



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

Rana Asadi Nodehi<sup>1</sup> | Maryam Navabian<sup>2</sup>

1. Department of water engineering, Faculty of Agriculture Science, University of Guilan, Rasht, Iran. Email:

[maasdy823@gmail.com](mailto:maasdy823@gmail.com)

2. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture Science, University of Guilan, Department of Water Engineering and Environment, Caspian Sea Basin Research Center, University of Guilan, Rasht, Iran, Email: [Navabian@guilan.ac.ir](mailto:Navabian@guilan.ac.ir)

---

---

## Article Info

## ABSTRACT

**Article type:** Research Article

**Article history:**

**Received:** Jan. 18, 2024

**Revised:** March. 30, 2024

**Accepted:** Apr. 17, 2024

**Published online:** July. 2024

**Keywords:**

Drainage Water Quality,  
End-Season Drainage,  
Mid-Season Drainage,  
Pollution of Water Sources.

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 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 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 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in the end season in T1, T2, and T3 was 22, 36, and 69% lower, respectively, and PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> was 29, 31, and 67% lower than in MSD. The statistical analysis showed that the effect of time and treatments on SAR, and Cl<sup>-</sup> 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.

---

Cite this article: Asadi Nodehi, R., & Navabian, M. (2024). The effect of simultaneous management of nitrogen fertilizer and subsurface drainage of rice cultivation on drainage water quality, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55(5), 679-695. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.371299.669649>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.371299.669649>



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

رعنا اسدی نودهی<sup>۱</sup> | مریم نوابیان<sup>۲</sup><sup>۱</sup>. گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. رایانامه: [rnaasdy823@gmail.com](mailto:rnaasdy823@gmail.com)<sup>۲</sup>. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، و عضو وابسته پژوهشی گروه مهندسی آب و محیط‌زیستپژوهشکده حوضه آبی دریای خزر، دانشگاه گیلان، رشت، ایران رایانامه: [Navabian@guilan.ac.ir](mailto:Navabian@guilan.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	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 تأثیر مستقیم بر اسیدیته زه‌آب دارد. میانگین هدایت‌الکتریکی 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 به‌طور متوسط ۵۴ درصد کاهش نشان داد. میانگین غلظت نیترات در زهکشی پایان فصل در T1، T2 و T3 نسبت به میانفصل 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.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۰	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۱۰	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱/۱۵	
تاریخ انتشار: مرداد ۱۴۰۳	
واژه‌های کلیدی: آلودگی منابع آب، زهکشی پایان فصل، زهکشی میان فصل، کیفیت زه‌آب.	

استناد: اسدی نودهی، رعنا و نوابیان، مریم (۱۴۰۳). اثر مدیریت هم‌زمان کود نیتروژن و زمان و مدت زهکشی میان فصل بر کشت برنج و کیفیت زه‌آب، *مجله تحقیقات آب*و خاک ایران، ۵۵ (۵)، ۶۷۹-۶۹۵. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.371299.669649>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.371299.669649>

## 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 نشاء کاری 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 میان‌فصل است که ممکن است با زهکشی زیرزمینی آسان‌تر شود (Darzi-Naftchali et al., 2014). همچنین در زمان برداشت محصول (زهکشی پایان‌فصل)، می‌بایست آب پروفیل خاک با سرعت مناسب تخلیه شود که زهکشی زیرزمینی نسبت به زهکشی سطحی عملکرد بهتری در این خصوص دارد. زهکشی میان‌فصل در مرحله پنجه‌زنی با مدیریت سطح آب در اراضی شالیزاری و ایجاد شرایط هوازی 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 پایان‌فصل 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 پیامدهای 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 مصرفی آب و مواد مغذی است. به دلیل محدودیت منابع آب، روش‌هایی مانند کنترل سطح ایستابی، زهکشی میان‌فصل و خشک و مرطوب کردن متناوب (AWD) برای افزایش بهره‌وری مصرفی 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 آبشویی نیترات در زیر ناحیه ریشه و پیامدهای محیط‌زیستی می‌شود، از این‌رو 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 زهکش‌های زیرزمینی و تداوم زهکشی، اعمال زهکشی میان‌فصل 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 پایان‌فصل 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 پایان‌فصل نسبت به میان‌فصل به ترتیب ۳۹ و ۱۲ درصد کاهش داشت. موذنی و همکاران (۱۳۹۵)، به بررسی اثر عمق زهکش زیرزمینی در یک مدل فیزیکی کشت گیاه تربیتیکاله تحت شرایط مشابه با اراضی شالیزاری در اعماق ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر برای کنترل سطح ایستابی و کیفیت زه‌آب خروجی در خاک با بافت لوم‌سیلتی 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 تلوکلائی 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 ۹/۰ و ۶۵/۰ 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 بیش‌تر 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 زه آب تیمارهای مختلف در فصل کشت کلزا کم تر از مقدار کلر و سولفات زه آب در زمان های 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. صادقی لاری و همکاران (SadeghiLari et al., 2013)، با پژوهشی بر اثر زهکشی کنترل شده بر کل تلفات نیتروژن نیتراتی در جریان خروجی از زهکش ها در تیمارهای زهکشی کنترل شده در اعماق ۷۰ و ۹۰ سانتی متری نشان دادند که تلفات به ترتیب به میزان ۵۸/۴۳ و ۴۷/۲۵ درصد نسبت به زهکشی آزاد کم تر شد. ایستمن و همکاران (Eastman et al., 2010)، مطالعه ای 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 خاک های لومشنی اثر مفید قابل توجهی در کاهش رواناب سطحی و تلفات فسفر کل از مزرعه داشت، اما بر عکس این موضوع در خاک های لومرسی مشاهده شد. درزی و همکاران (۱۳۹۱)، پژوهشی با هدف تاثیر زهکشی میان و پایان فصل بر روی سامانه های 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 اندازه گیری شده مربوط به رواناب سطحی بود، در نتیجه سامانه های زهکشی زیرزمینی در مقایسه با زهکشی سطحی، اثرات محیط زیستی 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 زه آب و عصاره خاک نمونه برداری شد و نتایج نشان داد که هدایت الکتریکی زه آب خروجی در انتهای آزمایش نسبت به ابتدا حدود ۶۰ درصد کاهش داشت. همچنین مقادیر نسبت جذب سدیم (SAR) و اسیدیته در خاک و زه آب افزایش داشتند که نشان داد مقدار و توالی بارندگی بر حجم زه آب خروجی اثر گذار 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 گوجه فرنگی انجام دادند. نتایج نشان داد مقدار درصد جرم نمک خروجی در زه آب زهکشی آزاد و زهکشی کنترل شده به ترتیب ۶۵ و ۴۵ درصد بود. درصد جرمی نیترات و فسفات در زه آب تیمار زهکشی آزاد به ترتیب با مقدار ۲۰/۹ و ۸/۱ درصد بزرگ تر از مقادیر آن در تیمار زهکشی کنترل شده با مقادیر ۱۳/۷ و ۵/۷ درصد به دست آمد. همچنین مقادیر هدایت الکتریکی زه آب در تیمار زهکشی کنترل شده کمتر از تیمار زهکشی آزاد گزارش شد. یو و همکاران (Yu et al., 2021) در مطالعه ای 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.

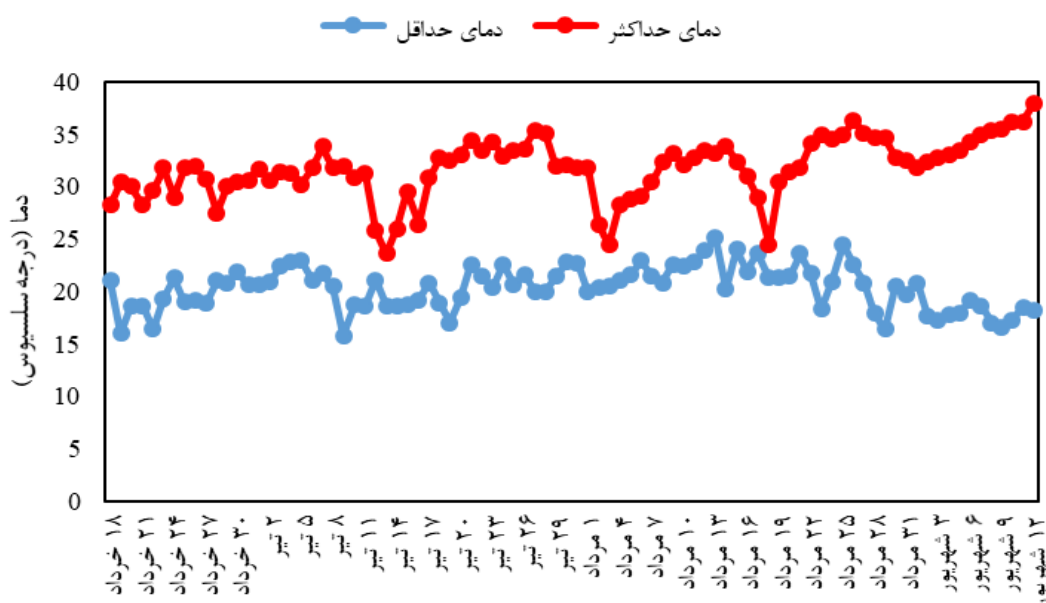
سامانه های زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری ایران سابقه زیادی ندارند و با توجه به توصیه های تحقیقاتی مبنی بر استفاده کود نیتروژن و اعمال زهکشی میان فصل در مرحله پنجه زنی رشد گیاه برنج و اثر متقابل زهکشی و نحوه کاربرد کود بر کارایی مصرف کود و آلودگی محیط زیست، هدف از انجام این پژوهش بررسی آثار متقابل زهکشی و کوددهی در کشت برنج و تعیین مدیریت بهینه هم زمان کود نیتروژن و زمان و مدت زهکشی میان فصل برنج و تاثیر آن روی زه آب خروجی در نظر گرفته شد.

## مواد و روش ها

برای تعیین مدیریت بهینه هم زمان کود نیتروژن و زمان و مدت زهکشی میان و پایان فصل برنج مطالعه ای در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ 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 داده های ایستگاه هواشناسی کشاورزی رشت در طول دوره پژوهش در شکل (۱) نشان داده شده است. ۹ لایسیمتر به قطر و ارتفاع به ترتیب ۲۵ و ۵۰ سانتی متر 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 سانتی متر 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 میلی متری با جرم مخصوص ظاهری ۱/۳۵ گرم بر سانتی متر مکعب پر شدند. مشابه

اراضی شالیزاری سعی شد تا لایه سخت (Hardpan) با استفاده از خاک عبوری از الک دو میلی متری با تراکم ۱/۶۵ گرم بر سانتی متر مکعب در عمق ۳۰ سانتی متری از سطح خاک ایجاد شود. برای آماده سازی شرایط کشت برنج و ایجاد شرایط اشباع، 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 سانتی متر 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 تقسیم به صورت یک سوم قبل از نشاء کاری و دو سوم در مرحله پنجه زنی 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 می دهد. خصوصیات آب 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 پنجه زنی) و اعمال زهکشی میان فصل ۷ روز بعد از کوددهی به مدت ۷ روز ( $T_1$ )، ۲- اعمال دو مرحله کود نیتروژن (ابتدای فصل کشت و یک روز بعد از زهکشی میان فصل) و اعمال زهکشی میان فصل اوایل پنجه زنی به مدت ۷ روز ( $T_2$ ) و ۳- اعمال دو مرحله کود نیتروژن (ابتدای فصل کشت و یک روز بعد از زهکشی میان فصل) و اعمال زهکشی میان فصل اوایل پنجه زنی به مدت ۱۰ روز ( $T_3$ ) در سه تکرار تعریف شد. تیمار شاهد شامل کوددهی هم زمان با تیمار  $T_1$  و بدون زهکشی میان فصل در سه تکرار بود ( $T_0$ ) 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 هم زمان در همه تیمارها اجرا شد. پارامترهای کیفیت زه آب زهکشی میان فصل (۳ و ۱۰ مرداد) و سه مرحله نمونه برداری از زه آب خروجی از عمق توسعه ریشه (۲۲ و ۲۶ تیر و ۱۲ شهریور) شامل اسیدیته، 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 زه آب خروجی از عمق توسعه ریشه (۲۲ تیر و ۱۲ شهریور) مطابق با استاندارد اندازه گیری شدند (Baird et al., 2017). پارامترهای فوق به ترتیب توسط pH متر، EC سنج، تیتراسیون، اسپکتروفتومتری، فلیم فوتومتر 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 اندازه گیری شدند. در نهایت نتایج کیفی زه آب به دست آمده از مطالعه با استفاده از نرم افزار SAS و طرح آزمایشی Repeated measure (به دلیل بررسی 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	آمونوم	نیترات	نیتريت	فسفات	کلسیم	منیزیم	سدیم
-	(mg/l)	(dS/m)	(meq/L <sup>0.5</sup> )	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(meq/lit)	(meq/lit)	(meq/lit)
۷/۶۸	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 <sup>3</sup> )
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 تاییدی بر تغییرات زیاد آن‌ها نسبت به زمان و تاثیرپذیری 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.

مقادیر اسیدیته زه‌آب تیمارهای مورد بررسی در شکل (۳) نشان داده شده است. تغییرات اسیدیته برای هر تیمار روندی نوسانی با گذشت زمان در دوره‌های نمونه‌برداری نشان داد. بیش‌ترین مقدار اسیدیته در تاریخ ۳ مرداد در تیمار T<sub>3</sub> با مقدار ۷/۱۹ و کم‌ترین مقدار آن ۶/۴۹ در تاریخ ۱۲ شهریور در تیمار T<sub>1</sub> بود که با پژوهش‌های کومله و همکاران (۱۳۹۱) مبنی بر تثبیت اسیدیته محلول خاک بین ۶/۵ تا ۷ چند هفته پس از غرقاب شدن، تطابق داشت. میانگین اسیدیته در دوره رشد در تیمارهای T<sub>1</sub> و T<sub>2</sub> تقریباً برابر و در تیمار T<sub>3</sub> 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 اسیدیته خاک و زه‌آب تاثیر دارد به طوری که مقایسه اسیدیته قبل از زهکشی میان و پایان فصل نشان داد که تیمار T<sub>2</sub> دارای رفتار متفاوت از دو تیمار T<sub>1</sub> و T<sub>3</sub> داشت. به‌طور متوسط مقدار اسیدیته زه‌آب در اکثر دوره‌های نمونه‌برداری تیمارهای آزمایش اسیدی بود ولی در تاریخ ۳ و ۱۰ مرداد (زهکشی میان‌فصل) به‌ترتیب در تیمار T<sub>3</sub> و T<sub>1</sub> به سمت قلیائیت پیش رفت. دینگ و

همکاران (۲۰۱۹) با شبیه‌سازی اسیدپت تیمارهای غرقابی و زهکشی در اراضی شالیزاری نشان دادند که در شرایط غرقابی، در خاک‌های با اسیدپت 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، اسیدپت 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 اسیدپت هر تیمار به ترتیب از ۶/۴۹ تا ۶/۷۹ در نوسان بود و در T<sub>1</sub> و T<sub>3</sub> اسیدپت روند کاهشی داشت که دلیل آن علاوه بر دلایل ذکر شده در پژوهش دینگ و همکاران (۲۰۱۹) می‌تواند ناشی از افزایش یون H<sup>+</sup> متناسب با افزایش دما (حداکثر دما در ۱۲ شهریور روی داده است (شکل ۲) باشد که متعاقب آن مقدار اسیدپت کاهش می‌یابد.

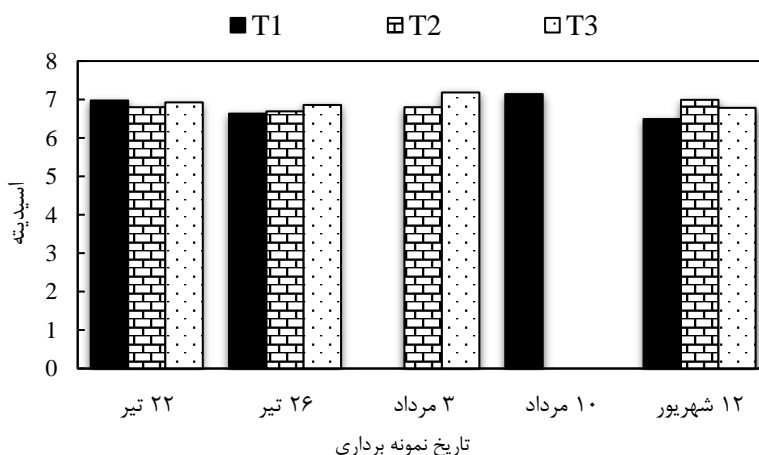
جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس پارامترهای کیفی زه‌آب در تیمارها و زمان‌های مختلف

میانگین مربعات (MS)						درجه آزادی (df)	منابع تغییرات (S.O.V.)
کل جامدات معلق	نیتریت	نیترات	آمونوم	هدایت الکتریکی	اسیدپت		
۱۵۸۴۵/۳۳*	۰/۳۴۶۸ns	۱۱۳/۰۴۲۴**	۲۲۶۵/۴۳۶۶ns	۴/۱۷۵۹ns	۰/۰۶۲۶ ns	۲	تیمار (T)
۲۲۴۱/۳۷	۰/۳۲۹۸	۳/۸۰۰۱	۱۱۹۷/۳۹۷۳	۵/۹۱۳۹	۰/۰۶۲۷	۶	خطا
۳۴۳۷۴۵/۲۳**	۵/۴۰۱۱**	۵/۲۱۲۴ns	۲۷۳۰/۶۸۳۱**	۱/۳۳۱۶ns	۰/۰۷۷۹*	۲	زمان (Time)
۱۷۷۵۵/۲۱**	۲/۷۰۶۸**	۲۷/۱۵۷۹*	۴۵۱/۵۶۳۳*	۱/۹۵۹۰ns	۰/۰۹۵۷*	۴	Time×T
۲۴۱۲/۷۱	۰/۰۲۳۳	۷/۵۱۴۵	۱۱۷/۳۷۶۵	۱/۰۱۰۴	۰/۰۱۸۵	۱۲	خطا
۴۰/۶	۵۰/۳	۴۳/۹	۴۰/۷	۳۸/۵	۳/۲	-	ضریب تغییرات (CV%)

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

میانگین مربعات (MS)							درجه آزادی (df)	منابع تغییرات (S.O.V.)
سولفات	فسفات	کلراید	نسبت جذب سدیم	سدیم	منیزیم	کلسیم		
۰/۰۸۲۸ns	۵۳۵/۲۷۸۷*	۳۹۲۸۶/۹۸۹۴ns	۰/۱۳۰۳ns	۶/۰۲۳۱ns	۴۱/۵۸۲۵ns	۱۲۰/۳۲۲۵ns	۲	تیمار (T)
۰/۰۷۹۴	۸۸/۹۸۹۰	۲۱۵۵۱/۵۸۴۹	۰/۲۷۳۴	۱۰/۴۷۴۳	۷۱/۷۲۹۶	۱۴۱/۰۹۷۴	۶	خطا
۰/۴۶۱۵*	۷۱۴/۹۳۱۱**	۱۰۵۳۲/۴۱۸۳ns	۰/۵۱۰۸ns	۱/۶۱۴۱ns	۳۰/۱۸۹۲ns	۸۱/۵۸۹۲*	۲	زمان (Time)
۰/۰۹۵۷ns	۱۱۲/۳۳۰۲*	۱۱۶۶۳/۱۶۰۵ns	۰/۲۹۹۱ns	۵/۱۰۳۳ns	۱۳/۵۸۹۸ns	۲۳/۵۶۳۱ns	۴	Time×T
۰/۰۶۰۱	۳۱/۸۷۸۵	۱۳۹۴۵/۳۶۹۴	۰/۱۷۰۷	۱/۹۵۰۷	۳۶/۲۶۴۶	۱۶/۷۱۱۸	۱۲	خطا
۱۱۰/۶	۷۴/۴	۴۳/۶	۳۰/۶	۳۵/۱	۵۹/۶	۳۸/۱	-	ضریب تغییرات (CV%)

\*\* و \* معنی‌دار به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد و ns معنی‌دار نیست.

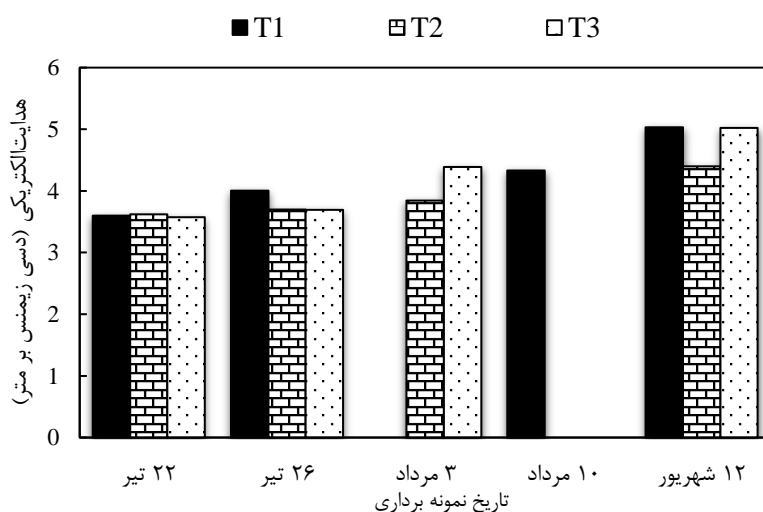


شکل ۳. مقادیر اسیدپت زه‌آب در تیمارهای مورد بررسی

روند تغییرات هدایت الکتریکی زه‌آب در شکل (۴) نشان داده شده است. نتایج تجزیه آماری نشان از عدم معنی‌داری در تیمارها و



همچنین نسبت به زمان داشت. میانگین هدایت الکتریکی در دوره رشد در تیمار  $T_2$  و  $T_3$  به ترتیب ۴۶ و ۷۳ درصد نسبت به تیمار  $T_1$  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 تیرماه (ابتدای دوره رشد) به ترتیب در تیمار  $T_1$  (۵/۰۳) دسی زیمنس بر متر) و  $T_3$  (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  $T_1$ ،  $T_2$  و  $T_3$  افزایش داشت. هدایت الکتریکی قبل و بعد از زهکشی میان فصل به ترتیب ۱۶/۲ و ۱۴/۴ درصد در تیمارهای  $T_1$  و  $T_2$  افزایش و در تیمار  $T_3$ ، 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 آبسویی بیش تر املاح از خاک و انتقال آن به سمت لایه های پایینی است که با مطالعات محمدپور و نواییان (۱۳۹۸) تطابق دارد.



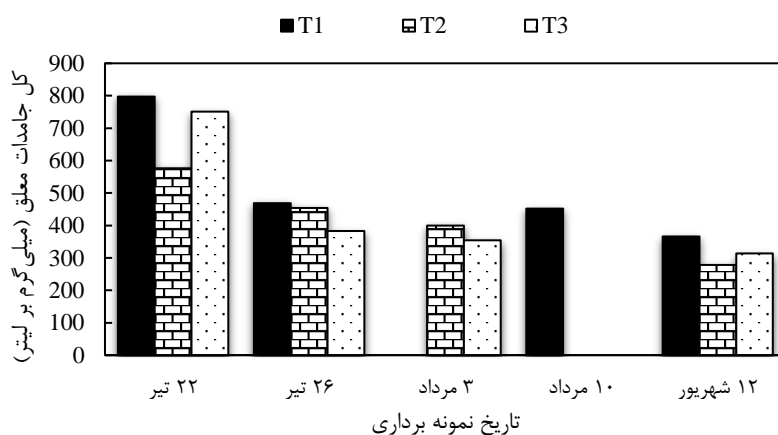
شکل ۴. روند تغییرات هدایت الکتریکی زه آب در تیمارهای مورد بررسی

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  $T_1$  در زمان زهکشی میان فصل (۲۲ تیر) و کم ترین مقدار آن ۲۷۸ میلی گرم بر لیتر در تیمار  $T_2$  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  $T_1$  و  $T_2$  و  $T_3$  در زهکشی پایان فصل به ترتیب ۳۶۶ و ۲۷۸ و ۴۲۰ میلی گرم بر لیتر به دست آمد که نسبت به ابتدای دوره رشد (۲۲ تیر) ۵۴، ۵۳ 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 ترک های و به تبع آن جریان ترجیحی بیش تر در آن ها در خاک های چسبنده و یا فرسایش ذرات خاک غیر چسبنده در درز و ترک های ایجاد شده، می توانند بر کاهش یا افزایش جامدات معلق زه آب نقش داشته باشند. در تیمار  $T_3$  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 می رسد دوره زهکشی میان فصل ۱۰ روزه، پتانسیل خروج ذرات خاک را افزایش می دهد. نتایج مشاهدات حسین زاده و همکاران (۱۳۹۴) نیز نشان داد مقدار کل جامدات معلق زه آب در ابتدای آزمایش زیاد و با گذشت زمان کاهش یافت.

در شکل (۶) مقادیر نسبت جذب سدیم (SAR) زه آب خروجی نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بیش ترین میزان نسبت جذب سدیم در تیمار  $T_2$  بود. مقدار SAR در تیمارها در زهکشی میان فصل نسبت به قبل از میان فصل کم تر 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 بیش تر از میانگین مقادیر آن در پایان فصل بود. به طور کلی، مقادیر SAR در زهکشی پایان فصل در تیمار  $T_1$ ، ۸ درصد کاهش و در تیمارهای  $T_2$  و  $T_3$  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  $T_1$  و افزایش ۱۴ و ۱۹ درصد برای تیمارهای  $T_2$  و  $T_3$  به دست آمد. بنابراین اعمال کود نیتروژن قبل از زهکشی منجر به کاهش SAR در زه آب زهکشی



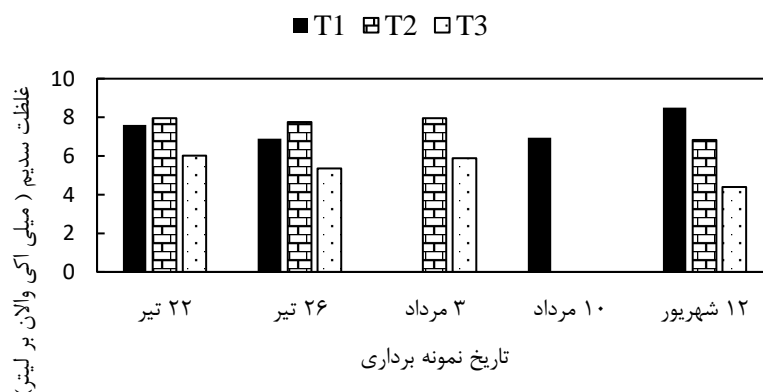
میان و پایان فصل شد این در حالی است که اعمال کود نیتروژن بعد از زهکشی میان فصل می‌تواند همراه با افزایش SAR زه‌آب باشد. برای تعیین روند SAR، غلظت سدیم، مجموع کلسیم و منیزیم جداگانه بررسی و در شکل (۷) و (۸) آورده شده است. همانطور که در شکل‌ها مشخص است، مقادیر مجموع کلسیم و منیزیم در تیمارهای مورد بررسی بین ۱ تا ۱۴ درصد کاهش میان زهکشی میان و پایان فصل نشان داد. در حالی که غلظت سدیم در تیمارهای T<sub>1</sub>، T<sub>2</sub> و T<sub>3</sub> 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 زه‌آب و در نتیجه بیشتر شدن SAR شد. نسبت جذب سدیم زه‌آب در مقایسه با مقدار نسبت جذب سدیم آب آبیاری (جدول ۱) کم‌تر به دست آمد. محمدپور و نوایان (۱۳۹۸) دلیل کم‌تر بودن SAR زه‌آب نسبت به آب آبیاری را به فرآیند جذب عناصر تاثیرگذار بر نسبت جذب سدیم (کلسیم، منیزیم و سدیم) در پروفیل خاک نسبت دادند.



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



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 نیتریم 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 T<sub>2</sub> با مقدار ۱۱۵/۳۷ و کم‌ترین مقدار آن حدود ۳۸ میلی‌گرم بر لیتر در تاریخ ۱۲ شهریور در تیمار T<sub>3</sub> بود. نتایج نشان داد که روند تغییرات آمونیوم تا قبل از زهکشی میان‌فصل، صعودی بود اما پس از زهکشی میان‌فصل، در تیمار T<sub>1</sub>، ۲۳ درصد و در دو تیمار T<sub>2</sub> و T<sub>3</sub> به طور متوسط ۵۴ درصد کاهش نشان داد. بنابراین در دو تیمار T<sub>2</sub> و T<sub>3</sub> آمونیوم کمتری از خاک خارج شده است که می‌تواند احتمال کارایی مصرف نیتروژن را افزایش دهد. دلیل کاهش مقدار آمونیوم بعد از زهکشی میان‌فصل می‌تواند ایجاد شرایط هوازی و متعاقب آن افزایش نرخ نیترات‌زایی (تبدیل آمونیوم به نیتريت و سپس نیترات) باشد. همچنین آمونیوم به طور فعال توسط ریشه گیاه برنج جذب می‌شود. نسبت به ابتدای دوره رشد در زهکشی پایان فصل، مقدار آمونیوم در تیمارهای T<sub>2</sub> و T<sub>3</sub> به ترتیب ۲۴/۸ و ۳۷/۲ درصد کاهش و در تیمار T<sub>1</sub>، ۳۷/۲ درصد افزایش نشان داد. بنابراین این نکته که ورود هوا به داخل خاک بعد از اعمال کود نیتروژن باشد، می‌تواند در روند نیترات‌زایی اثر بیش‌تری داشته باشد. میانگین میزان آمونیوم در کل دوره رشد در تیمار T<sub>1</sub> بیش‌ترین و در تیمار T<sub>3</sub> 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<sub>3</sub> ابتدا زهکشی و سپس کوددهی انجام شد، فرصت کمتری نسبت به تیمار T<sub>1</sub> 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<sub>3</sub> 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

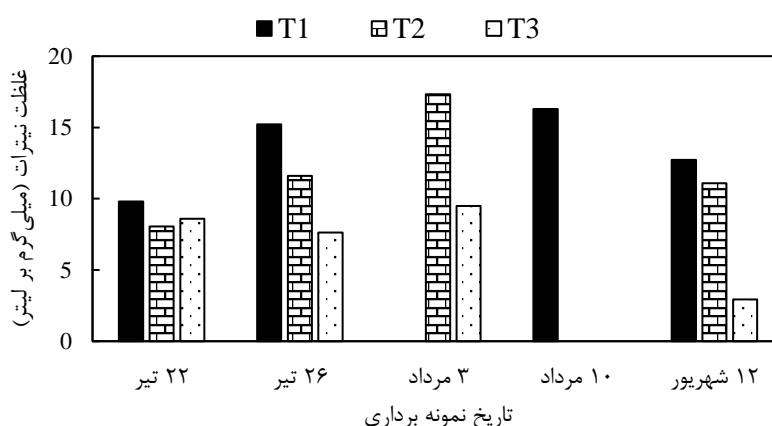
تغییرات میانگین غلظت نیتريت در شکل (۱۰) نشان داده شده است. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار نیتريت در T<sub>1</sub> به ترتیب در تاریخ ۱۰ مرداد با مقدار ۳/۷۸ میلی‌گرم بر لیتر و تاریخ ۱۲ شهریور با مقدار حدود ۱/۱۷ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد. نتایج تجزیه آماری اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد در زمان و اثر متقابل 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

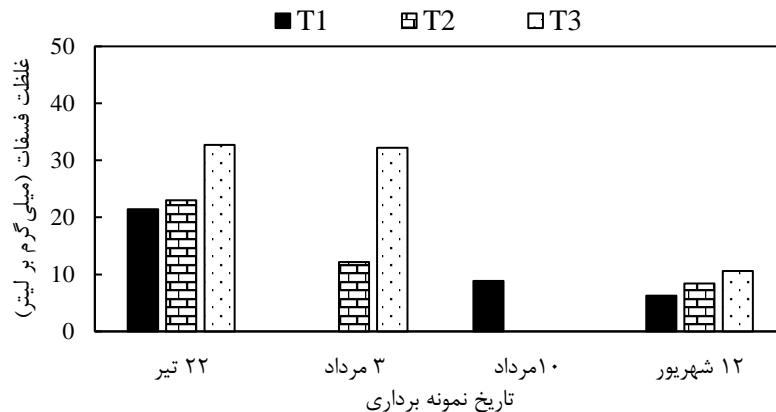
در شکل (۱۱) میانگین غلظت نیتريت زه آب نشان داده شده است. بیشترین میانگین غلظت نیتريت در زمان زهکشی میان فصل (۳ مرداد) به میزان ۱۷/۳۲ میلی گرم بر لیتر در  $T_2$  و کمترین آن در انتهای دوره رشد (۱۲ شهریور) به میزان ۲/۹۴ میلی گرم بر لیتر در  $T_3$  مشاهده شد. نتایج تجزیه آماری اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد در اثر متقابل زمان و تیمارها نشان داد. میانگین غلظت نیتريت در زهکشی پایان فصل در هر سه تیمار  $T_1$ ،  $T_2$  و  $T_3$  نسبت به زهکشی میان فصل به ترتیب ۲۰، 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  $T_2$  و  $T_3$  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 کاهشی غلظت نیتريت را به اشباع بودن خاک اراضی شالیزاری و وجود ریزجانداران بی هوایی 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  $T_3$  و کمترین آن در زهکشی پایان فصل به میزان ۶/۲۷ میلی گرم بر لیتر در  $T_1$  مشاهده شد. نتایج تجزیه آماری اختلاف

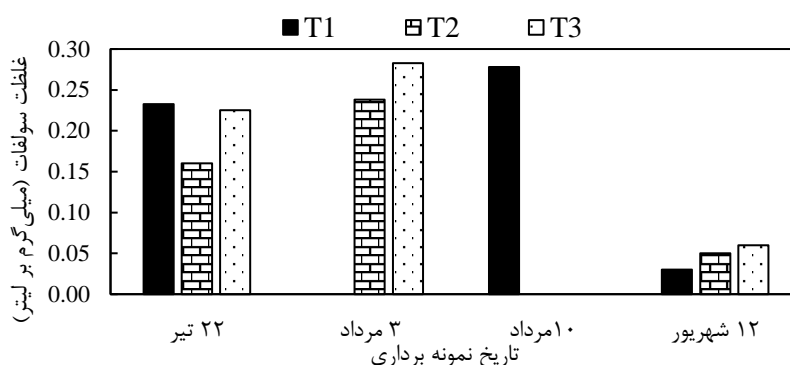
معنی دار در سطح یک درصد برای زمان و پنج درصد در اثر متقابل زمان و تیمارها نشان داد. میانگین غلظت فسفات در زهکشی پایان فصل در هر سه تیمار  $T_1$ ،  $T_2$  و  $T_3$  نسبت به میان فصل به ترتیب ۲۹، ۳۱ و ۶۷ درصد کاهش داشت. بنابراین کوددهی نیتروژن پس از زهکشی میان فصل در شرایطی که مدت زهکشی ده روز باشد، بیشترین 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 کم تر 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.



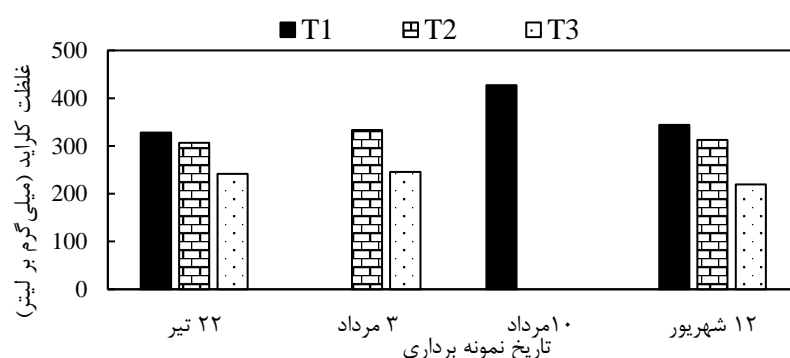
شکل ۱۲. تغییرات غلظت فسفات زه آب نسبت به تیمارهای مورد بررسی

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 ۰/۲۸ میلی گرم بر لیتر در ۱۰ و ۳ مرداد و همچنین کم ترین آن با مقدار ۰/۰۳ 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 ۷۹، ۸۸، ۷۷ و ۷۷ درصد کم تر 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 تلوکلابی و همکاران (۱۳۹۳) نشان داد مقدار سولفات زه آب زهکش های مختلف در زمان زهکشی پایان فصل کم تر 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 ۴۲۷ میلی گرم بر لیتر در تیمار  $T_1$  و کمترین آن در زهکشی پایان فصل به میزان ۲۱۹/۵ 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 تلوکلابی و همکاران (۱۳۹۳) نیز افزایش غلظت کلراید زه آب 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 درصد و درصد باروری پنجه و شاخص برداشت در سطح اطمینان پنج درصد 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 T<sub>2</sub> (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 T<sub>3</sub> (زهکشی به مدت ۱۰ روز و سپس اعمال کود اوره) می‌تواند ناشی از کارایی بیشتر مصرف نیتروژن و تاثیر آن بر روند رویش 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

شاخص برداشت	میانگین مربعات (MS)					درجه آزادی (df)	منابع تغییرات (S.O.V.)
	عملکرد دانه	وزن هزار دانه	درصد باروری پنجه	طول خوشه	ارتفاع بوته		
ns/۲۶	ns۱۱۶۸۴/۴۳	ns۱/۶۳	ns۴۶/۳۲	ns۲۸/۹۸	ns۱/۹۴	۲	تکرار
*۲۴۴/۴۲	۱۵۳۳۳۶-۰/۲۱*	**۸/۷۸	**۱۵۱/۳۴	ns۳۶/۱۷	**۲۹/۴۶	۳	تیمار (T)
۰/۲۷	۱۱۷۳۰/۲۳	۱/۰۷	۲۸/۸۰	۳۹/۳۰	۰/۹۸	۶	خطا
۲۹/۷۹	۲۹/۷۲	۱۵/۱۷	۱۳/۱۸	۲۳/۰۸	۲/۶۲	-	ضریب تغییرات (CV%)

\*\* و \* معنی‌دار به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد و ns معنی‌دار نیست.

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

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

## نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر زمان اعمال کود و زهکشی بر کیفیت زه‌آب اراضی شالیزاری در مقیاس لایسیمتری انجام شد. مقایسه اسیدیته زه‌آب قبل از زهکشی میان و پایان فصل نشان داد که زمان اعمال کود و زهکشی بر میزان اسیدیته زه‌آب تاثیر دارد به طوری که تیمار T<sub>2</sub> دارای رفتار متفاوت از T<sub>1</sub> و T<sub>3</sub> بود. میانگین هدایت الکتریکی در دوره رشد در تیمار T<sub>2</sub> و T<sub>3</sub> به ترتیب ۴۶ و ۷۳ درصد نسبت به T<sub>1</sub> کاهش نشان داد. بنابراین اعمال کود نیتروژن و سپس زهکشی، باعث افزایش هدایت الکتریکی زه‌آب نسبت به اعمال زهکشی و سپس کوددهی شد. در تیمار T<sub>3</sub> که مدت زهکشی بیش‌تر از دو تیمار دیگر بود، از میزان جامدات معلق در زه‌آب کمتر از دو تیمار دیگر کاسته شد. اعمال کود نیتروژن قبل از زهکشی منجر به کاهش SAR در زه‌آب میان و پایان فصل و اعمال آن پس از زهکشی میان فصل همراه با افزایش SAR زه‌آب 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 زه‌آب و در نتیجه افزایش میزان SAR شد. نتایج نشان داد در دو تیمار T<sub>2</sub> و T<sub>3</sub> آمونیوم و نترات کمتری از خاک خارج شد، پس اعمال زهکشی و سپس کوددهی گزینه مطلوب‌تری به لحاظ زیست‌محیطی و کارایی مصرف نیتروژن بود. میانگین غلظت نیتريت، نترات، فسفات و سولفات در زهکشی پایان فصل نسبت به میان فصل کاهش نشان داد که دلیل کاهش نترات اعمال کود نیتروژن پس از زهکشی میان فصل بود که منجر به کاهش غلظت نترات در پایان فصل شد. در تیمار T<sub>3</sub> کوددهی نیتروژن پس از زهکشی میان فصل، بیش‌ترین تاثیر را بر کاهش فسفات زه‌آب 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 می‌تواند در بهبود کیفیت زه‌آب و کاهش سولفات در زمان زهکشی پایان فصل موثرتر از تیمارهای دیگر باشد. اعمال کود پس از زهکشی میان فصل در تیمار T<sub>3</sub>، 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 معنی‌دار نداشتند. نتایج نشان داد تیمار T<sub>3</sub> (اعمال کود نیتروژن پس از زهکشی میان فصل) منجر به کاهش مقادیر هدایت الکتریکی، کل جامدات معلق، غلظت آمونیوم، نیتريت، نترات، فسفات و کلراید زه‌آب و کاهش تبعات منفی محیط‌زیستی شد. با توجه به نتایج این پژوهش اعمال زهکشی میان فصل با تداوم ۱۰ روز و سپس کوددهی نیتروژن توصیه می‌شود. 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 می‌بایست بر روی تداوم زهکشی و اثر آن بر کیفیت زه‌آب و بهره‌وری آب آبیاری انجام شود. بررسی عملکرد و اجزاء عملکرد نشان داد که تیمار T<sub>2</sub> گزینه بهتری است. از این رو در تصمیم نهایی می‌بایست 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.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

## منابع

- جعفری تلوکلایی، مهدی؛ شاه‌نظری، علی؛ ضیابطار احمدی، میرخالق، و درزی نفت چالی، عبدالله. (۱۳۹۳). بررسی کیفیت زه‌آب زهکش‌های زیرزمینی اراضی شالیزاری بر اساس پارامترهای طراحی. علوم مهندسی و آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، ۳۷(۴)، ۱۰۹-۱۱۹.
- چاکانی، پروین؛ پیرمردیان، نادر؛ یزدانی، محمدرضا و نوابیان، مریم. (۱۳۹۴). ارزیابی عملکرد پوشش‌های مرکب آلی و معدنی دور زهکش در شرایط مشابه اراضی شالیزاری. تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)، ۴۶(۴)، ۷۰۷-۷۱۴.
- حسین‌زاده، محمد؛ نوابیان، مریم و پیرمردیان، نادر. (۱۳۹۴). اثر متقابل تداوم زهکشی و فاصله زهکش‌های زیرزمینی در زهکشی میان فصل بر عملکرد



و اجزای عملکرد برنج رقم هاشمی. تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)، ۴۶(۳)، ۴۹۹-۵۰۸.

درزی نفت‌چالی، 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، ۳۶(۳)، ۲۱۵-۲۲۵.

زارع ایبانه، حمید؛ نوری، حدیثه؛ لیاقت، عبدالمجید؛ کریمی، ولی‌الله و نوری، حمیده. (۱۳۹۰). واسنجی آب‌شویی نیترات و نوسانات سطح ایستابی در زمین‌های شالیزاری با استفاده از نرم افزار DRAINMOD-N. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱۵(۵۷)، ۴۹-۶۰.

شهدی کومله، عباس؛ خانکشی پور، غلامرضا؛ کاوسی، مسعود؛ رضوی پور، تیمور؛ فتحی دخت، حامد؛ علی اسماعیلی، سیاوش و منشی‌زاده، 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 نیمه‌خشک ایران. علوم مهندسی و آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، ۳۶(۳)، ۱۰۹-۱۱۸.

صدیق، پریا و افروس، علی. (۱۳۹۹). مطالعه لایسیمتری تاثیر مدیریت سطح ایستابی بر آبشویی نیترات، فسفات و شوری در زه‌آب در دزفول. تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)، ۵۱(۴)، ۹۸۷-۱۰۰۱.

محمدپور، فاطمه و نوابیان، 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)، ۹۷۳-۹۸۶.

معماری، ناستیا؛ نوابیان، 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)، ۱۲۴۳-۱۲۵۵.

موذنی، سیدمحمدرسول؛ نوابیان، مریم و اسمعیلی ورکی، مهدی. (۱۳۹۵). ارزیابی عملکرد زهکش زیرزمینی در مقیاس مدل فیزیکی کشت دوم در اراضی شالیزاری (مطالعه موردی: گیاه تربتی‌کاله). تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)، ۴۷(۲)، ۳۹۷-۴۰۵.

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

نوابیان، 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)، ۷۲۳-۷۳۱.

## 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., Mirlatifi, 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
- Helmerts, M., Christianson, R., Brenneman, 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 Talukolae, 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 ( $T_1$ ), 2- drainage for 7 days and then application of N fertilizer ( $T_2$ ) and 3- drainage for 10 days and then application of N fertilizer ( $T_3$ ) 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 ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ), ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) and chloride ( $\text{Cl}^-$ ) 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  $T_2$  had a different behavior than  $T_1$  and  $T_3$ . The average electrical conductivity during the growth period in  $T_2$  and  $T_3$  decreased by 46 and 73%, respectively, compared to  $T_1$ . The trend of ammonium changes was upward before MSD, but after MSD, it decreased by 23% in  $T_1$  and 54% on average in  $T_2$  and  $T_3$ . The average concentration of nitrate in end season in  $T_1$ ,  $T_2$ , and  $T_3$  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  $\text{Cl}^-$  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,  $T_2$  is better option.

#### Conclusion

The results showed that  $T_3$  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,  $T_2$  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.