلظت کود مطالعه شد. برای دستیابی به اهداف پژوهش و شبیه‌سازی شرایط حاکم بر اراضی شالیزاری در مدل فیزیکی، از مخازنی با جنس پی‌وی‌سی به ارتفاع ۹۰ و قطر ۶۰ سانتی‌متر استفاده شد. مخازن با خاک، با بافت غالب اراضی شالیزاری گیلان، که پس از خشک‌شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده بود، پر شد. برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ و درصد ذرات تشکیل‌دهندهٔ خاک استفاده‌شده در جدول ۲ می‌آید. خاک با تراکمی مشابه اراضی شالیزاری (جرم مخصوص ظاهری ۱٫۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و بر اساس روش آزمایش تراکم آماده شد. در گام بعدی نمونه‌های خاک اشباع شد و ارتفاع آب به ۵ سانتی‌متر، مشابه شیوهٔ مدیریت آبیاری غرقاب در اراضی شالیزاری، با استفاده از مخزن آب و شناور تثبیت‌کنندهٔ ارتفاع آب، رسانده شد. شکل ۱ نمای شماتیکی از مخزن و نحوهٔ قرارگیری زهکش را نشان می‌دهد. برخی پارامترهای کیفی منبع آب آبیاری در جدول ۳ می‌آید.

قطر لولهٔ زهکش استفاده‌شده در این پژوهش ۱۰۰ میلی‌متر (کوچک‌ترین اندازهٔ موجود در بازار) در نظر گرفته شد که در عمق ۴۰ سانتی‌متری خاک نصب شد. به دلیل امکان جذب املاح به وسیلهٔ پوستهٔ برنج، پوشش دور لولهٔ زهکش، پوستهٔ برنج در نظر گرفته شد و به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر در اطراف لولهٔ زهکش تعبیه شد. به دلیل پیچیدگی چرخهٔ نیتروژن و بررسی دقیق اثرپذیری مقادیر نیترات و نیتریت از تیمارهای بررسی‌شده، از کشت گیاه برنج در مدل‌های فیزیکی صرف‌نظر شد. برخی مشخصات فیزیکی پوستهٔ برنج در جدول ۴ می‌آید.

به منظور بررسی تأثیر مدیریت زهکش کنترل‌شده بر تغییرات نیترات و نیتریت و اسیدیتهٔ زه‌آب، کود نیترات پتاسیم با دو غلظت ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر در دو مرحلهٔ آزمایش، مشابه زمان کوددهی اراضی شالیزاری، یعنی دوسوم در زمان دیسک‌زنی (پس از آماده‌سازی مخزن خاک) و یک‌سوم در زمان پنجه‌زنی (سی روز پس از شروع آزمایش)، اعمال شد.

برای بررسی اثر مدیریت زهکشی کنترل‌شده بر مقادیر نیترات و نیتریت خروجی از زهکش، سه تیمار رطوبت خاک شامل رطوبت اشباع، رطوبت ظرفیت زراعی، و ۵۰ درصد رطوبت اشباع به منزلهٔ زمان بستن خروجی زهکش پس از زهکشی آزاد مدّنظر قرار گرفت. انتخاب رطوبت خاک به منزلهٔ معیار بستن خروجی زهکش، به دلیل افزایش دقت در بیان زمان بستن زهکش، صورت گرفت؛ بدین ترتیب که به جای استفاده از معیار مشاهدهٔ درز و ترک، که معیار عرف اراضی شالیزاری است، به دلیل متفاوت‌بودن ابعاد و عمق درز و ترک، از معیار رطوبت خاک بهره گرفته شد. در زمان‌هایی که انتهای زهکش بسته بود، طبق عرف اراضی شالیزاری، ارتفاع آب روی سطح خاک به‌وسیلهٔ مخزن آب و شناور ۵ سانتی‌متر بود. جدول ۵ جزئیات تیمارهای بررسی‌شده و نحوهٔ نام‌گذاری آن‌ها را نشان می‌دهد.

برای اعمال تیمار مدیریت زهکشی و بررسی زمان بسته‌شدن زهکش‌ها در سه تیمار رطوبت اشباع، ۵۰ درصد رطوبت اشباع، و رطوبت ظرفیت زراعی اطلاع از شرایط رطوبتی خاک مورد نیاز بود. برای این منظور از بلوک‌های فایبرگلاس استفاده شد. بلوک‌ها ابتدا کالیبره و سپس در عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک نصب شدند.

جدول ۱. برخی مشخصات فیزیکی، شیمیایی، و هیدرولیکی خاک استفاده‌شده در پژوهش

نیترات (mgr/L)	اسیدیته (–)	هدایت الکتریکی (µs/m)	هدایت هیدرولیکی اشباع (cm/d)	رطوبت ظرفیت زراعی (٪)	رطوبت اشباع (٪)	جرم مخصوص ظاهری (gr/cm3)
۵۵٫۴۰	۶٫۱۲	۶۳۳٫۴۳	۶٫۶۹	۳۴	۵۷	۱٫۳۵

جدول ۲. بافت خاک استفاده‌شده در پژوهش

سیلت (٪)	رس (٪)	شن (٪)	بافت خاک
۷۲٫۵۳	۲۲٫۷۵	۴٫۷۲	لوم سیلتی

جدول ۳. برخی مشخصات شیمیایی منبع آب آبیاری استفاده‌شده در پژوهش

EC (ds/m)	pH (–)	Mg^{+2} (meq/lit)	Ca^{+2} (meq/lit)	Na^{+} (meq/lit)	HCO_3^{-} (meq/lit)	SAR $(meq/lit)^{0.5}$
۰٫۷۰۰	۷٫۲۷۰	۳٫۴۰۰	۲٫۲۰۰	۲٫۳۶۹	۱٫۰۱۹	۱٫۴۱۶

Archive of SID

www.SID.ir

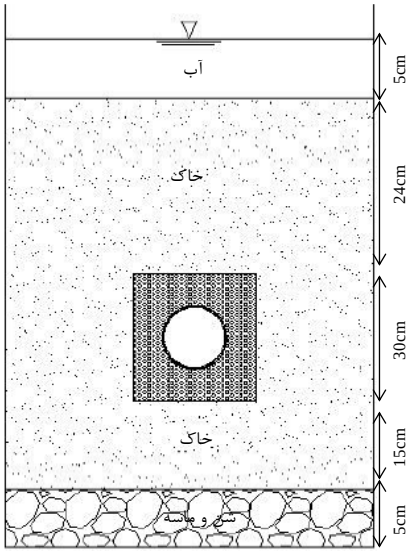
جدول ۴. برخی مشخصات فیزیکی پوستهٔ برنج استفاده‌شده در پژوهش

جرم مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	جرم مخصوص حقیقی (gr/cm^3)	تخلخل (٪)	جذب آب (٪)	ضریب انحنا (–)	ضریب یکنواختی (–)
۰٫۰۸۰	۰٫۲۵۵	۵۸٫۳۳۳	۳۲۸٫۷۶۰	۱٫۷۷۶	۰٫۹۰۶

بعد از آماده‌سازی مدل فیزیکی، در دو مرحله، مطابق برنامهٔ زمانی شکل‌های ۲ تا ۵، کوددهی انجام شد. چهل و پنج روز بعد زهکش باز شد. جدول ۵ مدت زمان بازبودن زهکش را در تیمارهای مختلف مدیریت زهکش کنترل‌شده نشان می‌دهد. در آغاز با بازشدن زهکش و سپس بستن آن، به منظور بررسی میزان غلظت نیترات جمع‌شده در زهکش، و بازکردن چند دقیقه‌ای زهکش، ابتدا با بازهٔ زمانی چهارده روز و سپس برای بررسی دقیق‌تر با بازهٔ زمانی سه روز، نمونه‌برداری صورت گرفت. این روند نود و نُه روز ادامه یافت. بعد از نمونه‌گیری، نمونه‌های زه‌آب به‌سرعت به آزمایشگاه انتقال یافت و مقادیر نیترات و نیتریت به روش اولترا ویوله اندازه‌گیری شد. اسیدیته با استفاده از دستگاه pHسنج اندازه‌گیری شد (Standard methods, 2012). در انتهای آزمایش، از همهٔ مخزن‌ها نمونهٔ خاک از عمق ۱۲ سانتی‌متری جمع‌آوری و مقادیر نیترات و نیتریت باقی‌مانده در خاک اندازه‌گیری شد.

جدول ۵. جزئیات و نام‌گذاری تیمارهای بررسی‌شده در پژوهش

تیمار	مدیریت زهکشی	مدت زمان بازبودن زهکش (روز)	غلظت کود (میلی‌گرم بر لیتر)
SM10	رطوبت اشباع	۲	۱۰
HSM10	۵۰ درصد رطوبت اشباع	۳۰	۱۰
FCM10	رطوبت ظرفیت زراعی	۱۰	۱۰
SM20	رطوبت اشباع	۲	۲۰
HSM20	۵۰ درصد رطوبت اشباع	۳۰	۲۰
FCM20	رطوبت ظرفیت زراعی	۱۰	۲۰



شکل ۱. نمای شماتیک مدل فیزیکی زهکش استفاده‌شده در پژوهش

یافته‌ها و بحث

به منظور بررسی اثر مدیریت زهکشی و پوشش پوستهٔ برنج بر مقادیر نیترات و نیتریت، روند تغییرات آن‌ها، با توجه به زمان، رسم شد. شکل‌های ۲ تا ۵ نتایج روند تغییرات نیترات و نیتریت خروجی از زهکش را در دو غلظت ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نشان می‌دهند.

در هر دو غلظت ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر، از ابتدای آزمایش، افزایش در مقادیر نیترات مشاهده شد که به دلیل کوددهی مرحلهٔ اول، قبل از اولین نمونه‌برداری، بود. پس از آن، با کوددهی مرحلهٔ دوم، سی روز بعد، دوباره افزایش غلظت رخ داد. از روز سی و ششم مقادیر نیترات خروجی کاهش یافت که علت آن می‌تواند وقوع پدیدهٔ نیترات‌زدایی باشد. مقادیر اسیدیته (شکل‌های ۶ و ۷) و دمای مناسب (۳۲-۲۸ درجهٔ سانتی‌گراد) دو عامل مؤثر در نیترات‌زدایی در کنار زمان مناسب سپری‌شده برای اثرگذاری فعالیت باکتری‌های بی‌هوازی بودند.

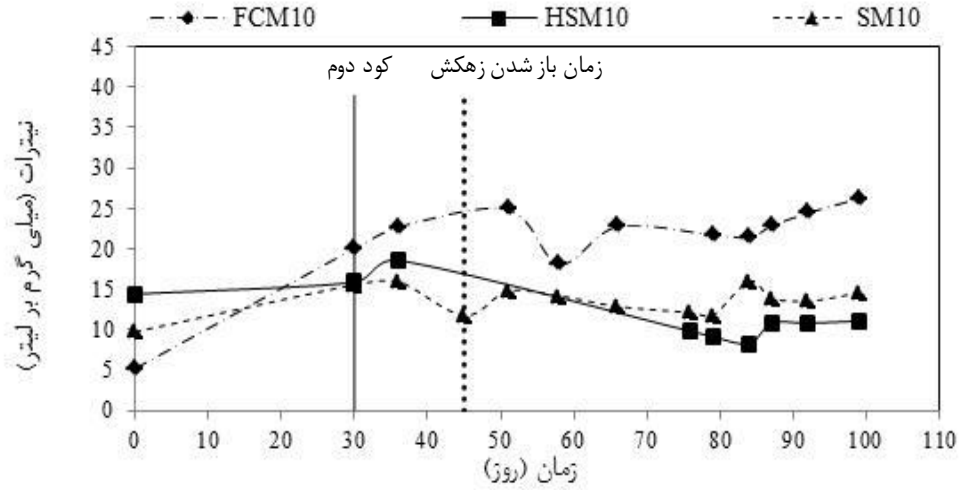
مقادیر نیتریت در هر دو غلظت ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر از ابتدای آزمایش تا قبل از کوددهی مرحلهٔ دوم با شیبی ملایم افزایش داشت. بعد از مرحلهٔ دوم کوددهی، تا قبل از بازکردن زهکش (پانزده روز)، روند تغییرات مقادیر نیترات حاکی از آن بود که فرایند تبدیل نیترات به فرم‌های دیگر کند است؛ در نتیجه نیتریت کمتری در زه‌آب مشاهده شد. این موضوع را Zhang *et al.* (2010) نیز تأیید کردند.

بعد از زهکشی آزاد در روز چهل و پنجم، روند تغییرات نیترات و نیتریت تیمارهای مختلف در هر دو غلظت ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر متفاوت بود. علت این پدیده می‌تواند تفاوت

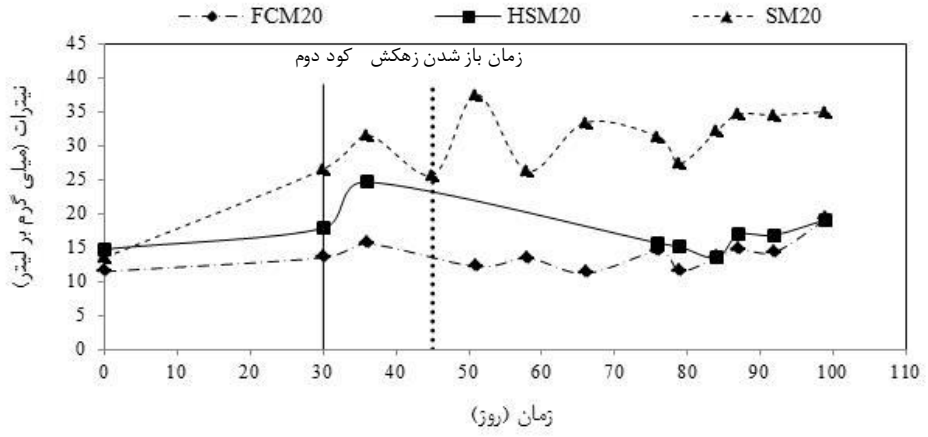
Archive of SID
www.SID.ir

مدت زمان بازبودن زهکش‌ها و وقوع شرایط هوازی متفاوت بین تیمارها باشد که سبب تغییر روند نیترات‌زایی و نیترات‌زدایی چرخهٔ نیتروژن شد (Williams, 1995).

بعد از زهکشی آزاد، در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، مقادیر نیترات در دو تیمار رطوبت اشباع (SM10) و رطوبت ۵۰ درصد اشباع (HSM10) همچنان روند کاهشی داشتند؛ ولی در تیمار رطوبت ظرفیت زراعی (FCM10) نوسان مشاهده شد. تیمار رطوبت ظرفیت زراعی نیترات خروجی بیشتری نسبت به دو تیمار دیگر داشت. در غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر دو تیمار رطوبت ظرفیت زراعی و رطوبت ۵۰ درصد اشباع، بعد از زهکشی آزاد، همواره روند کاهشی داشتند؛ ولی تیمار رطوبت اشباع نوسان داشت و نتوانست نیترات خروجی را مانند دو مدیریت دیگر کاهش دهد. از آنجا که در فرایند نیترات‌زدایی ابتدا نیترات به نیتریت و سپس به گازهای نیتروژن و اکسید نیتروژن تبدیل می‌شود، این قابلیت وجود دارد که نیتریت تولیدشده دوباره به نیترات تبدیل شود. بنابراین، مدیریت زهکش کنترل‌شده در تیمارهای رطوبت ظرفیت زراعی و ۵۰ درصد رطوبت اشباع شرایط تولید دوبارهٔ نیترات را، پس از وقوع فرایند نیترات‌زدایی، موجب می‌شود. این مسئله بر میزان نیترات اثر دارد. از سوی دیگر، با خالی‌شدن منافذ خاک از آب و ایجاد تبادل گازی بین اتمسفر و گازهای نیترژون تولیدشده از فرایند نیترات‌زدایی، شرایط واکنش نیترات‌زایی، نسبت به تیمار اشباع، که هیچ‌گاه منافذ خاک از آب خالی نمی‌شوند، فراهم‌تر می‌شود. همچنین، به دلیل رابطهٔ مستقیم فرایندهای حاکم بر چرخهٔ نیتروژن با تبدیل و تخریب نیتروژن، غلظت اولیهٔ نیترات بر همهٔ فرایندها تأثیرگذار است. در این پژوهش نیز اثر متفاوت غلظت نیتروژن بر مقادیر نیترات و در نتیجه کارایی متفاوت مدیریت‌های مختلف زهکش کنترل‌شده مشاهده شد.

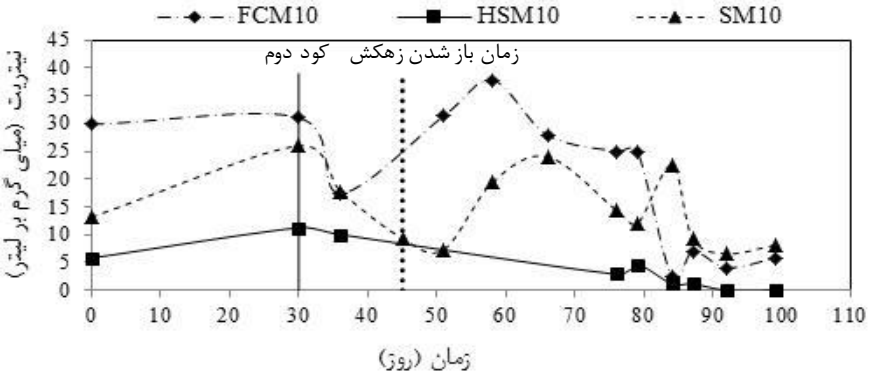


شکل ۲. روند تغییرات نیترات در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر در تیمارهای مدیریت زهکشی بررسی‌شده

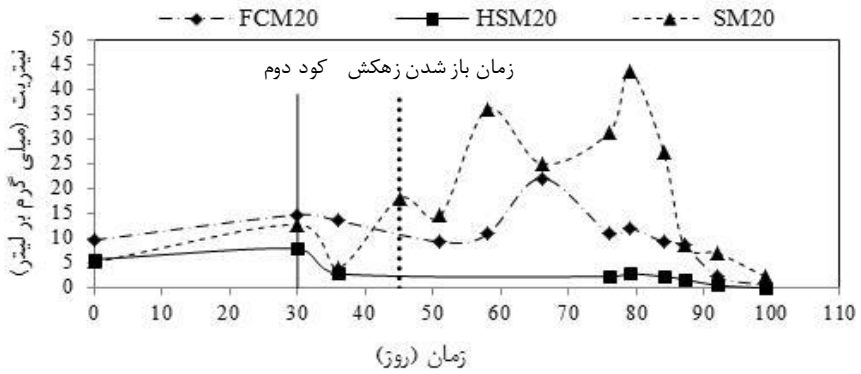


شکل ۳. روند تغییرات نیترات در غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر در تیمارهای مدیریت زهکشی بررسی‌شده

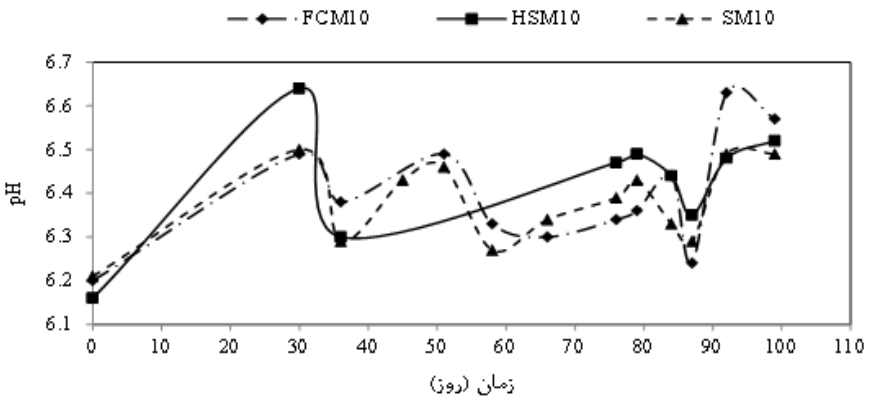
www.SID.ir



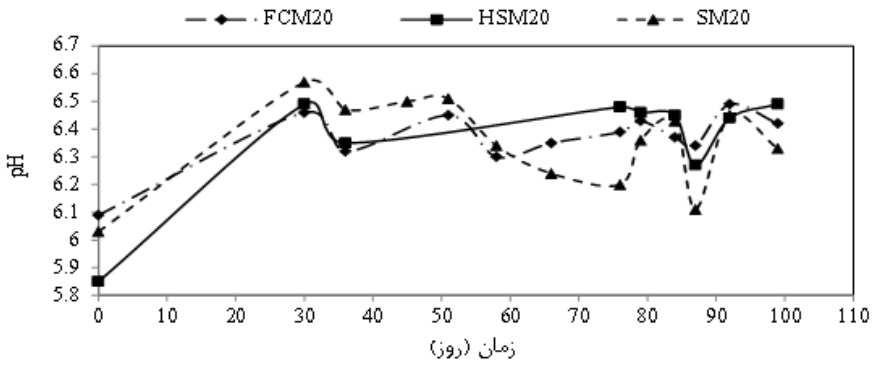
شکل ۴. روند تغییرات نیتریت در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر در تیمارهای مدیریت زهکشی بررسی‌شده



شکل ۵. روند تغییرات نیتریت در غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر در تیمارهای مدیریت زهکشی بررسی‌شده



شکل ۶. روند تغییرات اسیدیته در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر در تیمارهای مدیریت زهکشی بررسی‌شده



شکل ۷. روند تغییرات اسیدیته در غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر در تیمارهای مدیریت زهکشی بررسی‌شده

www.SID.ir

درصد نیترات و نیتریت خروجی در تیمارهای بررسی‌شده و میانگین و انحراف معیار آن‌ها در جدول‌های ۶ و ۷ می‌آید. در هر دو غلظت، در پایان آزمایش، تیمار ۵۰ درصد اشباع کمترین مقدار نیترات خروجی را داشت که نشان‌دهندهٔ کارایی مناسب این مدیریت است. تیمار HSM10 توانست کمترین مقدار نیترات، یعنی ۵۷٫۶۶ درصد، را خارج کند. بدین ترتیب تلفات کود نیترات و همچنین پتانسیل آلودگی محیط زیست در این تیمار حداقل بود. علاوه بر آن، این تیمار از لحاظ صرفه‌جویی در مصرف آب، به دلیل طولانی‌تربودن مدت غیر غرقابی خاک، گزینهٔ مناسب‌تری بود.

بر اساس نتایج انحراف از معیار، بیشترین نوسان خروج نیترات از زهکش در تیمارهای HSM10 و SM20 و بیشترین نوسان خروج نیتریت از زهکش در تیمارهای FCM10 و SM20 روی داد. این بدان معناست که در تیمارهای یادشده شرایط حاکم بر چرخهٔ نیتروژن، شامل نیتراتزایی و نیتراتزدایی، بیشتر دستخوش تغییرات شده است. نکتهٔ مهم اثرپذیری این چرخه از غلظت کود ورودی است که نتایج متفاوتی را منجر شد.

بر اساس نتایج نیترات خروجی از زهکش در مدیریت‌های مختلف زهکشی می‌توان این‌گونه گزارش کرد که در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، مدیریت رطوبت ۵۰ درصد اشباع، با داشتن اسیدیتهٔ ۶٫۵۲، مساعدترین شرایط را برای حذف نیترات از زه‌آب ایجاد می‌کند. این شرایط در غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر در اسیدیتهٔ ۶٫۴۹ روی داد که تأثیرگذاری بیشتر محدودهٔ اسیدیتهٔ ۶٫۴۹-۶٫۵۲ را بر فرایند نیتراتزدایی نشان می‌دهد (شکل‌های ۶ و ۷).

آزمون آماری دانکن بر مقادیر نیترات نشان داد در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر بین تیمارهای رطوبت اشباع و رطوبت ۵۰ درصد اشباع در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنادار وجود ندارد؛ ولی تیمار ظرفیت زراعی اختلاف معناداری با دو تیمار دیگر داشت. در غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر آزمون دانکن بین همهٔ تیمارهای این غلظت اختلاف معنادار نشان داد. همچنین، نتایج نشان داد بین دو غلظت کوددهی اختلاف معناداری وجود ندارد. نتایج آماری آزمون دانکن بر مقادیر نیترات در جدول ۸ می‌آید.

بررسی‌های آزمون آماری دانکن بر تغییرات نیتریت نشان داد در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر بین تیمارهای رطوبت اشباع و رطوبت ظرفیت زراعی در سطح ۹۵ درصد اختلاف معناداری وجود ندارد. در غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر دو تیمار رطوبت اشباع و رطوبت ۵۰ درصد اشباع در سطح ۹۵ درصد اختلاف معناداری داشتند. غلظت کود به تغییرات نیتریت بین تیمارهای رطوبت اشباع و رطوبت ظرفیت زراعی اختلاف معنادار داشت؛ ولی در تیمار ۵۰ درصد رطوبت اشباع تأثیر معناداری مشاهده نشد. نتایج آماری آزمون دانکن بر مقادیر نیتریت در جدول ۹ می‌آید.

جدول ۶. درصد تغییرات نیترات در تیمارهای بررسی‌شده

تیمار	نیترات ورودی (mgr)	میانگین نیترات زه‌آب زهکش در زمان بسته‌بودن زهکش (L/mgr)	میانگین نیترات خروجی در زمان بازبودن زهکش (mgr)	انحراف معیار (mgr/L)	دبی خروجی (cm^3/min)	نیترات خروجی (٪)
SM10	۴۸٫۶۰	۱۳٫۵۹	۳۸٫۰۲	۰٫۱۹	۴۸٫۱۹	۷۸٫۲۳
HSM10	۴۸٫۶۰	۱۲٫۰۸	۲۸٫۰۲	۰٫۳۷	۴۴٫۷۶	۵۷٫۶۶
FCM10	۴۸٫۶۰	۲۰٫۶۷	۴۳٫۰۳	۰٫۱۶	۲۸٫۰۶	۸۸٫۵۴
SM20	۹۷٫۲۰	۲۹٫۹۵	۶۸٫۸۵	۰٫۳۱	۳۷٫۸۳	۷۰٫۸۳
HSM20	۹۷٫۲۰	۱۷٫۱۲	۵۷٫۳۳	۰٫۱۷	۲۷٫۵۲	۵۸٫۹۸
FCM20	۹۷٫۲۰	۱۳٫۷۴	۶۷٫۹۸	۰٫۲۳	۳۶٫۱۷	۶۹٫۹۴

جدول ۷. درصد تغییرات نیتریت در تیمارهای بررسی‌شده

تیمار	میانگین نیتریت زه‌آب زهکش در زمان بسته‌بودن زهکش (mgr/L)	میانگین نیتریت خروجی در زمان بازبودن زهکش (mgr)	انحراف معیار (mgr/L)	نیتریت خروجی (٪)
SM10	۱۴٫۶۳	۲۵٫۲۷	۶٫۶۹	۵۱٫۹۹
HSM10	۴٫۱۱	۳٫۹۲	۴٫۲۲	۸٫۰۷
FCM10	۲۰٫۴۱	۳۱٫۳۶	۱۲٫۵۲	۶۴٫۵۴
SM20	۱۸٫۱۸	۲۳٫۱۳	۱۳٫۳۹	۲۳٫۷۹
HSM20	۲٫۹۵	۳٫۸۶	۲٫۷۸	۳٫۹۸
FCM20	۱۰٫۳۳	۲۱٫۴۸	۱۱٫۸۹	۲۲٫۱۰

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۸. نتایج آزمون‌های آماری دانکن بر مقادیر نیترات تیمارهای پژوهش

تیمار	sig	آزمون	پارامتر بررسی‌شده
HSM10-SM10	۰/۶۸۰	دانکن	مدیریت زهکشی
FCM10-SM10	۰/۰۰۰*	دانکن	مدیریت زهکشی
FCM10-HSM10	۰/۰۰۰*	دانکن	مدیریت زهکشی
FCM20-HSM20	۰/۰۰۰*	دانکن	مدیریت زهکشی
FCM20-SM20	۰/۰۰۰*	دانکن	مدیریت زهکشی
HSM20-SM20	۰/۰۰۰*	دانکن	مدیریت زهکشی
SM10-SM20	۰/۰۵۲	دانکن	غلظت کود
HSM10-HSM20	۰/۶۴۹	دانکن	غلظت کود
FCM10-FCM20	۰/۱۶۷	دانکن	غلظت کود

*Sigهای کمتر از ۵ درصد معناداری تفاوت را نشان می‌دهد.

جدول ۹. نتایج آزمون‌های آماری دانکن بر مقادیر نیتریت تیمارهای پژوهش

تیمار	sig	آزمون	پارامتر بررسی‌شده
HSM10-SM10	۰/۰۱۰*	دانکن	مدیریت زهکشی
FCM10-SM10	۰/۱۳۳	دانکن	مدیریت زهکشی
FCM10-HSM10	۰/۰۰۰*	دانکن	مدیریت زهکشی
FCM20-HSM20	۰/۰۶۴	دانکن	مدیریت زهکشی
FCM20-SM20	۰/۰۵۱	دانکن	مدیریت زهکشی
HSM20-SM20	۰/۰۰۱*	دانکن	مدیریت زهکشی
SM10-SM20	۰/۰۱۲*	دانکن	غلظت کود
HSM10-HSM20	۰/۰۸۷	دانکن	غلظت کود
FCM10-FCM20	۰/۰۰۱*	دانکن	غلظت کود

***Sigهای کمتر از ۵ درصد معناداری تفاوت را نشان می‌دهد.**

مقادیر نیترات و نیتریت باقی‌مانده در خاک (عمق ۱۲ سانتی‌متری) در انتهای آزمایش و دو ماه پس از انتهای آزمایش در جدول ۱۰ آورده شده است. با مقایسهٔ مقادیر نیترات باقی‌مانده در خاک در دو آزمایش یادشده مشخص شد مقادیر نیترات در همهٔ تیمارها، پس از گذشت دو ماه، افزایش می‌یابد که علت آن شرایط هوازی و وقوع پدیدهٔ نیترات‌زایی است. مقادیر نیتریت هم در همهٔ تیمارها، پس از گذشت دو ماه، به همین علت کاهش یافت.

در انتهای آزمایش تیمارهای رطوبت اشباع و رطوبت ظرفیت زراعی در غلظت ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر کمترین نیترات باقی‌مانده در خاک را داشتند. علت این پدیده را می‌توان تأثیر خروج گازهای N_2 و N_2O حاصل از فرایند نیترات‌زدایی در زمان بازکردن زهکش‌ها دانست. به نظر می‌رسد در این تیمارها، پس از بستن زهکش‌ها و اعمال مدیریت غرقاب، به دلیل کم‌بودن غلظت گازهای یادشده، نیترات‌زدایی بیشتری روی داده است. دو ماه پس از انتهای آزمایش در هر دو غلظت ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر تیمار رطوبت ۵۰ درصد اشباع کمترین نیترات باقی‌مانده در خاک را داشت.

جدول ۱۰. مقادیر نیترات و نیتریت نمونه‌های خاک

تیمار	زمان نمونه‌برداری	نیترات (mgr/L)	نیتریت (mgr/L)
نمونهٔ خاک اولیه (شاهد)	ابتدای آزمایش	۶/۱۸	۵/۲۴
SM10	انتهای آزمایش	۱/۵۵	۳۱/۴۴
HSM10	انتهای آزمایش	-	-
FCM10	انتهای آزمایش	۷/۹۴	۱۵/۷۲
SM20	انتهای آزمایش	۵/۴۵	۷۵/۹۷
HSM20	انتهای آزمایش	-	-
FCM20	انتهای آزمایش	۱/۴۱	۶۱/۱۳
SM10	دو ماه پس از اتمام آزمایش	۱۳/۴۸	۲۳/۵۸
HSM10	دو ماه پس از اتمام آزمایش	۷/۹۴	۱۳/۰۹
FCM10	دو ماه پس از اتمام آزمایش	۳۵/۹۰	۱۵/۷۱
SM20	دو ماه پس از اتمام آزمایش	۱۷/۶۸	۳۱/۴۴
HSM20	دو ماه پس از اتمام آزمایش	۷/۳۱	۲۲/۲۷
FCM20	دو ماه پس از اتمام آزمایش	۱۹/۵۶	۲۳/۵۸

در انتهای آزمایش و دو ماه پس از انتهای آزمایش بیشترین مقادیر نیتریت باقی‌مانده در خاک در هر دو تیمار غلظت در مدیریت زهکشی اشباع مشاهده شد. با مقایسهٔ مقادیر

Archive of SID

www.SID.ir

نیترات و نیتریت باقی‌مانده در خاک در انتهای آزمایش و دو ماه پس از انتهای آزمایش انتظار می‌رفت در انتهای آزمایش بیشترین میزان نیتریت در تیمار FCM20 و دو ماه پس از انتهای آزمایش در تیمار رطوبت ۵۰ درصد رطوبت اشباع به دست آید؛ اما به نظر می‌رسد در شرایط حاکم بر اراضی شالیزاری و وجود مدام ارتفاع آب ۵ سانتی‌متر بر سطح خاک، در زمان بسته‌بودن زهکش، عاملی دیگر، مانند pH، روند تکمیلی چرخهٔ نیترات‌زدایی، یعنی تبدیل نیتریت به گازهای N_2 و N_2O، را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مطابق نتایج این پژوهش (شکل‌های ۵ و ۶) در اسیدیته‌های اسیدی‌تر تمایل به تبدیل نیتریت به گازهای N_2 و N_2O کمتر و در نتیجه غلظت نیتریت بیشتر است.

جدول ۱۱. میانگین و انحراف معیار اسیدیتهٔ مشاهده‌شده در تیمارهای بررسی‌شده

تیمار	میانگین اسیدیته	انحراف معیار
SM10	۶٫۴۰	۰٫۱۳
HSM10	۶٫۴۸	۰٫۲۲
FCM10	۶٫۴۲	۰٫۱۵
SM20	۶٫۳۸	۰٫۱۹
HSM20	۶٫۳۹	۰٫۲۲
FCM20	۶٫۳۸	۰٫۱۲

بررسی مقادیر اسیدیتهٔ تیمارهای مختلف (شکل‌های ۶ و ۷) نشان داد اسیدیته در محدودهٔ مطلوب فرایند نیترات‌زدایی، یعنی بازهٔ شش تا هشت، است. روند تغییرات اسیدیته پس از زهکشی به سمت اسیدیتهٔ نرمال سوق پیدا کرد. بنابراین، می‌توان اذعان داشت زهکشی به تعدیل اسیدیتهٔ زه‌آب منجر می‌شود. این روند در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر بیشتر از ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر بود. جدول ۱۱ میانگین و انحراف معیار اسیدیته را در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد. طبق جدول ۱۱ تیمارهای HSM10 و HSM20 با انحراف معیار ۰٫۲۲ بالاترین نرخ تغییرات اسیدیته را دارند. نتایج انحراف از معیار بیانگر تأثیر شیوهٔ مدیریت زهکشی کنترل‌شده بر مقدار تغییرات اسیدیته است.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاکی از آن است که اجرای زهکشی کنترل‌شده در اراضی شالیزاری توانایی کاهش نیترات زه‌آب را دارد؛ ولی عوامل متعدد نظیر نحوهٔ مدیریت زهکشی، غلظت نیترات ورودی، اسیدیته، و شرایط خاک بر کارایی آن اثر می‌گذارد. نتایج نشان داد در هر دو تیمار غلظت تیمار مدیریت ۵۰ درصد اشباع بهترین عملکرد را در کاهش نیترات زه‌آب دارد و توانست کمترین نیترات (۵۷٫۶۶ درصد در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و ۵۸٫۹۸ درصد در غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر) را از زه‌آب خارج کند. بعد از تیمار ۵۰ درصد رطوبت اشباع، تیمارهای رطوبت اشباع و رطوبت ظرفیت زراعی به ترتیب در غلظت‌های کود ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر در خروج نیترات موفق‌تر عمل کردند. این مسئله اهمیت غلظت کود را بر انتخاب مدیریت زهکش نشان می‌دهد. تیمار ۵۰ درصد رطوبت اشباع کمترین نیترات باقی‌مانده در خاک را داشت که مزیت دیگر این تیمار بر سایر تیمارها به حساب می‌آید. زیرا با گذشت زمان و پس از برداشت محصول برنج با شروع فصل پاییز و شروع بارش و وقوع پدیدهٔ آب‌شویی ممکن است نیترات باقی‌مانده در خاک وارد زه‌آب شود؛ ولی وقوع این مشکل در تیمار ۵۰ درصد رطوبت اشباع کمتر روی می‌دهد. اگر هدف کاهش مصرف آب آبیاری باشد، تیمار ۵۰ درصد رطوبت اشباع در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر مدیریت مناسب به نظر می‌رسد. همچنین، نتایج نشان داد تیمار FCM10 بیشترین نیتریت خروجی (۶۴٫۵۴ درصد) از زه‌آب را دارد. تیمارهای رطوبت ۵۰ درصد اشباع در هر دو غلظت ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر کمترین نیتریت خروجی را داشتند. با توجه به اینکه در زمینهٔ مدیریت‌های مختلف زهکش کنترل‌شده در اراضی شالیزاری پژوهش‌های اندکی صورت گرفته است، ادامهٔ پژوهش به منظور تأیید و تعمیم نتایج این پژوهش توصیه می‌شود تا بتوان برای حل مسائل زیست‌محیطی حاصل از زه‌آب اراضی کشاورزی راهکارهای مفیدی ارائه کرد.

REFERENCES

Abbott, C. L., Lawrence, P., Pearce, G. R., and Gawad, S. A. (2002). Review of the potential for controlled drainage around the world. HR Wallingford Report OD146, Wallingford, Oxon, Ox10 8BA.

Ayars, J. E., Christen, E. W., and Hornbuckle, J. W. (2006) Controlled drainage for improved water management in arid regions irrigated agriculture. *Agricultural Water Management*, 86, 128-139.

Bendoricchio, G. and Giardini, L. (1994). A controlled drainage demonstration project in Italy. 3rd Congress of European Society for Agronomy, Abano- Padova, 768-777.

Borin, M., Bonaiti, G., and Giardini, L. (2003). Water conservation and crop production under controlled drainage and subirrigation: Five Years Experience in NE Italy. *Italian Journal of Agronomy*, 7(2), 111-118.

Boyer, E., Alexander, R. B., Parton, W. J., Butterbach-bahl, C. K., Donner, S. D., Skaggs, R. W., and

Archive of SID

www.SID.ir

Grosso, S. J. (2006). Modeling denitrification in Terrestrial and aquatic ecosystems at regonial scale. *Ecological Applications*, 16(6), 2123-2142.

Breve, M. A., Skaggs, R. W., Parsons, J. A., and Gilliam, J. W. (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.

Cai, X., McKinney, D. C., and Lasdon, L. S. (2002). A framework for sustainability analysis in water resources management and appilication to the Syr Darya Basin. *Water Resources Research*, 35, 328-340.

Cambaradell, C. A., Moorman, T. B., Jaynes, D. B., Hatfield, J. L., Parkin, T. B., and Karlen, D. L. (1999). Water quality in Walnut Creek Watershed: Nitrate-nitrogen in soils, subsurface drainage water, and sallow groundwater. *Journal of Environmental Quality*, 28, 1035-1040.

Dinnes, D. L., Karlen, D. L., Jaynes, D. B., Kaspar, T. C., and Hatfield, J. L. (2002). Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drainage Midwestern soils. *Agricultural Water Management*, 31, 217-233.

Ebrahimian, H., Liyaghat, A., Parsinejad, M., and Akram, M. (2008). Evaluation of subsurface drainage performance with rice husk envelope. *Journal of Iran Water Research*, 6, 25-34. (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 Engeeniring*, 121(4), 271-276.

Gilliam, J. W., Skaggs, R. W., and Weed, S. B. (1979). Drainage control to diminish nitrate loss from agricultural fields. *Journal of Environmental Quality*, 8(1), 137-140.

Kabosi, K., Liyaghat, A., and Rahimi, H. (2009). Ability to use rice husk as an envelope for subsurface drainage. *Journal of Soil and Water Research*, 1(40), 1-6. (In Farsi)

Lue, W. Z., Fang, S., Wang, N. J., Liu, L., and Zhang, Y. (2008). Outflow reduction ans salt and nitrogen dynamics at controlled drainage in the YinNan Irrigation District, China. *Argricultural Water Management*, 95, 809-816.

Mathew, E. K. (2004). Adaptability constraints of a technically and economically feasible subsurface drainage system in the low-laying acid sulphate soils of Kerala, Indi. *Irrigation and Drainage System*, 18, 329-346.

Meija, M. N. and Madramootoo, C. A. (1998). Water table management and strip cropping effects on water quality. Drainage in the 21st century, pp, 574-583.

Mowelhi, N. E., Bershamgy, A. E., Hoffman, G. J., and Chang, A. C. (1988). Enhancement of crop yields from subsurface drains with various envelops. *Agricultural Water Management*, 15, 131-140.

Munaf, E. and Zein, R. (1997). The use of rice husk for removal of toxic metals from wastewater. *Environmental Technology*, 18(3), 359-362.

NRCS, (2001). Water Management (Drainage), Part 650 Engineering Field Handbook, National Engineering Handbook, USDA, NRCS, 192.

Richards, J. E. and Webster, C. P. (1999). Denitrification in the subsoil of the broadbalk continuous wheat experiment. *Soil Biology Biochemical*, 31, 747-755.

Singh, M., Bhattacharya, A. K., Nair, T. V. R., and Singh, A. K. (2002). Nitrogen loss through subsurface drainage effluent in coastal rice field from India. *Agricultural Water Management*, 52, 249-260.

Skaggs, R. W. and Gilliam, J. W. (1981). Effect of drainage system design and operation on nitrate transport. Trans. *ASAE*, 24(4), 929-934.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 2013. 22nd Edition. Publication of the American Public Health Association (APHA), the American Water Works Association (AWWA), and the Water Environment Federation (WEF).

Wesstrom, I., Messing, I., Linner, H., and Lindstrom, J. (2001). Controlled drainage effects on drain outflow and water quality. *Agricultural Water Management*, 47, 85-100.

Williams, P. J. (1995). Evidence for the seasonal accumulation of carbon-rich dissolved organic material, its scale in comparison with changes in particulate material and the consequent effect on net C/N assimilation rations. Mar Chem, 51, 17-29.

Zhang, S. X., Weijdegard, B., Egecioglu, E., Norstrom, A., and Billig, H. (2010). Influence of water table management on corn and soybean yields. *Agricultural Water Management*, 16(12), 907-915.

Zhuan-xi, L., Jia-liang, B. Z., and Tao, T. (2009). Phosphorus retention capacity of agricultural headwater ditch sediments under alkaline condition in purple soils area, China. *Ecological Engineering*, 35, 57-64.

Archive of SID

www.SID.ir