

The effect of simultaneous management of nitrogen fertilizer and time and duration of mid-drainage on rice cultivation and drainage water quality

ABSTRACT

This research was carried out to determine the simultaneous optimal management of nitrogen (N) fertilizer and the time and duration of mid-season drainage (MSD) of rice from an environmental point of view. This experiment was conducted in three treatments: application of N fertilizer and then drainage 7 days later for 7 days (T₁), drainage for 7 days and then application of N fertilizer (T₂), and drainage for 10 days and then application of N fertilizer (T₃). The control treatment included fertilization at the same time as T₁ treatment and without mid-season drainage. The quality parameters of drain water were measured. The results indicated that the time of applying fertilizer and drainage has a direct effect on pH. The average EC during the growth period in T₂ and T₃ decreased by 46 and 73%, respectively, compared to T₁. The trend of NH₄⁺ changes was upward before MSD, but after MSD, it decreased by 23% in T₁ and 54% on average in T₂ and T₃. The average concentration of NO₃⁻ in the end season in T₁, T₂, and T₃ was 22, 36, and 69% lower, respectively, and PO₄³⁻ was 29, 31, and 67% lower than in MSD. The statistical analysis showed that the effect of time and treatments on SAR, and Cl⁻ was insignificant. Applying fertilizer after drainage for 10 days has lower negative impact on environment. Comparing yield and component yield in treatments show that T₂ (7 days mid drainage and then applying nitrogen fertilizer) is a more appropriate option.

Keywords: Drainage water quality, End-season drainage, Mid-season drainage, Pollution of water sources

اثر مدیریت هم‌زمان کود نیتروژن و زمان و مدت زهکشی میان فصل بر کشت برنج و کیفیت زه‌آب

چکیده

پژوهش حاضر با هدف تعیین مدیریت بهینه هم‌زمان کود نیتروژن و زمان و مدت زهکشی میان فصل برنج از دیدگاه محیط‌زیستی در دانشگاه گیلان انجام شد. این آزمایش در سه تیمار، اعمال کود نیتروژن و سپس زهکشی ۷ روز بعد به مدت ۷ روز (T₁)، زهکشی به مدت ۷ روز و سپس اعمال کود نیتروژن (T₂) و زهکشی به مدت ۱۰ روز و سپس اعمال کود نیتروژن (T₃) در سه تکرار انجام شد. تیمار شاهد شامل کوددهی هم‌زمان با تیمار T₁ و بدون زهکشی میان فصل بود. از زه‌آب نمونه‌برداری و پارامترهای کیفی آن اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد، زمان اعمال کود و زهکشی تاثیر مستقیم بر اسیدیته زه‌آب دارد. میانگین هدایت الکتریکی در دوره رشد در T₂ و T₃ به ترتیب ۴۶ و ۷۳ درصد نسبت به T₁ کاهش نشان داد. تغییرات آمونیم تا قبل از زهکشی میان فصل، صعودی بود اما پس از آن، در T₁، ۲۳ درصد و در T₂ و T₃ به طور متوسط ۵۴ درصد کاهش نشان داد. میانگین غلظت نیترات در زهکشی پایان فصل در T₁، T₂ و T₃ نسبت به میان فصل به ترتیب ۲۲، ۳۶ و ۶۹ درصد و فسفات ۲۹، ۳۱ و ۶۷ درصد کمتر بود. تجزیه آماری نشان داد که اثر زمان و تیمارها بر SAR و کلراید معنی‌دار نبود. مقایسه کیفیت زه‌آب تیمارها نشان داد که کوددهی پس از زهکشی با تداوم ۱۰ روز، می‌تواند اثر منفی کمتری بر محیط زیست داشته باشد. مقایسه عملکرد و اجزاء عملکرد برنج نشان داد که زهکشی میان فصل به مدت ۷ روز و سپس اعمال کود نیتروژن گزینه مناسب‌تری است.

واژه‌های کلیدی: آلودگی منابع آب، زهکشی پایان فصل، زهکشی میان فصل، کیفیت زه‌آب

مقدمه

نیمی از جمعیت جهان از برنج تغذیه می‌شوند که آن را به یکی مهم‌ترین محصولات غذایی از تبدیل می‌کند. استان‌های گیلان و مازندران مهم‌ترین مناطق کشت برنج در ایران هستند که ۸۰ الی ۸۲ درصد از تولید برنج در داخل کشور را بر عهده دارند (ناصرزاده و همکاران، ۱۳۹۹). با توجه به یکپارچه بودن شالیزارها در توپوگرافی نسبتاً مسطح شمال ایران و عدم وجود سامانه زهکشی کافی، این اراضی در دوره کشت برنج، در نتیجه بارندگی در زمان نشاء‌کاری و برداشت محصول به ترتیب دچار مشکلات خفگی نشاء و ورس گیاه و یا عدم امکان برداشت مکانیزه می‌شوند. یکی از راهبردهای مدیریت آب در طول فصل رشد برنج زهکشی میان فصل است که

ممکن است با زهکشی زیرزمینی آسان تر شود (Darzi-Naftchali et al., 2014). همچنین در زمان برداشت محصول (زهکشی پایان فصل)، می‌بایست آب پروفیل خاک با سرعت مناسب تخلیه شود که زهکشی زیرزمینی نسبت به زهکشی سطحی عملکرد بهتری در این خصوص دارد. زهکشی میان فصل در مرحله پنجه‌زنی با مدیریت سطح آب در اراضی شالیزاری و ایجاد شرایط هوازنی به مدت هفت روز یا بیشتر، تا پایان پنجه‌زنی، باعث افزایش رشد ریشه گیاه، کاهش بیش از حد پنجه‌زنی، افزایش کانی شدن نیتروژن آلی خاک و در نهایت افزایش عملکرد برنج می‌شود (Rahman et al., 2013; Li, 2007). همچنین زهکشی میان و پایان فصل با خارج کردن خاک از حالت اشباع و خروج مواد سمی از ناحیه ریشه، شرایط مناسبی برای رشد محصول و تاثیر بر عملکرد کیفی و کمی برنج و امکان برداشت مکانیزه و در نتیجه کاهش هزینه تولید و تمایل برای توسعه برنج کاری را فراهم می‌کند (درزی نفت‌چالی و همکاران، ۱۳۹۱).

به دلیل محدودیت سطح زیر کشت برنج، باید از کودهای شیمیایی برای افزایش تولید و امنیت مواد غذایی استفاده کرد (Liu, 2021). یکی از مهم‌ترین مواردی که کشاورزی مدرن با آن مواجه است پيامدهای استفاده از کودهای شیمیایی است که منجر به آلودگی آب و خاک می‌شود (نوابیان و همکاران، ۱۳۹۵). نگرانی‌هایی در مورد آثار کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها بر محیط‌زیست، از جمله از بین رفتن میکروارگانیسم‌های خاک و آلودگی منابع آب در نتیجه استفاده بیش از حد از کودها وجود دارد (kai et al., 2020). طبق برآوردها، کشاورزی مسئول آلودگی ۲۵ درصدی فسفر و ۵۰ درصدی نیترات در محیط آبی و همچنین ۷۵ درصد آلودگی رسوبات است. علاوه بر این، نسبت آلودگی کشاورزی بر کیفیت آب در حال افزایش است و کشاورزی بر چهل درصد از پهنه‌های آبی فشار وارد می‌کند (Defra, 2022). استفاده از کود نیتروژن یکی از مهم‌ترین عوامل در تولید برنج است و نقش کلیدی در عملکرد آن ایفا می‌کند.

کاهش اثرات محیط‌زیست در سامانه‌های کشت برنج، نیازمند ارتقای کارایی مصرف آب و مواد مغذی است. به دلیل محدودیت منابع آب، روش‌هایی مانند کنترل سطح ایستابی، زهکشی میان فصل و خشک و مرطوب کردن متناوب (AWD) برای افزایش بهره‌وری مصرف آب در اراضی شالیزاری از طریق اصلاح مدیریت آب ایجاد شده است (Darzi-Naftchali et al., 2017). به دلیل ماهیت پویای نیتروژن استفاده بیش از حد از آن باعث ایجاد خطر بالایی برای آب شویی نیترات در زیر ناحیه ریشه و پيامدهای محیط‌زیستی می‌شود، از این رو مدیریت کود نیتروژن بسیار مهم است (GU et al., 2022; Hua et al., 2019; Lu et al., 2021).

چاکانی و همکاران (۱۳۹۴)، در پژوهشی با هدف یافتن بهترین فاصله برای زهکشی‌های زیرزمینی و تداوم زهکشی، اعمال زهکشی میان فصل اراضی شالیزاری با تداوم زهکشی ۷ روز و فاصله ۱۵ متر را توصیه کردند. محمدپور و نوابیان (۱۳۹۸)، پژوهشی را با هدف بررسی تاثیر زهکشی زیرزمینی بر کیفیت زه‌آب در میان و پایان فصل برنج و همچنین انتقال املاح در اعماق و نقاط مختلف خاک نسبت به موقعیت زهکش انجام دادند. نتایج نشان داد تجمع املاح و نیترات محلول خاک در بالای لایه سخت نسبت به عمق کارگذاری زهکش به ترتیب با افزایش ۱۱ و ۴۷ درصدی همراه بود که نشان از اثرگذاری لایه سخت بر تجمع املاح داشت. غلظت نیترات و آمونیوم در زه‌آب پایان فصل نسبت به میان فصل به ترتیب ۳۹ و ۱۲ درصد کاهش داشت. مودنی و همکاران (۱۳۹۵)، به بررسی اثر عمق زهکش زیرزمینی در یک مدل فیزیکی کشت گیاه تریپتیکاله تحت شرایط مشابه با اراضی شالیزاری در اعماق ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر برای کنترل سطح ایستابی و کیفیت زه‌آب خروجی در خاک با بافت لوم سیلتی پرداختند. مقایسه کیفیت زه‌آب خروجی زهکش‌های نصب شده در عمق ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متری در انتهای آزمایش نسبت به ابتدای آن نشان داد پارامترهای اسیدیته به ترتیب ۷/۴ و ۶/۴ درصد و کل جامدات معلق ۱/۵ و ۴۳/۴ درصد افزایش داشتند. همچنین هدایت الکتریکی به ترتیب ۵۳ و ۸ درصد و نسبت جذب سدیم به ترتیب ۱۶ و ۸ درصد کاهش داشتند. جعفری تلوکلایی و همکاران (۱۳۹۳)، پژوهشی با هدف اثر سامانه‌های مختلف زهکشی بر میزان سدیم، کلر و سولفات زه‌آب، در طول دو فصل کشت برنج و کلزا در اعماق ۰/۹ و ۰/۶۵ و فواصل ۱۵ و ۳۰ متر با پوشش معدنی و مصنوعی انجام دادند. نتایج نشان داد که با افزایش فاصله زهکش‌ها از ۱۵ متر به ۳۰ متر، میزان متوسط سدیم، کلر

و سولفات زه‌آب زهکش کاهش و همچنین، با افزایش عمق و فاصله زهکش، میزان کلر به سولفات آن بیش تر شد. کمترین مقادیر غلظت سدیم، کلر، سولفات و کل املاح خروجی در هر دو فصل کشت مربوط به تیمار با عمق ۰/۹ و فاصله ۳۰ متر بود. متوسط کلر و سولفات زه‌آب تیمارهای مختلف در فصل کشت کلزا کم‌تر از مقدار کلر و سولفات زه‌آب در زمان‌های زهکشی میان و پایان فصل کشت برنج بود.

هلمرس و همکاران (Helmerts et al., 2012)، در آزمایشی نتیجه گرفتند که میانگین تلفات نیترات در طول دوره مطالعه در زهکشی کنترل شده و زهکشی سطحی به ترتیب ۳۶ و ۲۹ درصد کاهش یافت. صادقی‌لاری و همکاران (SadeghiLari et al., 2013)، با پژوهشی بر اثر زهکشی کنترل شده بر کل تلفات نیتروژن نیتراتی در جریان خروجی از زهکش‌ها در تیمارهای زهکشی کنترل شده در اعماق ۷۰ و ۹۰ سانتی‌متری نشان دادند که تلفات به ترتیب به میزان ۵۸/۴۳ و ۴۷/۲۵ درصد نسبت به زهکشی آزاد کم‌تر شد. ایستمن و همکاران (Eastman et al., 2010)، مطالعه‌ای به منظور بررسی انتقال فسفر برای دو نوع خاک رایج (لومرسی و لومشنی) در مزارع کشاورزی با زهکش طبیعی طی دو سال (۲۰۰۴-۲۰۰۶) انجام دادند. نتایج نشان داد که وجود زهکش زیرزمینی در خاک‌های لوم شنی اثر مفید قابل توجهی در کاهش رواناب سطحی و تلفات فسفر کل از مزرعه داشت، اما بر عکس این موضوع در خاک‌های لومرسی مشاهده شد. درزی و همکاران (۱۳۹۱)، پژوهشی با هدف تاثیر زهکشی میان و پایان فصل بر روی سامانه‌های زهکشی سطحی و زیرزمینی بر تلفات فسفر در اراضی شالیزاری و بر روی گیاه برنج انجام دادند. نتایج نشان داد که در هر دو زمان زهکشی میان و پایان فصل، بیشترین غلظت فسفر اندازه‌گیری شده مربوط به رواناب سطحی بود، در نتیجه سامانه‌های زهکشی زیرزمینی در مقایسه با زهکشی سطحی، اثرات محیط‌زیستی کمتری از لحاظ دفع فسفر به منابع آب را به دنبال دارد. معماری و همکاران (۱۳۹۷)، یک پژوهش با هدف بررسی عملکرد کیفی و کمی زهکش زیرزمینی در مقیاس مدل فیزیکی با خاک رس سیلتی بر روی گیاه لوبیا انجام دادند. در زمان وقوع بارندگی از زه‌آب و عصاره خاک نمونه‌برداری شد و نتایج نشان داد که هدایت الکتریکی زه‌آب خروجی در انتهای آزمایش نسبت به ابتدا حدود ۶۰ درصد کاهش داشت. همچنین مقادیر نسبت جذب سدیم (SAR) و اسیدیته در خاک و زه‌آب افزایش داشتند که نشان داد مقدار و توالی بارندگی بر حجم زه‌آب خروجی اثرگذار است.

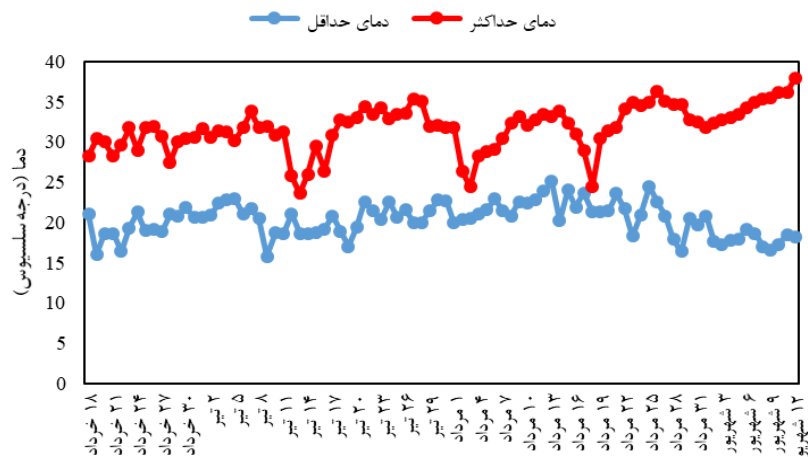
صدیق و افروس (۱۳۹۹) آزمایشی در مقیاس لایسیمتری شامل سه تیمار زهکشی آزاد، کنترل شده و آبیاری زیرزمینی در خاکی با بافت لومی سیلتی بر روی گیاه گوجه‌فرنگی انجام دادند. نتایج نشان داد مقدار در صد جرم نمک خروجی در زه‌آب زهکشی آزاد و زهکشی کنترل شده به ترتیب ۶۵ و ۴۵ درصد بود. درصد جرمی نیترات و فسفات در زه‌آب تیمار زهکشی آزاد به ترتیب با مقدار ۲۰/۹ و ۸/۱ در صد بزرگ‌تر از مقادیر آن در تیمار زهکشی کنترل شده با مقادیر ۱۳/۷ و ۵/۷ درصد است. همچنین مقادیر هدایت الکتریکی زه‌آب در تیمار زهکشی کنترل شده کمتر از تیمار زهکشی آزاد گزارش شد. یو و همکاران (Yu et al., 2021) در مطالعه‌ای بر روی خاک اراضی شالیزاری با بافت لومی در قالب دو تیمار آبیاری (سنتی غرقابی و کنترل شده) و زهکشی (سنتی و کنترل شده) تلفات آب و نیتروژن را در طول کل دوره رشد برنج بررسی کردند. نتایج نشان داد میزان نیتروژن کل، نیترات و آمونیوم در حالت آبیاری کنترل شده و زهکشی نسبت به آبیاری و زهکشی سنتی به ترتیب ۶۹/۸، ۶۵/۳ و ۶۹/۷ درصد کاهش یافت.

سامانه‌های زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری ایران سابقه زیادی ندارند و با توجه به توصیه‌های تحقیقاتی مبنی بر استفاده کود نیتروژن و اعمال زهکشی میان فصل در مرحله پنجه‌زنی رشد گیاه برنج و اثر متقابل زهکشی و نحوه کاربرد کود بر کارایی مصرف کود و آلودگی محیط‌زیست، هدف از انجام این پژوهش بررسی آثار متقابل زهکشی و کوددهی در کشت برنج و تعیین مدیریت بهینه هم‌زمان کود نیتروژن و زمان و مدت زهکشی میان فصل برنج و تاثیر آن روی زه‌آب خروجی در نظر گرفته شد.

مواد و روش‌ها

برای تعیین مدیریت بهینه هم‌زمان کود نیتروژن و زمان و مدت زهکشی میان و پایان فصل برنج مطالعه‌ای در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان واقع در شهرستان رشت (۳۷ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی، ۴۹ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی) انجام شد. میانگین دمای حداکثر و حداقل داده‌های ایستگاه هواشناسی کشاورزی رشت در طول دوره پژوهش در شکل (۱) نشان داده شده است. ۹ لایه سیمتر به قطر و ارتفاع به ترتیب ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متر از جنس PVC برای کشت برنج و انجام آزمایش استفاده شد. برای جلوگیری از خروج ذرات خاک از انتهای لایسیمتر، از فیلتر شنی و توری استفاده شد. برای کنترل خروجی زهکش، در محل خروجی لایسیمتر یک شیر تعبیه شد. لایسیمترها با استفاده از دوربین نقشه برداری بر روی سکوهایی به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر در فضای آزاد ولی دارای سرپناه برای جلوگیری از اثر بارش احتمالی بر فرآیند زهکشی، تراز شدند. لایسیمترها با خاک اراضی شالیزاری با بافت لومی رسی سیلتی پس از خشک کردن، کوبیده و عبور از الک پنج میلی‌متری با جرم مخصوص ظاهری ۱/۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب پر شدند. مشابه اراضی شالیزاری سعی شد تا لایه سخت (Hardpan) با استفاده از خاک عبوری از الک دو میلی‌متری با تراکم ۱/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب در عمق ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک ایجاد شود. برای آماده سازی شرایط کشت برنج و ایجاد شرایط آبیاری، خاک به مدت ۱۵ روز در حالت غرقاب نگهداری شد. سپس در تمام روزهای فصل رشد و به غیر از مدت زهکشی میان و پایان فصل، آبیاری غرقابی به ارتفاع ۵ سانتی‌متر با استفاده از مخزن آب و شناور انجام شد. قبل از کشت برنج، مقدار ۵۰ کیلوگرم بر هکتار سوپرفسفات تریپل، ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات سدیم و یک سوم از کود نیتروژن به فرم اوره (۹۰ کیلوگرم بر هکتار اوره در دو تقسیط به صورت یک سوم قبل از نشاءکاری و دو سوم در مرحله پنجه‌زنی مطابق عرف منطقه اعمال شد) به لایسیمترها اضافه شدند. نشاء برنج رقم هاشمی در تاریخ ۱۸ خرداد ۱۴۰۱ به لایسیمترها منتقل شد. شکل (۲) شمایی از لایسیمتر استقرار یافته پس از نشاء برنج را نشان می‌دهد. خصوصیات آبیاری و خاک مورد آزمایش در جدول (۱) و (۲) نشان داده شده است.

این آزمایش تحت سه تیمار مدیریت هم‌زمان کود نیتروژن و زهکشی میان فصل شامل ۱- اعمال دو مرحله کود نیتروژن (ابتدای فصل کشت و پنجه‌زنی) و اعمال زهکشی میان فصل ۷ روز بعد از کوددهی به مدت ۷ روز (T₁)، ۲- اعمال دو مرحله کود نیتروژن (ابتدای فصل کشت و یک روز بعد از زهکشی میان فصل) و اعمال زهکشی میان فصل اوایل پنجه‌زنی به مدت ۷ روز (T₂) و ۳- اعمال دو مرحله کود نیتروژن (ابتدای فصل کشت و یک روز بعد از زهکشی میان فصل) و اعمال زهکشی میان فصل اوایل پنجه‌زنی به مدت ۱۰ روز (T₃) در سه تکرار تعریف شد. تیمار شاهد شامل کوددهی هم‌زمان با تیمار T₁ و بدون زهکشی میان فصل در سه تکرار بود (T₀) عملیات زهکشی میان فصل در تیمار اول در تاریخ ۱۰ مرداد (۷ روز بعد از کوددهی در تاریخ ۳ مرداد) و در دو تیمار دوم و سوم در ۳ مرداد انجام شد. کوددهی در تیمار دوم در تاریخ ۱۰ مرداد و در تیمار سوم در تاریخ ۱۳ مرداد (بعد از ۱۰ روز زهکشی) بود. زهکشی پایان فصل در ۱۲ شهریور به طور هم‌زمان در همه تیمارها اجرا شد. پارامترهای کیفیت زه‌آب زهکشی میان فصل (۳ و ۱۰ مرداد) و سه مرحله نمونه‌برداری از زه‌آب خروجی از عمق توسعه ریشه (۲۲ و ۲۶ تیر و ۱۲ شهریور) شامل اسیدیت، هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول، آمونیوم، کلسیم و منیزیم، نترات، سدیم، کل جامدات معلق و همچنین غلظت نیتريت، فسفات، سولفات و کلراید در زهکشی میان فصل و دو مرحله زه‌آب خروجی از عمق توسعه ریشه (۲۲ تیر و ۱۲ شهریور) مطابق با استاندارد اندازه‌گیری شدند (Baird et al., 2017). پارامترهای فوق به ترتیب توسط pH متر، EC سنج، تیترا سیون، اسپکتروفوتومتری، فلیم‌فوتومتر و یون کروماتوگراف قرائت شدند. پس از زهکشی پایان فصل، به طور تصادفی از هر لایسیمتر سه بوته انتخاب و عملکرد و برخی از اجزاء عملکرد آن اندازه‌گیری شدند. در نهایت نتایج کیفی زه‌آب به دست آمده از مطالعه با استفاده از نرم افزار SAS و طرح آزمایشی Repeated measure (به دلیل برر سی تیمارها نسبت به یکدیگر و زمان) مورد تجزیه آماری قرار گرفت. همچنین عملکرد گیاه برنج به لحاظ آماری بررسی شد.



شکل ۱. اطلاعات ایستگاه هواشناسی کشاورزی رشت در طول دوره مطالعه (۱۸ خرداد تا ۱۲ شهریور)



شکل ۲. نمای لایسیمتر و مخزن آب برای تنظیم آبیاری

جدول ۱. خصوصیات شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده در آزمایش

اسیدیته	کل جامدات محلول	هدایت الکتریکی	نسبت جذب سدیم	آمونیم	نترات	نیتریت	فسفات	کلسیم	منیزیم	سدیم
(mg/l)	(mg/l)	(dS/m)	(meq/L ^{0.5})	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(meq/lit)	(meq/lit)	(meq/lit)
-	۳۰۲	۰/۴۷۳	۲/۶۳	۸/۴	۰/۶۳	۰/۱۸	۱/۶۹	۵	۰/۳	۴/۲۹

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی خاک مورد استفاده در آزمایش

بافت خاک	رس	سیلت	شن	رطوبت اشباع	رطوبت ظرفیت زراعی	تخلخل	جرم مخصوص ظاهری
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(gr/cm ³)
لومی رسی سیلتی	۲۶/۴	۶۷/۷	۵/۹	۶۴/۸۸	۴۲/۹۵	۴۴/۵	۱/۶۵

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس پارامترهای مختلف کیفیت زه‌آب در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری (۲۲ و ۲۶ تیرماه و ۱۳ شهریور) در جدول (۳) آمده است. از آنجا که در ۳ و ۱۰ مرداد ماه زهکشی میان‌فصل در تیمارهای مختلف انجام شده است، اثر آن نیز علاوه بر مدیریت کود بر پارامترهای کیفی زه‌آب در قبل و بعد از زهکشی میان‌فصل در تجزیه آماری مورد توجه قرار گرفته است. ضریب تغییرات بالا در برخی از پارامترهای کیفی تأییدی بر تغییرات زیاد آن‌ها نسبت به زمان و تأثیرپذیری از مقدار و نوع رس خاک (ایجاد درز و ترک و فرسایش خاک)، زمان اعمال کود نیتروژن، زمان و مدت زهکشی میان‌فصل و جذب املاح توسط گیاه در مراحل مختلف رشد است.

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس پارامترهای کیفی زه‌آب در تیمارها و زمان‌های مختلف

منابع تغییرات (S.O.V.)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)				
		اسیدپته	هدایت الکتریکی	آمونیم	نیترات	نیتریت
تیمار (T)	۲	۰/۰۶۲۶ ns	۴/۱۷۵۹ ns	۲۲۶۵/۴۳۶۶ ns	۱۱۳/۰۴۲۴**	۰/۳۴۶۸ ns
خطا	۶	۰/۰۶۲۷	۵/۹۱۳۹	۱۱۹۷/۳۹۷۳	۳/۸۰۰۱	۰/۳۲۹۸
زمان (Time)	۲	۰/۰۷۷۹*	۱/۳۳۱۶ ns	۲۷۳۰/۶۸۳۱**	۵/۲۱۲۴ ns	۵/۴۰۱۱**
Time×T	۴	۰/۰۹۵۷*	۱/۹۵۹۰ ns	۴۵۱/۵۶۳۳*	۲۷/۱۵۷۹*	۲/۷۰۶۸**
خطا	۱۲	۰/۰۱۸۵	۱/۰۱۰۴	۱۱۷/۳۷۶۵	۷/۵۱۴۵	۰/۰۲۳۳
ضریب تغییرات (CV%)	-	۳/۲	۳۸/۵	۴۰/۷	۴۳/۹	۵۰/۳
کل جامدات معلق						۱۵۸۴۵/۳۳*

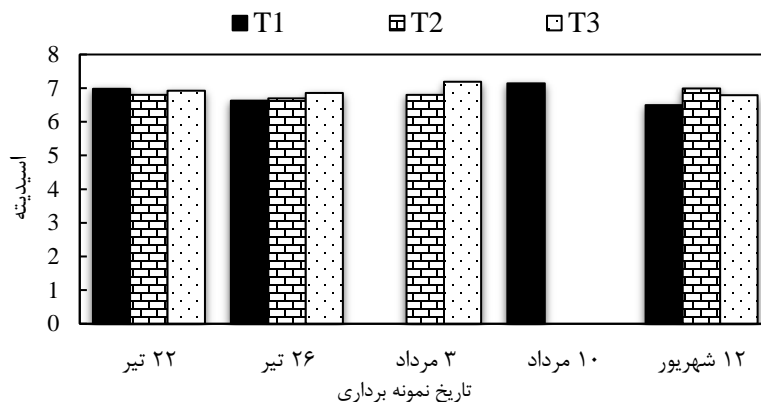
ادامه جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس پارامترهای کیفی زه‌آب در تیمارها و زمان‌های مختلف

منابع تغییرات	میانگین مربعات (MS)
---------------	---------------------

(S.O.V.)	درجه آزادی (df)	کلسیم	منیزیم	سدیم	نسبت جذب سدیم	کلراید	فسفات	سولفات
تیمار (T)	۲	۱۲۰/۳۲۲۵ns	۴۱/۵۸۲۵ns	۶/۰۲۳۱ns	۰/۱۳۰۳ns	۳۹۲/۹۸۹۴ns	۵۳۵/۲۷۸۷*	۰/۰۸۲۸ns
خطا	۶	۱۴۱/۰۹۷۴	۷۱/۷۲۹۶	۱۰/۴۷۴۳	۰/۲۷۳۴	۲۱۵۵۱/۵۸۴۹	۸۸/۹۸۹۰	۰/۰۷۹۴
زمان (Time)	۲	۸۱/۵۸۹۳*	۳۰/۱۸۹۲ns	۱/۶۱۴۱ns	۰/۵۱۰۸ns	۱۰۵/۴۱۸۳ns	۷۱۴/۹۳۱۱**	۰/۴۶۱۵*
Time×T	۴	۲۳/۵۶۳۱ns	۱۳/۵۸۹۸ns	۵/۱۰۳۳ns	۰/۲۹۹۱ns	۱۱۶/۱۶۰۵ns	۱۱۲/۳۳۰۲*	۰/۰۹۵۷ns
خطا	۱۲	۱۶/۷۱۱۸	۳۶/۲۶۴۶	۱/۹۵۰۷	۰/۱۷۰۷	۱۲۹۴۵/۳۶۹۴	۳۱/۸۷۸۵	۰/۰۶۰۱
ضریب تغییرات (CV%)	-	۳۸/۱	۵۹/۶	۳۵/۱	۳۰/۶	۴۳/۶	۷۴/۴	۱۱۰/۶

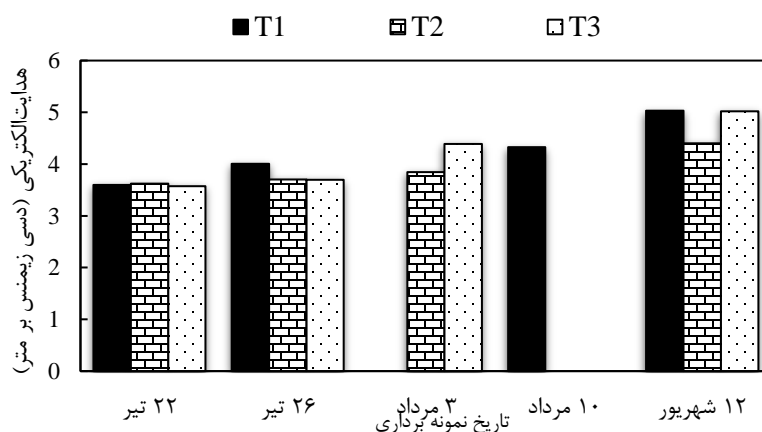
** و * معنی دار به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد و ns معنی دار نیست.

مقادیر اسیدیتته زه آب تیمارهای مورد بررسی در شکل (۳) نشان داده شده است. تغییرات اسیدیتته برای هر تیمار روندی نوسانی با گذشت زمان در دوره‌های نمونه‌برداری نشان داد. بیشترین مقدار اسیدیتته در تاریخ ۳ مرداد در تیمار T₃ با مقدار ۷/۱۹ و کمترین مقدار آن ۶/۴۹ در تاریخ ۱۲ شهریور در تیمار T₁ بود که با پژوهش شهیدی کومله و همکاران (۱۳۹۱) مبنی بر تثبیت اسیدیتته محلول خاک بین ۶/۵ تا ۷ چند هفته پس از غرقاب شدن، تطابق داشت. میانگین اسیدیتته در دوره رشد در تیمارهای T₁ و T₂ تقریباً برابر و در تیمار T₃ بیش‌تر از دو تیمار دیگر بود. نتایج تجزیه آماری نشان از اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد در زمان و در اثر متقابل زمان و تیمار داشت. بنابراین زمان اعمال کود و زهکشی بر میزان اسیدیتته خاک و زه آب تاثیر دارد به طوری که مقایسه اسیدیتته قبل از زهکشی میان و پایان فصل نشان داد که تیمار T₂ دارای رفتار متفاوت از دو تیمار T₁ و T₃ داشت. به‌طور متوسط مقدار اسیدیتته زه آب در اکثر دوره‌های نمونه‌برداری تیمارهای آزمایش اسیدی بود ولی در تاریخ ۳ و ۱۰ مرداد (زهکشی میان فصل) به‌ترتیب در تیمار T₁ و T₃ به سمت قلیائیت پیش رفت. دینگ و همکاران (۲۰۱۹) با شبیه‌سازی اسیدیتته تیمارهای غرقابی و زهکشی در اراضی شالیزاری نشان دادند که در شرایط غرقابی، در خاک‌های با اسیدیتته بیشتر از ۶/۵ در ابتدا وضعیت خاک به سمت اسیدی شدن تمایل پیدا می‌کند و سپس به مقدار حدود ۷ افزایش می‌یابد. این در حالی است که در شرایط زهکشی، اسیدیتته خاک‌های اسیدی با کاهش رطوبت خاک، کاهش و در خاک‌های خنثی و یا قلیایی، افزایش می‌یابد (Ding et al., 2019). در تاریخ ۱۲ شهریور (پس از زهکشی پایان فصل) بازه تغییرات اسیدیتته هر تیمار به‌ترتیب از ۶/۴۹ تا ۶/۷۹ در نوسان بود و در T₁ و T₃ اسیدیتته روند کاهشی داشت که دلیل آن علاوه بر دلایل ذکر شده در پژوهش دینگ و همکاران (۲۰۱۹) می‌تواند ناشی از افزایش یون H⁺ متناوب با افزایش دما (حداکثر دما در ۱۲ شهریور روی داده است (شکل ۲) باشد که متعاقب آن مقدار اسیدیتته کاهش می‌یابد.



شکل ۳. مقادیر اسیدیتته زه آب در تیمارهای مورد بررسی

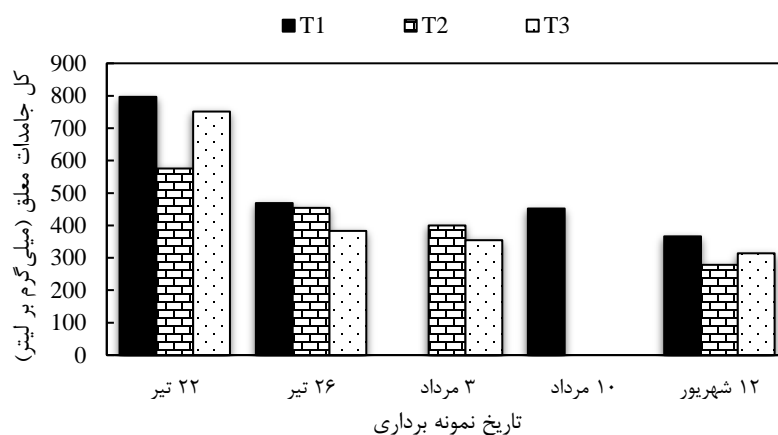
روند تغییرات هدایت الکتریکی زه آب در شکل (۴) نشان داده شده است. نتایج تجزیه آماری نشان از عدم معنی داری در تیمارها و همچنین نسبت به زمان داشت. میانگین هدایت الکتریکی در دوره رشد در تیمار T₂ و T₃ به ترتیب ۴۶ و ۷۳ درصد نسبت به تیمار T₁ کمتر به دست آمد. بنابراین اعمال کود نیتروژن و سپس زهکشی، منجر به بیش تر شدن هدایت الکتریکی زه آب نسبت به اعمال زهکشی و سپس کوددهی شد. بیش ترین و کم ترین مقدار هدایت الکتریکی در زهکشی پایان فصل و ۲۲ تیمار (ابتدای دوره رشد) به ترتیب در تیمار T₁ (۵/۰۳ دسی زیمنس بر متر) و T₃ (۳/۵۸ دسی زیمنس بر متر) مشاهده شد. هدایت الکتریکی زه آب در زهکشی پایان فصل نسبت به ابتدای آزمایش به میزان ۳۹/۷، ۲۱/۵ و ۱۰/۶ درصد به ترتیب در تیمارهای T₁، T₂ و T₃ افزایش داشت. هدایت الکتریکی قبل و بعد از زهکشی میان فصل به ترتیب ۱۶/۲ و ۱۴/۴ درصد در تیمارهای T₁ و T₂ افزایش و در تیمار T₃، ۱۹ درصد کاهش نشان داد. بنابراین اعمال کود نیتروژن پس از ده روز زهکشی، در کاهش هدایت الکتریکی زه آب موثرتر از دو تیمار دیگر است که این مسئله در کاهش آلودگی محیط زیستی زه آب اهمیت دارد. دلیل افزایش هدایت الکتریکی با گذشت زمان، افزایش آبشویی بیش تر املاح از خاک و انتقال آن به سمت لایه های پایینی است که با مطالعات محمدپور و نوابیان (۱۳۹۸) تطابق دارد.



شکل ۴. روند تغییرات هدایت الکتریکی زه آب در تیمارهای مورد بررسی

روند تغییرات میانگین کل جامدات معلق (TSS)، نسبت به تیمارها در شکل (۵) نشان داده شده است. با توجه به نمودار بیش ترین مقدار TSS، ۷۹۷ میلی گرم بر لیتر در تیمار T₁ در زمان زهکشی میان فصل (۲۲ تیر) و کم ترین مقدار آن ۲۷۸ میلی گرم بر لیتر در تیمار T₂ در زهکشی پایان فصل (۱۲ شهریور) بود. نتایج تجزیه آماری نشان از معنی داری مقادیر کل جامدات معلق در تیمارها و نسبت

به زمان داشت. مقدار TSS برای تیمارهای T₁ و T₂ و T₃ در زهکشی پایان فصل به ترتیب ۳۶۶ و ۲۷۸ و ۴۲۰ میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد که نسبت به ابتدای دوره رشد (۲۲ تیر) ۵۳، ۵۴ و ۴۴ درصد کاهش نشان داد. نتایج نشان داد که زهکشی میان فصل به مدت ۷ روز، کاهش ۱۹ و ۳۰ درصدی را در کل جامدات معلق به همراه داشت اما افزایش مدت زهکشی از ۷ به ۱۰ روز منجر به افزایش ۱۸ درصدی کل جامدات معلق زه آب شد. خشک شدن خاک در پی زهکشی و ایجاد درز و ترک‌های و به تبع آن جریان ترجیحی بیش‌تر در آن‌ها در خاک‌های چسبنده و یا فرسایش ذرات خاک غیر چسبنده در درز و ترک‌های ایجاد شده، می‌تواند بر کاهش یا افزایش جامدات معلق زه آب نقش داشته باشند. در تیمار T₃ اگرچه کاهش کل جامدات معلق نسبت به ابتدای دوره آزمایش روی داد اما میزان کاهش نسبت به دو تیمار دیگر کمتر بود و به نظر می‌رسد دوره زهکشی میان فصل ۱۰ روزه، پتانسیل خروج ذرات خاک را افزایش می‌دهد. نتایج مشاهدات حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) نیز نشان داد مقدار کل جامدات معلق زه آب در ابتدای آزمایش زیاد و با گذشت زمان کاهش یافت.

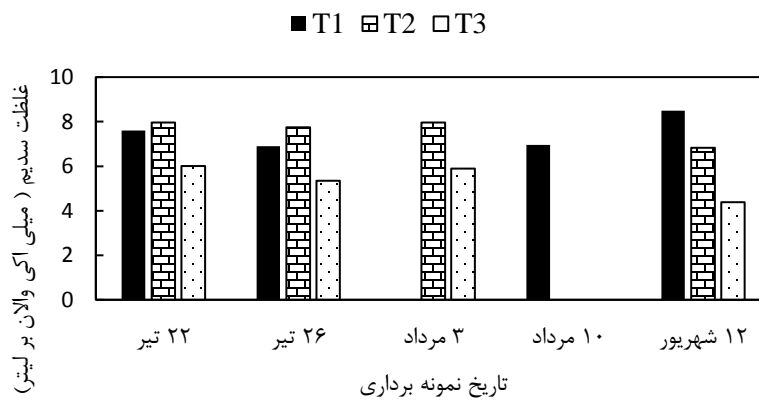


شکل ۵. روند تغییرات کل جامدات معلق زه آب نسبت به تیمارهای مورد بررسی

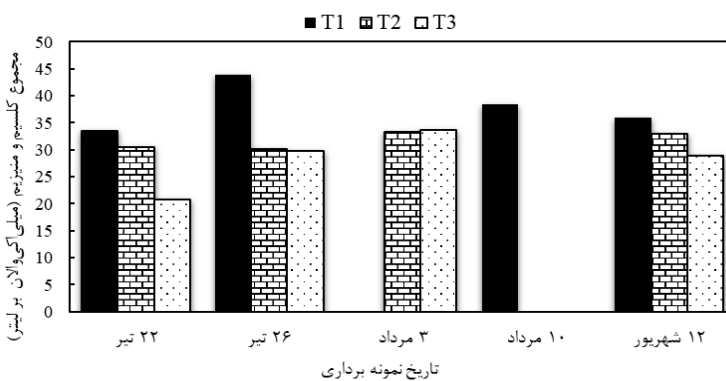
در شکل (۶) مقادیر نسبت جذب سدیم (SAR) زه آب خروجی نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان نسبت جذب سدیم در تیمار T₂ بود. مقدار SAR در تیمارها در زهکشی میان فصل نسبت به قبل از میان فصل کم‌تر بود. در تاریخ ۲۲ تیر نسبت به ۲۶ تیر در همه تیمارها روند کاهشی با گذشت زمان مشاهده شد. میانگین مقادیر SAR در دوره زهکشی میان فصل بیش‌تر از میانگین مقادیر آن در پایان فصل بود. به‌طور کلی، مقادیر SAR در زهکشی پایان فصل در تیمار T₁، ۸ درصد کاهش و در تیمارهای T₂ و T₃ به میزان ۱۷ و ۳۷ درصد افزایش نسبت به ابتدای دوره رشد داشت. با مقایسه زهکشی میان و پایان فصل، ۲۶ درصد کاهش برای تیمار T₁ و افزایش ۱۴ و ۱۹ درصد برای تیمارهای T₂ و T₃ به دست آمد. بنابراین اعمال کود نیتروژن قبل از زهکشی منجر به کاهش SAR در زه آب زهکشی میان و پایان فصل شد این در حالی است که اعمال کود نیتروژن بعد از زهکشی میان فصل می‌تواند همراه با افزایش SAR زه آب باشد. برای تعیین روند SAR، غلظت سدیم، مجموع کلسیم و منیزیم جداگانه بررسی و در شکل (۷) و (۸) آورده شده است. همان‌طور که در شکل‌ها مشخص است، مقادیر مجموع کلسیم و منیزیم در تیمارهای مورد بررسی بین ۱ تا ۱۴ درصد کاهش میان زهکشی میان و پایان فصل نشان داد. در حالی که غلظت سدیم در تیمارهای T₁، T₂ و T₃ در زهکشی پایان فصل نسبت به میان فصل به ترتیب ۲۲ درصد افزایش و ۱۴ و ۲۵ درصد کاهش نسبت به ابتدای دوره رشد داشت. بنابراین تیمارهای اعمال شده بر روی غلظت سدیم اثرگذارتر نسبت به مجموع کلسیم و منیزیم بودند و در نهایت اعمال کود و سپس زهکشی میان فصل منجر به افزایش سدیم زه آب و در نتیجه بیش‌تر شدن SAR شد. نسبت جذب سدیم زه آب در مقایسه با مقدار نسبت جذب سدیم آب آبیاری (جدول ۱) کم‌تر به دست آمد. محمدپور و نواییان (۱۳۹۸) دلیل کم‌تر بودن SAR زه آب نسبت به آب آبیاری را به فرآیند جذب عناصر تاثیرگذار بر نسبت جذب سدیم (کلسیم، منیزیم و سدیم) در پروفیل خاک نسبت دادند.



شکل ۶. روند تغییرات نسبت جذب سدیم زه‌آب در تیمارهای مورد بررسی



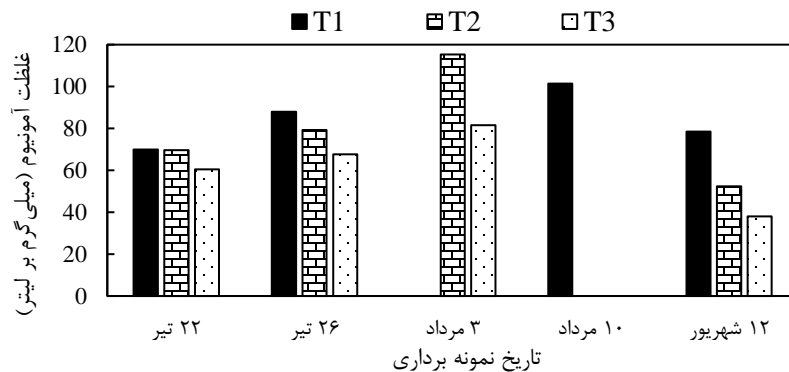
شکل ۷. روند تغییرات غلظت سدیم زه‌آب در تیمارهای مورد بررسی



شکل ۸. روند تغییرات کلسیم و منیزیم زه‌آب در تیمارهای مورد بررسی

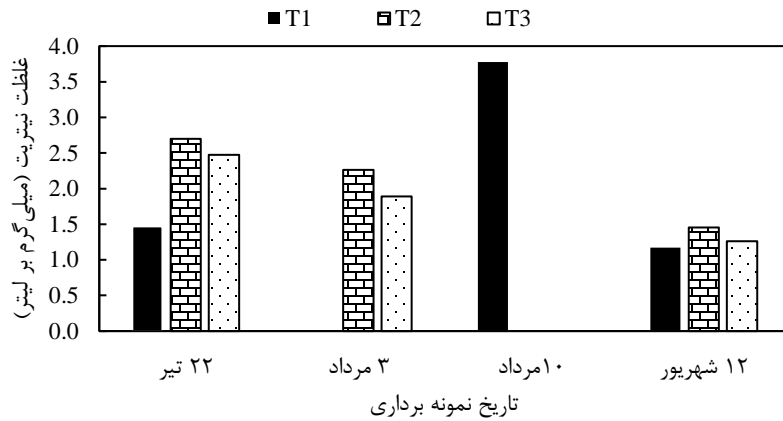
روند تغییرات غلظت آمونیوم در شکل (۹) نشان داده شده است. نتایج تجزیه آماری نشان از اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد در زمان و پنج درصد در اثر متقابل زمان و تیمارها داشت. بیش‌ترین مقدار آمونیوم در تاریخ ۳ مرداد در تیمار T₂ با مقدار ۱۱۵/۳۷ و کم‌ترین مقدار آن حدود ۳۸ میلی‌گرم بر لیتر در تاریخ ۱۲ شهریور در تیمار T₃ بود. نتایج نشان داد که روند تغییرات آمونیوم تا قبل از

زهکشی میان فصل، صعودی بود اما پس از زهکشی میان فصل، در تیمار T_1 ، ۲۳ درصد و در دو تیمار T_2 و T_3 به طور متوسط ۵۴ درصد کاهش نشان داد. بنابراین در دو تیمار T_2 و T_3 آمونیوم کمتری از خاک خارج شده است که می‌تواند احتمال کارایی مصرف نیتروژن را افزایش دهد. دلیل کاهش مقدار آمونیوم بعد از زهکشی میان فصل می‌تواند ایجاد شرایط هوازی و متعاقب آن افزایش نرخ نیترات‌زایی (تبدیل آمونیوم به نیتريت و سپس نیترات) باشد. همچنین آمونیوم به طور فعال توسط گیاه برنج جذب می‌شود. نسبت به ابتدای دوره رشد در زهکشی پایان فصل، مقدار آمونیوم در تیمارهای T_2 و T_3 به ترتیب ۲۴/۸ و ۳۷/۲ درصد کاهش و در تیمار T_1 ، ۳۷/۲ درصد افزایش نشان داد. بنابراین این نکته که ورود هوا به داخل خاک بعد از اعمال کود نیتروژن با شد، می‌تواند در روند نیترات‌زایی اثر بیش‌تری داشته باشد. میانگین میزان آمونیوم در کل دوره رشد در تیمار T_1 بیش‌ترین و در تیمار T_3 کم‌ترین بود. به دلیل بار مثبت آمونیوم و جذب آن به ذرات رس خاک، فرآیند انتقال آمونیوم به لایه‌های پایینی کند است و از این رو گذشت زمان و تبادل یونی می‌تواند عامل حضور آمونیوم در زه‌آب باشد. با توجه به اینکه در تیمار T_3 ابتدا زهکشی و سپس کوددهی انجام شد، فرصت کمتری نسبت به تیمار T_1 برای آبشویی آمونیوم ایجاد شد. از سوی دیگر افزایش ورود اکسیژن به دلیل مدت بیشتر زهکشی منجر به افزایش نیترات‌زایی شده است که تیمار T_3 را به عنوان گزینه مطلوب‌تری به لحاظ زیست‌محیطی و کارایی مصرف نیتروژن می‌تواند توصیه کرد.



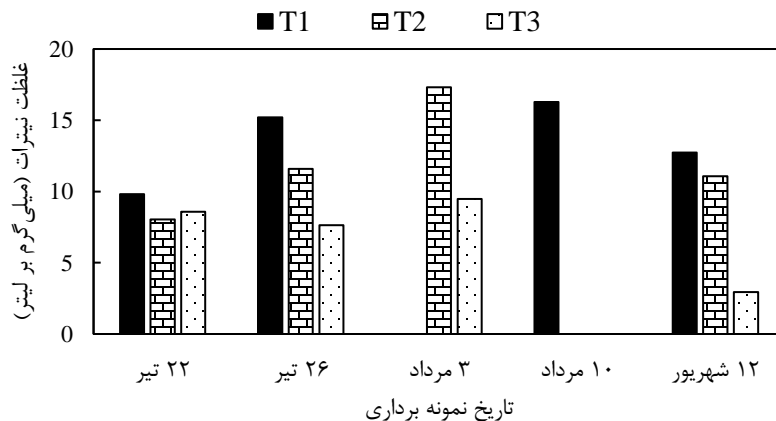
شکل ۹. روند تغییرات غلظت آمونیوم زه‌آب در تیمارهای مورد بررسی

تغییرات میانگین غلظت نیتريت در شکل (۱۰) نشان داده شده است. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار نیتريت در T_1 به ترتیب در تاریخ ۱۰ مرداد با مقدار ۳/۷۸ میلی‌گرم بر لیتر و تاریخ ۱۲ شهریور با مقدار حدود ۱/۱۷ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد. نتایج تجزیه آماری اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد در زمان و اثر متقابل زمان و تیمارها نشان داد. میانگین غلظت نیتريت در زهکشی پایان فصل در هر سه تیمار T_1 ، T_2 و T_3 نسبت به میان فصل به ترتیب ۶۵، ۳۶ و ۳۳ درصد و نسبت به ابتدای دوره رشد به ترتیب ۲۰، ۴۶ و ۴۹ درصد کاهش نشان داد. روند تغییرات تیمارها نسبت به زمان یک روند نزولی بود به طوری که در هر سه تیمار در زهکشی پایان فصل کم‌ترین میزان نیتريت مشاهده شد. تیمار T_1 در زمان زهکشی میان فصل از این روند پیروی نکرد و بیش‌ترین میزان نیتريت را در کل تیمارها داشت که این افزایش غلظت نشان از تاثیر کوددهی قبل از زهکشی و ورود اکسیژن به داخل خاک دارد.



شکل ۱۰. تغییرات غلظت نیتريت زه آب در تیمارهای مورد بررسی

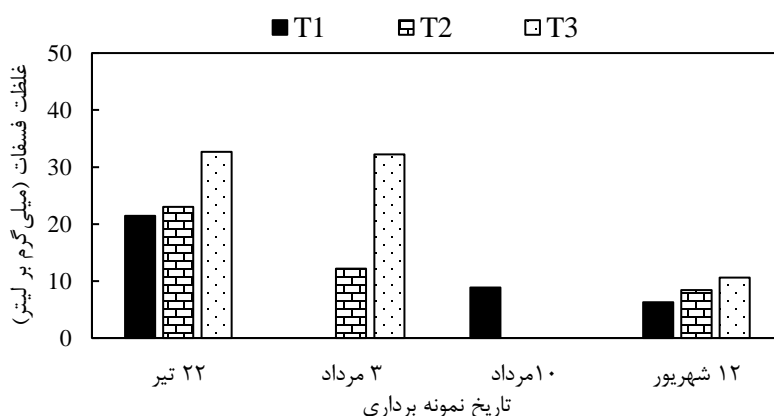
در شکل (۱۱) میانگین غلظت نیتريت زه آب نشان داده شده است. بیشترین میانگین غلظت نیتريت در زمان زهکشی میان فصل (۳ مرداد) به میزان ۱۷/۳۲ میلی گرم بر لیتر در T₂ و کمترین آن در انتهای دوره رشد (۱۲ شهریور) به میزان ۲/۹۴ میلی گرم بر لیتر در T₃ مشاهده شد. نتایج تجزیه آماری اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد در اثر متقابل زمان و تیمارها نشان داد. میانگین غلظت نیتريت در زهکشی پایان فصل در هر سه تیمار T₁، T₂ و T₃ نسبت به زهکشی میان فصل به ترتیب ۲۲، ۳۶ و ۶۹ درصد کمتر به دست آمد. بنابراین اعمال کود نیتروژن بعد از زهکشی میان فصل می تواند در کاهش نیتريت زه آب در پایان فصل موثر باشد. مقایسه تیمارهای T₂ و T₃ نشان می دهد که افزایش سه روز در طول مدت زهکشی می تواند باعث کاهش ۴۸ درصدی بیش تری در نیتريت زه آب شود. زارع ایبانه و همکاران (۱۳۹۰) یکی از دلایل روند کاهش غلظت نیتريت را به اشباع بودن خاک اراضی شالیزاری و وجود ریزجانداران بی هوازی که باعث تغییر فرم نیتريت به نیتروژن آزاد طی فرایند نیتريت زدایی می شوند، نسبت دادند. علاوه بر این به نظر می رسد که وجود اکسیژن در خاک قبل از اعمال کود، می تواند در تولید نیتريت در خاک و البته جذب آن توسط گیاه موثرتر باشد زیرا نیتريت صرفاً در حضور اکسیژن قابل جذب توسط گیاه برنج است.



شکل ۱۱. تغییرات غلظت نیتريت زه آب در تیمارهای مورد بررسی

میانگین غلظت فسفات در شکل (۱۲) نشان داده شده است. بیشترین میزان فسفات در ابتدای دوره رشد (۲۲ تیر) به میزان ۴۲/۰۶ میلی گرم بر لیتر در T₃ و کمترین آن در زهکشی پایان فصل به میزان ۶/۲۷ میلی گرم بر لیتر در T₁ مشاهده شد. نتایج تجزیه آماری اختلاف معنی دار در سطح یک درصد برای زمان و پنج درصد در اثر متقابل زمان و تیمارها نشان داد. میانگین غلظت فسفات

در زهکشی پایان فصل در هر سه تیمار T_1 ، T_2 و T_3 نسبت به میان فصل به ترتیب ۲۹، ۳۱ و ۶۷ درصد کاهش داشت. بنابراین کوددهی نیتروژن پس از زهکشی میان فصل در شرایطی که مدت زهکشی ده روز باشد، بیشترین تاثیر را بر کاهش فسفات زه آب را داشت. کاهش بیشتر فسفات در تیمار T_3 را می توان به ایجاد ترک های بیش تر در خاک نسبت داد به طوری که با عبور زه آب از منافذ درشت تر خاک، فسفات های متصل به ذرات رس خاک کمتر در معرض آبشویی قرار می گیرد. مطالعه درزی نفت چالی و همکاران (۱۳۹۱) نشان از کاهش میزان غلظت فسفات در زمان پایان فصل نسبت به میان فصل داشت که دلیل آن را به موجودیت کمتر فسفر در پایان فصل و افزایش غلظت فسفر زه آب در زهکشی میان فصل را به اثر بارندگی و ترک های ایجاد شده در خاک مرتبط دانستند.

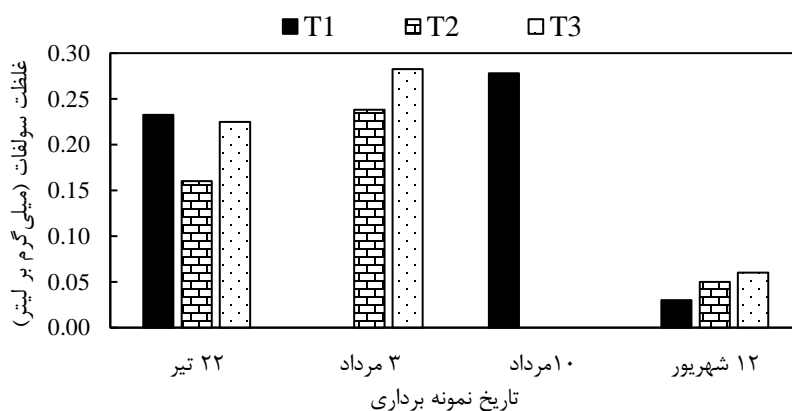


شکل ۱۲. تغییرات غلظت فسفات زه آب نسبت به تیمارهای مورد بررسی

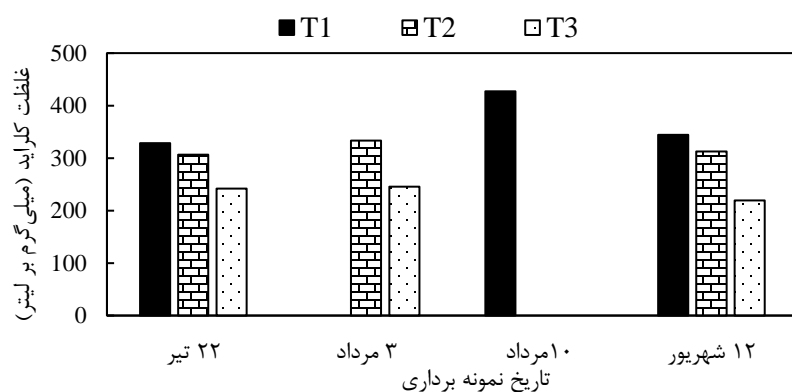
نتایج میانگین غلظت سولفات زه آب در شکل (۱۳) نشان داده شده است. همان طور که در شکل مشاهده می شود بیشترین میزان غلظت سولفات مربوط به زمان زهکشی میان فصل در دو تیمار T_1 و T_3 با مقدار $0/28$ میلی گرم بر لیتر در ۱۰ و ۳ مرداد و همچنین کمترین آن با مقدار $0/03$ میلی گرم بر لیتر مربوط به تیمار T_2 در زهکشی پایان فصل بود. نتایج تجزیه آماری نشان داد که فقط اثر زمان بر روی سولفات زه آب در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود. غلظت سولفات در زمان زهکشی میان فصل در تمام تیمارها بیشترین و در انتهای دوره رشد کمترین مقدار را داشت. بنابراین غلظت سولفات در زه آب صرف نظر از زمان کوددهی و زهکشی به مرحله رشد گیاه بستگی دارد. میانگین غلظت سولفات در زهکشی پایان فصل در هر سه تیمار T_1 ، T_2 و T_3 نسبت به زهکشی میان فصل به ترتیب ۸۸، ۷۹ و ۷۷ درصد کمتر به دست آمد. بنابراین اعمال کود نیتروژن و سپس زهکشی میان فصل در کاهش سولفات زه آب در زهکشی پایان فصل موثرتر از دو تیمار دیگر بود. نتایج مشاهدات جعفری تلوکلایی و همکاران (۱۳۹۳) نشان داد مقدار سولفات زه آب زهکش های مختلف در زمان زهکشی پایان فصل کمتر از مقادیر آن در زمان زهکشی میان فصل بود که دلیل آن را به مصرف کود اوره در ابتدای فصل کشت برنج که باعث حلالیت بیش تر سدیم و افزایش میزان سولفات زه آب در میان فصل شد، نسبت دادند.

در شکل (۱۴) میانگین غلظت کلراید نشان داده شده است. بیشترین میزان کلراید در زمان زهکشی میان فصل به میزان 427 میلی گرم بر لیتر در تیمار T_1 و کمترین آن در زهکشی پایان فصل به میزان $219/5$ میلی گرم بر لیتر در T_3 مشاهده شد. نتایج تجزیه آماری نشان داد که زمان و تیمارها تفاوت معنی داری بر غلظت کلراید در زه آب نداشتند. مقادیر غلظت کلراید در زهکشی پایان فصل در دو تیمار T_1 ، T_2 و T_3 به ترتیب ۵، ۲ و ۷ درصد افزایش نسبت به ابتدای دوره داشت. کلراید به دلیل بار منفی و حلالیت بالا، قابلیت آبشویی زیادی در خاک دارد. با توجه به نتایج اعمال کوددهی پس از زهکشی میان فصل و زهکشی به مدت بیشتر، پتانسیل بیشتری

برای خروج کلراید از خاک دارد هر چند تفاوت این تیمار با دو تیمار دیگر محسوس نبود. جعفری تلوکلایی و همکاران (۱۳۹۳) نیز افزایش غلظت کلراید زه‌آب در میان فصل را به وجود کلر و سولفات در داخل کود اوره پس از کوددهی نسبت دادند.



شکل ۱۳. تغییرات غلظت سولفات زه‌آب در تیمارهای مورد بررسی



شکل ۱۴. تغییرات غلظت کلراید زه‌آب در تیمارهای مورد بررسی

نتایج تجزیه وایانس عملکرد و برخی اجزاء عملکرد گیاه برنج در تیمارهای مورد بررسی در جدول (۴) و نتیجه مقایسه میانگین‌ها در جدول (۵) آمده است. مطابق با نتایج تفاوت عملکرد در ارتفاع بوته و وزن هزار دانه در سطح یک در صد و در صد باروری پنجه و شاخص برداشت در سطح اطمینان پنج در صد معنی‌دار بودند اما در خصوص طول خوشه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که به غیر از شاخص ارتفاع بوته، بهترین عملکرد در تیمار T₂ (زهکشی به مدت ۷ روز و سپس اعمال کود اوره در مرحله پنجه‌زنی) به دست آمد. تقی‌زاده و همکاران (۱۳۸۷) نشان دادند که در دور آبیاری ۵ و ۱۰ روز، بیشترین عملکرد بیولوژیک برنج رقم هاشمی در میزان مصرف کود ۶۰ کیلوگرم بر هکتار در مقایسه با صفر و ۹۰ کیلوگرم بر هکتار بود. همچنین آن‌ها گزارش کردند که بیشترین پنجه بارور در دوره تناوب ۵ روز با مصرف کود نیتروژن ۶۰ کیلوگرم بر هکتار و بالاترین کارایی مصرف نیتروژن به ترتیب در دوره‌های تناوب آبیاری ۱۰، ۱۵ و ۵ روز در تیمار کودی ۶۰ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. بنابراین مانند نتایج پژوهش حاضر، مدت زمان هوازی شدن پروفیل خاک می‌تواند بر مصرف نیتروژن و اثرگذاری آن بر رشد گیاه موثر باشد. بیشتر بودن ارتفاع بوته برنج در تیمار T₃ (زهکشی به مدت ۱۰ روز و سپس اعمال کود اوره) می‌تواند ناشی از کارایی بیشتر مصرف نیتروژن و تاثیر آن بر روند رویشی گیاه باشد زیرا در این تیمار مطابق با شکل‌های (۹) و (۱۱) کمترین مقادیر آمونیوم و نترات در زه‌آب پایان فصل مشاهده شد.

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس عملکرد و اجزاء عملکرد تیمارهای مورد بررسی

منابع تغییرات (S.O.V.)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)				
		ارتفاع بوته	طول خوشه	درصد باروری پنجه	وزن هزار دانه	عملکرد دانه
تکرار	۲	ns ^۱ /۹۴	ns ^۲ /۹۸	ns ^۳ ۴۶/۳۲	ns ^۴ ۱/۶۳	ns ^۵ ۱۱۶۸۴/۴۳
تیمار (T)	۳	**۲۹/۴۶	ns ^۲ ۳۶/۱۷	**۱۵۱/۳۴	**۸/۷۸	۱۵۳۳۳۶۰/۲۱*
خطا	۶	۰/۹۸	۳۹/۳۰	۲۸/۸۰	۱/۰۷	۱۱۷۳۰/۲۳
ضریب تغییرات (CV%)	-	۲/۶۲	۲۳/۰۸	۱۳/۱۸	۱۵/۱۷	۲۹/۷۲

** و * معنی دار به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد و ns معنی دار نیست.

جدول ۵. مقایسه میانگین عملکرد و اجزاء عملکرد محصول برنج در تیمارهای مورد بررسی

تیمار	ارتفاع بوته (سانتی متر)	طول خوشه (سانتی متر)	درصد باروری پنجه	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)	شاخص برداشت (درصد)
T ₀	۱۱۳/۰c	۲۵/۷a	۵۵/۵b	۱۰/۵b	۲۳۵۲/۶b	۲۶/۴c
T ₁	۱۱۰/۵d	۲۴/۱a	۶۶/۷a	۱۰/۶b	۱۲۵۸/۱c	۲۴/۲d
T ₂	۱۱۵/۵b	۳۱/۱a	۶۹/۵a	۱۴/۳a	۲۹۹۵/۴a	۴۳/۱a
T ₃	۱۱۷/۷a	۲۶/۳a	۷۲/۲a	۱۳/۱ab	۲۳۱۲/۶b	۳۷/۴b

نتیجه گیری

پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر زمان اعمال کود و زهکشی بر کیفیت زه آب اراضی شالیزار در مقیاس لایسمتری انجام شد. مقایسه اسیدپته زه آب قبل از زهکشی میان و پایان فصل نشان داد که زمان اعمال کود و زهکشی بر میزان اسیدپته زه آب تاثیر دارد به طوری که تیمار T₂ دارای رفتار متفاوت از T₁ و T₃ بود. میانگین هدایت الکتریکی در دوره ر شد در تیمار T₂ و T₃ به ترتیب ۴۶ و ۷۳ درصد نسبت به T₁ کاهش نشان داد. بنابراین اعمال کود نیتروژن و سپس زهکشی، باعث افزایش هدایت الکتریکی زه آب نسبت به اعمال زهکشی و سپس کوددهی شد. در تیمار T₃ که مدت زهکشی بیش تر از دو تیمار دیگر بود، از میزان جامدات معلق در زه آب کمتر از دو تیمار دیگر کاسته شد. اعمال کود نیتروژن قبل از زهکشی منجر به کاهش SAR در زه آب میان و پایان فصل و اعمال آن پس از زهکشی میان فصل همراه با افزایش SAR زه آب است. تیمارهای اعمال شده بر روی غلظت سدیم نسبت به مجموع کلسیم و منیزیم اثرگذارتر بودند و اعمال کود و سپس زهکشی میان فصل باعث افزایش سدیم زه آب و در نتیجه افزایش میزان SAR شد. نتایج نشان داد در دو تیمار T₂ و T₃ آمونیوم و نترات کمتری از خاک خارج شد، پس اعمال زهکشی و سپس کوددهی گزینه مطلوب تری به لحاظ زیست محیطی و کارایی م صرف نیتروژن بود. میانگین غلظت نیتريت، نترات، فسفات و سولفات در زهکشی پایان فصل

نسبت به میان فصل کاهش نشان داد که دلیل کاهش نیترات اعمال کود نیتروژن پس از زهکشی میان فصل بود که منجر به کاهش غلظت نیترات در پایان فصل شد. در تیمار T₃ کوددهی نیتروژن پس از زهکشی میان فصل، بیشترین تاثیر را بر کاهش فسفات زه آب داشت. غلظت سولفات در زمان زهکشی میان فصل در تمام تیمارها بیشترین مقدار و در انتهای دوره رشد به کمترین مقدار رسید. استفاده از کود نیتروژن و پس از آن انجام زهکشی میان فصل می تواند در بهبود کیفیت زه آب و کاهش سولفات در زمان زهکشی پایان فصل موثرتر از تیمارهای دیگر باشد. اعمال کود پس از زهکشی میان فصل در تیمار T₃ موجب ایجاد پتانسیل بیشتری برای خروج کلراید از خاک شد هر چند تفاوت این تیمار با دو تیمار دیگر محسوس نبود. نتایج تجزیه آماری نشان داد که زمان و تیمارها بر مقدار SAR و کلراید تفاوت معنی دار نداشتند. نتایج نشان داد تیمار T₃ (اعمال کود نیتروژن پس از زهکشی میان فصل) منجر به کاهش مقادیر هدایت الکتریکی، کل جامدات معلق، غلظت آمونیوم، نیتريت، نیترات، فسفات و کلراید زه آب و کاهش تبعات منفی محیط زیستی شد. با توجه به نتایج این پژوهش اعمال زهکشی میان فصل با تداوم ۱۰ روز و سپس کوددهی نیتروژن توصیه می شود. آنچه مسلم است تصمیم نهایی برای انتخاب گزینه بهتر به میزان حجم آب مصرفی برای اشباع نمودن خاک پس از زهکشی نیز بستگی دارد. از این رو مطالعات بیشتری می بایست بر روی تداوم زهکشی و اثر آن بر کیفیت زه آب و بهره وری آب آبیاری انجام شود. بررسی عملکرد و اجزاء عملکرد نشان داد که تیمار T₂ گزینه بهتری است. از این رو در تصمیم نهایی می بایست خصوصیات شیمیایی اولیه خاک، مقدار کود نیتروژن و میزان محصول مورد هدف، مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان بر روی مدت زمان بهینه زهکشی میان فصل اعلام نظر نمود.

منابع

- جعفری تلوکلایی، مهدی؛ شاه نظری، علی؛ ضیایبار احمدی، میرخالق، و درزی نفت چالی، عبدالله. (۱۳۹۳). بررسی کیفیت زه آب زهکش های زیرزمینی اراضی شالیزاری بر اساس پارامترهای طراحی. علوم مهندسی و آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، ۳۷(۴)، ۱۱۹-۱۰۹.
- چاکانی، پروین؛ پیرمردیان، نادر؛ یزدانی، محمدرضا و نوایان، مریم. (۱۳۹۴). ارزیابی عملکرد پوشش های مرکب آلی و معدنی دور زهکش در شرایط مشابه اراضی شالیزاری. تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)، ۴۶(۴)، ۷۱۴-۷۰۷.
- حسین زاده، محمد؛ نوایان، مریم و پیرمردیان، نادر. (۱۳۹۴). اثر متقابل تداوم زهکشی و فاصله زهکش های زیرزمینی در زهکشی میان فصل بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم هاشمی. تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)، ۴۶(۳)، ۵۰۸-۴۹۹.
- درزی نفت چالی، عبدالله؛ میرلطیفی، سیدمجید؛ شاه نظری، علی، اجلالی، فرید و مهدیان، محمدحسین. (۱۳۹۱). تاثیر زهکشی سطحی و زیرزمینی بر تلفات فسفر از اراضی شالیزاری در فصل کشت برنج. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۶(۳)، ۲۲۵-۲۱۵.
- زارع ایبانه، حمید؛ نوری، حدیثه؛ لیاقت، عبدالمجید؛ کریمی، ولی الله و نوری، حمیده. (۱۳۹۰). واسنجی آب شویی نیترات و نوسانات سطح ایستابی در زمین های شالیزاری با استفاده از نرم افزار DRAINMOD-N. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱۵(۵۷)، ۶۰-۴۹.
- شهدی کومله، عباس؛ خانکشی پور، غلامرضا؛ کاوسی، مسعود؛ رضوی پور، تیمور؛ فتحی دخت، حامد؛ علی اسماعیلی، سیاوش و منشی زاده، عزیزالله. (۱۳۹۱). عناصر غذایی خاک و تغذیه گیاه برنج. موسسه تحقیقات برنج کشور. چاپ اول. ۹۶ صفحه.
- صادقی لاری، عدنان؛ معاضد، هادی؛ ناصری، عبدعلی، لیاقت، عبدالمجید و جعفری، سیروس. (۱۳۹۲). کاهش جریان و تلفات نیترات با زهکشی کنترل شده در نواحی خشک و نیمه خشک ایران. علوم مهندسی و آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، ۳۶(۳)، ۱۱۸-۱۰۹.
- صدیق، پریا و افروس، علی. (۱۳۹۹). مطالعه لایسیمتری تاثیر مدیریت سطح ایستابی بر آبشویی نیترات، فسفات و شوری در زه آب در دزفول. تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)، ۵۱(۴)، ۱۰۰۱-۹۸۷.

محمدپور، فاطمه و نوایان، مریم. (۱۳۹۸). اثر زهکشی زیرزمینی ترانشه‌دار بر کیفیت زه‌آب و انتقال املاح در خاک در زهکشی میان و پایان فصل برنج. *مجله آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۳(۴)، ۹۸۶-۹۷۳.

معماری، ناستیا؛ نوایان، مریم؛ پیرمردیان، نادر و اصفهانی، مسعود. (۱۳۹۷). ارزیابی عملکرد زهکش زیرزمینی بر رشد گیاه لوبیا محلی در اراضی شالیزاری با استفاده از مدل فیزیکی. *تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)*، ۴۹(۶)، ۱۲۵۵-۱۲۴۳.

مودنی، سیدمحمد رسول؛ نوایان، مریم و اسمعیلی ورکی، مهدی. (۱۳۹۵). ارزیابی عملکرد زهکش زیرزمینی در مقیاس مدل فیزیکی کشت دوم در اراضی شالیزاری (مطالعه موردی: گیاه تربیتکاله). *تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)*، ۴۷(۲)، ۳۹۷-۴۰۵.

نا صرزاده، محمدحسین؛ علیجانی، بهلول و پایداری، مریم. (۱۳۹۹). تاثیر تغییر اقلیم بر وضعیت عملکرد برنج در شهر ستان رشت. *علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)*، ۲۴(۲)، ۵۴-۴۱.

نوایان، مریم؛ جلیل‌نژاد ماسوله، نرگس؛ اسمعیلی ورکی، مهدی و بیگلویی، محمدحسن. (۱۳۹۵). شبیه‌سازی چرخه نیتروژن در مدیریت‌های مختلف مدت زمان اعمال کود اراضی شالیزاری با استفاده از HYDRUS-1D. *مجله آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۰(۶)، ۷۳۱-۷۲۳.

REFERENCES

Baird, R., Rice, E., & Eaton, A. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewaters. Water Environment Federation, Chair Eugene W. Rice, American Public Health Association Andrew D. Eaton, American Water Works Association.

Chakani, P., Pirmoradian, N., Yazdani, M. R., & Navvabian, M. (2015). Interaction of Duration and Underground Drainage Distance in Mid-season Drainage on Yield and Yield Components of Rice, Hashemi Cultivar. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 46(4), 707-714. (In Persian)

Darzi-Naftchali, A., Mirlatif, S.M., Shahnazari, A., Ejlali, F., & Mahdian, M. H. (2012). Influence of surface and subsurface drainage on phosphorus losses from paddy fields in rice season. *Iranian Journal of irrigation and drainage*, 6(3), 215-225. (In Persian)

Darzi-Naftchali, A., Ritzema, H., Karandish, F., Mokhtassi-Bidgoli, A., & Ghasemi-Nasr, M. (2017). Alternate wetting and drying for different subsurface drainage systems to improve paddy yield and water productivity in Iran. *Agricultural Water Management*, 193, 221-231.

Darzi-Naftchali, A., & Shahnazari, A. (2014). Influence of subsurface drainage on the productivity of poorly drained paddy fields. *European Journal of Agronomy*, 56, 1-8.

Defra (2022), Water targets Detailed Evidence report, Available at: Department for Environment, Food and Rural Affairs.

Ding, C., Du, S., Ma, Y., Li, X., Zhang, T., & Wang, X. (2019). Changes in the pH of paddy soils after flooding and drainage: modeling and validation. *Geoderma*, 337, 511-513.

Eastman, M., Gollamudi, A., Stämpfli, N., Madramootoo, C. A., & Sarangi, A. (2010). Comparative evaluation of phosphorus losses from subsurface and naturally drained agricultural fields in the Pike River watershed of Quebec, Canada. *Agricultural Water Management*, 97(5), 596-604.

Gu, J., & Yang, J. (2022). Nitrogen (N) transformation in paddy rice field: Its effect on N uptake and relation to improved N management. *Crop and Environment*, 1(1), 7-14

Helmets, M., Christianson, R., Breneman, G., Lockett, D., & Pederson, C. (2012). Water table, drainage, and yield response to drainage water management in southeast Iowa. *Journal of soil and Water Conservation*, 67(6), 495-501.

Hosainzadeh, M., Navvabian, M., & Pirmoradian, N. (2015). Performance Evaluation of Organic and Mineral Development of Drainage Pipes, In Circumstances Similar to Those of Paddy Fields. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 46(3), 499-508. (In Persian)

Hua, L., Zhai, L., Liu, J., Guo, S., Li, W., Zhang, F., & Liu, H. (2019). Characteristics of nitrogen losses from a paddy irrigation-drainage unit system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 285, 106629.

- Jafari Talukolaee, M., Shahnazari, A., Ziatabar Ahmadi, M. K., & Darzi Naftchali, A. (2015). Investigation of Subsurface Drainage Water Quality in Paddy Fields Based on the Design Parameters. *Irrigation Sciences and Engineering*, 37(4), 109-119. (In Persian)
- Kai, T., Kumano, M., & Tamaki, M. (2020). A study on rice growth and soil environments in paddy fields using different organic and chemical fertilizers. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, 9(4), 331-342.
- Li, C. (2007). Quantifying greenhouse gas emissions from soils: Scientific basis and modeling approach. *Soil Science and Plant Nutrition*, 53(4), 344-352.
- Liu, Q., Xu, H., & Yi, H. (2021). Impact of fertilizer on crop yield and C: N: P stoichiometry in arid and semi-arid soil. *International journal of environmental research and public health*, 18(8), 4341.
- Lu, J., Hu, T., Zhang, B., Wang, L., Yang, S., Fan, J., & Zhang, F. (2021). Nitrogen fertilizer management effects on soil nitrate leaching, grain yield and economic benefit of summer maize in Northwest China. *Agricultural Water Management*, 247, 106739.
- Memari, N., Navabian, M., Pirmoradian, N., & Esfahani, M. (2019). Evaluation of qualitative and technical performance of subsurface drainage in phaseolus vulgaris l. as a second crop of paddy fields (physical model scale). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(6), 1243-1255. (In Persian)
- Moazeni, S. M. R. Navabian, M. & Esmaeili Varaki, M. (2016). Evaluate of subsurface drainage performance at second crop of paddy field (Case study: Triticale in physical model scale). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 47(2), 397-405. (In Persian)
- Mohamadpour, F., & Navabian, M. (2019). The effect of trenched subsurface drainage on the drain water quality and solute transport in Soil in mid and end season drainage of rice. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 13(4), 973-986. (In Persian)
- Navabian, M., Jalilnejad Masoleh, N., Esmaeili Varaki, M., & Biglouei, M. H. (2017). Simulation of Nitrogen Cycle under Different Management of Remaining Duration of Fertilizer in Paddy Fields Using HYDRUS_1D. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 10(6), 723-731. (In Persian)
- Nasserzadeh, M. H., Alijani, B., & Paydari, M. (2020). The Effect of Climate Change on the Yield of Rice in the Rasht County. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 24(2), 41-54. (In Persian)
- Rahman, S. M., Kakuda, K. I., SaSaki, Y., & ANDo, H. (2013). Effect of mid-drainage on root physiological activities, N uptake and yield of rice in North East Japan. *Bull. Yamagata Univ. Agric. Sci*, 16(4), 197-206.
- SadeghiLari, A., Moazed, H., Naseri, A. A., Liaghat, A. M., & Jafari, S. (2013). Flow and Nitrate Losses Reduction using Controlled Drainage in the Arid and Semi-Arid Areas of Iran. *Irrigation Sciences and Engineering*, 36(3), 109-118. (In Persian)
- Sedigh, P., & Afrous, A. (2020). Lysimeter Study of Water Table Management Impact on Nitrates and Phosphates Leaching and Drainage Water Salinity in Dezful. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(4), 987-1001. (In Persian)
- Shahdi Komleh, A., Khankshipour, G., Kaousi, M., Razavipour, T., Fathi Dokht, H., Ali Esmaili, S., & Manshizadeh, A. (2011). Soil nutrients and rice plant nutrition. National Rice Research Institute. First Edition. 96 pages. (In Persian)
- Taghizadeh, M., Esfahani, M., Davatgar, N., & Madani, H. (2008). Effect of irrigation management and nitrogen fertilizer on yield and yield components of rice. *New Finding in Agriculture*, 2 (8): 353-364.
- Yu, Y., Xu, J., Zhang, P., Meng, Y., & Xiong, Y. (2021). Controlled irrigation and drainage reduce rainfall runoff and nitrogen loss in paddy fields. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7), 3348.
- Zare-Abyaneh, H., Noori, H., Liaghat, A. M., Karimi, V., & Noory, H. (2011). Calibration of Nitrate Leaching and Water Table Fluctuation in Paddy Rice Field by DRAINMOD-N Software. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 15(57), 49-60. (In Persian)

The effect of simultaneous management of nitrogen fertilizer and subsurface drainage of rice cultivation on drainage water quality

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

One of the most important food products of Iran is rice. One strategy for water management during the rice growing season is mid-season drainage, which may be facilitated by subsurface drainage. Also, at the time of harvest, the water in the soil profile should be drained and subsurface drainage has a better performance than surface drainage in this regard. Mid-season and end-season drainage provides conditions for crop growth and affecting the qualitative and quantitative performance of rice and the possibility of mechanized harvesting, and as a result, removing toxic substances, provides the development of rice cultivation. The use of nitrogen fertilizer is one of the most important factors in rice production and plays a key role in its performance. Excessive nitrogen application poses a high risk of nitrate leaching below the root zone and environmental consequences, so nitrogen fertilizer management is important. Therefore, the aim of this research is the mutual effect of drainage and fertilization in the mid-season drainage of rice cultivation and its effect on drainage water.

Materials and Methods

To determine the simultaneous optimal management of nitrogen fertilizer and the time and duration of Mid and end season drainage, a study was conducted at the Faculty of Agriculture of Gilan University located in Rasht city. 9 lysimeters with a diameter and height of 25 and 50 cm, respectively, made of PVC were used for rice cultivation and experiments. To control the drain outlet, a valve was installed at the outlet of the lysimeter, and the lysimeters were aligned in an open but sheltered space to prevent the effect of possible rain on the drainage process. The lysimeters were filled with the soil of paddy fields with loamy texture. This experiment was conducted in three treatments: 1- application of N fertilizer and then drainage 7 days later for 7 days (T₁), 2- drainage for 7 days and then application of N fertilizer (T₂) and 3- drainage for 10 days and then application of N fertilizer (T₃) was done. Mid and end season drainage were carried out at the tillering stage and crop harvesting, respectively, and other times, flood irrigation method to a depth of 5cm was implemented. The parameters of drainage water including acidity (pH), electrical conductivity (EC), total suspended solids (TSS), sodium adsorption ratio (SAR) and the concentration of nitrate (NO₃⁻), nitrite (NO₂⁻), ammonium (NH₄⁺), phosphate (PO₄³⁻), sulfate (SO₄²⁻) and chloride (Cl⁻) were measured. Finally, the results obtained from the study were statistically analyzed using SAS software and repeated measure experimental design.

Results and Discussion

The comparison of pH before mid and end season drainage showed that T₂ had a different behavior than T₁ and T₃. The average electrical conductivity during the growth period in T₂ and T₃ decreased by 46 and 73%, respectively, compared to T₁. The trend of ammonium changes was upward before MSD, but after MSD, it decreased by 23% in T₁ and 54% on average in T₂ and T₃. The average concentration of nitrate in end season in T₁, T₂, and T₃ was 22, 36, and 69% lower, respectively, and phosphate was 29, 31, and 67% lower than in MSD. The results of statistical analysis showed that the effect of time and treatments on SAR and Cl⁻ was not significant. From the environmental point of view, applying fertilizer after drainage for 10 days is a more appropriate option than the other two treatments. Statistical analysis on yield and component yield show, T₂ is better option.

Conclusion

The results showed that T₃ treatment led to a decrease in electrical conductivity, total suspended solids, concentration of ammonium, nitrite, nitrate, phosphate and chloride in the drain water and a decrease in negative environmental consequences. According to the results of this research, mid-season drainage for 10 days and then nitrogen fertilization is recommended. Also, T₂ product more yield than other treatments. The final decision to choose a better option also depends on the amount of water used to

saturate the soil after drainage and yield. Therefore, more studies should be done on the continuity of drainage and its effect on the quality of drainage water and the productivity of irrigation water.

Keywords: Drainage water quality, End-season drainage, Mid-season drainage, Pollution of water sources

فیلد استناری نتشده